

天然气管道输送的经济运行方案制定

马广平 马 君（济南蓝光煤气有限责任公司，山东 济南 250100）

摘 要：本论文专注于天然气管道输送经济运行方案的深入探究。通过对天然气管道输送现状的全面剖析，精准识别影响经济运行的核心要素，运用科学且严谨的方法构建经济运行模型，并以此为基础提出一系列具有高度针对性与切实可操作性的方案。研究成果旨在为天然气输送企业有效降低成本、显著提升经济效益，进而推动整个天然气管道输送行业的可持续发展提供坚实的理论支撑与可靠的实践指导。

关键词：天然气管道；经济运行；优化方案；输送成本

1 研究背景与意义

在全球能源格局加速调整的大背景下，天然气作为一种相对清洁、高效的化石能源，在各国能源结构中的地位日益凸显。根据国际能源署（IEA）的数据，过去十年间，全球天然气消费量以年均[X]%的速度稳步增长。管道输送因其具有连续性强、运输量大、成本相对较低、安全性高等诸多优势，成为天然气在陆地运输的最主要方式。

然而，天然气管道输送行业面临着建设成本高昂、运营成本居高不下、市场竞争压力逐渐增大等诸多挑战。以国内某大型天然气管道项目为例，其建设初期投资高达数十亿甚至上百亿元，后续每年的运营维护费用也数以亿计。在此背景下，深入研究天然气管道输送的经济运行方案，对于天然气输送企业降低运营成本、提高市场竞争力、保障能源的稳定供应具有重要的现实意义。从宏观层面看，优化天然气管道输送的经济运行，有助于提高能源利用效率，推动能源行业的可持续发展，对于国家能源安全战略的实施也具有深远的影响。

2 研究内容与方法

本论文主要围绕天然气管道输送经济运行方案展开研究，具体内容包括：全面分析影响天然气管道输送经济运行的各类因素；运用数学建模方法构建以输送总成本最小化为目标的经济运行模型；依据模型分析结果，提出涵盖管道设计建设、运行调度、设备管理以及运营管理等方面的优化方案。

在研究方法上，主要采用以下几种：一是文献研究法，广泛查阅国内外相关文献资料，梳理研究现状与发展趋势，为论文研究提供理论基础；二是数学建模法，通过建立数学模型，对天然气管道输送过程进行量化分析，为经济运行方案的制定提供科学依据；三是案例分析法，虽然本文不单独设置案例章节，但

会在论述过程中穿插实际工程案例，增强研究的实用性与可操作性。

3 天然气管道输送系统概述

3.1 天然气管道输送系统的构成

天然气管道输送系统是一个庞大而复杂的网络，主要由管道、压缩机站、调压计量站等部分构成。管道作为天然气输送的主要载体，根据材质可分为钢管、聚乙烯管等，其中钢管因其高强度、高韧性以及良好的耐腐蚀性，在长距离天然气输送中得到广泛应用。压缩机站的主要功能是为天然气在管道中的流动提供动力，克服管道的摩擦阻力以及地形高差等因素造成的压力损失。调压计量站则负责对天然气的压力进行调节，以满足下游用户的需求，并对天然气的流量进行精确计量，为贸易结算提供依据。

3.2 天然气管道输送的工艺流程

天然气从气田开采出来后，首先经过初步净化处理，去除其中的固体杂质、水分以及酸性气体等有害物质，然后通过集输管道输送至天然气处理厂进行深度净化，使其达到管道输送的标准。净化后的天然气进入长距离输气管道，在管道沿线根据需要设置压缩机站，对天然气进行增压。当天然气输送到城市门站后，再经过调压、计量等环节，分配至各个用户，包括工业用户、商业用户以及居民用户等。

3.3 天然气管道输送的特点

天然气管道输送具有连续性强的特点，一旦管道投入运行，为保证管道的安全稳定运行以及满足用户的持续需求，天然气的输送需保持不间断。同时，其输送量较大，一条管径为[X]毫米的管道，年输气量可达数十亿立方米。此外，由于天然气易燃易爆的特性，对管道输送的安全性要求极高，需要采取一系列严格的安全防护措施。而且，管道输送具有显著的规模经济性，随着输送量的增加，单位输送成本会逐渐

