

城市天然气管道优化设计研究

李 杰

(国昆广源(北京)科技有限公司, 北京 100000)

(天津中石油昆仑燃气有限公司, 天津 300000)

摘要: 针对城市天然气管道优化设计问题, 本次研究首先对城市天然气管道进行简单概述, 在此基础上, 对城市天然气管道优化设计约束条件进行分析, 对城市天然气管道优化设计模型进行研究, 为推动我国城市天然气管道领域的进一步发展奠定基础。研究表明: 在开展城市天然气管道优化设计的过程中, 其受到了强度、稳定性、气体流动性以及节点流量的约束, 在开展优化设计工作的过程中, 需要建立数学模型, 对设计变量进行定义, 制定目标函数, 确定约束条件, 对优化算法进行科学的选择, 开展参数优化计算工作, 并对优化计算结果进行分析以及对参数进行调整, 以此保障城市天然气管道设计达到最优效果。

关键词: 天然气管道; 优化设计; 布局规则; 约束条件; 设计模型

城市天然气作为清洁、高效的能源之一, 其在现代城市生活中扮演着至关重要的角色, 随着城市规模的不断扩大和能源需求的日益增长, 天然气管道系统作为供应城市天然气的关键基础设施, 也面临着更加复杂和严峻的挑战。天然气管道的设计优化是确保能源供应安全、高效运行的重要环节, 在过去的几十年里, 我国在城市天然气管道建设方面取得了显著的成就, 但随着城市结构的不断演变和技术的日新月异, 原有的管网设计已逐渐显露出一些问题^[1]。因此, 有必要对城市天然气管道系统进行全面的优化设计研究, 以适应新时代的需求, 提高管道系统的运行效能, 减少能源资源的浪费, 确保城市居民能够享受到安全、稳定、经济的天然气供应服务。

1 城市天然气管道概述

1.1 城市天然气管道压力分级

城市天然气管网的压力级制一般根据天然气输配规模和用途的不同而进行分类。高压天然气管网主要用于天然气的长距离输送和跨区域分配, 这些管道通常具有较大的管径和高的输送压力, 高压管道一般由主干管道组成, 负责将天然气从输气站输送到城市或工业用气区域, 压力级制可以达到数百到数千千帕。中压天然气管网负责将高压天然气输送到城市及各个用户分支, 这些管道的压力级制一般在数十到数百千帕之间, 中压管道经过城市的主要街道和区域, 通过减压站将天然气压力逐步降低, 以适应城市用气需求^[2]。低压天然气管网是最接近用户的管网, 用于向居民、商业和小型工业用户供应天然气, 这些管道的压

力级制通常在几十千帕以下, 低压管道通过调压站将中压天然气进一步降压, 以满足不同用户的用气需求。在一些较小规模的城市或特定区域, 可能存在城市燃气分布系统, 其压力级制相对较低, 适用于居民区域或小型企业, 这类系统通常采用更低的压力级制, 以满足局部用气需求。

1.2 城市天然气管道布局规则

城市天然气管网的布局规则涉及多个方面, 其中考虑到城市结构、用气需求、环境因素等因素是关键。在城市天然气管道布局中, 首要考虑人口密集区域的用气需求, 天然气管道应优先布设至居住区、商业区和工业区, 以满足这些区域对天然气的高需求^[3]。天然气管网的布局应该与城市的规划和建设相协调。在城市规划阶段就需要充分考虑到天然气的输送需求, 以避免后期改建和扩建的不便。城市天然气管道系统通常包括主干管道和支线, 主干管道负责将天然气从供应源输送至城市不同区域, 而支线则将天然气输送到具体的用户, 主干管道的布局需考虑城市结构, 而支线则需灵活布设以满足不同区域的用气需求。管道的敷设深度和覆土厚度需根据当地地质条件、交通规划等因素进行合理设计, 这有助于保护管道免受外部环境的影响, 提高管道安全性和稳定性。在布局过程中, 需要充分考虑环保因素, 避免对生态环境的不良影响, 同时, 还需评估管道布局对周边社区的风险, 采取相应的安全措施, 确保居民和城市设施的安全。引入智能监测系统, 通过传感器等技术手段实时监测管道运行状态, 及时发现问题并进行预警, 这有

