

城市燃气输配系统的优化设计与能效提升路径研究

叶龙杰 李星辰（海盐县天然气有限公司，浙江 嘉兴 314300）

摘要：随着城市化进程加快，天然气需求持续增长，城市燃气输配系统作为连接能源供应与用户的关键环节，其运行效率和能效水平对城市能源管理和绿色发展至关重要。目前，多数城市在管网布局、设备性能及能效管理方面仍存在问题，需通过优化设计和技术升级加以改进。本文对燃气输配系统的构成和运行机制进行了分析，指出能效瓶颈，提出了管网布局、压力调控及智能化设计的优化方案，并通过案例验证了其在提升能效与保障安全方面的成效。

关键词：城市燃气；输配系统；优化设计；能效提升；节能技术

中图分类号：TU996 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 016-0133-03

Research on Optimization Design and Energy Efficiency Improvement Path of Urban Gas Transmission and Distribution System

Ye Longjie, Li Xingchen (Haiyan County Natural Gas Co., Ltd., Jiaxing Zhejiang 314300, China)

Abstract: With the acceleration of urbanization, the demand for natural gas continues to grow. As a key link connecting energy supply and users, the operational efficiency and energy efficiency level of urban gas transmission and distribution systems are crucial for urban energy management and green development. At present, most cities still have problems in pipeline layout, equipment performance, and energy efficiency management, which need to be improved through optimized design and technological upgrades. This article analyzes the composition and operation mechanism of gas transmission and distribution systems, points out energy efficiency bottlenecks, proposes optimization schemes for pipeline layout, pressure regulation, and intelligent design, and verifies their effectiveness in improving energy efficiency and ensuring safety through case studies.

Keywords: urban gas; Transmission and distribution system; Optimize design; Energy efficiency improvement; Energy saving technology

近几年伴随着“碳达峰、碳中和”战略的深入实施，清洁能源在城市能源结构中的比重逐步上升，天然气因其清洁、高效的特性，被广泛应用于城市居民生活、工业生产与公共服务领域。

然而燃气输配系统作为城市能源保障的重要基础设施，受制于历史规划滞后、设备老化与技术手段落后，普遍存在输配效率低、能耗高及安全风险大等问题，不仅增加了运行成本，也制约了燃气资源的高效利用。特别是在城市人口密集、用气需求波动频繁的背景下，传统输配系统在应对复杂工况时显得力不从心。

如何通过科学的系统优化与节能技术的应用，提升城市燃气输配系统的运行效率与能效水平，已成为燃气行业亟需解决的重要课题。本文立足于实际运行需求，系统探讨优化设计路径与能效提升策略，旨在为城市燃气系统的高质量发展提供理论支持与实践参考。

1 城市燃气输配系统的发展现状与现实挑战

1.1 燃气输配系统的结构构成与运行机制

现代城市的高效运行离不开完善的能源保障体系，而天然气作为清洁、高效的能源，已成为城市能

源消费的重要组成部分。在这一能源网络中，城市燃气输配系统扮演着至关重要的角色，它是连接能源供应端与终端用户之间的桥梁，承担着将天然气安全、稳定、高效输送至用户的重任。整个系统由城市门站、高中低压输配管网、调压设备、阀门井以及监控调度平台等组成，各环节协同运作、相辅相成，形成一套完整的输配体系^[1]。天然气首先通过门站进入城市输配网络，经过严格计量与初步调压后，依次输送至各级管网，再通过末端调压装置确保压力适宜，最终送达居民、商业及工业用户。

随着信息技术的不断进步，燃气企业开始逐步引入智能化设备与远程监控系统，使原本运行状态“隐匿”的输配系统实现了实时可控。通过广泛部署传感器和数据采集终端，运营方能够动态掌握系统各节点的压力、流量等关键参数，进而实现对整个输配网络的可视化管理与精细化调度。同时，调度中心依托大数据分析能力，能够提前预测用气趋势，并据此调整供气方案，优化资源分配，提高运行效率。然而，许多城市现有的输配系统在设计之初，更多依赖经验判断和局部数据，缺乏对未来用气需求变化和城市扩张的前瞻性考虑。这种短板使得系统在应对复杂运行工

况、维持供需平衡方面逐渐显现出局限性。因此,对于各地燃气运营单位而言,推动输配系统的科学化规划与智能化升级,已成为提升系统能效与保障城市能源安全的必由之路,也是现代化城市能源管理的重要体现。

