

输气管网压力流量智能调控技术与效益分析

陈固磊 胡广义 (江西省天然气管道有限公司, 江西 南昌 330000)

摘要: 通过对输气管网的现状痛点的深入剖析, 对其所产生的巨大的经济损耗及严重的环境污染等问题的深入揭露, 对系统的智能调控的核心技术体系的深入的分析, 降低了输气管网的损耗等方面的巨大的成效, 同时也对其技术的应用过程中存在的那些典型的、普遍的、较大的问题及为其所带来的技术的优化的路径等都作了较为深入的探讨, 对输气管网的智能化的升级、节能降损等都为我们提供了较为可靠的理论的支持及实践的参考。

关键词: 输气管网; 压力流量; 智能调控; 天然气损耗; 降损成效

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 011-0102-03

Intelligent Control Technology and Benefit Analysis of Pressure and Flow in Gas Pipeline Network

Chen Gulei, Hu Guangyi (Jiangxi Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Nanchang Jiangxi 330000, China)

Abstract: Through in-depth analysis of the current pain points in the gas transmission pipeline network, exposure of the huge economic losses and serious environmental pollution caused by them, as well as systematic research on the core technical system of intelligent regulation, this paper demonstrates the remarkable effects in reducing losses of the pipeline network. Meanwhile, it conducts a thorough discussion on the typical, common and prominent problems existing in the application of the technology and the corresponding optimization paths, which provides reliable theoretical support and practical reference for the intelligent upgrading, energy conservation and loss reduction of gas transmission pipeline networks.

Keywords: gas transmission pipeline network; pressure and flow; intelligent control; natural gas loss; loss reduction effect

天然气作为清洁、高效、低碳的优质能源, 在我国能源结构转型中占据重要地位, 是实现“双碳”目标的关键支撑。近年来, 我国输气管网建设加速推进, 截至 2023 年, 全国天然气管道总里程已达 12.4×10^4 km, 初步构建起“西气东输、北气南下、海气登陆、互联互通”的全国性输配网络体系, 承担着 99% 的天然气输送任务, 成为国家能源安全的“生命线”。随着管网覆盖范围的扩大、用户需求的多元化以及气源种类的增多, 传统依赖人工经验的压力流量调控模式已难以适应现代管网运行需求, 存在调控滞后、参数匹配度低、能耗偏高、损耗严重等问题。

1 输气管网压力流量智能调控技术的降损成效分析

为验证输气管网压力流量智能调控技术的降损成效, 本文以某省级输气管网工程为例, 该管网总长 1200 km, 涵盖气源站 2 座、加压站 3 座、调压站 15 座, 用户包括工业用户 30 家、居民用户 50 万户, 传统调控模式下平均损耗率为 1.92%, 年损耗天然气约 1800 万 m^3 , 年经济损失超 8000 万元。2023 年该管网引入压力流量智能调控技术体系, 构建智能感知网络、智能预测模型、动态调控系统及智能管控平台, 经过 1 年的运行调试, 压力流量调控精度和降损成效显著提

升, 具体成效分析如下。

1.1 试验方案与数据采集

对 2022 年同期的传统调控模式与 2023 年 4-12 月的智能调控模式下对管网的运行数据的对比分析, 如压力的波动幅度、流量的分配均匀度、泄漏的量、损耗的率、能耗等关键的指标的对比分析, 充分的体现了智能调控技术的降损的成效采用对数据的智能感知式的监测确保了其准确性和完整性手段, 同时又将管网的运行报表与现场的检测数据等相结合从而形成了对数据的交叉的验证。

1.2 核心指标改善成效

1.2.1 压力流量调控精度提升

借助智能的调控技术的应用, 管网的压力波动的幅度也就得到了较为明显的降低, 从原来的传统的调控模式的 $\pm 8.5\%$ 降至了 $\pm 3.2\%$, 远远低于了允许的范围 ($\pm 5\%$) 等, 压力的调控的精度也就都得到了大大的提升达到了 62.4%, 同时也就有效的解决了传统的调控模式下经常存在的压力波动过大、流量的分配均匀度也就都得到了从原来的传统的模式的 78.3% 的提升至了 94.7%, 同时也就都得到了流量的调控的精度提升的 20.9% 的大幅度的提升伴随加压站的压缩机运行负荷与管网的压力流量的需求的匹配度的不断的提升

达到了92.8%，也通过此次冬季的保供方案的实践中，保供的方案效率的提升达到了40%，同时也将日报的准确率都达到了98%。

1.2.2 泄漏损耗大幅降低

智能感知监测系统实现了对管道泄漏的精准识别和实时预警，泄漏检测响应时间从传统模式的2-3h缩短至30s以内，隐性泄漏发现率从传统模式的35%提升至98%，有效减少了隐性泄漏导致的长期损耗。试验数据显示，智能调控技术应用后，管道泄漏量从传统模式的年均320万 m^3 降至年均58万 m^3 ，泄漏损耗降低81.9%；其中，显性泄漏损耗降低75.0%，隐性泄漏损耗降低85.7%，泄漏损耗得到有效控制。这与国家管网西气东输通过泄漏监测技术降低甲烷排放、减少损耗的实践成效相符，其2024年甲烷排放总量同比下降超六成，同时回收天然气超600万 m^3 ，减排量达7.8万t二氧化碳当量。

