

石油天然气管道施工过程中的安全管理与质量控制

申芳林 (国家管网集团建设项目管理分公司, 河北 廊坊 065000)

魏 刚 (国家管网集团建设项目管理分公司西南项目管理中心, 重庆 400000)

摘 要: 石油天然气管道作为一种运输能源的重要基础设施设备, 其施工安全质量水平的高低对稳定供给能源, 实现环保、社会安全等具有重要影响。从石油天然气管道的作用和特点入手, 对施工环节安全管理工作如风险识别、作业要求、应急处理等, 质量管理的关键环节如材料质量、施工标准、验收体系等, 提出安全管理和质量控制强化措施, 为提升管道工程施工质量提供借鉴。

关键词: 石油天然气管道; 施工安全; 质量管理; 风险防控; 工程验收

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 030-0121-03

Safety Management and Quality Control in the Construction Process of Oil and Gas Pipelines

Shen Fanglin (Construction Project Management Branch of National Pipeline Network Group, Langfang Hebei 065000, China)

Wei Gang (Southwest Project Management Center of National Pipeline Network Group Construction Project Management Branch, Chongqing 400000, China)

Abstract: As an important infrastructure equipment for transporting energy, the construction safety and quality level of oil and gas pipelines have a significant impact on stable energy supply, environmental protection, and social security. Starting from the role and characteristics of oil and gas pipelines, this article proposes measures to strengthen safety management and quality control in the construction process, such as risk identification, operational requirements, emergency response, and key aspects of quality management, such as material quality, construction standards, and acceptance systems. These measures provide reference for improving the construction quality of pipeline engineering.

Keywords: oil and gas pipelines; Construction safety; Quality Assurance; Risk prevention and control; project acceptance

在全球能源结构转型与国内能源需求持续增长的背景下, 石油天然气管道网络的建设规模不断扩大, 截至 2024 年, 我国油气管道总里程已突破 18 万 km, 形成了横跨东西、纵贯南北、连接海外的能源运输大动脉。管道施工具有跨度大、环境复杂、技术密集等特点, 涉及野外作业、高空作业、动火作业等高危环节, 一旦发生安全事故或出现质量缺陷, 可能引发泄漏、爆炸、环境污染等严重后果。近年来, 国内外管道工程事故频发: 2023 年某省天然气管道施工中因违规动火引发爆炸, 造成 3 人死亡; 2022 年某输油管道因焊接质量缺陷导致原油泄漏, 污染周边 5km² 土壤。这些事故暴露出施工过程中安全管理疏漏、质量控制不严等问题。因此, 构建全流程、精细化的安全管理与质量控制体系, 成为保障管道工程安全稳定运行的关键。本文结合行业实践, 深入剖析管道施工中的安全与质量管控要点, 为同类工程提供借鉴。

1 石油天然气管道

1.1 功能与分类

石油天然气管道是连接油气产地、加工基地与消

费市场的重要纽带, 具有运输量大、成本低、能耗小、连续稳定等优势, 承担着我国 70% 以上的原油运输和 90% 以上的天然气输送任务。按输送介质可分为原油管道、天然气管道、成品油管道; 按压力等级可分为低压管道 (< 1.6MPa)、中压管道 (1.6–4.0MPa)、高压管道 (4.0–10MPa) 及超高压管道 (> 10MPa), 压力等级越高, 对施工质量与安全管理的要求越严格。

1.2 施工特点与难点

管道施工呈现出显著的复杂性与挑战性: 一是地理环境多样, 需穿越山地、河流、农田、城镇等不同区域, 面临地质灾害、生态保护等多重约束。如在山地施工需应对滑坡风险, 穿越河流要考虑水流冲刷对管道稳定性的影响。二是技术要求高, 焊接、防腐、试压等关键工序需满足严苛标准, 如天然气长输管道焊接合格率需达到 98% 以上, 任何一道焊缝的缺陷都可能成为安全隐患。三是交叉作业多, 涉及土建、机械、焊接、防腐等多个工种, 各工种间的协调配合难度大, 若沟通不畅易引发安全事故或质量问题。四是工期压

力大，部分项目为赶进度压缩合理施工周期，导致施工人员疲劳作业，埋下安全质量隐患。

2 石油天然气管道施工过程中的安全管理

2.1 施工前期安全风险防控

施工前期的风险识别与预处理是安全管理的基础。需开展全面的现场勘察，组织专业人员对施工区域进行实地调研，重点排查地质灾害（如滑坡、泥石流）、地下管线冲突（与电缆、水管交叉）、周边敏感目标（学校、医院、居民区）等隐患。根据排查结果形成风险评估报告，对不同风险等级的隐患制定针对性的专项防控措施。例如，在穿越河流施工前，需委托专业机构检测河床稳定性，根据检测结果配备相应的防汛设备；在人口密集区施工时，设置30m以上的安全隔离带，并在隔离带周边设置明显的警示标志。