1.2 输配系统面临的关键问题与能效短板

尽管城市燃气输配系统日复一日地保障着城市的能源供应,为千家万户带来温暖与便利,但其在运行过程中也暴露出诸多问题。许多城市的管网建设起步早,部分设备已经服役多年,存在老化、腐蚀等问题,这不仅威胁着供气安全,也增加了系统的维护成本与能量损耗。早期的管网布局往往缺乏前瞻性规划,随着城市规模的不断扩大,部分区域出现供气路径冗长、输配压力不足或过高等现象,导致系统运行效率低下,能源利用率不高。尤其在供气高峰期,压力波动频繁,增加了事故风险,也使能效水平进一步下降^[2]。

从管理角度来看,目前多数城市的燃气输配系统仍以人工巡检与经验判断为主,缺乏智能化的管理工具,难以及时发现和解决潜在问题,响应效率低。更为突出的是,系统在能效评估与节能管理方面普遍滞后,缺乏科学的能耗监测机制和节能控制策略,导致运行中存在大量“隐性”能源浪费。技术手段与管理理念的滞后,不仅影响企业的经济效益,也与绿色低碳的发展目标相悖。提升输配系统能效,不仅关乎运营成本的控制,更是实现城市能源可持续发展的必要路径。要实现这一目标,必须从系统设计、技术升级到运维管理进行全面优化,使城市燃气系统真正迈向高效、安全、绿色的发展新阶段。

2 输配系统的优化设计

2.1 管网布局与压力调控优化

城市燃气输配系统的运行效率,很大程度上取决于管网的合理布局与压力的科学调控。现实中,很多城市的燃气管道系统是在早期规划的基础上不断扩展而成,存在部分区域管道分布密集、路径交叉复杂,甚至“管网老化”与“管径不匹配”等问题。这些问题不仅增加了燃气在输送过程中的能量损耗,也埋下了安全隐患。优化布局应立足于现有城市发展格局与用气数据分析,合理规划主干管道走向,简化输配路径,并加强对边缘区域与新兴用气区的覆盖,从而实现输送路径的最短化与压力损失的最小化^[3]。当前在压力调控方面有不少输配系统仍依赖固定模式或人工干预,难以应对用户负荷波动带来的压力变化。我们通过引入动态压力调控技术,可实现对系统运行状态的实时感知与自动调节,保持管道压力在安全范围内波动,降低事故风险。

与此同时我们可以采用多级调压和压力分区管理,这有助于分散系统压力,提高调控的灵活性与精度。在关键节点部署压力监测装置,并建立与调度中心联动的控制机制,可以实现对异常压力的快速响应与处置。通过布局与压力双重优化,不仅能显著提升系统能效,还能减轻运维压力,为城市燃气系统的稳定运行提供坚实保障。

2.2 智能化设计与安全性提升

在数字化技术迅猛发展的背景下,城市燃气输配系统正在经历由传统“被动运维”向“智能调控”的深刻变革。燃气企业将智能化设计作为系统升级的核心手段,围绕信息感知、数据互联与智能决策等环节,不断推进系统的现代化建设。通过在管网的关键节点部署高灵敏度传感器,企业能够实时采集压力、流量、温度以及阀门状态等重要运行数据,并借助无线通信技术将这些数据快速传输至后台数据中心,实现集中化管理和实时分析。大数据分析与人工智能技术被广泛应用于运行模式的优化,系统不仅能够对历史数据进行深度学习,还能够提前预测用气趋势,调整调度策略,从而有效提升能源利用率与输配效率。

智能化设计也显著增强了系统的安全保障能力。运营方通过构建故障自诊断机制,实现了对异常情况的即时响应。一旦监测到运行参数异常,系统能够自动触发应急预案,如远程关闭阀门、发送预警通知等,有效压缩反应时间,防止事故扩大。远程监控与控制技术的引入,使运维人员可以不受时间和空间限制,随时掌握系统状态,提升了管理效率和应急响应能力。在硬件方面,企业普遍采用高可靠的调压装置、防爆型传感器和耐腐蚀材料,进一步增强了系统的稳定性与使用寿命。智能化升级不仅是技术层面的提升,更体现了燃气行业对城市安全、能源高效利用与公共服务质量的综合关注,是引领燃气输配系统迈向高质量、智慧化发展的重要路径。

3 输配系统能效提升路径

3.1 关键环节节能技术分析

提升城市燃气输配系统的能效,并非简单地降低能源消耗,而是要在保障供气安全与稳定的前提下,通过技术创新优化系统运行。能效提升应聚焦于输配系统的几个关键环节:压缩机与调压站是能耗“大户”,通过选用高效节能型压缩机、变频控制技术及智能调压设备,可显著降低电耗与燃气自身能耗^[4]。输气过程中,气体流动产生的能量损耗较大,管道内壁涂层的改良、管径选择优化以及保温技术的应用,均能有效减少流动阻力与热量损失。管道泄漏不仅带来安全风险,也意味着能源的浪费,引入高精度泄漏检测与

