

天然气长输管网优化建模及求解研究探讨

任雨涵, 李映霏, 陈渝静

中国石油西南油气田分公司天然气经济研究所, 四川 成都 610056

摘 要 : 随着天然气消费需求的不断增长, 天然气长输管网的优化成为亟待解决的问题。本文旨在探讨天然气长输管网优化建模及求解的研究进展, 以降低管网运营成本、提高天然气供应可靠性。通过对天然气长输管网优化建模及求解方法的研究进展进行系统总结, 为降低管网运营成本、提高天然气供应可靠性提供了理论支持。然而, 综合考虑经济属性与物理属性、应用市场均衡模型等方面的研究仍有待加强。未来研究应致力于探讨这些方向, 以实现天然气长输管网的优化。

关 键 词 : 天然气长输管网; 优化建模; 求解方法

Research on Optimization Modeling and Solution of Natural Gas Long Distance Pipeline Network

Ren Yuhan, Li Yingfei, Chen Yujing

Natural Gas Economics Research Institute of PetroChina Southwest Oil and Gas Field Branch, Chengdu, Sichuan 610056

Abstract : With the continuous growth of natural gas consumption demand, the optimization of natural gas long-distance transmission pipelines has become an urgent problem to be solved. This article aimed to explore the research progress of optimization modeling and solution for natural gas long-distance pipeline networks, in order to reduce pipeline operation costs and improve the reliability of natural gas supply. Through systematic summary of the research progress on optimization modeling and solution methods for natural gas long-distance pipeline networks provides theoretical support for reducing pipeline operation costs and improving the reliability of natural gas supply. However, research on the comprehensive consideration of economic and physical attributes, as well as the application of market equilibrium models, still needed to be strengthened. The future research should focus on exploring these directions to achieve optimization of natural gas long-distance pipeline networks.

Keywords : natural gas long distance pipeline; optimization modeling; solution method

一、天然气长输管网优化建模方法

天然气长输管网优化建模方法可以分为基于物理属性、基于经济属性以及综合考虑经济属性与物理属性三类。

(一) 基于物理属性的建模方法

基于物理属性的建模方法主要关注天然气长输管网的物理特性, 如管道长度、管径、输气能力、压缩站布局等。这类方法旨在通过优化管网的物理参数来实现运行成本最低、供应可靠性最高的目标。常见的基于物理属性的优化模型包括: 线性规划模型、网络流模型、遗传算法等。这些模型在解决特定阶段下单一属性的管网优化问题方面具有较好的效果, 但难以同时兼顾经济性和物理属性。

(二) 基于经济属性的建模方法

基于经济属性的建模方法主要关注天然气长输管网的经济性, 包括投资成本、运行成本、维护成本等。这类方法旨在通过优化管网的经济指标来实现经济效益最大化的目标。常见的基于经济属性的优化模型包括^[1]: 成本最小化模型、收益最大化模型、投资回报分析等。这些模型在提高管网的经济性方面具有较好的效果, 但可能忽视了管网的物理特性。

(三) 综合考虑经济属性与物理属性的建模方法

为了同时兼顾天然气长输管网的经济性和物理属性, 综合考虑经济属性与物理属性的建模方法应运而生。这类方法通过将经济指标与物理特性相结合, 构建更为全面的优化模型。常见的综合考虑经济属性与物理属性的优化模型包括: 多目标优化模型、混合整数线性规划模型、遗传算法与模拟退火算法等。这些模型在平衡经济性与物理属性方面具有较好的效果, 有助于提高管网的经济性和可靠性。

综上所述, 天然气长输管网优化建模方法可分为基于物理属性、基于经济属性以及综合考虑经济属性与物理属性三类。各类方法均有其优点和局限性, 研究人员可根据实际问题选择合适的建模方法, 为天然气长输管网的优化提供科学依据。未来研究可关注天然气市场均衡模型在管网优化中的应用, 以期进一步提高管网的经济性、可靠性和可持续性。

