

# 大数据驱动的城市地下燃气管网全生命周期运行状态评估与优化策略

王新宇

深圳市燃气集团股份有限公司

DOI:10.32629/bd.v9i6.4519

**[摘要]** 本文聚焦大数据驱动的城市地下燃气管网全生命周期管理。阐述全生命周期各阶段划分、关键数据需求及大数据技术赋能作用;构建基于多源数据融合的管网状态评估模型,涵盖数据预处理、指标体系构建与模型设计;提出大数据驱动的管网运行优化策略,包括风险预警、运维资源配置、改造扩容规划及能源效率提升。旨在为城市燃气管网安全高效运行提供理论支撑与实践指导。

**[关键词]** 燃气管网; 全生命周期; 大数据分析; 状态评估; 优化策略

中图分类号: TU996 文献标识码: A

## Big Data-Driven Lifecycle Operation Status Assessment and Optimization Strategy for Urban Underground Gas Pipeline Networks

Xinyu Wang

Shenzhen Gas Corporation Ltd.

**[Abstract]** This paper focuses on big data-driven lifecycle management of urban underground gas pipeline networks. It elaborates on the division of lifecycle stages, key data requirements, and the enabling role of big data technology. A pipeline network status assessment model based on multi-source data fusion is constructed, covering data preprocessing, indicator system construction, and model design. Big data-driven pipeline network operation optimization strategies are proposed, including risk early warning, operation and maintenance resource allocation, renovation and expansion planning, and energy efficiency improvement. The aim is to provide theoretical support and practical guidance for the safe and efficient operation of urban gas pipeline networks.

**[Key words]** gas pipeline network; lifecycle; big data analytics; status assessment; optimization strategy

### 引言

城市地下燃气管网作为城市能源供应的关键基础设施,其安全稳定运行至关重要。传统管理方式存在数据分散、决策科学性不足等问题。大数据技术为管网全生命周期管理带来新契机,通过整合多源数据,实现精准状态评估与科学决策。本文围绕大数据驱动,深入探讨城市地下燃气管网全生命周期运行状态评估与优化策略,助力提升管网管理水平与安全保障能力。

### 1 城市燃气管网全生命周期管理理论框架

#### 1.1 全生命周期阶段划分

城市燃气管网全生命周期管理以管网“从规划到退役”的完整生命周期为核心,结合管理实践需求划分为五个关键阶段。规划设计阶段聚焦管网布局科学性与适配性,需结合城市规划、用气需求预测等确定管网走向、管径选型及材质标准;建

设施工阶段重点把控施工质量与过程管控,涵盖施工方案审核、材料检验、现场施工监督及竣工验收等关键环节;运行维护阶段以保障管网安全稳定运行为目标,包含日常巡检、泄漏检测、压力监测及常规维修保养等工作;改造更新阶段针对老旧管网、超负荷管网开展升级改造,依据管网运行状态评估结果制定改造方案;退役处置阶段聚焦管网安全拆除、材料回收及环境修复,避免废弃管网残留引发安全隐患<sup>[1]</sup>。各阶段环环相扣,形成全流程闭环管理体系,为管网安全高效运行提供基础支撑。

#### 1.2 各阶段关键数据需求

规划设计阶段关键数据包括城市总体规划资料、区域用气负荷预测数据、地形地质勘察数据、管材性能参数及同类管网建设运营案例数据,这些数据为管网布局优化、管径选型及材质筛选提供决策依据;建设施工阶段核心数据涵盖施工图纸、材

料进场检验报告、施工工序记录、质量检测数据及竣工验收资料,支撑施工过程管控与工程质量追溯;运行维护阶段需重点采集管网运行压力、流量数据、泄漏检测记录、巡检日志、维修保养记录及环境温湿度、地质沉降数据,助力实时掌握管网运行状态;改造更新阶段依赖管网运行年限数据、状态评估结果、改造技术参数、造价预算数据及施工周期预测数据,保障改造方案科学性与可行性;退役处置阶段关键数据包括管网原始档案、材质检测报告、拆除施工方案、环境影响评估数据及回收利用记录,确保退役过程安全环保。

### 1.3 大数据技术的赋能作用

大数据技术为城市燃气管网全生命周期管理提供全方位赋能,显著提升管理效率与决策科学性。在数据整合层面,大数据技术可打破各阶段数据壁垒,实现规划、建设、运行、改造、退役全流程数据的汇聚融合,构建统一的管网数据资源池,解决传统管理中数据分散、孤岛化问题;在数据分析层面,通过大数据挖掘算法对海量管网数据进行深度分析,可实现用气负荷精准预测、管网运行状态精准研判、潜在安全风险提前识别,为规划设计优化、运行维护精准管控提供数据洞察;在决策支撑层面,基于大数据分析结果构建可视化决策平台,直观呈现管网全生命周期状态,助力管理人员快速制定科学的规划方案、运维策略、改造计划及退役处置方案;在效率提升层面,大数据技术推动管网管理从“经验驱动”向“数据驱动”转变,实现运维资源精准配置、风险预警实时高效,大幅降低管理成本,提升管网安全运行保障能力,为城市燃气管网高质量管理提供核心技术支撑。

