

城市石油天然气管道施工技术分析

朱俊杰

中国石油天然气管道第二工程有限公司 江苏 徐州 221000

摘要：随着城市化进程加快，城市对石油天然气的需求持续增长，管道作为核心输送载体，其施工质量直接关系到能源安全与城市运行。本文聚焦城市石油天然气管道施工技术，结合城市环境特性与油气介质特点展开研究。分析了施工面临的效率限制、安全性能要求及地质环保等挑战；阐述了施工前图纸设计审核、场地勘察测量、材料设备准备及队伍组织培训的关键要点；最后系统梳理土方开挖与支护、管材连接、敷设定位、防腐保温及回填恢复的全流程关键技术，明确各环节工艺参数与操作标准。研究旨在为城市油气管道施工提供技术指引，助力解决施工中的安全、质量与效率问题，保障管道长期稳定运行，满足城市能源输送需求。

关键词：城市；石油天然气管道；施工关键技术

引言：在城市石油天然气管道施工中，城市人口密集、管线复杂等环境特点，叠加石油天然气易燃易爆的介质特性，使管道施工面临空间受限、安全风险高、技术难度大等问题。当前施工中，部分项目因前期准备不足或关键技术应用不当，易出现质量隐患与效率低下问题。基于此，本文从施工特点与挑战、前期准备工作、全流程关键技术三方面展开分析，为提升城市油气管道施工水平提供理论与实践参考。

1 城市石油天然气管道施工特点与挑战

1.1 城市环境特点对管道施工的影响

城市环境的特殊性从空间与效率两方面对管道施工形成显著限制。在空间维度，城市人口密集、建筑物分布密集且地下管网网络复杂，使得管道线路规划需频繁规避各类敏感区域与既有设施，线路设计灵活性大幅降低，同时增加了施工前的探测与排查工作量，若处理不当易引发安全隐患。在效率维度，城市交通流量大、施工场地空间有限的特点，导致施工需兼顾交通通行需求，常采用分时、分段作业模式，有效施工时长被压缩；且狭窄的场地难以满足大型设备作业与材料堆放需求，进一步制约施工进度，降低整体施工效率。

1.2 石油天然气管道施工的特殊要求

石油天然气的介质特性与输送需求，决定了管道施工需满足严格的安全与性能标准。从安全要求来看，石油天然气具有易燃易爆属性，施工过程中需全程把控火源、静电防护等关键环节，对作业流程、人员操作规范及现场安全防护措施提出极高要求，以杜绝泄漏引发的安全事故。从性能要求来看，为保障长期稳定输送，管道需具备优异的密封性，防止介质泄漏；需具备良好的耐腐蚀性，抵御土壤、介质自身对管道的腐蚀作用；还

需具备较强的抗压性，承受土壤压力、地面荷载与内部介质压力，确保管道结构稳定。

1.3 城市石油天然气管道施工面临的挑战

城市石油天然气管道施工面临以下技术与外部环境挑战。（1）在技术层面，施工区域地质条件复杂多样，部分区域存在不良土层或特殊地质构造，增加了基坑开挖、管道敷设的技术难度，需针对性优化施工工艺，否则易引发工程质量问题。（2）在外部环境层面，环保标准不断提高，施工需严格控制噪声、扬尘、固废等污染，需投入更多资源用于环保措施，增加了施工复杂度；征地拆迁、环保投入、技术工艺升级等因素叠加，导致施工成本持续上升，对项目成本控制构成较大压力^[1]。

2 城市石油天然气管道施工前的准备工作

2.1 施工图纸设计与审核

施工图纸设计要遵循安全性、合规性与实用性原则，严格依据城市规划要求、能源输送相关规范及管道施工技术标准，确保设计方案符合城市整体布局，同时满足石油天然气输送的基本需求。设计过程中需综合考量管道运行的稳定性与后期维护的便利性，避免因设计疏漏埋下安全隐患。图纸审核要对管道走向、管径大小、材质选择等核心参数进行全面核查。审核需确认管道走向是否避开敏感区域，管径是否与输送量匹配，材质是否符合介质特性与环境要求，通过严格审核排除设计误差，确保图纸具备可施工性与安全性。

2.2 施工场地勘察与测量

场地勘察需全面掌握施工区域的基础信息，包括地质条件、地下管线分布及周边环境状况。地质条件勘察需明确土壤类型、承载力等数据，地下管线勘察需摸清已有管线的位置与属性，周边环境勘察需了解周边建

筑、交通等情况, 这些信息是制定施工方案的重要基础。测量工作要采用专业方法, 确保数据精度满足施工要求。通过专业测量设备确定管道敷设的准确位置、高程与坡度, 为管道定位、开挖范围划定等提供精准数据, 避免因测量误差导致施工偏差, 保障管道施工按设计标准推进。

