高等级洁净室精密制程设备防振基座安装施工技术与质量控制研究

方宝荣

中国电子系统工程第二建设有限公司　江苏　无锡　214000

摘　要：随着半导体制造工艺向微纳化、高精度方向持续升级，曝光机、高精度量测仪等核心制程设备对厂房微振动环境、安装平面精度与结构刚度提出了严苛要求。防振基座作为精密设备与建筑结构之间的核心承载隔振单元，其施工质量直接决定设备运行精度与生产良率。本文结合某半导体项目厂房 L20 层、L40 层防振基座安装工程，针对 Type-B 钢结构承重基座与 Type-C 水泥基防振基座的结构特性与适用场景，分析了高洁净环境下基座施工的核心重难点，系统阐述了从测量放样、洁净转运到调平固定的全流程安装工艺，并建立了覆盖工厂预制、现场安装、性能验收的全周期质量控制体系与洁净环境管控方案。工程实践表明，该工艺可有效保障基座安装精度与防振性能，满足 VC-C 及以上微振动控制要求，可为同类高等级洁净室精密设备基座施工提供工程参考。

关键词：半导体；高精度；防振基座；微振动控制

引言

当前全球半导体产业制程精度持续突破，先进制程对生产环境的振动控制要求已达到纳米级尺度。高等级洁净厂房内的曝光机、光学量测设备等核心制程装备，对环境微振动、安装平面度、结构刚性极为敏感，微米级的振动偏移都可能导致光刻图形失真、量测数据偏差，直接影响产品良率与产线运行稳定性。

防振基座是精密设备与建筑主体结构之间的核心承载隔振构件，其施工质量直接决定设备的运行环境指标。相较于普通工业设备基座，半导体洁净厂房内的防振基座施工需同时满足高精度安装、微振动性能达标、高洁净度管控三大核心目标，且常面临既有生产区交叉作业、现场空间受限、产尘防控难度大等复杂工况，施工技术难度与管控标准显著高于常规机电安装工程。本文依托某半导体厂房防振基座安装项目，针对两类典型基座的施工技术与质量控制展开系统研究，总结形成适配高洁净环境的标准化施工工艺[1]。

1 防振基座概况

1.1 防振基座及其特性

防微振基座 主要是给精密设备“踩稳脚跟”的专用底座，核心作用是把外界传来的微小振动挡住，不让它干扰到光刻机、电子显微镜等高精度设备的正常工作。

防微振等级主要依据 振动准则（VC 曲线）划分，常见等级为 VC-A 至 VC-G，核心指标是 1/3 倍频程振动速度均方根值[2]。

根据设备荷载等级、振动控制需求的差异，本项目采用两类基座形式，分别适配不同类型的制程设备：

1.2 Type-B 钢结构承重基座

该类基座主要应用于设备自重较大、无特殊微振动要求的重型机台，核心作用是分散设备荷载，解决高架地板承载能力不足的问题。基座主体采用 8mm 厚钢板与 100×100 规格 H 型钢焊接成型，通过钢构整体受力将荷载均匀传递至下部结构。基座表面喷涂洁净室专用环氧涂料，洁净度指标完全符合高等级洁净室使用标准（如下图 1 所示）。



图 1Type-B 钢结构承重基座

1.3 Type-C 水泥基防振基座

该类基座针对曝光机、高精度量测设备等对微振

动、结构刚度有极高要求的精密机台设计，采用钢框架内嵌钢筋混凝土的复合结构，具备优异的结构刚性与振动衰减性能，可满足 VC-C 及以上等级的微振动控制要求。基座通过无尘室专用 AB 胶分段粘接固定于华夫板结构上，基座表面经洁净环氧树脂处理，表面硬度可达 600kg/cm² 以上，同时满足洁净度、耐磨性与结构刚度多重要求（如图下 2 所示）。

