

城镇燃气管道设计优化研究

刘胜军 边金鹏

山东一通工程技术服务有限公司

摘要：随着城市化进程的加速，城镇燃气管道系统作为城市基础设施的重要组成部分，其设计优化显得尤为关键。优化设计不仅需要考虑系统的安全性、可靠性和经济性，还需兼顾环境保护和可持续发展的要求。通过综合应用数学建模、仿真技术、环境影响评估以及最新的工程管理理念，可以有效提升城镇燃气管道系统的综合性能，降低运营成本，同时保障供气安全和环境的和谐。本文旨在通过对城镇燃气管道设计优化的深入研究，提出一套系统化的优化策略和实施方法。

关键词：城镇燃气；管道设计；优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.14.118

引言

在现代城市建设中，燃气管道系统承担着为城镇居民和各类企业提供稳定能源供应的重要任务。随着环境保护要求的提高和资源利用效率的关注，优化城镇燃气管道设计成了提升城市基础设施建设质量的关键。这不仅关系到能源供应的安全与经济性，还直接影响到城市的可持续发展和居民的生活质量。因此，探讨和实施燃气管道设计的优化策略，对于促进城市的健康发展具有重要意义。

一、城镇燃气管道系统概述

城镇燃气管道系统作为现代城市基础设施的重要组成部分，负责将天然气等能源安全、高效地输送到居民家庭、商业区域以及工业设施中。这一系统包括一系列复杂的管网布局、压力调节站、分配控制单元以及相关的安全监测设备。设计时，需考虑多种因素，如管道材质的选择以确保耐腐蚀性和机械强度、管径和壁厚的计算以适应不同的压力等级、以及管道布局的优化以减少能源损耗和提高系统效率。此外，安全是设计中的首要考虑，包括采用先进的泄漏检测技术和定期的系统维护计划以预防事故发生。随着技术的发展，智能化管道监控系统被广泛应用，通过实时数据分析和远程控制技术，进一步提升了城镇燃气管道系统的运行效率和安全性。

二、城镇燃气管道系统设计要素

（一）管道材料与规格选择

城镇燃气管道系统的设计要素中，管道材料与规格选择是确保系统效率和安全的因素。材料选择需考虑到耐腐蚀性、机械强度、柔韧性以及成本效益。钢管由于其高强度和较好的耐腐蚀性，常被用于主干线和高压输送系统中，而较为经济的聚乙烯（PE）管则因其出色的柔韧性和较低的安装成本而广泛应用于低压城市配

气网络。规格选择包括管径和壁厚，这直接影响到管道的流量能力和承受压力等级。精确计算流量需求和最大操作压力是规格确定的基础，其中，使用的计算模型需要考虑到气体的压缩性、温度变化对气体密度的影响以及潜在的流量变化。此外，管道的连接方式和阀门、调节器等附件的选择也需与管道材质和规格相匹配，以保证整个系统的密封性和长期稳定性^[1]。

（二）管网布局设计原则

管网布局设计原则是城镇燃气管道系统设计中至关重要的一环，其目的在于确保气体的高效输送及安全分配。高效的管网布局需基于对城镇地形、人口分布、预期增长以及现有基础设施的深入分析，采用最优路径确保气体供应的连续性和可靠性。设计时，通常采用分级供气模式，将管网划分为高压输送管线、中压分配网和低压用户连接系统，以适应不同区域和用户的需求。此外，考虑到未来扩展性和维护的便捷性，管网设计应具有一定的灵活性，允许在不影响整体运行的前提下进行局部调整或扩展。安全性也是设计的重中之重，需要在管网布局中合理设置阀门、调压站和检测点，以便于紧急情况下的快速隔离和问题定位。同时，避免穿越地质不稳定区域和减少在人口密集区的直接铺设，以降低潜在风险。有效的管网布局设计不仅考虑技术和安全因素，还需评估经济成本，确保项目的经济可行性。

