

防微振基座设计与安装要点

刘 壮

中国电子系统工程第二建设有限公司 江苏 无锡 214135

摘 要：防微振基座是隔离外界环境振动、保障精密设备正常运行的关键基础构造，其设计与安装质量直接影响设备的加工精度、检测结果及运行稳定性。本文针对防微振基座工程实践中的核心技术环节，系统梳理了设计阶段的前期振动勘测、核心参数匹配、结构选型与优化及接口协同等要点，以及安装阶段的定位标记、现场会勘、高架地板拆除、基座搬运安装、调平固定及性能测试等关键管控措施，并提出了全流程质量校验与常见问题防控机制，旨在为精密设备防微振基座的设计与施工提供系统性的技术参考。

关键词：防微振基座；精密设备；安装调平；施工工艺；微振测试

引言：随着半导体制造、精密检测、生物医药及高端科研等领域的快速发展，大量精密设备对环境微振动极为敏感，振动超标会直接影响产品良率、检测精度和实验数据的可靠性。防微振基座是专门用于隔离环境振动传播、为精密设备提供稳定工作平台的关键基础结构。目前平板显示及半导体厂房主要工艺设备均有防微振基座需求，其安装涉及定位标记、现场勘测、高架地板拆除、基座吊运、调平固定及性能测试等多道工序，施工精度要求高、交叉作业多，任一环节控制不到位均可能导致隔振效果失效。基于工程设计与施工实践，系统梳理防微振基座在设计阶段和现场安装阶段的核心技术要点，为同类工程提供参考。

1 防微振基座的核心功能与适用场景

1.1 防微振基座的核心作用

防微振基座的核心功能是隔离外部环境振动向精密设备的传递，为设备创造满足其运行精度要求的振动环境。其工作原理是通过基座质量与隔振系统的协同作用，使基座体系的固有频率远低于外界振动频率，从而实现振动衰减。具体而言，当外界振动频率与基座固有频率之比大于2时，基座开始发挥隔振效应，频率比越大隔振效果越显著。另外，防微振基座还兼具稳定支撑、均匀分布设备荷载、抵抗温度变形等功能，确保设备在工作过程中不发生位移或倾斜。

1.2 典型适用场景

防微振基座主要应用于对振动环境要求严格的场所。半导体制造领域，光刻机、刻蚀机、离子注入机等核心工艺设备对振动极为敏感，振动超标将直接导致晶圆图案偏移、线宽误差和良率损失。精密检测与计量领

域，三坐标测量机、扫描电子显微镜、原子力显微镜等检测设备的测量精度受振动影响显著，微小的环境振动即可引入测量误差。科研实验领域，冷冻电镜、同步辐射装置、激光干涉仪等大型实验设备同样需要稳定的振动环境。此外，精密加工中心、医疗器械制造等领域也有广泛应用^[1]。

2 防微振基座设计阶段的核心要点

2.1 前期振动环境勘测

设计启动前，必须对拟建场地进行全面的振动环境勘测。勘测内容包括场地周边振源调查（交通干线、地铁、铁路、周边工厂设备等）和场地环境振动实测，获取场地在时域和频域内的振动加速度、速度及位移数据。对于新建厂房，还需评估建筑结构传递至基座安装位置的振动响应。勘测结果应与设备容许振动标准进行对比，明确设计目标值。勘测数据的准确性和完整性直接决定后续设计参数的合理性和隔振方案的可行性。

2.2 核心参数匹配设计

防微振基座设计的核心在于三大参数的系统匹配：基座质量、隔振器刚度和体系阻尼比。基座质量越大，隔振效果越好，但需兼顾结构承载和经济效益，通常通过试算确定最优质量范围。隔振器刚度决定体系固有频率，需根据目标隔振频率反算刚度值。阻尼比影响共振区的放大效应，需控制在合理范围内以确保隔振效率。设备厂商提供的动态荷载、重心位置、安装尺寸等参数是设计的基础输入条件，设计人员须逐一核实确认^[2]。

2.3 结构与隔振方案选型

基座结构形式分为钢筋混凝土整体浇筑式、型钢混凝土组合式和预制式三种，需根据荷载大小、施工周

期和精度要求选择。钢筋混凝土整体式刚度大、整体性好,适用于大型精密设备;型钢混凝土组合式施工速度快、精度可控;预制式适用于改造项目或工期紧张的情况。隔振方式分为被动隔振和主动隔振,被动隔振依靠质量和弹簧系统实现,成本较低且可靠性高,适用于常规振动环境;主动隔振通过传感器、控制器和执行器实时抵消振动,隔振效果更优,适用于振动要求极为严苛的场景。隔振元件包括螺旋弹簧隔振器、橡胶隔振垫和气浮隔振装置,需综合隔振效率、使用寿命和环境适应性比选。

