

燃气工程中燃气输配技术的研究与实际应用

周宗敏（济南能源工程集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：为解决燃气输配过程中效率低下、安全隐患及运行不稳定等问题，本文对燃气输配技术的关键研究方向和实际应用进行了深入探讨。针对管网优化设计、压力控制、计量与监控技术等方面，提出了通过智能化管理平台、先进材料应用及动态调控技术提升输配效率的措施。同时，结合新型输配技术的应用趋势，分析了绿色能源与输配系统耦合的潜力和方向。本文旨在为燃气工程中的输配系统设计与运行提供理论支撑和技术参考，为保障能源安全与优化能源利用效率贡献力量。

关键词：燃气工程；燃气输配技术；实际应用

0 引言

燃气输配技术是燃气工程的重要组成部分，对能源利用效率和供气安全具有决定性影响。随着能源需求的持续增长，燃气输配系统逐渐向高效化、智能化方向发展，但复杂管网的调控难度和安全管理问题依然严峻。在此背景下，燃气输配技术的优化与创新成为提升能源利用率和保障供气安全的重要路径。通过系统性研究和技术手段的综合应用，可实现对燃气输配系统效率的全面提升，进一步推动清洁能源体系的稳定发展。

1 燃气输配技术的基本概念与分类

燃气输配技术是指将燃气从生产或储存设施通过管网系统输送到用户端的全过程，是燃气工程中的核心环节之一。其主要任务包括压力调节、流量分配和质量控制，以确保燃气在输配过程中高效、安全、稳定地传递。根据系统功能和特点，燃气输配系统可分为城市燃气输配系统和长输管道输配系统两大类。城市燃气输配系统通常包括高压、中压和低压三种供气等级，其设计需要满足分布式供气需求和用气负荷的动态变化；长输管道输配系统则侧重于远距离高压输送，注重输送效率和压力损失的最小化。此外，燃气输配技术涵盖管网优化设计、流体力学参数计算、调压设备配置、以及监测与自动化控制等技术要素，需综合考虑管道材料的耐腐蚀性、节点压力的均衡性以及系统运行的可靠性^[1]。

2 燃气输配技术的关键研究方向

2.1 燃气管网的设计优化

燃气管网的设计优化是燃气输配技术研究的核心领域之一，直接影响输配系统的经济性、稳定性和运行效率。管网设计需基于用气需求预测，采用优化算法确定管道布局、管径选择及压力级配，以实现最低

能耗下的输配目标。常用的管网优化方法包括基于非线性规划的流量分配模型和基于图论的管网结构优化模型。管道内的流体力学特性决定了管径的选择，其中管道直径与气体流量呈平方关系，而过小的管径会导致过大的压力损失和能耗；相反，过大的管径会增加建设成本。压力损失计算需基于达西-韦斯巴赫公式，考虑燃气的密度、黏度和管壁粗糙度等参数，同时结合流量计的测量数据进行修正。在复杂管网中，多路径输气问题需通过网络简化算法和混合整数线性规划解决，以优化系统运行效率。设计中还需综合考虑管网节点压力的平衡性，确保末端用户的用气压力符合国家标准（如 0.3MPa 以上），以满足用气设备的正常运行需求。

2.2 燃气输配过程的压力控制技术

压力控制技术是保障燃气输配系统安全运行和效率提升的关键环节，通过精准的压力调节实现气体输配过程中的动态平衡。压力调节设备主要包括减压阀、调压器和调压站，其性能直接决定系统的运行稳定性。燃气输配过程中，压力波动会因用户用气负荷变化或管网复杂性产生，过高压力会导致管道超压失效，而过低压力则会影响用户供气质量。减压阀的设计需依据流量需求和压力比选择合适的弹簧刚度与膜片材料，并通过设置前后压力传感器实现闭环控制。当前，高精度调压技术借助电子式调压器和变频压缩机实现了动态实时调整，可将压力控制误差控制在 $\pm 0.02\text{MPa}$ 以内。为应对复杂管网中的瞬态压力变化，采用计算流体力学（CFD）模拟预测压力波动，并结合模糊控制算法优化调节策略，有效提升了系统的响应速度和稳定性^[2]。

2.3 燃气输配的计量与监控技术

计量与监控技术在燃气输配系统中占据重要地

位,是确保输配效率、降低能源损耗和保障供气质量的关键手段。燃气计量技术的核心是高精度流量测量设备的选型与应用,包括涡轮流量计、超声波流量计和差压流量计等,其测量精度通常达到 $\pm 0.5\%$ 以内,以满足高精度要求。

