

水利水电工程输水管道安装质量控制对策研究

杨佳鑫

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

【摘要】：水利水电工程输水管道安装质量直接影响工程的安全和效益。结合长距离大口径 PVC-O 输水工程的案例，对从材料选择和验收、沟槽基础处理、管道安装过程控制、防腐、水压试验、特殊节点施工等全过程质量控制的关键点进行分析，突出闭环管理和精细化施工的重要性，提出要强化全过程协同管控来提高安装质量的整体水平，保证水利水电工程的安全稳定运行，以供参考。

【关键词】：水利水电工程；输水管道；安装质量；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.046

水利水电工程属于国家基础设施的组成部分，担负着水资源调配、防洪抗旱、发电供水的多重任务。输水管道是重要的输水建筑物，安装质量好坏直接影响工程的安全性、耐久性、运行效益，随着工程建设规模越来越大、技术条件越来越复杂，尤其是长距离、大口径、高压管道工程的大量使用，安装过程中遇到的地形地质复杂、材料运输困难、接口密封要求高、环境腐蚀性强的挑战也越来越突出。在实际的工程中由于材料缺陷、基础处理不良、安装工艺不当、防腐措施不到位等引起的质量问题屡屡发生，轻则影响供水效率，重则造成管道破裂、运行中断，造成重大经济损失和社会影响。因此，系统研究输水管道安装全过程的质量控制对策，有重大的现实意义和工程价值。

1 水利水电工程输水管道的类型与特点

水利水电工程中的输水管道是输送水流的主要建筑物，选择何种类型直接影响工程的性能、耐久性、经济性。水利水电工程中的输水管道材质多样，包括金属、塑料及复合材料等，各具特色，金属管坚固耐用，塑料管轻便耐腐，复合管则兼具两者优点。现代工程中常用的管材主要有钢管、球墨铸铁管、玻璃钢管道、PVC-O 管道和高密度聚乙烯管（HDPE）等，每种管材在结构、性能、适用条件、连接方式上都有各自的特点^[1]。具体如表 1 所示：

表 1 主要输水管道类型及其特点比较

管道类型	主要结构特点	典型适用场景
钢管	以钢板卷焊或螺旋焊接而成，材质多为 Q235、Q345 等。	高水头电站压力管道、穿越复杂地段（如河谷、软基）、工程关键节点。

球墨铸铁管	铁水经球化处理，石墨呈球状，提高了韧性和强度。	城镇供水管网、水利工程中的配水管线，对地基变形适应性要求较高的区域。
玻璃钢管	以玻璃纤维为增强材料，热固性树脂为基体缠绕而成。	腐蚀性环境（如海水、污水）、中低压输水工程，以及对水力损失要求严格的项目。
高密度聚乙烯管（HDPE）	采用高密度聚乙烯颗粒热塑成型，常为黑色。	中小口径输水、山区地形起伏段、临时或应急供水工程，以及非开挖顶管施工。
PVC-O 管	通过双向拉伸取向工艺，使 PVC 分子链有序排列，大幅提升强度和韧性。	对重量、耐腐蚀、水力性能及安装效率有较高要求的城乡供水、输配水工程。

因此，管材选择要考虑工程设计压力、输水量、地形地质条件、环境腐蚀性、施工条件、投资成本、运行维护要求等因素，经技术经济比较确定最优方案。

2 案例背景

结合我国西南地区某典型水利枢纽配套的长距离输水工程为例，进行具体分析，该工程是保证区域生产生活、生态用水安全的重要基础设施，主要任务就是用封闭式管道实现跨区域、跨地形的水资源调配。工程输水线路全长约 157km，设计流量为 7.35 万 m³/d，管道设计工作压力范围为 0.7~1.6MPa，最大地形高差超过 100m，沿途要经过丘陵、河谷、软土地质等许多复杂的地形单元。管材选用直径达到 0.8m 的 PVC-O 管，在部分高压力段和特殊穿越段用钢管连接，工程面临的主要挑战有长距离大口径管道运输与吊装组织难度大，对运输工具和

吊装设备提出更高要求。在软基、陡坡等复杂地质条件下，管道基础处理与抗滑移稳定要求极高，需采取针对性地基加固与支护措施。

现场 PVC-O 管的承插接口密封质量是保证全线水密性关键，对橡胶圈安装精度和管道对接工艺控制提出严格标准，同时工期紧迫与山区恶劣气候条件对施工质量与进度形成双重制约。在分析质量控制关键点时，该工程安装过程中暴露出接口对接偏差、局部管段基础不均匀沉降等问题，需在施工中实施精细化、标准化管理，加强过程监控与验收确保安装质量符合设计要求。