施工方案编制需包含详细的安全技术措施，对动火作业、有限空间作业等高风险环节实行“作业许可制度”。方案需经监理单位、建设单位联合审批，特别复杂的工程还需组织专家论证，确保方案的安全性和可行性。

2.2 施工过程安全管控

作业人员管理是现场安全的核心。需建立“三级安全教育”制度，公司级教育侧重法律法规和安全理念，项目级教育聚焦项目特点和潜在风险，班组级教育则针对具体岗位的操作规程。对焊工、起重工等特种作业人员实行持证上岗，考核通过率需达到100%，且证书需在有效期内。每日开工前召开“安全晨会”，由班组长明确当日作业风险点及防控措施，确保每位作业人员清楚了解。推行“作业许可票”制度，动火作业前需进行气体检测（可燃气体浓度 $< 0.5\%$ ），有限空间作业需检测氧气含量（ $19.5\% - 23.5\%$ ）并配备专职监护人员，监护人员不得擅自离开作业现场。

设备与材料安全管理需同步强化。施工机械（如起重机、挖掘机）需制定定期维护保养计划，由专业人员进行维护保养，并做好记录；特种设备需取得检验合格证书方可投入使用，使用过程中严格遵守操作规程。易燃材料（如焊条、防腐漆）需单独存放在通风良好、远离火源的库房，库房内设置防静电措施，如铺设防静电地板、安装防爆灯具等。针对高压管道试压环节，需划定警戒区域，设置警示标识，严禁非作业人员进入，试压压力需按设计压力的1.5倍执行，稳压时间不少于4h，试压过程中安排专人全程监控。

环境安全管控不容忽视。在生态敏感区施工时，需采取围挡、覆盖等措施减少扬尘，围挡高度不低于2.5m，覆盖材料选用防尘网。施工废水经沉淀池处理后回用，禁止直接排放，沉淀池需定期清理淤

泥。焊接烟尘需采用移动式除尘器收集，减少对作业人员和周边环境的影响；噪声设备需安装减振装置，确保符合《建筑施工场界环境噪声排放标准》（昼间 $\leq 70\text{dB}$ ，夜间 $\leq 55\text{dB}$ ），在居民区附近施工时，夜间10点至次日6点不得进行产生噪声的作业。

2.3 应急管理与事故处置

完善的应急体系是降低事故损失的关键。需编制针对性的应急预案，明确火灾、泄漏、坍塌等事故的处置流程、责任分工和应急响应级别。配备专业的应急救援队伍，队伍成员需经过专业培训，掌握应急处置技能。定期组织应急演练（每年不少于2次），通过演练检验应急预案的可行性，提高应急救援队伍的协同作战能力。应急物资储备需满足“30分钟响应”要求，包括急救包、防爆风机、堵漏工具、通讯设备等，并定期检查物资的完好性和有效性。

发生事故时，需立即启动应急响应：泄漏事故需迅速关闭上下游阀门，切断气源或油源，组织周边群众疏散至安全区域，使用气体检测仪确定泄漏范围，在泄漏区域内严禁明火作业和使用非防爆设备。火灾事故需先切断气源，采用干粉灭火器或灭火毯扑救，小火情可直接扑灭，大火情需及时拨打119，同时组织人员疏散，避免用水直接冲击火焰导致火势扩散。人员受伤时需优先抢救伤员，对伤员进行简单的急救处理后，及时送往医院救治，同时保护事故现场以备调查。事故处理后需形成调查报告，分析事故原因、责任认定和整改措施，实现“闭环管理”，防止类似事故再次发生。

3 石油天然气管道施工过程中的质量管理

3.1 材料质量控制

原材料质量是管道工程质量的前提。钢管、管件、防腐材料等关键物资需符合设计标准，进场时需查验出厂合格证、材质单等质量证明文件，并按规范进行抽样检测。例如，螺旋埋弧焊管需进行水压试验（试验压力 $\geq 3.5\text{MPa}$ ）、焊缝无损检测，确保钢管的耐压性能和焊接质量；聚乙烯防腐层需检测剥离强度（ $\geq 10\text{N/cm}$ ）、耐冲击性（ -30°C 无裂纹），保证防腐层的附着能力和抗冲击性能。

材料储存与管理需满足防护要求：钢管应架空堆放，采用垫木将钢管与地面隔离，避免与土壤直接接触导致锈蚀，不同规格的钢管分开堆放，做好标识。防腐管需避免阳光直射和机械损伤，储存场地需平整坚实，储存期不超过3个月，防止防腐层老化。焊条需存放在烘干箱内（烘干温度 $150 - 250^\circ\text{C}$ ），根据焊条种类确定烘干时间，领用后需放入保温筒（温度 $\geq 80^\circ\text{C}$ ），防止受潮影响焊接质量，未使用完的焊条

