

# 天然气工程管道施工技术研究

图尔贡

阿克苏新捷能源有限公司 新疆 阿克苏 843000

**摘要：**本文围绕天然气工程管道施工技术展开系统性研究，从技术重要性、基础理论、关键技术及质量控制与安全管理四大维度深入剖析。研究表明，该技术是保障能源供应安全、推动清洁能源高效利用的核心要素。通过梳理管道材料选型、焊接工艺、防腐技术等基础理论，并结合复杂地形穿越、安全风险防控、环保施工等关键技术，提出了优化施工方案与强化质量管理的具体策略，为天然气工程管道施工提供了理论支撑与实践指导，助力行业高效、安全、可持续发展。

**关键词：**天然气工程；管道施工技术；复杂地形；安全风险；质量控制；环保施工

引言：随着全球能源结构的优化调整，天然气作为一种清洁、高效的化石能源，在能源供应体系中的地位日益重要。作为天然气输送的核心基础设施，管道工程的建设规模与质量直接关系到能源供应的稳定性、经济性及环境友好性。近年来，随着天然气需求的快速增长，管道工程逐渐向长距离、大口径、复杂地形等方向发展，对施工技术提出了更高要求。在此背景下，深入研究天然气工程管道施工技术，不仅有助于提升施工效率、降低安全风险，还能为行业技术进步与可持续发展提供重要支撑。

## 1 天然气工程管道施工技术的重要性

### 1.1 保障能源供应连续性与安全性

天然气管道工程作为能源输送的“生命线”，其施工质量是能源供应稳定性的基石。管道一旦出现泄漏、断裂等事故，不仅会导致天然气资源浪费，还可能引发火灾、爆炸等次生灾害，威胁公共安全。例如，长距离输气管道若因焊接缺陷或防腐层失效发生泄漏，可能造成区域性停气，影响工业生产和居民生活。因此，先进的施工技术需从材料选型、焊接工艺到防腐处理形成全链条保障，确保管道在复杂地质与气候条件下长期稳定运行。

### 1.2 提升施工效率与经济效益

高效的施工技术是缩短建设周期、降低施工成本的核心驱动力。传统管道施工依赖大量人力与机械，效率低且成本高。而现代技术如定向钻穿越、自动化焊接、预制管段拼装等，可显著减少现场作业时间与资源投入<sup>[1]</sup>。例如，通过数字化设计优化管道走向，可避开复杂地形，减少土方工程量；采用模块化施工方法，能将现场作业时间压缩30%以上。这些技术革新不仅加快了工程进度，还降低了人工与设备租赁成本，提升了项目整体

经济效益。

### 1.3 降低环境影响与生态风险

天然气管道施工对环境的影响不容忽视，尤其在生态敏感区域。传统开挖式施工易造成水土流失、植被破坏，而新型非开挖技术（如水平定向钻、盾构法）可实现“无痕”穿越，最大限度减少对生态系统的干扰。此外，环保型施工材料（如低毒防腐涂料）与施工工艺（如泥浆循环利用）的应用，可降低施工废弃物排放与土壤污染风险。例如，在河流穿越工程中采用定向钻技术，可避免河道开挖，保护水生生物栖息地，实现能源开发与生态保护的平衡。

## 2 天然气管道施工技术基础

### 2.1 管道材料与选型

（1）常用管道材料性能比较：天然气管道材料需具备高强度、耐腐蚀性、抗疲劳性及良好的焊接性能。目前主流材料包括：第一，钢管：包括碳钢、不锈钢及合金钢。碳钢管道成本低、强度高，适用于常规工况，但需通过防腐涂层（如3PE涂层）增强耐腐蚀性；不锈钢管道耐腐蚀性强，适用于高湿度、高盐分环境，但成本较高；合金钢管道兼具高强度与耐腐蚀性，常用于高压、大口径输气管道。第二，复合管：如玻璃钢夹砂管、塑料合金复合管等。复合管重量轻、耐腐蚀性强，但强度较低，适用于低压、短距离输送。（2）不同工况下的选型原则：第一，输送压力与介质特性：高压、高腐蚀性介质优先选用高强度、耐腐蚀的钢管，如X80级及以上钢种；低压、非腐蚀性介质可选用复合管。第二，地质与气候条件：软土地基、地震多发区需选用柔性管道（如复合管）以适应地基变形；寒冷地区需采用低温韧性优异的钢材，防止低温脆断。第三，经济性与维护成本：长距离输气管道需综合考虑材料成本、施工费用及后期

