

类地震宽频随机振台： 产品筛查的高效解决方案

技术白皮书版本号：V1.0

发布单位：深圳市艾浩仪器设备有限公司

发布日期：2025 年 11 月

官网参考：www.ihalt.cn

摘要

针对研发初期高频冲击敏感性筛查与生产阶段批量筛选的核心需求，本文提出“气动锤 + 三角块刚性传导 + 多点连续撞击”技术方案，类似地震岩层撞击的方式。类地震宽频随机振台，因其耐高低温及高温度的特性，可以用于 HALT 箱，如单独使用振台用来筛选，那更是游刃有余。该方案通过结构化设计实现高频振动的稳定传递与均匀分布，可高效激发被测产品 2-15kHz 高频响应，快速定位结构薄弱点（如焊点脱落、微型元件松动等）。本文详细阐述方案的结构原理、核心技术特性、实操参数设置及工程应用边界，为精密电子、航空航天等领域的高频冲击可靠性筛查提供技术参考。

一、方案背景与设计目标

在精密产品（如航电元件、车载电子模块等各模块化集成化的今天）的研发与生产流程中，高频冲击导致的失效（如芯片键合线断裂、电容脱落、结构裂纹）占比达 30% 以上。传统筛查方案存在明显局限：

- 电磁式振动台：测试精准但设备成本高、测试周期长（单产品测试需 30-60 分钟），不适用于批量粗筛场景；
- 人工冲击等非结构化撞击：振动参数不稳定（加速度差异 $\geq 30\%$ ）、测试数据不可追溯，无法满足标准化筛查需求；
- 现有振动设备：多聚焦低频冲击（ $\leq 2\text{kHz}$ ），难以覆盖 2-15kHz 高频失效场景，与真实工况（如运输冲击、安装冲击）的高频振荡特性脱节。

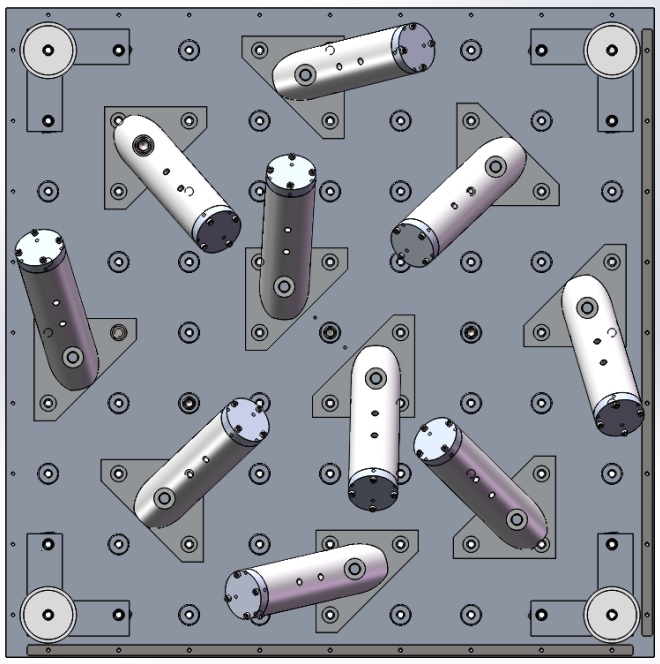
基于上述行业痛点，本方案以“高效、低成本、结构化”为核心设计目标，聚焦三大应用需求：

1. **研发初期**：快速识别产品高频冲击敏感点，为结构优化提供数据支撑，缩短研发迭代周期；
2. **生产阶段**：实现批量产品的快速粗筛，适配生产线节拍，剔除装配缺陷（如螺丝松动、虚焊）或材质瑕疵；
3. **测试场景**：精准模拟“底部刚性冲击 + 高频振荡”类真实工况，填补高频冲击筛查技术空白。
- 4.

