

燃气工程项目中燃气输配技术分析

原 正 江耀东 (济南华润燃气有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要: 为解决城市燃气工程中输配系统运行效率低、安全风险高等问题, 对燃气输配关键技术环节进行系统研究, 涵盖管道材料选型、压力控制策略、智能监测系统及运行优化方法。提出基于多参数联动的调压与流量协同控制技术, 以及融合边缘计算的智能监控体系, 提升系统安全性与稳定性。构建全生命周期的节能与损耗控制机制, 优化能源利用效率。以期为燃气工程设计、建设与运行管理提供技术支持与实践参考。

关键词: 燃气工程项目; 燃气输配技术; 关键设备

中图分类号: TU996.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1674-5167 (2025) 020-0100-03

Analysis of Gas Transmission and Distribution Technology in Gas Engineering Projects

Yuan Zheng, Jiang Yaodong (Jinan China Resources Gas Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: In order to solve the problems of low operational efficiency and high safety risks in urban gas engineering transmission and distribution systems, a systematic study is conducted on key technical aspects of gas transmission and distribution, including pipeline material selection, pressure control strategies, intelligent monitoring systems, and operation optimization methods. The collaborative control technology of pressure regulation and flow based on multi parameter linkage and the intelligent monitoring system integrating edge computing are proposed to improve the security and stability of the system. Build a full lifecycle energy-saving and loss control mechanism to optimize energy utilization efficiency. In order to provide technical support and practical reference for the design, construction, and operation management of gas engineering.

Keywords: gas engineering projects; Gas transmission and distribution technology; key equipment

城市能源结构转型推动了天然气在供能体系中的广泛应用, 燃气输配系统作为连接气源与用户的枢纽, 面临安全性、连续性与智能化管理等多重技术挑战。随着用气需求日益复杂, 传统输配模式在灵活调度、风险防控与运行效率方面暴露出诸多局限。需通过技术升级与系统集成手段, 对输配系统进行全面优化, 保障燃气工程在复杂环境下的稳定运行与高效供能。

1 燃气输配系统概述

燃气输配系统是城市燃气工程中的核心组成部分, 主要承担燃气从气源输出端至终端用户之间的高效、安全输送与分配任务。该系统由长距离输气管道、城市主干管网、区域配气管道、调压设施及相关附属设备构成, 按照压力等级划分包括高压、中压和低压三级结构, 各级系统间通过调压站实现压力衔接与稳定控制。其运行依赖于合理的管网布局、高性能管材选型及精密的压力控制技术, 确保燃气在输配过程中的流量均衡、压降合理与传输效率最优。现代燃气输配系统广泛引入自动化控制、流量监测及应急切断技术, 以提升运行的动态响应能力与系统安全冗余水平。系统整体设计需综合考虑区域负荷分布、地理条件、管道应力及腐蚀风险, 实现多维参数下的工程最优配置, 确保燃气在高密度用户环境中的连续、稳定与高

效供应^[1]。

2 燃气输气技术分析

2.1 输气管道材料与结构技术

输气管道材料的选择直接关系到系统的运行稳定性与安全性, 常用材料包括螺旋缝埋弧焊钢管 (SSAW)、直缝埋弧焊钢管 (LSAW) 及高密度聚乙烯 (HDPE) 管材, 其中钢制管道因其高强度和良好耐压性能广泛用于高压输气场景。钢管常采用 API 5L 标准下的 X52、X60 或 X70 等级材料, 抗拉强度分别为 455MPa、517MPa 和 565MPa, 适用于工作压力 1.6MPa 以上的主干输气管线。结构设计方面, 需综合考虑管壁厚、环向应力与轴向应力计算, 依据 ASME B31.8 或 GB 50251 标准进行设计, 确保在最大工作压力下具备足够安全裕度。为提升抗腐蚀性能, 管道表面通常施加三层聚乙烯 (3PE) 防腐层, 并辅以阴极保护系统以延缓电化学腐蚀速率, 保护周期可达 30 年以上, 从而保障长期运行的结构完整性与稳定性。

2.2 输气管道布设技术

输气管道布设技术需综合考虑地质条件、气源分布、环境敏感区域及城市规划限制, 采用地理敷设方式时常将覆土深度控制在 0.8~1.2m 之间, 以防止外力破坏及温度波动影响。在穿越河流、道路及高风险区

域时,通常采用盾构、定向钻或顶管法进行非开挖施工,确保工程实施过程中的稳定性与安全性。布设路径应遵循最短路径原则与避让原则的有机结合,避免管道穿越地质断层、滑坡体或高腐蚀土壤区域,以降低结构应力集中与腐蚀速率。沿线需设置阀室、排水器与放散管等设施,阀室间距一般控制在8~10km,便于分段管理与应急隔断操作。为减缓热胀冷缩引发的应力集中问题,长距离直线段需配置波形补偿器或自然补偿段,从而增强管道系统在运行中的适应性与安全性。

