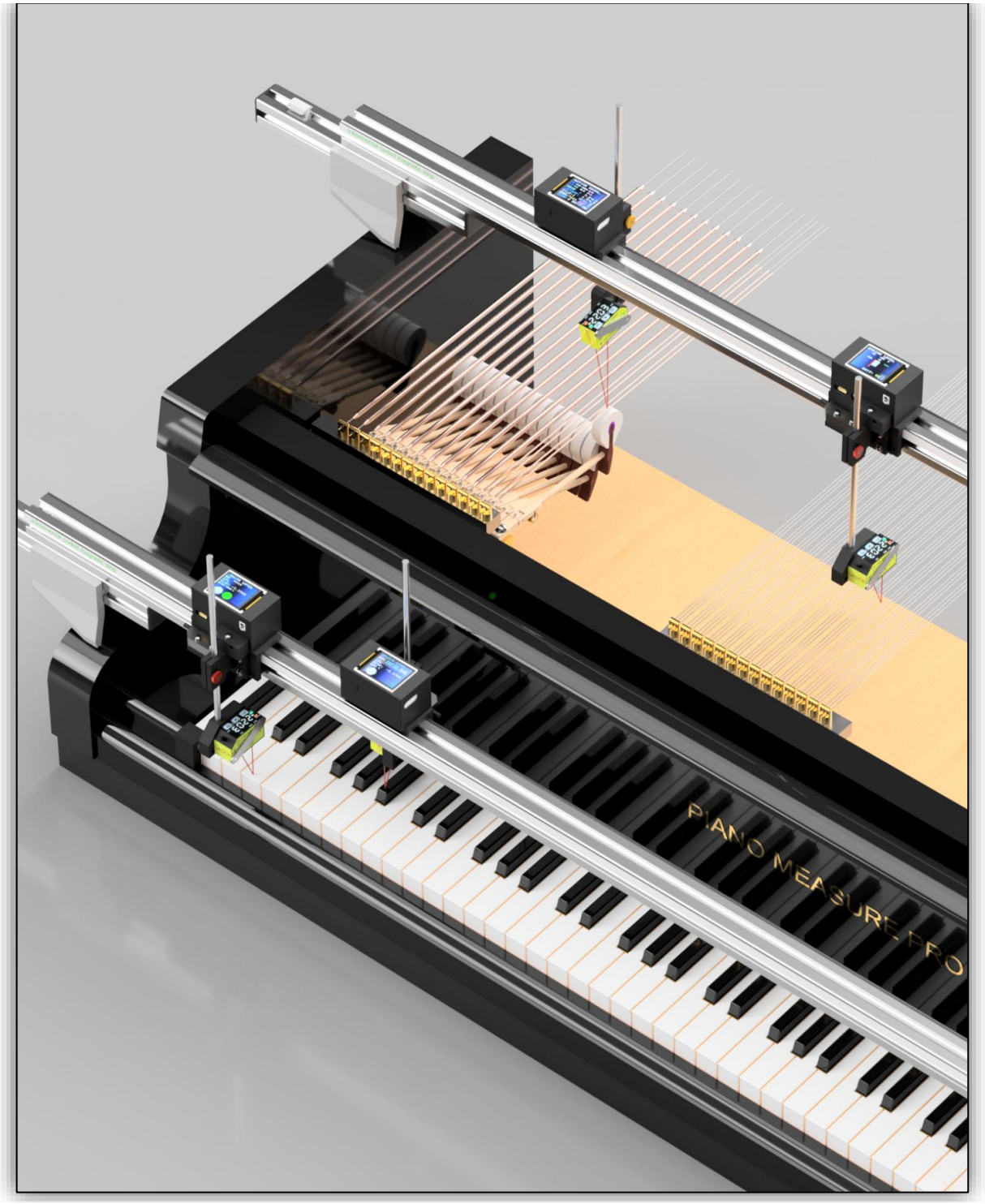
piano measure pro™

LASER PRECISION | Innovation for piano makers

用于非接触式高度与长度测量的数字测量装置

用户手册（V11）



版权所有 © 2024–2026 Tobias J. Schmidt，德国利兴 Klavieratelier Lychen

1 目录

1 目录 2
2 产品说明 11
2.1 音名标记系统 11
2.2 整机组件 12
2.3 激光测距传感器 13
2.4 位置传感器（导轨上的线性编码器与磁栅带） 14
2.5 9V 方块充电电池（可充电） 15
2.6 红外遥控器（IR） 17
2.7 设备开机 17
2.7.1 启动界面与联机选项 18
2.7.2 检查并安装固件更新 19
2.7.3 配置本地 Wi-Fi 20
2.8 设备标识：序列号与唯一网络名称 21
2.9 网页界面与 REMOTE 22
2.9.1 开启 Wi-Fi 并连接浏览器 22
2.9.2 Wi-Fi 状态与连接切换 23
2.9.3 打开首页并选择 REMOTE 24
2.9.4 使用 REMOTE 操作 26
3 放置导轨 27
4 功能“key level”——键盘调平 / 键深调整 28
4.1 键盘 / 击弦机准备工作 28
4.2 校准导轨 29
4.2.1 调整位置与角度 29
4.2.2 导轨的重复定位校准 30
4.3 开始测量 31
4.4 测量键高（白键） 32
4.4.1 使用基准测块测定绝对键高 33
4.4.2 评估测量结果：CROWN、CANT 与 DISH 36
4.4.3 重复测量与复位精度检查 38
4.4.4 单音对比与平均值应用 39
4.4.5 基准曲线的生成原理 40
4.4.6 定向调整 Level、Tilt 与 Crown 41

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.7 有意识地保留轻微下垂 42
4.4.8 确认基准并继续测量 43
4.5 测量键高（黑键） 44
4.6 测量键深（白键） 45
4.7 测量键深（黑键） 46
4.8 保存数据集 47
4.9 调用测量值：键盘调平 / 修正键深 49
4.9.1 WHITE LIVE（白键实时测量） 49
4.9.2 在 LIVE 模式下重新检测 RETURN 52
4.9.3 CANT ADJUST：修正单枚琴键的横向倾斜 53
4.9.4 BLACK LIVE（黑键实时测量） 54
4.9.5 WHITE LVL / WHITE DIP / BLACK LVL / BLACK DIP（调用已测记录的测量值） 55
4.9.6 ADJUST 模式 56
4.10 设定 / 修改纸垫圈厚度 57
4.10.1 正确测量与存放纸垫圈 59
4.11 测量键杆比 60
4.12 在新版网页界面中打开 KEYS 62
4.12.1 检查测量基准与设置 67
4.12.2 使用 DEVIATIONS 作为总览视图 68
4.12.3 为当前工序选择纸垫圈 71
4.12.4 对比基准曲线 74
4.13 在 Excel 中分析数据集（已过时） 77
4.13.1 建立 WiFi 连接 77
4.13.2 从设备读取数据 78
4.13.3 “DATA”工作表 79
4.13.4 “DIAG_DEV”工作表 80
4.13.5 “DIAG_WB”工作表 82
4.13.6 “DIAG_W”工作表 83
4.13.7 “DIAG_B”工作表 84
4.13.8 “LVL_TOO_LOW” / “DIP_TOO_LOW” / “LVL_TOO_HIGH” / “DIP_TOO_HIGH”工作表 85
5 功能“action regul.”——三角钢琴击弦机整调参数的测量与调整 86
5.1 基础架设（Setup）：导轨与传感器 88
5.1.1 传感器倾斜设置（TILT 模式） 100
5.1.2 琴弦斜向排列时的传感器倾角与传感器臂偏转角 101

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.2 启动并选择 FINE / COURSE 104
5.3 主界面对话框 105
5.3.1 整理参数的目标设定值 105
5.3.2 测量值显示 105
5.3.3 声音提示反馈（TONE） 107
5.4 简易测量：STRING、HAMMER-TO-STRING 与 SCAL QUICK 108
5.4.1 STRING 模式 108
5.4.2 HAMMER-TO-STRING 模式 109
5.4.3 SCAL INSTR QUICK：在琴体内整理 110
5.4.4 SCAL BENCH QUICK：在工作台上整理 113
5.5 ADVANCED：依据实际琴弦高度进行整理 116
5.6 已保存分区的架设与续测 119
5.6.1 基准采集前在工作台上检查弦槌走位 119
5.7 ADVANCED：琴体内与工作台工作流程 129
5.7.1 从琴体内开始：槽位、分区与测点 129
5.7.2 装有制音器时：校准光路与传感器臂 130
5.7.3 HAMMER EACH：使用毛毡条采集多个音位 131
5.7.4 HAMMER EACH：复测并逐音推进 132
5.7.5 检查弦槌触弦并切换至断联测量 133
5.7.6 记录琴体内的实际断联距离 134
5.7.7 压弦条特殊情况：扫弦与 0.00 mm 断联法 135
5.7.8 架设并调节工作台支架 136
5.7.9 替代方案：将导轨安装于整理架上 142
5.7.10 在工作台上设定公共位置基准 144
5.7.11 MATCH INSTR：在工作台上匹配第一个分区 145
5.7.12 MATCH INSTR：更多测试音与定位指示 146
5.7.13 检查 MATCH 结果并设定所需目标值 147
5.7.14 MATCH INSTR：在匹配过程中检查界面指示 148
5.7.15 匹配其余分区并轻松完成整理 150
5.7.16 安装制音器后继续复用 STRING 弦高曲线 151
5.7.17 特殊情况：被横筋遮挡的弦槌 155
5.7.18 中断后恢复作业并保存当前进度 156
5.7.19 保存与重新调用乐器数据集 157
5.7.20 定向删除单个分区内的采集记录 158

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.21 更改传感器姿态后校验琴弦基准 159
5.8 SCAL ADVANCED：基准与数据集 160
5.8.1 SCAL INSTR 模式（标定线 / 基准线） 161
5.8.2 设定与恢复位置基准 165
5.8.3 SCAL BENCH：P1/P2 与轮廓修正 167
5.9 网页界面中的 ACTION 169
5.9.1 打开 ACTION 并设置实时显示 169
5.9.2 读取黑色显示区中的测量值与状态 171
5.9.3 实时追踪弦槌运动与位置 172
5.9.4 三角标记及 INSTR 与 BENCH 之间的实时对比 173
5.9.5 示例：校验从 INSTR 到 BENCH 的基准传递 174
5.9.6 读取音位列并使用智能手机作业 175
5.9.7 调用已保存的 ACTION 数据 176
5.9.8 读懂已保存的图表及其刻度 177
5.9.9 切换 INSTR、BENCH 及合并视图 178
5.9.10 COMPARE：逐音核查差异 180
5.9.11 导出 CSV、HTML 报告及备份乐器文件 182
5.9.12 实时显示或数据调用异常时的排查 184
6 功能“string level”QUICK CHECK——同音弦组共面检测与校平 185
6.1 架设——导轨与传感器 188
6.2 AUTO LEVEL——自动补偿导轨倾角 188
6.3 测量同音弦组 189
6.4 修正 / 校平弦高（LIVE 实时显示） 190
7 功能“scale design”——弦列测量 / 弦压 191
7.1 将导轨架设于琴弦上方 193
7.1.1 使用琴壳上的滑动毡垫（低音区的测量范围受限） 193
7.1.2 横轨架设法（大多数应用推荐） 195
7.1.3 拼接两根导轨 199
7.2 调用功能 199
7.2.1 加载数据集（主机） 200
7.2.2 参数设置（主机） 200
7.2.3 偏置设置（主机） 202
7.2.4 Play 对话框——调用已有测量值（主机） 203
7.2.5 连接设备（起始位置） 204

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.3 设定起始位置偏置 205
7.4 测量模式（采集测量值） 207
7.4.1 主机（Master） 207
7.4.2 从机（Client） 208
7.4.3 四点法弦压测量 210
7.4.4 结果显示与 SHIM 垫片模拟 214
7.4.5 下沉量与测量圆柱 215
7.4.6 测量圆柱 217
7.4.7 装弦与未装弦状态下的测量 218
7.4.8 总压力、前压力与后压力 218
7.4.9 使用 Piano Measure Pro 进行四点激光弦压测量的优点 219
7.5 网页界面中的 SCALE 与实时数据传输 230
7.5.1 加载弦列数据与接收实时读数 230
7.5.2 实时测量最低音的低音弦 231
7.5.3 在图表中读取弦长与弦压角 233
7.5.4 在表格中核对击弦点与垫片值 235
7.5.5 修改读数与插补缺失值 236
7.5.6 保存和导出一组测量值 236
7.6 将 SCALE 与旧版 Excel 工作簿配合使用 237
8 功能“string level”ADVANCED——琴弦与弦枕钮校平校准 243
8.1 启动与通用功能菜单 243
8.2 准备导轨与传感器 244
8.3 测量分区与琴弦数据 245
8.4 以施坦威 B 型（Steinway B）为例的低音弦列测量 246
8.5 裸钢丝弦与混合分区 247
8.6 混合分区中的弦径设置 248
8.7 直接采集琴弦高度 249
8.8 校验琴弦采集数据 250
8.9 在 PLAY 中评估弦高位置 251
8.10 使用 ADJUST 校平琴弦 253
8.11 使用胶带辅助采集低音缠弦 255
8.12 使用胶带执行高度扫描 257
8.13 自动采集弦枕钮高度 258
8.14 手动采集并校验弦枕钮 259

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.15 显示与重新调用弦枕钮采集数据 260
8.16 使用 ADJUST 调整配合弦枕钮高度 261
8.17 传输琴弦与弦枕钮测量数据 262
8.18 打开网页界面并加载测量数据 263
8.19 读懂图表与评估结果 264
8.20 以施坦威为例评估低音区 265
8.21 裸钢丝弦总览与细节核查 266
8.22 核查单音数值并制定修正方案 268
8.23 备份测量状态与分享报告 269
9 法律文件与下载 272
附录PMP屏幕显示英汉对照 273
开机、联网和固件更新1 / 5 273
键高扫描与测块1 / 6 278
白键基准、黑键与键深1 / 4 284
保存、读取与存储空间1 / 2 288
实时测量、回位与横倾1 / 5 290
读取调节量与垫圈设置1 / 5 295
键杆比与数据传输1 / 3 300
击弦机调整：基本测量1 / 8 303
击弦机调整：进阶测量与区段1 / 3 311
击弦机调整：琴上与工作台的匹配1 / 6 314
击弦机调整：保存、位置与基准1 / 7 320
同音弦组：快速检查与整平1 / 3 327
弦列测量：设置与已存数据1 / 3 330
弦列测量：主从机与起点1 / 2 333
弦列测量：测量与弦压计算1 / 6 335
弦列测量：数据传输1 / 1 341
琴弦整平：区段与配弦设置1 / 4 342
琴弦整平：扫描与调整1 / 5 346
弦枕钮：扫描、配装与传输1 / 4 351
常用显示缩写与操作 355

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen


piano measure pro
LASER PRECISION | Innovation for piano makers
PIANO MEASURE PRO
SN: 0029 - 2026
9V DC / 250 mA
SENSOR 2
PATENT PENDING
SENSOR 1
piano measure pro
PMP 0029
piano measure pro
PMP 0030
piano measure pro
LASER PRECISION | Innovation for piano makers

Piano Measure Pro 便携箱（选配）



PMP 装于蓝红色 TANOS Systainer³ M 137。可与兼容的 Festool 或其他品牌工具箱连接，增放排式压键砝码和工具。



PMP 装于 Festool Systainer³ M 137。左图下方叠接 Festool SORTAINER SYS 3-SORT/4 抽屉箱。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

导轨运输筒（选配）



该伸缩保护筒由三部分组成。两根 PMP 导轨以及必要时用于弦列与弦压测量的横轨均插入下筒体内。上筒体由两段可伸缩套筒组成。在运输 PMP 导轨时，上筒体两段保持完全缩合状态，并通过其自带的弹簧扣锁紧固定。



打开时，只需松开上下筒体之间的锁扣，将整个上筒体取下即可抽出导轨。关闭时，将上筒体作为一个整体轻压套回，并扣紧同一锁扣即可。底部与顶盖内的海绵衬垫可稳固顶住导轨两端，防止运输途中发生晃动异响。



除两根导轨外，用于弦压测量的两根横向型材（30 x 60 mm 与 30 x 30 mm）亦可轻松收纳于该保护筒内。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2 产品说明

重要提示：使用设备前，请阅读第 9 章的法律文件和安全说明。欧盟符合性声明及开源软件许可证见该章“法律文件与下载”。

安全说明·欧盟符合性声明·开源软件许可证

2.1 音名标记系统

本测量系统采用科学音高记谱法（scientific pitch notation）来表示音位。

每个音位由一个字母（A-G）和一位表示八度的数字组成。

对于现代标准 88 键钢琴，其音域范围为 A0 至 C8。

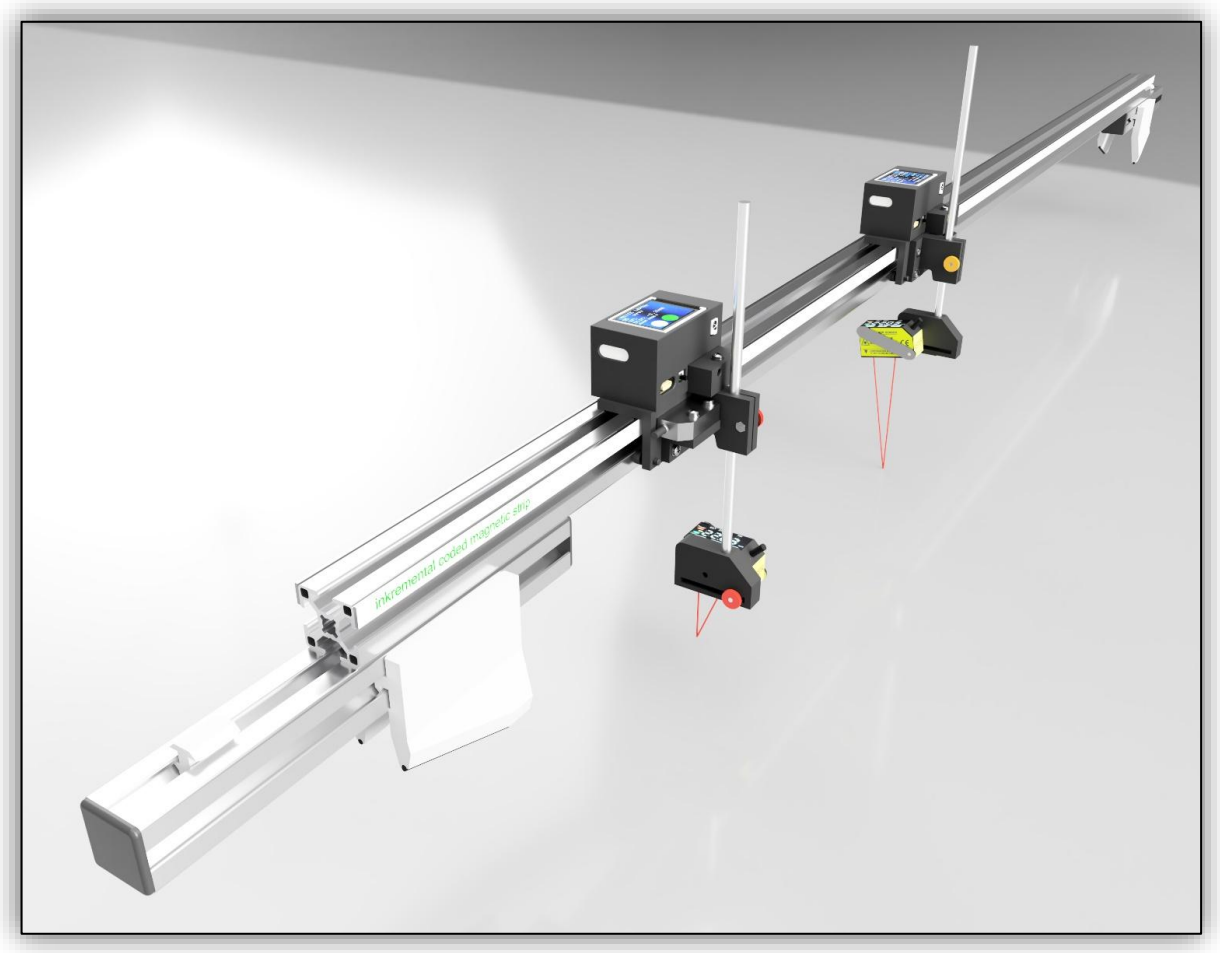
标准音 a1 标记为 A4。

扩展音域键盘：

贝森朵夫帝国型（Bösendorfer Imperial）的音域向下延伸至 C0（A0 左侧的黑色附加琴键）。

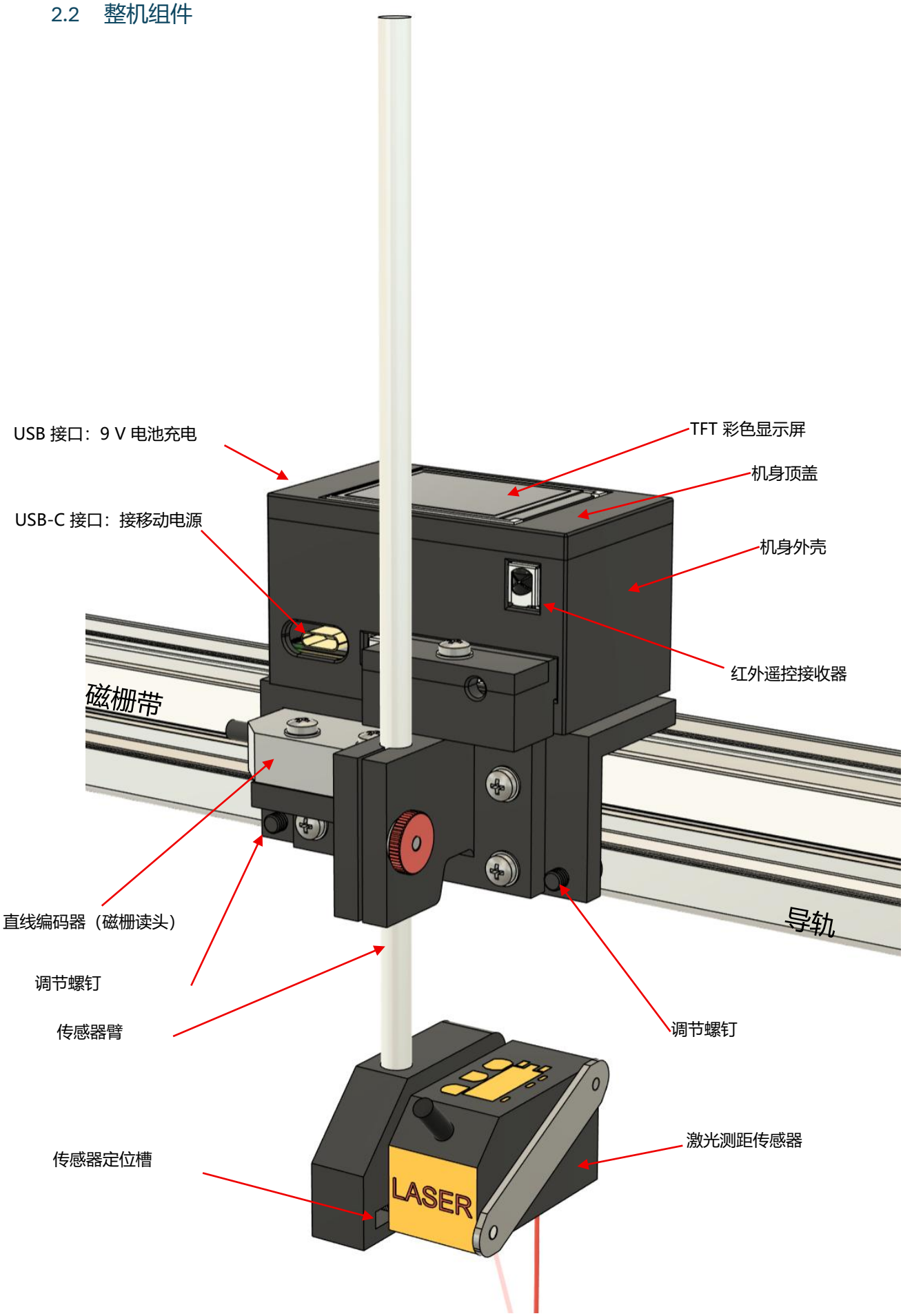
贝森朵夫 275 的音域向下延伸至 F0（A0 左侧的黑色附加琴键）。

该记谱体系为国际通用标准，表意明确，可避免与传统德式亥姆霍兹音名法发生混淆。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.2 整机组件



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.3 激光测距传感器



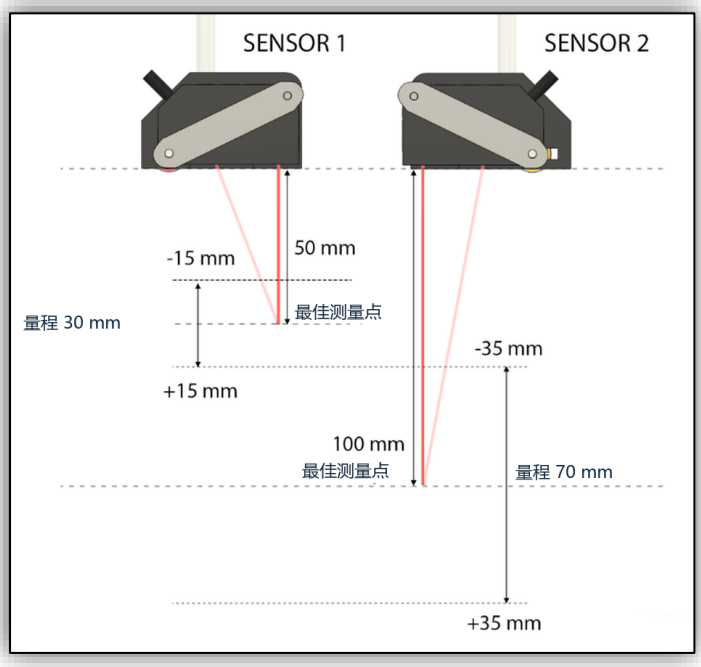
不同的应用场景与测量任务对量程和测量精度有着不同要求。例如，精密测量琴弦高度所需的测量精度高于测量断联或击弦距离（弦槌处于静止位置时至琴弦的距离）；而在采集击弦机整调参数时，则比测量弦高需要更大的量程。

为此，系统配备了两款传感器，下文分别简称为 Sensor 1（传感器 1）与 Sensor 2（传感器 2）：

- **SENSOR 1：量程 30 mm（以 50 mm 处的最佳测量点为中心 ±15 mm，测量距离 35–65 mm）。**
- **SENSOR 2：量程 70 mm（以 100 mm 处的最佳测量点为中心 ±35 mm，测量距离 65–135 mm）。**

下表列出了各项测量任务所适用的传感器：

	SENSOR 1	**SENSOR 2**
最佳测量点（Sweet Spot）	50 mm	100 mm
量程	30 mm (+-15 mm)	70 mm (+- 35 mm)
测量精度	30 µm (0.03 mm)	70 µm (0.07 mm)
键高 / 键深（key-level 功能）	* 非常适合	** 较为适合
调整参数：断联距离、击弦距离、落距及托木接住距离（action regul.）。	* 有条件适用	* 非常适合
琴弦高度（string level 功能）	* 非常适合	** 适用
弦列 / 弦压测量（scale design 功能）	两台配合使用	
	前端（弦枕 / 压弦条）	后端（弦码、挂弦钉）



传感器本体上的数值显示通常用于配合圆杆将传感器调节至正确的量程范围内。它显示传感器与被测物体之间的相对距离。读数为 0 表示传感器恰好处于最佳测量点（Sweet Spot）。正值表示传感器距离被测物体更近，负值表示被测物体距离传感器更远。操作时只需将传感器调入合适区间即可，轻微偏差并无影响；关键在于确保传感器始终工作在适用于当前测量任务的量程范围内。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.4 位置传感器（导轨上的线性编码器与磁栅带）

本设备采用高精度线性编码器，与贴附在导轨上的磁栅带配合工作。

线性编码器的工作原理类似于一把超大型游标卡尺。通过持续扫描磁栅带产生脉冲信号，系统可随时实时解算出设备在导轨上的精确位置。

其测量精度极高，达到数微米级，能够实现极其精准的位置测定。

在测量过程中，位置传感器不可或缺，它能确保系统始终准确识别传感器当前位于哪一个音位上方（如“key level”功能）。

在“scale design”功能中，两台设备在同一导轨上并行作业。每台设备各自持续采集自身位置，系统依据两者位置计算出两台设备之间的间距，并通过 Wi-Fi 在两台设备之间实时交互数据。借此即可精准测量弦列设计与各段弦长等参数。

应定期检查磁栅带的磁编码是否完好正常。

检查编码是否正常：

当编码完好且读头与尺带的距离正确时，传感器上的 LED 亮蓝灯。

缓慢移动传感器，走完导轨全长。蓝灯应始终常亮。如在某处闪烁，说明该处尺带受损，无法可靠检测位置。

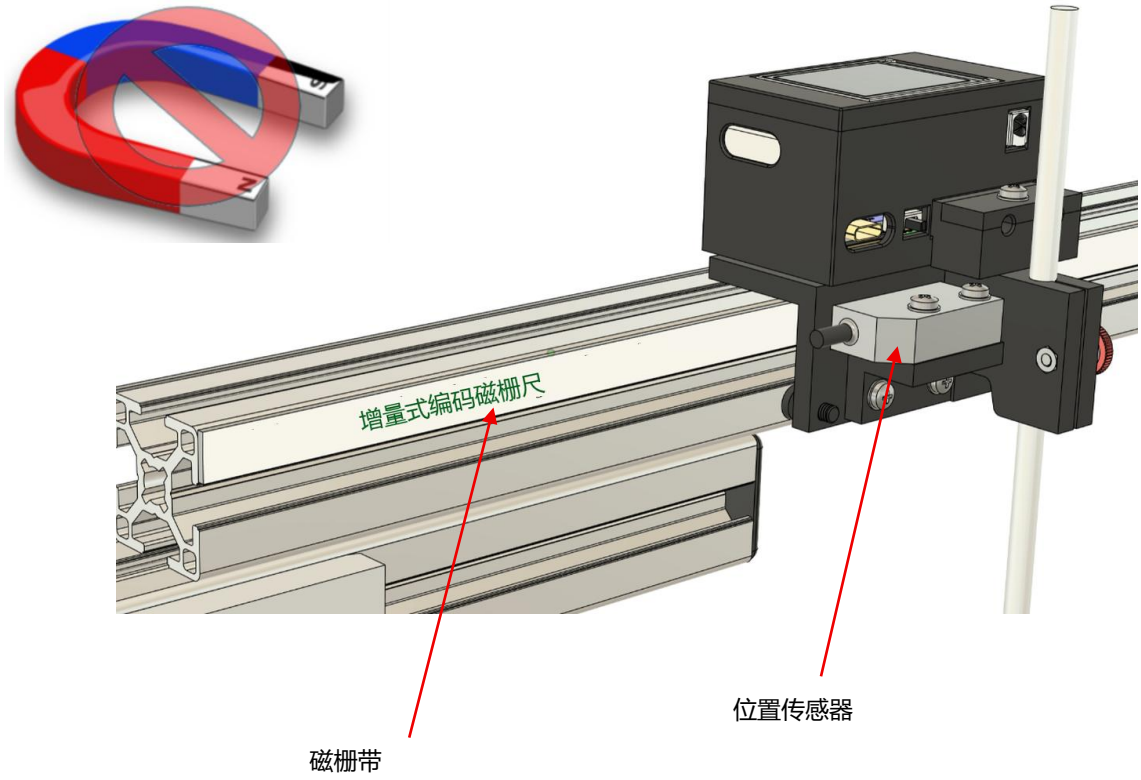
磁栅带更换十分简便。它直接粘贴在导轨上，揭下即可。随后用丙酮或异丙醇清除残胶，再粘贴新的磁栅带（备用磁栅带可另行订购）。

外部磁场：



磁栅带可能会发生消磁。切勿让任何强磁场源（例如吸铁石、永磁体或智能手机中的 MagSafe 磁铁）直接接触磁栅带。常用的数显倾角仪（Bevelbox）底部往往带有磁铁，切勿直接放置在导轨上！

务必保护磁栅带免受外部磁铁的干扰与破坏！



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.5 9V 方块充电电池（可充电）

本设备采用可充电 9V 锂离子方块电池供电。电池本体集成有 USB 充电口，可直接使用市售标准 USB 线缆充电，无需将电池取出。电池上的 LED 指示灯用于显示当前充电状态。

作为替代方案，也可装入普通不可充电的 9V 干电池使用。

重要提示：

充电前请务必关闭设备电源，以免电池过热或损坏。

更换电池：

本机电池可自行更换。操作时，先取下机身顶盖并小心向一侧翻开。显示屏固定在顶盖上，并通过两组接插件与机身内部电路板相连。连接线束长度充裕，足以安全地将顶盖翻至一侧。

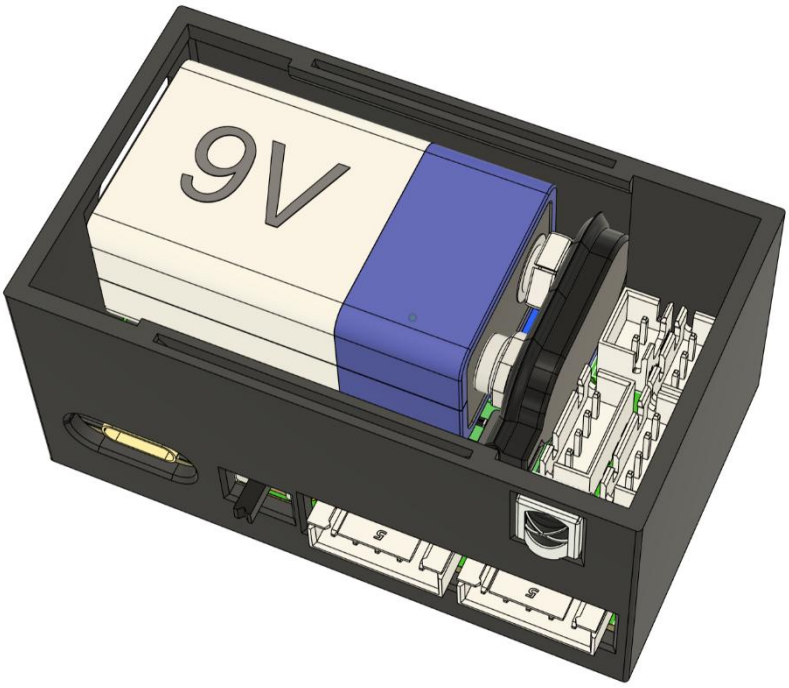
此时即可取出电池并断开电池扣连接。在取出或装入过程中务必格外小心，防止损坏线缆或接插件。随后装入新电池、接好电池扣，再合上顶盖。

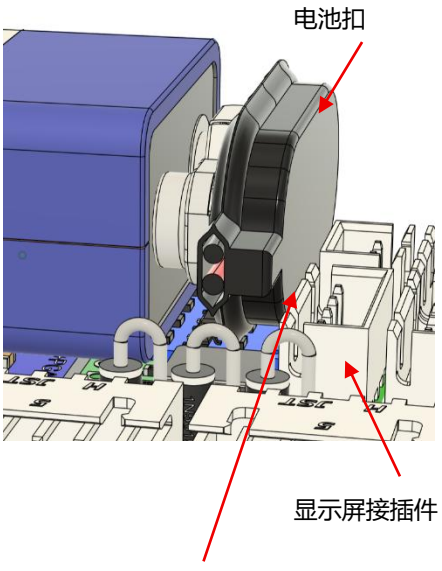
重要提示：

取出电池时，先从右侧捏住电池扣一端将电池向上抬起，拔下电池扣后再取出电池。

装入电池时，先将电池扣扣在电池电极上，然后从右侧将电池斜向放入电池仓，使黑色电池扣的外侧面紧贴并齐平于电路板上的白色接插件，再轻压电池左侧直至其完全卡入到位。

切勿让电池扣压在白色接插件上方，否则机身顶盖将无法合上！





连接外部移动电源

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

如需延长续航时间，可为测量仪外接移动电源。连接时请注意切勿使用带协议芯片的智能充电线（例如支持 Power Delivery/PD 快充协议的 USB-C 转 USB-C 线缆），因为本测量仪不支持该快充协议。设备的 USB-C 供电口仅需普通的 5V 直流供电。因此，请务必使用 USB-A 转 USB-C 线缆将移动电源与测量仪相连。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.6 红外遥控器（IR）



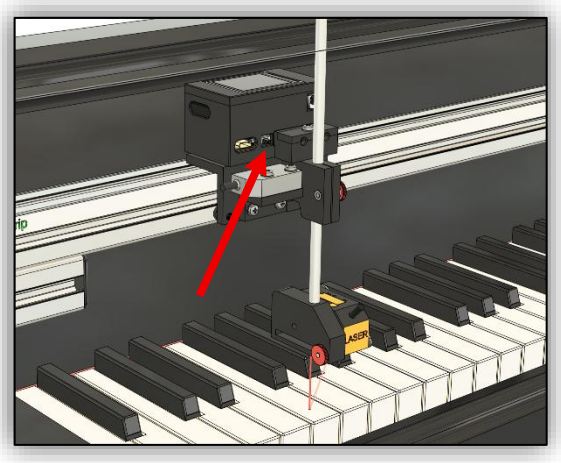
Piano Measure Pro 通过随附的红外遥控器或网页界面中的 REMOTE 进行非接触式操控，测量仪机身本身不设物理操作按键。开机启动以及开启 Wi-Fi 时，请准备好红外遥控器；此后常规按键操作亦可在浏览器中完成。

随附遥控器配备 10 个数字键、4 个方向键（上、下、左、右）、1 个确认键 OK 以及 2 个功能键（* 和 #）。

若按键响应不再灵敏可靠，请更换遥控器内的纽扣电池。

红外遥控器可能会同时触发信号范围内的多台 PMP 设备。若仅需定向操控其中某一台设备，请打开该设备的网页界面并选择 REMOTE。在双机协同模式下，请遵循对应测量界面中关于主机（Master）与从机（Client）的操作指引。

2.7 设备开机



通过控制器正面的电源开关启动设备。在开始一次完整的测量作业前，请确保电池电量已充满。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

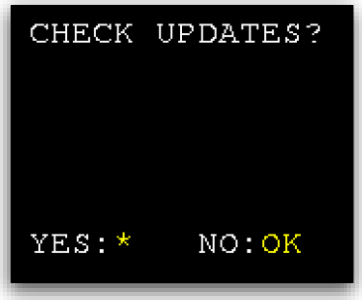
2.7.1 启动界面与联机选项



开机后屏幕显示启动界面。设备 1 会发出一声提示音，设备 2 会发出两声短促提示音。随后的各项启动询问均需使用红外遥控器进行确认。

确认启动

按 OK 键继续。若无任何输入，系统约在 10 秒后自动跳过联机询问并继续启动。按数字键 9 可将屏幕显示旋转 180°。



选择是否检查更新

当屏幕显示 CHECK UPDATES? 时，按 * 键请求检查固件更新，按 OK 键跳过。检查更新需通过本地 Wi-Fi 或手机热点接入互联网。

开启用于网页界面的 Wi-Fi

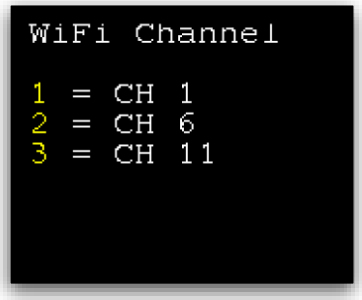


显示 USE WEB INTERFACE 时，按 * 为本次会话开启 Wi-Fi 网页界面。REMOTE 提供遥控，KEYS 显示琴键测量数据与图表，ACTION 实时显示断联距离、落距、托木接住距离和击弦距离，STRINGS 用于琴弦与弦枕钮扫描。其他功能也在首页入口。按 OK 可直接继续。

若同时跳过更新检查和 USE WEB INTERFACE，Wi-Fi 将初始保持关闭状态。在主菜单中，长按对应红外遥控按键约 1 秒即可控制 Wi-Fi：长按 1 键开启 Wi-Fi 模块及 PMP 自带接入点（AP），随后将智能手机、平板或电脑连接至该 PMP Wi-Fi；长按 2 键使 PMP 连接至本地 Wi-Fi（如 家用无线路由器）；长按 0 键则重新关闭 Wi-Fi。

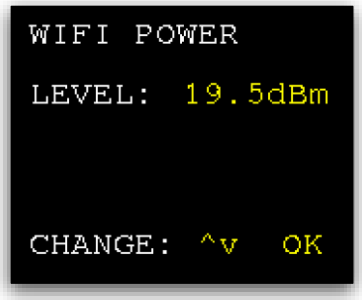
HIGH POWER USE 提示开启 Wi-Fi 后功耗会明显增加。长时间作业时，建议使用外部电源或移动电源供电。

Wi-Fi 信道与发射功率



在启动界面按 1 键可打开设备自带无线接入点的信道设置（AP CHANNEL）。若遇到连接干扰，请切换至其他信道。该设置同时适用于与浏览器的直连以及两台 PMP 设备之间的无线通信。

按 1 键选择信道 1，按 2 键选择信道 6，按 3 键选择信道 11。请留意 PMP 屏幕上显示的当前选项。

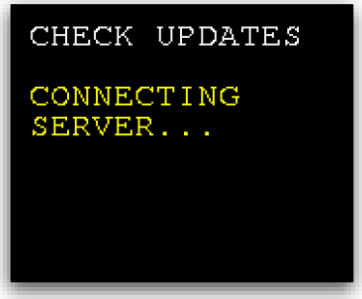


随后使用方向键选择发射功率，并按 OK 键确认保存。该设置仅对设备自带接入点（AP）生效；本地 Wi-Fi 的信道由路由器自行决定。

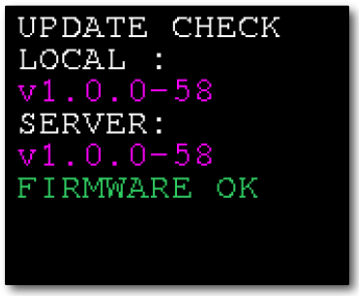
在双机协同模式下，更改信道后需重新建立连接。若连接不稳定，请先检查设备间距、遮挡屏蔽情况以及所选网络。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

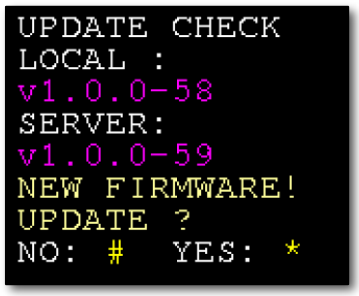
2.7.2 检查并安装固件更新



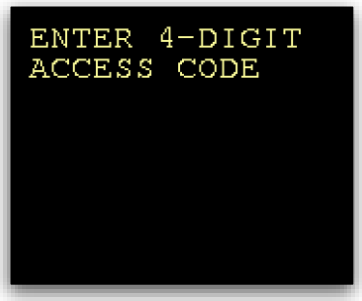
启动更新检查。开机后，在屏幕出现 CHECK UPDATES? 时按 * 键确认。此过程要求 PMP 接入可访问互联网的 Wi-Fi（例如本地 Wi-Fi 或手机热点）。屏幕显示 CONNECTING SERVER... 表示设备正在连接更新服务器。如需同时使用网页界面，请在启动询问 USE WEB INTERFACE 时一并按 * 键确认。



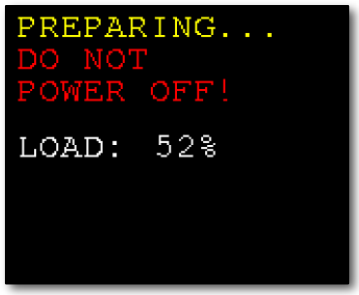
无可用更新示例。LOCAL 一行显示设备当前版本号，SERVER 一行显示服务器提供的版本号。示例中两行均为 v1.0.0-58。显示 FIRMWARE OK 表示已安装的固件为最新版本，PMP 将自动继续启动。



有可用更新示例。设备当前安装版本为 v1.0.0-58，服务器提供的新版本为 v1.0.0-59。当出现 NEW FIRMWARE! 及 UPDATE? 提示时，按 * 键选择更新，或按 # 键保留原有版本。若无输入，设备约在 10 秒后以原版本继续启动。



输入访问码。当出现 ENTER 4-DIGIT ACCESS CODE 时，使用红外遥控器的数字键输入 4 位更新访问码。每输入一位数字，屏幕显示一个星号。输入第 4 位后，PMP 将校验访问码；显示 CODE OK 即开始更新。如需获取访问码，请通过电子邮件联系索取。



下载并写入更新。PREPARING... 表示正在进行更新准备。传输开始后，LOAD 以百分比显示加载进度（图示进度为 52%）。在此期间切勿关闭设备电源。新版本固件将写入第二存储区，原版本固件同时予以保留。



重启与重试。显示 INSTALLATION COMPLETE! 后，屏幕出现 REBOOTING...，随后 PMP 自动重启并运行新版本固件。若加载过程中断（例如断电或设备卡死），下次开机时设备仍将以原版本启动。此时只需在 CHECK UPDATES? 时再次按 * 键重新执行更新即可；若屏幕显示 UPDATE FAILED，操作方式相同。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

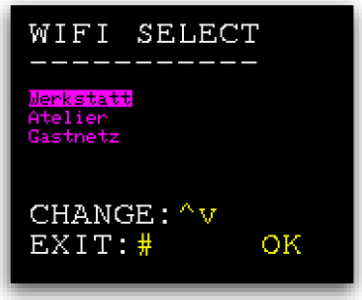
2.7.3 配置本地 Wi-Fi



进行设备操控与测量数据分析时，PMP 与智能手机、平板或电脑可共同接入同一个本地 Wi-Fi（例如 家用无线路由器）。网络配置直接在 PMP 上通过红外遥控器完成。

若 PMP 无法连接至已保存的网络，屏幕会提示 SCAN WIFI NETWORK NOW?。按 * 键扫描可用无线网络；按 # 键退出扫描，必要时可改用直连模式连接 PMP。

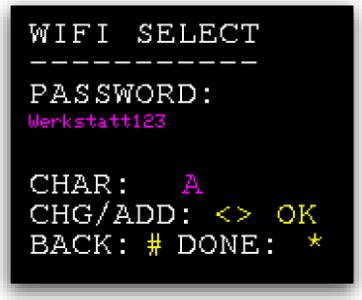
在 WIFI SELECT 列表中，使用上下方向键选择目标网络并按 OK 键确认。



输入密码

使用左右方向键在 CHAR 旁选择字符，按 OK 键将该字符填入密码栏；按 # 键删除刚输入的最后一个字符；按 * 键完成密码输入并开始连接。

连接成功后，该网络信息将自动保存。此后接入已知网络时无需每次开机重复输入密码。



已保存的本地 Wi-Fi 可在 settings > wifi > HOME WIFI 菜单下进行管理。如更换路由器或更改了密码，需重新配置相应网络连接。

外出到客户现场服务时无需依赖本地 Wi-Fi。通过 PMP 自带的接入点（AP）同样可以访问 REMOTE 及各测量数据页面。仅需访问互联网的功能（尤其是固件更新检查）才需要具备联网条件的网络。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.8 设备标识：序列号与唯一网络名称



每台测量仪在 Wi-Fi 中均以唯一网络名称广播。该名称由设备型号与机身铭牌上的序列号组合而成：

- 设备 1（配 SENSOR 1）：piano-measure-pro-XXXX
- 设备 2（配 SENSOR 2）：piano-measure-pro-2-XXXX

其中 XXXX 代表设备序列号，例如“piano-measure-pro-0023”或“piano-measure-pro-2-2024”。

唯一网络名称具有两项优势：

- 即使信号范围内存在多台设备，在台式电脑或笔记本电脑的 Wi-Fi 列表中也能一眼识别具体是哪一台设备。
- 在“scale design”功能中，主机（Master）与从机（Client）仅与各自预设的配对伙伴设备通信。因此，多套双机测量设备可在同一房间或同一无线网络下同时作业，互不干扰。



设定序列号与配对设备

新款设备出厂时已预录序列号，此情况下无需设置。对于在该功能推出前交付的旧款设备，如有需要，可一次性手动录入相关数值。

设置网络名称与配对设备

在主菜单中使用方向键选中 settings 并按 OK 键进入。

在列表中使用方向键移动至 wifi 项并按 OK 键打开。

在 WIFI 菜单中按 1 键进入 WIFI NAMES。

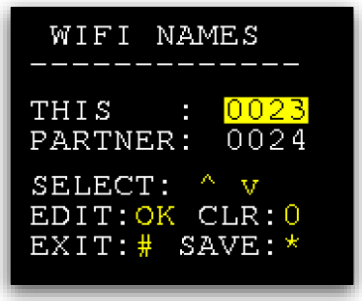
使用方向键在 THIS 与 PARTNER 之间切换。

该对话框中需填入两项数值：

THIS——当前所操作本机的序列号（严格按机身铭牌录入）。

PARTNER——同套配对中另一台设备的序列号。

录入方法：



按 OK 键打开所选栏位进入编辑状态（EDIT）。

使用遥控器数字键输入序列号，前导零无需手动输入：例如输入“23”，确认后系统会自动补全为“0023”。

按 OK 键确认当前输入。

按星号键（*）永久保存两项数值并退出对话框。

按井号键（#）不保存直接退出对话框。

重要提示

配对关系必须双向录入：在设备 1 中将设备 2 的序列号设为 PARTNER，同时在设备 2 中将设备 1 的序列号设为 PARTNER。该要求适用于 SCALE DESIGN、ACTION RATIO 及其他所有双机协同功能。

联机协同测量时，设备仅会与其已登记的配对伙伴连接，不会与其他配对组合中的设备发生耦合。

修改序列号后，设备将启用新的网络名称。使用直连方式时，请在智能手机、平板或电脑上选择对应新名称的 Wi-Fi；在本地 Wi-Fi 环境下，浏览器访问地址亦需同步更改为新设备名称。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.9 网页界面与 REMOTE

网页界面集成了虚拟遥控器 REMOTE 以及 KEYS、ACTION、STRINGS 和 SCALE 测量数据页面。它直接运行于智能手机、平板及电脑浏览器中，无需额外安装任何应用程序（App）。

2.9.1 开启 Wi-Fi 并连接浏览器

开机时按 * 键确认 USE WEB INTERFACE。或者在主菜单中使用红外遥控器长按 1 键约 1 秒开启设备自带接入点（AP）；长按 2 键约 1 秒连接至已保存的本地 Wi-Fi。

重要提示

为获得最流畅的实时显示体验，建议优先采用与 PMP 之间的无线直连（DIRECT）。若在本地 Wi-Fi（HOME WiFi）下出现延迟或卡顿，请切换至 DIRECT 模式。本地 Wi-Fi 下的传输表现受路由器距离、信号质量及网络负载等因素影响；而在 DIRECT 模式下，显示终端直接与 PMP 点对点相连。

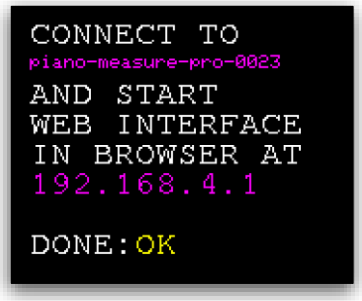


通过本地 Wi-Fi 连接

将 PMP 与显示终端连接至同一个无线网络。在浏览器地址栏中输入屏幕上显示的设备名称并加上 .local 后缀，例如：

http://piano-measure-pro-0023.local

请将数字替换为本机实际编号；若是设备 2，则使用包含 -2- 的显示名称。



也可直接在地址栏输入 PMP 屏幕上显示的 IP 地址。请注意，重新连接后路由器分配的 IP 地址可能会发生变化。

无本地 Wi-Fi 时的直连方式

在智能手机、平板或电脑上选择屏幕 CONNECT TO 下方显示的 PMP Wi-Fi。出厂默认密码为 12345678；若已在 settings > wifi > AP SECURITY 中修改过密码，请使用自定义密码。

随后在浏览器中打开：

http://192.168.4.1

直连模式下请直接使用该 IP 地址访问。此时显示终端若弹出“无互联网连接”的提示属于正常现象，请保持与 PMP 的 Wi-Fi 连接。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.9.2 Wi-Fi 状态与连接切换



在主菜单中，绿色的 WIFI 图标表示已连接至本地 Wi-Fi；橙色则表示当前仅启用了设备自带接入点（AP）。

在主菜单按 * 键可打开 WIFI STATUS 界面。该界面显示已保存的本地 Wi-Fi 名称、连接状态（CONNECTED 或 NOT CONNECTED）、本地 Wi-Fi 中的 IP 地址，以及设备自带接入点（AP）的信道、发射功率与设备名称。继续按 * 键可翻阅其他状态页面。

作业过程中控制 Wi-Fi

在主菜单中长按红外遥控器上的对应按键约 1 秒：1 键开启设备自带接入点（AP），2 键将 PMP 连接至本地 Wi-Fi，0 键关闭 Wi-Fi。

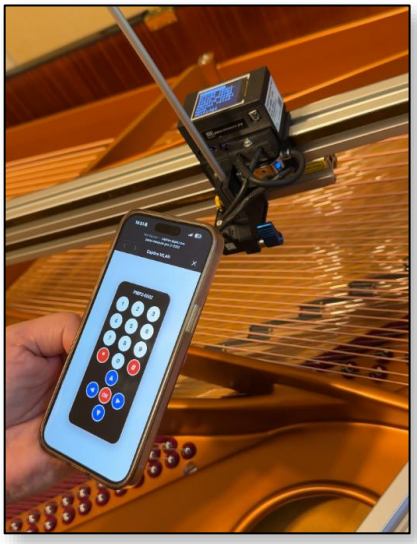
上述长按操作必须通过红外遥控器执行。网页端 REMOTE 仅发送单次点按指令，且无法重新开启已关闭的 Wi-Fi 连接。

本地 Wi-Fi 处于激活状态时，设备自带接入点（AP）也会同步保持可用。切换网络后，请在浏览器中打开与之对应的访问地址：在本地 Wi-Fi 下使用带 .local 后缀的设备名或屏幕显示的路由器 IP；在直连模式下则使用 192.168.4.1。

在切换浏览器地址或更换显示终端前，请先点击 SAVE 将当前乐器测量进度保存为 .pmp 文件。若重新打开页面后未显示测量数据，点击 LOAD 导入该文件即可恢复。

当网页无法访问时

请核查 PMP 上的 Wi-Fi 状态以及显示终端当前实际连接的无线网络。如果在本地 Wi-Fi 中 .local 域名无法解析，请直接改用屏幕显示的 IP 地址。使用直连模式时，请确认显示终端未自动断开并仍保持连接在 PMP Wi-Fi 上。

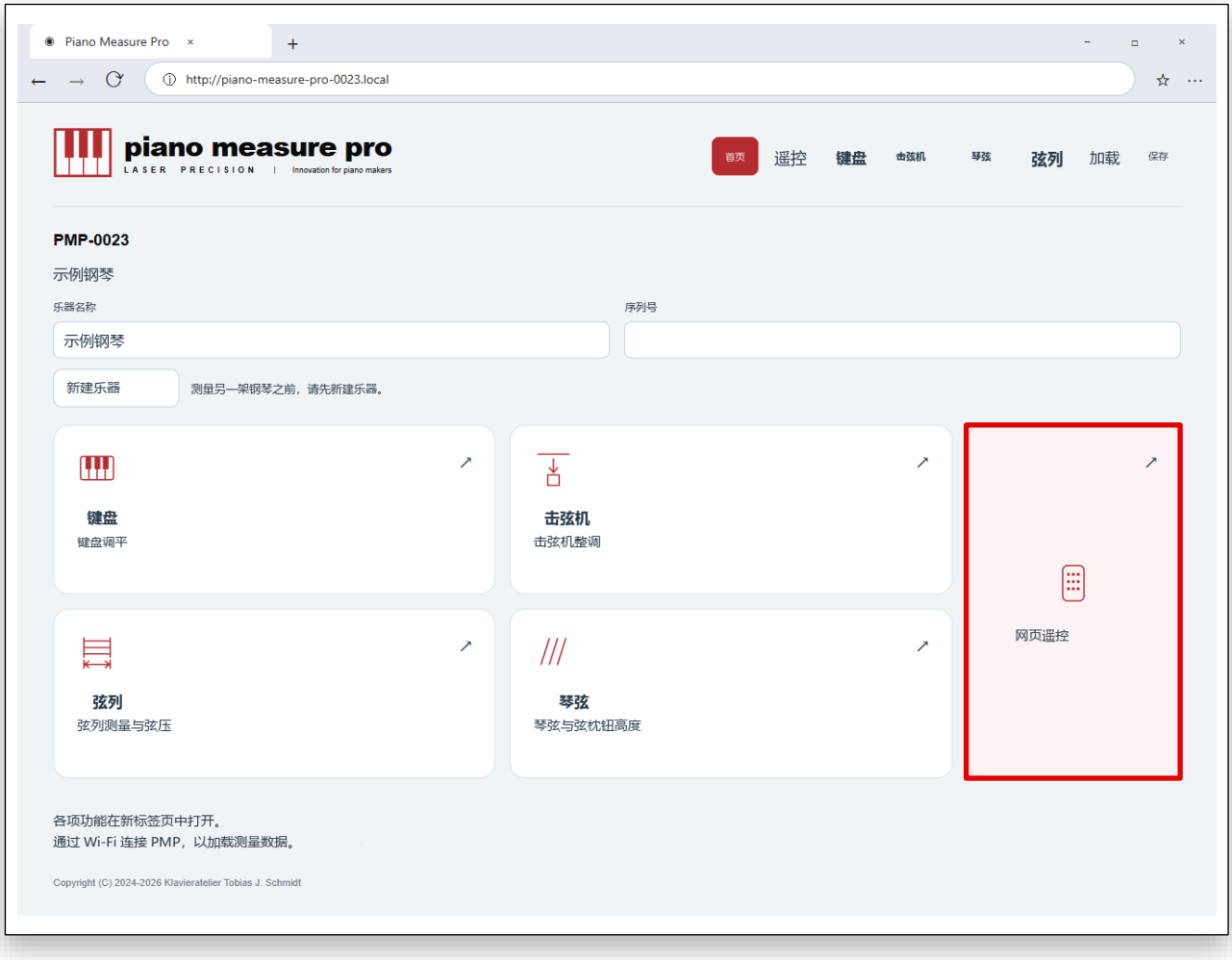


在钢琴旁通过智能手机操作 WEB REMOTE。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.9.3 打开首页并选择 REMOTE

输入设备地址后，首先打开的是网页界面首页。点击界面上的 Remote control 磁贴或顶部导航栏中的 Remote 选项，遥控器界面将在新的浏览器标签页中打开，同时首页标签保持开启，便于随时切换至各测量数据页面。

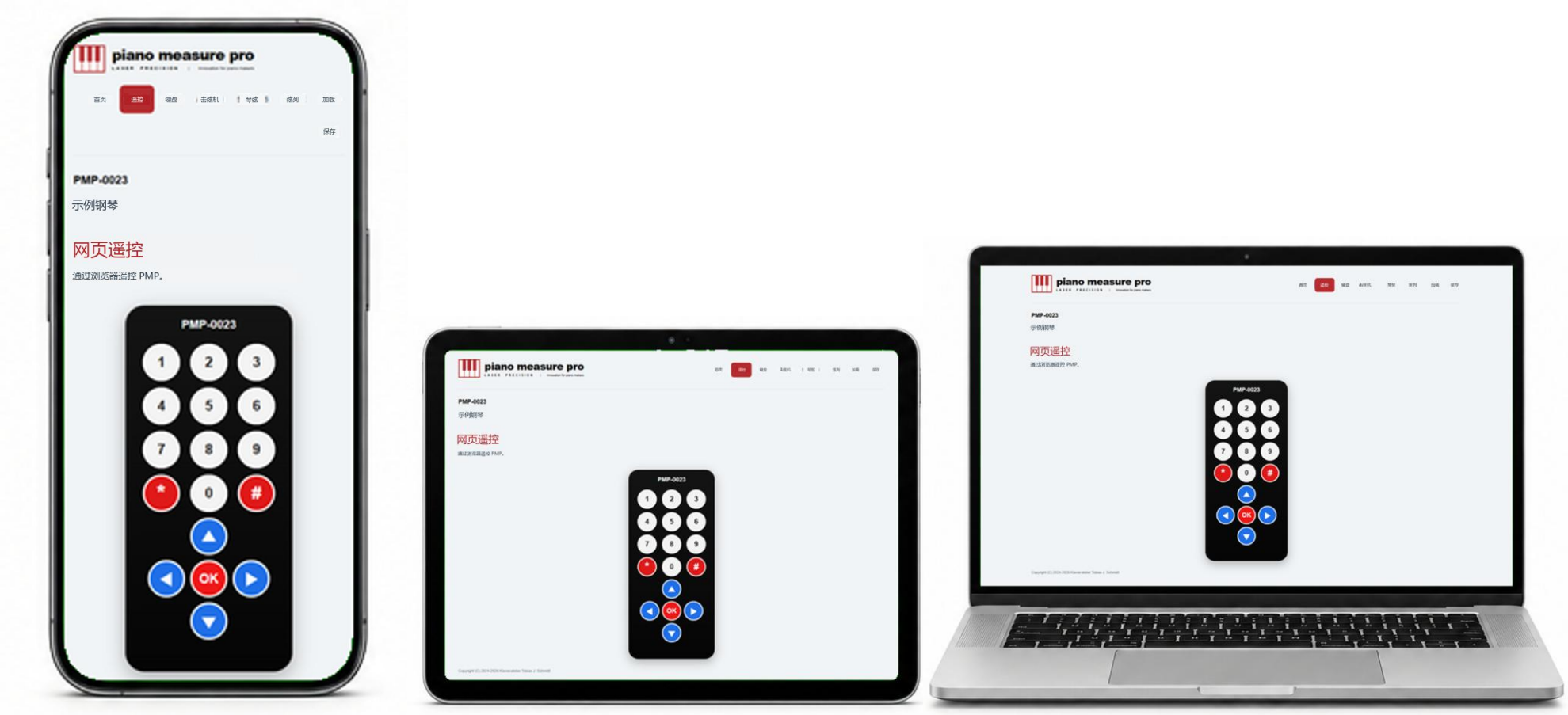


示例中通往遥控器的入口已用红框标出。实际使用时，请将示例地址替换为您本人 PMP 设备的访问地址。（注：界面截图中示例乐器名栏位显示为德语示例文本“Beispielinstrument”。）

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在智能手机、平板及笔记本 / 台式电脑上使用 REMOTE

在智能手机上，可根据需要放大页面视图，使虚拟遥控器尽可能填满屏幕；对于超出当前可视区域的按键，滑动页面即可操作。各测量功能页面与 REMOTE 均会在各自独立的浏览器标签页中打开。根据终端设备及浏览器性能，亦可并排显示多个视图窗口。



图示各终端均显示相同的 REMOTE 操控界面。每次操作仅对浏览器当前所打开地址对应的那一台 PMP 设备生效。

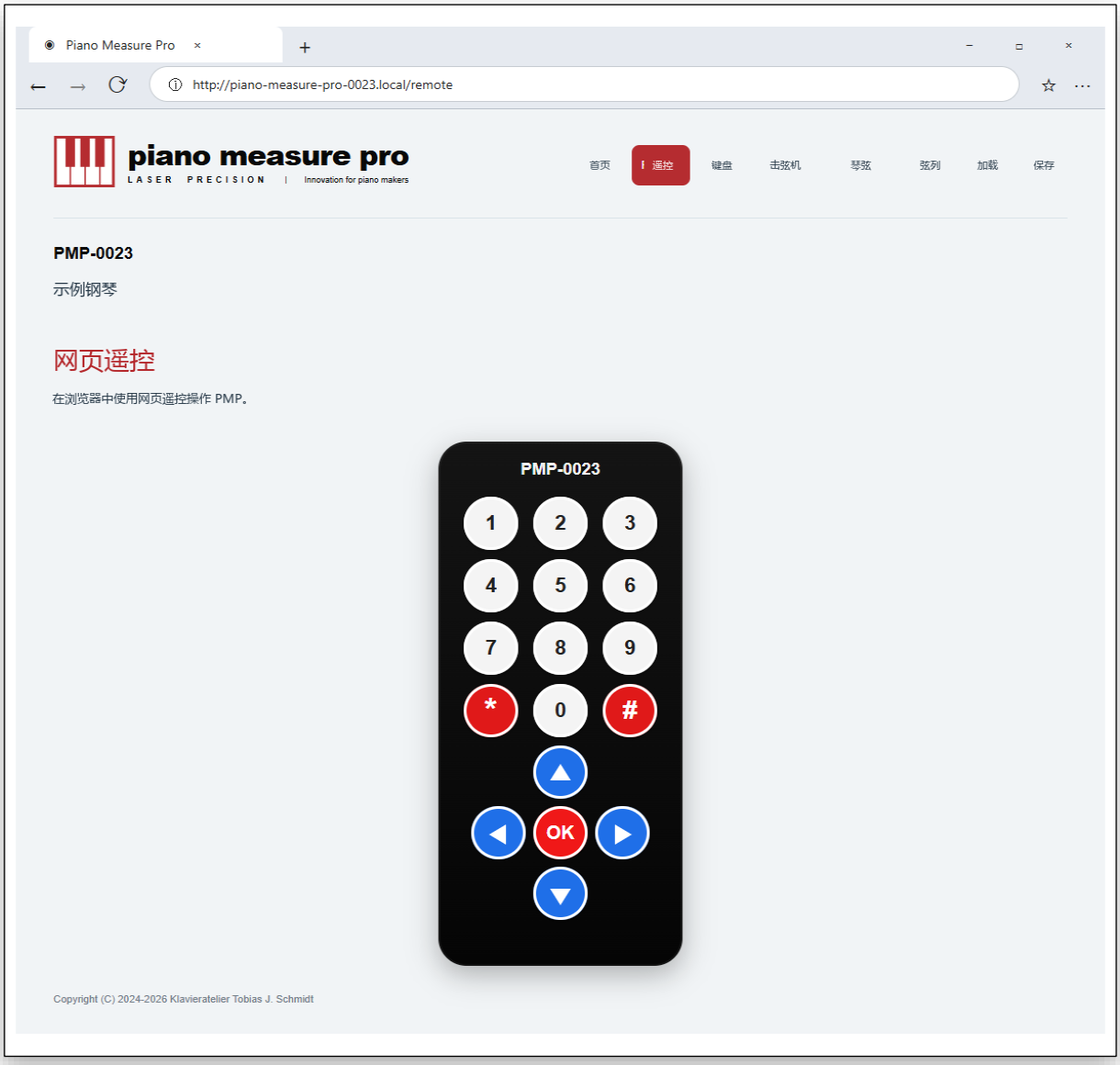
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2.9.4 使用 REMOTE 操作

轻按数字键、方向键、OK、* 和 # 键时，其功能与红外遥控器上的对应按键完全相同。当前对话框具体应按哪一按键，以 PMP 屏幕上显示的指令提示为准。

点击按钮一次后请观察 PMP 屏幕的响应。浏览器中的每次点击仅发送单次按键触发信号，无法模拟红外遥控器的长按功能或长按连发操作。

REMOTE 页面仅提供遥控按键界面，实时测量读数与对话框反馈仍需在 PMP 设备屏幕上查看。如需进行测量数据的图形化分析，请打开对应的 KEYS、ACTION、STRINGS 或 SCALE 页面。

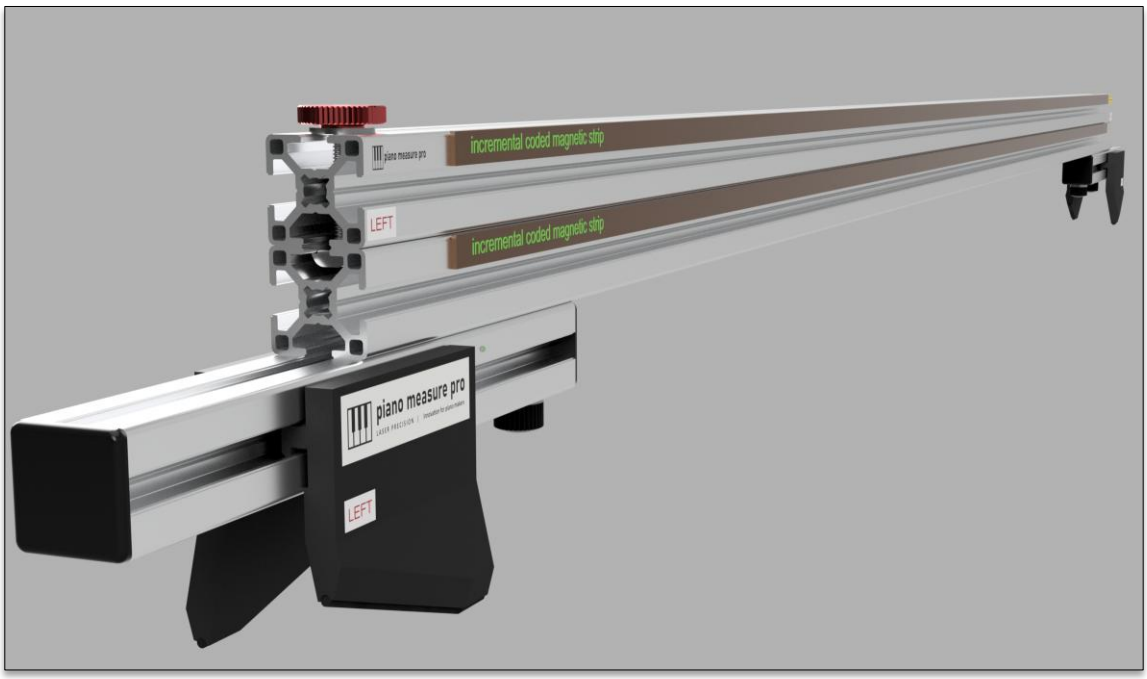


红外遥控器与 REMOTE 可同时并行使用。现场有多台设备时，操作前请核对浏览器地址及遥控界面上方显示的设备编号。设备重启或关闭 Wi-Fi 后，需先重新建立无线连接。

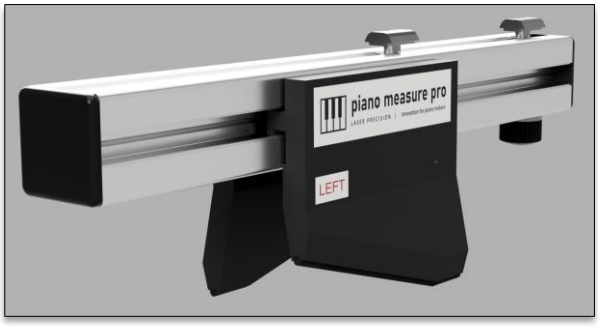
为确保 REMOTE 响应迅捷以及 ACTION 实时显示画面流畅，采用与 PMP 的无线直连模式往往更具优势。在本地 Wi-Fi 下，响应速度还会受网络负载、信号质量以及中继器等因素影响；若出现明显延迟，建议尝试切换至 PMP 直连模式。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

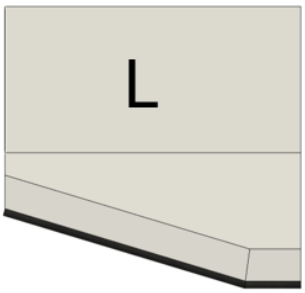
3 放置导轨

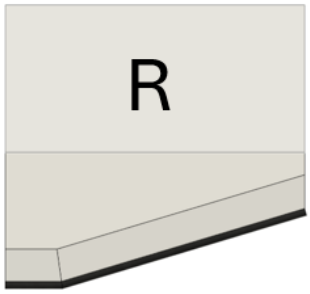


如需将导轨架设在键盘上方，或在三角钢琴上将其架设于弦槌上方（action regul.）以及待校平琴弦上方（string level），请先将两根短导轨从左右两端分别滑入长导轨底部的型材槽中。



每根短导轨上均配有前后两个支脚（前支脚与后支脚）。图示中前支脚分别标有“R”（右）和“L”（左），该标记仅作示意之用；实际安装时，凭借其左右对称的镜像外形即可清晰区分方向。



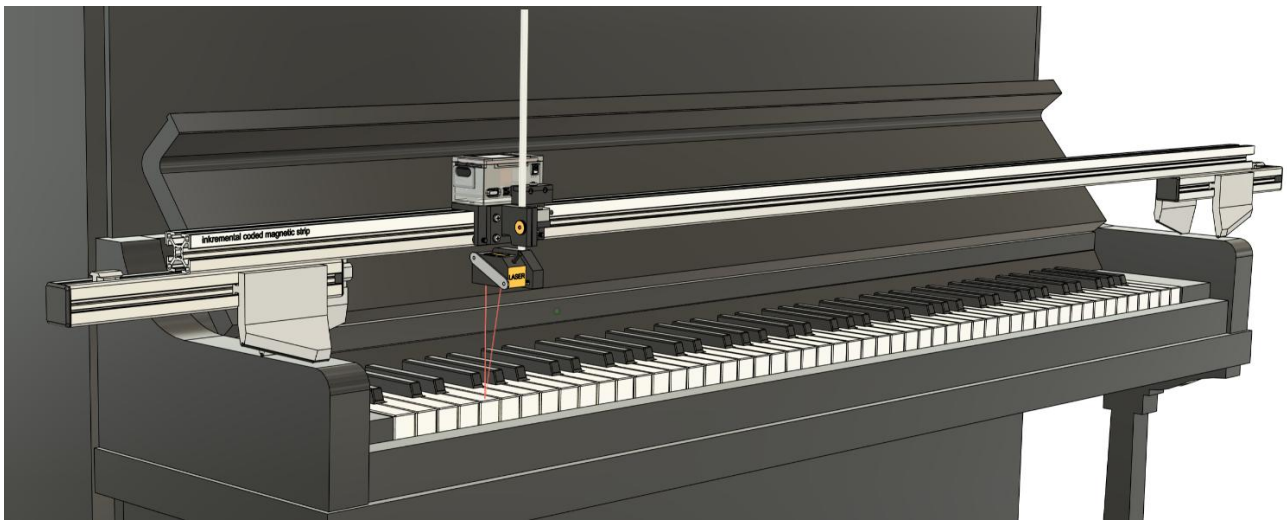


调整短导轨的位置，使支脚位于琴壳两侧边缘（键盘两侧琴壳）上方。前支脚作为主承托面，调整时须使橡胶支承面的水平部分平整贴合在琴体外壳上；右支脚的斜角橡胶支承面抵靠琴体右侧壳缘，左支脚的斜角橡胶支承面相应抵靠左侧壳缘。

其中一个后支脚用于微调整根导轨沿其纵向轴线的倾角；调好后再将另一侧的后支脚轻推抵住琴壳，使整根导轨稳固贴合、无晃动虚浮。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4 功能“key level”——键盘调平 / 键深调整





4.1 键盘 / 击弦机准备工作

开始测量之前，应对键盘连同击弦机进行细致准备，以确保每枚琴键均具备高度的重复定位精度。此处所指的重复定位精度，是指琴键在按下并松开后，无论弹奏力度轻重、采用断奏（staccato）还是连奏（legato），都能始终精确返回到完全相同的初始静止位置。

重复定位精度受以下因素影响：

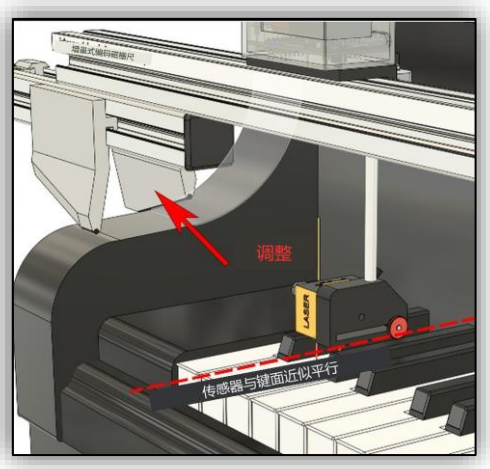
- 键孔呢：必须处于良好状态。磨损松旷的键孔呢或过紧的新呢毡都会导致测量误差。
- 琴键姿态（横向倾斜 / 歪键）：在键盘调平之前，应在中销钉处对轻微倾斜的琴键进行校正，使琴键前端完全端正水平，并用短直尺加以检验。现在亦可借助 PMP 便捷地检测和修正琴键横向倾斜（参见后文“CANT ADJUST：修正单枚琴键的横向倾斜”一节）。同时，应通过相应校正前销钉，将键缝（相邻琴键之间的间隙）尽可能调整均匀。
- 琴键自然下落检查：琴键中销孔的孔径必须适当，将琴键套上中销钉时应能缓慢、均匀地自行下落，键孔呢不得阻碍其顺畅滑落。若琴键偏紧，在日常上门维保时可先对销钉进行脱脂清洁（如使用丙酮或异丙醇），必要时加以抛光，最后涂覆专用聚四氟乙烯（PTFE）基润滑剂。若仍不够顺畅，则须使用琴键底孔铰刀适当微扩孔径。
- 击弦机承重与琴键静止位置：立式钢琴须调好卡钉，使联动器、弦槌柄和弦槌的重量将琴键后端压在键架后档毡上，使前端处于正确的上止位置。也可拆下立式钢琴的弦槌背档，使琴键经顶杆直接与转击器接触。三角钢琴只须确认所有弦槌柄均悬在弦槌休止档上方，未搭靠在休止档上，否则会影响琴键前端的静止位置。

现在同样可以使用 PMP 直接测定重复定位精度。只需连续执行多次扫描并进行对比（COMPARE 功能），在相邻两次扫描之间用长直尺将所有琴键用力按下并放开，即可立即识别出异常琴键。详情请参见后续章节。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.2 校准导轨

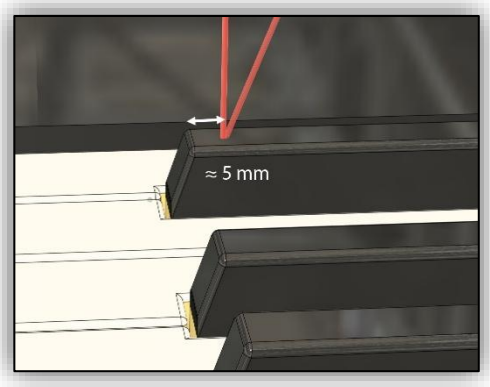
4.2.1 调整位置与角度



校准时，将设备架设到导轨上，使激光测距传感器位于导轨后方、黑键区域的上方。

调整导轨姿态，使激光束尽可能垂直射向白键表面。为此可将传感器臂（圆杆）大幅向下滑移，以传感器外壳下沿作为参照基准线，目测将其调至与白键表面平行（轻微偏差并无影响）。调节时移动其中一个后支脚，使导轨绕其纵向轴线倾斜；随后移动另一侧后支脚，直至导轨稳固放置、不再晃动（另见第 3 章“放置导轨”）。接下来调节激光的水平前后位置：将传感器重新向上推起，以便观察激光光斑落在第一枚和最后一枚黑键上的位置。

前后微移导轨，使光斑尽可能落在黑键靠前的位置——理想位置为距黑键前沿约 5 mm 处（该处对应黑键最高点）。随后将测量主机翻转 180° 放回导轨，检查光斑落在白键上的位置：若位于白键前沿往后约 5 至 15 mm 处，则位置合适。若不在该范围内，可在传感器臂底部的长圆孔内水平移动传感器：松开翼形螺钉，将传感器略微前移或后移。对于琴键尺寸非标的古旧钢琴，该项微调尤为实用。



确认首尾琴键上的光斑位置均准确后，调节激光传感器的高度：当光斑落在白键前沿往后约 5 至 15 mm 处时，使传感器本体屏幕上的读数尽可能接近 0。负值表示传感器位置偏高，正值表示位置偏低。此处无需调至精确的 0，此举仅用于将传感器置入最佳测量量程范围内。

建议测量琴键时选用量程 30 mm 的传感器。向上 15 mm 可覆盖通常比白键高约 12 mm 的黑键；向下 15 mm 可覆盖通常约为 10 mm 的白键键深。

最后应再次检查导轨是否稳固、是否存在重新晃动的现象。如有晃动，可将其中一个后支脚略微向外移离琴壳，再轻柔推回抵紧琴壳。更多细节请参见第 3 章“放置导轨”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.2.2 导轨的重复定位校准

在部分作业场景下，需要使导轨在琴壳上键盘上方能够重复精确地恢复到前一次测量时的完全相同位置。

典型场景包括：

- 在三角钢琴上完成白键和黑键键高测量后，若后续测量键深前需将击弦机从键盘架上拆离：此时必须暂时取下导轨，以便抽出整套击弦机键盘、拆下击弦机后再将键盘推回琴体。
- 中途需将导轨用于另一台钢琴，数日后再回到当前钢琴继续作业。
- 在 LIVE 模式下修正键高或键深时，不慎碰触到导轨导致其轻微移位。

为确保日后能将导轨精准还原至初次测量时的位置，建议在导轨及琴壳上做好细小的定位标记。

一种实用的做法是在左右两侧琴壳内侧贴上无残胶可移除美纹纸胶带，并在胶带上画出细线，标明导轨前支脚的精确位置。

此外，还可用铅笔在导轨本体上作以下小标记：

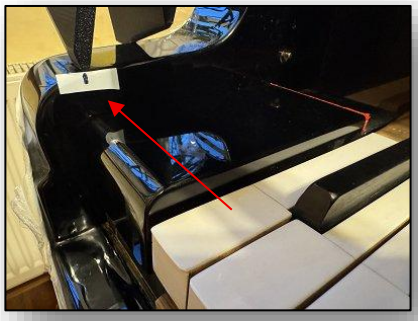
标记两根短导轨插入长导轨的深度位置。

标记各个支脚在短导轨上的安装位置。

借助这些标记，后续随时都能按初始测量时的完全相同构型重新架设导轨，从而可靠地使用 LIVE 实时测量模式对琴键进行微调修正。

重要提示

传感器臂同样必须重新校准至与初始测量时完全一致的高度。具体操作步骤详见关于 LIVE 实时测量模式的章节。





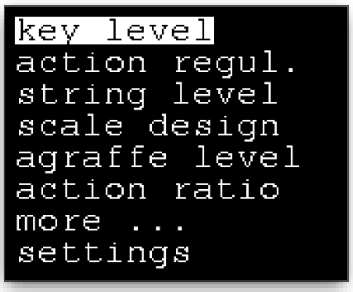






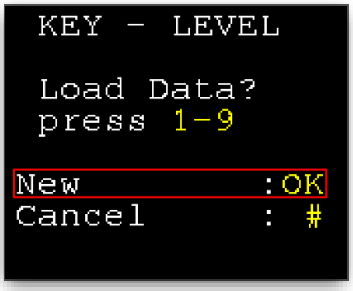
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.3 开始测量



在主菜单中使用方向键选中“key level”并按 OK 键确认。随后的对话框提供 9 个存储槽位：按数字键 1 至 9 加载已有数据集；选择 New: OK 开始新测量；按 # 键取消返回。

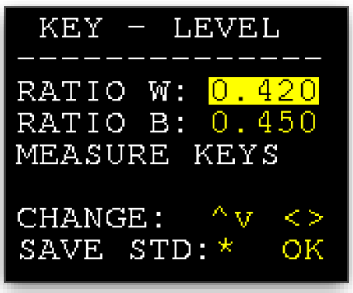
旧版本中“flat”与“curve”的前置选项现已取消。开始新测量时，系统会自动测定整副键盘的拱曲度并以 CROWN 显示；直至采集完成后，技师再自行决定是保留该键盘拱度、加以修改，还是将其设为 0。CROWN = 0 即生成一条平直的基准直线。



在接下来的对话框中可设定键杆比。您既可以用卷尺手工测量琴键并自行计算录入数值（用上下方向键在白键与黑键杠杆比之间切换，用左右方向键调整选中数值），

也可以选择“MEASURE KEYS”，进入新对话框直接使用激光和线性编码器便捷地自动测定键杆比（参见第 4.11 节“测量键杆比”）。

键杆比用于根据琴键前端测点处的高度偏差，换算出中销档处所需的纸垫圈厚度。例如，当杠杆比为 0.42 时，前端 0.10 mm 的高度变化对应中销档 0.042 mm 的纸垫圈厚度。



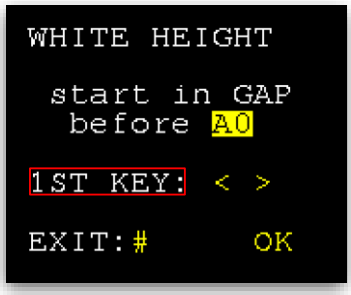
精确的键杆比也可在采集完成后再行测定和输入；采集阶段先使用常规经验值（例如 0.42）即可。已保存的数据集在关机后仍会保留，杠杆比可留待后续修改（例如待三角钢琴拆下击弦机并取出一枚琴键测量后再作更新）。在正式加减纸垫圈调平前，请务必输入实测键杆比，系统将随之自动重算纸垫圈组合与评估颜色。按星号键（*）可将当前设定值存为默认标准值，下次开机进入该功能时自动沿用。

激光直接测得的距离数值与键杆比无关。杠杆比对键高分析及颜色分级的影响详见后文“评估颜色与凹陷补偿”一节。在 PLAY 选择界面中按 * 键可打开杠杆比设置；按 SAVE STD: * 保存为默认值，按 OK 键继续下一步。

加载已有数据集仅载入之前记录的测量数据，并不会自动建立当前实时测量（LIVE）所需的空间基准。相关注意事项请参阅“WHITE LIVE（白键实时测量）”一节。

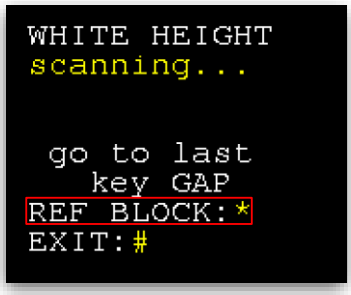
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4 测量键高（白键）



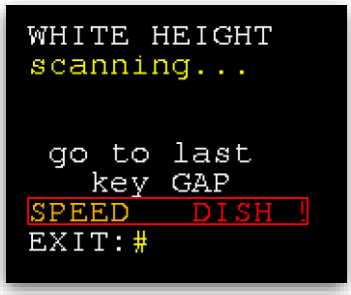
在 1ST KEY 项使用左右方向键选择该钢琴实际的第一枚琴键（支持 A0、G0、F0 和 C0）。将激光移至该首枚琴键左侧外缘缝隙处（或略偏左落在键侧木上），然后按 OK 键确认。

随后匀速向右推动传感器扫过整副键盘。屏幕显示“scanning”，系统通过检测键缝来识别琴键序号并计算每枚琴键的中心位置。



完全扫过最后一枚白键，并在其右侧外缘缝隙处停住，不再要求精准停在该键中心。略微多推至右侧键侧木上亦可；为确保系统明确判定扫描结束，应完全穿过最右侧外缘缝隙，到达终点后完全静止即可结束测量。

为可靠、完整地采集 CANT（琴键横向倾斜）与 DISH（磨损形成的键皮凹陷）数据，请适当放慢滑行速度。速度偏快时，屏幕右侧的 DISH！会先变为橙色，继续加快则变为红色，此时应减速推行以确保键面轮廓完整采集。若速度进一步过快，左侧还会出现橙色的 SPEED 警告。若仅需测定键高，可在不触发 SPEED 警告的前提下稍快扫描；若 DISH 数据不完整，系统将按后文所述算法仅取琴键中心 ±8 mm 区间进行评估。一旦触发 TOO FAST，本次扫描将被中止，短暂提示后自动返回起始对话框。此时将传感器推回第一枚琴键左侧外缘缝隙，按 OK 键确认并以更慢速度重新扫描。此前已完成的重复测量记录不会丢失。



如需同时测定白键相对键盘前档或中盘的绝对键高，请在向右扫键之前先按 REF BLOCK:*（如中图所示），具体步骤见下一节。如无需基准测块参照，则直接向右扫至高音端终点即可。绝对键高测量尤其适用于钢琴大修或新琴装配时，需要将整副键盘从零设定至全新标准高度的情形。

若键盘整体高度已大致符合标准，仅需在既有平面内调平高差（例如常规上门调律整理服务），则无需测定白键相对键盘前档的绝对高度。此情况下直接开始扫键测量即可，可跳过下一节。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

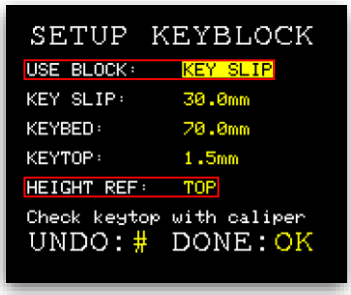
4.4.1 使用基准测块测定绝对键高



借助基准测块参照，可测定白键相对于某一已知支承面的绝对高度。可选支承面包括键盘前档 / 键盘前档（KEYSLIP）以及中盘或测块实际放置平面（KEYBED）。即使不使用测块基准，依然可以依据系统计算出的拟合基准线完成键盘调平。

采集前设定基准测块与基准边

SETUP KEYBLOCK 既可通过 settings > key-block 进入，也可在按下 REF BLOCK:* 启动基准采集、屏幕显示左侧测块提示后，直接按 BLOCK:* 打开设置。使用上下方向键选择栏位，左右方向键修改数值（步进为 0.1 mm，长按可快速连续增减）。



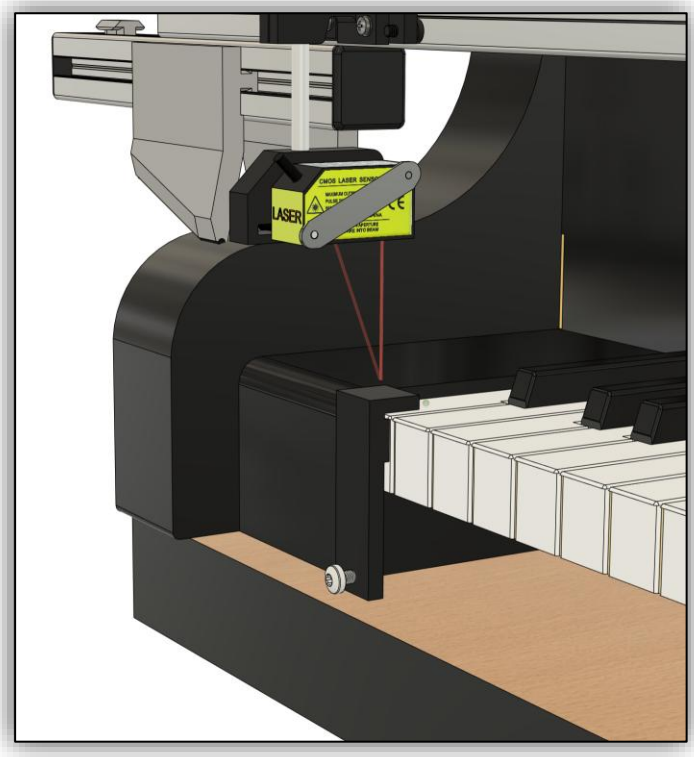
USE BLOCK 用于选择支承面类型：KEYSLIP 或 KEYBED。在 KEY SLIP 和 KEYBED 栏位中分别填入实际所用基准测块的高度，两项数值独立保存。典型高度示例：置于键盘前档上的测块为 30.0 mm，置于中盘上的测块总高为 70.0 mm。

HEIGHT REF 用于规定屏幕所显示键高的基准边：TOP 代表白键键皮上表面，UNDER SIDE 代表白键前端水平键皮挑檐的下沿。

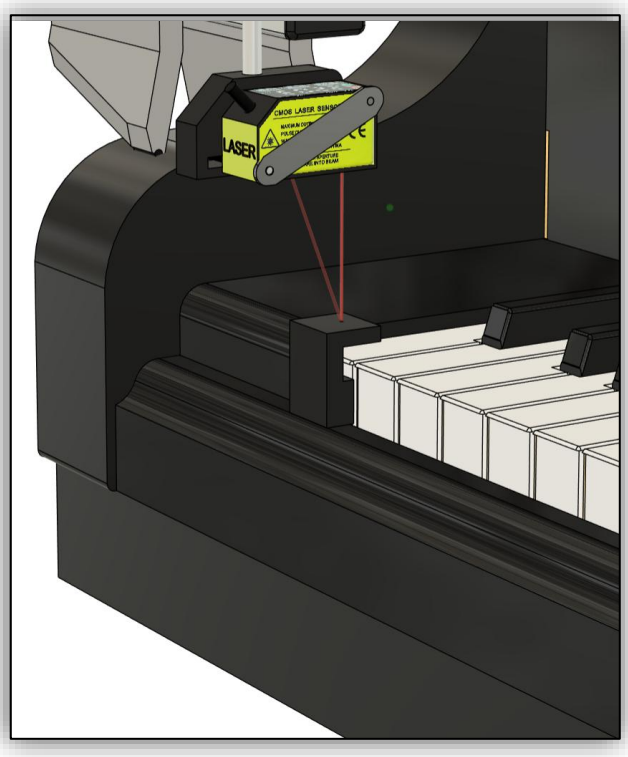


选择 UNDERSIDE 时，须用游标卡尺实测键皮厚度并填入 KEYTOP 栏，PMP 将自动予以扣除换算：例如使用 70.0 mm 测块且键皮厚 1.5 mm 时，PMP 内部按 68.5 mm 计算；使用 30.0 mm 测块时按 28.5 mm 计算。但在测块高度栏内仍应填写测块自身的完整实际高度（70.0 mm 或 30.0 mm）。

中间屏幕图展示的是 KEYSLIP / TOP 配置，下方图展示的是 KEYBED / UNDERSIDE 配置。两种支承面均可自由搭配上述两种基准边。上方屏幕图中黄色文字即为 KEYBED / UNDERSIDE 的测块放置提示。按 UNDO:# 可恢复打开界面时的原有数值并保持设置对话框开启；按 DONE:OK 确认应用设置并关闭对话框。



用于 KEYBED 测量的 70 mm 基准测块（可选购配件）
直接支承于中盘表面

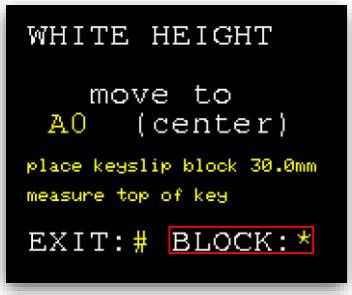


用于 KEYSLIP 测量的 30 mm 基准测块
支承于键盘前档 / 键盘前档上表面

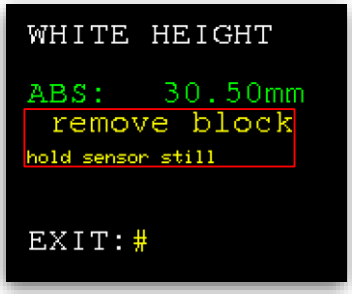
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

采集左右两端的测块基准

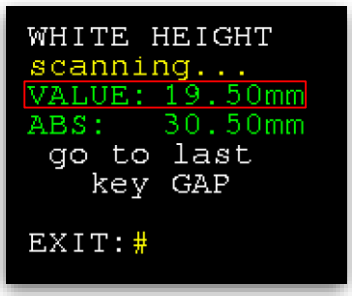
以下图示序列展示了采用 KEYSLIP / TOP 及 30.0 mm 基准测块的完整采集流程。按下 REF BLOCK:* 后，屏幕出现左侧测块放置提示。将传感器移至第一枚白键中心上方，将基准测块贴靠琴键前端并平稳放在键盘前档上，使其顶部测量面处于激光光斑正下方。此步骤无需额外按键确认开始。



最上方屏幕图中的黄色提示行标明了当前所选支承面、测块高度及基准边。如有需要，可在放置测块前按 BLOCK:* 打开设置修改。此后左右两端均须采用完全相同的配置进行测量（前一页单独列出的 KEYBED / UNDERSIDE 示例即为另一种可选配置）。



保持测块稳定不动，直至听到提示音确认采集完成。随后 PMP 提示“remove block”要求移开测块（第二张图）。取走测块，同时保持传感器原地完全静止不动；待系统自动重新测完裸露的白键表面后，VALUE 处才会显示该键高度（本例为 19.50 mm，见第三张图）。注意：ABS 属于测块自身读数，并非琴键高度。随后直接向右滑行继续扫描即可，无需退回起始缝隙，因为前半段行程已经记录。



扫描至高音端时，先完全扫过最后一枚白键并穿过其右侧外缘缝隙；待屏幕出现右侧测块基准提示后，再退回至最后一枚白键中心（最下方图以 C8 为例）。将同一个基准测块放在相同的支承面上并保持静止；提示“remove block”后取走测块，与左侧相同，保持传感器不动直至系统完成裸露琴键的二次测量。

右侧测量强制沿用左侧设置，无法在右侧单独重选，因此 BLOCK:* 仅在左侧测块提示界面提供。整个左右两端测块采集期间，导轨位置必须保持纹丝不动。完成右侧采集后，即可评估左右两端的绝对键高。



后续显示的基准端高 L 和 R 对应系统计算出的拟合基准线以及所选基准边。如果首尾两枚边缘琴键本身偏高或偏低，L、R 值可能会与直接测得的边缘键高略有差异。在随后的键盘调平之前，可通过 WHITE TRIM 调整该基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

从中盘起算测量：KEYBED 与辅助垫块



选择 KEYBED 时，高度基准以测块实际放置的支承平面为准。在工作台上作业时，若键盘架同样直接平放在工作台面上，则该台面即为基准面。任何额外垫片或支承物都会改变高度基准，因此测量前须检查架设状态，并在后续复检中保持一致。

如图所示，也可配合使用已知高度的辅助垫块。例如，将 30 mm 基准测块叠加放在 40 mm 辅助垫块上，则距底部支承面的总高度为 70.0 mm。此时将 USE BLOCK 设为 KEYBED，并在 KEYBED 栏填入 70.0 mm，PMP 将直接显示相对底部支承面的键高，无需事后再人工加回 40 mm。

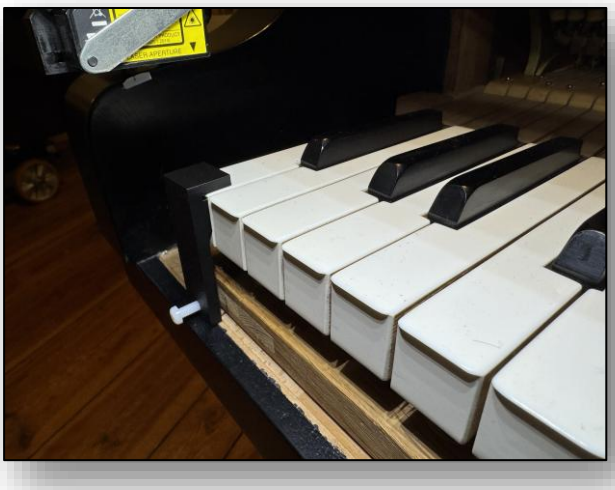


两端测块的顶面都须处于传感器量程内。早期说明曾建议使用 50 mm 垫块；对于 30 mm 量程的传感器，40 mm 垫块留有更多余量。例如键面高出中盘 65 mm，30 mm 测块加 50 mm 垫块会使测量面升至 80 mm，比键面高 15 mm。

若量白键时传感器在量程中点显示 0.00 mm，此时已达 ±15 mm 的量程边缘。改用 40 mm 垫块，测量面为 70 mm，仅高出键面 5 mm。

若所测键盘整体偏低，放上基准测块时可能会将白键略微压下。这对测块基准采集并无影响，因为无测块时的真实键高会单独测量，放入测块时仅采集测块顶面高度，PMP 将综合两次读数计算出白键相对于所选支承面的真实高度。

该架设方式下同样可选用 TOP 或 UNDERSIDE。选择 UNDERSIDE 时，PMP 会自动扣除 KEYTOP 中录入的键皮厚度；组合测块的总高度栏仍填写实际总高，无需手动扣减。

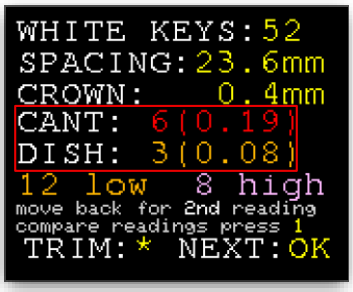


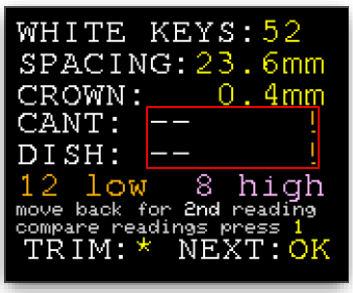


70 mm 长型 KEYBLOCK。将测块上部平贴白键前端，转动螺钉使测块垂直。螺钉尖端抵在下方的键盘架上。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.2 评估测量结果：CROWN、CANT 与 DISH







采集完成后，屏幕显示白键总数、键距（SPACING）以及键盘拱度（CROWN）。CROWN 表征整副键盘的整体拱曲度。其下方分别列出 CANT 与 DISH 的异常琴键数量，并在括号内标出最大偏差值。“low / high”一行分别统计低于和高于所选键高基准的琴键数量。

CANT 表示扣除整副键盘共同基准倾角后，单枚白键自身的横向倾斜量。读数按 20 mm 键宽折算标定：正值表示该键右侧高于左侧。切勿将 CANT 与 TILT 混淆——TILT 表示整副键盘基准线从低音到高音的整体倾斜度。

DISH 表征白键键面中部相对于其左右边缘连线的平直度轮廓。单键负值表示键面存在凹陷（长期弹奏磨出的键皮凹槽）；在结果总览界面中，最大凹陷深度以正绝对值形式显示。向上凸起的键面不计为凹陷。

CANT 和 DISH 的计数统计所有评级为橙色或红色的琴键，总览项的显示颜色取决于其中的最大值。分级阈值已综合考虑白键的键杆比（详见“评估颜色与凹陷补偿”一节）。若无异常琴键，对应总览项显示为绿色。

若出现橙色感叹号“!”，表示本次采集存在数据缺失，多数情况下是由于扫描推动速度过快所致。若缺失的 CANT 或 DISH 数据超过 5 枚，该对应轮廓项将仅显示“--!”。切不可将此显示误解为“所有琴键均端正”或“不存在键皮凹陷”。

仅当当前采集获得了全部白键的完整 DISH 数据时，系统才会启用键高自动凹陷补偿。只要缺失哪怕 1 个 DISH 数值，本次采集的所有琴键都将回退至常规算法，即仅取琴键中心 ±8 mm 范围内的所有采样平均值进行计算。进入下一步前，屏幕将弹出提示，按 OK 键确认即可。

若存在严重的琴键横向倾斜，应先对歪键进行校正调直，然后再重新扫描测量。

新增功能：DISH 与 CANT

PMP 现已支持自动识别键皮凹陷以及左右歪斜的琴键。

CANT：横向倾斜的琴键



琴键一侧边缘高于另一侧。PMP 可显示倾斜程度，并可借助 CANT ADJUST 在校正调直过程中实时精准核验。

DISH：磨损凹陷的键皮



长期弹奏磨损会在键皮表面形成凹槽。PMP 能够识别该凹陷，并在键面轮廓完整采集的前提下，于键高测量中自动予以补偿。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

评估颜色与凹陷补偿

PMP 采用红绿灯三色体系对各项偏差进行分级评估，便于技师一眼锁定需要重点检查的琴键：

绿色：正常无异常。橙色：轻度异常。红色：明显异常。

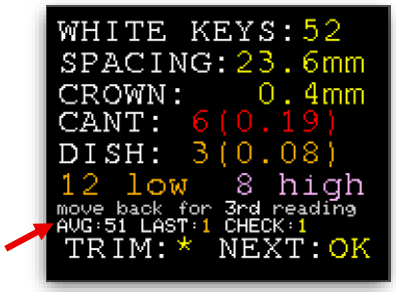
系统何时启用凹陷补偿?

