

天然气管道施工过程中存在的问题和对策探讨

李晓春（山东港华培训学院，山东 济南 250101）

摘要：随着城市化进程的加快和能源结构的优化，天然气作为清洁能源的重要性日益凸显，天然气管道建设也随之成为基础设施建设的重点。本文就根据天然气管道施工概述的了解，分析天然气管道施工过程中存在的问题，并提出了相应的对策措施，进而对其经济性进行了分析，以期为天然气管道施工的顺利进行和经济效益的提升提供有益参考。

关键词：天然气管道施工；管道材料；经济性分析；管道保护

0 引言

随着天然气在能源结构中的比重不断增加，天然气管道建设的重要性也日益突出。天然气管道作为连接气源和用户的桥梁，其施工质量和安全直接关系到天然气的稳定供应和人民生命财产的安全。但目前而言，天然气管道施工过程中仍存在诸多问题，如施工不规范、管理不到位等，严重影响了天然气管道的建设质量和进度。因此，需要对天然气管道施工过程中存在的问题进行深入分析，并提出相应的对策措施，以确保天然气管道施工的顺利进行和经济效益的提升。

1 天然气管道施工过程中存在的问题

1.1 管道沿线地质与环境挑战

天然气管道施工必须面对复杂的地质条件，涵盖软土层、溶洞、断层等地质构造，都会增加施工难度和风险。特别是在山区或地震活跃区域，管道可能需要特别设计以抵抗潜在的地质灾害。此外，穿越河流、湖泊等水域时，需考虑水文变化对管道的影响，确保其长期稳定性^[1]。

1.2 管道材料及焊接质量问题

天然气管道的材料选择至关重要，它直接关系到管道系统的耐久性和安全性。在实际施工中，材料性能未达标或者选用不当可能导致管道强度不足、抗腐蚀能力弱等问题。而焊接作为连接管道的关键工艺，任何微小缺陷都可能成为日后泄漏的隐患。例如，焊接接头处可能出现裂纹、气孔或夹渣等缺陷，不仅难以肉眼发现，还可能在长时间运行后逐渐恶化，最终引发严重的安全事故。

1.3 管道第三方破坏风险

即使天然气管道已经按照高标准建设完成，但在后续使用中仍然面临着来自第三方的破坏风险。农业机械作业、建筑施工等活动可能会无意间对埋地管道

造成损害。此外，部分非法挖掘行为也可能直接威胁到管道的安全。这种外部破坏往往具有突发性和不可预见性，使得防范工作更加困难。一旦发生管道破裂或泄漏，不仅会造成经济损失，还可能带来环境污染甚至人员伤亡的风险。

1.4 管道安全管理和应急响应不足

天然气管道施工期间及后期运营中，安全管理措施的缺失或不到位是潜在的重大安全隐患。施工队伍的专业素质参差不齐，部分人员缺乏必要的安全培训，这增加了施工现场事故发生的可能性。同时，在管道投入运行后，对于日常巡检、维护保养等工作重视程度不够，未能及时发现并修复早期故障。

2 天然气管道施工过程中存在问题的对策

2.1 强化管道前期规划与设计

强化管道前期规划与设计阶段的工作不仅限于路径选择，还涵盖详尽的地质勘查、环境评估以及技术经济分析等多个方面。针对复杂的地质条件，如断层带、溶洞区等特殊地貌，必须进行详细的工程地质调查，运用先进的地球物理探测技术（例如地震反射波法、电阻率成像）来获取地下结构信息，为优化线路走向提供科学依据。

此外，还需结合水文气象数据，评估洪水、泥石流等地质灾害的风险，并制定相应的预防措施。在环境保护方面，应遵循“生态优先”的原则，在满足输送需求的前提下尽量减少对自然环境的影响。对于穿越重要水源地、自然保护区等敏感区域的管道，需采用定向钻进、盾构法等非开挖技术，以降低对地表植被和水体的扰动。同时，根据《中华人民共和国环境影响评价法》及相关法规的要求，开展全面的环境影响评价（EIA），识别潜在的环境风险点，提出有效的缓解措施，确保项目建设符合国家环保标准^[2]。

期规划还涉及到管道的设计参数设定，涵盖工作

压力、壁厚、防腐涂层类型等。其参数的选择直接关系到管道的安全性和经济性。

例如，以有限元分析（FEA）模拟不同工况下的应力分布情况，可以更准确地确定最适宜的管材规格；而利用计算流体力学（CFD）软件预测内部流动特性，则有助于优化清管作业方案，提高输气效率。随着物联网（IoT）、大数据等新兴信息技术的发展，智能管道的概念逐渐兴起，即在管道建设初期就预留传感器接口，以便后期实现状态监测、故障预警等功能，进而提升运维管理水平。