维护成本。例如，海底管道因维修难度大，需选用耐腐蚀性极强的材料。

## 2.2 施工工艺概述

(1) 管道铺设方法：第一，直埋法：适用于平坦、地质稳定的区域，具有施工简单、成本低的优点，但需做好管道防腐与回填压实。第二定向钻法：通过非开挖技术穿越河流、道路等障碍物，减少对地表环境的影响<sup>[2]</sup>。需精确控制钻进轨迹，避免管道变形。第三顶管法：适用于穿越建筑物、地下管线密集区域，通过顶进设备将管道逐段顶入土中，需解决土体变形与管道轴线控制问题。(2) 焊接技术及其质量控制要点：自动焊技术：如全自动气体保护焊(GMAW)，具有效率高、焊缝质量稳定的优点，适用于长距离、大口径管道。质量控制要点包括焊前预热、焊接参数优化(如电流、电压、速度)及焊后无损检测(如X射线、超声波检测)。第二，手工焊技术：适用于小口径管道或复杂地形，对焊工技能要求高。需严格控制焊条烘干温度、焊接层间温度及焊缝外观质量。

## 2.3 施工设备与工具

(1) 关键施工设备的选型与使用：第一，挖掘机：用于土方开挖、回填作业。需根据管道直径与埋深选择合适型号，如大型反铲挖掘机适用于深基坑作业，小型挖掘机适用于狭窄空间。第二，焊机：自动焊机需具备高精度控制系统，确保焊接参数稳定；手工焊机需配置电流调节范围宽、动态响应快的设备。第三，检测设备：包括X射线探伤仪、超声波探伤仪、磁粉探伤仪等，用于焊缝质量检测。需定期校准设备，确保检测精度。(2) 工具与辅助设备：第一，管道对口器：用于管道对接时的轴线与间隙调整，需具备高精度调节功能。第二，热处理设备：对焊缝进行焊后热处理，消除残余应力，提高焊缝韧性。第三，防腐施工设备：如喷砂除锈机、涂层喷涂机，需确保管道表面处理质量与涂层均匀性。

## 3 天然气管道施工关键技术研究

天然气管道施工涉及复杂地形穿越、安全风险防控、环境保护及数字化技术应用等多个维度，其关键技术的突破对提升工程效率、保障施工安全及实现可持续发展具有重要意义。

### 3.1 复杂地形施工技术

(1) 山区施工：山区地形起伏大、岩层破碎，施工难点包括管道坡度控制、土方稳定性及机械通行。解决方案包括：采用定向钻技术实现“无痕”穿越，减少对山体的破坏；利用三维地质雷达提前探测岩层分布，优化爆破参数；设置挡土墙、锚杆等支护结构，防止土方

滑坡。例如，中俄东线天然气管道在山区段采用“小角度定向钻+水平稳坡”技术，成功穿越多处陡峭山地。

(2) 沼泽地施工：沼泽地土壤承载力低、地下水位高，易导致管道沉降。解决方案包括：铺设砂垫层或碎石层提升地基承载力；采用浮箱式挖掘机等特种设备进行土方作业；设置沉降监测点，实时调整管道埋深。例如，西气东输三线在沼泽地段采用“轻型浮箱+动态监测”技术，确保管道长期稳定运行。(3) 河流穿越：河流穿越需解决水流冲刷、河床变形及施工期通航问题。解决方案包括：采用盾构法或顶管法实现水下无开挖穿越；设置混凝土护坡或抛石防护层，抵御水流侵蚀；施工期间搭建临时便桥或浮桥，保障通航安全。例如，川气东送管道在长江穿越段采用“盾构隧道+河床加固”技术，成功抵御了洪水冲击。

### 3.2 安全控制技术

(1) 安全风险识别与防控：天然气管道施工存在火灾、爆炸、塌方等风险。防控措施包括：严格执行动火审批制度，配备可燃气体检测仪实时监测泄漏；采用钢板桩支护、放坡开挖等措施防止塌方；设置安全警戒区，配备应急救援物资。例如，某管道工程在穿越活动断裂带时，采用“地震监测+柔性管道”设计，成功抵御了地震影响。(2) 管道防腐与阴极保护：防腐技术是延长管道寿命的关键<sup>[3]</sup>。措施包括：采用3PE防腐涂层、熔结环氧粉末(FBE)等高性能材料；设置牺牲阳极或强制电流阴极保护系统，定期检测保护电位。例如，西气东输管道采用“三层PE+智能电位监测”技术，防腐层破损率低于0.1%。

### 3.3 环保施工技术

(1) 水土保持与噪声控制：施工需减少水土流失与噪声污染。措施包括：设置挡土墙、排水沟等水土保持设施；采用低噪声设备，设置隔音屏障；施工结束后进行生态修复，恢复植被。例如，某管道工程在生态敏感区采用“临时围挡+草籽撒播”技术，施工后植被覆盖率恢复至90%以上。(2) 废弃物处理：废弃物需分类处置，防止污染。措施包括：设置危险废物暂存间，委托有资质单位处置；废水经沉淀、过滤后达标排放；废渣用于路基填筑或建材生产。例如，某管道工程采用“废弃物资源化利用”技术，将废渣制成免烧砖，实现了废弃物零排放。(3) 绿色施工理念：绿色施工强调全生命周期管理。措施包括：采用装配式管道预制技术，减少现场作业；利用太阳能、风能等清洁能源供电；建立环境监测系统，实时评估施工影响。例如，某管道工程采用“BIM+绿色施工”模式，碳排放量较传统施工降低