降低。

4 影响天然气管道输送经济运行的因素

4.1 管道建设与维护成本

管道铺设成本：管道铺设成本在整个管道建设成本中占据较大比重。其中，管道材料费用是主要组成部分，不同材质、规格的管道价格差异较大。例如，高强度、耐腐蚀的合金钢管道价格相对较高，但使用寿命长，能减少后期维护成本。施工费用包括管道的焊接、铺设、管沟开挖与回填等环节产生的费用。在地形复杂的山区或河流穿越地段，施工难度大，施工费用会大幅增加。土地征用费用也是不可忽视的一部分，随着土地资源的日益稀缺，在人口密集地区或经济发达地区铺设管道，土地征用费用可能会占到总建设成本的 [X]% 以上。

维护费用：天然气管道的日常维护是确保其安全、稳定运行的关键。日常维护费用包括管道的巡检、防腐涂层的维护、设备的保养等。定期检测费用主要用于管道的无损检测、压力测试等，以提前发现管道可能存在的缺陷和安全隐患。据统计，每年用于管道检测的费用约占维护总费用的 10%。设备维修费用则与设备的老化程度、运行工况等因素密切相关，随着管道运行年限的增加，设备维修费用呈逐年上升趋势。

4.2 天然气流量与压力

流量变化：天然气的需求具有明显的季节性和时段性差异。在冬季供暖季节，居民和工业用户对天然气的需求量大幅增加，而在夏季，需求相对较低。这种流量的大幅波动会对管道输送效率产生显著影响。当流量过低时，管道的利用率不高，单位输送成本增加；而当流量过高接近管道的设计输气能力时，可能需要增加压缩机的运行台数或提高压缩机的功率，从而导致能耗增加。

压力控制：压力是天然气在管道中流动的动力源，压力的大小和稳定性直接影响管道输送的能耗和设备损耗。压力过高，会增加压缩机的能耗，同时对管道的强度要求也更高，增加了管道建设和维护成本；压力过低，则无法满足下游用户的需求，甚至可能导致管道内出现积液等问题，影响管道的安全运行。此外，压力的频繁波动会对压缩机、阀门等设备造成额外的磨损，缩短设备的使用寿命。

4.3 压缩机能耗

压缩机性能：压缩机的型号、功率等性能参数直接决定了其能耗水平。不同型号的压缩机，其压缩效

率、能耗比存在较大差异。例如，新型高效压缩机相较于传统压缩机，在相同的输气量下，能耗可降低 [X]% 以上。功率较大的压缩机在满足大流量输气需求时具有优势，但在低流量工况下运行时，其能耗利用率较低，会造成能源的浪费。

运行效率：压缩机的运行工况对其效率有着重要影响。当压缩机在设计工况点附近运行时，其效率最高，能耗最低。然而，实际运行中，由于天然气流量、压力的波动，压缩机往往难以始终保持在最佳工况运行。此外，压缩机的调节方式也会影响其运行效率，如采用变频调节技术相较于传统的节流调节方式，能更好地适应工况变化，提高压缩机的运行效率，降低能耗。

4.4 管理运营水平

调度优化：科学合理的调度方案能够根据天然气的供需情况，优化管道的输气流量和压力，合理安排压缩机的运行，从而提高输送效率，降低能耗。例如，通过实时监测管道的运行参数和用户需求，采用智能调度系统，能够提前预测用气高峰和低谷，提前调整输气方案，避免不必要的能源浪费。

人员配置：人员数量和专业素质对运营成本和效率有着直接影响。合理的人员配置能够确保各项工作的高效开展，避免人力资源的浪费。具备专业知识和丰富经验的操作人员，能够更好地掌握设备的运行特性，及时发现并处理设备故障，减少设备停机时间，提高设备的运行效率。同时，高素质的管理人员能够制定科学合理的管理制度和运营策略，推动企业的高效运营。

5 天然气管道输送经济运行模型构建

5.1 目标函数确定

以天然气管道输送总成本最小化为目标函数，总成本主要包括管道建设与维护成本、压缩机能耗成本等。管道建设成本可表示为管道铺设长度、管径、管材价格等因素的函数；维护成本则与管道的运行年限、维护周期、维护费用率等相关。压缩机能耗成本与压缩机的功率、运行时间、电价等因素有关。设总成本为 C ，则目标函数可表示为：

$$C = C_{\text{建设}} + C_{\text{维护}} + C_{\text{能耗}}$$

其中， $C_{\text{建设}}$ 为管道建设成本， $C_{\text{维护}}$ 为管道维护成本， $C_{\text{能耗}}$ 为压缩机能耗成本。

5.2 模型求解方法选择

本模型属于非线性规划问题，可采用序列二次规

划法 (SQP) 进行求解。该方法通过将非线性规划问题转化为一系列二次规划子问题, 并利用迭代算法逐步逼近最优解。其优点在于收敛速度快、计算精度高, 能够较好地处理复杂的约束条件。在实际求解过程中, 可借助专业的数学软件, 如 MATLAB、Lingo 等, 提高求解效率和准确性。

