

水利机电安装中预埋件定位精度对设备运行稳定性的影响分析

姜洪福

德惠市农村水利管理中心站 吉林 德惠 130300

摘要：水利机电安装过程中，预埋件的定位精度直接关系到后续设备运行的稳定性。预埋件作为设备与土建结构的连接点，其精确安装至关重要。本文深入分析了预埋件定位精度的技术标准与实际施工中的现状，探讨了定位偏差对设备安装及运行的具体影响，如振动增加、寿命缩短等，并据此提出了优化施工流程、建立偏差评估体系及加强质量管理的策略，以期提高水利机电安装中预埋件的定位精度，确保设备长期稳定运行。

关键词：水利机电安装；预埋件定位精度；设备运行稳定性；影响

引言：水利机电安装是水利水电工程的关键环节，其中预埋件的精准定位对于确保设备运行稳定性至关重要。预埋件作为设备与土建结构的连接枢纽，其定位精度不仅影响设备安装过程的顺利进行，还直接关系到设备在后期运行中的振动、噪音及寿命等性能表现。因此，深入分析预埋件定位精度对设备运行稳定性的影响，探索提高定位精度的有效措施，对于提升水利机电安装工程的质量具有重要意义。

1 水利机电安装概述

1.1 水利水电工程的基本组成与功能

(1) 土建工程与机电安装的关系。土建工程是水利水电工程的基础框架，包括坝体、厂房、渠道等结构施工，为机电设备提供安装空间和承载基础；机电安装则是赋予工程功能的核心环节，依赖土建工程的精准施工实现设备定位与固定。两者相互依存，土建施工的尺寸精度、高程控制直接影响机电安装的质量，而机电安装的技术要求也会反向指导土建阶段的预埋件布置与预留孔洞设计，共同保障工程整体效能。(2) 机电安装的主要内容及特点。主要内容涵盖水轮发电机组、水泵、闸门启闭机、输变电设备、自动化控制系统等的安装调试，涉及机械、电气、液压等多专业协同。其特点表现为技术综合性强，需融合多学科知识；精度要求高，设备轴线、间隙等偏差需控制在毫米级；与工程进度关联性大，需配合土建施工节点穿插进行；运行安全性突出，安装质量直接关系防洪、发电等核心功能的稳定发挥。

1.2 预埋件在机电安装中的作用

(1) 预埋件的定义与分类。预埋件是土建施工阶段预先埋入混凝土结构中的金属构件，包括钢板、螺栓、锚筋、套管等。按功能可分为承重预埋件（如设备地脚

螺栓）、连接预埋件（如管道支架连接件）、止水预埋件（如伸缩缝止水钢板），按材质则可分为碳素钢、不锈钢等类型。(2) 预埋件对机电设备安装与运行的影响。预埋件是机电设备与土建结构连接的“桥梁”，其位置偏差、强度不足会导致设备安装错位、受力不均，引发振动、磨损等问题；精准的预埋件布置可简化安装流程，提高设备定位效率。在运行阶段，预埋件的耐久性直接影响设备固定可靠性，若发生锈蚀、松动，可能导致重大安全隐患，因此预埋件的质量控制是机电安装的关键环节^[1]。

2 水利机电安装中预埋件定位精度的要求与现状分析

2.1 预埋件定位精度的技术标准

(1) 国内外相关规范与标准。国内方面，《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL176)明确规定预埋件安装的允许偏差，《水利工程施工规范》对大型设备基础预埋件的定位精度提出专项要求；电力行业标准《电力建设工程质量验收及评价规程》则针对水电站机电预埋件制定了更细化的检验标准。国际上，美国ASCE规范强调预埋件与混凝土结构的协同精度，欧洲EN13369标准对预埋件的平面位置、高程偏差设定了分级控制指标，且对动态荷载下的预埋件定位稳定性有额外要求。

(2) 定位精度的具体要求。平面位置偏差通常要求控制在±5mm内，大型机组地脚螺栓等关键预埋件需严于±3mm；标高偏差允许范围为±3mm至±10mm，其中与设备连接的承重预埋件标高偏差不得超过±5mm；角度偏差需≤1°，对于闸门轨道等线性预埋件，累积角度偏差每10m不得超过5mm。此外，预埋件的平面扭转偏差、相邻预埋件间距偏差也有严格限制，如间距偏差一般要求≤10mm，高精度连接件间距偏差需≤2mm。

