

GIS 技术在城市燃气管道调度与管网拓扑优化中的应用

王 煜 (中国石油天然气股份有限公司天然气销售新疆分公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 本研究重点研究了 GIS 技术在城市燃气管道调度与管网拓扑优化中的运用, 制订了系统集成方案。就燃气管道调度问题而言, 分析了调度系统架构规划及特点, 着重研究了基于 GIS 平台的实时监控、故障判定以及突发事件处置机制, 并对其辅助决策支持系统的功能进行了拓展。总体部分对 GIS 技术和城市燃气管理系统融合的重要方面进行概括, 包含综合系统框架的搭建、数据交换规范的确定、核心技术支撑等内容。

关键词: 地理信息系统技术; 城市燃气管网; 调度优化; 拓扑结构改进

中图分类号: TU996 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 009-0142-03

Application of GIS Technology in Urban Gas Pipeline Scheduling and Network Topology Optimization

Wang Yu (China Petroleum and Natural Gas Co., Ltd. Natural Gas Sales Xinjiang, Urumqi Xinjiang 830000, China)

Abstract: This study focuses on the application of GIS technology in urban gas pipeline scheduling and network topology optimization, proposing an integrated system solution. Regarding pipeline scheduling, it analyzes the architecture design and features of the scheduling system, with particular emphasis on real-time monitoring, fault diagnosis, and emergency response mechanisms based on the GIS platform. The study also expands the functionalities of the decision support system. The general section summarizes key aspects of integrating GIS technology with urban gas management systems, including the establishment of a comprehensive system framework, standardization of data exchange protocols, and core technical support.

Keywords: Geographic Information System Technology; Urban gas pipeline network; Scheduling optimization; Topology improvement

城市燃气管道是城市基础设施的重要组成部分, 它的稳定运行关系到城市的正常运转和居民生活。随着城市规模的扩大和燃气需求的增加, 传统燃气管道经营方式存在很多困难, 不能达到高效、精准经营的目的。GIS 技术凭借其强大的地理空间数据处理、分析能力给城市燃气管道经营带来新的机遇。本文主要研究 GIS 技术在城市燃气管道调度、管网拓扑改善、与管道经营系统融合等各方面的应用, 为提高城市燃气管道经营水平提供借鉴。

1 GIS 技术在城市燃气管道调度中的应用

1.1 燃气管道调度系统概述

城市燃气管道调度系统属于复杂的、重要的基础设施管理系统, 由数据采集与传输模块、数据处理与分析模块、调度决策模块以及监控与执行模块组成。

数据采集与传输模块主要采集各个燃气管道节点包含压力、流量、温度的运行参数, 并采用有线或无线方式把这些数据马上传输到数据处理中心。

数据处理与分析模块对收集到的大批数据开展清理、规整和分析, 从中提取有用的资讯, 为调度决策给予数据方面支持, 调度决策模块凭借数据分析结果, 综合城市燃气需求预测、管网运行情况等方面制定可行的调度计划。

监控与执行模块实时查看调度计划的执行情形,

保障燃气按既定方案稳定供给, 调度平台是实现燃气稳定供应保障的系统, 它借助调节各时间段、各地区的输气量与流向, 阻止局部供能陷入失衡, 该平台凭借对管网运行参数实时监测和数据分析的本事, 能迅速发现隐患、预警并采取应对手段, 维持管道系统安全稳定运转。

1.2 基于 GIS 的燃气管道实时监控

地理信息系统 (GIS) 技术给燃气管网的动态监测提供了重要的支持。多种传感器所收集的压力、流量、温度等运行数据可以在 GIS 系统中与管道的空间分布情况及即时参数相融合, 从而达到对管网全方位的在线监测目的。传感器一般安装在调压站、阀室等关键节点或者核心区域, 然后通过无线通讯网络把采集到的数据快速传送到 GIS 平台集中处理和分析。

依靠 GIS 技术搭建实时监测平台, 用图形化的界面来展示管网运行数据, 利用色彩编码、符号标识、动态交互来达到信息可视化的目的。调度人员可以利用直观的显示来掌握压力分布、流量变化等重要的参数。当某段管路压力超过预设值时, 系统会用醒目的方式并伴有声光警告来提醒调度人员, 从而帮助及时处理可能出现的危险情况。

1.3 故障快速定位与应急响应

用 GIS 技术的管道拓扑分析法可以准确地进行故

障定位。该系统按照燃气管网的空间连接特点、路径分布和结构属性创建起完整的、准确的拓扑模型,把地理坐标和网络关联信息有机地整合在一起。一旦出现异常信号,系统就会将传感器的数据与预设的阈值进行对比,当超过阈值的时候就会发出警报,并且利用拓扑逻辑快速确定受波及的管段以及具体位置,大大缩短了维修响应时间,提高了应急处理效率。基于GIS技术的应急响应体系包含资源调度和抢修路线规划两大核心部分。资源分配阶段,系统能实时显示周边各种可用维修设备、物资以及技术人员的位置情况,并依据故障等级和位置信息给出指挥人员科学的决策参考。抢修路径设计方面,系统利用网络分析模块整合动态交通数据,在避开拥堵区域之后生成最优行进方案,提高了救援效率和作业安全性。

