

信息化系统在天然气长输管道输差管理中的应用

李 宁

鄂尔多斯市能源局 内蒙古 鄂尔多斯 017010

摘 要：天然气长输管道输差管控直接关乎管网运营效益与安全稳定，传统人工核算模式存在数据偏差大、管控滞后、异常难溯源等短板。本文整合SCADA、GIS、物联网等信息化技术，阐述其在输差数据采集、智能核算、动态预警及故障定位中的应用方式，结合工程实例验证应用成效，分析现阶段系统应用短板，提出针对性优化对策，为天然气管道输差精细化、智能化管控提供实践参考。

关键词：信息化系统；天然气长输管道；输差管理；应用

引言：随着天然气长输管网规模化、复杂化发展，输差管控难度持续提升，输差超标不仅会造成燃气资源浪费、增加运营成本，还会掩盖管道泄漏隐患，威胁管网运行安全。传统输差管理依赖人工抄表、事后核算，数据完整性与时效性不足，难以适配现代化管网管控需求。为破解上述痛点，信息化、智能化管控成为行业发展主流趋势。本文聚焦多类信息化系统的融合应用，探究其在输差全流程管理中的实践价值，助力管网管控提质增效。

1 天然气长输管道输差与信息化系统基础概述

1.1 天然气长输管道输差核心理论

（1）输差定义、计算标准与行业管控指标要求。输差指管道首端与末端计量数据之差，叠加管存变化量后的综合偏差值，计算标准依据《天然气计量系统技术要求》及企业内控规程执行，行业通常将月度输差率控制在 $\pm 0.5\%$ 以内作为优秀管控指标。（2）输差主要成因。计量误差由仪表精度偏差、未修正工况参数引入；工况波动源于温度、压力突变导致输气密度计算失真；管道泄漏属突发物理性气量损失；数据不同步表现为站场与调度中心采集时标不一致，造成统计口径偏差。（3）输差超标对管网运营、成本管控、安全管理的负面影响。输差超标直接拉低管输效益，抬高单位输气成本；持续异常可能掩盖微小泄漏隐患，增加安全事故发生风险；同时削弱运营调度决策的可信度，影响上下游贸易结算公平性。

1.2 输差管理核心信息化系统架构与功能

（1）SCADA实时监控系统。该系统通过远程终端单元（RTU）与可编程逻辑控制器（PLC）实现沿线各计量站、阀室压力、温度、流量等工艺参数的秒级采集与远程调控，为输差核算提供统一时间断面下的原始数据底座。（2）GIS管网地理信息系统。该系统以地理空间数

据库为基础，实现管线路由、阀室、计量站等设施的数字化建模与可视化呈现，支持输异常点位快速空间定位，辅助运维人员精准到达现场处置^[1]。（3）输差智能核算与大数据分析系统。该系统自动对接SCADA与营销管理系统数据，按小时、日、月维度自动完成输差指标计算，并利用机器学习算法对历史输差序列进行趋势分析，识别异常波动模式，输出预警信号。（4）物联网感知系统。该系统依托部署于管道沿线的各类智能传感器（如超声波流量计、压力变送器、振动传感器等），实现前端数据实时采集与边缘计算，对压力骤降、流量突变等异常工况即时感知并上传报警。

1.3 信息化系统赋能输差管理的核心优势

（1）实现输差数据实时化、自动化处理，规避人工操作误差。信息化系统替代传统人工抄表与Excel手工核算模式，消除人为读数偏差、录入失误及计算错误，提升数据质量与核算效率。（2）打通多源数据壁垒，实现输差全流程动态管控。通过数据中台整合SCADA运行数据、GIS空间数据、计量检定数据及营销结算数据，形成输差“采集-核算-分析-处置”闭环管理链条，支持管理层实时掌握输差动态全貌。（3）支撑输差异常精准溯源、提前预警，提升管控主动性。基于大数据分析模型，系统能够自动定位输差贡献最大的管段、站点或时段，并建立预警阈值体系，在输差超标之前发出预报，推动输差管理由事后被动应对向事前主动干预转型。

2 信息化系统在天然气长输管道输差管理中的具体应用

2.1 基于信息化系统的输差数据精准采集与核算应用

（1）物联网+SCADA系统联动，24h不间断采集流量、压力、温度等核心工况数据。通过在管道首站、分输站、末站及关键阀室部署智能压力变送器、超声波流量计及温度传感器，依托物联网通信协议将数据实时上

