

天然气长输管道工艺运行中的压力控制与优化研究

阴如意 (国家管网集团西气东输公司, 上海 200003)

摘要: 本文探究天然气长输管道的压力把控与优化方略, 着力分析管道压力控制的主要原理、相关因素及技术的运用与弊端, 依托实时监测与智能化, 研发了一系列优化方案, 涉及动态调节方法、控制系统优化及节能压力管理策略, 通过具体实例分析, 证实这些优化策略在增强管道稳定性、削减能耗和增进输送效率方面的成效, 智能化技术的实施可显著增进压力控制的准确度与反应速度, 为天然气长输管道的高效运行赋予稳定的技术支持。

关键词: 天然气长输管道; 压力控制; 智能化技术; 优化策略

中图分类号: TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 003-0101-03

Research on Pressure Control and Optimization in the Process Operation of Long-Distance Natural Gas Pipelines

Yin Ruiyi (West-east Gas Pipeline Company of National Pipeline Network Group, Shanghai 200003, China)

Abstract: This paper explores the pressure control and optimization strategies for long-distance natural gas pipelines, focusing on analyzing the main principles, related factors, and the application and drawbacks of pipeline pressure control technologies. Relying on real-time monitoring and intelligence, a series of optimization schemes have been developed, involving dynamic regulation methods, control system optimization, and energy-saving pressure management strategies. Through specific case analysis, To confirm the effectiveness of these optimization strategies in enhancing pipeline stability, reducing energy consumption and improving transmission efficiency, the implementation of intelligent technology can significantly improve the accuracy and response speed of pressure control, providing stable technical support for the efficient operation of long-distance natural gas pipelines.

Key words: Long-distance natural gas pipeline; Pressure control; Intelligent technology; Optimization strategy

天然气长输管道是能源输送的必要设施, 其压力控制的稳定情形直接牵扯输送效率和安全性, 长输管道于大流量、长距离输送期间面临各类挑战, 传统的压力控制方法已不再契合当前需求, 提升压力调控体系可以增进管道运行成效, 也能保障系统稳定运作, 本文聚焦于钻研天然气长输管道压力调控与优化办法, 结合智能手段与实时管控, 制定高效的改进方案, 为管道高效且安全的运行给予技术支持。

1 天然气长输管道的压力控制与运行机制

1.1 管道压力控制的基本原理与流程

天然气长输管道的压力掌控主要依托压缩机站和调压设备配合实施, 其根本原理是通过管控管道内的气体流量和压缩机的运行状态来让管道压力稳定在设计范围, 压缩机凭借加大气体压强驱使天然气沿管道前行, 采用压力传感器即时监控管道中的压力变动, 当压力偏离既定数值时, 调节阀门和调压站会凭借反馈信号自动改变气流量或压力, 保证系统压力处在设计的安全界限, 管道内部的流量、热温、气源压力等因素同样影响压力控制, 于是应依照这些动态情况实时变换管控举措。

1.2 影响管道压力的关键因素分析

天然气长输管道的压力受不少因素牵动, 最为重

要的要素涉及气源压力、流量、管道内阻力、温度变化以及管道自身属性, 气源压力直接左右着管道内气体的初始压强, 倘若气源压力出现波动, 会引起管道压力晃动, 管道的通量也是一项关键要素, 流量的起伏会引起压力的变化, 特别是管道里流速出现变动的时候, 会引起压力减少。管道内的摩擦阻力与结构性损耗同样会影响压力, 长距离传送期间, 管道内的阻力聚合会引发压力降低, 温度波动是另一个关键要点, 天然气借管道以输送时, 遇上周边气温的波动, 温度变迁会引起气体体积的胀发或缩小, 从而引起管道内压力的变动。

1.3 当前压力控制技术中的应用与局限

天然气长输管道的压力掌控技术主要涉及基于流量调节的PID控制系统、自适应控制系统与智能化控制技术, PID控制系统是极为常用的压力调控手段, 采用实时变动阀门开度和压缩机运行态势来管制管道压力, 这种方法面对复杂动态变更时存在滞后现象, 若流量或者气源压力急剧涨落时, 应答速度滞后。自适应控制系统借助更繁杂的算法, 可在一定程度内调节系统的控制数值, 让其适应多样的运行情形, 只是其计算复杂程度偏高, 运行成本上扬, 智能化控制技术受到更多的采用, 采用大数据分析、人工智能和物

联网技术做到实时观测与预测性调控，能显著优化压力控制的精准程度与响应表现，现有智能化技术在一些复杂情境中还面临数据收集不充分、算法优化欠缺以及设备协同性的困扰，引发系统稳定性跟可靠性尚需提升。