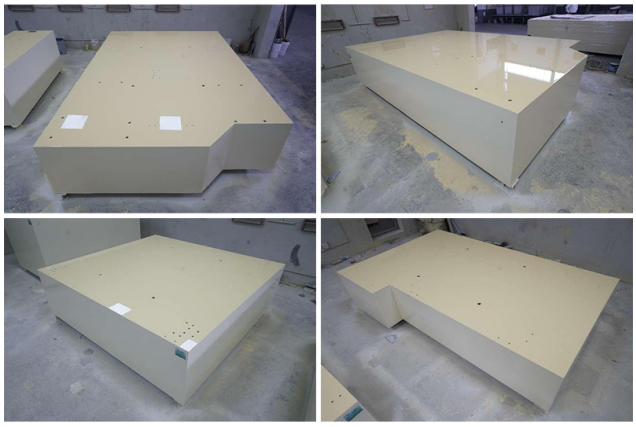


图 2Type-C 水泥基防振基座

2 防振基座施工的核心重难点分析

结合项目工况与基座技术指标，本次施工存在三大核心技术与管控难点：

2.1 现场空间受限，施工组织管控难度大

项目基座对应高架地板预留坑位面积较大，吊装作业需架设龙门架支撑体系，现场安全围护范围广；而洁净室内部生产动线固定、设备布局密集，可用于材料暂存、设备转运的空间极为有限，对施工动线规划、临时暂存区设置、人员作业管理提出了精细化要求。

2.2 拼接安装精度要求高，质量控制难度大

大尺寸基座采用分块拼装形式，拼接节点数量多，对接缝宽度、整体平面度、水平高差控制精度要求严苛。同时基座需与设备支撑脚精准对位，定位偏差将直接影响后续设备安装精度，必须采用高精度测量手段保障定位与调平质量。

2.3 洁净环境管控要求严，交叉作业风险高

部分基座位于已投产生产区域，施工全过程不得对原有洁净环境造成颗粒污染。切割、钻孔等常规产尘作业若防护不当，极易造成洁净室颗粒度超标，影响正常生产；同时华夫板孔洞密集，施工过程存在坠物、人员踏空等安全风险，需制定专项防护与管控方案[3]。

3 防振基座关键安装施工工艺

3.1 总体施工流程

项目遵循“先准备、后进场；先防护、后作业；先定位、后安装”的管控原则，总体施工流程为：测量放样 → 基座定位 → 临时设施布设 → 基座洁净转运 → 吊装就位 → 水平精度调整 → 钻孔固定 →AB 胶封填 → 收边处理 → 场地清理与验收。

3.2 关键工序施工要点

hirdtitle3.2.1 现场测量放样与精准定位

施工前联合设备工程师对照设备定位图纸完成现场放样，核实现场结构与图纸的偏差，重点确认设备支撑脚位置与高架地板预留孔洞的对应关系。由设备工程师标记双向十字定位基准点，施工单位依据基准点放线确定基座安装边界。测量作业采用全站仪布设基准控制点，保障基座整体尺寸定位精度；水平基准采用水准仪统一传递，确保全区域高程控制一致。定位完成后进行二次复核校验，确认无误后方可进入下道工序。

3.2.2 临时设施与作业防护布设

针对坑位区域龙门架无法直接架设的问题，根据基座尺寸与龙门架布设位置，铺设临时地板通道作为作业与转运路径，临时地板采用膨胀螺栓固定，保障承载稳定性与作业安全。在洁净室外设置专用加工棚，所有地板切割、型材切割工序均在棚内完成，从源头避免产尘作业进入洁净区；加工棚配套专用电源与除尘设施，切割废料统一密封存放、定期清运。

3.2.3 洁净转运与进场管控

所有基座构件、施工工具、辅助材料进入洁净室前，需在缓冲间拆除外包装，采用蘸有 5%IPA 溶液的无尘布对所有表面进行全面擦拭清洁，确认无灰尘、污渍、纤维残留后方可转运进场。场内搬运动线全程铺设 8mm 厚 PVC 板，保护高架地板表面不受滚轮刮伤；所有液压车、搬运工具的滚轮均采用 PVC 胶布包裹，保障接触表面清洁柔软，避免摩擦产尘与地面划伤。由于基座分块尺寸适中，场内转运以液压车为主要工具，配合人工辅助精准就位。

3.2.4 作业区封闭与洁净防护

采用安全锥与安全连杆对作业区域进行全封闭围护，设置施工告示牌与警示标识；作业范围内的所有华夫板孔洞采用不锈钢盆全覆盖封堵，施工完成后统一回收，既防止坠物风险，也阻断粉尘向下层扩散的通道。涉及钻孔、打磨等产尘作业时，全程配套工业吸尘器与防尘防护罩，实现边作业边吸尘，最大限度控制粉尘飘散；作业人员穿戴洁净专用劳保用品，严格遵守洁净室行为规范，减少人为产尘。

