

# 城镇燃气输配管网管材选型与布置优化设计

袁小方 (四川省尺度建设工程设计有限公司, 四川 成都 610000)

**摘要:** 随着城市化进程加快与城市能源结构转型的推进, 燃气成为城市的重要能源, 而传统经验导向的管材选型与管网布置模式, 已难以适配现代城市复杂的用气需求与空间条件, 暴露出诸多设计与运行难题。本文论述了城镇燃气输配管网的组成特性、功能定位与设计原则, 在此基础上, 深入剖析了管材选型与管网布置难点, 并提出了针对性的管材选型与布置优化策略, 以期城镇燃气输配工程的设计与建设提供有益参考。

**关键词:** 城镇燃气输配管网; 管材选型; 布置

中图分类号: TU996.6 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2026) 011-0111-03

## Selection and Layout Optimization Design of Pipeline Materials for Urban Gas Transmission and Distribution Networks

Yuan Xiaofang (Sichuan Chidu Construction Engineering Design Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000, China)

**Abstract:** With the acceleration of urbanization and the transformation of urban energy structures, gas has become a vital energy source in cities. However, the traditional experience-based approach to pipe material selection and pipeline layout has proven inadequate to meet the complex gas demands and spatial constraints of modern urban areas, exposing numerous design and operational challenges. This paper discusses the compositional characteristics, functional positioning, and design principles of urban gas transmission and distribution networks. Building on this foundation, it provides an in-depth analysis of the difficulties in pipe material selection and pipeline layout, and proposes targeted optimization strategies for pipe material selection and layout. The aim is to offer valuable references for the design and construction of urban gas transmission and distribution projects.

**Keywords:** urban gas transmission and distribution network; pipe material selection; layout

双碳目标的推进与新型城镇化建设的深化, 对城市能源基础设施的绿色化、高效化发展提出新要求, 城镇燃气作为清洁低碳能源, 其输配管网的建设质量成为城市能源体系建设的关键。同时, 物联网、地理信息系统、人工智能等新技术的成熟, 为燃气管网设计的智能化升级提供了技术支撑。城镇燃气输配管网作为城市重要的基础设施, 其科学设计直接关系城市供气安全与能源利用效率。因此, 开展管网管材选型与布置优化设计研究, 具有重要的现实意义。

### 1 城镇燃气输配管网概述

#### 1.1 管网的组成与分级特性

城镇燃气输配管网由气源接收设施、输气管道、调压计量装置、阀门控制系统及用户接口共同构成完整的燃气输送体系, 各组成部分依功能定位形成衔接有序的燃气输配链路。城镇燃气输配管网按照运行压力的不同划分为高压、次高压、中压、低压四个层级的系统, 高压管网以实现燃气的远距离跨区域传输为核心功能, 其管材选用多以钢制管道为主以适配高压输送要求。次高压管网衔接高压与中压管网, 承接跨区输气并向城市片区分输, 管材也以钢制管道为主, 兼顾输气效率与运行安全性。中压管网主要承担城市内部各片区的燃气输配与分流任务, 其整体设计与建设工作需要兼顾运行过程中的安全性和实际调度的灵

活性。低压管网直接面向居民、商业等各类终端用户提供燃气输送服务, 其布设与施工环节需要优先满足操作便捷性和燃气泄漏的可控性要求。城镇燃气输配管网的主流结构形式为环状网和枝状网, 环状网的布局模式具备较高的运行冗余性和供气稳定性, 这类结构常被应用于城市核心城区等用气需求密集的区域。枝状网因整体建设的投资成本相对较低的特点, 多被应用在城市边缘的低负荷用气区域。

