

核电工艺管道安装中的关键技术及注意事项

李 强

中国能源建设集团浙江火电建设有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：核电工艺管道安装质量对核电站整体运行安全有着直接影响，属于核电工程建设的核心施工内容。本文针对核电管道的施工特性与质量管控要求，对管道预制、组对安装、焊接施工及检测试验等核心施工技术进行整理，分阶段归纳施工全过程的管控重点与操作注意事项。工程施工通过规范各工序操作流程，落实精细化质量管理措施，可以有效减少施工隐患，切实提升核电工艺管道的施工水平与长期运行稳定性。

关键词：核电工艺管道；安装关键技术；注意事项

引言：核电工艺管道承担核电站内部介质输送和能量传导的基础功能，是维系核安全屏障稳定的重要设施。管道安装施工的整体质量，能够直接决定核电机组运行的安全水平与稳定程度。核电管道施工的管控标准更为严格，施工技术落实不到位容易留下运行隐患。现阶段核电管道施工仍存在工艺把控不规范、工序管理不完善等常见问题。本文依托现行核电施工标准，梳理管道安装的核心技术内容与管控要求，可为核电管道现场施工质量管控提供基础参考依据。

1 核电工艺管道安装施工特点与质量要求

核电工艺管道会按照使用功能和安全防护标准进行等级划分，管道安装施工的整体质量，会对核安全屏障的运行可靠性产生关键作用。管道系统在长期服役过程中，如果出现结构破损或介质渗漏等问题，就会影响核电站整体的运行安全性。核电管道对应的施工规范与管控标准，普遍高于普通工业管道工程，项目建设实行质量终身责任管理制度，工作人员需要对全部施工工序开展多级检查与全程溯源管控，能够从流程层面降低质量隐患的发生概率。管道实际运行的工况环境较为复杂，工程选用的管材以及配套构件都有着严格的性能指标，材料自身的属性特点，也对现场施工的工艺精度提出了较高要求^[1]。管道安装的各类偏差参数需要严格契合行业规范标准，细微的安装偏差都有可能演变为长期运行隐患。现阶段核电管道施工普遍采用标准化管理模式，施工工艺与施工方案的各类调整工作，都需要经过完整的编审批流程，这套管理模式能够持续稳定管道施工质量，逐步完善施工全过程的溯源管理体系，满足核电工程建设的基础质量管控标准。

2 核电工艺管道安装关键核心技术

2.1 管道精准预制技术

管道预制工作属于核电工艺管道安装施工的前置核

心工序，该项施工环节的精度水平，会直接影响现场管道的安装质量与施工效率，也是工程控制管道安装应力、优化管道密封性能的重要手段。现阶段核电管道施工普遍采用工厂集中预制的作业模式，施工人员会借助数字化测量与加工设备，对管道尺寸、坡口形态和管件匹配效果开展精准管控。正式预制作业开展前，工作人员需要结合工程施工图纸、现场实际施工条件以及设备接口基础参数，完成管道尺寸放样工作。工作人员可通过三维建模方式模拟管道实际安装路径，有效规避管线干涉、空间冲突等常见施工问题。工程针对不锈钢、合金钢等特殊管道材料，统一使用数控专用切割设备完成下料作业，设备可以有效控制切割断面的平整度与尺寸误差，减少毛刺、缺口、管材变形等施工缺陷。坡口加工是管道预制的核心步骤，工作人员需要结合管材材质、管壁厚度和焊接工艺参数选用适配的坡口结构，全程通过机械打磨方式加工坡口，严格遵循核电焊接施工标准，禁止使用火焰切割工艺。管道预制作业完成后，工作人员需要封堵管道端口，清理管道内部杂质与污渍，对管材做好标识分类，同时全程开展尺寸复核与质量检测，质量不达标的预制构件不得投入现场施工使用。

2.2 高精度组对安装技术

管道组对作业属于核电管道现场安装的关键环节，这项工序的施工质量能够对焊缝成型效果和管道整体应力状态产生直接影响，也是施工现场质量管控的重点内容。工作人员在开展管道组对作业时，需要严格遵守无应力施工原则，施工过程中不可以采用强制对口和撬压对口的方式，防止管道产生残余应力，规避管道后期运行出现变形、开裂等质量问题。正式组对作业开始前，施工人员需要重新核对管道预制尺寸、管材材质以及配套配件的规格参数，对管道端口内外表面进行全面清理，去除表面附着的氧化皮、油污和各类杂质，保证管

