

水利工程坝体预埋管件安装质量控制策略

李俊阳

河南轩尚人力资源服务有限公司 河南 郑州 200030

【摘要】：坝体预埋管件作为水利工程中连接主体结构与运行设备的关键构件，其安装质量直接影响工程的整体安全性与耐久性。本文系统梳理了水利工程坝体预埋管件的类型体系与功能定位，从材料控制、测量定位、焊接与固定、混凝土浇筑协同、防腐与密封处理五个维度，构建了全流程质量控制框架。在此基础上，提出以“三检制”为核心的制度保障体系与基于“三阶段”的过程控制机制，并结合水工金属结构安装标准的技术演进趋势，探讨了 BIM 技术与无损检测等新型手段在质量控制中的应用前景。研究表明，建立“预防—监测—纠偏”三位一体质量控制体系，是实现坝体预埋管件高质量安装的有效路径。

【关键词】：水利工程；坝体；预埋管件；安装质量；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.055

1 引言

水利工程坝体作为蓄水挡水的主体建筑物，其内部埋设有大量功能各异的金属管件与构件。这些预埋管件是排水系统、安全监测系统、金属结构锚固系统及接缝灌浆管路系统的重要组成部分，承担着导流排水、应力传递、结构连接等关键功能。根据《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——水工金属结构安装工程》（SL 635-2012）的定义，埋件是指“水工金属结构安装、固定或运行所必须的，预先埋设（或半埋设）于混凝土结构中，并与混凝土有固定连接的金属结构件”。

预埋管件的安装具有一次性、隐蔽性和不可逆性的显著特征。管件一经埋入混凝土即被封固，其位置偏差、焊接缺陷或防腐不足等问题难以在运行阶段进行补救，任何质量缺陷均可能导致渗漏通道形成、结构受力异常乃至整体功能失效。以大坝坝体排水管为例，若安装过程中发生管身弯折或接头密封不严，将直接削弱坝体排水效能，进而引发渗透压力升高，危及结构安全。

长期以来，水利工程领域对坝体填筑、碾压及混凝土浇筑等主体工序的质量控制研究较为充分，而针对预埋管件安装这一“隐蔽工程中的隐蔽环节”，质量控制策略的系统性研究尚有不足。近年来，随着水利工程标准化建设深入推进，《水利水电工程金属结构通用规范》等基础性技术法规相继制定，预埋件安装质量控制的技术依据日趋完善。与此同时，水利部批准发布的 SL/T 631.5-2025《水利水电工程单元工程施工质量验收标准第5部分：水工金属结构安装工程》已于2026年2月5日正式实施，标志着该领域技术标准的系统升级。

本文在已有研究与技术标准基础上，系统解析坝体预埋管件安装质量的影响因素，构建覆盖施工全过程的质量控制策略框架，以期对水利工程现场施工质量管理提供可操作的参考路径。

2 坝体预埋管件的类型体系与功能定位

2.1 土建预埋管件

土建预埋管件主要包括坝体排水管、冷却水管、接缝灌浆管路及各类止水构件。坝体排水管多采用竖向钢管或塑料盲沟管，沿坝体横缝或纵缝布设，旨在降低坝体内部渗透水压力。冷却水管通常采用高密度聚乙烯（HDPE）管材，在大体积混凝土浇筑期间通过通水冷却的方式控制水化热温升，防止温度裂缝的产生。接缝灌浆管路则预埋于施工缝两侧坝体内，用于后期对坝体接缝进行压力灌浆，确保坝体结构的整体性。

止水构件是坝体防渗体系中的关键环节。铜止水带、波形橡胶止水带和塑性填料等构件共同构成多层复合止水结构，用以阻断坝体接缝处的渗流通道。研究表明，利用铜止水技术对面板堆石坝混凝土面板接缝进行止水施工，通过止水结构、止水盖板 and 止水带的合理布设，可有效提高坝体的抗渗性能。

2.2 金属结构埋件

金属结构埋件主要包括闸门槽埋件、拦污栅槽埋件、启闭机基础埋件及压力钢管支承环等。这些埋件为后续设备的安装提供定位基准和受力承载基础，是金属结构安装的“根基工程”。根据功能和使用条件的不同，埋件可分为一期埋件和二期埋件。一期埋件与坝体混凝土同时浇筑成型，二期埋件则在二期混凝土中预留槽位，待埋件安装就位后浇筑二期混凝土固定。闸门槽埋件在安装时，需以闸门中心线为基准依次完成底槛、主轨和侧轨的找正与固定，其安装精度直接影响闸门的启闭顺畅度和止水效果。

