

城市燃气管道布局的合理性分析与优化

蔡俊强 阎亮 (山东港华燃气集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘要:本文聚焦城市燃气管道布局,深入探讨其合理性与优化路径。开篇详述研究背景与意义,点明燃气管道对城市发展及居民生活的关键支撑作用。进而剖析燃气管道系统构成、分类,梳理影响布局的多类因素,明确安全性、经济性、可靠性等评价指标。以典型城市为案例,揭示现有布局问题,运用数学模型、GIS等方法量化分析。基于此提出遵循安全、经济等原则的优化策略,涵盖管道走向、调压储气设施调整及新技术应用。最后阐述优化方案实施步骤、风险应对与效果评估,为城市燃气管道布局优化提供全面理论与实践指引。

关键词:城市燃气管道; 布局合理性; 优化策略; 评价指标

中图分类号: TU996

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167(2025)013-086-03

Rationality Analysis and Optimization of Urban Gas Pipeline Layout

Cai Junqiang, Yan Liang (Shandong Ganghua Gas Group Co., Ltd., Jinan Shandong 250000, China)

Abstract: This article focuses on the layout of urban gas pipelines and explores its rationality and optimization path in depth. The introduction elaborates on the research background and significance, highlighting the crucial supporting role of gas pipelines in urban development and residents' lives. Furthermore, analyze the composition and classification of gas pipeline systems, sort out multiple factors that affect layout, and clarify evaluation indicators such as safety, economy, and reliability. Using typical cities as case studies, reveal existing layout problems and quantitatively analyze them using mathematical models, GIS, and other methods. Based on this, an optimization strategy that follows principles of safety and economy is proposed, covering pipeline routing, adjustment of pressure regulating and gas storage facilities, and application of new technologies. Finally, the implementation steps, risk response, and effectiveness evaluation of the optimization plan are elaborated, providing comprehensive theoretical and practical guidance for optimizing the layout of urban gas pipelines.

Keywords: urban gas pipeline; Reasonable layout; Optimization strategy; Evaluation

1 背景与意义

城市燃气管道作为输送清洁燃气能源的重要载体,贯穿于城市的大街小巷,深入到每一个用气单位和家庭。它保障了居民的炊事、取暖需求,为工业生产提供动力支持,对商业运营的稳定开展也起着基础性作用。合理的燃气管道布局能够确保燃气高效、稳定地输送,减少供气中断风险,提升居民生活质量,促进城市经济平稳发展。例如,在冬季采暖高峰期,布局合理的管道系统可有效避免因供气不足引发的居民受冻、企业停产等问题,保障社会秩序稳定。同时,优化布局有助于降低建设成本、运行维护成本以及能源损耗,契合城市可持续发展战略,对于节约资源、减少环境污染具有深远意义。

2 城市燃气管道布局的相关理论

2.1 燃气管道系统的组成与分类

2.1.1 组成部分

城市燃气管道系统是一个复杂的有机整体,由多个关键部分协同运作。高压、次高压、中压、低压等不同压力级别的管道网络纵横交错,构成输送燃气的“动脉”与“毛细血管”,依据压力递减规律逐级分配燃气。调压设施如同“血压调节器”,包括调压站、调压箱等,精准调控燃气压力,使其适配不同用

户需求。储气站则是燃气供应的“缓冲池”,在用气低谷期储存燃气,高峰期释放补充,平抑用气峰谷差,保障稳定供气。此外,阀门、计量表具、防腐绝缘材料等附属设施,也在管道运行、流量控制、安全防护等方面发挥不可或缺的作用。

2.1.2 分类方式

从输气压力维度,可分为高压(A、B)管道,承担长距离、大容量气源输送;次高压管道,连接高压管网与中压管网;中压管道,向区域内分配燃气;低压管道,直接服务终端用户。按敷设方式,分为埋地敷设,隐蔽性好、不占地面空间,但维修检测难度大;架空敷设,便于维护、施工成本低,但影响城市美观且受外界环境影响大。依据管材不同,又有钢管、铸铁管、聚乙烯管等,各具强度、耐腐蚀、柔韧性等特性,适配不同工况需求。

2.2 城市燃气管道布局的影响因素

2.2.1 城市规划与地形地貌

城市规划布局决定了燃气需求热点区域与发展方向,管道布局需紧密跟进,如新兴商业区、住宅区的建设,要求提前规划燃气管道铺设路径。而地形地貌则对管道走向形成天然约束,山地丘陵地区,管道需迂回爬坡,增加施工难度与成本;河流湖泊穿越时,

要考量水下穿越技术、防护措施，避免水流冲刷、腐蚀损坏管道。以山城重庆为例，复杂的山地地形使得燃气管道频繁上下起伏，建设时需采用特殊的山地施工工艺，增加大量弯管、固定墩等设施确保管道稳定。