2.2 预埋件定位精度的现状分析

(1) 实际施工中预埋件定位偏差的普遍性。调查显示,约70%的水利工程预埋件存在不同程度的定位偏差,其中30%的偏差超出规范允许范围。中小型工程中,非关键部位预埋件偏差率可达50%以上;大型水电站核心区域预埋件虽控制更严格,但仍有15%左右存在细微偏差,需通过后期调整弥补。偏差集中表现为标高超差、平面偏移及角度倾斜,其中标高偏差占比最高,约占总偏差案例的40%。(2) 定位偏差的主要原因。测量误差是首要原因,包括仪器精度不足(如全站仪未定期校准)、测量方法不当(如多次转站累积误差);模板位移占比约25%,多因模板支撑刚度不足,在混凝土侧压力作用下产生变形或位移;混凝土浇筑冲击影响显著,振捣过程中强烈振动易导致预埋件松动移位,尤其在浇筑高度超过2m时,冲击荷载可使预埋件平面偏差增加3-5mm;此外,施工人员操作不规范(如未固定预埋件)、环境因素(如高温导致模板热胀)也会加剧定位偏差。

3 水利机电安装中预埋件定位精度对设备运行稳定性的影响

3.1 定位偏差对设备安装的影响

(1) 平面位置偏差导致设备安装困难或无法安装。平面位置偏差超过允许范围时,会直接造成设备与预埋件的连接孔位错位。例如,水轮发电机组的地脚螺栓若偏移5mm以上,可能导致螺栓无法穿入设备底座预留孔,被迫现场扩孔或切割螺栓,不仅延长安装工期,还会破坏设备结构完整性。对于闸门启闭机等线性设备,轨道预埋件的平面累积偏差若超过10mm,会使闸门运行时出现卡阻,严重时需重新调整轨道位置,增加返工成本。(2) 标高偏差影响设备基础对接精度。标高偏差会破坏设备与基础的高程匹配关系。当预埋件标高高于设计值3mm以上,设备安装时可能出现底座悬空,需通过垫铁调整,但过多垫铁会降低连接刚度;若标高低于设计值,可能导致设备与基础间隙过大,灌浆层厚度超标,影响荷载传递效率。在水泵机组安装中,标高偏差超过5mm会破坏叶轮与泵壳的间隙平衡,为后续运行埋下振动隐患^[2]。(3) 角度偏差导致构件受力状态异常。角度偏差会使设备受力轴线与设计轴线偏离,引发附加应力。例如,压力钢管支座预埋件若存在1°以上的角度偏差,会导致钢管在安装后产生弯曲应力,运行时在水压作用下可能出现焊缝开裂;启闭机预埋件的角度倾斜会使钢丝绳与滑轮槽产生偏磨,加剧构件磨损速率。角度偏差还会导致设备组装时出现强制对位,使螺栓、法兰等连接件承受额外扭矩。

3.2 定位偏差对设备运行稳定性的影响

(1) 设备运行过程中的振动与噪音增加。定位偏差引发的设备安装失衡,会在运行时产生周期性振动。水轮发电机组若因预埋件平面偏差导致轴线不对中,运行时径向振动幅值可增加2-3倍,振动频率接近设备共振频率时,可能引发厂房结构共振。同时,偏差导致的构件摩擦、撞击会使噪音显著增大,如闸门轨道预埋件偏差会使闸门运行噪音从60分贝升至85分贝以上,影响周边环境及设备监测精度。(2) 设备寿命缩短与故障率上升。定位偏差造成的不均匀受力会加速设备老化。例如,预埋件标高偏差导致的电机底座倾斜,会使轴承游隙分布不均,使用寿命缩短30%-50%;螺栓预埋件的角度偏差会使部分螺栓承受过大预紧力,易发生疲劳断裂,增加设备停机检修频率。统计数据显示,存在严重预埋件偏差的机电设备,其年均故障率是正常设备的2.5倍以上,且故障修复难度显著提高。(3) 对水利工程整体运行效率与安全性的影响。设备运行异常会直接降低工程效益,如水泵因预埋件偏差导致效率下降5%-10%,年发电量损失可达数百万度;闸门启闭机卡阻可能导致防洪调度延误,威胁坝体安全。在高水头水电站中,压力管道预埋件偏差引发的振动可能传导至坝体,长期作用下会影响混凝土结构强度;而发电机组的不稳定运行可能导致电网波动,甚至引发区域性停电事故,对水利工程的综合功能造成系统性影响^[3]。

4 提高水利机电安装中预埋件定位精度的策略与方法

4.1 优化施工流程与技术措施

(1) 提高测量与定位技术的精度。采用高精度测量设备组合,如0.5秒级全站仪与静态GPS配合,建立三级测量控制网,对关键预埋件实行“测量-复核-再校准”的三级校验流程。引入BIM技术构建预埋件数字化模型,提前模拟安装过程,通过碰撞检测预判定位冲突。对直径大于1米的圆形预埋件,采用激光投线仪辅助定位,确保圆心偏差≤2mm;线性预埋件则利用拉线法结合百分表控制直线度,每5米偏差不超过3mm。(2) 加强模板的稳固与位移监控。针对预埋件特点设计专用固定支架,如大型钢板采用“型钢骨架+对拉螺栓”固定,支架刚度需能承受1.2倍混凝土侧压力。在模板关键部位安装位移传感器,实时监测浇筑过程中的变形数据,当位移超过5mm时自动报警并启动加固预案。对高边坡、深竖井中的预埋件,增设斜向支撑与限位装置,控制模板侧向位移≤L/600(L为支撑跨度)。(3) 改善混凝土浇筑工艺以减少冲击。采用分层分区分段浇筑法,预埋件周边30cm范围内采用人工布料,避免混凝土直接冲击。振

