

城镇燃气管道气防腐施工关键技术及应用分析

王法胜 (河南中油压缩天然气有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 城镇化建设规模不断增加背景下, 对于燃气的使用要求也在增加。燃气管道工程建设时, 因管道长期埋地或架空的燃气管道易受土壤、大气、介质等因素腐蚀, 引发泄漏、爆炸等安全事故。因此, 为提升城镇燃气管道运行能力, 减少管道泄露、管道腐蚀现象产生。通过分析城镇燃气管道防腐材料特性, 提出城镇燃气管道外防腐层、城镇燃气管道阴极保护以及防腐关键技术, 确保燃气管道的使用寿命和运行安全。

关键词: 城镇燃气管道; 防腐施工; 防腐材料; 外防腐层; 阴极保护

中图分类号: TU996.7 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 025-0163-03

Analysis of key technologies and applications of anti-corrosion construction of urban gas pipelines

Wang Fasheng(Henan Zhongyou Compressed Natural Gas Co., LTD, Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: Under the background of increasing urbanization construction, the demand for gas use is also increasing. During the construction of gas pipeline projects, gas pipelines buried or overhead for a long time are susceptible to corrosion by factors such as soil, atmosphere, and media, resulting in safety accidents such as leakage and explosion. Therefore, in order to improve the operation capacity of urban gas pipelines, reduce pipeline leakage and pipeline corrosion. By analyzing the characteristics of anti-corrosion materials of urban gas pipelines, the key technologies of anti-corrosion layer of urban gas pipelines, cathodic protection and anti-corrosion of urban gas pipelines are proposed to ensure the service life and operation safety of gas pipelines.

Keywords: urban gas pipelines; anti-corrosion construction; anticorrosive materials; outer anti-corrosion layer; Cathodic protection

城镇燃气作为城市内部重要基础设施, 其关系到居民生活、工业生产, 它属于清洁能源的基础设施。燃气管道通常采取埋地或架空运行方式, 其长期受到土壤、大气、介质的腐蚀影响, 造成管道运行过程中发生安全事故, 也会使其使用寿命缩短。燃气管道如果出现腐蚀穿孔的情况, 将造成燃气泄漏而引发能源浪费, 也会造成严重的火灾、爆炸等事故, 给人们生命财产安全以及城市建设发展造成不利影响。根据城镇燃气管道施工以及运营需求选择适宜的防腐蚀措施, 能够延长城镇燃气管道使用寿命, 确保其运行状态正常。因此, 深入研究城镇燃气管道防腐施工技术, 能够保证燃气管道正常运行、延长使用寿命。

1 城镇燃气管道防腐材料特性分析

1.1 金属防腐涂层材料

城镇燃气管道防腐施工中需选用金属防腐涂层材料, 其具备优越的物理阻隔和化学防护功能。金属防腐涂层材料中, 锌基涂层应用最为广泛。通过热喷涂锌、热浸镀锌的工艺在燃气管道表面形成锌层, 通过锌的电化学活性使得管道形成牺牲阳极保护系统。根据以往工程经验热浸镀锌涂层在一般土壤条件下, 其能够将管道腐蚀速率下降 80% 以上。铝基涂层的防腐性能优越, 其在表面形成氧化铝薄膜, 具备较高的硬度和化学稳定性能够阻隔腐蚀介质进入到内部。此

外, 复合金属涂层通过锌、铝、镁等金属元素合理配比, 其结合不同金属的防腐优势使得涂层防腐性能合格, 即使复杂环境下依然能够保持较高适应性^[1]。

1.2 高分子防腐材料

城镇燃气管道选用高分子防腐材料, 其材料类型多、加工性能优越, 已经成为广泛应用的防腐蚀材料之一。聚乙烯 PE 防腐材料应用广泛, 通过在燃气管道表面敷设三层 PE 外防腐结构, 包含底层环氧粉末、中间层胶黏剂和外层聚乙烯组成。通过多种材料的协同作用, 使其性能非常优越, 能够抵抗自然环境和土壤条件侵蚀, 进而保证城镇燃气管道运营达到稳定性、可靠性要求。聚丙烯 PP 防腐材料在耐高温、耐磨损方面性能优越, 一般将其应用在温度较高或土壤摩擦力较大的环境中。此外, 聚脲弹性体材料具备快速固化、高弹性、高耐磨性的优势, 在管道补口、补伤等局部结构防腐蚀施工中有明显优势, 能够解决管道材料在复杂形状下施工难、腐蚀性高的问题。