助于提高管道的安全性和可靠性。在布局中考虑规模经济,合理规划管道的长度和直径,以提高管道系统的运行效率和经济性。

2 城市天然气管道优化设计约束条件

2.1 强度约束

在城市天然气管道的优化设计过程中,管道强度是一个关键的约束条件,管道强度的合理设计和控制直接关系到管道系统的安全性和可靠性。由于输送的是高压天然气,管道在内部承受着一定的压力,因此,管道的内压强度是一个重要的约束条件,设计中需要确保管道壁厚能够承受预期的内压,防止管道爆裂或泄漏。天然气管道在地下敷设,可能会受到来自地表和交通载荷的外部压力,管道的外压强度约束条件需要考虑地下土壤的承载能力,确保管道在外部压力作用下不会产生变形或破裂。考虑到管道在运输、安装和使用过程中可能会受到拉伸或压缩的力,管道设计需要具有足够的轴向拉伸和压缩强度,以防止发生拉伸断裂或压扁变形。在管道布局中,可能存在需要进行弯曲的情况,如穿越交叉路口或适应地形,因此,管道的弯曲强度也是一个重要的设计约束条件,以防止管道在弯曲处发生裂纹或破损^[4]。天然气管道通常是由多个管段焊接而成,焊缝的质量对整个管道系统的强度和稳定性有着直接的影响,管道设计需要保证焊缝区域的强度足够,以避免焊缝裂纹或疲劳失效。考虑到地下环境可能存在的腐蚀因素,管道设计需要具备抗腐蚀和抗腐蚀疲劳的能力,合适的管道材料和防腐措施是确保管道长期使用的关键。天然气管道在运行过程中可能会受到温度的影响,因此管道设计需要考虑温度对材料性能的影响,确保在不同温度下仍然具有足够的强度。

2.2 稳定性约束

管道系统的稳定性涉及到管道在各种条件下的抗倾覆、抗沉陷和抗震等方面的性能。天然气管道敷设在地下,地基的稳定性直接关系到管道系统的稳定,设计时需要考虑地基的承载能力、沉陷性质和地下水位等因素,确保管道系统不会因地基沉陷或变形而失稳。如果管道系统穿越或位于斜坡或边坡上,需要考虑边坡的稳定性,以防止因坡体滑动或坍塌而对管道产生不利影响。天然气管道在地震发生时需具备一定的抗震能力,以防止地震引发的管道破裂或倾覆,抗震设计需要考虑管道的弯曲、扭曲和轴向位移等因素。若管道穿越河流、湖泊或其他水体,需要考虑水体稳

定性对管道系统的影响,合理的管道敷设方式和管道支撑结构设计有助于减小水体对管道的冲刷和侵蚀^[5]。管道支撑结构的稳定性对整个管道系统的运行至关重要,管道支架、锚固等结构的设计需要满足地基和支撑结构的稳定性要求,确保管道系统在各种工作条件下都能保持平稳。若管道系统位于交通载荷较大的区域,如车辆经过的路段,需要考虑管道系统在交通载荷下的稳定性,以防止管道受到挤压或变形。在进行城市天然气管道的优化设计时,这些稳定性约束条件需要与管道的强度设计、环保设计等因素相互协调,形成一个综合而合理的设计方案,以确保管道系统在各种工作条件下都能够稳定运行,确保城市天然气供应的安全和可靠。

2.3 气体流动性约束

管道系统的气体流动性约束条件直接关系到天然气的输送效率、能源利用效率以及管道系统的安全运行。在管道系统中,需要平衡输送气体的流量与管道的阻力,以确保在整个管道系统中气体的压力维持在合适的范围内,同时避免过高或过低的压力,从而保障用户端的正常用气需求。管道的直径和布局会直接影响气体流动的效率,合理选择管道直径和设计管道布局,以最小化气体流动的阻力和损耗,提高系统的输送效率。在管道系统中,主干和支线的设计需要协调,以确保气体能够有效地分配到各个用户点,避免在系统中形成气体流动的瓶颈。在设计过程中需要充分考虑气体的物性参数,如密度、温度、粘度等,以准确描述气体在管道中的流动行为,从而更好地进行管道系统的优化。避免设计中存在气体积聚的区域,以防止气体在管道中形成死角,导致气体停滞和增加压降。

2.4 节点流量约束

在城市天然气管道的优化设计中,节点流量是指管道系统中各个交叉口、分支点、用户接入点等处的天然气流量,节点流量约束是指在设计过程中需要考虑和限制这些节点处的天然气流量,以确保管道系统在不同节点处的流量分布合理,满足各节点的用气需求,同时避免过高或过低的流量造成问题。确保管道系统中的节点流量平衡,即各节点的输入与输出流量相匹配,这有助于避免某些节点过载,而其他节点相对闲置的情况,确保整个管道系统的流量合理分布。提前对各个节点的用气需求进行合理的预测,以便根据需求进行节点流量的设定,这需要考虑不同节点的