30%。

### 3.4 数字化与智能化施工

(1) BIM技术、无人机巡检与智能监控：BIM技术可实现管道三维建模与碰撞检测，优化施工方案；无人机巡检可快速获取地形数据，指导定向钻施工；智能监控系统可实时监测管道应力、变形等参数，预警潜在风险。例如，中俄东线管道采用“BIM+无人机+光纤传感”技术，施工效率提升40%。(2) 大数据分析与人机智能：大数据分析可挖掘施工规律，优化资源配置；人工智能可实现焊接质量自动检测、设备故障预测。例如，某管道工程采用“AI+机器视觉”技术，焊缝缺陷识别准确率达98%。

## 4 天然气管道施工质量控制与安全管理

天然气管道施工涉及复杂地形穿越、高压环境作业及多工种协同，其质量控制与安全管理直接关乎工程效益与社会安全。

### 4.1 质量控制体系

(1) 质量监控点与检测方法：天然气管道施工需对材料、焊接、防腐等关键环节实施全流程监控。材料检测需核查钢管壁厚、化学成分及力学性能，采用超声波探伤(UT)、磁粉检测(MT)等无损检测技术；焊接质量控制需对焊缝外观、内部缺陷进行100%检测，引入相控阵超声检测(PAUT)技术提升缺陷识别精度；防腐层检测需通过电火花检漏仪检测针孔，采用剥离试验验证附着力。例如，西气东输管道采用“焊接工艺评定+智能检测”模式，焊缝一次合格率达99.5%。(2) 质量验收标准与流程：验收需遵循《油气长输管道工程施工及验收规范》等标准，分阶段开展隐蔽工程验收、中间验收及竣工验收。隐蔽工程验收需记录管道埋深、防腐层厚度等参数；中间验收需核查焊接质量、管道试压结果；竣工验收需提交完整的质量证明文件及第三方检测报告。例如，中俄东线管道采用“三级验收+数字化归档”模式，实现质量数据可追溯。

### 4.2 安全管理体系

(1) 安全生产责任制与应急预案：需建立“企业-项目部-班组”三级安全生产责任制，明确各级管理人员职责。企业负责人需制定安全目标，项目部需编制专项施工方案，班组需落实日常安全检查。应急预案需涵盖

火灾、爆炸、塌方等场景，明确应急响应流程及资源调配机制。例如，某管道工程在穿越活动断裂带时，制定“地震应急预案+管道抢修预案”，成功抵御了地震影响。(2) 施工人员安全培训与考核：安全培训需覆盖特种作业人员、普通工人及管理人员，内容涵盖安全法规、操作规程及应急处置。培训形式包括理论授课、实操演练及VR模拟，考核合格后方可上岗<sup>[4]</sup>。例如，某管道工程采用“线上学习+线下实操”模式，实现全员安全培训覆盖率100%。

### 4.3 风险评估与应对

(1) 风险识别与评估：风险识别需综合历史数据、现场勘查及专家经验，形成涵盖地形穿越、设备吊装、焊接作业等高风险环节的风险清单。评估方法包括定性分析(如风险矩阵法)与定量分析(如蒙特卡洛模拟)，例如采用LEC评价法对风险进行量化分级，明确不同等级风险的管控优先级。(2) 应对策略与应急预案：针对高风险环节制定专项措施：地形穿越采用定向钻、盾构法等工艺；设备作业设置双保险装置及自动保护功能；应急预案需覆盖火灾、爆炸等场景，明确撤离路线及资源调配机制。某工程通过“三级应急响应”制度，实现风险分级管控。

### 结语

天然气工程管道施工技术的研究与推广，是保障国家能源安全、推动清洁能源革命的关键环节。随着科技革新，施工领域正加速向智能化、数字化及绿色环保方向转型，通过引入智能监测、大数据分析及环保工艺，实现施工效率与生态效益的双重提升。未来，需持续深化技术创新，构建全生命周期管理体系，为能源行业高质量发展注入新动能。

### 参考文献

- [1]王子瑜.天然气管输管道项目工程建设的施工技术[J].项目工程,2023,1(1):25-27.
- [2]董绍华.中国油气管道完整性管理20年回顾与发展建议[J].油气储运,2020,39(03):241-261
- [3]冯庆善.关于长输管道统一定义与范围界定的讨论[J].油气储运,2020,39(05):492-499
- [4]魏世泽.天然气管输管道施工技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023(16):172-174.