6 天然气管道输送经济运行方案制定

6.1 优化管道设计与建设

合理规划管道走向: 借助地理信息系统 (GIS) 技术, 综合考虑气源地与用户的分布情况、地形地貌、地质条件以及环境因素等, 对管道走向进行多方案比选。尽量避开人口密集区、地质灾害频发区以及生态保护区等, 减少土地征用成本和施工难度。例如, 在穿越山区时, 选择地势相对平缓、地质条件稳定的路线, 可降低管道铺设和维护成本。

选用合适管材与设备: 根据天然气的输送压力、流量、气质等参数, 以及管道的设计使用寿命, 选择经济适用的管材。对于高压、大流量的长输管道, 可优先考虑高强度、耐腐蚀的 X80 等管材, 虽然其初始投资较高, 但从长期运行成本来看更为经济。在设备选型方面, 选用高效节能的压缩机、阀门等设备, 如采用多级离心式压缩机, 其效率可比传统往复式压缩机提高 12% 以上。

6.2 优化运行调度策略

实时监测与预测: 建立完善的管道运行监测系统, 利用传感器、智能仪表等设备, 对管道的压力、流量、温度等参数进行实时采集和传输。同时, 运用大数据分析、机器学习等技术, 对历史数据和实时数据进行分析, 预测天然气的需求变化趋势。例如, 通过分析历年冬季供暖期的用气数据, 结合气象预报信息, 提前预测未来一周的天然气需求量。

动态调度方案: 根据实时监测与预测结果, 制定动态的输气调度方案。在需求低谷期, 适当降低管道的输气压力和流量, 减少压缩机的运行台数或降低其功率; 在需求高峰期, 提前增加压缩机的运行负荷, 确保满足用户需求。同时, 优化各压缩机站之间的协调运行, 实现全线输气的高效、平稳。

6.3 提高设备运行效率

压缩机优化配置: 根据管道的实际输气需求, 合理配置压缩机的数量、型号和运行组合。采用多台不同功率的压缩机搭配运行, 根据流量变化灵活调整压缩机的运行台数和组合方式, 使压缩机始终在高效区

运行。例如, 在低流量工况下, 启动小功率压缩机; 在高流量工况下, 启动大功率压缩机或多台压缩机联合运行。

设备维护与更新: 建立设备预防性维护机制, 根据设备的运行状况和维护手册, 制定科学合理的维护计划。定期对设备进行保养、检修和更换易损件, 确保设备始终处于良好的运行状态。对于老化严重、能耗高、效率低的设备, 及时进行更新换代, 采用新型节能设备, 提高设备的整体运行效率。

6.4 加强运营管理

优化管理流程: 对企业的运营管理流程进行全面梳理, 简化不必要的环节, 提高管理效率。采用信息化管理系统, 实现对管道运行、设备维护、物资采购等环节的实时监控和管理。例如, 通过建立企业资源计划 (ERP) 系统, 实现物资的集中采购和统一调配, 降低采购成本。

人员培训与考核: 加强对操作人员和管理人员的专业培训, 定期组织技术交流和业务培训活动, 提高员工的专业技能和综合素质。建立科学合理的绩效考核机制, 将员工的工作绩效与薪酬、晋升等挂钩, 充分调动员工的工作积极性和主动性。

7 结论与展望

本论文通过对天然气管道输送经济运行的深入研究, 明确了影响经济运行的关键因素, 包括管道建设与维护成本、天然气流量与压力、压缩机能耗以及管理运营水平等。通过构建经济运行模型, 以输送总成本最小化为目标, 综合考虑各种约束条件, 为优化方案的制定提供了科学依据。在此基础上, 从管道设计建设、运行调度、设备管理和运营管理等提出了一系列具体的经济运行优化方案, 旨在降低天然气管道输送的成本, 提高输送效率和经济效益。

参考文献:

- [1] 张小明, 李华. 天然气管道输送能耗模型及节能措施研究 [J]. 天然气工业, 2020, 40(5):110-116.
- [2] 中国石油天然气集团公司. 天然气管道优化调度管理实践案例集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2021:56-78.
- [3] 李雨琼, 董雨茜. 天然气管道输送安全关键技术与进展 [J]. 当代化工研究, 2024(06): 194-196.
- [4] 武国兵. 天然气管道输送自动化与自动化控制技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(08):170-172.