#### 1.2 管网的功能定位与设计原则

城镇燃气输配管网的核心功能定位为实现燃气从气源到终端用户的安全高效稳定输送, 该管网需全面承接气源输送的燃气并精准分配至各类用户且满足基础用气负荷供应的核心需求。该管网还需具备应对用气高峰的调峰应急能力, 同时要适配城市发展进程中用户数量和用气量增长的扩展需求为城市能源供应提供持续支撑<sup>[1]</sup>。安全优先是管网设计的首要原则, 设计工作需严格把控运行压力、泄漏控制等关键指标并让各项指标均符合现行的行业规范要求。经济合理原则要求设计工作统筹考量管网建设的初期投资与后期的运营维护成本并实现全生命周期的整体效益最优。动态适配原则需要管网的拓扑布局和容量配置能够匹配用气负荷的周期性波动和城市规划的阶段性调整。技术可行原则要求管网设计方案充分兼顾现场施工的

实际条件保障施工便捷性，同时要考虑后期运维的操作难度保障维护的可操作性。

## 2 城镇燃气输配管网管材选型与布置难点

### 2.1 管材选型难点

#### 2.1.1 多因素耦合下的管材性能 - 经济平衡

城镇燃气输配管网的管材选型工作需要同时兼顾机械强度、耐压性、耐腐蚀性等多项核心性能指标与全周期经济指标，各维度因素的相互交织耦合大幅提升了二者的平衡难度。不同品类的管材在各项核心性能指标上存在着固有且显著的差异，各类性能的优势呈现出此消彼长的特征，无法在单一管材品类上实现所有性能维度的最优表现。管材的性能指标选择会直接关联到管径规格与施工工艺的确定，更高的性能要求往往会带动施工耗材与现场作业成本的同步增加<sup>[2]</sup>。管材选型还需要统筹考量初期建设的一次性投资与后期运营维护的持续性经济成本，部分管材初期投入较低但后期的维护频次与费用会长期居高不下。传统的静态选型方法仅能对单一或少数影响因素进行片面考量，无法实现多目标的动态最优平衡，难以适配复杂多变的工程实际应用需求。

#### 2.1.2 复杂腐蚀环境下的材质适配与耐久性

城镇燃气输配管网的管材长期处于多种腐蚀环境叠加的运行状态，电化学腐蚀化学介质腐蚀与微生物腐蚀的协同作用大幅提升了材质的适配难度。不同城市及同一城市不同片区的土壤湿度含盐量杂散电流等环境指标存在明显差异，单一管材的抗腐蚀性能无法满足所有区域的实际运行需求。燃气管道还会遭遇燃气介质内酸性杂质与固体颗粒引发的内部腐蚀，内外腐蚀的双重作用会持续削弱管材结构强度并缩短其实际使用寿命。部分城市的老旧燃气管网已出现严重的材质老化与腐蚀加剧问题，其接口规格与运行标准和新建管网存在显著的兼容性偏差。管材选型工作需要同时保障对复杂腐蚀环境的适配性、管材自身的耐久性以及新老管网的系统协调性，多重要求的叠加让选型的实际决策难度持续增加。

### 2.2 管网布置难点

#### 2.2.1 城市空间资源约束下的路径规划

城镇燃气输配管网的路径规划工作受城市建成区空间资源高度集约的直接制约，各类客观条件的限制让整体规划的实际操作难度大幅提升。城镇燃气输配管网的地下主干管布置需在城市建成区交错分布的管线中规划路线，供水通信排污等管线密集排布让主干管的原规划路径需进行多次调整优化。城镇燃气输配管网的路径规划还需充分适配城市建成区的复杂地形条件与地面建筑布局，核心城区的土地开发程度高让

管线路径的可拓展空间被极度压缩。城镇燃气输配管网的调压站阀门井等关键节点的布置需同时满足安全距离与服务半径的规范要求，核心城区的高人口密度让节点选址难以实现两项指标的最优兼顾。城镇燃气输配管网的路径规划与节点布置的各类约束条件相互交织影响，单一环节的调整会引发连锁反应让整体的空间优化难度持续增加。