道对接面满足洁净度施工要求^[2]。施工人员需要结合管道管径与壁厚的实际情况,合理控制对口间隙、错边量和同轴度等关键参数,严格遵守核电施工的偏差标准。现场施工可以借助专用组对工装和定心工具完成作业,以此提升管道组对的精准度与稳定性。高温高压核心管线需要采用分段组对与分段固定的施工方式,工作人员需要逐段核对管道标高、坡度及垂直度,保证管线布局均匀、受力稳定。管道与设备、阀门对接作业完成后,施工人员需要及时做好临时固定处理,避开焊缝位置设置固定点,同时完成多级质量验收,验收合格的管道才可进入后续焊接施工环节。

2.3 特种焊接成型技术

焊接作业在核电工艺管道安装工作中占据核心地位,焊缝结构属于管道系统的薄弱部位,焊缝施工质量能够直接影响管道的密封效果、结构稳定性以及服役年限,是核电工程质量管控的重点内容。施工人员需要根据管道基材的材质差异,选用适配的焊接工艺方式开展作业。奥氏体不锈钢管道一般结合两种焊接方法配套施工,合金钢管道则全程使用氩弧焊工艺,以此保证焊缝成型均匀、内部结构密实,减少各类施工缺陷的产生。工作人员在焊接作业开始前后,都需要落实热处理相关工艺,结合管道壁厚和材质条件调节施工温度与保温时长,能够有效规避各类裂纹和材质硬化问题。核电管道焊接作业对操作人员有着严格的资质要求,作业人员需要持证上岗,并且严格遵照既定工艺参数施工,规范控制焊接过程中的各项参数指标。现场施工普遍采用多层多道的焊接方式,工作人员需要逐层清理焊渣并检查成型状态,防止出现夹渣、未熔合等质量问题。重要核级管道的焊接过程需要全程监督记录,作业结束后工作人员要对焊缝表面进行打磨处理,弱化结构应力,再通过后续热处理工序消除焊接残留应力,整体提升焊缝的结构强度与使用稳定性。

2.4 无损检测与压力试验技术

无损检测和压力试验工作可以有效检验核电管道的整体安装质量,这项工作能够及时排查管道内部存在的施工隐患,是保障核电管道长期稳定运行的重要环节。施工人员需要对所有核电管道焊缝开展全覆盖无损检测作业,常见的检测方式包含多种常规检测技术,工作人员可以结合管道安全等级、制作材质和管壁厚度,挑选适配的检测方法完成作业。核一级管道焊缝需要采用双重检测模式,工作人员可以通过两类检测技术排查焊缝内部的各类隐蔽缺陷,该项检测工作的执行标准会明显高于普通工业管道检测要求。工作人员需要严格按照核

电行业检测规范判定缺陷等级,超出标准的缺陷需要制定对应的返修方案,构件返修完成后需要重新接受检测,直至质量达到合格标准^[3]。压力试验主要分为两种常用形式,核电管道施工一般优先选用水压试验,以此降低试验作业的安全隐患。正式试验开展前,工作人员需要完成管道固定、仪表隔离和临时封堵等准备工作,确认管道安装与焊接质量达标后方可启动试验。工作人员需要合理控制升压速率、试验压力与保压时长,分段完成升压和检查工作,重点排查管道关键连接部位的质量情况,试验合格后缓慢释放管道内部压力并完整记录试验数据,最后对管道开展吹扫和干燥处理,避免管道内部出现腐蚀与堵塞问题。

3 核电工艺管道安装全程注意事项

3.1 施工前期准备注意事项

核电工艺管道正式施工之前,现场需要完成完善的前期准备与管控工作,整体内容涵盖图纸审核、技术交底、材料检验、机具校准以及现场环境管理等多个基础环节。施工管理人员需要组织相关技术人员开展图纸核查工作,对图纸标注的施工参数和设计内容进行核对,及时发现并协调解决设计存在的问题,从源头规避施工偏差。图纸核查完成后,现场需要结合工程实际条件编制专项施工方案,方案经过审批后方可投入使用,施工班组也会统一接受技术交底,明确各项施工标准和操作要求。所有进场材料与施工设备都要经过质量核查,资料不全、质量不达标的物资不得投入现场使用,关键施工材料需要进行抽样复检,现场也会对各类材料进行分区存放管理,建立完整的质量追溯体系。施工所用机具需要提前完成检修和校准工作,保证设备运行精度满足施工需求,核电专项施工工具需要单独配置和管理。施工区域的作业环境需要保持稳定整洁,辐射作业区域需要提前开展环境检测,并且落实对应的安全防护措施,保障后续施工可以有序推进。