对于评级为橙色或红色的键皮凹陷，PMP 会在键高测量中自动进行补偿，前提是所有白键键面轮廓均已完整采集。评级为绿色的轻微凹陷无需补偿。

只要缺失任意一个 DISH 值，整次采集都不会启用凹陷补偿，屏幕将以 DISH MISSING 和 DISH CORR: OFF 作出提示。如需启用该补偿功能，请以更慢速度重新完整扫描整副键盘。

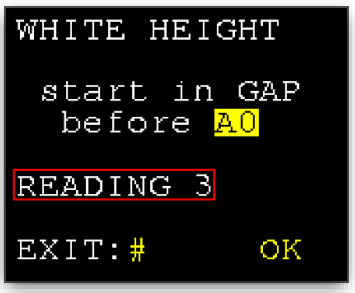
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.3 重复测量与复位精度检查



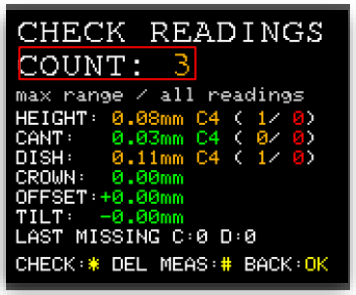
重复测量尤其适用于检验琴键的复位精度，即每枚琴键在弹奏松开后，能否稳定可靠地回到初始静止位置。只有当琴键静止位具有足够的一致性时，调平后的键高才能长久保持精准。

在相邻两次扫描之间，请参照常规键盘调平做法，用长直尺将所有琴键用力按到底并令其完全回弹复位，期间切勿碰动导轨或传感器臂，随后再执行下一次扫描。若两次连续扫描之间未按压琴键，则主要检测的是测量架设与传感器自身的重复精度，而非琴键的机械复位性能。



执行重复测量时，在结果界面下直接将传感器推回最左侧首枚白键前的缝隙处，按 OK 键确认即可开始 READING 2，后续依次为 READING 3 等。系统最多支持同时保留 9 次扫描记录用于对比分析。

AVG 统计成功参与取平均值的琴键数，LAST 统计未能形成可靠平均值（因而暂用末次读数）的琴键数。继续下一步时，若存在未完全平均的情况，屏幕会弹出说明提示，按 OK 键确认。各次原始波动数据仍会保留供对比及 RETURN 分析使用；CANT 与 DISH 本身则始终取自最近一次扫描。



按 1 键可打开 CHECK READINGS 界面。COUNT 显示扫描总次数；HEIGHT、CANT 与 DISH 分别显示所有有效测量值中的最大极差及对应的音位。极差指最大值与最小值之差，而非平均值。其后括号内为橙色 / 红色异常琴键的数量。在图示示例中，HEIGHT: 0.08 mm C4 (1/0) 表示 C4 的高度波动最大，为 0.08 mm，全键盘共有 1 枚橙色琴键、0 枚红色琴键。以下所有示例均基于键杆比 0.42。

在进行高度对比时，系统会自动扣除各次扫描之间的整体平移量与线性倾角变化。CROWN 显示多次扫描所算键盘拱度的极差；OFFSET 与 TILT 用于将最近一次扫描与此前各次扫描的均值作对比。借此可避免将测量架设变动误判为琴键自身的机械变化。



LAST MISSING C / D 仅列出最近一次扫描中缺失的 CANT 与 DISH 数量。若较早扫描中有缺失但末次扫描完整无缺，此处显示为 0/0，而早期扫描的数据空缺仍可在单音对比视图中查看。

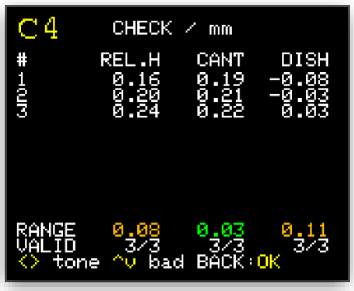
按 DEL MEAS: # 可打开 DELETE READING 删除对话框，默认选中最新一次扫描。用左右方向键选择待删除的扫描序号，按 DELETE: * 执行删除；按 BACK: OK 不删除直接返回。系统至少会保留一次扫描记录。

例如，可单独删除一次失败的第 3 次扫描，而保留前两次高质量记录。删除后，剩余扫描将自动重新编号，并重新计算平均值与对比结果。若删除的是最近一次扫描，系统还会自动恢复前一次扫描的 CANT、DISH 数据及其测量基准。

在 CHECK READINGS 界面按 BACK: OK 返回结果总览屏。请注意，各次单独的重复扫描原始序列仅在当前测量流程内有效，不会随数据集写入存储槽位。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.4 单音对比与平均值应用





在 CHECK READINGS 界面按 CHECK: * 可进入单音对比视图。左右方向键用于逐枚切换白键；上下方向键则直接跳转至更高或更低音方向上，在 HEIGHT、CANT 或 DISH 任一项中被评为红色的下一枚琴键。若该方向已无更多红色琴键，选中位保持不动。长按左键或右键可连续快速翻页。

REL.H 显示扣除各次扫描自身拟合基准线后的相对高度；CANT 与 DISH 带正负号显示；RANGE 为极差（最大值与最小值之差）；VALID 显示实际有效采样次数。缺失值以“--”标示，绝不会被当作 0 参与计算。

图示示例中，C4 共有 3 次有效扫描：REL.H 分别为 0.16、0.20 和 0.24 mm，最大值与最小值之差（极差）为 0.08 mm；CANT 介于 0.19 至 0.22 mm 之间，极差为 0.03 mm；DISH 介于 -0.08 至 +0.03 mm 之间，极差为 0.11 mm。按键杆比 0.42 评判，HEIGHT 与 DISH 的极差显示为橙色，CANT 显示为绿色。因三次扫描均有有效读数，三项指标的 VALID 均显示为 3/3。

对比颜色依据白键杠杆比评估多次扫描之间的一致性（详见“评估颜色与凹陷补偿”），该标准同样适用于 CROWN、OFFSET 与 TILT，且向上凸起键面的读数波动亦纳入评估。按 BACK: OK 返回 CHECK READINGS 界面。以下平均值计算规则独立于颜色分级运行。

在整理作业时，系统会自动对相互吻合的多次键高扫描取平均值。仅当某次扫描与最近一次扫描采用相同的凹陷补偿状态时，该次扫描才会被纳入平均。系统会先对齐整体高度平移与线性倾角，同时完整保留键盘整体轮廓与单键高差。

若两次扫描中至少有 80% 的琴键差值不超过 0.05 mm，系统即判定两者吻合。系统将选取相互吻合次数最多的唯一最大数据组，并在其中针对每枚琴键，对总极差不超过 0.05 mm 的一致读数求取平均值。

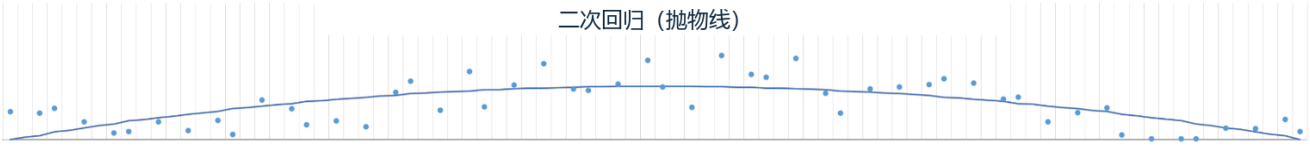
两个相近的读数可以取平均；若仅有两个差异悬殊的读数，系统无法判断孰对孰错；若存在数量相同但彼此矛盾的两组数据，同样无法形成可靠均值。遇到上述情况时，该枚琴键将保留最近一次有效扫描的读数。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.5 基准曲线的生成原理

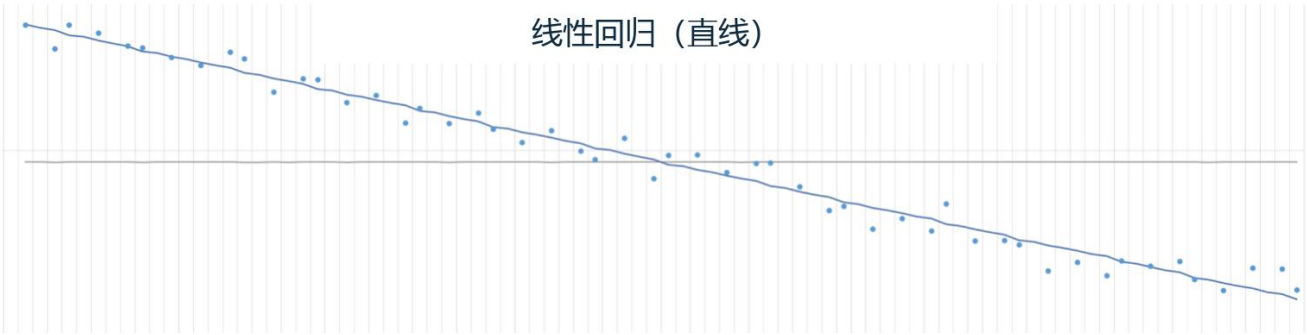
各测点反映的是键盘当前的实际键高。要据此确定每枚琴键的调整量，必须先建立一条共同的参照线——即基准曲线，它规定了调平完成后每枚琴键应当达到的目标高度。实测点与基准曲线之差即为该键的高度修正量；系统随后再乘以键杆比（key ratio），换算出中销档所需的纸垫圈厚度。

设备首先通过二次回归算法拟合出一条最贴合全部实测键高的抛物线，因此个别过高或过低的琴键不会单独主导整条曲线。在上方示意图中，散点代表实测值，蓝色曲线为共同拟合基准线；各点到曲线之间的垂直距离即为键盘调平阶段需要消除的偏差。



正值 CROWN 表示键盘中部向上拱起。如果该既有键盘拱度符合该台钢琴的特点及预期整理方案，可予以保留。需注意，系统拟合出的曲线只是基于实测现状的参考建议，并不代表对现状是否符合工艺规范的自动评判。

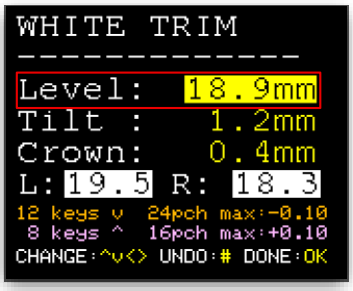
若希望将键盘调成平直状态，可在 WHITE TRIM 中将 Crown 设为 0，系统随即改用线性回归计算一条拟合基准直线。下方示意图表明，一条直线仍然可以带有整体倾斜：“平直”与“平行于所选测块支承面”是两个不同概念，整体倾斜度需通过 Tilt 参数进行评估与调整。



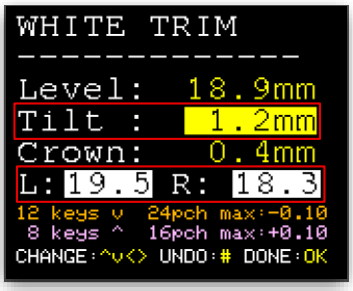
自动拟合曲线可在回归意义上使整体偏差最小化，往往是减少整理工作量的良好起点。如果拟合出的高度、倾角或拱度不符合工艺要求，技师可通过 Level、Tilt 与 Crown 自行设定新的基准曲线，由此产生的额外调整量将实时重新计算。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.6 定向调整 Level、Tilt 与 Crown

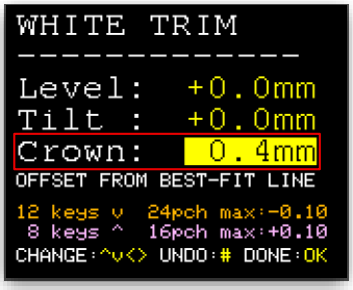


在结果总览界面按 TRIM: * 可打开 WHITE TRIM 对话框。使用上下方向键选择参数行（当前选中值呈黄底高亮），使用左右方向键以 0.1 mm 为步进修改数值，长按短暂停顿后可快速连续调整。图示中的红框标出了当前讲解的对应参数，中间图则同时标示了左右两端基准高度 L 与 R。



Level 用于整体升降基准曲线的高度位置。在配合基准测块测量时，它代表左右两个基准端点连线的中点距所选支承面的高度（对应所选 TOP 或 UNDERSIDE 基准边）；例如采用 KEYBED 时，可将其设为 65.8 mm 或 66.5 mm。设定的 Crown 拱度值会额外叠加到键盘中部：示例中 Level 为 18.9 mm、Crown 为 +0.4 mm，意味着键盘中部的基准高度约为 19.3 mm，而非 18.9 mm。

L 与 R 显示基准曲线左端与右端相对于所选支承面及采集时所选基准边的目标高度。它们是拟合曲线的理论端点高度，不必与先前用基准测块直接测得的首尾单键高度完全吻合，因为首枚或末枚边缘琴键自身也可能相对整排琴键偏高或偏低。



Tilt 描述基准曲线两端相对于所选支承面的高度差。采用测块测量时，Tilt 显示其差值大小，高低方向可通过 L 和 R 直观判断：图示 KEYSLIP / TOP 示例中，L = 19.5 mm、R = 18.3 mm，说明基准线右端比左端低 1.2 mm。将 Tilt 减小至 0，即可使两端连线完全平行于所选支承面，而 Level 保持中部平均高度不变。

未使用基准测块时，Level 与 Tilt 表示相对于系统拟合基准线的相对偏移量，屏幕会以 OFFSET FROM BEST-FIT LINE 加以提示。此时 Level +0.2 mm 表示整条基准线上移 0.2 mm；Tilt +0.2 mm 表示以键盘中部为支点，使右端相对左端总共抬高 0.2 mm。此情形下 Tilt 为 0 仅表示维持拟合基准线的原有斜率，并不代表已证实平行于某一支承面。

Crown 定义基准曲线中部相对于两端连线的拱曲度：正值表示中部高起，负值表示中部下凹，0 表示平直。将 Crown 切至 0 时，系统会重新计算一条独立的拟合直线，同时保留已有的 Level 与 Tilt 修正值，因此 L 与 R 也可能随之发生变动。确认应用前请再次通盘核查整条基准参数。

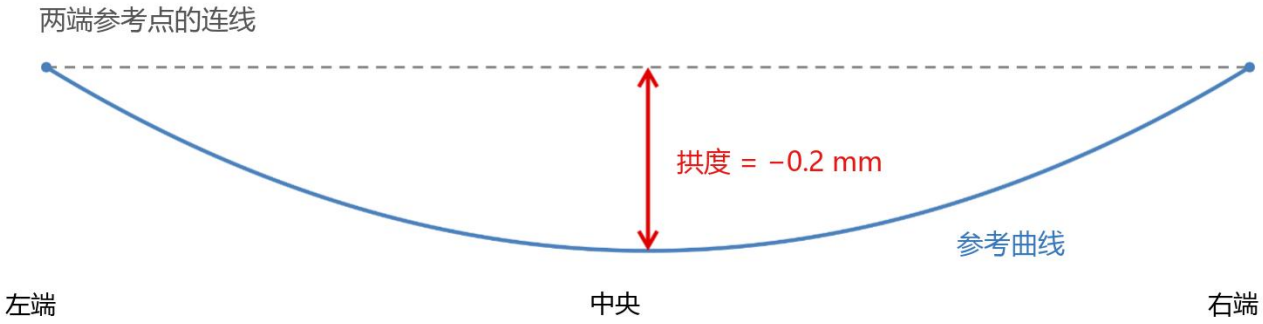
对话框下方的统计摘要会随每次参数改动实时重算，有助于预估由此带来的整理工作量。按 UNDO: # 恢复进入本界面时的原始参数，按 DONE: OK 应用新设置。需注意，此处所有数值均为琴键前端的毫米数，而非直接加减的纸垫圈厚度。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.7 有意识地保留轻微下垂

在部分年代较久的钢琴上，键盘中部可能会出现轻微的整体下垂。此时拟合曲线向下弯曲，CROWN 呈负值。例如 -0.2 mm 表示基准曲线中部比两端连线低 0.2 mm。这是整副键盘呈现出的均匀形态，既不等同于单枚白键的键皮凹陷（DISH），也不是单键的横向倾斜（CANT）。

以下示意图仅用于阐释该原理，为便于观察，下垂幅度已作大幅夸大绘制。虚线连接左右两端点，红色双向箭头标示负值 Crown。图中的示例数值不构成通用的行业公差标准。



在日常维保整理中，若下垂程度轻微且过渡平缓，接受并沿用该平缓曲线往往更为合理：不必把整个中音区所有琴键都垫高至一条绝对直线，而只需消除个别琴键相对于这条平缓曲线的高低起伏。在整体键高、视觉观感、键深及机械性能均满足要求的前提下，此举能大幅缩减工作量。

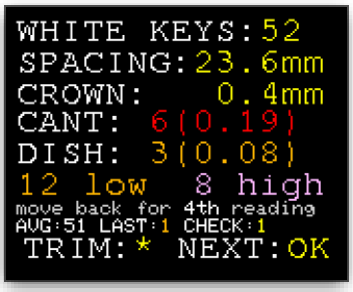
但实测现状绝非无条件放行的理由：严重的整体下垂、局部台阶式跳变，或者机械复位不可靠的琴键，都不能仅靠迁就式地拟合一条曲线就视作问题已解决。在大修翻新或工艺明确要求平直键面时，应选择 Crown = 0 或按规范要求设定形状；若工艺明确要求正向键盘拱度，则相应设定为正值。

实操中，应先查看系统自动测得的负值 Crown，并结合长直尺目测及琴键机械动作综合评估。在重复测量间隙，务必用力压下所有琴键并使其充分复位；唯有确认琴键静止位已足够稳定可靠之后，才应最终敲定基准曲线，以免弯曲基准掩盖复位异常问题。

权衡方案时，可在 WHITE TRIM 中试探性地将 Crown 设为 0 或绝对值更小的负值，对比系统实时重算的修正工作量（负绝对值越小，目标曲线下垂越轻微）。随后审慎采用最合适的方案，或按 UNDO: # 恢复进入对话框时的原值。具体钢琴允许保留多大残余弧度由技师视琴况专业裁量，设备允许的调节范围并不等同于工艺公差极限。

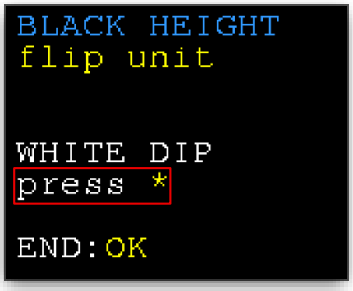
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.4.8 确认基准并继续测量



按 DONE: OK 后，屏幕返回白键键高结果总览界面。此时 CROWN 显示已选定的键盘拱度，low 与 high 的统计计数也已更新为基于新基准的结果；基准变更后，各键所需修正量随之更新。

如要继续检查回位，将传感器快速移回最低键左侧；此程不采集激光读数，位置编码器支持快速移动。逐键、分组或用长直尺同时按下全部琴键并松开，按 OK 开始下一次扫描。NEXT:OK 进入后续步骤。缺少 DISH 值或未能全部平均的提示须按 OK 确认。



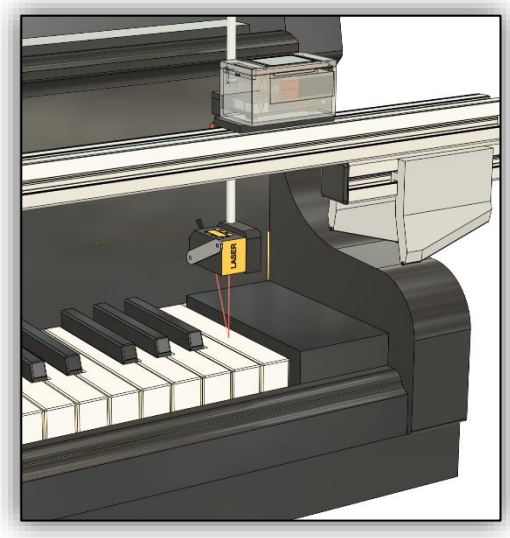
随后屏幕提供 BLACK HEIGHT、WHITE DIP 与 END: OK 三项选择：欲测黑键键高（BLACK HEIGHT），直接取下测量主机、翻转 180° 后重新放回导轨即可；欲跳过黑键直接测白键键深（WHITE DIP），须明确按 * 键；按 END: OK 则结束后续采集，直接进入数据保存或调用现有数据作业。

白键基准曲线同时也是后续黑键键高及键深测量的参照基础。因此，务必先确定理想的白键高度、倾角与键盘拱度，再开展并评估后续各项测量。

如需优先校正横向倾斜的琴键，可在此处结束采集，转入 PLAY 模式使用 CANT ADJUST 进行调整；待歪键全部调正后，再重新采集白键键高并复核基准曲线。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.5 测量键高（黑键）



将主机翻转放回导轨后，屏幕显示 BLACK HEIGHT 及要求的起始位置。与 WHITE HEIGHT 不同，黑键键高采集仍须从屏幕指定的边缘白键中心起测：从高音端向低音端扫描时通常为 C8 或 A7，反向扫描时则为 A0、G0、F0 或 C0。

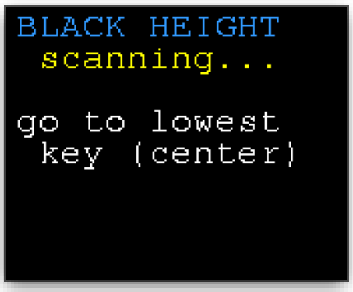
对于后端让出黑键位置的白键（带缺口白键），此处所指中心为其后部窄段键皮的中心（rear center）。对准起始位置后按 OK 键确认，随后沿屏幕指示方向匀速滑过全部黑键。

系统通过识别凸起的高台轮廓来判定黑键，并在每枚黑键中心附近区间采集计算读数，此处不采用白键的键缝识别（GAP 识别）方式。扫至另一端时，滑行至屏幕指定的终点边缘白键中心，确保全部黑键均已完整采集。由于黑键表面更窄，此步骤的滑行速度应比单纯扫白键键高时略慢，以保证可靠识别每一高台。

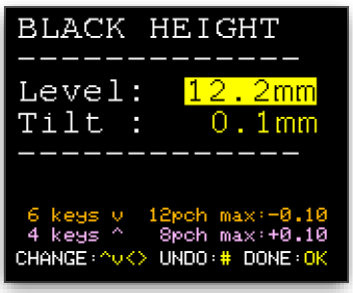


若未能识别出全部预期数量的黑键高台，屏幕将弹出提示并允许重测；此时请放慢滑行速度重新扫过所有黑键。

采集完成后，屏幕显示计算得出的黑键相对白键基准的高度差及倾角。照常使用方向键即可微调数值，按 # 键撤销修改，按 OK 键确认。



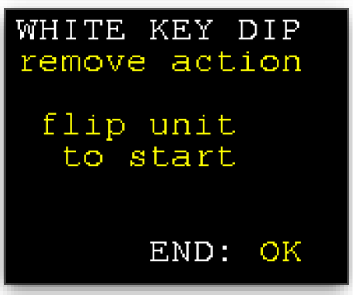
全部高台识别成功后，技师可调整“level”与“tilt”参数。原则与白键相同：手动改动基准意味着调平黑键时需付出更多整理工作量。黑键相对于白键基准线的允许倾角以及黑键高出白键的目标高度，均由技师视情况决定。请注意，此处的参照基准不再是白键测量时所选的测块支承面，而是技师先前设定的白键基准曲线。在图示示例中，最右端黑键高出白键 12.15 mm，最左端黑键高出白键 12.25 mm，因此 Tilt 为 0.1 mm（即首尾黑键相对白键高度之差）。使用方向键修改参数，按井号键（#）撤销改动，按 OK 键进入下一项测量：白键键深测量。



扫描识别出的黑键位置坐标会被保留。完成扫描后若直接进入 PLAY 模式，无需额外移至 A#0 即可获得有效定位；仅在后续翻转主机方向或重新加载存储数据集时，才需按屏幕提示执行起始定位。

下一步为白键键深测量。由于击弦机及其当前整理状态可能会影响键深读数，某些情况下建议先将击弦机取出（立式钢琴）或从键盘架上拆离（三角钢琴）。具体做法为：先从导轨上取下测量主机，立式钢琴取出击弦机，三角钢琴则抽出整套击弦机与键盘、拆下击弦机后再将键盘推回琴体。

操作过程中务必确保导轨位置不发生变动。三角钢琴往往需要暂时取下导轨，此时必须提前做好精准定位标记，以便装回时完全复原（参见第 4.2.2 节“导轨的重复定位校准”）。

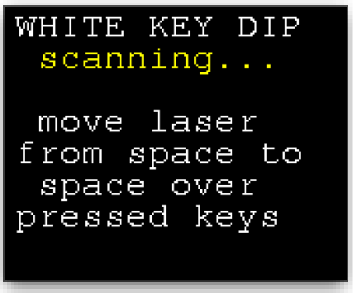


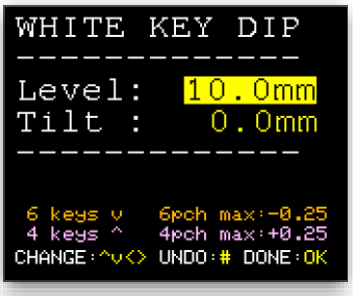
若导轨不慎移位，或取下后未能严格按原位装回，原有空间基准即告失效，本次连续测量序列无法继续；但此前已采集完成的数据仍可正常保存并使用。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.6 测量键深（白键）









若在完成 WHITE HEIGHT 后直接按 * 键进入 WHITE DIP，系统将从高音端（右端）向低音端（左端）进行测量，无需额外定位步骤。若是在完成黑键键高扫描后进入，则按屏幕提示拆离击弦机并翻转主机，将光斑对准屏幕指定的首枚白键中心并按 OK 键确认，此时从低音端（左端）向高音端（右端）测量。按下 OK 确认之前，起始处的几枚琴键必须已完全按到底。实践证明，以 3 枚琴键为一组依次压下并令激光顺次扫过最为顺手；按压力度须均匀一致，或采用标准砝码加载。

测量时，将激光逐组从一个键缝滑移至下一个键缝。系统仅采用每枚琴键中心左右各约 8 mm 范围内的采样数据，因此无需把激光极其精准地停在两键缝隙正中。

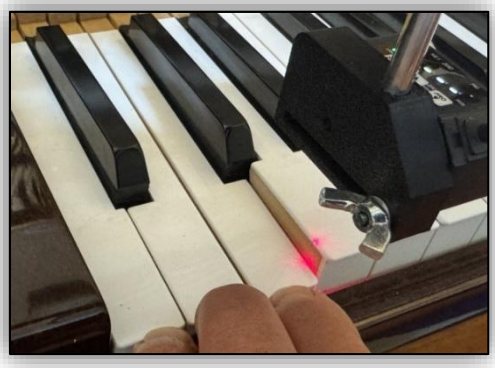
手指按压琴键时应尽量按在琴键最前沿边缘，避免激光误扫到手指而导致测量失真（见下方图示）。

一种尤为高效精准的方法是使用砝码排。该工具由 7 枚标准重量黄铜圆柱组成，可放置于白键靠后区域（即激光光斑后方），每次可同时压下并扫描 7 枚琴键。操作时只需注意将砝码排平稳均匀地落在琴键上，避免触碰导轨或传感器。

沿屏幕指示方向依次推进至最后一枚白键，并停在其中心附近。需注意，键深测量的终点为末端边缘白键的中心，而非 WHITE HEIGHT 扫描时的外侧缝隙（GAP）。完成后，屏幕即显示实测键深及基准倾角。

界面操作与前文完全相同：井号键（#）撤销改动，方向键修改数值，OK 键确认采用当前基准并继续进行黑键键深测量。



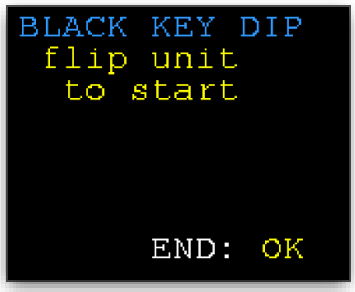






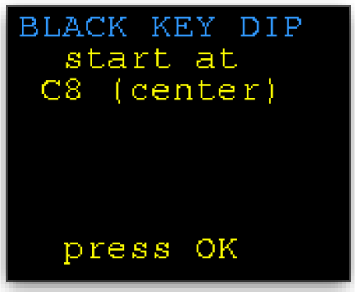
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.7 测量键深（黑键）



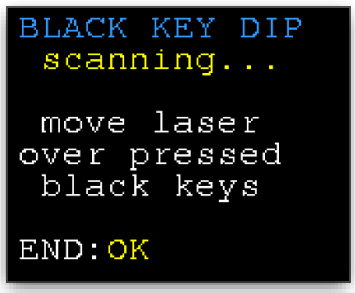
接下来进行黑键键深测量。再次将主机旋转 180° 放回导轨，使传感器重新位于导轨后方。设备会自动感应翻转动作，并将屏幕画面同步旋转 180°，确保读数始终正向清晰可读。

也可在此处直接结束整轮测量：按 OK 键将跳过黑键键深测量步骤，直接进入数据保存对话框。



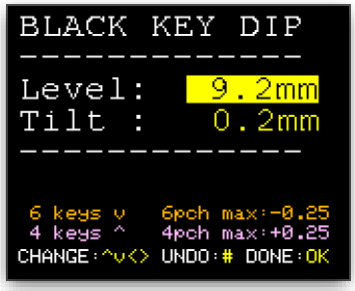
如需测量，先将激光光斑对准高音端最后一枚白键中心（通常为 C8 或 A7），按 OK 键启动扫描。待屏幕显示“scanning...”后，推动传感器扫过按下的黑键。同样可每次同时按下 2 至 3 枚黑键并令传感器依次滑过，关键在于按压力度尽可能均匀一致，以获取精准结果。

此处同样可使用带黄铜圆柱的砝码排：将 5 枚黄铜圆柱立于黑键后半段，即可一次性同时压下 5 枚黑键。



完整采集完最后一枚黑键后，屏幕弹出所生成基准曲线的结果对话框。此处的参照基准为此前确定的黑键键高基准曲线。在图示示例中，黑键平均键深为 9.2 mm，倾角（tilt）为 0.2 mm。这意味着若按该基准调整黑键键深，最右端键深为 9.1 mm，最左端键深为 9.3 mm。

您可根据工艺规范与实际需求再次调整参数。按 OK 键结束全部测量，进入数据保存对话框。



若紧接在匹配的 BLACK HEIGHT 扫描之后进行测量，系统可直接沿用已识别的位置基准；仅当屏幕明确提示时，才需重新对准起始定位点。

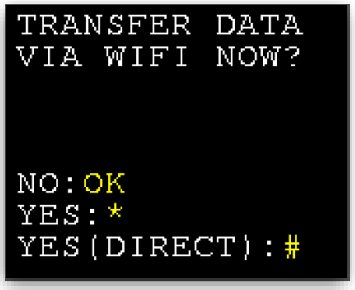
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.8 保存数据集



SAVE DATA 保存对话框提供 9 个存储槽位，绿色 FREE 表示空闲，红色 USED 表示已占用。按数字键 1 至 9 选择目标槽位。若所选槽位已有数据，屏幕将弹出 ARE YOU SURE? 并提示 OVERWRITE SLOT 及对应槽位号：按 YES: * 确认覆盖原有数据集，按 NO: OK 返回槽位选择界面；按 DONT SAVE: OK 则不保存直接继续。

保存内容包括全部实测值与基准曲线、键杆比以及 CANT、DISH 特征参数。若白键表面轮廓已完整采集，则用于按位置计算的凹陷补偿数据及 CANT ADJUST 的共同基准亦会一并保存。如曾对吻合的重复测量取过平均值，写入数据集的即为平均后的键高偏差。左右两端均完成的基准测块参照信息同样会被完整保存，包含支承面类型、TOP 或 UNDERSIDE 基准边、实测测块高度以及键皮厚度——这些参数归属于该次采集记录，即便日后修改设备当前的 KEYBLOCK 设置也不会被覆盖。



每一次重复扫描和 RETURN 结果仅在当前测量期间可用，不写入存储位。加载时自动采用已保存的凹陷补偿。只要导轨和传感器恢复原状，中途暂停甚至关机后也可继续 LIVE 和 CANT ADJUST。老数据即使没有键面轮廓也可加载并用于 CANT ADJUST；要获得凹陷补偿，则须重新扫描 WHITE HEIGHT。

保存或加载完成后，屏幕询问 TRANSFER DATA VIA WIFI NOW?（是否立即通过 Wi-Fi 传输数据）：按 OK 键跳过传输，按 * 键启用常规本地 Wi-Fi 连接，按 # 键启用直连模式。

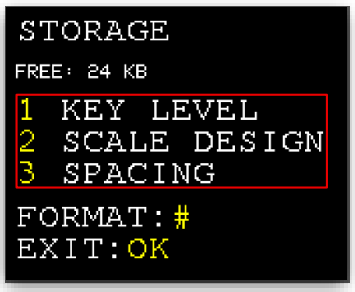
传输时请注意核对设备屏幕上显示的网络模式与访问地址。务必待浏览器或 Excel 工作簿成功读取数据之后，再按 OK 键结束该传输对话框。若后续仍需通过 REMOTE 进行远程操控，请保持 Wi-Fi 处于开启状态。

已保存的数据集可随时调出，对照屏幕提示逐键加减纸垫圈。如需进行 LIVE 实时测量，请遵循 LIVE 章节的相关指引。对于包含双端测块基准的已存数据集，加载后可通过 REF: * 配合基准测块重新恢复白键空间基准；操作时须采用与初次采集完全一致的支承面、测块尺寸、TOP / UNDERSIDE 基准边及键皮厚度。对于未记录上述信息的旧版数据集，请自行核对原始架设条件。

保存成功后，采集数据即永久存储在设备内存中，即便时隔很久，只需选择对应槽位号重新加载即可调用。这使得对同一台钢琴的测量与整理可以分阶段从容进行：例如先在三角钢琴琴体内测完键盘数据，关机后从容抽出击弦机架设至工作台，拆离击弦机后再次开机加载对应数据集，继续完成键盘纸垫圈修正作业。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

当存储空间已满时



Key Level、Scale Design 与 Spacing 三项功能共用设备的数据存储空间。保存时若剩余容量不足，屏幕将提示 STORAGE FULL。此时按 STORAGE: OK 进入存储管理界面（平时亦可经由 settings > storage 进入）。只要不关机，当前尚未保存的测量数据会一直暂留在设备内存中。

1. 选择功能类别

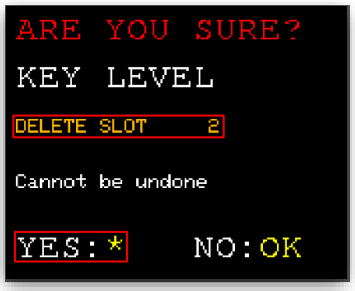


在 STORAGE 界面中，按 1 键选择 KEY LEVEL，按 2 键选择 SCALE DESIGN，按 3 键选择 SPACING。为腾出空间，也可删除其他功能下不再需要的数据集。屏幕顶部 FREE 显示当前剩余可用容量。

2. 选择待删除槽位

按数字键 1 至 9 选择一个已占用槽位（USED 表示已占用，FREE 表示空闲；示例中选中了不再需要的 2 号槽位）。此前拟作为保存目标的槽位同样可在此删除。按 DELETE ALL: 0 可选中当前功能下的全部 9 个槽位进行批量删除。

3. 确认删除



屏幕弹出 ARE YOU SURE?，列出功能名称以及 DELETE SLOT 加槽位号（或 DELETE ALL 9 SLOTS）。按 YES: * 将永久删除所选数据；按 NO: OK 取消删除并返回。在槽位总览界面，按 BACK: # 返回功能类别选择，按 EXIT: OK 退出 STORAGE 管理界面。

清理完空间后，按 OK 键返回保存槽位选择界面，并重新按数字键 1 至 9 选定目标槽位（示例中为刚空出的 5 号槽位）。PMP 仅在再次选定后才执行写入操作；若可用空间仍不足，屏幕会再次提示 STORAGE FULL。

取消保存或存储错误

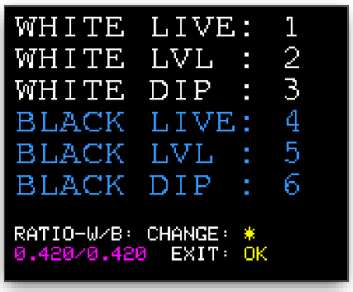
在 STORAGE FULL 提示下按 CANCEL: #，或在保存选择界面按 DONT SAVE: OK，均会中止本次保存尝试。当前测量数据在关机前仍可继续使用，但尚未永久写入存储；务必在关机前成功保存。此前已确认删除的数据无法恢复。

若出现 SAVE FAILED / Old slot kept，说明当前测量保存失败，但除非此前被明确删除，原槽位中的旧数据集仍完好保留，按 OK 键确认即可。若出现 DELETE FAILED，请检查槽位列表，表明所选数据集未能全部成功删除。

重要提示：在 STORAGE 功能总览界面中执行 FORMAT: # 并确认后，将一次性清空所有已保存的测量数据集（包括 Scale Design 与 Spacing 的全部数据），但设备系统设置与校准参数会予以保留。若仅需释放个别槽位，按上文步骤定向删除即可。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.9 调用测量值：键盘调平 / 修正键深



加载已有数据集或结束一次测量流程后，系统即进入键高与键深调整/修正的起始界面。根据已记录的测量序列情况，对应的菜单项会呈亮色显示（已有数据）或暗色显示（暂无数据）。从主菜单进入“key level”主功能并加载数据集后，同样会进入该界面。

在此界面下，您随时可以按星号键（*）修改白键和黑键的键杆比（参见第 4.11 节“测量键杆比”）。按数字键 1–6 可调用以下详述的各项可用功能；按 OK 键返回主菜单。

4.9.1 WHITE LIVE（白键实时测量）



按红外遥控器数字键 1 进入 WHITE LIVE。

若设备仍朝黑键方向，屏幕会提示 flip unit。将设备转向，使传感器位于导轨前方。

若出现定位提示，请将激光光斑对准屏幕指定的首枚白键并按 OK 键确认；若是刚完成扫描直接进入，则系统保留原有位置基准。随后实时测量激活，屏幕实时测量白键键高，并显示相对于技师先前设定基准曲线的偏差。例如，若设定白键应高出键盘前档 20 mm（或高出中盘 65 mm），并选定了 TOP 或 UNDERSIDE 基准边以及 Tilt 为 0 mm（平行于测块支承面），则屏幕显示的便是每枚实测白键相对于这条理想直线的偏差值。

重要提示：

本功能所显示的测量值严格依赖于先前采集并保存的基准曲线，前提是导轨在琴壳上的安放位置，以及传感器臂的下放深度与姿态均与初次采集时完全一致。

若中途取下过导轨或变动过传感器臂，请先依据定位标记还原原始架设，随后按如下方法校验测量基准并细致微调传感器高度：

先按 2 键进入 WHITE LVL 功能，移至低音区前几枚显示具体偏差值的白键之一（切勿选择显示“OK”的琴键，因为“OK”涵盖了 -0.03 mm 至 +0.03 mm 的容差区间，不利于精确比对）。随后微调传感器臂高度，使在 LIVE 模式（遥控器 1 键）下该键的实时读数与 WHITE LVL 模式（遥控器 2 键）下记录的读数完全一致。接着在中音区和高音区各选一枚带具体偏差值的琴键重复上述核验。

若低、中、高音三处读数均重新吻合，即证明空间基准已成功复原。若导轨姿态存在偏差或无法确信完全复原，请重新扫描采集。已保存的凹陷补偿数据在加载数据集时会自动生效。在首次进入 LIVE 测量前，屏幕会弹出 LIVE SETUP 提示，提醒您确认架设未发生变动。

琴键处于未按下状态时，屏幕显示键高修正值（LVL DISC）。负值（橙色显示）表示该琴键偏低，需要在中销钉处垫入纸垫圈，所需纸垫圈规格会直接以图形化方式显示在屏幕下方。

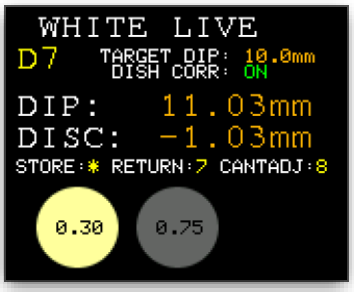




正值（品红色显示）表示该琴键偏高，此时需取出部分纸垫圈，或从键木底部适量削减木料。

调整琴键时可将测量主机沿导轨推至一旁，修正完毕后再将传感器推回该键上方即时复核读数。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



按下琴键后显示切换为 DIP DISC，包括绝对键深及其与目标值的偏差。偏差在 -0.03 至 +0.03 mm 之间以白色显示，表示处于中性范围。

屏幕上方 TARGET DIP 处显示当前的键深目标基准值。若此前已测量过键深，此处将自动显示所测得的基准值；若基准存在大于 0 的倾角（tilt），随着传感器沿键盘向高音端移动，该目标值会相应递增或递减。若此前未测量键深，此处会显示一个固定默认值，您可使用上下方向键修改并作为键深基准使用。

TARGET DIP 下方的 DISH CORR 用于指示当前琴键是否启用了凹陷补偿：绿色 ON 表示已启用；灰色 OFF 表示该键无需补偿；橙色 OFF 表示键面轮廓数据缺失或不完整（详见“加载后的凹陷补偿与 LIVE 测量”）。设定的键盘拱度（CROWN）在此过程中仍会被持续计入。

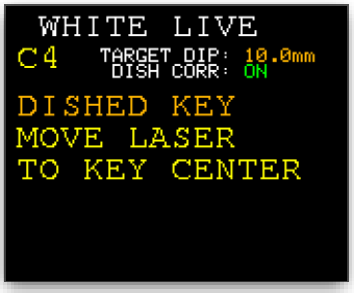


按 STORE: * 可将当前 LIVE 实时测量值写入 WHITE LVL 或 WHITE DIP 的工作数据集中。如需永久保留此次更新结果，请随后重新保存整个数据集。

习惯逐键精调的技师可借此在 LIVE 模式下依次修正全部琴键，对每一枚琴键实现精准核验，并直观观察增减纸垫圈后数值的即时变化。

另一种批量加减纸垫圈的方法是使用 WHITE LVL / WHITE DIP 以及 BLACK LVL / BLACK DIP 功能：将全部琴键一次性或分组从键盘架上取下后集中垫入纸垫圈（三角钢琴需先将击弦机从键盘架上拆下）。这些功能将在后文详述。

开启凹陷补偿时，LIVE 模式在显示键高与键深时会自动计入已采集的键面凹陷轮廓。该功能仅在琴键中心附近可靠采集的区间内生效。



若屏幕提示“DISHED KEY / MOVE LASER / TO KEY CENTER”，说明激光光斑偏离了该有效区间。此时请将激光移向琴键中心，直至重新显示正常读数。

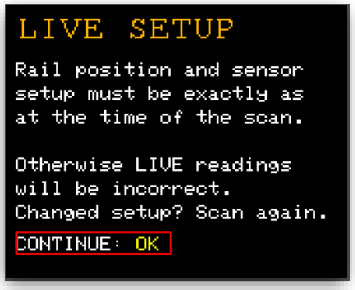
按 RETURN: 7 可开启或关闭附加的复位精度检测功能。

按 CANTADJ: 8 可打开琴键横向倾斜（歪键）修正功能。

两项功能均在后续章节中详细说明。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

加载后的凹陷补偿与 LIVE 测量



加载已保存的数据集后，首次进入 WHITE LIVE 或 BLACK LIVE 时，屏幕会显示 LIVE SETUP 提醒：导轨位置、传感器高度及姿态必须与初次采集时完全一致。核查架设无误后按 OK 键继续；若无法确保准确复原原始架设，请重新扫描采集。

每次加载数据集后该提醒仅显示一次。已完整保存的键面轮廓数据会自动载入启用，无需额外手动开启。

绿色 DISH CORR: ON



表示当前所测琴键的凹陷补偿处于激活状态。图示示例中，C4 在键杆比 0.42 下存在 0.08 mm 的键皮凹陷，PMP 已在 LIVE 实时读数中予以补偿。请将激光光斑保持在该键中心附近的有效采集区域内。

灰色 DISH CORR: OFF



表示键面轮廓已完整采集，但该枚琴键无需凹陷补偿。第二组独立示例显示，在键杆比 0.42 下键面凹陷仅 0.03 mm（未达补偿阈值）。平整或向上微凸的键面同样不进行凹陷补偿。

橙色 DISH CORR: OFF



表示凹陷补偿所需的键面轮廓数据缺失或不完整。第三个示例中因采集时缺失了一个 DISH 值，整副键盘的凹陷补偿均保持关闭。加载不含键面轮廓数据的旧版数据集时也会出现此状态。

如需使用凹陷补偿，请以较慢速度重新完整执行一次 WHITE HEIGHT 扫描。该状态指示在键高测量与键深核验时均会保持显示。以上各示例均对应 -0.29 mm 的键高偏差，折合纸垫圈厚度约为 -0.12 mm。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.9.2 在 LIVE 模式下重新检测 RETURN



重复测量得出的复位精度数据有助于锁定异常琴键。对单枚问题琴键进行机械修整后，可直接在 LIVE 模式下对该键单独复测，无需重新扫描整副键盘。

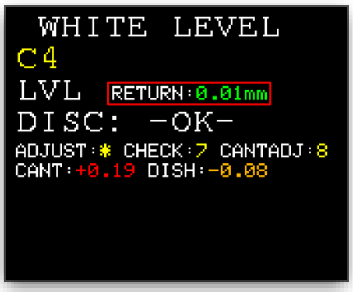
在 WHITE LIVE 界面中按 RETURN: 7 开启该功能（默认处于关闭状态）。即便此前尚未记录过 RETURN 数据，7 键依然可用。开启后，屏幕才会显示两行附加读数并激活按键触发检测。

H 显示该键在测点处相对于基准曲线的实时高度偏差：H:+0.01 mm 表示琴键在测点处偏高 0.01 mm，负值则表示偏低。RETURN 则显示多次弹奏复位后静止位置的极差，即最高与最低静止位之间的差值。



H 与 RETURN 均对应琴键前端测点处的实际位移量，而 LVL DISC 显示的是结合键杆比换算后的中销档纸垫圈修正厚度，因此切勿将二者数值直接划等号：例如杠杆比为 0.42 时，0.10 mm 的键高偏差仅对应约 0.04 mm 的纸垫圈厚度。RETURN 仅用于评估机械复位精度，并非纸垫圈厚度建议。

将激光稳稳保持在白键中心上方，将琴键完整按下并松开，待其完全回弹稳定至静止位置。每完成一次有效的稳定复位，屏幕计数依次递增为 1/3、2/3 直至 3/3，每次成功采集均伴有短促提示音。



采集满 3 次有效复位读数后，系统将计算出新的极差值，用此最新 RETURN 值替换该键原有结果，并同步更新至 WHITE LEVEL 界面。中途取消或未满 3 次的测试不会覆盖原有数据。

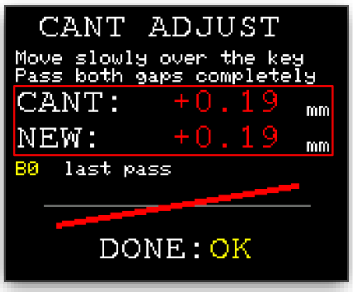
显示颜色反映琴键弹奏后回归静止位置的可靠程度。以键杆比 0.42 为例：极差在 0.03 mm 以内为绿色，0.04 至 0.14 mm 为橙色，0.15 mm 及以上为红色（具体阈值按“评估颜色与凹陷补偿”规则随杠杆比自动调整）。需注意，该数值绝非建议用纸垫圈去弥补机械复位波动。

若琴键未能充分回弹复位，或检测过程中传感器晃动过大，系统不会将其计为有效测量；请彻底松开琴键并保持传感器静止。若屏幕提示“KEY NOT RETURNED”，请排查机械卡滞原因。

借此可逐一排查并修复异常琴键（例如键孔呢过紧、键底中销孔过紧或卡钉存在空动等），每修整完一枚便重新执行一次完整的三次复位测试，更新后的 RETURN 数值与颜色即直观反映改善效果（颜色及感叹号规则遵循“评估颜色与凹陷补偿”）。RETURN 结果不会永久写入存储槽位。

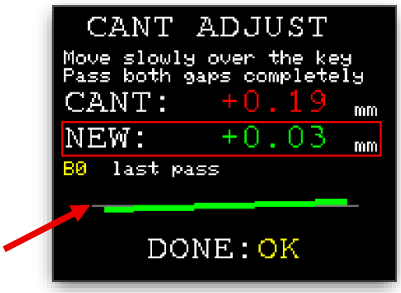
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.9.3 CANT ADJUST：修正单枚琴键的横向倾斜



在 WHITE LIVE 或 WHITE LEVEL 界面下按 8 键即可调用 CANT ADJUST。该功能需要基于当前的 WHITE HEIGHT 采集记录或已加载的白键键高数据集（不含完整键面轮廓数据的旧版数据集同样支持），且导轨与传感器架设必须与采集时相符。若无已存的 CANT 参考对比值，上方显示“--”，但仍可正常进行新测量，新结果将显示于 NEW 一行。

将传感器从一侧相邻琴键缓慢推过整枚待检白键，直至抵达另一侧相邻琴键，确保完整跨过左右两侧键缝。系统仅在完整识别整枚琴键后才更新结果。该测量支持左右双向滑行，无需额外按启动键。



CANT 显示打开对话框时该键原有的对比值，NEW 显示最近一次有效扫过的实测值，数值下方以“last pass”标明对应音位。屏幕读数会保持静止直至下一次有效扫过，并非停留点的连续实时跳动显示。

下方的斜线直观示意琴键横向倾斜姿态。上方示例中右侧高于左侧，CANT = +0.19 mm；经校直后再次完整扫过同一琴键，NEW = +0.03 mm，斜线转为绿色。

偏差分级与 WHITE LEVEL 一致，依据白键杠杆比评定（见“评估颜色与凹陷补偿”）：在杠杆比 0.42 下，+0.19 mm 为红色，+0.03 mm 为绿色，并分别以高、中、低三种提示音反馈结果等级。注意：CANT 是折算至 20 mm 键宽的键面左右高差，并非纸垫圈厚度，需通过校正中销钉/琴键姿态加以修正。

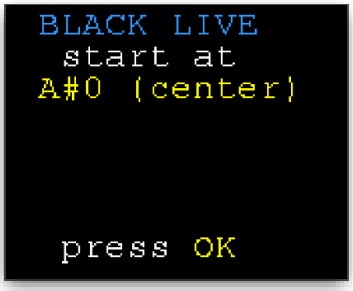


按 DONE: OK 返回上级界面。新的 CANT 数值会自动更新至当前轮廓数据并同步显示在 WHITE LEVEL 中，待下次执行保存操作时才会写入所选存储槽位；单纯扫键测量不会直接覆盖已有槽位。

CANT ADJUST 不会自动变更已记录的键高或 DISH 数据。由于校直歪键后该键的整体高度往往也会随之变化，请在继续最终键盘调平之前重新执行一次 WHITE HEIGHT 扫描。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.9.4 BLACK LIVE（黑键实时测量）



按红外遥控器上的 4 键进入 BLACK LIVE。翻转切换至黑键测量侧后，请按屏幕提示对准起始位置：若已有黑键扫描记录，起始点为系统识别到的第一枚黑键中心（标准 A0 起音的钢琴为 A#0）。若刚完成黑键扫描直接进入 PLAY，系统会自动沿用已识别位置，无需额外定位。



随后即可对全部黑键进行实时测量，操作逻辑与前述 WHITE LIVE 完全相同。加载数据集后，首次调用 WHITE LIVE 或 BLACK LIVE 时均会弹出一次 LIVE SETUP 提示，请核查并确认原始架设一致后按 OK 键继续（见“加载后的凹陷补偿与 LIVE 测量”）。



提示：黑键的识别窗口为琴键中心左右 ±4 mm 范围。如果识别位置略微向左或向右偏移（即黑键被过早或过晚触发识别），可按井号键（#）启用自由移动模式（FREE RUN），在此模式下可自由微调传感器坐标对应关系：先将传感器移至屏幕刚好识别出该黑键的位置，按井号键（#），再将传感器平移至实际正确位置（该黑键中心偏左约 4 mm 处），最后再次按井号键（#）确认锁定。

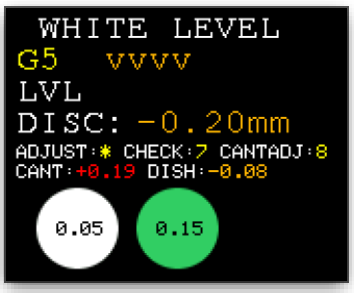


重新架设主机时可能会产生此类横向坐标偏移，遇到问题请先核对屏幕提示的位置基准。需注意，FREE RUN 仅修正横向音位映射关系，不能弥补已发生变动的高度基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.9.5 WHITE LVL / WHITE DIP / BLACK LVL / BLACK DIP（调用已测记录的测量值）

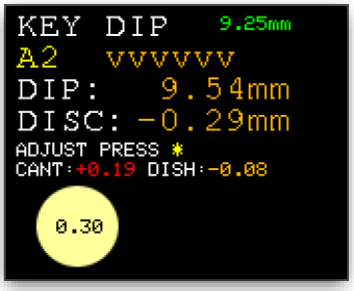












按红外遥控器上的 2 键（WHITE LVL）、3 键（WHITE DIP）、5 键（BLACK LVL）或 6 键（BLACK DIP）可分别调用对应查看模式，用于逐键显示此前测量记录（及已保存）的读数，即各键相对于既定基准曲线的偏差。

若传感器当前未处于导轨的正确一侧（白键在前侧、黑键在后侧），屏幕会再次提示“flip unit”，按前文所述将主机翻转 180° 放回即可。

滑过琴键时，屏幕顶部实时显示当前所在音位名称（如“A0”、“G5”或“F#3”）。若传感器滑出键盘左右两端有效范围，屏幕将显示 OUT OF RANGE。按 EXIT: # 返回上级/主菜单。

音位名称右侧会根据偏差方向显示指示箭头：向上箭头（品红色）或向下箭头（橙色）。

在 LVL 模式下，向上箭头表示该琴键高于目标基准曲线（键偏高），需向下降低；在 DIP 模式下，向上箭头表示该琴键键深浅于基准值（键深不足）。两种情况均需取出纸垫圈，或从键木底部适量削减木料。

同理，向下箭头表示低于基准曲线：在 LVL 模式下表示该琴键偏低，需向上抬高；在 DIP 模式下表示键深大于基准值（键深过深）。两种情况均需垫入纸垫圈，所需纸垫圈规格组合直接显示于屏幕下方。

负值与向下箭头均以橙色显示，正值与向上箭头均以品红色显示。当测量值处于基准值 ±0.03 mm 容差范围内时，屏幕显示“OK”，无需调整。

显示的箭头数量越多，说明偏离基准值的幅度越大。

在 DIP 模式下，屏幕顶部还会以绿色显示当前琴键对应的键深目标基准值。当设定倾角 tilt > 0 时，该值会随音位逐键渐变；否则全键盘保持恒定一致。

您可快速推动传感器滑过整副键盘，通过箭头快速浏览哪些琴键偏高/偏低（LVL 模式）或键深偏浅/偏深（DIP 模式）；但具体数值与推荐纸垫圈组合仅在传感器停稳后才会显示。

按 ADJUST:* 激活 Adjust 调整模式（详述见下一节）。

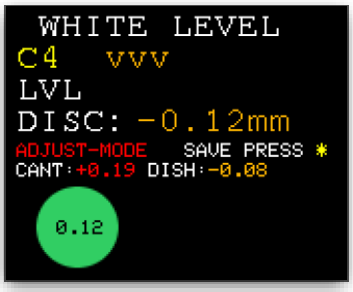
在 WHITE LEVEL 界面下，只要当前测量会话中的重复测量原始记录仍在内存中，按 CHECK: 7 即可打开当前白键的单音对比视图；重新加载存储槽位后，各次单独的重复扫描记录将不再可用。

按 CANTADJ: 8 可打开琴键横向倾斜（歪键）修正功能。

也可从 LIVE 模式直接进入此功能，操作详见前节。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.9.6 ADJUST 模式



按星号键（*）即可为当前选中的琴键激活 Adjust 模式。激光测距传感器会即刻采集该键当前所处高度，并将其锁定为后续微调的相对零点基准。

轻微抬高或降低琴键，屏幕读数及垫圈组合立即变化。将传感器移至一旁，取下琴键，按需要加入垫圈。ADJUST 始终锁定该键。移回同一键上方即可查看调整效果。偏差消除后再按 * 退出，数值写入当前数据组。

当处理偏高琴键且不确定中销钉原有纸垫圈厚度、甚至原有未垫纸垫圈时，此模式尤为实用。若确无纸垫圈可抽，对于微量偏高，可从键木底部适量削减木料。

对于三角钢琴键盘，拆下击弦机进行加减纸垫圈前，须在待调整琴键尾部放置配重铅块，使琴键前端保持在上方静止位，随后激活 Adjust 模式完成调平。

按此方式可先集中修整所有偏高琴键，之后再直接依据屏幕推荐的纸垫圈组合，为所有偏低琴键垫入纸垫圈。无需对每一枚偏低琴键逐一开启 Adjust 模式复核——只要操作细致规范，调平后的最终结果便会精准到位。

您可以按八度分组作业，每次取出一个八度的琴键垫入纸垫圈；也可以一次性取出整副键盘的全部琴键，集中完成所有纸垫圈的铺垫。

常见误差来源：

若继续沿用原有的旧呢圈，回装时务必保持其原有朝向与角度，否则仅因呢圈旋转错位就会导致键高读数发生变化。

薄纸垫圈因冲压工艺偶尔会相互粘连，容易误将两片或三片当作一片垫入。此外，冲压毛刺会使新纸垫圈边缘带有轻微凸起，初期会导致读数偏高，需经长期弹奏后才逐渐压实沉降。因此，垫入新纸垫圈后应在中销档处（LVL 调平）或前端（DIP 键深）适度用力压实琴键，并反复按压弹奏数次。

同样至关重要的一点，是使用数显游标卡尺等工具精确复测手头各种纸垫圈的实际厚度。实际厚度往往与标称值存在出入——例如某批次标称 0.12 mm 的绿色纸垫圈实测竟为 0.15 mm，标称 0.20 mm 的粉色纸垫圈实测为 0.19 mm。建议对每批纸垫圈做一次实测复核，并将中销档（调平）与前档（键深）的真实厚度录入设备设置（参见第 4.10 节“设定 / 修改纸垫圈厚度”）。

重要提示：

Adjust 模式仅显示相对高度变化量，即与锁定基准瞬间相比高度改变了多少，这一方法精度极高。虽然拆掉击弦机改用尾部铅块配重时，因受力差异，琴键的绝对高度与装有击弦机时会有细微差别，但这完全不影响作业精度——因为调整只需追踪相对于原准确测得偏差（例如三角钢琴装妥击弦机并拧紧键侧木状态下所测数据）的净变化量。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.10 设定 / 修改纸垫圈厚度



在主菜单中使用方向键选中 settings 并按 OK 键进入；在 SETTINGS 菜单中选择 PUNCHINGS 并按 OK 键打开。PUNCHING SETS 最多可管理 5 套纸垫圈配置组，点击标有 NEW 的下一个编号即可新建配置组。每个配置组均可设为启用、编辑或删除，但最后仅剩的 1 套配置组不可删除。

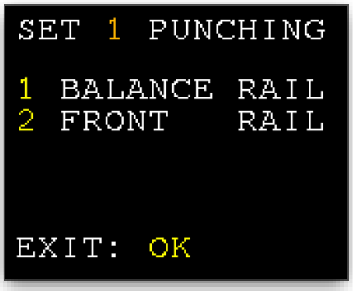


在 PUNCHING SETS 界面按对应数字键选择目标配置组。进入子菜单后：按 1 键（SET ACTIVE）将该配置组设为当前计算生效组；按 2 键（EDIT VALUES）打开分类选择：1 BALANCE RAIL（中销档纸垫圈）或 2 FRONT RAIL（前销档调深纸垫圈），两张厚度表独立编辑。请务必用合适的游标卡尺抽测同规格多片纸垫圈的实际厚度，测量时应注意卡尺夹持力度与冲压毛刺的影响。



重要提示：Key-Level 存储槽位不会单独备份历史纸垫圈厚度配置。即便加载旧数据集，系统也会按当前激活的纸垫圈配置组重新计算组合方案。在正式整理和导出数据前，请先核对当前生效的配置组是否与实际使用的纸垫圈规格相符。





版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

编辑纸垫圈厚度与选择组合方案

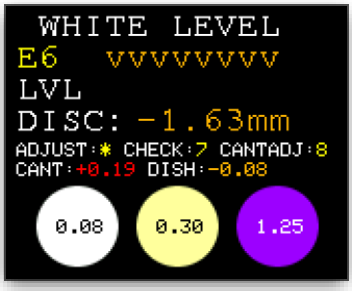
在数值编辑界面中，按 NEXT: * 跳转至下一条目；左右方向键以 0.01 mm 步进微调，上下方向键以 0.10 mm 步进粗调；按 0 键可启用或禁用该规格纸垫圈。被禁用的规格以灰色显示，系统在推荐组合时将不会选用。

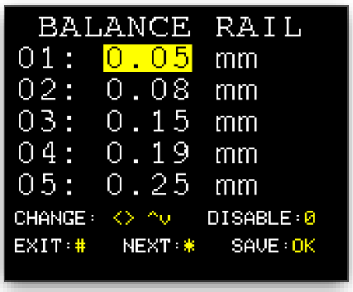
按 SAVE: OK 保存修改，按 EXIT: # 退出编辑器（如有改动，请务必先保存再退出）。中销档纸垫圈与前销档调深纸垫圈各自拥有独立的规格列表。

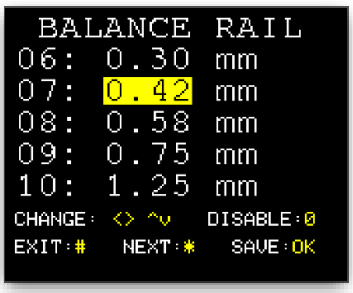
图示采用了前文实测复核后的厚度值（例如以 0.15 mm 替代标称 0.12 mm、以 0.19 mm 替代标称 0.20 mm）。BALANCE RAIL 共分 2 页、含 10 个规格槽位；FRONT RAIL 共分 3 页、含 13 个规格槽位。按 NEXT: * 亦会自动翻至下一页。

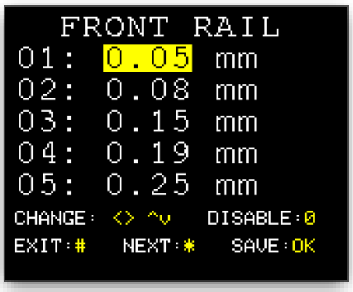
PMP 会从所有已启用的规格中自动匹配最优组合：例如前文 WHITE LVL 示例中，0.20 mm 修正量匹配 0.05 + 0.15 mm，0.24 mm 修正量匹配 0.05 + 0.19 mm；在 LIVE DIP 的 D7 示例中，1.03 mm 偏差匹配 0.30 + 0.75 mm（总厚 1.05 mm 落在选片容差允许范围内）。

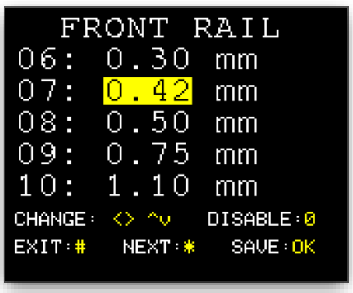
必要时系统最多可推荐 3 片组合：下方补充示例展示了 1.63 mm 修正量对应 0.08 + 0.30 + 1.25 mm 三片组合。PMP 会优先选用不超过 2 片的组合，仅当 2 片组合精度不足时才启用 3 片组合。手头缺货或不使用的规格请按 0 键禁用，以免系统推荐。

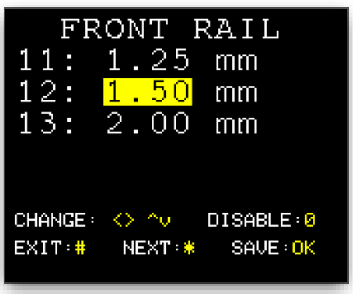






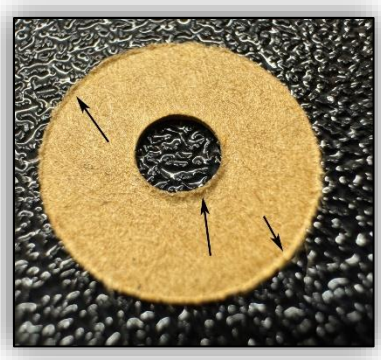






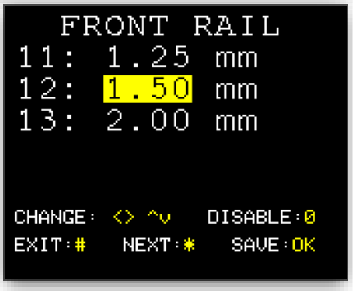
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.10.1 正确测量与存放纸垫圈

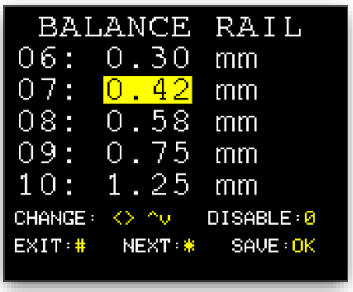


建议对每种规格的纸垫圈均抽取多片，用数显游标卡尺仔细复测。同一生产批次内的厚度通常较为一致，但往往会偏离标称厚度——例如标称 0.12 mm 的绿色纸垫圈实测可能达到 0.15 mm。

测量时需防止冲压工艺造成的边缘卷边（毛刺凸起）干扰读数，因此测前可用小滚轮等工具将纸垫圈轻轻碾平；卡尺夹持力度也须不轻不重、凭手感恰到好处，才能测得真实厚度。正因冲压卷边的存在，在后续键盘调平时务必将装回的琴键在中销档处用力压实，以便当场消除卷边虚高。若未压实仅轻放琴键，初期键前会偏高，待长期弹奏压实后键高才会下沉，导致不得不整副键盘重新返工调平。



此外，纸垫圈务必干燥存放。高环境湿度会导致纸垫圈吸湿变厚。建议在收纳盒内放入小包硅胶干燥剂，吸收多余湿气，保持纸垫圈干燥与厚度稳定。



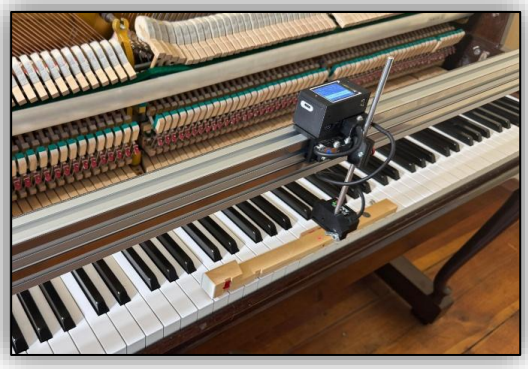
若后续调平过程中发现，在键杆比已准确录入的前提下，使用某一规格纸垫圈时总是规律性地偏高或偏低，则应相应微调设备中该规格纸垫圈的设定厚度值。

中销档垫圈									
0.05	0.08	0.15	0.19	0.25	0.30	0.42	0.58	0.75	1.25

前销档垫圈												
0.05	0.08	0.15	0.19	0.25	0.30	0.42	0.50	0.75	1.10	1.25	1.50	2.00

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.11 测量键杆比



每次调用“key level”功能时，无论加载已有数据集还是开始新测量，均可调整键杆比。

屏幕将分别显示设备当前保存的白键与黑键杠杆比，可使用方向键编辑修改。为了由琴键前端实测高度偏差换算出中销档所需纸垫圈厚度，系统必须获知键杆比，其定义为：后臂长 / 琴键总长。

$$\text{键杆比} = \frac{\text{后臂长}}{\text{总长}}$$

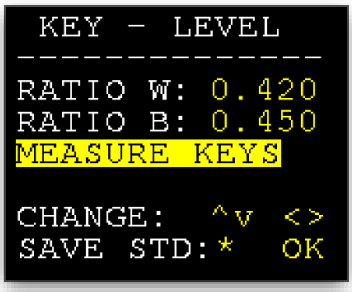


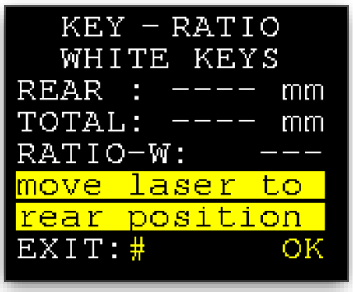


后臂长：从琴键尾部支承点（后档呢条中心处）至中销钉孔中心的距离。

琴键总长：从琴键尾部支承点至琴键前端测量位置（即激光光斑测量键高处）的距离。

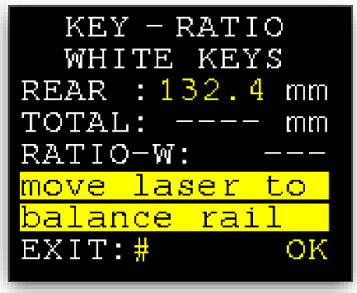
该比值的实际敏感度低于一般直觉预期：即便采用适用于绝大多数钢琴的近似默认值 0.42，纸垫圈计算结果也已相当准确。但若追求极致精度，既可用卷尺手工量取并计算后直接在菜单录入，也可使用便捷的“MEASURE KEYS”自动测量功能。





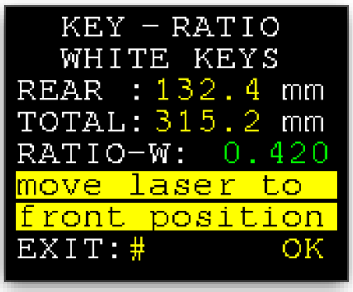
操作时，在菜单中用方向键选中 MEASURE KEYS。取出一枚尽可能平直（无弯曲偏折）的琴键横向平放在键盘前端表面上，以便用激光依次瞄准测量三个基准点：





步骤 1（尾部测点）：瞄准琴键在后档呢条上的支承点（中心位置），按 OK 键确认。此时屏幕显示 0.00 mm（位置归零）。





步骤 2（中部测点）：将激光光斑对准中销钉孔中心，按 OK 键确认。屏幕即显示后臂长（REAR）。

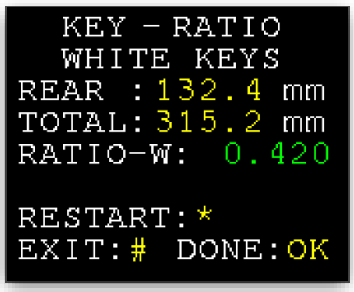
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

步骤 3（前端测点）：将激光移至琴键前端测高时的实际光斑落点，对准后屏幕即显示琴键总长（TOTAL）。

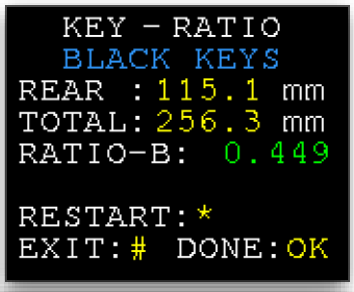




系统会自动算出最终的白键杠杆比（RATIO-W）
并在屏幕上显示。按 OK 键采纳该数值，随后取一枚黑键重复相同流程。通常黑键的键杆比略高于白键。



按星号键（*）可将当前设定值存为设备默认标准值，每次重启设备后将自动沿用。但当加载某个已保存的历史数据集时，系统仍会自动还原该数据集保存当时所记录的杠杆比。

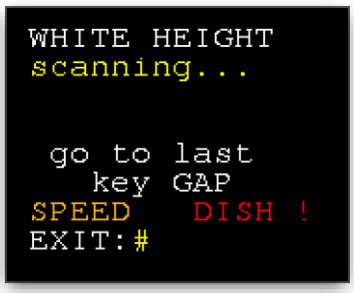


按 OK 键关闭该对话框。

正式加减纸垫圈调平前，请务必输入实测键杆比（采集完成后亦可随时修改），系统将随之重新计算分级颜色与纸垫圈组合（参见“评估颜色与凹陷补偿”）。

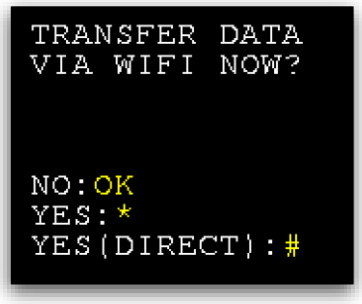






版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.12 在新版网页界面中打开 KEYS

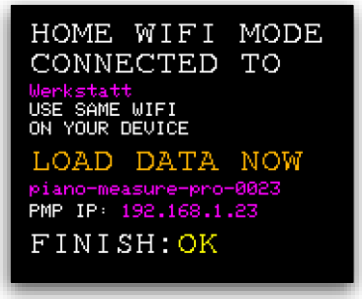


PMP 现已将数据分析直接带到钢琴键盘旁：所有 KEYS 测量数据与图表均可在任意平台的网页浏览器中直接查看。无论使用 iPhone、iPad 还是笔记本电脑，都不再需要单独的 Excel 文件。

1. 准备待传输的测量数据

完成 Key-Level 测量，或从存储槽位中加载目标数据集。屏幕上方出现 TRANSFER DATA VIA WIFI NOW? 询问后，按 * 或 # 键选择无线连接方式。

2. 通过本地 Wi-Fi 连接：按 * 键



将 PMP 接入已保存的无线网络（例如工作室中的 家用无线路由器），并将智能手机、平板或笔记本电脑连接至同一 Wi-Fi。在 HOME WIFI MODE 界面下，PMP 会显示网络名称及路由器分配的 PMP IP 地址。

3. 客户现场直连：按 # 键

没有可用的本地网络时，可使用 PMP 自身的 Wi-Fi。

按 # 开启直连。在显示图表的设备上打开 Wi-Fi 设置，选择 CONNECT TO 下列出的网络。默认密码为 12345678，如已自定义则用新密码（见 settings）。



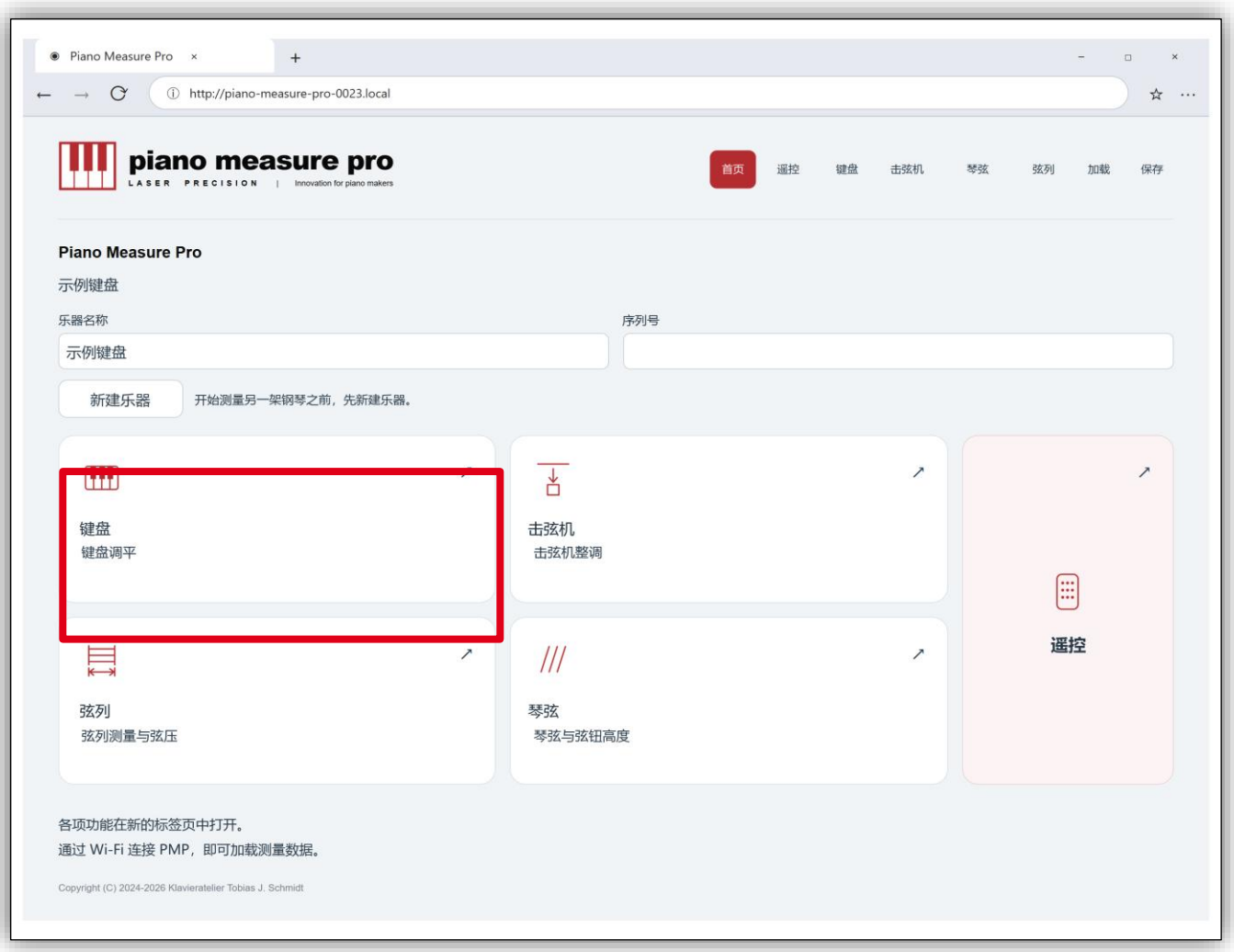
4. 在浏览器中打开首页

本地 Wi-Fi 模式下，在浏览器中输入 PMP 显示的 IP 地址或带 .local 后缀的设备名（例如 http://piano-measure-pro-0023.local）；直连 PMP Wi-Fi 时，请输入 http://192.168.4.1。进入首页后点击 KEYS。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在首页选择 KEYS

点击乐器信息栏下方红框标出的 KEYS 磁贴，即可在新的浏览器标签页中打开分析界面。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

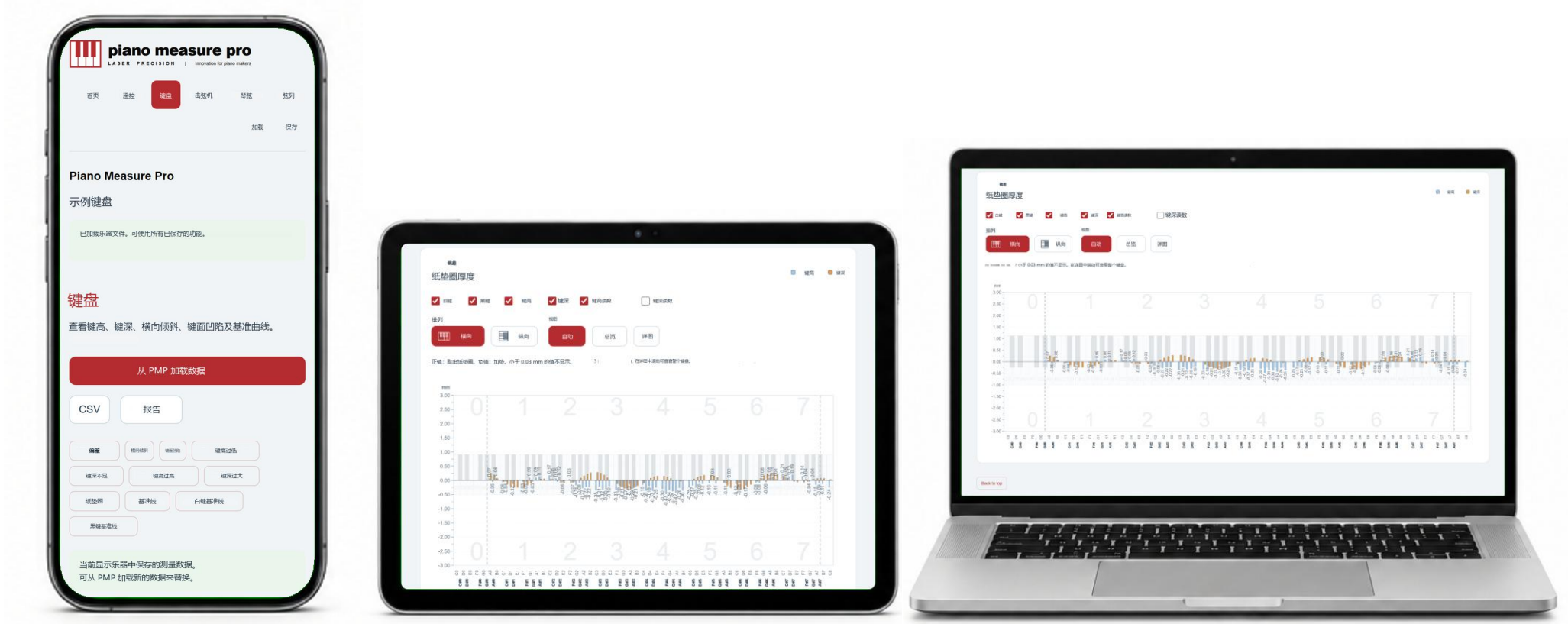
打开 KEYS 并加载测量数据



点击 Load data from PMP（从 PMP 加载数据）读取当前数据集。导航栏的 LOAD 用于打开备份的乐器文件。加载成功后，在 PMP 上按 FINISH: OK 确认结束传输。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在 iPhone、iPad 及笔记本 / 台式电脑上使用 KEYS



页面布局会根据终端设备自动适配：在大尺寸电脑屏幕上，图表充分利用横向宽度；在智能手机上则以更紧凑的版式呈现，必要时可在图表区域内滑动浏览。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

DEVIATIONS——智能手机上的竖屏图表视图



竖向 DEV 视图中的虚拟示例测量数据。在图表区域内向下滑动即可查看其余琴键。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.12.1 检查测量基准与设置

以下各图展示了一副完整标准键盘（52 枚白键、36 枚黑键）的虚拟示例测量结果。



HEIGHT 定义目标基准高度或目标键深：WHITE / LVL 显示白键相对所选支承面的高度，BLACK / LVL 显示黑键高出白键的高度，WHITE / DIP 与 BLACK / DIP 分别显示设定的白键与黑键键深。

TILT 表征各对应基准线沿整副键盘的整体斜率；CROWN 表示基准曲线的键盘拱度；RATIO WHITE 与 RATIO BLACK 用于将键高偏差换算为中销档纸垫圈厚度。

核查测量基准

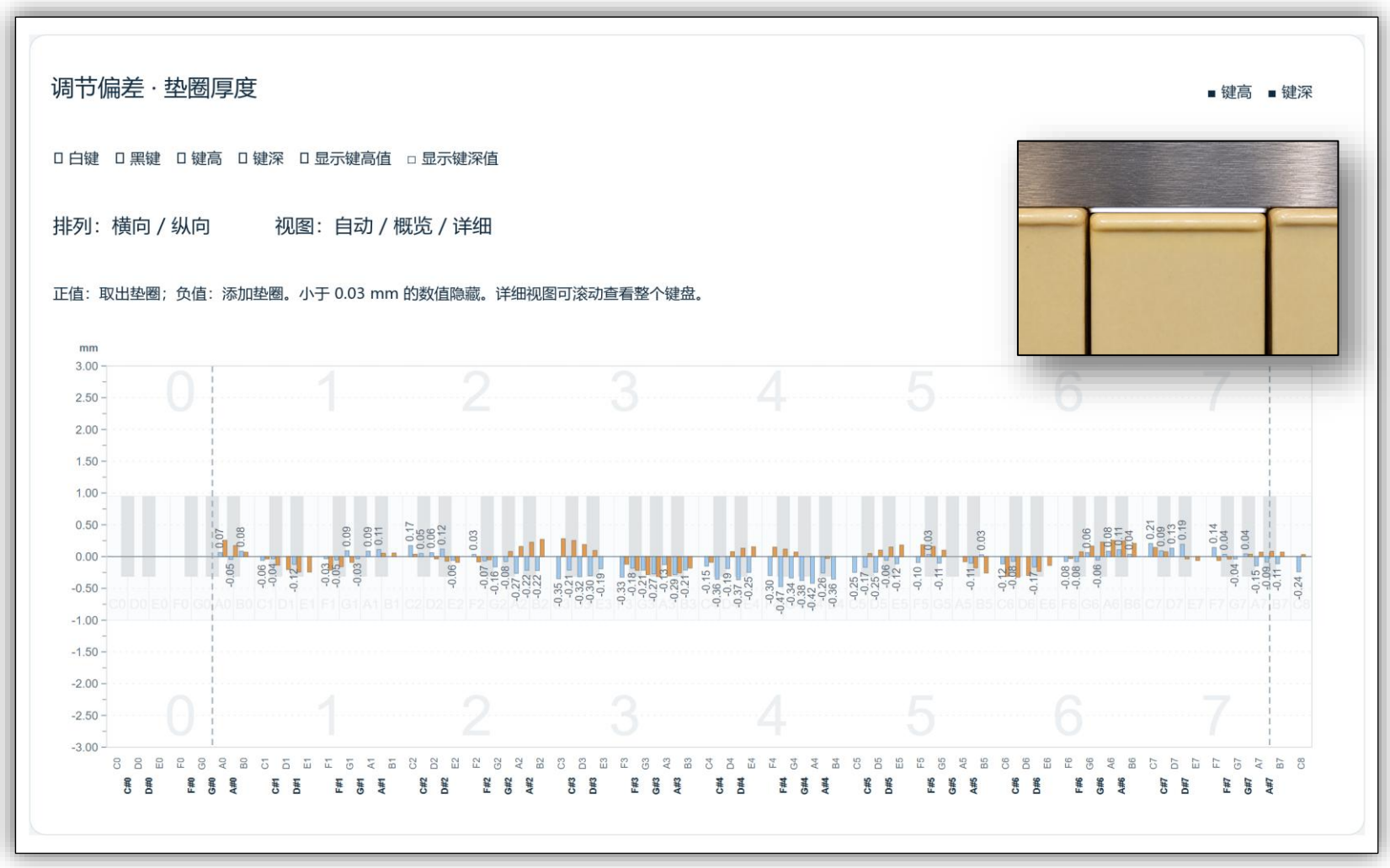
示例中 White-key height reference 显示为 KEY SLIP / TOP，表示白键键高以键盘前档至键皮上表面为基准；Block 30.0 mm 表示所使用的基准测块高度。请确保测量基准与实际架设条件及所选基准边完全吻合。

备份数据集并确保后续准确归档

点击 SAVE 可将包含测量基准在内的整机测量进度保存为 .pmp 文件；点击 REPORT 生成独立 HTML 报告；点击 CSV 导出包含单键原始值及基准信息的表格文件。日后进行前后对比前，请务必核对支承面与基准边是否一致。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

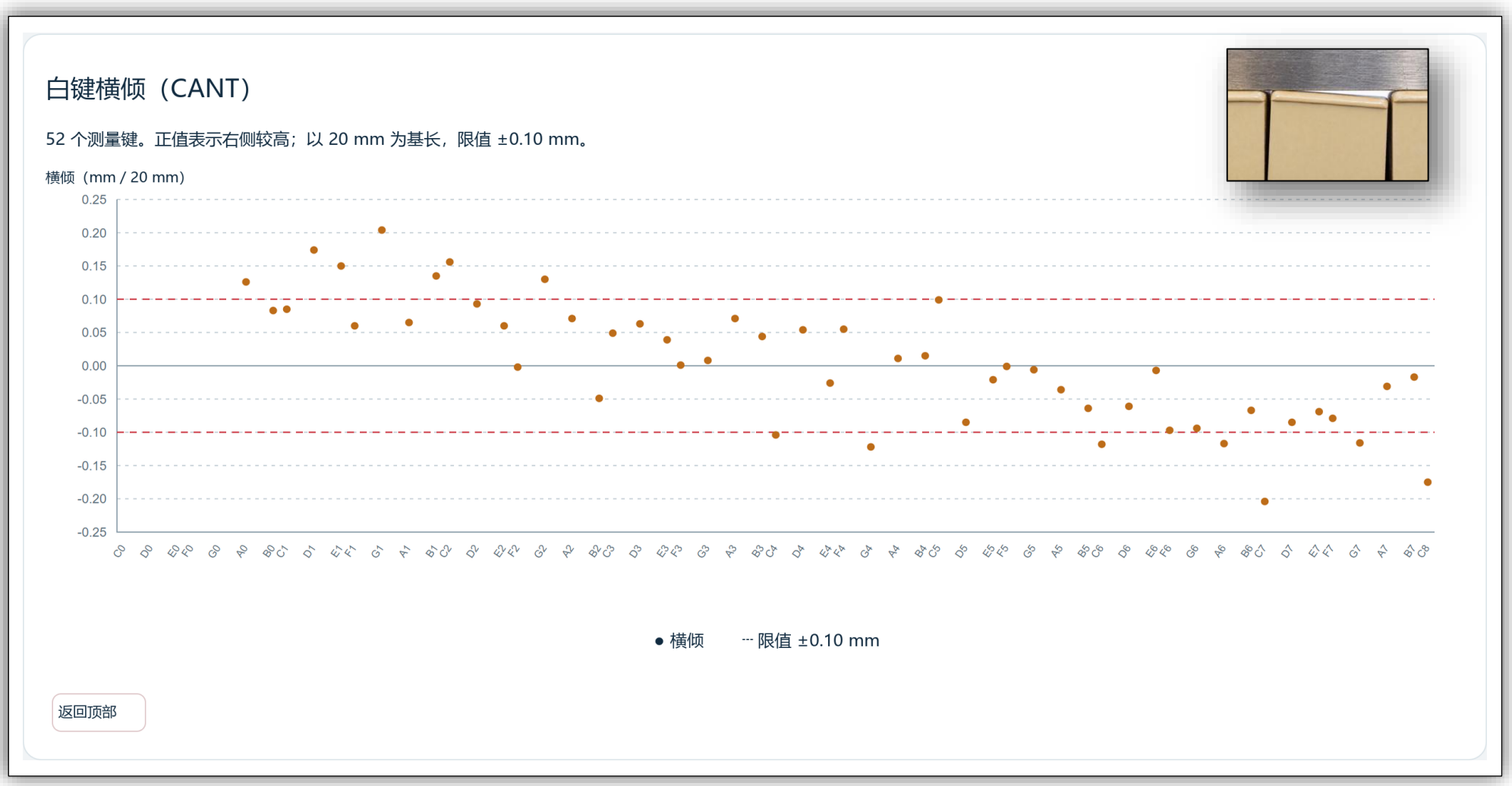
4.12.2 使用 DEVIATIONS 作为总览视图



柱状图可帮助您迅速纵览全键盘偏差的分布规律与幅度：浅蓝色代表键高（HEIGHT），橙色代表键深（DIP）。具体所需的纸垫圈组合随后可在 HEIGHT TOO LOW / HIGH 及 DIP TOO LOW / HIGH 表格中直接读取。插图实物照片展示了一枚偏低的中间琴键：其键面平整且横向水平，因此在整枚键宽上方与直尺之间形成一道宽窄均匀的透光缝。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

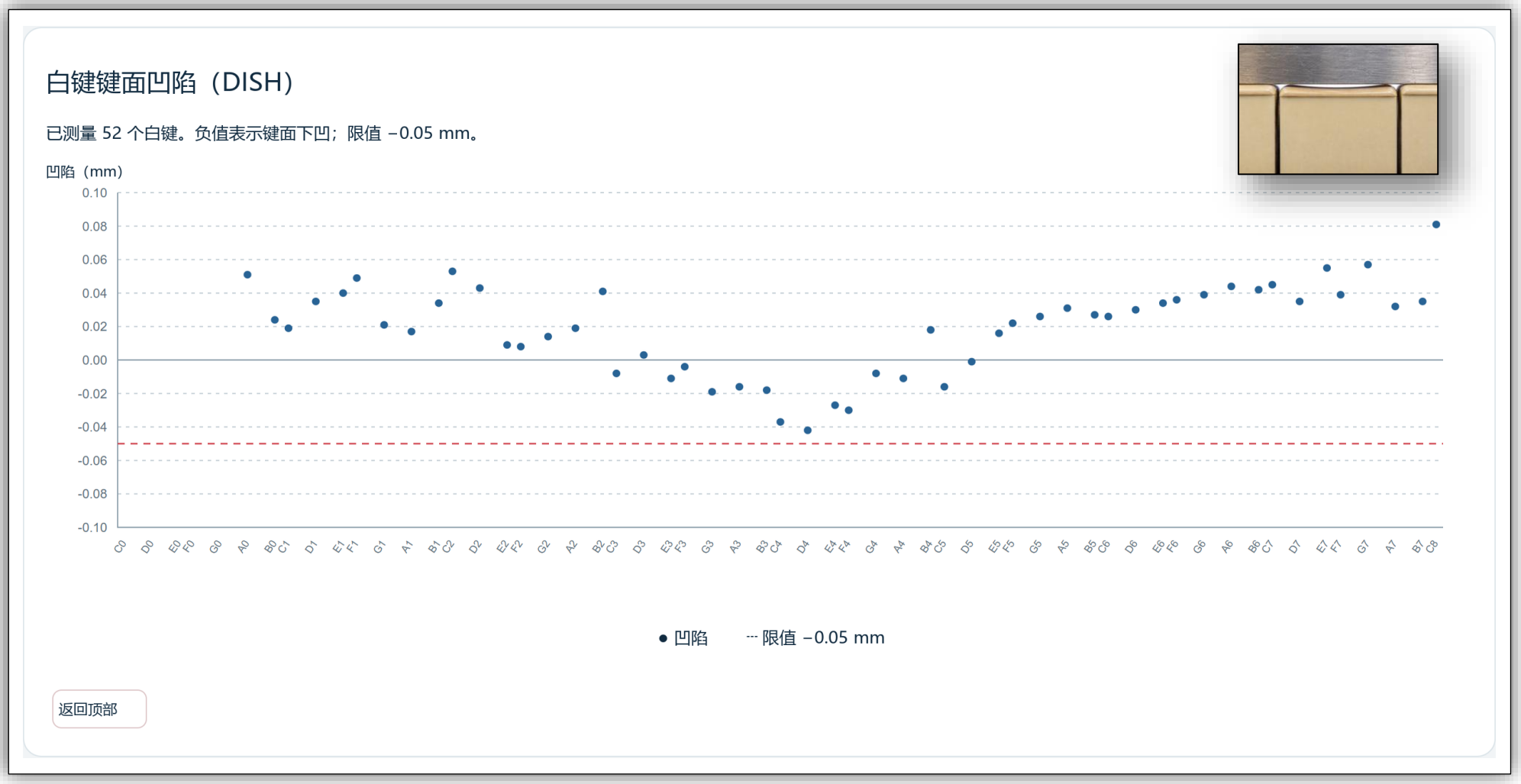
CANT：白键横向倾斜



CANT 图表展示各白键折算至 20 mm 键宽的横向倾斜值，正值表示琴键右侧高于左侧。红色虚线警戒线标示 ±0.10 mm 限值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

DISH：白键键面轮廓



DISH 图表在零刻度线下方显示长期弹奏磨损形成的键皮凹陷，红色虚线警戒线位于 -0.05 mm 处，落在此线以下的散点代表较明显的凹陷。借助全新的“Dish-Correction”（凹陷补偿）功能，系统可对此类琴键进行精准修正，使键盘调平以键皮较高的两侧边缘为基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.12.3 为当前工序选择纸垫圈

四张表格分别按中销档（键高）与前销钉（键深），以及垫入与取出纸垫圈对作业进行分类归整。每张表的标题均明确标示所需操作及涉及的琴键总数。

HEIGHT TOO LOW（键高过低）：需在 57 枚琴键的中销钉处垫入纸垫圈。

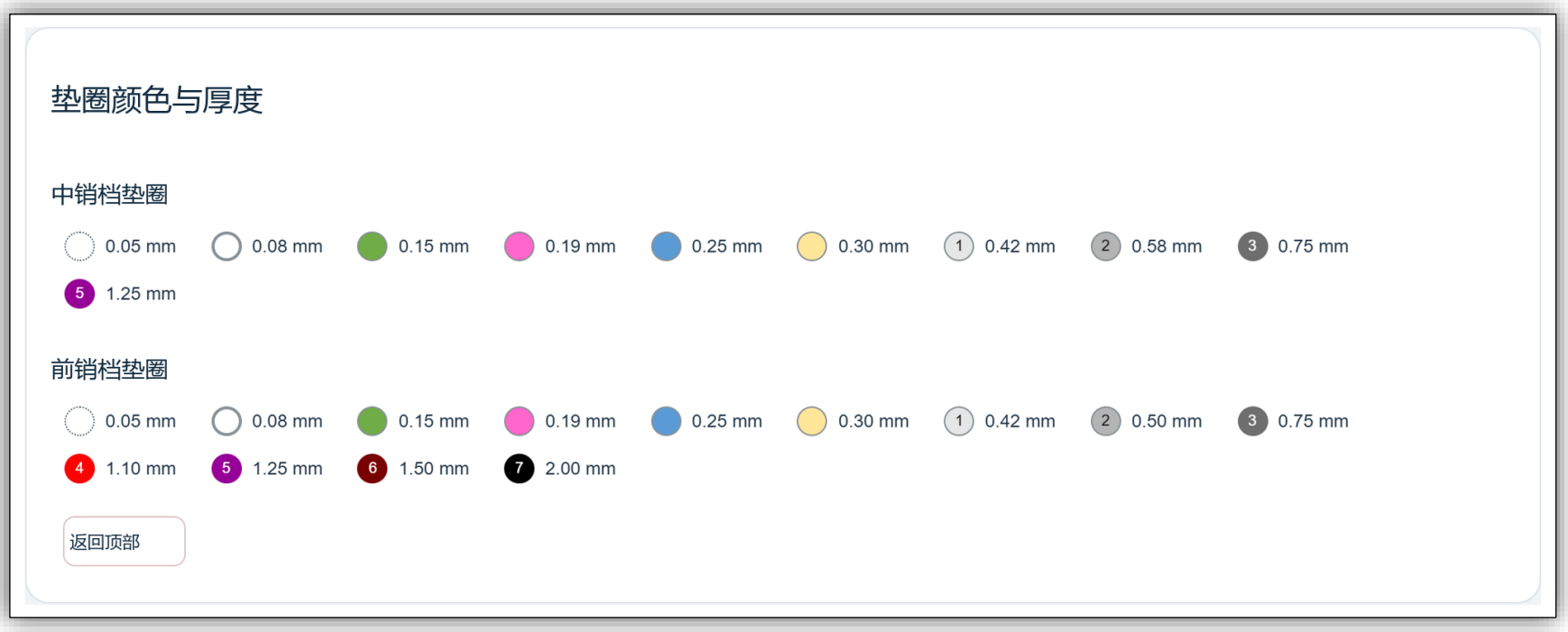
HEIGHT TOO HIGH：需在 22 枚琴键的中销档中销钉处取出纸垫圈。

DIP TOO LOW：需在 34 枚琴键的前销钉处垫入纸垫圈。

DIP TOO HIGH：需在 40 枚琴键的前销钉处取出纸垫圈。

教学示例中的纸垫圈颜色图例

以下虚拟示例测量数据展示了一副尚未调平的键盘及其所需的多种纸垫圈厚度规格。

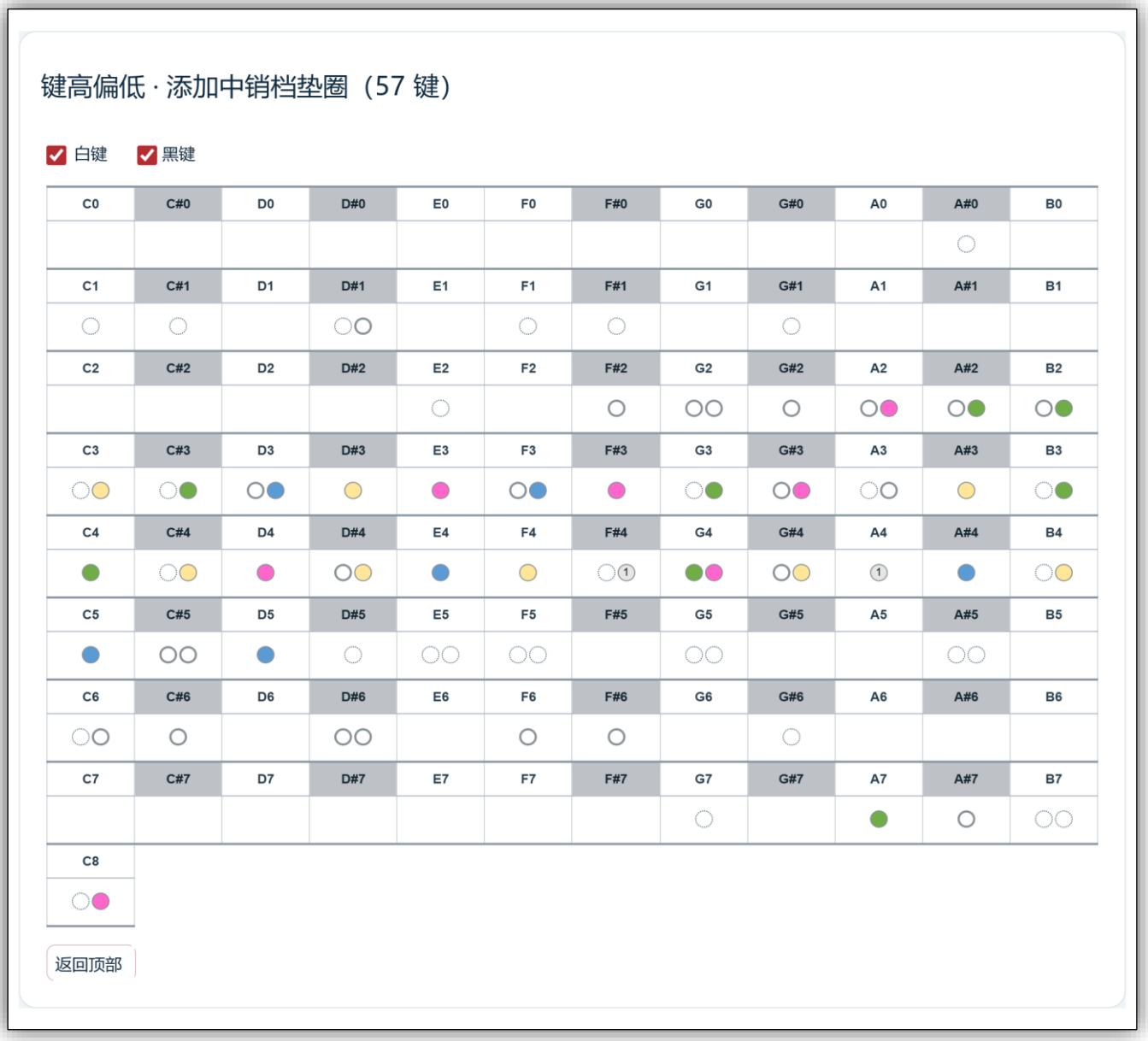


键高调整对应上方图例 Balance rail punchings（中销档纸垫圈），键深调整对应下方图例 Front rail punchings（前销档调深纸垫圈）。圆圈内的数字用于标识较厚规格的纸垫圈型号。目前图例颜色尚不支持自定义设置，该功能已列入开发计划，将在后续版本更新中推出。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

教学示例：在中销档处垫入纸垫圈

HEIGHT TOO LOW 表格显示共有 57 枚琴键需要调高修正。按第 4 八度从 C4 至 F4 依次读取：C4 为绿色 = 0.15 mm，D4



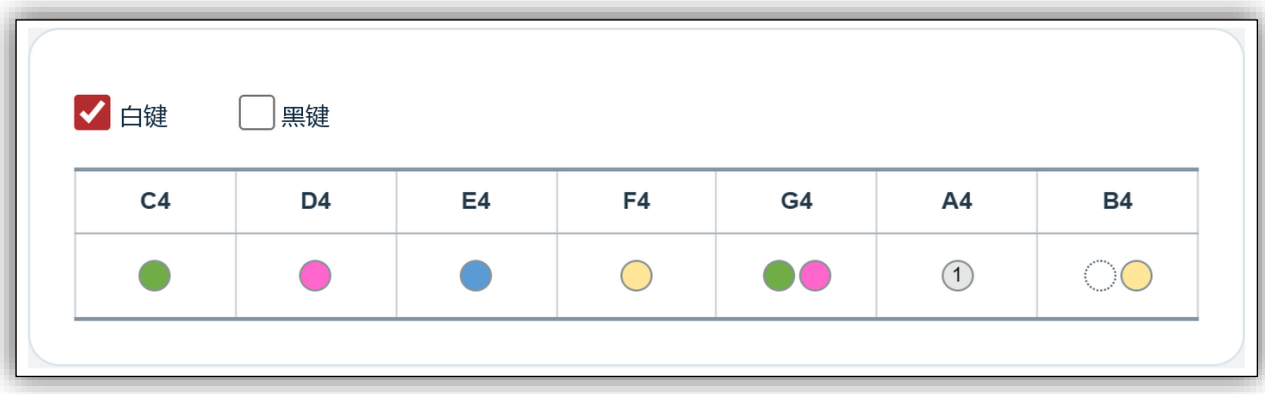
为粉色 = 0.19 mm，E4 为蓝色 = 0.25 mm，F4 为黄色 = 0.30 mm。

Add balance rail punchings（增加中销档纸垫圈）。每个八度排成一行；勾选或取消 White 与 Black 复选框可筛选表格内容；同一音位下方出现多个圆圈时，表示需将对应纸垫圈叠加组合使用。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

按白键/黑键分组显示第 4 八度

仅显示白键：勾选 White，取消勾选 Black。



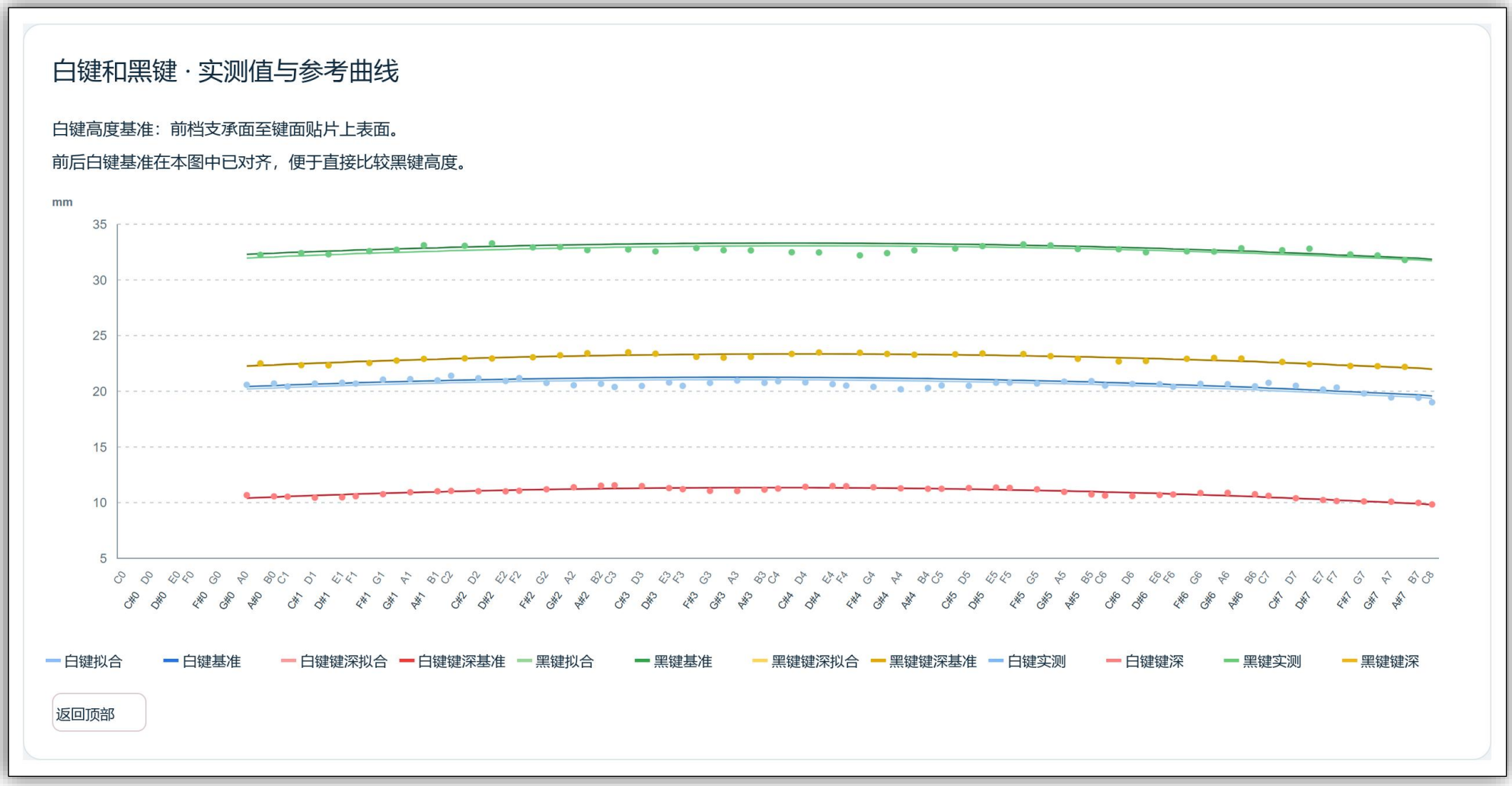
仅显示黑键：勾选 Black，取消勾选 White。



E4 的纸垫圈推荐方案计算原理如下：在教学示例中，该键偏低 0.589 mm，乘以白键键杆比 0.424 后四舍五入得 0.25 mm。因此只需在 E4 的中销档中销钉处垫入一片蓝色纸垫圈，随后复测该键即可。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

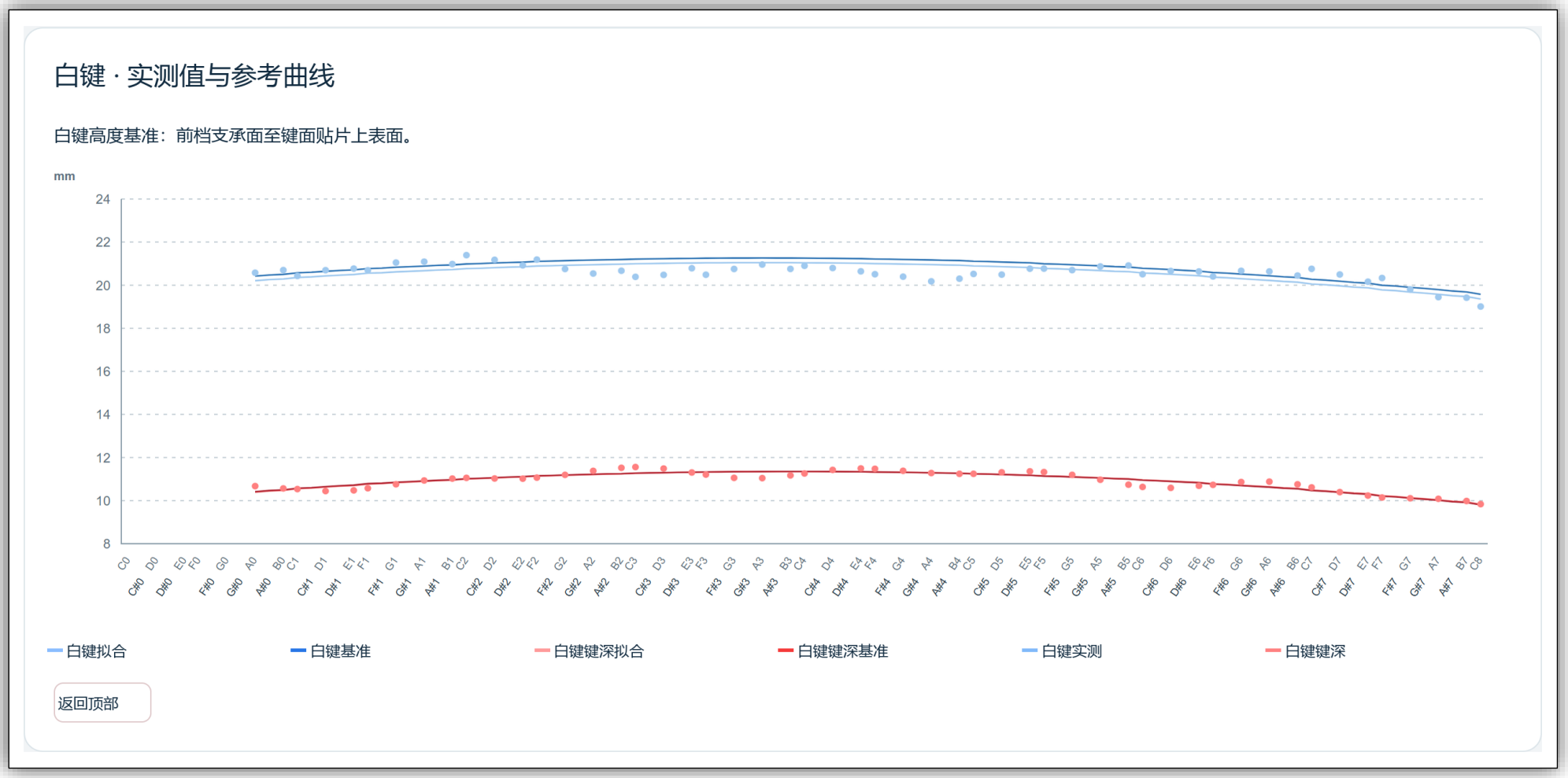
4.12.4 对比基准曲线



REF-LINES 将白键与黑键同图合并显示。在该视图中，系统已将白键前部基准与后部基准对齐关联，便于直接评估黑键高出白键的实际高度。REF-LINES WHITE 与 REF-LINES BLACK 则将白键与黑键分组独立显示，其中黑键视图以白键后部基准作为零参考。REG 代表系统基于实测散点自动拟合的最佳拟合抛物线，REF 代表技师设定的目标基准曲线（可通过 HEIGHT 调整高度、TILT 调整倾角、CROWN 调整键盘拱度），因此两条曲线可能存在差异。实际整理作业时，均以各实测点相对于既定 REF 基准曲线的偏差为准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

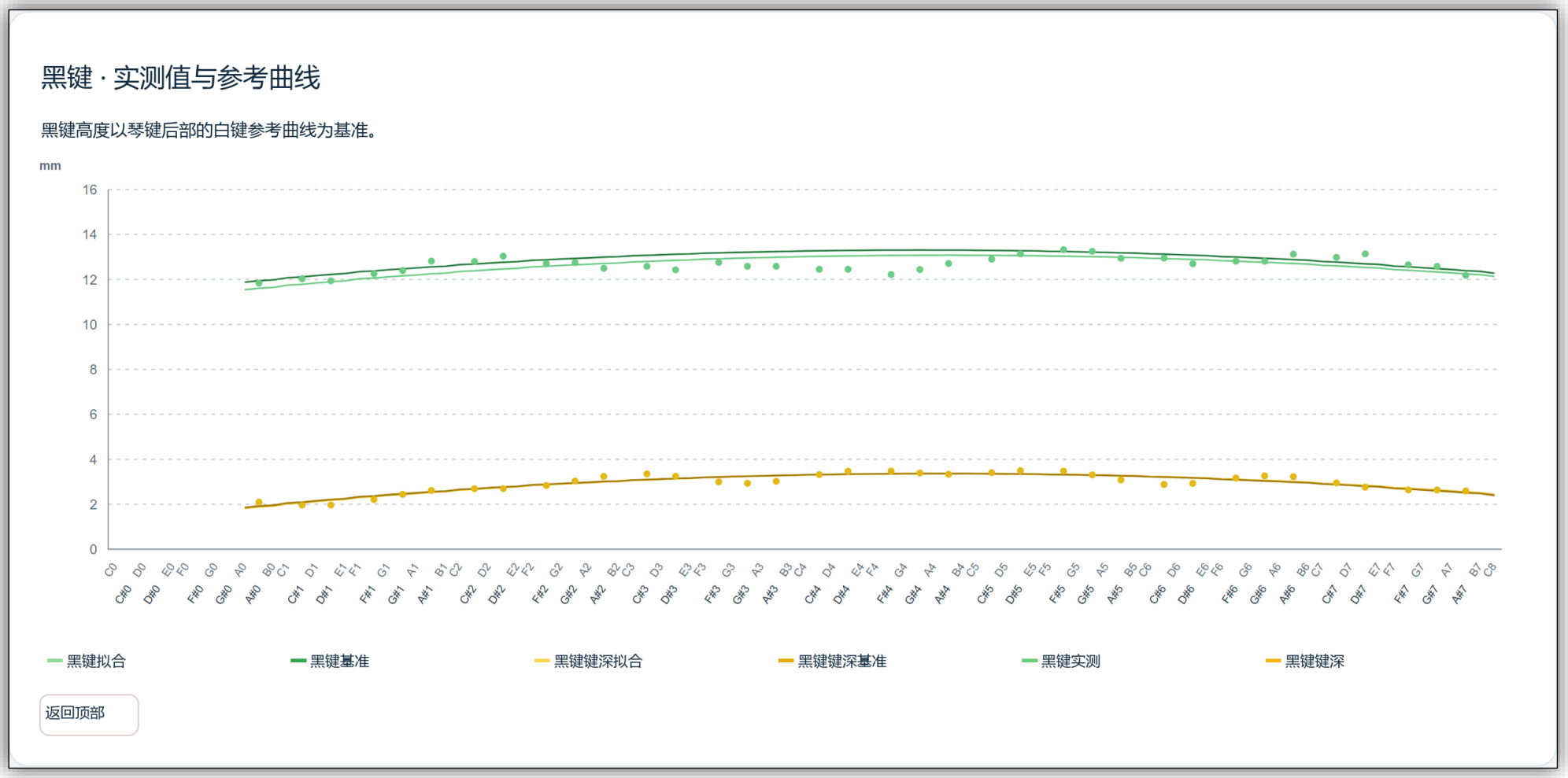
REF-LINES WHITE：白键



上方散点列表示白键静止位置（高出键盘前档约 20 mm），下方散点列表示琴键完全按下时的下沉位置。在图示虚拟示例中，技师将目标键高基准上调，因此深蓝色曲线 REF WHITE 位于浅蓝色最佳拟合抛物线 REG WHITE 上方；键高修正量以实测点相对于 REF WHITE 的偏差为准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

REF-LINES BLACK：黑键

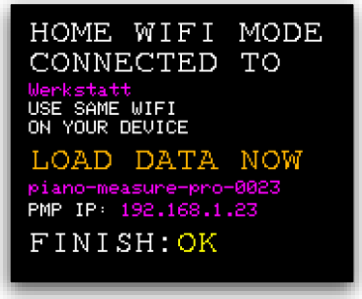


黑键高度以白键后部基准为参照零面，请分别将静止位和按下位的散点与各自对应的基准曲线进行对比。

散点反映每枚琴键的实测位置，基准曲线则展示沿整副键盘设定的目标走势。建议先在总览图中识别异常区段，再打开对应的纸垫圈表格开展修正作业。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

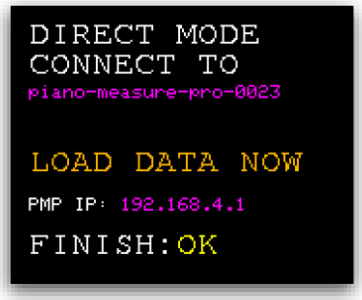
4.13 在 Excel 中分析数据集（已过时）



保存或加载数据集后，屏幕会弹出 TRANSFER DATA VIA WIFI NOW? 询问是否传输数据：按 * 键启用本地 Wi-Fi 导入，按 # 键启用直连模式，按 OK 键跳过传输。务必待数据成功导入后，再在测量仪上按 FINISH: OK 确认结束。

测量结果可在 Excel 中以图表形式可视化呈现并进一步处理，同时还可生成按八度分列、以彩色圆点标示每枚琴键所需纸垫圈的对照图。

您可将此类图表截图发送至智能手机或平板电脑，便于在工作室钢琴旁随时对照作业。

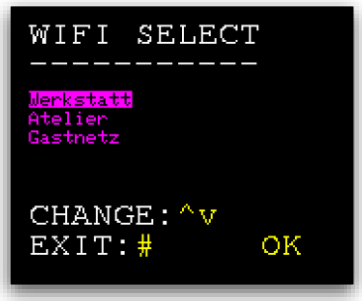


4.13.1 建立 WiFi 连接

测量仪与电脑之间可通过以下两种方式建立连接：

通过现有局域网连接（NORMAL WIFI MODE）：

按 * 键启动传输时，设备会尝试接入已保存的本地 Wi-Fi。请以测量仪屏幕上实际显示的连接模式为准。



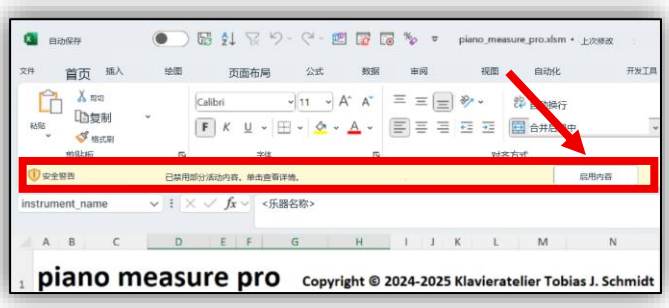
本地 Wi-Fi 及密码的一次性配置方法详见第 2.7.3 节“配置本地 Wi-Fi”。请按该节指引建立连接，随后在旧版 Excel 工作簿中选择与之匹配的连接模式。

无局域网时的直连方式（DIRECT SOFT AP）：

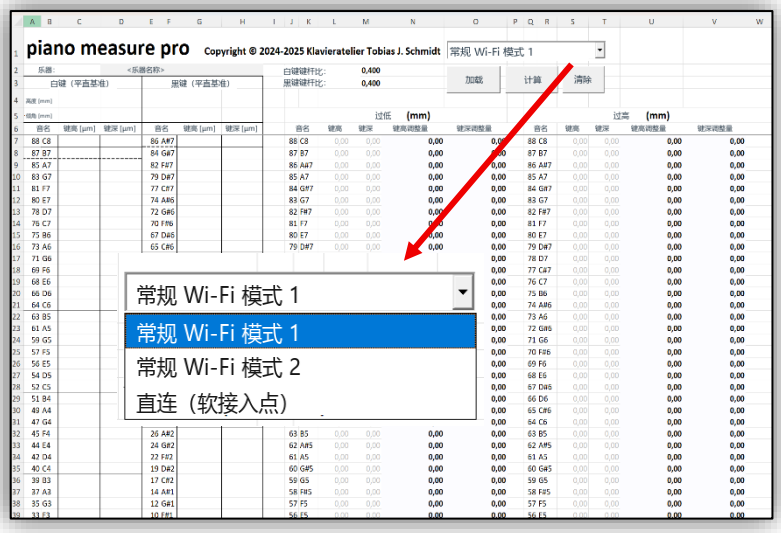
无可用 Wi-Fi 时可将设备直接连到电脑。Windows 从任务栏的 Wi-Fi 图标打开网络列表；macOS 从右上角打开 Wi-Fi 菜单。设备名称如 piano-measure-pro-0023（配 SENSOR 1 的 1 号机）或 piano-measure-pro-2-2024（配 SENSOR 2 的 2 号机）。后缀为设备序列号，见 2.8 节。除非已更改，初始密码为 12345678。选中相应网络，使电脑直连设备，再按下一节传输。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.13.2 从设备读取数据



打开 Excel 工作簿后，必须确保已启用宏功能。在 Excel 中打开该文件时，顶部通常会弹出一条黄色安全提示栏并附带“启用内容”（德文界面为“Inhalt aktivieren”）按钮，务必点击确认，否则无法进行数据传输。若未出现该提示栏，则说明宏可能已被彻底禁用，需在 Excel 设置中手动开启（路径：文件 > 选项 > 信任中心 > 宏设置），随后重启 Excel 使更改生效。



在“DATA”工作表的右上角设有一个下拉选择框，用于指定通过本地 Wi-Fi 连接的是设备 1 还是设备 2（NORMAL WIFI MODE 1 或 NORMAL WIFI MODE 2）；若电脑与测量仪采用直连方式，请选择 DIRECT (SOFT AP)。

随后点击“LOAD”按钮，系统便会自动将完整数据集载入 Excel 表格。若首次读取未能成功，再次点击重试即可。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.13.3 “DATA”工作表

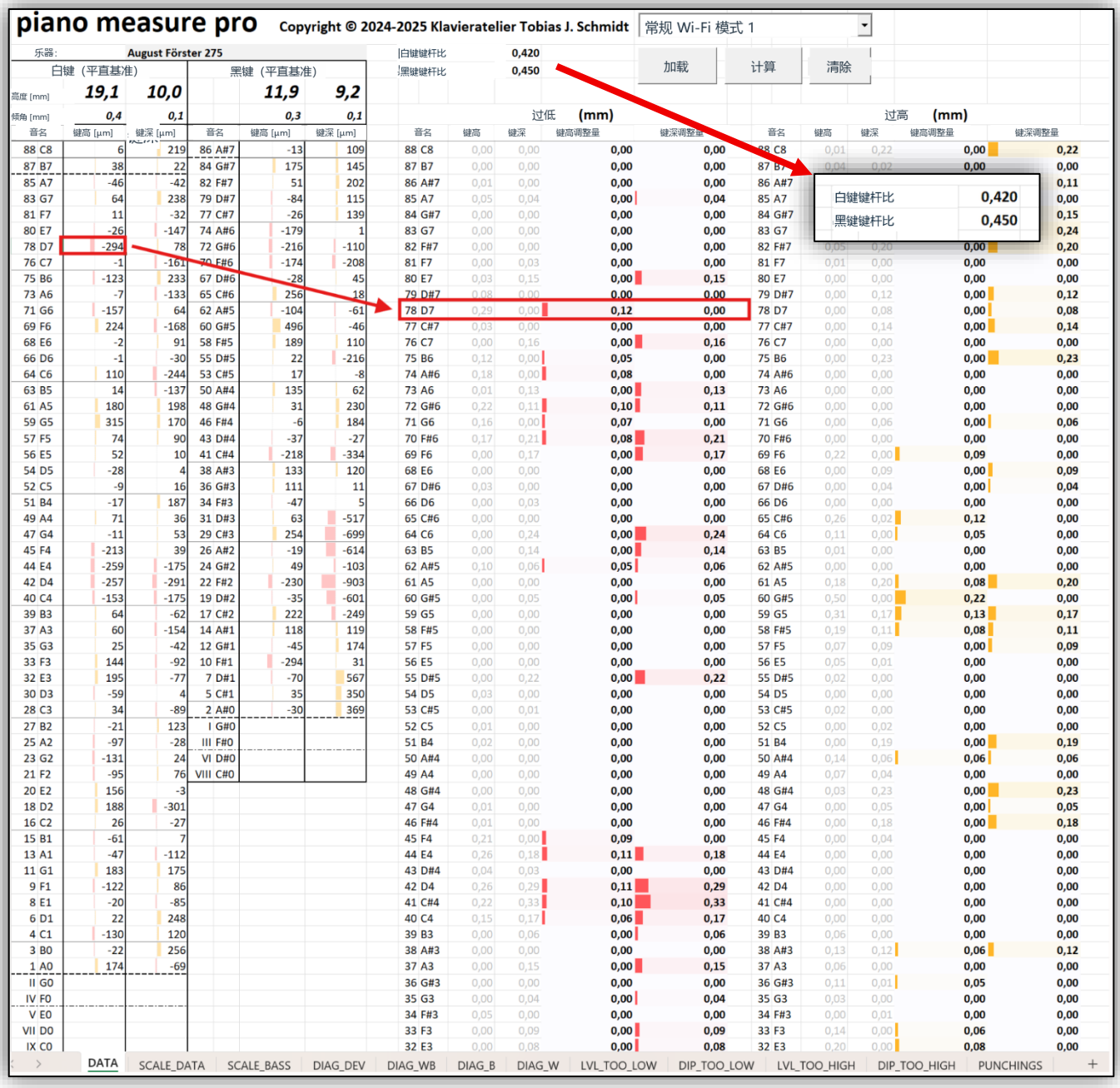
读取完成后，测量数据将以表格形式呈现在“DATA”工作表中：

- 向下偏差（琴键偏低或键深过深）以红色数据条标示。
- 向上偏差（琴键偏高或键深偏浅）以黄色数据条标示。

左侧各列以微米（1/1000 mm）为单位显示实测偏差值。

例如 D7 为 -294，即向下偏离 0.294 mm，表示琴键过低。

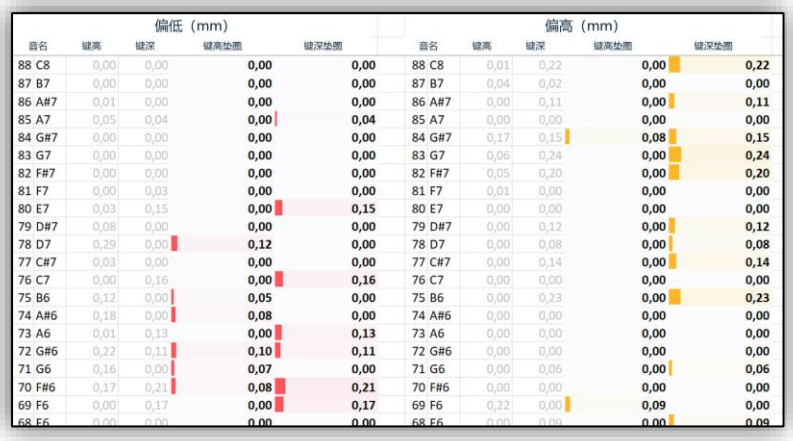
若 WHITE KEY RATIO 为 0.42，算得垫圈厚度为 0.123 mm。加上该厚度可使键前端升高 0.294 mm，与基准曲线重合。



