

天然气配送网络能源效率优化：技术与策略

周振东 徐晓卫 王新晓 李奕芊

(国家管网集团西气东输公司南京计量研究中心, 江苏 南京 210000)

摘要: 面对全球能源转型和环境保护的双重压力, 优化天然气配送网络能源效率对于保障能源安全、减少碳排放、提升经济效益具有重要意义。本文旨在全面探讨天然气配送网络的现状、存在的能源效率问题及其影响因素, 系统性介绍关键的优化技术与策略, 结合实际案例分析, 旨在为推动天然气配送网络向更加高效、智能、绿色的方向发展提供理论支持和实践参考。

关键词: 天然气配送网络; 能源效率; 优化技术; 智能监控

1 研究背景和目的

在全球能源体系中, 天然气作为清洁、高效的石化资源, 在能源领域极具重要价值。随着各国对气候变化应对力度的加大以及能源结构的调整, 天然气在能源消费结构中的比重持续上升。并且, 天然气配送网络, 作为连接上游生产和下游消费的关键环节, 其能源效率直接影响到整个产业链的节能减排效果和经济效益。

为了应对当下能源供需矛盾、环境压力以及技术进步带来的挑战与机遇, 探索适用于现代天然气配送网络的能源效率优化技术与策略, 以实现安全、经济、环保的天然气供应。

2 天然气配送网络现状及能源效率问题分析

2.1 天然气配送网络概述

天然气配送网络作为连接上游天然气产地与下游各类终端用户的桥梁, 由长输管道、城市燃气管网、储气设施、调压站、计量站等关键环节紧密编织而成, 构成了一个覆盖广泛、节点繁多、运行工况复杂的庞大系统。这一高度集成的网络体系肩负着将洁净、高效的天然气资源从遥远的开采地安全、可靠地输送至千家万户及各类工商用户的重任。鉴于其广泛的地域跨度、庞大的用户基数以及复杂的运行环境, 对系统的稳定性和能源效率提出了极为苛刻的要求。

2.2 当前能源效率问题识别

尽管天然气配送网络已取得显著的技术进步, 但仍存在以下能源效率问题: 设备老化导致的输配损耗增加, 如管道泄漏、调压站效率低下等; 监控与管理技术相对落后, 难以实时准确掌握系统状态, 影响决策效率; 能源管理粗放, 缺乏精细化调控手段, 导致负荷不均、供气浪费; 以及法律法规、标准规范更新滞后, 未能充分激发市场对能效提升的积极性。

2.3 影响因素分析

天然气配送网络的能源效率受到基础设施条件、运行管理、技术更新以及政策环境与市场机制等多方面因素的共同影响。其中, 基础设施条件如管网材质、设计参数、施工质量等直接关乎气体在管道中的流动性能与能量损耗; 运行管理层面, 维护保养工作的质量、故障响应的时效以及调度决策的合理性对能源效率产生直接影响; 技术更新方面, 新技术、新材料、新设备的应用程度决定了能源效率提升的潜力与空间; 而在政策环境与市场机制层面, 法律法规、定价政策、节能标准等外部因素则对能源效率提升产生重要影响。

3 天然气配送网络能源效率优化技术

3.1 高效输配设备与材料应用

在天然气配送网络中, 采用新型高强度、低导热、耐腐蚀材料制造管道是提高效率的重要手段。这些材料凭借其优良的物理性能, 能够有效减少输送过程中的热损失, 降低因热传导导致的压力损失, 同时降低因材料老化、腐蚀等因素引起的泄漏风险。比如, 采用高分子复合材料或金属合金制作的管道, 其低热导率有助于维持气体输送过程中的稳定温度, 减少因温差引起的能量损耗。而耐腐蚀性能的提升则延长了管道使用寿命, 减少了维护成本, 间接提升了整个系统的能源效率。此外, 低阻力阀门与精确调压装置的应用, 通过减少气体流动阻力、精确控制供气压力, 避免了因阀门开关、调压不当导致的能源浪费, 确保了整个配送网络的高效运行。

3.2 智能化监控与诊断技术

现代天然气配送网络广泛采用物联网 (IoT) 传感器、无人机巡检、卫星遥感等技术, 实现对管网系统的实时、全面监控。物联网传感器嵌入管道、设备及

关键节点，实时采集压力、流量、温度、气体成分等关键参数，通过无线通信技术上传至中央监控平台，为运维人员提供实时、精确的运行数据。无人机和卫星则用于对管道沿线进行远程巡查，利用红外热成像、激光雷达等技术，及时发现潜在的泄漏、腐蚀、地形变化等问题，确保早发现、早处理，避免能源损失。

