

产品应用案例：CLE-100-485-V PCB光板表面重复精度与静态稳定性实测

PCB光板 · 4点有效重复进给 · 静态稳定性

案例结论：本次计划覆盖5个重复进给位置和3个静态采样位置。214.949 mm位置在两项测试中均无有效读数，其余计划位置的采样帧全部有效。4个有效重复位置的样本标准差 σ 为0.60~2.73 μm ，P-P为1.83~7.20 μm 。

32帧平均重复精度	计划采样有效率
σ 0.60~2.73 μm P-P 1.83~7.20 μm	72.7% 2048/2816帧

有效率按5个重复位置和3个静态位置的原计划帧数计算；若仅统计可测位置，则4个重复位置和2个静态位置中的计划采样帧均为有效。重复进给结果包含运动平台、到位稳定、参考光栅和传感器读数的共同影响。

一、被测表面：PCB光板的结构与光学特性

PCB光板通常指尚未安装元器件的印制电路板。常见板体由FR-4玻纤增强环氧基材、铜箔线路、阻焊层、字符层及局部金属焊盘组成，部分焊盘还可能采用沉金、喷锡、OSP等表面处理。因此，PCB板面不是单一材质平面：不同区域既可能存在真实高度差，也可能因颜色、光泽和金属反射率不同而呈现不同的激光回波。非接触位移测量可用于板面翘曲、局部高度、台阶及平整度检测，但测量结果需要结合光斑实际落点解读。

材质或表面特征	对激光三角测量的含义	本案例中的观察
FR-4、铜箔、阻焊层及焊盘构成复合表面	光斑跨越不同区域时，回波强度和能量中心会变化，板面真实台阶也会叠加到位移结果	记录未标明各测试点对应阻焊、铜面、焊盘或字符层区域
阻焊层可能较光滑，金属区域具有较强方向性反射	660 nm回波对安装角和工作距离敏感；镜面回光未进入接收窗口时可能出现无效数据	重复与静态测试的214.949 mm位置无效
不同阻焊颜色和金属表面处理的反射差异明显	绿色、黑色、白色阻焊以及铜、沉金或喷锡表面对红光的吸收和反射不同	记录仅标明PCB2，未记录阻焊颜色、铜面状态和表面处理类型
板材存在翘曲、厚度公差及装夹变形	传感器会同时测到板面真实形态；支撑、温度和局部受力会改变高度与倾角	本次为约9分钟的单向测试，未覆盖温漂、长期翘曲和反向滞回

表面光学解读：CLE系列采用660 nm可见红光的三角测量方式。PCB光板的阻焊层通常呈漫反射与镜面反射混合状态，金属焊盘则可能产生更强的方向性反射；当光斑跨越材料边界时，接收光斑的能量分布也会改变。本次无效区间反映当前板面落点、工作距离、安装角和曝光参数的组合结果，不能据此推断所有PCB光板具有相同边界。

二、本次样片与测试条件

项目	本次记录
传感器	CLE-100-485-V，固件V1.20；三角测量式激光位移传感器，660 nm可见红光
被测表面	PCB2（按样品说明为PCB光板）；未记录基材、阻焊颜色、铜面/焊盘表面处理、板厚、平面度及光斑落点
参考基准	参考光栅；人工确认零点；确认时光栅读数244.441 mm

项目	本次记录
重复精度数据	计划5个位置×每位置8次进给×每次32帧；214.949 mm的8次进给均无效，其余4个位置有效
静态稳定性数据	计划3个位置×每位置512帧；214.949 mm的512帧均无效，242.949 mm与270.949 mm有效
采集参数	sens=6, laser=9, 设备avg=2；到位稳定0.8 s
方向与数据方式	重复精度仅采用每次进给的32帧平均值；静态稳定性同时统计原始帧和32帧分组平均结果。