二、天然气长输管网优化求解算法

(一) 启发式算法

启发式算法是一种基于经验规则和直观判断的优化方法。在

天然气长输管网优化问题中，启发式算法可以快速找到一个较为满意的解决方案。常见的启发式算法包括模拟退火算法、遗传算法、粒子群优化算法等。这些算法在求解过程中具有较好的全局搜索能力，可以避免陷入局部最优解。然而，启发式算法的收敛速度较慢，且求解结果可能不唯一。

（二）精确算法

精确算法是一种基于数学模型的优化方法，可以求解特定的优化问题。在天然气长输管网优化问题中，精确算法主要包括线性规划、非线性规划、动态规划等。这些算法具有较高的求解精度，但需要解决复杂的数学问题。精确算法在处理大规模问题时，计算量较大，求解速度较慢。

（三）混合算法

在天然气长输管网优化问题中，混合算法主要包括以下几种形式^[2]：

（1）启发式算法与精确算法的混合：通过将启发式算法与精确算法相结合，可以在保证求解精度的同时，提高求解速度。例如，在遗传算法中引入模拟退火算法，形成一种混合遗传算法，以提高求解全局最优解的能力。

（2）多种启发式算法的混合：通过将多种启发式算法相互结合，可以克服单一算法的局限性，提高求解效果。例如，将粒子群优化算法与模拟退火算法相结合，形成一种混合粒子群优化算法，以提高求解效率和准确性。

总之，天然气长输管网优化求解算法包括启发式算法、精确算法和混合算法。这些算法各有优缺点，适用于不同类型的问题和场景。在实际应用中，根据问题的特点和需求，选择合适的求解算法至关重要。未来研究可以关注算法之间的融合与创新，以进一步提高天然气长输管网优化的求解效果。

三、起伏地形天然气长输管道运行优化研究

（一）影响管道运营费用的因素分析

在起伏地形天然气长输管道系统中，影响管道运营费用的因素繁多。首先，管道本身的材料、长度、直径等物理属性对运营费用有直接影响。此外，沿线的地形、地质条件也是影响因素之一，特别是在起伏地形区域，高程差会导致管道敷设方式的差异，进而影响运营费用。另外，压缩机站的位置、数量和运行参数，以及天然气的输送距离和流量等也是影响运营费用的关键因素。

（二）考虑沿线高程差的影响

沿线高程差对天然气长输管道的运行优化具有显著影响^[3]。首先，高程差会影响管道的压力分布，从而导致压缩机能耗的增加。在起伏地形区域，由于高程差的存在，管道需要安装相应的调节设备，如压缩机和调节阀，以维持管道的正常运行。此外，高程差还会影响管道的敷设方式，例如，采用埋地敷设还是架空敷设。沿线高程差导致的管道长度增加、弯头和弯曲段的数量增多，从而使得管道建设成本和运营费用增加。

为考虑沿线高程差的影响，长输管道运行优化方法需要结合

地形地貌特点，对管道系统进行合理划分，制定针对性的优化策略。例如，可以根据地形特点优化压缩机站的布局，降低高程差对管道运行的影响。同时，通过调整压缩机站的运行参数，实现能耗的优化。此外，采用先进的监测和控制技术，实时掌握管道运行状态，确保管道在安全、可靠、经济的状态下运行。

（三）管道运行优化方法与应用

针对起伏地形天然气长输管道的运行优化，研究者提出了多种优化方法^[4]。其中包括基于数学规划的方法、动态规划法、遗传算法、粒子群优化算法等。这些方法旨在优化管道系统的运行参数，如压缩机站的布局、运行参数调整、管道维修策略等，以降低运营成本、提高管道运行效率和可靠性。具体应用方面，例如采用遗传算法对压缩机站的布局进行优化，根据地形地貌和管道运行参数，自动搜索最优解。通过优化压缩机站的布局，可以有效降低管道系统的运行费用，提高天然气输送效率。另外，采用粒子群优化算法对管道维护策略进行优化，以延长管道使用寿命，降低维修成本。