2.3 输气调压与输送控制技术

输气调压与输送控制是维持燃气系统压力稳定性与输送效率的核心环节,其主要组成包括调压站、压力控制阀组及流量调节设备。调压设备根据系统压力等级分为高压调中压、中压调低压两类,常采用弹簧膜片式、自力式及先导式调压器,其中先导式调压器具动态响应快、压力控制精度高的特点,调压误差可控制在 $\pm 2\%$ 。输送控制系统需实时监测进出口压力、流速与温度参数,并通过SCADA系统实现远程控制与运行状态诊断。为应对高峰流量波动,调压系统应具备自动旁通切换功能与多级冗余设计,保证燃气连续稳定输送。在主干输气管线上,需设置节流调节装置与超压保护阀,节流比控制在1.2~1.5范围内,以实现能耗最小化与压降合理分布。控制系统还应集成数据存储与趋势分析功能,支持动态工况下的运行优化与预测性维护策略^[2]。

3 燃气配气技术分析

3.1 城市燃气配气管网结构设计

城市燃气配气管网结构需在保障供气稳定性与经济性之间取得平衡,常见形式包括枝状、环状与网格式结构。其中,网格式管网具备双向供气能力,适用于高密度用户区域与高可靠性要求的城市中心区域。设计时需依据城市分区负荷特性进行分区规划,主干管、支管及庭院管之间应形成分级供气结构,并设定合理的流向控制界面。为避免系统压降过大与局部供气不足问题,环网直径通常不小于DN200,支管压力控制在2.0~4.0kPa范围内,确保低压配气系统运行稳定。系统布局需结合用户密度、地形条件及发展预期进行动态扩展设计,关键节点设置压力监测点与阀控单元,提升调度灵活性。同时,配气网络在设计阶段应充分考虑事故切断与迂回供气路径,通过管网拓扑优化降低运行故障造成的影响范围,提高系统鲁棒性与冗余度。

3.2 配气系统的管道选型与布局技术

城市燃气配气系统的管道选型需结合压力等级、

铺设环境及介质特性综合评估,常用材质包括中密度聚乙烯(MDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)与环氧树脂防腐钢管。其中HDPE管适用于中压以下($\leq 0.4\text{MPa}$)的支线与庭院管道,具有良好的柔韧性与耐腐蚀性能,通常选用PE80或PE100等级材料,其拉伸强度分别不低于8MPa与10MPa。钢质管道则主要应用于中压主干管与特殊工况区域,须满足GB/T 9711标准要求。

管道布局应避免与热力、电力及通信管线交叉布设,埋深一般控制在0.6~1.0m,穿越建筑物基础或地下结构时须加装保护套管。系统设计中需对配气压力梯度进行严格控制,确保沿线用户压力波动不超过 $\pm 15\%$,同时通过合理配置支管路径与环状联络管,实现局部供气均衡与系统压损优化^[3]。

3.3 配气系统的安全技术措施

配气系统的安全保障技术涵盖从设计、施工到运行各环节,核心措施包括泄漏监测、防爆隔离、过压保护与紧急切断控制。在低压系统中,泄漏检测采用可燃气体在线探测器与定期管道泄漏率测试相结合的方式,探测精度不低于5ppm,以实现早期预警。对于中压及以上管道,需设置自动关闭阀(SOV)与超压切断阀,响应时间不超过2s,以应对突发压力异常。系统防爆设计依据GB 50058标准执行,关键区域安装防爆电器与防雷接地装置,确保电气系统运行安全。同时,城市燃气配气系统应布设区域调压箱与末端放散管,具备超压放散与反压保护能力,调压误差控制在 $\pm 5\%$ 。运行阶段需开展基于风险评估(QRA)的定期维护策略,对重点管段实施声发射检测、磁通泄漏检测与腐蚀速率评估,提升系统长期运行的安全水平与结构完整性。

4 输配系统中的关键设备与技术组件

4.1 调压站与调压器技术

调压站在燃气输配系统中承担压力转换、流量调节与系统保护等多重任务,其结构布局应符合分级调压与分区控制的工程逻辑。不同压力等级下的调压器选型依赖于流量需求与调节精度要求,自力式调压器适用于中小型用户系统,调节范围一般为0.5~6 bar,稳压精度可控制在 $\pm 5\%$;而先导式调压器适合大型主干管网,稳压精度可达到 $\pm 1.0\%$,最大允许流速可超过10000 Nm³/h。调压站内部还需设置超压切断阀、放散阀及安全释放管道等保护组件,确保系统运行不受压力突变干扰。