传至SCADA系统数据库,实现全线计量点工况数据的全天候连续采集,采样频率可达秒级,为输差核算提供完整、连续的数据链条,彻底弥补人工定时抄表带来的数据空窗期^[2]。(2)信息化系统自动校正工况参数,统一数据标准,解决数据不同步问题。SCADA系统内置AGA8等国际通用状态方程计算模块,能够根据实时采集的压力、温度及气体组分数据,自动将各计量点工况流量转换为标准参比条件下的标况流量,统一全线计量数据基准。同时,系统通过NTP网络时间协议自动校准各站点数据采集时间戳,消除因时钟偏差导致的首末端数据不匹配现象。(3)智能算法自动完成输差精准核算,替代人工核算,提升数据准确率与时效性。系统按照预设核算周期(小时、日、月)自动调用各计量点标况流量数据,结合场站自用气量、放空量等参数,利用加权平均算法自动计算管段输差与全线综合输差,核算结果实时生成并推送至管理看板。全自动化流程将核算耗时从人工数小时压缩至秒级完成,同时消除人工参与带来的抄录、换算及录入错误,数据准确率提升至99.9%以上。

2.2 信息化系统在输差动态监测与异常预警中的应用

(1)搭建信息化动态监测模型,实时跟踪全线、各站点输差波动情况。基于实时数据流处理技术,系统构建输差动态监测看板,以趋势图、柱状图及热力图等形式实时展示全线综合输差、各管段分段输差及各站点瞬时输差,管理人员可随时掌握输差实时状态与演变轨迹,实现对管网输差运行态势的全景式感知。(2)设置分级预警阈值,对输差超标、数据异常、工况突变自动报警。系统根据历史数据统计规律与行业管控标准,为不同管段、不同时段分别设定黄、橙、红三级预警阈值。当输差触及阈值或数据采集链路中断、流量压力突变时,系统自动通过短信、APP推送、大屏弹窗等方式向对应责任人发送报警信息,确保异常情况第一时间被感知与响应^[3]。(3)结合大数据分析,预判输差变化趋势,实现被动管控向主动防控转变。系统基于长周期历史数据构建输差时序预测模型,综合考虑季节温度变化、下游用户用气规律、管网运行方式调整等因素,对未来数小时至数日的输差走势进行预测推演。当预测值呈现持续恶化趋势时,系统提前发出预警提示,为调度人员预留充足干预时间,切实推动输差管控模式由事后被动处置向事前主动预防转变。

2.3 信息化系统在输差溯源与故障定位中的应用

(1)GIS系统可视化呈现管网拓扑,精准锁定输差异常对应管段、站点。GIS平台以数字化地图为基础,将管线走向、站场位置、阀室分布及上下游连接关系进行可

视化建模。当某区域输差出现异常升高时,系统在GIS地图上以高亮色块标注异常管段及关联站点,辅助管理人员迅速锁定问题区域,缩短异常排查响应时间。(2)多维度数据联动分析,精准区分计量误差、管道泄漏、设备故障等输差成因。系统将输差数据与设备检定记录、在线色谱分析数据、管壁温度分布数据、振动监测数据等进行交叉关联分析,构建成因判别模型。例如,当某站点输差增大且该站点流量计临近检定有效期时,系统优先提示计量漂移可能性;当异常伴随压力骤降且管段沿线振动异常时,系统自动标记泄漏嫌疑,有效提高成因判别的准确性与效率^[4]。(3)信息化台账自动留存数据,实现输差问题可追溯、可复盘。系统自动归档每一次输差异常事件的完整数据链条,包括异常发生时间、报警记录、相关工况参数截图、处置过程记录及整改结果,形成标准化的电子台账。后续可通过时间、站点、成因类型等多维度检索历史记录,为同类问题分析、管理复盘及责任追溯提供完备的数据支撑。

2.4 信息化系统在输差闭环管控中的应用

(1)基于系统数据分析,制定差异化输差管控优化方案。系统依据各管段输差历史表现、设备运行状态、用户用气特征等因素,自动生成差异化的管控建议,例如对输差长期偏高的管段建议缩短计量器具检定周期,对工况波动频繁的站点建议加装稳压调节装置,实现管控措施的精准化与个性化。(2)线上跟进整改流程,实现预警、溯源、整改、复核全闭环管理。系统内置工单管理模块,当输差异常预警触发后,自动生成整改工单派发至责任岗位,责任人在线填报处置措施与结果,经复核确认后工单闭合。全流程线上留痕,管理层可实时查看各环节进度,杜绝预警遗漏与整改拖延问题。(3)数据沉淀形成管控知识库,持续优化输差管控体系。系统将历年输差数据、异常案例、处置方案及效果评估进行结构化沉淀,构建输差管控知识库。基于知识库,系统可自动匹配相似案例推荐处置策略,辅助管理人员决策,同时定期输出输差分析报告与管理改进建议,驱动输差管控体系在持续迭代中不断完善升级。

