

Civil engineering problems in buried pipeline laying

Chengming Wang

Kunlun Energy Hubei Huanggang LNG Co., Ltd., Huanggang, Hubei, 438000, China

Abstract

The complexity of civil engineering for buried pipelines is on the rise, and current civil engineering projects for buried pipelines mainly face three major contradictions: the contradiction between complex geological conditions and uniform construction standards, the contradiction between higher quality requirements and lagging technology levels, and the contradiction between increased operational safety pressures and outdated management methods. Based on these issues, this paper analyzes the pain points in civil engineering for natural gas pipeline burial, focusing on differentiated construction techniques, intelligent management approaches, and optimization of engineering standards. It aims to explore more forward-looking and actionable strategies to provide beneficial insights for natural gas pipeline projects.

Keywords

natural gas; pipeline buried laying; civil engineering problems

天然气管道埋地敷设中的土建工程问题

汪成名

昆仑能源湖北黄冈液化天然气有限公司, 中国·湖北 黄冈 438000

摘 要

埋地管道土建工程的复杂性同步上升, 而当前埋地管道土建工程主要面临三大矛盾: 地质条件复杂化以及施工标准单一化的矛盾、工程质量要求提升以及工艺水平滞后的矛盾、安全运营压力增大以及管理手段落后的矛盾。基于上述问题, 本文围绕天然气管道埋地敷设中的土建工程痛点展开分析, 聚焦差异化施工技术和智能化管理路径以及工程标准优化等方面, 探索更具前瞻性和可操作性的应对策略, 旨在为天然气管道项目提供有益思考。

关键词

天然气; 管道埋地敷设; 土建工程问题

1 引言

目前传统土建工程方法在应对特殊土壤条件和环境风险方面具有局限性。因此, 工作人员应融合调控土质特性技术及应用智能感知系统, 避免因土质特性造成管道断裂等情况。同时, 精细化控制分层回填工艺则突破传统施工的粗放模式, 实现从经验判断转变为数据驱动。而防腐体制的梯度功能设计理念把材料科学同腐蚀防护有机结合, 形成动态适应的保护机制。应急响应机制的数字化重构使风险处置从被动应对升级为主动预防, 构建起覆盖全生命周期的安全保障体制。

2 天然气管道埋地敷设中的土建工程问题

2.1 地质土壤问题

因不同区域的土壤性质存在差异, 导致管道基础稳定

性难以得到保证, 松散砂土在动荷载作用下易发生液化现象, 引发地层沉降威胁管道结构安全。高含水量黏土在季节性干湿交替过程中会产生体积变化, 造成管道周边土体不均匀变形。而膨胀土遇水膨胀失水收缩的特性会加剧管道承受的附加应力, 长期作用会引发接口松动甚至断裂。冻土区域则受温度波动影响出现冻胀融沉现象, 管道纵向受力状态复杂化。同时, 地下水位变化频繁的地区, 渗透压力改变土体有效应力, 削弱地基承载能力。在岩溶地貌区域存在隐伏溶洞以及土洞, 潜在塌陷风险难以预测。而软弱土层压缩性高, 固结沉降持续时间长, 管道随之下沉产生弯曲变形, 砂卵石土层颗粒间嵌挤力不足, 开挖面易坍塌沟槽成型困难。盐渍土对金属管材具有腐蚀性, 降低土壤电阻率, 加剧电化学腐蚀进程, 黄土在浸水后突然下沉, 导致管道支撑体失去平衡。此外, 不均匀地基使管道产生差异沉降, 焊缝部位应力集中现象突出, 回填土压实度不足会形成薄弱带, 外部荷载传递不均, 因地质土壤问题相互交织, 形成连锁反应, 极大增加土建工程的技术难度和安全风险。

【作者简介】汪成名 (1984-), 中国湖北武汉人, 本科, 工程师, 从事市政工程 (天然气管道敷设及场站维修建设) 研究。

2.2 防腐防水问题

因金属管道长期暴露在地下环境中,土壤成分差异导致的电化学反应持续引发管壁材料劣化现象,不同区域的氧化还原反应强度差异使得局部腐蚀速度加快。土壤中盐分结晶和溶解的周期性循环产生膨胀应力,造成防护层机械性能退化并形成微裂纹扩展通道。并且地下水位波动会使管段周期性浸没于电解质溶液中,加速破坏金属晶格结构的进程。而有机质含量较高的黏土在厌氧条件下催生硫化氢腐蚀反应,酸性代谢产物不断侵蚀管体表面钝化膜。同时,地质构造运动会引发地面沉降导致管段受力变形,原有防腐层遭到破坏后形成渗水节点。季节性冻融循环困难产生冻胀力致使管道接口处密封材料开裂,液态水沿缝隙渗入后在负温环境下结冰膨胀,能够进一步加剧结构损伤。微生物参与的硫酸盐还原反应在缺氧区域持续释放腐蚀性物质,形成的生物膜阻碍防腐涂层有效修复。

