

燃气管道焊接工艺优化与焊接缺陷防治技术

张臣根 (广州燃气集团有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 本文系统阐述了燃气管道焊接工艺优化与焊接缺陷防治技术的研究与应用。首先分析了燃气管道在能源输送中的关键作用及焊接质量对安全运行的重要性, 指出当前焊接工艺中存在的参数设置不当、材料选择不合理等问题, 并深入探讨气孔、裂纹、未熔合等常见缺陷的成因。随后, 从改进焊接方法、优化焊接参数、选用优质材料、提升智能化水平等方面提出工艺优化措施, 并针对典型缺陷提出预防与检测处理技术。最后, 结合新材料、新技术的应用案例, 分析其经济效益及未来发展趋势。研究结果表明, 通过工艺优化与缺陷防治技术的综合应用, 可显著提升燃气管道焊接质量, 保障管道安全运行, 降低维护成本, 为燃气管道工程提供技术支持。

关键词: 燃气管道; 焊接工艺优化; 焊接缺陷; 自动化焊接

中图分类号: TG457.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 026-0130-03

Optimization of Welding Processes and Prevention Technologies for Welding Defects in Gas Pipelines

Zhang Chengen(Guangzhou Gas Group Co., Ltd., Guangzhou Guangdong 510000, China)

Abstract: This paper systematically elaborates on the research and application of welding process optimization and welding defect prevention technologies for gas pipelines. It first analyzes the pivotal role of gas pipelines in energy transportation and the significance of welding quality for their safe operation. The paper points out existing issues in current welding processes, such as improper parameter settings and unreasonable material selection, and delves into the causes of common defects including porosity, cracks, and lack of fusion. Subsequently, it proposes process optimization measures from the aspects of improving welding methods, optimizing welding parameters, selecting high-quality materials, and enhancing intelligence levels. It also presents prevention, detection, and treatment technologies for typical defects. Finally, by incorporating case studies on the application of new materials and technologies, the paper analyzes their economic benefits and future development trends. The research findings indicate that the comprehensive application of process optimization and defect prevention technologies can significantly improve the welding quality of gas pipelines, ensure their safe operation, reduce maintenance costs, and provide technical support for gas pipeline engineering.

Keywords: gas pipelines; welding process optimization; welding defects; automated welding

燃气管道作为城市能源输送与工业生产的核心支撑, 在现代能源体系中占据战略地位。在城市燃气供应方面, 其构建起气源与终端用户的传输网络, 将天然气、液化石油气等清洁能源稳定输送至居民家庭, 为供暖、烹饪等日常需求提供基础能源保障; 于工业领域, 燃气管道则是众多企业生产的“生命线”, 通过稳定高效的燃气输送, 为冶炼、化工等行业提供燃料与原料, 驱动工业经济持续增长。作为城市能源基础设施的关键一环, 燃气管道不仅支撑着能源结构优化与节能减排目标实现, 更在天然气主产区与消费地之间搭建起能源输送通道, 为区域经济发展注入动力。而焊接质量作为燃气管道安全运行的核心保障, 直接决定其可靠性与使用寿命。燃气管道长期处于高压、易燃易爆的严苛工况, 焊缝若存在裂纹、气孔、夹渣等缺陷, 极易引发燃气泄漏, 进而导致爆炸、火灾等重大安全事故, 造成生命财产的巨大损失。高质量焊接不仅能确保管道在复杂环境下保持稳定性能, 减少维护频次与更换成本, 更通过提升结构强度与密封性,

为城市燃气供应和工业生产筑牢安全防线, 保障能源输送的连续性与稳定性。

1 当前燃气管道焊接工艺存在的问题及焊接缺陷成因

1.1 焊接工艺存在的主要问题

燃气管道焊接中焊接参数设置不当是突出问题。焊接电流过大易造成焊缝烧穿、焊瘤并降低强度, 过小则引发未焊透、未熔合等安全隐患; 焊接速度过快会导致焊缝成形差出现凹陷及尺寸不符, 过慢则使焊缝过热晶粒粗大削弱力学性能。焊接材料选择不合理同样关键, 不同材质管道需匹配相应焊材, 如不锈钢管道误用碳钢焊条会因合金元素不匹配降低耐腐蚀性, 且焊材受潮、污染等存储不当问题也会影响焊接质量。

1.2 常见焊接缺陷类型及成因

气孔是焊接常见缺陷, 多因焊材表面油污、锈蚀等杂质在焊接时产生气体未及时逸出, 或焊接电流过小、速度过快致熔池冷却过急, 亦或潮湿环境中水分

分解出的氢进入熔池形成。裂纹危害较大，热裂纹常因焊材中硫、磷等杂质形成低熔点共晶物在高温下开裂，冷裂纹多由焊接时氢进入焊缝冷却聚集引发，焊接应力过大也是重要诱因。未熔合指焊缝与母材或层间未完全熔合，因焊接电流不足未充分熔化母材与焊条、焊接速度过快使熔金属未与母材融合，或焊条角度不当致电弧偏移未充分熔化母材或焊缝金属。如表 1 所示。