#### 2.2.2 用气负荷动态波动与管网适配性

城镇燃气输配管网的布置设计工作面临着用气负荷动态波动带来的管网适配性难题，各类负荷变化的特征叠加让固定的布局设计难以实现长期的精准匹配。城镇燃气的用户用气行为天然具备周期性和突发性的双重特征，不同季节不同时段的气量差异显著，年最大与最小用气负荷的悬殊差距让管网的流量调节难度大幅增加。城镇燃气输配管网的传统静态布置模式均以固定的负荷参数为设计依据，整体的拓扑结构与容量配置缺乏灵活的调节能力，无法实时适配负荷的动态变化趋势。城市发展进程中的新区开发与产业结构调整会持续改变原有燃气负荷的空间分布格局，新增用气区域会让管网局部区段的负荷出现突发性骤增。现有城镇燃气输配管网的拓扑结构与管径容量配置未充分考虑城市发展的动态变化，易出现局部供气量不足或管网资源闲置的双重问题。管网与负荷变化的适配性不足会直接影响整体燃气输送的供气稳定性，同时会大幅降低管网运行过程中的调控灵活性与整体资源利用效率。

## 3 城镇燃气输配管网管材选型与布置优化设计策略

### 3.1 管材选型优化策略

#### 3.1.1 基于全生命周期成本的多目标管材选型模型

城镇燃气输配管网搭建基于全生命周期成本的多目标管材选型模型需统筹性能适配与经济合理的核心要求，通过系统化的评估框架与建模分析实现管材选型的科学决策，该模型的构建与落地需从全维度考量并分步骤推进。

第一，城镇燃气输配管网需搭建覆盖管材全生命周期的综合成本评估框架，该框架需整合管材采购的基础成本与施工环节的配套成本，同时纳入后期运营维护及老旧更换的全流程经济支出。第二，城镇燃气输配管网需建立管材性能指标与管网运行需求的精准适配体系，该体系需结合管网不同压力层级的输送要求匹配管材核心性能，并考量管材与管网布置环境的整体适配性<sup>[3]</sup>。第三，城镇燃气输配管网需构建性能与成本的耦合分析模型并制定选型判定标准，该模型需通过加权分析实现各指标的量化评估，并结合管网

的层级特性与使用场景确定最优管材选型方案。

### 3.1.2 基于腐蚀环境分级的材质精准适配与防护一体化

城镇燃气输配管网推行基于腐蚀环境分级的材质精准适配与防护一体化策略,需围绕环境勘测分级、材质精准匹配、防护运维闭环构建全流程管控体系,实现腐蚀风险的精准防控与管材整体耐久性的有效提升。

第一,城镇燃气输配管网需对全区域敷设场地开展系统的腐蚀环境勘测与科学分级,结合土壤、介质、大气等影响腐蚀的核心环境特征完成综合判定,为材质选型和防护设计提供贴合实际的环境依据。第二,城镇燃气输配管网需依据不同腐蚀等级完成管材品类的精准适配选择,让各类管材的抗腐蚀性能与所处敷设区域的腐蚀风险程度形成高度契合,从源头降低腐蚀对管材的影响<sup>[4]</sup>。第三,城镇燃气输配管网需搭建与管材特性、腐蚀等级相适配的防护运维一体化体系,整合各类防腐涂层、电化学保护等防护措施并建立常态化的检测运维机制,形成材质选择到防护设计再到运维监测的全流程闭环管理。

## 3.2 管网布置优化策略

### 3.2.1 融合 GIS 的城市空间立体布局与路径优化算法

城镇燃气输配管网推行融合 GIS 的城市空间立体布局与路径优化算法,需依托 GIS 的空间数据整合能力结合专业路径优化算法破解城市空间资源约束的难题,实现管线路径规划与节点布置的精准化和科学化,该措施的落地需按步骤开展系统化实施。

