

天然气长输管道生产运行优化与计量管理

李艳文 何群 李欣同（陕西省天然气股份有限公司，陕西 西安 710000）

摘要：随着陕西省能源需求升级与“全省一张网”建设推进，我公司天然气长输管道作为陕西能源动脉的核心作用愈发凸显。其运行系统兼具技术复杂性与场景多样性，在用户负荷波动、设备长效运维等多重因素影响下，逐渐暴露出参数适配不足、能耗偏高、计量争议等现实难题，制约了能源输送效率与贸易公平性。本文围绕天然气长输管道生产运行优化与计量管理，结合数字化转型实践，从工艺调控、设备运维、能耗控制与计量管控等维度展开分析，旨在为管道高效安全运营提供思路，助力提升能源利用率与供应稳定性，保障天然气贸易结算的精准与公正。

关键词：天然气长输管道；生产运行优化；计量管理；工艺参数；能耗控制

中图分类号：TE832 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)033-0094-03

Optimization of production and operation and metering management of long-distance natural gas pipeline

Li Yanwen, He Qun, Li Xintong (Shaanxi province natural gas co., ltd., Xi'an Shaanxi 710000, China)

Abstract: With the upgrading of energy demand in Shaanxi Province and the promotion of the construction of “one network in the whole province”, the core role of our company’s long-distance natural gas pipeline as the energy artery in Shaanxi Province has become more and more prominent. Its operating system has both technical complexity and scene diversity. Under the influence of multiple factors, such as user load fluctuation and long-term operation and maintenance of equipment, it gradually exposes practical problems such as insufficient parameter adaptation, high energy consumption and measurement dispute, which restricts energy transmission efficiency and trade fairness. Based on the optimization of production and operation and metering management of long-distance natural gas pipeline, combined with the practice of digital transformation, this paper analyzes it from the dimensions of process control, equipment operation and maintenance, energy consumption control and metering control, aiming at providing ideas for efficient and safe operation of the pipeline, helping to improve energy utilization and supply stability, and ensuring the accuracy and fairness of natural gas trade settlement.

Key words: natural gas long-distance pipeline; Optimization of production operation; Measurement management; Process parameters; Energy consumption control

天然气长输管道的主要作用是将天然气从气田、净化厂到城市门站、工业用户的长距离传输，其运行状态对于天然气能源的供应稳定性、安全性存在直接影响。然而天然气长输管道运行中存在设备老化、工艺参数不合理、输气量变化、用户不稳定等多样化问题，造成管道运行中存在能耗偏高、运行效率降低等缺陷。同时，天然气长输管道运行中计量管理存在精度不足、数据追溯性差、误差控制不到位等问题，对企业经济效益造成不利影响，也会引发贸易纠纷。因此，深入研究天然气长输管道生产运行优化与计量管理措施，能够提高能源利用率，保证管道运行效率以及能源安全。

1 生产运行现状及问题

天然气长输管道运行中能够达到稳定要求，然而有些管道依然存在较多问题，如下：一是参数匹配度较低。有些天然气长输管道设计环节未分析后续用户负荷变化，造成运行中存在压力、流量等参数和管道输送不匹配的现象。如部分支线管道因为用户用气波

动频繁存在“大马拉小车”或输送压力不足的问题，进而对管道输送效率造成影响；二是设备水平较低。天然气长输管道、压缩机组、调压器等关键设备处于高负荷工作状态，有些企业因为运维资金不足、技术落后等导致故障发生率较高；三是能耗控制效果较差。天然气长输管道运行中压缩机耗电、加热系统耗气等方面未能有效控制，有些管道采用定速运行模式，未根据输送量动态调整机组运行参数而造成输气能耗较高。根据统计显示天然气长输管道运行中，单位输气耗能比国际先进水平高15%~20%^[1]。

2 计量管理现状及问题

天然气长输管道计量管理对于天然气贸易结算、成本核算存在直接影响，目前天然气长输管道计量管理存在如下问题：一是计量设备精度差。有些天然气运营企业为降低成本，没有采购精度合格的计量设备，如有些分输站选用孔板流量计精度值为1.5级，无法满足天然气计量精度要求；二是计量数据管理不规范。有些天然气长输管道计量数据采用人工记录、纸质存

档等方式，这就造成数据错误率高、追溯性差，且未建设统一的数据管理平台造成数据无法及时共享和分析；三是计量误差控制不足。天然气长输管道运行中计量误差受到压力、温度、气质组分等多方因素影响，有些企业未能建设误差修正机制，如没有及时根据气质组分调整流量计算参数，造成计量误差超过行业标准 0.5%；四是计量监测体系不完善。有些地区天然气长输管道计量监控存在“重检定、轻日常监管”的问题，管道计量设备的日常维护、数据真实性、监督不足造成存在纠纷^[2]。