1.3 新型防腐材料

随着现代科学技术发展速度不断加快, 新型防腐材料逐步应用到工程领域。城镇燃气管道防腐施工中, 通过纳米复合防腐材料, 利用纳米级填料添加到传统防腐材料中, 使材料的微观结构得到改善, 促使防腐材料的致密性、硬度、耐腐蚀性提升。例如: 纳米二

氧化硅改性环氧涂料，其抗渗性比普通环氧涂料提升3~5倍。智能防腐材料能够实现自我修复，其具备较强的环境适应能力。例如：微胶囊自修复防腐涂层，在涂层发生损坏后，其内部微胶囊破裂并释放修复剂，自动修复损伤位置，能够延长涂层使用寿命。此外，生物基防腐材料以可再生资源作为原料，其具备环保、无毒性特点，已经成为未来防腐材料的重要发展方向之一。

2 城镇燃气管道外防腐层施工关键技术

2.1 预制防腐层施工技术

城镇燃气管道防腐施工中，通过预制防腐层施工技术，需在工厂内完成防腐层制作，其具备效率高、稳定性强、质量优越的特性。三层PE外防腐层预制工艺成熟，其先在管道表面抛丸、除锈，使其表面质量达到Sa2.5级，能够提高涂层和管道的附着力。而后，通过静电喷涂工艺在表面涂覆环氧粉末，利用中频加热使得环氧粉末熔融固化，进而形成致密的底层。然后，环氧粉末未达到冷却状态时，通过挤出胶黏剂和聚乙烯层，再利用冷却定型方式完成三层PE防腐结构施工。该防腐层施工阶段各层厚度、温度、涂覆速度严格控制，能够保证防腐层质量合格。例如：环氧粉末涂层厚度通常为80~150μm。聚乙烯层厚度需结合管道直径、使用环境确定，将其控制在2~3.7mm之间^[2]。

2.2 现场防腐层施工技术

城镇燃气管道防腐施工阶段，现场防腐层施工技术主要针对管道补口、补伤以及无法预制的防腐特殊位置。火焰加热缠绕聚乙烯补口技术是应用广泛的补口方式，其施工前先将补口位置表面进行清理，使其达到St3级标准。而后，通过火焰加热器进行管道补口位置加热，再使用聚乙烯热收缩带缠绕在补口处，通过火焰持续加热使其收缩并紧密贴合在管道上，并且形成和预制防腐层性能相当的补口防腐层。现场防腐层施工阶段需综合分析环境因素，确保施工温度、湿度等条件处于适宜状态。例如：环境温度5℃以下或者相对湿度超过85%，需采取加热、除湿等方式，从而保证防腐层的粘结性能达到技术标准。

2.3 防腐层质量控制技术

城镇燃气管道防腐层施工阶段，需落实各项质量控制措施，进而保证防腐层施工质量合格。防腐层施工阶段需落实原材料质量检验工作，保证原材料的防腐性能达到技术指标，主要从拉伸强度、断裂伸长率、耐化学介质性能方面展开。防腐层施工阶段通过电火花检漏仪进行防腐层针孔检测，需结合管道电压等级设定检漏电压，如110kV管道检漏电压为15kV，使

得防腐层完整性好，并未存在任何漏点。同时，防腐层检测阶段通过剥离强度测试评价防腐层和管道粘结性能是否合格，必须保证在常温条件下三层PE防腐层剥离强度达到70N/cm以上。此外，防腐层检测阶段通过超声测厚仪进行防腐层厚度抽检，使得防腐层厚度合格且达到设计标准。