第一,城镇燃气输配管网需依托 GIS 技术搭建城市空间立体数据库,整合地下供水通信排污等管线分布、城市地形特征与地面建筑布局等全维度空间信息,将模型精度控制在亚米级且误差不超过 0.5m,为管线路径规划提供全面精准的数据支撑。第二,城镇燃气输配管网需在 GIS 的精准数据支撑下采用受限最小生成树算法优化主干管走向,核心城区布设全环状拓扑结构保障供气稳定性,边缘低负荷区域采用环状+枝状混合结构。同时,将各分区主干管气量裕度系数保持在不小于 1.2 的水平<sup>[5]</sup>。第三,城镇燃气输配管网需借助 GIS 的空间分析功能优化调压站、阀门井等关键节点的布设位置,调压站选址严格避开高人口密度区域且保障半径控制在 1.5km 以内,阀门井在每段支干管及关键交汇点设置且间距控制在 800m~1000m 之间,提升管网应急处置的效率。

### 3.2.2 基于负荷动态模拟的管网拓扑与参数自适应调整

城镇燃气输配管网推行基于负荷动态模拟的管网拓扑与参数自适应调整策略,需通过精准的负荷模拟

分析结合管网结构与参数的针对性调整,破解负荷动态波动的适配难题,实现管网运行与用气需求的实时匹配,该策略需按步骤开展系统化落地实施。

第一,城镇燃气输配管网需搭建全维度的用气负荷动态模拟体系,依托深度学习算法整合历史用气数据、区域发展规划及气象影响数据,精准预测小时级、日级、季级不同区域的负荷需求变化,为管网调整提供精准的数据支撑。第二,城镇燃气输配管网需基于负荷动态模拟结果优化管网拓扑结构,在高负荷区域增设冗余供气路径并确保最小割集数量不低于 2,核心供气区域设置双向供气主干线,保障节点在任一路径失效时压力波动不超过  $\pm 5\%$ 。第三,城镇燃气输配管网需完成管径配置与运行参数的自适应调整,主干管采用 DN300 及以上规格,支干管配置为 DN100~DN200,引入 1.3 以上的容量冗余系数,同时联动 SCADA 系统以 1min/次的采集频率获取实时数据,动态调整管网运行压力与流量分配参数。

## 4 结语

综上所述,通过围绕城镇燃气输配管网管材选型与布置优化设计展开研究,明确了管网的组成分级特性与核心设计原则,明确了城镇燃气输配管网管材选型与布置难点,需要采取针对性的优化策略,进而为城镇燃气输配管网管材选型与布置提供支持。未来,城镇燃气输配管网的设计,可深度融合数字孪生、物联网等新兴信息技术,推动管材选型与管网布置的数字化、智能化升级,持续优化管网的动态适配能力与抗风险能力,构建更具韧性的现代化城镇燃气输配体系,助力城市能源基础设施的高质量发展。

### 参考文献:

- [1] 李佳. 水工建筑物下穿燃气管道管幕组合与布置方案设计 [J]. 水利科学与寒区工程, 2025, 8(04): 120-124.
- [2] 徐亮, 韩萌, 袁页. 聚乙烯管材在城市燃气管网腐蚀防护中的应用与实践 [J]. 化工设计通讯, 2024, 50(10): 34-36.
- [3] 石丹阳, 段保伟, 张霞, 等. 基于事故分析的高压燃气管道管材类型选择 [J]. 煤气与热力, 2024, 44(09): 1-5+15.
- [4] 方召君. 城镇燃气管道阀门设计选型研究 [J]. 大众科技, 2023, 25(11): 69-71.
- [5] 张恒, 杨小龙, 姜卓. 潮湿多雨区域室外燃气管道的选型应用分析 [J]. 科技资讯, 2023, 21(17): 200-205.

### 作者简介:

袁小方 (1993-), 女, 汉族, 四川省大竹县人, 本科, 中级工程师, 研究方向为城镇燃气。