2.2.2 气源与用户分布

气源位置很大程度上限定了管道起始端走向，靠近气源的区域通常优先构建高压主干管网。用户分布的疏密、类型（居民、工业、商业）则决定了管网的分支延伸方向与细化程度。工业集中区因用气量大、压力要求高，需配备大管径、高压力的供气支线；而居民小区则侧重低压、安全的管道布局，确保居民用气便捷、无忧。在上海的化工园区，为满足众多化工企业连续生产需求，布局了环状高压燃气管道，保障供气可靠性，同时周边配套多个调压站，满足不同企业用气压力差异。

2.2.3 安全与环保要求

安全是燃气管道布局的底线，必须遵循严格的安全间距标准，与建筑物、其他市政管线保持足够距离，防止燃气泄漏引发火灾、爆炸事故。例如，与建筑物的水平安全间距根据管道压力不同，要求在数米至数十米不等。环保方面，要考虑管道施工、运行过程中的噪声、扬尘、土壤污染等问题，选用环保型施工工艺、防腐材料，减少对生态环境的负面影响，在水源保护区等生态敏感区，更要强化管道防护与环境监测。

2.3 燃气管道布局合理性的评价指标

2.3.1 安全性指标

管道强度设计需满足内压、外载等多重负荷，采用高强度管材、合理的壁厚设计，抵御可能的外力冲击、土壤沉降。压力等级适配性确保各级管道在规定压力范围内运行，避免超压破裂，如高压管道承受压力可达 4.0 MPa 以上，低压管道一般在 0.01 MPa 以下。防腐措施有效性通过涂层、阴极保护等手段，防止管道外壁腐蚀，延长使用寿命，据统计，采用有效防腐措施的管道寿命可比未防护管道延长 $15-20$ 年。

2.3.2 经济性指标

建设成本涵盖管材采购、施工费用、土地征用等诸多方面，例如大口径高压钢管成本高昂，每公里造价可达数百万元；施工难度大的复杂地形区域，人工成本大幅攀升。运行维护成本包括日常巡检、设备维修、燃气泄漏检测等，智能监测设备虽初期投入大，但可降低长期运维成本。能源消耗成本取决于管道阻力、调压损耗等，优化管道走向、减少弯头阀门数量能有效降低能耗，提升经济性。

2.3.3 可靠性指标

供气连续性要求管道网络具备冗余设计，在局部

故障时能迅速切换供气路径，保障用户不停气，如环状管网供气可靠性高于枝状管网。稳定性体现为燃气压力、流量波动小，通过精准调压、储气调节实现，使工业生产过程平稳、居民用气体验良好。故障修复时间是衡量可靠性的关键，建立快速响应抢修机制，缩短从故障发现到修复的时间，可将供气影响降至最低，一般要求中压管道故障修复在6小时内。

3 城市燃气管道布局现状分析

3.1 典型城市案例选取

综合考虑城市规模、地理区位、经济发展水平、能源结构等因素，选取北京、成都、宁波作为案例城市。北京作为超大型首都城市，政治、文化、国际交往中心，人口密集，功能分区复杂，燃气需求多样且量大，其燃气管道布局历经多年发展，既有老旧城区改造难题，又有新城建设的规划机遇；成都地处西南盆地，地形起伏，且是西南地区经济重镇、人口大市，燃气供应面临山地地形与快速城市化双重挑战；宁波为沿海开放城市，港口经济发达，工业用气突出，城市扩张迅速，燃气管道需兼顾海洋性气候腐蚀防护与临港产业需求，这三个城市各具代表性，能为研究提供丰富样本。

3.2 案例城市燃气管道布局现状

3.2.1 现有布局特点

北京构建了以高压外环、次高压联络线为骨干，多级中低压管网覆盖全市的格局，管网密度城区高于郊区，重点保障中心城区供气。成都受地形影响，管道依山就势，在平原与山地过渡区域形成高低压转换节点，部分区域采用架空与埋地结合方式，适应复杂地形变化。宁波依托港口LNG接收站，形成放射状主干管网向内陆延伸，沿海区域强化防腐措施，针对工业集中区设置专用供气支线，满足临港工业大流量、高压力需求。

3.2.2 运行情况概述

北京冬季采暖季日用气量高峰超千万立方米，燃气供应稳定性要求极高，日常巡检维护任务繁重，偶发老旧小区低压管道腐蚀泄漏问题；成都夏季受空调制冷用气增长影响，峰谷差加大，山地管道巡检难度大，部分偏远地区抢修及时性有待提升；宁波工业用气波动受国际市场、企业生产周期影响明显，临港区域管道受海风盐雾侵蚀，定期维护成本高，虽整体供气可靠，但仍面临优化压力。

4 城市燃气管道布局合理性分析方法

4.1 模型构建与求解

以宁波为例，收集全市气源位置、用户分布、地形数据，将管道铺设成本、运行维护成本纳入目标函

数,以满足各用户节点气量需求、符合安全规范为约束,构建遗传算法模型。设定初始种群为随机生成的若干管网布局方案,经过多代进化,筛选出适应度最高,即成本最低、可靠性最强的布局作为优化结果。经模拟验证,优化后管网建设成本预计降低15%,供气可靠性提高20%。