3 天然气长输管道生产运行优化策略

3.1 工艺参数优化

天然气长输管道工艺参数是提高管道运行效率的关键，通过对天然气长输管道输送能力、用户负荷变化、气质特性等分析，能够动态化调整压力、流量、温度等参数。一是压力参数优化。天然气长输管道采用变压力输送模式，需要综合考虑到下游用户负荷变化情况，使用 SCADA 系统实时调整管道起点压力与中间加压站压力，如用户用气高峰时段适当增大管道压力以满足用户需求；用气低谷时段则降低管道压力以防能源损耗；二是流量参数优化。天然气长输管道使用动态流量分配策略，通过建设管道水力计算模型，考虑到各分输站用气需求合理分配管道流量，防止存在支线管道天然气流量过载或不足现象。例如，天然气长输管道建设水力模型，使支线管道流量分配误差控制在 5% 以内，进而提高管道输送效率；三是温度参数优化。对于含水的天然气长输管道，采用加热系统保证天然气温度合格，防止液态水析出造成管道腐蚀或水合物堵塞。同时，综合分析天然气气质组分中的含水量，动态调整加热温度，如含水量超过饱和点或水露点风险较高时，将加热温度提高至 30℃~40℃，加大过滤排污频次，持续监测含水率，提升管输效率。

3.2 设备运维优化

天然气长输管道系统关键设备稳定运行是提高管道运行可靠的关键，需要从运营模式、技术手段方面展开优化。一是建设预测性运维模式。天然气长输管道中安装振动、温度、压力等传感器，获取压缩机组、阀门等运行数据，并利用大数据分析技术建设故障预测模型，能够提前感知故障问题；二是加强设备全生命周期管理。天然气长输管道运行中建设设备管理台账，对于设备采购、安装、检定、维护、报废等信息全面掌握，结合设备运行年限、性能衰减规律制定差异化维护策略。如运行年限超过 10 年的压缩机组增加维护频次，每 3 个月进行 1 次检修维护；运行年限 5 年以内设备间隔 6 个月进行 1 次检修维护；三是推

广先进运维技术。通过无人机巡检等对天然气长输管道进行线路巡查，并使用超声检测、漏磁检测等管道内检测方式，及时发现管道的变形与腐蚀问题，并及时进行管道修复^[3]。

3.3 调度指挥优化

天然气长输管道采取动态调度、数字调度、协同调度能够有效提升管理效率，降低运行成本，实现安全绿色发展。

一是构建动态调度预案体系。调度部门结合管道沿线用气负荷变化规律，科学划分不同季节、时段的调度场景，针对极端天气、设备检修、燃气泄漏等突发情况制定专项调度预案。调控中心定期组织开展预案演练，模拟不同场景下的调度响应流程，梳理预案执行中的衔接节点，明确各岗位人员的调度职责与操作流程，确保预案具备充分的可操作性和实效性。

二是完善调度信息集成平台。技术部门牵头整合管道压力、流量、温度等实时运行数据，接入沿线场站监控系统和用户用气数据，实现各类数据的实时共享与可视化展示。同时，在平台内搭建数据分析模块，调度人员通过模块对历史及实时运行数据进行趋势研判，借助数据关联分析识别调度过程中的潜在偏差，为精准调度决策提供坚实数据支撑。

三是建立跨部门协同调度机制。调控中心牵头明确自身与场站运营、设备维护、工程建设等部门的沟通流程，设定信息传递时限与反馈标准。调度部门定期组织召开生产调度协调会议，会上通报管道运行状态与调度计划，收集各部门对生产运行及工程建设的执行反馈，针对生产调度执行中的具体问题，各部门共同商议优化调整方案，形成完整的调度执行闭环管理机制。

4 天然气长输管道计量管理完善路径

4.1 优化计量设备选型

天然气长输管道计量管理的优化需要选择适宜的计量设备类型，考虑到计量场景及贸易需求来确定精度高、稳定性强的计量设备。一是分输站计量设备选型。天然气贸易结算中分输站为重要节点，需要选择精度超过 1.0 级的计量设备，比较常见的是超声流量计、涡轮流量计等，其中超声流量计的精度达到 0.5 级，且量程比宽、无压损、维护量小，能够满足高精度、大流量天然气计量要求，在年输气量超过 1 亿 m³ 的分输站中应用广泛；二是首站、末站计量设备选型。首站、末站是天然气长输管道输气量计量的重要站点，需要选择精度超过 0.5 级的计量设备，并采取双表并联模式，即：安装相同型号、相同精度的 2 台计量设备，如果 1 台计量设备发生故障，则另外 1 台设备立即投入使用以提高计量连续性；三是计量辅助设备选型。

天然气长输管道中配置精度较高的温度传感器、压力传感器、气质在线分析仪表，其中温度传感器精度不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，压力传感器精度不低于 $\pm 0.2\%$ 。气质在线分析能够实时分析甲烷、乙烷、丙烷、正丁烷、异丁烷、正戊烷、异戊烷、新戊烷、C6+、二氧化碳等组分含量，使计量误差修正有完整数据作为依托^[4]。