1.4 调度决策支持

GIS即地理信息系统,给调度决策赋予系统化的数据支撑,达成科学规划、高效执行。GIS平台上调度人员可以看到城市燃气需求分布、管网运行状况、气源供给等。整合各区域用户用气特性,根据历史规律综合考虑,结合管道输送能力参数量化分析,调度团队就可以精准地安排供气资源,达到区域内供需平衡的目的。

地理信息系统(GIS)的空间分析功能给调度效能评价提供重要的技术支持。利用缓冲区分析、叠加分析等工具可以对管网运行参数做动态监测和历史比较,全方位评价调度方案的实际效果。若发现既有方案有缺陷,根据数据结果提出有针对性的改进意见,不断改善燃气管道调度策略,提高燃气管道调度策略的科学性、合理性。

2 GIS 技术在城市燃气管网拓扑优化中的应用

2.1 燃气管网拓扑结构分析

燃气管网的拓扑结构就是燃气管网各个元素之间相互联系、空间布局关系的抽象模型。该结构是由节点和边这两个主要部分组成的。

①节点是管网的关键部位,气源点(门站、储配站等)是燃气进入管网的起点;调压站,对燃气压力进行变换,以满足不同用户的需要;用户连接点,是各种燃气用户接入燃气管网的接口;管道交汇点等。

②边,在管道输送燃气的过程中,其长度、管径等具体情况会影响燃气的输送能力。

燃气管网拓扑结构主要分为树状、环状和混合式三种布局。树状网络是以中心节点为出发点呈放射状分布,管道逐渐向末端用户延伸。该结构具有设计简单、建设成本低的优点,但是该结构抵抗风险的能力较弱,单根管道出现问题就会造成大面积断供,整体

可靠性不高。环状系统,采用闭环回路实现供气双向化,局部断管事件中可以依靠备用路线来保证供应,服务稳定性提高。但是施工难度加大,初始投资成本增加,水力平衡分析的要求也更高。混合管网结构,将树状管网和环状管网结合起来,在部分区域内采用环状管网设计来提高供气的稳定性,整体布局保持一定的树状结构,达到建设成本和服务可靠性之间的平衡。混合管网是城市燃气管网规划中最常见的模式,已经得到广泛的实践验证,并且越来越被推广。

2.2 基于GIS的管网布局合理性评估

地理信息系统(GIS)凭借强大的空间分析能力,给判断现有的燃气管网布局是否合理提供可靠的技术支持。在评价的时候要考虑到各种影响因素。用户分布,利用空间数据与网络拓扑的关系叠加的方式,可以直观的显示管网的覆盖情况、均匀性以及有无局部过密或者欠缺。地形地貌,地形地貌对于规划方案来说十分重要。山地安装管道存在高差大、施工困难、成本增加等困难,而平坦地带更有利于建设目标的实现。利用地理信息系统中的地形模拟元件,可以分析不同的地形条件下管网排列的符合程度和经济收益前景。城市规划对燃气管网的发展需求,会受到城市规划对未来空间规划、功能分区的安排的影响。利用GIS对各类基础数据资源进行整合,可以准确地预判用户数量及发展走势,并判断当前网络架构是否符合长期的发展目标,能够及时发现存在的问题并提出有针对性的改进意见。除此之外还要综合考虑管网的连通性、冗余度等技术参数,对整个布设的效果进行综合评定,为以后的改进措施提供科学依据。

2.3 管网路径选择与优化

GIS中的网络分析功能成为燃气管网路径规划重要的技术支持。在进行线路设计的时候,把燃气管道系统转化为数学模型中的节点和边集状态,每个节点和边都被赋予一定的属性数值,包括管线长度、管径规格、建设成本等主要数据。依靠GIS平台所提供的最短路径算法、最小费用最大流计算等功能模块,结合具体的目标,即减少总敷设距离、改善综合造价、改善运营效益等,找到最佳布局方案,保证资源分布既符合实际需求又具有科学依据。

管网规划优化及成本控制要从各方面加以考虑。在建设过程中,不能只考虑管材种类和施工成本,还要考虑土地征用费、拆迁补偿等隐藏费用。用GIS空间分析的方法避开昂贵或者需要大规模拆迁的地区,选出经济上可行的线路规划方案。管道运行能耗水平受流体阻力的影响较大,流体阻力与长度、直径、糙率等有关。利用GIS仿真平台可以较为准确地得到各