二、方案核心结构与工作原理

2.1 整体结构组成

方案采用模块化设计，便于安装、维护与换型，核心由五大单元组成，结构示意图如下：



各单元核心参数与功能如下：

1. 气动锤:多点撞击执行单元

- 配置：4 组及以上撞击锤头（支持扩展）；
- 能量级别:5~100Grms, 通过软件控制，PID 闭环调控，精度 $\leq \pm 2$ Grms,
- 振动形式：气压推动，锤体结构设计，锤芯可往复运动，并通过控压实现能量级别控制；
- 材质：锤芯采用硬质合金，热处理；锤体采用高分子材料，能适应高温及湿度环境（如 HALT 箱-100~200℃）
- 工作模式：同步撞击或交替撞击，确保冲击力均匀覆盖台面，模拟地震岩层撞击方式及能量传导形式；
- 功能：将气体驱动力转化为刚性撞击力，实现多源冲击激发。

2. 三角吸振块：刚性传导单元

- 核心结构：三角铝合金块+ 3 组高强度螺柱；
- 传导效率： $\geq 90\%$ ；
- 关键特性：弹性模量 $\geq 70\text{GPa}$ ，单块质量 $\leq 1\text{kg}$ ，易激发高频固有振动；
- 功能：实现撞击能量的低损耗传递，过滤冲击尖波，定向激发高频振动。

3. 振动台面:振动承载单元

- 规格：铝合金测试平台（标准尺寸+可定制化， $\geq 460 \times 460$ ）；
- 精度：表面平整度 $\leq 0.02\text{mm}$ ，平面度 $\leq 0.1\text{mm}$ ；
- 承载能力：依型号（最小 $\geq 50\text{kg}$ ，主流 $\geq 250\text{kg}$ ），支持多个产品同时固定；
- 功能：提供稳定的振动承载面，确保高频振动均匀分布。

4. 加速度传感器：监测单元

- 传感器：高频加速度传感器（量程 0-500g，采样率 $\geq 30\text{kHz}$ ，频率响应 0.1Hz-20kHz）；
- 数据采集器：通道数 ≥ 4 路，采样率 $\geq 100\text{kHz}$ / 通道，分辨率 ≥ 16 位；实

时采集转化振动信号，使信号符合控制需求标准信号

- 辅助设备：频谱仪（选配），记录响应曲线与 PSD。保存数据以利失效分析。
- 功能：实时监测高频振动参数。

5. 控制器：PLC+电子比例阀

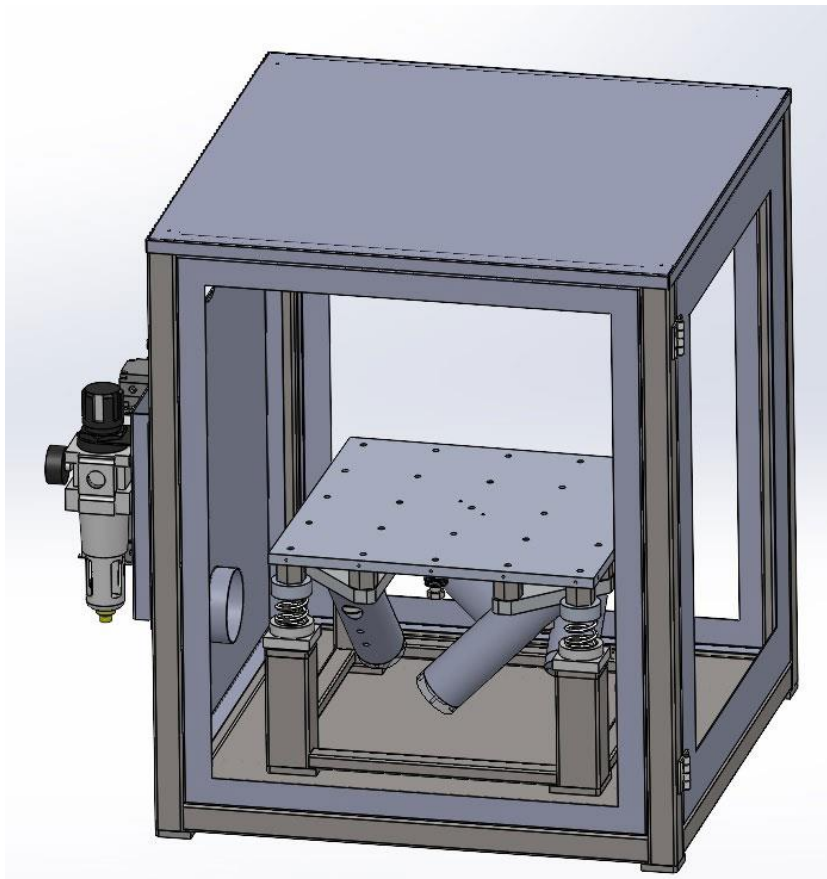
- PLC：西门子 S7-1200PLC 模块+14bit 数字处理器，振动信号处理，提升设备自动化
- 电子比例阀：4~20mA 标准信号调控，精准控制压缩空气