2.1 指标口径

指标	本案例中的定义与读法
重复精度 σ	同一有效目标位置8次重新进给所得32帧平均值的样本标准差；数值越小，重复到位读数越集中。
重复精度P-P	同一有效位置8次32帧平均结果的最大值减最小值，表示本次有限样本内出现的读数包络。
无有效数据	计划位置在相应采样中未得到有效帧，因此不参与重复精度或静态噪声统计，也不以0代替。

三、PCB光板表面的重复精度实测

5个计划位置各执行8次重新进给，每次到位稳定0.8 s后采集32帧，并以32帧平均值作为一次进给结果。214.949 mm的8次进给均无有效数据；其余4个位置每次进给的32帧全部有效。

目标位置/mm	有效进给次数	32帧平均 $\sigma/\mu\text{m}$	32帧平均P-P/ μm
214.949	0/8	—	—
228.949	8/8	1.08	3.24
242.949	8/8	0.60	1.83
256.949	8/8	1.88	4.85
270.949	8/8	2.73	7.20

4个有效位置的样本标准差 σ 为0.60~2.73 μm ，P-P为1.83~7.20 μm 。其中270.949 mm位置离散最大， σ 为2.73 μm 、P-P为7.20 μm ；242.949 mm位置离散最小， σ 为0.60 μm 、P-P为1.83 μm 。该位置差异提示PCB光板的局部表面材质、板面形态、光斑落点与工作距离需要共同纳入重复性评估。

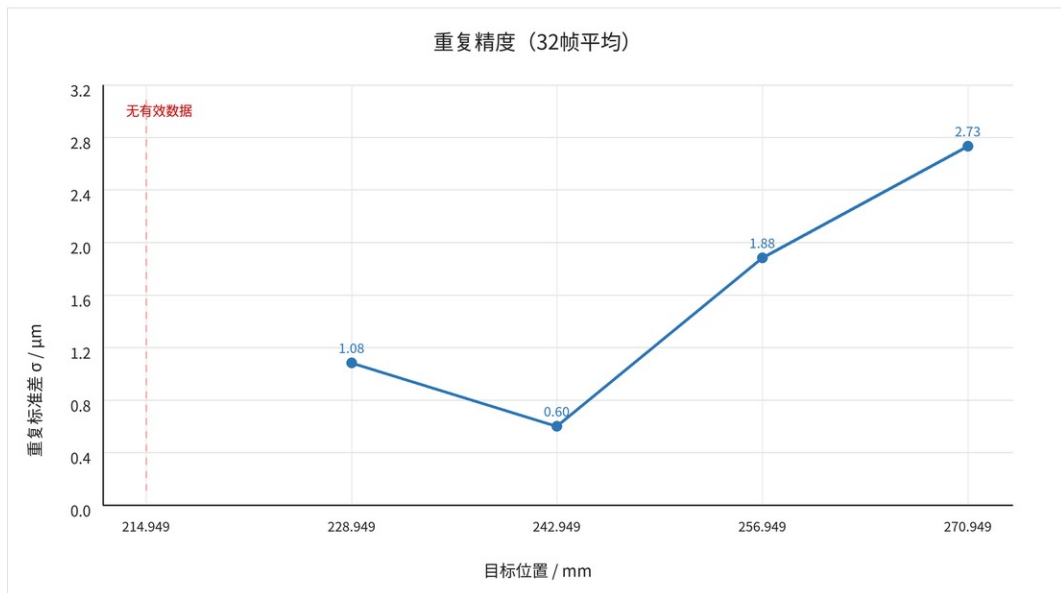


图1 PCB光板5个计划位置的32帧平均重复精度；214.949 mm无有效数据

重复精度结论：在4个可测位置，本次32帧平均重复进给 σ 不超过2.73 μm ，P-P不超过7.20 μm ；214.949 mm在当前安装和曝光参数下无法形成重复精度结果。实际应用应先确认可用工作区间，再按对应位置分配判定余量。

四、静态稳定性：两个有效位置的短时波动

静态采样计划在3个位置各连续采集512帧。214.949 mm的512帧均无效；242.949 mm与270.949 mm各512帧全部有效，并进一步按32帧划分为16组，以观察平均后的组间稳定性。