2.2 提升管道材料质量与施工工艺

在天然气管道建设中，管道材料的选择和施工工艺的质量控制是确保长期安全稳定运行的关键因素。首先，管材的选择需基于输送介质的压力、温度以及腐蚀环境等具体条件，通常选用高强度低合金钢（HSLA），如X70或更高级别的钢管，这类钢材具有良好的机械性能和抗腐蚀能力，能够适应复杂的地质和气候条件。

随着技术的进步，双相不锈钢、超级双相不锈钢等新型耐蚀材料也开始应用于特殊工况下的管道建设。对于焊接工艺而言，高质量的焊接不仅是连接管道的重要环节，更是保障管道整体结构完整性的核心。现代天然气管道施工广泛采用自动焊技术，包括根焊、填充层和盖面层的自动化焊接流程，以提高焊接速度、减少人为误差并增强焊接质量的一致性。例如，使用全位置窄间隙埋弧焊（SAW）技术可以实现高效、稳定的焊接效果，尤其适用于厚壁钢管的长距离焊接^[3]。

此外，常用的防腐方法有三层聚乙烯（3PE）涂层、熔结环氧粉末（FBE）涂层等。其涂层不仅提供了强大的物理屏障作用，防止土壤中的水分和氧气接触金属表面引发腐蚀反应，还具备优良的电绝缘性能，可有效抵御杂散电流的侵蚀。值得注意的是，在复杂环境下，如高盐碱土壤区域或海洋环境中，可能还需要结合阴极保护系统（CP），向管道施加直流电来抑制金属阳极溶解过程，进一步增强防腐效果。在施工过程中，除了严格把控焊接质量和防腐措施外，还需注重其他关键工序的技术细节。

例如，管道组对时应确保相邻管段的同心度偏差不超过规定值，以避免因应力集中导致局部变形；回填作业则要遵循分层夯实的原则，确保每层土体的密实度达到设计要求，防止地基沉降影响管道的安全性和稳定性。此外，针对穿越河流、铁路等障碍物的情况，

往往需要采用定向钻进、顶管法等非开挖技术，能减少对既有设施的影响，保证管道顺利穿越复杂地形。

2.3 建立有效的管道保护机制

建立有效的管道保护机制是确保天然气管道安全运行的重要保障，这一过程涵盖了从法律法规遵从到技术创新应用的多个层面。具体而言，应必须严格遵守国家及地方的相关法律法规，如《中华人民共和国石油天然气管道保护法》以及各地出台的具体实施细则。这些法规为管道保护提供了法律框架，明确了各方的责任与义务，对于预防和惩治非法挖掘、侵占等破坏行为起到了关键作用。

同时，地方政府部门应加强对管道沿线的巡查力度，及时发现并处理潜在的安全隐患，确保管道周边环境的安全稳定。为了有效防范第三方破坏，需要在管道上方设置明显的警示标识，并采用高可见度的标志桩、警示带等物理防护措施，提醒过往行人和车辆注意地下管道的存在。此外，运用地理信息系统（GIS）技术，可以构建详尽的管道数据库，实现对管道位置、走向、埋深等信息的精准管理。该系统不仅有助于日常巡检工作的开展，还能为应急响应提供快速准确的数据支持。

针对农业机械作业、建筑施工等活动可能带来的风险，应当加强与相关单位的合作沟通，签订保护协议，明确各自的责任边界。例如，在农田范围内实施浅耕作业时，需提前告知农户管道的具体位置，并指导其采取适当的农作方式；而在涉及大型工程建设时，则要求施工单位制定详细的施工方案，报请相关部门审批后方可动工。推广使用智能监测设备，如光纤传感系统，可以在不干扰正常生产的前提下实时监控管道周围的动态变化，一旦检测到异常振动或应力波动，立即发出警报信号，以便及时采取措施加以制止。除了外部因素的影响外，内部腐蚀也是威胁管道完整性的重要因素。因此，必须重视防腐蚀工作，选择合适的防腐涂层材料和技术手段至关重要。当前较为先进的方法涵盖三层聚乙烯（3PE）复合涂层、熔结环氧粉末（FBE）涂层等，它们具有优异的耐候性和抗化学侵蚀能力，能有效延缓金属表面的老化速度。

2.4 完善管道安全管理体系与应急预案

完善管道安全管理体系和应急预案涉及到建立健全的安全管理制度，还需要结合先进的技术手段和科学的方法论，以应对各种可能的突发事件。首先，必须构建一个全面覆盖、层次分明的安全管理体系