4.2 阀门与计量设备技术

阀门与计量设备作为燃气输配系统中的关键控制节点,其选型与配置直接影响系统的操作灵活性与运

行效率。在主干输气与分区控制管线上,常选用浮动式球阀与金属密封蝶阀,球阀适用于高压环境,压力等级一般为PN16~PN64,启闭扭矩小、密封性强;蝶阀适用于大口径中压管道,口径范围可达DN1000,具备良好的流通能力与低压损特性。为实现对燃气流量的高精度测量,配套使用容积式腰轮流量计或多声道超声波流量计,腰轮计量精度可达 $\pm 1.5\%$,适用于 $0.016\sim 1000\text{ m}^3/\text{h}$ 范围;超声波流量计则适用于大流量场景,重复性误差优于 0.2% 。各类计量设备需与温压补偿模块及电子数据转换终端集成,实现自动修正标准体积流量。同时,为提高数据可靠性,系统应配置双向校验机制及异常数据报警功能,保证在高动态负荷条件下实现连续、准确的气量计量与费用核算^[4]。

4.3 自动化监控与智能管理技术

自动化监控与智能管理技术通过构建集感知、分析与执行为一体的多层级控制体系,实现对燃气输配网络运行状态的精准掌握与动态调节。系统核心为工业级SCADA平台,结合PLC控制器与RTU远程终端,实现对关键节点如调压站、阀室与末端用户接口的全时段数据采集与指令响应。系统采样周期一般为5s,控制精度优于 $\pm 0.1\text{ bar}$,具备实时显示、远程操控与趋势分析等多重功能。在数据通信方面,采用4G/5G蜂窝通信、光纤以太网与Lora等多种冗余通信路径,确保在复杂工况下的数据传输稳定性。

5 输配系统的运行管理与优化

5.1 输配系统的运行调度策略

燃气输配系统的运行调度需以系统负荷动态变化为依据,结合实时数据分析、预测模型与控制逻辑,构建分层协调调度机制。主调度中心通过收集管网压力、流量与终端用气数据,对各区域进行压力控制与气源分配调节,确保高峰时段系统供气稳定性。负荷预测采用灰色模型、BP神经网络及ARIMA时间序列等方法,预测精度可控制在 $\pm 5\%$ 以内,适应日负荷波动达30%以上的运行特性。调度系统通过分区压控与多路径供气策略优化流场结构,在运行过程中根据压力分布调整阀门开度与调压装置设定值,实现整体压降优化与流量平衡。典型调度周期为15min,具备自动修正与多目标优化功能,涵盖经济性、安全性与设备可用性等多项指标。

5.2 输配系统的运行安全保障

燃气输配系统的运行调度需以系统负荷动态变化为依据,结合实时数据分析、预测模型与控制逻辑,构建分层协调调度机制。主调度中心通过收集管网压力、流量与终端用气数据,对各区域进行压力控制与气源分配调节,确保高峰时段系统供气稳定性。负荷

预测采用灰色模型、BP神经网络及ARIMA时间序列等方法,预测精度可控制在 $\pm 5\%$ 以内,适应日负荷波动达30%以上的运行特性。调度系统通过分区压控与多路径供气策略优化流场结构,在运行过程中根据压力分布调整阀门开度与调压装置设定值,实现整体压降优化与流量平衡。典型调度周期为15min,具备自动修正与多目标优化功能,涵盖经济性、安全性与设备可用性等多项指标^[5]。

5.3 输配系统的节能与损耗控制

燃气输配系统在运行过程中存在因压降、泄漏及系统匹配不当引起的能源损耗,节能与损耗控制需从输送优化、设备效能与系统耦合三方面进行系统性提升。首先,通过优化管网结构与压力分布模型,减小非必要压差与流动阻力,降低单位体积燃气的能耗,理论压降控制值一般设定为每公里小于 0.05 MPa 。其次,采用高效调压设备与低摩阻管材以减少能量转换与输送过程中的损失,调压系统能效比(COP)需达到0.85以上。同时,实施智能压力调节与时段分配策略,在夜间低负荷阶段降低系统运行压力,实现变压运行节能,年节气率可达 $2\%\sim 4\%$ 。对于泄漏控制,配备红外巡检、激光雷达扫描与流量突变分析等多种技术手段进行源头识别与实时修复,泄漏率控制目标不高于 0.3% 。

6 结语

总而言之,燃气输配技术在燃气工程项目中起着承上启下的关键作用,其技术水平直接影响系统运行的安全性、经济性与可持续性。从管道材料与结构、调压与控制系统,到智能化监控与运行管理,每一环节都需精细设计与高效协同。随着城市燃气需求持续增长,输配系统在复杂环境下的适应性与稳定性愈发重要,推动其向智能化、低碳化方向发展已成为技术优化的重要路径。

参考文献:

- [1] 蔡世长. 燃气工程项目中燃气输配技术研究[J]. 石化技术,2024,31(02):116-118.
- [2] 武国兵,高杰,金鑫. 燃气工程项目中的燃气输配技术[J]. 化学工程与装备,2023(10):77-79.
- [3] 刘雪峰. 燃气工程项目中的燃气输配技术研究[J]. 山西冶金,2023,46(01):60-61.
- [4] 张晓华. 燃气工程以及燃气工程项目中的燃气输配技术和提高办法[J]. 现代工业经济和信息化,2021,11(01):26-27+40.
- [5] 高源. 燃气工程项目中燃气输配技术研究[J]. 住宅与房地产,2020,(09):234.