通过分析海量的历史运行数据和实时监测数据，AI算法能够识别出设备故障的早期迹象，提前预警，指导运维人员采取预防性维护措施，并提供更精准的故障定位与原因分析，缩短故障排查时间，减少非计划停机导致的能源浪费。大数据分析 with 人工智能（AI）技术的应用，使得故障诊断与预测性维护更为精准、高效。

3.3 能源管理系统与优化控制策略

能源管理系统（EMS）作为天然气配送网络的“大脑”，整合了数据采集、分析、决策支持等功能，实现了对管网系统的全链条、全时段管理。其中，数据采集模块通过物联网传感器、SCADA 系统等途径获取实时运行数据；数据分析模块运用大数据、AI 等技术对数据进行深度挖掘，生成各类报表、预警信息、优化建议等；决策支持模块则提供决策辅助工具，如负荷预测、调度优化、能效评估等，帮助管理人员制定科学、高效的能源管理策略。

在优化控制策略方面，EMS 系统运用模型预测控制（MPC）、自适应优化算法等先进控制技术，动态调整供气策略，确保管网压力均衡，减少无效输送与负荷波动造成的能源浪费。MPC 基于管网模型和实时数据预测未来一段时间内的管网状态，制定出最优的供气计划，如调压站压力设定、压缩机启停、储气设施充放气等。自适应优化算法则能够根据管网状态、负荷需求、设备状态等因素，实时调整控制参数，确保系统在各种工况下都能保持高效运行。通过这些智能控制策略的实施，能源管理系统不仅降低了人工干预的必要性，提高了运维效率，更重要的是，它能够持续优化能源利用，降低能源消耗，助力天然气配送网络实现更高的能源效率。

4 天然气配送网络能源效率优化策略

4.1 管网规划设计优化

在构建和改造天然气配送网络时，遵循科学规划、合理布局的原则至关重要。这要求充分考虑地质、气候、用户分布等多元因素，以降低输送能耗、提高整体能源效率为目标，对管网路径、管径选择、压气站配置等关键要素进行精细设计与优化。

综合分析地理地貌、城市规划、施工难度、环境

保护等因素，选择最短且施工成本与运营成本最低的管线路径。尽可能避开地质不稳定区域、敏感生态区以及未来可能发生大规模建设变动的地段，以减少因地质灾害、环境影响或改线工程带来的额外能耗。

根据预期的天然气输送量、输送距离、压力要求等因素，运用经济流速法、等效年费用法等方法，计算并确定最经济合理的管径。适当增大管径可以降低气体流速，减小输送过程中的摩擦损失，但也要防止过大的投资成本导致的能源效率下降。因此，管径选择需在满足未来负荷增长需求的同时，兼顾初期投资与长期运行成本。

合理布置压气站位置，确保天然气在长距离输送过程中压力得以有效补充。采用分布式或集中式布局策略，依据管网拓扑结构、负荷分布、地质地形特征等因素，计算最优的压气站数量、规模及配置参数。此外，考虑采用变频驱动、热能回收等技术的高效压缩机组，以降低压气过程的能耗。

运用先进的管网模拟软件，如 PIPENET、GASWORKS 等，对规划设计方案进行详细的动态仿真分析。模拟不同工况（如正常运行、最大负荷、故障恢复等）下的系统性能，评估压力分布、气体流量、设备负荷、能量损耗等关键指标，确保设计方案在各种复杂情况下的高效、稳定运行。仿真结果可作为优化设计的依据，反复迭代直至达到预期的能源效率目标。

4.2 维护检修与运营管理

建立完善的设备状态监测体系，利用物联网传感器、振动分析、油液分析等技术，实时监测关键设备的运行状态和健康状况。基于监测数据，运用数据分析和预测模型，制定科学、精准的预防性维护计划，及时更换磨损部件、修复潜在故障，避免因设备突发故障导致的能源损失和供气中断。严格执行操作规程，确保所有操作人员熟知并遵守设备操作指南、安全规定、节能措施等。定期开展设备性能检测与校准工作，包括压缩机效率测试、阀门密封性检查、仪表精度验证等，确保系统各组件始终处于最佳运行状态，减少因设备性能退化导致的能源浪费。

4.3 政策法规与激励机制

积极推动国家及地方层面的相关政策法规与时俱进，设定严格的天然气配送网络能效标准，明确对新建、改扩建项目的能效门槛。要求企业在设计、建设和运营阶段采用高效输配设备和技术，如低阻力阀门、智能调压器、高效压缩机组等，并将能效指标纳入项目审批、验收的关键考核内容。