2.4 基座本体结构优化

基座本体设计需重点关注刚度、抗裂性和预埋精度。基座厚度应满足刚度要求,避免设备运行时产生局部变形或共振,高度与平面尺寸的比值需控制在合理区间。大体积混凝土基座须通过配合比优化和温控措施减少温度裂缝,配置足够的温度筋和构造筋。预埋件和预留孔洞的定位精度需在设计图中明确标注,允许偏差通常要求控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,所有预埋件须进行防松和防腐处理,确保长期使用中的位置稳定性。

2.5 配套接口协同设计

防微振基座并非孤立构件,需与设备、建筑结构及附属设施进行接口协同设计。设备接口方面,基座顶面的安装界面尺寸、螺栓孔位、水平度要求须与设备底座完全匹配。管线接口须采用柔性连接,避免刚性管线搭接破坏隔振效果。附属设施接口方面,设备冷却水管、电缆桥架、压缩空气管等均须通过柔性连接或独立支撑方式与基座隔离。

3 防微振基座安装施工工艺

3.1 施工准备

防微振基座施工前须完成材料、工具与现场条件的全面准备。主材根据微振等级分为三类:VCA等级采用钢结构基座,由钢板、立柱及横梁按设计要求加工制作;VCB等级可采用钢结构或混凝土基座;VCC及以上等级采用混凝土基座,含钢筋、混凝土及预埋钢板。辅材包括厚度 $1\sim 10\text{mm}$ 的垫铁(用于基座调平)、厚度 6mm 的压板(用于调平后固定)、洁净室专用AB胶及M12及以上膨胀螺栓。施工工具主要包括承载 10 吨或 5 吨的龙门架、水准仪、电锤及手电钻,所有测量工具须在校准有效期内使用。施工前须选择专业安装人员进行技术及安全交底,完成现场会勘并由使用方签字确认基座定位线,安装图纸及方案应送审业主及监理通过,现场高架地板已拆除、环氧破损处已修补、华夫孔盖板已铺设^[3]。

3.2 工艺流程

防微振基座安装按以下工艺流程组织实施:高架地板及立柱拆除(拆除后环氧修复)→现场会勘(检查管线干涉情况)→基座定位线标记(设备厂商提供MARK点)→基座搬运与安装(吊运至华夫板)→基座定位与调平(平整度 $\leq 2\text{mm}$)→基座固定(压板固定并注AB胶)→检查验收→微振测试。各工序须顺序执行,不得随意跳转或颠倒,每道工序完成经验收合格后方可进入下道工序。

3.3 定位线标记与会勘

设备厂商需在地板上标记出基座安装位置,一般提供基座边框线及中心线。定位线标记后,与使用方、设备厂商现场共同签字确认,并在图纸上标记定位线位置,形成会勘记录表。定位精度偏差不应超过 5mm 。现场会勘应重点检查基座安装位置下方是否有干涉管线,对于运行区施工,高架地板下方可能存在线管、特气管等干涉物,须提前识别并制定避让或迁移方案,避免安装过程中发生碰撞或损坏。

3.4 高架地板拆除与基座搬运安装

基座安装前须将安装区域的高架地板及立柱拆除,立柱拆除后对环氧破损处进行修复。基座通过液压车及坦克轮搬运至安装位置,搬运动线应铺设钢板或PP板以保护地面,避免损伤环氧层。通过龙门架将基座吊运至华夫板上,吊运过程中须确保基座平稳,严禁碰撞周边结构。基座搬运及吊运应设专人指挥,吊运区域下方严禁站人。基座吊装就位后,应按照定位线初步确定安装位置,确保定位精度小于 5mm 。基座搬运及安装过程应在基座表面覆盖保护膜,避免碰撞发生变形或面漆划伤。

3.5 基座调平与固定

基座调平是防微振基座施工中精度要求最高的工序,直接影响隔振效果能否达标。定位完成后,使用水准仪对基座顶面进行整体测量,在基座立柱底部位置增加垫铁进行调平,垫铁厚度根据现场实测高差选择,逐点调整直至基座整体平整度小于 2mm ,与周围地板高差小于 5mm 。调平过程中应多点监测、反复校核,调整一个点位时须观察相邻测点变化,避免单点调整破坏整体平衡。调平完成后进行基座固定。钢结构基座(VCA~VCB等级)在基座调平后安装压板,压板采用膨胀螺栓固定于地面,固定间距一般为 2m ;在垫铁位置塞满AB胶,填充面积为 $150\times 150\text{mm}$,以加大与地面固定强度且增大基座受力面积。混凝土基座(VCC及以上等级)与地面接触位置均须塞满AB胶固定,保证基座与地面粘结