（三）压力与流量控制

在城镇燃气管道系统中，压力与流量控制是确保燃气供应安全、稳定和高效的核心环节。系统设计需采用精确的压力管理策略，以满足不同用户的需求，同时防止管道过压或压力不足导致的服务中断。压力控制通常通过设置多级减压站实现，这些减压站在将高压燃气降至适宜的低压级别后分配给终端用户，确保了燃气在管网中的稳定流动。流量控制则依赖于精确的计量设备和调节阀，这些设备能够根据实时需求调整燃气流量，优化燃气的分配效率。此外，现代燃气管道系统越来越多地采用智能化技术，如远程监控和自动调节系统，这些技术可以实时监测管网的压力和流量状态，自动调整减压设备和阀门的设置，以响应日常消费的波动和紧急情况下的需求变化。通过这些高度集成的控制系统，燃气供应商能够确保供气的连续性和安全性，同时提高能源利用效率和降低运营成本^[2]。

三、设计方法与模型

（一）数学建模与仿真方法

数学建模在城镇燃气管道系统设计中起着至关重要的作用，通过构建基于物理和数学原理的模型，能够预

测燃气流动的行为和系统的性能。这些模型通常涉及流体力学、热力学、材料科学等领域的复杂方程，旨在模拟燃气在管道中的压力分布、流速以及温度变化等关键参数。数学建模的过程首先需要定义系统的边界条件，如燃气的入口压力和温度、管道的长度和直径以及燃气的物理性质。随后，采用如Navier-Stokes方程等流体力学方程描述燃气流动，结合状态方程和能量守恒方程，形成一套完整的数学模型。

仿真方法则是数学建模的重要补充，它通过计算机软件实现模型的数值解算，使得工程师能够在不实际建造系统的情况下评估设计方案的性能。仿真工具，如计算流体动力学（CFD）软件，能够处理复杂的几何形状和边界条件，提供关于流场、压力和温度分布的详细信息。这些仿真结果不仅能够揭示潜在的设计问题，如压力降过大或温度过高的区域，还能够用于优化管道布局、选择合适的管道材料和规格。更进一步，仿真可以辅助进行故障模式与影响分析（FMEA），通过模拟不同的故障情况，评估系统的安全性和可靠性。因此，数学建模和仿真方法共同构成了城镇燃气管道系统设计和优化的核心工具，使得设计过程更加高效、准确，确保了系统的经济性和安全性。

（二）管道网络的拓扑结构优化

管道网络的拓扑结构优化是城镇燃气管道系统设计中的一个核心环节，旨在通过优化管道布局和连接方式，实现成本最小化和效能最大化。在这一过程中，关键是要平衡投资成本和运营效率，同时确保系统的可靠性和安全性。拓扑结构优化考虑的因素包括管道的直径、长度、布局路径以及节点的分布位置。优化算法，如遗传算法、粒子群优化和蚁群算法等，被广泛应用于寻找最优解，这些算法能够在复杂的设计空间中高效搜索，识别出成本效益最高的管道网络配置。此外，拓扑优化还需考虑到地形地貌、建筑物分布和未来城市规划等约束条件，确保管道网络的布局既经济合理又具有前瞻性^[3]。

在实施拓扑结构优化的过程中，动态模拟成为不可或缺的工具，它能够模拟不同设计方案在实际运行中的表现，如压力损失、流量分配和系统的鲁棒性等关键性能指标。通过模拟，设计师能够评估各种设计方案在面对需求变化、设备故障或其他运营挑战时的适应性，从而选择出既能满足当前需求又具备足够灵活性以应对未来变化的最佳方案。此外，拓扑优化过程中还需综合考虑维护和扩展的便利性，以便在不增加过多成本的前提下，对系统进行升级和扩展。因此，管道网络的拓扑结构优化不仅是一个技术挑战，更是一个涉及经济学、城市规划和工程学多领域知识的综合决策过程，对于实现城镇燃气供应系统的长期可持续发展至关重要。

（三）软件工具应用

在城镇燃气管道系统的设计与优化过程中，软件工具的应用发挥着关键作用，能提供一种高效、精确的手

段来进行复杂计算、模拟和分析。这些工具覆盖了从初步设计、详细工程计算到系统仿真和管理的全过程。设计软件使工程师能够在初期阶段快速评估不同方案的可行性，进行成本估算和影响分析，而详细设计阶段使用的工程计算软件则能进行更精确的压力损失、流量分配和结构强度计算。此外，仿真软件如计算流体动力学（CFD）工具，能够模拟燃气在管道网络中的流动情况，识别可能的问题区域，如流速过高导致的磨损或压力波动引起的潜在安全风险。