建立全面、公正、透明的能源效率评价体系，定期对天然气配送企业的能源绩效进行评估，包括单位输送量能耗、设备能效比、能源管理体系有效性等指标。对在能效提升方面表现优异的企业，给予税收优惠、财政补贴、绿色信贷等实质性激励措施，激发市场提升能效的动力。同时，通过公开表彰、行业交流等形式，推广优秀企业的能效提升经验和创新技术，形成行业内提升能源效率的良好竞争氛围。

5 案例分析

5.1 优秀实践案例

横琴新区位于中国广东省珠海市，作为国家级新区，其天然气配送网络建设与运营充分体现了能源效率优化的理念与实践。横琴新区智慧能源管理体系以物联网、大数据、云计算等先进技术为基础，构建了集能源监控、数据分析、决策支持于一体的智能化管理平台，实现了对天然气配送网络的精细化、动态化管理。

技术应用方面，该体系采用高精度传感器与智能仪表实时监测管网压力、流量、温度等关键参数，通过无线通信技术将数据实时传输至数据中心。基于大数据分析技术，系统能够快速识别异常情况，预测设备故障，为运维决策提供科学依据。同时，通过引入智能调压设备与优化控制算法，实现管网压力的精确调控，有效降低输送能耗。

管理创新方面，横琴新区建立了跨部门协同工作机制，能源管理部门、燃气公司、设备供应商、科研机构等多方共同参与，共享数据、共商策略，形成了高效、开放的能源管理生态。此外，通过举办公众讲座、线上互动等形式，积极引导用户参与能源管理，提高节能意识，形成全社会共同关注能源效率的良好氛围。

政策支持方面，横琴新区政府制定了一系列鼓励能源效率提升的政策，如设立专项补贴、优先采购高效设备、提供低利率贷款等，为智慧能源管理体系的建设和运营提供了有力的政策保障。同时，政府还定期组织能效评估，对表现优秀的单位和个人给予表彰和奖励，激发各方提升能源效率的积极性。

5.2 案例经验总结

通过上述案例分析，我们可以提炼出以下成功要素：

先进技术的应用：横琴新区的智慧能源管理体系离不开物联网、大数据、云计算、热电联产、储能等先进技术的支撑。这些技术的应用，极大地提高了能源监控的精度、决策的科学性、设备的运行效率，为能源效率提升奠定了坚实基础。

跨部门协作：能源效率提升是一项系统工程，需

要政府、企业、科研机构、用户等多方共同努力。横琴新区的成功案例都展现了良好的跨部门协作机制，通过信息共享、联合决策、利益共享等方式，有效调动了各方的积极性，形成了合力。

用户参与：用户是能源系统的最终使用者，其行为对能源效率有着直接的影响。横琴新区通过公众教育、用户互动等方式，引导用户参与到能源管理中来，提高了用户的节能意识和行动力。

政策引导：强有力的政策支持是能源效率提升不可或缺的条件。横琴新区制定了系列鼓励能源效率提升的政策，如财政补贴、税收优惠、优先采购、市场机制等，为新技术的应用、新模式的推广提供了政策保障。同时，政府还通过能效评估、表彰奖励等方式，对表现优秀的单位和个人给予肯定，进一步激发各方提升能源效率的积极性。

以上案例与经验，为其他地区和企业天然气管道网络能效提升工作中提供了宝贵的借鉴与启示。在实践中，应结合自身实际情况，灵活运用先进技术，加强跨部门协作，引导用户参与，争取政策支持，共同推动天然气管道网络向更加高效、智能、绿色的方向发展。

6 结束语

天然气管道网络能源效率优化是一项涉及多层面、多领域的系统工程。通过技术创新、策略调整与良好实践的推广，有望显著提升天然气产业链的整体能效，为实现全球能源转型目标、应对气候变化挑战作出重要贡献。未来，随着数字化、智能化技术的进一步发展，天然气管道网络的能源效率优化将迎来更多机遇，值得业界持续关注与深入研究。

参考文献：

- [1] 郭创新,王惠如,张伊宁,等.面向区域能源互联网的“源-网-荷”协同规划综述[J].电网技术,2019,43(09):3071-3080.
- [2] 冯爽.天然气管道网络的优化布局与规划[J].中国化工贸易,2023,15(11):79-81.
- [3] 马骥.地形起伏条件下天然气管道路径及管网布局优化研究[D].成都:西南石油大,2019.
- [4] 潘俊菊.长三角地区天然气应急储备规模和布局优化研究[D].徐州:中国矿业大学,2021.

作者简介：

周振东(1989.12—)，男，汉族，江苏徐州人，身份证号:320324198912083573，本科，助理工程师，研究方向：天然气。