

核电站主给水系统管道施工质量控制方法研究

杨亮 21130319960728043X

摘要：本文针对核电站主给水系统管道施工质量控制展开研究，分析核级管道的施工特性与关键质量影响因素，提出涵盖施工准备、材料验收、预制与焊接、安装校核、无损检测及压力试验的全流程质量控制方法，并构建质量管理、过程监督与协同管控的长效保障体系，为保障核电机组安全稳定运行提供技术与管理支撑。

关键词：核电站主给水；管道施工；质量控制；焊接与无损检测；压力试验；材料验收；质量追溯；过程监督

一、引言

核电站主给水系统是核电机组二回路的核心组成部分，其管道系统需在高温、高压工况下长期输送给水，保障蒸汽发生器的稳定供水，直接影响机组的热力循环效率与运行安全。因此，深入研究核电站主给水系统管道施工的质量控制逻辑与方法，建立全流程、多层次的管控体系，对保障核电机组安全稳定运行具有重要的理论与实践意义。

二、核电站主给水系统管道施工的核心特性与质量影响因素

（一）施工核心特性

核电站主给水系统管道施工具有显著的核级特性，主要体现在三个方面：一是安全等级高，管道作为压力边界组件，需满足核安全相关的设计标准与质量要求，施工过程需严格遵循核安全设备监督管理的相关规定；二是工况适应性要求严，管道需承受长期高温高压作用，且输送介质可能存在一定腐蚀性，对材料性能、焊接质量与密封性能提出了极高要求；三是施工复杂度高，管道系统涉及直管段、弯头、法兰、阀门等多种组件的装配，且多在狭窄空间内进行交叉作业，对施工精度与协同性要求严格。

（二）关键质量影响因素

影响主给水系统管道施工质量的因素呈现多维度特征，主要包括四个方面：一是材料质量因素，管道及配件的材料性能直接决定施工质量基础，如管材的高温强度、抗腐蚀性、焊接相容性等参数需严格符合设计标准，材料内部的夹杂、气孔等缺陷会为施工质量埋下隐患；二是工艺技术因素，焊接、管道预制、安装定位、压力试验等关键工序的工艺参数选择与执行精度，直接影响管道的连接强度、密封性能与安装精度；三是人员与设备因素，施工人员需具备核级施工资质与专业技能，焊接操作工、无损检验人员等需取得相应资格证书，施工设备的精度与可靠性也直接影响施工质量；四是环境与管理因素，施工现场的温度、湿度、洁净度控制，以及施工流程的规范化管理、质量追溯体系的完善程度，均对施工质量产生重要影响。

三、核电站主给水系统管道施工全流程质量控制方法

（一）施工准备阶段的基础质量控制

施工准备阶段的质量控制是保障后续施工顺利开展的前提，核心在于建立完善的基础管控体系。在技术准备方面，需组织专业技术人员进行施工图纸会审，明确管道安装的精度要求、焊接工艺参数、压力试验标准等关键技术指标，编制详细的施工组织设计与专项施工方案，包括管道预制方案、焊接工艺评定报告、安装流程规划等，确保施工技术方案的科学性与可行性。

在材料管控方面，需建立严格的材料进场验收制度，对管道管材、焊接材料、阀门、法兰等组件进行全面检验，核查材料的质量证明文件、规格型号与性能参数，确保材料符合设计要求与核安全标准；对进场材料进行分类存放与防护，避免因存储不当导致材料腐蚀、变形或污染。在人员与设备准备方面，筛选具备核级施工资质与丰富经验的专业团队，开展施工前技术交底与技能培训，确保施工人员熟悉施工工艺与质量要求；对焊接设备、起重设备、检测仪器等进行全面校验与维护，确保设备性能稳定、精度达标。

（二）关键施工工序的质量精准管控

关键工序的质量控制是管道施工质量保障的核心，需针对预制、焊接、安装、压力试验等核心环节建立精准管控机制。在管道预制阶段，采用工厂化预制与现场安装相结合的模式，通过数控切割、机械加工等高精度工艺保障管道下料精度与坡口质量，预制过程中严格控制管道的直线度、椭圆度等几何参数，避免因预制偏差影响后续安装质量；预制完成后进行严格的尺寸检验与表面质量检查，去除毛刺、焊渣等缺陷，确保预制件符合安装要求。