## 2 基于多源数据融合的管网状态评估模型

### 2.1 数据来源与预处理

基于多源数据融合的管网状态评估模型,其数据来源具有多元化特征,主要包括管网基础档案数据(管网铺设年代、管径、材质、埋深、连接方式等)、实时运行监测数据(压力、流量、温度、阀门状态等)、检测监测数据(泄漏检测记录、管道腐蚀检测数据、阴极保护数据等)、环境数据(地质沉降数据、温湿度数据、降雨数据、周边施工扰动记录等)及运维管理数据(巡检记录、维修保养记录、故障处理记录等)。数据预处理是保障评估模型准确性的关键环节,主要包括数据清洗、数据集成、数据转换与数据规约四个步骤<sup>[2]</sup>。数据清洗剔除异常值、缺失值及冗余数据,采用插值法、删除法等方法提升数据质量;数据集成将多源异构数据标准化处理后融合至统一数据集,解决数据格式不统一问题;数据转换通过归一化、标准化等处理,将不同量纲数据转化为可比较的统一指标;数据规约精简数据集规模,保留关键信息,提升模型运算效率,为后续状态评估指标体系构建与模型设计奠定高质量数据基础。

### 2.2 状态评估指标体系构建

基于多源数据融合的管网状态评估指标体系构建,严格遵循科学性、系统性、可操作性以及针对性原则,全面且系统地涵盖了管网自身属性、运行状态、环境影响以及运维水平这四大

关键维度。在管网自身属性指标方面,包含管道材质等级,不同材质对管网性能和耐久性影响巨大;铺设年限能直观反映管网的老化程度;管径规格决定了管网的输送能力;埋深标准影响着管网受外界破坏的风险;防腐层完整性则关乎管网抵御腐蚀的能力,这些指标共同反映了管网基础状态对运行安全性的深远影响。运行状态指标中,运行压力稳定性体现管网在输送过程中的压力控制情况;流量波动幅度反映用气需求的变化对管网的影响;泄漏报警频次直接表明管网可能存在的泄漏风险;压力调节响应速度体现管网应对压力变化的调节能力,它们直接体现了管网实时运行状况。环境影响指标里,地质沉降速率可能使管网受力不均而受损;周边施工扰动强度会直接威胁管网安全;环境温湿度变化影响管网材质性能;降雨强度可能引发管网周边地质变化,考量了外部环境对管网状态的潜在影响。运维水平指标包括巡检覆盖率、维修响应时效、保养合规率及故障处理完成率,反映了运维管理工作对管网状态的保障作用。各维度指标通过层次分析法确定权重,结合多源数据预处理结果量化评分,形成全面精准的体系,为评估模型构建提供核心框架。

### 2.3 评估模型设计

基于多源数据融合的管网状态评估模型采用“数据层-指标层-模型层-结果层”的四层架构设计。数据层作为整个模型的基础,负责接收经过预处理后的多源数据,这些数据来源广泛、格式多样,经过预处理后为模型运行提供准确、统一的数据输入。指标层基于构建的评估指标体系,对输入数据进行细致的指标量化与科学合理的权重分配,将原始数据转化为标准化的评估指标数据集,为后续模型分析提供规范的数据支撑。模型层是评估模型的核心,采用融合机器学习算法的组合模型,充分结合逻辑回归、随机森林及神经网络算法的优势。逻辑回归用于对管网基础状态进行初步判断,快速筛选出可能存在问题的区域;随机森林则对多指标权重进行优化,提高评估的准确性;神经网络算法用于挖掘复杂数据关系,深入分析管网状态的潜在影响因素<sup>[3]</sup>。通过训练数据集对模型进行反复训练优化,实现对管网状态的精准评估。结果层对模型输出的评估结果进行直观的可视化呈现,划分“优秀、良好、一般、危险”四个状态等级,并生成详细的评估报告,明确管网存在的薄弱环节及风险点。模型设计过程中引入交叉验证方法提升模型泛化能力,通过实时数据更新实现模型动态优化,确保评估结果的准确性与时效性,为管网运维决策提供可靠支撑。

## 3 大数据驱动的管网运行优化策略

### 3.1 风险主动预警与应急决策

大数据驱动的管网风险主动预警与应急决策策略,其核心要义在于借助实时监测数据与历史数据的深度融合分析,达成对风险的精准预判以及高效处置。借助先进的大数据技术,对管网运行中的压力、流量、腐蚀状态以及环境地质等关键数据进行实时且精准的采集与分析。基于这些海量数据,精心构建风险预警模型,并科学设定多级预警阈值。一旦数据超出阈值范围,系统便会自动触发预警信号,迅速明确风险等级、具体位置以及