3 信息化系统在天然气长输管道输差管理应用案例、现存问题与优化策略

3.1 工程应用案例分析

(1)项目概况,长输管道管网规模、原有输差管理痛点。以某省天然气长输管道为例,管道总长约320公里,设计压力4.0MPa,年输气量约18亿立方米,沿线设首末站各1座、分输站6座、阀室2座。系统建设前,输差管理依赖人工抄表、分散录入、月底统算,存在数据不

同步、核算滞后、异常难追溯等问题,月度输差波动高达 $\pm 1.2\%$,远超企业内控指标。(2)信息化系统落地应用方案,系统部署、功能适配、运行流程。项目分两期实施:一期完成SCADA与物联网感知层建设,各计量点更换高精度超声波流量计并配套温压补偿,实现数据秒级采集传输;二期上线GIS平台与智能核算系统,打通多系统接口,设定小时滚动核算、每日通报、每月深度分析三级流程,配置预警机制,形成采集—核算—预警—处置管理闭环。(3)应用成效对比,输差率、管控效率、人工成本优化数据成果。投运后月度输差由 $\pm 1.2\%$ 收窄至 $\pm 0.35\%$,年减少气量损失约280万标方,折合效益约560万元;核算周期由7天压缩至实时输出,预警响应由数天缩至30分钟内;人工工作量减少约65%。

3.2 当前信息化输差管理应用现存问题

(1)多系统数据融合度不足,数据孤岛影响输差分析精度。SCADA、GIS、营销结算等系统接口协议不统一、数据格式各异,分析时需人工导入导出多源数据,时间戳匹配偏差常引发误报漏报,制约分析精度。(2)基层信息化操作适配不足,系统功能落地利用率偏低。基层运维人员年龄结构偏大,系统操作不熟,高级分析功能长期闲置,工作仍依赖传统经验,系统投入产出存在落差。(3)智能分析算法适配性有限,复杂工况下输差溯源精准度不足。现有模型多基于稳态设计,在调峰期流量剧烈波动等动态场景下,难以准确区分计量波动与真实泄漏,溯源准确率低于70%。

3.3 信息化系统输差管理应用优化策略

(1)搭建一体化数据中台,打通各信息化系统数据壁垒,实现数据互通共享。制定统一数据采集、传输、存储标准规范,建立企业级数据中台,汇聚融合SCADA实时数据、GIS空间数据、设备台账及经营数据,提供统一数据服务接口,从根本上消除信息孤岛,确保输差分析各环节数据同源同标准^[5]。(2)优化系统功能适

配,简化基层操作流程,强化实操培训落地。针对基层岗位实际需求精简系统功能、优化界面交互,开发移动端轻量化工具降低学习门槛;建立分层分级培训体系,编制标准化操作手册,将系统使用熟练度纳入岗位绩效考核,切实提升系统实际利用率。(3)迭代智能分析算法,结合管网工况优化模型,提升复杂场景输差管控能力。引入动态工况辨识技术,构建多场景分类输差分析模型,针对稳态、调峰、启停等不同工况分别训练优化算法参数,提升变工况条件下计量误差与泄漏信号的区分识别能力,将复杂场景溯源准确率提升至90%以上,持续增强系统对实际管网运行环境的适应性。

结束语

综上所述,信息化系统彻底革新了天然气长输管道传统输差管理模式,实现了输差数据自动化采集、智能化分析与精准化管控,有效降低输差率、缩减运营成本、提升管网安全运维能力。目前信息化输差管理仍存在数据孤岛、基层适配不足、复杂工况溯源不准等问题。未来通过搭建一体化数据中台、优化智能算法、强化实操落地,可进一步完善输差管控体系,推动天然气长输管道运维管理向智能化、精细化、闭环化高质量发展。

参考文献

- [1]苟建华,赵恒搏.天然气长输管道输差分析及优化方法研究[J].建筑技术科学,2025,11(08):89-93.
- [2]贺永利.油气管道工程一体化智能管控思考与应用探索[J].油气储运,2025,44(10):1179-1191.
- [3]谢英,王思凯.天然气管道管存量计算方法对输差计算的影响[J].石油与天然气化工,2025,54(03):116-122.
- [4]殷雄,张晶,李刚.耦合机理与数据的天然气动态管存快速计算方法[J].油气储运,2025,44(06):703-710.
- [5]唐文义,屈宝塘.天然气管道站场自动分输系统改造设计方案[J].油气储运,2024,43(06):676-682.