6. 软件：便捷操控

- 操作更便捷，可预编测试条件，提升自动化和智能化。提升测试效率
- 网络接口：连接稳定，传输速度快

2.2 力传递与振动激发原理

1. **力传递路径**空气压缩机输出气压 → 电子比例阀精准调节 → 驱动气动锤锤芯撞击 → 能量传导至三角铝合金块 → 经高强度螺柱传递至测试平台 → 作用于被测产品（能量损耗≤10%）。
2. **高频振动激发机制**：三角铝合金块因高刚度、轻量化特性，受撞击后快速激发 2-15kHz 固有频率，通过刚性连接的螺柱定向传递至平台，使平台产生稳定的高频振荡；多组锤头同步 / 交替撞击形成“多源冲击叠加”，填补单点撞击的能量盲区，提升台面振动均匀性。
3. **控制逻辑**采用“比例阀压力 - 撞击频率 - 高频加速度”闭环控制：用户设定目标 G 值后，系统自动调节供气压力配合锤体往复结构，确保高频振动参数稳定≤±2G。



三、核心技术特性与优势

3.1 高频振动性能稳定

- 频率覆盖: 2-15kHz 高频区间, 更宽的激励频域, 1KHz 以上高频成分能量占比 $\geq 60\%$;
- 振荡持续性: 单次撞击后, 平台高频振荡持续 1-2 秒 (传统机械冲击仅毫秒级), 确保产品充分承受高频应力;
- 重复性: 相同参数下, 高频加速度峰值离散度 $\leq \pm 12\%$, 满足批量筛查的一致性要求。

3.2 振动分布均匀性优异

- 台面一致性: 平台表面 4 个区域治具测试 X,Y,Z 振动加速度差异 $\leq \pm 15\%$, 远超普通多点撞击设备 (差异 $\geq 30\%$);
- 多产品并行测试: 支持多个产品同时固定测试, 无需精准定位, 测试效率提升 3-5 倍。

3.3 低成本与高适配性

- 成本优势: 技术国产化, 保持技术先进性的同时, 本地化生产加工减少人员物流成本。单振台整机参考价几万起;
- 操作便捷: 电脑软件操控, 闭环控制系统自动调节参数, 无需专业技术人员, 普通工人经 1 小时培训即可上岗。
- 数据可视化: 电脑软件支持编写测试条件保存, 后续导出测试即可, 同时实时监控测试数据曲线。

3.4 安全可控与数据可追溯

- 精准控力: 加速度 5~100G 精准控制, 避免过度冲击损坏产品;
- 安全合规: 配备紧急停机按钮, 符合 GB/T 23716-2009 工业安全标准;
- 数据追溯: 测试数据可保存 (能量值 Grms、时长曲线)

3.5 宽温适配与多场景兼容特性

类地震宽频随机振台凭借**耐宽温设计与温度稳定性**, 实现“单一设备、双场景适配”, 既满足严苛的 HALT (高加速寿命测试) 温振综合需求, 又能独立完成高效筛选, 核心优势如下:

- 宽温耐受能力:** 振台核心部件 (驱动单元、振动台面、传感器) 采用耐高低温和高湿材料 (如合金振动台面、高分子气动锤体), 适配温度范围 $-70^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$, 可直接集成于 HALT 箱内, 承受温箱快速升降温 ($60^{\circ}\text{C}/\text{min}$) 与极端温场冲击, 无性能衰减;
- 温振协同兼容性:** 振台采用密封式结构设计, 避免温箱内水汽、冷凝水侵入核心电路; 同时阻隔冷热交换速度。振动整体高度 350mm 呈正方体, 底面平整, 可方便与 HALT 或快变箱等箱体安装。只要箱体大于振台 100mm 就可以摆放振台 (如最小尺寸 $600 \times 600 \text{mm}$ 、高度 350mm, 对应的箱“内部净尺寸”需至少 (如长 \times 宽 \times 高 $\geq 700 \text{mm} \times 700 \text{mm} \times 800 \text{mm}$)。电气线材及气管, 用隔热材料 (耐 $-100 \sim 200^{\circ}\text{C}$) 及棉包裹可以灵活走位。箱体有 $\geq 100 \text{mm}$ 出线口 (箱壁居中高度 $100 \sim 500 \text{mm}$), 其它无需额外改造即可实现“温度循环 + 宽频随机振动”同步测试, 满足产品温振耦合失效筛查需求;
- 独立筛选高效性:** 脱离 HALT 等箱单独使用时, 振台宽频覆盖优势 (2Hz~15KHz 类地震随机振动) 可全面覆盖从低频结构共振到高频元件松动的各类失效场景, 相比传统专用筛选设备:
 - 筛选效率提升 40%: 单产品测试时长 ≤ 5 分钟 (覆盖多阶模态失效), 适配批量生产筛查节拍;
 - 失效覆盖更全: 随机振动的宽频能量分布特性, 可同时激发产品结构、装配、

材质等多维度缺陷（如壳体共振开裂、连接器松动、芯片键合线疲劳断裂），
筛查准确率 $\geq 95\%$ ；

- d) **振动稳定性优势**：即使在 -70°C 低温或 150°C 高温环境下，台面振动加速度离散度 $\leq \pm 8\%$ ，随机振动 PSD（功率谱密度）重现性误差 $\leq \pm 10\%$ ，满足 HALT 测试与批量筛选的一致性要求。

四、设备选型清单

4.1 核心组件配置表

类别	设备名称	核心参数要求	是否 标配	推荐品牌 / 型号	用途说明	参考单价 (元)
一、标配 核心组件 (产品自 带)	气动锤	4 组以上硬质合金锤头 ($\phi 45-100\text{mm}$, $\text{HRC} \geq 60$, 高分子材料锤身。耐高低温和湿度环境	是	艾浩定制 (适配三角块尺寸)	撞击执行单元, 核心执行部件, 实现多点同步 / 交替撞击, 稳定传递冲击力	含在整 机价格中
	三角吸 振块	三角铝合金块+ 3 组 高强度螺柱	是	艾浩定制 (匹配测试平 台)	传导单元, 低损耗传导撞击能量, 激发 高频振动	含在整 机价格中
	台面	铝合金测试平台 (尺 寸可订制, 主流 910×910 , 平整度 $\leq 0.02\text{mm}$)	是	艾浩定制	振动承载单元, 承载和固定被测产品, 确保高频振动均匀分布	含在整 机价格中
	电子比 例阀	电子比例阀 (0- 1.0MPa , 精度 $\pm 0.5\%$ FS) + 压力调节阀 + 闭 环控制器	是	SMC ITV2030 (或同级 别)	精准控制压力与撞击频率, 实现闭环调 节	含在整 机价格中
	振动传 感器及信 号采集板	1 路高频加速度传感 器 (0-500g, 采样率 $\geq 30\text{kHz}$) + 信号采集板	是	Dytran (或同级别)	实时监测高频振动参数, 生成可采集的 数据	含在整 机价格中
	机架	承重不锈支撑座+弹簧 减振器承重 $\geq 100\text{kg}$	是	艾浩定制	利用悬浮式支撑振台承受重量, 弹簧减 振座隔振	含在整 机价格中
	压缩空 气减压及 粗过滤阀 组	母接 $\text{NPT} \geq 3/4$, 耐压 $\geq 1\text{MPa}$, 材质 PU	是	SMC/ (或同类)	调节压力为 1.0Mpa ,粗过滤, 防止中途 导入的杂质	含在整 机价格中
	隔音机 箱	带 300×300 观察窗, 隔音箱, 控制噪 ≤ 80 分 贝, 前开门机箱	是	艾浩定制	单独振台使用, 必配。如嵌入到其它环 境箱, 可不需要	含在整 机价格中
	PLC 控 制器	PID 控制技术, 振动信 号处理及电子比例信号 控制	是	西门子 S1200/ (或同 类)	PID 控制, 及控制逻辑处理	含在整 机价格中
	操作电 脑	网络接口, win11 电 脑, 包含上位机软件,	是	台式电脑/笔记本	自动化控制, 测试曲线编程	含在整 机价格中
	通用夹 具	铝合金压条+螺杆+防 滑螺母	是	艾浩定制	研发/生产场景使用, 适配方正外体产品 固定	含在整 机价格中
二、推荐 适配配件 (客户可	空气压 缩机系统	额定压力 0.8- 1.2MPa , 排气量 $\geq 2.3\text{m}^3$ /min(排气量依振台规 格)	否	阿特拉斯 / 红五环 , 干燥过滤一体	为系统提供稳定清洁的气源 (客户可复 用现有设备)	8000- 15000