3 水利水电工程输水管道安装质量控制关键点分析

3.1 材料质量控制

材料是工程质量的根基，输水管道材料质量控制是保证工程安全寿命的第一道关口，本工程中大口径 PVC-O 管及辅助钢管的质量控制，重点从采购、生产、运输、现场管理全过程进行控制的。首先，按照设计文件和技术标准，对管材供应商资质进行严格的审查，并要求提供出厂合格证和质量检验报告。

最后，运输环节制定专项方案，用专用支架、柔性绑带固定，防止管道在长途运输中由于碰撞、滚动造成裂缝或者接口损伤。材料到达现场后立即进行联合验收，除核对数量和标识外，重点检查管体有无可见裂纹、破损，承插口工作面是否光滑完好，橡胶密封圈规格型号是否正确，有无老化缺陷，所有进场材料都应分类、规范存放，PVC-O 管用多点支撑来防止不均匀沉降造成管体变形，经过这一系列从源头到现场的闭环控制，为后面安装工序打下了良好的物质基础^[2]。

3.2 沟槽与基础施工控制

沟槽、基础是管道安装的前提，质量好坏直接影响管道的长期稳定性以及接口的密封性。在本次水利水电工程中，质量控制要点集中在三个方面：

一是沟槽开挖的精确控制，严格按照设计坡度和轴线进行，根据土层特性进行放坡或支护，保证边坡稳定，防止塌方；二是基底处理的质量保证，要彻底清除浮土、积水、软土，对承载力不足的软弱地基采用换填、压实或桩基等方式进行加固，使基底达到设计承载力和密实度要求，避免后期不均匀沉降；三是基底平整度和标高的严格控制，为管道提供均匀、可靠的支撑。施工中每一段沟槽、基础完成后均需报验，经测量、承载力检测合格后方可进入下道工序，从根本上杜绝了由于基础缺陷造成的管道位移、接口破坏的风险。

3.3 管道安装过程控制

3.3.1 吊装与布管控制

吊装和布管属于管道就位的重要工序，其主要目的就是避免管体结构受到损害，保证初步定位的准确性。本工程中为适应大口径 PVC-O 管重量大、易损的特点，采用专门设计的平衡梁和柔性吊带进行多点吊装，不得直接钩挂承插口。吊装过程有专人统一指挥，保证管道平稳起降、匀速移动，布管时，根据测量放线中心，将管道准确地放在已验收合格的基底或者管枕上，管道承口方向与水流方向一致，为后续接口对接做好准备，本工序严格检查管体外观，无新出现的磕碰损伤时，才可进入下道工序。

3.3.2 接口连接质量控制

接口连接质量决定整个管道系统密封性能的好坏，对于 PVC-O 管，严格控制承插口的清洁度，不得有泥沙、油污，橡胶密封圈要均匀涂抹专用润滑剂，正确、平整地装入插口的凹槽内，不得扭曲。对接时用专用拉紧装置使插口平稳匀速地进入承口至标记线，插入深度均匀形成可靠的初始密封，钢管段焊接为控制重点，严格执行焊接工艺评定，焊工持证上岗；焊接过程中控制层间温度与线能量，用 X 射线或者超声波对焊缝做 100% 的探伤检查，保证焊缝内部质量及表面成形满足规范要求。

3.3.3 管道线性与位置控制

精确的线性、位置是保证管道水力条件满足设计的前提，安装过程中，用全站仪、水准仪等设备对每节管道安装后中心轴线、管顶（或管底）高程及纵向坡度进行实时复测和调整。通过微调管道下方的垫层或者用专用千斤顶进行精确校正，保证管道中心线与设计轴线偏差、整体坡度都严格控制在规范允许的毫米级公差范围之内。该工作贯穿于整个安装过程，构成一个闭环控制，安装——测量——调整，保证安装精度连续不断地提高^[4]。

3.4 管道防腐与防护质量控制

电化学腐蚀是输水管道腐蚀的主要形式之一，基本原理是金属与介质及电位差之间的相互作用引发的电化学反应，介质成分、氧化还原电位以及其他环境因素均会对该过程产生影响。防腐、防护是保证输水管道工程长期耐久性、防止腐蚀造成渗漏或者结构失效的重要环节，本工程所用钢管的质量控制是内外壁全过程。内壁防腐一般在工厂内进行，用无毒环氧树脂等食品级涂料，现场主要检查涂层是否均匀、无漏点，在安装后通过内窥镜等手段抽查。外壁防腐根据土壤腐蚀性等级，采用环氧煤沥青加玻璃布多层缠绕或者三层聚乙烯（3PE）等加强级防腐结构，施工时严格控制除锈等级达到 Sa2.5 级、涂