超声波流量计因其非接触测量特性和抗干扰能力,适用于高流速、大管径输配管道,而差压流量计更适合中低压管道的计量需求。在计量过程中,需充分考虑燃气的组分变化对密度和流量的影响,采用实时温度、压力和成分补偿技术提高测量准确性。监控技术方面,输配系统通常配备 SCADA 系统,可实现数据的实时采集与远程控制,通过传感器网络对压力、温度和流速进行动态监测,并结合大数据分析对异常工况进行诊断和预警。基于 GIS(地理信息系统)技术的监控平台能够直观展示管网运行状态,并通过数据整合与可视化实现快速定位与处理输配故障,从而保障系统的运行效率和安全性。

2.4 燃气输配中的安全技术

燃气输配中的安全技术是保障系统运行稳定性和用户用气安全的核心,涵盖泄漏检测、管道保护和应急响应等多个方面。泄漏检测技术是关键,广泛采用光纤传感、声波探测和红外气体分析等先进手段,能在泄漏发生后数秒内定位并报警,其中基于光纤的分布式传感技术检测精度达到 10ppm 级,适合高精度要求的长输管道。

管道保护技术主要针对腐蚀与机械损伤问题,通过外防腐层、阴极保护和智能检测设备等手段延长管道寿命,阴极保护系统需根据土壤电阻率选择合适的电位,通常保持在 -850mV 以下以避免腐蚀。自动化安全控制技术则利用调压器中的紧急切断装置和泄压阀,在管道压力异常时迅速切断或疏散燃气,响应时间小于 2s。应急响应技术侧重于通过模拟平台与灾害预测模型优化处置流程,基于 AI 技术的智能预警系统能够实时分析运行数据并提前规避潜在风险,为燃气输配系统提供全方位的安全保障。

3 燃气输配技术的实际应用

3.1 燃气输配系统的运行与维护

燃气输配系统的运行与维护是保障燃气安全稳定供应的核心环节,涉及管网运行监测、设备保养与性能评估等技术内容。在运行过程中,管网监测需采用实时数据采集与分析系统,通过压力传感器、流量计和温度传感器等设备,记录燃气流量、管道压力和环

境温度等关键参数,以确保输配系统在设计工况范围内运行。

管道的长期维护需注重外部防腐与内壁结垢的治理,外部防腐主要依赖于高分子涂层与阴极保护技术,而内壁结垢的清理则采用机械清管与化学清洗相结合的方式。在设备保养方面,定期校验调压设备和流量计是关键,确保其压力调节精度在 $\pm 0.02\text{MPa}$ 以内,流量计测量误差控制在 $\pm 1\%$ 以内。此外,采用无人机巡检与智能机器人检测技术,可以对埋地管道进行精确定位与状态评估,大幅提高检修效率和精准度。运行维护中需借助生命周期评估(LCA)技术优化资源配置,进一步提升系统的经济性和环保性^[3]。

3.2 燃气输配系统的信息化与智能化

燃气输配系统的信息化与智能化是提升输配效率、降低运维成本和强化安全保障的重要技术方向。信息化技术以 SCADA 系统为核心,结合分布式传感器网络和无线通信技术,实现输配数据的实时采集、传输与监控。通过构建数字化管网模型,能够实时反映管网的运行状态,并结合数据挖掘技术进行异常工况分析与趋势预测。智能化技术以物联网(IoT)和大数据技术为基础,将传感器数据与云计算平台联动,优化调度与管理策略。例如,基于 AI 算法的流量预测模型,可准确预测高峰负荷需求,提高系统调节能力。输配系统中的智能控制设备,如电子调压器和远程控制阀,能够实现对压力、流量和温度的动态调节,响应时间控制在毫秒级别。

在安全管理方面,基于人工智能的预测性维护技术可通过历史数据建模提前识别潜在故障,有效降低管网事故率。此外,GIS 技术与智能巡检系统的结合,可以通过全景地图直观展示管网状态,快速定位故障点并制定应急预案。

3.3 新型燃气输配技术的应用趋势

新型燃气输配技术的研究与应用趋势集中于能源利用效率提升、环境影响减小和系统稳定性优化等领域。液化天然气(LNG)输配技术凭借其高密度储运优势,逐渐成为长距离输配系统的重要补充。LNG 气化站的设计需结合气化设备的效率与调节能力,并采用多级换热技术将热效率提升至 90% 以上。可再生能源的引入是新兴趋势之一,例如利用太阳能和风能为输配系统提供辅助能源,显著降低运行能耗。分布式燃气输配技术逐渐受到关注,其通过构建模块化供气单元,减少传统大规模管网的依赖,并结合微型输配