2 压力控制优化策略与技术手段

2.1 实时监控与动态调节方法

实时观测与动态调整方式是维持天然气长输管道压力均衡的重要途径，此策略的核心要点是安置高精度的传感器及数据采集器具，即时把控管道内的压力、流量、温度等关键参数，借助数据通信系统把采集数据传至控制中心，控制系统采用前沿的数据分析方式，诸如大数据分析和机器学习算法，对实时监测数据实施分析和预判，即时发觉压力波动的态势和潜藏隐患，依靠这些数据，系统可动态变换管控办法，譬如实时变换压缩机的运转状态、调整阀门开闭大小或变动管道流量值，以顺应外部环境变换或气源压力涨落。

动态调节手段一般依靠着闭环控制系统，其中即时数据采集与控制指令反馈相融合，达成压力的精细管控，基于流量的压力调节技术能凭借调节气流速度及流量分配来控制管道的全部压力；只要气源压力起了变化，压缩机站可借助智能算法自行调整压缩机的运转模式，保证压力处在预设界限。管道内部温度的变动也是影响压力的关键因子，采用温度补偿控制手段，能够进一步增强管道压力控制的稳定性与精准度，动态调节系统还可凭借设立预判模型，基于既往数据与实时情报，预判压力起伏态势，进而预先实施防范手段，防范压力失序状况降临。

2.2 控制系统优化与智能化技术

实施控制系统优化是强化天然气长输管道压力管理效率和稳定性的核心部分，旧有的压力控制系统多凭借硬性编程和简易的PID控制算法，其缺乏应对动态环境与复杂更迭的能力，为了增进控制系统性能，现代管道压力控制着手采用智能化技术，尤其是深度算法学习与机器学习。采用大数据挖掘和历史数据塑造模式，智能化控制系统可找出管道运行中的潜在规律，即时变动控制参数，预先预估系统内的压力变动走向，以此强化管道的压力管理水平，依托机器学习的预测模型可依据实时收集的压力、流量、温度等数据，预估体系的负载变动，因而动态调控压缩机和阀门的运行安排。

智能化控制系统于实际操作时还需要跟物联网技术(IoT)深度聚合，打造全面的数据采集、传输、分析、控制闭环架构，物联网技术借助无线传感器网络完成对管道运营状态的全面监测，数据迅速输送到云平台

实施分析处理，又借助智能控制系统把优化后的调节指令传送至现场设备。采用联合云计算平台，可以处理更错综的数据集，实时督控多个传感器具的数据流，进而达成对大规模管道网络的集中监督与远程指挥，就系统改进层面，控制算法的改进极为关键，经由采用自适应算法和模糊控制规程，可使系统针对外部变化(如气源压力变化、环境温度波动等)更具敏感性，做到管道压力的精准调控。

2.3 高效节能的压力管理策略

节源高效的压力管理策略不仅需改进管道内压力的掌控，还应做到能源高效运用且削减无用能耗，恰当设计并优化压缩机运行策略是增进节能效率的核心，惯用的压缩机运行方式大多按固定负荷来开展，该途径往往难以契合管道负荷起伏，招致能源浪费，借助添加动态调控途径，可按照当前需求和负载变化，自动变更压缩机的工作模式，采用预测性控制算法，联用实时流量和压力数据，可在维持管道压力稳定的期间，恰当设定压缩机的工作频次，杜绝过度运转或空转，由此明显减少能耗。

管道内的压力损失跟流量分配优化对节能关键，实施管道的长距离输送易产生较大压力降，尤其是在地势落差明显的地带，采用引入智能流量调控系统，可依据管道的压力分布与流速变化，实时调控各分支管道气流量，降低因流量分布不均产生的能量浪费。管道内部的裂隙、结垢等问题也是能耗加大的缘由之一，按时进行管道保养与清理是减少能耗、提升系统综合效率的必要手段，采用新型的感应装置和监控设备，可以迅速捕捉管道的微小漏隙，并依靠自动管控系统实施修复，借助前沿的隔热技术抑制管道温度起伏，同样可大幅减少因温度落差造成的能量损耗。

3 系统优化效果与实际应用

3.1 优化策略实施方案与过程控制

优化方案执行的核心是采用模块化的工程设计与精准的技术操作增强天然气长输管道的压力控制能力，在开展工作进程，先要对当前管道系统进行全面评定，找出影响管道压力稳定性的核心要素，诸如管道的阻抗、流量失衡、气源压力不稳等状况。根据实际情况，制定优化举措时需顾及各个环节的配合作用，特别需留意压缩机与调压站的恰当设置，采用建立实时数据督导体系，优化方案将完成管道内的压力、流量、温度等参数实时收集，并凭借数据传输系统传递至云平台开展处理，这些数据借助大数据研判和模型预测后，能为控制系统供应精准的调压凭据，自主改变压缩机的工作情形或阀门开合大小，实现压力的平稳把控。