2.3 监测与电气预埋管件

大坝安全监测系统所需的各类传感元件、测压管、测斜管及电缆保护管等，同样属于预埋管件的范畴。这些管件埋设位

置分散、种类繁多、精度要求高,且须与坝体施工同步推进,对现场组织协调提出了较高要求。根据《水利水电工程安全检测设计规范》(SL 725-2016)的要求,监测预埋件的完好率和存活率是评价监测系统有效性的重要指标。

3 全流程质量控制策略

3.1 材料控制与进场验收

材料的质量控制贯穿预埋管件安装的始终。管件进场前,须对其品种、规格、材质证明文件进行全面核查,确认其符合设计图纸及对应技术标准的要求。以预埋防水套管为例,钢套管及翼环须采用 A3 材料制作,使用 T42 焊条焊接,加工完成后在其外壁刷底漆一遍进行防腐处理。预埋件进场后的常规检测项目包括外观检查、尺寸测量、材质验证及力学性能测试,对于包含焊接部分的预埋件还须检测焊接的完整性和强度。预埋件焊接质量检验标准明确要求,对进场预埋地脚螺栓须进行文件核查、外观与尺寸检查、材质验证及实验室检测,确保数据准确。水工金属结构焊缝无损检测应按照设定比例执行,例如对于板厚小于 38mm 的碳素结构钢,一类焊缝的超声检测长度为 50%,射线检测长度为 15%且不小于 300mm。

3.2 测量定位与精度控制

测量定位是确保预埋管件安装位置准确性的前提。安装轴线点及高程基点由高等级控制点测设,相对邻近控制点的平面和高程点位限差为 $\pm 10\text{mm}$,并埋设稳定测量标志,确保整个施工过程中不变动。安装轴线点间相对点位限差不超过 $\pm 2\text{mm}$,高程基点间限差同样不超过 $\pm 2\text{mm}$ 。独立安装单元以安装轴线和高程基点为基准组成局部控制系统,采用高精度光学经纬仪和钢带尺进行放样,每次放样后须检核点间尺寸并与前次数据进行比对。

预埋管件的定位放线是关键的第一步,须严格按照设计图纸进行,误差控制在允许范围内,安装完毕后须复核以确保位置准确无误。在水电站金属结构安装实践中,埋件安装前须设置测量控制基准点,在支铰两侧边墙上焊好测量架,将控制支铰基础埋件高程和中心的基准点固定在测量架上。预埋件中心线位置允许偏差为 5mm,标高允许偏差为 $\pm 3\text{mm}$ 。对于重要部位的预埋件,建议采用全站仪等精密仪器进行定位复核。

3.3 焊接与固定质量控制

预埋管件的焊接质量直接影响其结构承载力和密封性。焊接工艺评定是保证焊接质量的基本前提。施焊单位应根据产品图样和技术文件规定,结合本单位焊接工艺条件编制焊接工艺评定任务书,经审批后实施。一、二类焊缝的定位焊须由持有效合格证书的焊工施焊,定位焊缝厚度不应超过正式焊缝厚度

的 1/2,宜为 4~6mm,长度为 30~60mm,间距不大于 400mm。

预埋件的固定通常采用焊接或螺栓连接方式。预埋管件的固定方式应根据管件的尺寸和位置选择。对于预埋套管,钢套管须与止水翼环周边满焊,焊缝应饱满、平整、光滑,无夹渣、无气泡、无裂纹等现象,并及时清除焊渣。施工中可采用锚筋或点焊角钢进行加固处理,特大预埋件需钻孔排气孔。混凝土浇筑过程中振动棒不得直接触碰预埋件,以防止管件移位或变形。在水机埋件安装时,一期埋件的埋设与相应混凝土工程同步施工,安装过程中须保证结构的稳定性和不产生永久性变形。二期埋件就位调整完毕,与一期混凝土中的预留插筋或锚栓焊牢,加固材料不应直接焊在主要构件的工作面上。

3.4 混凝土浇筑协同控制

混凝土浇筑是预埋管件安装中易出现质量问题的关键环节。混凝土浇筑前须检查预埋件的定位和固定状态,预埋件安装完毕且经监理工程师签发隐蔽工程签证后方可进行混凝土浇筑。振捣过程中须注意与预埋件保持安全距离。土振捣机械机头不应在与模板、预埋件及支撑距离为振捣器有效半径的 1/2 范围内振捣,不应触动埋件、止水片和与预埋件、止水片相接的钢筋等。混凝土浇筑完成后,应及时清理预埋件上的杂物,校核轴线尺寸并做好养护。对于预留二期混凝土的槽位,在埋件安装加固后应请监理工程师全面检查验收,各项控制尺寸偏差均应符合规范要求,方可进行隐蔽工程签证。大坝预埋件施工还涉及竖向排水主管管的分段埋设,须按仓位浇筑进度安排,确保管段间的连接质量。