3.2.5 基座安装与调平固定

基座就位后立即开展水平度调整，采用水准仪多点位连续测量，通过底部垫铁进行精细化微调，保障基座整体水平度误差控制在 2mm 以内，基座表面与周边高架地板的高差控制在 10mm 以内。垫铁采用多点式均匀布设，确保基座受力均匀，避免局部应力集中影响长期稳定性。水平精度验收合格后，采用无尘室专用 AB 胶填充基座与华夫板之间的空隙，实现基座与结构层的粘接固定；胶层需涂覆饱满密实，杜绝虚粘、孔洞、漏涂等缺陷。基座四周收边地板增设支撑脚加固，收边切割整齐顺直，地板与基座边缘预留 10mm 均匀间隙，兼顾收口美观与结构稳定性（如下图 3、图 4 所示）。

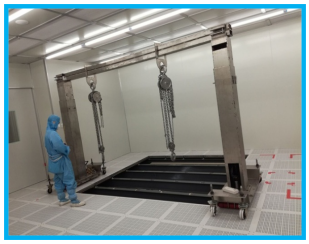


图 3 基座安装



图 4 基座收边

3.2.6 成品保护与场地恢复

施工完成后，对基座表面进行全面清洁擦拭，基座上的预留孔洞采用 PP 板全覆盖，防止人员踏空与杂物掉落。依次拆除临时设施与围护结构，清理作业区域所有施工垃圾与剩余材料，恢复洁净室原有环境，并配合业主完成洁净度检测确认。

4 施工质量控制与验收标准

4.1 工厂预制阶段质量控制

基座工厂预制阶段严格把控焊接质量与表面涂装质量：钢结构焊缝需满焊且成型均匀，杜绝虚焊、夹渣、气孔等缺陷；表面环氧烤漆需均匀平整，无流挂、脱落、划痕，洁净度指标符合洁净室材料准入标准，出厂前进行全面外观与尺寸检验。

4.2 现场安装质量控制

定位精度控制：所有基座定位均采用全站仪放线复核，平面位置偏差控制在设计允许范围内，确保与设备支撑脚位置一一对应。

水平度控制：采用水准仪逐点测量基座表面，整体水平度误差≤ 2mm，作为核心验收指标执行一票否决。

粘接质量控制：AB 胶严格按比例均匀调配，涂覆饱满连续，胶层无气泡、无断档，固化后进行敲击检查，杜绝空鼓虚粘。

外观与收口控制：基座表面无磕碰、划伤，收边地板缝隙均匀一致，切割断面平整，整体观感符合洁净室装修标准。

4.3 性能验收标准

Type-C 防振基座除外观与尺寸验收外，需配合设备方开展微振动测试，确认基座自振频率与振动衰减性能满足设计要求，达到 VC-C 及以上控制标准；表面硬度采用硬度仪抽检，确保达到 600kg/cm² 以上的设计指标。

结论

高等级洁净室精密设备防振基座施工是集高精度安装、微振动控制、洁净环境管控于一体的综合性技术工程。本文通过对 Type-B、Type-C 两类基座的施工实践总结，形成了从测量定位、洁净转运到调平固定的标准化安装工艺，明确了全周期质量控制要点与洁净安全管控措施。该工艺在项目应用中有效保障了基座安装精度与防振性能，各项指标均满足精密制程设备的运行要求，同时实现了生产区交叉作业的零污染管控，取得了良好的工程效果。相关技术与管控经验可为同类半导体厂房、精密实验室的防振基座施工提供参考与借鉴，对提升高洁净环境下精密设备安装施工水平具有一定的工程应用价值。

参考文献

[1] 唐磊. 电子洁净厂房设计研究 [J]. 工程技术研究 2025,10(18):196-198.

[2] 唐勇，马同心。一种防微振基座 [P]. 中国：CN202520587466.X，2025-12-30.

[3] 李晨，侯代敏，王脆脆，陈玉双，覃晓敏。微振动控制技术在高端半导体厂房中的应用 [J]. 建筑机械化,2025,2:39-43.