表 1：燃气管道常见焊接缺陷类型及成因

缺陷类型	主要成因	典型后果
气孔	焊材污染 / 参数不当 / 环境潮湿	焊缝致密性下降
裂纹	材料杂质 / 氢聚集 / 应力集中	结构断裂风险
未熔合	电流不足 / 焊道清理差	焊缝强度不足
夹渣	焊速过快 / 熔渣未浮出	应力集中点
未焊透	参数不当 / 坡口设计不合理	承载能力削弱

2 燃气管道焊接工艺优化措施

2.1 改进焊接方法

燃气管道焊接引入自动化设备可提升质量稳定性。全位置自动焊技术广泛应用于长输管道建设，通过自动完成管道环缝焊接，既能精准控制参数减少人为误差，又能提高效率、降低劳动强度；其先进控制系统可实时监测并调整参数保障焊接质量。激光焊接技术凭借能量密度高、速度快、热影响区小等特性，在燃气管道焊接中能形成深窄焊缝，增强焊缝强度与耐腐蚀性，且精度高适配复杂形状管道，与电弧焊复合后可进一步拓展应用范围、提升焊接效率。

2.2 优化焊接参数

表 2：典型燃气管道焊接参数参考

参数名称	推荐范围	注意事项
焊接电流	100-300A（依壁厚调整）	避免过大或过小
电弧电压	20-30V	匹配电流调整
焊接速度	5-15 cm/min	保持熔池稳定
预热温度	低温钢：100-150℃	壁厚材料必选

焊接电流直接影响焊缝质量，过大易引发烧穿、焊瘤并削弱强度，过小则导致未焊透等缺陷，需依管道材质与厚度合理选择，如厚壁碳钢管可采用较大电流保证熔合。电弧电压关系焊缝成形，过高使焊缝宽而浅易凹陷，过低则窄而深易焊穿，需配合电流与焊接速度调整。焊接速度过快会造成焊缝外形不良，过慢则因过热降低力学性能，实际操作中需结合管道材质、焊接方法与位置，通过试验确定参数组合以保障焊接质量。如表 2 所示。

2.3 选用优质焊接材料

高纯度焊丝能有效减少焊接缺陷，例如焊接铝合金时添加稀土元素 Ce 的焊丝可显著降低气孔率，焊接不锈钢管道使用高纯度焊丝可保证耐腐蚀性能、延长使用寿命。在腐蚀性环境下，耐腐蚀焊材尤为关键，如海洋环境中燃气管道采用含镍、钼合金元素的焊材，通过形成稳定氧化膜抵御腐蚀介质侵蚀，确保管道长期稳定运行。

2.4 提升自动化和智能化水平

机器人焊接技术在燃气管道焊接中优势明显，既能精准控制路径、速度与参数，保证焊缝均匀、减少缺陷，又能凭借高重复性维持稳定质量标准；其连续作业特性大幅提升效率，某项目应用后焊接效率提高超 30%、缩短工期，同时降低工人劳动强度、改善作业环境。智能化技术通过实时监测电流、电压、温度等参数，自动调整焊接过程保证稳定性，并利用在线检测及时发现缺陷、发出预警，实现焊接质量与生产效率双提升。

3 焊接缺陷防治技术

3.1 常见焊接缺陷的预防措施

预防气孔需严格清理焊接材料表面油污锈蚀，焊前烘干焊丝去除水分，合理设置焊接参数避免电流过小或速度过快，保持焊接环境干燥必要时用除湿设备。预防裂纹要控制焊材硫磷杂质含量，选用低氢型焊条，采用分段退焊等合理顺序降低应力，焊前预热减缓冷却速度，焊后热处理促进氢逸出，焊接高合金钢时可在焊缝背面加铜板散热。预防未熔合需保证焊接电流充足，控制焊接速度避免过快，保持合适焊条角度使电弧均匀加热母材与焊条，焊接时观察熔池状态及时调整操作。

3.2 焊接缺陷的检测和处理方法

无损检测是燃气管道焊接缺陷的主要检测手段。超声波检测能穿透材料发现内部裂纹、气孔等缺陷，对平面型缺陷敏感；射线检测可直观显示未焊透等内部缺陷且结果可追溯；磁粉检测适用于铁磁性材料表面缺陷检测，操作简便成本低。发现缺陷后按类型和

严重程度处理：气孔夹渣等小缺陷可打磨铲除后补焊，补焊时选合适材料和参数；裂纹未熔合等严重缺陷需用碳弧气刨彻底清除缺陷区域，按原工艺重焊，焊后再检测确保消除。处理过程需记录缺陷位置类型、处理方法及结果，为质量控制和维修提供参考。