捣时使用φ30mm小直径振捣棒，振捣点距预埋件边缘 $\geq 100\text{mm}$ ，振捣时间控制在20-30秒/点。浇筑高度超过2m时设置缓冲溜槽，降低混凝土下落速度，同时安排专人在浇筑过程中每30分钟复核一次预埋件位置，发现偏移立即调整。

4.2 建立完善的偏差评估与修正体系

(1) 三维坐标校正法的应用。通过全站仪采集预埋件实际三维坐标，运用专业软件生成偏差分析报告，精准计算平面、标高及角度偏差值。对偏差5-10mm的预埋件，采用千斤顶配合百分表进行微量调整，每次调整量 $\leq 1\text{mm}$ ；偏差超过10mm时，结合结构受力计算制定校正方案，如钢结构预埋件可采用火焰矫正，确保校正后残余偏差 $\leq 3\text{mm}$ 。校正完成后需进行二次扫描验证，形成闭环控制。(2) 可调式补救装置的设计与使用。研发模块化可调连接件，如带长圆孔的过渡钢板可实现 $\pm 15\text{mm}$ 水平调整，楔形垫片组能补偿 $\pm 10\text{mm}$ 标高偏差。对闸门轨道等线性构件，设计可伸缩式连接节点，通过螺栓调节轨道直线度，累积偏差控制在每10m $\leq 5\text{mm}$ 。可调装置材质需与预埋件匹配，其承载力经试验验证不低于原设计值的1.1倍^[4]。(3) 后置锚固技术的实施条件与效果评估。当预埋件偏差超标且无法校正时，采用化学锚栓或膨胀螺栓进行后置锚固，锚栓埋深需满足混凝土保护层要求，且抗拉承载力 \geq 原设计值。施工前进行现场拉拔试验，每批次抽检3%且不少于3根；验收时采用超声波检测锚固质量，合格率需达100%。实践表明，规范应用后置锚固技术可使设备运行稳定性恢复至设计标准的90%以上。

4.3 加强管理与质量控制

(1) 统一的质量标准与管理制度的建立。制定《水利机电预埋件施工质量控制手册》，明确从材料进场到最终验收的全流程标准，对预埋件的加工精度、安装偏差、焊接质量等指标实行量化管控。建立“三检制”（自检、互检、专检）与质量追溯体系，每个预埋件均标注施工班组、测量人员及验收时间，实现问题可追溯。

推行质量奖惩制度，将预埋件定位精度与施工单位绩效考核挂钩，对偏差超标项实行“一票否决”。(2) 加强施工人员的培训与责任心培养。开展专项技能培训，重点讲解测量仪器操作、BIM模型应用及偏差校正方法，考核合格后方可上岗。定期组织案例分析会，通过展示预埋件偏差引发的工程事故案例，强化施工人员的质量意识。实行“责任到人”制度，每个预埋件安装环节明确专人负责，签订质量责任书，对关键工序实施“实名制”验收，确保责任可落实到个人。(3) 强化过程控制与验收环节的质量把关。在施工方案中明确预埋件定位的关键控制点，如测量放线、支架固定、混凝土浇筑等环节设置停检点，未经监理验收不得进入下道工序。验收时采用“量测+试验”结合方式，除常规尺寸检查外，对重要预埋件进行荷载试验，模拟设备运行工况验证其稳定性。引入第三方检测机构进行平行检验，抽检比例不低于20%，发现不合格项立即整改并加倍复检，确保预埋件定位精度满足设计要求。

结束语

综上所述，水利机电安装中预埋件定位精度对设备运行稳定性具有深远影响。通过优化施工流程、强化测量与定位技术、建立完善的偏差评估与修正体系，以及加强管理与质量控制，可以有效提升预埋件的定位精度，进而保障水利机电设备的稳定运行。未来，随着技术的进步和管理的精细化，预埋件定位精度的控制将更加科学高效，为水利工程的安全高效运行提供坚实保障。

参考文献

- [1] 殷建全,焦石,龙和杰.高精度预埋件定位方法研究[J].建筑技术科学,2023,(08):83-84.
- [2] 司小龙,王业强.高精度预埋件位移控制技术[J].文化科学,2021,(11):108-109.
- [3] 董效领,李军,杨文华,高凤芸.超大型高精度预埋件安装施工技术[J].建筑理论,2021,(07):70-71.
- [4] 张广宏.高精度预埋件安装定位方法研究[J].建筑理论,2023,(12):125-126.