2.3 施工材料与设备的选择与准备

管道材料选择需结合输送介质特性、环境条件与施工要求, 分析不同材质管道的耐受度、使用寿命等特点, 挑选适配性强的材料, 确保管道在长期使用中具备稳定性能, 满足石油天然气输送的安全与效率需求。施工设备选择要明确设备类型与性能标准, 根据施工工序需求挑选对应的开挖、连接、检测等设备, 确保设备性能达标、运行可靠。同时, 提前完成设备的检查与调试, 保障施工过程中设备能正常运转, 避免因设备问题影响施工进度。

2.4 施工队伍的组织与培训

施工队伍组建要注重专业性, 根据施工环节需求配置各岗位人员, 明确各岗位的职责与工作分工, 确保施工过程中各环节衔接顺畅, 避免因职责不清导致工作疏漏。施工前对人员开展技术培训与安全教育, 技术培训聚焦施工工艺、操作规范等内容, 提升人员业务能力; 安全教育强调施工风险与防护措施, 增强人员安全意识, 确保施工人员能规范操作、规避风险, 为施工安全与质量提供人力保障^[2]。

3 城市石油天然气管道全流程施工关键技术

3.1 管道土方开挖与支护技术

(1) 管道土方开挖技术要结合城市施工空间约束与地质条件, 优先选择对周边环境影响小的开挖方式, 同时严格控制开挖精度与安全风险。开挖前需明确开挖范围, 根据管道埋深与地质情况确定分层开挖厚度, 通常分层厚度不超过1.5米, 避免一次性开挖过深导致边坡失稳; 开挖过程中需实时监测边坡状态, 根据土壤类型调整开挖坡度, 黏性土边坡坡度一般控制在1:0.5-1:1.2, 砂性土边坡坡度需适当放缓, 必要时设置临时排水设施, 防止雨水浸泡导致土壤承载力下降。(2) 支护技术要根据开挖深度、地质条件及周边设施分布选择适配方案, 核心是保障基坑或管槽侧壁稳定, 避免坍塌风险。浅基坑(开挖深度 ≤ 3 米)可采用放坡结合沙袋堆砌支护, 中深基坑(3米 $<$ 开挖深度 ≤ 5 米)常用钢板桩或土钉墙支护, 钢板桩需确保入土深度满足抗拔与抗倾覆要求, 土钉墙需控制土钉间距与长度, 保证支护结构与土体协同受力; 深基坑(开挖深度 > 5 米)或临近建筑物、

地下管线的区域, 需采用排桩结合锚索支护, 排桩需保证桩身强度与间距, 锚索需按设计拉力值张拉锁定。支护过程中需定期监测支护结构位移与沉降, 位移预警值一般不超过30毫米, 沉降预警值不超过20毫米, 发现异常及时采取加固措施。

3.2 管道管材连接施工技术

(1) 管道管材连接技术要根据管材类型与输送介质特性, 选择密封性、强度达标的连接方式, 同时控制连接过程中的质量风险, 确保接口长期稳定。目前主流连接方式分为焊接连接与非焊接连接两类, 需根据施工场景与管材材质合理选用。(2) 焊接连接技术是金属管材(如钢管)的主要连接方式, 核心在于控制焊接工艺参数与焊后质量。焊前需对管材接口进行清理, 去除油污、铁锈等杂质, 同时根据管材厚度确定是否进行预热, 预热温度需结合管材材质设定, 一般低碳钢预热温度为80-150℃; 焊接过程中需控制焊接电流、电压与焊接速度, 确保焊缝成型良好, 避免出现未焊透、气孔、夹渣等缺陷, 多层焊接时需清理层间熔渣; 焊后需进行缓冷处理, 对于厚壁钢管还需进行焊后热处理, 消除焊接应力, 热处理温度通常为600-650℃, 保温时间根据管材厚度确定。(3) 非焊接连接技术适用于聚乙烯(PE)管等非金属管材, 或需快速连接的场景, 核心是保障接口密封性与连接强度。热熔连接需控制加热温度与加热时间, 加热温度一般为210 $\pm$ 10℃, 加热完成后需快速对接并保持一定压力冷却, 冷却时间根据管材直径确定; 电熔连接需严格按照设计参数控制焊接电压与时间, 确保电熔管件内电阻丝充分熔融, 实现管材与管件的牢固结合; 法兰连接需保证法兰密封面平整, 垫片选择适配介质的材质, 螺栓需按对角线顺序均匀拧紧, 拧紧力矩需符合设计要求, 防止接口泄漏^[3]。

3.3 管道敷设与定位技术

(1) 管道敷设技术要结合施工场地条件与管道特性, 确保管道敷设过程中无变形、无损伤, 同时满足设计高程与坡度要求。敷设前需对管槽底部进行处理, 清除杂物并平整压实, 若地质条件较差需铺设垫层, 垫层材料可选用砂石或素混凝土, 垫层厚度根据土壤承载力确定, 一般为100-200毫米; 敷设过程中需采用专用吊具吊装管道, 吊具与管道接触部位需设置保护垫, 避免损伤管道防腐层, 吊装时控制起吊速度与角度, 防止管道碰撞管槽侧壁或自身变形。(2) 管道定位技术是保障管道按设计线路敷设的关键, 需采用高精度测量设备与方法, 确保定位误差控制在允许范围内。定位前需建立施工测量控制网, 将设计坐标与高程转化为现场测量基准