3 城镇燃气管道阴极保护施工关键技术

城镇燃气管道安全运行需求日益迫切的当下，阴极保护施工技术作为保障管道防腐蚀的核心手段，其重要性愈发凸显。下面深入探讨城镇燃气管道阴极保护施工关键技术。

3.1 牺牲阳极阴极保护技术

城镇燃气管道防腐施工阶段，牺牲阳极阴极保护技术需在管道上部连接比管道金属更活泼的金属，一般将镁合金、锌合金等作为牺牲阳极，使阳极金属优先发生氧化反应，释放电子，进而保证管道不会发生腐蚀现象。牺牲阳极阴极保护系统设计阶段，需综合考虑到城镇燃气管道材质、土壤条件、环境等因素，确定阳极的类型、数量以及安装间距。例如：土壤电阻率较低的潮湿条件下，应选择锌合金作为牺牲阳极；土壤电阻率较高且环境干燥度高时，选用镁合金作为牺牲阳极，能够满足防腐要求。牺牲阳极安装过程中，需确保其与管道稳定连接，电气性能良好，通常阳极埋设深度在1m以上，并且和管道之间的距离在0.3~0.5m之间^[3]。

3.2 强制电流阴极保护技术

城镇燃气管道防腐蚀施工阶段通过强制电流阴极保护技术，能够切实提高防腐蚀水平。该技术应用过程中需在管道外部设置电源，通过辅助阳极向管道内部通入阴极电流，使其达到阴极状态，进而满足防腐蚀要求。该技术应用范围极为广泛，尤其在长输管道、大型储罐的设计施工中能够保证其达到安全性和稳定性。强制电流阴极保护系统方案设计阶段，需根据燃气管道实际情况选择适宜的电源设备、辅助阳极以及参比电极。而且，设计阶段需分析土壤条件、运行环境、管道状态等选择恒电位移供应电源，以满足系统防腐蚀的要求。与此同时，辅助阳极通常选择使用高硅铸铁、石墨等材料满足保护电流分散的要求。参比电极作用是监测燃气管道防腐蚀效果，因此在材料选择的过程中，参比电极需具备电位稳定、耐土壤腐蚀、使用寿命长等相关特征。一般来说，经常使用的材料主要以硫酸铜参比电极、高纯锌参比电极等材料位置。其中，硫酸铜参比电极适用于土壤电阻率较低的环境，电位稳定性好，而高纯锌参比电极则在高电阻率土壤中表现更优，安装维护简便。监测作业的过程中需按

照实际的情况确保，参比电极能够与土壤紧密接触，经量的减少因接触不良导致测量误差。最后，在实践的过程中还需要定期对参比电极的电位值进行校准，使得城镇燃气管道监测数据准确性处于合理的范围之内，从而为评估城镇燃气管道防腐蚀性能、调整保护电流参数提供更加详细的工况参数。

3.3 阴极保护系统监测与维护技术

城镇燃气管道防腐蚀施工阶段，利用阴极保护系统监测与维护技术，能够快速发现管道的腐蚀性问题，并选择适宜的控制策略。该技术在运行过程中精准检测管道电位、电流等各项参数，再评估防腐蚀效果以便针对燃气管道运行情况确定适宜的防腐蚀策略。同时，明确阴极保护系统监测与维护技术要求，优化改进防腐蚀策略，并且保证整个管道电气连接系统达到稳定性，以免存在松动、老化等情况影响耐腐蚀效果。此外，参比电极在运行过程中需落实校准检测，使得监测精度达到技术要求，为工作人员制定适宜防腐策略提供数据。

4 城镇燃气管道防腐施工技术应用分析

4.1 埋地燃气管道防腐施工应用

城镇燃气管道采用埋地安装施工方式较为常见，其处于复杂的土壤环境中，受到土壤酸碱度、微生物等化学与生物侵蚀较为严重。同时，埋地管道受到杂散电流干扰影响，所以其防腐层需建设多层防护体系，常规土壤条件下三层 PE 防腐层和牺牲阳极阴极保护技术组合能够满足使用需求。三层 PE 防腐层的优势是底层环氧粉末附着力强，中间胶粘层过渡粘接、外层聚乙烯物理阻隔，能够避免土壤内腐蚀介质和管道接触；牺牲阳极防腐技术通过电化学作用，其释放部分电子形成阴极保护电流，并在管道表面形成电子屏障。