表格右侧分为两个数据区：

- “TOO LOW”（红色偏差值）
- “TOO HIGH”（黄色偏差值）

此处将左侧各列的测量偏差结合白键和黑键的键杆比（KEY RATIO）自动换算，并以毫米为单位列出所需纸垫圈厚度（LVL-DISC / DIP-DISC）。

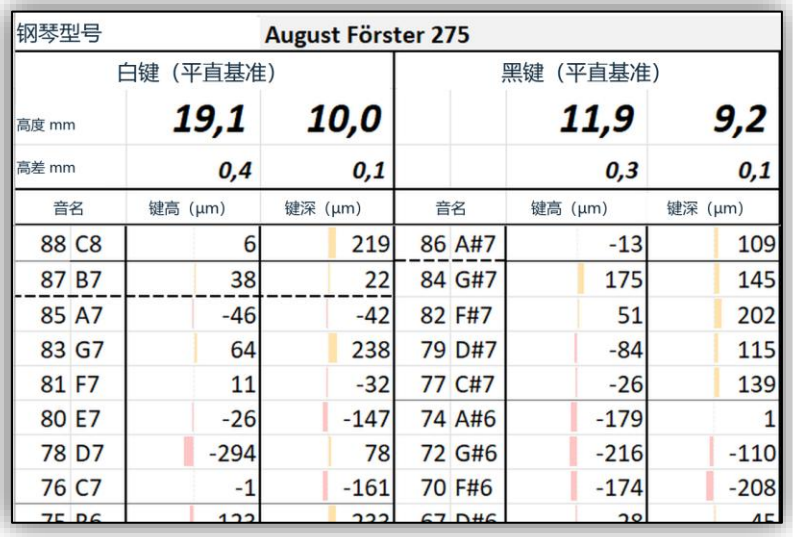


偏低（mm）					偏高（mm）				
音名	键高	键深	键高垫圈	键深垫圈	音名	键高	键深	键高垫圈	键深垫圈
88 C8	0,00	0,00	0,00	0,00	88 C8	0,01	0,22	0,00	0,22
87 B7	0,00	0,00	0,00	0,00	87 B7	0,04	0,02	0,00	0,00
86 A#7	0,01	0,00	0,00	0,00	86 A#7	0,00	0,11	0,00	0,11
85 A7	0,05	0,04	0,00	0,04	85 A7	0,00	0,00	0,00	0,00
84 G#7	0,00	0,00	0,00	0,00	84 G#7	0,17	0,15	0,08	0,15
83 G7	0,00	0,00	0,00	0,00	83 G7	0,06	0,24	0,00	0,24
82 F#7	0,00	0,00	0,00	0,00	82 F#7	0,05	0,20	0,00	0,20
81 F7	0,00	0,03	0,00	0,00	81 F7	0,01	0,00	0,00	0,00
80 E7	0,03	0,15	0,00	0,15	80 E7	0,00	0,00	0,00	0,00
79 D#7	0,08	0,00	0,00	0,00	79 D#7	0,00	0,12	0,00	0,12
78 D7	0,29	0,00	0,12	0,00	78 D7	0,00	0,08	0,00	0,08
77 C#7	0,03	0,00	0,00	0,00	77 C#7	0,00	0,14	0,00	0,14
76 C7	0,00	0,16	0,00	0,16	76 C7	0,00	0,00	0,00	0,00
75 B6	0,12	0,00	0,05	0,00	75 B6	0,00	0,23	0,00	0,23
74 A#6	0,18	0,00	0,08	0,00	74 A#6	0,00	0,00	0,00	0,00
73 A6	0,01	0,13	0,00	0,13	73 A6	0,00	0,00	0,00	0,00
72 G#6	0,22	0,11	0,10	0,11	72 G#6	0,00	0,00	0,00	0,00
71 G6	0,16	0,00	0,07	0,00	71 G6	0,00	0,06	0,00	0,06
70 F#6	0,17	0,21	0,08	0,21	70 F#6	0,00	0,00	0,00	0,00
69 F6	0,00	0,17	0,00	0,17	69 F6	0,22	0,00	0,09	0,00
68 E6	0,00	0,00	0,00	0,00	68 E6	0,00	0,09	0,00	0,09

技师可在左上角填写钢琴名称，其下方汇总列出测量时所设定的各项基准曲线参数。

HGT（高度）一行从左至右依次显示：

- 白键高出所选测块支承面的高度（若已测量），图示 KEYSLIP / TOP 示例中为高出键盘前档 19.1 mm
- 白键键深，本例 10 mm。
- 黑键高出白键的高度，本例为 11.9 mm
- 黑键键深，本例为 9.2 mm



钢琴型号	August Förster 275				
	白键（平直基准）		黑键（平直基准）		
高度 mm	19,1	10,0		11,9	9,2
高差 mm	0,4	0,1		0,3	0,1
音名	键高（µm）	键深（µm）	音名	键高（µm）	键深（µm）
88 C8	6	219	86 A#7	-13	109
87 B7	38	22	84 G#7	175	145
85 A7	-46	-42	82 F#7	51	202
83 G7	64	238	79 D#7	-84	115
81 F7	11	-32	77 C#7	-26	139
80 E7	-26	-147	74 A#6	-179	1
78 D7	-294	78	72 G#6	-216	-110
76 C7	-1	-161	70 F#6	-174	-208
75 B6	122	222	67 D#6	28	45

下方的 TILT 一行显示各基准曲线的整体斜率。KEY LVL (WHITE) 列中 Tilt 为 0.4 mm 表示调平基准曲线最右端比最左端低 0.4 mm。如此微小的整体倾斜肉眼几乎不可察觉，但相比强行归零至 Tilt = 0，可显著减轻调平工作量。

4.13.4 “DIAG_DEV”工作表

该工作表内含一张大型图表，以图形方式呈现全键盘偏差。请注意，图中数值均已乘以 KEY_RATIO 系数完成换算，因此直接代表理论所需的纸垫圈厚度：

- 键高以蓝色显示（HEIGHT）。
- 键深以橙色显示（KEY DIP）。

落在 -0.03 mm 至 +0.03 mm 容差范围内的偏差通常无需修正，因此图中仅绘制极短柱条，不标注具体数字。

借助图表下方的按钮，可灵活控制各类数据的显示与隐藏：

可单独显示白键（“WHITE ONLY”按钮）、单独显示黑键（“BLACK ONLY”按钮），或白黑键合并显示（“BLACK & WHITE”按钮）。

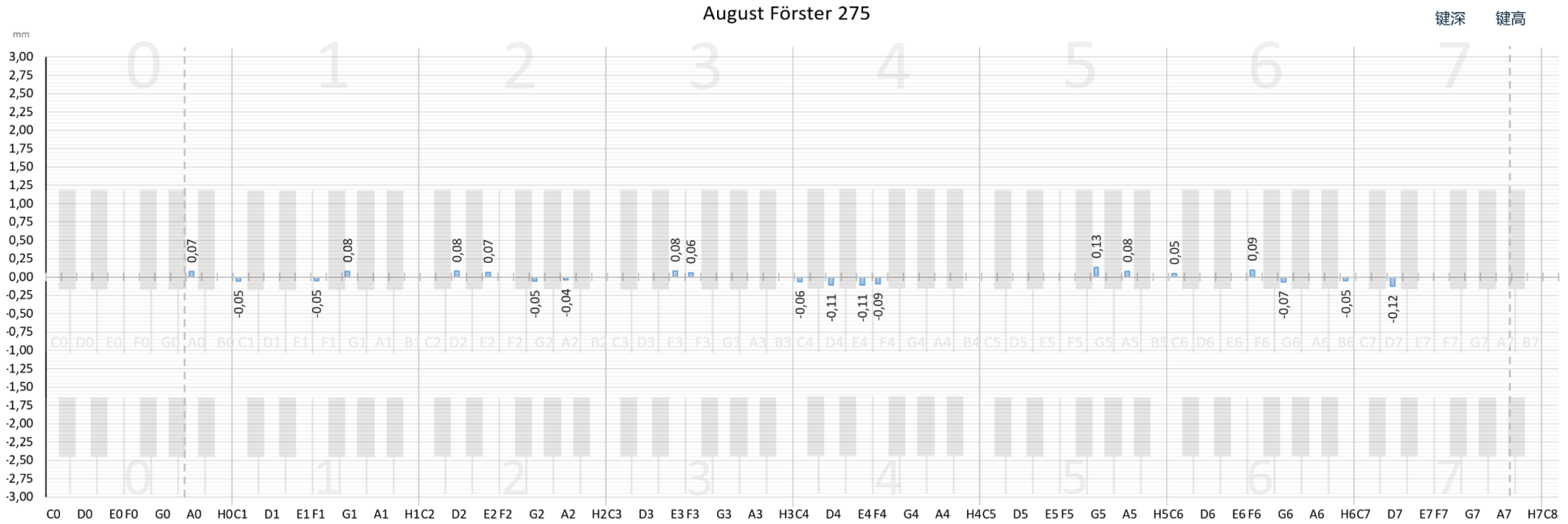
点击“KEY LVL”按钮可开启或隐藏键高（HEIGHT）柱条。

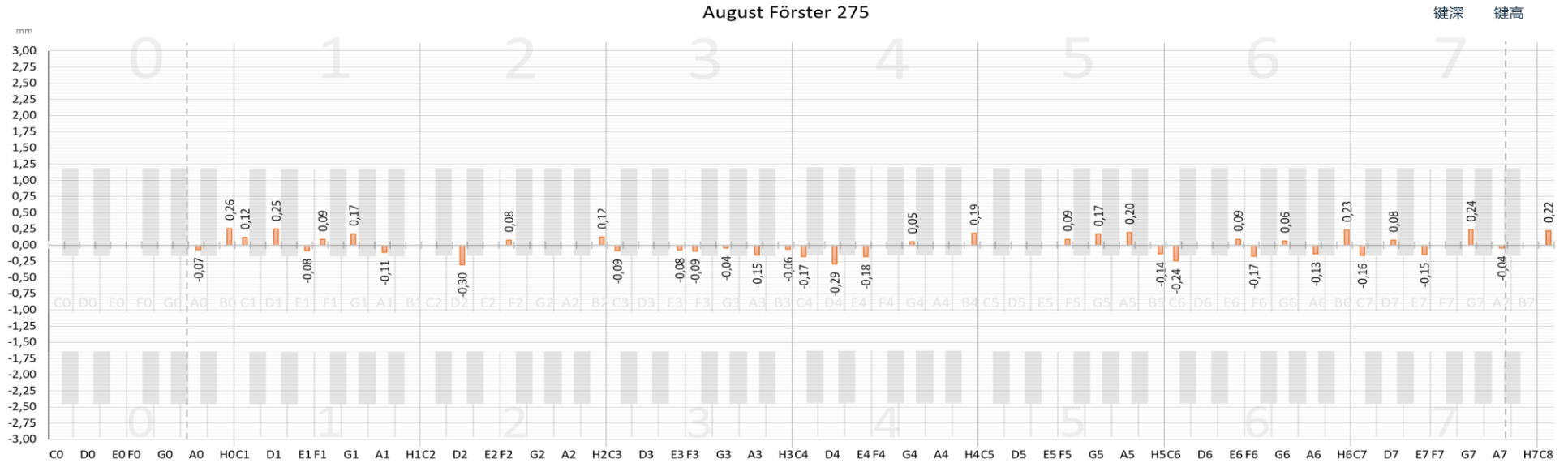
点击“KEY DIP”按钮可开启或隐藏键深（KEY DIP）柱条。



此外，还可选择仅显示柱条或同时叠加显示具体数值标签（“LVL NUMBERS”与“DIP NUMBERS”按钮）。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen





版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

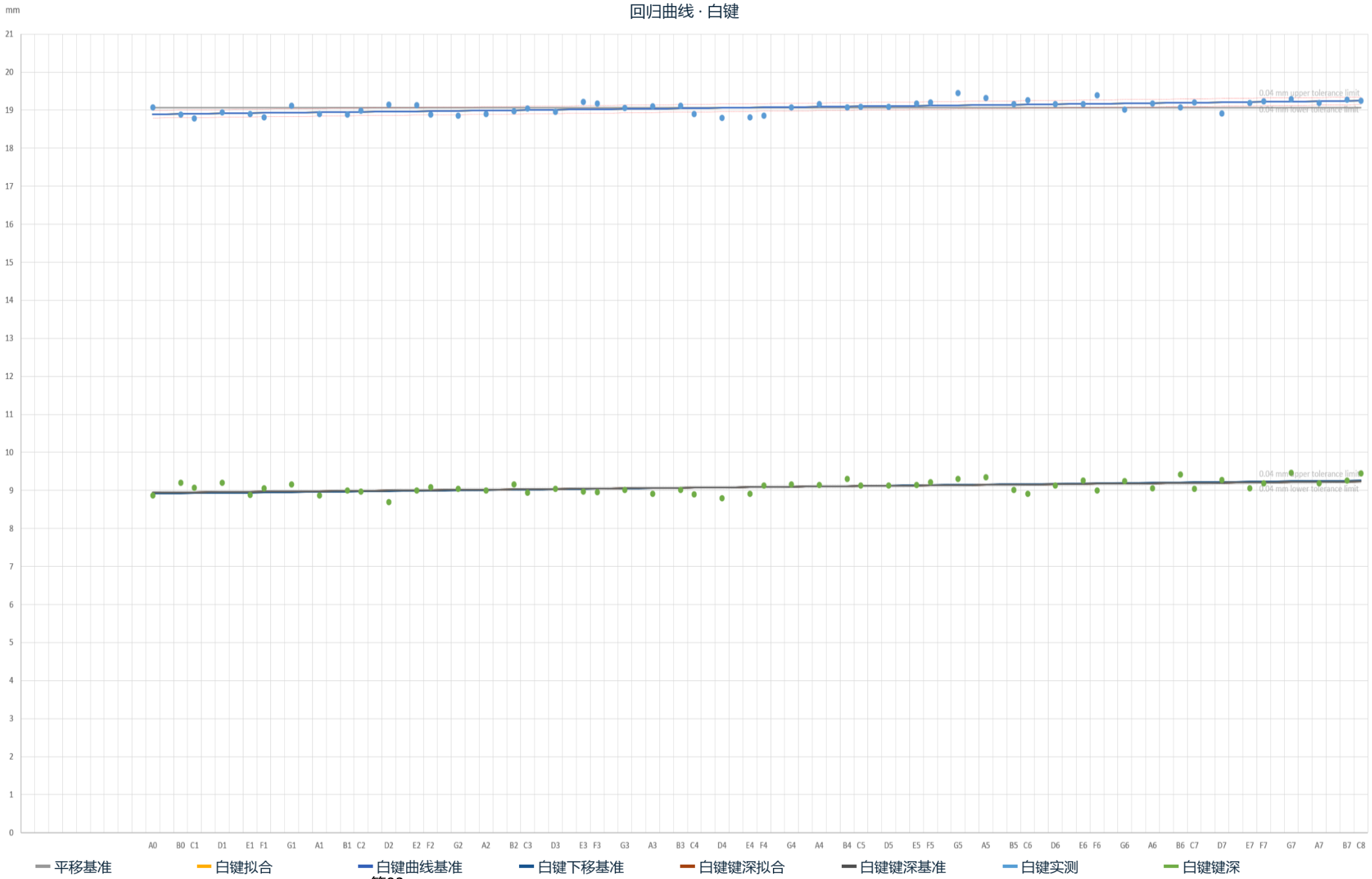
4.13.5 “DIAG_WB”工作表

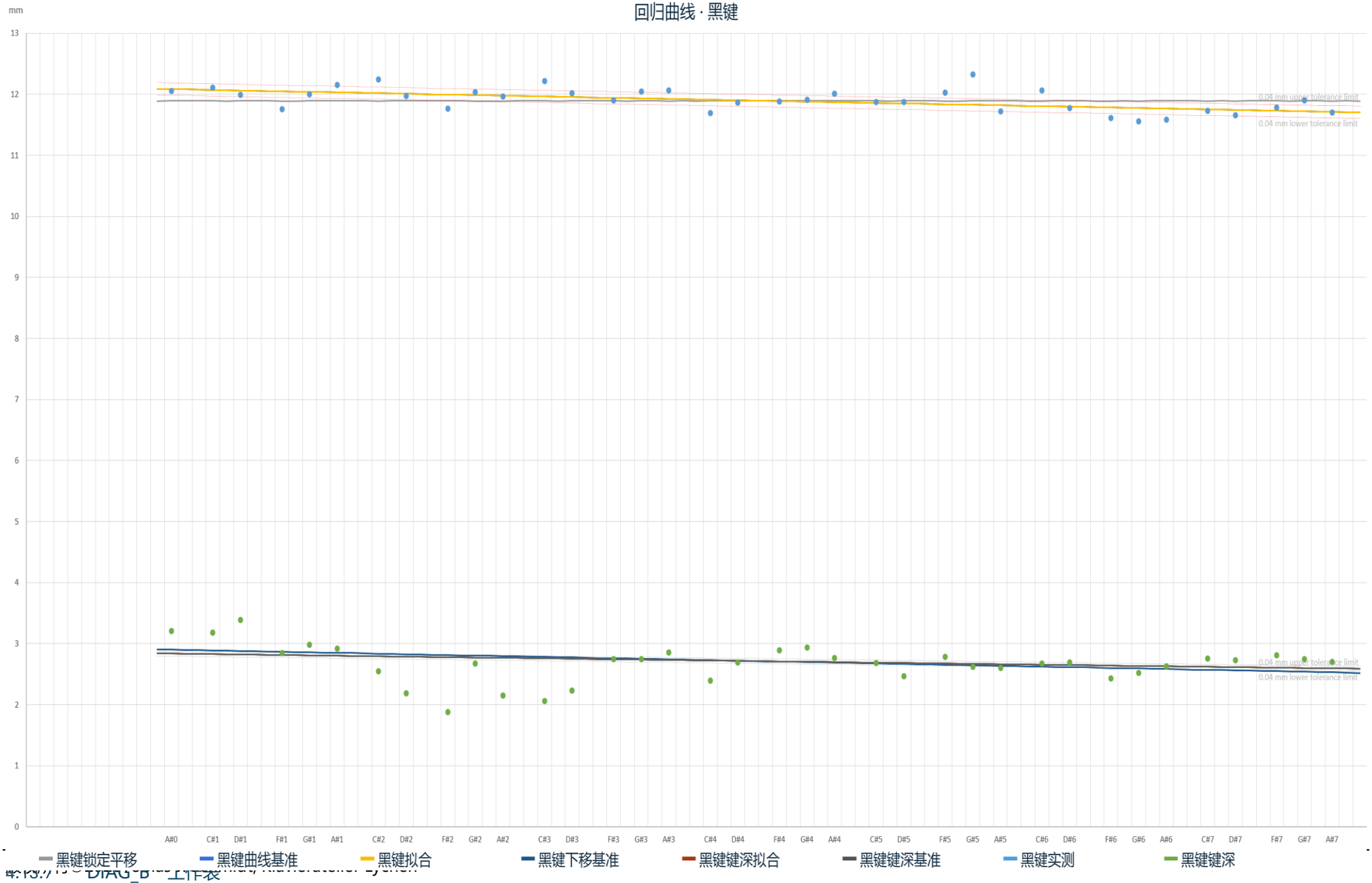
图中同时显示黑白键的测点和基准曲线。图例基准略有倾斜（Tilt > 0），与测量值拟合良好。如倾斜可接受，可减少调整量。若需要，可在测量后将 Tilt 设为 0，使端点连线平行于测块支承面（见“开始测量”）。重要：若两端均用测块测量，毫米刻度参照所选支承面和基准边（TOP 或 UNDERSIDE）。本例为 KEYSLIP / TOP，以键盘前档为基准。蓝色点为白键高度，约 19–20 mm。其下方约 18 mm 的深色曲线，是黑键测量位置处的后方白键基准。测量时导轨很可能未与键面完全平行，设备转向测黑键后，白键读数略低。黑键高出该后方基准约 12 mm，即高出键盘前档略低于 30 mm。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4.13.6 “DIAG_W”工作表



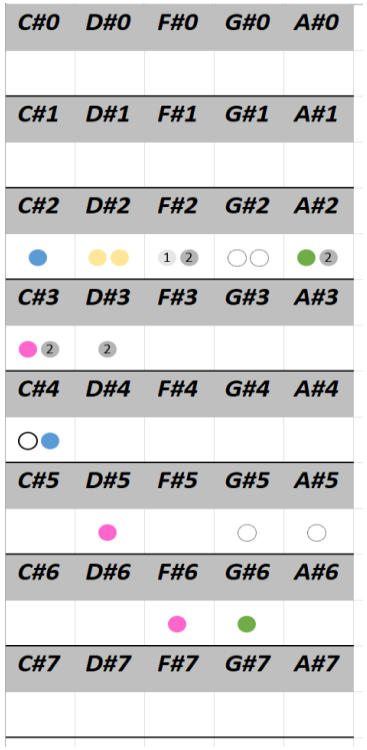

回归曲线 · 黑键
mm
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0.04 mm upper tolerance limit
0.04 mm lower tolerance limit
A#0 C#1 D#1 F#1 G#1 A#1 C#2 D#2 F#2 G#2 A#2 C#3 D#3 F#3 G#3 A#3 C#4 D#4 F#4 G#4 A#4 C#5 D#5 F#5 G#5 A#5 C#6 D#6 F#6 G#6 A#6 C#7 D#7 F#7 G#7 A#7
黑键锁定平移
黑键曲线基准
黑键拟合
黑键下移基准
黑键键深拟合
黑键键深基准
黑键实测
黑键键深

4.13.8 “LVL_TOO_LOW” / “DIP_TOO_LOW” / “LVL_TOO_HIGH” / “DIP_TOO_HIGH”工作表

导入测量数据后，点击“DATA”工作表上的“CALC”按钮，系统将自动生成四张总览表，以彩色符号标出每枚琴键所需的纸垫圈。计算依据为“PUNCHINGS”工作表中录入的纸垫圈厚度规格。



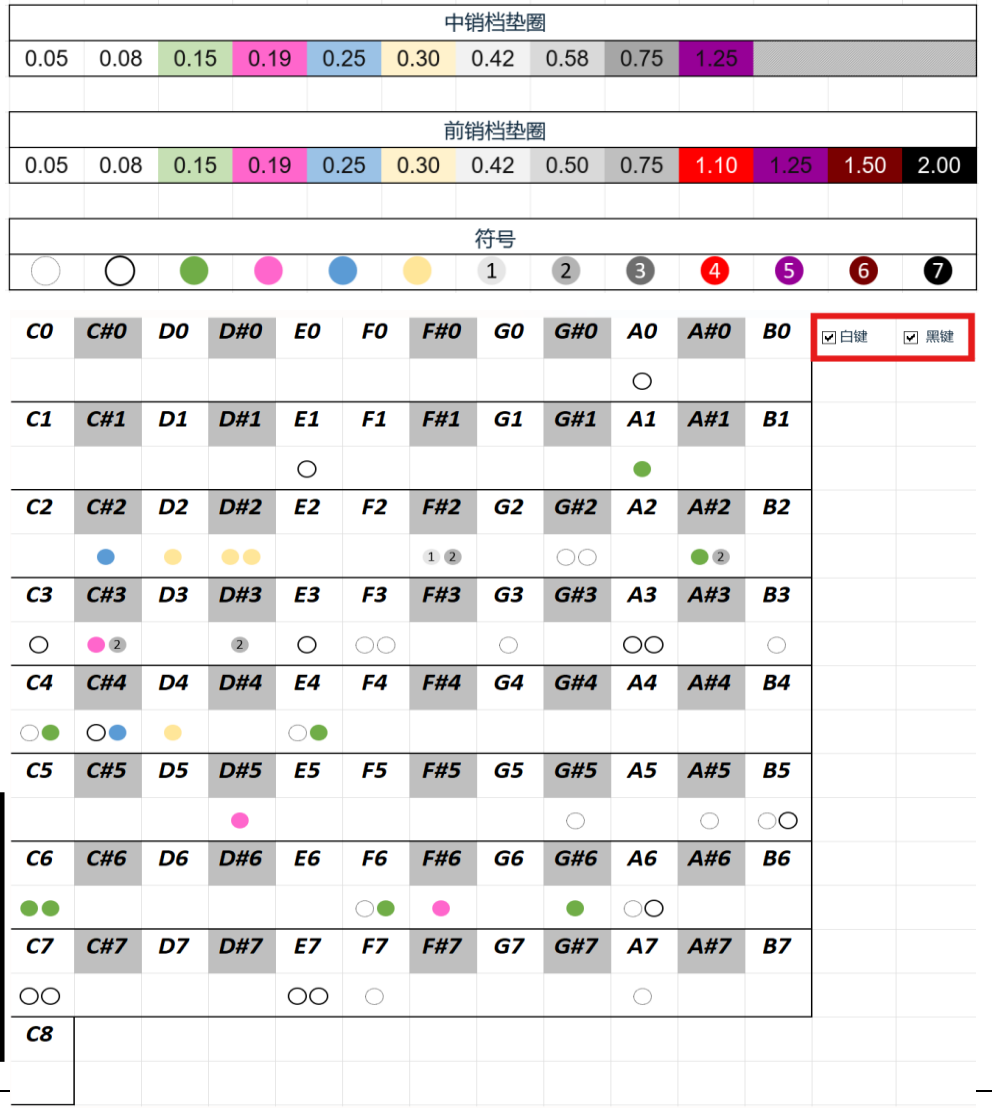
从测量仪读取数据集时，表格会自动载入设备当前激活的纸垫圈配置组厚度（可能与初次采集时使用的配置有所不同）。如有需要，您可在工作表中修改这些厚度值，随后随时再次点击“CALC”，即可按新厚度重新生成全部彩色对照表。



通过勾选或取消“WHITE”与“BLACK”复选框，可限定仅显示白键或黑键的配片方案，显著提升可读性，便于技师分组专注处理。

您可便捷地将彩色纸垫圈对照表截图传至智能手机或平板电脑，直接带到钢琴旁对照配片作业。

较厚纸垫圈在表中有一种特殊表示方式：中销档纸垫圈的最后 4 种规格与前销档调深纸垫圈的最后 7 种规格（自 0.42 mm 起）在表格中均仅以整数编号 1–7 标示，不额外写出具体厚度数值，以保持版面简洁清晰。但在测量仪本体屏幕上，厚纸垫圈仍会直接显示其真实厚度数值。

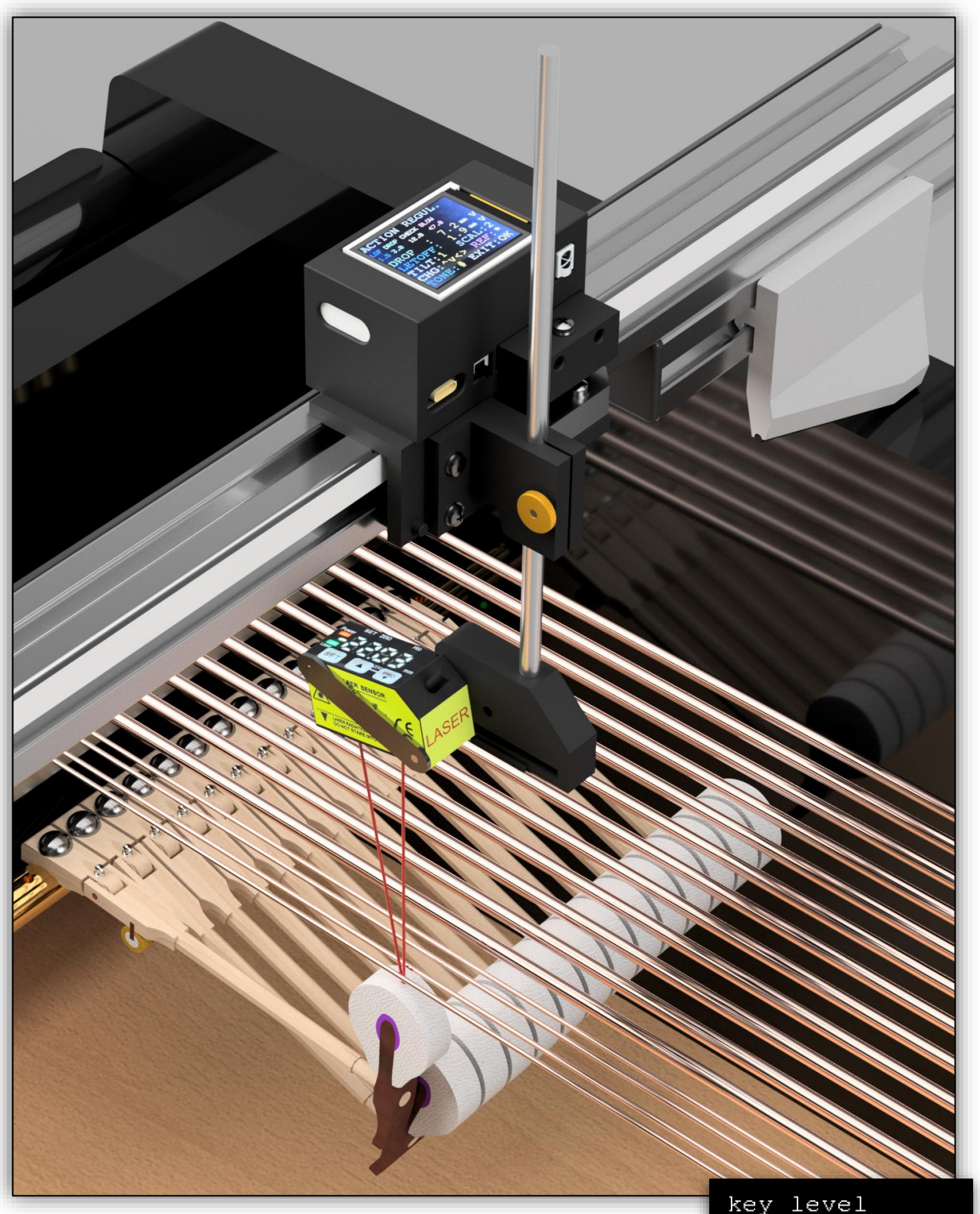


实操建议：

建议提前清点并备好每种规格所需的纸垫圈总片数，并将因冲压工艺可能粘连在一起的纸垫圈逐一拨开散放。如此即可形成有效自检——如果全部垫完后既无多余也无短缺，便说明所有纸垫圈均已准确垫放无误。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5 功能“action regul.”——三角钢琴击弦机整调参数的测量与调整



从主菜单中选择“action regul.”功能。进入后，设备即切换至三角钢琴击弦机核心参数专用测量与整调模式。借助激光测距传感器，可精准测定并调整断联（Letoff）、落距（Drop）、托木接住距离（Check）以及击弦距离（Blow）四项关键整调参数。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

激光测量击弦机整调参数的原理

PMP 实时测量传感器至弦槌顶点（即弦槌轮廓最高点）的距离。为了将这些距离换算为断联、回落、接住和击弦距离，设备必须先获取琴弦的空间位置作为上基准——本说明书将该上基准面称为“琴弦基准”。

采集琴弦基准

当琴弦上方无遮挡时，可直接推动激光扫过琴弦：传感器采集琴弦上沿高度，PMP 根据所设弦径自动向下扣除直径，算出弦槌实际敲击的琴弦下沿位置。若琴弦被制音器遮挡，则改为将弦槌手动托举至轻触琴弦，此时在弦槌顶点测得的触弦点同样构成完全一致的上基准位。

随后按下琴键，PMP 即可实时测定弦槌顶点距离该琴弦基准的垂直距离：顶杆脱进瞬间即为断联（Letoff），脱进后回落至复振杠杆上即为落距（Drop），正常弹奏回落被托木拦截时即为托木接住距离（Check），而弦槌处于静止位时即为击弦距离（Blow）。各项具体手法详见“单个弦槌的完整测量流程”。

为何需要倾斜传感器：TILT

弦槌沿圆弧轨迹上下摆动，因此完全垂直向下的激光束无法在弦槌静止下位与触弦上位自动击中弦槌顶点的同一位置。如需在同一次架设下测全全部四项参数，须配合弦槌摆动轨迹适当倾斜传感器，使光斑无论在静止位还是上位都尽可能居中落在弦槌顶点上。TILT 意为倾角，PMP 内的同名设置会在距离解算时自动补偿该倾角引起的几何余弦增量。

若因装有制音器而必须将传感器臂大幅横向旋转以顺应斜向琴弦，则不应再额外倾斜传感器，且须关闭 TILT。此状态下仅在弦槌上位区间采集琴弦基准、断联与回落；击弦距离则需另行挪动导轨位置，或留待工作台阶段统一测量。

循序渐进：从简易模式入手

测量单个音时，若已拆下制音器，可用 STRING 直接测量琴弦。若制音器仍在琴上，按需横移键盘，用 HAMMER-TO-STRING 在弦槌触弦时取得基准。SCAL INSTR QUICK 和 SCAL BENCH QUICK 以两端音为基准，中间各音按两端连线调整。基本测量之后将介绍如何保存连续的弦列区段（如低音区或中音区），以及进阶操作。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

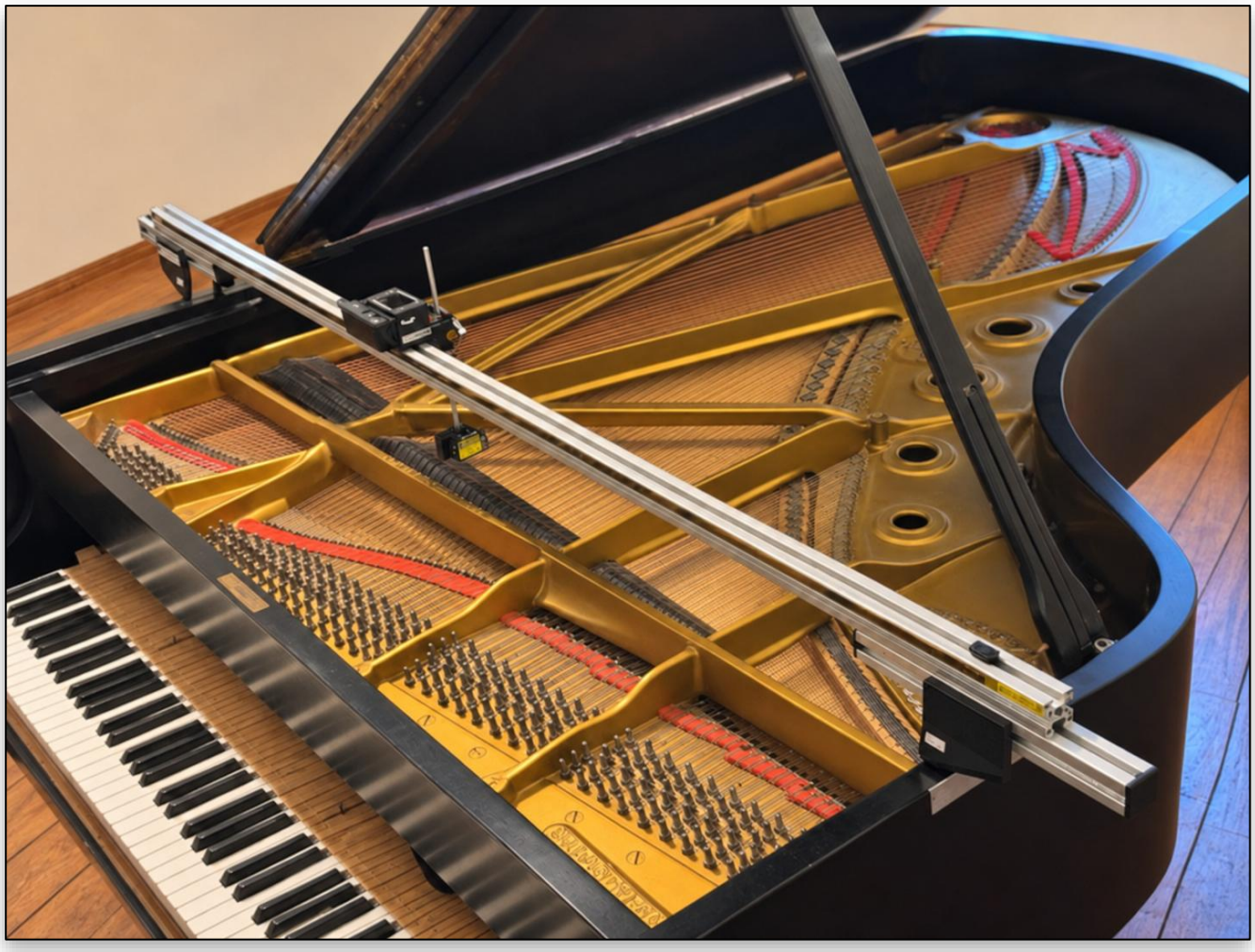
5.1 基础架设（Setup）：导轨与传感器

首先稳固架设导轨，并根据测量任务校准传感器姿态。以下步骤同样适用于 STRING、HAMMER-TO-STRING 以及 SCAL QUICK。本说明书将一个连续琴弦作业区段称为一个“分区（Section）”，例如将低音区设为 Section 1，中音区设为 Section 2。

完成基础架设后，下文将依次介绍基本操作与简易测量法，随后再讲解包含已保存分区与逐音琴弦基准的高阶流程。

1. 将导轨架设在击弦线上方

将导轨架设于击弦线区域的弦槌上方。所有支脚均应以其平直的最高承托段平稳落在琴壳上缘。若导轨出现晃动，微调其中一个后支脚直至导轨稳固贴合、毫无虚浮。具体操作方法与 Key Level 中的“校准导轨”相同。



导轨通过支脚稳固支承于琴壳之上，传感器从后侧对准击弦线区域的弦槌。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2. 从后侧装上 SENSOR 2（REAR 姿态）

FRONT 与 REAR 表示测量主机在导轨上的安装朝向：FRONT 为靠演奏者一侧的前置方向，REAR 为翻转 180° 后的后置方向（与 Key Level 中测白键朝前、测黑键翻转朝后完全对应）。在 Action Regulation 击弦机整调中，推荐全程采用 REAR 后置方向，此时主机电源开关朝向远离技师的一侧。

采用 REAR 后置方向可使弦槌视野更加开阔无遮挡；在压弦条区段几乎必须采用 REAR，因为压弦条会挡住从前方射入的激光束，且通常还需将传感器略微向上仰倾，方能射中弦槌顶点。尽管在低音区和中音区很多情况下亦可采用 FRONT，但统一采用 REAR 可确保全音域架设规范一致。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

装有制音器时为激光让出通向弦槌的光路

激光束必须穿过相邻制音器之间的缝隙射中弦槌顶点，并顺利反射回传感器。为此，需将整套击弦机向侧面横向移位，使弦槌恰好位于制音器缝隙的正下方。

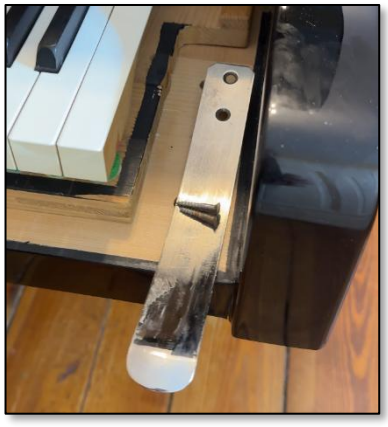
若仅做个别音位抽检，踩下左踏板（弱音踏板 / una corda）实现键盘移位即可。若需进行较长时间的整理作业，可拆下键盘移位复位弹簧——该弹簧通常仅需拧下两颗螺钉即可轻松卸除，之后便可手动将击弦机推至理想偏移位，无需一直踩踏踏板。

为免除持续踩踏踏板，另一种替代做法是在三角钢琴击弦机左侧与琴体挡块之间塞入楔块。若此时移位行程仍嫌不足，还可同时卸下右侧键侧木（该处常装有限制移位行程的限位螺钉），从而获得更大的弦槌横向移位空间。

重要提示：手动托举弦槌触弦之前，必须先使整排制音器保持抬起状态（可在制音器抬档下方垫入垫块）。如此可防止弦槌向上抬至触弦时磕碰低音区或中低音区的楔形制音器而受阻。

键盘移位与复位弹簧：合理调整击弦机横向位置，确保激光能穿过制音器间隙照到弦槌。

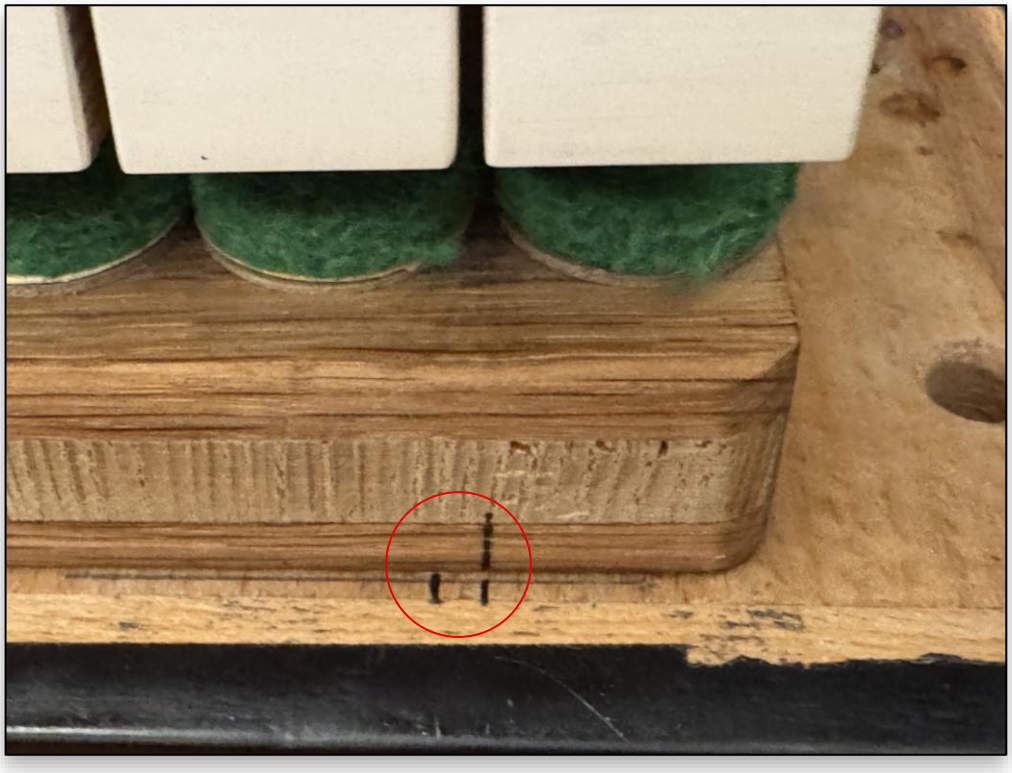




版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

移位后击弦机的重复精确定位

在键盘架与中盘对应边缘处画上一组细小对位线，标明当前最佳横向移位位置。日后重新推入击弦机时，将两道标记线重新对齐即可。



键盘架与中盘上的划线标明了测量所选定的横向移位位置。

若需反复抽出并推回击弦机，还可在中盘后部加装两枚可调限位挡块。每次推入击弦机至顶住两枚挡块，即可保证前后推入深度完全一致，横向位置仍以对位划线为准；这样就不必每次推回击弦机都重新拧装键侧木来进行定位。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

中盘上的可调限位挡块

以下实拍图以施坦威（Steinway & Sons）三角钢琴为例展示该定位原理。调节左右两枚限位挡块，使击弦机处于正确作业位置时后端同时贴紧两枚挡块。每次推入后，检查横向对位线及双侧挡块贴合情况。

限位挡块在琴体内的布置：左右两侧共同限定击弦机的推入深度。

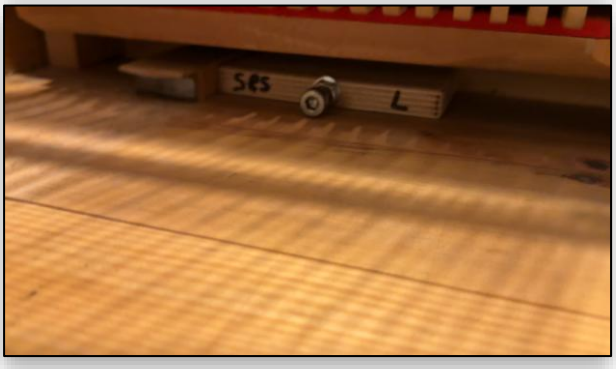
左右两侧特写：将击弦机一直推至紧贴预先调定的限位端面。











两个限位挡块的细节。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

3. 根据测量任务设定传感器倾角

若琴内装有制音器且低音区或中音区琴弦斜度较大，切勿再额外向下倾斜传感器：请将传感器在长圆孔内推至最靠后位置、调至完全水平，并关闭 TILT 功能。在此姿态下，首先于弦槌上位区间采集琴弦基准、断联及（必要时）回落参数。

若制音器之间间隙充裕、传感器臂仅需小幅旋转，或已拆下制音器，则可启用 TILT 作业：将传感器在长圆孔内拉至最靠前位置，在 REAR 后置方向下使其向下倾斜，并开启 TILT 功能。图示“REAR 方向下的常规 TILT 倾角”展示了该机械姿态。

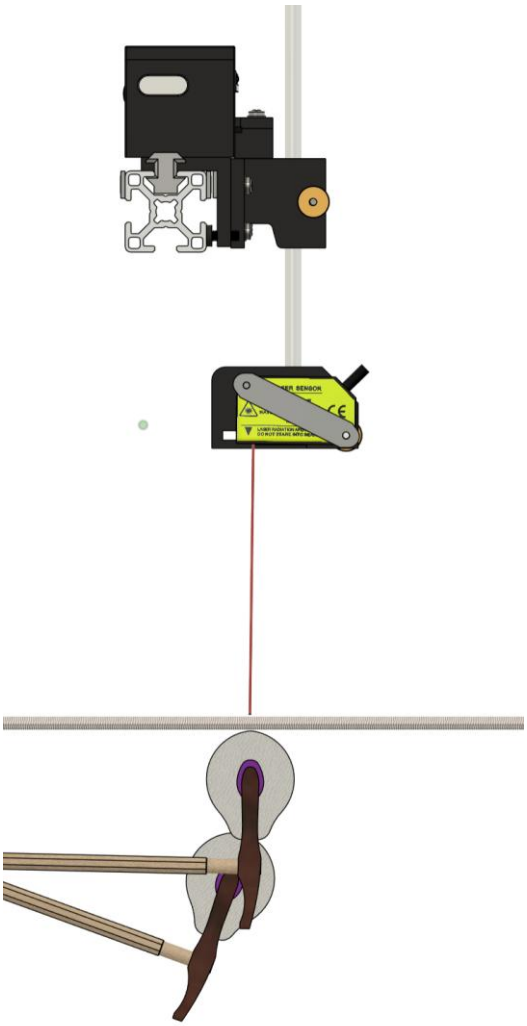
水平姿态传感器：关闭 TILT

当琴弦斜度很大且装有制音器时，传感器臂必须顺应琴弦走向旋转。此时将传感器在长圆孔内推至后端并调平，同时保持 TILT 关闭。

此时激光束垂直向下发射，而弦槌沿圆弧轨迹摆动，因此光斑在弦槌上位和下位无法命中顶点同一处（参见第 5.1.1 节“传感器倾斜设置（TILT 模式）”）。

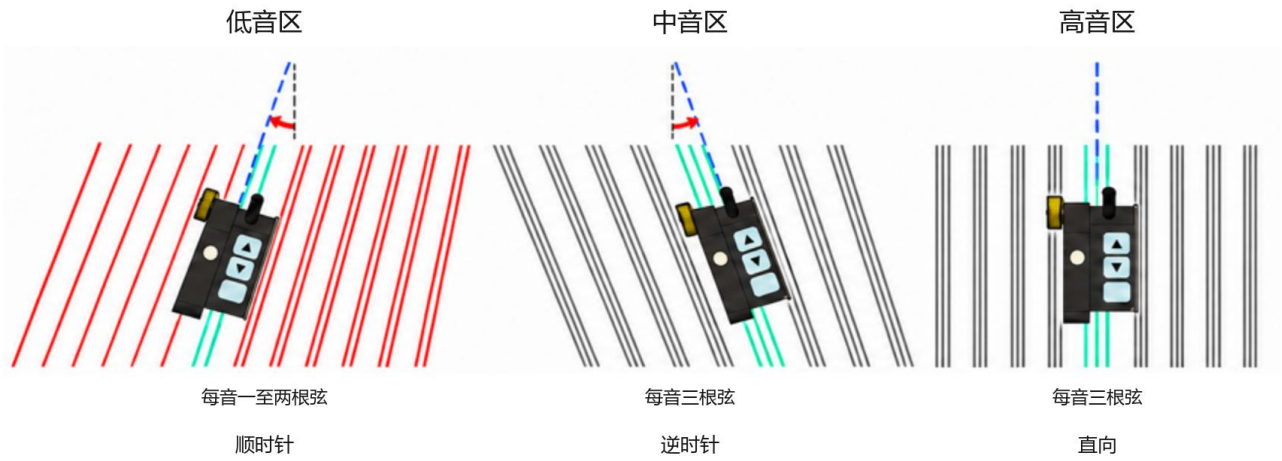
该架设下应将激光光斑对准弦槌上位运动区间，用于采集琴弦基准、断联及（必要时）回落；若需测量击弦距离，则必须前后挪动导轨位置，因此两部分测量须在不同的导轨位置下分步完成。

在触弦位与断联位之间，应使光斑前后微移的幅度均匀分布在弦槌顶点的前后两侧。具体校准步骤请参见“关闭 TILT 时校准触弦与断联测量的激光光斑”。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

装有制音器时的传感器臂姿态



俯视图：将传感器臂对准当前作业分区中部的琴弦走向进行校准，确保发射光束与反射回光均能顺利穿过制音器间隙。为便于清晰展示，图中未绘出制音器。同一分区内各音的琴弦斜角可能存在变化，但一旦确定折中后的传感器臂转角，在该分区内须始终保持不变。

当传感器臂横向偏转角度较大时，请将传感器调至水平并关闭 TILT。关于激光光斑可能发生侧向偏移的几何原因，详见第 5.1.2 节“琴弦斜向排列时的传感器倾角与传感器臂偏转角”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

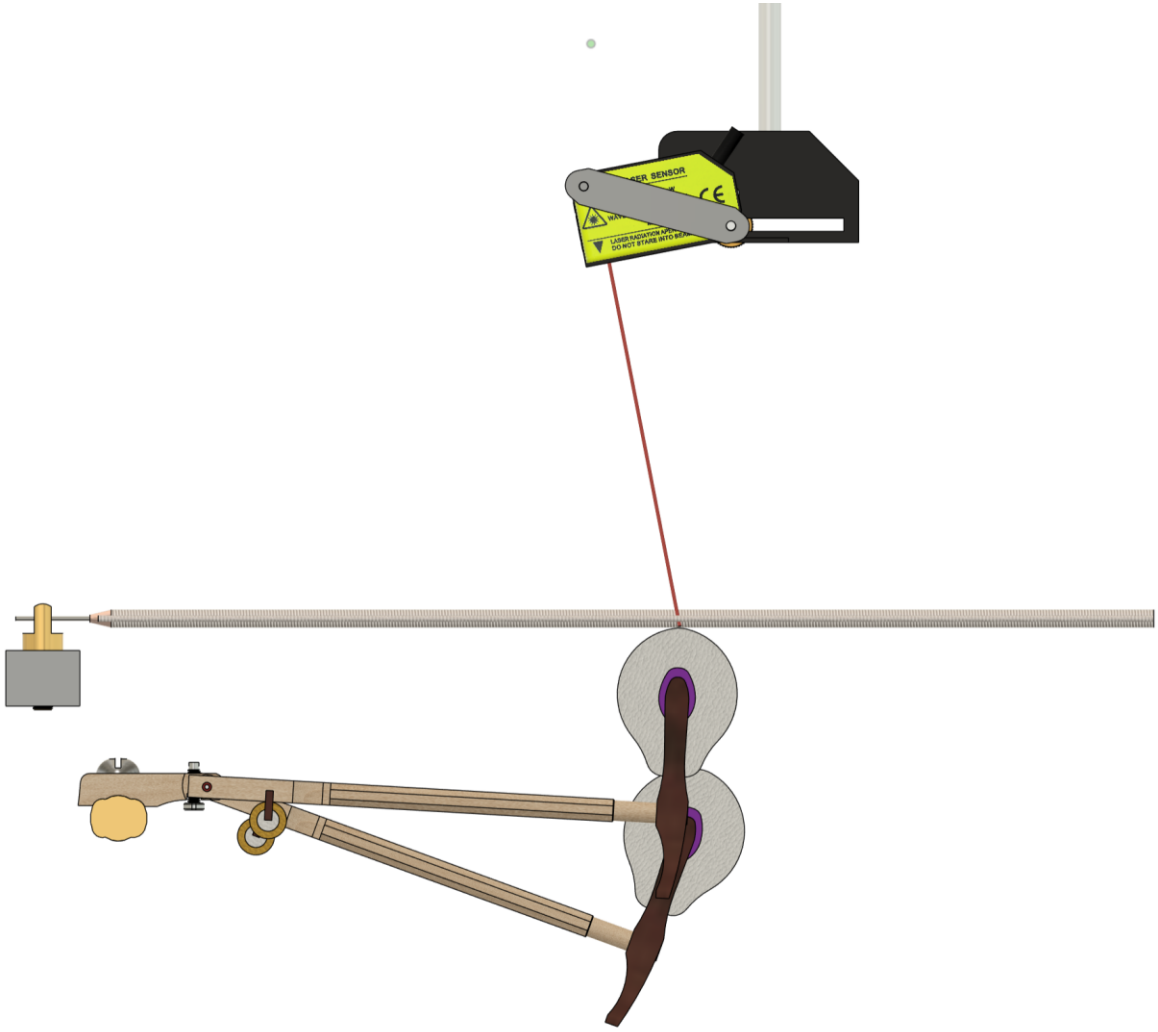
倾斜姿态传感器：开启 TILT

在琴体内已拆下制音器时，以及在工作台上作业的常规情形下，传感器臂均可保持正向平直。将传感器向下倾斜，使激光束近似贴合弦槌摆动轨迹，从而在同一次架设下测全全部四项整理参数。调节时，先将激光光斑对准静止位弦槌的顶点，随后缓慢托举弦槌直至轻触琴弦，同时观察光斑的移动方向。

若光斑向前方（朝向技师一侧）偏移，则减小传感器的向下倾角；若光斑向后方偏移，则增大向下倾角。每次调整后，均须先在静止位将光斑重新对准弦槌顶点，再托举弦槌复检。

分别在低音弦槌与中音或高音弦槌上交替检验，取两者折中倾角，直至光斑在静止位与上位均尽可能居中落在弦槌顶点上；残留的微小前后位移应均匀分布在弦槌顶点的前后两侧。

按此方法，许多情况下低音区与高音区均可共用同一个 TILT 倾角。PMP 上的对应参数设置请参见第 5.1.1 节“传感器倾斜设置（TILT 模式）”。



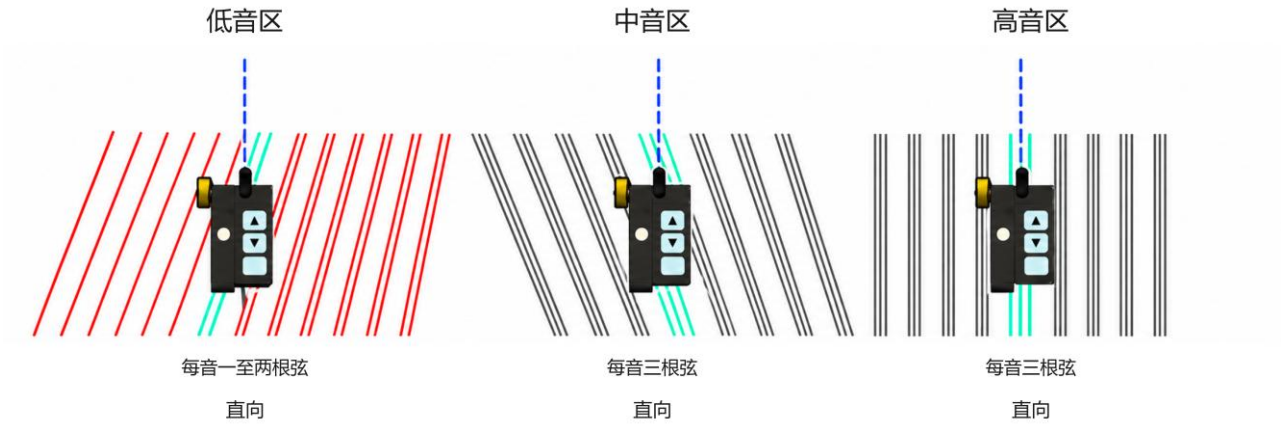
REAR 方向下的常规 TILT 倾角：倾斜激光束近似沿弦槌下位与上位顶点连线方向行进，微小弧线偏差均匀分配于弦槌顶点前后两侧。

传感器臂的横向转角须配合琴弦走向设定。若所需的横向转角与传感器俯仰倾角叠加后导致光斑发生左右侧移，请改用关闭 TILT 的方式作业。切勿将大幅横向偏转的传感器臂姿态与追踪全程弦槌行程的俯仰倾角叠加使用。

当 TILT = 0 时，无法在同一导轨位置下同时测量击弦距离与断联/回落，分步测量法详见“依次测量断联与击弦距离”。而在工作台上，正向平直的传感器臂搭配适当的 TILT 倾角，则可一次性同步测定全部四项参数。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

拆下制音器时及工作台上的正向平直传感器臂姿态



无制音器状态俯视图：在低音区、中音区及高音区，传感器臂均可保持正向平直；在工作台上同样采用该正向平直姿态。为覆盖完整弦槌行程，将传感器调至合适倾角并开启 TILT。

在架设构型全程保持不变的前提下，多个分区（Section）可共用同一个公共位置基准进行采集（COMMON REFPOS）。其适用条件及中断后续测方法将在后文“已保存分区的架设与续测”章节中详述。

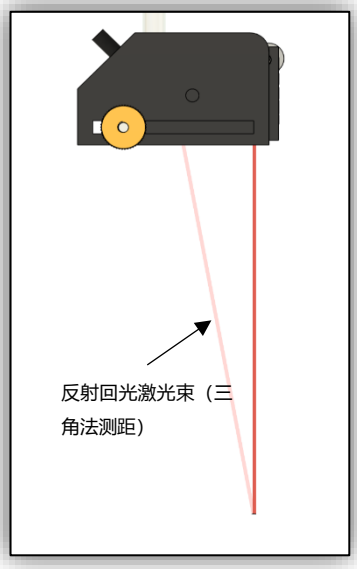
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

4. 最后再调整传感器高度

务必先确定传感器的机械倾角（TILT），再调整最终的传感器高度。操作时松开上部滚花螺钉，上下滑移传感器臂至合适高度后再重新锁紧。

高度调节以第一根低音缠弦为参照标准：将激光对准该弦，向下靠近调整传感器，使传感器本体屏幕读数约为 +33.00 mm。这样距近端量程极限 +35.00 mm 仍保留了少量安全余量；一旦超出 +35.00 mm，说明传感器距被测物体过近，已超出有效量程。

同时请在交错过渡前的最后一根低音缠弦处复核该高度。高度更低的裸钢丝弦区距离传感器更远，在此架设下通常也能被良好覆盖；但在正式测量前，仍应对所选作业分区的首尾两个测点逐一确认。

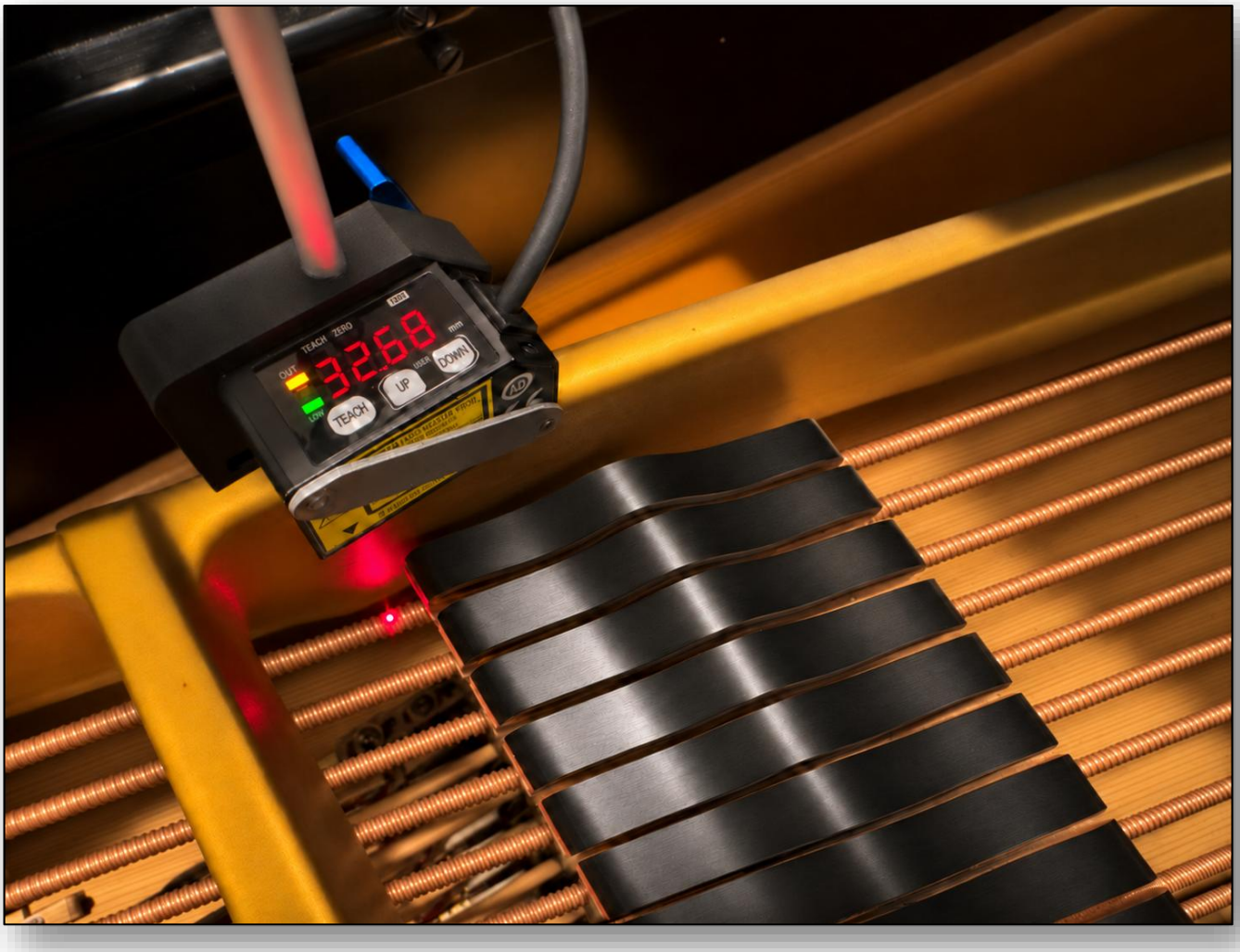


保持激光反射回光光路畅通

除了发射激光束外，从测量点返回传感器的路径也必须保持畅通。如果返回的光束被阻挡，传感器就无法获取有效的测量值；此时显示屏上会显示破折号“---”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在第一根低音缠弦处校验传感器高度



第一根低音缠弦处高度校验示例：传感器本体屏幕显示 +32.68 mm，接近推荐参考值 +33.00 mm，距 +35.00 mm 近端极限尚留有余量。随后再核查最后一根低音缠弦以及作业分区两端点。凭借 70 mm 的量程，此架设通常可一路覆盖裸钢丝弦区直至最高音区；请务必在各区段端音处检查弦槌在触弦位与静止位是否均处于有效量程内。

重要提示：在开始测量之前，请将设备上的传感器高度调整至正确位置，并在后续测量过程中保持这一设置不变。

要切换到工作台模式，需相应调整导轨的高度，同时尽量保持设备上传感器的高度不变。这种基本设置在钢琴与工作台模式之间切换时也会保持不变。

记录传感器高度以便后续续测

若中途需将设备调作他用，请标记第一根低音缠弦上的精确测点并记下该处传感器读数（本例为 +32.68 mm，可在邻近铸铁板上贴一小块无残胶标签加以标注），同时记录传感器倾角、传感器臂转角以及导轨支承位。

恢复作业时，先按记录复原机械架设，并在同一测点将传感器重新调回所记读数。定位标记有助于还原架设，复原后还须通过触弦校验核对已存基准。注意：位置基准仅恢复沿导轨方向的横向坐标，不能替代该高度校验。后续详细步骤请参见第 5.7.18 节“中断后恢复作业并保存当前进度”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

正确解读量程范围

SENSOR 2 的总有效量程为 70 mm，其中 +35 mm 为近端极限，-35 mm 为远端极限。读数越小（或负值绝对值越大），表示被测点距离传感器越远。此架设下无需强求传感器读数恰好位于 0.00 mm。

如果测量点位于该范围之外，或者返回的激光光束被阻挡，那么输出结果将会显示为“---”。因此，不仅发射光束必须畅通无阻，其返回路径也必须保持清晰无阻。

进行全行程弦槌参数测量时，须额外确认弦槌处于静止下位时同样处于有效量程内。若后续更改了传感器机械倾角，务必重新核查可用量程。只有在全部架设彻底定型后，方可开始采集琴弦基准。

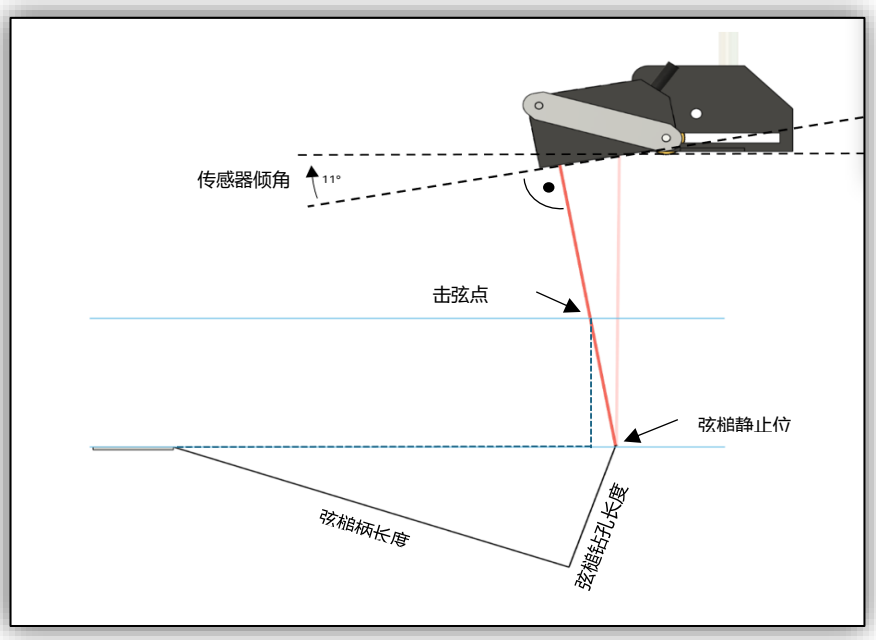
测量前校验传感器臂横向转角

装有制音器时，旋转传感器臂使其大致平行于当前作业分区中部的琴弦：俯视状态下，低音区沿顺时针旋转，中低音区沿逆时针旋转。由于同一分区内琴弦斜角略有渐变，应取折中角度并核查分区首尾两端的光路畅通情况。在 QUICK 模式下，从采集基准直至整理结束全程均不得变动该转角。

先后将分区首尾两枚弦槌托举至触弦位，前后微移琴壳上的导轨，使激光能准确可靠地照在两个弦槌顶点上；若启用 TILT 测量，同时核查静止下位。一切确认就绪后方可采集琴弦基准。若此后变动了高度、倾角或导轨架设，必须重新采集基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.1.1 传感器倾斜设置（TILT 模式）



若激光传感器完全垂直于弦平面，并在弦槌静止位对准弦槌顶点，那么当弦槌向上摆动至触弦位时，就会观察到激光光斑不再精准落在顶点上。其原因在于弦槌上升时沿圆弧轨迹运动，该圆弧曲率取决于弦槌柄长度与弦槌钻孔长度。

为使激光光斑在静止位与上位均尽可能贴近弦槌顶点，在传感器臂正向平直的前提下，需配合弦槌运动轨迹适当倾斜传感器。

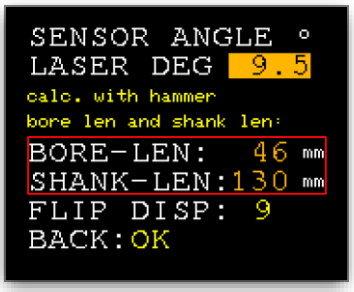
- 在推荐的 REAR 后置方向（位于导轨后方）下，测量全程弦槌行程时须将传感器向下倾斜。
- 仅在非常规的 FRONT 前置方向（位于导轨前方）下，才需将传感器向上仰倾。至于在压弦条处采用 REAR 方向时的反向仰倾，仅是为了绕开遮挡以照到弦槌上位测点，并非用于追踪全行程。

目测折中调节倾角，使光斑在上下两个极限位置均尽可能居中，微小的残留偏差均匀分配至顶点前后两侧。在采集基准及后续整理全过程中，务必保持此机械倾角不变。

唯有设定恰当的 TILT 倾角，方可在不挪动导轨的前提下，于同一架设下连续测定全部四项击弦机整调参数。

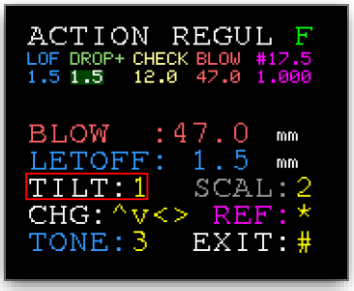
若因铸铁板筋条、其他构件遮挡，或传感器臂需大幅横向偏转而无法采用合适的传感器倾角，则须将断联与击弦距离分开测量：

- 首先在托举触弦状态下采集琴弦基准，随后测量断联与回落。
- 之后前后平移导轨，使激光在弦槌静止位准确命中顶点，再测量击弦距离。为此在采集基准前须先完成的弦平面平行校准，请参见“关闭 TILT 时分开测量断联与击弦距离”。



当“TILT”处于关闭状态时，选择“TILT:1”即可打开倾斜设置对话框。PMP会根据槌孔距离、弦槌柄长度以及指定的击弦距离来计算推荐的传感器角度。您也可以在“LASER DEG”选项下手动调整该角度。

请确认后按“OK”键。在测量对话框中，白色文字“TILT”表示该功能处于激活状态。按下按钮1即可再次关闭校正功能，之前记录的参考数据将保持不变。传感器的机械位置必须与所选择的操作模式相匹配。



传感器倾斜时，沿斜向激光束测得的光程大于垂直距离，TILT 补偿会依据所设角度自动进行三角换算。需注意，软件设置仅修正数值计算，并不会偏转激光束方向；激光能否在全行程始终击中弦槌顶点，完全取决于机械角度校准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

实操建议：低音区与高音区共用同一 TILT 倾角

多数情况下，全音域共用同一个 TILT 倾角即可满足要求。操作时在 BORE-LEN 栏填入平均弦槌钻孔长度（例如高音 45 mm、低音 53 mm 时取均值 49 mm），在 SHANK-LEN 栏填入实际弦槌柄长度。本例中，130 mm 弦槌柄长与 47 mm 击弦距离对应的计算 TILT 倾角为 10.7°，低音区与高音区均可沿用此值。

机械倾角直接对照实际弦槌摆动目测校准：分别活动低音与高音弦槌，在静止位与上位之间反复观察并取折中倾角，使激光光斑在两端极限位均尽可能居中击中弦槌顶点，微小残余偏差均匀分布于顶点前后两侧。综合兼顾低音与高音并锁定这一共同机械倾角即可。

此法直接以弦槌实际运动轨迹为基准，既无需倾角仪，也不要求工作台面绝对水平。共用倾角的前提是传感器臂横向尽可能保持正向平直（参见第 5.1.2 节“琴弦斜向排列时的传感器倾角与传感器臂偏转角”）。

示例中的预期几何偏差

在上述示例中，当实际击弦距离为 47 mm 时，共用折中倾角仅会引入约 0.2 mm 的击弦距离显示偏差；而对于紧邻上基准面的断联与回落，该偏差极小，几乎可忽略不计。

实际击弦距离 47 mm 时	屏幕显示值
高音区（弦槌钻孔长度 45 mm）	47.2 mm
低音区（弦槌钻孔长度 53 mm）	46.8 mm

5.1.2 琴弦斜向排列时的传感器倾角与传感器臂偏转角

重要提示：装有制音器时，须将传感器臂顺应当前分区中部琴弦的走向进行校准，以确保激光能穿过制音器间隙完成测量；在该分区作业期间切勿再改动已确定的折中转角。俯视状态下，低音区顺时针旋转，中低音区逆时针旋转。当横向转角较大时，切勿再额外上下倾斜传感器，应将传感器调平并关闭 TILT；仅当横向转角很小且光路充裕无阻时，方可开启 TILT 作业。

为何激光光斑会发生侧向偏移?

上下倾斜后的激光束是以斜线射向弦槌的；若此时再将传感器臂沿斜向琴弦大幅横向旋转，该斜向光束便会产生横向分量。随着弦槌向上抬起靠近传感器，弦槌与斜向光束的交点不断改变，光斑便会沿弦槌顶点向左或向右横向漂移。于是静止位居中对准的光斑，升至上位时可能已偏至边缘甚至完全脱靶。俯仰倾角与横向转角同时越大，光斑侧移就越严重。

TILT 软件补偿仅换算距离读数，既不会偏转激光束，也无法消除光斑侧移。因此，若要同步测定四项参数，必须在静止位和触弦位同时检验光斑位置；而在 TILT = 0 且仅测上位区间时，只需确保光斑在触弦位与断联位之间稳稳落在弦槌顶点上即可。

工作台架设：传感器臂正向平直，开启 TILT

在工作台上，弦槌上方完全无遮挡，传感器臂可直接保持正向平直，配合弦槌运动轨迹倾斜传感器并开启 TILT，从而无需挪动导轨即可一次性测全四项整理参数。执行 MATCH INSTR 匹配时必须采用此架设方式。

琴体内琴弦斜度较大时

由于交叉弦列设计，低音区与中低音区的琴弦呈斜向排列，小型三角钢琴的斜度往往尤为显著。因同一分区内琴弦斜角会略有变化，请以该分区中部琴弦为准折中设定传感器臂转角。未装制音器时，传感器臂大多可保持正向平直并开启 TILT；装有制音器时，须逐一核查在此固定转角下，该分区所有音位的发射光束与回光能否均畅通穿过制音器间隙。

关闭 TILT 时分开测量断联与击弦距离

若计划在测完断联后，通过前后平移导轨继续在琴体内测量击弦距离，则传感器姿态必须预先与弦平面保持平行。若仅测量断联，则无需此项平行校准，因为基准是在弦槌击弦点直接采集的。

为附加击弦距离测量校准传感器

如需在后续通过平移导轨继续测量击弦距离，则在采集基准之前就必须先将传感器底部发射窗口调至大致平行于弦平面。不同分区的弦平面斜度可能不同，这属于分步测量时的专项准备。若采用前文所述的大转角加水平传感器架设，通常先仅在弦槌上位区间测量，击弦距离留待工作台上统一采集。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

目测校准方法如下：在制音器前方开阔的琴弦区域，小心下放传感器臂，使传感器支架极近地悬停在琴弦上方而不触碰琴弦，随后微调传感器俯仰角，直至底部窗口与弦面大致平行；再将传感器臂上提回工作高度，并锁定该倾角不变。

也可将数显倾角仪（如 Bevelbox）放在琴弦上并归零。再将倾角仪贴靠传感器，以传感器下方窗口为基准，把传感器调至相同角度。逐个检查各弦区，因为弦平面角度可能随弦区变化。务必让倾角仪的磁铁远离导轨及其磁栅带。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

关闭 TILT 时校准触弦与断联测量的激光光斑

即使在触弦位至断联位这段很短的行程内，弦槌依然沿圆弧轨迹运动。因此，如果在弦槌紧贴琴弦时将光斑精确对准最高顶点，当弦槌下落至断联位时，光斑便会略微向前或向后偏移。

更理想的做法是将光斑在这两个位置之间取中分配：将弦槌托举触弦，再缓慢放低至预期断联位（例如琴弦下方约 1 至 2 mm 处）。采集前微移导轨前后位置，使光斑在触弦位略偏顶点一侧，在断联位则等距略偏顶点另一侧，从而在中点处恰好命中顶点正中。调节期间须保持已按中部琴弦设定的传感器臂转角不变。

在 HAMMER-TO-STRING 模式、HAMMER EACH 或 P1/P2 采集触弦基准之前，均应先完成上述光斑取中校准。琴弦基准仍通过弦槌触弦采集（将弦槌抬至触弦后松开）。为便于后续在工作台上精准匹配，务必记准并沿用弦槌顶面上相同的横向测点位置。

依次测量断联与击弦距离

采集完琴弦基准后，首先测量断联。

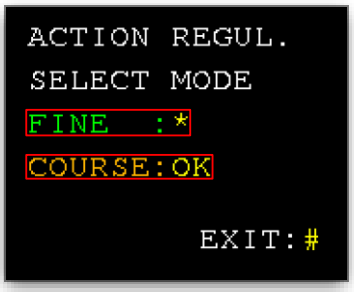
随后测量击弦距离：前后略微平移导轨，使激光光斑恰好落在静止位弦槌的顶点上，期间切勿改动先前调好的传感器倾角。由于琴弦基准是在弦槌上举触弦处采集的，平移导轨后传感器处于新的前后位置，而倾斜的弦平面在该处高度可能略有起伏；预先将传感器窗口调至平行于弦平面，恰好可抵消该平移高度差，避免由此引入测量误差。

可在导轨及其支承位上分别标记出断联与击弦距离两个对应的导轨位置，以便在两处之间重复精确定位往返切换，其原理与“key level”章节中详述的导轨重复定位校准完全一致。

在压弦条区域，保持传感器臂正向平直并使传感器适当向上仰倾，有助于激光从后下方斜射绕过压弦条，直接照到紧邻琴弦下方的弦槌顶点。此项琴弦基准及断联采集须保持 TILT 补偿关闭，并在该整个分区内维持同一仰角。若即便如此激光仍无法照及触弦状态的弦槌，请采用第 5.7.7 节“压弦条特殊情况：扫弦与 0.00 mm 断联法”所述的流程。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

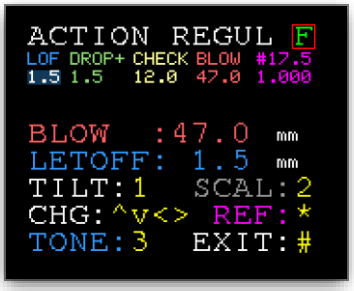
5.2 启动并选择 FINE / COURSE

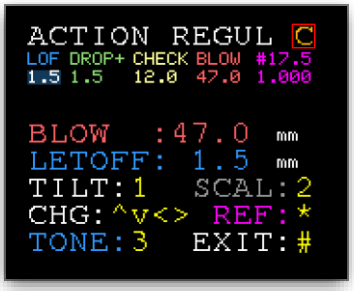


进入“action regul.”后，屏幕显示“SELECT MODE”。按红外遥控器 * 键选择 FINE（精细模式），按 OK 键选择 COURSE（常规/粗调模式），按 # 键退出功能并返回主菜单。

FINE 适用于精密细调，COURSE 则对断联、接住与击弦距离采用更宽的合格公差窗口。在测量主界面右上角，绿色 F 代表 FINE 模式，橙色 C 代表 COURSE 模式。

模式选择仅决定偏离目标值多少以内仍判定为合格（以对应参数专属色显示），声音提示反馈的宽容度也随之匹配，但实测读数与设定的目标值本身不受影响。





合格评估公差范围

以下述示例目标值为基准，凡落入所列区间的实测值均判定为合格（OK）并以对应参数颜色高亮显示（含边界值）：

参数	预设目标值	FINE: OK	COURSE: OK
断联（LETOFF）	1.5 mm	1.5 mm	1.3 至 1.7 mm
落距（DROP）	3.0 mm	2.8 至 3.2 mm	2.8 至 3.2 mm
托木接住距离（CHECK）	12.0 mm	11.5 至 12.5 mm	11.0 至 13.0 mm
击弦距离（BLOW）	47.0 mm	46.8 至 47.2 mm	46.7 至 47.3 mm

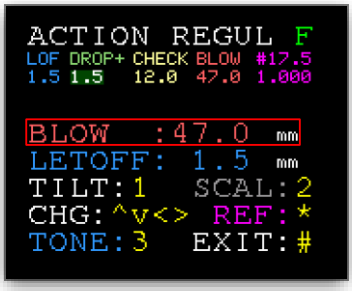
上述公差仅为击弦机整调作业的达标判定边界，并非传感器自身的测量精度指标。

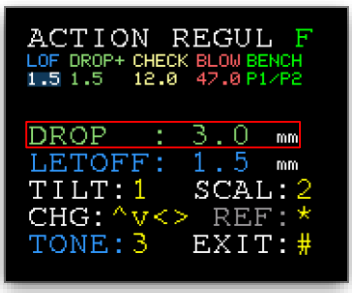
返回与退出

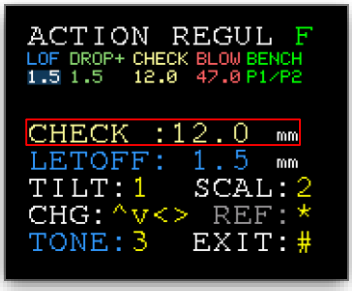
在测量主界面按 EXIT:# 将返回 FINE / COURSE 模式选择界面，以便重新切换评估模式；仅在模式选择界面再次按 EXIT:# 才会彻底退出“action regul.”并返回主菜单。在测量主界面按 SCAL:2 或 OK 键可打开分区菜单。

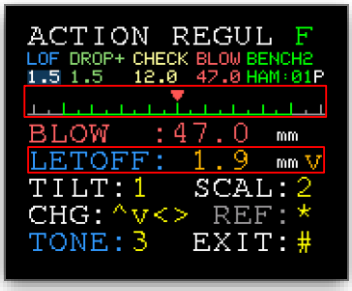
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.3 主界面对话框









5.3.1 整理参数的目标设定值

上方一行显示断联距离（LOF）、断联后追加回落量（DROP+）、托木接住距离（CHECK）和击弦距离（BLOW）的目标值。DROP+ 是断联后弦槌继续回落的距离。实测的 DROP 则是弦槌回落到复振杠杆后，槌头距琴弦的距离。

使用左右方向键切换参数项，使用上下方向键修改当前高亮的目标值。例如：LOF 为 1.5 mm 加 DROP+ 为 1.5 mm，则对应的 DROP 目标值为 3.0 mm；若将 LOF 改为 1.3 mm 且 DROP+ 不变，则 DROP 目标值自动变为 2.8 mm。

在 STRING 模式下还可调整琴弦规格：屏幕右上角会同时显示琴弦号（#）及其下方对应的精确弦径（单位：mm）。

5.3.2 测量值显示

下方为主测量值显示区，实时呈现弦槌顶点距离琴弦下沿的距离，分为上下两行：

- **第一行**
  - 系统根据弦槌与琴弦的实时间距自动切换显示标签：
  - **BLOW（击弦距离）：间距在 40 mm 及以上时（如弦槌静止位）。**
  - **DIST：介于击弦距离与接住区间之间的纯实时距离显示。**
  - **CHECK（接住）：处于常规接住区间内（视品牌工艺不同，典型值约为 12 至 15 mm）。**
  - **DROP：弦槌断联并回落到复振杠杆后，槌头距琴弦的距离。TONE 的音区设定可影响设备对 CHECK 与 DROP 两个测量范围的判断。**
- **第二行**
  - LETOFF 显示当前测量周期内最近一次捕捉到的断联距离。测试时须缓慢按压琴键使弦槌徐徐靠近琴弦，以便 PMP 准确捕捉脱进瞬间。
- **偏差指示**
  - 屏幕右侧边缘以箭头标明实测值与目标值的偏差方向：
  - 向下箭头（橙色）→ 实测距离大于目标值（偏大 / 弦槌偏低）。
  - 向上箭头（品红色）→ 实测距离小于目标值（偏小 / 弦槌偏高）。
  - 实测数值本身亦同步以颜色提示：
  - 橙色：实测距离偏大。
  - 品红色：实测距离偏小。
  - 参数专属色：实测值已落入合格目标区间，箭头随即消失。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

单个弦槌的完整测量流程

完整测量的前提是已建立有效的琴弦基准、对准正确测点，并配合弦槌轨迹设定好传感器倾角与 TILT 补偿；满足此条件即可在同一架设下检验全部四项参数（在 SCAL 模式下如有需要，将测量范围选为 ALL)。若 TILT = 0 且仅在上位可见弦槌，则测量仅限上位区间（SCAL 中相应选择 LETOFF/DROP)。

1. 检验静止位击弦距离

完全松开琴键，确认激光光斑落在静止位弦槌顶点上，此时 BLOW 显示弦槌至琴弦基准的距离，即实际击弦距离。

2. 慢按测量断联与回落

缓慢、匀速按下琴键，弦槌平稳升至断联瞬间，PMP 自动锁定并保持显示捕捉到的断联距离（LETOFF)。随后继续将琴键按到底并保持按住，弦槌脱进后回落至复振杠杆上，此时屏幕以 DROP 显示其距琴弦的距离。测试后完全松开琴键，并重复慢按一次加以复核。

3. 正常弹奏检验接住距离

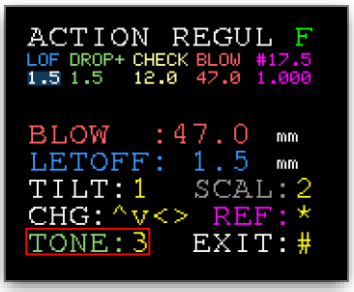
以正常且足够有力的力度击键，并保持琴键按下。弦槌回落时会被托木接住。CHECK 显示此时槌头距琴弦基准的距离。缓慢按到断联位置的操作不能代替这项检查。测完将琴键完全松开。

4. 调节整理并复测确认

对击弦机对应部件进行调整，随后重新执行相应按键动作——唯有复测新读数方可确认调整到位。调节期间可开启 TONE 声音提示辅助判断偏差。待当前音位核验全部完成后，再将传感器推向下一个音位，并在新音位重新核查激光光斑落点及对应测量方法所需的琴弦基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.3.3 声音提示反馈（TONE）



在调整断联（LETOFF）、击弦距离（BLOW）、托木接住距离（CHECK）或落距（DROP）时，设备可提供声音提示反馈，每次发出连续两声提示音：

第一声的音高始终恒定不变；

第二声的音高则随实测值偏离目标值的方向与大小动态变化：

- 若实测距离大于目标值（偏低/偏远），第二声音高逐渐降低。
- 若实测距离小于目标值（偏高/偏近），第二声音高逐渐升高。

此功能对技师极为实用：在旋转断联调节钮调整断联，或调节卡钉校准击弦距离时，技师可将全部注意力集中在击弦机内部，不必反复抬头低头在击弦机与屏幕之间来回切换视线。

当听到的两声提示语音高大致相同时，即表明实测值已精准达到目标值。

在测量主界面按 TONE:3 可循环切换声音提示反馈对象（若限定了测量范围，则仅提供对应参数的提示音）：

- 蓝色“TONE:” → 断联（LETOFF）声音反馈
- 绿色“TONE:” → 落距（DROP）声音反馈
- “TONE:”显示黄色 → 对托木接住距离（CHECK）发出声音反馈。
- 红色“TONE:” → 击弦距离（BLOW）声音反馈
- 灰色“TONE:” → 关闭声音反馈

循环切换顺序为：蓝 → 绿 → 黄 → 红 → 灰。

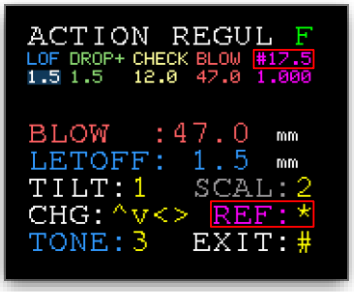
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.4 简易测量：STRING、HAMMER-TO-STRING 与 SCAL QUICK

PMP 测量弦槌位置并换算为相对于琴弦下沿的间距，因此必须预先采集琴弦位置作为上基准，方可测定断联、回落、接住与静止位击弦距离。

针对单个音位测量，可按 REF:* 在 STRING 与 HAMMER-TO-STRING 之间切换；针对多音连续区段，可按 SCAL:2 打开菜单并选择 SCAL INSTR 或 SCAL BENCH 下的 QUICK 模式。采用这些简易工作流时，无需预先创建乐器数据集或配置保存分区。

5.4.1 STRING 模式



当制音器尚未安装时，会使用STRING模式。在这种情况下，可以从敲击区域的上方直接接触琴弦。

该传感器用于测量琴弦的上缘位置，并根据输入的琴弦直径将数值向下调整，从而获得琴弦的确切下缘位置作为参考依据。

首次进入“action regul.”功能时，默认即处于 STRING 模式。此时屏幕右上角以紫色显示琴弦规格：

- 上方为琴弦号（#）
- 下方为精确弦径（单位：mm）。

您可随时根据当前所测音位，用上下方向键调整弦径：1.25 mm 以下步进为 0.025 mm，1.25 至 1.70 mm 之间为 0.05 mm，1.70 mm 以上为 0.10 mm。

弦径只需大致吻合即可，因为相邻号数的差值微乎其微：

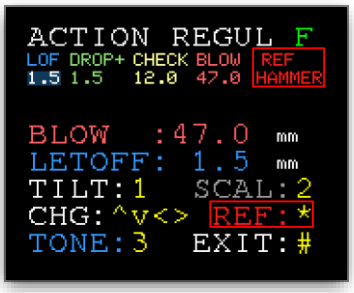
- 相邻半号/相邻两档琴弦号差值仅 0.025 mm（25 µm）
- 琴弦号相差四号时，弦径仅相差 0.1 mm（十分之一毫米）。

设好匹配的弦径后，将传感器缓慢推过琴弦并停在弦槌顶点上方：扫过琴弦瞬间 PMP 会自动捕捉琴弦基准并发出提示音确认。随后按压琴键即可测量各项整理参数。继续移向下一个音位时，扫过新琴弦即自动更新基准，只需随弦列变化同步调整弦径即可。STRING 模式在开启或关闭 TILT 时均可运行；关闭 TILT 时须遵守前文所述的可见弦槌行程限制。

重要提示：低音缠弦表面的铜丝缠绕容易散射激光束。当所设弦径达到 1.80 mm 及以上时，屏幕将弹出“WOUND STRINGS!”警告提示，按 OK 键确认。此后针对低音单音请按 REF:* 切换至 HAMMER-TO-STRING 模式，或按 SCAL:2 选用合适的分区测量方案。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.4.2 HAMMER-TO-STRING 模式



当制音系统已安装到位时，琴弦被制音器遮挡，无法从上方直接扫测琴弦。

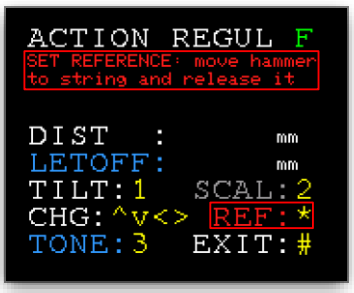
此时须改用 HAMMER-TO-STRING（弦槌触弦）模式：

- 传感器直接采集弦槌轻触琴弦下方时的弦槌顶点高度。
- 该高度值直接作为琴弦下沿的上基准。
- 操作时使用专用工具（弦槌提钩）将弦槌托举至轻触琴弦，随后松手放下。

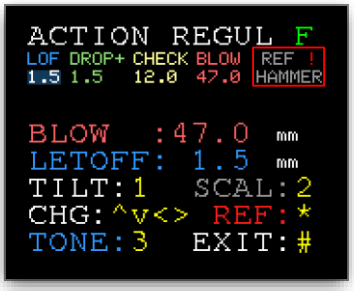
按星号键（*）即可在 STRING 与 HAMMER-TO-STRING 两种模式间切换。

当前激活模式可通过屏幕直观辨别：

- STRING 模式：“REF:”字样呈紫色，并显示琴弦直径。
- HAMMER-TO-STRING 模式：“REF:”字样呈红色，原弦径位置改为红色显示“REF HAMMER”。



采集完毕的 HAMMER 基准在移动传感器时仍会保留。若传感器偏离原采集位置向左或向右超过 10 mm，右上角的“REF”与“HAMMER”将变为灰色，且“REF”旁会出现红色感叹号“!”，提示当前正跨出原基准音位范围沿用旧基准（此时不会弹出额外警告弹窗）。



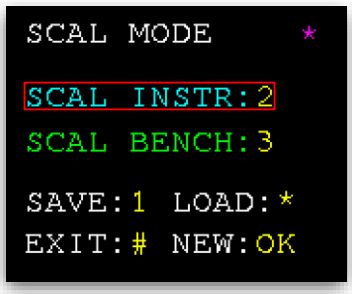
测量新音位前应重新采集基准：先按一次星号键（*）切至 STRING，再按一次切回 HAMMER-TO-STRING，然后按上述方法将新弦槌托举触弦并松开。若将传感器移回原基准音位有效范围内，“REF”与“HAMMER”会恢复红色，红色“!”随之消失。

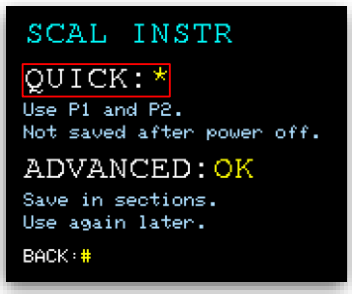
移动传感器后的警告显示示例：

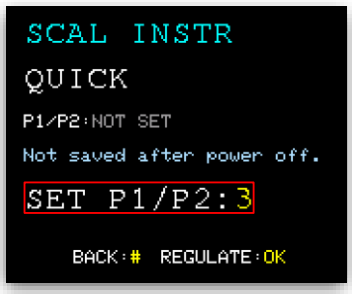
装有制音器时，请按第 5.1 节“基础架设（Setup）：导轨与传感器”所述方式让出畅通光路。HAMMER-TO-STRING 在开启或关闭 TILT 时均可使用；关闭 TILT 时须将光斑在触弦位与断联位之间取中分配，且此时无法在同一导轨位置同步测击弦距离。完成触弦基准采集后，缓慢按下琴键即可检验断联与回落。如需连续采集并永久保存多个音位的独立基准，请使用后文 ADVANCED 下的 HAMMER EACH 流程。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.4.3 SCAL INSTR QUICK：在琴体内整理







QUICK 模式通过首尾两次触弦采集构建一条平直的琴弦基准线。以下示例以一段 20 音的低音区（从首音至末音）为例。此模式无需占用存储槽位，所建基准仅在本次开机作业期间有效。

1. 选择作业地点 INSTR（琴体内）

在整理主界面按 SCAL:2，接着选择 SCAL INSTR:2（上方图示红框标出此项）。若当前已打开某项 SCAL 流程，请先按 BACK:# 返回作业地点选择界面。

2. 选择 QUICK

按 QUICK:* 进入简易首尾双端音采集流程，本流程无需进入 ADVANCED（中间图示标出此项）。

3. 设定首尾端点 P1 与 P2

在 QUICK 菜单中，P1/P2 初始状态显示为 NOT SET。按 SET P1/P2:3 启动端点采集。P1 代表先测的一端音位，P2 代表另一端音位，从左端或右端起测均可。

在整个区段作业期间，导轨位置、传感器高度、倾角以及传感器臂横向转角均须保持恒定不变。装有制音器时，须按第 5.1 节“基础架设（Setup）：导轨与传感器”所述，确保激光能穿过制音器间隙照及各弦槌。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

以 HAMMER-TO-STRING 方式采集第一个端音

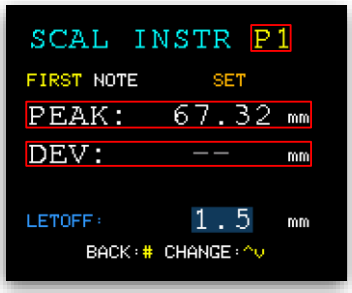


4. 对准 P1 并设定目标断联值

将激光对准第一个端音的弦槌顶点，在 LETOFF 栏用上下方向键设定该端后续整理期望达到的目标断联值（本例为 1.5 mm）。在 SCAL INSTR 中，系统是通过弦槌直接触弦来建立琴弦基准的，因此无需提前知道该键当前的实际断联距离。

5. 托举弦槌轻触琴弦

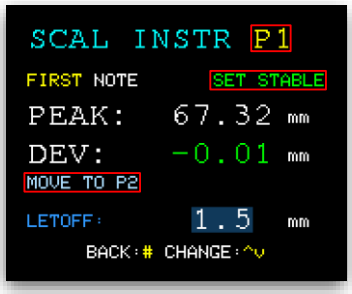
使用弦槌提钩将弦槌缓慢托举至轻触琴弦，然后松手放回。进入界面即自动处于待采就绪状态。



完成一次有效触弦采集后，屏幕显示橙色 SET，PEAK 锁定显示本次测得的触弦峰值读数。注意：该数值是用于建立基准的触弦绝对位置，而非 1.5 mm 的断联值。

6. 在同一弦槌上重复复测

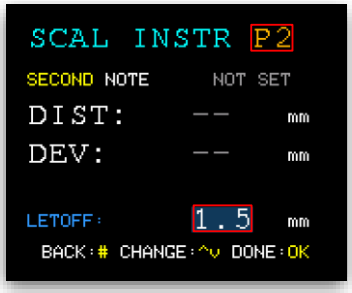
再次将该弦槌托举触弦并松开。DEV 显示当前次与上一次在同一弦槌上采样的差值（本例中最近两次仅相差 0.01 mm）。连续获得三次高度吻合的采样后，屏幕转为绿色 SET STABLE 并提示 MOVE TO P2。



系统仅需一次有效采样即可采纳端点，多次复测旨在帮助技师确认激光已稳定命中弦槌顶点。若 DEV 显示异常偏大，请及时检查光斑落点与托举手法。

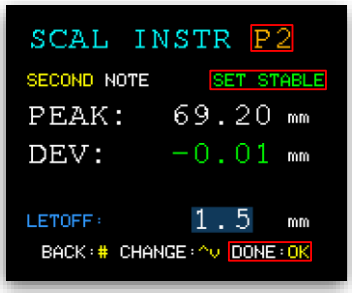
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

采集第二个端音并整理该区段



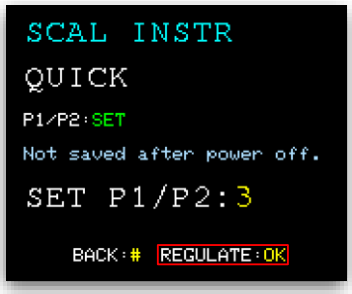
7. 移至另一端音

完成至少一次有效 P1 采样后，将传感器推向该区段的另一端末音。平移距离超过 10 mm 后，PMP 自动锁定 P1 并切换至 P2 采集界面。移动过程中切勿转动先前设好的传感器臂转角，也不可将紧邻音位当作第二端点。



8. 测量 P2 并结束采集

核对另一端音的目标 LETOFF 设定值（本例同样为 1.5 mm），将弦槌托举触弦后松开。参照 P1 的做法，通过 PEAK、DEV 与 SET STABLE 检验重复稳定性，确认无误后按 DONE:OK 完成端点采集。



9. 依据建好的基准开始整理

此时界面显示 P1/P2 状态为 SET。按 REGULATE:OK 进入整理主界面，即可对照两个端点的直线基准依次测量并调整中间所有音位。

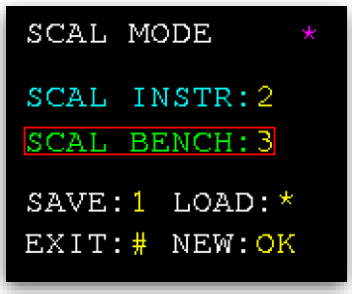
配合恰当的 TILT 倾角可在同一架设下测全全部四项参数；若关闭 TILT，则须遵循前文所述的可见行程限制。作业中可启用 TONE 声音反馈辅助调节。

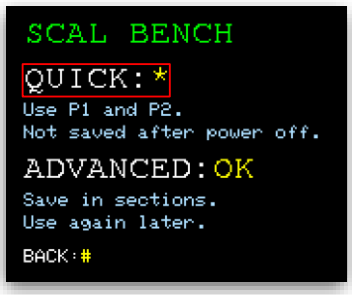
两端支持设定不同的断联目标值：例如 P1 设为 1.5 mm、P2 设为 1.1 mm，则区段中点处的目标断联值自动线性过渡为 1.3 mm。此模式假设两端之间的实际弦平面为平直面；如需精确补偿局部单音弦高起伏，请采用后文详述的 ADVANCED 高阶流程。

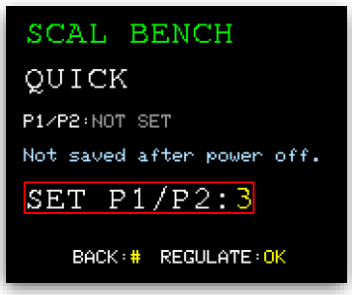
设备关机后，QUICK 临时基准不会保留，下次开机需重新采集。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.4.4 SCAL BENCH QUICK：在工作台上整理







SCAL BENCH QUICK 通过两个端音在工作台上复现琴弦基准。该法只需预先在琴体内测得这两个端音的实际断联距离，既不需要全音域扫弦，也无需建立存储槽位。

1. 在琴体内实测首尾两音的实际断联距离

在琴体内可靠测定该区段首音与末音当前的实际断联距离并记录在案（例如使用 HAMMER-TO-STRING 模式，本例实测值分别为 1.8 mm 与 1.6 mm）。这两个端音无需提前调至最终目标值 1.5 mm，但在工作台 BENCH 匹配完成之前，切勿变动其机械断联状态。

2. 在工作台上架设击弦机与导轨

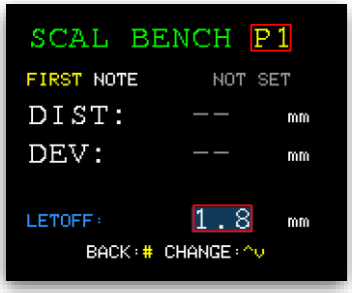
将击弦机稳固平放在工作台上，将导轨架设于弦槌上方并使其大致平行于工作台面。以 REAR 后置方向装上 SENSOR 2，保持传感器臂正向平直，配合弦槌轨迹调好传感器倾角并开启 TILT 以覆盖全部四项参数，同时核查上位与下位均在有效量程内。

3. 选择 BENCH 与 QUICK

按 SCAL:2，依次选择 SCAL BENCH:3 与 QUICK:*，在 QUICK 菜单中按 SET P1/P2:3 开始采集（图示三屏展示了该选择路径）。务必对准刚才在琴体内记下实际断联值的同一对首尾端音进行作业。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

P1：将第一个端音基准传递至工作台

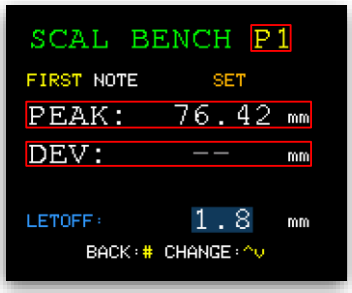


4. 输入琴体内的实测断联值

将传感器对准同一个首端音，并尽可能命中与琴体内测量时完全相同的弦槌顶点部位。在 LETOFF 栏输入刚才在琴体内测得的实际断联值（本例为 1.8 mm）。切记：此处填入的是该测试音尚未调整前的实测断联值，而非最终整理目标值。

5. 慢按琴键直至断联

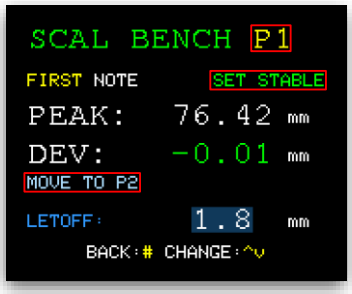
缓慢按下琴键直至弦槌发生断联，然后彻底松开琴键，让弦槌完全回落至静止位。此步骤严禁在阻断断联的状态下采集；若此前垫过毛毡条，务必提前取出。



PMP 测出该弦槌在工作台上的断联空间位置，结合录入的 1.8 mm 断联实测值，即可精准反推出琴弦在该弦槌上方应处的虚拟高度。橙色 SET 表示本次采样有效，PEAK 锁定显示该次采样值。

6. 重复相同慢按动作复测

保持传感器在同一顶点位置不动，再次慢按至断联并彻底松手。DEV 对比同一音位连续采样的差值（本例 -0.01 mm 表示最新采样与前一次相差 0.01 mm）。



连续三次读数稳定一致后，屏幕显示绿色 SET STABLE 与 MOVE TO P2。此标志仅为采样质量提示（单次有效采样亦可采纳，复测次数由技师自行决定）。若多次读数波动明显，应先检查光斑测点以及该键断联机构本身的机械稳定性。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

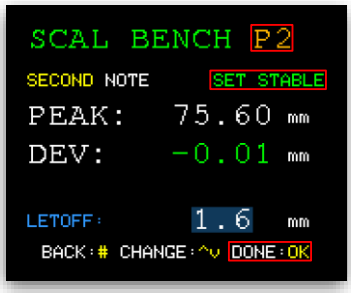
P2：传递第二个端音基准并开始整理



7. 测量另一端音

完成有效 P1 采样后，将传感器推向另一端音。平移超过 10 mm 后，P1 自动锁存并切换至 P2 界面。在 LETOFF 栏填入该端音在琴体内测得的实际断联值（本例为 1.6 mm）——切勿误用第一个端音的数值或最终目标值。

8. 复测并以 DONE 结束



缓慢按压琴键至断联并彻底松开，参照 P1 观察 PEAK、DEV 与 SET STABLE 确认采样稳定，随后按 DONE:OK 完成采集。至此，两个端音已为整段工作台作业建立起平直的虚拟琴弦基准。

9. 此时方才设定最终整理目标值

QUICK 菜单显示 P1/P2: SET 即表明基准就绪。按 REGULATE:OK 进入整理测量主界面，此时即可将目标断联值设为期望的 1.5 mm（或其他目标值），并对包括先前未动的首尾两音在内的全区段琴键进行整理。先前输入的 1.8 mm 与 1.6 mm 仅用于向工作台传递实际琴弦高度。



整个整理期间须保持导轨、传感器臂姿态、高度及倾角不变。配合正确的 TILT 设置，可在同一架设下同步完成断联、回落、接住与击弦距离的测量、调节与复核。中途进入菜单后，按 REGULATE:OK 随时可返回整理界面。

两个端音均必须具备良好的断联重复一致性，因此每个端音都应多次复检；端音采样的任何误差都会传导影响中间全部音位。此外，QUICK 模式无法反映两端之间实际弦平面的局部起伏——如需逐音精准映射真实弦高曲线，请选用 ADVANCED 高阶流程。设备关机后需重新采集 QUICK 基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.5 ADVANCED：依据实际琴弦高度进行整理

击弦机移至工作台后，失去了琴弦这一直接参照。传统做法往往借助直尺、橡皮筋或模拟击弦板等平直辅助基准线进行整理；前述 P1/P2 简易法同样只生成两点间的直线基准。然而钢琴内部实际的弦平面在两端之间往往存在局部高低起伏，若仅按直线整理断联，推回琴体后各音距琴弦的实际断联距离便会出现参差不齐。

PMP 能够在琴体内逐音采集每一音位的真实琴弦高度，并将其完整传递到工作台供整理使用。其核心目标在于：在工作台上即可直接依据真实的弦槌—琴弦间距完成精密细调，把以往因直线辅助基准导致的局部弦高差异，提前在工作台阶段一次性消除。

三项独立采集与设定的核心要素

第一是琴弦基准，记录每个音位琴弦的实际高度轮廓；第二是在琴体内依据该基准测出若干测试音当前的实际断联距离；随后保持这些测试音机械状态不变，在工作台上对其重新测出断联位置——PMP 将工作台上的断联空间位置与琴体内测得的实际断联距离相结合，即可在工作台上精准重建整条真实琴弦轮廓；第三才是整理目标值，用于规定最终整理希望达到的参数标准。

执行 MATCH INSTR 匹配前，测试音不必预先精调至某一特定目标值；关键在于准确测出其在琴体内的当前实际断联距离，并在工作台匹配完成之前维持原状不动。只要机械重复性良好，1.8 mm 的实测断联值与 1.5 mm 同样适合作为传递基准。

完整作业路径

槽位（Slot）与分区（Section）的对应关系

一个槽位（Slot）用于存储一整台钢琴的完整数据集；一个分区（Section）代表一个连续作业区段（例如低音区或中音区）。INSTR 代表在三角钢琴琴体内进行的测量，BENCH 代表在工作台上进行的测量。同一弦列区段在两处作业地点必须归属同一个分区编号。

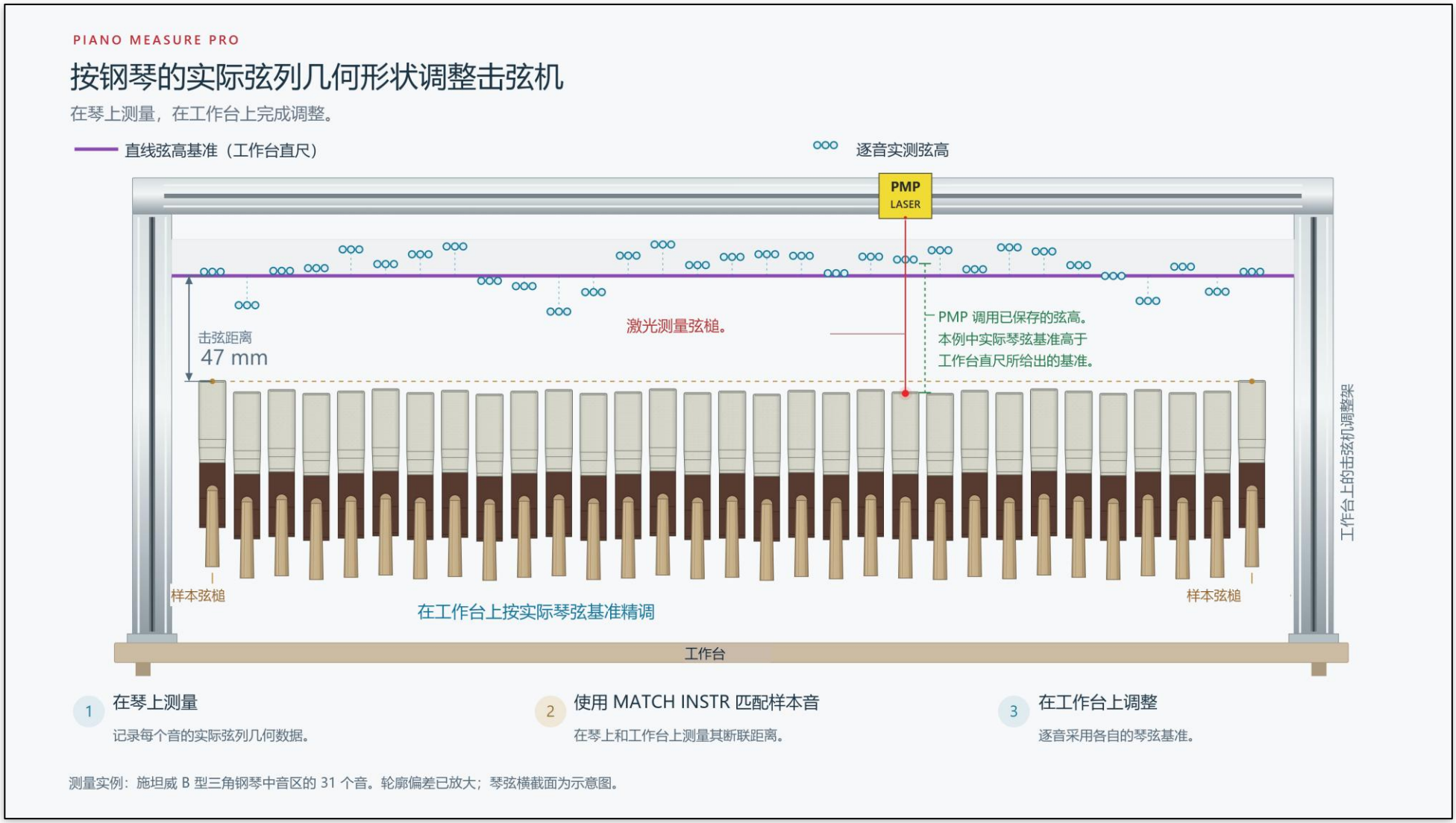
仅当需要保存逐音琴弦基准并在后续工作台整理中复用时，才需采用以下高阶流程：先将整琴划分为若干合适的分区；在每个分区内，先采集琴弦基准，紧接着在保持传感器架设丝毫不动的前提下测出若干合适测试音的实际断联值，之后再切换架设下一分区；移至工作台后，先设定公共位置基准，再逐一通过 MATCH INSTR 匹配各分区；最后设定目标值并逐音完成整理。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