定位技术，可实现早发现、早处理，避免能耗无谓流失。智能化监控系统在节能方面同样发挥着重要作用，通过实时采集与分析系统数据，合理分配资源，实现系统整体能效的提升。综合运用这些节能技术，不仅降低了运营成本，也为城市绿色发展目标贡献了坚实力量。

3.2 能效优化实施策略

在节能技术基础之上，如何将这些技术转化为切实可行的管理行动，是能效提升能否落地的关键。优化实施策略需从系统化、规范化与智能化三个维度着手。我们应建立健全输配系统的能效评估体系，制定针对不同环节的能效基准与考核标准，通过定期评估与数据比对，找出能耗异常点并及时调整。加强运维管理，推广标准化作业流程与能效管理制度，强化员工节能意识与技能培训，使节能理念深入日常操作^[5]。在技术层面上，我们应要推动智慧燃气平台建设，实现设备运行状态与能效数据的动态管理，优化压缩机启停时间、调压模式和输配路径，提高整体运行效率。除此之外还要做到可探索绿色能源协同应用，如结合太阳能、电能等多元能源形式，进一步减少系统对传统能源的依赖。

能效优化不仅关乎节能降耗，更体现出城市能源治理水平的提升，是构建安全、清洁、高效燃气输配体系的重要一环。

4 案例分析与经验总结

4.1 优化设计应用案例

以某沿海城市为例，该市近年来天然气需求持续增长，原有燃气输配系统面临供气压力大、能效低及安全隐患频发等问题^[6]。市燃气公司启动了输配系统的全面优化升级工程。

针对管网布局杂乱、路径冗长的问题，技术团队开展了全面的管网排查与数据建模，重新规划了主干管道走向，并优化了压力分区设计，缩短输送距离，减小能量损耗。在调压环节，该市引入了智能调压设备，实现了压力的动态自动调节，有效缓解了用气高峰期压力波动大的问题。为提高系统的响应速度与安全性，管网重要节点布设了高灵敏度传感器，并与城市燃气调度中心实现互联互通^[7]。该项目引入了基于物联网的燃气管网管理平台，使运维管理由传统的被动巡检转变为智能预警与远程控制。

4.2 能效提升成效分析

上述优化项目在技术与管理双重发力下，不仅改善了燃气系统的安全与稳定性，还在能效方面取得了显著成效。通过引入高效能设备与变频控制技术，输配系统整体能耗下降了12%，其中压缩机电耗降低最

为明显^[8]。智能调度系统的应用使燃气输送路径更加合理，减少了不必要的能量损失，单位燃气输送能耗下降了约9%。更为重要的是，泄漏检测与快速响应机制的完善，大大减少了无形能源浪费，同时降低了安全隐患。燃气公司对优化后的系统运行数据进行了持续监测与分析，发现管道负荷分配更加均衡，设备运行负荷减轻，设备使用寿命延长，整体运维成本下降近15%^[9]。

该项目的成功经验表明，能效提升并非单靠高端设备即可实现，而是需要在系统规划、技术升级与管理优化等多方面协同推进。

5 结束语

城市燃气输配系统的优化设计与能效提升不仅是技术层面的革新，更是城市能源管理理念与治理能力的全面提升。通过科学规划管网布局、引入先进的压力调控与智能化技术，系统的运行效率与安全性能均得以显著改善。

案例研究表明，合理的优化策略不仅能有效降低系统能耗，延长设备寿命，还可提升整体服务水平，增强用户体验。在当前能源转型与绿色发展的背景下，是实现城市能源可持续发展的重要路径。未来的研究应继续深化智能技术与系统节能的融合，探索多能源协同供给模式，为构建安全、高效、绿色的城市能源体系贡献力量。

参考文献：

- [1] 马晓博. 城市燃气输配系统抗毁性仿真及优化研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2019.
- [2] 陈璐瑶, 温钰梅, 吴科. 城市燃气储气管网设施适应性及负荷预测 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(03):187-188.
- [3] 李雪. 城市燃气输配系统安全评价研究和计算机仿真 [D]. 北京: 北京建筑大学, 2014.
- [4] 王磊. 城市燃气输配系统的模拟及其应用 [D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [5] 冷婷婷. 城市天然气输配系统的优化设计 [D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [6] 孔川. 深圳市天然气输配系统方案 [D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [7] 郑利平. 遗传算法在城市燃气管网优化中的应用研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2003.
- [8] 吕鸿锐, 刘书贞. 《城市燃气输配系统工况优化研究》生产性试验装置通过部级鉴定 [J]. 煤气与热力, 1990, (04):65.
- [9] 王民生, 马龙友. 城市燃气输配系统的微型电子计算机优化调度 [J]. 煤气与热力, 1988, (01):19-23+2.