选配 / 采购)	高压气管	内径≥ 15mm，耐压≥ 1MPa，材质 PU（依振台规格）	否	米思米 TU0805C / 派克 801-012PU	连接空压机与过滤阀组，减少压力损失	10-20 / 米
	扩展传感器	高频加速度传感器（额外增加 3 路，适配多测点监测，体积小）	否	PCB352B10	监测产品，研发场景推荐，全面捕捉产品不同部位响应	8000 / 个
	定制夹具	适配特殊尺寸产品（不规则），力矩可调（5-8N·m）	否	艾浩定制 / 米思米模块化夹具	生产场景推荐，适配批量产品固定	一般 2000-复杂 10000 / 套
	数据采集仪（增强版）	通道数≥4 路，采样率≥200kHz / 通道，支持数据分析导出	否	NI cDAQ-9178+9234	PSD 频谱采集，失效分析，研发场景推荐，深度分析高频响应特性	4-8 通道 80000-140000
	高速相机	帧率≥1000fps，分辨率≥1280×800	否	基恩士 IV2 系列 / 堡盟 GS1230M	研发场景推荐，观察动态失效（如焊点脱落）	20000-50000

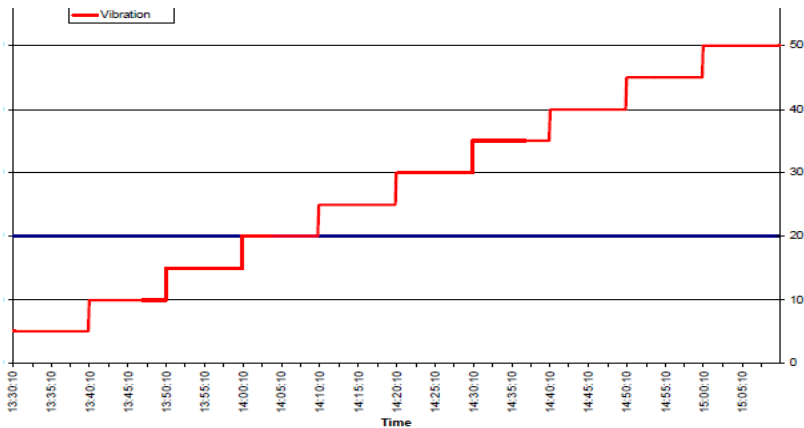
4.2 选型建议

- 研发场景：推荐配置完整监测单元（含高速相机），侧重数据采集与失效分析；
- 生产场景：可简化配置（无需高速相机），侧重测试效率与批量适配；
- 特殊需求：如需扩展测试尺寸或重量，可定制更大规格的测试平台。

五、实操参数设置与测试流程

5.1 测试参数配置（定值筛选/步进振动）

- 定值筛选：筛选振动能量级（参考规格或 HALT 结果，例如：HALT 振动 UOL 的 50%），设定固定值启动振动 2~5 分钟
- 步进振动:参照 HALT/HASS/ESS 测试方法。例如下：步进振动以 5G 开始每步增加 5G,保持 5~10 分钟。