理解真实弦高曲线与工作台基准原理

紫色直线代表传统的直尺平直基准；蓝色小圆点代表在琴体内逐音采集的真实琴弦高度；红色激光束照射在弦槌上，绿色线段则表示弦槌相对于该音位已保存真实琴弦高度的实际间距。为便于阐释原理，图中的弦高轮廓起伏已作放大绘制。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



该示意图展示了琴弦基准轮廓与工作台测量之间的映射关系。图中的 47 mm 仅为两个测试音击弦距离的示例值；执行 MATCH INSTR 匹配时以两个测试音的实际断联距离为传递依据，无需事先将其调整到某一固定目标值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.6 已保存分区的架设与续测

基础架设原则与 TILT 倾角设置继续适用。采用已保存分区作业时，还需确保测点位置精准对应以及架设具备可重复性。在琴体内进行正式采集之前，请先做好击弦机准备工作，随后再以固定不变的传感器臂转角逐一配置每个分区。

基准采集前的准备

在执行琴体内（INSTR）采集之前，请先将所有弦槌对正同音弦组（对弦），并消除横向偏斜的弦槌走位（具体检验法见下方实操建议“在工作台上用激光检查弦槌走位”）。凡对弦槌柄轴架或其他影响断联的部件进行过调整，均须在琴体内重新测定实际断联距离；在完成该测量与执行工作台 MATCH INSTR 匹配之间，测试音必须保持原状不变。

5.6.1 基准采集前在工作台上检查弦槌走位

实操建议：在工作台上用激光检查弦槌走位（消除弦槌斜跑 / 校正平直击弦）

该项检查及必要修正属于击弦机前期准备工作，应在正式进行琴体内（INSTR）采集之前完成。若日后再次修正过走位，须先重新测量受影响的琴体内数据，再以此为基础执行 MATCH INSTR 匹配。

本工序在工作台上进行：将导轨架设至大致平行于工作台面，传感器臂保持正向平直，并配合弦槌轨迹调好传感器倾角。先挑选一枚自身垂直平直上升的弦槌（事先对照相邻弦槌确认其轨迹端正）。

将该基准弦槌在静止位与上位之间缓慢上下运动，观察激光光斑：正常情况下光斑在横向（左右方向）应保持静止不动。若光斑向左或向右偏移，应先检查并微调导轨的水平与朝向；光斑的前后移动则通过调整传感器俯仰倾角予以折中分配。

一旦光斑在该平直走位弦槌上横向稳居原位，即可在导轨与传感器姿态不变的前提下依次检验其余所有弦槌：凡光斑发生左右漂移的弦槌，其走位斜跑便一目了然。此时可在弦槌柄轴架下方有针对性地垫入纸条校正走位，并立即用激光复核。

为获得更直观的参照点，也可提前在三角钢琴琴体内将琴弦位置拓印到弦槌顶点上：先将全部弦槌对正同音弦组（例如借助 PMP 的 spacing 功能），再在弦槌上方铺放适用的复写纸，用力击打弦槌触弦，使弦槌顶点留下清晰的琴弦压痕标记。

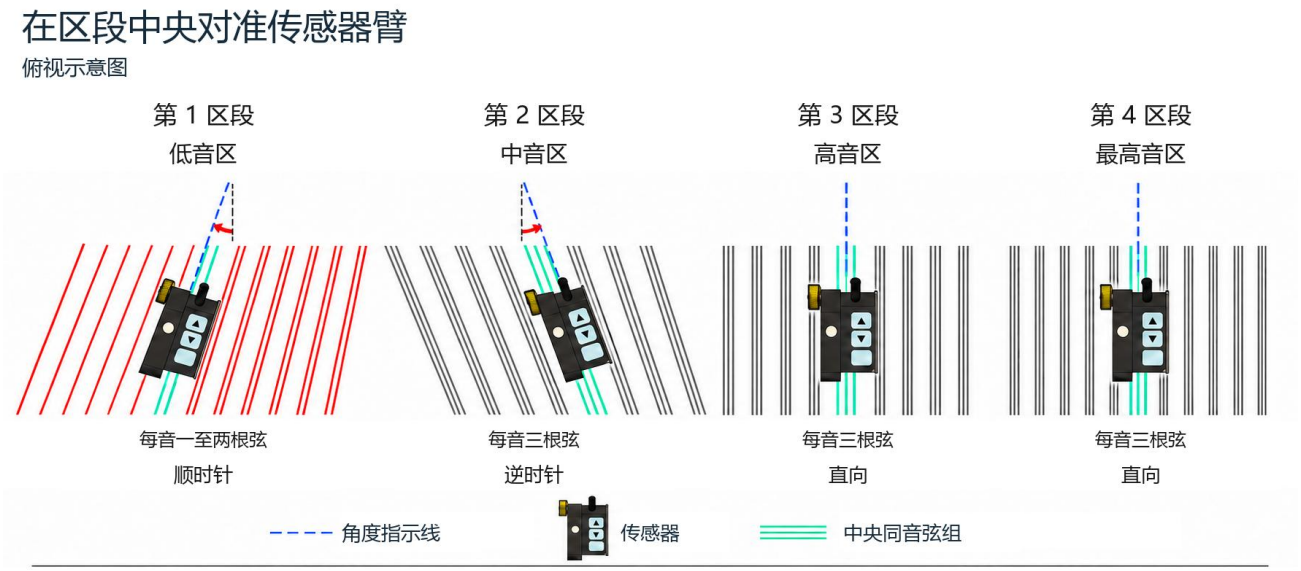
随后在工作台上将弦槌托至击弦上位，使激光光斑精准对准弦痕标记，再将弦槌放回静止位：若光斑横向偏离该标记，弦槌的横向斜跑便清晰显现，可当场予以校正。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

按分区中部琴弦校准传感器臂

装有制音器时，须旋转传感器臂，使发射激光束与反射回光均能穿过制音器间隙抵达弦槌并返回。校准以该分区中部的琴弦走向为准：由于琴弦斜角朝分区首尾两端可能略有渐变，应选定合适的折中转角，并核查分区首尾两端的光路均畅通无阻。

俯视状态下，低音区顺时针旋转传感器臂，中低音区逆时针旋转。在同一个已采集分区内，切勿再次改变传感器臂转角，即便复测单个音位也不例外。



同一区段内，各弦的角度可能略有差异。

将传感器臂与区段中央的琴弦对齐，并在测量整个区段时保持这一位置。

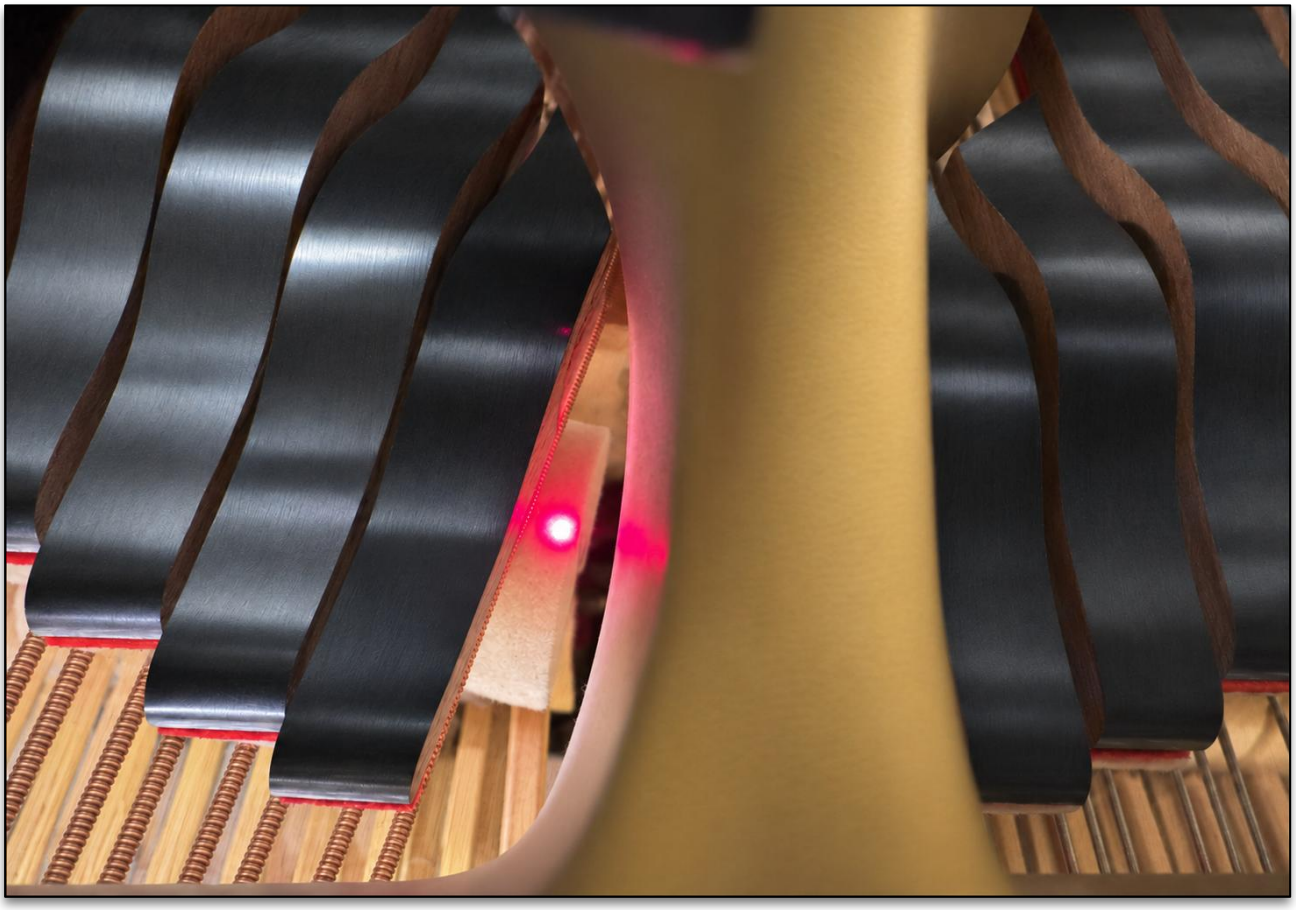
从演奏者一侧观察的俯视图。同一分区内琴弦斜角可能略有渐变，亦可能保持一致。中央绿色琴弦用于对准走向；蓝色虚线仅标示方向（并非代表传感器臂实体）。在该分区内务必保持所选传感器臂转角不变。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

按首尾两枚弦槌校准导轨位置

将分区第一枚弦槌托举至触弦位，前后微移琴壳上的导轨，使激光命中击弦位的弦槌顶点；随后在该分区最后一枚弦槌上执行同样检查，并取折中导轨位置，期间保持传感器高度、俯仰倾角及横向转角不变。

唯有确认分区两端及中间所有测点均畅通可达之后，方可开始采集该分区。请在某一合适的基准弦槌（例如首音或末音）上标出精确的顶点测点位置，以便后续在工作台上执行 MATCH INSTR 匹配时准确复原。



激光光斑穿过制音器与铸铁板筋条之间的缝隙命中弦槌顶点。请在选定的基准弦槌上清晰标记横向测点位置，供后续工作台测量使用。

两种不同用途的标记

弦槌上的标记用于锁定精确的激光落点；琴壳上的划线则用于锁定导轨的安放位置。中断后恢复续测时两者缺一不可，互不替代。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

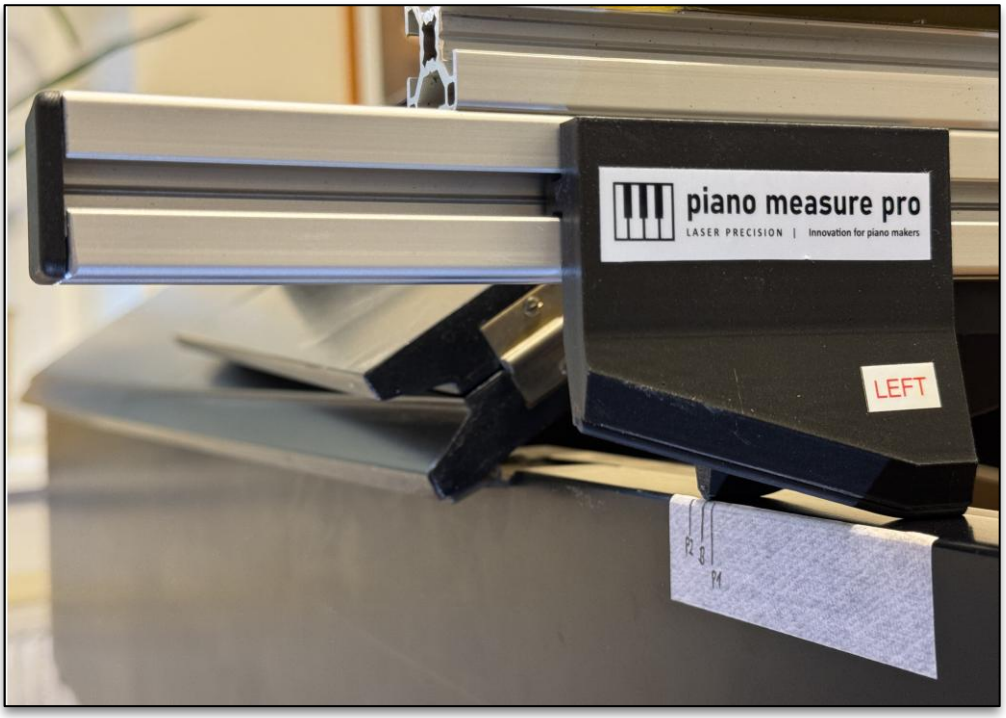
为每个分区标记导轨位置



为便于后续续测复原，可在琴壳外侧贴一条不伤漆面的低粘美纹纸胶带（如德莎敏感表面精密美纹纸胶带 tesa Präzisionskrepp Sensitiv 4333）。将后支脚尽可能与琴壳侧面齐平对齐，恰好在其短橡胶条所在位置于胶带上画一道标记线。

在琴壳左右两侧支承位均做好标记，并为其余各分区分别编号标注。如此便可迅速将导轨复原至对应位置，原理与 Key Level 章节中的导轨重复定位校准相同。

琴壳标记仅恢复导轨安放位置；续测时还须同步还原该分区的传感器臂转角，并在已标记的弦槌或已保存琴弦处重新确认位置基准。



紧贴齐平对齐的后支脚短橡胶条处画下定位标记线。



多道划线分别对应不同分区的导轨位置，文字标注须确保能明确区分所属分区。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在压弦条区域建立畅通光路

在高音区，请先保持传感器臂正向平直并采用 REAR 后置方向，检查激光束能否直接照到紧邻琴弦下方的弦槌顶点。部分钢琴的压弦条会遮挡垂直光路，此时可将传感器反向向上仰倾：激光从后下方斜射，往往即可绕过压弦条命中弦槌。并非所有钢琴都需要仰倾，请先在该分区首尾两音核验光路可达性。

两张实拍图先展示了光路受阻的情况，随后展示了通过向上仰倾传感器解决遮挡的方案。注意：此仰角仅用于在紧贴琴弦处获取光路，并非用于追踪完整弦槌行程。因此，在此类基准采集及上位断联测量时须保持 TILT 关闭——琴弦与断联点之间距离极短，无需弦槌行程角度补偿；该架设下亦不测量击弦距离。



传感器保持水平时，激光打在压弦条处的铸铁板上，无法照及弦槌顶点。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

核查压弦条处的测点位置



将传感器向上仰倾后，激光束得以顺利绕过压弦条照中其附近的弦槌顶点。采集前请为整个分区定好统一仰角，并在该分区作业期间保持不变。

在分区内所有音位核查该姿态并保持恒定。若即便仰倾仍无法照及弦槌，请改用 STRING SCAN 扫描紧邻压弦条前方无遮挡的裸露琴弦，从上方采集琴弦高度曲线；对应测试音的实际断联值则按第 5.7.7 节“压弦条特殊情况：扫弦与 0.00 mm 断联法”所述方式设定并录入。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

示例：施坦威 B 型（Steinway & Sons B）三角钢琴的四组分区架设

本示例演示一台装有制音系统的三角钢琴。由于各分区之间需变动传感器臂转角或架设构型，在琴体内不采用公共 INSTR 位置基准，而是为每个分区建立独立位置基准；同时，这些琴体内（INSTR）采集均保持 TILT 关闭。

Section 1：低音区（20 个音）

顺时针旋转传感器臂，使其大致平行于低音区中部琴弦；将传感器调至水平。依据首尾两枚弦槌定位导轨并在琴壳上划线标记，同时在首音或末音弦槌上做好清晰的测点标记以备后续匹配。



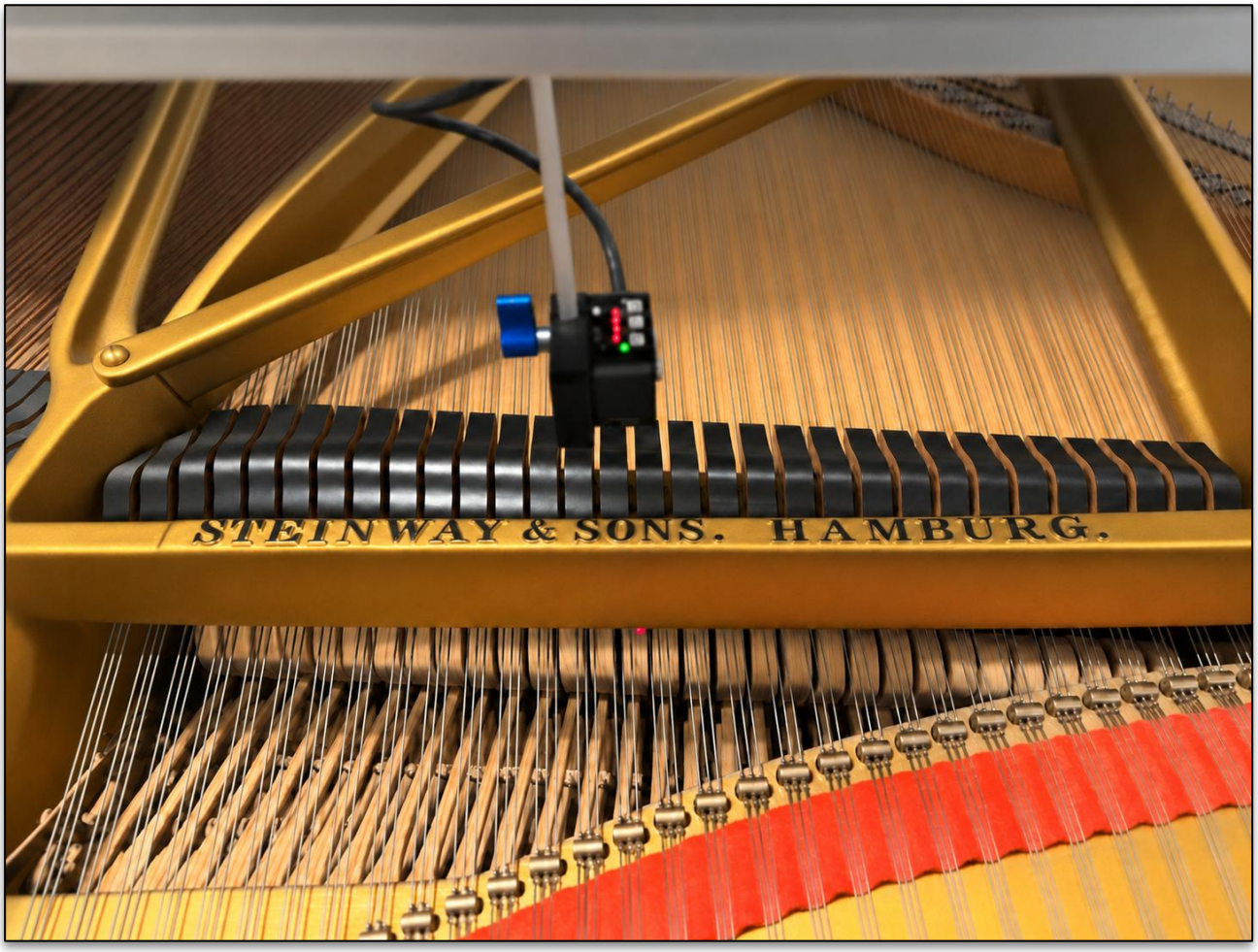
低音区：横向旋转传感器臂，传感器保持水平（不施加弦槌行程倾角）。

此处适用 HAMMER EACH 采集方式：仅采少数触弦点时可直接用弦槌提钩将弦槌拉至触弦；连续采集大量音位时，可垫入毛毡条阻断断联以便按键采集。触弦采集完毕后，务必在完全相同的传感器姿态下紧接着测量实际断联距离。此导轨位置下不测量击弦距离。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

Section 2：中音区（31 个音）

中音区作业时，逆时针旋转传感器臂并再次对准本分区中部琴弦的走向。传感器继续保持水平，TILT 保持关闭。在分区首尾两端核查导轨位置，并在美纹纸胶带上画下本分区专属标记线。



31 音中音区：传感器臂逆时针旋转对准中部琴弦，传感器水平，TILT = 0。

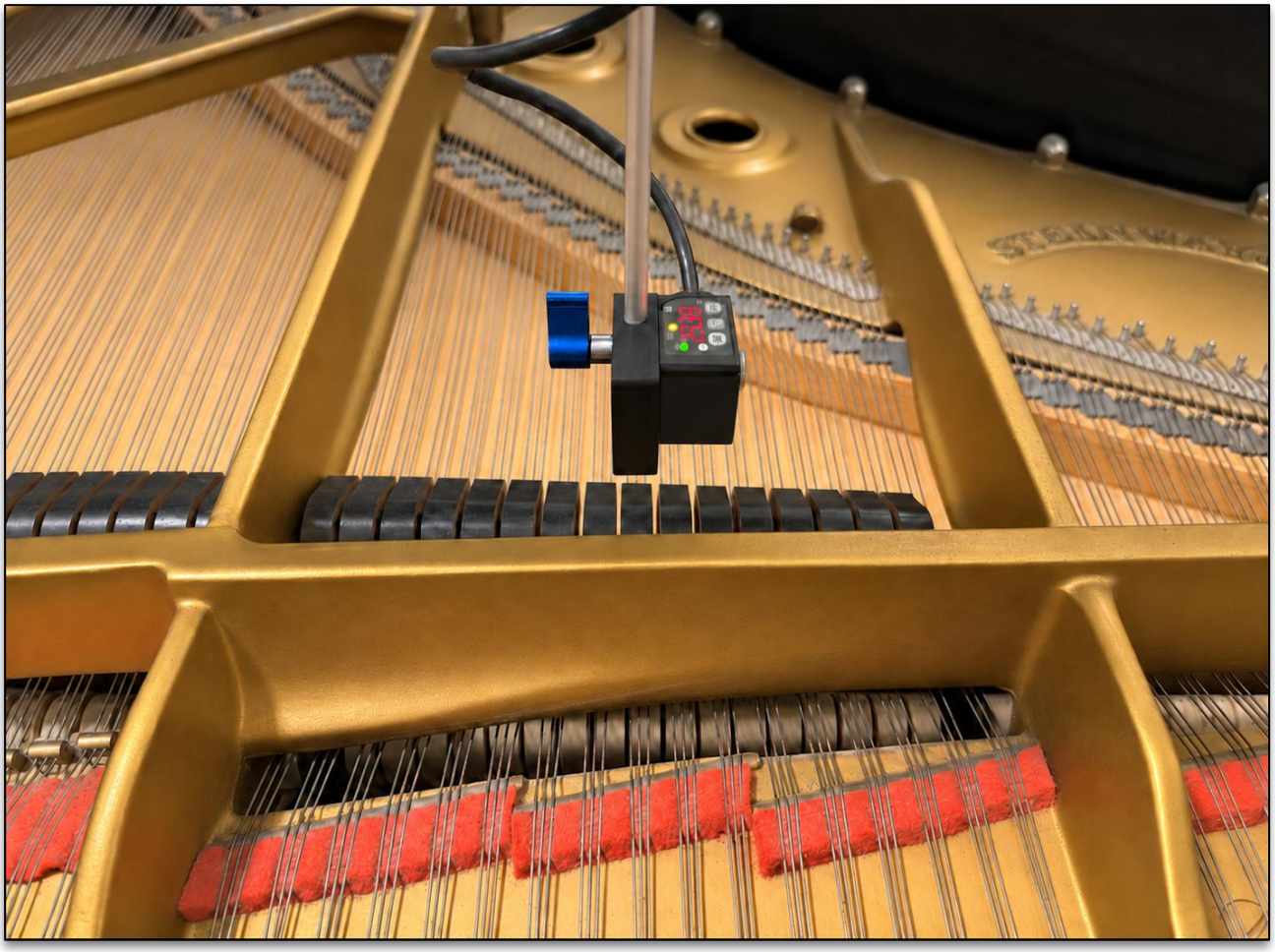
为本分区在琴壳上标注专属导轨定位线，并在首音或末音弦槌上标出明确测点。采用 HAMMER EACH 采集琴弦基准后，随即在同一传感器姿态下采集实际断联距离。此处同样不测量击弦距离。

每个分区开始采集前均须先核查全区段光路畅通情况。凡需调整传感器臂转角，均须在采集前一次调妥；采集过程中切勿随单音琴弦角度的细微变化而边测边转。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

Section 3：高音区（传感器臂正向平直）

将传感器臂调回正向平直，并定位高音区导轨。先在水平无倾角状态下检查激光能否照及紧邻琴弦下方的全部弦槌；仅当压弦条遮挡光路时，才采用前文所述的向上仰倾姿态。该上位测量同样保持 TILT 关闭；只要触弦状态的弦槌处于光路可达范围内，即可采用 HAMMER EACH 采集。



高音区：传感器臂保持正向平直；是否需要额外向上仰倾取决于压弦条处的视线空间。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

Section 4：最高音区（采用 STRING SCAN 扫弦）

若完全无法看清触弦状态的弦槌，请定位导轨使激光能够扫描紧邻压弦条前方（即贴近击弦线处）的无制音器裸露琴弦——该处琴弦高度起伏走势与击弦线处几乎完全一致。保持传感器臂正向平直，并使用 STRING SCAN 模式采集。

此处在紧邻压弦条前方扫描无制音琴弦。随后将用于 MATCH 的测试音调至紧贴琴弦下方断联，并通过 MANUAL LETOFF 录入其实际断联值 0.00 mm。完整操作流程请参见第 5.7.7 节“压弦条特殊情况：扫弦与 0.00 mm 断联法”。

采集完毕后转至工作台作业

琴体内的四组架设相互独立；移至工作台后，则统一采用正向平直传感器臂搭配常规弦槌行程倾角作业。在工作台上先设定统一的公共 BENCH 位置基准，随后逐一通过 MATCH INSTR 匹配每个分区。从新建槽位到完成整理的全步骤详见下一节“ADVANCED：琴体内与工作台工作流程”。

重要提示：琴壳上的美纹纸划线用于复原琴体内的机械架设；而公共 BENCH 位置基准与 MATCH INSTR 承担的是另一项职能——在工作台上重新建立已存测点的横向坐标映射，并将真实琴弦基准传递到工作台。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7 ADVANCED：琴体内与工作台工作流程

以下 ADVANCED 高阶流程将引导您从新建乐器数据集出发，历经琴弦基准采集，直至完成工作台精密整理。作业前请先按第 5.6 节“已保存分区的架设与续测”完成硬件架设；各项独立菜单功能与替代方案将在第 5.8 节“SCAL ADVANCED：基准与数据集”中补充说明。



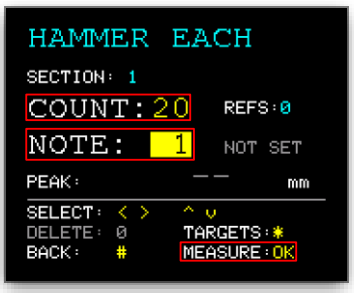
5.7.1 从琴体内开始：槽位、分区与测点

1. 新建空白乐器数据集

启动“action regul.”，选择 FINE 或 COURSE，按 SCAL:2 进入菜单；在 SCAL MODE 中选择 NEW:OK，并按对应数字键挑选一个标为 FREE 的空闲槽位（本例选 3 号槽位）。该槽位后续将统一容纳这台钢琴的所有分区及琴体内/工作台全部数据。随后依次选择 SCAL INSTR:2 与 ADVANCED:OK。

2. 划分实际作业分区

依据琴弦铸铁板分档及所需的传感器臂转角划分分区：本例划分为低音 20 音、中音 31 音，以及两段高音区 17 音与 20 音（其他钢琴请按实际分档设定）。低音区选择 SECTION 1，进入 HAMMER EACH:5 后将 COUNT 设为 20。请注意，NOTE 为当前分区内的相对音序号，而非整副 88 键的全局音号。



3. 标记可永久辨认的参照测点

在本分区某枚合适的弦槌（如首音或末音）顶点上标记一个清晰易找的参照点（例如在光斑测点旁用细铅笔轻点记号），并记录所属分区、音序号及具体落点位置，以便后续工作台 MATCH 匹配时精准找回同一横向位置。HAMMER EACH 采集不必非从该标记音开始，分区内任意弦槌均可作为起测音（本例 20 音低音区从 1 号音起测），只需确保 NOTE 显示的数字与实际所测弦槌的分区序号一致即可。

该标记将用于工作台上的首次 MATCH 采样，它指代的是弦槌毛毡顶面上的具体位置，而不仅是传感器臂坐标。采集其余各音时，也应尽量让激光落在易于复现识别的统一特征部位上。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.2 装有制音器时：校准光路与传感器臂

采集前请逐项核查当前分区的架设条件：REAR 后置方向、合适的传感器高度、制音器间隙视线通畅，以及已在琴壳上标记好的导轨位置。关于清出光路与键盘移位的方法，前文基础架设中已有详述。

传感器臂须顺应琴弦走向

将传感器臂对准分区中部琴弦的走向，并核查分区首尾两端的光路可达性（低音区顺时针旋转，中低音区逆时针旋转）。即便同一分区内琴弦斜角略有变化，一旦确定折中转角，在整个采集与测量期间也切勿变动。

横向偏转角度较大时，请将传感器在长圆孔内推至最后端、调至水平并关闭 TILT；按前文基础架设调定传感器高度并在分区首尾两端复核。此时若额外叠加弦槌行程俯仰倾角，激光光斑会在弦槌上升时横向滑过顶点，甚至在上位完全脱靶。

关闭 TILT 时的测量范围

将光斑对准弦槌上位工作区间，用于采集琴弦基准、断联与回落，并在 MEASURE:6 中将测量范围选为 LETOFF/DROP:2。此架设下不同步测量击弦距离——若要在琴体内测击弦距离，须随后按“依次测量断联与击弦距离”所述前后挪动导轨。

若制音器间隙宽裕且传感器臂转角很小，只要光斑在所需全程弦槌行程中均稳落顶点，也可开启 TILT。拆下制音器时通常可保持传感器臂正向平直；而在工作台上，正向平直传感器臂搭配开启 TILT 则是测全全部四项参数的标准架设。

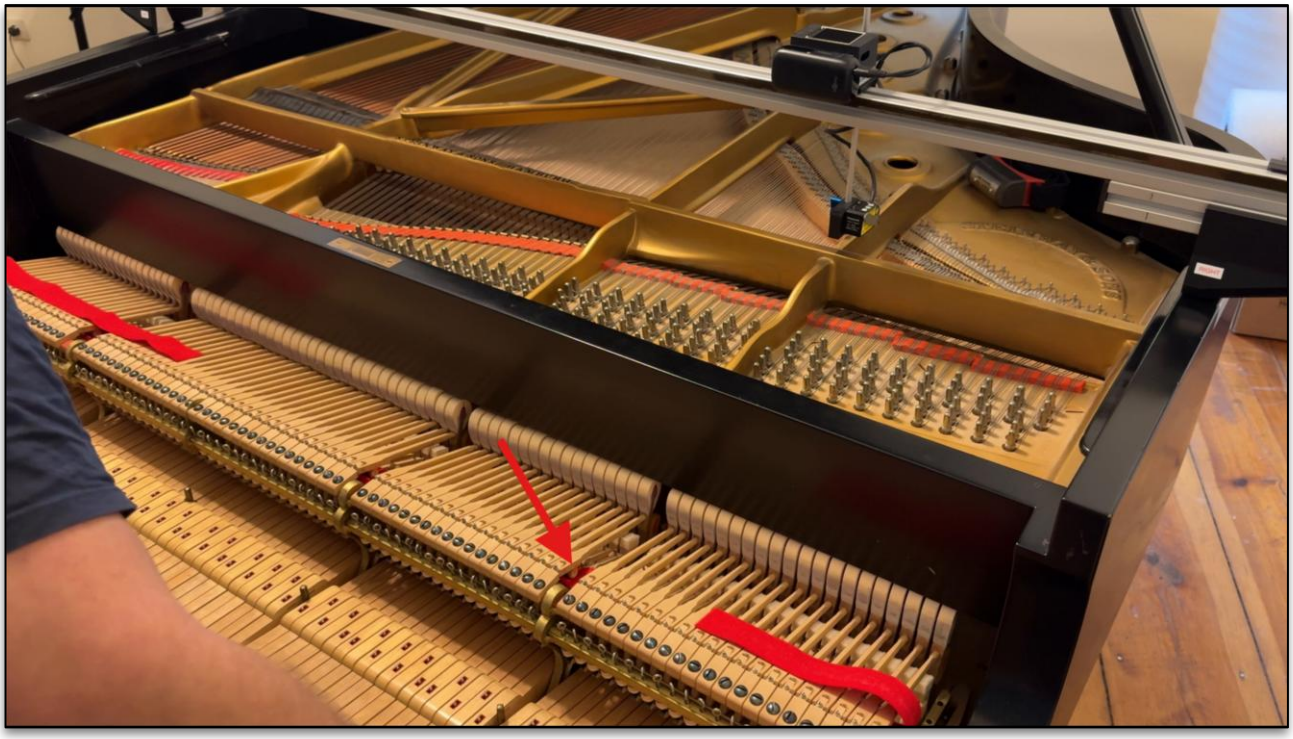
凡需更换传感器臂转角，均应独立划分一个 INSTR 分区并建立专属位置基准；采集前按首尾两枚弦槌校准导轨并在琴壳上标记支承位。仅当多个分区完全沿用同一套未变动的架设构型时，才适合使用公共 INSTR 位置基准。各自分别采集的分区数据均可在工作台上通过 MATCH INSTR 正常匹配使用。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.3 HAMMER EACH：使用毛毡条采集多个音位

4. 采集基准前临时阻断断联

连续采集大量音位的触弦基准时，可在顶杆与滚轮之间垫入一条厚度适中的毛毡条。如此按下琴键即可直接将弦槌平滑推至轻触琴弦而不提前脱进，通常无需拧动断联调节钮。若某些琴键原有断联距离过大，垫入毛毡条后仍提前断联，则须将断联略微调近琴弦直至能可靠触弦，并保持该机械状态直至后续工作台 MATCH 匹配完成。图示照片展示了毛毡条的垫放方式，红箭头指示其安放位置。



需要采集大量触弦点时，垫入毛毡条阻断断联，即可直接通过弹按琴键轻松完成高效采集。

5. 选择起测音并开始采集

进入 HAMMER EACH，核对 COUNT 与 NOTE。可从本分区任意一枚弦槌起测，只需保证 NOTE 显示其在本分区内的真实序号。将激光对准托起弦槌上的预定测点，按 MEASURE:OK 进入采集模式。按下琴键使弦槌轻触琴弦，然后完全松开；每次复测按压力度应尽可能均匀一致，切勿用力猛顶琴弦。PMP 会同步保存该音的触弦高度及传感器横向坐标。后续在工作台执行首次 MATCH 采样时，可选用本分区内任意一枚已采集的合适音位，关键在于务必命中该弦槌上完全相同的横向测点。

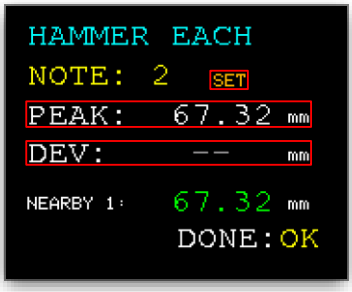
若仅采集单个或少数几个触弦点（例如用于校准已有的 STRING SCAN 曲线），直接使用弦槌提钩将弦槌拉至触弦后松开即可，无需垫入毛毡条——仅在需要连续采集大量音位时才值得铺垫毛毡条。此外，凡垫入过毛毡条，在紧接着测量实际断联之前务必将其彻底取出。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.4 HAMMER EACH：复测并逐音推进

6. 校验触弦采集结果

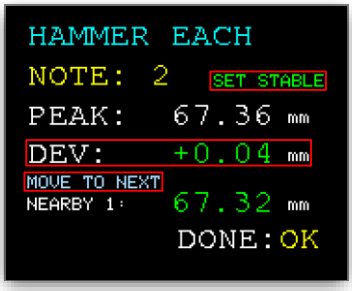
屏幕出现 SET 表示成功采集到一次有效新数据。在同一测点再次缓慢推升弦槌触弦并松开：PEAK 显示最新捕捉到的触弦位置，DEV 显示本次采样与同一弦槌前一次采样之间的差值，借此可判断触弦力度与激光落点是否稳定可重复。



连续获得三次稳定一致的采样后，屏幕显示 SET STABLE 与 MOVE TO NEXT。待出现该提示后再移向下一音是良好的作业习惯，但这并非强制存盘锁定（单次有效采样同样会被记录）。若 DEV 数值异常偏大，请先检查光斑落点与按键手法并重新采样。

7. 无需退出，直接滑向相邻弦槌

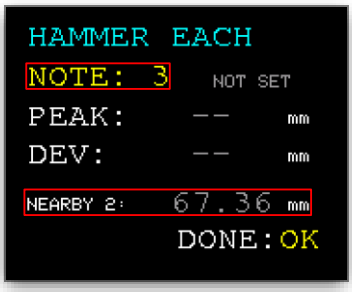
沿导轨横向滑移传感器至下一枚弦槌，过程中切勿转动传感器臂。采集界面保持开启，NOTE 会自动步进切换。确认激光穿过制音器间隙准确照中击弦位的弦槌顶点，核对音序号后触弦、松开并复测，如此顺次推进直至分区末尾。新建完整采集时，请勿跳过尚未记录位置的未知弦槌。



图示序列演示了 2 号音的复测及向 3 号音的切换。界面上的 NEARBY 提示紧邻的已采集音位，并非当前弦槌的重复性错误。重新滑回某个已采集音位时，SET 初始显示为白色；重新完成一次有效采样后，才会再次转为橙色或绿色确认状态。

8. 结束采集

按 DONE:OK 返回分区总览界面，检查已采集基准总数（REFS）——在本例完整低音区中应显示 20 个音。如有漏测或存疑音位可立即补测；确认无误后保持停留在本分区，继续执行随后的触弦校验与实际断联测量。



HAMMER EACH 触弦基准采集与该分区的琴体内（INSTR）实际断联测量必须在完全相同的传感器姿态下紧接着连续完成：触弦校验无误后，取出此前垫入的毛毡条（若系用提钩采集少数点位则无此步骤），立即测量本分区的实际断联距离；全部完成后方可调整传感器臂进入下一分区。切记：REFPOS 仅能恢复沿导轨方向的横向坐标，无法复原传感器高度或空间转角。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.5 检查弦槌触弦并切换至断联测量

9. 在同一分区内核验触弦位置

HAMMER EACH 仅记录弦槌轻触琴弦时的空间基准高度；后续工作台 MATCH INSTR 匹配还必须配合实际的断联距离（即正常脱进瞬间弦槌与琴弦的间距）。单靠触弦采集不能替代实际断联测量。

按 REGULATE:OK 进入同一分区的整理测量界面，随机抽选几枚弦槌用弦槌提钩拉至轻触琴弦（若此前大批量采集时已垫入毛毡条，校验期间暂可保留；若原本未垫，切勿专为此项少量抽检再垫毛毡条）。借助定位指示滑至某个已存测点，将弦槌托举触弦，此时屏幕 DIST 读数应接近 0.00 mm。因顶弦力度存在细微差别，抽检时出现约 ±0.05 至 ±0.08 mm 的微小波动属于正常现象，不必强求每次都严格归零；若偏差明显超出该范围，应先核查激光测点与顶弦力度并重试，必要时重新采集该音。建议在多个已采音位上均命中原测点位置加以抽检。

校验期间切勿碰动传感器臂、高度、倾角及导轨。若触弦读数明显不符，先核对硬件架设与测点；关于整体高度偏移的处理请参见第 5.7.21 节“更改传感器姿态后校验琴弦基准”。

10. 彻底撤除断联阻断毛毡条

若此前使用了毛毡条，此时务必将其从顶杆与滚轮之间完全取出，使击弦机恢复正常脱进断联功能。刚才保存的琴弦高度基准现在将直接作为测量实际断联距离的参照面。

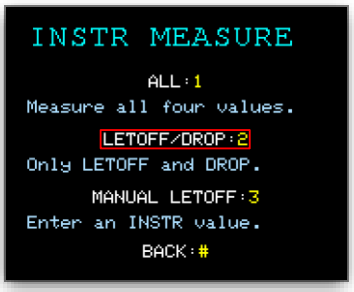
取出毛毡条时务必小心，切勿碰转传感器臂、改变传感器高度或碰移导轨；此时也不要切换至其他分区，应立即在当前未变动的架设下完成本分区的实际断联测量。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.6 记录琴体内的实际断联距离

11. 测量 MATCH 测试音的实际断联值

在断联功能恢复正常后，于同一分区内测定实际断联值。理想做法是测全所有后续需要参考的音位，也可仅测白键或均匀分布的若干测试音。执行 MATCH 匹配至少要求两个相距较远的音位同时具备琴弦基准与琴体内（INSTR）实际断联值，并在分区中部增测第三个音位作复核验证（本例低音区可选 1、10 和 20 号音）。

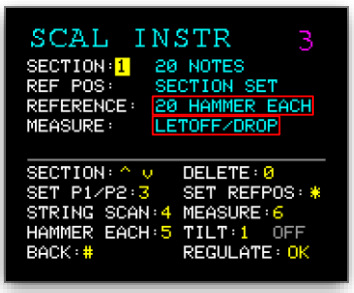


借助定位指示依次滑至每个测试音已保存的 HAMMER EACH 测点，缓慢按压琴键至脱进断联后彻底松手，重复测试数次以检验 LETOFF 读数的重复一致性。在关闭 TILT 时使用 LETOFF/DROP 测量范围。弦槌完全回落后屏幕当前显示的 LETOFF 数值虽会消失，但不会清除系统已后台记录的该音断联值。

每个 MATCH 测试音的最后一次有效记录必须是正常自由断联的真实断联值，绝不可将先前约 0.00 mm 的触弦校验读数残留当作断联值。

执行 MATCH 前切勿提前按目标值调整断联

此时只需测得一个稳定的当前实际断联距离即可——哪怕最终整理目标为 1.5 mm，当前实测为 1.8 mm 也完全可行。PMP 需要借助该真实间距，由工作台上的断联空间位反推出琴弦的实际高度；最终整理目标值会在后续独立设定。



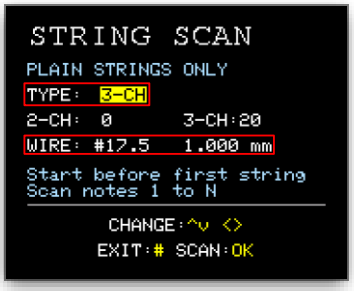
在工作台 MATCH 匹配完成之前，务必保持所有测试音的机械断联状态纹丝不动。若期间曾改动过调整，必须回到琴体内重新测定对应测试音的实际断联值。

12. 结束当前分区存盘，再调整传感器臂

测完本分区最后一枚测试音后，务必按 SCAL:2 返回分区菜单，触发最后一条记录写入存储（如有存储报错须当场解决）。确认保存无误后，再调整传感器臂架设下一个分区，并严格按相同顺序循环作业：采集触弦基准 → 触弦抽检 → 取出毛毡条（如有）→ 测量实际断联值 → 返回菜单存盘。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

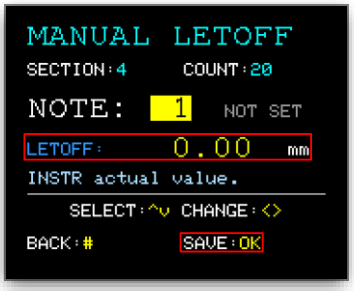
5.7.7 压弦条特殊情况：扫弦与 0.00 mm 断联法



当激光无法照及触弦状态的弦槌时

在压弦条区域，首先检验采用 REAR 后置方向并适当向上仰倾传感器能否照中弦槌顶点（此上位测量须关闭 TILT）。若依然无法获得畅通光路，请改用 STRING SCAN 在紧邻压弦条前方、贴近击弦线处直接扫描琴弦以采集琴弦基准——该处弦高起伏与击弦线处高度近似。输入分区音数与琴弦号（按待采分区中部琴弦的弦号录入即可，该中间号数已具备足够精度）。

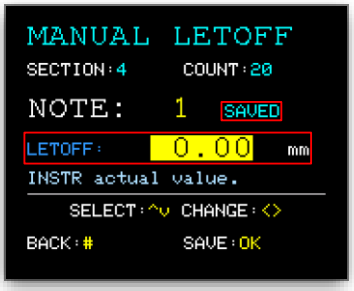
目测将合适测试音的断联临时调至零位



挑选至少两枚相距较远的测试音，目测微调其断联调节钮，使弦槌恰好在紧贴琴弦下沿处（即即将轻触琴弦的临界位）发生断联，相当于 LETOFF = 0.00 mm。相比凭肉眼估算 1.5 mm 间隙，以零间隙触弦临界点作为目测基准要精准可靠得多。

在同一分区内依次打开 MEASURE:6 与 MANUAL LETOFF:3。使用上下方向键在 NOTE 与 LETOFF 之间切换，使用左右方向键修改音序号或数值。为已调至零断联的测试音录入 0.00 mm 并按 SAVE:OK 保存，屏幕提示 SAVED 即确认写入；其余测试音依此重复录入。

在工作台上使用这些测试音进行匹配



在工作台 MATCH 匹配完成之前，切勿变动这几枚测试音调好的零断联状态。PMP 会结合手动录入的 0.00 mm 实测值与先前扫弦获得的琴弦基准重建弦高轮廓；待匹配完成后，即可按常规目标值（例如 1.5 mm）正常整理包括这几枚测试音在内的全部琴键。

需注意：单独录入 0.00 mm 并不能替代扫弦采集；同时严禁在此处填入期望的最终整理目标值——MANUAL LETOFF 只能反映当前在琴体内实际存在的断联状态。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.8 架设并调节工作台支架

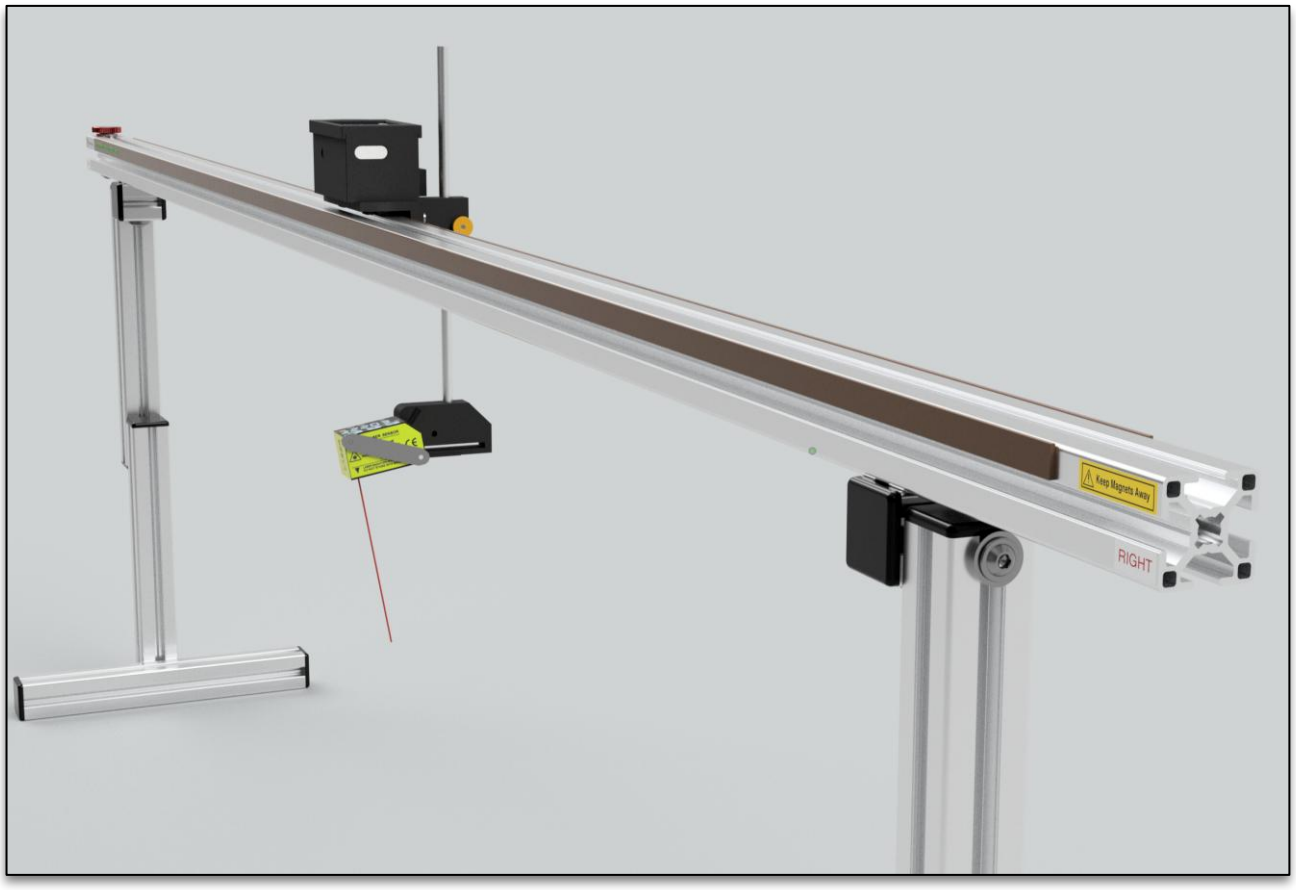
在工作台上整理击弦机时，需要在弦槌上方架设一根导轨。为此可用一对工作台支架托起第二根 PMP 导轨，而第一根导轨最好仍留在三角钢琴琴壳的既定支承位上。

可把 PMP 在两根导轨上来回换装：在琴内复查，在工作台上整调。换装时无须每次重新找正两根导轨。传感器臂高度和传感器角度沿用琴内设定。通过调整工作台导轨的高度与倾斜来适配拆出的击弦机。每次复查前，应恢复该测量所用的架设状态及位置基准。



工作台支架总成全貌：包含两套高度可调的工作台支架、导轨以及安装其上的 PMP 测量主机。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

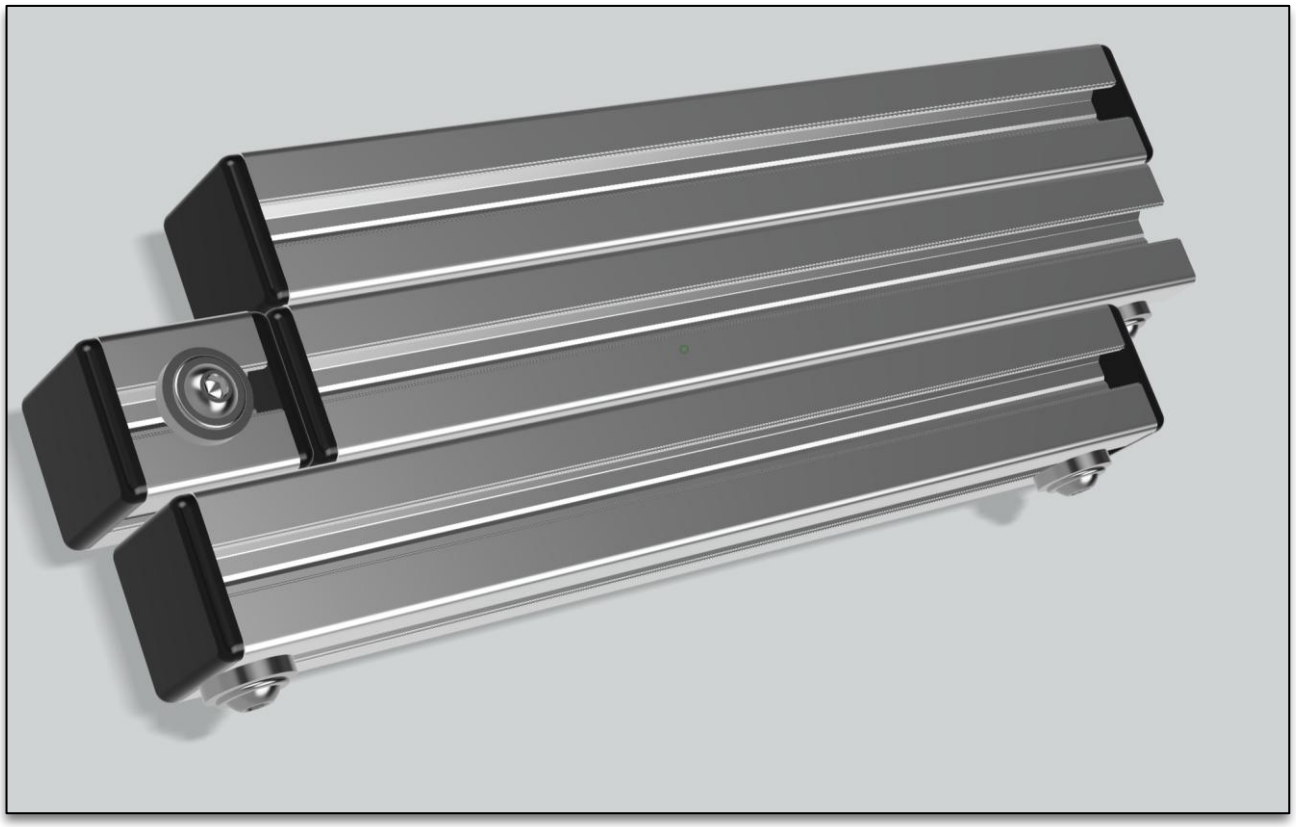


装有 PMP 主机的导轨及其与工作台支架的固定连接细节。

交货状态与紧凑收纳运输

工作台支架为可选购配件，出厂时已预装并折叠收纳。架设时仅需略微松开对应螺钉，将各段型材拉出并摆正至所需位置，再重新拧紧即可，螺钉与滑块螺母全程无需拆出。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



处于出厂交货及紧凑折叠运输状态的预装工作台支架。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

工作台支架的结构与调节部位

两套工作台支架共同将导轨架空支承于抽出的击弦机上方。通过滑动两段重叠的立柱型材调节导轨作业高度，使 PMP 主机上的传感器臂高度得以维持与琴体内一致；通过旋转顶部的导轨转接座调节倾角，使激光在弦槌静止位与击弦位均居中命中顶点，从而同样无需改动 PMP 传感器本体在琴体内设好的倾角。

单套支架的组成部件

每套预装支架均由底座型材、下立柱型材、上立柱型材以及短导轨转接件构成；四组带垫片和滑块螺母的螺栓副分别用于调正底座、调节高度以及锁紧导轨。另一侧支架按左右镜像对称架设。



装配展开后的工作台支架：底部为横向底座，中部为可伸缩滑移的立柱型材，顶部为可调倾角的导轨转接座及导轨紧固件。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

调正预装底座与调节高度

1. 调正底座型材

略微松开底座型材与下立柱型材之间的连接螺栓，将横向底座从折叠收纳位转至展开支承位，居中且垂直于立柱摆正后重新锁紧。底座型材底面须完整平贴于工作台面，期间螺栓与滑块螺母保持装在槽内不拆出。

2. 拉开立柱型材并设定作业高度

扶住上立柱型材，略微松开中部锁紧螺栓，沿型材槽将上下两段立柱拉伸至合适高度，以在保留琴体内传感器臂原高度的前提下适配击弦机。确认上下立柱留有足够重叠长度后重新拧紧螺栓，左右两套支架同步调齐。



各锁紧螺栓位置示意图：下方为横向底座紧固螺栓，中部为高度调节锁紧螺栓，上方为可调倾角导轨转接座锁紧螺栓。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

固定导轨与校准测量方向

3. 调正预装导轨转接座并紧固导轨

短导轨转接件出厂已预装于上立柱顶端，略微松开其侧面螺栓以便对准，将导轨平放至两侧转接座上，并利用预装的滑块螺母从导轨底槽将其锁紧。两套支架应布置在测量滑行行程之外，确保两侧底座均平整稳固着地。



弧形双向箭头示意导轨转接座可绕导轨纵向轴线向前后两侧自由调节倾角。

4. 配合弦槌轨迹匹配导轨高度与倾角

通过伸缩立柱调整导轨高度，确保传感器臂保持琴体内原高度不变即可可靠测及所有弦槌。调节倾角时，扶稳导轨，略微松开两侧顶部转接座的侧面锁紧螺栓并同步匀速旋转两侧转接座，使激光在弦槌静止位与击弦上位均居中落在顶点上，期间保持 PMP 本体传感器倾角与琴体内一致；调妥后拧紧全部侧面夹紧螺栓及导轨固定螺栓。

注意：此处是绕导轨纵向轴线整体倾转，切不可用调高一侧支架、调低另一侧支架来替代。请以 REAR 后置方向装上 SENSOR 2，传感器臂保持正向平直，并在软件中将 TILT 设为与实际测量倾角相符的角度。在首尾两枚弦槌上全面检查，确保激光光斑在整个所需行程内均稳居弦槌顶点，且反射回光毫无遮挡。

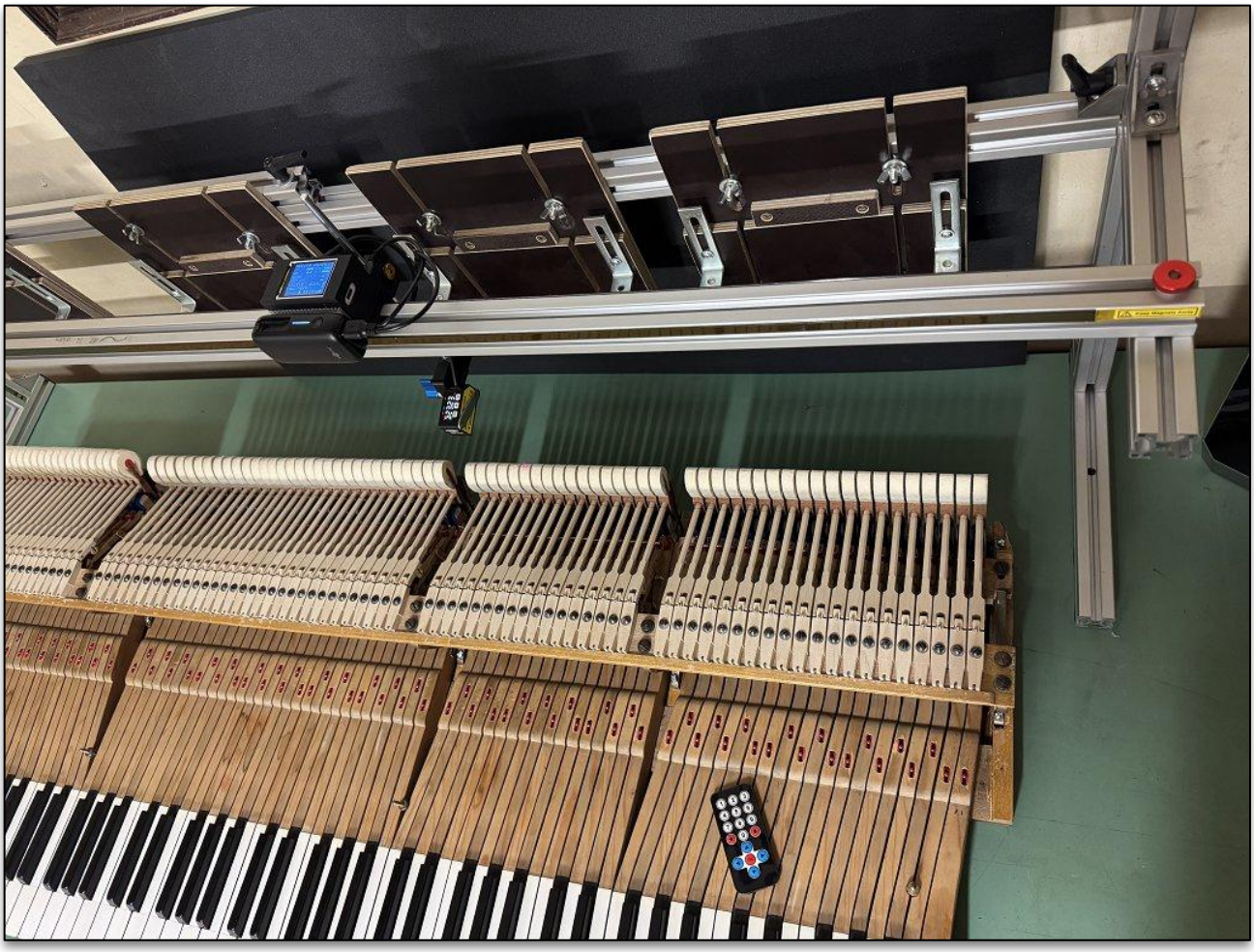
5. 全面复核架设后再设定位置基准

开始测量前，逐一检查所有紧固螺栓与整体稳固性，并固定好击弦机与支架防止作业中意外移位。唯有在全部架设彻底稳固之后，方可设定公共 BENCH 位置基准并开始采集匹配。日后若变动过高度、倾角或位置，必须重新核查或恢复对应基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.9 替代方案：将导轨安装于整理架上

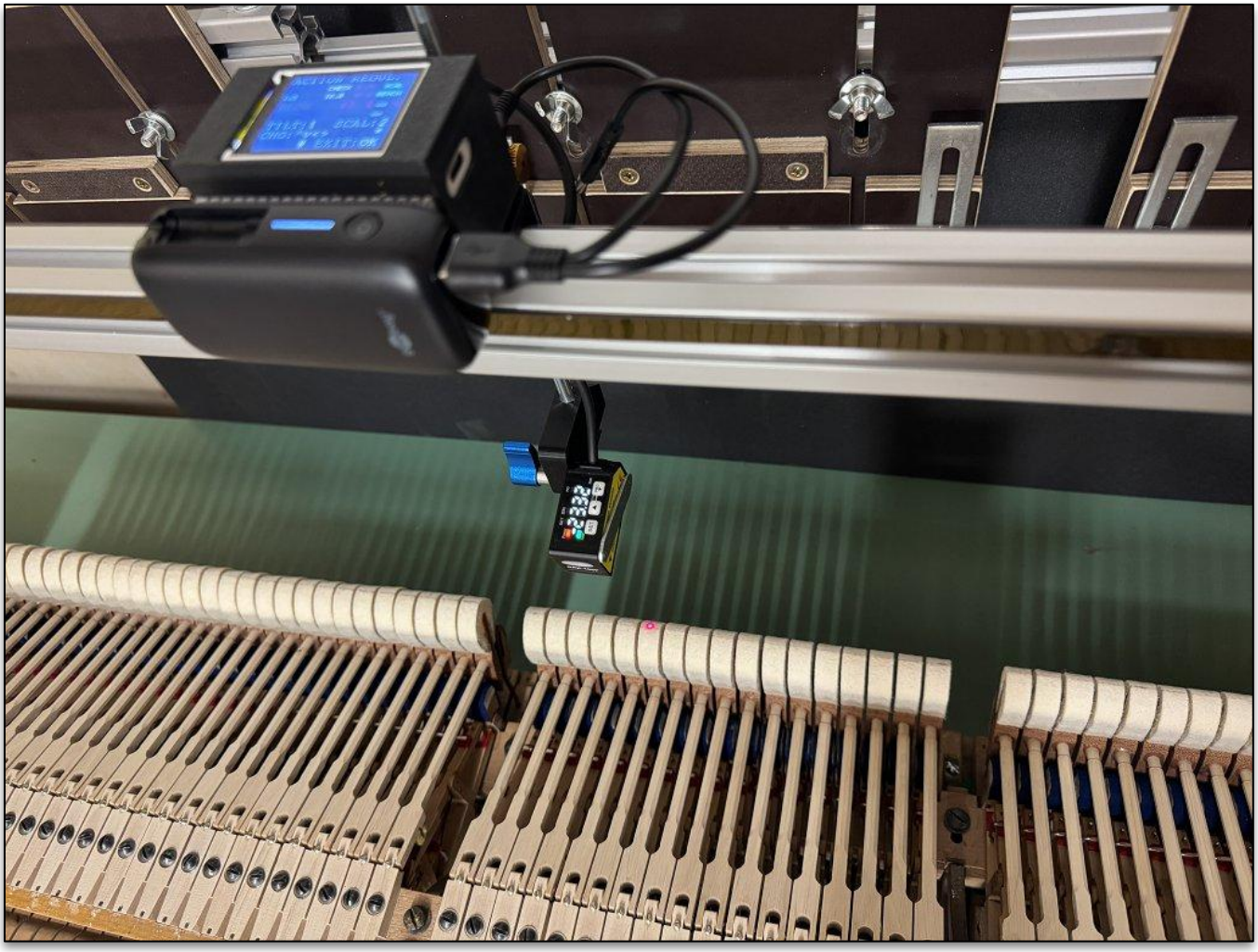
在工作台整理前，请先在琴体内测妥所需测试音，随后抽出击弦机并将导轨架设在弦槌上方。带有两根悬臂导轨的工业铝型材整理架非常适合作支承平台，可直接架放第二根 PMP 导轨，并利用自带螺钉与滑块螺母在其中一侧将导轨锁紧防滑。注：本页照片展示的是整理架配合 FRONT 前置方向的示意，但若遵循本节所述的统一作业流程，请仍以 REAR 后置方向架设主机。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

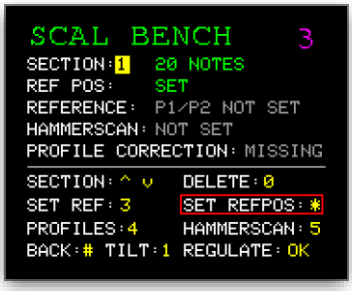
技巧提示：第一根导轨可一直留在三角钢琴支脚上不动，在工作台上使用配备滚花螺钉与滑块螺母的第二根导轨。调节整理架悬臂导轨的高度，使其尽可能与琴体内一致，从而无需改动传感器臂高度。将导轨大致平行于工作台面架好，并在调妥传感器倾角后复核有效量程。

在工作台上同样以 REAR 后置方向使用 SENSOR 2，传感器臂保持正向平直；为执行 MATCH INSTR 并测全全部四项参数，请将传感器在长圆孔内拉至前端、配合弦槌轨迹向下倾斜并开启 TILT（若原先姿态已匹配则直接沿用）。若此前在琴体内采用的是 TILT = 0 或压弦条反向仰倾姿态，转至 BENCH 工作台时必须重新调设传感器倾角。工作台整理完毕回琴体复检时，须严格还原各分区的原架设构型（含传感器臂转角、琴壳导轨划线与位置基准）；仅当两处架设完全一致时，才可直接平移主机使用。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.10 在工作台上设定公共位置基准



13. 架设击弦机与测量导轨桥

在工作台上安放好击弦机，按第 5.7.8 节“架设并调节工作台支架”架设导轨，或将其紧固在整理架的悬臂导轨上。采用 REAR 后置方向装上 SENSOR 2，传感器臂调至正向平直，配合弦槌轨迹设好传感器倾角与 TILT 补偿，并在开始基准匹配前核查整个所需弦槌行程均畅通在量程内。

确保激光光斑在弦槌下位与上位均尽可能居中落在顶点上，并参照前文“弦槌走位检查”实操建议，挑选一枚轨迹绝对平直的弦槌校验导轨横向方位。执行 MATCH INST R 时务必保持 TILT 开启；此后在整个匹配与整理期间，切勿改动导轨、传感器臂姿态及倾角。

14. 为整套工作台作业设定固定公共位置基准

加载琴体内所用的同一个槽位，依次进入 SCAL BENCH:3 与 ADVANCED:OK。在匹配各个分区之前，先按 SET REFPOS:* 设定公共 BENCH 位置基准（例如选用第一枚弦槌并清晰标记其精确落点与导轨支承位）。若当前尚无 BENCH 记录，系统会直接锁定该基准并显示 REF POS: SET 确认。日后如遇长时间暂停或关机重启，只需重新将激光对准同一标记点并按 RESTORE:* 即可恢复原有位置基准。

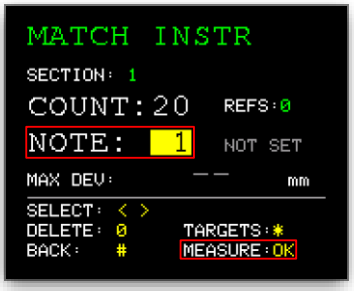
该固定 BENCH 基准点是工作台上所有分区共享的横向坐标原点。每次关机重启或取下主机（例如更换电池）后，均只需重返该标记点并按 RESTORE:* 确认，所有关联的分区与弦槌位置坐标即可瞬间恢复对应——切勿为每个分区重复新建原点！前提是击弦机、导轨及传感器架设均已准确复原。

区分公共位置基准与分区测点的两重职能

公共 BENCH 位置基准负责锁定整个工作台坐标系；而每个分区的首次 MATCH 采样，则是将该分区在琴体内采集的各音测点序列精准“对接”到工作台坐标系中——因此，首次采样该分区的起测音时，激光必须精准命中该弦槌上先前标记的横向测点。

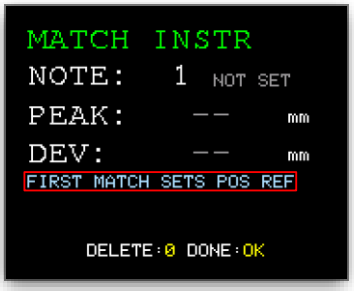
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.11 MATCH INSTR：在工作台上匹配第一个分区



15. 选择正确的起始匹配弦槌

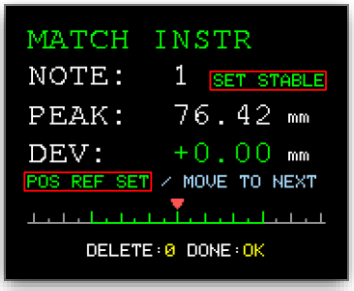
确保已打开与琴体内一致的槽位。以 SECTION 1 为例，依次选择 SET REF:3 与 MATCH INSTR:2，选中一枚事先在琴体内完整测过的合适测试音（本例为已作标记的 1 号音，不必与当初 HAMMER EACH 起测音相同）。每枚用于匹配的测试音都必须具备同一未变动传感器姿态下测得的琴弦基准与琴体内（INSTR）实际断联值（参见第 5.7.6 节），仅在阻断断联状态下做过触弦采集是不够的。将激光精准对准该弦槌在琴体内测量时所用的同一位置。



请格外留意横向落点位置：弦槌顶点偏左、正中与偏右部位的毛毡高度可能存在细微差异，不可随意混用。PMP 无法通过视觉自动识别首次对应关系，首次坐标对接完全依赖技师手动将激光精准对准该弦槌的标记测点。

16. 慢按至断联并彻底松手

按 MEASURE:OK 进入采集。若是全新匹配，屏幕提示 FIRST MATCH SETS POS REF。缓慢按下琴键直至脱进断联，随后彻底松开琴键让弦槌完全回落至静止位。完成首次有效采样后，屏幕提示 POS REF SET，表明该分区的横向坐标对接已成功建立。



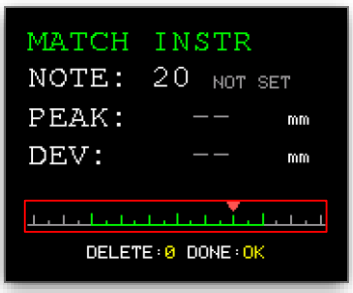
在原位置重复慢按数次并观察 DEV（单次有效采样即可采纳，连续三次稳定则显示 SET STABLE 质量提示，非强制存盘条件）。系统以实际采纳那次测量时的传感器坐标作为基准原点，而非先前按 OK 键时的停留位置，因此复测期间请保持传感器稳稳停在标记点上。

如果该分区此前已建立过有效的 BENCH 坐标对应关系，PMP 将直接沿用而不再提示首次位置对接；日后再次进入 MEASURE 补测时，也不会每次都重置坐标原点。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.12 MATCH INSTR：更多测试音与定位指示

17. 移至其余已保存测点



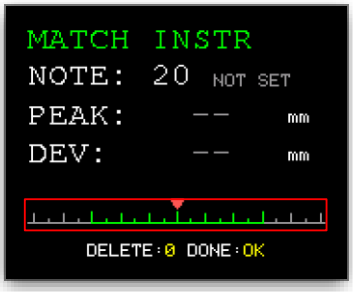
本例中先滑向 20 号音，再回到 10 号音作复核校验。完成首次坐标对接后，PMP 会根据传感器的横向位移自动追踪并识别其余已知测点并在屏幕上显示对应音序号；但每次采样前仍须人工核对屏幕音序号与激光实际照射的弦槌是否一致。

红色箭头指示横向偏移

刻度条正中即为目标测点，红色箭头反映传感器当前相对于目标的横向偏移方向与大小（每格小刻度代表 0.5 mm）。上方图示中箭头偏在中心右侧，须向左微移传感器回归中心；下方图示中箭头尖端已精准对准中心刻度线。

定位区变绿表示已进入允许偏差窗口，但为求最佳一致性仍建议精准对准正中位置（抵达目标中心时会发出一声短促定位提示音）。请注意，绿色仅代表横向坐标到位，并不意味着当前激光读数有效或已获得稳定的断联采样。

确保严格命中同一测点



MATCH 始终以琴体内实际采集时的测点坐标为准。只要首枚测试音对准无误，定位箭头便会自动引导您精准找到其余各枚弦槌在琴体内所测的对应位置。即便已做过弦槌扫描（Hammerscan），其记录的弦槌中心坐标也仅用于随后的常规整理阶段，MATCH 阶段仍以原琴体内测点为准。对于已完成全分区采集的 HAMMER EACH，无需额外再做弦槌扫描。

在每枚测试音上均缓慢按压琴键至断联后彻底松手，反复验证直至采样稳定一致，随后按 DONE:OK 返回匹配总览界面。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.13 检查 MATCH 结果并设定所需目标值



18. 评估匹配精度

PMP 通过整体平移高度与调整线性倾角，将在琴体内测得的真实弦高轮廓刚性拟合到工作台坐标系中：原始弦高轮廓中的所有局部逐音起伏均被完整保留，系统绝不会为了强行凑合某个测试音而扭曲真实弦高曲线。

在总览界面中，REFS 统计已采纳的测试音数量，MAX DEV 显示当前匹配拟合后残余的最大偏差。若 MAX DEV 偏大，应立即排查音序号是否错位、弦槌顶点测点是否一致、断联机械重复性是否良好，以及测试音是否被意外调动过。可用 SELECT 选中异常测试音重新补测。需注意：仅用两枚测试音时，刚性直线拟合总能使两点完美吻合而掩盖误差；在中部加测第三枚测试音方可提供真正的交叉校验。



采样界面的 DEV 与总览界面的 MAX DEV 含义截然不同：DEV 反映同一音位连续多次采样的重复性；MAX DEV 则反映所有测试音作为一个整体与已校准弦高轮廓的贴合程度。即便某音自身复测极其稳定，但若测点落错位置，仍会在整体匹配中通过偏大的 MAX DEV 暴露出来。

19. 此时方才设定整理目标值

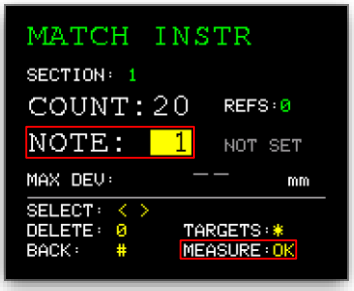


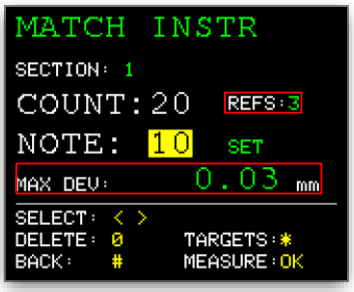
按 TARGETS:* 打开目标值界面：例如若该琴低音区工艺规范要求由 2.0 mm 过渡至 1.5 mm，可将 FIRST 设为 2.0 mm、LAST 设为 1.5 mm，PMP 会自动在两者之间生成平滑线性过渡。注意：FIRST 与 LAST 始终对应整个分区的首尾两端，即便实际选取的测试音位于分区偏内侧也是如此。DROP+ 将自动叠加到各音对应的断联目标值上，此过程无需再额外执行 P1/P2 采集。

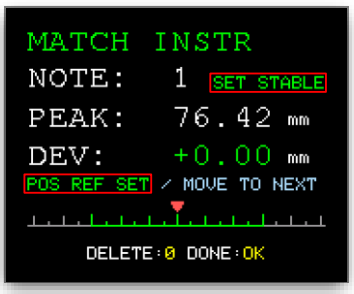
在目标值对话框中按 DONE:OK 即同时保存目标值与本次匹配结果。若带着未保存的新采样离开 MATCH 总览界面，屏幕会弹出 SAVE:OK / DISCARD:* / BACK:#：按 SAVE:OK 同样会先跳转至目标值设定页，直至在该页按 DONE:OK 方才真正落盘保存；按 DISCARD:* 放弃修改；按 BACK:# 返回核查。按 DELETE:0 仅删除当前选中音位的单条 MATCH 采样。若日后需补采 MATCH 样本，请务必确保对应测试音在琴体内保存的实际断联值仍与其当前未变动的机械状态相符。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.14 MATCH INSTR：在匹配过程中检查界面指示







中侧三幅屏幕截图对应前述 MATCH 匹配流程。NOT SET 表示当前选中的音位尚无工作台采样记录，按 MEASURE:OK 进入采样。参与匹配的音位必须已事先在琴体内采集过琴弦基准与实际断联值；若屏幕提示 MEASURE INSTR LETOFF FIRST，请先回到琴体内补测该音的实际断联值（压弦条流程中正确录入的 MANUAL LETOFF 数值同样有效可用）。

中间图示选中了 NOTE 10 且状态为 SET，REFS:3 表示已采集 3 枚测试音，MAX DEV 显示残余最大拟合偏差为 0.03 mm。该数值仅表征这几枚样本当前的匹配贴合度，不代表设备通用测量精度。

区分单音复测与坐标对接提示

下方采样屏中的 SET STABLE 表明同一音位多次采样稳定一致，DEV:+0.00 mm 对应单音复测差值。但稳定的单音复测既不能替代精准对准正确测点，也不能省去对相距较远的其他测试音的交叉校验。

当本分区尚未建立 MATCH 横向坐标对接时，屏幕会提示 FIRST MATCH SETS POS REF，并在首个有效采样完成后以该次实际采样坐标锁定对接关系。

POS REF SET 确认坐标对接已生效。此后务必保持击弦机与传感器架设丝毫不动，直至完成本分区其余全部 MATCH 测试音采样。

即便已执行过弦槌扫描（Hammerscan），在 MATCH 阶段仍须严格对准琴体内原采集时的测点位置；扫描记录的弦槌中心位置仅在后续正式整理时用于引导定位。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

MATCH INSTR：核查目标值与已保存基准



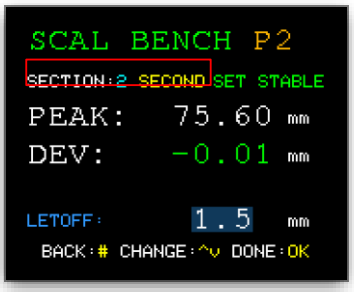
上方总览界面支持逐一核查并有针对性地补测单个测试音。按 DELETE:0 仅清除所选音位的工作台采样，其琴体内（INSTR）基准完好保留。若 MAX DEV 异常偏大，请优先检查激光落点、慢按手法及该测试音的机械断联是否曾被触动。

中间图示展示了 FIRST 与 LAST 的 TARGETS 界面。此处设定的是整个分区首尾两端的期望目标断联值，务必将其与先前用于基准传递的琴体内（INSTR）实测断联值区分开来。当两端目标值不同时，系统自动生成线性平滑过渡，DROP+ 会同步叠加到各音的断联目标值上。



在目标值对话框中按 DONE:OK 即保存目标值与匹配结果。带着未保存改动退出总览页时，SAVE:OK 会跳转至目标值设定页，DISCARD:* 放弃所有未保存改动，BACK:# 返回核查界面。

下方屏幕图作为对比展示了替代方案 P1/P2 流程的第二端音采样界面：在该界面下，LETOFF 栏填写的是该端音在琴体内实测的真实断联距离，仅作基准传递之用，并非 TARGETS 目标值。该替代流程详见第 5.8.3 节“SCAL BENCH：P1/P2 与轮廓修正”。

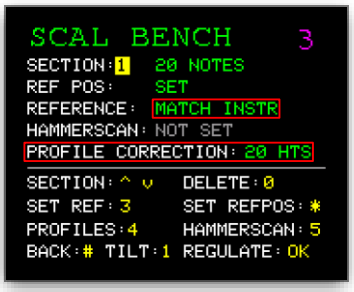


版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.15 匹配其余分区并轻松完成整理

20. 将每个分区统一关联至工作台公共架设

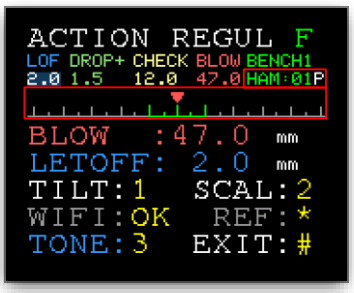
选择下一个分区，并从该分区已作标记的起始弦槌开始执行 MATCH INSTR；随后采集、核验并保存本分区其余测试音。整个过程中保持公共 BENCH 位置基准以及导轨与传感器的机械姿态不变。如此一来，即便在琴体内采用了不同传感器臂转角的各个分区，也能在工作台上无缝整合至同一坐标系中。



21. 依据逐音真实琴弦基准开展整理

按 PROFILES:4 开启轮廓修正（PROFILE CORRECTION），再按 REGULATE:OK 进入整理界面。轮廓修正会将每个音位相对于平直基准的实际弦高起伏逐一计入；若关闭该项，则仅对照平直基础基准进行整理。测量界面上显示字母 P 即表明轮廓修正已生效。

将传感器滑至待整理音位，核对分区号与音序号，并将定位箭头移至中心刻度线。若未做过弦槌扫描（Hammerscan），定位窗口较窄，它会精准引导您回到该弦槌原保存的单个测点，而非覆盖整个弦槌宽度。在已建立公共 BENCH 位置基准的前提下，PMP 会在所有匹配的分区之间自动切换。对准测点后，配合 TILT 即可同步完成断联、回落、接住与击弦距离的测量、调节与复核。



目标值设定与颜色含义详见第 5.3 节“主界面对话框”。网页界面可同屏显示全部四项整理参数及已保存的对比数据。每次调节击弦机部件后，请重新完整测量该弦槌——仅拧动调节螺钉本身并不会自动刷新测量读数。

传递完毕的基准在整理期间保持锁定

完成 MATCH 匹配后，即可将包括测试音在内的全部琴键断联调至最终目标值。切记：此后绝不可用已经调整过的测试音去对照旧的琴体内（INSTR）实测值重新做 MATCH 匹配。若日后需要再次使用这些音位作测试音，必须先回到琴体内重新采集其最新的实际断联值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.16 安装制音器后继续复用 STRING 弦高曲线

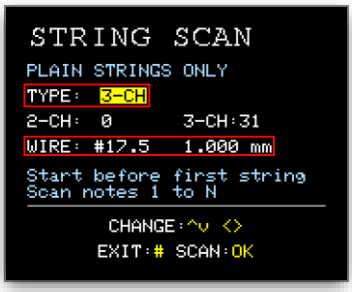
在安装制音器之前执行一次完整的 STRING SCAN，即可记录整个分区的真实弦高曲线。即便日后装上制音器、改变了传感器臂转角，该曲线依然可以继续复用：只需补充采集少量弦槌触弦点进行校准，各音之间原有的真实弦高起伏差异便会完整保留。



1. 安装制音器前扫描完整分区

琴弦校平完成后，在 ACTION 中选定目标槽位，进入 SCAL INSTR > ADVANCED 并选定对应分区，依次打开 STRING SCAN:4 与 NEW SCAN:1（上方图示已标出 NEW SCAN:1）。设置同音弦组弦数、分区总音数及琴弦号（下方图示为 Section 2：31 个三弦组音位，WIRE #17.5）。

将传感器置于第一根琴弦前方不远处，按 SCAN:OK 并匀速扫过整个区段。待出现 SCAN READY 时核对识别到的音位总数，并将该完整扫描数据保存在 ACTION 槽位中。



整琴全程保持统一的传感器高度

按基础架设要求，在第一根低音缠弦处将传感器高度调至约 +33.00 mm，并核查两端有效量程，随后在整台钢琴的各分区作业中均维持该高度不变。在此高度下，中音区后续测得的 HAMMER EACH 触弦原始读数可能约为 70 至 80 mm——这表示传感器至弦槌的绝对距离，而非断联距离。

若打算在安装制音器之前就直接移至工作台整理，请紧接扫弦之后，在同一传感器姿态下立即测出若干合适测试音的实际断联值。若打算等装完制音器后再行采集，请按以下步骤操作。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2. 安装制音器后重新调用同一条弦高曲线

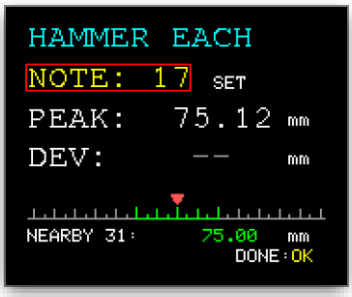
打开先前使用的同一 ACTION 槽位与同一分区，保留既有的 STRING SCAN 记录，切勿新建空白数据集。将传感器臂对准该分区中部琴弦的走向；若横向转角较大，将传感器调至水平并关闭 TILT，并在本分区作业期间维持不变。



3. 补充采集至少两个相距较远的触弦点

打开 HAMMER EACH:5，COUNT 自动保持与 STRING SCAN 一致的完整音数（本例为 31）。将 NOTE 调至所选弦槌的实际分区序号，例如在光路可达的前提下采集 1 号音与 31 号音，并在中部加采 17 号音作复核（上方图示 REFS:3 显示已保存 3 个触弦点）。

此步骤仅需采几个校准触弦点，无需垫入毛毡条。按 MEASURE:OK，用弦槌提钩将弦槌拉至轻触琴弦后松手，并在同一音位复测核验。下方图示中的定位指示会建议测点位于当前音最右侧琴弦与下一音最左侧琴弦之间的间隙处，您可在 ±2 mm 范围内微选实际无遮挡的落点（末音的对应间隙由前方弦组间距推算得出；若某音已有已测测点，则优先沿用旧测点）。



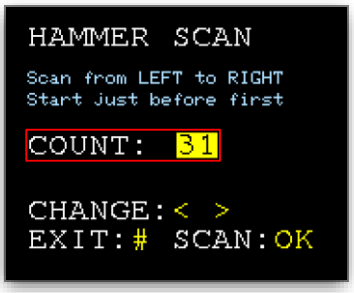
这些触弦点用于校准既有 STRING 弦高曲线：PMP 据此对其整体高度与线性倾角进行刚性适配，以吻合当前新架设，而所有单音弦高起伏则完整保留（仅采单个触弦点不足以确定倾角）。校准完毕后，按 REGULATE:OK 即可立即在琴体内使用该曲线进行整理。

4. 立即测定这些相同测试音的实际断联值

移开弦槌提钩，进入 SCAL INSTR 整理模式，通过慢按琴键测出这几枚测试音的实际断联值。整个过程保持传感器高度、传感器臂转角及各音测点位置纹丝不动，全部测完存盘后再切换至下一分区。请注意：每次新采的触弦点在执行 MATCH 前都必须重新配套实测当前断联值，不可拿旧整理记录替代。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5. 将完整弦高曲线传递至工作台



在工作台上，于 SCAL BENCH > ADVANCED 下打开同一槽位与同一分区，设定或恢复公共 BENCH 位置基准，然后依次选择 SET REF:3 与 MATCH INSTR:2。此步骤必须开启 TILT（如未开启，PMP 会自动弹出 TILT 设置菜单）。

对至少两枚预先测过且相距较远的测试音重新慢按测出断联位置，期间切勿变动其机械断联状态，并务必使激光精准命中各自对应的琴体内（INSTR）测点位置（即使已有弦槌扫描数据亦须如此）。详细步骤请参见第 5.7.11 节“MATCH INSTR：在工作台上匹配第一个分区”。

PMP 会将包含全部逐音局部起伏的完整 STRING 曲线精准传递至工作台，绝非仅仅在几枚测试音之间连成一条直线。核验无误后，按 TARGETS:* 设定最终整理目标值，并按 DONE:OK 保存。

何时建议补充执行弦槌扫描（Hammerscan）



弦槌扫描仅记录工作台上每枚弦槌的横向位置与宽度，不测量琴弦高度。若未做弦槌扫描，系统只知道先前在琴体内逐一登记过的那几个测点坐标；因此，当仅采集了少量触弦校准点、而又希望在工作台整理时能精准引导定位全部弦槌，请补充执行一次完整的弦槌扫描。

打开 HAMMERSCAN:5 并核对分区总音数。确保所有琴键处于完全松开的静止状态，将传感器停在首枚弦槌左侧近旁，按 SCAN:OK 并从左向右匀速扫过静止位上的全部弦槌。出现 SCAN READY 时确认识别总数正确（本例应为 31 枚弦槌；图示展示了起测与完成界面）。

此后在正式整理阶段，PMP 会自动依据扫描所得的弦槌中心位置提供定位引导；但在 MATCH 匹配阶段仍以原琴体内（INSTR）测点为准。采用 P1/P2 搭配轮廓修正时，必须执行完整的弦槌扫描。需注意：若原本未采集全部分区琴弦高度，即便有了弦槌位置图，缺失音位的弦高仍只能通过邻点推算得出。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

导入已有的 STRING LEVEL 扫描数据

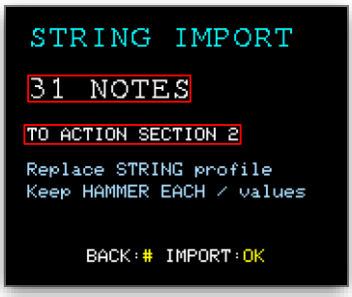
在 STRING LEVEL ADVANCED 中完成的最终扫弦记录同样可直接导入 ACTION 作为琴弦基准曲线，前提是对应区段已完整采集且音数相符。



1. 选择数据源与弦径

在 ACTION 中打开目标分区，依次选择 STRING SCAN:4 与 FROM STRING LEVEL: 2。使用上下方向键（SELECT:^v）选中栏位，左右方向键（CHANGE:<>）设定源槽位（SLOT）与源分区（SECTION）。对于裸钢丝弦，在 PLAIN WIRE 栏输入以毫米为单位的匹配弦径（注意：此处输入的是毫米直径，而非琴弦号；上方示例为 1.000 mm）。

2. 核对音数与目标分区



按 IMPORT:OK 后，屏幕会显示源数据的音数及 ACTION 目标分区供二次确认（下方示例为 Section 2 共 31 个音）。核对无误后再次按 IMPORT:OK 确认导入。原数据保持不变，ACTION 会独立保存一份副本，日后改动 STRING LEVEL 槽位不会影响该副本。

胶带辅助采集（Tape）、平均合成数据以及立式钢琴（Upright）扫描记录不支持此项导入，且源与目标的音位总数必须完全一致。

3. 适配当前传感器架设

导入完成后，须按上文步骤补充采集新的 HAMMER EACH 触弦校准点，方可将弦高曲线校准至当前传感器架设。如需转至工作台（BENCH）整理，紧接着测定这些测试音的实际断联值，再执行 MATCH INSTR 匹配。

重新导入或执行 NEW SCAN 将覆盖既有 STRING 曲线，但此前补充的 HAMMER EACH 触弦点仍会保留。覆盖更新后，在继续使用基准作业前，务必重新核查匹配状态与对应的断联测量值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.17 特殊情况：被横筋遮挡的弦槌

在部分大型三角钢琴型号（如施坦威 C-227 与 D-274）上，中低音区的铸铁板横筋会遮挡几枚弦槌正上方的激光路径，即便拆下制音器或横向移位键盘，也无法用 HAMMER EACH 直接采集这些音位。遇到此情况，可选用以下两种处理方案：

方案 1：将整段区域保留为一个连续分区进行采集

保持该分区完整不断开：对所有无遮挡弦槌正常执行 HAMMER EACH 采集，直接跳过被横筋挡住的音位（采用本方案时，切勿对该完整分区执行 STRING SCAN）。

1. 在 COUNT 栏填入包含被遮挡音位在内的完整音数。

2. 顺次采集横筋前方所有可达弦槌。

3. 按 DONE:OK 返回音位选择界面。

4. 在 NOTE 栏手动选择横筋后方第一枚重新可达的弦槌序号。

5. 按 MEASURE:OK 继续采集剩余所有可达音位。

示例：假设 12、13、14 号音被横筋遮挡

测完 11 号音后按 DONE:OK 退出采集，将 NOTE 调至 15，再按 MEASURE:OK 从 15 号音继续采集。12 至 14 号音留空不存实测琴弦基准，后续各音序号保持顺延不变。

重要提示：切勿企图仅靠平移传感器自动跳号越过遮挡空缺，必须通过 NOTE 明确手动指定横筋后方的准确音序号。

在工作台上采集全部弦槌位置

按常规流程设定公共 BENCH 位置基准并进入该分区，执行一次包含先前被遮挡音位在内的完整弦槌扫描（Hammerscan）并核对识别总数。由此 PMP 即可掌握那些在琴体内无法测及的弦槌的实际横向坐标。

挑选已在琴体内测妥琴弦基准与实际断联值的合适测试音执行 MATCH INSTR 匹配，随后按 PROFILES:4 开启轮廓修正。

此时 PMP 会自动在横筋空缺前后紧邻的两个实测琴弦基准点之间连一条直线，并据此线性插值算出中间空缺音位的虚拟弦高。如此一来，先前被遮挡的音位也能在工作台上借助 PMP 完成整理。

请注意：空缺处的基准属于由邻音推算的插值数据，无法反映被遮挡琴弦自身的局部单独起伏，因此横筋两侧紧邻的可达基准音务必格外仔细精准地采集。

方案 2：在横筋前后分别建立两个独立分区

第一个分区止于横筋前方最后一个可自由测量的音位；第二个分区始于横筋后方第一个重新可测的音位。夹在中间被遮挡的音位不归属任何分区，采用传统手工方式整理。

沿用上例：第一个分区涵盖原 1 至 11 号音，12 至 14 号音空出留作手工整理；第二个分区从原 15 号音起始，且在该新分区内序号重新由 NOTE:1 起算，两个分区的 COUNT 均只填入各自实际包含的音数。

将这两个较短分区按普通分区流程分别配置：视光路情况用 STRING SCAN 或 HAMMER EACH 采集琴弦基准、记录合适测试音的琴体内（INSTR）实际断联值并传递至工作台。横筋处手工整理的音位不会出现在这两个分区的测量数据中。

如何选择合适的方案?

单一连续分区可借助线性插值基准在 PMP 辅助下整理被遮挡音位；拆分两个独立分区则完全避免插值，中间被遮挡音位交由技师纯手工精调。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.18 中断后恢复作业并保存当前进度



在测量仪上继续作业

进入 SCAL MODE，按 LOAD:* 并选择原有槽位；出现“Delete all Measurements?”询问时务必按 NO:OK 保留已有数据。按记录还原导轨与传感器架设，随后选择对应的作业地点（INSTR / BENCH）与分区。

在工作台上，将激光移回最初标记的公共基准点并按 RESTORE:* 恢复位置基准——切勿选择 NEW POINT，因为新建公共基准会清除所有依赖旧原点的 BENCH 记录！恢复后滑至某个已知音位，核对屏幕显示的分区号、音序号及激光落点；确认架设无偏差后，即可沿用既有基准继续整理。



在琴体内恢复作业时，先按该分区的美纹纸胶带划线放回导轨，还原原传感器高度、倾角及传感器臂转角。若存有 HAMMER EACH 触弦点，选定分区后依次打开 SET REFPOS:* 与 HAMMER POS:2，选中一枚已存弦槌，将激光精准对准其原测点并按 DONE:OK 确认（即便同时存有 STRING SCAN 亦按此操作）。切记 REFPOS 仅恢复沿导轨方向的横向坐标，随后必须按第 5.7.21 节“更改传感器姿态后校验琴弦基准”所述，在多个音位抽检触弦读数；其余分区依此逐一复原。

存档记录与数据对比



在网页界面打开 ACTION。读取设备内已存进度前，先在 PMP 上退回 SCAL 菜单，再在浏览器点击 GET ACTION DATA FROM PMP。随后可同图展示 INSTR 与 BENCH 数据，或用 COMPARE 核查两地差异（后文第 5.9 节详述网页界面图例、刻度及导出功能）。

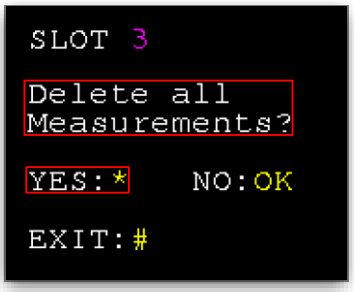
点击网页顶部导航栏的 SAVE 可备份完整乐器文件（.pmp）；点击 REPORT 生成无需连接 PMP 即可浏览的 HTML 报告；点击 CSV 导出 ACTION 测量数据表。上述文件均属外部归档记录；请注意，在设备端恢复位置基准与在浏览器端加载备份文件是两项彼此独立的操作。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.19 保存与重新调用乐器数据集







针对周期较长的整理项目，建议一开始就在 SCAL MODE 菜单中通过 NEW:OK 分配一个空闲槽位。若最初未绑定槽位，后续亦可通过 SAVE:1 将 ADVANCED 数据集存入指定槽位；仅当原槽位内容确已不再需要时，才可覆盖已有槽位。

数据集内的分区编号对应具体作业区段，同一区段的琴体内（INSTR）与工作台（BENCH）采集记录必须归入同一个分区编号。中断后恢复作业时，按 LOAD:* 并选择对应已占用槽位。

遇到“Delete all Measurements?”询问时按 NO:OK 保留全部已有测量数据，随后重新选定作业地点、对应分区并按需恢复位置基准。

如需定向清理某一分区内的特定数据，请在分区菜单中使用 DELETE:0 并仔细核对删除范围。在槽位选择界面按 STORAGE:* 可进入存储管理。拆动架设或关机之前，务必留意屏幕的保存确认或报错提示。

何时适用自动分区切换

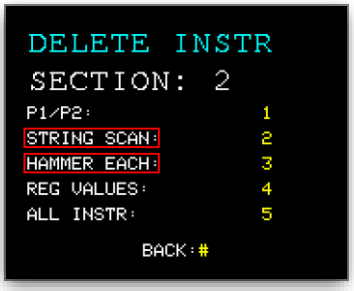
在琴体内，自动分区切换仅适用于在完全相同架设下、共享同一公共位置基准采集的各分区——即便传感器臂转角相同，只要挪动了导轨或改变了传感器倾角，便不能自动切换。因此在前文装有制音器的施坦威示例中，琴体内必须手动切换分区并逐一复原架设。而在工作台上，经 MATCH INSTR 关联至同一公共 BENCH 位置基准后，由于导轨、正向平直传感器臂与 TILT 倾角全程统一不变，系统即可随滑行自动识别并切换分区。

确保测量结果写入槽位

在已绑定槽位的 SCAL 作业中，新测得的整理数据会在离开当前音位区间时自动存盘；因此处理完最后一个音位后，务必按 SCAL:2 退回菜单，以确保末音数据也完整写入存储，之后再关机或在浏览器中调用 ACTION 数据。若出现存储错误提示，必须先解决并确认写入成功——屏幕上能看到实时读数本身并不代表数据已经落盘保存。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

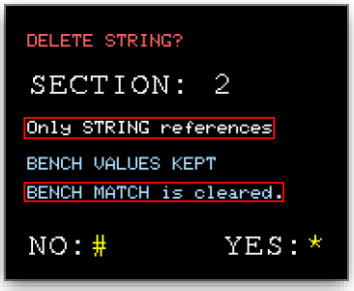
5.7.20 定向删除单个分区内的采集记录



在 SCAL 菜单中先确认当前作业地点与分区号，再按 DELETE:0 进入删除菜单。操作仅清除本分区内所选定类别的数据，其余分区与槽位均不受影响；呈灰色显示的选项表示该类别当前无记录，不可选中。

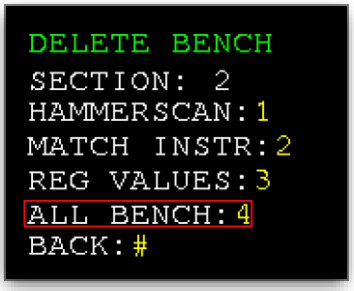
琴体内删除菜单：DELETE INSTR

P1/P2:1 清除两端点直线基准；STRING SCAN:2 仅清除扫弦曲线；HAMMER EACH:3 仅清除弦槌触弦点记录（两者互不影响）；REG VALUES:4 仅清除琴体内记录的整理参数测量值；ALL INSTR:5 同时清除本分区所有 INSTR 基准与整理测量值。



重要提示：MATCH 匹配依赖于对应的 INSTR 基准；一旦删除其所依赖的基准来源，关联的 BENCH MATCH 匹配关系也会随之失效，确认对话框会明确提示“BENCH MATCH is cleared”（但独立保存的 BENCH 整理测量值仍予保留）。删除 HAMMER EACH 后，若本分区仍留有 STRING SCAN，必要时须重新恢复该 STRING SCAN 自身的位置基准。

工作台删除菜单：DELETE BENCH



HAMMERSCAN:1 仅清除弦槌位置图（基准与整理值均保留，执行 MATCH 时仍可沿用原 INSTR 测点）；MATCH INSTR:2 仅清除匹配结果，保留弦槌扫描与整理值；REG VALUES:3 仅清除工作台整理测量值；ALL BENCH:4 一并清除本分区的 P1/P2、MATCH、弦槌扫描及全部工作台整理值，但不影响琴体内（INSTR）记录。

执行删除前屏幕会弹出独立确认窗，列明分区号及清除范围：按 YES:* 确认删除，按 NO:# 取消。若仅需删除单个音位的 MATCH 采样，直接在 MATCH 总览界面按 DELETE:0 即可，无需清除整组匹配。

当存储空间不足时

若出现 STORAGE FULL，按 STORAGE:OK 打开存储管理界面，仅清理不再需要的旧数据集，随后重新进入槽位选择并选定目标槽位。中途取消不会完成保存；遇报错时务必确认成功保存后再关机。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.7.21 更改传感器姿态后校验琴弦基准

分别校验横向位置基准与垂直高度基准

来回旋转传感器臂时，传感器垂直高度可能会产生微小变动，因此仅凭目测或导轨划线复原并不能保证高度基准完全一致。转回传感器臂或变动过传感器高度后，应先通过 REFPOS 恢复该分区的横向位置基准。

随后在分区内分散抽选几枚基准音，用弦槌提钩将弦槌拉至轻触琴弦（仅作少量抽检，无需垫入毛毡条）。借助定位指示精准对准已存测点，触弦瞬间 DIST 读数应接近 0.00 mm；确认触弦读数准确无误后再继续作业。

使用 RESTORE HEIGHT 补偿整体高度偏移

若多枚抽检音的触弦读数呈现一致的整体高度偏移，请在当前分区打开 HAMMER EACH，在已有基准曲线的前提下选择 RESTORE HEIGHT:2。使用弦槌提钩将若干分散分布的已存基准音拉至触弦采样（同样无需垫毛毡条），并务必对准各自原有测点。该校准会自动修正当前触弦记录的整体高度零点，同时独立保留既有的 STRING SCAN 与横向位置基准（注意：高度校准不能替代 REFPOS 横向坐标恢复）。

当各分区采用不同传感器臂转角时，请选择 THIS SECTION:1 仅校正当前分区，随后逐一按各自架设独立检验其余分区。使用 ALL OPEN SECTIONS:2 同步平移全部已开分区仅作临时参考，此后仍须逐分区抽检触弦读数。

校准过程会完整保留原有弦高曲线形状；PMP 将高度偏移修正量独立存储，再次校准时直接覆盖更新。单个音位的孤立偏差无法通过整体高度平移消除，遇此情形请单独核查该音测点与原始采集记录。

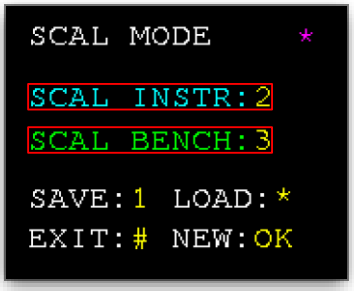
在 MATCH INSTR 前重测失准的实际断联值

若此前在高度基准存在偏移的情况下已记录过琴体内（INSTR）实际断联值，在完成高度校准后，必须在自由断联状态下重新测量这些测试音——仅恢复 REFPOS 并不能自动修正旧断联值。请确保末次记录为真实断联值，并按 SCAL:2 返回菜单存盘。

凡新采触弦点或更改了基准依据，在继续沿用前必须复核既有 BENCH 匹配状态，并使用状态匹配的未变动测试音重新执行 MATCH INSTR。独立保存的旧 BENCH 整理测量值虽仍保留为历史进度，但并不代表新匹配已经校验通过。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.8 SCAL ADVANCED：基准与数据集

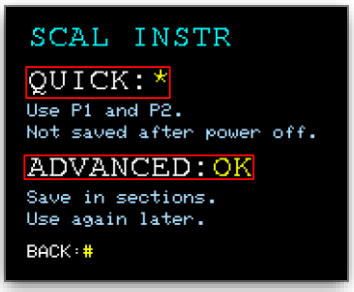


SCAL 专为多音连续整理而设计。在测量主界面按 SCAL:2 或 OK 键即可进入：SCAL INSTR:2 对应琴体内测量，SCAL BENCH:3 对应工作台作业。若当前已激活某项 SCAL 模式，按 2 键将直接进入该模式菜单；按 BACK:# 返回作业地点选择界面。

使用 QUICK 建立临时基准

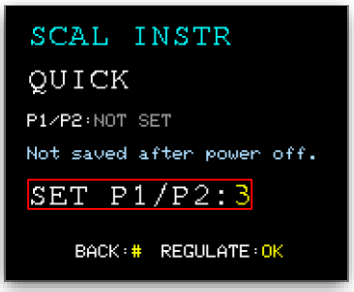
选择“QUICK”:*。

按 QUICK:* 进入，选择 SET P1/P2:3 即可采集临时的首尾双端音基准（完整简易流程见第 5.4.3 与 5.4.4 节）。设备关机后 QUICK 基准即清空，须重新采集；中途进入菜单后按 REGULATE:OK 可继续当前整理。



使用 ADVANCED 管理多分区与跨阶段续测

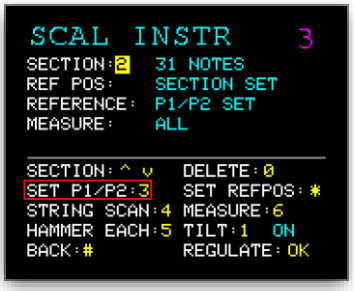
如需分区保存数据、逐音采集琴弦或弦槌高度，或将琴体内结果传递至工作台，请选择 ADVANCED:OK。在 SECTION 项用上下方向键切换分区：单个乐器数据集最多可容纳 9 个分区，同时保存 INSTR 与 BENCH 数据。简而言之，Section 代表钢琴的某个弦列区段，Slot 则是存放整台钢琴完整数据集的存储槽位。

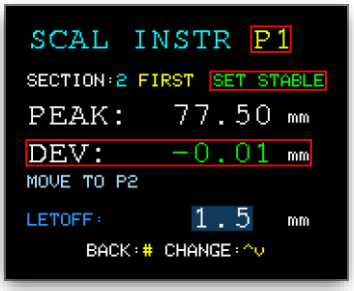


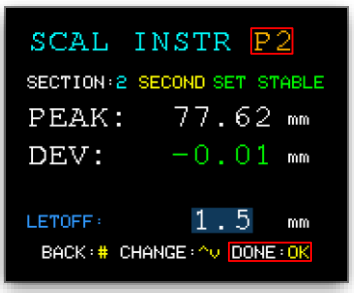
以标准 88 键三角钢琴为例：Section 1 为 20 音低音区，Section 2 为 31 音中音区，Section 3 与 Section 4 分别为 17 音与 20 音的两段高音区。分区划分原则是确保以该区中部琴弦为准折中设定的传感器臂转角能覆盖区内全部音位；若光路不足以覆盖，则应拆分为更短的分区并各自配置固定转角。遇到弦平面曲率较大的区段时，采用较短的作业分区往往更为理想。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.8.1 SCAL INSTR 模式（标定线 / 基准线）







分区最简便的基准是在首尾两个实测端点之间建立一条直线。在 QUICK 或所选 ADVANCED 分区中打开 SET P1/P2:3，先在区段一端采集 P1，再在另一端采集 P2，从左向右或从右向左起测均可。

托举首枚弦槌触弦并松开

将激光光斑对准上位弦槌顶点，在 LETOFF 栏设定该端音期望的目标断联值，然后托举弦槌触弦并松手（打开界面即已处于采集就绪状态）。在同一音位重复采样数次可检验基准稳定性：DIST 显示当前实时传感器距离，PEAK 显示最新一次采样峰值，DEV 显示本次与同一音位前一次采样的差值。

移至另一端完成 P2 采集

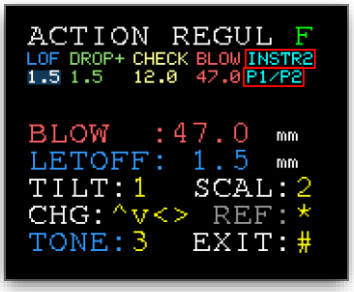
获得有效采样后，将传感器平移超过 10 mm 即自动锁定 P1 并切换至 P2（复测高度稳定时会显示 SET STABLE 与 MOVE TO P2 提示）。在另一端核对目标 LETOFF 值、采集弦槌触弦点并按 DONE:OK 结束。每个端点最少仅需一次有效采样，系统实际取最近至多三次有效采样的平均值作为端点基准。

基准生效后，测量主界面会显示 INSTR、分区号及 P1/P2 标识，基准即为首尾两点间的连线。若两端之间的实际弦平面存在明显弯曲起伏，请改划更短的分区，或在 ADVANCED 中逐音采集真实弦高。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

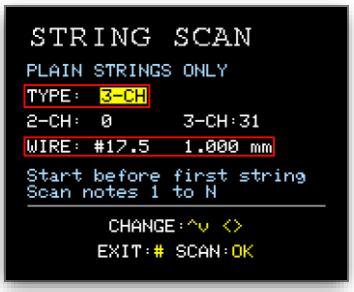
在 P1 与 P2 设定不同的目标断联值

若分区首尾两端要求不同的断联距离，采集基准时分别录入即可，PMP 会自动生成平滑线性过渡（例如首端 1.5 mm、末端 1.1 mm 时，中点处目标值为 1.3 mm）。这在工厂规范要求向最高音区递减断联，或低音区随缠弦总直径渐变断联时非常实用。

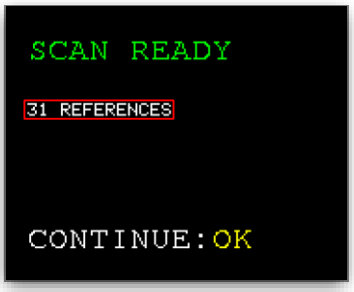


使用 STRING SCAN 采集裸钢丝弦区段

裸钢丝弦上方无遮挡时，SCAL INSTR 可直接逐音扫测琴弦高度。在目标分区中依次选择 STRING SCAN:4 与 NEW SCAN:1，将 TYPE 设为 2-CH、3-CH 或 MIXED 2+3，填入各弦组类型的音数，并在 WIRE 栏选定匹配琴弦号（按分区中部琴弦实测弦径选定中间弦号即可满足精度要求；本例采集 31 个三弦组中音，琴弦号 #17.5）。



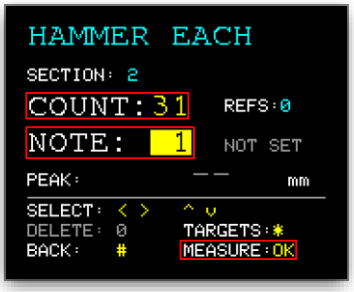
将传感器置于第一根琴弦前方近旁，按 SCAN:OK，沿单一方向缓慢匀速扫过整段区域（中途切勿折返）。STRINGS 实时累计已扫描的单根琴弦数；若是混合区段，须先扫双弦组再扫三弦组。完成后 SCAN READY 显示保存的音位基准总数，按 CONTINUE: OK 返回并核查分区状态。

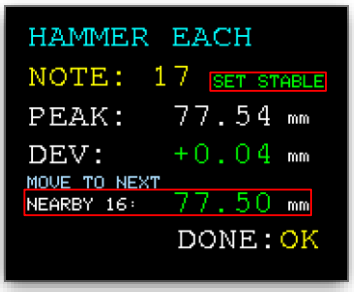


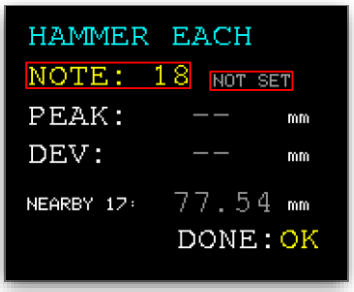
直接使用 STRING SCAN 基准时，三弦组音位的定位测点默认设在中间弦与右侧弦之间，双弦组音位则设在两弦正中。对于低音缠弦或光路受阻区域，请改用 HAMMER EACH。安装制音器后，既有 STRING SCAN 可通过补充 HAMMER EACH 触弦点适配新架设，定位指示与完整步骤详见第 5.7.16 节“安装制音器后继续复用 STRING 弦高曲线”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

使用 HAMMER EACH 逐音采集







如需通过弦槌触弦采集琴弦基准，请选择 HAMMER EACH:5。COUNT 为本分区音位总数，NOTE 为当前分区内音序号（本例 Section 2 共 31 音；若本分区已有 STRING SCAN，COUNT 会锁定为其完整音数）。可从任意一枚弦槌起测，只需 NOTE 与真实序号相符；若无 STRING SCAN，则应完整采全本分区所有音位。请在某枚合适弦槌上标明精确横向测点以备工作台首次 MATCH 采样（该标记音不必与起测音相同）。

开始使用“MEASURE:OK”进行录制。对于单个音或少数几个音，可使用钩子将弦槌抬至琴弦上然后释放。对于连续的音符序列，需在顶杆与滚轮之间插入毡条，然后通过按钢琴键来使弦槌接触琴弦。“SET”可确认样本有效，“SET STABLE”和“MOVE TO NEXT”表示样本可重复使用，“NEARBY”可识别相邻已录制的音符，“DEV”则用于比较同一弦槌最近录制的样本。有关完整操作步骤，请参阅“HAMMER EACH：使用毡条录制多个音符”。