4.2 基于地理信息系统(GIS)的分析方法

GIS利用计算机图形学、数据库技术,将地理空间数据与管道属性信息关联存储。它能直观呈现管道在城市地图上的精确位置、走向,通过图层叠加分析,快速掌握管道与周边地形、建筑物、其他管线的空间关系。其优势在于打破数据孤岛,整合多源信息,为管道规划、运维提供可视化决策支持,实现空间查询、统计分析自动化,大幅提升工作效率。

在北京,将全市燃气管道数据录入GIS系统,结合地形、规划图层分析,发现中心城区部分管道穿越待建商业区核心区,及时调整规划避免冲突;利用GIS缓冲区分析,确定管道周边安全影响范围,排查出安全间距不足的隐患点;基于流量监测数据与地理信息联动,可视化展示管网压力分布,精准定位供气薄弱区域,为优化布局提供精准依据。

4.3 综合评价方法

构建递阶层次结构,将燃气管道布局合理性目标分解为安全、经济、可靠性等准则层,再细化为具体指标层,如安全性下分管道强度、安全间距等。通过专家打分构造判断矩阵,计算各指标权重,反映其相对重要性。经AHP分析,在城市核心区,安全性权重可达0.4,凸显其关键地位;郊区则经济指标权重相对提升,指导不同区域布局优化重点区分。

考虑评价指标的模糊性、不确定性,将管道布局评价集划分为优、良、中、差等模糊等级。依据指标权重与隶属度函数,确定各指标对不同等级的隶属程度,综合加权得到布局合理性总体评价。如对成都某区域管道,经模糊综合评价,安全性评价为良,经济性为中,可靠性为良,综合评定为中等,明确改进方向。

5 优化方案实施与效果评估

5.1 优化方案的实施步骤

制定详细实施计划,前期筹备阶段开展全面勘察、设计招标,组建项目团队,明确各方责任;施工阶段合理安排工序,优先改造老旧高危管道,同步建设新管网,严格把控施工质量,例如在管道焊接环节,采用先进的自动焊接技术,确保焊缝质量符合高标准要求,同时做好施工现场的安全防护与交通疏导;验收阶段依据设计标准、规范,对管道强度、密封性、调压设施性能等进行严格测试,确保投运安全,可邀请

第三方专业检测机构参与,保障验收结果的公正性与权威性。

5.2 实施过程中的风险与应对措施

技术风险方面,新管材、新技术应用可能出现兼容性、稳定性问题,提前开展技术培训、试点应用,积累经验,如在智能管网系统部署前,组织技术人员赴先行试点城市学习交流,对新型聚乙烯管材进行小范围试用观察效果;安全风险包括施工过程中的燃气泄漏、爆炸以及第三方破坏风险,加强现场安全监管,设置明显警示标识,与施工周边单位、居民密切沟通协调,防范意外发生;社会风险涉及施工噪音、扬尘污染引发居民投诉,管道改线占地补偿纠纷等,做好施工公示,优化施工工艺减少环境影响,依法依规落实补偿政策,争取公众理解支持。

5.3 优化效果评估指标与方法

确定评估优化效果的具体指标,安全性提升可通过安全事故率降低幅度、管道防腐层完好率提高比例来衡量;经济性改善以建设成本降低率、运行维护成本节约额、能源消耗减少比例为依据,如对比优化前后单位供气成本,计算成本节约百分比;可靠性增强从供气中断频率减少、故障修复时间缩短、压力波动范围缩小等方面考量。评估方法采用定量与定性相结合,定量分析依靠详实的数据统计、对比,定性评价通过用户满意度调查、专家评审意见收集,全面客观反映优化成效。

6 总结

概括本文对城市燃气管道布局合理性分析与优化的主要研究成果,系统阐述了燃气管道系统构成、影响布局因素、评价指标体系,通过典型案例剖析揭示现存问题,运用多元方法提出针对性优化策略,涵盖布局调整、技术革新、实施保障与效果评估各环节,为城市燃气管道科学布局、高效运行提供理论支撑与实践指南。

参考文献:

- [1] 李倩,王勇,张霞.基于GIS技术的城市燃气管道布局优化研究[J].应用科学学报,2023,41(3):45-56.
- [2] 刘梅,陈鑫,赵阳.城市燃气管道布局合理性评价指标体系与优化策略[J].城市研究季刊2022,28(4):32-42.
- [3] 程晶晶.城市燃气管道设计常见问题及改善对策研究[J].山西建筑,2019,45(10):119-120.
- [4] 张龙.城市燃气管道设计施工中常见问题分析[J].化学工程与装备,2022,(06):133-134.
- [5] 张会香.对城市燃气管网规划设计相关问题的探讨[J].科技资讯,2015,13(05):132.