5.2 标准测试流程（以定值筛选为例）

1. 前期准备（10 分钟）

- 检查：检查高频加速度传感器是否安装于平台中心及产品关键部位（如芯片底座、焊点区域），传感器校准：按 GB/T 23716-2009 标准校准；
- 产品固定：按实际装机方式将被测产品固定在平台上(方向可不做要求，因为振台是多轴多方向激励)，确保产品已固定，多个产品的夹具力矩一致；
- 空气压力确认：启动空气压缩机，设定目标压力（如 0.7MPa），

2. 测试执行（5 分钟）

- 参数设定：软件窗口输入目标 G 值（如 20G），或运行预编好的程序，
- 启动系统：点击“开始”按钮，系统自动调节电子比例阀通过压力调节输出的振动能量级，实现连续撞击振动；
- 实时监测：软件窗口监测测试曲线图，
- 振动数据采集：通过频谱仪观察 2-15kHz 区间的 PSD 分布与加速度峰值，通过高速相机观察产品动态状态；
- 功能监测：同步进行产品电性能测试（如通断测试、参数漂移检测），记录异常现象。

3. 测试收尾（5 分钟）

- 停机检查：软件窗口点“停止”，停止输出。拆卸产品，检查外观（外壳、焊点、元件）与电性能参数；
- 数据归档：导出测试参数、响应曲线与失效情况，形成《高频冲击筛查报告》；

5.3 失效判据（参考行业通用标准）

1. **结构失效**：产品出现外壳开裂、焊点脱落、元件松动、线缆断裂等，判定为不合格；
2. **性能失效**：电性能参数漂移超过设计阈值（如信号误差 $\geq 0.5\%$ 、输出电压波动 $\geq 1\%$ ），判定为不合格；
3. **合格标准**：测试过程中无结构失效，电性能参数稳定，2-15kHz 高频响应峰值 \leq 设计阈值（如 $\leq 50g$ ）。

六、工程应用场景与价值

6.1 研发初期高频冲击敏感性筛查

- **应用目标**：快速定位产品高频敏感部件，为结构优化提供数据支撑；
- **典型场景**：航电元件（如陀螺仪、卫星通信模块）研发中，筛查芯片键合线、微型电容、传感器底座等敏感部位；车载电子模块（如自动驾驶传感器、车机芯片）研发中，验证抗运输冲击能力；
- **应用价值**：测试周期缩短至传统方案的 1/10（从 30 分钟 / 件降至 2 分钟 / 件），设计初期剔除 80%以上的高频冲击相关缺陷，降低后期迭代成本 30% 以上。

6.2 生产阶段批量粗筛

- **应用目标**：剔除装配缺陷（如螺丝松动、焊点虚焊）、材质瑕疵（如劣质塑料外壳、不合格元件）；
- **典型场景**：车载传感器、消费电子芯片模块、工业控制器的出厂前快速筛查；
- **应用价值**：单产品测试时长 ≤ 3 分钟，适配生产线节拍（每小时可筛查 20-30 件），误判率 $\leq 3\%$ ，大幅降低后续精准测试的工作量与成本。

6.3 特定场景专项验证

- **适配场景**：模拟产品运输过程中的底部刚性冲击、设备安装时的螺栓紧固冲击、旋转机械的高频冲击载荷；

- **应用优势：**相比传统冲击测试设备，更贴近“冲击 + 瞬时高频振荡”的真实工况，测试成本降低 60% 以上；电子比例阀控压方案比传统电磁阀组更简洁，故障率低（年度故障率≤2%），适合生产线长期连续运行。