3.2 施工中期安装注意事项

核电管道中期施工过程需要落实全方位质量管控工作,管控范围主要包含管道预制组对、现场焊接以及支吊架安装等关键施工环节。工作人员在管道预制施工中,需要持续把控构件加工精度,规范下料操作,减少施工误差积累,每一批次预制构件加工完成后,工作人员都要开展多项质量复核工作,不合格构件需要统一返工处理。管材切割与打磨作业期间,工作人员需要稳定施工力度与施工速度,防止管材产生过热变形和表面损伤等质量问题。管道组对作业需要遵守无应力施工原则,工作人员禁止采用强制对口的施工方式,以此避免

管道产生残余应力,施工人员需要依据规范控制各项组对参数,借助专用工装固定管道,有效防止焊接过程出现构件位移的情况^[4]。管道焊接施工时,工作人员需要提前清理作业区域杂质,严格执行预热和层间温度管控措施,规范焊接操作流程,焊接完成后需要开展外观检查与应力消除处理。支吊架施工需要严格遵循设计标准,保障安装精度与焊接质量,特殊工况管道需要匹配专用支架,工作人员需要及时调整支架受力状态,同步完成成品检查和施工记录工作。

3.3 施工后期验收注意事项

核电管道施工后期验收工作是把控工程质量的重要环节,整体工作内容分为无损检测管理、压力试验和吹扫以及竣工资料整理三个主要部分。无损检测作业需要在焊缝焊接完成并自然冷却后开展,工作人员需要结合管道安全等级确定检测方式和检测范围,核级管道焊缝必须完成全覆盖检测。具备专业资质的检测人员需要按照行业规范完成数据采集和缺陷判定,存在质量超标的构件需要落实返修处理,返修完成后需要再次复检,所有检测数据都需要统一整理归档。压力试验作业需要在前期施工工序全部验收合格后开展,施工人员一般需要使用洁净水体作为试验介质,严格把控升压速度、试验压力和保压时间,安排专人全程监护现场状态,发现问题后及时泄压整改。试验结束以后,工作人员需要对管道内部进行吹扫和干燥处理,同时封堵管道端口防止出现二次污染。项目全部施工完成后,工作人员需要汇总整理全过程施工资料,按照核电档案管理规范完成分类归档,复检管道整体安装质量,确认无任何隐患后完成最终验收,保障核电站机组可以正常调试和运行。

3.4 安全与成品保护注意事项

核电工艺管道安装的整个施工阶段,都需要落实安全管控、成品保护以及工序交接相关管理工作,这三项内容是保障施工质量与施工安全的基础条件。施工现场需要严格遵守核电工程的安全管理规定,明确各岗位人员的工作职责,高空、动火等特殊作业必须完成审批流

程,同时安排专人开展现场监护工作。作业人员需要规范佩戴防护用品,辐射区域的施工工作需要合理把控作业时长与作业范围,实时监测现场辐射数据,管理人员也需要定期排查并整改现场安全隐患^[5]。施工人员需要重视管道成品的防护工作,针对已安装完成的管道、阀门等构件做好封闭防护措施,避免构件出现磕碰、污染和腐蚀问题,交叉施工过程中需要设置隔离防护手段,杜绝外力损坏完工构件。施工现场需要落实工序交接验收制度,上道工序验收合格之后,施工人员才可以开展后续施工工作,工作人员需要如实记录工序交接情况,明确施工遗留问题,做好隐蔽工程的验收与资料留存工作,依靠闭环管理模式稳定整体施工质量。

结束语

综上所述,核电工艺管道安装工作具备较强的系统性与精细化特点,该项工程的施工质量,对核电设备的运行安全与稳定状态存在直接影响。管道安装核心技术的规范运用,配合全周期的施工工序管理,可以有效减少施工隐患,提升整体施工质量。施工单位需要依照行业现行标准,落实各阶段质量管控工作,持续规范现场操作流程,以此保障核电工程可以安全投产,实现机组的长期稳定运行。

参考文献

- [1]方军.核电管道安装工程中的高精度组对与焊接工艺优化[J].石油化工建设,2026,48(4):84-86.
- [2]覃明保.核电站主管道吊装引入技术探究[J].中国设备工程,2026(10):221-223.
- [3]刘海峰.工艺管道施工中的关键技术与工艺优化[J].中国建筑金属结构,2025,24(11):79-81.
- [4]张戈,梁俊涛.核电工艺管道的数字化建模与设计误差控制研究[J].中国建筑金属结构,2026,25(8):145-147.
- [5]赵自奕.核电工艺管道布置中T型管路热流动特性及耐热性能优化研究[J].自动化与仪器仪表,2025(2):106-110.