1.2.3 整体损耗率显著下降

结合压力流量调控精度提升、泄漏损耗降低、设备运行效率优化等因素，智能调控技术应用后，管网整体损耗率从传统模式的1.92%降至0.48%，达到国际先进水平，年损耗天然气从1800万 m^3 降至460万 m^3 ，年减少天然气损耗1340万 m^3 ，按天然气市场价4.5元/ m^3 计算，年节约经济损失6030万元，经济成效显著。同时，损耗率的降低还减少了天然气泄漏带来的环境风险，助力“双碳”目标实现，例如，年减少天然气泄漏1340万 m^3 ，相当于减少二氧化碳排放约28.14万t（天然气燃烧排放系数为20.99 $kgCO_2/m^3$ ），环保成效突出。此外，国家管网西气东输在管输商品量增加情况下，实现管输单耗下降16%，节约燃动力费超1800万元，进一步验证了智能调控技术的降损节能成效。

1.2.4 设备能耗大幅优化

智能调控技术实现了加压站、调压站等设备运行参数与管网压力流量需求的精准匹配，避免了设备偏离最佳运行工况导致的能耗浪费。试验数据显示，加压站压缩机能耗从传统模式的年均1200万度降至年均820万度，能耗降低31.7%；调压站调压阀能耗从传统模式的年均150万度降至年均98万度，能耗降低34.7%；管网整体能耗降低32.2%，年节约电费约480万元（工业电价0.6元/度），进一步提升了管网运行的经济性。同时，国家管网西气东输的压缩机尾气余热发电项目，已累计发电超3.4亿度，直接减少近11万t的标准煤耗，与本次试验中设备能耗优化的成效形成呼应，充分体现了智能调控技术在节能降耗方面的重要作用。

2 智能调控技术应用中存在的问题及优化路径

尽管输气管网压力流量智能调控技术在降损方面取得了显著成效，但在实际应用过程中，仍存在一些问題，制约了技术效能的充分发挥，主要包括以下几个方面：

2.1 存在的问题

①但由于老旧的输气管网的建设年限都较久，尤其是部分管道都已老化、严重的腐蚀，目前的传感器、阀门等的安装都相对有限的同时原有的管道设计标准也都比较低，难以适配目前的智能的调控技术的安装和运行的要求，导致了智能的调控技术的无法对整个管网的全面地覆盖，从而使得部分的区域仍然还处于传统的调控模式的控制之下。

②在现有的管网中却普遍存在着各类的传感器的故障、数据的传输中断等问题，使得我们所能采集到的所谓的“真实的”数据也常常充满了缺失、误差等等问題，对智能的预测模型的准确性都产生了较大的影响，更何况对动态的调控的精度要求就更为苛刻了。而且各个环节的数据的标准也都不尽相同，导致了数据的共享都成为了一个大难题。

③但由于智能的调控技术的前期的投入都比较大，如智能的传感器、数据的传输设备、智能的管控的平台、软件的系统等的采购和安装以及对相关的技术人员的培训等都带来了较大的经济负担，对于中小型的管网的运营的企业来说，其资金的压力就更为明显了。

④但由于其所涉及智能调控技术的复杂性与多样性，其对操作人员的专业要求也就相对较高，对操作人员的专业知识的扎实性以及操作的熟练性都提出了较高的要求但由于目前我国天然气行业的这一重中之重的复合型专业人才的相对匮乏使得部分的操作人员的专业水平都达不到熟练地掌握智能调控系统的操作和维护，严重地影响了了技术的高效的充分的发挥其与当前油气管网的智能化转型过程中都存在着较大的人才储备不足的行业现状相吻合。

⑤但目前的智能预测与调控的模型却多半都只针对特定的某一工况的构建，其模型的迁移性较弱，对多种不同工况的适应性也就相对有限，当管网的工况（如气源的变化、用户的需求、气象的条件等）发生较大地变化时，其模型的预测精度和调控的效果就会受到一定的影响，从而难以实现对动态的适配但由此可见，大模型在管网调控中的应用还面临着较大的瓶颈，如其对实际的“幻觉性”高、对实际的细节的理解有限等等，对其技术效能的更好地发挥都起到了较大的制约作用