系统满足局部需求。

此外,高性能材料的应用如高密度聚乙烯(HDPE)管道和复合材料管道,可显著提升管道的耐压性能和抗腐蚀能力。智能检测与调控技术的发展,为新型燃气输配提供了精确的运行管理手段,其中基于5G网络的实时控制技术将响应延迟降低至毫秒级,大幅提升了管网的灵活性和可靠性^[4]。

4 燃气输配技术面临的挑战与解决策略

4.1 燃气输配技术中的主要技术难点

燃气输配技术面临的首要难点在于复杂管网的压力平衡与动态调控。随着城市燃气管网的扩展和用户负荷的不确定性增加,传统静态压力调控方法难以满足多节点、多路径输配系统的运行需求。不同供气区域间的压力梯度必须精确调节,否则容易导致管道末端用户用气压力不足或超压引发安全隐患。在复杂管网中,压力损失计算需要综合考虑管径变化、气体物性参数和管道局部阻力的影响,且需解决非线性流体动力学方程求解过程中的计算收敛性问题。此外,用户负荷的实时波动会加剧压力波动,对调压设备的响应速度和稳定性提出了更高要求。

另一个显著难点是燃气输配过程中的泄漏检测与定位技术。随着管网规模的扩大和输配距离的增加,传统泄漏检测手段的灵敏度和精确度难以满足实际需求。长输管道中,泄漏信号往往被管道噪声和外界干扰掩盖,导致检测信号的解析复杂化。基于声波与压力波的检测技术在长距离管网中存在响应滞后现象,而基于红外和光纤传感的技术对设备安装和环境适应性要求较高。此外,地下燃气管道的泄漏检测难度更大,其土壤气体扩散特性、温度变化及管道埋深均会显著影响检测的可靠性。

4.2 提升燃气输配技术效率的解决策略

提升燃气输配技术效率的关键在于管网优化设计与输配动态调控的深度结合。首先,通过引入先进的流体动力学仿真工具,对管网内气体流动特性进行精准建模和优化分析,以减少不必要的压力损失。基于非线性规划的输配系统优化算法,可在多变量条件下快速求解最优管径、压力级配和流量分配方案,从而有效降低输配能耗。针对大型复杂管网的动态运行,结合传感器网络实时获取节点压力和流量数据,应用机器学习算法实现负荷预测与自动化调控,可使管网运行效率提升10%以上。

此外,为进一步降低能耗,应采用高效调压设备

和智能分区技术,通过精准控制每一区域的压力与流量分布,将整体输配损耗降至最小^[5]。

技术效率的提升还需依赖于先进输配设备和材料的选用。管道材料的选择对输配效率有直接影响,例如高密度聚乙烯(HDPE)管道,其摩擦系数仅为钢管的30%,在长输管网中可减少20%以上的压力损失。此外,采用内壁特种涂层技术的钢管可显著降低气体摩擦阻力,并增强耐腐蚀性能。针对调压站和压力控制系统,配置具有动态调节能力的电子调压器和高精度流量计,可确保压力调节误差控制在 $\pm 0.02\text{MPa}$ 以内。

在自动化方面,利用SCADA系统实现输配设备的实时监测和远程控制,可将人工干预减少至最低,同时通过智能化管理平台优化整体输配流程,显著提升输配系统的经济性与安全性。

5 结语

总而言之,燃气输配技术作为燃气工程的核心,直接关系到能源高效利用和系统安全运行。通过对输配系统的优化设计、动态调控以及信息化管理的深入应用,燃气输配技术在实际工程中实现了更高的输配效率和稳定性。技术进步不仅能提高长输管道和城市燃气管网的运行效能,还能为应对复杂输配条件和多样化用户需求提供有力支撑。

此外,新材料、新设备以及智能化控制技术的推广应用,为燃气输配技术注入了更多创新元素,使其在环保、节能和安全领域展现出更强的优势。

未来,随着智能化和绿色能源理念的不断深化,燃气输配技术将在提高能源利用率和保障清洁能源稳定供应方面发挥更加重要的作用,为现代能源体系的发展提供强有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 宋庆松. 燃气工程中的燃气输配技术研究[J]. 低碳世界, 2024, 14(06): 49-51.
- [2] 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.
- [3] 刘德玉. 燃气工程中燃气输配技术探析[J]. 当代化工研究, 2023(06): 130-132.
- [4] 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.
- [5] 王彬. 燃气工程中燃气输配技术的研究与实际应用[J]. 价值工程, 2020, 39(28): 171-172.