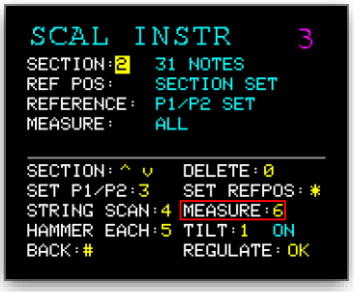
随后平移传感器至下一音位，采集保持开启；平移超过 10 mm 时界面自动切至下一已识别或相邻音位。采集尚未建立坐标的未知音位时，应按顺序推进并随时核对 NOTE（图示演示了由已稳定的 17 号音切换至尚未采集的 18 号音 NOT SET）。

按 DONE:OK 返回总览界面，可定向补测个别音位；按 TARGETS:* 打开目标断联设定；按 DELETE:0 经确认后可删除当前选中音位的弦槌基准。既有的 STRING SCAN 会与 HAMMER EACH 一并保留，至少两个相距较远的触弦点即可将其整体曲线适配至当前架设（增采点位供复核）。在 SCAL 菜单按 REGULATE:OK 即可使用所选分区继续整理。

如需后续执行 MATCH INSTR，请紧接着抽检触弦位置、撤除可能垫入的毛毡条，并实测目标测试音的琴体内（INSTR）实际断联值（少量校准点用提钩操作则无需毛毡条）。全程切勿变动传感器臂、高度、导轨及各弦槌测点。每新增触弦基准均须重新配套测量实际断联值供 MATCH 使用（旧整理值仍作历史进度保留），完成后方可调整传感器臂转入下一分区（参见第 5.7.6 节）。

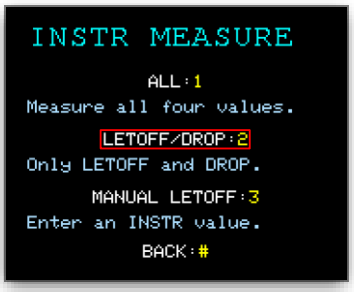
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

设定琴体内的测量范围



装有制音器时，将传感器臂沿该区段中央的琴弦方向调整，逐音检查激光光路，并在采集和测量过程中保持臂的方位。若传感器臂转角较大，应将传感器调平并关闭 TILT，随后用 MEASURE:6 选 LETOFF/DROP:2。琴弦基准、断联距离和落距在弦槌行程上部测量。击弦距离需用另一导轨位置测量。若传感器臂保持正向且 TILT 设定适当，可选 ALL:1 在同一导轨位置测量全部四项。

手动录入实测断联值

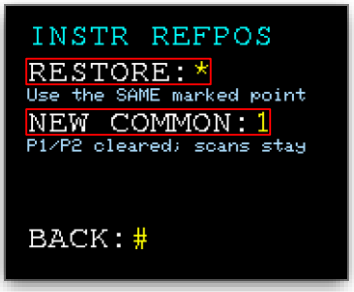


如果即使在 REAR 位置并调整倾角后，激光束仍无法照到高音压弦条区最高音处的槌头，使用 STRING SCAN 在压弦条正前方采集琴弦基准。目测选择适合的样本音，将断联点调在琴弦正下方（LETOFF 0.00 mm）。用 MANUAL LETOFF:3 输入这些音的实际值，再用 SAVE:OK 保存，供 MATCH INSTR 使用。参见“高音压弦条处的特殊情况：扫描琴弦与 0.00 mm 断联距离”。

执行 MATCH 时，同一音位必须同时具备带坐标信息的真实琴弦基准，手动录入无法替代基准采集；此外录入值为当前实测值，不会更改最终整理目标值。使用上下方向键切换栏位，左右方向键修改音序号或数值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.8.2 设定与恢复位置基准







REF POS 将已保存的测点序列与导轨上的传感器实时坐标相互绑定。中断续测时，务必先按琴壳标记放回导轨，完整还原该分区的传感器高度、倾角与传感器臂转角，之后再在标记测点确认位置基准。美纹纸划线确保机械复原，REF POS 建立设备数字坐标对应——新建或恢复位置基准无法弥补未还原准确的传感器臂转角误差。

琴体内：独立分区基准与公共位置基准

新建 STRING SCAN 或 HAMMER EACH 时，默认各自分配本分区独立位置基准。若希望跨多个分区移动时系统能按坐标自动切换分区，须在采集前按 SET REFPOS:* 设定公共位置基准（适用于无制音器、正向平直传感器臂且多分区构型完全不变的情形）。若相邻分区之间需要改变传感器臂转角，则应分别采用独立分区基准、按中部琴弦对准转角并手动切换分区。早期建立的公共 STRING 位置基准不会自动适用于日后改换臂角补充采集的 HAMMER EACH 触弦点；且同一分区内转角须始终保持恒定。

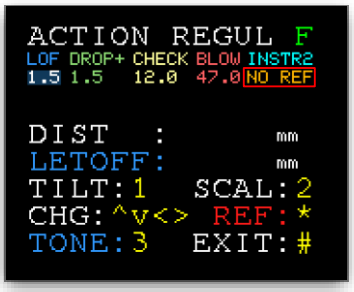
重新架设续测时，将传感器精确移回原定位点并按 RESTORE:* 恢复。若分区存有 HAMMER EACH 数据，可选任一已存弦槌恢复坐标（示例中 17 号弦槌标为 SET，将激光对准该弦槌原测点并按 DONE:OK 确认）；若仅存 STRING SCAN，则将激光精准对准所选音位的基准弦点——三弦组对准中间弦，双弦组对准右侧弦。

工作台上：多分区共享公共基准

在工作台上，同样回到最初标记的公共基准点按 RESTORE:* 恢复。一旦建立公共基准并完成分区匹配，PMP 便会在滑行时自动判别当前所处分区；每次暂停复工后，请先滑至一枚已知基准音核验定位是否精准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

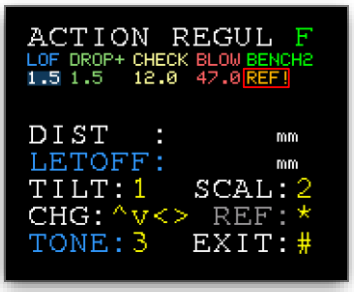
主动更换原点重新起算



在琴体内选择 NEW COMMON:1 将以当前传感器所在处设定全新公共位置基准：此前记录的 INSTR P1/P2 基准会被清除，而已采集的琴弦与弦槌高度数据仍予保留，后续在琴体内使用时只需将各分区重新对准一个已存音位即可。

在工作台上选择 NEW POINT:1 会重置全新原点，并一并清除当前数据集中所有依赖旧原点的 BENCH 基准、弦槌位置图及 BENCH 整理测量值（琴体内 INSTR 数据不受影响）。因此，在原有标记点续测时务必始终选择 RESTORE:*。

在测量界面核查坐标与基准状态

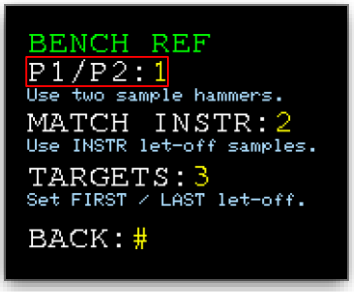


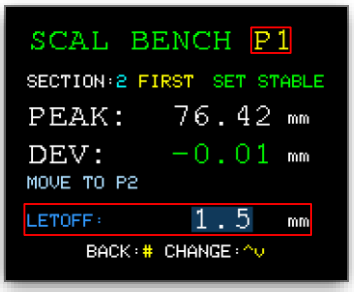
调用已保存的逐音基准时，借助定位箭头滑移传感器使箭头居中对齐目标刻线，同时确认激光光斑处于有效量程内并落在弦槌上。若屏幕显示 NO REF，说明当前音位缺少基准数据。

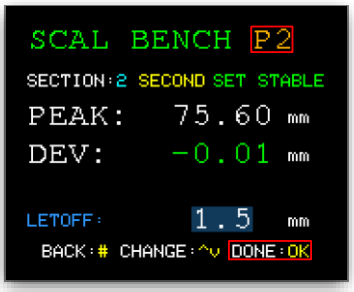
若出现 REF! 或红色感叹号警告，务必先核查基准状态、当前音位坐标及传感器架设，确认无误后再继续整理。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.8.3 SCAL BENCH：P1/P2 与轮廓修正







除 MATCH INSTR 外，也可在工作台上通过 P1/P2 双端音法建立基准。先按前文要求完成工作台架设与公共 BENCH 位置基准设定；此前在琴体内实测首尾两个端音的实际断联距离，并在基准采集完成前保持其机械状态不变（要求重复性可靠，不必预先调成最终目标值）。在合适架设下，P1/P2 亦支持在关闭 TILT 时运行（此时须遵守分步测量限制），而 MATCH INSTR 必须开启 TILT。

在 QUICK 中选择 SET P1/P2:3；在 ADVANCED 中则先选定分区，再依次选择 SET REF:3 与 P1/P2:1。将传感器对准第一个端音，在 LETOFF 栏填入该音在琴体内的实测断联值，缓慢按压琴键至断联并彻底松手完成采样；在同一音位复测数次并观察 DEV 与 SET STABLE。

获得有效采样后将传感器推向另一端，P1 自动锁存并即刻进入 P2 待采状态。录入第二端音的琴体内实测断联值、反复采样验证并按 DONE:OK 完成。PMP 据此将真实琴弦高度基准传递至工作台。

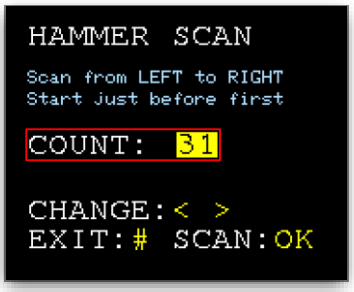
为何多次复测至关重要

首尾两个端音直接决定了中间全部音位的基准走向，单次误采会导致整段基准整体偏移。因此两端均应多次复核，若读数起伏明显，先检查按键手法与光斑落点。

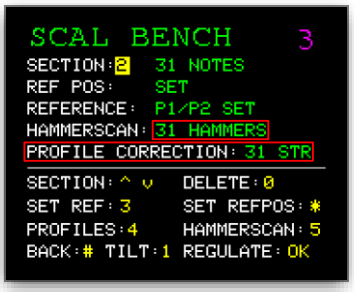
同样关键的是两个端音自身的断联机械稳定性：经过多年弹奏，顶杆常会在断联缓冲呢上压出深凹坑，导致微调断联调节钮便引起断联距离剧烈跳变——此类状态极不适合作为传递基准。遇此情况应尽量更换受损的断联缓冲呢，回到琴体内精细调稳这两枚端音后再移至工作台采样；单靠多次复测无法弥补机械本身的不稳定。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

采集弦槌位置并启用轮廓修正







为在工作台上更精确地还原实际弦平面，可将已有的琴体内（INSTR）弦高曲线与工作台（BENCH）直线基准相结合——当两端音之间的真实弦高明显偏离直线时，此功能尤为有效。

在 ADVANCED 中先设定 BENCH 公共位置基准及该分区的 BENCH 基准，再打开 HAMMERSCAN:5 核对弦槌总数，将传感器停于首枚弦槌左侧近旁，按 SCAN:OK 并从左向右匀速扫过静止位上的全部弦槌，确认 SCAN READY 显示的弦槌数准确无误（本例 Section 2 共 31 枚弦槌）。

按 PROFILES:4 开启或关闭轮廓修正。本例中同时具备 BENCH P1/P2 基准、31 枚弦槌坐标及 31 个琴体内（INSTR）琴弦基准，轮廓修正会自动把各音位额外的局部弦高起伏叠加到工作台基准中。测量界面上的字母 P 标示轮廓修正已启用；灰色 P 则提示当前音位的轮廓高度是由邻音插值推算而来。

对于初步粗整理，P1/P2 通常已足够胜任；最终定检时请将击弦机推回三角钢琴琴体内，对照真实琴弦逐一复核成果。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9 网页界面中的 ACTION

5.9.1 打开 ACTION 并设置实时显示

ACTION 页面上方显示实时整理画面，下方显示已保存的测量结果图表。实时显示直接辅助现场调节：动态追踪弦槌行程、即时呈现四项参数，并支持与历史数据对比；下方保存图表则呈现整段分区的宏观全貌，仅在重新向 PMP 读取数据后才会刷新。

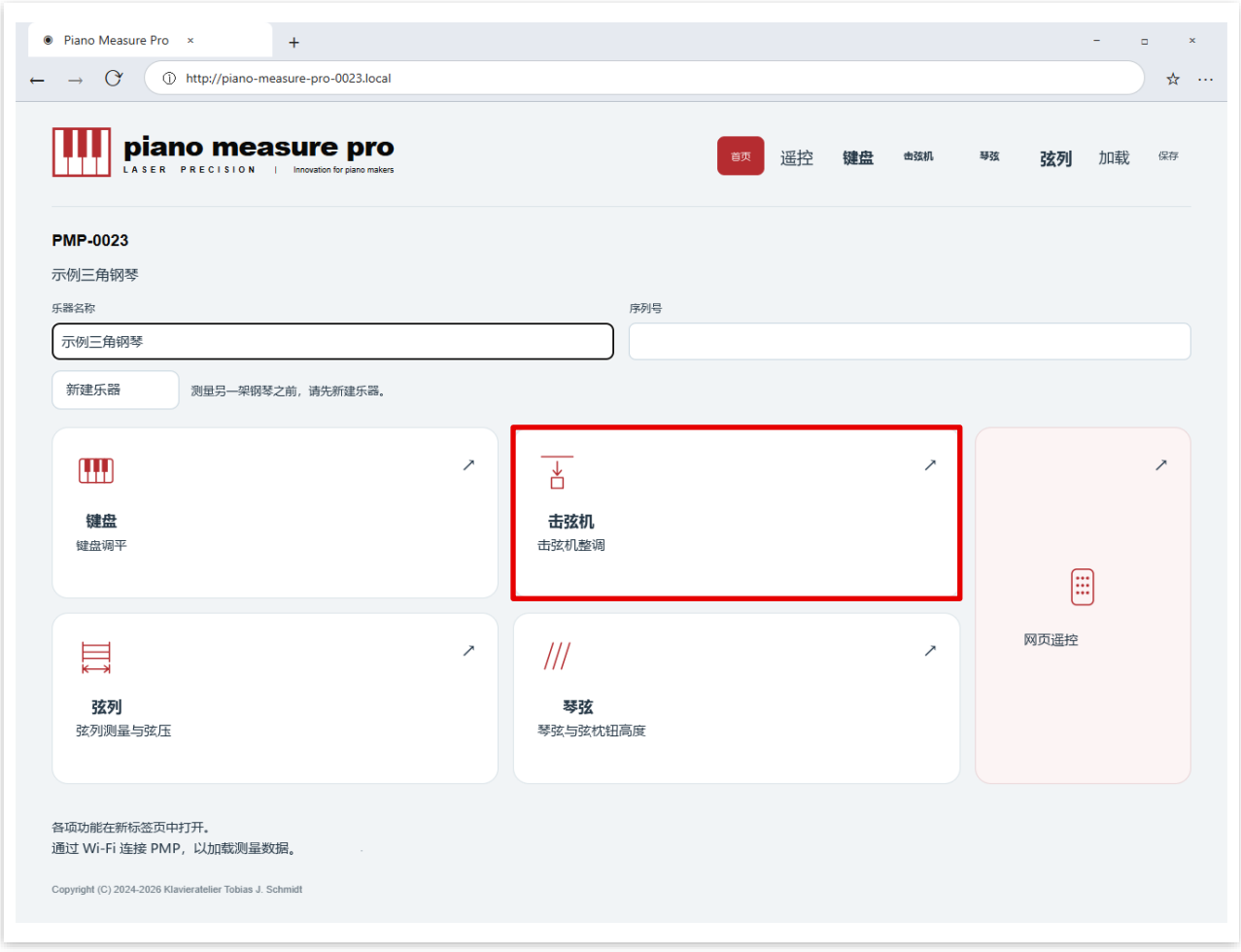
建立无线连接

开机时启用 PMP 的 Wi-Fi；或在主菜单长按红外遥控器 1 键约 1 秒开启自带接入点（AP），长按 2 键约 1 秒连接已保存的本地 Wi-Fi，长按 0 键约 1 秒关闭 Wi-Fi。请核对 PMP 屏幕上显示的当前模式与访问地址。

重要提示

使用实时显示时请尽量采用直连（DIRECT）模式。若在本地 Wi-Fi（HOME WiFi）下出现画面延迟或卡顿，请将显示终端直接连接至 PMP 自带 Wi-Fi；本地 Wi-Fi 的流畅度受路由器距离、信号质量与网络负载等因素制约。

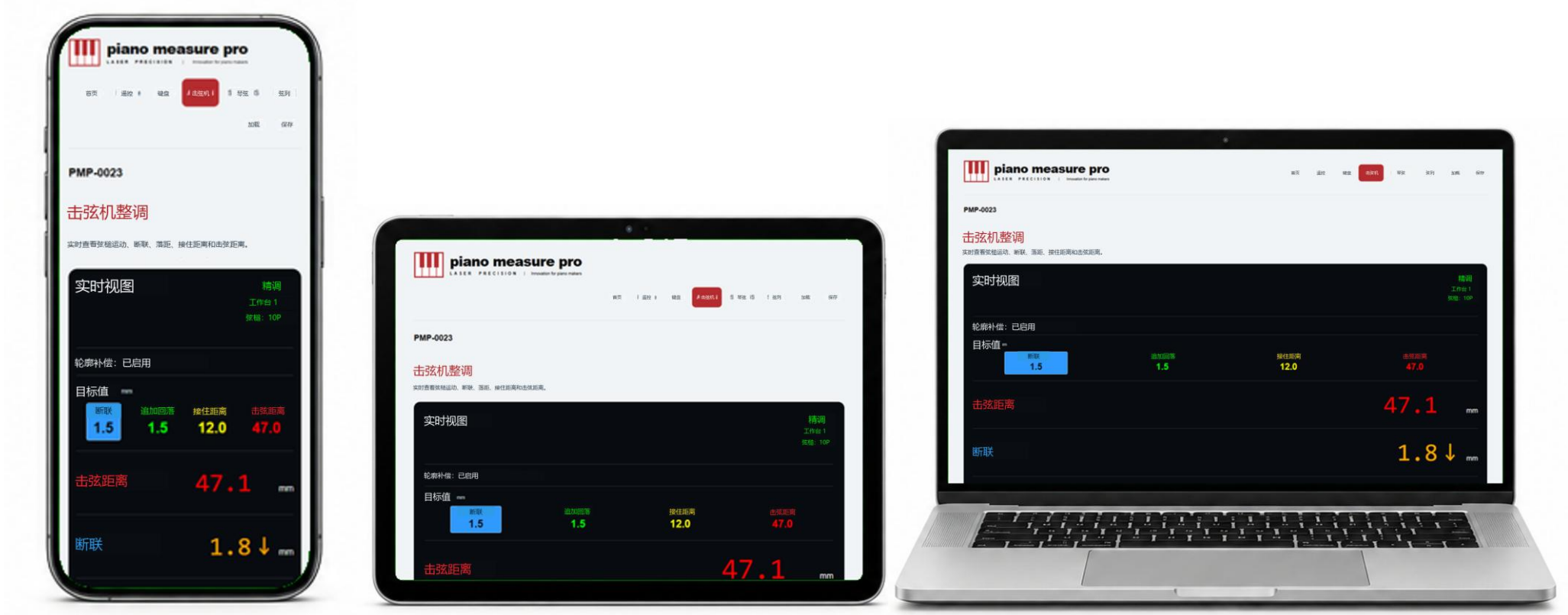
在 PMP 上进入“action regul.”，选定 FINE 或 COURSE 并建立本次工序基准。网页端 ACTION 负责直观呈现数值与传感器坐标，而基准切换、目标值设定及测量模式选择均在 PMP 设备端完成。



点击首页中红框标出的 ACTION 磁贴，即可在新的浏览器标签页中打开实时整理界面。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在智能手机、平板及笔记本 / 台式电脑上使用 ACTION



竖屏智能手机、平板及笔记本电脑上的虚拟示例显示画面。实时数值通过 Wi-Fi 由 PMP 同步传输，滑动页面可浏览更多板块。以下各页实时视图与保存图表均基于同一套整理前的虚拟示例数据集：10 号音的断联（LETOFF）在琴体内实测为 1.9 mm，传递到工作台后为 1.8 mm，而后续整理的目标值设定为 1.5 mm。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.2 读取黑色显示区中的测量值与状态

FINE / COURSE 与作业地点

顶部彩色标签标明当前评估模式；INSTR1 或 BENCH1 表示处于对应作业地点的第 1 分区。P1/P2、STR: 与 HTS: 显示基准方式或音位，例如 HAM:10 代表第 10 号弦槌。P 表示 BENCH 轮廓修正已生效（灰色 P 为推算轮廓值）；i 表示内插（两点间）推算基准，e 表示外推（测点外）基准；感叹号 ！警告须核查当前位置的基准有效性。

TARGETS 与两行实时测量区

TARGETS 列出各项整理目标值，高亮栏位表示 PMP 当前正在调整该项。DROP+ 为期望的断联后回落净落差，而下方测量行 DROP 仍显示弦槌距琴弦的总距离（例如 1.5 mm LETOFF 加 1.5 mm DROP+ 对应 3.0 mm 的 DROP 目标值）。

上方测量行随弦槌位置自动切换显示 DIST、DROP、CHECK 或 BLOW；下方行显示捕捉到的断联（LETOFF）。橙色配向下箭头表示间距偏大，品红色配向上箭头表示间距偏小，落入合格目标区间则转为对应参数专属色；短横线表示当前无有效读数，DIST 仅为纯实时距离。

当前设置与状态提示

MEASURE 显示 ALL 或 LETOFF / DROP；REF 显示基准类型及 STRING 模式下的设定弦径；SCAL 显示当前分区及 P1/P2、OFFSET 或 OUTSIDE 等状态；TILT、LASER DEG、BORE-LEN 与 SHANK-LEN 显示传感器倾角补偿及对应几何尺寸；TONE 显示当前开启声音反馈的参数或 OFF；PROFILE CORRECTION 显示工作台轮廓修正为 ON 或 OFF。



竖屏智能手机视图。向下滑动页面即可依次查看弦槌实时动态、音位列以及已保存的分析图表。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

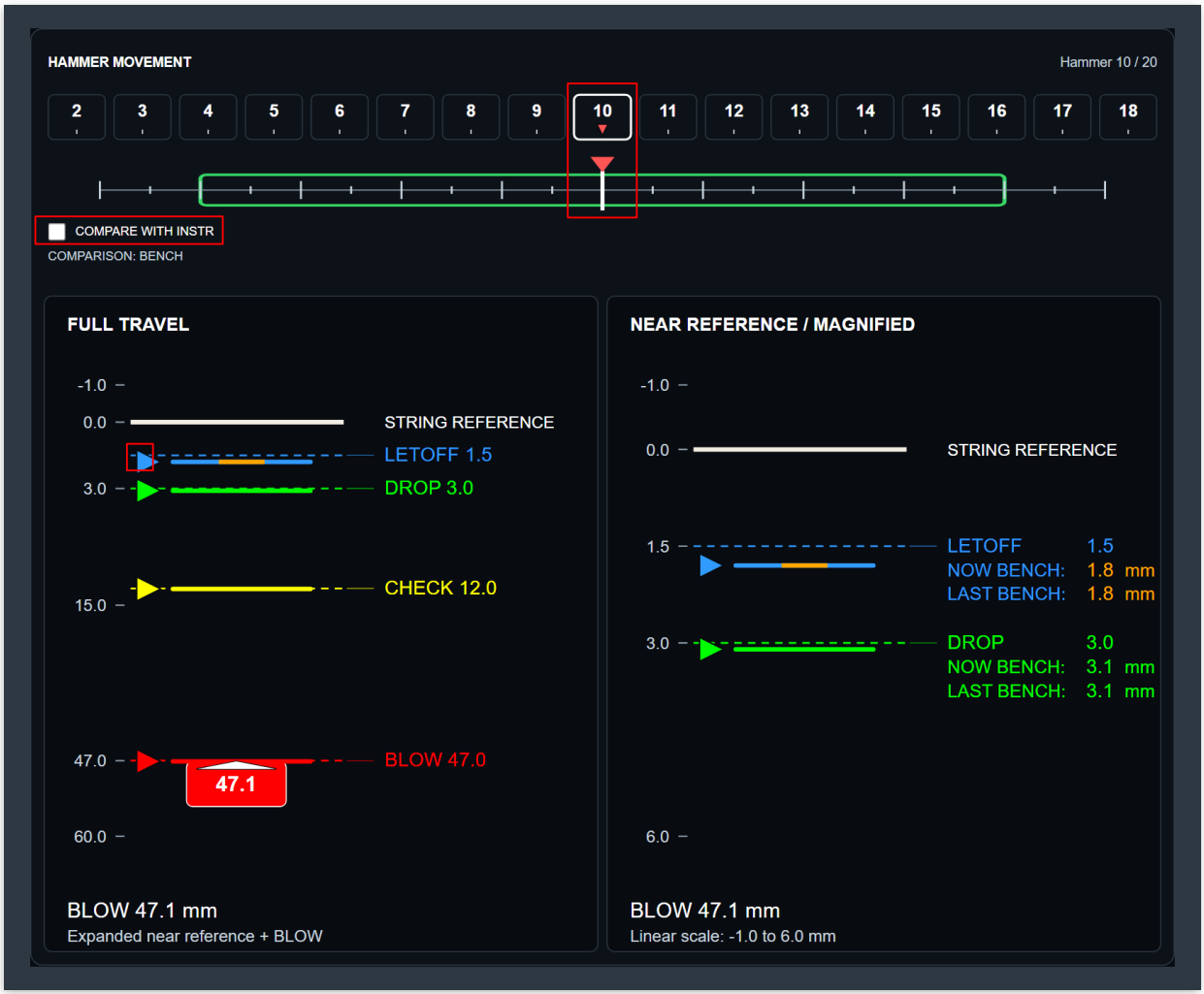
5.9.3 实时追踪弦槌运动与位置

FULL TRAVEL 显示从静止位到上基准面的全程弦槌行程标尺，动态弦槌图标实时跟随激光实测的弦槌顶点上下移动（因此关闭 TILT 仅测上位时不会覆盖全行程）。顶部基准线随采集方式标为 STRING REFERENCE 或 HAMMER REFERENCE。图示对关键区间作了非线性视觉放大以便观察，具体调节仍以毫米数值为准。

NEAR REFERENCE / MAGNIFIED 局部放大靠近琴弦的上位区域，使断联与回落的细微差别清晰可见。细彩色标线指示目标位置，较宽的彩色横杠标示已捕捉的实测值；随着弦槌继续运动，已捕捉标线会驻留在各自测得位置。激光信号短暂中断时画面可能会短暂停留旧值，采纳数值前请先留意状态提示。

核查横向定位坐标

音位总览条实时显示传感器沿已存弦槌或测点序列的滑行位置：红色指针随传感器移动，白色方框标出当前激活弦槌，精细定位标尺每格刻度为 0.5 mm。将指针移至中心刻线并确认激光落在弦槌顶点上；若出现“Between hammers”、“Positioning”或“Sensor moving”提示，表明尚未稳定停靠在有效音位测点上。



笔记本电脑视图：展示处于静止位的弦槌及基准附近放大区。对比开关处于关闭状态，本例中 COMPARISON: BENCH 标明三角对比标记源自工作台历史数据。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

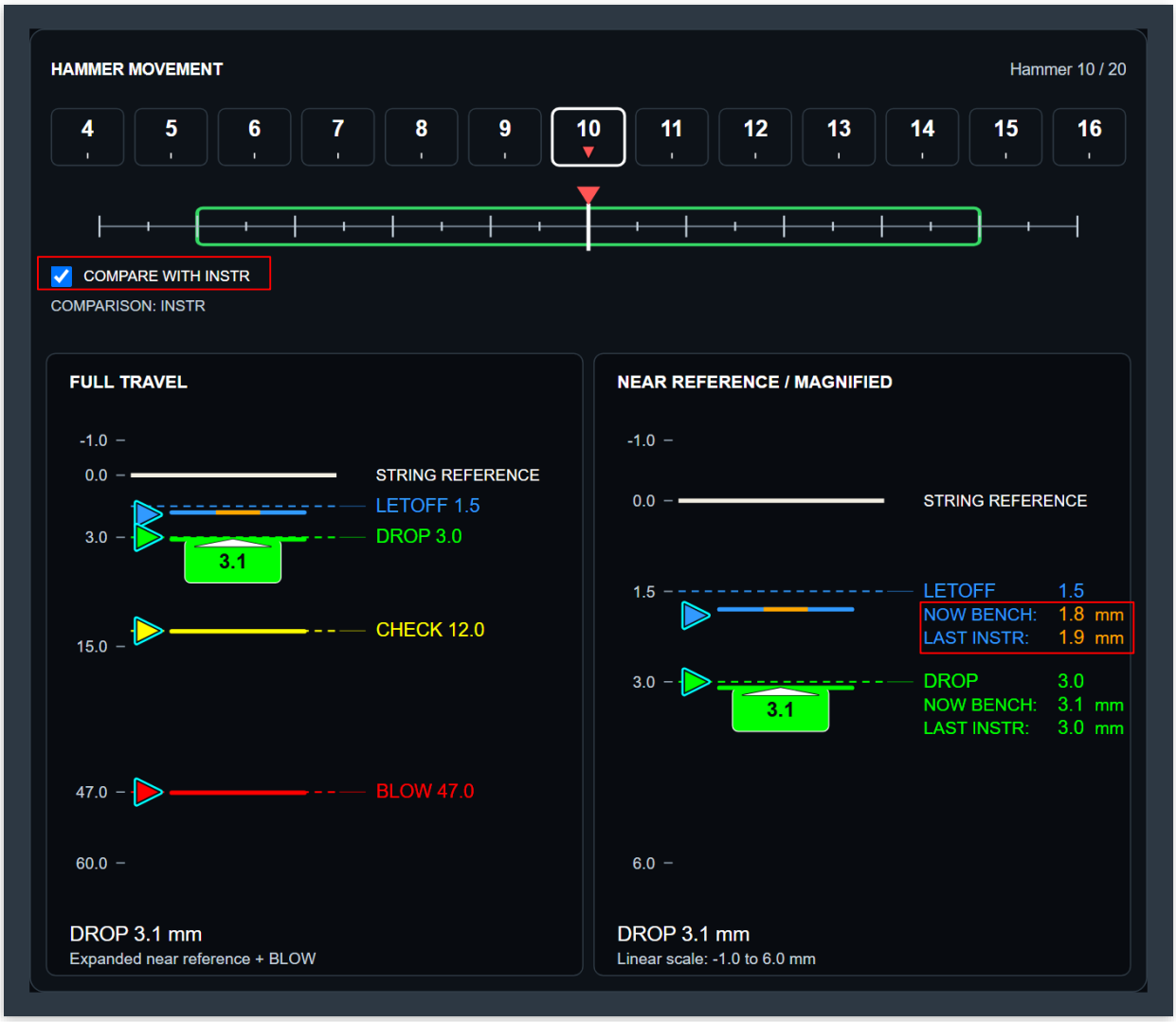
5.9.4 三角标记及 INSTR 与 BENCH 之间的实时对比

侧向指向标尺的彩色三角形代表历史对比参考值，其尖端所指即为先前测得数值在标尺上的高度位置。填充色分别对应 LETOFF、DROP、CHECK 或 BLOW，带青色边框的三角形特指来自琴体内（INSTR）的测量值。请注意：三角形既不表示弦槌运动方向，也不指示参数应调大还是调小。

不勾选跨地点对比复选框时，仅显示当前作业地点此前的测量记录：滑入某一音位时系统锁定该音的对比基线，随后在同一音位反复测试时 NOW 实时刷新，而 LAST 保持原值不动供对照；若当前地点尚无历史数据，则不显示三角形。

在工作台作业时，勾选 COMPARE WITH INSTR 即可在旁对照先前的琴体内测量值；在琴体内作业时，对应选项为 COMPARE WITH BENCH（页面上两处复选框联动控制同一设置）。该开关仅切换三角形与 LAST 的数据来源，NOW 及主测量行始终反映当前作业地点的实时数据。切换作业地点后请顺手核对该选项状态。

示例中 LAST INSTR 为 1.9 mm，NOW BENCH 为 1.8 mm——琴体内测得的是尚未调整前的实际断联，其后未改动击弦机。这 0.1 mm 的微小差值属于正常无害误差，源于基准传递链路以及弦槌顶点测点的细微落差；切记将琴体内实测值与后续整理目标值区分开来。



横屏平板视图：当前处于 BENCH 工作台模式，并已勾选 COMPARE WITH INSTR。青色描边的对比三角形与 LAST INSTR 均源自琴体内实测数据。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.5 示例：校验从 INSTR 到 BENCH 的基准传递

整理前该音在琴体内的实测断联为 1.9 mm，将同一套未作任何改动的击弦机移至工作台并传递基准后，实测显示 1.8 mm。本例中 0.1 mm 的微小差值完全在正常可接受范围内，由传递过程及弦槌顶点测点细微差别造成；复测时请尽量对准同一测点。



整理前的工作台复测画面：NOW BENCH 为 1.8 mm，LAST INSTR 为 1.9 mm。这 0.1 mm 的微小传递误差在本例中无碍正常作业。

随后在工作台上严格按照设定目标值开展整理：例如目标 LETOFF 设为 1.5 mm 时，直接调节至 NOW BENCH 显示 1.5 mm 即可。LAST INSTR 1.9 mm 仅代表调整前的历史琴体内现状，并非整理目标；切勿把 0.1 mm 的微小传递差值人为加减到目标值中。

工作台整理全部完成后，将击弦机推回琴体内复检；若发现明显偏差，请排查架设、测点、位置基准及 MATCH 测试音采样。下方已保存图表显示的是最近一次从 PMP 拉取的快照进度（后文示例图仍沿用整理前 1.9 mm 对 1.8 mm 的对比数据），如需刷新最新整理状态，请重新向 PMP 读取数据。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.6 读取音位列并使用智能手机作业

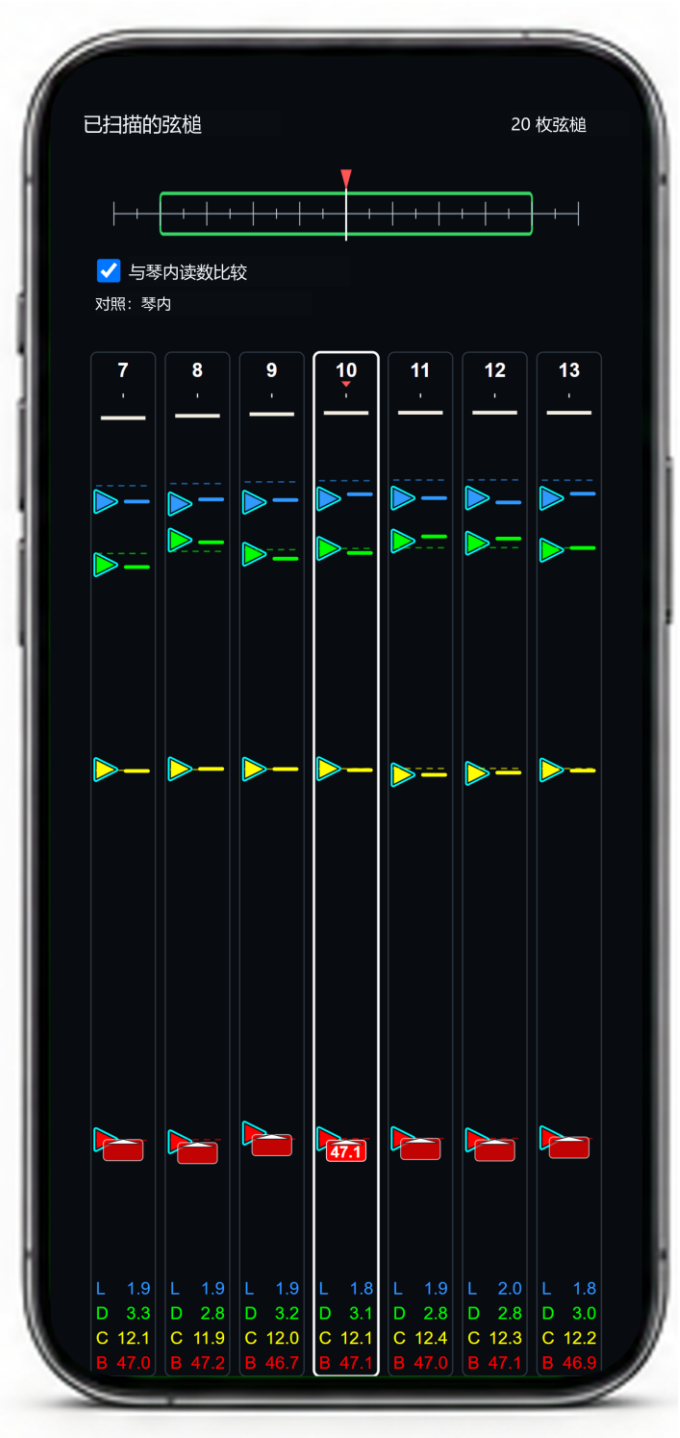
SCANNED HAMMERS 展示工作台上扫描识别的全部弦槌；若在琴体内调用已存逐音基准，标题可能显示为 LOCAL HAMMER REFERENCES。每一竖窄列对应分区内的一个音位，顶部编号为该分区内音序号；推动传感器滑行时，屏幕可视区域会自动平滑跟随移动。

白色外框与红色位置指针帮助您迅速锁定当前弦槌，动态弦槌图形及其实时读数对应当前音位，左右邻列则同步展示相邻音位已记录的数据。各彩色目标线、实测横杠与对比三角形的读法与第 5.9.4 节完全一致。

底部数字是实测距离。L 为断联距离（LETOFF），D 为落距（DROP），C 为托木接住距离（CHECK），B 为击弦距离（BLOW）。短横线表示该音在该处尚无读数。选 LETOFF/DROP 测量范围时，其余测量字段保持空白。激光暂时无有效距离读数时，位置指示仍可随编码器移动。

若无匹配的音位坐标数据，页面将不显示音位列；若提示 SAVED / SETUP REQUIRED，请恢复已存位置基准并复原原始架设。采用 MATCH 时，坐标映射可直接来自琴体内已记录测点，不强制执行弦槌扫描；但若仅采集了少数几个触弦点且未做弦槌扫描，系统也仅能显示那几个已知点位。

竖屏智能手机视图：音位列展示 10 号弦槌附近的局部区段。如需同屏纵览更多音位，请横握平板电脑或使用笔记本电脑。



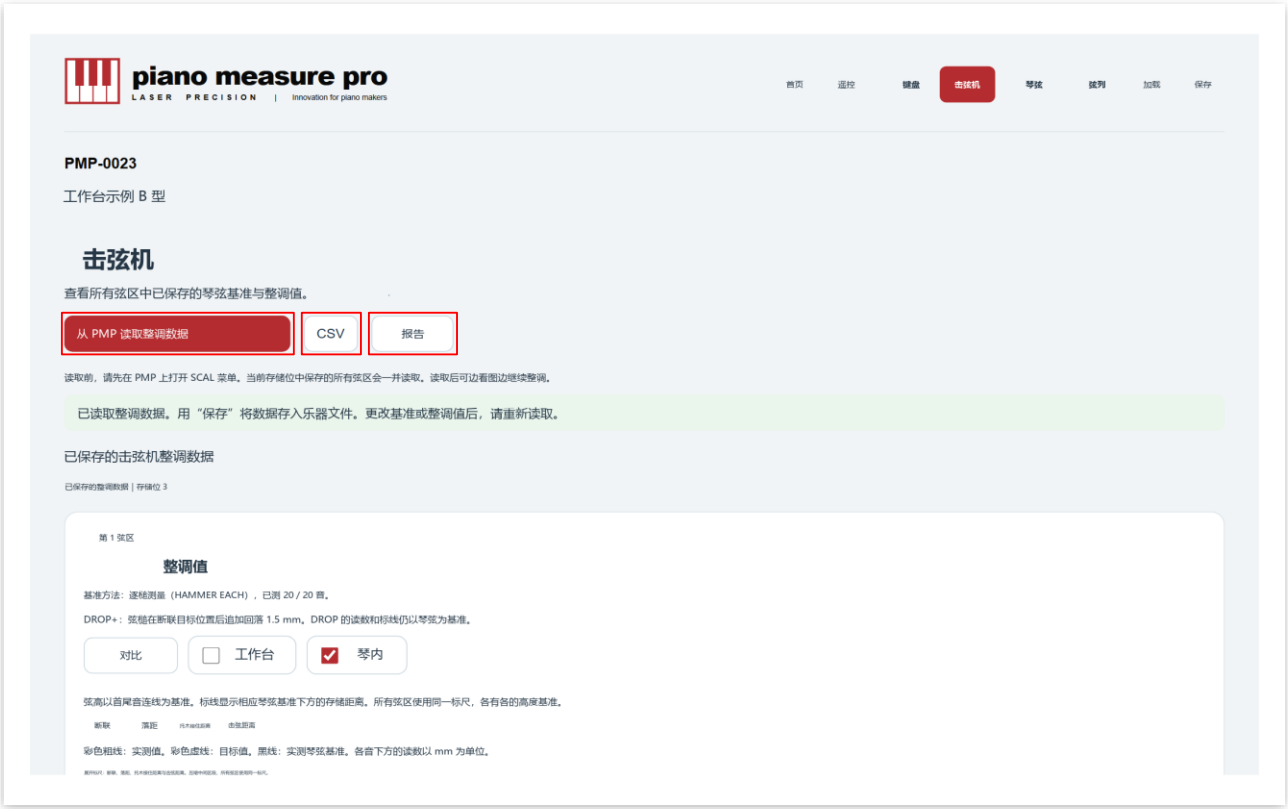
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.7 调用已保存的 ACTION 数据

先在 PMP 上加载目标乐器数据集，并在测量界面按 SCAL:2 进入分区菜单；随后在浏览器中向下滚动至 SAVED ACTION REGULATION 板块，点击 GET ACTION DATA FROM PMP，即可一次性拉取当前槽位中全部已保存的分区数据。页面会标明槽位号，并逐区列出基准类型与已采音数。

若 PMP 正处于测量或采集界面，须先退回 SCAL 菜单方可拉取数据。若浏览器提示读取不完整或失败，页面仍会保留此前已载入的数据，核对当前槽位后重试即可。拉取成功后即可回到 PMP 继续整理，待有新进度时再次点击刷新读取。

浏览器会将已读取的 ACTION 数据与同一乐器文件中的其他功能模块数据并存管理。在拉取另一台钢琴数据前，请先在浏览器切换或新建对应乐器档案。当数据集与测点一致时，下方保存图表还能实时高亮您当前在 PMP 上停靠的音位。



笔记本电脑视图：展示数据读取与导出工具栏。示例中显示已读取 3 号槽位及分区分析图表顶部区域。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

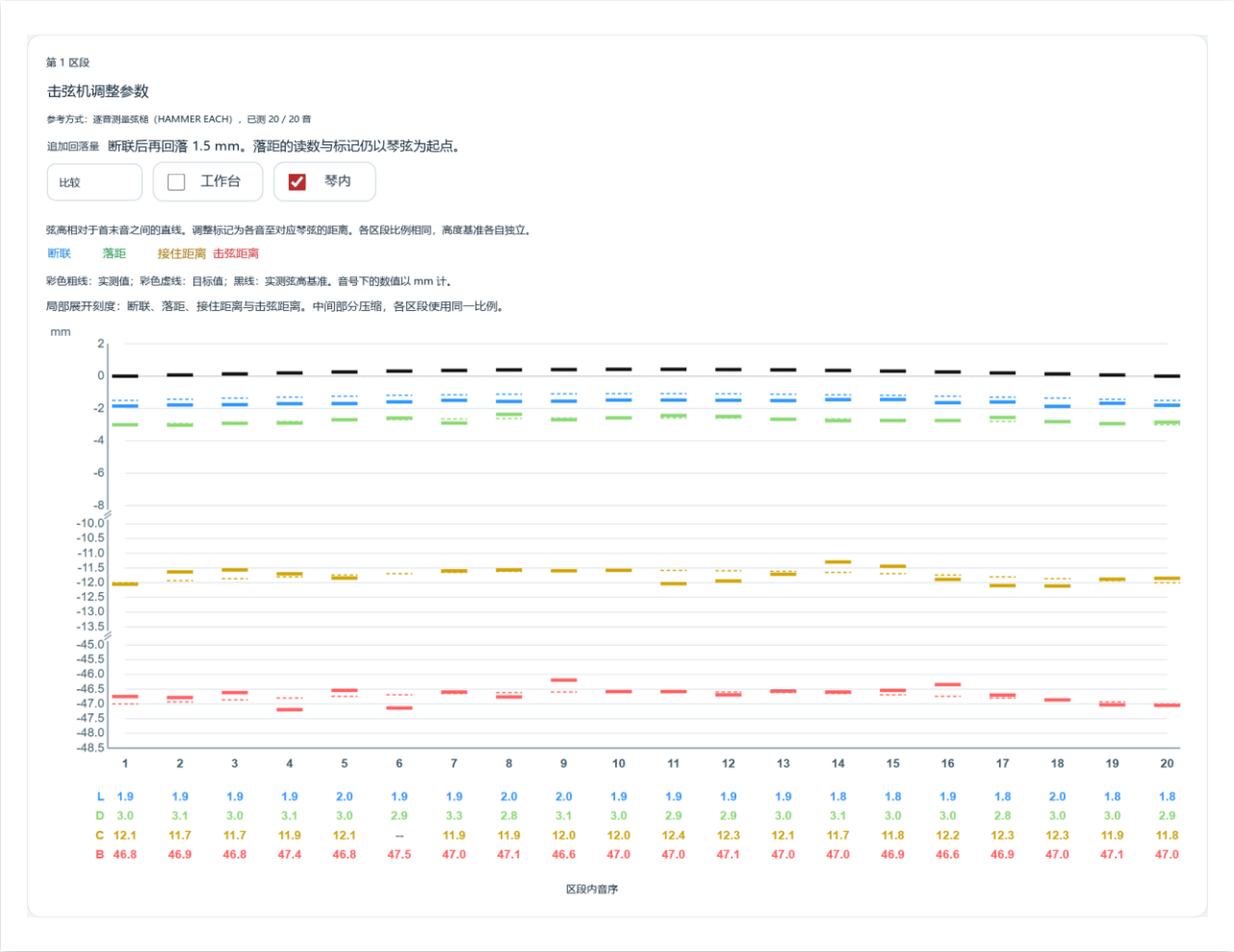
5.9.8 读懂已保存的图表及其刻度

图表横轴为分区内各音序号，纵轴为毫米高度。黑色短横线标示该音实测的琴弦基准高度；细点划线连接两端最外侧的有效基准点——若首尾端点完整，该连线即作为高度起伏的水平参照；若缺失任一端点，界面会注明当前所用的参照音，此时走势中可能仍带有导轨本身的倾斜分量。

灰色虚线基准代表由邻近实测点推算得出的基准；在 P1/P2 STRAIGHT 模式下，中间各音高度均落在两点直线基准上，而非逐音实测高度；若完全无弦高轮廓数据，则已有整理间距统一绘于一条虚拟零线之下。每个分区各自独立建立高度参照。

彩色粗横线表示已保存的实测值，彩色虚横线表示目标值。蓝色为 LETOFF，绿色为 DROP，黄色为 CHECK，红色为 BLOW。到琴弦的距离越大，标记越靠下。音序下方的 L、D、C、B 行均以毫米表示。有 REPEAT 数据时显示在 R 行。双短横线表示缺测，0.0 表示已采集的零值。

开启 EXPANDED SCALE（扩展比例尺）会局部拉伸放大 LETOFF/DROP、CHECK 与 BLOW 三个关键区间，并将其间的空白行程压缩折叠（纵轴上均有折断标记）。进行精确数值比对时，请以纵轴刻度及音序号下方表格数字为准。所有分区采用统一的纵轴显示比例，但各分区高度基准相互独立。



笔记本电脑视图（仅显示 INSTR）：黑色短横线代表琴弦基准，彩色粗横杠与彩色虚线分别代表实测整理值与目标值。

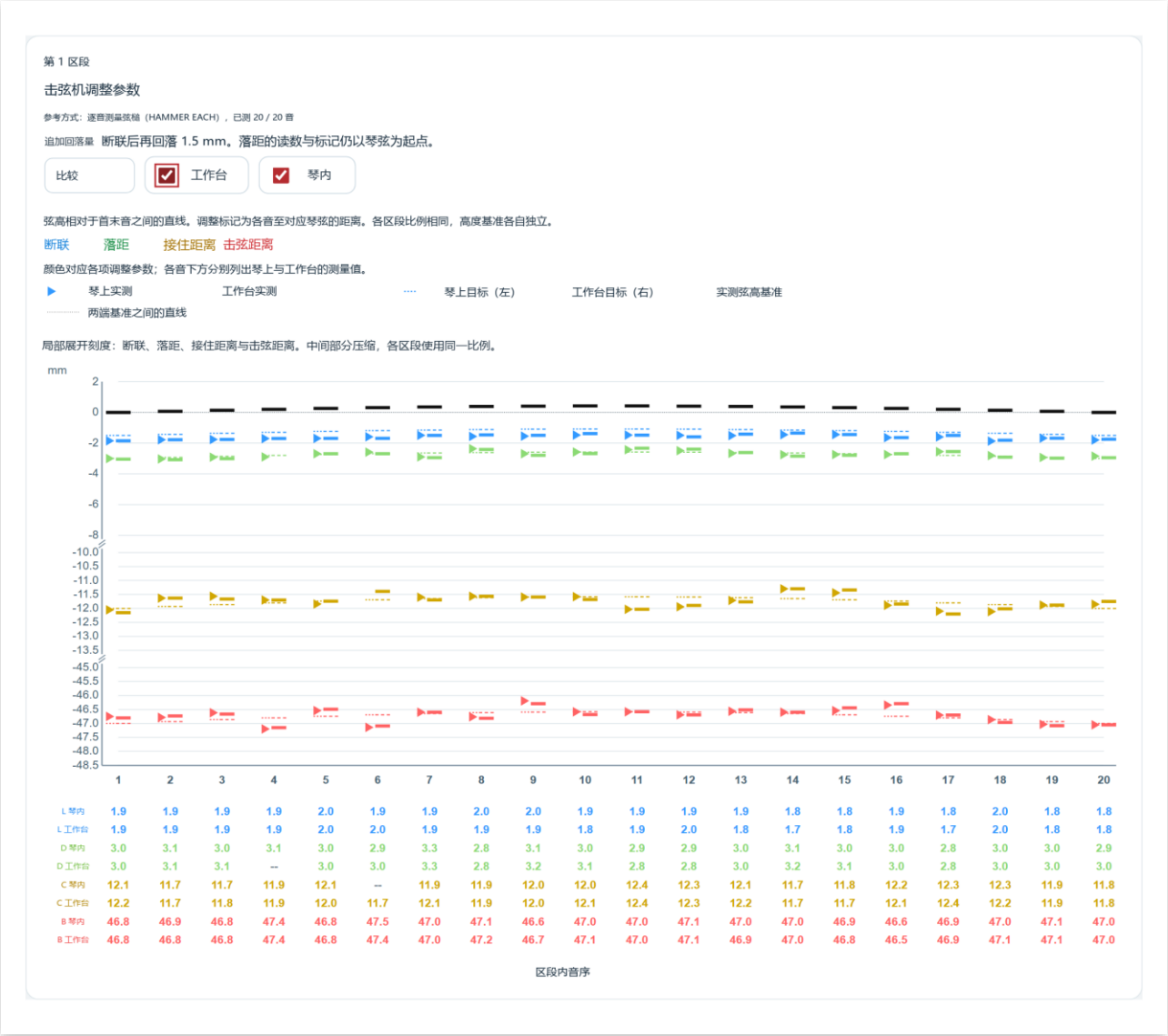
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.9 切换 INSTR、BENCH 及合并视图

勾选 INSTR 显示琴体内保存的数据，勾选 BENCH 显示工作台保存的数据（勾选开关按分区独立生效）。同时勾选两项即可在同一刻度、同一音位上叠加对比两地数据；两项均取消勾选时，仅保留琴弦高度轮廓曲线，隐藏整理测量值。

在合并视图中，左侧彩色三角形代表 INSTR 实测值，右侧粗彩色横杠代表 BENCH 实测值；左侧虚线标为 INSTR 目标值，右侧虚线标为 BENCH 目标值。图表下方数值表将两地数据分行单列，图例专用于说明该合并保存视图。

以整理前的 10 号音为例：L INSTR 为 1.9 mm，L BENCH 为 1.8 mm；因 1.8 mm 更贴近琴弦，右侧 BENCH 横杠位置高于左侧 INSTR 三角形，而目标值不受影响仍为 1.5 mm。若两地设定的目标值不同，即便实测值一致，左右两条目标虚线也会错开显示。切换视图绝不会更改任何原始测量数据。



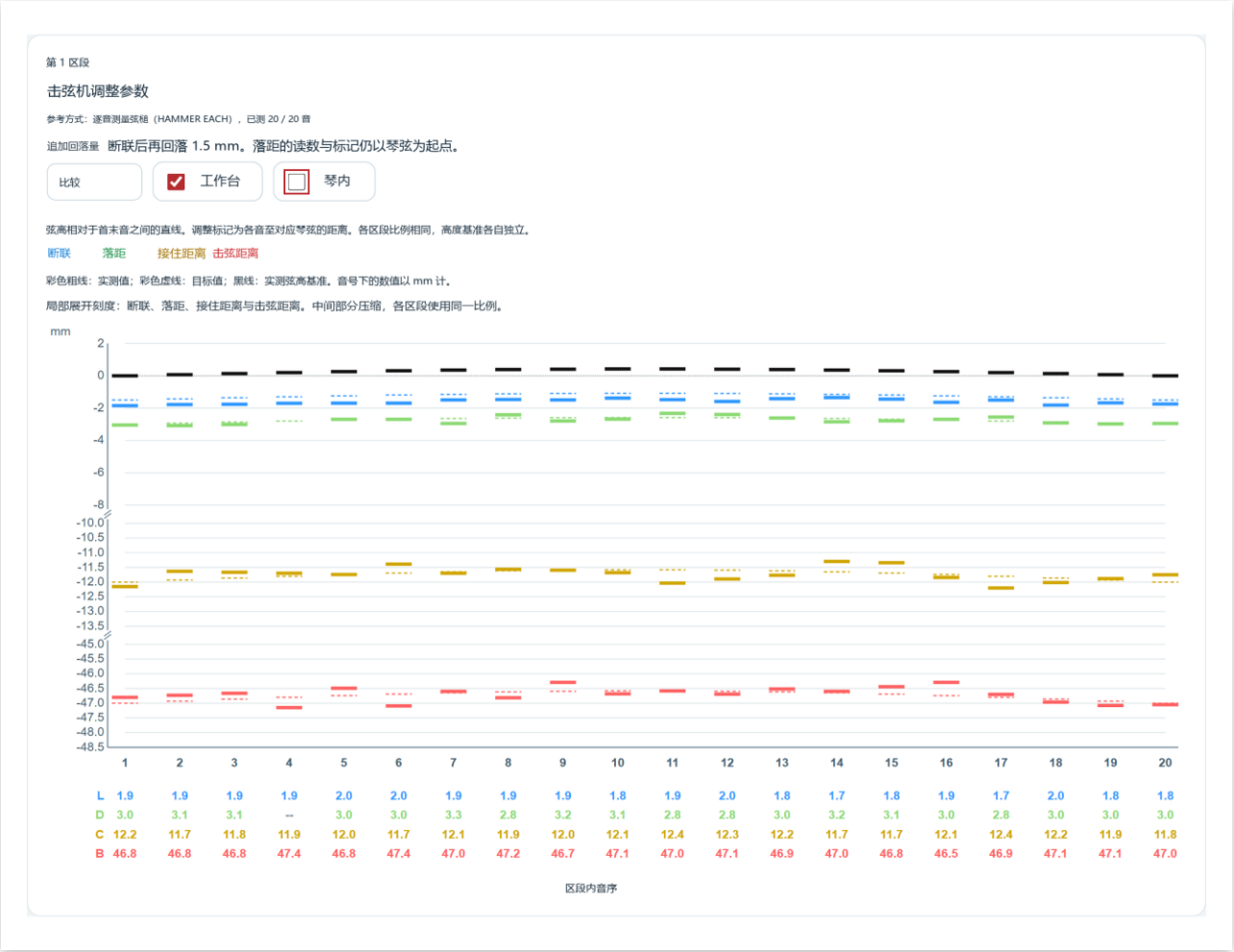
笔记本电脑视图（INSTR 与 BENCH 同时勾选）：图例清晰区分 INSTR 三角形、BENCH 粗横杠以及两地各自的目标虚线。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

仅显示工作台数据

如需单独核查工作台测量值，取消勾选 INSTR 并保留勾选 BENCH。黑色琴弦基准仍保持显示作参照，此时彩色横杠与下方数字均仅来自工作台采集记录（图示为整理前状态）。即便琴体内测过该音，只要工作台尚未测量，对应栏位仍保持空缺。

加载旧版数据集时，页面可能会提示“LAST SHARED VALUES - SOURCE UNKNOWN”。此类历史数据仍会显示供参考，但因系统无法辨别其原始采集地点，不会据此计算琴体内与工作台之间的差值。



笔记本电脑视图（仅显示 BENCH）：4 号音尚未测量的 DROP 数值明确显示为“--”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.10 COMPARE：逐音核查差异

点击 COMPARE 可由常规高度整理图切换至差值对比视图，逐音显示“BENCH 减去 INSTR”的净差值。黑色零基线代表两地实测完全一致；位于零线上方表示工作台测得间距更大，位于零线下方则表示更小。再次点击 COMPARE 即可切回原视图。

以 10 号音为例：琴体内断联 1.9 mm、工作台 1.8 mm，差值为 -0.10 mm，显示在 L 行中。负值表示工作台上测得的距弦间距略小，在本例中属正常的微小传递误差。若任一地点缺少某项数据，对比位将留空，与真实零差值“0.00 mm”明确区分。

所有分区的差值对比视图均采用以零为中心的统一纵轴刻度，便于跨分区迅速锁定异常音位；发现异常后再切回 INSTR 与 BENCH 合并视图核查具体实测值与目标值。在窄屏设备上，左右滑动图表即可浏览目标音位。



笔记本电脑视图（整理前差值视图）：图表显示 BENCH 减 INSTR。在 10 号音处，LETOFF 差值为 -0.10 mm，DROP、CHECK 与 BLOW 差值均为 +0.10 mm。

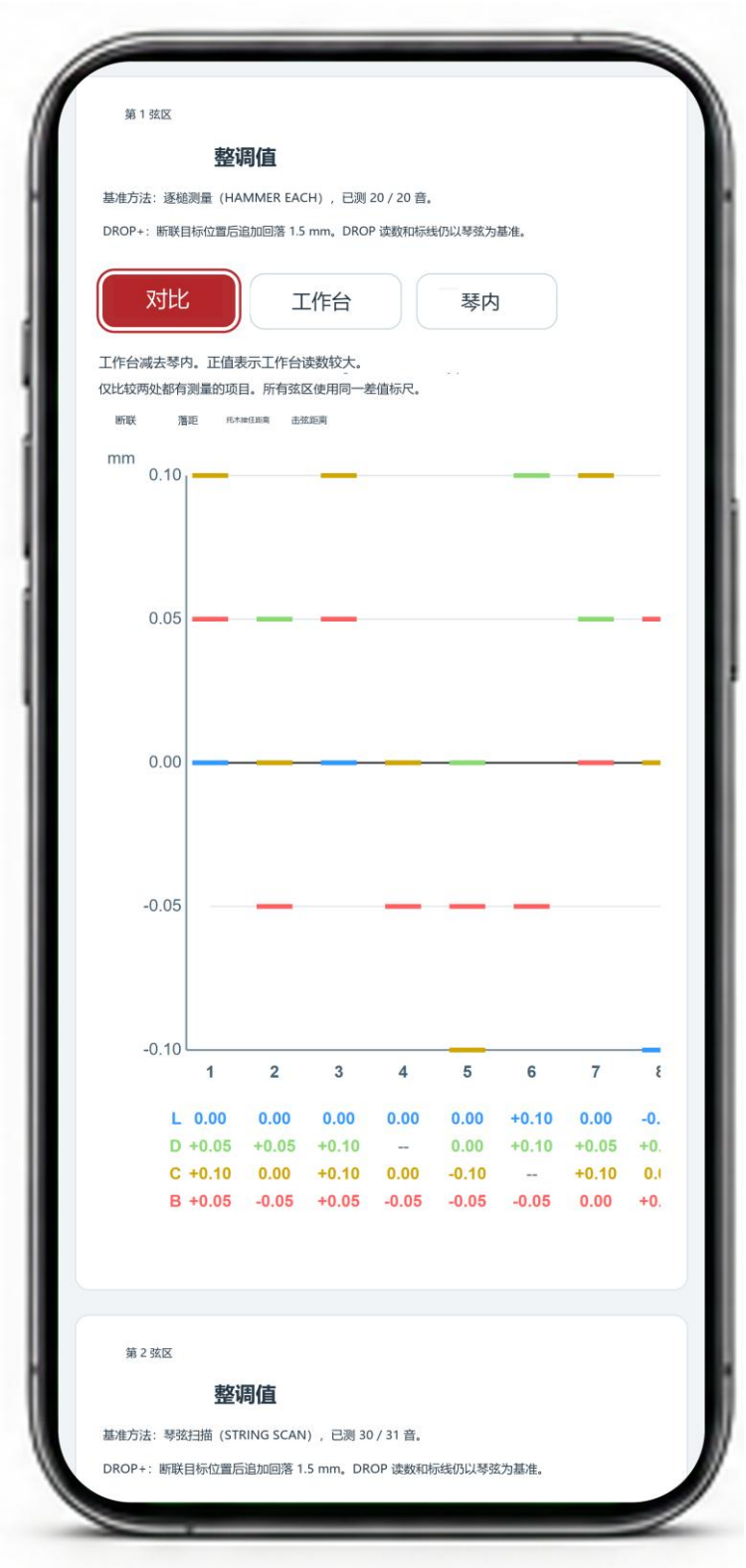
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在智能手机上阅读已保存图表

COMPARE、BENCH 与 INSTR 切换控件位于图表正上方。在图表区域内左右滑动即可查看其余音序号，对照音序号下方表格读数；浏览较长分区时，建议使用横屏平板或笔记本电脑。

测量作业期间，网页界面仅承担只读展示与导出功能：切换图表选项、滑动页面或导出文件均不会改动已保存的测量数据，也不会干扰 PMP 设备上当前激活的基准音位。

智能手机上的 COMPARE 视图：当前显示分区左侧部分，左右滑动即可依次浏览后续音位。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.11 导出 CSV、HTML 报告及备份乐器文件

导出 CSV 供进一步处理

点击 CSV 将把全部已载入分区导出为 ACTION 测量数据表。每行依次列出分区号、音序号及实测琴弦基准偏差；LETOFF、DROP、CHECK 与 BLOW 各含分别归属 INSTR 与 BENCH 的两组目标值（target）与两组实测值（actual），缺失数据单元格留空。所有长度单位均为微米（µm）：例如整理前 10 号音的 LETOFF INSTR actual 为 1900（1.9 mm），LETOFF BENCH actual 为 1800（1.8 mm），LETOFF 目标值仍为 1500（1.5 mm）。

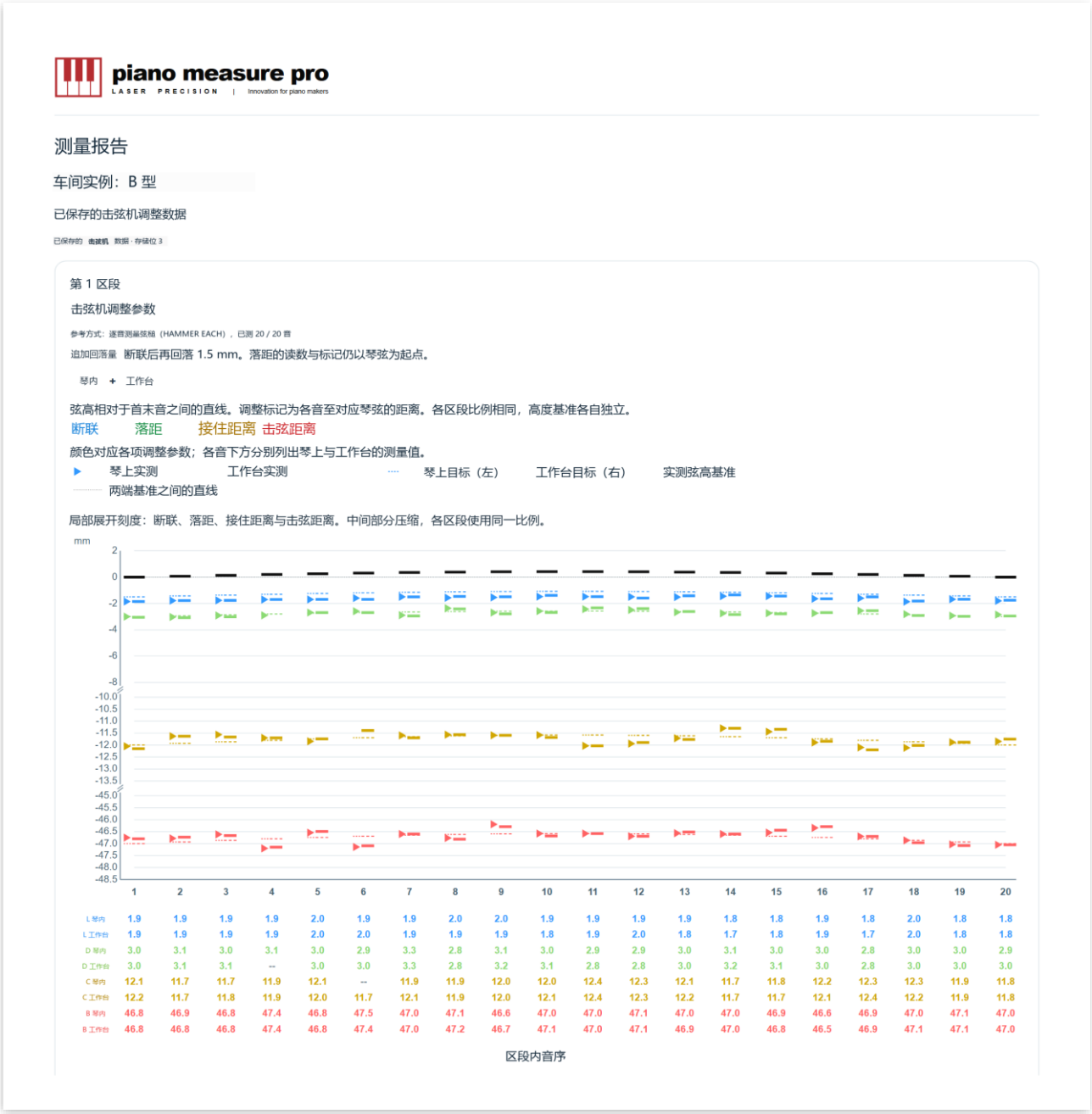
生成 REPORT 报告用于归档与分享

点击 REPORT 可下载独立 HTML 报告文件，内含已载入全部区域的合并视图、INSTR、BENCH 以及 COMPARE 图表，日后无需连接 PMP 即可在任意浏览器中直接打开浏览。对外发送前请核对钢琴名称、序列号与测量进度。

使用 SAVE 备份完整工程文件

点击顶部通用导航栏的 SAVE 可将涵盖全部已载入功能模块的整机档案保存为 .pmp 乐器文件，后续随时可点击 LOAD 在浏览器中重新打开。CSV 与 REPORT 仅包含 ACTION 模块数据。请注意：在浏览器中读取数据或加载 .pmp 文件均不会反向写回或覆盖 PMP 设备内的存储槽位。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



示例乐器的 HTML 报告：通过 REPORT 生成，并在未连接 PMP 的状态下于浏览器中离线打开浏览。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

5.9.12 实时显示或数据调用异常时的排查

提示“Connecting”或“No connection to PMP”：检查 PMP 的 Wi-Fi 是否已开启且终端与设备是否接入同一无线网络。进行实时测量时，请尽量切换为直连 PMP 自带 Wi-Fi 并重新打开 ACTION 页面。

提示“Start Action Regulation on PMP”：请在设备端进入“action regul.”功能。提示“Set the reference or complete the dialog”：请完成设备端当前对话框操作并建立有效基准。提示“OUT OF RANGE”：请检查传感器高度、激光光斑落点及弦槌位置是否在有效量程内。

提示“No fresh measurement”或“Last received data”：当前画面数值为上一次传输的残留数据，请检查无线连接及设备测量状态。切换至其他浏览器标签页时实时显示会自动暂停，切回当前标签页后连接会自动恢复。

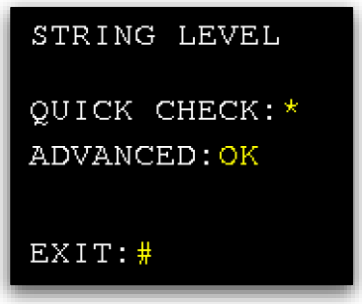
提示“Save pending”：当前改动尚未最终写入设备槽位，请按规范离开当前音位或退出至 SCAL 菜单并留意 PMP 上的存储提示，确认存盘后再拉取已保存进度。若网页提示缺少分区或架设不匹配，请在 PMP 对应 SCAL 菜单中核查分区号、位置基准及基准状态。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

6 功能“string level”QUICK CHECK——同音弦组共面检测与校平

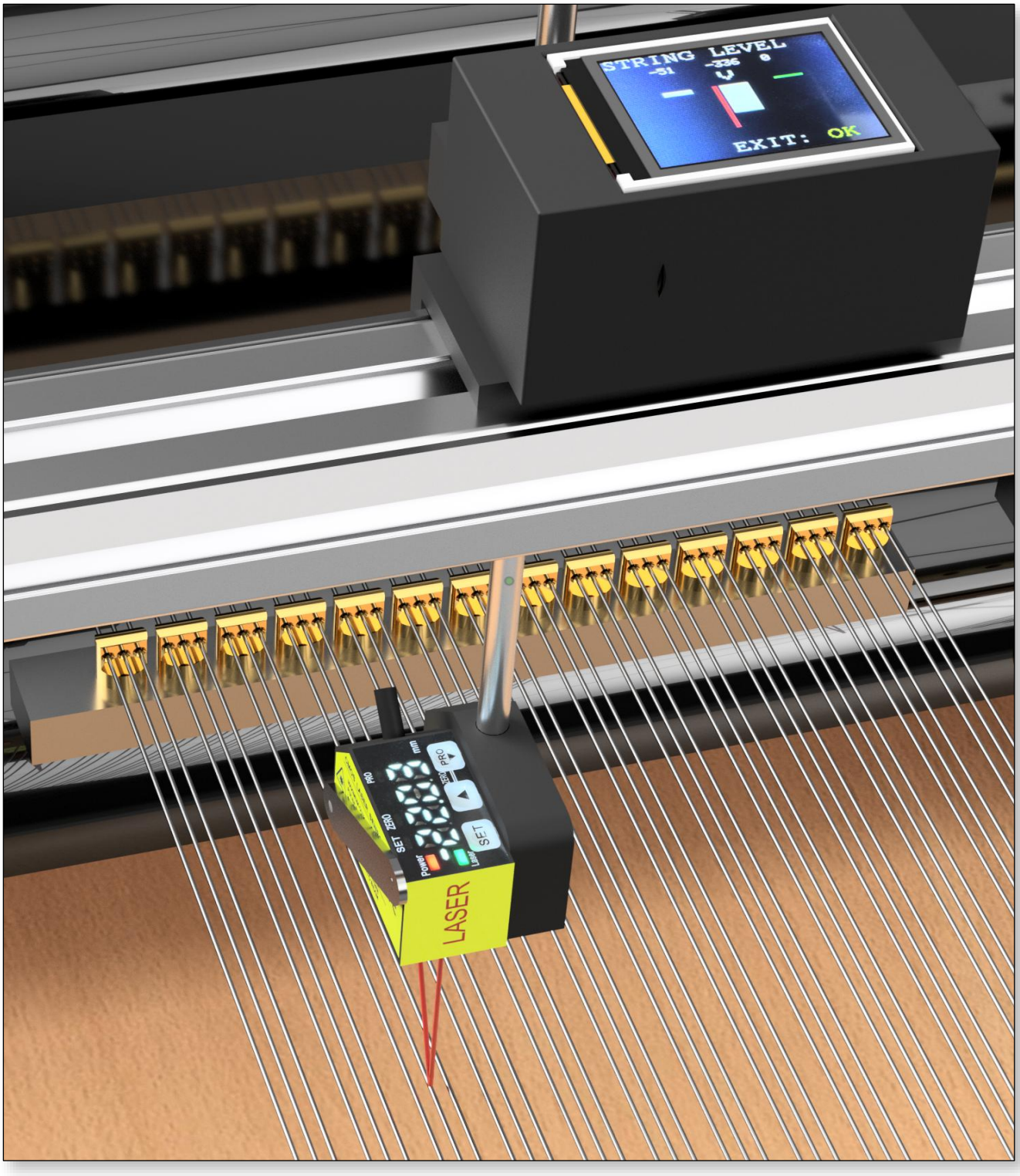
QUICK CHECK 用于检测单个同音弦组内各根琴弦之间的高度差。经导轨倾角自动补偿后，系统将该弦组中位置最高的一根琴弦设为参照基准，借此可精准挑高偏低的琴弦并立即复测核验。

在主菜单中选择 string level，按 * 键进入 QUICK CHECK，系统将直接启动 AUTO LEVEL（自动调平）流程。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

此外，系统还提供高阶模式（Advanced Mode），支持分区记录以及基于共同基准的大范围琴弦与弦枕钮扫描。该模式详见第 8 章“功能‘string level’ADVANCED——琴弦与弦枕钮校平校准”。



琴弦上方的测量架设实景。以下各屏幕截图均采用虚拟示例数值。

作业目标是使同一同音弦组内的所有琴弦严格处于同一水平高度。唯有如此，弦槌在击弦瞬间才能以均等力度同时撞击每一根琴弦，这是获得纯净均匀音色的先决条件。

⚠ 尤其在更换全新琴弦之后，琴弦共面校平是必不可少的工序；将弦槌顶点轮廓精准贴合同音弦组，同时也是开展精细弦槌整音（调音色）的前提基础。

非接触式测量的优势

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

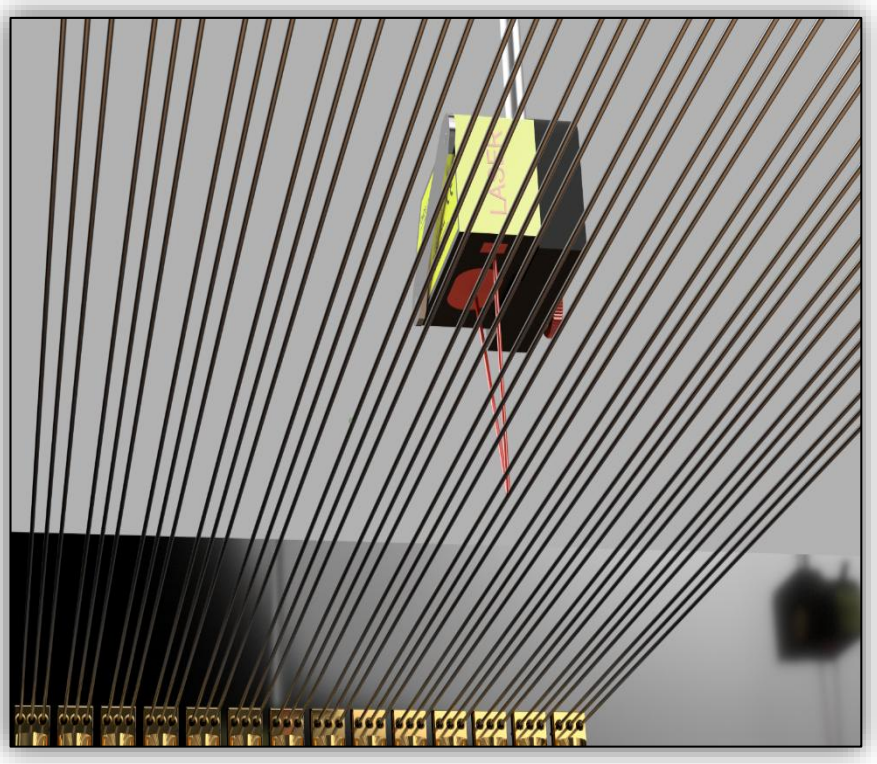


传统检测方式通常将一把小型水平尺或弦高校验尺直接搭在同音弦组上，需要反复拨弦听音、取下尺子、撬动单根琴弦再放回尺子复查——如此耗时循环，直至所有琴弦均贴实校验尺底面且尺身平稳不再翘动为止。

借助非接触式测量系统Piano Measure Pro，这些步骤便不再需要了。

当激光缓慢扫过所有同音弦组时，显示屏会立即显示哪根琴弦的音高最高，哪根最低。

最高的琴弦会自动被设定为参考标准，其他所有琴弦的长度都是以它为基准进行测量的。



过低 的琴弦必须向上调整。

校平过程中的实时监控

将激光光点精确地定位在位置过低的琴弦上，就会显示出实时图像。

当技术人员使用调节工具调整琴弦的位置时，变化会实时显示出来。

- 一眼即可分辨该弦是否仍偏低；
- 是否已挑过头而偏高；
- 或是否已精准达到目标等高位置。

技师借此获得直观的实时图形反馈，省去了反复测量、调整、再复查的循环，大幅节省工时，可在一个连贯工序中将整组同音弦组精准校平。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

6.1 架设——导轨与传感器

将导轨架设在琴壳上缘（Rim），调整位置使传感器能够有效扫描琴弦高度。请确保从低音缠弦与裸钢丝弦过渡处的首组琴弦，直至中音区最后一组同音弦组，均能被准确覆盖测量。

全程务必确保导轨稳固贴合、毫无晃动（参见第 4.2 节“校准导轨”）。

SENSOR 2 适用于 string level 功能，见第 2.3 节“激光测距传感器”。需要最高弦高整平精度时，请用 SENSOR 1。

向下调节传感器臂，使琴弦大致位于激光最佳聚焦位置（采用 Sensor 1 时距传感器约 50 mm），操作时可直接参照传感器本体屏幕上的读数。

Sensor 1 本体屏幕的读数范围为 -15 mm 至 +15 mm，对应 30 mm 的绝对有效量程：

- -15 mm = 最大可测距离（最远端极限，勉强可测）
- +15 mm = 最小可测距离（最近端极限，勉强可测）

如果某个物体位于该范围之外，显示屏上会显示“---”。同样地，如果回射的激光束在三角测量路径上被障碍物阻挡，也会出现同样的显示结果。

当激光光斑居中落在琴弦上且读数位于 0 ± 1 mm 附近时，即表示传感器高度已调节到位。

6.2 AUTO LEVEL——自动补偿导轨倾角

AUTO LEVEL 通过快速扫过数根琴弦自动测定导轨相对于弦平面的倾角，并在随后的同音弦组测量中自动予以补偿，从而滤除因导轨不完全平行所带来的线性倾斜分量。



执行自动调平扫描

启动 QUICK CHECK 后，屏幕提示 MOVE SENSOR OVER STRINGS。将传感器沿导轨横向缓慢匀速扫过多根琴弦，屏幕 LEN 处实时显示已扫描距离。扫描行程至少须达 50 mm；滑行满 80 mm 时系统自动结束扫描；若在 50 至 80 mm 之间停顿超过约 1 秒，系统则直接按已扫行程结算。

结算成功后，TILT 以角度（°）以及每 100 mm 的落差毫米数显示测得倾角，SCAN QUALITY 评估本次扫描的数据质量（该百分比不代表传感器的绝对测量精度）。按 OK 键确认 CONTINUE 进入同音弦组测量界面。



重新扫描或跳过

在测量界面中，随时按 * 键执行 AUTOSCAN 均可重新采集局部倾角——在改动架设或切换至不同弦列区段时建议重新扫描。该倾角补偿仅在当次 QUICK CHECK 会话内有效，下次重新进入功能时需再次采集。

扫描过程中按 OK 键可取消本次 AUTO LEVEL 采集；若无有效软件倾角补偿，导轨在机械架设上必须尽可能严格平行于弦平面。中途取消或判定无效的重新扫描不会覆盖此前已经生效的倾角补偿。

无效扫描排查

若提示 SCAN INVALID 并附带 TOO SHORT，表示扫描行程过短；TOO FEW DATA 表示有效采样点不足；FIT ERROR 表示平面拟合失败。按 OK 键确认后，检查传感器高度及光路是否通畅，再按 * 键重新扫过足够宽的琴弦区段。



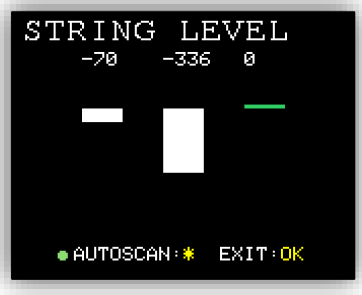
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

6.3 测量同音弦组



推动激光缓慢扫过整组同音弦组，传感器一停稳，屏幕即刻显示测量结果。若滑行未完整覆盖整组琴弦，则不会输出结果。

传感器可自动识别当前同音弦组由 2 根还是 3 根琴弦组成。停稳后，系统自动解析最后 15 mm 行程内的采集数据，识别各根琴弦的顶部峰台（最高点），并记录每根琴弦的峰值坐标，供随后的实时校平定位使用。



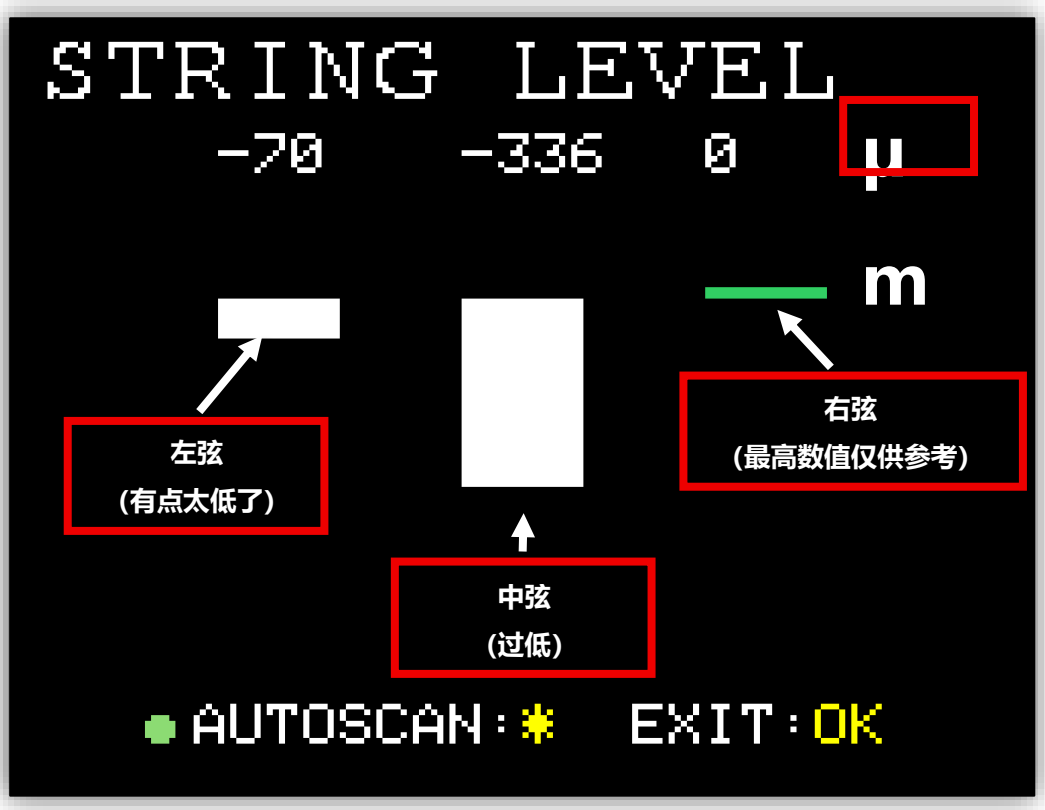
测量结果（通常为三根弦，部分古旧钢琴偶尔为两根弦）以并排的竖向白色宽柱条形式显示在屏幕上。

系统自动将测得最高的琴弦设为基准，不绘宽柱条，而是以一条绿色细横线标示；凡高度差小于 60 µm 的琴弦亦显示为绿色细横线，具体微米差值可直接读取其上方数字。当偏低达到 60 µm 及以上时，屏幕绘出向下延伸的白色宽柱条——琴弦偏低越多，柱条越长；若偏差极大，柱条将延伸至最大长度并变为红色。每根柱条上方均以微米（µm）精确标示该弦相对于最高基准弦的高度差。

本例中右侧弦为同音弦组内最高的一根，因此自动设为基准，并以一条绿色细横线标示。

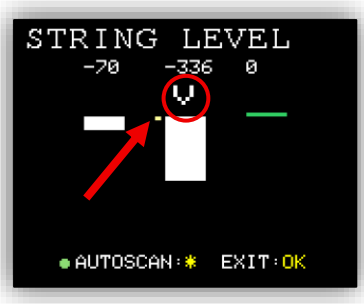
中间弦比右侧基准弦低 0.336 mm（336 µm），屏幕以一根较长的白色柱条标示。

左侧弦仅比基准弦低 0.070 mm（70 µm），高度差很小，屏幕以一根较短的白色柱条标示。



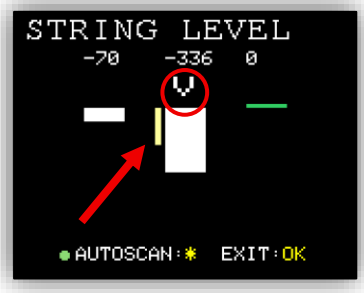
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

6.4 修正 / 校平弦高（LIVE 实时显示）



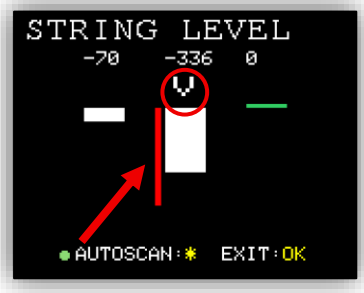
屏幕显示测量结果后，将激光光斑精准移至需要调整的那根琴弦上方，务必确保光斑居中落在琴弦正顶面。

系统会将当前位置与先前保存的各弦顶点坐标实时比对。一旦对准其中某一峰值坐标，对应柱条上方即出现一个向下小箭头（v），表示该弦的 LIVE 实时监控已激活；同时系统将该弦当前高度归零锁定，此后所有挑高或压低幅度均以该初始位置为基准实时计量。

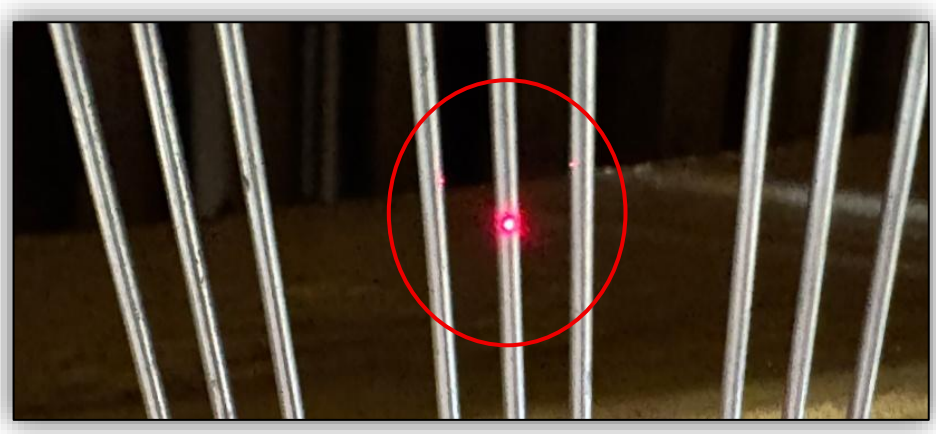


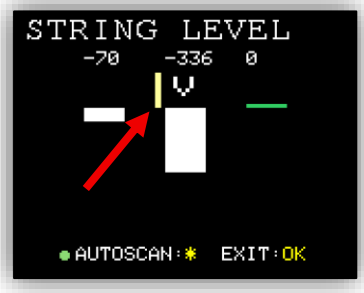
任何实时高度变化都会在对应主柱条左侧以一根黄色细条直观呈现，向技师即时反馈校平过程中琴弦上移或下移的幅度。在前两幅屏幕图中，中间弦正被向上挑起，此时黄色细条从顶部基准线向下延伸生长；第三幅图中挑高过量，细条转为红色警示；最下方一幅图展示了相反方向——当向下按压琴弦时，黄色细条则从基准线向上延伸生长。

在本例中，向上挑高中间弦，直至左侧黄色细条向下延伸的长度恰好与白色主柱条等长，即表明该弦已精准升至目标等高位置。随后移动传感器至下一根需调整的琴弦重复相同步骤。

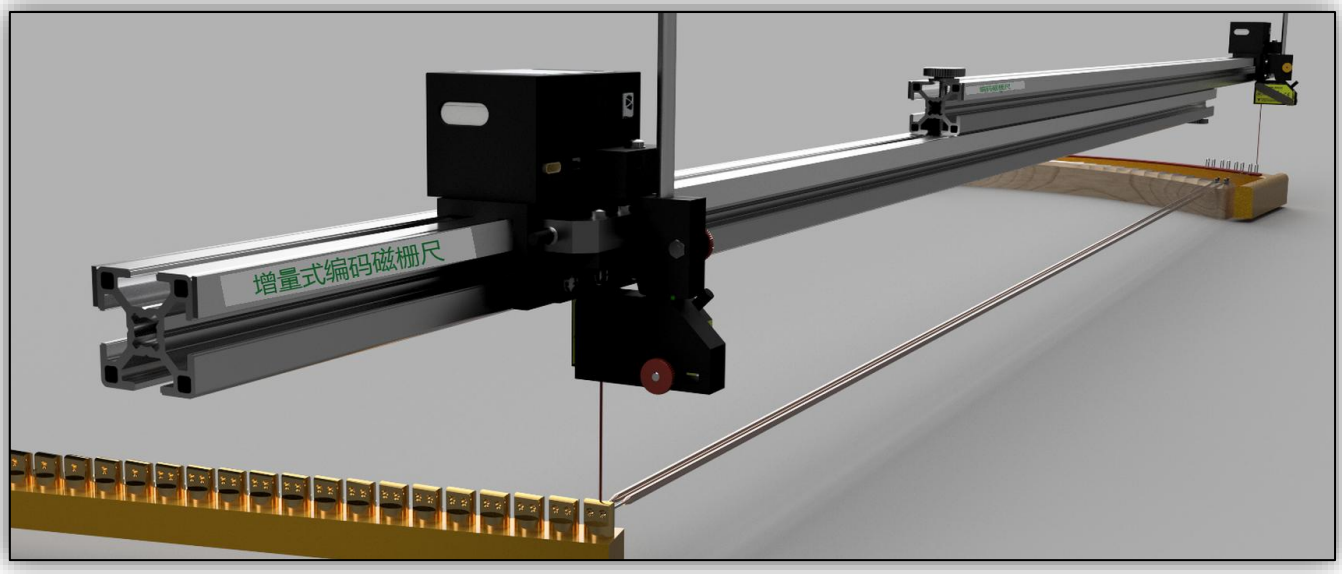


全部调整完毕后，再次完整扫过整组同音弦组以复测验证最终共面效果。





版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



7 功能“scale design”——弦列测量 / 弦压

借助“scale design”功能可精确测定钢琴琴弦的各段长度。该功能需在同一导轨系统上同时协同使用两台测量设备。

由于单根导轨长度有限，通常仅能覆盖立式钢琴或小型三角钢琴；面对拥有超长琴弦的大型三角钢琴（如音乐会九尺大三角钢琴），可将两根导轨拼接联用并拉伸至所需总长，从而轻松覆盖极长弦列设计——即便全长 290 cm 的贝森朵夫帝国型（Bösendorfer Imperial）音乐会大三角钢琴的完整弦长亦能一举测全。

每根导轨均贴附有高精度磁栅带，两台设备各自内置独立的线性编码器以实时追踪自身在导轨上的位置，两台设备之间的精确距离即由二者位置读数之差计算得出。

两台设备之间通过专属建立的 Wi-Fi 无线链路实时互通各自的位置数据。

两台设备均配备独立的激光测距传感器。在纯弦长测量中，激光光斑主要用作精准瞄准起止测点的光学十字准星；激光自身的垂直测距数值仅在后文所述的弦压计算中参与运算。

设备在导轨上的布置方式：

将导轨架设在待测琴弦正上方。设备 1 置于琴弦前端有效起点处（即弦枕钮或压弦条处）；当拼接使用两根导轨时，设备 1 通常安装于下方导轨。

设备 2 置于琴弦后端：分别对准有效弦侧的前码钉（测定有效弦长 S 的终点）或铸铁板上的挂弦钉（测定总弦长 B）。当拼接使用两根导轨时，设备 2 通常安装于上方导轨。

借此可测定钢琴制造与修复中最核心的两项弦长参数：

- 有效弦长（S）——从前端有效起点（如弦枕钮 / 压弦条）至弦码前码钉的距离；
- 总弦长（B）——从前端有效起点至铸铁板挂弦钉的总距离。

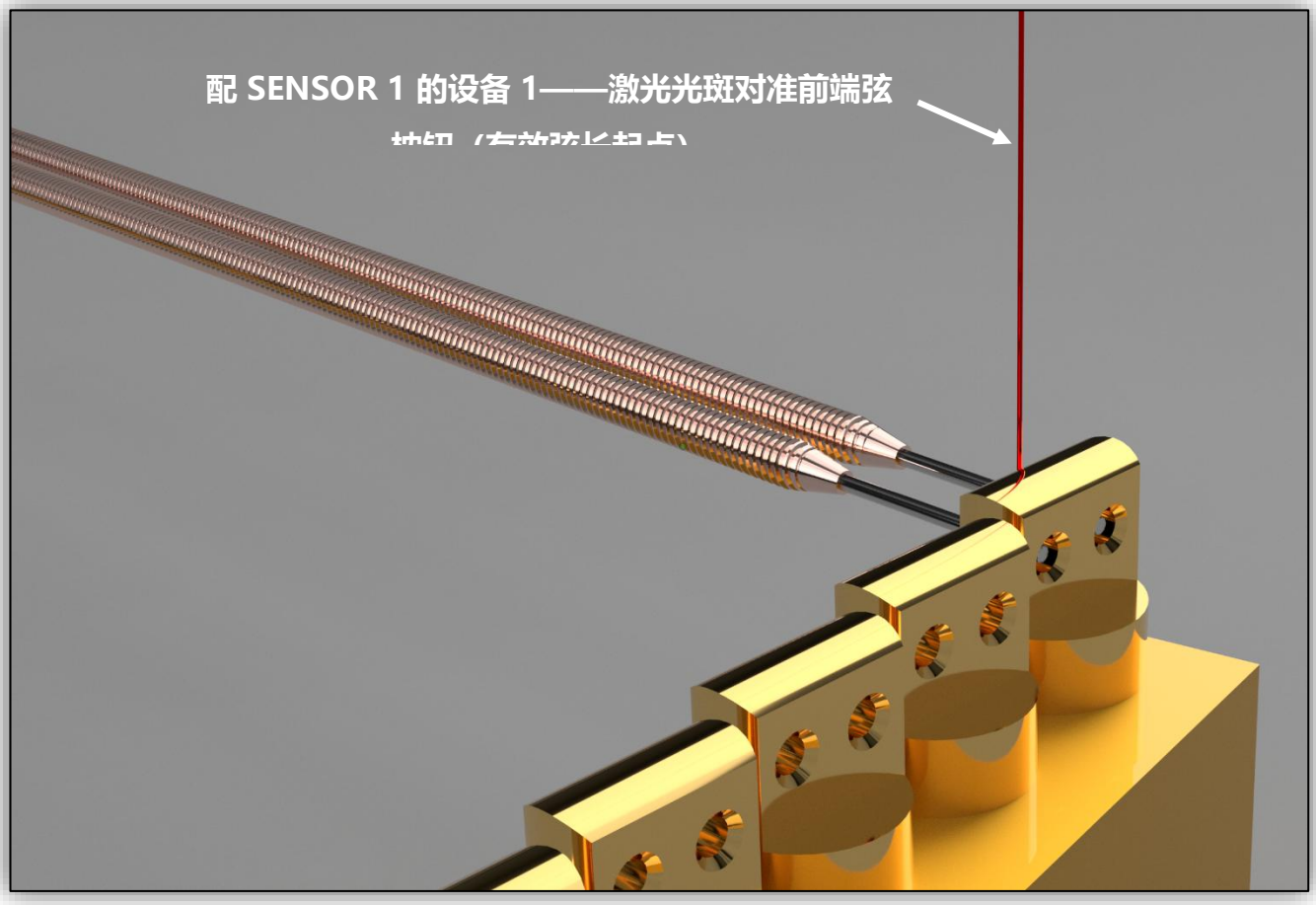
通常仅在低音区（以及包含低音过渡缠弦的中低音区）需要同时测定上述两项数据，以供定制绕制低音缠弦之用——低音缠弦制作商尤其需要挂弦段长度 A（即总弦长 B 减去有效弦长 S）以及总弦长 B 本身。

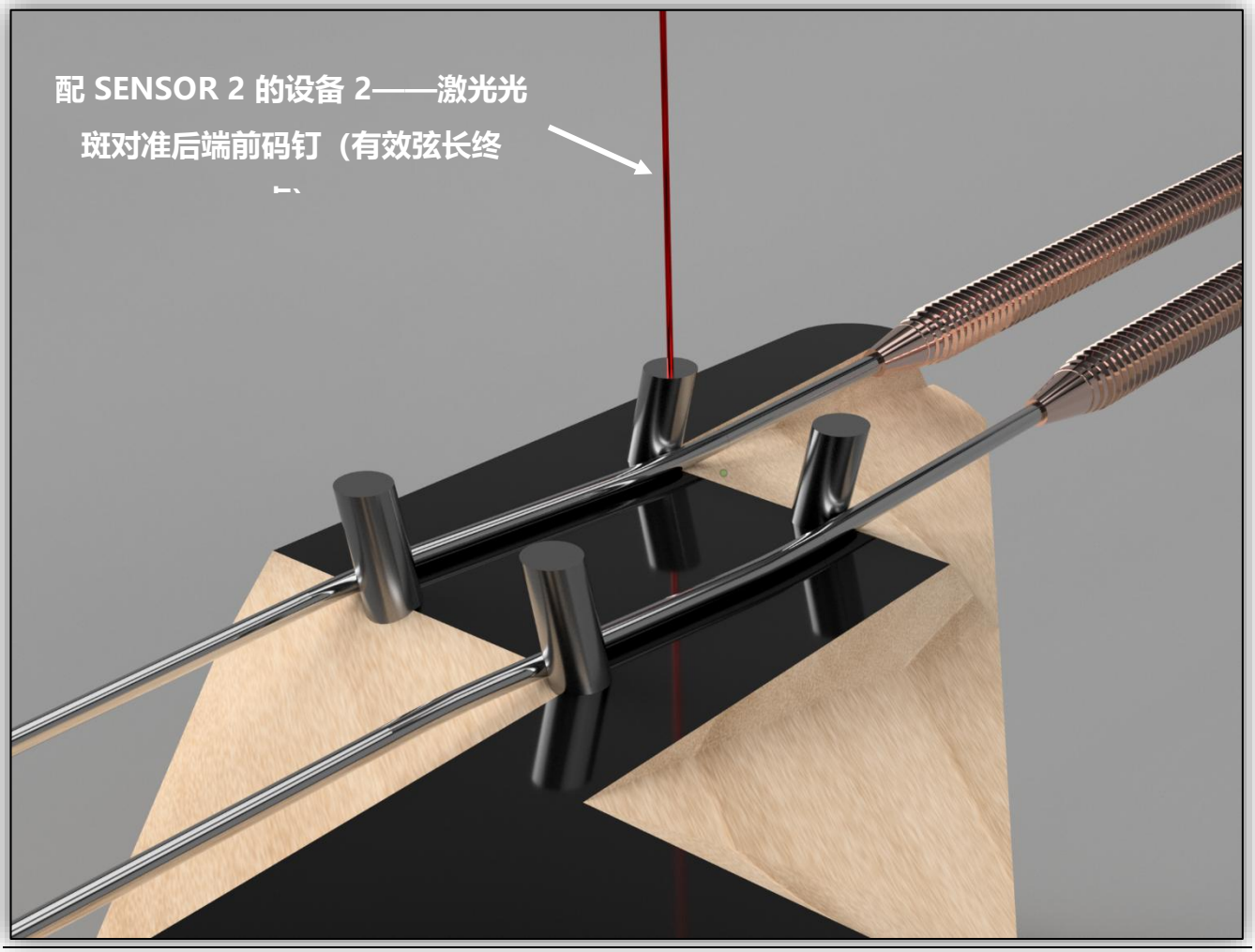
后续章节将统一沿用以下符号代号（A、B、S）：

- S = 有效弦长（弦枕钮 / 压弦条至前码钉）；
- B = 总弦长（弦枕钮 / 压弦条至挂弦钉）；
- A = 挂弦段长度（B - S）。

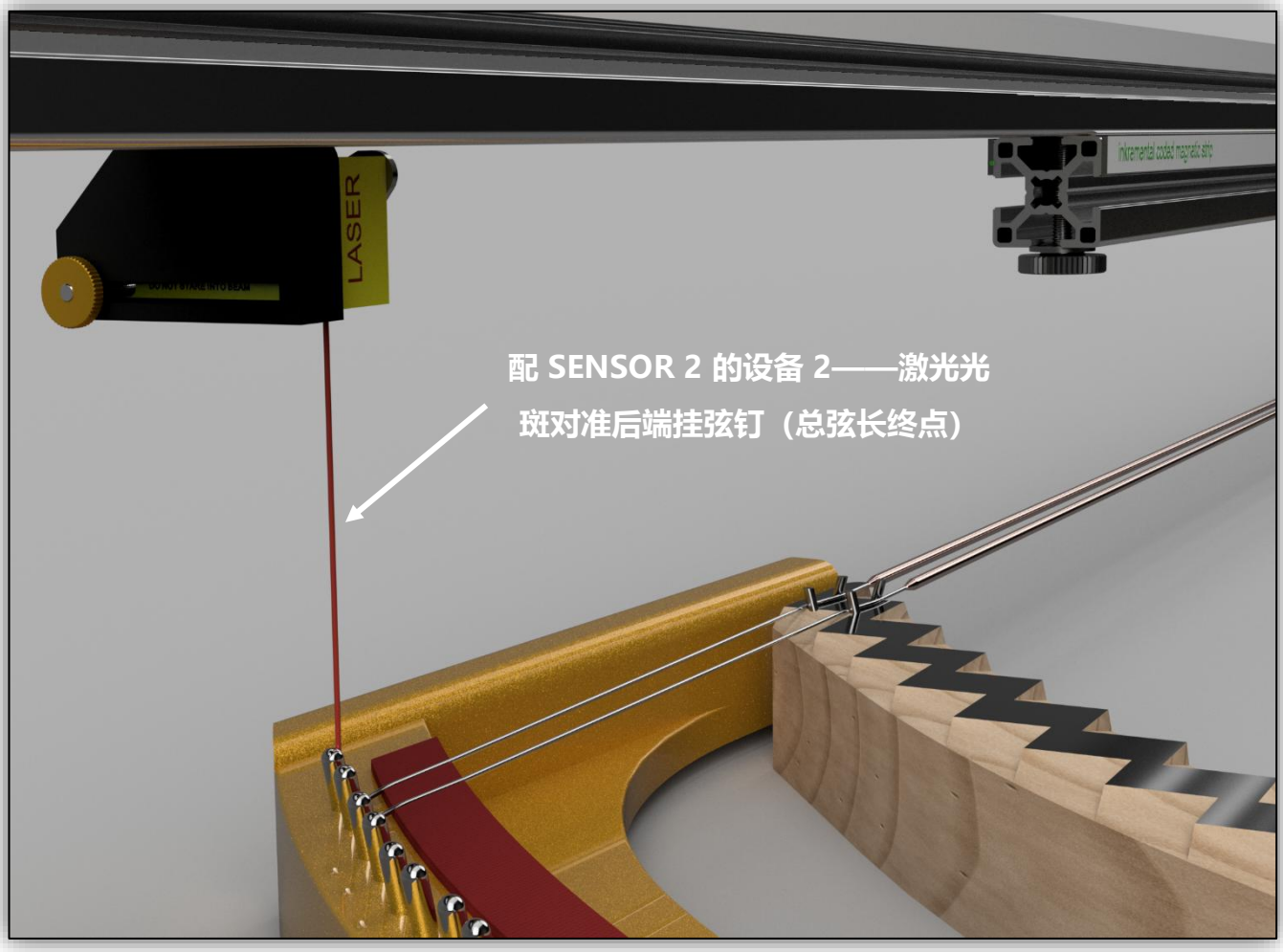
而在中音区与高音区，因全区均使用裸钢丝弦，通常只需测量有效弦长 S 即可，该参数亦是弦列设计分析与声学优化的核心依据。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen





版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

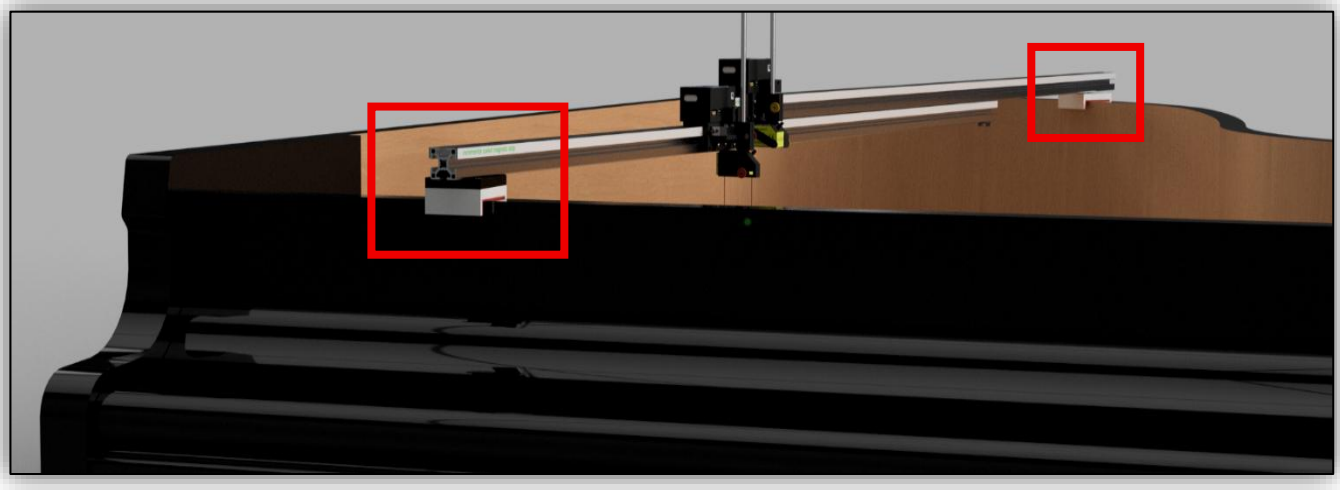


7.1 将导轨架设于琴弦上方



7.1.1 使用琴壳上的滑动毡垫（低音区的测量范围受限）

将导轨前端架在键盘前档上、后端架在三角钢琴琴壳后缘（Rim）上，底部由覆有柔软毛毡的专用滑板（毛毡滑块）支承，使整套导轨可在烤漆琴壳表面顺滑平移而不划伤漆面。滑板采

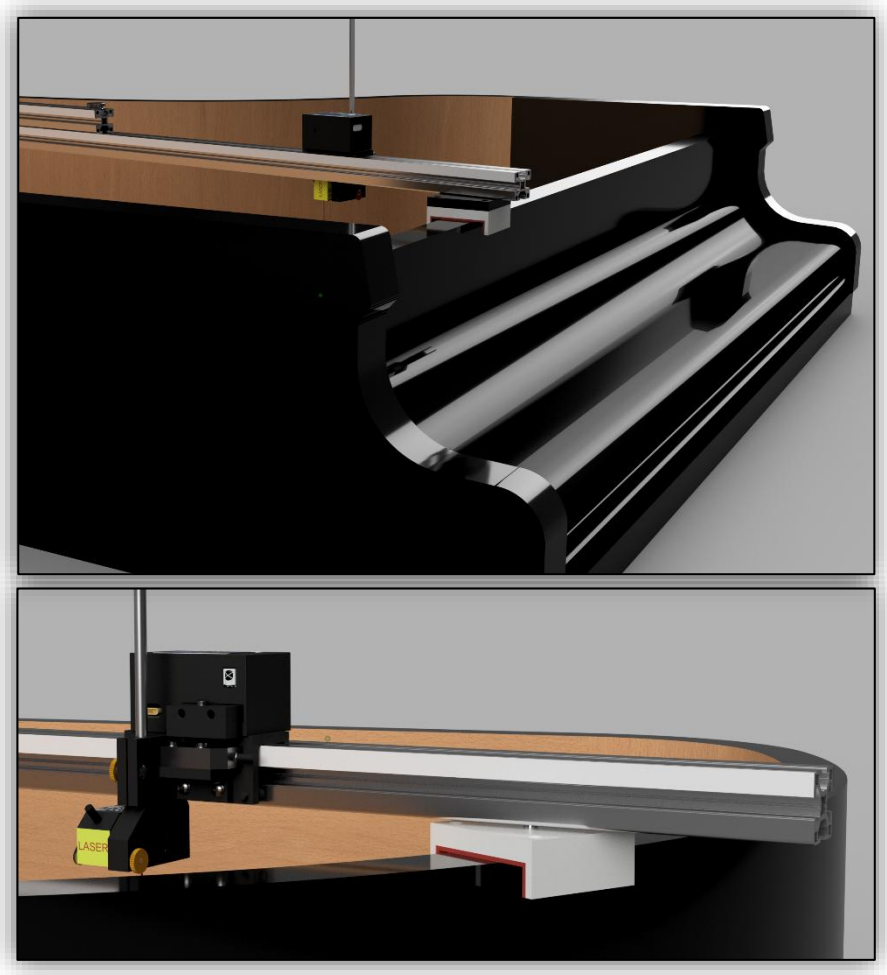


版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

用模块化设计，可通过插装垫高板精确调节导轨离琴壳的高度；每块滑板顶面均设有一枚导向销，嵌入导轨底部型材槽中以实现横向限位，便于逐弦平稳移位。

可通过沿导轨滑移测量设备，或整体平移导轨来将激光光斑对准目标测点。采用此架设方式通常无需拆卸三角钢琴大顶盖。

作为替代方案，也可在琴壳后缘与键盘前档上铺垫柔软绒布后直接搁置导轨。



传感器量程与适用区域：

进行弦压测量时，必须确保两台激光传感器在瞄准各自测点（前端对准弦枕钮或琴弦，后端对准弦码顶面及铸铁板挂弦区）时均处于各自的有效量程内。

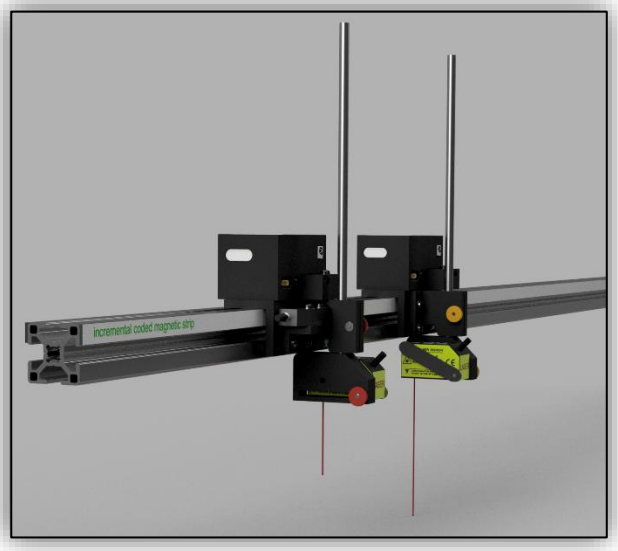
SENSOR 1 屏幕读数范围为 -15 mm 至 +15 mm（绝对量程 30 mm）；

SENSOR 2 屏幕读数范围为 -35 mm 至 +35 mm（绝对量程 70 mm）：

- -15 mm（-35 mm）= 最大可测距离（最远极限，尚可测量）
- +15 mm（+35 mm）= 最小可测距离（最近极限，尚可测量）

如果被测物体超出了相应的测量范围，显示屏上会显示“---”。同样地，当根据三角测量原理返回的激光束被障碍物阻挡时，也会出现这种情况。

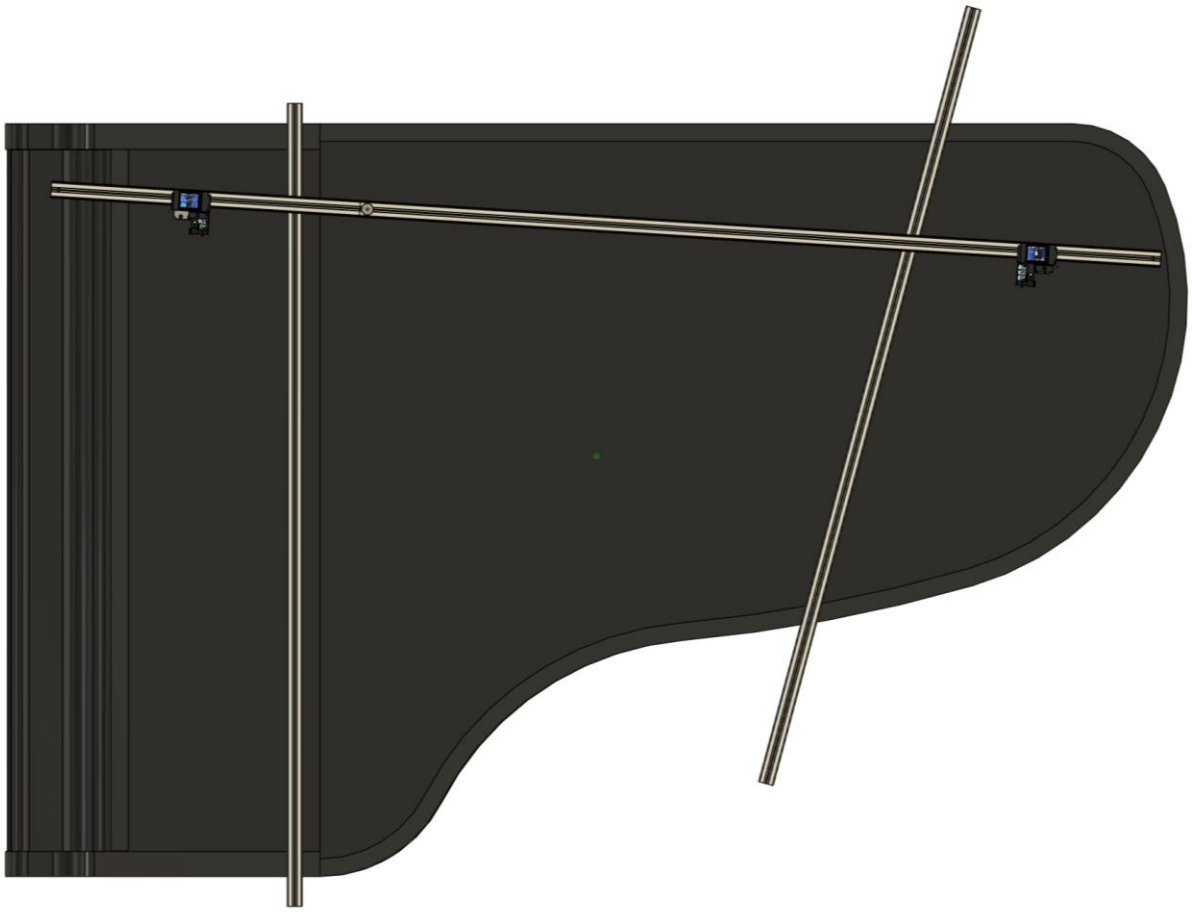
在“scale design”作业中，配 SENSOR 1 的设备 1 布置在前端挂弦定位处（弦枕钮 / 压弦条），配 SENSOR 2 的设备 2 布置在后端（弦码 / 挂弦区）。这种分工源于钢琴几何间距特征：因导轨前端支承于位置较低的键盘前档，弦枕钮或压弦条距导轨更近，正好契合 SENSOR 1 较短的量程；而后端弦码、尤其是挂弦区距离导轨远得多，因此必须采用量程更大的 SENSOR 2。