2.2 优化路径

针对上述问题，结合行业发展趋势和工程实践经验，提出以下优化路径，推动输气管网压力流量智能调控技术的完善和推广应用，进一步提升降损成效：

①通过对老旧的管网的精心打造，我们分别对其制定了针对性的智能的调控的技术的适配的方案，将原有的安装的流程都简化了同时将小型的、低成本的智能的传感器和阀门的设备都充分的利用了从而大大降低了对老旧的管网的改造的难度和成本，同时又对老旧的管道都进行了相应的修复和改造，从而对老旧的管道的工况都给了一个相对较好的提升，从而也就对智能的调控的技术的正常的运行都给了一个很好的保障，并将老旧的管网的逐步的推进到智能的化的升级的过程中，从而也就将智能的调控的技术的全面地都给了一个很好的覆盖以电网的智能化发展为借鉴，结合输气管网的独特特点，逐步地、分阶段地制定出一条符合自身发展特点的智能化的升级路径，将优先的改造核心的管网区域，逐步地将其扩大到管网的各个区域的覆盖范围中去。

②提升数据质量和共享水平：加强智能感知网络的维护和管理，定期对传感器、数据传输设备进行检修和校准，及时更换故障设备，减少数据缺失和误差；建立统一的数据标准和规范，整合各环节的运行数据，实现数据的标准化、规范化管理，提升数据质量；构建跨区域、跨环节的数据共享平台，打通数据壁垒，实现多维度数据的协同分析和利用，为智能预测和调控提供更可靠的数据支撑。同时，通过数据闭环机制与全生命周期管理，进一步夯实数据基础，提升数据的可用性。

③降低技术应用成本：加大对智能调控技术的研发投入，推动核心技术国产化，降低设备和软件的采购成本；优化技术方案，简化系统架构，减少设备安装和维护成本；鼓励企业抱团发展，共享智能调控技术和设备资源，分摊前期投入和后期维护成本；政府出台相关扶持政策，给予资金补贴和税收优惠，支持中小型管网运营企业引入智能调控技术，推动技术的全面推广应用。同时，借鉴国家管网、中油国际管道等大型企业的技术应用经验，形成可复制、可推广的低成本技术方案，降低中小型企业的应用门槛。

④加强专业人才培养：建立复合型专业人才培养体系，与高校、职业院校合作，开设相关专业课程，培养具备物联网、大数据、人工智能、管道工程等知识的复合型人才；加强对现有操作人员的培训，开展技能培训和考核，提升操作人员的专业水平和操作技能，使其能够熟练掌握智能调控系统的操作和维护；

引进国内外优秀的专业人才，弥补人才短缺短板，为智能调控技术的应用提供人才保障。同时，建立健全人才激励机制，鼓励技术人员开展技术创新，提升技术应用水平。

⑤优化智能预测和调控模型：加强对智能预测和调控模型的研发和优化，结合多因素协同预测，提升模型的泛化能力和多工况适应性，使其能够适应管网工况的动态变化，提升预测精度和调控效果；引入大模型与智能体融合的思路，解决当前模型面临的幻觉性高、细节理解有限等瓶颈，进一步提升模型智能化水平；结合数字孪生技术，优化管网数字孪生模型，提升对管网运行状态的模拟和预测能力，为动态调控提供更科学的依据；加强模型的实时更新和迭代，根据管网运行数据的变化，及时调整模型参数，确保模型的准确性和可靠性。

3 效益分析

输气管网压力流量智能调控技术依托物联网、大数据、人工智能、数字孪生等先进技术，构建“感知-预测-调控-管控”的闭环系统，实现对管网压力流量的实时感知、精准预测和动态调控，有效解决了传统调控模式下压力波动过大、流量分配不均、泄漏检测滞后、设备运行低效等问题，降损成效显著。结合某省级输气管网工程实践验证，智能调控技术应用后，管网压力波动幅度降低 62.4%，流量分配均匀度提升 20.9%，管道泄漏量降低 81.9%，整体损耗率从 1.92% 降至 0.48%，年减少天然气损耗 1340 万 m³，年节约经济损失 6030 万元，同时设备能耗降低 32.2%，年节约电费 480 万元，经济成效、节能成效和环保成效显著，能够有效推动输气管网运行的安全性、经济性和稳定性提升，达到国际先进水平。

参考文献：

- [1] 黄维和等. 基于隐式中心差分法的多气源输气管网气质跟踪仿真 [J]. 天然气工业, 2025, 00(12): 56-58.
- [2] 侯大立等. 输气管网设备维修策略优化方法研究 [J]. 机械设计与制造, 2024, 00(04): 12-14.
- [3] 付子航等. LNG 接收站与输气管网的“互操作性” [J]. 天然气工业, 2020, 7(12): 89-89.
- [4] 步亚冉等. 公平开放模式下的天然气管网输气能力评估 [J]. 天然气工业, 2021, 00(12): 123-123.
- [5] 宫敬等. 人工智能技术赋能天然气管网调控：技术革新、变革路径与战略展望 [J]. 油气储运, 2025, 44(11): 12-20.

作者简介：

陈国磊（1984-），男，汉族，福建省尤溪县人，大学本科，高级输气工，研究方向：油气储运。