(SMS)，该体系应涵盖政策制定、组织架构、风险管理等多个方面，确保每个环节都有章可循、有据可依。在政策层面，企业需依据《中华人民共和国安全生产法》及相关行业标准，制定严格的安全操作规程和管理制度，明确各级管理人员的责任和权限^[4]。例如，推行“三同时”原则，即新建、改建或扩建项目的安全设施必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用，从而将安全隐患消除于萌芽状态。风险管理层面，它要求对潜在风险进行全面识别、量化分析，并采取针对性的预防控制措施。利用故障树分析(FTA)、事件树分析(ETA)等工具，可以系统地剖析可能导致事故的各种因素及其相互关系，进而找出最薄弱的环节加以强化。

对于高风险区域，如人口密集区、重要水源地附近，还需特别关注地质灾害、第三方破坏等特殊风险点，制定专项防控计划，定期开展风险评估，及时调整优化管理策略。为了提高应急响应能力，必须建立一套完善的应急预案(EPR)，涵盖预警机制、指挥协调、救援处置等多个子系统。其中，预警机制安装各类传感器(如压力变送器、温度传感器、气体探测器等)，实时监测管道运行参数的变化，一旦发现异常情况立即触发警报，为后续处理争取宝贵时间。而在事故发生后，高效的指挥协调系统则成为迅速组织各方力量、实施有效救援的关键。

3 天然气管道施工的经济性分析

天然气管道项目的经济性不仅取决于初始建设成本，还涉及长期运营维护费用以及潜在的社会经济效益。从投资回报的角度来看，合理的前期规划和高效的施工管理能够显著降低总成本并提高项目收益。在材料选择上，采用高强度低合金钢(HSLA)如X70或更高级别的钢管虽然初期采购成本较高，但其优越的机械性能和抗腐蚀能力可以延长管道使用寿命，减少后期维护频率。

根据行业统计数据，优质钢材的应用可以使管道的全生命周期成本降低约15%–20%。此外，随着技术进步，新型耐蚀材料如双相不锈钢的成本逐渐下降，进一步优化了材料成本结构。焊接工艺方面，自动化焊接技术的应用提高了施工效率，减少了人工依赖，降低了劳动成本^[5]。以全位置窄间隙埋弧焊(SAW)为例，相比传统手工焊接，自动焊技术可将焊接速度提升30%–50%，同时确保更高的焊接质量一致性，减少了因质量问题导致的返工和维修费用。

据估算，高效焊接技术的使用能节省整体施工成本的10%–15%。防腐措施同样对经济性有着重要影响。三层聚乙烯(3PE)复合涂层和熔结环氧粉末(FBE)涂层等先进防腐技术不仅能有效防止土壤中的水分和氧气侵蚀管道表面，还能抵御杂散电流的侵害，大大减少了因腐蚀引发的泄漏风险。研究表明，良好的防腐处理可以将管道的平均维修周期延长至20年以上，相比普通防腐方案，维修成本降低了约40%。智能监测系统的引入为管道安全提供了强有力的保障，同时也带来了可观的经济效益。例如，通过部署光纤传感系统进行实时监控，可以在早期发现异常情况，避免重大事故的发生。据统计，此类智能系统的应用每年可为每公里管道节约应急响应和修复成本达数万元人民币。此外，物联网(IoT)技术和大数据分析的应用有助于优化运维策略，实现预防性维护，从而大幅削减不必要的开支。

4 结语

综上所述，天然气管道施工过程中虽面临诸多挑战，但通过强化前期规划与设计、提升材料质量与施工工艺、建立有效保护机制及完善安全管理体系与应急预案，可有效应对这些问题。同时，经济性分析显示，合理规划与高效管理能显著降低成本，提高项目收益。未来，随着技术进步和管理水平的不断提升，天然气管道建设将更加安全、高效、经济，为城市发展和能源结构优化提供有力支撑，也为社会经济的可持续发展贡献力量。

参考文献：

- [1] 韩平. 燃气管道施工过程和现场安全管理 [C]// 中 国城市燃气协会安全管理工作委员会. 2022年第五 届燃气安全交流研讨会论文集(下册). 潍坊港华燃 气有限公司, 2023:2.
- [2] 东野兵. 燃气管道施工过程管理和现场安全管理探 究 [J]. 冶金管理, 2022(23):8-10.
- [3] 王晨. 燃气管道施工过程管理和现场安全管理分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(19):62-63.
- [4] 谭晶. 加强市政燃气管道施工过程质量控制与管 理的路径探索 [J]. 住宅与房地产, 2021(03):235-236.
- [5] 张东升. 燃气管道施工过程中焊接质量的影响因素 初探 [J]. 消防界(电子版), 2019, 5(06):22.

作者简介：

李晓春(1985-)，女，汉族，山东济南人，本科，中级职称，研究方向：燃气地下管网。