4 新材料、新技术在焊接工艺中的应用

4.1 激光焊接技术的应用

激光焊接在燃气管道焊接中优势突出。其高能量密度实现深熔焊接，焊缝深宽比大，有效提升强度与承载能力；焊接速度快且热输入量低，热影响区小，能大幅减少焊接变形，保证管道尺寸精度；非接触式焊接特性使焊后无需复杂清理，焊缝美观质量高。德国某燃气管道项目应用案例显示，激光焊接技术成功解决了特殊材质管道的焊接难题，焊接后焊缝经检测无缺陷，管道使用寿命显著延长，充分证明该技术在燃气管道焊接中的应用潜力。

4.2 机器人焊接的应用

机器人焊接在燃气管道焊接中显著提升质量与效率。质量控制上，机器人精准控制焊接路径、参数及速度，确保焊缝均匀美观，减少缺陷产生。某项目采用机器人焊接后，焊缝一次合格率超 98%，远超人工焊接水平，且重复性作业保证了焊缝质量的一致性。效率方面，机器人可 24h 连续作业，不受人员疲劳影响，焊接效率较人工提升约 30%。如某大型工程采用机器人焊接后，焊接工期从 3 个月缩短至 2 个月，大幅降低成本，同时改善作业环境，减少有害气体与粉尘对工人的危害。

5 焊接工艺优化和缺陷防治技术的经济效益

5.1 提高生产效率

焊接工艺优化显著提升生产效率。全位置自动焊等自动化设备通过精准控制参数减少人为误差，在长输管道中大幅提高焊接速度；激光焊接凭借高能量密度和快速焊接特性形成深窄焊缝，缩短工序时间；优化焊接参数可避免因参数不当导致的中断返工，优质焊材减少缺陷返修率，保障焊接连续性；机器人焊接的 24h 连续作业能力与智能系统的实时监控调整，进一步推动效率提升。减少焊接缺陷对效率至关重要，缺陷导致的返工停机既延误进度又增加成本，通过严格清理焊材、合理设置参数、改善环境等预防措施，可降低气孔裂纹等缺陷发生率，保障焊接按计划推进。

5.2 降低成本

焊接工艺优化在成本控制中成效显著。缺陷减少使返工率下降，机器人焊接因精确控制使焊缝一次合格率超 98%，减少人力时间投入与材料消耗；优化焊接参数和选用优质焊材降低能源消耗，合理参数提升

焊接效率，高纯度焊材虽初期成本略高，但减少返工带来的能源浪费；工艺优化还能减少材料浪费，精确焊接操作与耐腐蚀材料的使用，避免因缺陷导致的材料报废，从长远降低整体成本。

6 结论

6.1 研究成果总结

燃气管道焊接工艺优化与缺陷防治技术取得显著进展。焊接工艺优化层面，全位置自动焊等自动化设备提升焊接效率与质量，激光焊接凭借高能量密度特性增强焊缝性能，焊接参数优化、优质材料选用及自动化智能化升级，共同提升焊接质量与效率。缺陷防治技术方面，针对气孔、裂纹、未熔合等缺陷形成完善的预防、检测及处理体系。这些成果显著提升焊接质量，降低安全风险，延长管道使用寿命，为燃气稳定安全供应提供技术支撑。

6.2 未来发展趋势展望

燃气管道焊接工艺与缺陷防治技术向智能化焊接、在线监测及质量控制方向发展。智能化焊接技术将更普及，机器人焊接对复杂环境和特殊材质的适应性更强；在线监测技术实现焊接参数实时采集与动态调整，保障过程稳定性；质量控制领域结合大数据与人工智能，构建精准评估与预测体系，实现缺陷提前预警。新技术应用将推动燃气管道焊接向高质量、高效率、高安全性目标发展。

参考文献：

- [1] 闻炯明, 孙磊, 李兆璞, 等. 热熔焊接工艺参数对聚乙烯燃气管道焊接残余应力的影响 [J]. 工程塑料应用, 2024, 52(08): 81-89.
- [2] 豆连旺. 天然气长输管道与城镇燃气管道安全管理对比 [J]. 煤气与热力, 2021, 41(06): 38-40+46.
- [3] 孙立凯. 燃气工程管道焊接质量管理分析 [J]. 建材与装饰, 2020, (13): 169+171.
- [4] 何钊宏. 探讨城市燃气管道焊接质量控制的要点 [J]. 建材与装饰, 2016, (24): 30-31.
- [5] 郭伟灿, 施建峰, 侯东圣. 聚乙烯管道电熔焊接头的超声相控阵检测工艺优化 [J]. 无损检测, 2015, 37(8): 5.
- [6] 张俐斌. 长输管道焊接工艺及焊接施工缺陷的防治要点分析 [J]. 文摘版: 工程技术, 2015: 108-108.
- [7] 周伟. 管道焊接工艺技术及质量控制措施探讨 [J]. 数码设计 (上), 2018.
- [8] 何慧娟. 含缺陷聚乙烯燃气管道热熔接头力学性能研究 [J]. 西南石油大学, 2015.

作者简介：

张臣根 (1985-), 男, 汉族, 广东乐昌人, 本科, 工程师, 研究方向: 燃气管道安装。