需重新烘干后才能再次使用,且烘干次数不超过3次。

3.2 关键工序质量管控

焊接质量直接决定管道的密封性与结构强度。需根据管材材质、壁厚选择合适的焊接工艺(如手工电弧焊、氩弧焊、自动焊),编制焊接工艺指导书,明确焊接参数和操作步骤。焊接前需清理坡口(露出金属光泽),去除坡口表面的油污、铁锈等杂质,确保焊接质量。焊接过程中严格控制层间温度(一般 $\geq 150^{\circ}\text{C}$),层间温度过高或过低都会影响焊缝性能。焊后需进行外观检查(无气孔、夹渣、未焊透)和无损检测(射线检测或超声波检测),抽检比例不低于20%,合格率需达到100%,不合格的焊缝需进行返修,返修后重新检测。

防腐工程质量影响管道使用寿命。防腐层施工前需对钢管表面进行除锈处理(达到Sa2.5级),除锈后的表面粗糙度需符合要求,除锈后4h内完成涂覆,避免表面再次生锈。防腐层厚度需均匀(偏差 $\leq \pm 0.2\text{mm}$),使用涂层测厚仪进行检测,确保厚度符合设计标准。接口处需采用热收缩套密封,热收缩套与钢管表面需粘结牢固,无气泡、褶皱等缺陷。埋地管道还需进行阴极保护,测试桩间距 $\leq 500\text{m}$,定期测量极化电位,确保极化电位控制在 -0.85V 至 -1.2V 之间,防止管道腐蚀。

管道敷设与回填质量需严格把控。沟底需平整压实,采用压路机进行压实处理,压实度达到设计要求,避免石块等硬物损伤防腐层,必要时在沟底铺设细土或砂垫层。管道下沟时需使用吊具平稳起吊,吊点间距符合规范要求,严禁拖拽管道。回填土需分层夯实(每层厚度 $\leq 300\text{mm}$),使用夯实机进行夯实,管顶500mm范围内不得有粒径 $> 100\text{mm}$ 的石块,确保管道稳定性,回填完成后需进行地面恢复。

3.3 质量验收与监督

分阶段验收是保障工程质量的重要环节。施工过程中需进行工序验收(如焊接、防腐)、分项工程验收(如管道敷设、试压)和竣工验收。工序验收由施工单位自检合格后,报监理单位验收,验收合格后方可进入下道工序;分项工程验收由监理单位组织施工单位进行,验收内容包括工程质量、技术资料等;竣工验收由建设单位组织,邀请设计、监理、施工等单位参加,验收合格后出具竣工验收报告。试压试验是关键验收项目,强度试验压力为设计压力的1.5倍,严密性试验压力为设计压力,稳压时间分别不少于1h和24h,无压降为合格。

第三方监督与检测可提升质量管控客观性。监理单位需全程旁站关键工序,对隐蔽工程实行“签字确

认制”,未经监理工程师签字确认,不得进行下道工序施工。建设单位可委托第三方检测机构进行飞行检查,不定期对施工现场的工程质量进行抽查,重点抽查焊接质量、防腐层性能等指标,检测结果作为工程质量评价的重要依据。同时,需建立质量追溯体系,对每道焊缝、每个管件标注唯一标识,记录其生产厂家、生产日期、施工时间、检测结果等信息,实现“终身可追溯”。

3.4 质量问题处理与改进

对于施工中存在的质量缺陷,应制定专门的整改措施,焊缝气孔应进行补焊,在进行补焊前,要把焊缝气孔周围杂物清理干净,补焊次数最多2次,在补焊后应进行无损检测;对于破口防腐层应把破口清除干净,打磨露出金属,重新涂抹防腐层;管道椭圆度超标应利用校正设备进行处理,禁止对管道进行强行组对,对于矫正的管道应满足于设计的要求。

整改后复测验收,检查验收是否达标。建立质量改进模式,不断提高管理水平。建立质量分析会制度。每月对施工过程中出现的质量问题进行统计分析,查找出产生质量问题的主要原因,采取预防措施。开展“QC小组”活动,推进施工人员参与质量管理和技术创新,如某项目进行焊接参数优化,使得焊接合格率由以前的95%提升到99%。学习先进经验。六西格玛、精益等方法的引进,使质量管理流程不断完善,质量管理标准化、精细化管理。

4 结束语

石油天然气管道施工安全质量管理是一个系统工作,需贯穿整个工程建设过程,未来随着智慧工地、数字化孪生等技术在管道施工中的应用,管道施工的安全质量会得到更精确、高效地保障。需要行业进一步强化标准体系建设与责任落实,实现施工过程中的施工安全从“防控”到“预警”、质量安全从“验收”到“防患于未然”的转变,确保我国油气管道网络的安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 中国石油天然气集团公司. 油气长输管道工程施工规范 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2022.
- [2] 王树立. 油气管道设计与施工 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2021.
- [3] 刘刚. 长输管道焊接质量控制技术 [J]. 石油工程建设, 2023, 49(2): 45-50.
- [4] 赵忠刚. 油气管道风险评估与完整性管理 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2022.
- [5] 李剑峰. 天然气管道施工中的应急管理措施 [J]. 安全与环境工程, 2022, 29(5): 120-125.