层厚度和粘结力,用电火花检漏仪对全管进行连续性检测,对发现的针孔及时修补。

3.5 水压试验与回填控制

水压试验和回填是管道安装完成后最后的验证和保护工序,两者互相联系,一起保证管道系统长期运行的安全,水压试验是检验管道强度、密封性、安装质量的强制性试验,本工程采用分段试压法。试验前要对管段充分浸泡,牢固封堵,设置合格的后背支撑,试验时用经过校准的压力表,分级缓慢升压至设计试验压力,一般取工作压力的1.5倍,每升一级稳压检查。强度试验压力下稳压时间不少于规范要求,期间观察管体、接口、镇墩等有无可见变形、渗漏、压力表持续降压。合格之后将压力降到严密性试验压力,再观测2小时以上并计算渗水量,全过程记录详细,不合格的点必须彻底处理并重新试验,直到合格为止。

回填控制是对管道位置进行巩固,防止外部损伤,保证与周围土体共同受力的重要工序。回填严格按照两侧对称、分层夯实。在管道胸腔和管顶上方一定范围内,用筛选过的细粒土或砂土回填,不得含有冻土、砖石等硬物,每层虚铺厚度控制在20~30mm,用小型夯实机械逐层夯实到设计密实度(一般要求 $\geq 95\%$)。管顶以上部分可用符合要求的原地土,但同样要分层压实,回填时注意管道有无上浮、位移,保证回填质量既能保护管道,又不给管道施加不当荷载。

3.6 特殊节点与附属设施控制

特殊节点和附属设施是输水管道系统中的重要部分,安装

质量好坏直接影响系统的调节功能、运行安全、维护方便。本工程中镇墩、支墩是控制重点,管线转弯、变坡、阀门处及长距离直管段处必须严格按照设计尺寸和配筋进行镇墩施工,保证混凝土浇筑密实并与原状地基牢固结合,以承受管线传递的不平衡推力,防止管节滑脱或者接口拉裂,支墩为管道提供均匀稳定的中间支撑,其位置、标高及顶面平整度要准确控制^[5]。

对各种阀门如检修阀、流量调节阀、排气阀和排泥阀等在安装前都必须进行强度试验、严密性试验,安装时保证阀体中心线与管道轴线重合,法兰连接螺栓要对称、均匀紧固,不能给阀体增加额外的弯矩。排气阀应安装在管线的纵向高点,排泥阀设于管线的低点,其底部支墩与排泥通道要牢固、通畅,所有附属设施安装完毕后,应做单独和联动功能试验,保证其启闭灵活、密封可靠,动作信号正确。精细化的施工和验收,是保证整个输水系统按照设计意图安全、灵活运行的基础。

4 结语

综上所述,水利水电工程输水管道安装质量控制属于一个系统工程,以本次长距离pvc-o输水工程为研究对象,对从材料源头控制、沟槽基础精细化处理、管道安装精确对位与连接、防腐防护、水压试验验证、特殊节点加强等全过程主要控制环节进行系统的分析。管道安装质量不仅靠单个环节的合规来保证,而且还需要设计、采购、施工、验收全过程协调配合,闭环管理。核心对策就是创建全生命周期的质量管理体系,加强关键工序旁站监督和技术复核,积极使用精准测量和无损检测等现代技术手段,重视施工人员的专业化培训,为水利工程的长期安全运行提供更加有力的保障。

参考文献:

- [1] 焦鹏.长距离输水管道在水利水电工程中的应用与优化设计研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(10):60-62.
- [2] 汪魁,石一超,赵明阶,等.输水管道腐蚀机理及防腐研究进展[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2025,44(09):121-130.
- [3] 张全锋.水利水电工程输水管道安装质量控制措施研究[J].水上安全,2025,(12):1-3.
- [4] 程玉泉,李炜杰,程诗棋.长距离大口径PCCP输水管道智慧化预警和值守技术探讨[J].水利科技,2023,(02):33-37.
- [5] 沈晖,胡建永.长距离有压输水管道系统水锤研究进展[J].吉林水利,2023,(05):56-62.