随着信息技术的发展，更多高级软件工具被开发出来以支持管道系统的运营和维护。例如，地理信息系统（GIS）软件能够将管道网络数据与地理位置信息结合起来，为管道的规划、施工和维护提供直观的视图和丰富的数据支持。管理软件如资产管理和维护管理系统，则帮助运营商有效地跟踪系统的运行状态，安排定期维护，及时响应故障和泄漏事件。此外，近年来，基于云计算和大数据技术的智能分析工具也开始应用于燃气管道系统，这些工具能够处理海量数据，通过机器学习算法预测系统故障，优化运营策略，进一步提升系统的安全性和可靠性。因此，软件工具在城镇燃气管道系统的设计、建造、运营及维护中起到不可替代的作用，不仅能提高工作效率，也为实现更高水平的系统性能和可持续发展提供技术支持。

四、优化策略

（一）成本效益分析

成本效益分析在城镇燃气管道系统的优化策略中扮演着核心角色，其目的是确保在整个系统的设计、建设、运营及维护过程中实现最大的经济效益。这种分析方法通过比较项目的总成本与预期的效益，帮助决策者选择最具成本效益的方案。在燃气管道系统的设计阶段，成本效益分析涉及对不同设计方案、材料选择、施工技术及其对系统长期运营成本的影响进行评估。这不仅包括直接成本，如材料、人工和设备成本，还包括间接成本，如由于系统故障导致的服务中断的潜在经济损失。效益方面，则评估系统的运营效率、可靠性、安全性和环境影响，以及这些因素对社会经济和居民生活质量的长远影响。通过这种全面的分析，可以识别出那些在满足技术和安全要求的同时，具有最佳经济性的设计和运营策略^[4]。

进一步地，成本效益分析还应用于燃气管道系统的优化和升级决策中。随着技术进步和运营环境的变化，原有系统可能需要通过引入新技术、更换更高效的材料或调整管网布局来提升其性能。在这些情况下，成本效益分析有助于评估不同升级选项的经济可行性，确定哪些改进措施能够在提高系统性能的同时，确保投资回报率最大化。此外，这种分析还考虑到了项目的风险因素，如建设延期、技术故障或市场变化等对成本和效益的潜在影响，为制定风险管理策略提供了依据。因此，成本效益分析是实现城镇燃气管道系统可持续发展的重

要工具，不仅能帮助优化当前的决策，也为应对未来挑战提供策略支持。

（二）能效优化

能效优化在城镇燃气管道系统的运营中占据重要地位，旨在通过提高能源使用效率来降低运营成本和减少环境影响。实现能效优化的策略包括采用高效的管道材料、优化管道网络设计、引入先进的能量回收技术以及实施智能调控系统。高效的管道材料可以减少能量在输送过程中的损失，而精心设计的管网布局则能最小化因压力降而产生的能量损耗。此外，通过在系统中集成能量回收装置，例如使用余热回收技术，可以进一步提升系统整体的能效。智能调控系统能够实时监控燃气流量和压力，根据需求自动调整输送参数，确保燃气供应既满足用户需求又避免过量输送导致的能源浪费。

进一步地，能效优化还涉及对系统运行模式的深入分析，识别出能效提升的潜在机会。例如，通过对历史运行数据的分析，可以发现特定时间段内的能效低下问题，并通过调整输送策略或运行时间来解决这些问题。同时，采用预测性维护策略，根据设备的实际运行状况而非固定时间表来安排维护工作，可以避免因设备故障导致的能源浪费。此外，通过建立全面的能效管理体系，包括员工培训、能效标准制定以及持续的性能监测和改进计划，可以确保能效优化措施得到有效实施并持续产生效益。因此，能效优化不仅是技术上的挑战，也需要组织层面的承诺和持续的管理努力，以实现长期的能源节约和环境保护目标。