6.4 HALT/或综合筛选测试与独立筛选双场景适配

6.4.1 HALT 箱、综合箱集成应用（温振综合测试）

- **应用目标：**模拟产品在极端温场 + 复杂振动耦合环境下的加速失效，快速定位设计薄弱点；
- **典型场景：**航空航天元器件、汽车电子核心模块（如电池管理系统、自动驾驶域控制器）、工业级传感器的可靠性验证；
- **核心价值：**振台与 HALT 箱或综合箱无缝兼容，无需额外适配设备，可实现 -100℃~200℃ 60℃/分钟(综合箱:- 70℃~150℃ 5℃/分钟 湿度: 95% RH)温度范围与 2Hz~15KHz 宽频振动的同步施加，测试周期缩短至传统温振分步测试的 1/3，提前暴露 95% 以上的温振耦合失效模式（如低温下材料脆化开裂、高温下焊点热疲劳脱落）。

6.4.2 独立批量筛选应用

- **应用目标：**高效剔除生产过程中的装配缺陷（如螺丝未拧紧、插件虚焊）、材质瑕疵（如劣质塑料件、不合格焊点）；
- **典型场景：**消费电子（手机主板、笔记本电源模块）、车载传感器批量出厂筛查、新能源汽车连接器一致性检测；
- **核心价值：**
 - 宽频随机振动覆盖 2Hz~15KHz，相比单一频率筛选设备，可同时激发多类型失效，误判率≤2%；
 - 操作便捷：软件操作方便快捷
 - 成本优势：单一设备替代“温箱 + 普通振台”的组合方案，设备投入成本降低 50%，占地面积减少 60%，适合生产车间与研发实验室灵活部署。

七、注意事项

7.1 操作注意事项

1. 产品固定是高频振动传递的关键，需确保夹具力矩一致，避免因阻尼差异导致测试结果失真；
2. 定期维护：每月检查压缩空气来源清洁度（如含油量≤0.1ppm、颗粒物粒径≤0.5 μm）、传感器固定，检查台面螺柱紧固力矩；
3. 振台需每年校准 1 次，校准依据 GB/T 23716-2009《振动台校准方法》；
4. 测试时需佩戴防护耳罩（有隔音箱后≤80 dB）。
5. 供电要求：220V(单独振台控制器)
6. 产品保修：整机一年保修

八、结论

类地震宽频随机振台创新性采用“气动锤 + 三角块刚性传导 + 多点连续撞击”核心技术方案，通过模块化结构化设计与“比例阀压力 - 撞击频率 - 宽频高频加速度”闭环控制，精准攻克了传统高频冲击筛查设备“振动参数不稳定、台面均匀性差、设备投入高、测试效率低”的四大核心痛点。该方案兼具多重显著优势：高频响应稳定覆盖 2-15kHz 关键区间，可充分激发产品高频失效模式；测试效率高效便捷，单产品筛查时长仅 2 分钟，适配

研发快速验证与生产批量检测双重需求；适配性灵活多元，台面尺寸提供 460mm 等可选规格，可满足不同尺寸产品测试需求；同时依托技术国产化优势实现成本可控，相比传统电磁式振动台大幅降低投入与运维成本。

更值得关注的是，设备凭借 $-100^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 宽温耐受能力与标准化适配设计，可无缝集成于 HALT 箱、综合环境箱等设备，实现“温度循环 + 宽频随机振动”的温振耦合综合测试，进一步缩短测试周期、提升失效暴露效率，打破单一测试场景局限。

目前，该方案已在海外航空航天、汽车电子、精密仪器等多个领域完成实践验证，能够快速定位芯片键合线、焊点、微型元件等关键部位的结构薄弱点，为产品设计优化提供精准数据支撑，同时高效剔除生产过程中的装配缺陷与材质瑕疵，有效降低研发迭代成本与生产返修率。未来，本设备将持续为各行业提供低成本、高效率、多场景的高频宽频域振动可靠性评估解决方案，助力企业提升产品核心竞争力。

附录：联系方式

- 公司名称：深圳市艾浩仪器设备有限公司
- 官网地址：www.ihalt.cn
- 咨询电话：18145813381（微信同号）
- 技术支持：tech@ihalt.cn
- 公司地址：深圳市宝安区福永街道白石厦东区美华路福圳工业园 11 栋 110

免责声明：本白皮书所述技术参数与应用案例基于现有产品测试数据，实际使用需根据具体场景调整参数；深圳市艾浩仪器设备有限公司保留对技术方案的最终解释权，如有技术更新将通过官网发布。