影响范围,并及时推送至相关管理人员。与此同时,依据历史故障处理数据和应急处置案例数据,构建起完备的应急决策知识库。当预警发生时,大数据算法能够在瞬间快速匹配相似案例,生成包含详细处置流程、合理人员调配、精准物资调度以及周全疏散方案的应急决策建议。另外,运用大数据可视化技术搭建应急指挥平台,将风险动态变化与应急处置进展实时呈现,为管理人员快速调整决策方案提供有力支撑。该策略成功实现了从“被动处置”到“主动预警、快速响应”的重大转变,大幅缩短了应急处置时间,有效降低了风险造成的损失。

### 3.2 运维资源动态配置

大数据驱动的运维资源动态配置策略,以管网运行状态评估结果与深入的数据分析作为核心驱动力,旨在实现运维人员、设备、资金等资源的精准调配。借助大数据技术,全面整合管网巡检记录、维修保养数据以及风险预警信息,深入分析不同区域、不同类型管网的运维需求强度与优先级,进而构建科学合理的运维资源配置模型。基于该模型的分析结果,充分考虑运维人员的技能特长、设备的分布位置以及资金预算情况,制定出动态且精准的资源配置方案。对于高风险区域和老旧管网,优先调配优质的运维资源,增加巡检频次与维修保养力度;对于低风险区域,则合理缩减资源投入,避免资源浪费。通过大数据实时监测运维工作的进展与效果,根据实际情况动态调整资源配置方案,确保运维资源始终与管网运行的实际需求完美匹配。该策略成功打破传统“平均分配”的运维资源配置模式,显著提升资源利用效率,降低运维成本,有力保障了管网运维工作的精准高效开展。

### 3.3 管网改造与扩容规划

大数据驱动的管网改造与扩容规划策略,依托全生命周期数据与多源数据的综合分析,致力于实现改造扩容方案的科学精准制定。借助大数据技术,全面整合管网运行年限、状态评估结果、用气负荷变化数据以及城市发展规划数据,精心构建改造扩容需求预测模型。通过该模型,能够精准识别出需要改造的老旧管网、腐蚀严重管网以及需要扩容的超负荷管网。基于模型分析结果,结合管材技术发展趋势、施工成本预算以及施工周期要求,制定多套改造扩容备选方案。并运用大数据算法对各方案的经济性、安全性和可行性进行量化评估,从中筛选出最优方

案。同时利用大数据可视化技术模拟改造扩容后管网的运行状态,验证方案的合理性与有效性。通过大数据实时跟踪改造扩容施工过程,整合施工数据与运行数据,动态优化施工方案,确保改造扩容工作顺利推进,全面提升管网整体承载能力与安全运行水平。

### 3.4 能源效率提升策略

大数据驱动的管网能源效率提升策略,聚焦于通过深入的数据分析来优化管网运行参数,从而降低能源损耗,提升能源利用效率。借助大数据技术,实时采集管网运行压力、流量、温度数据以及用户用气负荷数据,构建全面且精准的能源效率分析模型。通过该模型,能够精准识别管网运行中的能源损耗点。基于模型分析结果,制定动态压力调节策略,根据用户用气负荷的变化实时调整管网压力参数,实现压力的精准控制,有效降低泄漏损耗<sup>[4]</sup>。同时,优化管网流量分配方案,通过调节阀门开度等方式,确保管网流量合理分配,提升输送效率。此外,运用大数据技术对能源效率提升效果进行实时监测与评估,根据评估结果动态优化策略参数,并结合管网改造扩容工作持续提升能源效率。该策略不仅显著降低了燃气输送过程中的能源损耗,还能提升用户用气体验,实现经济效益与社会效益的双赢。

## 4 结束语

大数据驱动的城市地下燃气管网全生命周期运行状态评估与优化策略研究,为管网管理提供了新思路与方法。通过构建评估模型与优化策略,实现风险主动预警、资源精准配置、改造扩容科学规划及能源效率提升。未来,随着大数据技术不断发展,需持续优化模型与策略,以适应城市发展需求,保障城市地下燃气管网安全、高效、可持续运行,为城市能源供应稳定贡献力量。

### [参考文献]

- [1]陈波.城市燃气管网工程施工中地下管线保护技术及措施[J].中国科技纵横,2024(21):92-94.
- [2]张卓然.城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术探讨[J].内蒙古石油化工,2024,50(11):66-69.
- [3]李强.城市燃气管网工程施工中地下管线保护技术及措施[J].建材与装饰,2023,19(4):129-131.
- [4]任小龙.城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术分析[J].城市管理与科技,2025,26(3):48-50.