点;敷设过程中采用全站仪或GPS定位设备实时监测管道轴线位置,轴线偏差需控制在 ± 50 毫米以内,同时用水准仪监测管道高程,高程偏差需控制在 ± 30 毫米以内;对于长距离管道敷设,需定期复核测量基准点,避免因基准点位移导致定位偏差,敷设完成后需进行整体线路复测,确保管道走向、坡度与设计一致。

3.4 管道防腐与保温施工技术

(1)管道防腐技术要针对管道内外腐蚀环境,采用多层防护措施,确保管道使用寿命满足设计要求(通常不低于30年)。管道外防腐以3PE防腐层为主,施工时需先对管道表面进行除锈处理,除锈等级需达到Sa2.5级,去除氧化皮、铁锈等杂质,随后依次涂刷环氧粉末底层、胶粘剂中层与聚乙烯外层,三层厚度需分别控制在 $80\sim 120\mu\text{m}$ 、 $170\sim 250\mu\text{m}$ 、 $1.8\sim 3.0\text{mm}$,同时保证各层之间结合紧密,无气泡、漏点;对于腐蚀性较强的土壤环境,可在3PE防腐层外额外缠绕防腐胶带,增强防腐效果。(2)管道内防腐需根据输送介质特性选择适配方案,输送天然气的管道常用环氧树脂内涂层,施工前需清理管道内壁,去除油污与杂质,随后采用喷涂方式均匀涂刷环氧树脂,涂层厚度控制在 $200\sim 300\mu\text{m}$,确保涂层光滑、无流挂;输送原油的管道可采用水泥砂浆衬里,衬里厚度根据管道直径确定,一般为 $20\sim 50\text{mm}$,施工后需养护至强度达标,防止衬里开裂脱落。(3)管道保温技术主要针对输送热油或需控制温度损失的管道,核心是减少管道热量散失,确保介质输送温度满足要求。保温材料优先选择导热系数低、抗压强度高的聚氨酯泡沫塑料,保温层厚度需根据介质温度与环境温度计算确定,一般为 $50\sim 150\text{mm}$;施工时需在管道外均匀喷涂或浇筑聚氨酯泡沫,确保保温层无空隙、无收缩,随后安装聚乙烯外护管,外护管需与保温层紧密贴合,防止水分渗入;对于露天敷设的管道,还需在保温层外设置防晒层,避免紫外线加速保温材料老化。

3.5 管道回填与恢复施工技术

(1)管道回填技术要严格控制回填材料质量与施工工艺,避免管道因回填不当出现沉降、变形或损伤。回

填材料需选择粒径均匀、无杂质的素土或砂石,不得使用含有砖块、石块等硬物的土壤,回填前需检测材料含水率,含水率控制在最优含水率 $\pm 2\%$ 范围内,确保回填土压实度达标;回填需分层进行,每层回填厚度控制在 $200\sim 300\text{mm}$,采用小型压路机或蛙式打夯机分层夯实,管顶 500mm 范围内采用人工夯实,避免机械夯实损伤管道,压实度需达到95%以上,管顶 500mm 以上区域压实度需达到93%以上。(2)施工场地恢复技术要遵循“原貌恢复、功能适配”原则,确保恢复后的场地与周边环境协调,不影响城市正常运行。回填完成后需先平整场地,去除施工遗留的杂物与垃圾,随后恢复地面设施:若施工区域为道路,需按原有道路结构铺设基层与面层,基层采用砂石或水泥稳定碎石,面层采用沥青混凝土或水泥混凝土,确保路面平整度与强度达标;若施工区域为绿地,需清理表层土中的碎石,重新铺设种植土并恢复植被,种植土厚度需满足植被生长要求,一般为 $300\sim 500\text{mm}$;恢复过程中需注意与原有设施的衔接,如人行道、井盖等,确保恢复后的设施功能正常、外观统一^[4]。

结束语:本文系统探讨了城市石油天然气管道施工的核心内容,明确城市环境与油气特性对施工的特殊约束,梳理出覆盖施工前期准备至全流程技术的完整体系,强调各环节需兼顾安全、质量与环境协调。这些研究成果可直接指导实际施工,帮助规避常见风险、优化工艺选择,对保障管道施工质量与后期运行稳定性具有重要意义。

参考文献

- [1]王志安.浅谈石油天然气长输管道路由优化及施工技术[J].智能城市应用,2022,5(4):13-14.
- [2]刘赞.城市石油天然气管道施工技术简述[J].装饰装修天地,2019(8):255-256.
- [3]娄宝龙.石油天然气长输管道路由选择及施工技术简析[J].丝路视野,2019(1):161-162.
- [4]杨林,陈德华,杨权.城市燃气管道停气连头施工技术与管理[J].石油石化物资采购,2021(21):161-162.