城市燃气管道如果穿越高盐渍土、沼泽地等特殊位置，需适当的增强防腐层级别，将三层 PE 聚乙烯层厚度增加到 4.2mm，并且增大牺牲阳极设置密度，其间隔距离控制在 30m 以内。土壤杂散电流分布严重的区域，在防腐蚀施工中增加排流装置，通过锌带或镁带使杂散电流引入到土壤，防止管道和电流集中释放。此外，城镇燃气管道需要穿越铁路、河流等关键节点，埋地燃气管道防腐施工的过程中，需选择套管方式进行机械保护，在套管与套管之间填充绝缘材料，以能够达到良好的防腐效果^[4]。

4.2 架空燃气管道防腐施工应用

城镇燃气管道在建设施工过程中，埋地施工方式应用较为常见，能够满足其长期运行需求。然而，埋地燃气管道在运行阶段受到紫外线、工业污染物、酸雨、盐雾等腐蚀因素影响导致其管道损坏严重。根据

城镇燃气管道埋地施工需求，结合土壤条件以及腐蚀性因素，在确定适宜的防腐蚀措施能够延长燃气管道使用寿命。工业污染区域采用“环氧富锌底漆、环氧云铁中间漆+环聚氨酯面漆”三层防腐体系，使其防腐性能合格。

上述各层在防腐施工阶段，需根据防腐技术要求对各结构层进行全面控制，进而保证结构性能达到要求。而在盐雾的腐蚀条件下，防腐涂层在配置过程中需选择使用氯化橡胶涂料。因为该材料内部含有大量的氯元素，能够有效阻隔氯离子渗透到内部和管道接触进而提高防腐效果。该结构层防腐施工阶段涂层厚度达到 300 μm 以上，进而保证防腐效果合格。而在城镇区域的架空燃气管道施工阶段，根据支架、法兰的运行需求采取必要防护性措施，使其防腐效果合格。此外，组建高水平技术团队进行巡视检查，各环节处于监控管理范围内以免因为腐蚀严重而造成事故^[5]。

5 结语

城镇燃气管道工程建设的过程中，采取适宜的防腐蚀措施，能够在一定的范围内确保管道运行效果稳定，能减少外界不良因素造成的影响。在上述研究中，针对燃气管道防腐关键技术进行了研究，从中发现在城镇燃气管道防腐施工阶段，只有根据防腐施工需求选择适宜防腐材料并落实材料试验检测工作，才能保证防腐效果达到工程技术标准，满足城镇燃气管道防腐施工需求。然而由于城镇燃气管道的施工区域不同，很多不良条件下对工程质量要求非常高。因此，在此类工程施工时，落实管道施工的质量控制，确保每个环节处于监督管控范围内，进而提高燃气管道防腐施工水平。

参考文献：

- [1] 刘志富, 詹国东, 林焕明. 天然气管道施工技术问题浅析 [J]. 化工管理, 2019, (11):163-164.
- [2] 贾宏程, 杨晓辰. 高压燃气管道防腐施工技术研究 [J]. 石化技术, 2020, 27(03):140+142.
- [3] 原一丁. 燃气管道安装及其防腐技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(08):170-172.
- [4] 张迅, 卢俊文, 周璐璐, 等. 城镇燃气管道防腐施工质量分析及控制方法 [J]. 特种设备安全技术, 2022, (02):26-28.
- [5] 孙诚. 城镇高压燃气管道安装及防腐施工技术研究 [J]. 化工设计通讯, 2023, 49(10):163-165.

作者简介：

王法胜 (1990-)，男，汉族，河南叶县人，本科，中级工程师，主要负责车用燃气，城镇燃气，管道气安全管理监督工作。