

天然气管道运输调度优化模型构建

关 兵 王明涛(山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要: 随着天然气在能源领域的广泛应用, 其管道运输调度的优化至关重要。本研究开篇详述天然气于能源格局中的关键地位, 点明管道运输调度优化对保障稳定能源供应、有效控制成本的重大意义。深入剖析当前天然气管道运输调度现状, 涵盖运输特点、组成工艺、调度运行管理策略及现存问题。以降低运输成本、提升运输效率为导向构建数学模型, 明确模型假设、参数与目标函数, 考虑气田、用户、管道等多方面约束条件, 并采用适宜算法求解。

关键词: 天然气管道运输; 调度优化; 数学模型; 运输成本; 运输效率

中图分类号: TE832 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167(2025)019-0102-03

Construction of natural gas pipeline transportation scheduling optimization model

Guan Bing, Wang Mingtao (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: With the wide application of natural gas in the energy field, the optimization of pipeline transportation scheduling is crucial. The study begins with a detailed description of the key position of natural gas in the energy landscape, and points out the significance of pipeline transportation scheduling optimization to ensure stable energy supply and effectively control costs. This paper deeply analyzes the current situation of natural gas pipeline transportation and scheduling, covering transportation characteristics, composition process, scheduling operation management strategies and existing problems. In order to reduce transportation costs and improve transportation efficiency, the mathematical model is constructed, the model assumptions, parameters and objective functions are clarified, and the constraints of gas fields, users, pipelines and other constraints are considered, and appropriate algorithms are used to solve them.

Keywords: natural gas pipeline transportation; scheduling optimization; mathematical modeling; transportation costs; Transportation efficiency

1 天然气管道运输调度现状分析

1.1 天然气管道运输概述

天然气管道运输作为一种高效、稳定的能源运输方式, 在现代能源体系中占据着举足轻重的地位。它具有诸多显著特点, 这些特点决定了其在能源运输领域的独特优势和重要作用。

天然气管道运输凭借其独特的特点、完善的管道组成和科学的输送工艺, 在能源运输中发挥着重要作用, 是保障能源稳定供应、促进经济可持续发展的重要支撑。

1.2 调度运行管理策略

1.2.1 调度原则

在天然气管道运输调度中, 安全性原则始终处于核心地位。天然气属于易燃易爆的危险气体, 一旦发生泄漏、爆炸等事故, 不仅会对人员生命安全造成严重威胁, 还可能导致巨大的财产损失和环境污染。在管道设计和建设阶段, 必须严格遵循相关的安全标准和规范, 选用高质量的管材和设备, 确保管道的耐压、耐腐蚀性能。在管道运行过程中, 需要对管道的压力、温度、流量等参数进行实时监测, 设置合理的安全预警阈值。当压力超过设定的上限时, 自动启动泄压装置, 防止管道因超压而破裂; 当检测到温度异常变化

时, 及时排查原因, 采取相应的降温或升温措施, 确保天然气在适宜的温度范围内输送。

经济性原则也是调度过程中需要重点考虑的因素。优化资源配置是实现经济性的关键, 通过合理安排气源的输送路径和流量, 提高管道的利用率, 降低运输成本。根据不同气源的价格、运输距离以及用户的需求情况, 制定最优的供气方案。优先选择距离用户较近、价格较低的气源, 减少不必要的运输里程和能源消耗。

1.2.2 运行计划编制与执行

运行计划的编制依据主要包括市场需求预测、气源供应情况、管道输送能力等多个方面。市场需求预测是编制运行计划的重要基础, 通过对历史用气数据的分析, 结合季节变化、经济发展趋势、政策法规等因素, 运用时间序列分析、回归分析等方法, 预测不同地区、不同用户在未来一段时间内的天然气需求量。对于工业用户, 根据其生产计划和发展趋势, 预测其天然气用量; 对于居民用户, 考虑气温变化、节假日等因素, 预测其生活用气需求。准确掌握气源供应情况, 包括各气源的产量、可供气量、供应稳定性等信息, 确保气源能够满足市场需求。了解管道的输送能力, 包括管道的管径、设计压力、最大输气量等参数,

避免在运行计划中出现超出管道输送能力的情况。

1.2.3 监控与数据分析技术应用

SCADA 系统在天然气管道运输调度中发挥着至关重要的实时监控作用。该系统由数据采集设备、通信网络、监控中心等部分组成，能够对管道运行的各个环节进行全面监测。在管道沿线分布着大量的传感器，这些传感器可以实时采集天然气的压力、温度、流量、液位等参数，并将这些数据通过通信网络传输到监控中心。