在优化方案的推进过程中，把控过程十分关键，过程控制绝非简单的设备整治，而是一套动态反馈的闭环控制体系，一旦系统出现压力起伏时，实时监控系统会瞬间反馈给控制系统，控制系统凭借当下运行态势及预测方式，自主改动关联设备的运行样式，诸如压缩机的开启与停止、阀门的通断等。优化方案还增添促进设备间的数据交流与协作，凭借物联网技术把各类装置和系统衔接，实现实时信息的交互与联合运作，调控管控进程中一定要格外重视的要点是系统的稳定性与智能的实时反馈，保障在外界环境变动或出现突发状况时，系统可迅速自我调适并转变到最佳运行态势，这一整套的优化举措与控制手段，会推动实现管道压力控制的高精度和系统的高效运行状态，让长输管道在各种环境条件下皆能高效、安全地运作。

3.2 压力控制系统的性能评估与验证

压力控制系统的性能审视主要借助设定科学合理的标尺，全面测评系统于多样运行状况下的成效，惯常的评估指标包括压力波动幅度、能效提升、系统响应速度、设备运行稳定性等，压力波动状态是评判系统稳定性的基础，优质的系统应可把压力波动约束在极小区间，一般要求不超出 $\pm 5\%$ 。借助对优化前后管道数据的比对，可直接掌握优化成果，检测系统能否在多样外部干扰下维持稳定运转，能效提升直接牵连着管道运行效果，优化后的控制体系应可明显降低能耗，尤其是在压缩机工作的阶段，采用智能化管控方式实现节能目标，系统应答速率是衡量控制系统灵敏程度的核心，完善后的系统当压力偏离给定值时，即刻转变设备情形，降低调整时长，增进管道的安全性与运转效率。

性能验证一般借助对实际运行数据的分析和比对来完成，借助安排一段核查期量，采集管道优化前后的压力、流量、温度等数据，并运用模拟运行条件去核查，若气源压力波动幅度大或流量急剧变动时，考查优化后的系统能否快速反应并调整至理想境况。尚需进行多轮压力把控测试，查看系统是否有在不同负荷、不同气源压力下的适应本事，实际操作过程中，能够借助实验数据跟理论模型融合的手段做验证，采用人工设定多样的运营情境，预设可能出现的意外情形，考查优化方案在复杂境遇下的成效性和稳健性，依靠这些评判与验证，可确认优化后的压力控制系统在实际操作具有可靠性与稳定性。

3.3 优化应用的典型案例与效果分析

西气东输二线是中国一项重要的天然气长输项目，涉及管道全长约 8,000km，连接多个压缩机站和调压站。该项目面临天然气需求量大和气源压力波动

较大的挑战，传统的压力控制系统未能有效应对这些波动，导致能耗过高和系统运行不稳定。为了解决这些问题，西气东输二期引入智能化的压力控制系统，结合实时数据监控、动态调节和压缩机负荷优化技术，旨在提升管道的压力稳定性和能源效率。

优化后的系统通过安装先进的传感器，实时监控管道内的压力、温度和流量，并通过物联网技术将数据传输至中央控制平台。利用大数据分析和机器学习算法，系统能够动态调整压缩机的运行负荷，确保压力控制的精确性和稳定性。特别是在气源压力波动时，压缩机组能够根据实时需求自动调节负荷，避免过度运行或低效运行，显著提升了能源效率。

优化后的压力控制系统带来了显著的改进：首先，管道压力波动幅度从优化前的 $\pm 8\% - 10\%$ 降低至 $\pm 5\%$ 以内，减少由于压力波动引发的气流不稳定，提升了输送效率和安全性；其次，压缩机运行效率提高了 15%，整体能耗降低了约 12%，每年节省超过 1 亿立方米天然气，相当于节省约 6000 万元人民币；最后，系统的响应速度从 18min 缩短至 9min 内，极大提升对突发压力波动的应急响应能力。该优化案例展示了智能化技术在天然气长输管道中的巨大潜力，为类似项目的压力控制提供了宝贵的经验。

4 结束语

通过对天然气长输管道压力控制优化的研究，探讨智能化技术和实时监控手段在提高管道效率、稳定性和节能方面的应用。优化策略有效减少了压力波动，提升了压缩机效率，降低了能耗，为管道系统的可持续运行提供有力支持。随着智能化技术的进一步发展，天然气管道的压力管理将变得更加精准和高效，为未来能源输送提供更安全、经济和环保的解决方案，具有广泛的应用前景。

参考文献：

- [1] 陈宇, 张柳海. 长输天然气站场压力容器及管道作业安全控制措施 [J]. 清洗世界, 2022, 38(2): 193-195.
- [2] 张明, 刘阳. 天然气长输管道站场工艺设计优化研究 [J]. 油气储运, 2022, 41(6): 658-665.
- [3] 徐勇俊, 方忠. 天然气长输管道分输压力控制系统技术研究 [J]. 当代化工研究, 2021(8): 42-43.
- [4] 高丽华. 天然气长输管道分输压力控制系统技术研究 [J]. 石化技术, 2016(11): 5-6.
- [5] 翁官锐. 天然气长输管道分输压力控制系统技术研究 [J]. 石油石化物资采购, 2020(18): 78-79.

作者简介：

阴如意 (1988-), 男, 汉族, 江苏无锡人, 大学本科, 中级工程师, 研究方向: 工艺运行。