立式钢琴与小型三角钢琴仅需单根导轨：

测量立式钢琴或小型三角钢琴时，单根导轨通常已足以覆盖最长琴弦，此时两台设备同置于一根导轨上。仅在测量低音缠弦极长的大型音乐会三角钢琴时，才需要拼接两根导轨，并通常将设备 1 置于下导轨、设备 2 置于上导轨。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



7.1.2 横轨架设法（大多数应用推荐）

该方法将长导轨架设在两根横轨之上，而非直接支承于键盘前档与琴壳后缘。

若在较长的三角钢琴上将拼接导轨大幅伸展后仍直接支承于首尾两端，会带来若干弊端：导轨在两支点之间会产生明显的自重下垂（挠度），导致算出的弦压偏高零点几毫米；此外，在许多钢琴上，导轨在抵达前几根低音弦的弦枕钮之前便会顶撞侧边琴壳，且后端若挂弦钉紧邻琴壳后缘，直接搁在琴壳上的导轨也会妨碍传感器对准挂弦区测点。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

贝塞尔点支承的物理学原理

当一根截面均匀的导轨不支承于最两端，而是近似支承在所谓的“贝塞尔点（Besselpunkte）”上时，影响测量精度的自重下垂（挠度）会大幅衰减。贝塞尔点大约位于距导轨两端各五分之一（20%）总长的位置。

支点位置偏差几厘米并无大碍，其对弦压实测结果的影响微乎其微，实际应用中完全可以忽略。



因此，推荐在三角钢琴上方横向跨放两根工业铝型材作为横轨替代直接支承。实践证明约 1600 mm 的横轨长度可适配绝大多数三角钢琴型号。横轨构成一对抬高且稳固的支承桥，主测量导轨可搁置其上，沿任意待测琴弦走向自由转向对齐。



横轨并非绝对局限于铝型材，只要平直刚硬且在负载下不发生明显弯曲的木板、方木或同类刚性梁材均可胜任；但仍优先推荐使用市售标准工业铝型材——价格经济、全球易购、尺寸高度稳定，且易于贴附保护衬垫。

前横轨通常选用 30 × 30 mm 截面型材，后横轨则应选用 60 × 30 mm 截面型材（高 60 mm）：多出的 30 mm 高度恰好补偿了拼接导轨结构中上导轨相对下导轨抬高 30 mm 的落差，确保后端横轨稳稳托住上导轨。



为保护琴壳漆面，可用双面胶在横轨底面贴附柔软卡西米尔呢毡（Kasimirfilz），或者在各支承接触点垫放毛毡片、橡胶垫、硅胶垫、薄海绵等柔性防刮材料。

若主导轨架在两根横轨上出现轻微跷动，可在其中一处接触点适当加厚垫层（例如叠放两层或多层保护垫），直至主导轨完全稳固贴合、毫无虚浮。

如图所示，将前横轨横向架放于三角钢琴琴壳前段上缘。多数情况下无需彻底拆下大顶盖，必要时仅需在顶盖撑杆处借助辅助支撑将大顶盖略微支开更大角度即可。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

第二根横轨置于琴体后部，合理调整其前后位置以确保两台传感器能够无障碍覆盖整段待测弦列（例如完整的低音弦码连同挂弦区）。

主导轨首尾两端应分别伸出前后横轨外侧约总长的五分之一（20%），使两支承点近似落在贝塞尔点上，从而将导轨挠度降至最低（偏差数厘米不影响实用精度）。

采用横轨架设后，主导轨离琴弦的高度显著增加，此时琴弦等常规测面通常会落在激光测距传感器的有效垂直量程之外。

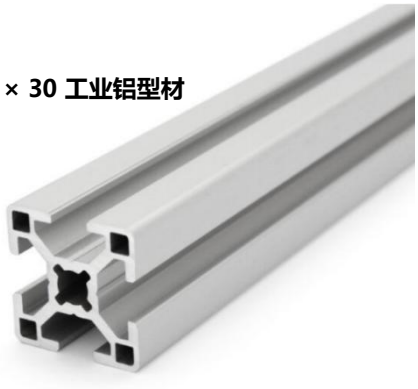
若是单纯进行弦长测量（例如为定制低音缠弦量取尺寸），这毫无影响，因为测长仅依赖线性编码器的水平位置读数，无需激光测距。

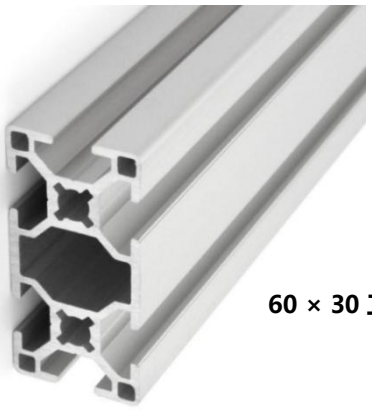
如果也需要计算弦压，可以使用新的测量圆柱来进行高度测量。这些测量圆柱能够弥补琴弦或承力点与激光传感器之间的额外距离，从而即使在采用抬高的横档结构的情况下，也能实现精确的四点弦压测量。具体操作步骤详见“四点弦压测量”一章。

实操要点速览

- 导轨自重挠度仅影响弦压测量，对纯弦长测量无影响。
- 仅在大型三角钢琴上大幅伸展拼接导轨并产生明显下垂时，挠度才需重点控制。
- 为最大限度减小下垂，两个支承点应位于距导轨两端约 20%（1/5）总长处。
- 小型三角钢琴往往直接架在键盘前档与琴壳后缘即可满足要求。
- 以下情形推荐使用横轨：
    - o 主导轨明显下垂；
    - o 起始低音弦的弦枕钮或后端挂弦区测点难以触及；
    - o 需要更灵活自由的转向定位。
- 推荐型材规格：
    - o 前横轨：30 × 30 mm，长 1600 mm（支承下导轨）；
    - o 后横轨：60 × 30 mm，长 1600 mm（支承上导轨）。
- 亦可用平直且刚性充足的木板、方木或其他轨道替代。
- 所有与琴壳接触的支承面均须用毛毡、橡胶、硅胶或海绵妥善防护。
- 若导轨跷动，适当加厚四个支承接触点中的某一处垫片即可调稳。
- 搭配横轨测量弦压时须配合使用测量圆柱，以弥补导轨抬高导致超出传感器常规垂直量程的距离。

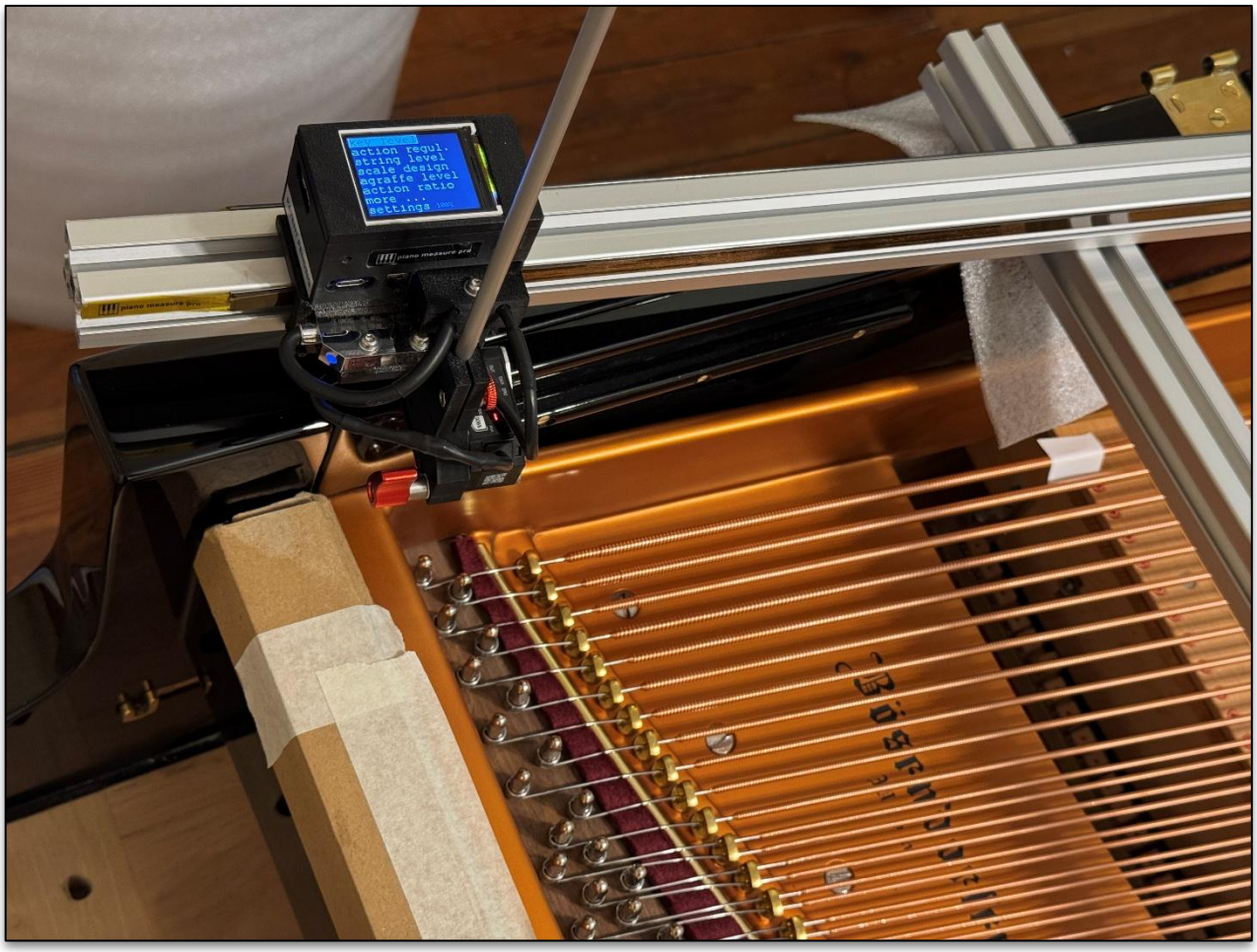
30 × 30 工业铝型材





60 × 30 工业铝型材

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

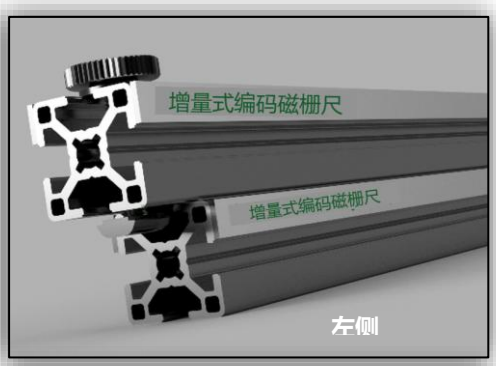


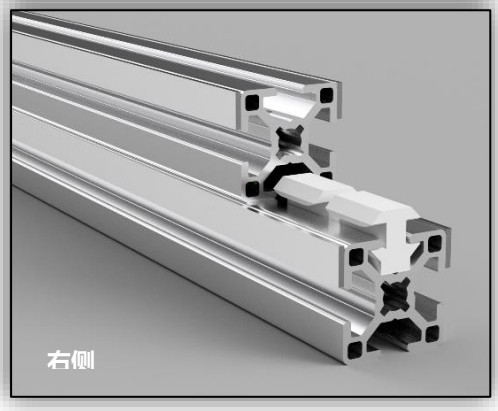


版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.1.3 拼接两根导轨







在大型音乐会三角钢琴上测量超长琴弦时，单根导轨长度不够，此时可将两根导轨拼接组合成一整套加长导轨。

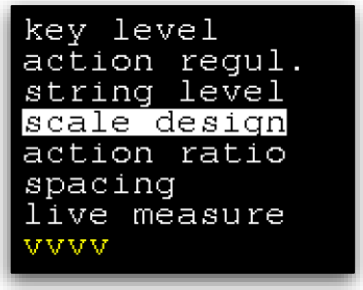
操作时，先将用于其他功能（key level、action regul. 与 string level）的带支脚短导轨从下导轨卸下，随后将第二根导轨叠加滑套在第一根导轨上方：

- 左侧：带长滚花螺钉的滑块螺母嵌入下导轨型材槽内；
- 右侧：两枚以过盈配合固定嵌于下导轨上槽内的滑块螺母，向上卡入上导轨的底部型材槽中。

两根导轨即可无旷量地顺滑伸缩，依据琴体尺寸拉至所需总长，最后拧紧左侧滚花螺钉即可将两根导轨牢牢锁固为一体。

7.2 调用功能

在两台设备的主菜单中均选择 scale design。此时两台设备即可预先并排置于导轨上的预定起始位置。由于红外遥控器会同时触发两台设备，必要时请遮挡红外视线逐台单独操作选择。

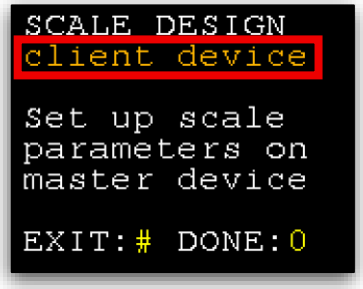


进入后屏幕会询问每台设备的角色（主机 Master 或从机 Client）：

- 在主机（Master）上按 OK 键确认。技师在主机上设定音域与挂弦结构、切换音位与单弦，并确认记录测量值；已有数据亦可在 Play 对话框中查阅。
- 在第二台设备上按 * 键选择从机（Client）。从机负责实时回传自身坐标及激光高度读数；位于前端有效弦长起点时，它还能接收显示主机算出的击弦点位置，并引导定位至该击弦点。



常规配置下，位于后端弦码及挂弦区的设备 2（配 SENSOR 2）作为主机（Master），位于前端弦枕钮或压弦条处的设备 1（配 SENSOR 1）作为从机（Client）。测长时将前端激光光斑稳稳对准前端基准点；寻找击弦点时再沿琴弦方向滑移从机即可。



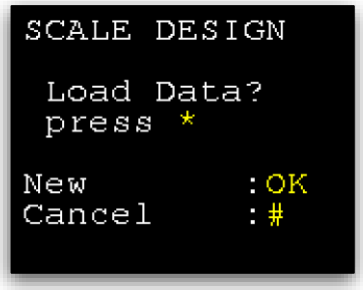
从机屏幕随后提示请先在主机端完成所有参数设置（Setup）；主机配置完毕后，在从机上按红外遥控器 0 键即可继续联机配对。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

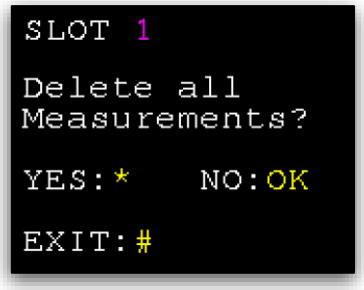
7.2.1 加载数据集（主机）

测量新钢琴时，在主机选择 New（按 OK 键），并在槽位列表中按数字键 1–9 挑选空闲槽位（FREE）；若所选槽位已占用（USED），请仔细核对后再决定是否覆盖。加载已有数据时，在 Load Data? 界面按星号键（*）并选定目标占用槽位，出现 Delete all Measurements? 询问时按 NO（OK 键）保留全部已存测量数据。

屏幕右上角数字标明当前槽位号。重新加载槽位时，若在 Delete all Measurements? 下选择 YES（*），系统将清空所有测量值但保留该乐器的基础挂弦设置（Setup）；执行清除前请务必核对槽位号。



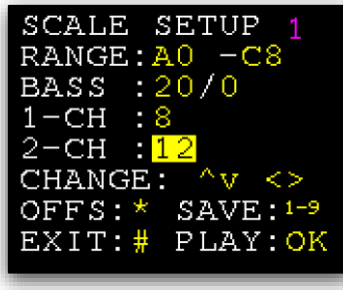




7.2.2 参数设置（主机）

在设置对话框中，可以定义该刻度的基本参数。

右上角，一个品红色的星号表示这是一个尚未保存到任何内存插槽（1–9）中的新数据集。如果某个数据集已经被加载，这里会显示其所占用的内存插槽编号。使用红外遥控器上的箭头键可以选中并修改各个参数。



首先设定钢琴的音域范围（RANGE）：

- 标准 88 键：A0 至 C8
- 音域较窄的钢琴（如 85 键）：按实际最低音与最高音设定
- 贝森朵夫帝国型（Bösendorfer Imperial）：C0 至 C8

BASS 栏定义低音缠弦音位的分布：斜杠前的数字表示位于低音弦码上的缠弦音数，斜杠后的数字表示位于高中音弦码上的附加过渡缠弦音数，二者之和即为缠弦总音数。

以施坦威 B 型（Steinway & Sons Modell B）为例，Setup 设为 BASS: 20/0：

- 低音弦码上共 20 个缠弦音位；
- 高中音弦码上附加过渡缠弦音位为 0。

每个低音音符都可以是单弦、双弦或三弦结构。

- 单音弦的数量是在“1-CH”字段中设置的。
- 在2-CH领域中，双弦的数量为……。
- 三和弦的数量是通过对低音音的数量与1-CH与2-CH之和进行差值计算而自动得出的。

图示示例中：

- A0 至 E2 共 20 个低音音位；
- A0 至 E1 为 8 个单弦组音位；
- F1 至 E2 为 12 个双弦组音位；
- 无三弦组低音，自 F2 起进入高中音弦码。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

按 * 键进入弦枕钮与压弦条偏置设置子菜单。在 Setup 界面按数字键 1–9 可触发保存：首次按键先打开槽位总览，随后在总览页中再按数字键选定最终目标槽位。

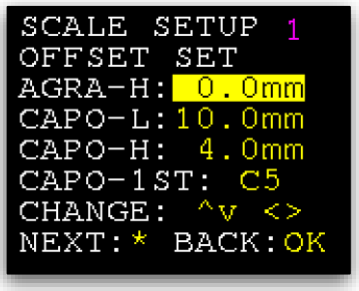


⚠ 若测量途中因电池耗尽意外关机，此前已采纳的测量值均已实时写入所选槽位；更换或充满电重启后重新加载该槽位，即可从中断位置无缝续测。

- 按 # 键取消 Setup 并返回主菜单。
- 按 OK 键确认应用全部设置、退出 Setup 并进入 Play 对话框（参见第 7.2.4 节“Play 对话框——调用已有测量值（主机）”）。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.2.3 偏置设置（主机）



在 Setup 界面按 * 键可打开偏置（Offset）设置对话框，用于录入需要叠加补偿至特定测量值的几何偏置参数。

操作是通过遥控器来进行的。

使用上下箭头键，可以以整步的形式更改当前选中的数值。

使用左/右箭头键，可以以0.1毫米为最小步长来精确调整数值。

使用星号键(*)，可以选中下一个参数。

点击“确定（OK)”后，会返回到主设置对话框。

可设定的偏置参数如下：

AGRA-H：用于弦压计算的关键高度偏置。当在琴弦前端直接以弦枕钮顶面为测点时（例如尚未挂弦状态），弦枕钮顶面高于实际琴弦穿孔位置。此处需填入弦枕钮顶面测点与琴弦穿孔位置之间的垂直高度差，设备 1 测得的高度值随后会自动扣除/修正该偏置，确保读数等效于琴弦真实高度。

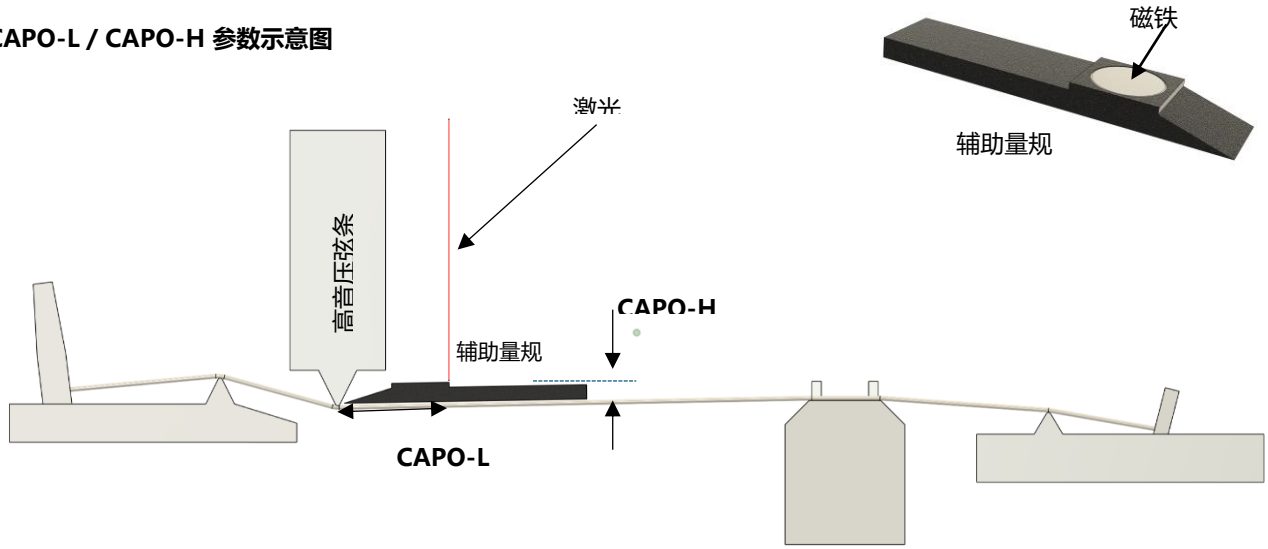
CAPO-L：用于弦长计算的长度偏置。在由压弦条（而非弦枕钮或立式钢琴弦枕）限定有效弦长起点的区段，压弦条会遮挡来自正上方的激光束，无法直接瞄准压弦点。此时需使用辅助量规：将其平放在压弦条前方的琴弦上并推至紧贴待测弦的压弦棱（弦枕）处，激光改为瞄准量规上的标记测点，再将量规紧贴压弦棱的前端至该测点之间的距离填入 CAPO-L。

⚠ 重要提示：该偏置仅对实际受压弦条限定的音位生效，起始生效音位由 CAPO-1ST 指定。

CAPO-H：用于弦压计算的高度偏置。当无法直接测量琴弦而需借助辅助量规承接激光时，在此填入辅助量规自身厚度作为高度修正量。

CAPO-1ST：定义三角钢琴上由压弦条限定起点的第一个音位。自该音位起向高音方向，CAPO-L 与 CAPO-H 偏置自动生效。

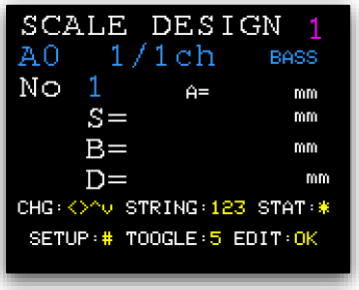
CAPO-L / CAPO-H 参数示意图



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.2.4 Play 对话框——调用已有测量值（主机）

确认退出 Setup 后即进入 Play 对话框，可在此翻阅并核查已采集保存的各项测量数据。



屏幕逐音显示当前所选单弦的已有测量值（若有记录）：

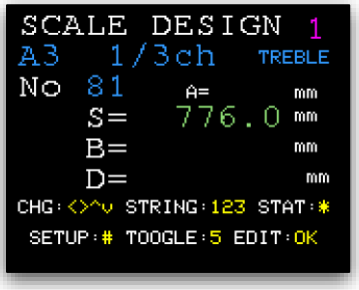
- S = 有效弦长
- B = 总弦长
- D = 弦压
- A = 挂弦段长度（B 减 S）；或者切换显示由 S 推算出的该弦击弦点（SP）。

在 Play 对话框中按 5 键（TOGGLE）可在 A 与 SP 之间切换，同时循环切换弦压与弦码倾角的显示单位。D 提供三种单位：

- D（mm，毫米高比
- D（%，坡度百分比
- D（度，弦码压角）
- T（mm，毫米高差）
- T（%，坡度百分比）

显示完 D 后，继续按键可按同样三种格式查看弦码倾斜 T。在测量模式中，按键 5 的作用取决于当前选中的行：在 S 或 B 行切换 A 与 SP，在 D 行则循环切换 D 和 T 的六种显示方式。

首幅屏幕示例因尚未录入任何数据而显示空白；后续示例图中已保存的测量值均以绿色显示。



导航操作

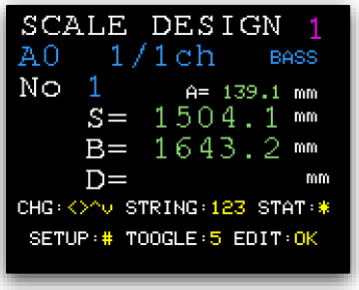
- 左右方向键切换至上一音或下一音。
- 上下方向键整八度快速跳转（例如由 C1 直接跳至 C2）。
- 数字键 1–3 选择同音弦组内的目标琴弦；翻阅后续音位时，只要该音具备相应弦数，所选弦序将保持沿用：

在单弦范围内，仅显示一根琴弦。在双弦范围内，可以选择第一根或第二根琴弦。在三弦范围内，可以选择1至3号琴弦。

实务中，低音区通常需测全每个音的每一根琴弦（定制低音缠弦所必需）；而中高音区一般每音只需测 1 根弦即可，因为弦列分析与声学优化主要以有效弦长 S 为核心依据。

屏幕信息布局

- 第一行：右侧以品红色显示当前存储槽位编号。
- 第二行：左侧显示音名（如 A0、C4），紧邻标明当前弦序与弦组弦数（例如 2/3ch 表示选中三弦组中的第 2 根弦）；右侧显示区段标识 BASS 或 TREBLE，进入压弦条区段时额外显示 TREBLE (CAPO)。
- 第三行：显示全琴累计琴弦序号，旁边随切换显示挂弦段长度 A 或击弦点 SP（计算 A 须同时具备 B 与 S，计算 SP 仅需 S）。
- 下方依次列出毫米单位的 S 与 B；最末测量行则按当前所选视图显示 D 或 T 的代号与单位。



功能控制

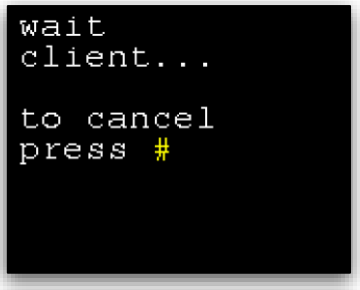
按 * 键（SETUP）返回参数设置界面（在 Setup 界面按 # 键退出整项功能；如弹出保存提示，请先确认再退出）。

按 OK 键离开 Play 对话框并进入测量采集模式（EDIT）。

若两台设备尚未完成联机标定，系统将自动先跳转至配对标定对话框。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.2.5 连接设备（起始位置）

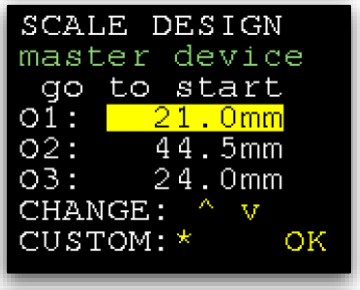


主机（Master）

首次调用本功能且两机尚未联机标定时，在 Play 对话框按 OK（EDIT）后会自动进入配对对话框。

若屏幕显示“wait client...”，说明从机尚未进入配对就绪状态，主机将保持等待直至从机切入配对模式（见下页“从机”）。在等待界面随时可按 # 键中止返回。

从机启动配对后会自动接入主机自带的 Wi-Fi 接入点，全程无需外部无线路由器。连接成功后，主机屏幕即弹出起始位置偏置选择菜单。



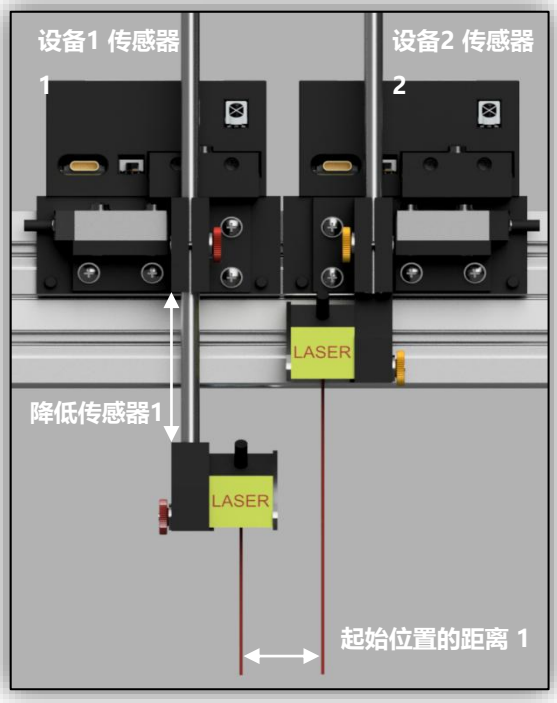
系统预设了三种典型起始位置方案：

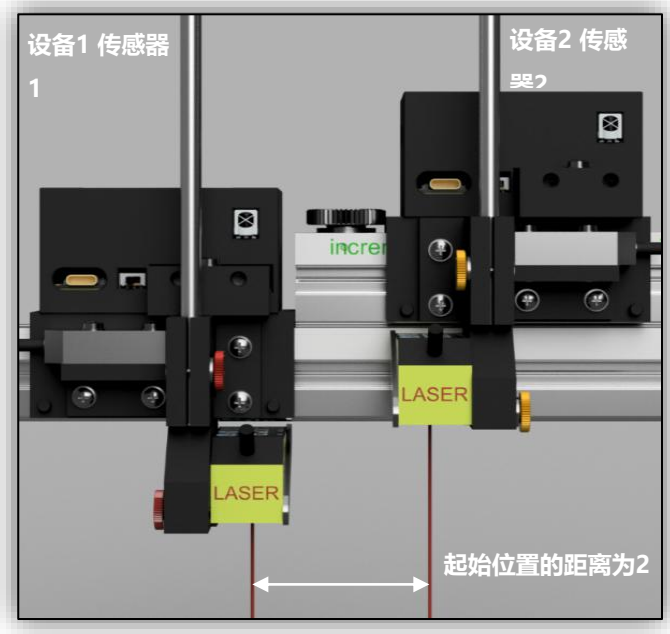
1. 1. 两台设备并排置于同一根导轨上（适用于立式钢琴、小型三角钢琴或一般高音区），且设备 1 的传感器臂已下放（须在主机端设定 OFFSET H1，见下文）；
2. 设备 1 置于下导轨、设备 2 置于上导轨（适用于低音 / 中音区超长琴弦的拼接双导轨架设）；
3. 与起始位置 1 相同，但传感器臂未下放（仅适用于不需激光测距数据的纯弦长测量 -> 不计算弦压）。

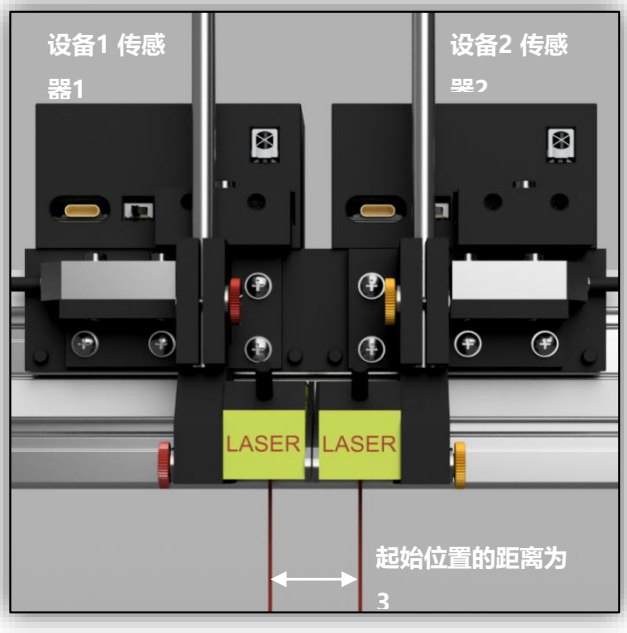
内置的偏置值对应各起始并排状态下两个激光光斑之间的固有间距，系统会在后续计算弦长时自动加计。使用上下方向键选择当前实际架设对应的偏置组即可。

计算弦压时须同时调用两台激光测距传感器的垂直高度读数；当两台设备同置于一根导轨上时，必须将 SENSOR 1 下放，方可使其进入有效垂直量程。

在测量过程中可随时打开此菜单并切换偏置。例如测完低音区和中音区的超长琴弦后，可在高音区将两台设备并排放在同一根导轨上，并为新布置选用相应的偏置。







版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

从机（Client）

待主机完成 Setup、按 OK 退出 Play 界面并显示“wait client...”后，在从机上按 0 键即可发起联机。随后屏幕提示将从机滑移至起始贴靠位置（如尚未就位）。

确认两台设备已准确停靠在起始位置后，在两台设备上分别按 OK 键确认。主机所选偏置即刻生效，两机同步进入测量模式。

连接故障排查提示

若两机无法配对，或实时测量数据刷新不流畅，可在主机上为自带接入点（Soft-AP）更换无线信道：重启两台设备，在主机启动界面直接按 1 键切换至干扰较少的其他信道（参见第 2.7 节“设备开机”）。





7.3 设定起始位置偏置

在主菜单打开 settings，用方向键选中 offsets 并按 OK 进入，即可设定各起始位置的偏置参数，所有单位均为毫米（mm）。

重要提示：起始位置偏置始终在主机（Master）中设定并生效，从机（Client）内的偏置设置不参与计算！

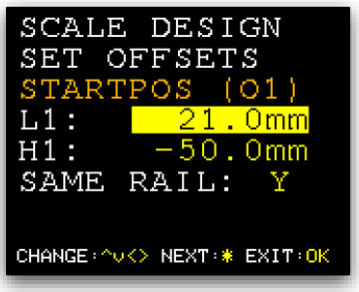


起始位置 1——两机同置一根导轨（SENSOR 1 下放）

在 offsets 菜单中先核对设备与导轨基准差值，按 * 键（NEXT）切换至 STARTPOS (O1)。L1 表示两个激光光斑之间的水平间距，H1 表示附加高度修正量；此架设下将 SAME RAIL 设为 Y。

L1 可用卷尺实测两机贴靠在起始位置 1 时的激光光斑中心距。出厂预设值匹配随附标配构型；更换传感器或结构件后请重新复测。

本例中 SENSOR 1 向下多下放了 50 mm，因此 H1 设为 -50 mm，从而将两台传感器的垂直高度读数统一换算到同一水平基准面（架设示意参见下页“传感器臂下放”图）。

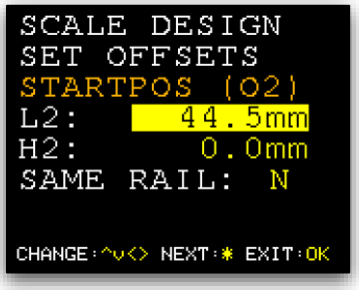


起始位置 2——两机分置拼接双导轨

按 * 键跳过 O1 各项进入 STARTPOS (O2)。拼接使用两根导轨时，须将 SAME RAIL 设为 N。

此架设下两机分置上下两根导轨，起始间距随之增大，故长度偏置 L2 大于 L1。

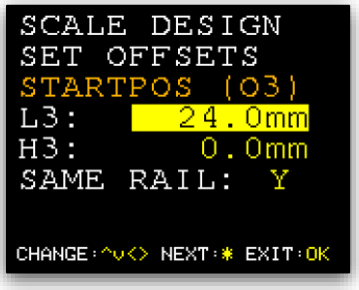
当 SAME RAIL 设为 N 时，PMP 会自动计入上下导轨高度差 RAIL DIFF（对于设备 2 位于高出 30 mm 的上导轨的常规构型，主机设备 2 上的 RAIL DIFF 为 -30 mm）。因此本例中 H2 应保持 0.0 mm，切勿在 H2 重复填写 -30 mm，否则会导致同一 30 mm 高度差被重复扣除两次。



起始位置 3——两机同置一根导轨（未下放）

按 * 键切至 STARTPOS (O3)，两机同轨故将 SAME RAIL 设为 Y。

该配置适用于纯弦长测量，两个激光光斑直接瞄准首尾测点；传感器高度未变动时 H3 设为 0.0 mm。



按#键可返回上一级。O4和O5可用于其他设置。

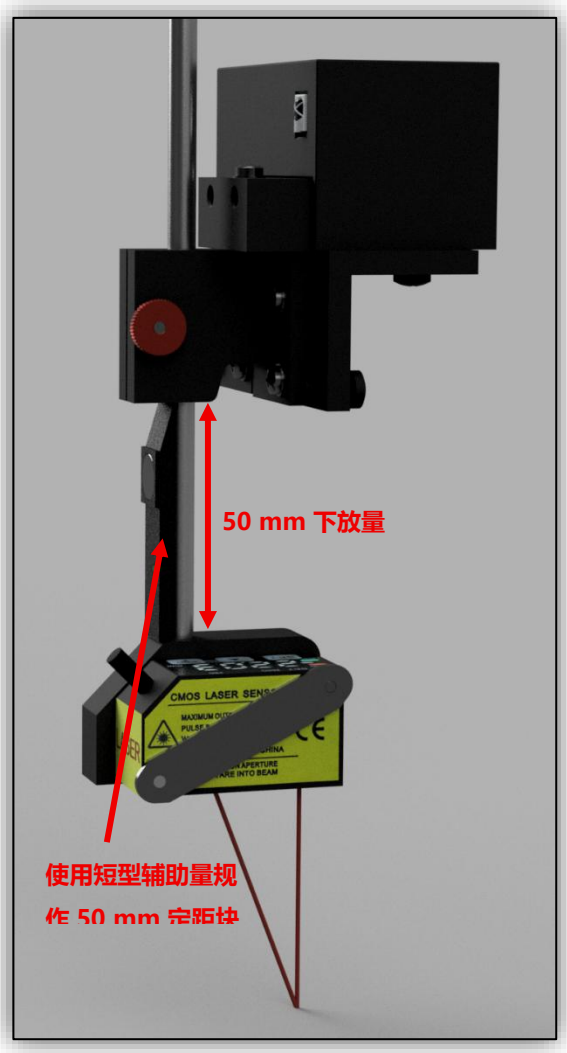
当系统提示保存时，按下“确定（OK）”按钮即可完成操作并确认所更改的数值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

传感器臂下放（起始位置 1）：

在起始位置 1 下，须将 SENSOR 1 的传感器臂精确下放 50 mm 以进入有效垂直量程；若不下放，激光测距传感器位置偏高，多数情况下会超出量程。

但弦压测量要求两台传感器在各自测点均能取得有效高度读数。为精确设定 50 mm 下放量，可将长度恰好为 50 mm 的短型辅助量规如右图所示夹持在部件间隙间作定距块，随后拧紧滚花螺钉锁死即可。



压弦条区段测弦专用辅助量规：

偏置参数 CAPO-L 与 CAPO-H 需结合具体钢琴的结构尺寸选定：

若压弦条较宽、辅助量规需向内伸入较深，应选用较大的长度偏置（本规为 22 mm）；

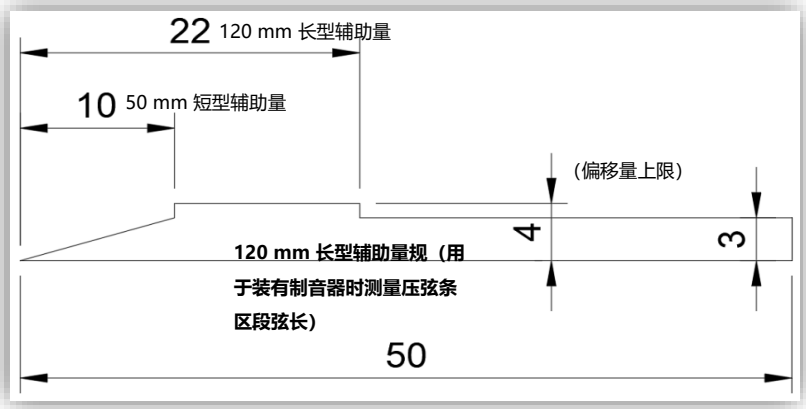
其他常规情况选用较小偏置（本规为 10 mm）即可。

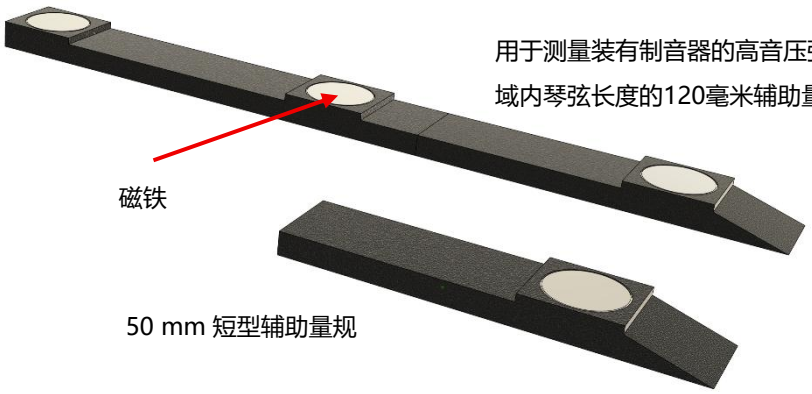
若琴内装有制音器，在制音区段很难安放 50 mm 短型辅助量规，此时请改用 120 mm 长型辅助量规：将其从抬起的制音器下方直接滑入，顶紧至压弦条弦枕棱（有效弦长前端界线），再将激光光斑对准辅助量规上的两个标记测点之一即可。

系统会根据录入的偏置值自动补偿修正，直接输出真实有效的弦长读数。

激光光斑在辅助量规上的瞄准技巧：

测量弦长时，将激光光斑精确对准对应台阶边缘（10 mm 处或 22 mm 处）；由于该处专门设计了 1 mm 高度台阶，只要看到高度读数突然跳变 1 mm，即表明光斑精准压在台阶棱边上。而测量弦压时，激光光斑应居中对准量规上的磁铁圆面，此时将 CAPO-H 偏置设为 4 mm——测弦压时无需像测弦长那样严格压准台阶棱边。





用于测量装有制音器的高音压弦条区域内琴弦长度的120毫米辅助量规

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

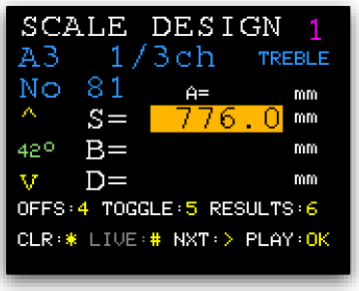
7.4 测量模式（采集测量值）



在两台设备上均按 OK 键确认起始位置后，主机与从机同步进入测量模式。此时屏幕数值转为橙色显示（与 Play 浏览模式的绿色显示相区分）。

沿导轨滑移设备时，两机屏幕实时刷新彼此间距。测量时将两处激光光斑分别精准瞄准待测琴弦的起点与终点，随后在主机端按键确认采纳当前读数，数据即永久写入当前选定的存储槽位。

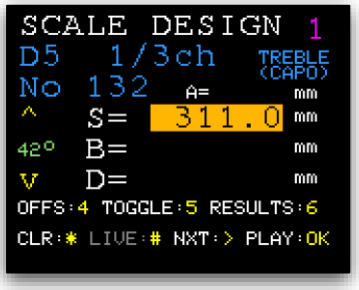
7.4.1 主机（Master）



主机屏幕布局与 Play 模式高度相似（参见第 7.2.4 节），仅数值颜色由绿色变为橙色。整个测量流程的切换与录入完全由主机端掌控。

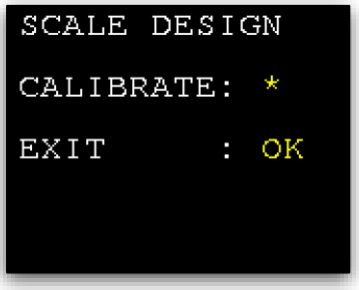
屏幕显示内容

- 第一行（右侧）：品红色当前存储槽位号。
- 第二行：音名、当前弦序与总弦数（如 1/3ch = 三弦组第 1 根弦），以及 BASS 或 TREBLE 区段标识（压弦条区段额外显示 TREBLE (CAPO)）。
- 第三行：全琴累计琴弦序号及 A 或 SP（当光标停在 S 或 B 时，按 5 键可在挂弦段长度 A 与击弦点 SP 间切换）。
- 下方各行：当前所选单弦的各项实测值：
  - S = 有效弦长（弦枕钮至有效弦侧前码钉）
  - B = 总弦长（弦枕钮至挂弦钉）
  - D = 弦压（参见第 7.4.3 节“四点法弦压测量”）



按键指令与导航

- 左右方向键：采纳并切换至上一根 / 下一根琴弦或音位。
- 上下方向键：在 S、B、D 三项参数之间切换。
- 数字键 1–3：直接选择当前音位内的第 1、2 或 3 根琴弦。
- 数字键 9：将屏幕旋转 180°。
- 星号键（*）：清除当前高亮参数的已存读数。
- 井号键（#）：开启或关闭 LIVE 开关（白色表示开启，灰色表示关闭）。若使用新版网页界面，直接打开 SCALE 并点击 Start LIVE 即可实时接收新数据，无需在 PMP 上打开此 LIVE 开关；仅在使用旧版 Excel 实时传输时才须在 PMP 开启 LIVE 并在 Excel 端启动接收（详见第 7.5 节）。
- OK 键：弹出中转对话框，提供两项选择：
  - 再按 OK 键退回 Play 模式：测量模式仅支持逐音翻阅，而 Play 模式支持用上下方向键整八度跳转；如需快速跨过大量音位，建议暂切至 Play 模式跳至目标音，再按 OK 返回测量模式。
  - 按星号键（*）进入起始位置标定对话框：例如测完低音及中音区超长琴弦后进入高音区，将两机改为并排同置单根导轨时，须在此重新切换偏置并标定。



低音区与高音区高效采集逻辑

低音区（BASS）具备一项省时联动机制：

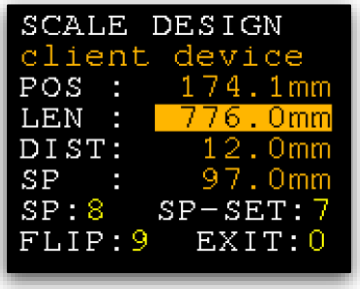
测完某一音位第 1 根弦的有效弦长 S 后，按下方向键切至参数 B，瞄准挂弦钉测完 B 后按右方向键（NEXT）确认。进入同一音位的第 2 或第 3 根弦时，因同音弦组内有效弦长通常相等，系统会自动沿用第 1 根弦的 S 值并直接将光标停在参数 B 上（若确有差异，随时可按上方向键退回 S 重测）。如此只需先对准前码钉测首弦 S → 移至挂弦钉测首弦 B → 按右方向键切至第二弦直接测其挂弦钉 B；三弦组依此类推，双弦组按右方向键即直接跳入下一音位的第 1 根弦并回到前码钉测 S，大幅提升低音区采集效率。

高音区（TREBLE）采集流程更为精简：

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

测得某音的有效弦长 S 并按右方向键（NEXT）确认后，系统直接跳转至下一个音位——即每个音默认仅测第 1 根弦的有效弦长 S，因高音区通常无需总弦长 B 且同音弦组内各弦有效弦长一致，单弦 S 数据已足以满足弦列分析与优化需求。

7.4.2 从机（Client）



从机屏幕实时显示自身坐标、两机激光光斑间距及其传感器垂直读数。在非弦压测量状态下，还可直接在从机上寻找主机当前所选琴弦的击弦点位置。

屏幕显示项

- POS：从机在导轨上的相对位置坐标。
- LEN：两台设备激光光斑之间的实时水平距离。
- DIST：从机激光测距传感器的垂直测距读数；SP 表示从主机同步接收的击弦点目标距离。

从机操作

- 按数字键 9 可将屏幕旋转 180°。
- 长按数字键 0 约 2 秒即可退出从机模式。

提示：向德国海勒（Hellerbass）订购低音缠弦时的测点规范

如需按德国海勒低音弦厂（Hellerbass）的测量标准采集数据下单，必须严格遵循其指定的基准测点，以确保尺寸完全兼容：

挂弦钉测点：

激光光斑须落在紧贴挂弦钉内侧前方的铸铁板底面上。操作时先将光斑直射在挂弦钉顶部，再缓慢向弦码方向（内侧）微移传感器，光斑会顺着斜插的挂弦钉滑落至铸铁板底面——光斑刚刚落底且紧贴挂弦钉根部的位置即为准确测点。

弦枕钮测点：

在前端将激光光斑精确压在弦枕钮内侧棱边上。先将光斑对准弦枕钮顶面，随后缓慢向有效弦长内侧微移传感器，直至光斑刚好跨过边缘下坠——此时肉眼可见光斑一分为二，一半仍留在弦枕钮顶面，另一半落于其前方空处。借此可极高精度且高重复性地锁定边缘。

有效弦侧前码钉测点：

前码钉采用完全相同的方法：先将光斑直射在前码钉顶端，再缓慢微移至边缘，待光斑跨越棱边明显分裂为两个光点瞬间，即达到标准测点。

只要全程严格恪守上述三处对点手法，所测得的长度数据便与 Hellerbass 低音缠弦定制工厂的尺寸标准丝毫不差。

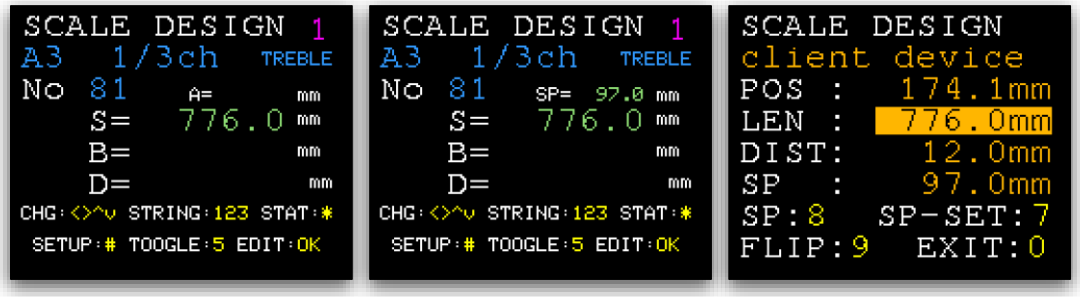
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

测定琴弦的击弦点（SP）

击弦点（Strike Point，简称 SP）是指从有效弦长前端起点至预定弦槌击弦位置之间的理论距离，以主机上存储的当前弦有效弦长 S 为计算基础。在 A4 及以下音域，击弦点比例恒为有效弦长 S 的 1/8；进入 A4 以上高音区后，PMP 会按声学规律随音高升高自动递减击弦点比例。

1. 在主机端选择音位与琴弦

在主机上选中 A3，在 Play 对话框按 5 键切换显示 SP（测量模式下须先高亮 S 或 B 再按 5 键）。参考施坦威 B 型数据表，A3（第 37 音）有效弦长为 776 mm，其 1/8 恰好为 97.0 mm，技师需自有效弦长前端起点向后量取该距离。



主机在 A3 音位切换显示 SP 前后的对比画面；右侧从机同步显示完全一致的 97.0 mm 目标击弦点距离。

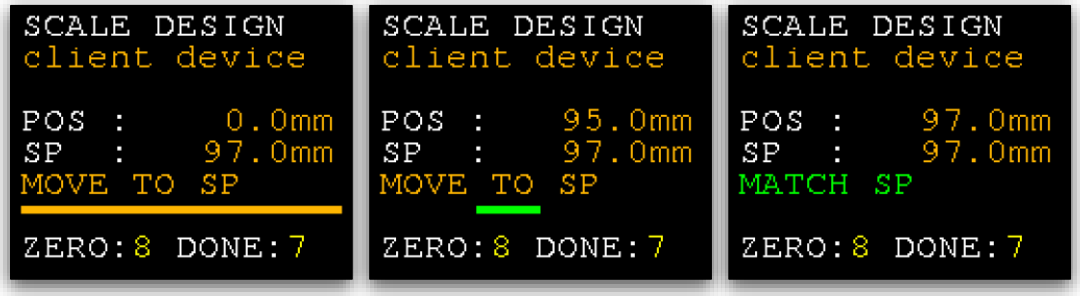
2. 在从机端设定前端零点基准

每当主机新测或修改有效弦长后，从机会自动接收更新后的 SP 值；若在主机切换了其他音位或琴弦，请核对所选音位并在从机上按 8 键拉取对应 SP 值（若尚未测 S 请先采集有效弦长；若显示 SP:ERR，请检查无线连接并重试）。

将从机激光光斑精准对准弦枕钮或压弦条处的实际有效弦长起点（若借用偏移辅助标记，请自行换算其距实际起点的差值）。对准后在从机按 7 键（SP-SET），PMP 随即把当前 POS 坐标归零为 0.0 mm 作为寻找起点。

3. 滑移定位至击弦点

沿琴弦方向朝主机一侧滑移从机，屏幕 POS 实时显示已移动距离，SP 锁定显示目标值；进入目标值 ±5 mm 范围内时，进度条提供精细微调引导。当屏幕显示 MATCH SP 并响起确认提示音时，激光光斑所在处即为理论击弦点。立即在琴弦上标记该光斑落点：日后胶粘新弦槌时可据此对准弦槌顶点；后续执行 STRING SCAN 时可将导轨对齐这些击弦点标记，确保激光精准沿击弦线扫弦，从而在工作台整理、STRING LEVEL 与 AGRAFFE LEVEL 作业中全程复用同一条基准测量线。操作中按 8 键可在当前位置重新归零，按 7 键（DONE）退出返回常规显示界面。



左图：激光光斑位于有效弦长前端起点（归零位）；中图：滑行至 95.0 mm，距目标尚差 2.0 mm；右图：抵达 97.0 mm，屏幕以 MATCH SP 确认命中击弦点。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.4.3 四点法弦压测量

弦压测量现已升级为四点独立采集法，不仅能精准测定弦压 D，还能同步获取弦码倾角 T（Bridge Tilt）。

传统三点测量仅采集前端点、单一点弦码高度及挂弦点；全新的四点测量则明确区分前码钉与后码钉两处高度，从而自动识别琴弦经过弦码顶面时是正常向后下斜还是反向上翘，并依据琴弦的实际支承折角精确解算弦压。



定义：

此处弦压 D 表征琴弦在弦码处的几何向下偏折程度，同时支持以毫米（mm）、百分比（%）和角度（°）表示。系统先从前端测点（弦枕钮、弦枕或压弦条）的琴弦上沿向弦码上的有效支承点引出一条虚拟基准直线：正常情况下有效支承点为前码钉（有效弦侧码钉）；但若弦码顶面向后反翘、导致琴弦在前码钉处“架空悬虚”，系统则会通过实测弦码倾角 T（TILT）自动识别该异常工况，并改以后码钉作为有效折角支承点。

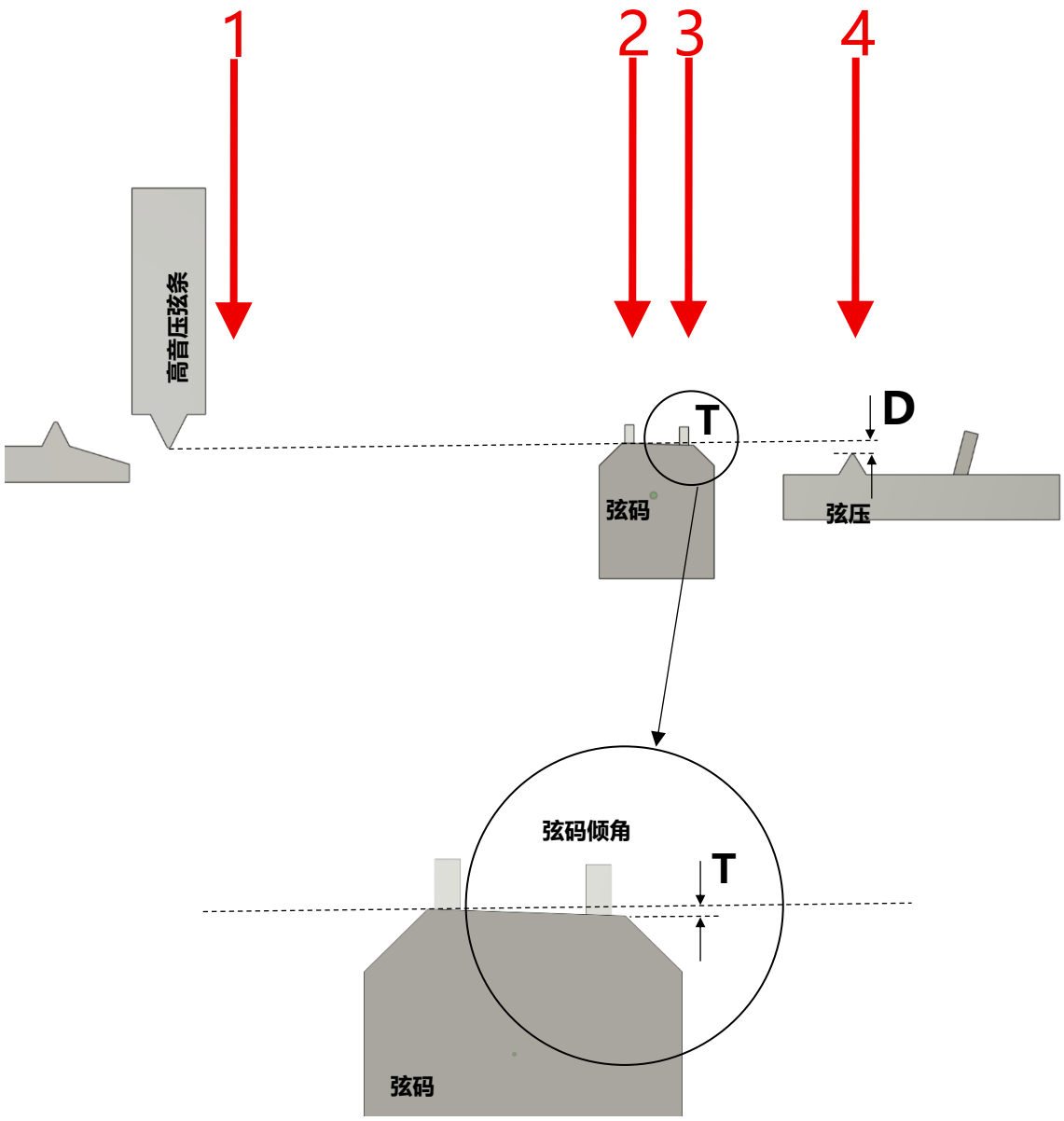
计算毫米单位的 D 时，系统将前端弦线经由有效码钉支承点向后延长至挂弦台（例如挂弦呢条、铜压条或复式弦列支承棱）处：该延长线与实际挂弦台高度之间的垂直间距，即等同于传统的“弦码高出量”——在传统拉线法中，正是用拉紧的长细线量取细线与挂弦台之间的毫米间隙。

百分比单位的 D（%）与角度单位的 D（°）分别以坡度与夹角形式描述前端有效弦段与后端挂弦段之间的同一折角，运算中已全面计入实际挂弦段长度、前后两枚码钉坐标以及实测弦码倾角 T。因此百分比与角度是同一几何压角的两种等价表达，而毫米高出量还会随挂弦段长度变化。Piano Measure Pro 直接依据四点空间坐标同步解算出全部三项指标，并自动适配琴弦的真实贴合与折点工况。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

四个测量点位

1. **前端测点：位于弦枕钮、弦枕或压弦条正前方——由从机（SENSOR 1）采集。**
2. **前码钉：位于弦码前端（有效弦侧）码钉处——由主机（SENSOR 2）采集。**
3. **后码钉：位于弦码后端码钉处——由主机采集。**
4. **挂弦区：位于琴弦后端实际支承处（视琴型为挂弦呢条、铜条、复式弦列支承棱或其他挂弦台）——由主机采集。**



四点几何原理图：过前端测点（1）与有效码钉连成虚拟基准线并向后延伸至挂弦台（4），该延长线距挂弦台的垂直距离即为弦压 D；由测点（2）与（3）解算出弦码倾角 T。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

测量步骤

在测量模式下用上下方向键选中参数 D。若该弦已有旧数值，可先按星号键（*）清除后再执行新测量。

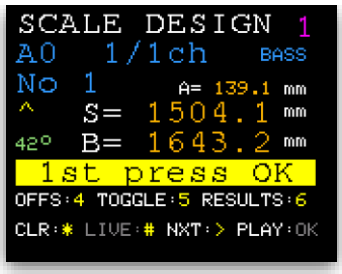
当光标高亮停留在参数 D 上时，屏幕中的“PLAY: OK”呈灰色不可用状态——这意味着此时按 OK 键不再进入 Play 中转菜单，而是专门用于逐步触发采集各测点数据。

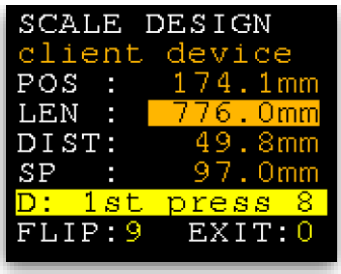
首次启动弦压测量时，系统会弹出一次 ADD OFFSETS 对话框（参见第 7.4.5 节“下沉量与测量圆柱”）；后续每当激活弦压测量且处于等待第 1 测点状态（“1st press OK”）时，随时可按数字键 4 重新唤出该对话框。随后分四步依次采集：

测点步骤	主机屏幕提示（交替闪烁）	触发采集按键
1 – 前端测点	“1st press OK” / “client front”（从机提示：“D: 1st press 8”）	按从机 8 键（读数自动传回主机）或按主机 OK 键
2 – 前码钉	“第二次按压确定（OK）” / “位于弦码钉1处”	按主机 OK 键
3 – 后码钉	“按三次确定（OK）” / “在弦码钉2处”	按主机 OK 键
4 – 挂弦区	“第四次按下确定（OK）键” / “在挂钩位置”	按主机 OK 键

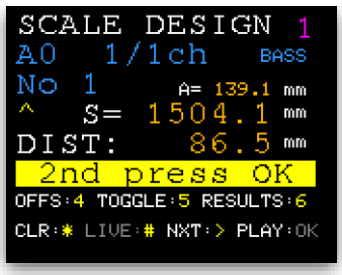
若某测点配合使用测量圆柱，请将圆柱垂直稳立于测点正上方，并将激光光斑居中瞄准圆柱顶部测量平面（参见第 7.4.6 节“测量圆柱”）。完成第 4 点采集后，主机立即自动解算弦压 D 与弦码倾角 T 并写入当前数据集。负值 D 一如既往代表负弦压（反压/琴弦向上挑起）。

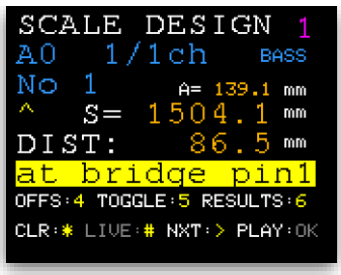
测量过程提示：主机屏幕按上表所示，在每个步骤交替闪烁显示对应操作提示。





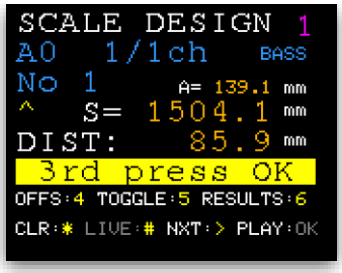
测点 1——前端测点：主机显示“1st press OK”，在从机按 8 键（“D: 1st press 8”）或在主机按 OK 键触发采集。

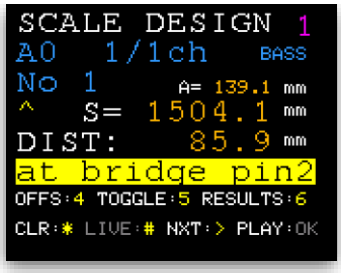




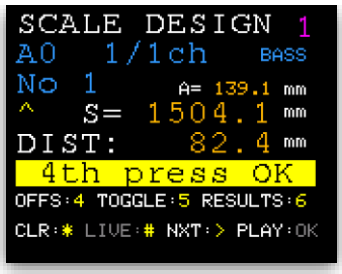
测点 2——前码钉：“2nd press OK” / “at bridge pin1”——在主机按 OK 键确认采集。

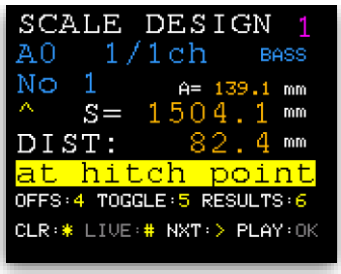
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen





测点 3——后码钉：“3rd press OK” / “at bridge pin2”——在主机按 OK 键确认采集。

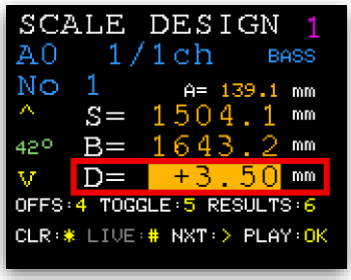




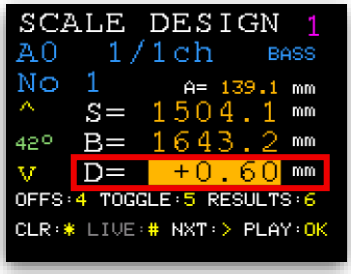
测点 4——挂弦区：“4th press OK” / “at hitch point”——在主机按 OK 键确认采集。

弦压 D 与弦码倾角 T（TILT）

弦压 D 表征琴弦在挂弦区相对于前端延长基准线的偏离量（基准线过前端测点及弦码有效支承点向后延伸至挂弦区）。右侧三幅屏幕图为四点法测量的计算示例（分别展示 mm、% 与 °）。







弦码倾角 T（TILT）表征相对于前端有效弦线方向，前码钉与后码钉之间的高度差。系统依据 T 的正负号自动判别采用哪枚码钉作为计算 D 的有效折点：

- T ≥ 0——琴弦经过弦码顶面时正常向后下方倾斜，系统采用前码钉作为有效折点。
- T < 0——弦码顶面向后反翘，琴弦在前码钉处“架空悬虚”，系统自动改以后码钉作为有效折点。

借此，弦压的计算不再机械固定在前码钉处，而是严格贴合实测弦码倾角所反映的真实接触工况。

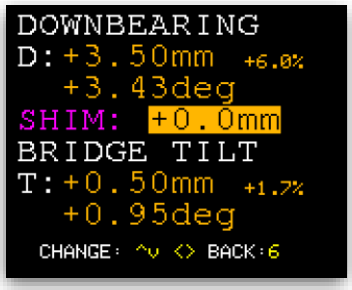
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.4.4 结果显示与 SHIM 垫片模拟

完成四点测量后，系统会显示计算出的弦压D。按下5键（TOGGLE）可切换六种不同的显示格式：

显示项	物理含义
D（mm）	以毫米表示的垂直弦码高出量（等价于传统拉线法读数）。
D（%）	以百分比坡度表示的弦压。
D（度）	以角度（°）表示的弦码压角。
T（mm）	以毫米高差表示的弦码倾角（Bridge Tilt）。
T（%）	以百分比坡度表示的弦码倾角。
T（度）	以角度（°）表示的弦码倾角。

按 6 键（RESULTS）可打开综合结果界面，同屏汇总显示全部核心数值：



综合结果界面（RESULTS）：DOWNBEARING 同屏列出 D 的 mm、% 与度数值；BRIDGE TILT 同屏列出 T 的 mm、% 与度数值；光标停在 SHIM 栏供模拟调节。按 ^v / <> 方向键更改 SHIM 厚度，按 6 键（BACK）返回。

DOWNBEARING（弦压）

同时以毫米（mm）、百分比（%）和角度（°）列出计算所得的弦压 D。

SHIM（垫片模拟）

可在此模拟在挂弦台处增减垫片（SHIM）的效果，用方向键调节预设垫片厚度：

- 上方向键：+1.0 mm / 下方向键：−1.0 mm
- 右方向键：+0.1 mm / 左方向键：−0.1 mm

系统计算公式为：有效弦压 = 实测弦压 − SHIM。因此，输入正值 SHIM（即在挂弦台加垫垫片抬高挂弦位）会减小有效弦压；输入负值 SHIM（即假设降低挂弦台高度）则会增大有效弦压。由此可直接在设备上预演并读出达到目标弦压所需的精确垫片厚度。

BRIDGE TILT（弦码倾角）

弦码倾斜量 T 也以毫米、百分数和度数显示。SHIM 只模拟后端支承高度变化对有效弦压 D 的影响，T 保持原测值。

按 6 键（BACK）退出综合结果界面。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.4.5 下沉量与测量圆柱

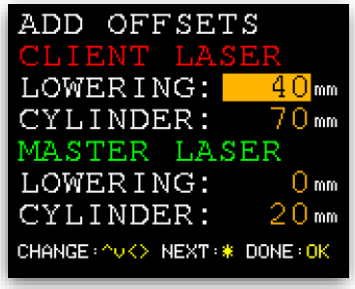
首次进入弦压测量时，系统会自动弹出 ADD OFFSETS 对话框，用于录入因额外下放传感器臂或使用测量圆柱而产生的附加高度修正值。在测量模式下随时按 4 键亦可重新调出该对话框。

对话框内设有四项参数（单位均为毫米）：

栏位	物理含义
从机激光/降低装置	从机传感器臂的额外下放量
从机激光/圆柱体	从机端所用测量圆柱的长度
主机激光/降低装置	主机传感器臂的额外下放量
主机激光/柱体	主机端所用测量圆柱的长度

操作方法

- **按 * 键：切换至下一栏位。**
- **上/下方向键：以 10 mm 为步进增减数值。**
- **左/右方向键：以 1 mm 为步进微调数值。**
- **按 OK 键：保存数值并退出对话框。**



*ADD OFFSETS 对话框：红色区为从机激光（Client），绿色区为主机激光（Master），各自包含 LOWERING（下放量）与 CYLINDER（圆柱长度）。CHANGE: ^v（10 mm 步进）与 <>（1 mm 步进），NEXT: *（切换下一栏），DONE: OK（确认保存）。*

黄金法则

只有“差异量”才需要录入！凡在两台设备或全部四个测点上完全相同的高度变化量，都会在几何运算中自动相互抵消，无需填写；唯有当从机与主机存在不同的附加高度变化时，才需在此录入。

示例（见上图）：从机传感器臂额外下放 40 mm 并配用 70 mm 测量圆柱，主机未下放（0 mm）且配用 20 mm 测量圆柱。只需如实填入上述四个数值，系统便会自动完成精准高度换算。

典型工况对照表

实际工况	是否需要在 ADD OFFSETS 中录入?
两台设备的传感器臂下放了完全相同的距离（例如各 40 mm）	否（数值相同，自动抵消）
全部四个测点均使用同一长度的测量圆柱（例如全用 50 mm）	否（数值相同，自动抵消）
从机用 70 mm 圆柱，主机用 20 mm 圆柱	**是——分别填入两个圆柱高度**

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

实际工况	是否需要在 ADD OFFSETS 中录入?
仅从机传感器臂额外下放（例如 40 mm）	**是——填入 CLIENT / LOWERING = 40 mm**
仅主机端使用测量圆柱（例如 30 mm）	**是——填入 MASTER / CYLINDER = 30 mm**

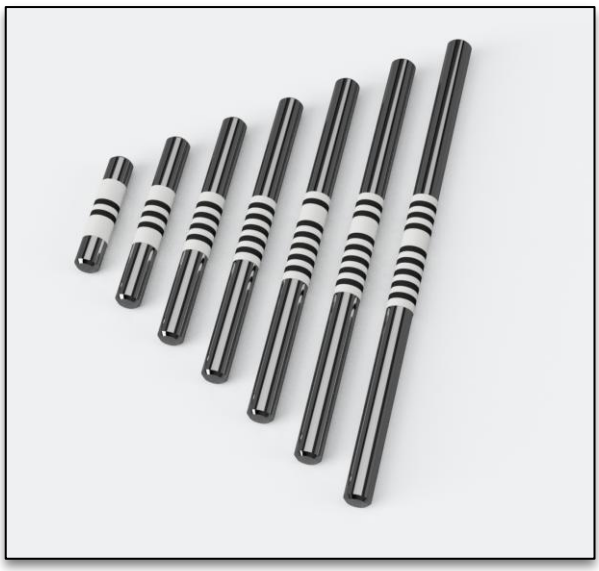
重要提示:

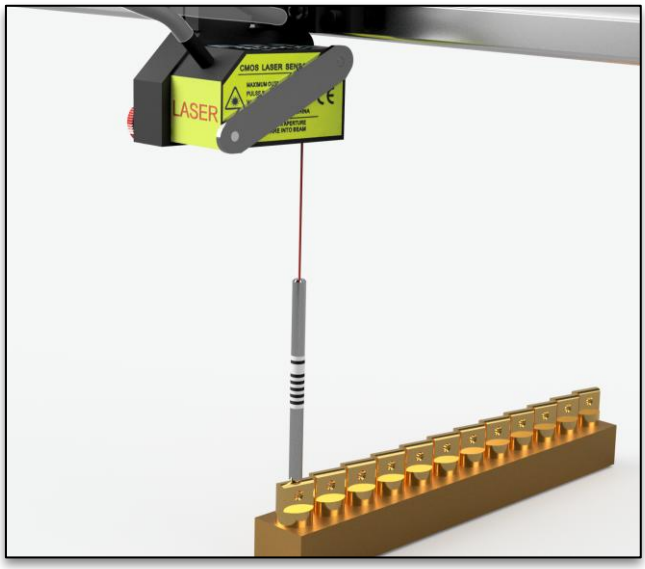
配对标定时所选的起始位置偏置（如 O1 的 H1 = -50 mm 或 O2 的 RAIL DIFF = -30 mm）已由系统独立自动计入，切勿重复填入 ADD OFFSETS 对话框中!

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.4.6 测量圆柱

图中带条纹的测量圆柱是 PMP 的选配件，用于四点弦压测量，长度为 20 至 80 mm。每道黑环代表 10 mm。





带刻度标识的 PMP 专用测量圆柱（长度 20 至 80 mm，可选购配件）。

采用测量圆柱主要基于两大原因：其一，便于在圆形高光抛光钢丝弦上稳定采数——激光在反光圆柱细丝表面往往难以获得稳定漫反射，改将测量圆柱竖立在琴弦上，激光即可照射在圆柱顶端平整清晰的端面上。因此，即便传感器垂直量程本身已经足够，在有弦状态下测量也一律推荐配合测量圆柱使用。

其二，测量圆柱可用于弥合各测点之间较大的垂直落差（如横轨架设法）：当某测点位于传感器下方过深、超出有效量程时，放上合适长度的测量圆柱即可将测量平面整体抬升回传感器有效量程内。

对准方法：将测量圆柱稳稳立于目标测点（即未放圆柱时激光原本所瞄准的位置），再微调激光使光斑居中落在圆柱顶部端面中心，由此确保圆柱轴线与激光束严格同轴对齐。

请选用合适长度的测量圆柱，使圆柱顶面恰好落在传感器的有效量程范围内。

自制测量圆柱

若手头暂无合适规格的测量圆柱，也可用简易方法自行制作：选用直径 3 mm 或 4 mm 的黄铜圆棒或铝圆棒，

先留出少量余量粗切下料，随后在砂带机上逐次修磨端面，边磨边用游标卡尺复测，直至端面平整且达到精确目标总长。

实务中建议以 10 mm 为级差自制一套 20 mm 至 80 mm 的完整测量圆柱组，以便面对不同琴型与架设高度时随时取用。

重要提示：

若仅在某一端或部分测点使用测量圆柱，必须将其长度录入 ADD OFFSETS 对话框；若全部四个测点均使用同一支（或等长）测量圆柱，则无需录入，因为相同高度会在计算中自动抵消。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.4.7 装弦与未装弦状态下的测量

进行弦压测量时，须区分钢琴当前是否已挂弦（装弦测量，还是挂弦前 / 拆弦后空琴测量）。

情形 1：未装弦状态下测量

尚未挂弦时，直接对各支承面本体进行测量：前端测弦枕钮、弦枕或前界点，弦码处测前码钉与后码钉附近的弦码顶面，后端测挂弦区支承台面。几何上，该测量直接采集的是日后琴弦下沿（即琴弦贴靠支承面）所在的平面。

此情形下，前端高度偏置须修正至日后琴弦下沿位置（例如采用弦枕钮时，在 Setup 中相应设定 AGRA-H 数值）。

情形 2：已装弦状态下测量

若琴弦已安装到位，则直接以琴弦为测点，且即便琴弦已处于传感器有效量程内，也强烈建议配合测量圆柱进行测量——钢琴琴弦呈圆柱高光面，激光直射难以始终稳定采样，改由测量圆柱承接激光则能提供平整可靠的反射面，大幅提升重复精度。

此时前端高度偏置（AGRA-H）应调整至对应琴弦上沿位置，琴弦直径可按约 1 mm 近似估算，已具备足够精度。

7.4.8 总压力、前压力与后压力

在弦压测量中，需要区分弦码前侧弦压、弦码后侧弦压以及总弦压这三个数值。

前侧弦压位于弦码的前端弦码钉处，具体位于弦码的发声段一侧。后侧弦压则位于弦码的后端弦码钉处，或靠近琴尾部分的过渡区域。

两者之和即为总压力：

总压力 = 前压力 + 后压力

Piano Measure Pro 显示的 D 即为总压力，它表征琴弦在弦码处的总向下折角，也是对照行业角度或百分比弦压规范的核心指标。

在琴弦正常贴合弦码的工况下，存在以下几何关系：

总弦压	**=**	**D**
前弦压	**=**	**T**
后弦压	**=**	**D - T**

此处，T表示前弦码钉与后弦码钉之间的弦码倾斜角度。

如果T为正值或零，则表示处于正常接触状态：琴弦在前部弦码钉处有效接触，然后穿过弦码区域，最终到达后部弦码钉。

若 T 为负值，则表明贴合异常，琴弦在前码钉处可能呈“架空悬虚”状态。此时 Piano Measure Pro 自动改以后码钉作为有效折点来计算 D；在此异常工况下，便不再适用“前压力 = T、后压力 = D − T”的分量拆分公式。

因此，评估弦压时 D 始终是最核心的指标：

- D 表征琴弦对弦码产生的全部有效总压力；
- T 则进一步揭示该总压力在前后两枚码钉之间的几何构成与贴合状态。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.4.9 使用 Piano Measure Pro 进行四点激光弦压测量的优点

本节对比 Piano Measure Pro、传统拉线法以及机械和数字角度计（如 Bevelbox）的弦压测量方法。

钢琴制造中，“弦压”可指不同的量。传统上常指用拉紧的线测得的弦码抬高量，以毫米表示。从物理上看，关键是琴弦经过弦码时改变方向的角度，称为琴弦折角。

琴弦折角与琴弦张力共同决定琴弦向下施加于弦码、进而传到音板的垂直力。仅凭毫米数值很难比较：弦后段长度不同，同一毫米数值可对应明显不同的折角和弦码受力。本节所说的弦后段长度，是从琴弦在弦码上的有效折点到实际后端支承点的距离。

即使采用简化的几何模型，也能看出这种差异：

弦压高度	弦后段长度	对应角度
2.0 mm	100 mm	约1.15°
2.0 mm	150 mm	约0.76°

两种情况下虽然都测得 2.0 mm，角度却相差约 50%，琴弦施加于弦码的垂直力也随之不同。

反过来，目标角度同为 1.0° 时，所需的毫米数值随弦后段长度而变：

所需角度	弦后段长度	所需高度
1,0°	80 mm	约1.40毫米
1,0°	100 mm	约1.75毫米
1,0°	120 mm	约2.09毫米
1,0°	150 mm	约2.62毫米

同一架钢琴上，弦后段长度通常随音而变，低音区、音区过渡处和高音区尤为明显。固定采用“2 mm 弦压”不能让整架钢琴各处具有相同的折角或弦码受力。

因此，应将以下数值结合起来判断：

- **D（mm）：传统的弦压高度量；**
- **D（%）：坡度，也可用于近似估算受力比例；**
- **D（°）：琴弦的实际折角；**
- **T：两枚弦码钉之间的弦码上表面倾斜量。**

钢琴技术文献也以琴弦在弦码处的折转来描述弦压，并指出折角和弦后段长度均会影响音板的负荷、振动和音色。

Piano Measure Pro 实际测量哪些量

Piano Measure Pro 在四个规定测点采集琴弦完整的垂直几何数据：

1. **前端测点：弦枕钮、弦枕刃口或该处实际的前端弦长界点。**
2. **前弦码钉：有效弦长一侧的弦码钉，即弦码前侧支承点。**
3. **后弦码钉：弦码的后侧支承点，即琴弦离开弦码的位置。**
4. **后端支承点：琴弦后段的实际支承处，例如毡条、黄铜承弦条、双泛音弦段的支承面或其他明确的支承处。**

系统同时测量四点的高度和水平间距，由此得到琴弦在弦码前、弦码上及弦后段的完整走向。

这两个主要数值D和T是根据这些测量结果计算得出的。

D：弦压

D 的毫米值

D（mm）对应传统拉线法的弦压高度量。

将前端弦长界点与琴弦在弦码上的有效支承点连成基准线，并向后延长至弦后段。该延长线与弦后段实际支承点之间的垂直距离，就是以毫米表示的弦压 D。

因此，D 的毫米值可与钢琴制造中使用传统拉线法所得的结果直接比较。

实际后端支承点低于延长基准线时，D 为正。D 为负时，琴弦的折转方向相反。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

仪器依据实测弦码倾斜量 T 自动选择有效支承点，区分琴弦正常跨过弦码与仅在后弦码钉处有效接触的情况。

D 的百分比

D（%）以坡度百分数表示同一琴弦折转。

百分数与弦后段长短无关。与毫米值相比，它更便于比较不同音、音区及乐器。

在钢琴常见的小角度范围内，该百分数可近似视为琴弦张力中以垂直力作用在弦码上的比例。

因此，每根琴弦施加于弦码的垂直力可近似计算如下：

$$\text{弦码垂直受力（N）} \approx \text{琴弦张力（N）} \times \frac{\mathbf{D}\ (\%)}{100}$$

示例

- 琴弦张力：800牛顿
- D: 1.5%

由此估算，每根弦对弦码的垂直作用力为：

$$800 \times 0.015 = 12\ \text{N}$$

每根琴弦张力约为 800 N 时，两根同音弦施加的合力约为 24 N。

D 的角度值

角度单位“度”所表示的琴弦变形程度，与某个特定角度所对应的变形效果是相同的。

因此，“百分比形式的D”与“度数形式的D”并非不同的测量结果，而是同一种几何形态的两种表达方式而已。

- “百分比”用于表示坡度；
- 度数用于表示相应的角度大小。

任何百分比数值都可以明确地转换为角度，反之亦然。

该角度值特别适合与技术文献、设计规范、工厂说明书以及使用倾角仪进行的测量结果进行对比。在专业文献中，弦压通常被定义为琴弦在弦码处的弯曲角度。

T：弦码倾斜

T 表示前、后弦码钉之间的弦码上表面相对于实测有效弦段方向的倾斜。

弦码上表面通常应略向弦后段一侧下倾。

将琴弦拉至目标音高时，琴弦与弦码之间的摩擦产生向前的力，使弦码略向有效弦长一侧倾倒。这就是弦码倾倒，也是拉升音高时先前调好的音会再次降音的原因之一。

预设弦码倾斜是为了确保张弦并调至工作音高后，琴弦在前弦码钉处仍有足够的下压力。该处若有悬空，尤其在高音区会产生发音不纯的问题。

T 的毫米值

T（mm）是在实测弦码宽度范围内，前、后支承点之间的高度差。

示例

- 弦码宽度：15毫米
- 后弦码钉比前弦码钉低 0.5 mm

此时，T的值为+0.5毫米。

T 的百分比

T以百分比表示的方式，等同于测量所得弦码倾斜角度换算成横跨弦码宽度的百分比坡度。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

该数值特别适合与设计图纸、专业文献以及生产规范进行对比，因为在这些资料中，未装弦的弦码表面的倾斜角度通常以百分比的形式给出。

T 的角度值

以度为单位的T值所表示的弦码倾斜角度与角度这一概念是相同的。

与D一样，百分比和度数仅仅是表示同一倾斜角度的两种不同方式而已。

该标志的含义

- **T ≥ 0：弦码上表面向后弦码钉一侧降低。这是常见的支承状态。琴弦在前弦码钉处有效接触，随后跨过弦码到达后弦码钉。**
- **T < 0：弦码上表面向后弦码钉一侧升高。琴弦可能在前弦码钉处悬空，无法施加有效的垂直压力。此时用后弦码钉作为有效折点或支承点。**

传统拉线法也能辨认这些支承状态。缓慢放低测量线，观察它先碰到弦码前侧还是后侧，以及另一侧是否留有间隙。

拉线法能目测弦码倾斜，却难以用毫米、百分数或度数重复记录精确的量值。

Piano Measure Pro会分别记录弦码钉的高度，并以毫米、百分比和度为单位提供T这一独立数值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

弦压角度D与弦码倾斜角度T的参考值

找不到该琴的厂家规定时，可用下列数值辅助设定及复查弦压。选值时应考虑音板状况和承载能力。

主要参考参数：弦压角度 D（弦压）

钢琴技术资料经常以毫米表示弦码抬高量。毫米数值相同，琴弦支承点间距不同时，弦压角也会不同，尤其受弦后段长度影响。琴弦张力相同，角度改变也会改变弦码受力。因此，难以单凭毫米数值比较不同的弦列。Piano Measure Pro 可用度（deg）显示总弦压角 D。

该角度是琴弦跨过弦码时的总折角。与只用毫米表示的弦码抬高量相比，角度同时考虑了弦码前后的弦段走向。Mario Igrec 提出下列参考值：

区域	无琴弦	已完全组装并调音完毕
低音弦码低音端	0,5°	0,2 - 0.3°
低音弦码高音端	0,7 - 1,1°	0,5 - 0,8°
长弦码低音端	0,7 - 1,0°	0,5 - 0,8°
长弦码中段	2,0 - 2,5°	1,0 - 1,3°
长弦码的较低高音区	1,8 - 2,0°	大约1.3°
长弦码最高音端	大约1.8°	大约1.5°

第一列为琴弦尚未施加全部张力时的设定值。张弦并调律后，音板在弦张力下会产生挠曲，可重新测角复查。

这种减少在各个环节并不一定完全相同。

音板弧度较小或较易变形时，宜选偏小的参考值。较坚固的音板可以承受较大的角度，还须结合受弦张力后的剩余弧度、音色和乐器的整体状况判断。

弦码倾斜 T（TILT）

除总弦压角 D 外，还应检查弦码上表面相对于有效弦段的倾斜。

张弦并拉至目标音高时，琴弦在弦码和码钉处滑动，摩擦力会将弦码拉向有效弦长一侧，使其向前倾倒。应在张弦前为这一变化预留弦码倾斜量。不同钢琴的倾倒程度有所差别。

在克劳斯·芬纳关于如何制作与检查弦码倾斜的说明中，他列出了配弦之前的以下数值：

区域	弦码钉间距为15毫米	大致相当于
长弦码，过渡结构	0.2 mm	1%或0.6°
长弦码中段	0.2 mm	1.5%或0.9°
高音弦码	0.3 mm	2%或1.1°
低音弦码	0.3 mm	2%或1.1°

拉升音高及调律后，弦码向前倾，T 因此变小。此时 T 仍宜为正。T 为零或负值时，琴弦可能沿前弦码钉上移，尤其在高音区会导致发音不纯。

T 建议优先参考毫米值。两枚弦码钉之间的测量距离很短。间距为 15 mm 时，仅 0.1 mm 的高差就会使显示角度改变约 0.4°。表中角度和百分数仅供大致参考，毫米数值也经过取整。实际钉距不同时应相应调整。重点是保证琴弦在弦码前后边缘可靠接触。

资料来源：Mario Igrec所著《钢琴的结构与原理》，第475-476页，表10；Klaus Fenner与Jan Großbach合著的《钢琴结构实用手册》，第119-120页。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

传统拉线法的局限性

拉线法简单直观，在钢琴制造中沿用已久，可直接观察：

- 是否存在正弦码抬高现象；
- 弦后段支承处约有多大的间隙；
- 即线绳首次接触弦码的位置；
- 弦码是呈正向倾斜还是负向倾斜。

因此，拉线法是一种非常实用且有效的检验程序。

拉线法首先提供间隙尺寸或定性判断。要测定或设定指定的琴弦折角，还需量出有效弦后段长度，再计算角度或所需的毫米量。

用拉线法设定规定的角度

例如用拉线法设定 1.0° 的弦压角，先缓慢放低测量线，找出它最先接触弦码的位置。该处即为测量所用的有效折点。

那么就只需要再确定一个长度数值了。

从有效折点至琴弦在后段实际支承点的距离。

根据有效弦后段长度和目标角度，算出所需的线下间隙（mm）。再用塞尺、测块、测测块或类似工具在弦后段复查。

拉线法可以直观找到有效折点。弦后段长度需另外测量，角度也需另行计算。

由于弦后段长度随音域变化，有时差异很大，若要得到准确的角度曲线，钢琴技师须逐步：

1. 用拉线确定实际折弦点；
2. 测量该点至琴弦后支点的距离；
3. 将规定角度换算成相应的毫米值；
4. 对照拉线核验该毫米值。

此程序必须在多个位置重复进行，或者每当琴弦后段的长度发生变化时也要执行。

缓慢放低测量线也可看出弦码是否反向倾斜。可观察测量线是否先碰到弦码后侧、前弦码钉处是否悬空。拉线法难以得出可重复的精确倾斜量。

Piano Measure Pro 会自动完成这些几何测量与计算：测量距离，根据 T 选定有效支承点，同时显示以毫米、百分数和度数表示的弦压。

与机械式及数字式角度量规的比较

除拉线法外，也可使用机械水准泡角度计或数字角度计（如 Bevelbox 或数字倾角仪）测弦压角。

机械式气泡水平角度规

将有小支脚的机械弦压仪放在琴弦上，在基准位置将水准泡调到标线，再把仪器移至有效弦段或弦后段。气泡移动的量反映琴弦倾斜的变化。

对于这种类型的钢琴（琴上测量时），以下通用规则适用：

- 前段弦压加后段弦压等于总弦压；
- 气泡经过的标线数对应一定的角度或受力换算系数；
- 如果已知琴弦的张力，就可以计算出以牛顿为单位的弦压。

根据该类仪器的说明，应重复测量，移动时保持仪器朝向不变，并避开靠近弦码处琴弦的局部弯曲或折点。

数字角度规或数显角度盒

将数字角度计放在琴弦或合适的支承面上先调零，再移到待比较的弦段。仪器直接以度数显示该表面或弦段平面的倾角。

仔细操作时，Bevelbox 能较好地显示琴弦倾角或角度变化。数字读数比水准泡刻度细，免去估读中间值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

机械式和数字式角度量规仍然存在一个重要的局限性：

这两类工具通常需要已经张弦的钢琴，测得的是现有琴弦局部的倾角。

更换弦码顶板、安装新音板或制造过程中尚未张弦时，无法直接使用这类仪器。

即使已张弦，若角度计放不到琴弦上也不能测量，例如低音交叉处的中音区下部。

各种测量方法的比较

仅适用于现有琴弦的测量

机械式和数字式角度量规直接放置在琴弦上。因此，在生产或修复过程中，当琴弦被拆除时，通常无法使用这种方法进行测量。

Piano Measure Pro 可直接在未来琴弦接触的支承面上测量。因此可在下列阶段预先设定或复查弦压：

- 在配弦之前；
- 配作新的弦码顶板时；
- 安装调整新音板时；
- 确定琴弦后端支承位置时。
- 在工厂组装过程中。

分辨率与可读性

使用机械角度量规时，其分辨率由水平仪的分度决定。对于中间数值，需要通过估算来确定。

数字式斜角调整装置能够以数字形式显示角度，但其测量结果仍取决于琴弦的安装位置是否可重复、零点设定是否准确，以及琴弦本身的局部形状。

Piano Measure Pro能够以数字形式记录高度和距离，并根据结构上预先设定的测量点计算出角度值。

对座椅及定位系统的依赖性

机械式和数字式角度量规被安装在琴弦的相应位置。其测量结果可能会受到以下因素的影响：

- 精确的测量位置；
- 局部弯曲或扭结；
- 低音琴弦的缠绕方式；
- 量规基座的长度；
- 归零；调零
- 弦码前后不同的摆放位置。

Piano Measure Pro实际上是在固定的结构点上进行测量的。

- 琴弦前端弦长界点；
- 前弦码钉；
- 后弦码钉；
- 琴弦后端实际支承点。

因而测得的是决定弦压的整个几何关系，包括各处支承和弦段走向。

弦后段长度无法自动测量

角规可以测定角度的变化，但无法同时测量实际的琴弦后段长度。

Piano Measure Pro能够同时记录高度和长度。除了角度测量数据外，因此还能获取以下信息：

- 以毫米为单位的传统弦压。
- 实际琴弦后端长度；
- 弦码宽度；

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

- 弦码倾斜 T；
- 弦压百分比；
- 以度为单位的弦压角度；
- 为调到目标值所需的弦后段垫片修正量。

记录弦码的几何结构

只要具备合适的支撑装置，机械式或数字式角度量规就能非常准确地显示琴弦或弦码的倾斜角度。

Piano Measure Pro 分别测量两枚弦码钉处的高度，以毫米、百分数和度数提供独立的弦码倾斜量 T。由此可以准确记录弦码倾斜并与设计规定比较。

三角钢琴与三角钢琴生产中的优势

工厂在开发琴型时已确定弦列尺寸和各音区的典型弦后段长度，并设定所需的弦码抬高量或目标弦压曲线。

尤其在高音区，往往用样板在张弦前把弦码或弦码顶板加工到要求的高度与倾斜。

在钢琴制造与维修领域，Piano Measure Pro主要被用作一种精确的检测与质量保障工具。

成品几何结构的检验

使用现有的模板进行加工后，可以检查实际生成的产品几何形状是否符合要求：

- 弦码高度是否正确?
- 弦码的倾斜角度是否正确?
- 这个折弯角度是否符合产品规格要求?
- 弦压曲线是否平滑?
- 是否存在局部偏差?
- 音区过渡处是否符合设计要求；
- 是否需要对个别部分进行重新设计或修改?

Piano Measure Pro 可配合现有加工样板使用，量化检验加工结果。

针对特定型号的设备参考资料

针对每种钢琴型号，都可以存储相应的目标曲线数据，或者采用经过认证的参考钢琴所测得的曲线数据。

基准数据可包括：

- 以毫米为单位的D值；
- 百分比形式的D；
- D（°）；
- 以毫米为单位的T值；
- 百分比形式的T；
- T（°）；
- 弦后段长度；
- 弦码宽度；
- 测量位置与音符编号。

因此，新制造的钢琴的几何尺寸可以直接与批准的生产标准进行对比。

张弦前检查

一个主要的优点是，可以在安装琴弦之前进行检测。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

因此，可以在钢琴完全调音并达到标准音高之前识别并纠正这些错误。此类错误可能包括：

- 不正确的弦码高度；
- 加工不均匀的弦码顶板；
- 琴弦后端支承处的问题；
- 弦码倾斜的意外变化；
- 过大的或过小的弦压角度；
- 音区交界处不应出现的局部突变。

在这个阶段纠正这样的错误，要比配弦完成后容易得多。

生产系列检验

数字读数可以被存储、导出，并关联到特定的钢琴或序列编号上。

这使得质量保证具有可追溯性，具体包括以下方面：

- 同一系列中多款钢琴的对比；
- 生产变异的检测；
- 所使用模板的验证；
- 对不同工作站的检查；
- 记录返工和修整情况；
- 针对不同生产批次进行的统计评估。

降低对操作人员的依赖程度

传统方法在很大程度上依赖于经验、视觉判断以及个体工匠的个人操作流程。

Piano Measure Pro实现了标准化：

- 测量点；
- 测量顺序；
- 该计算过程；此项计算。
- 这些单位；
- 文档资料。

这使得不同的员工能够产生出更加可以直接进行比较的结果。

修复工作坊的优势

修复钢琴时，原来的弦列几何数据常不齐全。拆下琴弦、弦码顶板或音板后，关键参考可能无法复原。

因此，Piano Measure Pro能够在维修之前、维修过程中以及维修之后完成所有必要的文档记录工作。

在拆卸之前记录设备原有的状态

在释放张力或拆卸琴弦之前，可以记录以下参数等信息：

- 现有的弦压。
- 各音区的弦压曲线；
- 弦码倾斜；
- 局部负区域；
- 低音弦码处的不规则现象；
- 音区交界处的变化；
- 现有的琴弦后端支承位置。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

因此，原始状态仍然可以被追溯。

更换弦码顶板

更换弦码顶板时，需要确定新顶板应加工到的高度。

拉线法可以检查以毫米表示的抬高量，实际折角仍随该音的弦后段长度而变。

“Piano Measure Pro”能够立即显示是否已经达到了所需的角度。

可按几何目标曲线加工弦码顶板。例如，修复人员可以设置随音区分段变化的目标，在加工过程中检查新顶板的高度与倾斜。

尚未张弦时的测量

在全面的修复过程中，琴弦通常会被拆除一段时间。此时，那些必须放置在琴弦上的传统角度量规就无法使用了。

Piano Measure Pro 可直接测量设计规定的支承点，在张弦前确定琴弦的完整走向。

模拟后端支承处加垫

SHIM 功能计算在弦后段加垫对实际弦压的影响。更改 SHIM 数值时，琴弦折角会立即重新计算。

正的 SHIM 值表示垫高琴弦后端支承点，弦压 D 随之减小。可在动手前确定所需毡片、薄木片、纸板或其他垫片的厚度。

D 同时以毫米、百分数和度数重新计算。实测弦码倾斜量 T 保持原值。

维修结果记录

工作完成后，可以重新测量新的几何尺寸，并将其与原始状态以及所需的目标轮廓进行对比。

这为以下内容提供了清晰的文档说明：

- 原始状态；初始条件。
- 计算得出的目标值；
- 所进行的更正；
- 维修后的结果；
- 在琴弦张力的作用下产生的结果。

有琴弦与无琴弦的测量

Piano Measure Pro既可用于无琴弦状态下的钢琴制造与维修过程，也可用于已装满琴弦的钢琴上进行测量。

无琴弦的测量

在没有琴弦的情况下，未来的承载表面是直接进行测量的。这些包括：

- 弦枕钮或弦枕刃口；
- 弦码前、后支承点；
- 琴弦后端实际支承点。

定义的高度校正确保测量结果是基于未来的弦平面进行的。

使用琴弦进行测量

已装弦时，可在琴弦上直接测量，建议使用测量圆柱。

测量圆柱提供确定的平整测量面，可减少以下因素造成的困难：

- 圆形琴弦表面；
- 经过高度抛光的金属线；
- 不稳定的激光反射；
- 缠绕式低音琴弦。

额外的臂部下降距离或气缸高度可以作为偏移量输入，系统会自动将其纳入计算中。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

作为测量和调整工具的 Piano Measure Pro

Piano Measure Pro并不仅仅是一种用于替代拉线测量工具、水平仪或斜角器的数字设备。它结合了多项以往需要单独进行的操作：

- 高度测量；
- 长度测量；
- 有效支点的确定；
- 弦压高度的计算；
- 弦压角度的计算；
- 百分比坡度的计算；
- 弦码倾斜的测量；
- 模拟弦后段加垫；
- 结果的存储与记录；
- 导出数据并用图表分析。

因此，该系统不仅解答了以下问题：

“当前的弦压是多少毫米？”

而且：

“这种几何结构实际上会产生什么样的琴弦角度呢？”

“琴弦张力中有多少部分会转化为弦压？”

“琴弦是否正确地安装在弦码上？”

要达到目标值，琴弦后端需要多厚的垫片？

“这种型号的钢琴，其几何结构是否与目标设计要求相符？”

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

测量方法概述

功能	拉线法	角度计	Piano Measure Pro
弦码抬高量（mm）	是	否	是
弦压角度	需额外测量并计算	是	是
弦压百分比	需额外测量并计算	由水准泡刻度或角度间接换算	是
弦码倾斜T	只能粗略估计	是	是的，作为一个精确的数值。
测量弦后段长度	不能，需另测	否	是的，会自动执行。
识别有效接触的弦码钉	是	取决于仪器放置的位置	可以，自动依据 T 判断
无琴弦的测量	可以，仅限核对高度	否	是
已张弦时测量	否	是	是
SHIM 垫片模拟	否	否	是
数字存储	否	否	是
导出数据并比较同系列钢琴	否	否	是
图形显示	否	否	是

关键信息

拉线测量方法用于检测距离；角度量规则用于检测现有琴弦上的角度变化。

相比之下，Piano Measure Pro能够记录弦压的完整结构几何数据。

通过测量四个高度点及其对应的距离，Piano Measure Pro能够提供以下功能：

- 传统的毫米数值；
- 可直接比较的角度；
- 弦压百分比。
- 弦码倾斜；
- 实际的琴弦支承状态；
- 以及所需的垫片用于进行调整。

这使得该系统既适用于精确的单独修复工作，也适用于钢琴及三角钢琴制造厂中的标准化检测、记录编制及质量保证流程。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.5 网页界面中的 SCALE 与实时数据传输

可通过网页界面一次从 PMP 读取整架钢琴的弦列测量数据。表格按同音弦组逐弦列出读数，图表显示从低音到高音的弦长变化。同一数据集既可导出有效弦长至 Mensurix，也可制作交给低音弦厂的尺寸表。

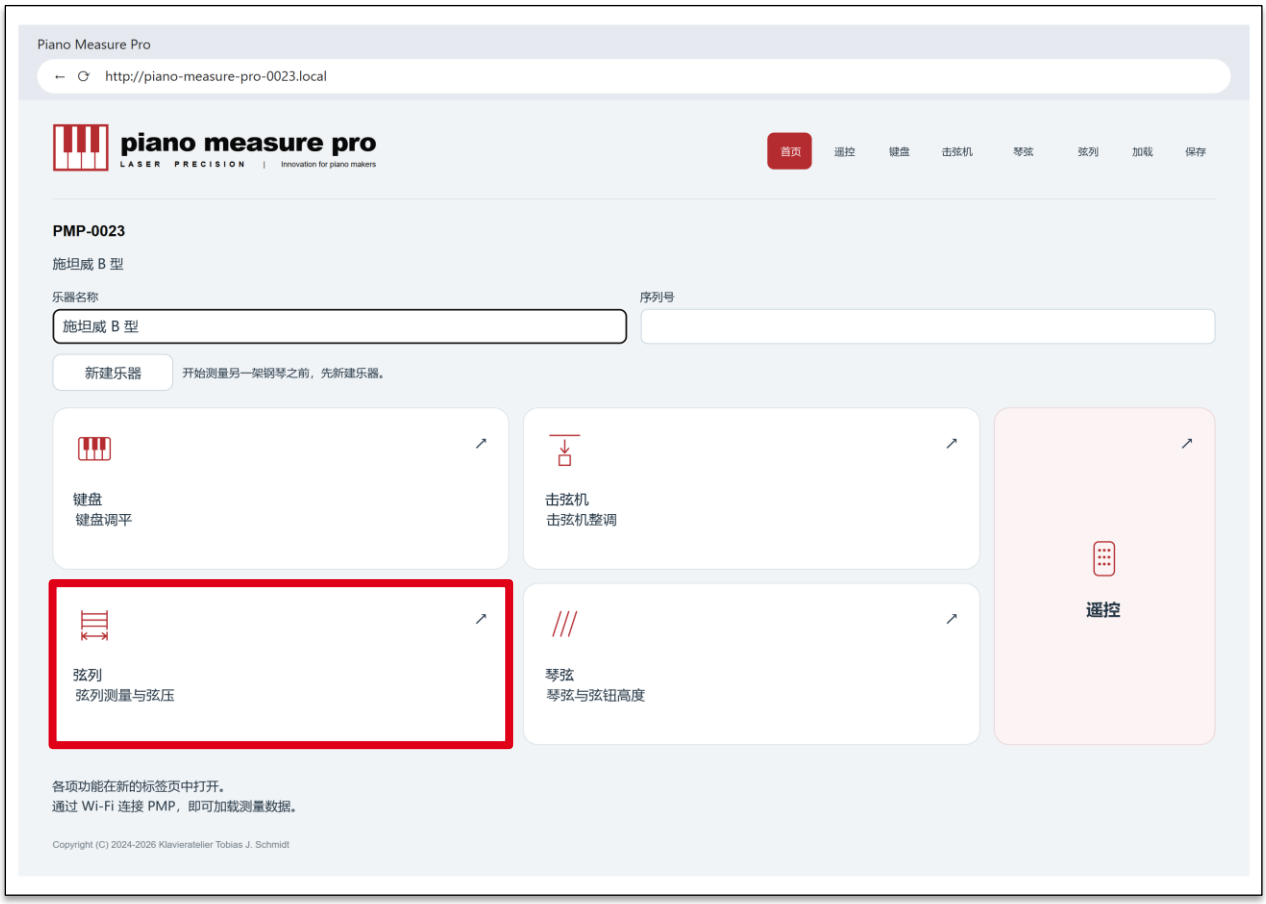
测量过程中即可在屏幕上查看弦列尺寸。启用实时接收后，PMP 每确认一个测量值，表格就在相应音的该弦列中显示读数，图表也会加入相应测点。

若平滑曲线上出现孤立尖点，测量时即可发现。将该音的表格数据与相邻音比较，并复测该弦。在弦码交界处，尺寸突变也可能由钢琴结构造成。

7.5.1 加载弦列数据与接收实时读数

若主机已有测量数据，在 scale design 中打开相应数据集。将手机、平板或电脑连到主机，再用浏览器打开主机地址。本例为 piano-measure-pro-0023.local，直连时也可访问 192.168.4.1。在首页选红框中的 SCALE，再选 Load data from PMP。已测琴弦的数据会一同显示在表格和图表中。

若需边测边看，在 SCALE 页面选 Start LIVE。可将平板放在琴旁。主机每确认并发送一个测量值，该数值就显示到对应音和对应琴弦的位置，曲线也加入该测点。如家庭网络出现延迟，请直连主机。浏览器接收时，PMP 本机的 LIVE 开关保持关闭。需要接收确认的 Excel 工作簿流程见第 7.6 节。



PMP-0023 首页。红框中的 SCALE 打开所选钢琴的弦列测量数据。

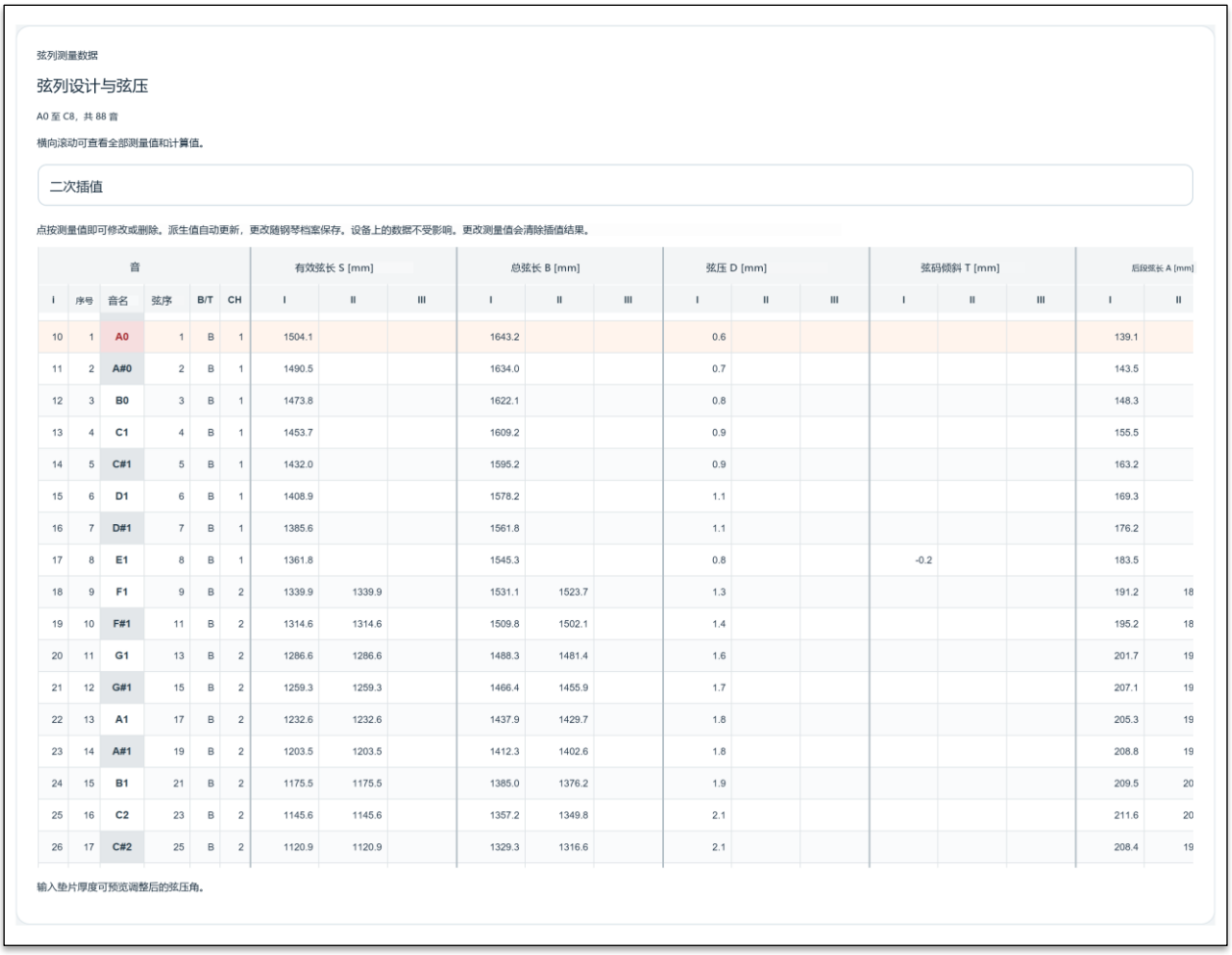
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.5.2 实时测量最低音的低音弦

1. 在浏览器中选 Start LIVE。在主机上选 A0 和第 I 弦。从机的光斑保持在弦枕钮处。把主机光斑移到有效弦长侧的弦码钉，采集有效弦长 S。该项显示在 A0 行 SPEAKING LEN (S) 的 I 列。

2. 测量总弦长 B 时，前端光斑保持在弦枕钮处。将后端光斑从弦码移到挂弦钉，在主机上用 NEXT 确认读数。本例 S 为 1504.1 mm，TOTAL LEN (B) 为 1643.2 mm。表格的高亮行和上方的 LIVE 提示表明浏览器刚收到的是哪一根弦。





音						有效弦长 S [mm]			总弦长 B [mm]			弦压 D [mm]			弦码倾斜 T [mm]			后段弦长 A [mm]	
I	序号	音名	弦序	B/T	CH	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
10	1	A0	1	B	1	1504.1			1643.2			0.6						139.1	
11	2	A#0	2	B	1	1490.5			1634.0			0.7						143.5	
12	3	B0	3	B	1	1473.8			1622.1			0.8						148.3	
13	4	C1	4	B	1	1453.7			1609.2			0.9						155.5	
14	5	C#1	5	B	1	1432.0			1595.2			0.9						163.2	
15	6	D1	6	B	1	1408.9			1578.2			1.1						169.3	
16	7	D#1	7	B	1	1385.6			1561.8			1.1						176.2	
17	8	E1	8	B	1	1361.8			1545.3			0.8			-0.2			183.5	
18	9	F1	9	B	2	1339.9	1339.9		1531.1	1523.7		1.3						191.2	18
19	10	F#1	11	B	2	1314.6	1314.6		1509.8	1502.1		1.4						195.2	18
20	11	G1	13	B	2	1286.6	1286.6		1488.3	1481.4		1.6						201.7	19
21	12	G#1	15	B	2	1259.3	1259.3		1466.4	1455.9		1.7						207.1	19
22	13	A1	17	B	2	1232.6	1232.6		1437.9	1429.7		1.8						205.3	19
23	14	A#1	19	B	2	1203.5	1203.5		1412.3	1402.6		1.8						208.8	19
24	15	B1	21	B	2	1175.5	1175.5		1385.0	1376.2		1.9						209.5	20
25	16	C2	23	B	2	1145.6	1145.6		1357.2	1349.8		2.1						211.6	20
26	17	C#2	25	B	2	1120.9	1120.9		1329.3	1316.6		2.1						208.4	19

接收到 A0 第 I 弦后，弦码与挂弦钉的间距为 1643.2 mm − 1504.1 mm = 139.1 mm。表格右侧的 REAR LEN (A) 显示该值。

3. 在图表上查看弦列起点 A0，B 测点位于 S 上方。确认下一个音的读数后，曲线会继续延伸。移动传感器时，可在 PMP 上查看当前距离。暂停时在浏览器中选 Stop LIVE，已导入的读数仍可查看。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

读取表格中单弦及双弦低音的音数

施坦威 B 型的前八个音（A0 至 E1）各为单弦，低音区从 F1 开始使用双弦。表头的罗马数字标识同音组各弦。F1 的两根弦有效弦长均为 1339.9 mm，挂弦钉的位置不同，因此第 I 弦的总弦长 B 是 1531.1 mm，第 II 弦为 1523.7 mm。订弦用的弦后段长度分别为 191.2 mm 和 183.8 mm。