监控中心的工作人员可以通过监控界面，实时查看管道各部位的运行参数，对管道运行状态进行全面掌握。当某个监测点的压力突然升高或温度异常时，SCADA 系统会立即发出警报，提醒工作人员及时采取措施，避免事故的发生。工作人员可以根据警报信息，迅速判断故障位置和原因，通过远程控制或现场处理等方式，对故障进行及时处理，确保管道的安全运行。

数据分析在调度决策中具有重要的支撑作用。通过对 SCADA 系统采集到的大量历史数据进行深入分析，可以挖掘出数据背后的潜在规律和信息，为调度决策提供科学依据。利用数据挖掘技术，分析天然气需求的变化趋势，找出影响需求的关键因素，从而更准确地预测未来的市场需求。通过对管道运行数据的分析，评估管道的运行效率，找出管道运行中的瓶颈和问题，为优化调度方案提供参考。

分析不同时间段管道的流量和压力分布情况，发现某些管段在特定时间段内存在流量过大或压力过高的问题，通过调整输送方案，如优化气源分配、调整压缩机运行参数等方式，提高管道的运行效率，降低能耗。利用机器学习算法，建立管道故障预测模型，根据管道运行数据提前预测可能出现的故障，采取预防性维护措施，减少设备故障和停机时间，提高管道的可靠性和稳定性。

1.3 存在问题分析

当前天然气管道运输调度在多个方面存在问题，这些问题制约了运输效率的提升和成本的有效控制，亟待解决。

在效率方面，运输效率低下是一个突出问题。随着天然气需求的不断增长，管道运输网络的负荷逐渐加重，部分管段在高峰期出现拥堵现象。在一些经济发达地区，冬季供暖季天然气需求大幅增加，导致管道输送压力增大，流量受限，影响了天然气的及时供应。一些管道的输送能力未能得到充分利用，存在资源闲置的情况。由于调度不合理，部分管道的实际输送量远低于其设计输送能力，造成了运输资源的浪费。不同管道之间的衔接不够顺畅，也影响了整体运输效

率。在天然气从气源地输送到用户的过程中，需要经过多条管道的转接，若转接环节出现问题，如阀门切换不及时、计量不准确等，就会导致输送中断或延迟，降低运输效率。

成本方面，成本控制难度较大。能源消耗成本较高，压缩机等设备在运行过程中需要消耗大量的能源，如电力、天然气等。随着能源价格的波动，运输成本难以有效控制。在一些地区，电力价格较高，使得压缩机的运行成本大幅增加。设备维护成本也不容忽视，管道和设备的老化、损坏需要定期进行维护和更换，这增加了运营成本。一些老旧管道的腐蚀问题严重，需要频繁进行防腐处理和修复，费用高昂。在设备更新方面，部分企业由于资金有限，无法及时更新先进的设备，导致设备运行效率低下，进一步增加了成本。

适应性方面，调度方案的灵活性不足。市场需求的变化具有不确定性，如突发的极端天气可能导致天然气需求激增，而现有的调度方案往往难以快速适应这种变化。在应对突发情况时，缺乏有效的应急预案和灵活的调度策略，容易造成供气不足或供应中断。当遇到天然气供应中断的情况时，不能迅速调整气源供应和运输路径，导致用户的用气需求无法得到满足。对新能源发展带来的挑战应对不足，随着太阳能、风能等新能源的快速发展，天然气在能源市场中的竞争压力逐渐增大。管道运输调度未能充分考虑新能源的替代效应和市场份额的变化，在市场竞争中处于被动地位。未能及时调整运输策略，以适应新能源与天然气协同发展的需求，影响了天然气的市场竞争力和发展前景。

2 天然气管道运输调度优化模型构建

模型构建的目标与思路。天然气管道运输调度优化模型的构建旨在实现多个关键目标，以提升天然气运输的整体效率和经济效益，同时保障能源供应的稳定性和可靠性。

从降低运输成本的角度来看，运输成本是天然气管道运输企业运营中的重要支出，降低运输成本对于提高企业的盈利能力和市场竞争力具有关键意义。这包括能源消耗成本、设备维护成本、人力成本等多个方面。在能源消耗成本方面，压缩机作为天然气管道运输中的关键设备，其运行需要消耗大量的能源，如电力或天然气自身。通过优化压缩机的运行参数，如合理调整压缩机的转速、功率和启停时间，使压缩机在满足运输需求的前提下，尽可能降低能源消耗。在设备维护成本方面，通过合理安排设备的维护计划，避免过度维护或维护不足的情况，可有效降低设备的维修和更换频率，从而降低设备维护成本。通过优化