四、天然气市场均衡模型在管网优化中的应用

（一）天然气市场均衡模型的建立

模型建立主要分为以下几个步骤：

- （1）确定研究对象，如某一区域内的天然气市场；
- （2）梳理天然气市场的供需关系，包括天然气产量、消费量、输配设施等因素；
- （3）构建天然气市场均衡方程，反映供需平衡下的价格与产量关系；
- （4）引入不确定性因素，如天然气价格波动、市场需求波动等；
- （5）求解模型，得到在不同条件下的天然气市场均衡价格和产量。

（二）模型在管网优化中的作用

天然气市场均衡模型在管网优化中的作用主要体现在以下几个方面^[5]：

- （1）提高管网运行效率：通过分析天然气市场供需关系，优化天然气资源配置，降低输配成本，提高管网运行效率；
- （2）提升管网可靠性：根据市场需求和供应情况，合理规划天然气管道布局，提高天然气供应的稳定性和可靠性；
- （3）降低管网投资风险：预测天然气市场发展趋势，为管网规划与投资提供科学依据，降低投资风险；
- （4）促进天然气市场公平竞争：通过模型分析，了解市场竞争态势，规范天然气市场秩序，促进市场公平竞争。

五、结论与展望

（一）天然气长输管网优化建模及求解的研究成果

- （1）建模方法：研究者们针对天然气长输管网的特性，提出了基于物理属性和经济属性的多种优化模型。这些模型有助于更

准确地描述和解决管网优化问题，为天然气长输管网的规划、设计和管理提供了理论依据。

(2) 求解算法：为了解决复杂的天然气长输管网优化问题，研究者们提出了多种启发式算法，如遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等。这些算法在求解过程中表现出较高的收敛速度和求解效率，为实际工程应用提供了有力支持。

(3) 应用场景：天然气长输管网优化研究已成功应用于我国多个实际工程项目，取得了良好的经济效益和社会效益。这些应用成果为我国天然气长输管网的建设和运营提供了有力保障。

(二) 未来研究方向与趋势

根据现有研究成果和天然气产业发展需求，未来天然气长输管网优化建模及求解的研究方向与趋势如下：

(1) 综合考虑经济属性与物理属性：为进一步提高天然气长输管网的经济性和可靠性，研究应综合考虑经济属性与物理属性，实现设计与运行的优化统筹。

(2) 天然气市场均衡模型应用：随着我国天然气市场的不断发展和改革，天然气市场均衡模型在管网优化中的应用将受到更多关注。这有助于更好地满足市场需求，提高天然气供应的可靠性和经济性。

(3) 非稳态优化：研究天然气长输管网在非稳态条件下的优化问题，有助于提高管网的运行效率和安全性。

(4) 智能算法研究：针对复杂多变的天然气长输管网优化问题，继续研究高效、智能的求解算法，以提高求解速度和准确性。

参考文献

- [1] 何润民, 熊伟杨, 雅雯, 任雨涵. 中国天然气市场发展分析与研究 [J]. 天然气技术与经济, 2018, 12(6): 21-24.
- [2] 何润民, 王富平, 李洪兵, 邹晓琴, 王 莅. 基于最优组合模型的中国天然气需求量预测 [J]. 天然气技术与经济, 2021, 15(6): 50-57.
- [3] 何春蕾, 段言志, 李森圣. 国家油气管网公司成立后的天然气价格机制改革建议 [J]. 天然气技术与经济, 2020, 14(3): 68-73.
- [4] 李宝军, 贺志明, 朱力洋, 等. 川渝地区建设中国天然气市场化改革展示示范区的思考 [J]. 天然气工业, 2020, 40(11): 66-68.
- [5] 何春蕾, 段言志, 张颢等. 中国天然气价格改革理论研究进展及其应用回顾与展望 [J]. 天然气工业, 2023, 43(12): 111-113.