3 天然气管道埋地敷设中的土建工程解决问题策略

3.1 土质特性调控技术

科学合理改良土壤能够提升地基承载能力,可以有效缓解各类不良地质土壤条件影响管道结构。在此过程中需工作人员针对不同土质实施差异化处理方案,以改善土壤物理力学性能,降低地基不均匀沉降风险。特殊土质区域则采取针对性调控手段,抑制膨胀土胀缩变形,防止砂土液化现象发生。工作人员前期应全面分析沿线土壤类型分布特征,根据工程需求划分重点调控区段。针对不同地质单元制定阶梯式改良标准,明确各类土质的处理目标值。在施工过程中严格控制工艺参数,确保改良深度达到设计要求。同时,建立土壤改良效果监测机制,定期监测关键指标变化趋势。因此,科学掌控土壤变化幅度,可有效减缓地基沉降趋势,降低应力不均引发的结构变形风险,从而为天然气管道的稳定敷设和长期安全运行提供保障。

以天然气管道工程穿越软土地基阶段为例,工作人员需采用综合土质改良技术确保管道稳定性。假设工程位置存在厚度不均的淤泥质黏土层,工作人员前期勘察可采用十字板剪切试验测定原位土体强度,结合室内固结试验获取压缩系数等关键参数。在施工过程中工作人员可采用真空预压结合排水板法处理地基,排水板按正三角形布置,每个间距需 1.2m,打设深度穿透软土层进入持力层不少于 0.5m。过程中需要严格遵循分层渐进原则,铺设 60cm 厚砂垫层作为水平排水通道,然后按序搭设塑料排水板。在安装真空预压系统时,密封膜搭接宽度需要保持在 50cm 以上,并在周边埋入密封沟深度达 1m。在抽真空阶段维持膜下真空度不低于 85kPa,预压期持续 60 天。在此期间布置地表沉降观测点,工作人员每日监测沉降速率变化,若连续三天沉降量小于 2mm 时,则判定地基固结达标。此外,管道敷设前应

展开标准贯入试验验证改良效果,检测点间距需 50m,每个检测点经过三次锤击,确保改良后地基承载力特征值达到 120kPa,才能满足设计要求。在管沟开挖后立即施作 30cm 厚级配碎石垫层,采用 20 吨振动压路机分三层碾压。最终在工程完工阶段布设长期监测点位,持续跟踪管道沉降和周边地基变形情况,采集周期性数据并展开分析,构建安全预警机制,保障天然气管道全生命周期内的稳定运行。

3.2 分层回填压实工艺

科学实施分层压实可以提高回填土体密实度,有效消除地基后期沉降隐患,需工作人员严格控制每层压实厚度确保能量均匀传递,避免形成薄弱层。并实施差异化压实标准,为适应不同区段荷载要求,给管道支撑提供均匀稳定的环境。施工前期需依据工程地质条件以及管道设计要求,划分不同压实功能区域并制定相应标准。选择回填材料应充分考虑材料性质,确保达到最优压实状态。而作业面划分需遵循分段连续原则,避免接缝部位处理不当,每层厚度控制采用激光测距仪实时监测,严格限制超厚现象发生。同时,回填施工全过程管理应强化工序之间的逻辑衔接和控制施工时序,确保压实、分层、检测等关键环节无缝对接以及无质量盲区。而各项工艺参数应依据现场地质和水文及压实试验数据动态调整,逐步实现施工工艺的标准化,可全面提升施工效率。

以软弱土层和砂卵石交互地层为例,施工人员需要实施精密的分层回填压实工艺。假设地基层存在软弱土和砂卵石,所以回填质量应更加严格,工作人员需于管沟验收后清除基底松散物质,在此过程中可采用精密测量仪器复核断面尺寸,在选择回填材料层面需考虑级配特性以及含水率范围,确保所选材料能够达到最佳压实状态。并开展分层作业采用标准化流程,每层摊铺厚度经过严格计算确定,利用重型压实设备按照预定路线有序开展,为保持恒定工作参数。而特殊部位则使用专用压实工具,确保边角区域密度达标。在相邻施工段设置搭接区域,可有效避免接缝处形成薄弱环节,检测质量应采用先进的无损检测技术,为全面评估压实效果提供基础。此外,工作人员需针对不同地质条件采取差异化措施:软弱土区段需要增加压实遍数;砂卵石区域则控制振动强度;道路交叉部位借助增强型回填结构,提高抗变形能力;河道穿越段需选用特殊回填材料,确保管道长期稳定性。此外,施工阶段需构建闭环式质量追溯体制,记录各工序关键控制参数和施工环境信息,确保每一环节具备可溯源性,最终回填体密实度和水稳性及承载力等性能指标,全面满足设计标准和实际荷载需求,为埋地管道系统提供可靠的结构支撑。