4.2 规范计量数据管理

天然气长输管道计量管理具备规范性、可追溯性，从而提高计量数据管理水平。一是实现计量数据自动化采集。天然气长输管道中建设 SCADA 系统、PLC 系统，采集计量设备流量、温度、压力、气质组分等参数，采集频率高于 1 次 /min，防止人工记录存在数据错误；二是构建统一的计量数据平台。天然气长输管道整合各输气站、分输站计量数据建设数据库，能够达到数据实时共享、查询、分析功能。该平台具备数据异常报警功能，如果计量环节发现压力骤降、流量突变等超出正常范围，则自动发出警报信号给计量管理人员；三是加强计量数据追溯管理。针对天然气长输管道计量数据采取加密存储，保存期限超过 5 年，并且建设数据修改追溯机制，任何人员修改计量数据需要提交申请，经过审批后留痕记录，以保证数据的真实性、可追溯性。此外，在计量数据自动化采集环节，需对 SCADA 系统与 PLC 系统的接口协议进行标准化适配，确保不同品牌、型号的计量设备数据能顺畅接入。同时，为避免系统故障导致数据缺失，需配置双机热备模式，当主系统出现异常时，备用系统可在 10s 内自动切换并持续采集数据。统一计量数据平台建设中，需划分不同层级的数据访问权限，输气站运维人员仅可查看本站实时数据，区域管理部门可获取管辖范围内所有站点的历史数据，总部层面则具备全管网数据的调取与分析权限^[5]。

4.3 强化计量误差控制

天然气长输管道计量误差控制需要从影响因素分析、修正机制方面出发，主要分为以下三个方面，一是分析计量误差影响因素。天然气长输管道计量误差主要是设备误差、环境误差、操作误差，而设备误差和计量设备精度存在直接关系，环境误差和温度、压力、气质组分存在关系，操作误差和人员操作规范性、技术水平存在关系。根据上述原因需要每年根据不同类型的流量计及配套温度、压力变送器进行合法合规检定，每季度完成流量计探头、叶轮及轴承清洁、声速核查等技术性维护检查，每月进行计量系统安全检查，每天对计量设施进行例行检查及全管网输差核查，确保计量设施的安全平稳运行；二是建设实时误差修正机制。天然气是可压缩气体，天然气组分、温度及压力值直接影响着天然气计量流量值的修正。通

过气质在线分析仪表采集气质组分、相对密度等天然气参数，通过温度、压力变送器测量天然气的温度、压力值，实时计算压缩因子对工况流量进行温度、压力补偿修正，转化为标况流量，确保计量系统的精准计量，避免因组分、温度及压力数据的测量不准确导致计量失误。

4.4 构建计量监管体系

天然气长输管道需要建设完善的计量监管体系，并通过如下措施建设协同监管机制：一是加强政府监管力度。市场监管部门定期对天然气长输管道计量设备进行强制检定，贸易计量器具使用单位应按照计量器具的检定规程要求开展周期检定，常用的超声波流量计检定周期为 2 年，涡轮流量计及配套变送器检定周期为 1 年，未检定或检定不合格的企业予以处罚。同时，建设计量纠纷调节机制，如果天然气长输管道企业和用户因计量问题存在纠纷，则及时组织地方三方机构检测，并出具权威报告；二是强化企业自律管理。天然气长输管道运营企业建设计量管理责任机制，明确计量管理人员的工作职责，并落实人员培训以提高计量操作水平。同时，天然气长输管道运营企业及时公开计量数据，接受用户监督以达到计量管理透明度要求；三是引入第三方监测机构。天然气长输管道运营企业委托第三方机构进行计量设备校准、计量误差检测等工作，第三方机构具备 CNAS 认证机制，以保证检测结果达到权威性、公正性。

5 结语

天然气长输管道是能源传输的关键性基础设施，其运营的可靠性、计量精准度对能源供应顺利进行以及社会能源安全存在直接影响。基于此，针对天然气长输管道运行实际情况，采取适宜的生产运行优化措施以及计量管理策略，能够保证天然气长输管道稳定运行、计量精准，为现代社会能源供应效果提升奠定基础。

参考文献：

- [1] 胡怡婷. 天然气长输管道运行阶段的风险管理 [J]. 化工管理 ,2019(34):217-218.
- [2] 陈旺东. 天然气长输管道安全防范及安全生产运行的对策研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2021,41(03):9-11.
- [3] 张文馨. 长输天然气管道安全防范及安全生产运行对策浅析 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2024,44(04):37-39.
- [4] 刘琦, 庄志环. 天然气能量计量总体实施方案探索与规划 [J]. 石油化工安全环保技术 ,2023,39(03):28-31+6.
- [5] 安志强. 基于天然气长输管道的防腐与防护策略分析 [J]. 石化技术 ,2023,30(12):91-93.