调度方案，合理分配人力，提高人力资源的利用效率，也能降低人力成本。

提高运输效率是模型构建的另一个重要目标。运输效率的提高可以确保天然气能够更加及时、准确地输送到用户手中，满足市场需求，增强能源供应的稳定性。减少运输时间是提高运输效率的关键，通过优化运输路径，避免迂回运输和不必要的中转，可使天然气能够以最短的路径和最快的速度到达目的地。提高管道的利用率也是提高运输效率的重要手段，通过合理安排气源的输送量和输送时间，使管道始终保持在较高的负荷率下运行，避免管道资源的闲置和浪费，从而提高管道的运输能力和效率。

在保障供气稳定性方面，稳定的供气是满足用户需求、维护社会正常生产生活秩序的基础。天然气的需求具有明显的季节性和波动性，在冬季供暖季和夏季制冷季，天然气的需求量会大幅增加，而在其他季节需求则相对较低。通过优化调度，建立合理的储气调峰策略，在需求低谷期储存多余的天然气，在需求高峰期释放储存的天然气，以平衡供需关系，确保在各种情况下都能满足用户的用气需求。应对突发情况也是保障供气稳定性的重要内容，制定完善的应急预案，建立快速响应机制，当遇到天然气供应中断、管道故障等突发情况时，能够迅速采取措施，调整运输方案，保障供气的连续性，减少对用户的影响。

3 模型应用效果与优化建议

在实际应用中，本模型展现出了显著的成本降低效果。以天然气管道运输项目为例，在采用优化模型之前，该项目的月运输成本较高，其中压缩机站的能源消耗费用和管道损耗费用占据了较大比重。压缩机站为了维持天然气的输送压力，需要持续运行大功率的压缩机，导致能源消耗巨大。部分管道由于输送路径不合理或流量分配不均，造成了较高的损耗费用。

应用优化模型后，通过对气源分配、管道流量和压缩机运行参数的优化，运输成本得到了有效控制。在气源分配方面，模型根据各气源的成本、产量以及与用户的距离等因素，实现了气源的最优配置。原本从较远且成本较高的气源输送天然气到某些用户，优化后改为从更近且成本较低的气源供应，减少了运输里程和成本。在管道流量优化上，通过对管道输送能力和用户需求的精确分析，合理调整了各管道的流量分配，避免了管道的拥堵和资源浪费，降低了管道损耗费用。在压缩机运行参数优化方面，通过调整压缩机的转速和功率，使其在满足运输需求的前提下，能源消耗大幅降低。

优化后的调度方案有效提高了运输效率。通过优

化运输路径，减少了天然气在管道中的迂回运输和不必要的中转，使天然气能够以更快捷的方式到达用户。原本从气源地到用户需要经过多条复杂的管道线路，运输时间较长，优化后通过合理规划，选择了更直接的运输路径，缩短了运输时间。合理分配管道流量，确保了管道的高效运行，减少了因流量不均导致的运输延误。通过实时监测管道运行状态，及时调整流量，避免了管道的堵塞和压力波动，提高了运输的稳定性和可靠性。

在保障供气稳定性方面，优化模型也取得了良好的效果。在优化前，由于缺乏有效的调度策略和应急预案，当遇到天然气需求波动或气源供应问题时，容易出现供气不稳定的情况。在夏季高温天气，部分地区的天然气需求突然增加，而气源供应无法及时调整，导致部分用户的用气受到影响。

优化后的模型通过建立合理的储气调峰策略和应急响应机制，有效保障了供气的稳定性。在需求低谷期，将多余的天然气储存起来，以备需求高峰期使用。通过对历史需求数据的分析，预测不同季节和时间段的天然气需求，合理安排储气和供气计划。当遇到突发情况时，如气源供应中断或管道故障，模型能够迅速启动应急预案，通过调整气源供应、优化运输路径等方式，保障供气的连续性。及时从其他气源调配天然气，或者通过启用备用管道，确保用户的用气不受影响。

综上所述，本天然气管道运输调度优化模型在实际应用中，从成本降低、效率提升和保障供气稳定性等方面都取得了显著的效果，具有重要的实际应用价值和推广意义。

4 结论

本研究聚焦于天然气管道运输调度优化这一关键领域，从多个维度展开深入探究，取得了一系列具有重要理论意义和实际应用价值的成果。它为天然气管道运输企业提供了科学的决策支持，有助于企业实现高效、经济、安全的运输调度，提升企业的整体运营水平。也为天然气行业的发展提供了有益的参考，促进了天然气资源的合理利用和优化配置，推动了能源领域的可持续发展。

参考文献：

- [1] 周鹏,魏琪.天然气长输管网优化建模及求解研究进展[J].油气储运 2024,43(3):51-260.
- [2] 刘定智,刘建勋,李长俊.基于“全国一张网”的天然气管输优化模型构建及应用[J].天然气工业,2021,41(10):123-131.