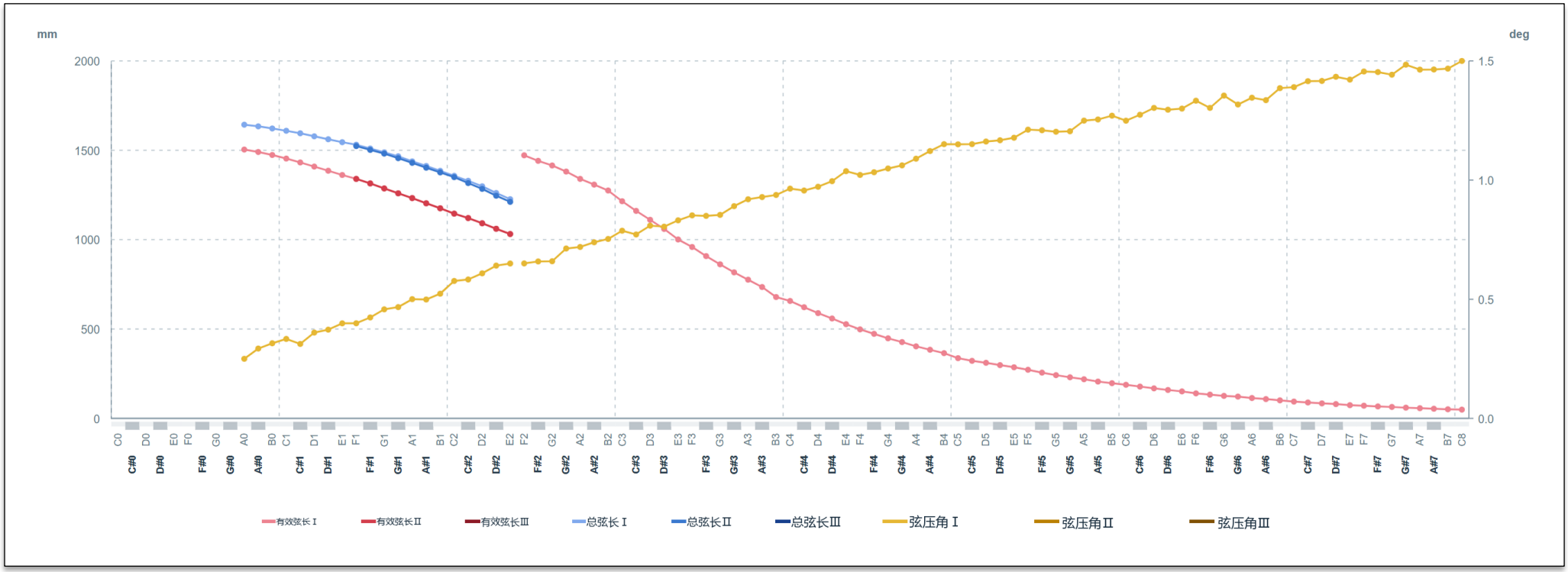
音						有效弦长 S [mm]			总弦长 B [mm]		
i	序号	音名	弦序	B/T	CH	I	II	III	I	II	III
18	9	F1	9	B	2	1339.9	1339.9		1531.1	1523.7	
19	10	F#1	11	B	2	1314.6	1314.6		1509.8	1502.1	
20	11	G1	13	B	2	1286.6	1286.6		1488.3	1481.4	
21	12	G#1	15	B	2	1259.3	1259.3		1466.4	1455.9	
22	13	A1	17	B	2	1232.6	1232.6		1437.9	1429.7	
23	14	A#1	19	B	2	1203.5	1203.5		1412.3	1402.6	
24	15	B1	21	B	2	1175.5	1175.5		1385.0	1376.2	
25	16	C2	23	B	2	1145.6	1145.6		1357.2	1349.8	
26	17	C#2	25	B	2	1120.9	1120.9		1329.3	1316.6	
27	18	D2	27	B	2	1091.7	1091.7		1298.5	1284.1	
28	19	D#2	29	B	2	1060.9	1060.9		1261.0	1245.8	
29	20	E2	31	B	2	1031.6	1031.6		1226.4	1211.5	
30	21	F2	33	T	3	1472.0					
31	22	F#2	36	T	3	1441.0					

低音码末段与长码起始处的数据。E2 的两个 B 值并排列出。自 F2 起仅登记有效弦长。

解读数据时要注意其来源。低音弦的 S 与 B 取自施坦威 B 型三角钢琴的测量数据。长弦码上的 68 个音采用“三角钢琴各琴型有效弦长”表中 B 型一列的有效弦长。各表值仅填在 S 的 I 列，其余弦和 B 列留空。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.5.3 在图表中读取弦长与弦压角



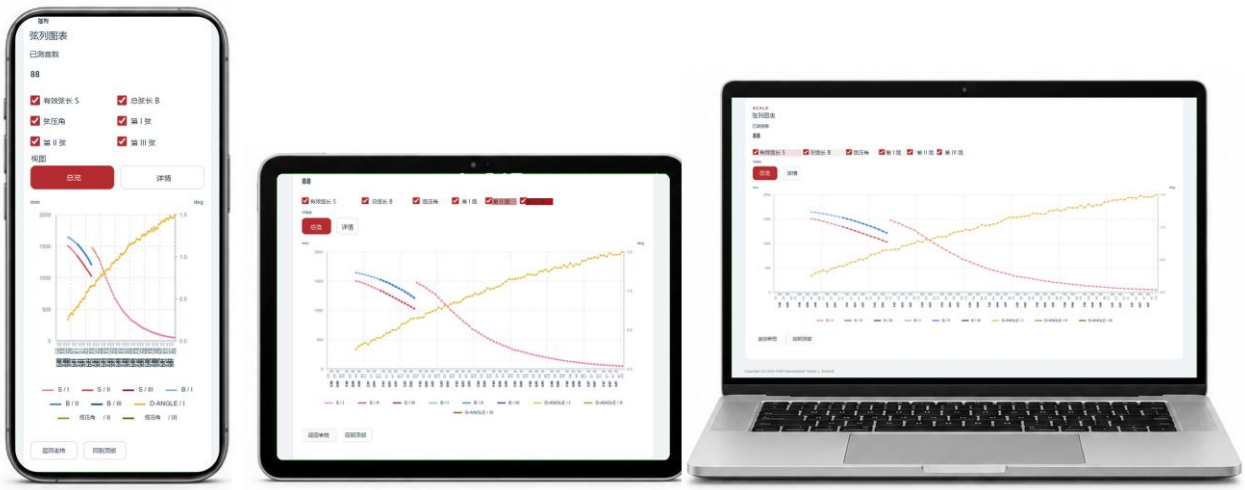
红色：有效弦长S；蓝色：总长度B。请在左侧轴上以毫米为单位读取这两个数值。右侧轴上的金色曲线表示第I根琴弦的弦压角度D-ANGLE，单位为度。

从A0到E2，有效弦长会随着低音弦码的位置而逐渐缩短。在过渡到长弦码时，这一数值会从E2处的1031.6毫米骤增至F2处的1472毫米。蓝色系列数据仅涵盖E2以下音阶，因为总长度数据仅针对低音弦提供。金色曲线采用另一种计量标准，在与长度曲线交叉处，其数值所代表的单位也会发生变化。若仅想查看角度数值，可取消选中“有效弦长(S)”和“总长度(B)”选项，同时保持“角度(D)”选项处于选中状态。该角度反映了琴弦在经过弦码时方向的变化，但仅凭这一数据无法计算出琴弦对弦码产生的作用力。

此处所示的弦压数值是在钢琴完全调音且琴弦绷紧的状态下测得的。Mario Igrec建议，低音弦码尾部的弦压应在0.2至0.3°之间，而其头部及长弦码起始处的数值应在0.5至0.8°范围内。示例曲线显示：在弦码过渡区域，弦压从0.25°逐渐增加到0.65°；在长弦码中部，这一数值可达1.15°（建议范围为1.0至1.3°）；在高音区域，弦压约为1.3°；而在最高音处，这一数值约为1.5°。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在智能手机、平板电脑、笔记本电脑或个人电脑上使用SCALE功能



三种设备均显示同一弦列示例。勾选 D-ANGLE 可单独显示金色的弦压角曲线，也可与弦长曲线一并显示。

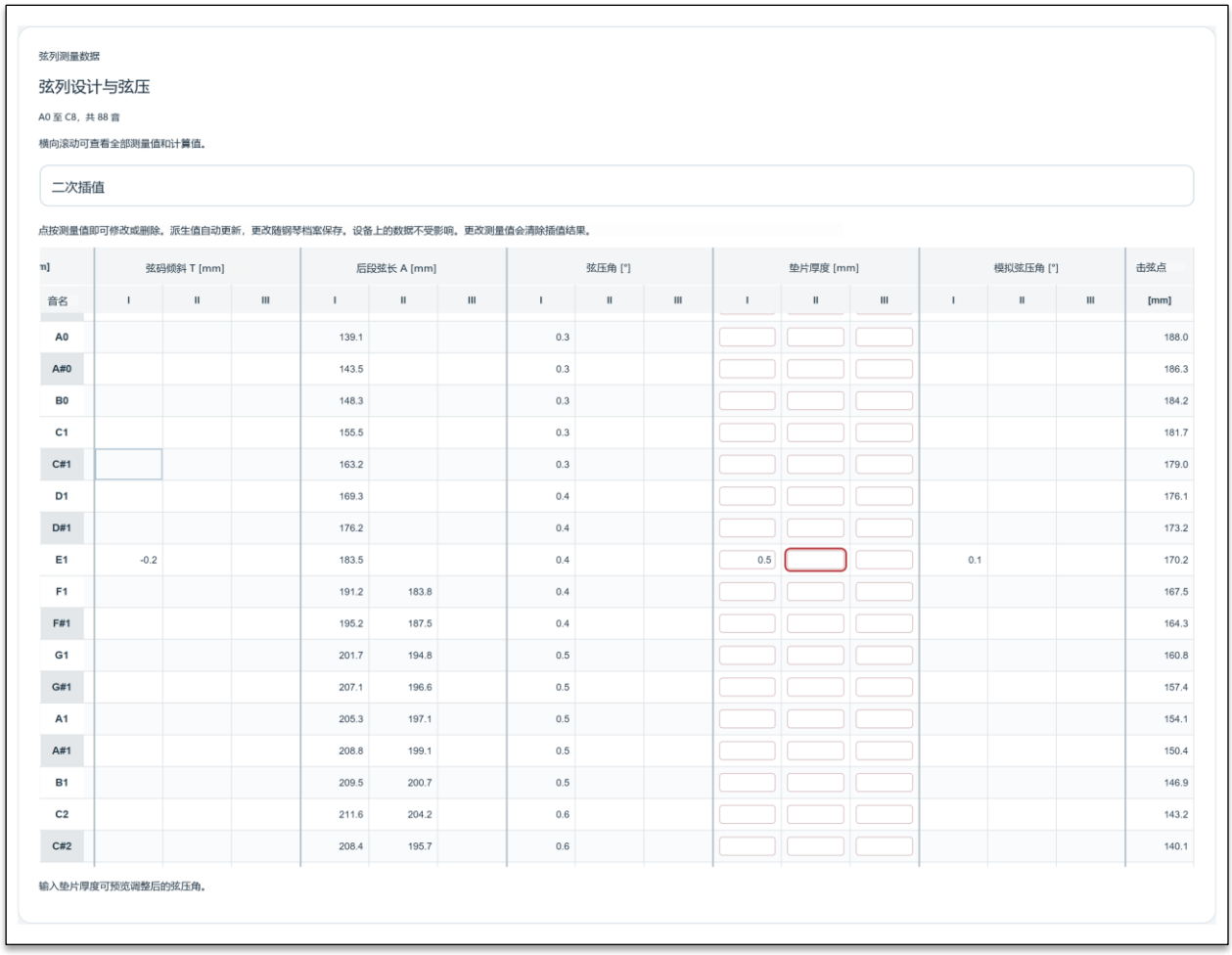
在手机上横向滑动可查看其余表格列。每个音按音名和弦序 I、II、III 标识。横屏或使用笔记本电脑时，可同时查看更多列和更大的音域。

Overview 显示完整音域。选择 Detail 后，可横向滚动图表并查看单个音。选择 Back to table 返回读数表。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.5.4 在表格中核对击弦点与垫片值

向右滚动表格，找到 STRIKE-P。A3 的有效弦长为 776 mm，算得击弦点距离为 97.0 mm。同一音各弦的有效弦长不同时，网页用平均值计算。使用 SP-SET 定位击弦点时，PMP 采用主机上所选的那根弦。



音名	弦码倾斜 T [mm] I	II	III	后段弦长 A [mm] I	II	III	弦压角 [°] I	II	III	垫片厚度 [mm] I	II	III	模拟弦压角 [°] I	II	III	击弦点 [mm]
A0				139.1			0.3									188.0
A#0				143.5			0.3									186.3
B0				148.3			0.3									184.2
C1				155.5			0.3									181.7
C#1				163.2			0.3									179.0
D1				169.3			0.4									176.1
D#1				176.2			0.4									173.2
E1	-0.2			183.5			0.4			0.5			0.1			170.2
F1				191.2	183.8		0.4									167.5
F#1				195.2	187.5		0.4									164.3
G1				201.7	194.8		0.5									160.8
G#1				207.1	196.6		0.5									157.4
A1				205.3	197.1		0.5									154.1
A#1				208.8	199.1		0.5									150.4
B1				209.5	200.7		0.5									146.9
C2				211.6	204.2		0.6									143.2
C#2				208.4	195.7		0.6									140.1

在示例中，指的是E1弦。当假设使用的垫片厚度为0.5毫米时，显示出的角度会从0.4°降至0.1°。

在 E1 行可试算垫片的作用。在 D-SHIM 中输入所需厚度（mm）。D-ANGLE 显示初始角度，>ANGLE 显示模拟后的角度。实际加垫前可比较两个数值，系统保留原始实测 D。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.5.5 修改读数与插补缺失值

要更正读数，点击相应琴弦的单元格，输入以毫米为单位的数值，再选 Save value（保存数值）。Delete value（删除数值）从浏览器中删除该读数。Use PMP value（使用 PMP 数值）恢复设备原始读数，相关派生值会重新计算。编辑适用于网页中当前显示的乐器数据。



编辑一个表格单元格。对话框标题会标明所涉及的音、测量数值以及对应的琴弦。



实际应用示例：以D2琴弦I为例，预览显示其长度应为1295.3毫米，而实际测量值为1298.5毫米。

单个读数缺失时，选 Three values, one gap，并选取同一弦号、同一列中的三个已知数据作为参考点。若需处理整个区间，选 Fill gaps in a range 并设定首末音。图中为了预览，暂时隐藏了 D2 原有的 B 值。插值时会考虑弦码交界处和缠弦与裸弦的分界。

选 Preview 查看建议，选 Apply 将建议写入表格，计算值以黄色标示。Undo last interpolation 撤销最近一次插值。重新用 PMP 测量或手动修改任一读数，会丢弃先前的估计值。

7.5.6 保存和导出一组测量值

SAVE功能可将当前钢琴的测量数据保存为.pmp文件。日后需重新打开同一组测量数据时，可使用LOAD命令。若需进行进一步的数值分析，建议选择CSV格式；同时请注意查看列标题中标注的单位。REPORT命令会生成一份包含坐标图的报告文件，您可以直接在浏览器中查看该报告。

发送数据给低音弦厂时，选 Export bass string order (.xlsx)。F1 等双弦音的每根弦各占一行，A 与 B 均取整至毫米。若要在 Mensurix 中继续处理弦列尺寸，选 Export Mensurix (.csv)。每个音导出一个有效弦长值；已测多根同音弦时取其平均值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

7.6 将 SCALE 与旧版 Excel 工作簿配合使用

要将数据实时传输到旧的Excel工作簿中，需要确认数据已接收。关于当前浏览器的工作流程，请参阅第7.5节。



在PMP设备上开启LIVE模式

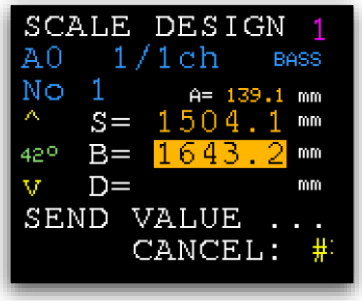
在“SCALE测量”对话框中，按#键可开启LIVE功能。白色指示LIVE功能处于激活状态。当您切换到下一个音时，已准备好的读数便会被传输出去。相邻的屏幕会显示传输过程，而在确认信号缺失时，也会出现相应的提示信息。

显示 START LIVE ON YOUR DEVICE 时，在 Excel 中开始接收实时数据。按 # 停止传输，并关闭 PMP 上的 LIVE。

在Excel中设置

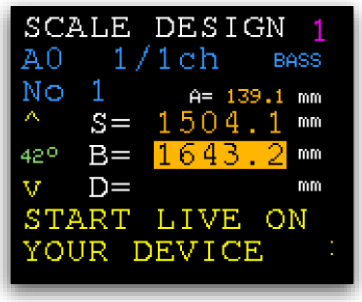
已打开Excel工作簿，并将其设置为接收来自主机设备的测量数值。

在“DATA”工作表中，从下拉列表中选择主机设备。

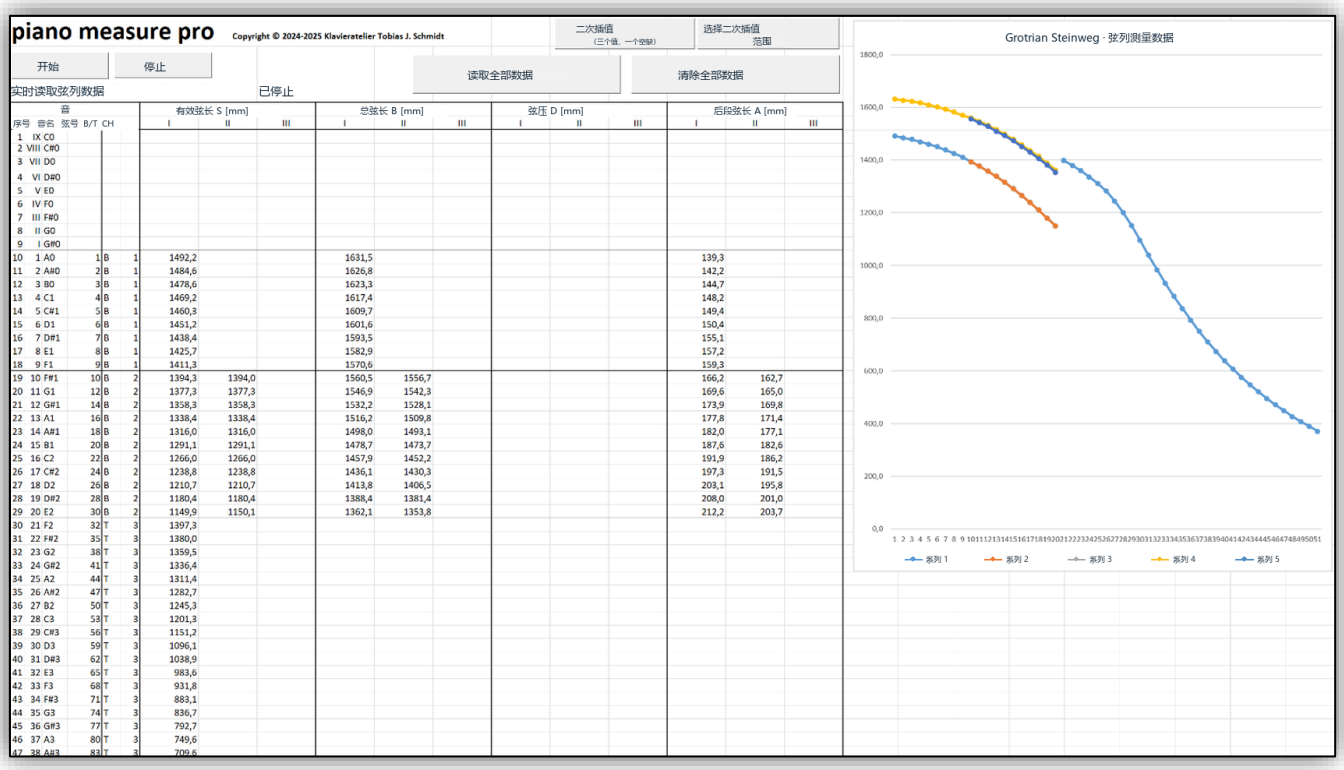


没有外部 Wi-Fi 时，电脑可直接连接主机。选择设备 2 提供的 SSID piano-measure-pro-2-XXXX，其中 XXXX 在较新固件中为设备序列号。在下拉框选 DIRECT (SOFT AP)，见 Key Level 中的“在 Excel 中分析数据集”。

⚠ 重要提示：为确保能够接收到测量数据，必须启用Excel中的宏功能（请参阅“信任中心”中的Excel安全设置）。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



Excel工作表“SCALE_DATA”

在切换到“SCALE_DATA”工作表后，您将进入弦列设计功能的相关区域。

用 START 和 STOP 启用或停用实时传输。

当前状态显示在 READING LIVE SCALE DATA: 栏。



- “STOPPED”（红色）：该模式未处于激活状态
- STARTED（绿色）：模式已启用，测量值会连续传输。

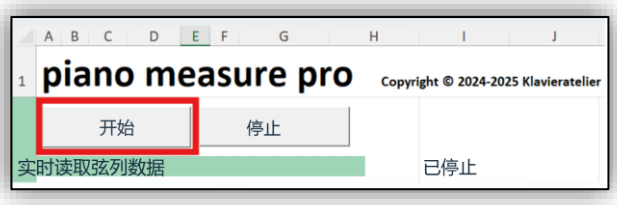
一旦LIVE模式被激活，测量数值在记录下某根琴弦的数据后立即传输到Excel中，这些数据会被录入表格，并且还会以图形形式显示在右侧的图表中。

调用弦列设计功能后，可以将已存在的数据集加载到主机上（详见“在主机上加载数据集”一章）。此时会出现一条提示信息，说明数据可通过WiFi获取。

工作表中的这些按钮可用于实现其他功能：

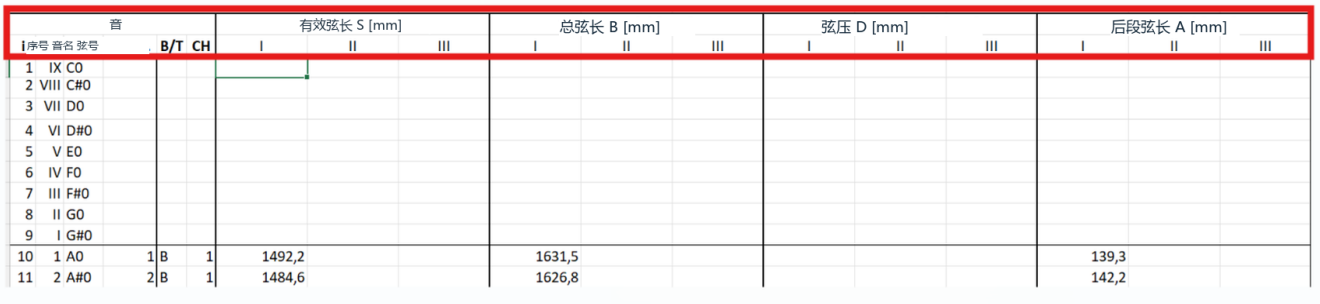
- GET ALL DATA：将数据集中保存的所有读数一次传入 Excel。
- CLEAR ALL DATA：清除 Excel 表中 scale design 的全部测量值。

⚠ 重要提示：删除操作仅影响Excel表格中的数据。设备本身存储的测量值仍会保留在指定的内存位置中，其他功能中已存在的测量值（例如工作表“DATA”中的键高数据）也不会受到影响。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

表格说明



音				有效弦长 S [mm]			总弦长 B [mm]			弦压 D [mm]			后段弦长 A [mm]		
序号	音名	弦号	B/T	CH	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	IX	C0														
2	VIII	C#0														
3	VII	D0														
4	VI	D#0														
5	V	E0														
6	IV	F0														
7	III	F#0														
8	II	G0														
9	I	G#0														
10	1	A0	1	B	1	1492,2			1631,5					139,3		
11	2	A#0	2	B	1	1484,6			1626,8					142,2		

该表格清晰地汇总了弦列设计功能中获取的所有测量数据。

标题栏（“色调”）

- 列号（连续编号）：对各项内容进行的顺序编号。
- No. 列：音序编号。通常以 A0 为第 1 音。若 A0 左侧有附加琴键，例如贝森朵夫 Imperial，则从 A0 向左用罗马数字 I、II、III……标至最左键。
- “注”栏：音名标识（例如A0、C4）。
- “StrNo.”列：弦序（弦序的编号从第一个音的第一根琴弦开始，依次向上计数）。
- “B/T”列：用于标识该音是低音（B表示使用缠弦的低音琴弦的低音音符）还是中音或高音音符（T表示中音或高音音符）。
- “CH”列：属于相应音的琴弦数量（单弦、双弦或三弦）。

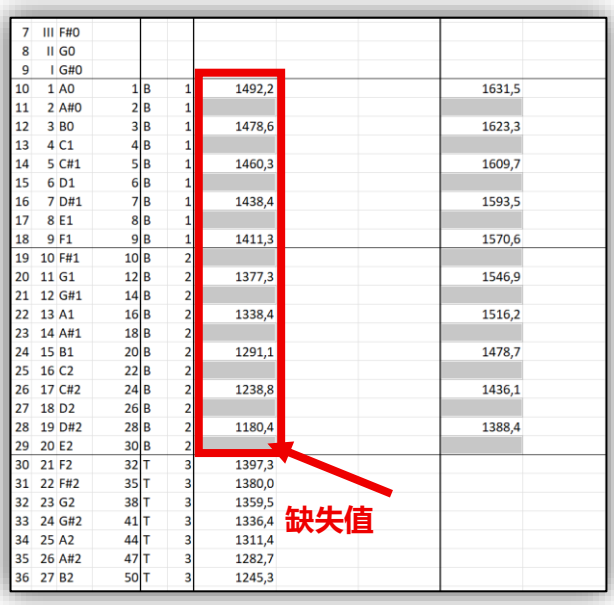
测量列

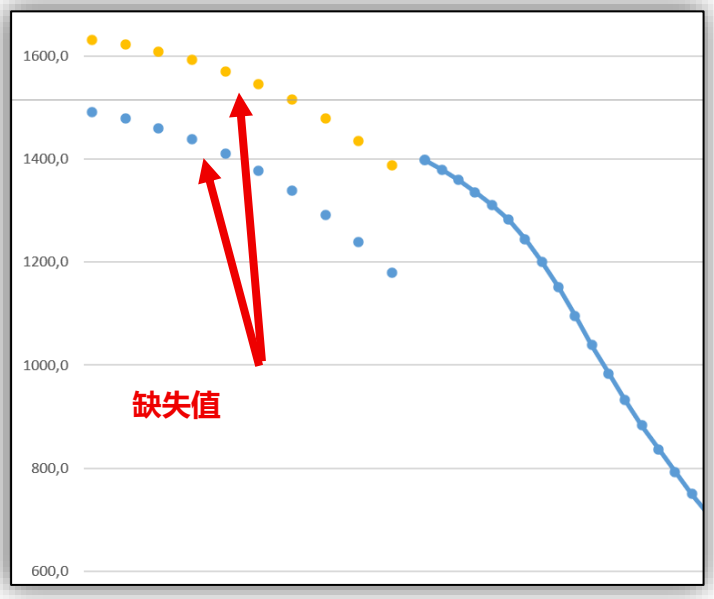
以下是列出了各项测量参数的四个主要栏目：

- SPEAKING LEN (S) [mm]：有效弦长。
- TOTAL LEN (B) [mm]：总弦长。
- DOWBEARING (D) [mm]：弦压高度量。
- REAR LEN (A) [mm]：弦后段长度。

这些主列中的每一列进一步划分为I、II、III三个子列，分别代表相应音的第一个、第二个和第三个琴弦。因此，每一行都会并排显示该音所有琴弦的测量数值。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen





缺失值的插值处理

为了加快测量速度，可以按照固定的模式跳过某些琴弦进行测量。这样既能减少单独测量的次数，又能节省时间。

通常，挂弦钉或弦码钉的排列呈近乎直线的曲线形态。在这种情况下，只需记录被跳过的琴弦两侧的测量数值，然后通过插值计算出缺失的值即可。这样一来，就能得到出人意料地精确的结果，而在实际应用中，这些结果往往已经完全足够使用了。具体需要达到何种精确度，由技术人员根据具体情况来决定。

采集读数时，可按固定间隔跳过一个挂弦钉或码钉。这会在表中留下空格，供之后插值补齐。



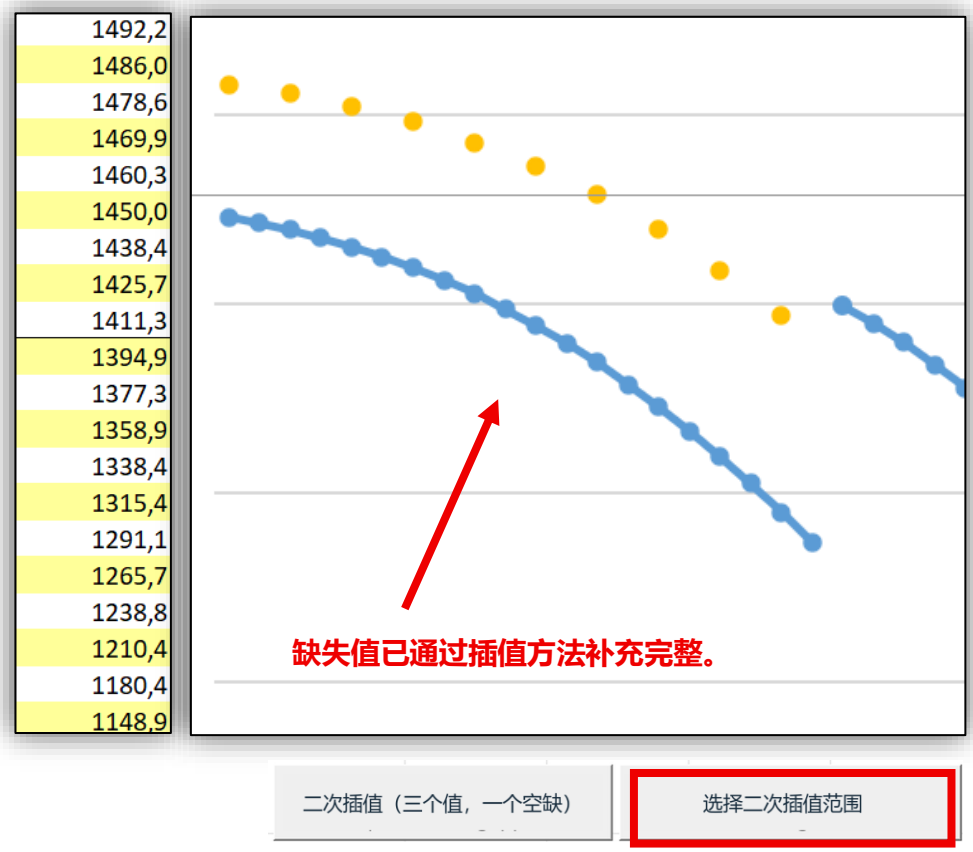
在上表中，缺失的测量值以灰色单元格标示出来。

选定单元格区域，点击 Select Quadratic Interpolation Range，空格会由计算出的插值补齐。

表格中，插值后的数值以黄色标出。

在图中可以清楚地看到，这些缺失的点是如何补充现有的线条并使曲线更加平滑的。

⚠ 重要提示：弦码交界或结构特殊的关键位置仍需实测。插值适用于结构连续均匀的范围，可节省测量时间。

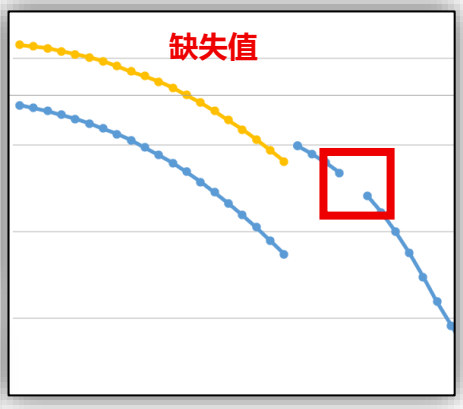


版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

二次插值法（3个测量值，1个间隔值）

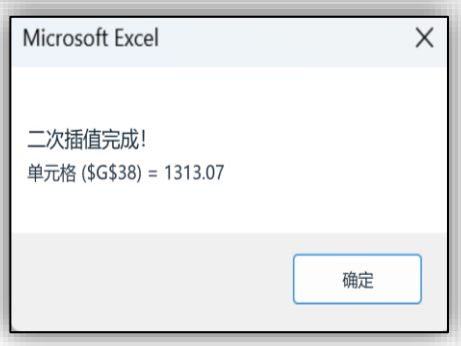
有时会遇到这样的情况：由于声学结构的某些部件遮挡，激光束无法照射到测量点，从而导致无法测量某些特定的琴弦。如果缺少这类孤立的测量数据，可以通过第二种插值方法来补充这些数据。

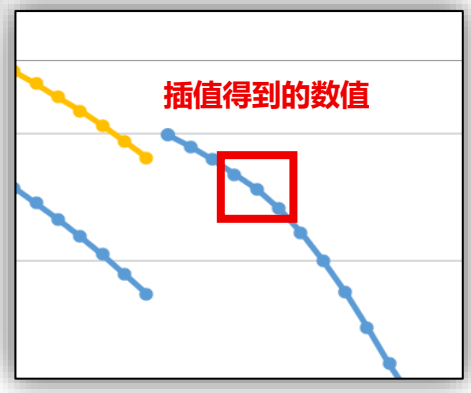
F#2	35	T	3	1380,0
G2	38	T	3	1359,5
G#2	41	T	3	1336,4
A2	44	T	3	
A#2	47	T	3	1282,7
B2	50	T	3	1245,3
C3	53	T	3	1201,3
C#3	56	T	3	1151,2
D3	59	T	3	1096,1

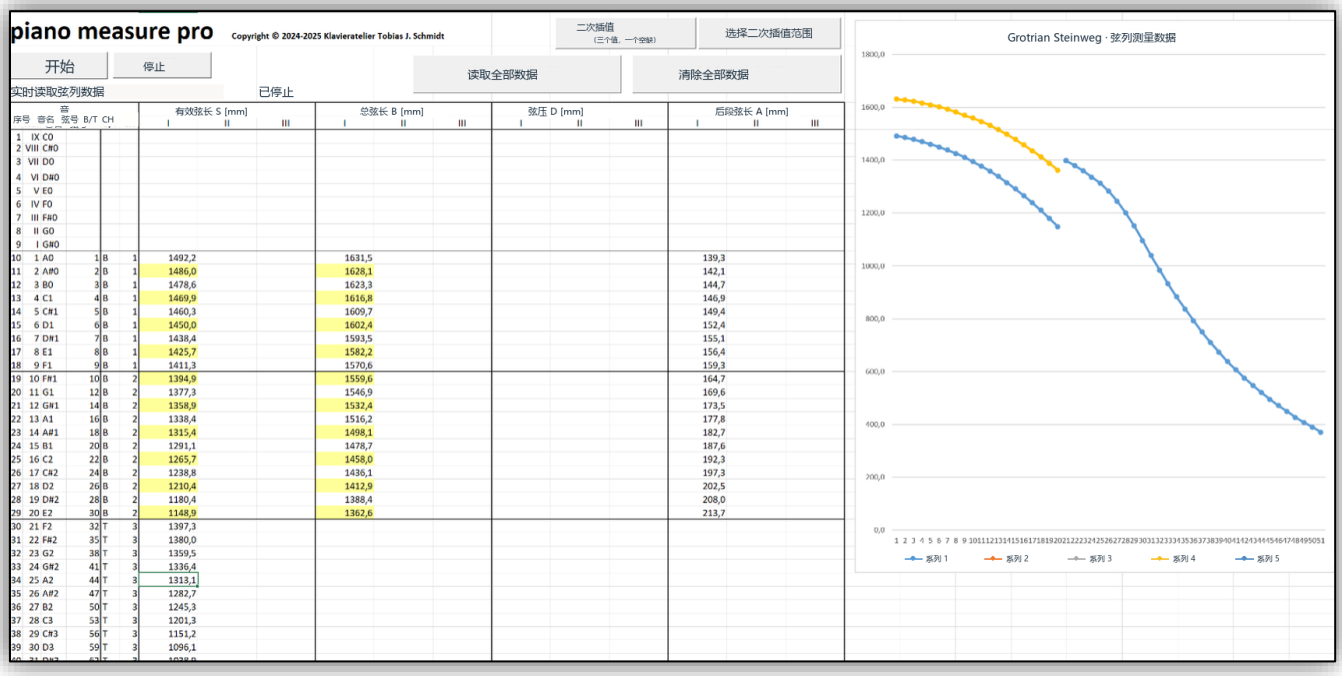




为此，需要选中三个相邻的现有测量值以及它们之间的空白单元格，然后点击相应的按钮。系统会自动插值计算缺失的值，将其填入表格中，从而填补曲线中的空白部分。







版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

低音琴弦生产技术规范书

SCALE_BASS 工作表会自动填入低音区缠弦的实测值。表格按低音弦厂所需的格式编排。

制弦厂所需的长度数据为：

- 后长度A
- 总长度B

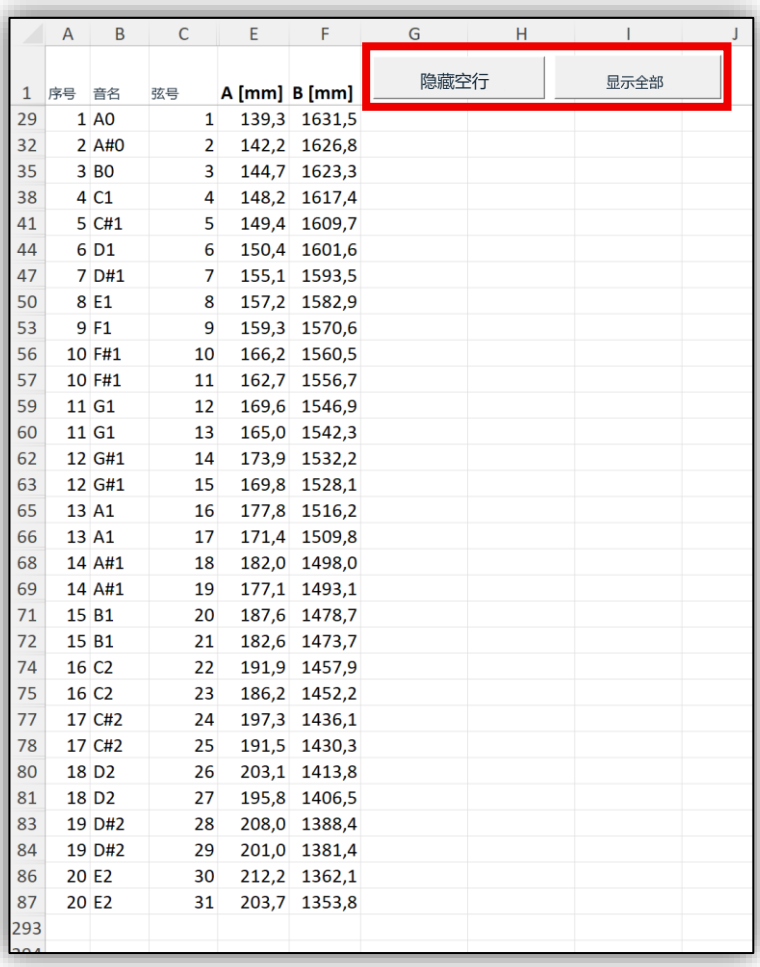
从最低、最长的弦开始，按顺序为各弦的数值编号。有效弦长、弦压等其他数据对制弦厂无用，可能造成混淆。因此可将表格原样（1:1）交给供应商。

在“SCALE_BASS”工作表中，其结构与“SCALE_DATA”工作表不同：

同一个音的各根弦纵向排列，每根弦占一行。单弦音和双弦音没有三根弦的读数，因此会留下空行。

为便于理解，以下功能可供使用：

- 通过“隐藏空行”按钮，所有空行都会被隐藏起来。
- 点击“显示全部”按钮后，所有行会再次被显示出来。

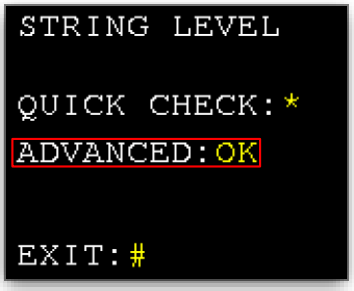


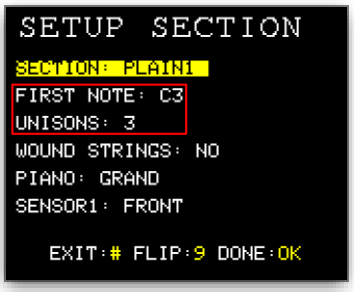
	A	B	C	E	F
1	序号	音名	弦号	A [mm]	B [mm]
29	1	A0	1	139,3	1631,5
32	2	A#0	2	142,2	1626,8
35	3	B0	3	144,7	1623,3
38	4	C1	4	148,2	1617,4
41	5	C#1	5	149,4	1609,7
44	6	D1	6	150,4	1601,6
47	7	D#1	7	155,1	1593,5
50	8	E1	8	157,2	1582,9
53	9	F1	9	159,3	1570,6
56	10	F#1	10	166,2	1560,5
57	10	F#1	11	162,7	1556,7
59	11	G1	12	169,6	1546,9
60	11	G1	13	165,0	1542,3
62	12	G#1	14	173,9	1532,2
63	12	G#1	15	169,8	1528,1
65	13	A1	16	177,8	1516,2
66	13	A1	17	171,4	1509,8
68	14	A#1	18	182,0	1498,0
69	14	A#1	19	177,1	1493,1
71	15	B1	20	187,6	1478,7
72	15	B1	21	182,6	1473,7
74	16	C2	22	191,9	1457,9
75	16	C2	23	186,2	1452,2
77	17	C#2	24	197,3	1436,1
78	17	C#2	25	191,5	1430,3
80	18	D2	26	203,1	1413,8
81	18	D2	27	195,8	1406,5
83	19	D#2	28	208,0	1388,4
84	19	D#2	29	201,0	1381,4
86	20	E2	30	212,2	1362,1
87	20	E2	31	203,7	1353,8
293					

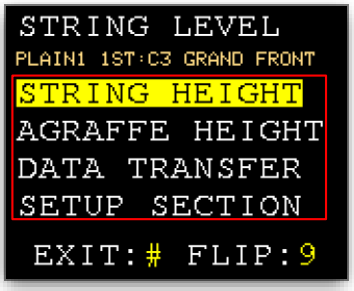
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8 功能“string level”ADVANCED——琴弦与弦枕钮校平校准

高阶“string level”功能可沿连续区段逐一采集单根琴弦与弦枕钮的高度。PMP 会为每次采集建立固定基准，清晰呈现高低差异，并在随后的校平调节中提供实时辅助。琴弦测量与弦枕钮测量均从同一个功能菜单进入。







8.1 启动与通用功能菜单

1. 打开 ADVANCED

在主菜单中选择“string level”，在启动界面按 ADVANCED:OK 进入高阶功能。按 QUICK CHECK:* 仍可进入单个同音弦组的快速局部检测（详见第 6 章“功能‘string level’QUICK CHECK——同音弦组共面检测与校平”）。

2. 配置测量分区

首次进入时屏幕显示 SETUP SECTION。使用 ↑ / ↓ 方向键选择栏位，使用 ← / → 方向键调整设置（本例选用 PLAIN1、FIRST NOTE:C3、UNISONS:3 与 GRAND），按 DONE:OK 确认生效。各项参数详述见第 8.3 节“测量分区与琴弦数据”。

3. 选择测量任务

使用 ↑ / ↓ 方向键选择 STRING HEIGHT（琴弦高度）或 AGRAFFE HEIGHT（弦枕钮高度）并按 OK 键进入；选择 DATA TRANSFER 进入数据传输；选择 SETUP SECTION 返回分区配置。屏幕顶行汇总显示分区代号、起始音、琴型及传感器安装方向。在子菜单按 BACK:# 返回上一级，在主功能菜单按 EXIT:# 退出本功能。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.2 准备导轨与传感器

沿既定测量线采集琴弦

将导轨横向跨放于所选琴弦区段上方并防滑固定，使传感器沿同一条测量线（例如击弦线）依次扫过每一根琴弦，并在初次采集与随后的复测扫描中始终保持该测量线不变。

优先推荐使用 SENSOR 1，SENSOR 2 亦可适用。在区段首尾两端核查并设定传感器高度，使首尾两根琴弦（或首尾两枚弦枕钮）均留有一定安全余量地落在有效量程内（不要求读数恰好为 0.00 mm）；开始采集前同样应检查区段中部是否处于有效量程内。

导轨不必与弦平面严格平行，关键在于架设稳固、滑行路径顺畅平直，且在整个测量序列期间支承位丝毫不动。扫描时务必沿单一方向缓慢匀速滑过整段区域，中途切勿折返。

沿弧形排列采集弦枕钮

将导轨横向架设于待测弦枕钮区段上方：右侧通过防滑垫稳固搁置在三角钢琴琴壳边缘（Rim）或固定支座上，该支承点在测量全程保持不动，作为旋转支点；左侧则垫放低摩擦柔软卡西米尔呢毡。

由于弦枕钮通常呈弧线排布，推送传感器沿导轨滑行的同时，另一只手须轻柔地在毛毡上前后微移导轨左端进行随动跟踪（右侧支点固定不动），从而确保激光光斑始终居中落在每一枚弦枕钮顶面上。

激光束应自正上方垂直照射弦枕钮顶面，并在每一枚弦枕钮上尽量采集顶面正中同一特征位置；边缘倒角、穿弦孔及钮间缝隙均不属于有效高度测点。

准确设定琴型与传感器安装方向

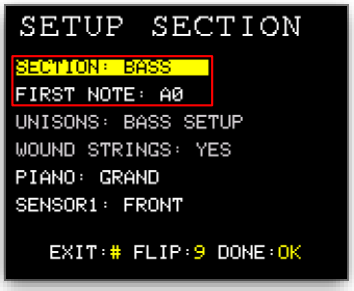
在 SETUP SECTION 中，三角钢琴选择 PIANO:GRAND，立式钢琴选择 UPRIGHT，系统据此匹配扫描视角与方向。SENSOR1 或 SENSOR2 须与实际所用传感器一致，FRONT / REAR 须与实际装机朝向完全吻合。

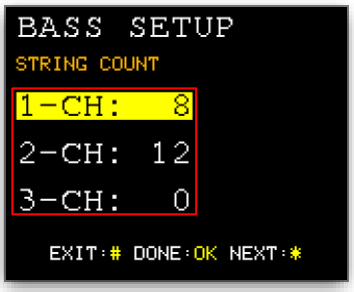
FRONT 表示传感器位于导轨靠演奏者一侧，REAR 表示翻转 180° 位于导轨对侧（与“key level”中测白键朝前、测黑键翻转朝后完全相同）。按数字键 9 可将屏幕画面旋转 180°。采集前务必核对朝向，并在整组测量期间保持不变。

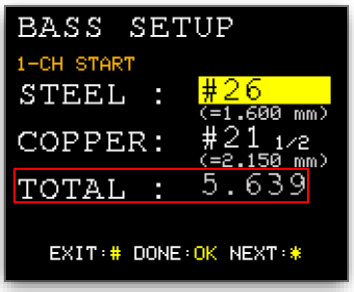
重要提示：在初次采集、复测扫描以及校平修正全过程中，支承点、传感器高度与测量线均须保持一致（测量弦枕钮时，仅允许导轨左端随弦枕钮弧线轻柔前后跟踪）。一旦变动了架设构型，必须重新采集基准。软件选择 FRONT / REAR 不能替代机械校准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.3 测量分区与琴弦数据







1. 选择低音区与起始音

SECTION:BASS 专用于配备低音缠弦的低音区。FIRST NOTE 始终代表整个所选区段的最低音——即便随后实际扫描是从高音端向低音端反向进行的（在施坦威 B 型示例中为 A0）。若不指定具体音名而留为“--”，系统将仅以流水序号标注各组测点。

2. 录入各弦组类型的音位数量

按 DONE:OK 打开 BASS SETUP。在 STRING COUNT 下录入每种同音弦组类型所含的音位数（注意：录入的是音位数，而非单根琴弦数）：1-CH 代表单弦组，2-CH 代表双弦组，3-CH 代表三弦组，不存在的类型填 0。

示例包含 8 个单弦组与 12 个双弦组低音，共 20 个音位（对应 20 枚弦枕钮），而单根琴弦总数为 32 根。后续核对扫描计数器时，务必清晰区分音位数与单弦数。

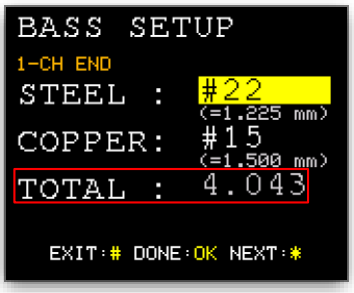
3. 设定各弦组区段首尾两端的弦径

按 NEXT:* 依次切换至每个非零弦组区段的 START（起点）与 END（终点）设置页。用 ↑ / ↓ 选择栏位，← / → 修改数值：STEEL 为芯线钢丝号，COPPER 为外绕铜丝号，其下方同步显示对应毫米直径，TOTAL 显示算出的缠弦总直径。

在任意设置页按 DONE:OK 均会一次性保存整套琴弦参数（包括未重新翻阅的页面）；按 EXIT:# 取消修改。录入的琴弦规格数据会在后续调用时自动留存，但它们本身并不等同于已保存的高度测量记录。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.4 以施坦威 B 型（Steinway B）为例的低音弦列测量

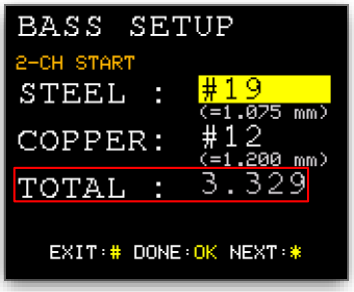


录入起止端弦径参数

本示例沿用施坦威 B 型（Steinway B）的低音弦列规格；测量其他钢琴时请按该琴实际弦列录入。

在 PMP 中，每个弦组类型仅需输入首尾两端的起止规格：

PMP 设置页	STEEL（钢丝号）	COPPER（铜丝号）
1-CH START（单弦组起点）	26,0	21,5
1-CH END（单弦组终点）	22,0	15,0
2-CH START（双弦组起点）	19,0	12,0
2-CH END（双弦组终点）	16,5	5,5

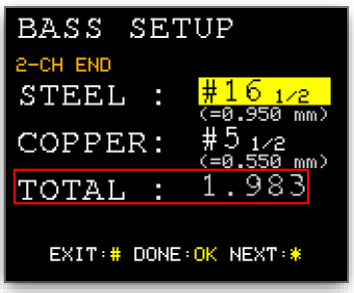


同一弦组区段内中间各音的弦径会由系统自动平滑递减插值，无需逐音录入每一次弦号变更。

区分线号与毫米直径

在 COPPER（铜丝）栏中，例如 21.5 号对应 2.15 mm 铜丝直径；而 STEEL（钢丝）栏中的数字为专用钢琴钢丝线号，并非直接毫米数。

若已知缠弦实际总直径，可将 COPPER 向左调至“MANUAL”，然后直接在 TOTAL 栏录入实测总直径（但 STEEL 芯线号仍须保留填写）。务必仅录入当前所测钢琴的真实规格数据。



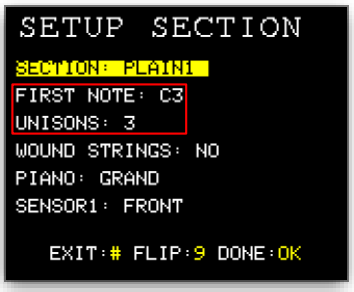
琴弦与弦枕钮共用同一套低音弦列数据

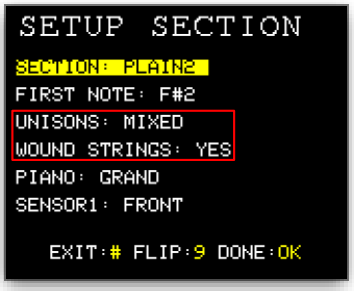
该低音弦列参数同时服务于 STRING HEIGHT 与 AGRAFFE HEIGHT，从而在高度评估时自动补偿粗细渐变的弦径差异。本例中始终完整采集全部 20 个低音音位及其对应的 32 根琴弦。

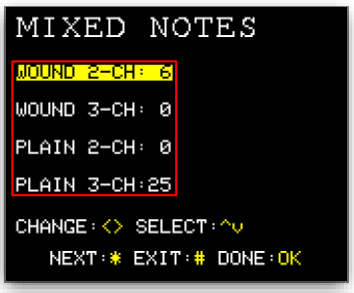
若更改了弦列规格参数，必须重新采集对应区段；切勿使用事后修改的弦列规格去评判先前已经采集的旧测量数据。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.5 裸钢丝弦与混合分区







1. 配置纯裸钢丝弦分区

裸钢丝弦区段选用 PLAIN1 至 PLAIN8。在 WOUND STRINGS:NO 状态下，于 UNISONS 栏选择同音弦组弦数 2 或 3。单次纯裸钢丝弦采集内各音弦数须保持一致，因此遇双弦组与三弦组交界处时应拆分为两个独立分区分别采集。

纯裸钢丝弦区段既无需录入弦径，也无需预填音位数，总音数由系统根据实际完整扫过的同音弦组自动统计；FIRST NOTE 同样设为本分区的最低音。

2. 配置带低音过渡缠弦的混合分区

若某段 Plain 裸钢丝弦区段低音端还带有若干过渡缠弦，请将 WOUND STRINGS 设为 YES，此时 UNISONS 自动显示为 MIXED。按 DONE:OK 后进入缠弦与裸钢丝弦合并配置页。

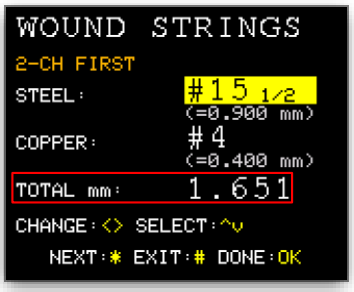
3. 统计四个子组的音位数

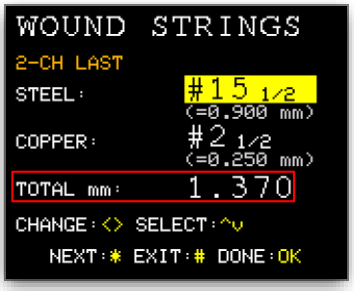
在 MIXED NOTES 下依次填入 WOUND 2-CH（缠弦双弦组）、WOUND 3-CH（缠弦三弦组）、PLAIN 2-CH（裸弦双弦组）与 PLAIN 3-CH（裸弦三弦组）的音位数，不存在的子组填 0，四组顺序严格遵循由低音至高音排列。

本配置示例起始为 6 个缠弦双弦组，随后紧接 25 个裸弦三弦组，因此在 WOUND 2-CH 填 6、PLAIN 3-CH 填 25，其余两组填 0——合计 31 个音位（对应 31 枚弦枕钮）及 87 根单弦。若裸弦部分始于 C3，则整个混合分区的 FIRST NOTE 为 F#2。后文中的琴弦实操示例将演示其中 C3 至 C5 的完整裸弦段。

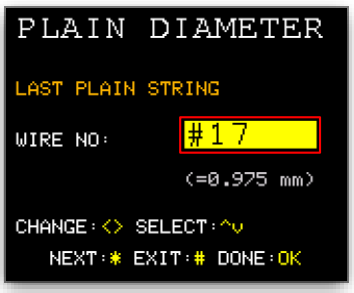
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.6 混合分区中的弦径设置









1. 设定过渡缠弦参数

按 NEXT:* 依次翻阅各非零子组。为每个缠弦子组录入首音（FIRST）与末音（LAST）规格（本例仅涉及 6 个缠弦双弦组；缠弦三弦组为 0 故自动跳过）。STEEL、COPPER 与 TOTAL 的用法与低音区完全相同，计数单位同样为音位数而非单弦数。

在 2-CH FIRST 为第一根过渡缠弦设置 STEEL #15 1/2 与 COPPER #4，TOTAL 显示约 1.651 mm。

按 NEXT:* 切至 2-CH LAST，最后一根过渡缠弦保持 STEEL #15 1/2，将 COPPER 设为 #2 1/2，TOTAL 显示约 1.370 mm。

2. 指定首根裸钢丝弦号

在 FIRST PLAIN STRING 下选择第一根裸钢丝弦的琴弦号：本例选用 WIRE NO:#20，下方同步显示对应弦径 1.125 mm（注意此处录入的是琴弦号而非毫米数）。

3. 指定末根裸钢丝弦号并确认

在 LAST PLAIN STRING 下选择最后一枚裸钢丝弦的琴弦号（本例 WIRE NO:#17，对应弦径 0.975 mm），按 DONE:OK 保存整套配置。起止端之间的中间弦径由系统自动渐变插值。

上述规格同时应用于本分区的琴弦采集与弦枕钮采集，使 PMP 能够将整个混合区段作为连贯整体加以评估；因此音位数或弦径录入有误将会影响整段分析结果。

重要提示：PLAIN1 至 PLAIN8 仅用于标识测量分区，并非 PMP 机内永久保存的测量数据槽位！在开始下一次新采集或关闭设备电源之前，务必先将测量结果传输至网页界面并做好备份保存。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

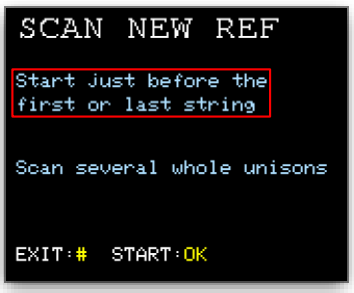
8.7 直接采集琴弦高度



1. 启动新琴弦基准采集

在通用功能菜单中选择 STRING HEIGHT，点击 SCAN NEW REF 开始新采集（PLAY & ADJUST 仅在完成匹配的采集后方可选用）。纯 Plain 裸钢丝弦分区会直接进入起测界面；低音区则先选择 DIRECT SCAN（直接扫弦）。

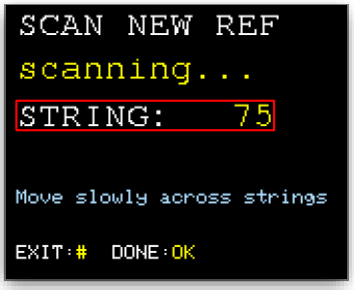
2. 从外侧首弦近旁起测



将激光光斑停在所选区段第一根或最后一根琴弦外侧近旁空隙处，按 START:OK，随后沿单一方向缓慢匀速扫过区内全部琴弦。注意须完整扫过第一根琴弦，切勿直接从琴弦正顶面起步。

纯 Plain 采集至少需要包含 3 个完整同音弦组。以下贯通实操示例采用前文混合分区中的完整裸弦部分：C3 至 C5 共 25 个三弦组（合计 75 根琴弦）。在低音区及混合分区作业时，必须完整扫过 Setup 中设定的全部音序。

3. 完整结束采集

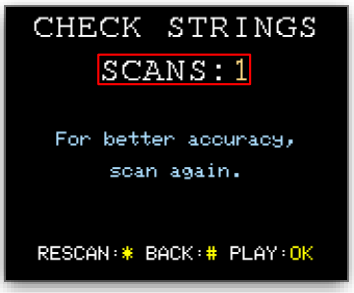


STRING 实时累计识别到的单根琴弦总数。完整扫过最后一根琴弦并滑入其外侧间隙后，再按 DONE:OK 结束。此时计数须与分区实际弦数完全吻合：纯裸弦示例为 75、完整混合分区为 87、低音区示例为 32。

若提示 SCAN TOO FAST，请放慢速度重扫；提示 SCAN ONE WAY ONLY 表示中途发生了反向折返；若计数不符或弦组规律异常，请核对分区设置并检查是否完整扫全起止范围。按 BACK:# 退出报错界面。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

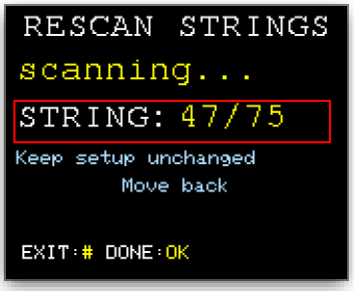
8.8 校验琴弦采集数据



启动复测校验扫描

完成首遍采集后，CHECK STRINGS 界面提示“For better accuracy, scan again.”，SCANS:1 表示已完成第 1 遍完整扫描。保持传感器停在刚刚到达的终点位置，按 RESCAN:* 启动复测扫描，然后直接沿反方向缓慢匀速扫回同一琴弦区段（无需额外按确认键）。如需继续增加复测遍数，每次均在终点按 RESCAN:* 后反向扫回即可，全程切勿碰动导轨、支承位或传感器高度。

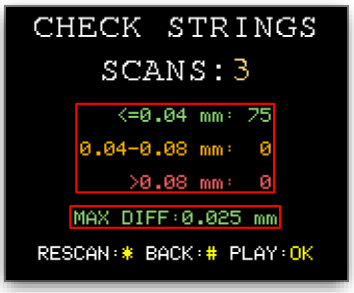
沿反方向完整回扫区段



无论正向还是反向，每遍复测扫描都应从即将最先经过的那根琴弦外侧近旁起步，单向缓慢匀速扫完整个区段，中途不折返，并保持支承位、传感器高度与测量线完全一致（采用胶带辅助法时亦不得碰动胶带）。进度计数器实时显示复测到的单弦总数。

未扫完整的复测不会被采纳。若提示 RESCAN ERROR，按 BACK:# 返回，移至起测端间隙后重新按 RESCAN:* 启动。

对比多遍扫描一致性

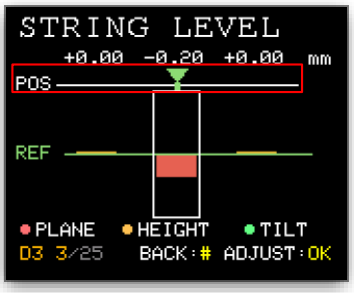


彩色统计行汇总各根琴弦在复测中与先前读数的差值，MAX DIFF 标明全区最大单弦偏差。本例完成三遍扫描后，全部 75 根琴弦均呈绿色且最大偏差仅 0.025 mm，证明本次采集重复性极佳。请注意：重复性好仅说明测量可靠（即便一根严重偏低的琴弦每次也会稳定测出同一偏低值），同音弦组本身是否平整共面，需在接下来的 PLAY 视图中通过 PLANE、HEIGHT 与 TILT 三项指标评判。

PMP 会自动对相互吻合的多遍扫描取平均值以提升精度。UNCLEAR 表示尚未形成明确比对基准，增加完整复测遍数即可厘清；ESTIMATED 提示个别琴弦读数属近似估算值。按 PLAY:OK 继续下一步，随后可根据需要选择传输数据或跳过。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.9 在 PLAY 中评估弦高位置

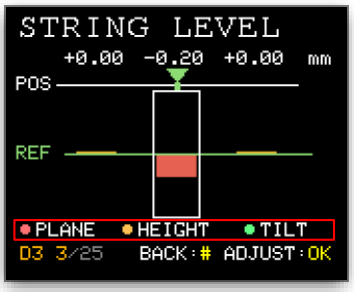


浏览已采集的琴弦高度位置

在已扫描区段内将传感器滑移至任意音位，PLAY 界面即刻调出该同音弦组已记录的弦高数据；屏幕底部标明音名与区段序号（本例 D3 为 25 音中的第 3 音）。无需重新扫弦，各音数据随时即看即得。

每根宽柱条对应同音弦组内的一根琴弦，绿色 REF 水平线代表全区段固定基准面：正值高于基准线，负值低于基准线，白色外框标示当前对准的琴弦。本例中左右两根外侧弦均在 0.00 mm，中间弦低至 -0.20 mm（明显偏低），故三盏指示灯分别显示：PLANE 红色、HEIGHT 橙色、TILT 绿色。

POS 定位条辅助精准寻找每根琴弦中心：滑移传感器使指示三角尖端对齐中央刻线（居中时三角转为绿色）。若提示 OUTSIDE REFERENCE，说明传感器已滑出本次采集的区段范围之外。



三项独立红绿灯评估指标的判读顺序

PLANE（三弦共面度，第一优先级）：针对三弦组，专门评判中间弦是否落在左右两根外侧弦的连线上。应首先关注此项不共面缺陷——整组三弦均匀倾斜本身并不构成 PLANE 故障；但如果唯独中间弦凸出或凹陷，三根弦便无法同时贴合平整的弦槌击弦面，且根本无法通过规范修磨弦槌毡面来弥补（否则势必把弦槌击弦面磨出沟槽或凸脊）。因此必须优先将三根弦校平至同一平面，PLANE 具有最高优先级。

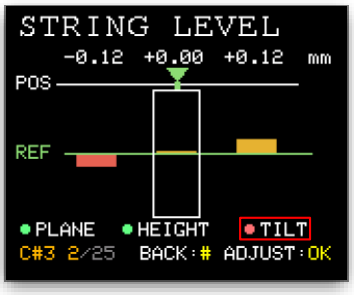
HEIGHT（弦组整体高度，第二优先级）：评判该同音弦组平均高度相对于全区固定基准线的偏差，直观暴露相邻音位之间的弦高落差——此类落差会直接影响击弦机整调（尤其是断联一致性）。待单组三弦自身校平共面之后，再评估整组高度；尽可能使相邻音组保持平滑一致的高度，能大幅降低后续击弦机整调难度，故 HEIGHT 居第二优先级。

TILT（弦组横向倾角，第三优先级）：评判左右两根外侧弦之间的高低差，表征同音弦组整体横向歪斜程度。均匀倾斜的共面弦组在工艺上原则上仍可通过修整出相应倾角但保持平直的弦槌击弦面加以贴合——虽然会增加对弦修磨工作量，但与中间弦孤立凸凹性质截然不同，因此 TILT 排在 PLANE 与 HEIGHT 之后综合考量。

绿色代表偏差轻微，橙色代表偏差值得关注，红色代表偏差显著；灰色代表该项评估不适用或无数据（PLANE 仅适用于完整三弦组，TILT 适用于双弦组及以上）。柱条直观展示各弦相对高低以便技师判断应挑调哪根弦，PMP 不会武断指定“故障弦”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

示例 1：均匀倾斜的同音弦组

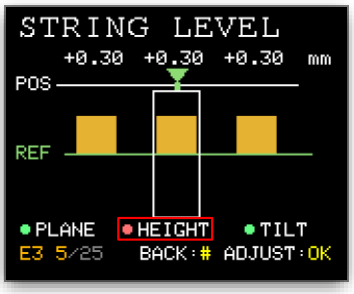


C#3 是本段裸弦区的第 2 个音，三根弦高度分别为 -0.12 / 0.00 / +0.12 mm。中间弦恰好精准落在左右两根外侧弦连线上，弦组自身严格共面，故 PLANE 为绿色；其平均高度恰好吻合基准，故 HEIGHT 为绿色；但左右两外弦高差达 0.24 mm 呈现明显横向歪斜，故 TILT 为红色。

此例清晰说明了将三项指标独立拆分的意义：倾斜但仍保持平整的弦槌击弦面可以同时贴合该组三弦。技师应先实地检视弦位与弦槌贴合度，再专业判断是否需要动弦或调整弦槌。

示例 2：整组同音弦组整体偏高

同一区段的第 5 个音 E3，其三根琴弦齐平处于 +0.30 mm：弦组自身既共面又水平，故 PLANE 与 TILT 均为绿色；但因整组相对全区固定基准明显偏高，HEIGHT 亮起红灯。

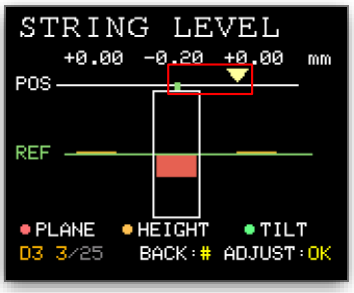


此类整组高度落差对击弦机断联整理影响重大：如果在工作台上以平直直尺参照邻音高度把断联统一调成 1.50 mm，推回琴体后，由于 E3 三根弦实际高出 0.30 mm，该音实际断联距离便会变成约 1.80 mm，比邻音足足大了 0.30 mm。

由此可见，仅看 PLANE 为绿色远远不够，还必须同时关注相邻同音弦组的整体高度一致性，并在击弦机整调中加以衔接。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.10 使用 ADJUST 校平琴弦

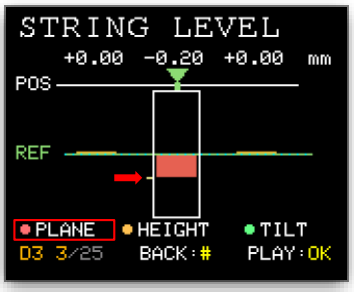


读懂定位指示条

白色 POS 线中央的固定绿色刻度代表采集时锁定的单弦中心坐标，向下指的三角形代表传感器当前相对位置，随传感器左右平移同步滑动。

上方屏幕图中黄色三角尚偏在中心刻线右侧，向左微移传感器使三角尖端对准中央绿色刻线，居中瞬间三角自身亦转为绿色；下方图展示开启 ADJUST 后的居中就位画面。

由于琴弦呈圆柱截面，测量高度时激光必须精准落在琴弦正顶面最高点，略微偏离侧方就会照到更低的弦侧弧面导致读数失真，因此务必精细对中。POS 仅用于精准找回原采集坐标，不会自动追踪移位后的琴弦——若导轨被碰移或琴弦本身横向移位，须重新扫描采集。

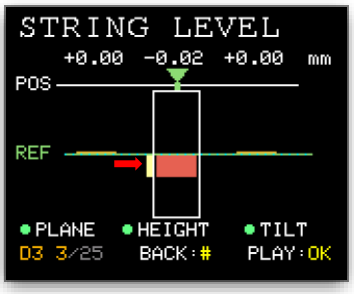


在琴弦正中开启 ADJUST

将传感器精准对中目标琴弦并按 ADJUST:OK，PMP 即在当前位置锁定实时校平零点基准（若在弦间空隙误按 OK，系统会等到滑至有效弦中坐标时才正式锁定基准）。

下方图示为校平起始状态：中间弦仍比两侧外弦低 0.20 mm，PLANE 为红色。校平期间保持传感器稳稳停在该弦正中不动；图上红箭头所指为宽柱条左侧的黄色小原点，校平动弦时，细黄色 LIVE 实时条即从该原点出发动态延伸。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

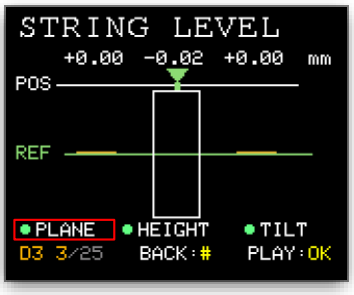


挑高琴弦并实时追踪修正量

用专用挑弦钩规范地向上挑起中间弦：上方图示中该弦已由 -0.20 mm 抬升至 -0.02 mm，红箭头所指的细黄色 LIVE 条直观展示了相对于宽柱条（仍保留初始旧高度作参照）的实时净抬升量；同时上方数字与三盏红绿灯均已实时联动刷新并全部转为绿色。图中浅蓝色虚线标示本组采集时的最高弦高度，仅作视觉参考，并非强制统一目标线。

复扫该弦组核验校平成果

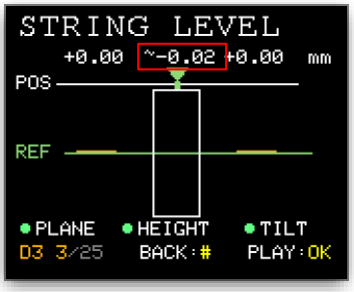
保持处于 ADJUST 模式下不退出，将传感器移回该弦组外侧首弦近旁，再缓慢匀速扫过整组三根琴弦，此时宽柱条也会随之实测刷新：中间图示更新为 0.00 / -0.02 / 0.00 mm 且三灯全绿，表明挑高后的中间弦已几乎精准落于两外弦连线上。



切忌机械地强求每根弦读数都归零，应统筹审视三项红绿灯指标并结合钢琴工艺专业裁量；遇到较大高度落差时，往往还需溯源检查弦枕钮高度。按 PLAY:OK 退出 ADJUST 后，屏幕将重新显示最初保存的旧扫描数据，因此全部校平完工后务必执行一次全新的全区段完整扫描作为最终定检。

识别近似估算标记

数值前方出现波浪号“~”表示该弦读数为近似估算值（下方图示在同一已校平弦组上展示了 ~-0.02 mm，并非额外调节步骤）。遇到带“~”且数值异常处，请仔细核查测点与复测重复性；当前数据传输时仅传递纯数值，不附带“~”符号。



将传感器滑离当前弦时，定点实时显示会暂停；保持在 ADJUST 模式下完整扫过某弦即可刷新其宽柱条高度，原修正基准会一直保持至您主动退出 ADJUST——因此滑回同一根弦时请勿误以为系统重新归零了基准。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.11 使用胶带辅助采集低音缠弦

1. 选择 WITH TAPE



针对低音缠弦，除直接扫弦（DIRECT SCAN）外，系统专门提供了胶带辅助法（WITH TAPE），将琴弦横向坐标采集与垂直高度采集拆分为两个独立步骤。在 STRING HEIGHT 中依次选择 SCAN NEW REF 与 WITH TAPE。

为何在低音区使用胶带辅助？高亮紫铜缠丝表面由无数细小圆弧螺旋构成，激光束落在波峰、波谷或斜坡时会产生剧烈杂散反光，极易干扰直接测高读数。贴覆一条合适的哑光胶带可遮盖反光铜丝凹凸，为激光提供均匀稳定的漫反射测量面。

整个流程依然高效快捷：先无胶带裸扫一遍锁定所有弦位坐标，再贴覆一条完整连续的胶带执行测高扫描。只要胶带自身厚度均匀一致，它仅使全部琴弦表面同步等量抬高，丝毫不改变各琴弦之间的相对高度差。

挑选合适的专用胶带

请选用浅色、哑光、尽可能不透光，且明确标注为可反复揭贴、撕除无残胶的胶带：它既须具备足够粘性以服帖贴合每根琴弦，又须在测完后可彻底揭净不留胶渍。使用前请先在不起眼处测试其与铜丝表面的兼容性。

胶带柔韧度须恰到好处：既要足够柔顺以顺应相邻琴弦的高低起伏，又不可过于轻薄柔软以致把每一圈铜丝沟纹都清晰印透到顶面——理想状态是在缠丝上方形成平顺微桥面；同时也不可过于硬挺导致在较高琴弦间架空拉桥、压不到偏低的琴弦。

贴覆时务必无拉伸张力、无褶皱、无拼接重叠：使胶带在每根琴弦正顶面紧密贴实、不留空鼓气泡（弦间空隙可自然悬空），切勿用力将胶带按入铜丝缠绕缝隙或将琴弦向下压沉。

无胶替代方案说明：市面上虽有浅色哑光静电吸附膜可选，理论上若能无气泡贴实每根弦顶亦可试用，但静电膜在圆柱形铜丝绕层上的附着可靠性难以保证，目前仅属试验性备选方案，尚未正式验证完全适用。

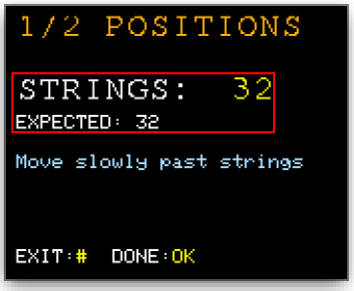
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

2. 先在无胶带状态下起步扫描



确认低音区共用参数配置无误（本例仍为 8 个单弦组与 12 个双弦组，共 32 根琴弦）。将传感器置于预定测量线上首弦或末弦外侧近旁空隙处，此时切勿贴胶带，按 REC:OK 启动位置扫描。

3. 采集全部琴弦横向坐标



在 1/2 POSITIONS 界面下缓慢单向扫过整个低音区，完整越过最后一根琴弦并停入其外侧间隙后，再按 DONE:OK 结束。

识别计数必须恰好为 32。第一遍裸扫旨在精准定位每根琴弦的中心横坐标，以便随后的贴胶带测高扫描在同一批坐标上精准采样。若漏检任意一根琴弦，务必在贴胶带之前排查重扫——不完整的位置扫描无法进入下一步。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.12 使用胶带执行高度扫描



1. 贴覆一条完整连续的胶带

屏幕显示 POSITIONS OK 后，取一条完整无拼接、厚度均匀的胶带横向平贴覆盖整段测量线，确保在每根琴弦正顶面均紧密贴实、无空鼓，且不将胶带按陷进铜丝纹或压低琴弦（遵循第 8.11 节选带与贴覆要点）。期间切勿碰动导轨、支承位及传感器高度。

将传感器退回已采区段的任意一端，停在最外侧首弦近旁间隙处，按 REC:OK 启动测高扫描。



2. 采集全部弦高数据

在 TAPE HEIGHTS 界面下沿单一方向缓慢扫过整段贴带区域，计数同样必须达到 32 根琴弦。完整越过末弦后按 DONE:OK，屏幕随即进入 CHECK STRINGS，可继续执行多遍复测校验。

复测与随后的实时核验期间请保留胶带原位不动。按 RESCAN:* 可在同一组坐标上重复执行测高扫描；完成后按 PLAY:OK 并按需传输数据，随后即可在 PLAY & ADJUST 中基于该成品数据开展评估与校平。



3. 单独重扫失败的测高行程

若屏幕提示 TAPE RETRY，说明刚才的贴带测高未能完整成功，但第一遍采集的 32 弦坐标仍完好保留。保持胶带与导轨不变，将传感器退回起测端间隙并按 RETRY:OK，即可仅重扫贴带测高步骤。

图示报错示例中仅采到 30/32 根琴弦，CHECK TAPE / SCAN 提示请检查胶带贴合度以及是否扫全整段行程；按 EXIT:# 中止退出。若重新架设了导轨，则须从第一遍无带位置扫描重新开始。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.13 自动采集弦枕钮高度







1. 打开 AGRAFFE HEIGHT

在通用功能菜单中选择 AGRAFFE HEIGHT，随后点击 SCAN NEW REF。此前配置好的分区与弦列数据自动沿用；在低音区示例中，此处采集的是 20 枚弦枕钮（而非 32 根单弦）。

测量时应尽量精准捕捉每一枚弦枕钮顶面的正中同一位置；按第 8.2 节“准备导轨与传感器”所述固定右侧支点、左手于毛毡上轻柔随动跟踪弦枕钮弧线。

2. 直接从首枚或末枚弦枕钮正中起测

将激光光斑直接居中对准所选区段第一枚或最后一枚弦枕钮顶面正中——与扫弦从空隙起步不同，新弦枕钮基准采集直接从弦枕钮正中起步！按 AUTO:OK 启动自动连续采集，按 MANUAL:* 切换至逐枚手动采集。

3. 完整滑过整段弦枕钮

缓慢匀速推动传感器依次滑过每一枚弦枕钮，同时左手在卡西米尔呢毡上平稳前后随动调整导轨左端（右侧支点固定不动），确保激光光斑始终居中落在每枚弦枕钮顶面。越过最后一枚弦枕钮滑入其外侧间隙后，按 DONE:OK 结束。

AGRAFFES 实时统计识别到的弦枕钮数量（本例应为 20）。扫描中途按 NEW:* 可作废当前自动采集并重新开始，按 EXIT:# 取消退出。纯裸弦区新采集至少须包含 2 枚弦枕钮；在低音区与混合分区则必须与 Setup 设定的完整音位数完全一致。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.14 手动采集并校验弦枕钮



1. 使用 SAVE:* 逐点手动采集

在起测界面按 MANUAL:* 进入手动模式，启动瞬间系统会自动记下居中对准的起始弦枕钮；随后将传感器逐一移至下一枚弦枕钮顶面正中停稳，按 SAVE:* 采纳该点读数，全部采完后按 DONE:OK 结束。

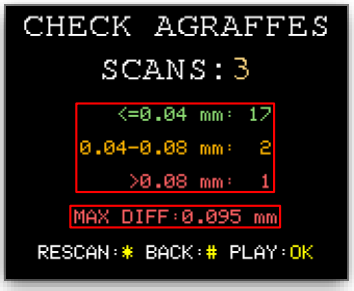
上方屏幕图展示了同一组 20 枚低音弦枕钮的手动采集结果。每次采集完毕均须核对计数与实际弦枕钮总数是否相符，并在复测时尽量命中完全相同的顶面落点。



2. 保持原架设执行复测扫描

CHECK AGRAFFES 界面以 SCANS:1 标示已完成首遍采集。如需复测校验，将传感器停在同一区段的首端或末端并按 RESCAN:*，从已知外侧弦枕钮正中（或其外侧近旁）起步重新扫全全部弦枕钮（系统自动沿用先前选定的自动或手动采集方式）。

期间保持右侧固定支承位与传感器高度不变。若数量或位置对应出错，屏幕提示 RESCAN ERROR，按 BACK:# 返回重扫即可；失败的复测不会覆盖先前已采纳的数据。



3. 评估复测离散度并进入下一步

彩色统计行汇总各枚弦枕钮的复测离散情况，MAX DIFF 显示最大偏差。下方图示为该低音区三遍复测结果：17 枚绿色、2 枚橙色、1 枚红色，最大偏差 0.095 mm——动工调整之前应重点核查那 1 枚红色异常位置。

相互吻合的复测值将自动取平均值。需牢记，此界面仅评估测量自身的重复稳定性，不代表弦枕钮高矮达标与否。按 PLAY:OK 继续，随后弹出传输提示时可按需传输或按 NO:OK 跳过。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.15 显示与重新调用弦枕钮采集数据



1. 选择 PLAY & ADJUST

完成采集后系统直接进入弦枕钮高度视图；同一次开机作业期间若需重新查看，可在 AGRAFFE HEIGHT 中选择 PLAY & ADJUST（仅在存在有效完整采集数据时可选）。

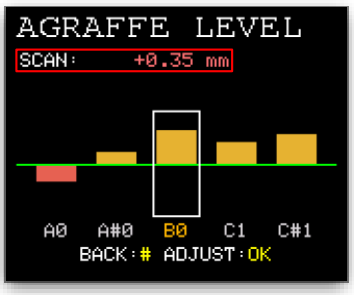
2. 重新调用时重新绑定起始定位点



在 AGRAFFE PLAY 对话框中用 ↑ / ↓ 选择 FIRST（首枚）或 LAST（末枚），将激光光斑精准居中对准该区段对应的第一枚或最后一枚弦枕钮顶面，然后按 PLAY:OK 确认（示例绑定的是低音区首枚 A0 弦枕钮）。

由此屏幕坐标即重新精准映射至各枚弦枕钮。但若此前变动过传感器高度或导轨右侧固定支承位，重新定位无法抵消高度基准误差，须重新采集基准。

3. 评估目标弦枕钮与相邻弦枕钮

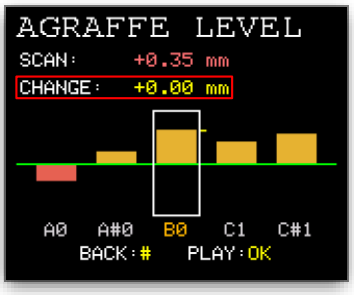


屏幕中央以白色方框标出当前选中的弦枕钮，并在左右两侧各同时展示至多两枚邻近弦枕钮，底部标注对应音名；SCAN 显示该弦枕钮相对于绿色基准线的实测高度偏差。

示例中第 3 枚低音弦枕钮 B0 偏高约 +0.35 mm（负值表示偏低），柱条颜色直观提示偏差严重程度。注意：宽柱条代表初始扫描记录，调整期间不会自动重扫更新。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

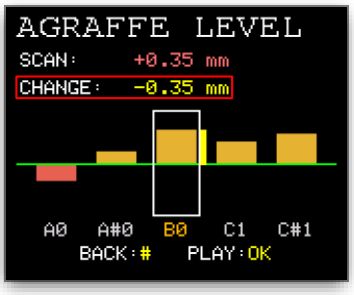
8.16 使用 ADJUST 调整配合弦枕钮高度



1. 在待调弦枕钮正中锁定变化零点

将激光光斑居中瞄准待调整的弦枕钮顶面，按 ADJUST:OK。此时 CHANGE:+0.00 mm 表示自按键瞬间起尚未发生高度位移，同时屏幕仍保留显示该钮原 SCAN 偏差值。

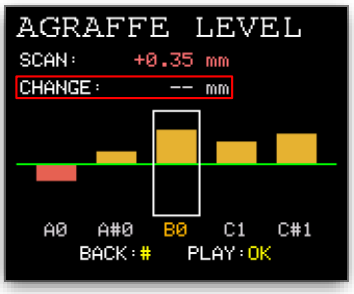
调高或调低后，弦枕钮必须紧固无松动且穿弦孔方向与琴弦走向精准对正。切记：显示正偏差绝不意味着可以强行硬拧已经旋紧到底的弦枕钮！具体工艺须视弦枕钮螺纹座与紧固状态而定，抬高时应使用专用金属薄垫圈垫高。



2. 实时追踪所需调整量

本例原 SCAN 为 +0.35 mm，因此将弦枕钮调至显示 CHANGE:-0.35 mm 左右即大致消除该偏高量；若原弦枕钮偏低，则需相应调出正的 CHANGE 变化量。宽柱条旁的细黄色条直观呈现相对于原始高度的净变动量。

请务必注意：单看 CHANGE:+0.00 mm 并不表示弦枕钮已调准，关键在于 CHANGE 数值是否恰好抵消了原 SCAN 偏差。每次重新按 ADJUST 都会以当前高度重置新的局部零点。



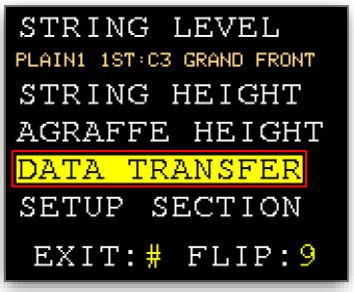
3. 挪开传感器施工后返回复检

为方便拧动弦枕钮而将传感器推至一旁时，屏幕可能暂时显示 CHANGE:-- mm，但 ADJUST 仍牢牢锁定当前这枚弦枕钮。施工完毕后，将光斑重新对准同一顶面正中位置即可读取调整量（期间确保右侧固定支点与传感器高度未变动）。

按 PLAY:OK 退出 ADJUST 返回已存柱条视图。调整下一枚弦枕钮时，须先退出至 PLAY、滑移对准新弦枕钮后再主动按 ADJUST:OK。整段弦枕钮配合调整完毕后，务必执行一次全新的全区完整扫描作为最终定检。

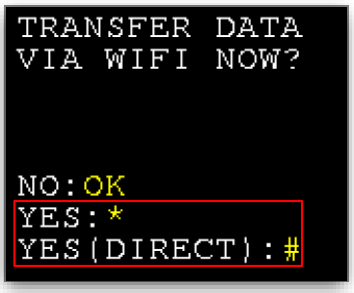
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.17 传输琴弦与弦枕钮测量数据



1. 在通用菜单中打开 DATA TRANSFER

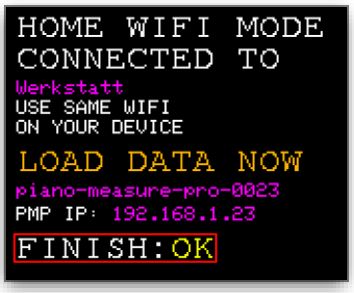
完成采集后系统会自动提示是否传输；此后亦可随时在通用 STRING LEVEL 菜单中点击 DATA TRANSFER 调出传输界面，无需重扫即可读取设备内存中的当前测量数据。



2. 选择无线传输路径

按 YES:* 使用已配置的本地 Wi-Fi（电脑、手机或平板须与 PMP 接入同一网络）；按 YES(DIRECT):# 开启直连模式（终端直接连接 PMP 自带 Wi-Fi）；按 NO:OK 跳过传输。

Wi-Fi 配置及两种连接方式详见第 2.9 节“网页界面与 REMOTE”。在浏览器首页点击 STRINGS 即可进入分析界面。



3. 读取对应的测量数据

待 PMP 屏幕显示 LOAD DATA NOW 后，在网页 STRINGS 页面中选定对应分区（BASS 或 PLAIN1 至 PLAIN8），分别读取琴弦采集或弦枕钮采集数据。如需将琴弦与弦枕钮同图叠合对比，务必将同区段的两份数据载入同一个分区下。

分区代号、起始音及弦列数据须相互匹配。新拉取的数据会覆盖网页中该分区内同类型的旧数据，因此读取新数据前如有需要请先执行保存备份。务必待浏览器完整读取完毕后，再在 PMP 上按 FINISH:OK 结束传输。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.18 打开网页界面并加载测量数据

在本地 Wi-Fi 下通过屏幕显示的 IP 地址或带 .local 后缀的设备名访问；直连 PMP Wi-Fi 时访问 http://192.168.4.1。进入首页后点击 STRINGS 加载测量数据。

在顶部导航栏点击 STRINGS：页面标题为 STRINGS，按分区清晰展示各区段的琴弦与弦枕钮扫描结果。



在同一分区内同步载入琴弦与弦枕钮数据

在对应分区（例如 BASS 或 PLAIN1）下，分别点击 Load strings from PMP 读取琴弦扫描数据，或点击 Load agraffes from PMP 读取弦枕钮扫描数据。两份数据须源自同一物理区段与同一套弦列配置，载入后既可独立浏览，亦可同图联合诊断。

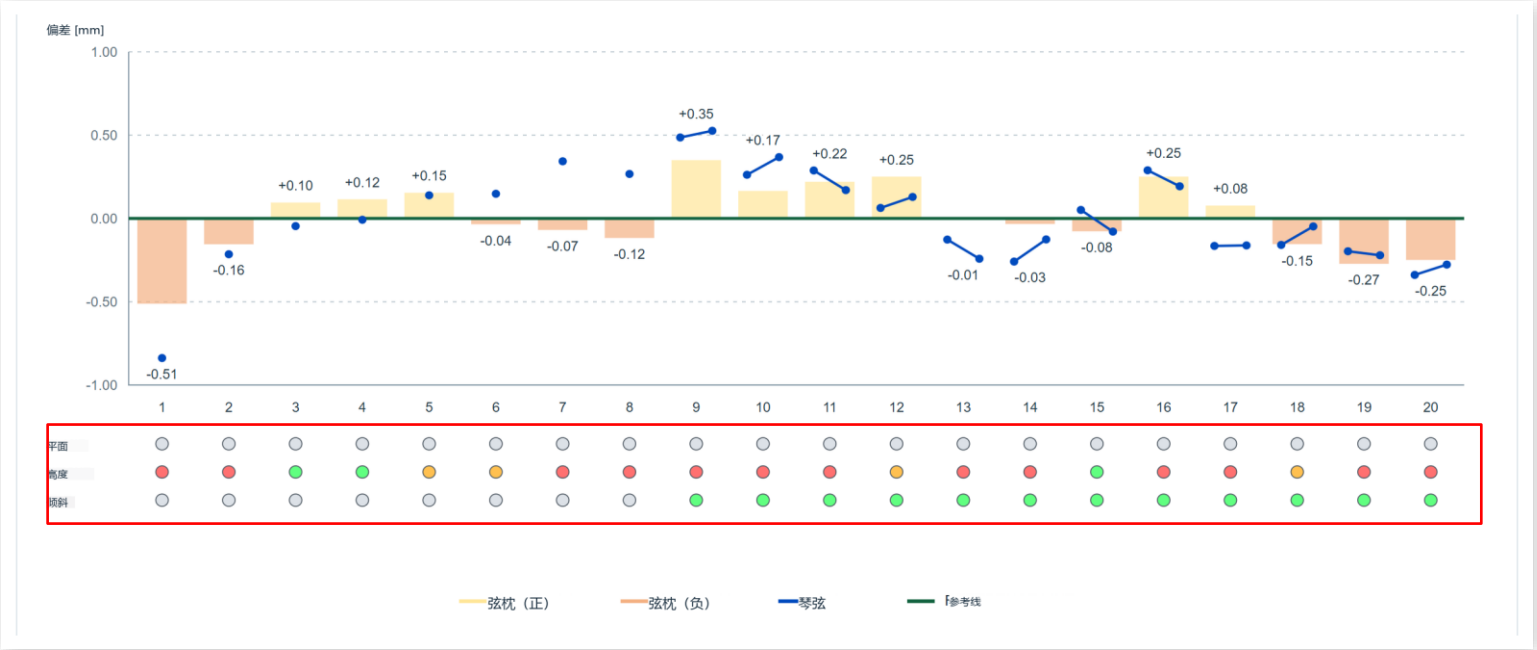


分区标题栏会汇总列出所用传感器型号、弦枕钮数、琴弦总数及琴型，载入后请核对确认。BASS 与 PLAIN1 各自独立，数据互不混叠；如需添加更多裸钢丝弦区段，点击 ADD PLAIN SECTION 即可新增。覆盖旧记录前请先备份保存当前档案。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.19 读懂图表与评估结果

以下分析示例取材于序列号为 35309X 的施坦威（Steinway & Sons）三角钢琴实测档案：低音区（BASS）含 20 个同音弦组、共 32 根琴弦；PLAIN1 含 24 个三弦组、共 72 根琴弦，两区段均使用 SENSOR 2 采集。因采集时未预设起始音名，图表横轴下方以流水组号顺次标注。



区分柱条、散点与零基准线

浅黄色或橙色柱条代表弦枕钮高度偏差，蓝色圆点代表各单根琴弦高度（同一多弦音组的蓝色散点以折线相连）。请注意：标注在柱条旁边的数值归属弦枕钮，并非蓝色琴弦点读数。水平绿色基线标示各自的 0.00 mm 基准。

正偏差代表高于各自基准，负偏差代表低于基准。需注意，该基准是根据当前所扫区段自动拟合出的平滑基准线，而非外部强制给定的绝对安装高度；各音渐变的琴弦直径已依照共用弦列设置自动扣除补偿。

三行红绿灯评估条专属于琴弦

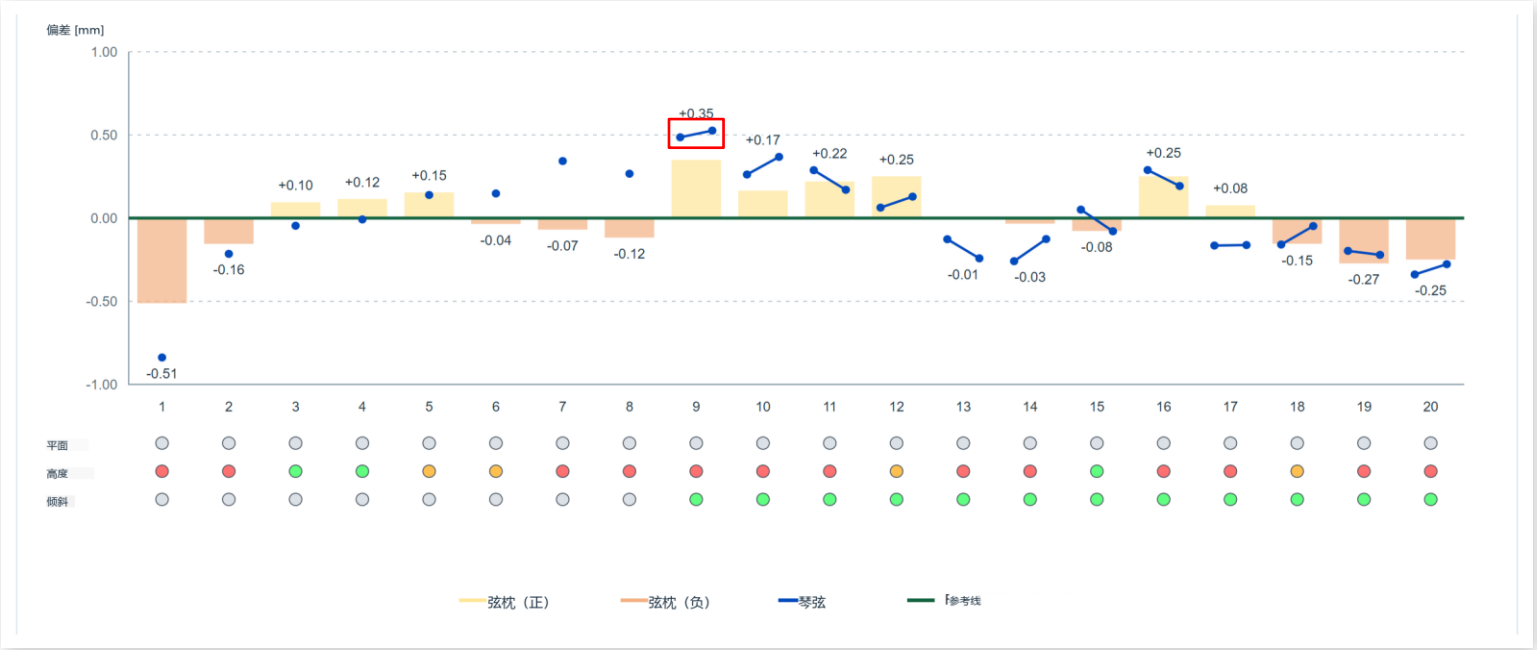
每组音位下方自上而下依次排列 PLANE、HEIGHT 与 TILT 评估色块，含义与 PMP 屏幕完全一致：绿色偏差轻微、橙色值得关注、红色偏差显著、灰色不适用或无数据。切记：这三排指示灯评估的是琴弦本身的几何高低状态，而非采集重复性。

在单弦组低音区，PLANE 与 TILT 均保持灰色；双弦组可评估 TILT，PLANE 仍保持灰色；唯有完整三弦组方可评估 PLANE。三项指标的工艺判读优先次序详见第 8.9 节“在 PLAY 中评估弦高位置”。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.20 以施坦威为例评估低音区

Overview 模式一屏尽览全区段走势，Detail 模式将各音组横向拉宽展开以便细查（小屏终端可左右滑动图表浏览其余组号）。图示展示的是完整低音区的 Detail 展开视图。



单根明显偏低的低音弦

第 1 组中，弦枕钮低于弦枕钮基准约 0.51 mm，单根琴弦低于琴弦基准约 0.84 mm，HEIGHT 亮起红灯，因属单弦故 PLANE 与 TILT 呈灰色——该处低陷异常一目了然。

两弦自身齐平但整体偏高的双弦组

第 9 组两根琴弦分别位于 +0.486 mm 与 +0.526 mm，整组平均高出琴弦基准约 0.51 mm，故 HEIGHT 呈红色；而两根弦彼此仅相差 0.040 mm，故 TILT 呈绿色——即该双弦组内部高度极其齐整，但整体显著偏高；同时对应弦枕钮亦高出弦枕钮基准约 +0.35 mm。

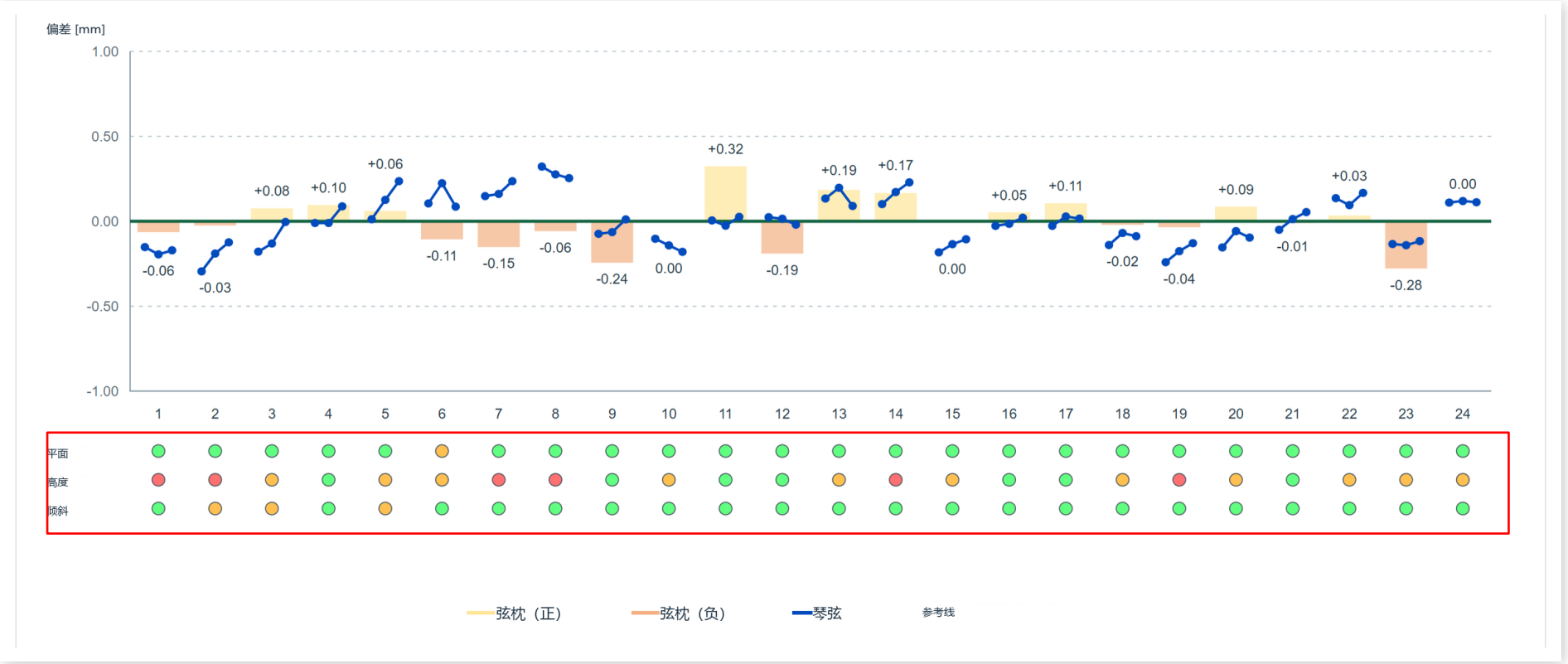
弦与钮联动综合诊断

琴弦与弦枕钮同图叠加显示，有助于迅速锁定关联病灶、统筹规划校平与调钮方案。须注意，琴弦与弦枕钮是在不同物理位置分别对照各自基准测定的，基准线自身略有斜率并非缺陷，核心评判依据在于各点偏离基准线的程度。动手调整之前，务必先复核测点、架设与复测重复性。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.21 裸钢丝弦总览与细节核查

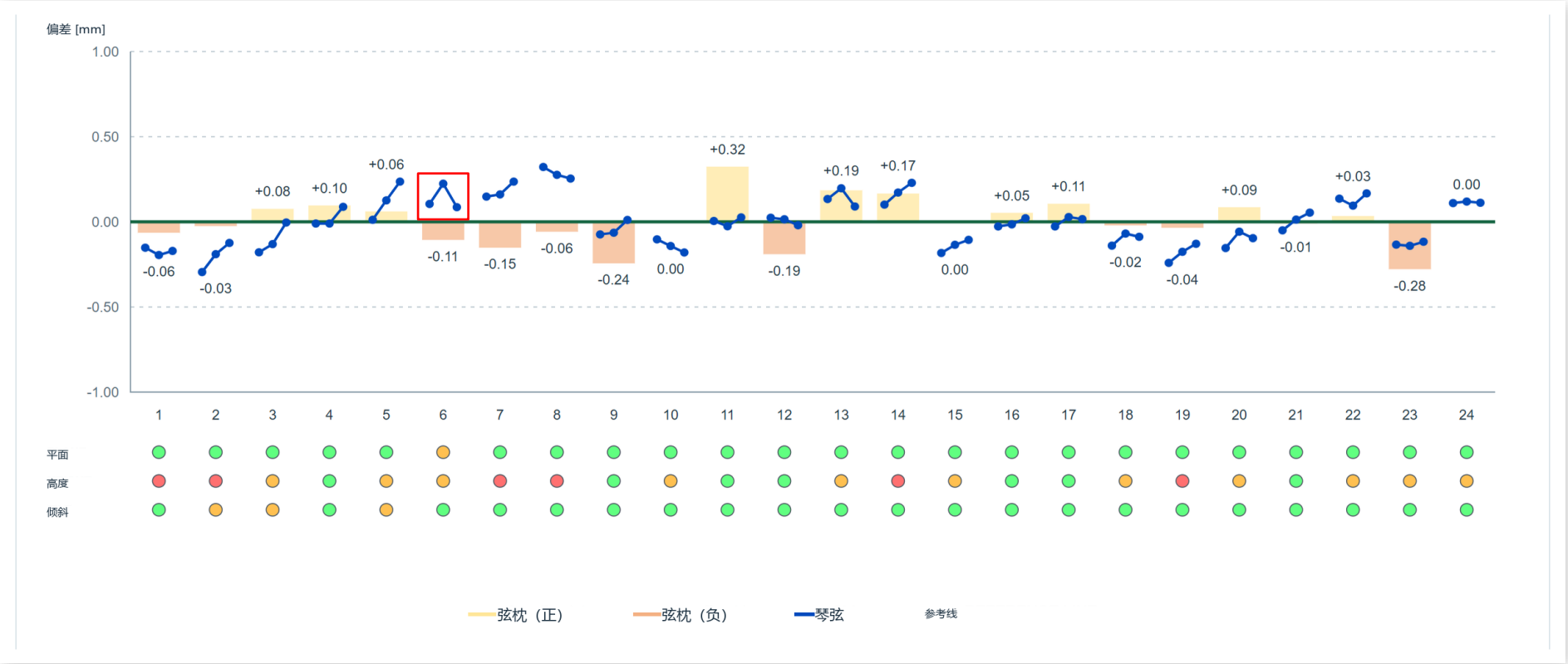
本次实测的 PLAIN1 分区包含 24 个完整三弦组。建议先在 Overview 总览模式下通观全区段走势，快速锁定偏高、偏低音组以及亮起橙红灯的异常位（本实拍案例的 24 组数据独立于前文 25 个裸弦音的配置教学示例）。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

在 Detail 细节视图中对比单组同音弦组

切换至 Detail 模式后，同一音组内三根琴弦的散点被清晰拉开（图示为同一套未变动数据的完整 Detail 展开视图，小屏可横向滑动浏览）。在电脑上将鼠标悬停于任意琴弦点或红绿灯色块上，即可浮窗查看精确单点读数；如需逐行核查全部数字，请展开下方的 Measurement values 数值表。



第 5 组三根弦呈均匀阶梯递增，故 PLANE 绿、TILT 橙；第 6 组中间弦高出两侧外弦连线，故 PLANE 呈橙色；第 8 组整体大幅高于基准，故 HEIGHT 亮红灯。这三个典型案例的精确读数详见下一页数值表解读。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

8.22 核查单音数值并制定修正方案

点击图表下方的 Measurement values 展开明细数值表：NOTE 列显示组号（或音名），CH 列显示同音弦组弦数，AGRAFFE 与 STRING I 至 III 列以毫米为单位列出各偏差值；右侧三列同步给出 PLANE、HEIGHT 与 TILT 数值及对应红绿灯评级，“--”代表无数据或不适用。

测量值

音名	CH	弦枕 [mm]	第 I 弦 [mm]	第 II 弦 [mm]	第 III 弦 [mm]	相对平面偏差 [mm]	高度 [mm]	倾斜 [mm]
1	3	-0.064	-0.152	-0.195	-0.171	-0.033	-0.173	-0.019
2	3	-0.025	-0.295	-0.190	-0.124	+0.020	-0.203	+0.171
3	3	+0.076	-0.179	-0.131	-0.004	-0.041	-0.105	+0.175
4	3	+0.096	-0.010	-0.010	+0.088	-0.052	+0.023	+0.098
5	3	+0.061	+0.012	+0.126	+0.236	0.000	+0.125	+0.224
6	3	-0.106	+0.105	+0.224	+0.086	+0.128	+0.138	-0.019
7	3	-0.152	+0.148	+0.161	+0.236	-0.031	+0.182	+0.088
8	3	-0.058	+0.322	+0.276	+0.254	-0.012	+0.284	-0.068

第 5 组：整体倾斜但自身严格共面

三根弦分别为 +0.012 / +0.126 / +0.236 mm，中间弦精准落在两外弦连线上，PLANE 为 0.000 mm（绿色）；TILT 达 +0.224 mm，在本次 SENSOR 2 采集中评为橙色，HEIGHT 亦为橙色。由此再次印证：整体倾斜的弦组与中间弦孤立凸出属于两种完全不同的几何问题。

第 6 组：重点处理凸出的中间弦

两外侧弦位于 +0.105 mm 与 +0.086 mm，中间弦高达 +0.224 mm，因此 PLANE 达 +0.128 mm（橙色），而 TILT 仅 -0.019 mm（绿色）。此处必须优先消除弦组内部不共面问题——单靠保持平直的弦槌击弦面无法规范贴合孤立凸起的中间弦。

第 8 组：整组高度显著偏高

三根弦位于 +0.322 / +0.276 / +0.254 mm，PLANE 与 TILT 均为绿色，但平均高度约 +0.28 mm 致 HEIGHT 亮红灯。该组内部足够平整共面，只是整体高于邻组，须留意其在后续击弦机整调中对断联一致性的连锁影响。

从总览表锁定异常位置后，回到钢琴实地找准对应琴弦并专业评估所需工艺措施：始终遵循先 PLANE、次 HEIGHT、后 TILT 的排查顺序。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

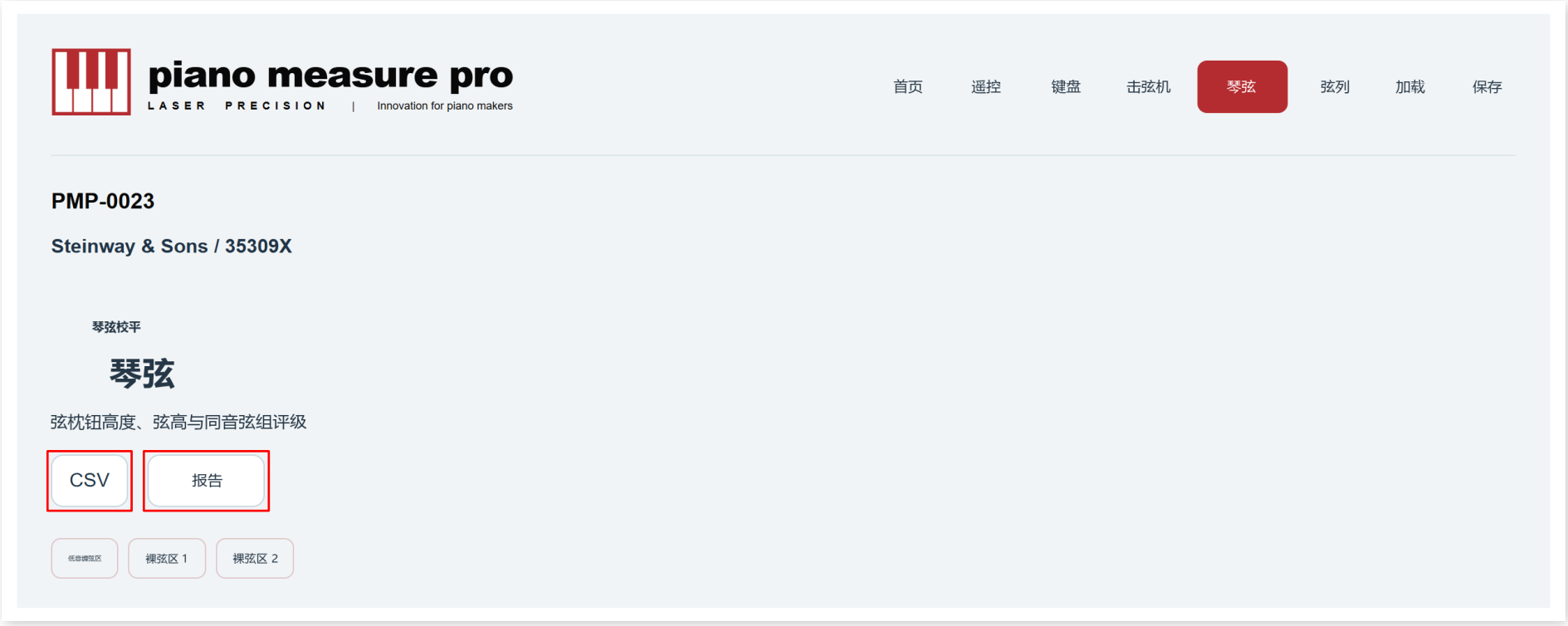
8.23 备份测量状态与分享报告

保存完整的整机档案

点击导航栏 SAVE 将把当前钢琴已载入的所有功能模块数据（不仅限于当前打开的 STRINGS 模块）打包存为 .pmp 乐器文件，后续随时点击 LOAD 即可恢复。在拉取新数据覆盖原记录前，建议先另存一份阶段性快照档案。

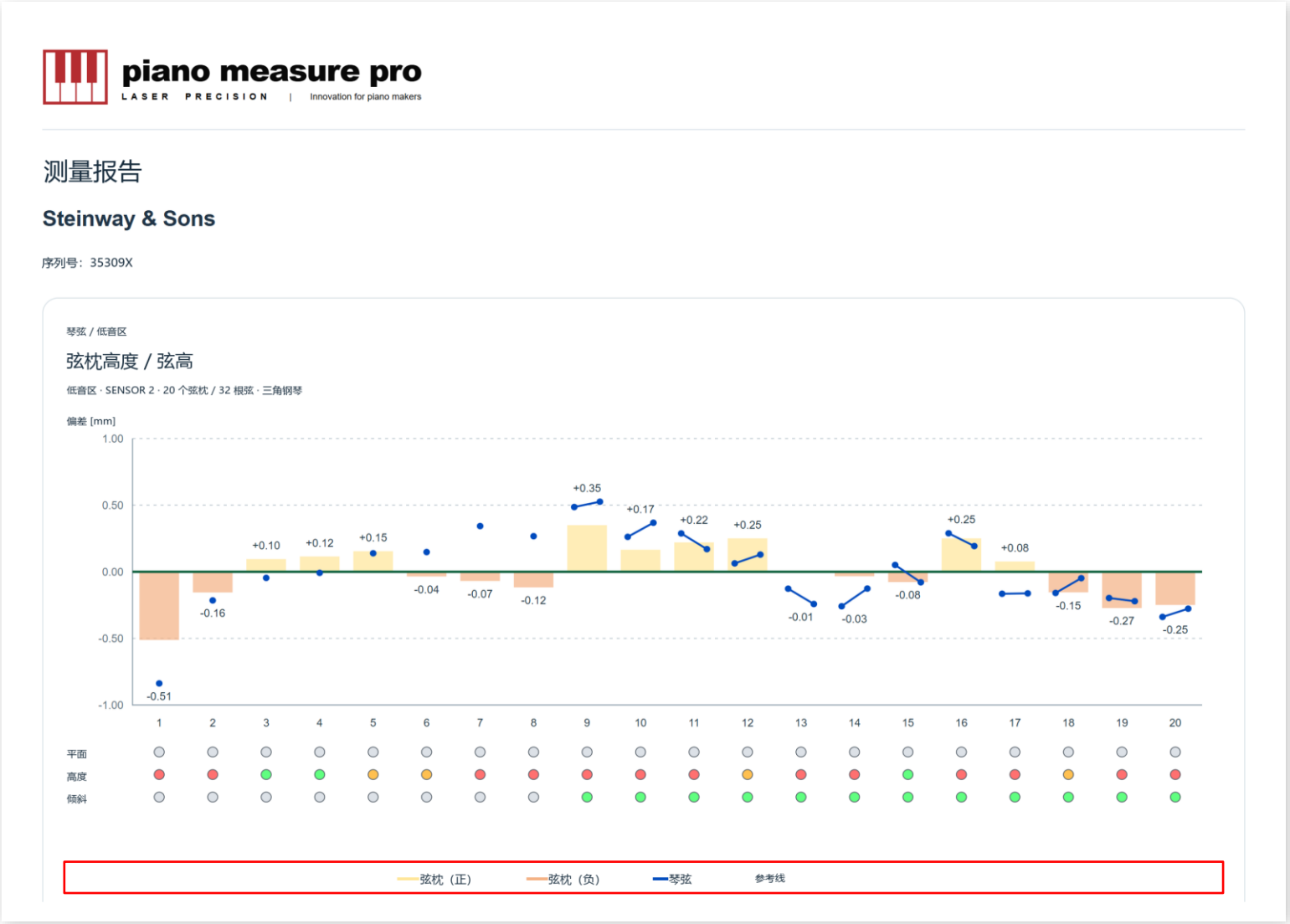
请牢记：PMP 机内不会将琴弦与弦枕钮扫描结果存入永久槽位！尽管配置参数与弦列规格可能留存，但它们无法替代已保存的测量结果。因此在开始新采集、拆动架设或关机之前，务必先将所需测量数据传输至浏览器保存。

CSV 与 REPORT 专属于 STRINGS 模块



点击 CSV 导出本模块的明细数据表供二次处理（所有长度偏差均以微米输出，1000 µm = 1 mm）；点击 REPORT 生成内含 STRINGS 图表与数值表的离线独立 HTML 报告，日后无需连接 PMP 即可在浏览器中直接打开查看。请注意，上述两种导出文件均不能替代包含整机数据的 .pmp 乐器文件。