用户类型、用气强度和用气时段等因素。利用管道网络模型进行仿真分析,模拟不同用气场景下的节点流量分布,通过模型分析,可以调整管道系统的参数,使得节点流量在设计范围内。引入流量平衡的控制策略,通过调整节点处的阀门、调节装置等,实现对节点流量的精确控制,这有助于提高整个管道系统的运行效率和可控性。

3 城市天然气管道优化设计模型

3.1 参数优化模型

城市天然气管道优化设计模型中的参数优化模型通常是通过建立数学模型,结合优化算法来寻找一组最优的设计参数,以满足设计目标并考虑各项约束条件。首先,需要建立描述城市天然气管道系统的数学模型。这个模型应该包括有关管道的各项参数,如管道直径、管道材料、管道长度、节点流量等,该模型也需要包括目标函数和约束条件,以全面反映设计问题。确定参与优化的设计变量,这些变量是影响管道系统性能的可调参数,例如可以选择管道直径、管道材料、支线的设计布局等作为设计变量。定义优化的目标函数,目标函数通常与设计目标相关,如最小化成本、最大化输送效率、最大化系统安全性等,这个目标函数应该综合考虑设计变量和其他相关因素。确定各种约束条件,这些条件可以包括管道强度、节点流量平衡、稳定性要求、环保要求等,约束条件用于确保设计满足实际工程和运行的要求。选择适当的优化算法来搜索设计变量的最优解,常用的算法包括梯度下降法、遗传算法、粒子群优化算法、模拟退火算法等,选择算法要考虑问题的性质、目标函数的复杂度和计算效率等因素。利用选择的优化算法,对目标函数进行迭代计算,寻找最优的设计变量组合,使得目标函数取得最优值,在计算过程中,需要考虑各种约束条件,确保优化结果是符合实际需求的。对优化结果进行分析和解释,评估各个设计参数的影响,了解最优设计方案对目标函数的改进效果,确保设计满足设计目标和约束条件。验证优化结果的合理性,并根据实际情况对设计参数进行调整,如果需要,可以对参数进行灵敏性分析,评估设计在不同条件下的鲁棒性。

3.2 求解数学模型

城市天然气管道优化设计模型的求解通常涉及到优化算法的应用,这些算法的选择取决于问题的性质、约束条件的复杂性以及计算效率等因素。梯度下降法

是一种基于目标函数梯度信息的优化算法。它通过迭代调整设计变量的值,以逐渐降低目标函数的值,梯度下降法在数学模型具有光滑目标函数且梯度容易计算的情况下表现良好。遗传算法是一种模拟自然进化过程的优化算法,它通过遗传操作,如选择、交叉和变异,生成新的设计方案,并根据适应性评估来不断改进设计,遗传算法适用于非线性、复杂的问题,但其计算过程相对较慢。粒子群优化算法模拟了鸟群或鱼群的群体行为,通过多个个体的协作来搜索最优解,每个个体代表一个设计方案,通过迭代更新位置以寻找最优解,粒子群优化算法适用于多变量、非线性的优化问题。模拟退火算法受到金属退火过程的启发,通过接受一定概率的“差解”来跳出局部最小值,以搜索更广泛的设计空间,模拟退火算法适用于非凸、非光滑的优化问题。差分进化算法通过产生差异性较大的新个体,并通过对比适应性评估来选择和替换个体,它适用于高度非线性和多峰的优化问题,不依赖目标函数的梯度信息。对于存在多个优化目标的问题,可以使用多目标优化算法,如多目标遗传算法或多目标粒子群优化算法,来寻找一组平衡的设计方案。在实际问题中,有时候采用混合算法,将不同的优化算法结合使用,以充分利用各种算法的优点,提高求解效率。

4 结论

随着城市化的推进和人口的增加,城市能源需求呈现出不断增长的趋势,为了更好地适应城市发展需求,必须对城市天然气管道系统进行优化设计,在开展优化设计工作的过程中,需要明确各项约束条件,引入科学的数学模型,对设计参数进行合理的优化,以此提高城市天然气管道的设计质量,使其能够有效满足城市居民、工业和商业等多元化的用气需求。

参考文献:

- [1] 张洁. 城市燃气供应体系的优化与管理 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(13): 68-70.
- [2] 王文想. 城市天然气管道基础管理现状与对策 [J]. 城市燃气, 2023(02): 43-47.
- [3] 黄健雄. 中低压城市燃气城镇燃气安全运行管理研究 [J]. 化工设计通讯, 2022, 48(11): 185-187.
- [4] 刘杰, 陈保东, 王秋莎, 等. 城市天然气管道的参数优化设计 [J]. 当代化工, 2012, 41(09): 900-901+912.
- [5] 李斌. 城市高压天然气储气管道的优化设计 [J]. 上海煤气, 2011(04): 9-12.