（三）安全性与可靠性提升

提升城镇燃气管道系统的安全性与可靠性是保障供气连续性和防止事故发生的关键。在设计和运营过程中，采取综合性措施以最大限度减少系统故障和事故的风险至关重要。首先，安全性的提升从严格的设计标准和规范开始，确保所有使用的材料和构建的结构都能承受预期的操作条件，包括极端天气、地质变化和其他潜在的环境影响。此外，引入先进的监测技术，如基于传感器的实时监控系統，可以及时检测到泄漏、压力异常和其他潜在的安全隐患，从而允许及时的响应和维修，以防止小问题演变为大灾难。

在提升可靠性方面，系统的冗余设计、定期的维护和故障预测技术发挥着重要作用。冗余设计意味着在关键部分引入备用系统或路径，以便在主系统发生故障时，能够无缝切换，确保供气不间断。定期维护和检查是预防故障的基础，它包括对管道、阀门和调节器等关键部件的常规检查和清洁，以及根据检测数据进行必要的维修或更换，这有助于及早发现和解决磨损和老化问题。此外，利用大数据和人工智能技术进行故障预测，分析历史数据和运行参数，可以预测并防止潜在的故障发生，从而进一步提升系统的可靠性。通过这些策略的实施，城镇燃气管道系统不仅能够更安全地运行，还能

更有效地满足居民和工业用户的需求，确保供气的连续性和稳定性^[5]。

（四）环境影响评估

环境影响评估在城镇燃气管道系统的设计和优化过程中扮演着至关重要的角色，它旨在全面评估项目实施对生态系统、水资源、土壤、空气质量以及生物多样性的潜在影响。通过对这些环境因素的细致考察，评估旨在识别和预测项目可能引起的负面影响，并提出缓解措施，以实现环境保护和可持续发展的目标。环境影响评估的过程包括收集和分析背景环境数据、确定评估范围、评估潜在影响、制定缓解措施以及编制环境影响报告。这一过程不仅要求深入理解燃气管道建设和运营对环境的直接和间接影响，还需要考虑到社会经济因素，如对当地社区的影响以及公众的健康和安全。

为最小化燃气管道系统对环境的影响，采用高效的设计和建造技术是至关重要的。例如，采用先进的管道敷设技术，如非开挖技术（如定向钻进），可以大大减少对地面生态和水体的干扰。此外，在管道运营阶段，采用环境友好的材料和采取严格的泄漏监控措施可以减少温室气体排放和潜在的环境污染。同时，实施生态补偿措施，如恢复受影响区域的自然生态，种植本土植物，保护水源和野生动物栖息地，也是减轻环境影响的重要策略。通过这些综合措施，城镇燃气管道项目不仅能够符合环境保护的法律法规要求，还能够赢得公众的支持和信任，为可持续能源的发展做出贡献。

五、结语

总而言之，城镇燃气管道设计的优化是一个涉及多方面考量的复杂过程，旨在实现更高的安全性、效率、经济性和对环境的责任。通过采用先进的技术和方法，如数学建模、系统仿真以及环境影响评估，我们能够设计出既符合当前需求又具备未来适应性的燃气管道系统。这不仅提升了能源的可靠供应，还确保了社会的可持续发展和居民的生活质量。随着技术的不断进步和环境意识的增强，对城镇燃气管道系统设计的持续优化将会是能源行业不断追求的目标。

参考文献

- [1] 代明亮. 城镇燃气管网设计中存在的问题及优化措施[J]. 石化技术, 2022, 29(3): 53-54.
- [2] 常磊, 田申, 曹森, 等. 城镇燃气调压器故障诊断系统设计与应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2020(9): 178-181.
- [3] 李静. 燃气管网优化设计方法研究[J]. 化工管理, 2019(35): 251-252.
- [4] 胡建发. 浅谈城镇燃气管网安全运行存在的问题与对策[J]. 化工管理, 2019(31): 169-170.
- [5] 李明, 卢东波, 陈敏, 李纪凯, 王红. 城镇燃气管网优化设计初探[J]. 云南化工, 2017, 44(06): 84-86.