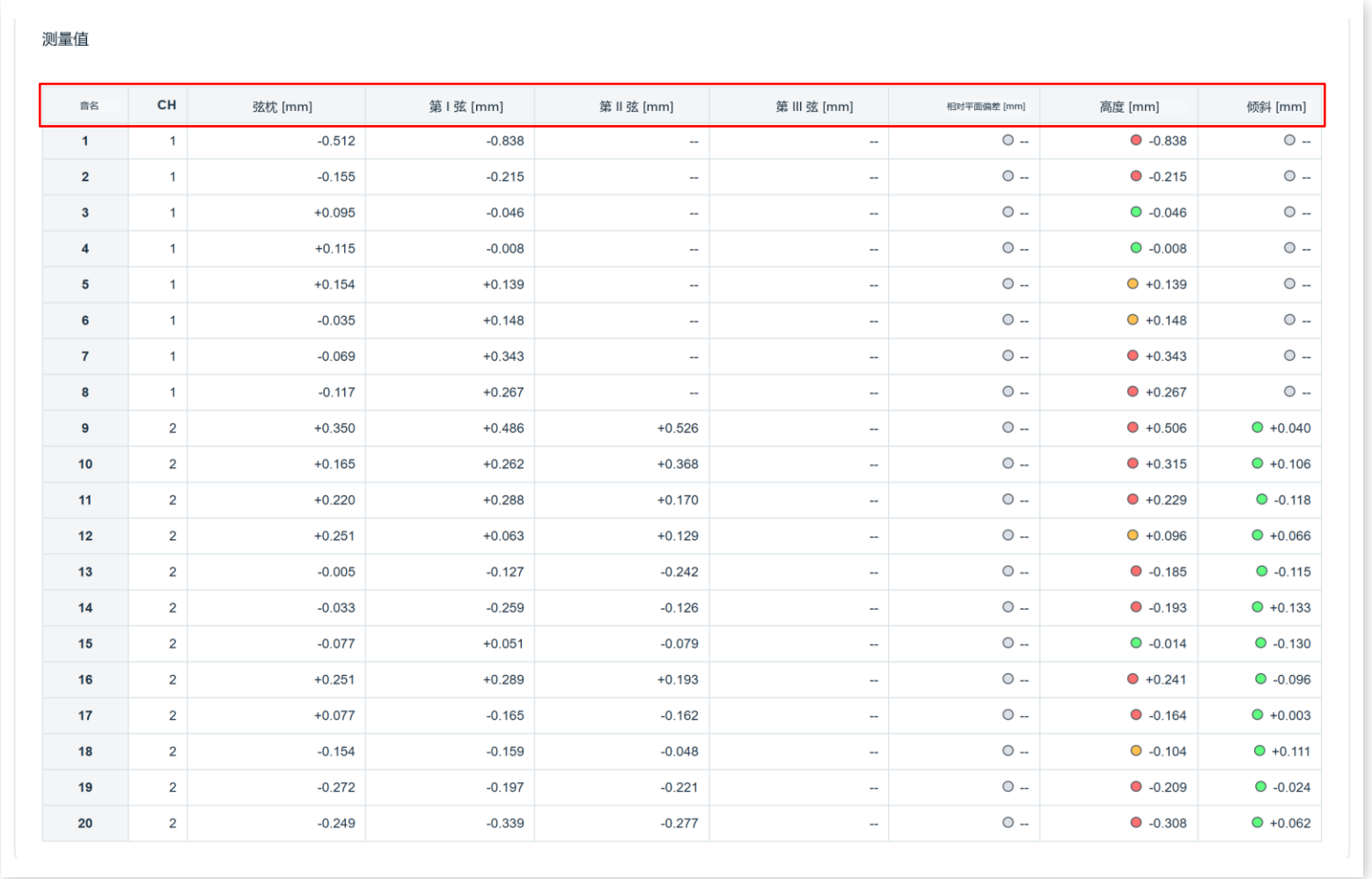
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



图示展示了离线 HTML 报告样本，包含钢琴名称、脱敏处理的序列号、完整低音区图表及图例，其下方紧接对应明细数值表。对外发送前请核对琴名与测量阶段是否准确；每份报告固化记录特定采集时刻的车况，如需对比校平后的成果，应另行采集并保存一份新的测量档案。

与上述低音区图表配套的明细数值表，逐行收录每组单弦读数及三项红绿灯评级。表中灰色单元格特指单弦组与双弦组不适用 PLANE（及单弦不适用 TILT）评估的情形，绝非测量失败。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen



测量值

音名	CH	弦枕 [mm]	第 I 弦 [mm]	第 II 弦 [mm]	第 III 弦 [mm]	相对平面偏差 [mm]	高度 [mm]	倾斜 [mm]
1	1	-0.512	-0.838	--	--	--	-0.838	--
2	1	-0.155	-0.215	--	--	--	-0.215	--
3	1	+0.095	-0.046	--	--	--	-0.046	--
4	1	+0.115	-0.008	--	--	--	-0.008	--
5	1	+0.154	+0.139	--	--	--	+0.139	--
6	1	-0.035	+0.148	--	--	--	+0.148	--
7	1	-0.069	+0.343	--	--	--	+0.343	--
8	1	-0.117	+0.267	--	--	--	+0.267	--
9	2	+0.350	+0.486	+0.526	--	--	+0.506	+0.040
10	2	+0.165	+0.262	+0.368	--	--	+0.315	+0.106
11	2	+0.220	+0.288	+0.170	--	--	+0.229	-0.118
12	2	+0.251	+0.063	+0.129	--	--	+0.096	+0.066
13	2	-0.005	-0.127	-0.242	--	--	-0.185	-0.115
14	2	-0.033	-0.259	-0.126	--	--	-0.193	+0.133
15	2	-0.077	+0.051	-0.079	--	--	-0.014	-0.130
16	2	+0.251	+0.289	+0.193	--	--	+0.241	-0.096
17	2	+0.077	-0.165	-0.162	--	--	-0.164	+0.003
18	2	-0.154	-0.159	-0.048	--	--	-0.104	+0.111
19	2	-0.272	-0.197	-0.221	--	--	-0.209	-0.024
20	2	-0.249	-0.339	-0.277	--	--	-0.308	+0.062

将测量与校平作为闭环流程连贯执行

首先完成硬件架设与分区配置；随后完整采集区内全部琴弦或弦枕钮并通过复测扫描核验重复性；接着及时备份数据，在 PLAY 中逐音诊断并利用 ADJUST 定点精调修正；最后以全新完整扫描记录竣工状态并再次备份归档。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

9 法律文件与下载

本产品配套提供以下电子版补充法律与技术文件：

安全注意事项：涵盖激光辐射安全与电池使用安全的多语种说明文件。

欧盟符合性声明（CE）：确认产品符合欧盟电磁兼容（EMV/EMC）、无线电设备（RED）及有害物质限制（RoHS）指令要求。

开源软件许可证：设备固件与网页界面所采用开源软件库清单及对应许可协议全文。

免责声明与重要使用须知

1. 自主责任与合理性核查：Piano Measure Pro 是用于辅助钢琴制造与维修整理的高精度测量工具。确保测量装置正确架设、选用恰当测量模式以及对实测数值进行专业合理性复核的全部责任，完全由使用者自行承担。

2. 间接损失免责：对于因采用测量结果而引发的任何经济间接损失，制造商概不承担赔偿责任——尤其包括因测量误差、操作失误或技术偏差导致的材料误订（例如琴弦、弦槌、键皮等）或对钢琴本体造成的不可逆加工失误。

3. 抽检复核义务：在执行任何不可逆的木工/金工切削加工，或下单订购高价值定制部件之前，使用者负有义务采用传统手工测量工具对本系统测得数据进行抽样复核验证。

4. 乐器本体损伤免责：对于因不当架设导轨或不当操作测量滑座而导致的钢琴漆面或结构损伤，制造商概不承担任何责任。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

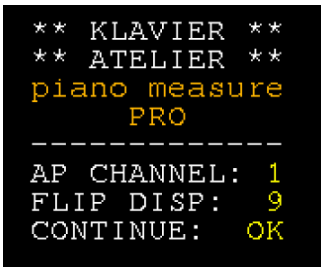
附录PMP屏幕显示英汉对照

开机、联网和固件更新1 / 5

右侧为设备实际显示的英文画面。中文说明中的按键符号与遥控器一致。

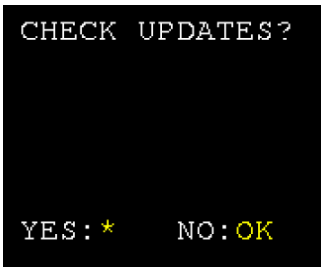
开机快捷操作

AP CHANNEL：按1设置热点信道。FLIP DISP：按9翻转显示方向。按OK继续。



检查更新

CHECK UPDATES?是否检查固件更新？按*检查，按OK跳过。



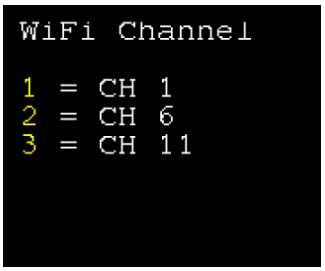
启用网页界面

USE WEB INTERFACE?是否使用网页界面？耗电量较高，建议使用移动电源。按*启用，按OK跳过。



选择无线信道

按1、2、3分别选择信道1、6、11。



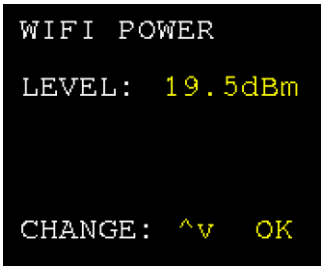
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

开机、联网和固件更新2 / 5

无线发射功率

WIFI POWER：用上下键调整发射功率，按OK确认。示例为19.5 dBm。



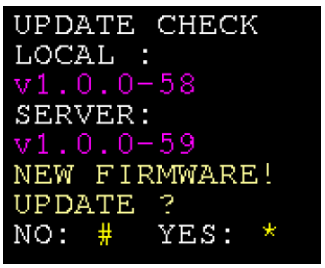
连接更新服务器

CONNECTING SERVER...正在连接服务器，请等待查询结果。



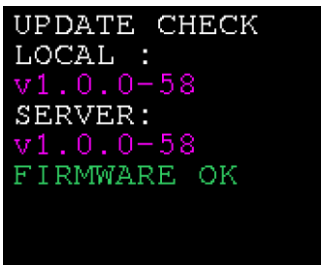
有可用更新

比较本机与服务器版本。示例从1.0.0-58更新至1.0.0-59。按*安装，按#跳过。



固件已是最新版本

本机与服务器版本相同。Firmware OK表示当前固件无需更新。



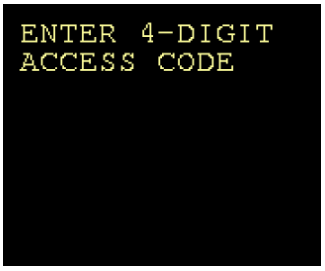
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

开机、联网和固件更新3 / 5

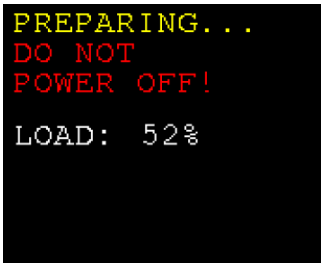
输入更新码

ENTER 4-DIGIT ACCESS CODE：用遥控器的数字键输入四位更新码。



正在下载和安装

进度百分比表示当前进度。请保持供电，等待设备自行完成。



安装完成

更新已安装，设备即将自动重新启动。



搜索无线网络

设备未连接无线网络。按*立即扫描，按#跳过。



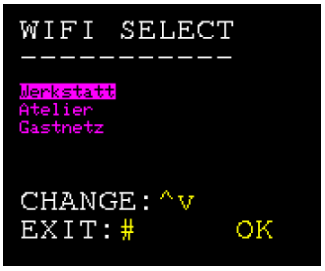
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

开机、联网和固件更新4 / 5

选择网络

从列表选择网络名称（SSID）。用方向键选择，按OK确认，按#退出。



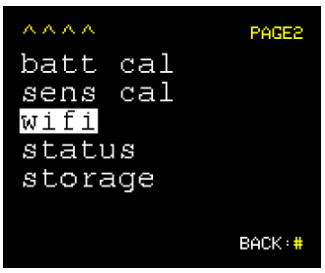
输入无线密码

用左右键选择字符，按OK添加，按#退回，按*完成。



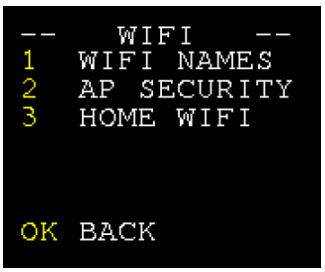
设备状态

查看电池、传感器校准、无线网络和存储信息。按#返回。



无线网络设置

1 WiFi名称，2热点安全设置，3家用无线网络。按数字键选择，按OK返回。



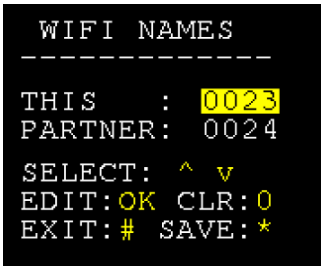
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

开机、联网和固件更新5 / 5

设备网络名称

THIS为本机，PARTNER为配对设备。方向键选择，OK编辑，0清除，*保存，#退出。



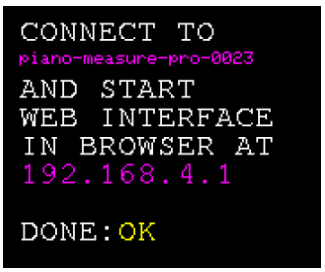
通过现有网络打开网页

在浏览器中输入显示的设备名称并加.local，或直接输入显示的IP地址。按OK完成。



直连设备热点

先连接屏幕所示的设备热点，再用浏览器打开192.168.4.1。按OK完成。



无线连接状态

查看已连接的网络、IP地址、热点状态、信道和发射功率。按*查看下一页。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键高扫描与测块1 / 6

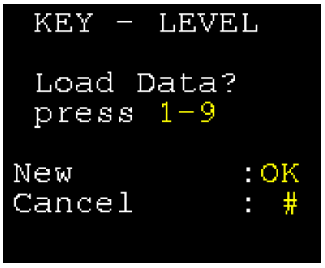
选择键高功能

在主菜单选择key level，按OK确认。其余项目分别用于击弦机调整、弦高、弦列设计等测量。



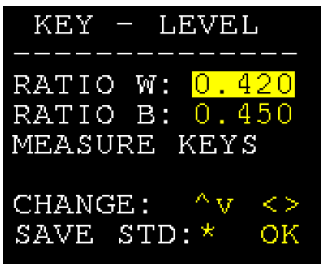
新测量或读取记录

按1至9读取相应存储位的数据。按OK开始新测量，按#取消。



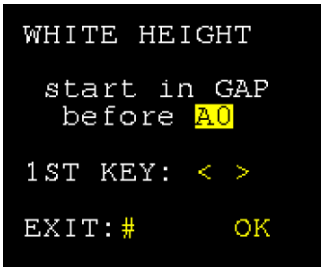
设置白键与黑键键杆比

RATIO W为白键，RATIO B为黑键。上下键选行，左右键调值。*保存默认值，OK确认。



白键键高扫描起点

将激光对准A0之前的键缝。左右键可更改起始键，按OK开始，按#退出。



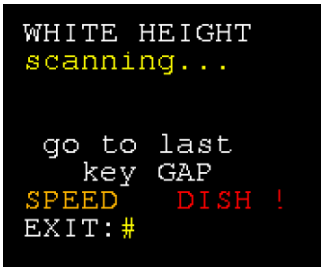
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键高扫描与测块2 / 6

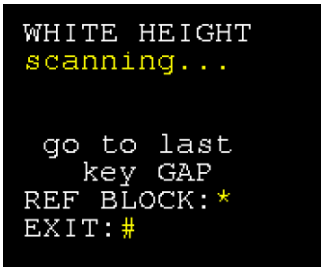
扫描白键

移至另一端最后的键缝。注意屏幕上的速度和键面凹陷检测提示；按#可退出。



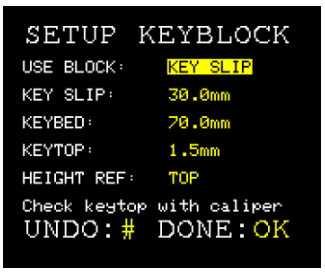
扫描中调用参考测块

向末端键缝扫描。此时屏幕显示REF BLOCK: *，按*可进入参考测块测量。按#退出。



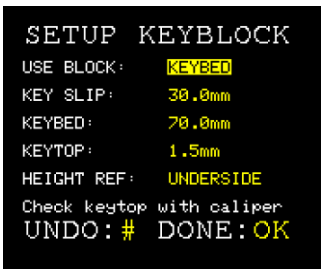
测块设置：测量上表面

TOP表示以键面上表面为参考。选择键盘前档或中盘支承面并核对测块尺寸。#撤销，OK完成。



测块设置：测量下表面

UNDERSIDE表示以键面贴片下表面为参考。输入贴片厚度，使用卡尺核实尺寸。#撤销，OK完成。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键高扫描与测块3 / 6

在中盘上放置测块

将激光移到A0中心。在中盘上放置70 mm测块，测量贴片下表面的高度。按屏幕提示确认。



在前档上放置测块

激光对准A0中心；用前档支承的30 mm测块测量键面上表面。*进入测块设置，#退出。



取下测块

示例绝对高度为30.50 mm。保持设备静止，取下测块，再按屏幕提示继续。



扫描至末端键缝

VALUE为读数，ABS为绝对高度。沿键盘移至最后一个键缝。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键高扫描与测块4 / 6

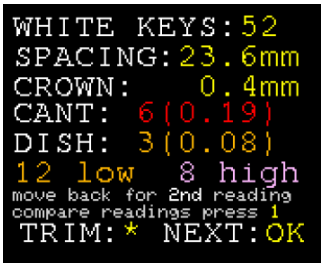
测量另一端参考键

激光对准C8中心，在前档上放置30 mm测块，测量键面上表面。



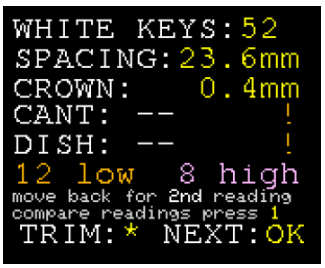
首次白键扫描结果

显示识别键数、平均键距、拱度、横倾和凹陷。反向移动可复测；*调整基准，OK继续。



带有缺测标记的结果

符号--!表示相应项目未取得有效值。核对缺测项，再决定复扫或继续。



缺少凹陷数据

缺测时采用距键中心左右各8 mm的位置计算；凹陷补偿关闭。要恢复补偿，请重新扫描。OK继续。



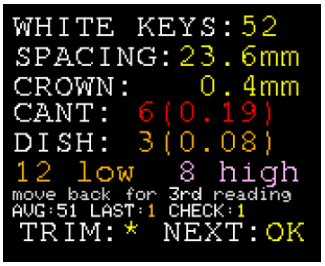
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键高扫描与测块5 / 6

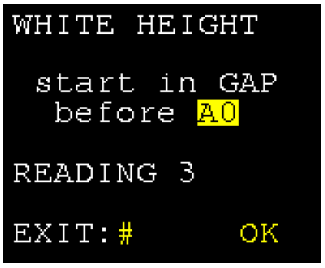
两次扫描后的汇总

AVG为采用平均值的键数，LAST为采用最近一次读数的键数，CHECK为待检查键数。可反向开始第三次扫描。



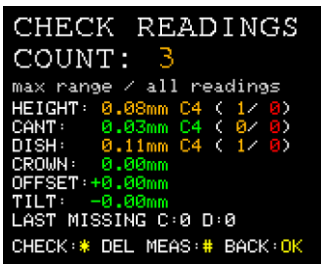
第三次白键扫描起点

READING 3：将激光对准A0前的键缝，开始第三次扫描。按#退出。



查看重复测量差异

COUNT表示测量次数；按键列出读数的最大变化范围。*检查，#选择删除测量，OK返回。



选择要删除的一次扫描

左右键选择扫描序号。本例为第3次。*删除选中的扫描，OK返回。

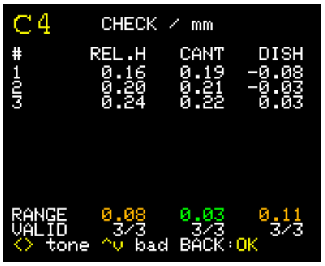


版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

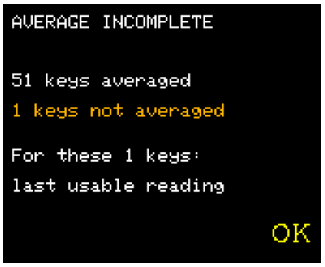
键高扫描与测块6 / 6

检查单键重复性



示例为C4。查看相对高度、横倾、凹陷的变化范围及有效次数。左右键换音，上下键跳至异常项。

平均值不完整



部分琴键可取平均值，其余使用最近一次有效读数。示例为51键取平均、1键用最近值。按OK继续。

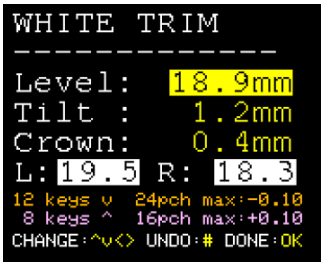
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

白键基准、黑键与键深1 / 4

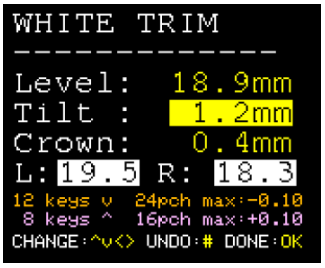
调整白键整体高度

WHITE TRIM：Level为整体高度。示例18.9 mm。L、R为左右端目标高度，底部为预计调节工作量。



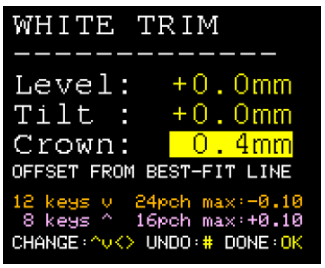
调整白键左右高差

Tilt为左右端高差。此例左端19.5 mm、右端18.3 mm，相差1.2 mm。#撤销，OK完成。



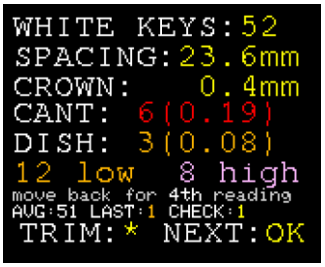
调整白键基准拱度

Crown为中部相对两端连线的高度。示例+0.4 mm。OFFSET FROM BEST-FIT LINE表示以最佳拟合直线为基准。



已调整的白键基准

重新查看白键扫描及调节工作量。可反向继续扫描，按*返回基准调整，或按OK继续。



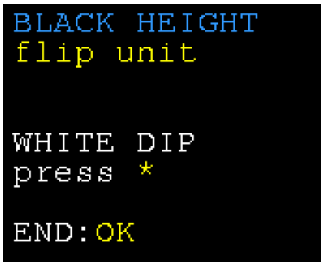
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

白键基准、黑键与键深2 / 4

切换至黑键键高

翻转测量单元以扫描黑键。按*可转至白键键深测量，按OK结束。



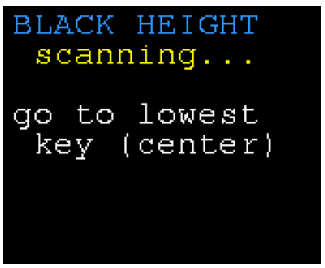
黑键扫描起点

将激光对准所示外侧白键的中心。示例为C8。按OK开始扫描。



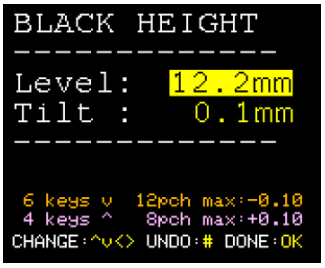
扫描黑键高度

沿指示方向移动，一直扫至另一端外侧白键的中心，并完整扫过每个黑键。



黑键高度结果

Level为黑键相对白键基准的高度，Tilt为左右端高差。示例分别为12.2 mm和0.1 mm。



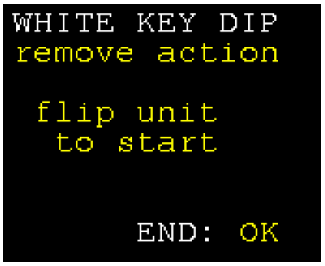
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

白键基准、黑键与键深3 / 4

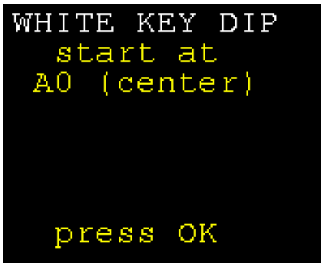
准备测量白键键深

如需移开击弦机，先按正文步骤处理。翻转测量单元开始键深测量；按OK结束。



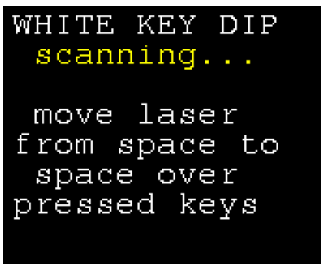
白键键深起点

激光对准A0中心。按OK确认起始位置。



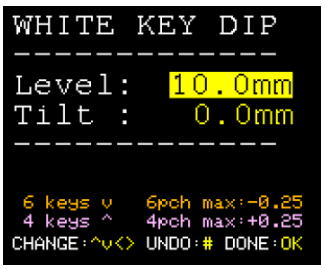
扫描按下的白键

按屏幕指示逐键按下白键，保持按下状态扫过键面，从键缝扫至键缝。



白键键深结果

Level为目标键深，Tilt为两端高差。示例键深10.0 mm、高差为零。按屏幕提示确认。



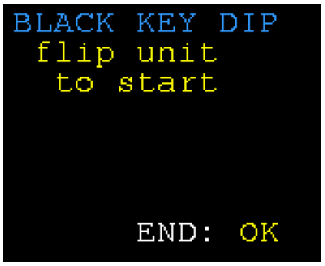
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

白键基准、黑键与键深4 / 4

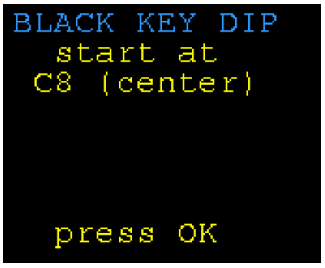
切换至黑键键深

翻转测量单元，准备测量黑键键深。按OK可结束此流程。



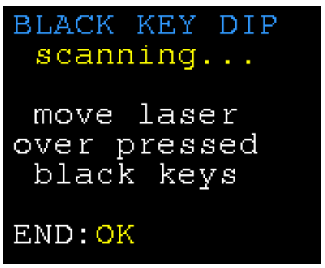
黑键键深起点

将激光对准C8中心，按OK确认起点。



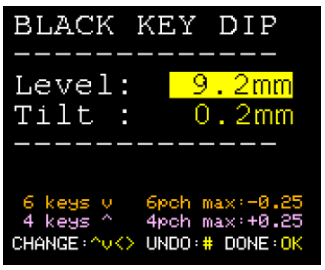
扫描按下的黑键

按顺序将黑键按到底，并沿规定方向完成扫描。扫至屏幕指定的末端位置。



黑键键深结果

示例目标键深为9.2 mm，左右端高差为0.2 mm。核对后确认。



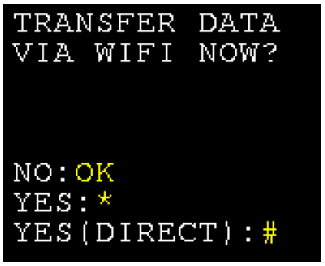
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

保存、读取与存储空间1 / 2

是否通过无线网络传输

按OK跳过；按*通过现有无线网络传输；按#使用设备热点直连传输。



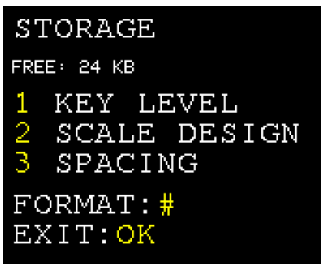
保存测量数据

数字1至9对应存储位。USED为已占用，FREE为空闲。按OK跳过保存。



存储空间管理

FREE为剩余空间。1键高，2弦列设计，3间距。#格式化，OK退出。



删除键高记录

按数字选要删除的存储位；0为全部删除。#返回，OK退出。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

保存、读取与存储空间2 / 2

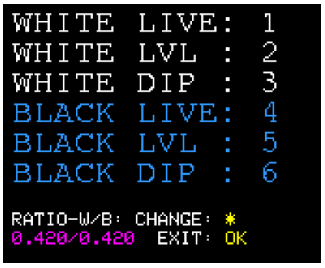
确认删除

示例为删除键高记录第2存储位。此操作无法撤销。*确认，OK取消。



选择键高数据或实时功能

1/2/3分别为白键实时/键高/键深，4/5/6为黑键实时/键高/键深。*修改白键和黑键键杆比。



翻转测量单元

flip unit：将测量单元翻转至所需方向。按#取消。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

实时测量、回位与横倾1 / 5

白键实时高度：正调节量

C4，目标键深10.0 mm，凹陷补偿已开。DISC +0.12 mm为垫圈调节量。*记录，7回位，8调横倾。



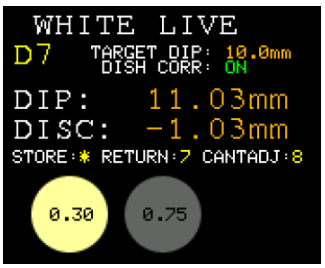
白键实时高度：垫圈组合

DISC −0.33 mm；屏幕建议的垫圈厚度为0.08和0.25 mm。厚度单位为毫米。



白键实时键深：超出目标

D7实测键深11.03 mm，目标10.0 mm，调节量−1.03 mm。下方显示建议垫圈。



白键实时键深：达到目标

D7实测10.00 mm，与目标相符；DISC为+0.00 mm。



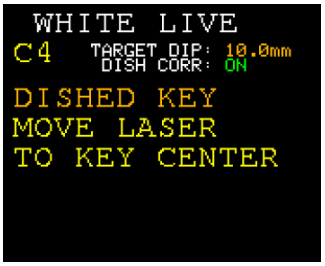
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

实时测量、回位与横倾2 / 5

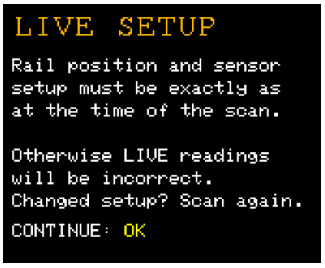
键面有凹陷

DISHED KEY：将激光移至琴键中心，让设备在指定位置读取高度。



实时测量前核对安装位位置

导轨和传感器应与扫描时的位置一致；安装位置发生变化时需重扫。按OK继续。



白键实时测量：补偿开启

DISH CORR: ON表示启用键面凹陷补偿。示例建议使用0.12 mm垫圈。



白键实时测量：补偿关闭

DISH CORR: OFF表示关闭键面凹陷补偿。此处显示当前琴键的调节量。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

实时测量、回位与横倾3 / 5

核对当前补偿状态

白键实时界面显示目标键深、凹陷补偿状态和垫圈调节量。示例补偿关闭，DISC为−0.12 mm。



回位检查：第1次

H表示高度偏差；RETURN表示回位结果。1/3为三次检查中的第一次，示例回位值0.08 mm。



回位检查：第3次

3/3表示第三次检查。示例H为+0.01 mm，RETURN为0.01 mm，当前调节量为零。



在逐键结果中查看回位

WHITE LEVEL：C4的回位值为0.01 mm。*调整，7检查，8调横倾。



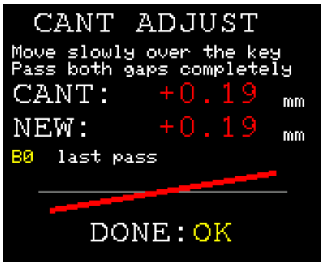
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

实时测量、回位与横倾4 / 5

横倾调整：开始

缓慢扫过琴键，完整跨过两侧键缝。CANT为原横倾，NEW为最近一次扫描值。示例均为+0.19 mm。



横倾调整：复查

再次完整扫过该键。示例横倾由+0.19降至+0.03 mm；下方直线显示最近一次结果。OK完成。



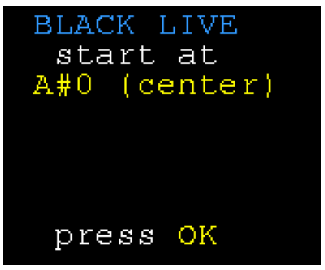
调整后的白键结果

B0的横倾为+0.03 mm，凹陷为+0.00 mm。DISC: -OK-表示垫圈调节量已符合要求。



黑键实时模式起点

将激光对准A♯0的中心，按OK开始。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

实时测量、回位与横倾5 / 5

黑键实时高度

C♯4，目标键深9.2 mm，黑键高度12.2 mm。DISC为−0.12 mm；按*记录。



黑键实时键深

C♯4实测键深8.50 mm，目标9.2 mm，调节量+0.70 mm；按*记录。



自由移动模式

将传感器移至所需位置，再按#确认。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

读取调节量与垫圈设置1 / 5

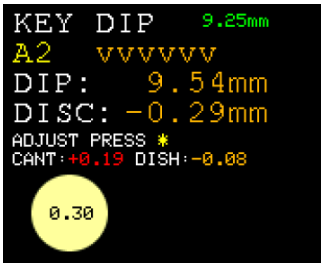
白键键深：正调节量

A2的目标为9.25 mm，实测9.13 mm，DISC为+0.12 mm。按*进入调整。



白键键深：负调节量

A2实测9.54 mm，DISC为−0.29 mm；下方显示建议的0.30 mm垫圈。



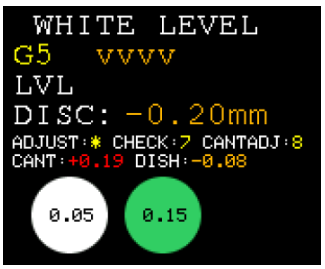
白键键高：正调节量

A0的DISC为+0.26 mm。*调整，7检查，8调横倾。下方显示横倾与凹陷值。



白键键高：两种垫圈

G5的DISC为−0.20 mm。建议厚度0.05和0.15 mm。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

读取调节量与垫圈设置2 / 5

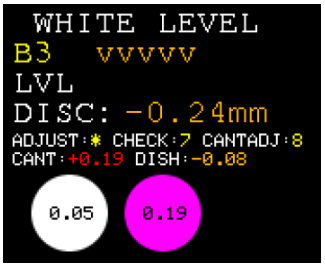
白键键高：单个垫圈

B4的DISC为−0.26 mm。建议使用0.25 mm垫圈。



白键键高：另一种组合

B3的DISC为−0.24 mm。建议厚度0.05和0.19 mm。



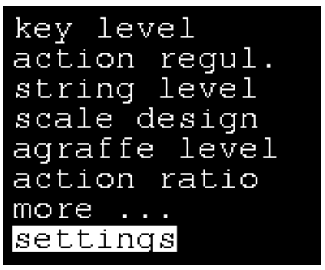
手动调整模式

C4的调节量为−0.12 mm。ADJUST-MODE表示正在调整；按*保存。



打开设置

在主菜单选择settings（设置），按OK打开。



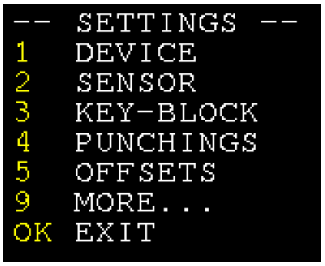
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

读取调节量与垫圈设置3 / 5

选择垫圈设置

1设备，2传感器，3测块，4垫圈，5偏移量，9更多。按4打开垫圈设置，OK退出。



选择垫圈组

按1至3选择一组。ACTIVE为当前启用组，NEW表示可新建。OK退出。



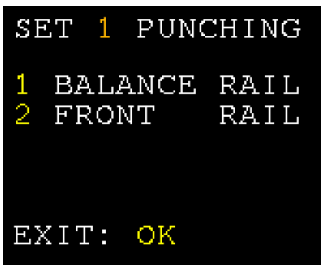
管理垫圈组

1设为当前组，2编辑厚度，3删除。OK退出。



选择垫圈位置

1中销档（BALANCE RAIL），2前销档（FRONT RAIL）。按相应数字进入，OK退出。



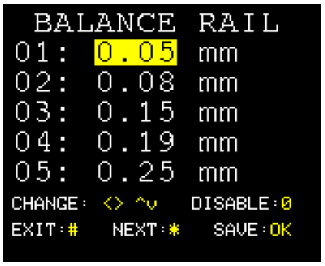
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

读取调节量与垫圈设置4 / 5

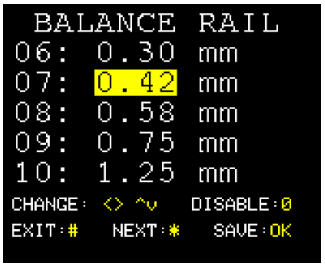
中销档厚度01至05

方向键选择并修改厚度。0停用该规格，#退出，*下一页，OK保存。



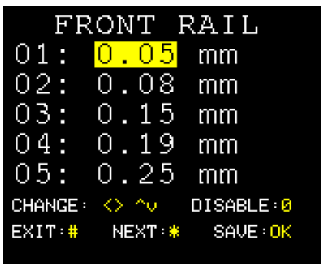
中销档厚度06至10

示例选中第07项0.42 mm。用方向键修改，按OK保存。



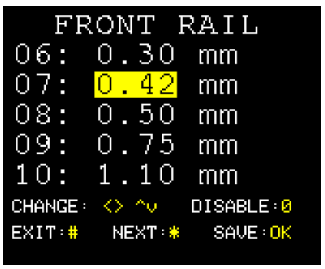
前销档厚度01至05

示例选中第01项0.05 mm。0停用该规格，*下一页，OK保存。



前销档厚度06至10

示例选中第07项0.42 mm。用方向键选择并修改，OK保存。



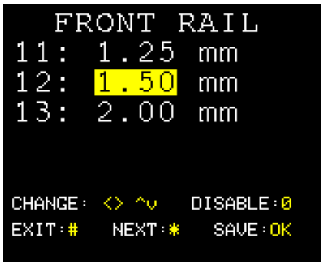
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

读取调节量与垫圈设置5 / 5

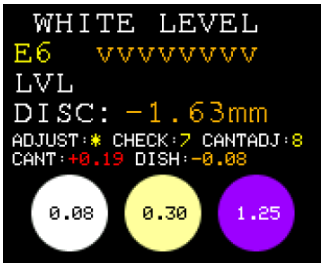
前销档厚度11至13

示例选中第12项1.50 mm。#退出，*翻页，OK保存。



白键键高：三种垫圈

E6的DISC为−1.63 mm。建议厚度0.08、0.30和1.25 mm。



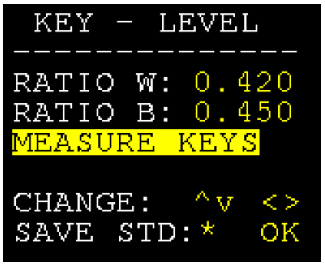
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键杆比与数据传输1 / 3

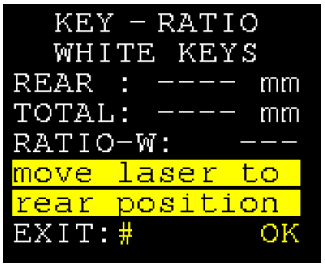
选择实测键杆比

RATIO W为白键键杆比，RATIO B为黑键键杆比。选择MEASURE KEYS（测量琴键）开始。



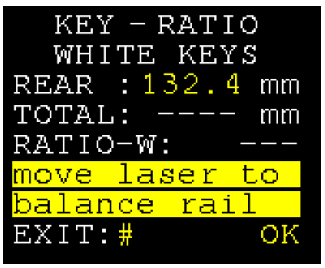
白键：测后端位置

将激光移到键杆后端测量位置，按OK确认。REAR为后臂长，TOTAL为总长。#退出。



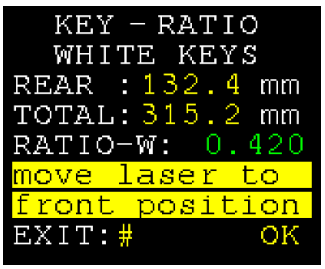
白键：测支点位置

移到中销档的支点位置，按OK确认。示例已测得后臂长132.4 mm。



白键：测前端位置

移至琴键前端测量位置，按OK确认。示例总长315.2 mm，计算的键杆比为0.420。



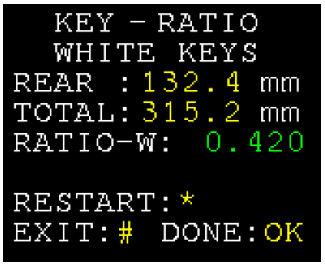
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键杆比与数据传输2 / 3

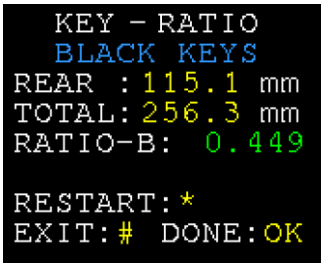
白键键杆比结果

后臂长132.4 mm，总长315.2 mm，键杆比0.420。*重测，#退出，OK完成。



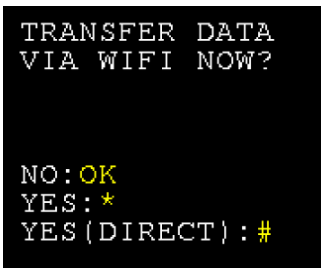
黑键键杆比结果

后臂长115.1 mm，总长256.3 mm，键杆比0.449。*重测，#退出，OK完成。



传输键高数据

现在通过无线网络传输数据？OK跳过，*通过现有无线网络传输，#设备热点直连。



通过现有网络读取数据

电脑或手机连接同一无线网络。在设备网页中读取数据。示例设备地址为192.168.1.23。OK完成。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

键杆比与数据传输3 / 3

通过设备热点读取数据

连接屏幕所示的设备热点，打开192.168.4.1，在网页中读取数据。

OK完成。



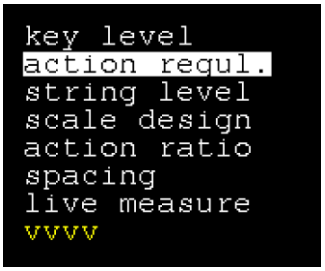
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量1 / 8

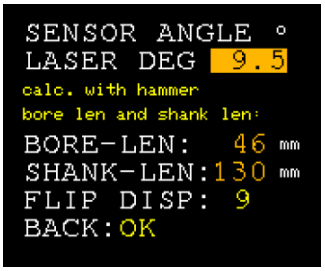
主菜单：击弦机调整

选择action regul.，进入三角钢琴击弦机测量与调整。相邻项目为键高、弦高、弦列设计、击弦机杠杆比、间距和实时测量。



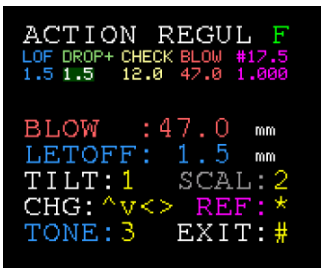
传感器倾角

SENSOR ANGLE：设置激光倾角。示例为9.5°。BORE-LEN为槌孔距，SHANK-LEN为槌柄长度。9翻转显示，OK返回。



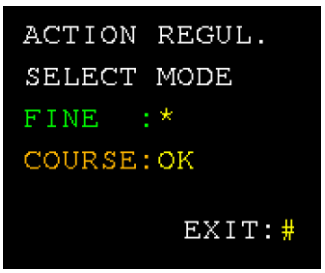
精细模式的测量画面

F表示精细模式。屏幕上方依次为断联、落距、止挡和击弦距离。BLOW为击弦距离，LETOFF为断联距离。3换音，#退出。



选择测量模式

FINE为精细模式，按*选择。COURSE为屏幕所示的粗调模式，按OK选择。#退出。



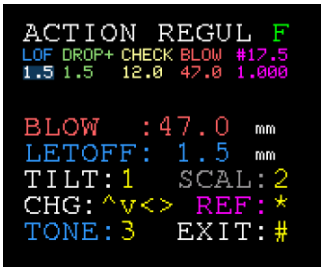
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量2 / 8

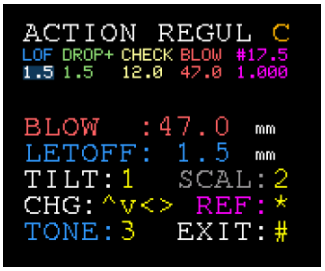
精细模式：击弦距离与断联

示例击弦距离47.0 mm、断联距离1.5 mm。TILT为倾角设置，SCAL为两点基准；按屏幕提示更改或调用参考。



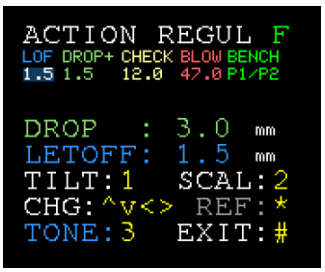
粗调模式

C表示粗调模式。核对屏幕上方的目标值及当前读数。3换音，#退出。



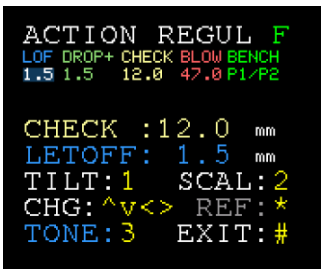
落距读数

DROP为弦槌断联后落回的距离。示例读数3.0 mm；读数和上方同名项目相对应。



止挡读数

CHECK为强奏后弦槌被制动时至琴弦的距离。示例12.0 mm。LETOFF为断联距离。



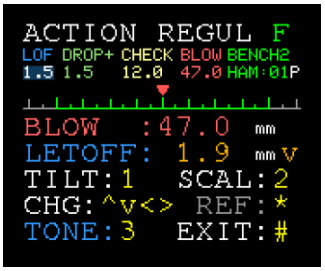
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量3 / 8

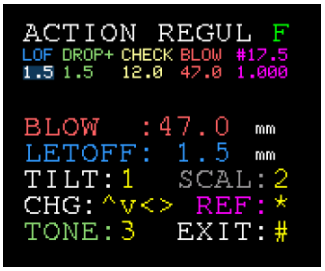
精细模式：查看测量循环

上部的颜色对应各项测量值，折线显示动作过程。可结合下方的BLOW和LETOFF读数判断所处阶段。



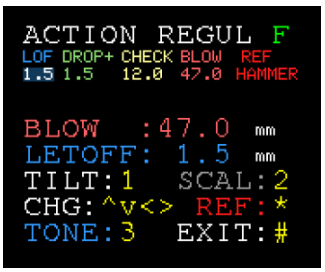
以弦槌触弦取基准

HAMMER提示用弦槌接触琴弦。REF为参考位置设置，TONE为当前音；3换音，#退出。



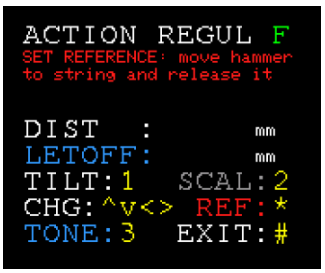
已有基准的测量界面

示例显示击弦距离47.0 mm。方向键更改所选项，*调出参考设置，3换音，#退出。



尚需设定参考位置

SET REFERENCE：将弦槌移至琴弦处，再释放弦槌。DIST和LETOFF的横线表示尚无相应读数。



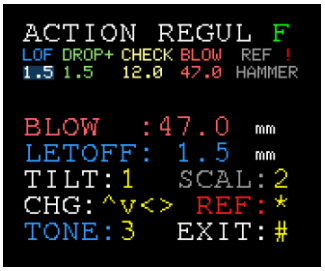
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量4 / 8

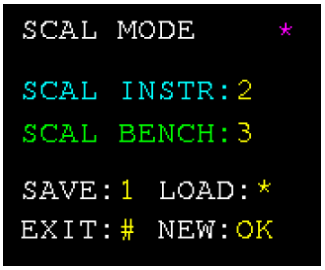
触弦基准设置后的画面

核对上方断联、落距、止挡和击弦距离，再开始测量。HAMMER表示本次使用弦槌取参考位置。



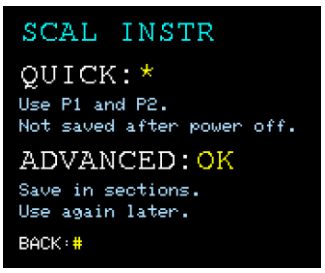
两点基准模式

2选择SCAL INSTR（琴上），3选择SCAL BENCH（工作台）。
1保存，*读取，OK新建，#退出。



选择琴上快速或分段流程

QUICK：按*使用P1、P2；断电后不保留。ADVANCED：按OK按弦区保存，以后可再次调用。#返回。



琴上快速基准尚未设定

P1/P2: NOT SET表示两个参考点尚待设置。按3设置P1/P2；#返回，OK进入调整。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量5 / 8

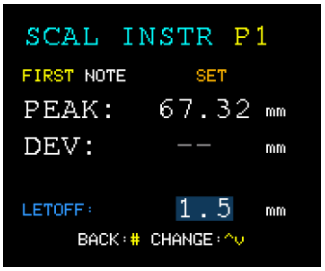
琴上P1：第一参考音

FIRST NOTE为第一参考音。DIST为距离，DEV为偏差。尚无读数时显示横线。核对断联目标值；#返回。



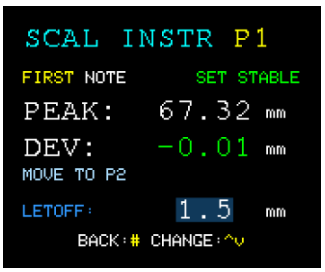
琴上P1：取得峰值

SET表示已取得第一参考音。PEAK为峰值，DEV为当前偏差。示例峰值67.32 mm、断联目标1.5 mm。



琴上P1：读数稳定

SET STABLE表示已取得稳定值。示例DEV +0.01 mm。MOVE TO P2提示移至第二参考音。



琴上P2：第二参考音

SECOND NOTE为第二参考音；NOT SET为尚未设定。将设备移到第二个参考音并按正文步骤取值。



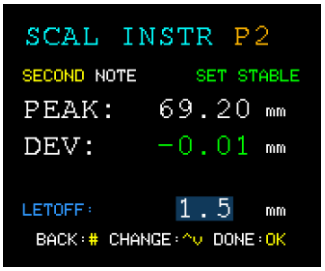
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量6 / 8

琴上P2：读数稳定

第二参考音峰值为69.20 mm，偏差−0.01 mm。OK完成，#返回；方向键可修改所选目标。



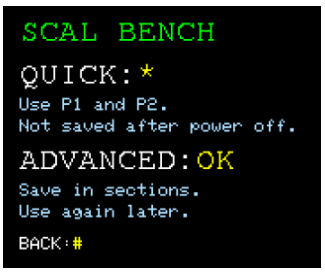
琴上快速基准已就绪

P1/P2: SET表示两点均已设定。断电后不保留。3重新设置，OK调整，#返回。



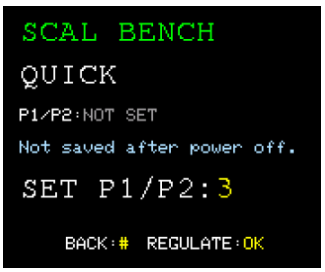
选择工作台快速或分段流程

SCAL BENCH：按*选择只用两点的快速方式，按OK选择可保存弦区的高级方式。#返回。



工作台基准尚未设定

按3设置P1/P2；示例两点尚未设置。此快速基准断电后不保留。OK调整，#返回。



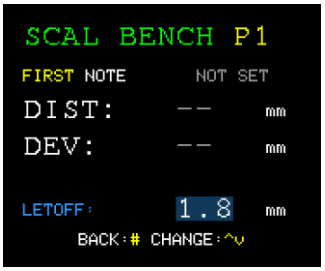
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量7 / 8

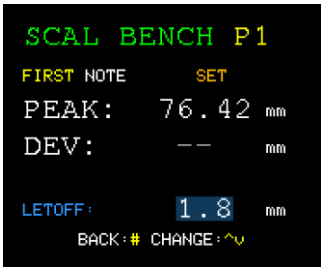
工作台P1：第一参考音

第一参考音尚未设定。核对LETOFF目标，取得读数后查看峰值和偏差。#返回。



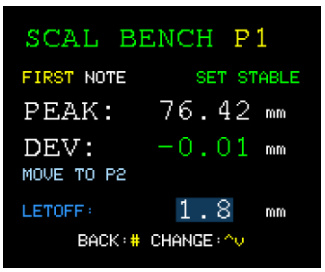
工作台P1：取得峰值

第一参考音已测得峰值76.42 mm；此例断联目标1.8 mm。



工作台P1：读数稳定

第一参考音已稳定。示例偏差−0.01 mm；按MOVE TO P2提示移至第二参考音。



工作台P2：等待测量

第二参考音尚未设定。核对该端的断联目标值，本例为1.6 mm。



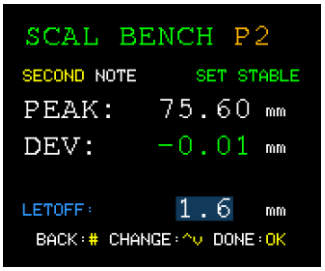
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：基本测量8 / 8

工作台P2：完成

第二参考音峰值75.60 mm，偏差−0.01 mm。按OK完成两点设置，按#返回。



工作台快速基准就绪

P1/P2: SET表示两个工作台参考点均已设定。3重新设置，OK进入调整。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：进阶测量与区段1 / 3

选择弦区数据的存储位

Select slot to start：用数字键选择存储位。USED为已占用，FREE为空闲；底部为剩余容量。*存储管理，#退出。



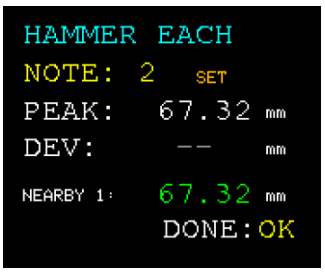
逐槌取样：弦区概览

SECTION为弦区，COUNT为音数，REFS为参考值数量。选择NOTE并查阅PEAK；OK测量，*设置目标，#返回。



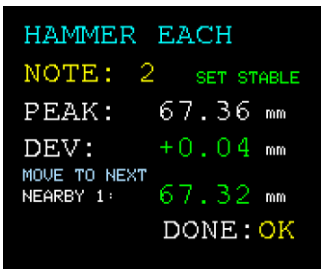
逐槌取样：已测

第2音已取得读数，PEAK为67.32 mm。NEARBY显示邻音值；OK完成。



逐槌取样：稳定值

第2音峰值67.36 mm，偏差+0.04 mm。MOVE TO NEXT提示移至下一音。OK完成。



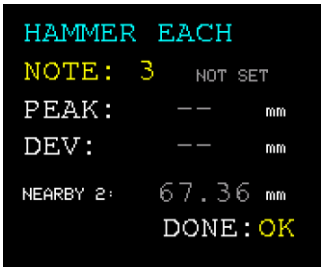
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：进阶测量与区段2 / 3

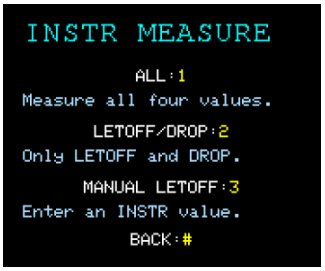
逐槌取样：尚未测量

第3音为NOT SET；可参考下方邻音值。横线表示该音还没有读数。



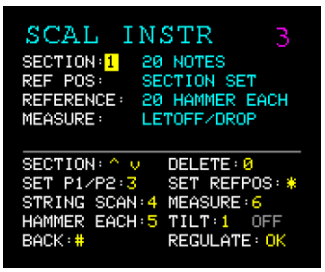
选择琴上测量项目

ALL按1测量四项；LETOFF/DROP按2只测断联与落距；MANUAL LETOFF按3手动输入断联值。#返回。



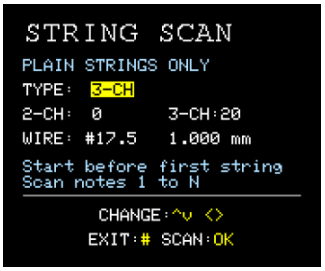
琴上弦区菜单

显示弦区、音数、参考位置、参考值和测量项目。按对应数字设置P1/P2、进行琴弦扫描或逐槌测量；还可删除、设定参考位置、倾角或进入调整。



琴弦扫描：设置

仅测裸弦。选择配弦类型、双弦和三弦音组数及线径。起点在第一根弦之前；须扫过整个弦区。OK扫描，#退出。

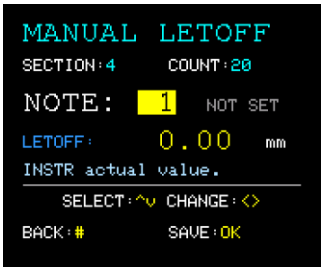


版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

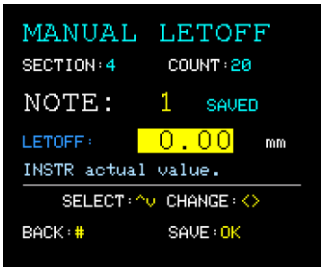
击弦机调整：进阶测量与区段3 / 3

手动输入断联值



选择弦区内的音号。NOT SET表示尚未输入；输入该音在琴内实测的断联值，按OK保存。#返回。

已保存的手动断联值



第1音已保存，示例断联值0.00 mm。方向键选择或更改，按OK保存。

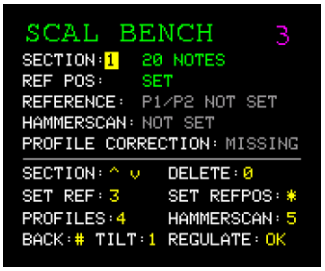
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：琴上与工作台的匹配1 / 6

工作台弦区菜单

显示弦区音数、参考位置、两点基准、弦槌扫描和轮廓修正状态。数字键打开对应项目，OK调整，#返回。



对齐琴内读数：选择音号

MATCH INSTR：第1弦区。选择需要匹配的音号；NOT SET表示尚未匹配。OK测量，*目标，#返回。



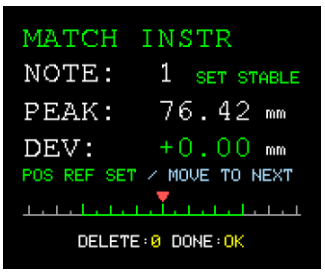
首个匹配点

第1音已经取样。FIRST MATCH SETS POS REF表示首个匹配点同时建立位置基准。0删除，OK完成。



匹配点稳定

POS REF SET表示位置基准已设定。MOVE TO NEXT提示移至下一音；显示当前峰值及偏差。



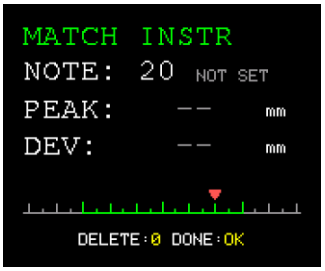
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：琴上与工作台的匹配2 / 6

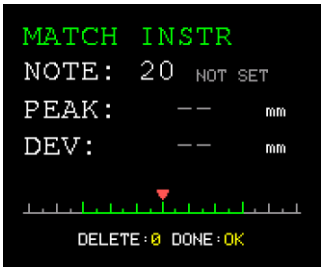
选择弦区另一端

第20音尚未设置。示意线上标出选中的音；OK完成，0删除。



另一端匹配完成

第20音已稳定；示意线标出已有匹配点。核对PEAK和DEV后按OK完成。



查看多个匹配点

COUNT为音数，REFS为已有参考点数，MAX DEV为最大偏差。方向键换音，*设置目标，OK测量。



设定两端断联目标

FIRST、LAST分别为弦区首音、末音的目标。示例2.0和1.5 mm。上下键选行，左右键调值，OK完成。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：琴上与工作台的匹配3 / 6

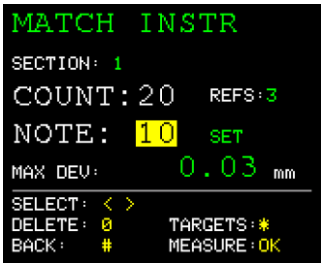
匹配数据尚未保存

Keep these measurements?是否保留测量？按OK保存，按*放弃，按#返回。



已保存的匹配概览

第1弦区共有20个音，已有3个参考点。第10音为SET。*目标，OK测量。



第二个参考点后的概览

示例已有2个参考点；MAX DEV为最大偏差。方向键换音，按OK测量。



两端采用相同断联目标

FIRST与LAST均设为1.5 mm。上下键选端点，左右键调值，OK完成。



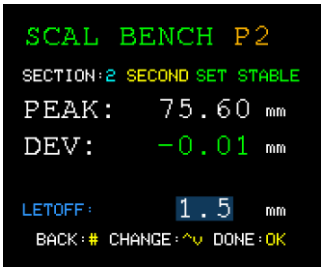
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：琴上与工作台的匹配4 / 6

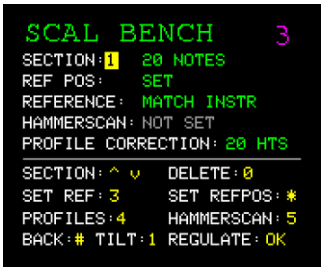
工作台的第二参考点

第二个参考音已稳定。示例峰值75.60 mm、偏差−0.01 mm。OK完成。



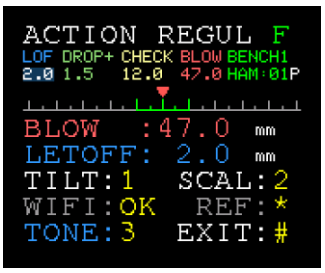
工作台轮廓修正

PROFILE CORRECTION: ON表示轮廓修正已启用。核对弦区中的参考值、逐槌数据及匹配状态后，按OK进入调整。



工作台模式下查看调节结果

上方彩色字段显示各项结果。BLOW为击弦距离，LETOFF为断联。WIFI提示与网页连接有关。#退出。



新扫琴弦或使用已存数据

按1重新扫描本弦区；按2从STRING LEVEL复制已保存的存储位或弦区。#返回。



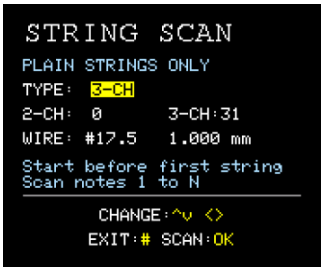
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：琴上与工作台的匹配5 / 6

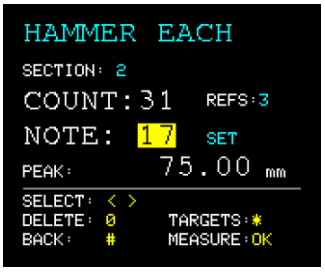
核对配弦类型和数量

仅测裸弦。示例无双弦组、31组三弦、线径1.000 mm。从第一根弦之前开始，扫过全部琴弦。OK开始。



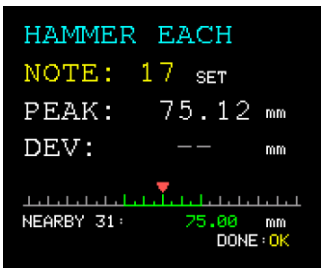
含31个音的逐槌取样

示例第2弦区共有31个音；当前第17音。可查看其峰值与已得参考点数。OK测量，*目标。



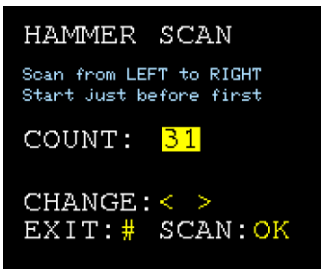
查看第17音峰值

第17音已取得75.00 mm峰值。NEARBY显示相邻位置的参考读数，OK完成。



扫描整组弦槌

从左向右扫描，从第一只弦槌之前开始。COUNT为预期弦槌数，此例31。方向键修改，OK扫描。



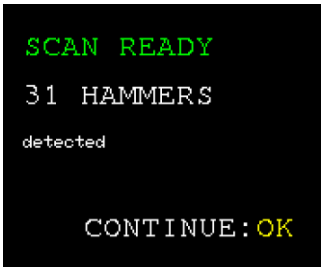
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：琴上与工作台的匹配6 / 6

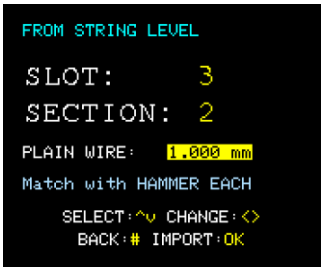
弦槌扫描完成

SCAN READY：已检测31只弦槌。按OK继续。



选取弦高测量作为来源

从STRING LEVEL选择SLOT和SECTION。仅用裸弦数据；按正文方法与弦槌顺序匹配。OK导入，#返回。



确认导入的目标弦区

将31个音导入击弦机第2弦区。此操作替换琴弦轮廓；保留已有逐槌值。OK导入，#返回。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：保存、位置与基准1 / 7

读取击弦机存储位

数字键选择需载入的已用位置。FREE为空闲位置；*管理存储空间，#退出。



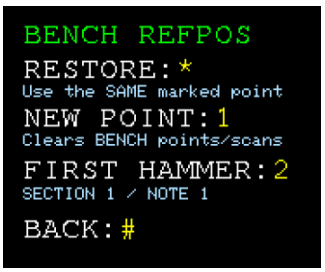
恢复琴上位置基准

选择此前用于定位的弦区和弦槌。本例第1弦区、第1只弦槌。左右键选择，OK完成，#返回。



恢复工作台位置基准

RESTORE按*使用原标记点；NEW POINT按1设置新点，将清除相关工作台点和扫描。屏幕给出应定位的第一只弦槌。



选择开始或继续使用的存储位

按存储位的数字打开数据。USED已用，FREE空闲；*管理存储，#退出。



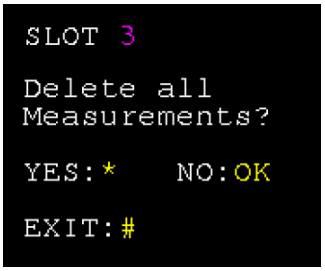
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：保存、位置与基准2 / 7

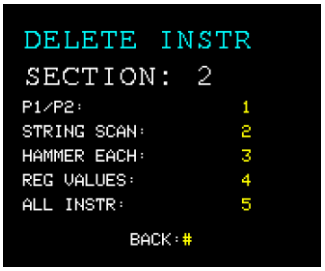
是否删除整个存储位

示例第3存储位。删除全部测量？*确认，OK否，#退出。



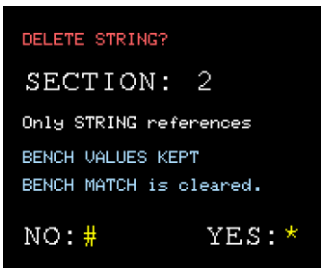
选择要删除的琴上数据

可分别删除两点基准、琴弦扫描、逐槌参考、调节值或全部琴上数据。按屏幕所列数字选择，#返回。



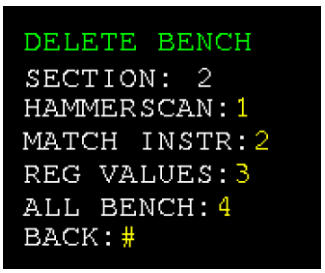
确认删除琴弦参考

仅删除本弦区的琴弦参考，保留工作台测量值；清除工作台匹配。*确认，#取消。



选择要删除的工作台数据

可分别删除弦槌扫描、与琴内数据的匹配、调节值或全部工作台数据。按所示数字选择，#返回。



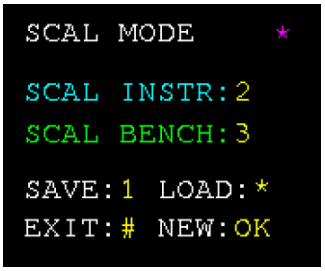
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：保存、位置与基准3 / 7

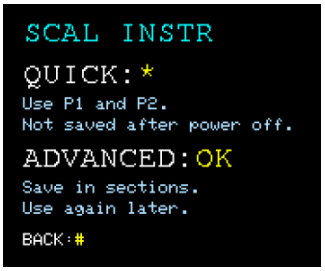
选择并保存两点基准模式

2为琴上，3为工作台。1保存，*读取，OK新建，#退出。存储位号显示在右上角。



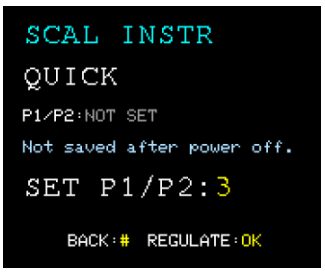
琴上模式：高级流程

*为快速两点方式，关机后不保留；OK为高级分段方式，可存入弦区以后使用。



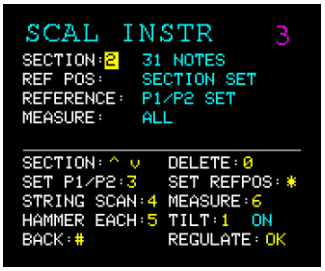
琴上两点基准：开始设置

P1/P2尚未设置。按3设置参考点，按OK进入调整，按#返回。



31音琴上弦区概览

第1弦区共有31音。状态行显示位置基准、两点基准及测量类型。选择相应项目设置、测量或调整。



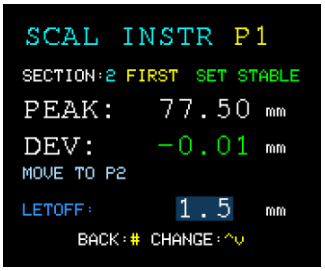
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：保存、位置与基准4 / 7

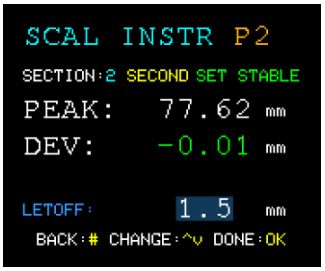
第1弦区第一参考音

SET STABLE：第一参考音稳定。PEAK为77.50 mm，DEV为+0.01 mm。按提示移至P2。



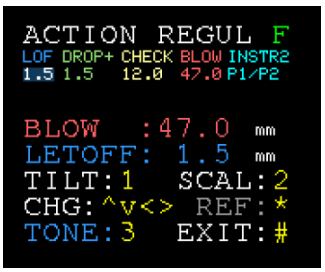
第1弦区第二参考音

第二参考音稳定，示例峰值75.50 mm、偏差−0.02 mm。OK完成。



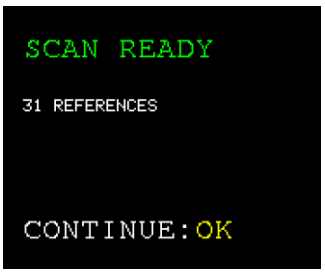
琴上调整与实时传输

屏幕上方显示各项测量值。WIFI提示无线连接状态，OK对应传输控制；按当前画面提示操作。



参考点扫描完成

已检测31个参考点。按OK继续。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：保存、位置与基准5 / 7

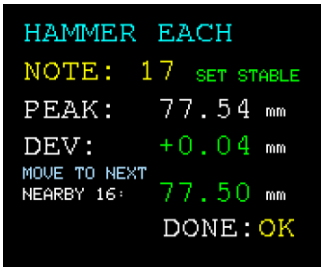
31音弦区：逐槌参考总览

此例第1弦区，REFS为0；第1音尚无峰值。OK开始测量，* 查看目标。



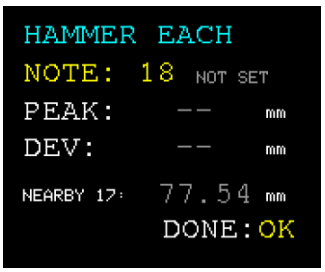
读到逐槌稳定峰值

第17音已稳定，峰值77.54 mm、偏差+0.04 mm。下方显示邻近参考值。



查看已取得的逐槌值

第17音已有读数；PEAK和邻近参考均为77.54 mm。OK完成。



琴上参考位置：沿用或新建

按*恢复原标记点；按1建立与当前测量共用的新点，并按屏幕指示处理相关基准。#返回。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：保存、位置与基准6 / 7

从已有音恢复琴上基准

第1弦区，第17只弦槌为已设点。按左右键选择，OK确认，#返回。



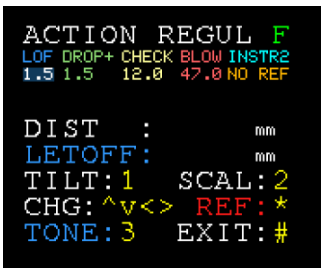
工作台参考位置：沿用或新建

*使用相同标记点；1建立新点并清除工作台点和扫描。屏幕给出首只弦槌与弦区内音号。



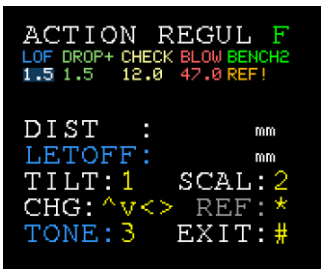
工作台中测量实时偏差

核对BENCH状态、测量目标和当前位置；横线表示当前尚无该项结果。



工作台测量待取参考

REF提示与参考设置有关。读数未建立时DIST、LETOFF以横线显示；按屏幕提示取参考。



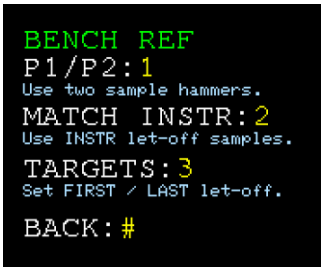
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

击弦机调整：保存、位置与基准7 / 7

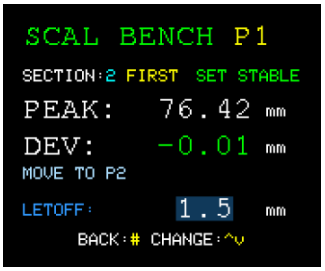
选择工作台基准来源

1测两只样槌建立P1/P2；2与琴上断联样本匹配；3设定首末断联目标。#返回。



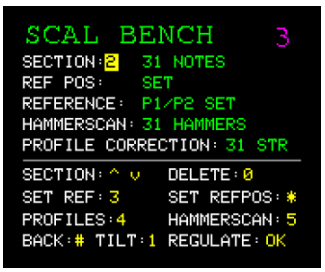
工作台P1已稳定

示例峰值76.42 mm、偏差−0.01 mm；移到P2继续测量。



工作台弦区：核对轮廓

查看音数、两点基准和弦槌扫描。PROFILE CORRECTION显示修正状态；按对应数字设置，OK调整。



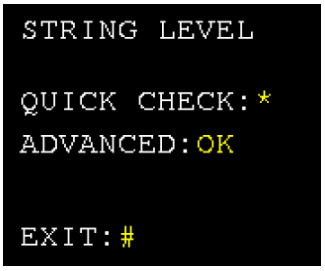
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

同音弦组：快速检查与整平1 / 3

选择琴弦整平方式

* QUICK CHECK快速检查同音弦组；OK ADVANCED高级测量；#退出。



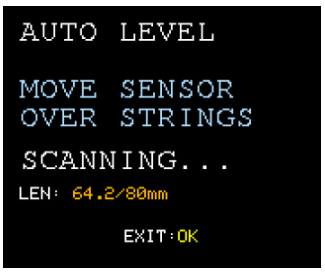
自动调平结果

示例横倾+0.35°，相当于每100 mm高差+0.61 mm；扫描质量为94%。按OK继续。



自动调平扫描

让传感器缓慢扫过琴弦。LEN为已扫长度；保持平稳，等待设备采集所需范围。



自动调平扫描无效

SCAN INVALID / TOO SHORT：扫过的长度不足。屏幕给出长度和点数；OK继续并重新取样。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

同音弦组：快速检查与整平2 / 3

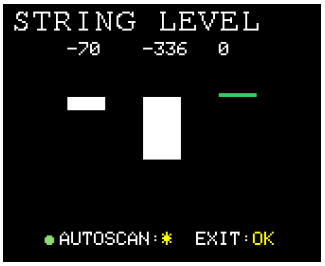
弦组快速检查：开始

按*自动扫描，按OK退出。测得各弦后显示相对高度。



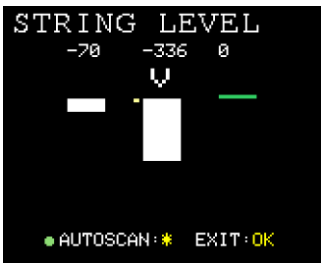
弦组相对高度

三列对应同音组的三根弦。按各列数值和柱形读取相对高度；*自动扫描，OK退出。



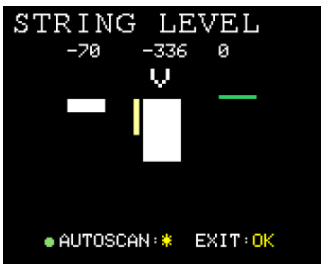
选择弦组中的一根弦

白色箭头标出当前弦，顶部为三根弦的相对读数。*自动扫描，OK退出。



查看调整时的偏差

中间一列和箭头标出当前测量位置。用相对高度判断需调整的弦，完成后复扫。



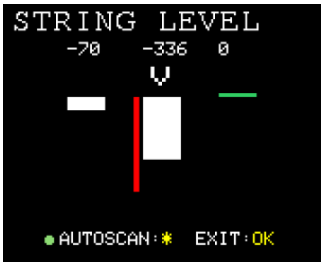
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

同音弦组：快速检查与整平3 / 3

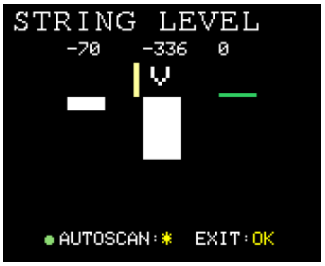
核对弦组中的高度差

红色竖条标出较大的高度差。以三列数值为准，*再扫，OK结束。



复查同音弦组

重新读取同一弦组的三列相对高度并核对调整效果。*自动扫描，OK结束。



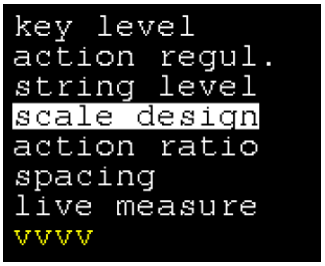
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：设置与已存数据1 / 3

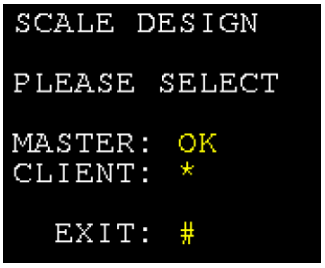
主菜单：弦列测量

选择scale design，进入弦长、击弦点和弦码下压力测量。



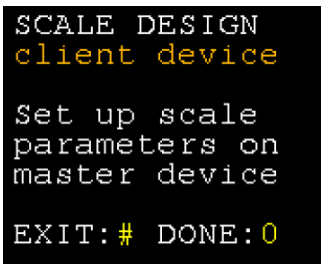
分配两台设备的角色

在主机按OK，在从机按*。按#退出。弦列与配弦参数在主机上设置。



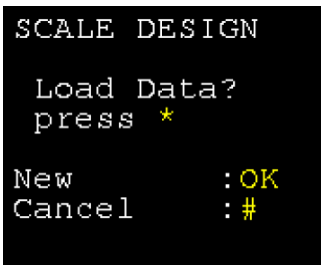
从机等待主机设置

请在主机设置弦列参数。#退出；0完成当前步骤。



载入已有弦列数据

按*读取已有数据，按OK新建，按#取消。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：设置与已存数据2 / 3

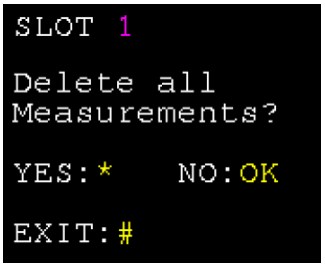
选择要读取的存储位

数字键对应各存储位。USED已使用，FREE空闲。*存储管理，#退出。



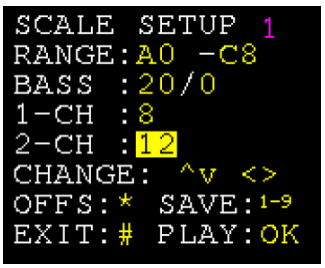
确认清空存储位

本例第1存储位。是否删除全部测量？*是，OK否，#退出。



设置弦列范围与配弦

设置音域、低音弦数、单弦和双弦音组数。方向键修改。*设置偏移，1至9保存，OK进入PLAY，#退出。



保存弦列数据

选择目标存储位。先分清已用和空闲位置；*进入存储管理，#退出。



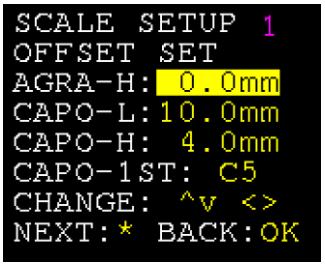
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：设置与已存数据3 / 3

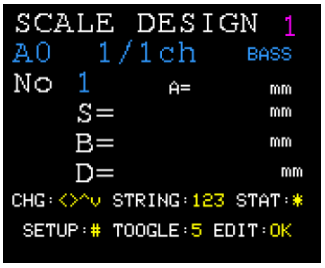
设置测量偏移量

AGRA-H为弦枕钮高度偏移，CAPO-L为高音压弦条处的长度偏移，CAPO-H为其高度偏移。CAPO-1ST为该区首音。*下一项，OK返回。



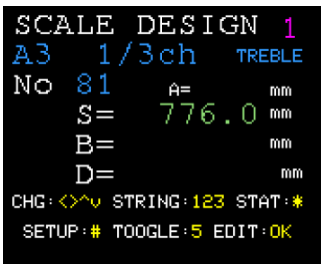
主机：尚无当前音的读数

A0，单弦组，第1根弦。S为有效弦长，B为总弦长，D为弦压；弦后段长度A = B − S。横线表示该项尚无读数。



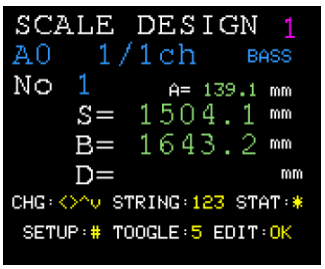
查看某音某弦的有效弦长

示例为A3、三弦组的第1根弦，S为776.0 mm。核对音区和弦序后继续。



低音区的弦长数据

示例为A0单弦。查看S和B的读数。按屏幕提示选择音、切换弦序、进入设置或编辑。



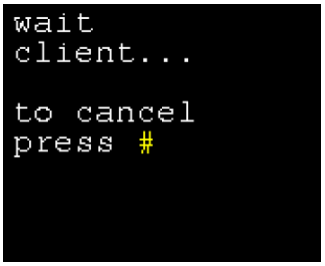
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：主从机与起点1 / 2

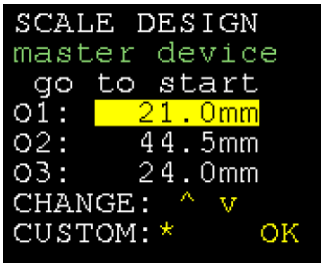
等候从机

wait client...：主机正在等待从机。按#可取消等待。



主机：移至起始位置

按各定位基准的O1、O2、O3数值到达起始位置。方向键修改，*自定义；OK开始。



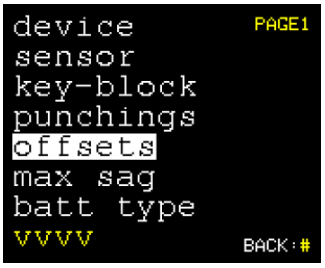
从机：移至起始位置

将从机移至其起始位置，按OK开始。



主设置中的偏移量

在设置第一页选offsets。其他项目包括设备、传感器、测块、垫圈、最大下垂和电池类型。#返回。



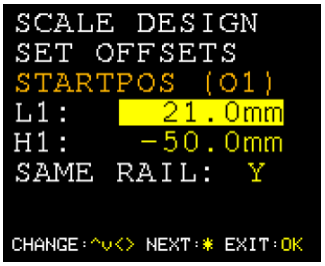
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：主从机与起点2 / 2

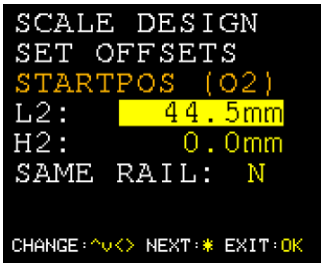
设置起始位置O1

L1为第一项长度，H1为高度；SAME RAIL表示是否使用同一根导轨。方向键修改，*下一项，OK退出。



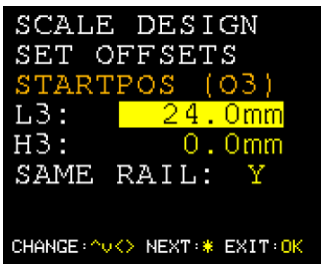
设置起始位置O2

L2为第二项长度，H2为高度。本例44.5 mm和0.0 mm。核对导轨选项，*下一项。



设置起始位置O3

L3为第三项长度，H3为高度。本例24.0 mm和0.0 mm。方向键修改，OK退出。



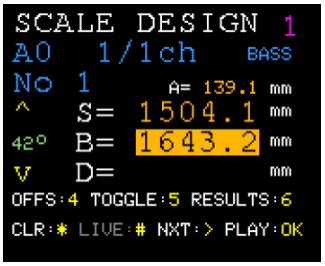
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：测量与弦压计算1 / 6

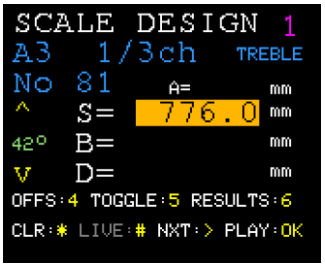
主机：选择要读取的字段

示例选中B = 1643.2 mm。OFFS查看偏移，TOGGLE切换显示，RESULTS查看结果，PLAY返回操作画面。



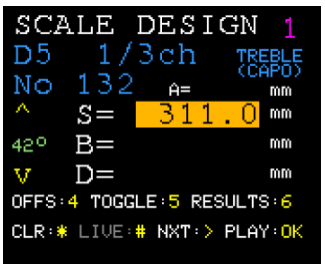
主机：选中有效弦长S

A3，第1根弦，S = 776.0 mm。上下选字段，按当前画面提示切换显示或查看结果。



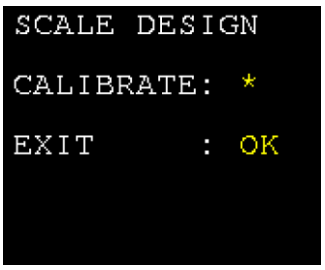
高音区的有效弦长

示例为D5三弦组的第1根弦，S = 311.0 mm。核对音区、音名及弦序。



弦列校准

按*进入CALIBRATE校准；按OK退出。



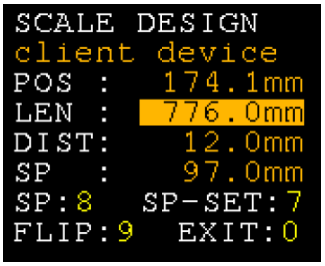
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：测量与弦压计算2 / 6

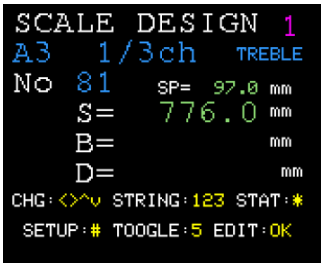
从机：位置、长度与击弦点

POS为当前位置，LEN为长度，DIST为距离，SP为击弦点。8调用SP，7确认，9翻转显示，0退出。



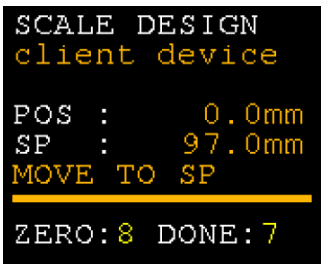
主机：查看从机的测量结果

当前为A3三弦组第1根弦，屏幕显示击弦点SP和有效弦长S。按提示切换弦序或编辑。



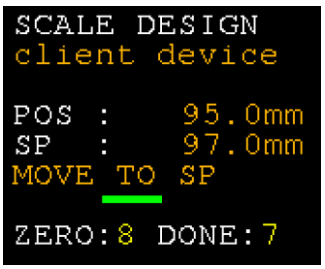
从机：移向击弦点

MOVE TO SP表示移向目标击弦点。当前POS为0.0 mm，目标SP为97.0 mm。8归零，7完成。



从机：接近击弦点

示例当前位置95.0 mm，目标为97.0 mm；继续缓慢移动。



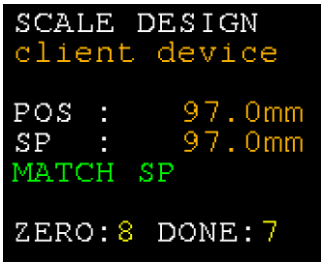
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：测量与弦压计算3 / 6

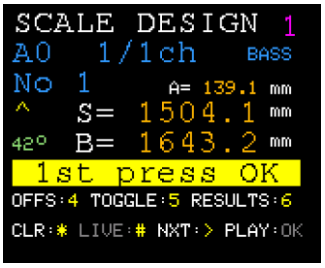
从机：到达击弦点

MATCH SP表示当前位置与目标击弦点一致，本例均为97.0 mm。按7完成。



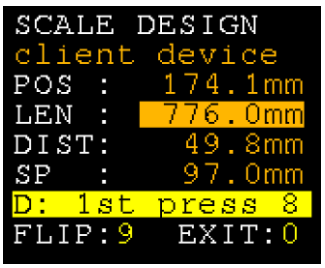
弦码测量：第一步

主机选定当前音和弦。屏幕提示1st press OK：在规定的第一测点按OK。



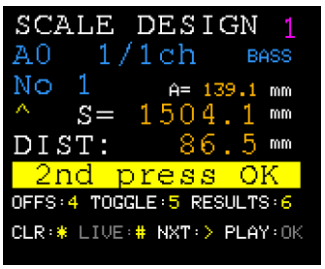
从机：在第一测点取值

核对位置、弦长和测距值。D: 1st press 8表示在从机按8取得第一点。



弦码测量：第二步

2nd press OK提示在第二测点按OK。保持同一根弦及相同测量设置。



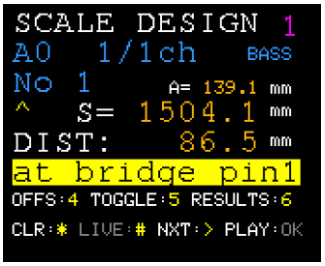
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：测量与弦压计算4 / 6

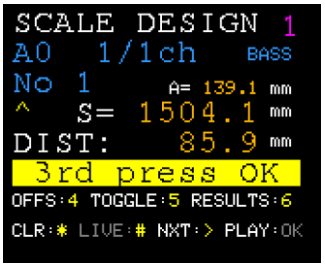
第一枚弦码钉处

at bridge pin 1：把测量点移至第一枚弦码钉处，再依正文步骤取值。



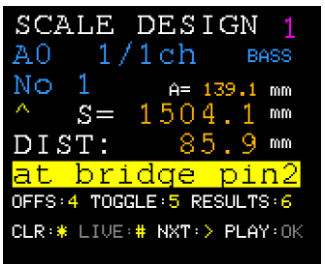
弦码测量：第三步

3rd press OK：在第三个规定测点按OK。



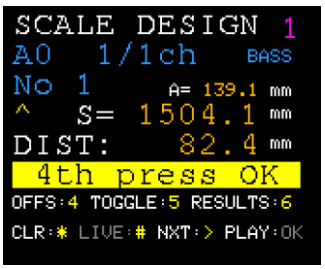
第二枚弦码钉处

at bridge pin 2：将测量点移至第二枚弦码钉处。



弦码测量：第四步

4th press OK：在第四个规定测点按OK。



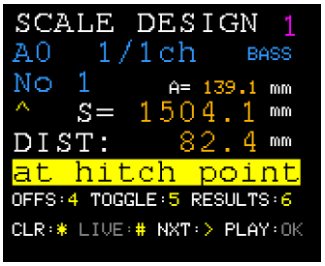
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：测量与弦压计算5 / 6

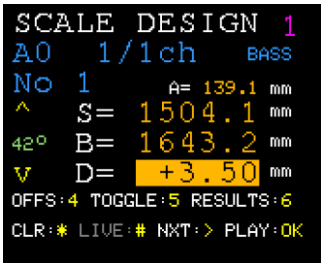
挂弦点处

at hitch point表示在挂弦点处取值。核对当前音和弦序。



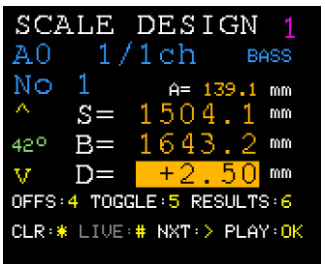
几何弦压结果

D行显示计算出的弦压几何值。可切换显示单位或打开结果，核对此音的测点。



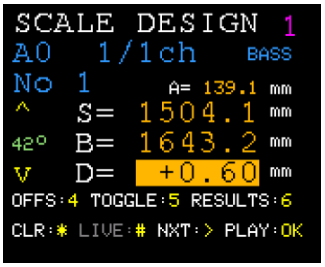
切换显示后的数值

同一音和弦的D行可在不同显示方式间切换。必须连同数值右侧的单位读取。



查看另一显示方式

使用TOGGLE切换结果；D行的读数随单位或显示方式变化。RESULTS打开详细结果。

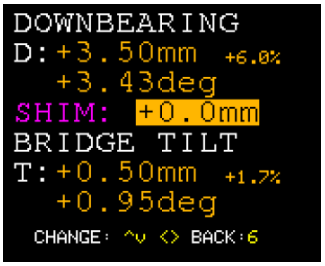


版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

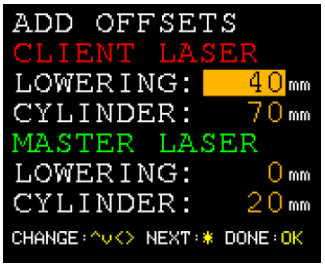
弦列测量：测量与弦压计算6 / 6

弦码下压力与弦码倾斜



DOWNBEARING显示D值和对应角度；SHIFT可修改参考高度。
BRIDGE TILT显示T值及角度。方向键修改，6返回。

从机激光偏移设置



分别为从机激光和主机激光输入降低量及圆柱直径。核实两台设备对应关系，方向键修改，*下一项，OK完成。

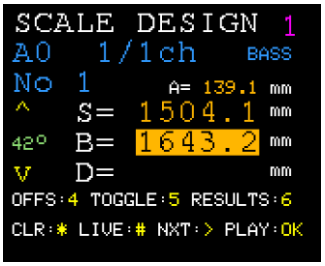
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦列测量：数据传输1 / 1

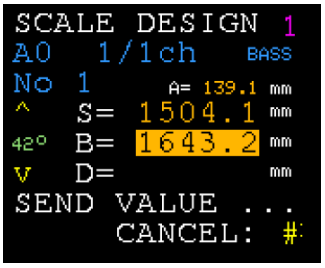
主机：准备传送当前值

先选中要传送的字段，本例为B。LIVE、NXT等按键按当前画面使用。



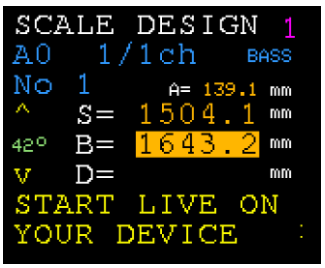
确认传送数值

SEND VALUE：按屏幕提示发送所选数值；#取消。



在另一设备启用实时读取

START LIVE ON YOUR DEVICE：在用于接收数据的电脑、平板或手机上启动实时读取。



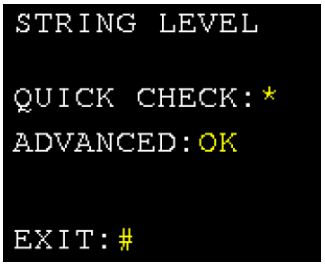
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：区段与配弦设置1 / 4

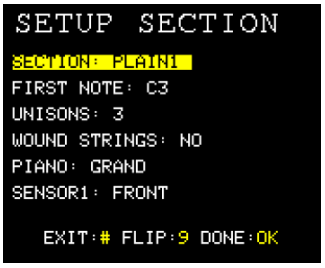
选择高级弦高测量

STRING LEVEL：*快速检查，OK进入ADVANCED高级流程，#退出。



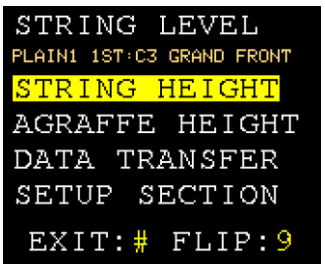
裸弦区设置

设置弦区、起始音、同音弦组、是否含缠弦、钢琴类型和传感器方向。9翻转，OK完成，#退出。



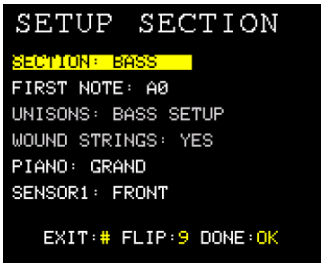
高级测量主菜单

STRING HEIGHT测弦高；AGRAFFE HEIGHT测弦枕钮高度；DATA TRANSFER传输数据；SETUP SECTION设置弦区。



低音区设置

SECTION: BASS。设置起始音，使用BASS SETUP配置弦组。WOUND STRINGS表示有缠弦；核对琴型及传感器方向。



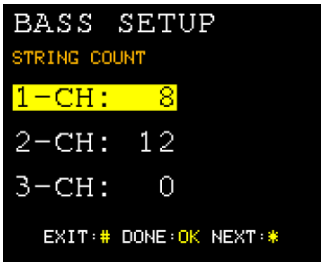
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：区段与配弦设置2 / 4

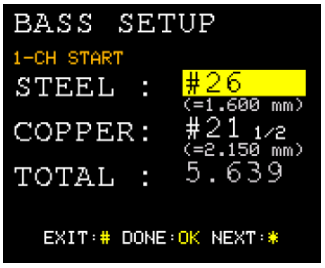
低音区弦组数

分别设置单弦组1-CH、双弦组2-CH、三弦组3-CH数量。*下一项，OK完成，#退出。



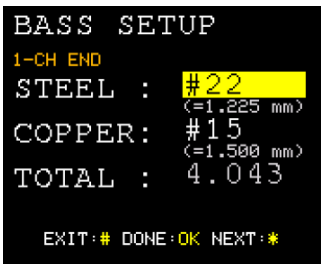
第一组单弦缠弦规格

STEEL为芯弦号和直径，COPPER为绕铜线号和直径，TOTAL为总直径。*下一项，OK完成。



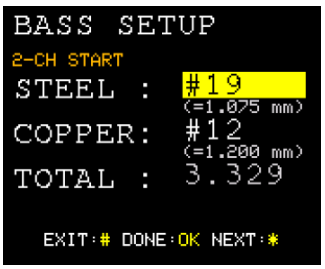
最后一组单弦缠弦规格

为1-CH LAST输入芯弦及绕铜线规格。屏幕据此显示总直径。



第一组双弦缠弦规格

为2-CH FIRST设置钢芯和绕铜线规格。屏幕显示相应的毫米值和总直径。



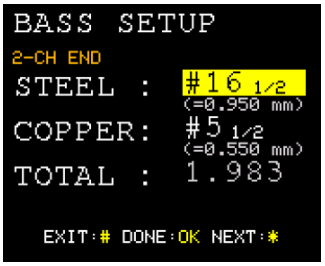
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：区段与配弦设置3 / 4

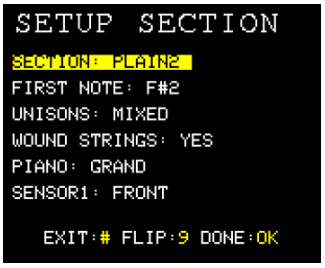
最后一组双弦缠弦规格

为2-CH LAST设置芯弦和铜线。按*下一项，OK完成，#退出。



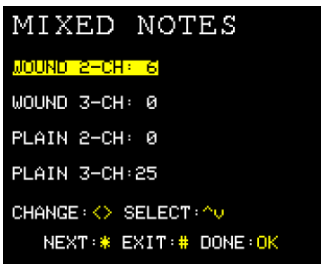
裸弦与缠弦混合区

UNISONS: MIXED为混合配弦；WOUND STRINGS: YES表示含缠弦。核对起始音、琴型及传感器方向。



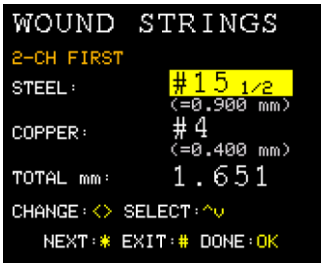
设置混合区的音组

按类别输入缠弦双弦组、裸弦双弦组和裸弦三弦组数。左右键改变数值，上下键选行，*下一项，OK完成。



第一组双弦缠弦的线径

WOUND STRINGS：输入芯弦及绕铜线规格。TOTAL为整根弦的总直径。方向键修改或选行。



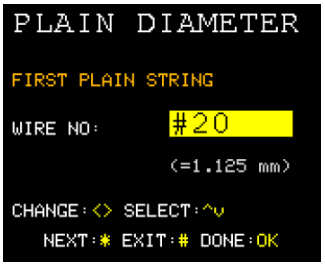
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：区段与配弦设置4 / 4

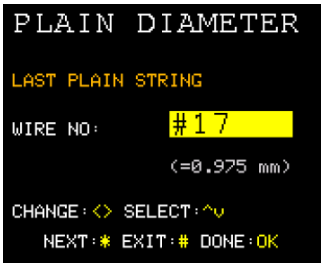
第一根裸弦的规格

FIRST PLAIN STRING：输入第一根裸弦的线号。括号内显示换算后的毫米直径。*下一项，OK完成。



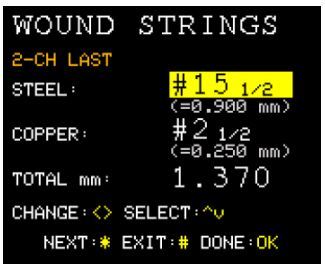
最后一根裸弦的规格

LAST PLAIN STRING：输入最后一根裸弦的线号。示例#17对应0.975 mm。



最后一组双弦缠弦的规格

输入2-CH LAST的芯弦及铜线规格。核对TOTAL总直径，OK完成。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：扫描与调整1 / 5

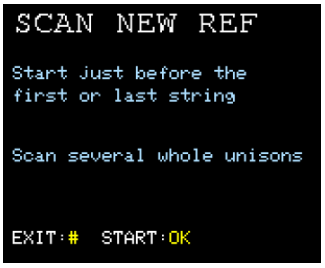
选择弦高参考扫描

SCAN NEW REF为扫描新的参考；PLAY & ADJUST为查看数据并调整。#返回。



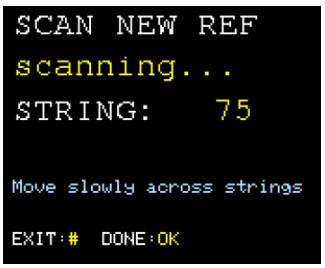
新参考扫描：起点

从第一根弦之前或最后一根弦之后开始，完整扫过若干同音弦组。OK开始，#退出。



新参考扫描进行中

STRINGS为已检测到的弦数。缓慢扫过琴弦。OK完成，#退出。



检查琴弦扫描次数

SCANS: 1表示已有一次扫描。为提高准确度可再扫一次。*重扫，#返回，OK进入PLAY。



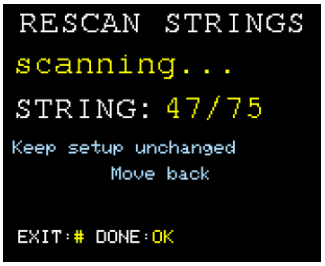
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：扫描与调整2 / 5

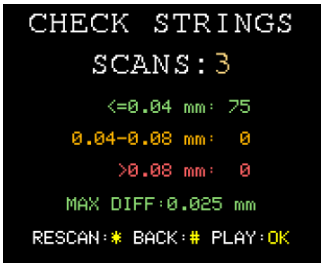
反向复扫琴弦

保持原有设置并反向移动。示例已经识别47 / 75根琴弦。#退出，OK完成。



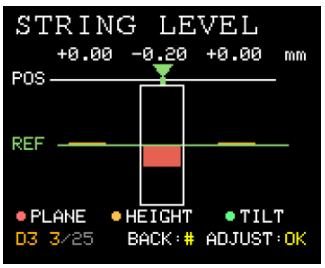
比较多次琴弦扫描

按差值范围列出各组数量，并显示最大差异。示例已有三次扫描。*再扫，#返回，OK查看。



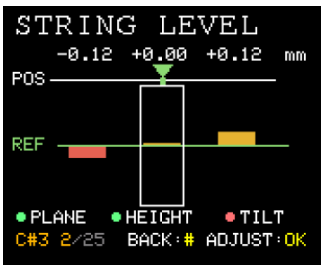
逐组查看三弦高度

顶行为组内各弦相对值，POS为位置，REF为基准。底部显示音名、弦序及PLANE、HEIGHT、TILT标记。



当前弦低于组内基准

结合红色柱形、正负号和绿色REF线判断偏差。#返回，OK进入ADJUST。



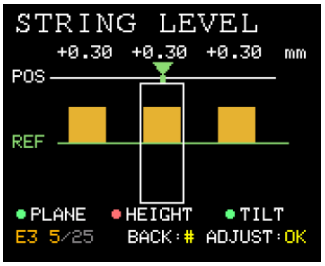
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：扫描与调整3 / 5

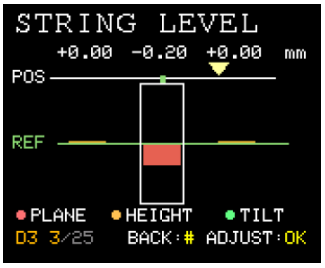
整个同音组相对偏高

用组内三根弦的读数判断整体高度及组内差异。屏幕下部给出平面、高度和倾斜状态。



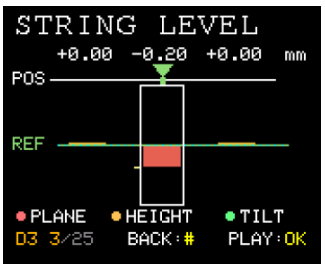
调整模式：观察实时变化

ADJUST中移动当前弦，观察读数和柱形相对REF的变化。按OK回到PLAY。



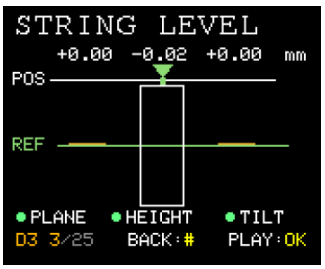
调整模式：比较各弦

比较同音组各弦的高度，并以参考线核对整组位置。按OK返回PLAY。



调整后的复核

重新查看弦组，核对各弦偏差及底部状态标记。OK可再次进入ADJUST。



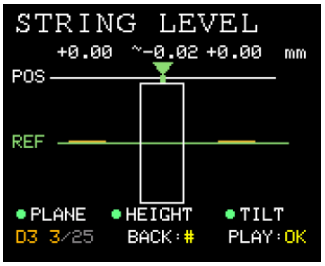
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：扫描与调整4 / 5

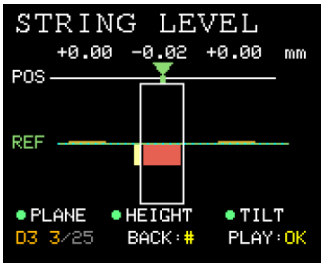
调整后各弦接近基准

比较各列显示值及绿色参考线。#返回上级，OK在PLAY与ADJUST之间切换。



选中另一同音弦组

根据下方的音名和弦序确认当前测点。黄色选择框标出当前位置。



选择直接或胶带扫描

DIRECT SCAN为直接扫描，WITH TAPE为胶带扫描。按方向键选择，按OK确认，#返回。



胶带法的第一次扫描

先不贴胶带。从第一根弦之前或最后一根弦之后开始扫完整个弦区；返回时再贴胶带。OK开始记录。



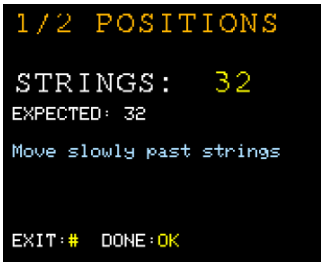
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

琴弦整平：扫描与调整5 / 5

第一步：记录琴弦位置

STRINGS为已识别弦数，EXPECTED为预期弦数。缓慢扫过琴弦；OK完成。



位置记录已完成

给每根琴弦贴一条胶带并使其接触弦顶。保持导轨位置，反向移动。*运行，OK记录，#退出。



第二步：记录胶带高度

扫过全部预定琴弦。屏幕显示实测与预期弦数；扫完按OK完成。



胶带扫描需重试

核对胶带及扫描结果，按提示反向移动。设备保留位置数据；保持胶带及导轨固定。OK重试，#退出。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦枕钮：扫描、配装与传输1 / 4

选择弦枕钮参考测量

AGRAFFE HEIGHT：SCAN NEW REF新建扫描，PLAY & ADJUST查看和调整。#返回。



开始弦枕钮扫描

从首个或末个弦枕钮中心开始，扫过全部弦枕钮。*手动，OK自动，#退出。



自动识别弦枕

钮缓慢扫过各弦枕钮，AGRAFFES显示已识别数量。*重新开始，OK完成，#退出。



手动记录弦枕

钮在每个弦枕钮峰值处按*保存。AGRAFFES为已记录数。按OK结束，#退出。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦枕钮：扫描、配装与传输2 / 4

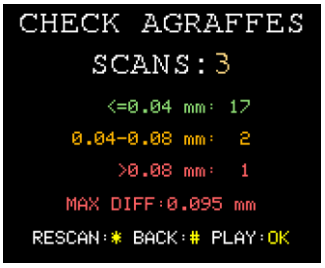
核对弦枕钮扫描

只有一次扫描时可按*复扫，提高准确度；按OK查看结果，按#返回。



比较多次弦枕钮扫描

屏幕按差值范围列出数量，并给出最大差异。*复扫，OK进入PLAY，#返回。



查看弦枕钮数据并调整

在AGRAFFE HEIGHT中选择PLAY & ADJUST，使用已取得的参考扫描。



选择弦枕钮范围

将激光点对准所选弦枕钮的中心。FIRST和LAST分别为首音和末音（图中为A0至E2）。按#返回，按OK进入PLAY。



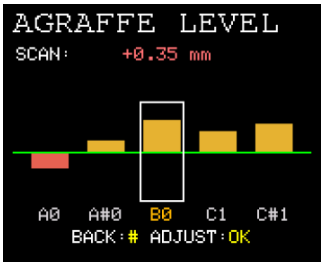
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦枕钮：扫描、配装与传输3 / 4

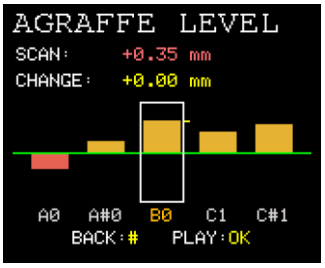
弦枕高度查看

SCAN为所选弦枕的扫描偏差。黄色边框标出当前弦枕，绿色横线为基准。OK进入调整。



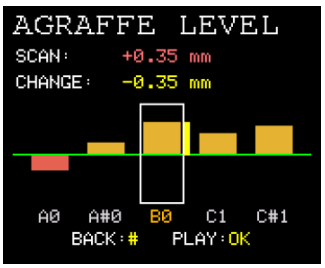
弦枕调整：起始值

SCAN为扫描时的偏差，CHANGE为调整后的高度变化。示例起始变化0.00 mm。OK返回PLAY。



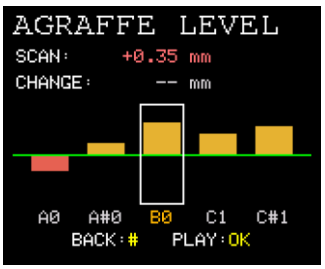
弦枕调整：观察变化量

比较SCAN与CHANGE。示例扫描偏差+0.35 mm，高度变化−0.35 mm。按OK回到PLAY。



复查选定弦枕

在PLAY中用柱状图核对相邻弦枕与参考线的关系；OK可再次进入调整。



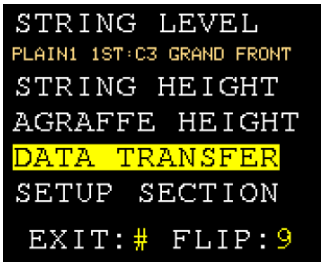
版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

附录PMP屏幕显示英汉对照

弦枕钮：扫描、配装与传输4 / 4

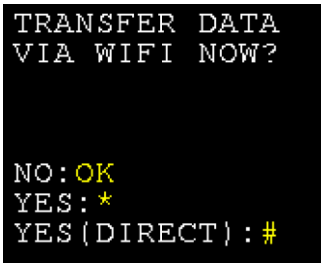
选择传输弦高数据

从高级弦高菜单选择DATA TRANSFER。9翻转显示，#退出。



是否立即传输数据

TRANSFER DATA VIA WIFI NOW?按OK跳过，*使用现有无线网络，#设备热点直连。



通过现有无线网络读取

在电脑或移动设备上连接与PMP相同的无线网络，打开所示设备名称或地址读取数据。按OK完成。



版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen

常用显示缩写与操作

LVL / HEIGHT • DIP键高/高度；键深（琴键从静止位置按到底的行程）。

LEVEL • TILT • CROWN整组琴键基准的高度、左右端高差及中央拱度。

CANT • DISH单键的左右横倾；键面贴片的凹陷。

DISC • pch垫圈调节量；pch为垫圈数量。正负号的处理见对应测量模式。

AVG • LAST • CHECK使用平均值、使用最近一次读数、需要检查。

UNDO • BACK • DONE撤销、返回、完成。以各画面标注的实际按键为准。

FINE / COURSE精调/粗调。COURSE为设备实际显示的拼写。

INSTR / BENCH / MATCH INSTR琴上测量/工作台测量/将工作台基准与琴上实际测量结果匹配。

LETOFF / DROP / CHECK / BLOW　断联距离 / 落距 / 托木接住距离 / 击弦距离。DROP+ 是断联后弦槌继续下落的增量。CHECK 是托木接住弦槌时槌头距琴弦的距离。

QUICK CHECK / AUTO LEVEL检查单个同音弦组/补偿导轨的倾斜。

MASTER / CLIENT主机/从机。两机分别采集各自测点的数据。

S / B / A / SP有效弦长/总弦长/弦后段长度（B − S）/击弦点。

D / T / SHIM弦压/弦码倾斜/用于模拟高度变化的垫片。

SCAN / PLAY / ADJUST扫描采集/查看已记录的读数/根据实时读数调整。

FIRST / LAST / NEXT / BACK首音或首项/末音或末项/下一项/返回。具体按键见各屏幕提示。

SAVE / LOAD / CLEAR保存/加载/清除。进行清除操作时，请核对所选存储位和数据范围。

版权所有©2026Tobias J. Schmidt, Klavieratelier Lychen