3.3 管体防蚀强化方案

金属管体和地下介质接触界面,易受电化学腐蚀以及微生物代谢产物的协同作用,所以,强化防腐措施经过提升材料抗渗透性,能够有效阻断腐蚀介质的扩散路径。同时,

针对土壤中硫化物浓度梯度变化,可以采用梯度功能涂层,平衡物理阻隔以及阴极保护需求,同步引入缓蚀剂负载型复合材料,增强局部微环境的化学稳定性。工作人员应优先选用具有梯度模量特性的纳米复合涂层材料,同步优化多层涂层的界面兼容性。在施工阶段引入自动化喷涂设备控制涂层厚度均匀性,还可结合红外热成像技术实时监测固化过程的热应力分布,针对不同地质条件建立腐蚀因子数据库,运用数字孪生模型预判防腐层的性能衰减趋势。因此,经过整合跨学科技术形成主动防护和被动防护的有机统一,确保在复杂地下环境中能够维持管道结构的功能可靠性。

例如,在天然气管道埋地敷设项目中,假设敷设区域土壤成分复杂,既富含腐蚀性强的硫化物,又伴随地下水位高和水土交互频繁等不利条件,会加剧金属管道的腐蚀风险和基础稳定性问题。工作人员在实施防腐加强策略时,需多管齐下构建多层次防护体制,在管道材料选择层面上,需要摒弃传统管材,选用具有梯度模量特性的纳米复合涂层材料,该材料机械性能优越,而且纳米级的微观结构能够提升抗渗透性,可以有效阻断腐蚀介质的扩散路径,降低电化学腐蚀发生的可能性。同时在涂覆作业时,为确保涂层厚度均匀性,工作人员需引入自动化喷涂设备,经过设定准确喷涂参数,可以实现控制涂层精准的厚度,进一步提升涂层质量。而在涂层技术运用方面,工作人员鉴于土壤中硫化物浓度存在梯度变化,需采用梯度功能涂层,依据前期勘察土壤硫化物浓度分布的详细数据,按照不同深度土壤的腐蚀特性设计涂层结构,使其在满足物理阻隔的同时,适配阴极保护需求,为管道提供双重防护。并且,工作人员可以在涂层材料中添加缓蚀剂负载型复合材料,复合材料能够在管道表面形成稳定的化学微环境,增强管道局部的化学稳定性,抑制微生物

代谢产物腐蚀管道。在施工过程中,为保证涂层的固化质量,工作人员要借助红外热成像技术实时监测固化过程的热应力分布,一旦发现热应力异常,立即调整固化工艺参数,避免因热应力不均导致涂层出现裂缝,从而降低防腐性能。利用数字孪生模型,模拟管道在不同腐蚀环境下的性能衰减趋势,据此对防腐方案开展优化,确保天然气管道在地质条件恶劣、环境变化频繁的地下区域中稳定运行,需工作人员构建涵盖材料防腐和结构隔离以及监测预警等环节的防护系统,整合主动防护以及被动防护手段,形成动态调控机制,有效抵御外部侵蚀和内部应力破坏,能够全面提升管道运行安全水平。

4 结语

随着推进建设能源基础设施,埋地管道工程面临的地质环境挑战日益复杂。未来,工作人员需要进一步深化多学科交叉融合,推动新材料、新工艺、新设备的研发应用,构建更加完善的工程质量控制标准系统。持续优化从勘察设计到施工运维的全生命周期管理方法,为我国能够安全运行能源动脉奠定基础,助力天然气高效输送和可持续发展。

参考文献

- [1] 王居伟.天然气管道完整性管理建设与关键技术分析[J].化工管理,2025,(08):1-3.
- [2] 邓娇,王权,高雅洁.天然气管道火灾后果影响因素分析[J].非常规油气,2025,12(02):128-133.
- [3] 何健.天然气长输管道风险识别与应急管理[J].石化技术,2025,32(02):367-368.
- [4] 阮海军,李紫薇.天然气工程地下管道的铺设技术[J].化学工程与装备,2022,(04):78-79.