目标位置/mm	有效原始帧	原始帧 $\sigma/\mu\text{m}$	32帧平均 $\sigma/\mu\text{m}$	32帧平均P-P/ μm
214.949	0/512	—	—	—
242.949	512/512	1.68	0.91	3.24
270.949	512/512	4.28	2.49	9.37

242.949 mm位置的原始帧 σ 为1.68 μm ，32帧平均后的组间 σ 为0.91 μm 、P-P为3.24 μm ；270.949 mm位置的对应结果为原始帧 σ 4.28 μm 、32帧平均 σ 2.49 μm 、P-P 9.37 μm 。两个有效位置均无丢帧，但稳定性仍有明显位置差异。

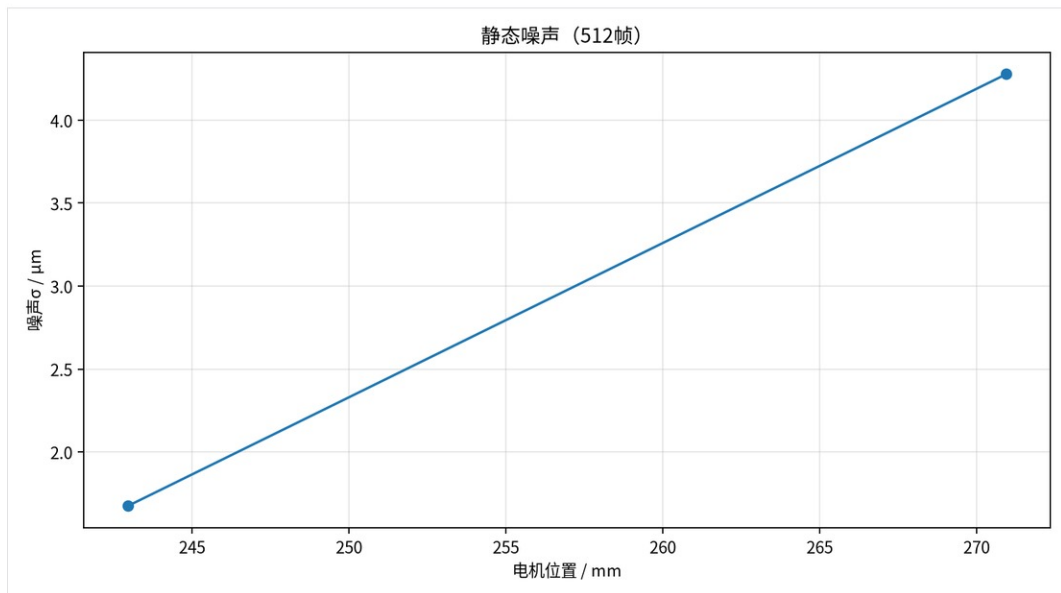


图2 PCB光板两个有效位置的512帧静态噪声；214.949 mm无有效数据未绘制

五、案例数据结论与适用边界

- 重复精度：4个有效位置各8次重新进给后，32帧平均 σ 为0.60~2.73 μm ，P-P为1.83~7.20 μm 。
- 表面适配：214.949 mm在重复进给和静态采样中均无有效数据；其余4个重复位置和2个静态位置的计划采样帧全部有效。当前PCB光板并非在全部计划位置都适配当前光学几何和曝光参数。
- 适用边界：PCB基材、层数、板厚、阻焊颜色、铜面/焊盘处理、字符层、光斑落点、平面度、支撑方式和温度未记录；测试仪覆盖1台传感器、1件样片及单向短时采集，不包含反向滞回、温漂、长期翘曲、不同倾角或不同批次PCB。因此，本案例是当前实物板面的性能记录，不能直接代表所有PCB光板。

数据来源：桌面/测试记录3（测试日期：2026-07-22） | 统计口径：样本标准差 σ 、峰峰值P-P