焊接工序作为质量控制的重中之重，需建立全流程管控体系。焊接前对坡口进行清洁处理，去除油污、锈蚀等杂质，严格控制焊接环境的温度与湿度；根据管材材质与厚度选择匹配的焊接方法与焊接材料，按照焊接工艺评定确定的参数进行焊接。

在管道安装阶段，采用精准定位技术保障安装精度，通过激光测距、水准仪等仪器控制管道的标高、坡度与中心位移，确保管道连接的同轴度；严格控制管道支吊架的安装质量，确保支吊架的型号、安装位置与受力状态符合设计要求，避免因支吊架安装不当导致管道应力集中。

压力试验与冲洗阶段是检验施工质量的关键环节，按照设计要求与相关标准制定压力试验方案，采用洁净水作为试验介质，严格控制试验压力与保压时间，实时监测压力变化与管道泄漏情况；试验合格后对管道系统进行彻底冲洗，去除管道内部的杂物、焊渣等，确保管道内部清洁，避免运行时造成设备堵塞或磨损。

（三）施工质量检测与验证技术路径

完善的质量检测体系是确保施工质量达标的重要手段，需采用无损检测与理化检验相结合的多元化检测方法。在焊接接头检测方面，采用射线检测、超声波检测、磁粉检测、渗透检测等无损检测技术，对焊接接头进行全面检测，确保检测覆盖所有焊缝，及时发现焊接内部与表面缺陷；无损检测人员需取得相应资格证书，检测结果需经复核确认，不合格焊缝需按规定进行返修与重新检测。

在几何尺寸与安装精度检测方面，采用激光跟踪仪、全站仪等高精度测量设备，对管道的安装位置、坡度、同轴度等参数进行全面检测，确保符合设计要求；对管道支吊架的安装间距、标高、受力状态等进行校验，保障支吊架功能有效。在材料与焊接接头理化性能检验方面，对关键部位的焊接接头进行力学性能试验，包括拉伸试验、冲击试验、硬度试验等，评估焊接接头的强度、韧性等性能指标；对管材与焊接材料进行化学成分分析，确保材料成分符合标准要求。

四、核电站主给水系统管道施工质量的长效保障体系

（一）建立完善的质量管理体系

构建符合核安全要求的质量管理体系，制定详细的质量管理制度与流程，明确各岗位的质量职责，实现施工全流程的质量管控；建立质量控制点制度，在施工准备、材料进场、焊接、安装、检测等关键环节设置质量控制点，实施严格的检查与验收，上一道工序不合格不得进入下一道工序；建立质量追溯体系，对施工全过程的技术文件、检测报告、施工记录等进行系统归档，确保质量问题的可追溯性。

（二）强化过程监督与协同管控

建立多方协同的监督机制，包括施工单位的自检、监理单位的监理验收、业主单位的监督检查以及相关监管部门的监督抽查，形成全方位的质量监督网络；加强施工过程中的动态巡查，及时发现并纠正施工中的违规操作与质量隐患；建立质量问题应急处理机制，对发现的质量缺陷及时组织分析，制定整改方案并跟踪落实，确保整改到位。

五、结论

核电站主给水系统管道施工质量控制是一项系统工程，需结合核级管道的安全特性与施工复杂度，建立全流程、多层次的管控体系。未来，随着核电机组向更高参数、更长寿命方向发展，主给水系统管道施工质量控制将面临更高要求，需进一步完善标准规范体系、引入更多智能化管控技术、加强跨专业协同管控，持续提升施工质量控制的精准度与有效性，为核电机组的安全稳定运行筑牢质量根基。

参考文献

[1]钱明辉.核电厂主给水控制系统的建模仿真与应用研究[D].浙江大学,2015.

[2]满若岩,孔凡卓,许德忠,等.CPR 与 EPR 型核电站主给水系统及设备对比研究[J].华东电力,2013,41(02):432-437.

[3]丁训慎.核电站蒸汽发生器二次侧远距离目视检查[J].无损检测,2001,(06):266-268.