备选路径的水力特性数值参数，选择阻力小的线路，减小流阻，提高能源利用率。同时还要考虑城市内交通流量分布规律，符合环保要求进行统筹规划。

2.4 管网容量评估与扩容规划

采用 GIS 技术可以准确地确定目前燃气管网的输送能力。利用 GIS 平台自带的水力模型模块，收集管道管径、长度和材质等基本数据，结合燃气物理性质和流体力学规律，就可以得出管网在不同的工况条件下所能达到的最大输气量。另外该系统可以对网络节点的压力分布情况进行分析，对供气的稳定性、可靠性做出全面的评价。

按照城市发展规划的要求，形成科学的管网扩容规划体系意义重大。从人口增长态势、产业结构变化、能源消费结构转型等几个方面出发来预测未来天然气的供求情况。利用 GIS 技术做空间仿真与模拟研究，分析各个方案对于输配能力和供应稳定性的不同影响。在具体的工程中重点改进管网的拓扑结构，适当增加分支管网、节点设备，加强网络的连通性，增加冗余。统筹市政工程系统之间的协同关系，防止出现交通堵塞或者破坏生态环境等状况，保证扩改建项目的合理性以及可持续发展特性。

3 GIS 技术与城市燃气管道管理系统的集成

3.1 系统集成架构设计

地理信息系统 (GIS) 技术同城市燃气管网管理系统融合一般采取分层架构设计模式，从而达成各个功能模块之间高效协同运作以及动态拓展的能力。该体系大致包含数据存储、服务支撑、业务处理和用户交互四个主要层次，用层次化的布局来保证整个系统运行的稳定性以及灵活性。

数据层属于系统架构的重要组成部分，主要对燃气管网各类相关信息实施存储与管理，地理空间信息（管线分布、地形特征等），业务运行信息（管道属性描述、用户资料、设备状态记录等），元数据。依靠数据库管理系统来完成资源的集中整合，用技术手段保证其一致性、完整性。

服务层，给上层应用提供各种功能服务，GIS 服务（地图显示、空间查询、空间分析等）、数据访问服务（对数据层中各种数据的读、写、更新操作）、业务逻辑服务（管道巡检管理、故障报警处理、调度决策支持等）。各个服务之间通过定义良好的接口来实现数据共享、业务流程自动化。

应用层是系统的核心功能部分，将 GIS 技术与燃气管道管理的各种业务需求相结合，包含规划设计、施工监管、运行监控、维护保养等重要环节。各个子组件利用服务层的基础接口来实现燃气管网全生命周

期的管理。

3.2 数据共享与交换标准

数据共享与交换在 GIS 技术整合城市燃气管道管理系统的过程中起着重要的作用，其实质就是打破信息孤岛，实现跨部门、多系统之间的信息互通和协同配合，极大地提高数据利用效率，为燃气管网精细化管理和科学决策提供强大的信息化保障。

制定统一数据标准的方法与原则主要有：全面性原则，数据标准应包含燃气管道管理涉及的所有数据类型和业务范围，保证数据的完整性。规范化原则，按照国家和行业标准，用相同的格式、编码规则、数据命名规则来保证数据交换共享的标准化。可扩展性原则，充分考虑到未来发展的需要，设计出灵活的数据标准，方便数据类型进行扩大和增加，提高业务的可行性。实用性原则，制定数据标准时要考虑项目的适用性，不能规定过于复杂或者繁琐，不能出现数据模糊、冗余等问题，做好与实际业务相关的数据标准化处理工作。

4 结束语

GIS 技术对城市燃气管道调度、拓扑优化起着重要的作用。实现了对管道进行实时监测、准确地找出故障、科学决策支持等功能，大大提高管道运维的效率、增强系统安全性。在管网规划阶段，该技术可以为管道布局定型、线路选择、后续能力因素等各个阶段提供技术支持，奠定强有力的情报基础。GIS 功能集成并嵌入到燃气管理系统中以后，可以改善部门间信息交流与合作情况，推动行业治理走向自动化。展望未来，GIS 技术对提高能源供应保障稳定性有重大作用，可以促进形成更加高效可靠的燃气供应矩阵系统。

参考文献：

- [1] 张晓瑞,孙明焯,井帅等.我国城市燃气系统抗震减灾技术发展现状[J].煤气与热力,2021,41(01):1-6+44-45.
- [2] 宗成才,冀昆,温瑞智等.城市燃气管网三维度抗震韧性定量评估方法[J].工程力学,2021,38(02):146-156.
- [3] 谢刚,杨海.城市燃气管网安全管理研究[J].住宅与房地产,2020(36):162+182.
- [4] 刘春芝.城市燃气管道泄漏原因与防范对策研究[C]//中国燃气运营与安全研讨会(第十届)暨中国土木工程学会燃气分会2019年学术年会,2026-02-05.
- [5] 褚襄.燃气管道泄漏事故成因及防范对策研究[J].中国石油和化工标准与质量.2018,(15).

作者简介：

王煜(1982-),男,汉族,山东省平度市人,本科学历,助理工程师,天然气调度运行管理。