牢固。AB 胶须选用洁净室专用产品，使用时应控制挥发量满足洁净室要求。

3.6 检查验收与微振测试

基座安装完成后须进行逐项检查验收。检查内容包括：基座定位检查，精度小于 5mm；基座平整度检查，整体平整度小于 2mm；基座预留洞口检查，位置及大小误差小于 10mm；基座预埋地脚螺栓孔检查，位置精度小于 1mm；基座四周边线与地板间距检查，间距控制在 10~15mm 范围内。微振测试是防微振基座工程验收的最终判定依据。测试分为厂房结构防微振测试及基座本体防微振测试两个层面：厂房结构测试主要针对内外振源影响，评估工艺区微振动环境，作为隔振设计的验证参考；基座本体测试通过专用测试仪器，将传感器放置于测试基座表面，每点测试时间约 15 分钟，读取 X、Y、Z 三向数据，主要控制参数为位移、速度、加速度。测试结果须满足设计微振等级要求（一般为 VCA~VCD），经数据分析评判合格后方可交付使用。

4 质量控制标准

4.1 主控项目

主控项目涉及结构安全和使用功能，须 100% 合格。防微振基座尺寸与规格检验：检查主材规格（钢梁及钢柱型号、钢板厚度、混凝土强度、钢筋规格等），核验基座长度、宽度及高度是否符合设计要求。基座加工质量检验：钢结构须在焊接前除锈和校直处理，检查焊接质量，控制焊接变形并进行有效校直、校平；混凝土基座应一次浇注完成，不留施工缝，振捣密实，表面一次抹平；表面环氧质量控制，施工前测试含水率是否达标，厚度满足设计要求，表面光滑无杂质。基座平整度检查：采用水准仪取点检查，基座整体平整度小于 2mm，与周围地板高差小于 5mm。

4.2 一般项目

一般项目为次要功能要求，可按规范允许一定偏差。基座表面预留洞口检查：按图纸尺寸测量位置及大小，整体误差小于 10mm。基座表面预埋设备地脚螺栓检查：按图纸测量螺栓位置及大小，整体误差小于 2mm。基座四周边线与地板间距检查：测量基座与地板间距，整体控制在 10~15mm 范围内。

5 成品保护与常见问题防控

5.1 成品保护措施

防微振基座搬运过程应覆盖保护膜，避免碰撞发生变形。安装过程应避免面漆划伤，硬物接触面需包裹缓冲海绵。安装完成后，表面铺设 PVC 保护膜，避免表面环氧划伤。基座上方有重物或尖锐物体接触时，需铺设

钢板或硬质 PP 板。

5.2 安全环保措施

基座安装时华夫孔区域要铺设盖板，避免物体坠落，安装人员要佩戴劳保用品及防坠杆。龙门架吊运区域下方及周围禁止有人员进入。基座固定完成前人员及机械禁止进入上方区域，施工作业中做好安全警示。涉及打孔施工要全程配套吸尘器使用；涉及 AB 胶使用，要控制挥发量满足洁净室要求。对所有施工机具进行安全审查，挂牌作业，专业机具张贴安全操作规程，杜绝不正当操作^[4]。

5.3 常见问题与防控

基座沉降防控：基座调平前垫片数量不足或 AB 胶未凝固前基座已受力是沉降主因。调平前相应辅材工具应准备充分，基座下方按要求填实，AB 胶有足够凝固时间（一般不少于 24h）方可承受荷载。基座与高架地板高低差较大防控：现场楼板高差较大或标高测量点位不够是主因，应在基座制作前做好现场基座位置楼板标高的详细测量工作，保证基座加工厚度与附近高架地板标高匹配。基座表面环氧养护效果差防控：基座养护不到位、含水率未达标即涂刷环氧是主因，应在基座养护、含水率测试合格后，再进行下一道工序环氧涂刷。

结束语

防微振基座是精密设备稳定运行的重要保障，其设计需以前期振动勘测为基础、以三大核心参数匹配为主线、以结构优化和接口协同为支撑，构建完整的方案设计体系；现场安装则需以施工准备为前提、以定位调平和固定为核心、以测试验收为收口，形成全过程的施工质量管控闭环。唯有将理论与实践紧密结合，严格把控每一道工序，方能建造出满足精密设备振动环境要求的优质防微振基座，为高端制造业和科研事业的健康发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 超精密工程防微振基础施工模态精细化控制技术[J]. 中国科技成果, 2023, 24(7):61-62.
- [2] 程辉, 梁珂, 李伟, 等. 车载精密设备三维隔振系统设计、仿真及试验研究[J]. 中国工程机械学报, 2025, 23(2):309-314.
- [3] 梁新奇, 兰日清, 韩蓬勃, 等. 新型钢弹簧浮筑板隔振基台设计与应用[J]. 地震工程与工程振动, 2025, 45(1):113-120.
- [4] 赵哲, 杨来侠, 吴玲玲, 等. 一种基于机器学习的零刚度隔振超材料设计及性能验证[J]. 复合材料学报, 2024, 41(5):2599-2608.