3.5 防腐与密封处理

预埋管件的防腐和密封处理是保障工程长期安全运行的重要手段。水工金属结构表面防腐的技术要求应遵循 SL 432 和 SL 105 的规定。涂料涂装时应针对针孔、附着力等指标进行严格检验。对于涂膜厚度大于 $250\mu\text{m}$ 的构件,采用胶带粘牢划口部分沿垂直方向快速撕起的方法检验附着力,涂层应无剥落。预埋管件的密封处理包括止水翼环与钢套管之间的满焊密封、套管内填料密实捣实以及管口端部的封口保护。在止水环内外壁涂橡胶胶水确保密封效果后,使用软性物填充严密,端部用封口胶带封闭保护。对于穿墙防水套管,若遇非混凝土墙壁时应改用混凝土墙壁,浇筑范围应比翼环直径大 200mm,一次浇固于墙内。预埋件防腐涂层的耐久性直接影响工程使用寿命,现场检测中须使用针孔检测仪对安装环缝两侧进行针孔检验,每个区域布设 5 个测点,探测距离约 300mm。

4 质量控制制度与机制建设

4.1 “三检制”质量体系

“三检制”是水利工程施工质量管控的基础制度,即在施工过程中依次执行“班组自检—施工队复检—项目部终检”的三级检验程序。预埋管件安装作为隐蔽工程,各工序完成后均须进行三检,合格后方可报请监理工程师验收。在“三检制”框架下,严格执行每道工序必检制度,坚持“质量第一”的原则,执行质量“项目负责人是工程质量第一责任人,施工操作人员是直接责任人”的原则。混凝土构筑物中预埋件安装质量控制的要点包括:预埋件位置、孔洞周边钢筋加固应符合设计要求;预埋件类型、数量、定位须符合设计与规范要求,多层把关,防止遗漏。水利工程质量监督宜采用“政府监管+第三方检测”模式,通过引入专业检测机构提供独立的技术支撑。

4.2 三阶段过程控制机制

施工准备阶段。预埋件安装施工前须详细审查设计图纸,明确加工要求,确保材质、尺寸和焊接质量符合标准。应编制专项施工方案并进行技术交底,对参加施工的全体人员开展技术交底。利用BIM技术进行管线综合设计,提前发现并解决管线交叉问题,避免施工中的返工拆改。同时,应制定详细的设备供货计划和场地规划方案。

施工阶段控制。施工阶段的质量控制应坚持“以人为控制

核心,预防为主”的控制原则。预埋管件安装过程中应采用测量控制与复核相结合的方式,确保技术措施落实到位。施工过程中须注重关键工序的监控,焊接、固定、防腐等工序均须设置质量控制点,定期进行质量检查并记录存档。

验收与资料管理。验收阶段包括施工单位自检、监理单位联合验收及资料归档。每道工序完成后须形成质量检验报告递交监理单位核签,针对质量检测过程中发现的问题应及时制定应对措施。单项工程竣工后须整理完整的测量资料,对施工全过程的各项检验数据汇总归入质量档案。验收是检验设备安装完毕、交付使用前的重要环节,包括试运行前检查、试运行、静载试验和动载试验等内容。单位工程和合同工程须满足主要分部(单位)工程全部优良的要求,分部工程优良率须达到70%以上方可评定为优良等级。

4.3 标准体系与合规性管理

水利工程预埋管件安装的质量控制应严格遵循现行标准体系。SL 635-2012《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——水工金属结构安装工程》是规范该领域质量验收的基础性文件,已于2026年被SL/T 631.5-2025替代,施工与验收单位应及时对标更新。此外,《水工金属结构焊接通用技术条件》对焊缝外观质量与内部质量标准规定了具体指标。水工金属结构制作与安装还应遵守SL 400系列安全技术规程和DL/T 5372等配套标准。

参考文献:

- [1] 水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——水工金属结构安装工程:SL 635-2012[S].奔流电子音像出版(北京)有限公司,2012.
- [2] 水利部.水利水电工程单元工程施工质量验收标准第5部分:水工金属结构安装工程:SL/T 631.5-2025[S].北京:中国水利水电出版社,2025.
- [3] 刘翠.水库坝体填筑施工技术及其质量控制要点分析[J].中国水运,2024,24(18):96-98.
- [4] 彭飞.水利工程中面板堆石坝坝体填筑施工技术研究[J].珠江水运,2024,(6):105-107.
- [5] 郭建涛.铜止水技术在堆石坝混凝土面板接缝止水中的应用分析[J].四川水泥,2023,(7):117-119.
- [6] 苏灏.水工金属结构制造及安装质量控制要点研究[J].水电站机电技术,2021,44(5):45-47.