

面向碳中和的市政给排水管网节能改造路径研究

方方^{1,2} 孟超^{1,2} 张垚^{1,2} 王让^{1,2}

1. 中国建筑科学研究院有限公司 北京 100013

2. 建科环能科技有限公司 北京 100013

摘要: 在碳中和目标推动城市基础设施绿色低碳转型的背景下, 市政给排水管网作为高能耗基础设施, 其节能改造成为水务领域减碳的关键举措。本文立足市政给排水管网的构成、运行特征及能耗分布, 剖析改造过程中面临的管网自身、技术应用、实施推进及运维管理层面困境, 明确结构优化、技术应用、运维优化及智能化升级四大关键方向, 提出针对性改造路径, 梳理各环节内在关联, 为市政给排水管网节能改造提供可行思路, 助力城市基础设施低碳升级与碳中和目标落地。

关键词: 碳中和; 市政给排水管网; 节能改造; 能耗管控; 智能化升级

引言: 随着碳中和战略全面推进, 城市基础设施绿色低碳转型成为必然趋势。市政给排水管网作为城市水资源循环与能源消耗的核心载体, 长期运行中存在能耗偏高、结构不合理、运维粗放等问题, 既造成能源浪费, 也制约水务领域减碳进程。当前, 管网节能改造已成为衔接碳中和目标与城市水务发展的重要抓手, 但改造过程中面临多重现实阻碍, 尚未形成系统完善的实施路径。梳理管网能耗特征与改造困境, 探索科学可行的节能改造路径, 对降低管网能耗、减少碳排放、推动城市基础设施低碳发展具有重要现实意义。

1 市政给排水管网节能改造的基础前提

1.1 市政给排水管网的构成与运行特征

市政给排水管网是城市水资源循环利用的核心载体, 整体由供水与排水两大子系统构成。供水系统涵盖取水设施、输配水管道、加压泵站及二次供水设施, 形成水源至用户的完整输送网络^[1]。排水系统包含污水收集管网、雨水排放管网、提升泵站及附属构筑物, 承担城市污水与雨水的收集输送职能。管网运行呈现连续动态性, 供水系统需维持全天候压力稳定以适配用户用水波动, 排水系统则随降雨与污水排放强度变化呈现非恒定流态。

1.2 市政给排水管网的能耗分布

市政给排水管网能耗贯穿输水配水及污水输送全过程, 能源消耗主要集中于泵站运行与水力损耗两大核心环节。供水系统能耗占比最高, 取水泵站将原水提升至水厂, 送水泵站将净化后清水输入主干管网, 加压泵站解决管网末端压力不足问题, 三类泵站电能消耗构成供水能耗主体。管网输水过程中, 水流与管壁摩擦及局部构件产生的水力损失转化为能量耗散, 老旧管道内壁锈蚀结垢会进一步加剧此类损耗。排水系统能耗集中于低

洼区域提升泵站, 需将污水提升至污水处理厂, 能耗强度与汇水面积及地形高差直接相关。管网能耗整体呈现泵站能耗占主导、水力损耗为次要的分布规律, 且随管网规模扩张与运行年限增加呈逐步上升趋势。

1.3 碳中和与给排水管网节能改造的内在关联

碳中和目标的核心要义在于推动能源消费低碳转型与温室气体减排。市政给排水管网作为城市基础设施的重要能耗单元, 节能改造与碳中和目标实现存在深度契合性。管网运行消耗的电能多来自化石能源发电, 能源消耗总量直接决定间接碳排放规模, 降低管网能耗可从源头减少碳排放, 契合碳中和对基础设施绿色低碳升级的要求。给排水管网节能改造涵盖高效设备应用、运行模式优化及管网结构调整等内容, 改造过程推动能源利用效率提升与碳排放强度下降, 形成节能与减碳的协同效应。城市水务系统碳排放量占社会总排放量比例可观, 管网节能改造作为水务领域减碳的关键路径, 可有效助力城市碳排放总量控制, 为碳中和目标落地提供基础设施层面的支撑。

2 市政给排水管网节能改造的现存困境

2.1 管网自身层面的节能短板

市政给排水管网建设时序跨度较大, 部分管线服役年限较长, 管道内壁锈蚀结垢现象普遍存在。这类问题会增大水流输送阻力, 提升泵站运行能耗。早期管网设计多以满足供水排水需求为核心目标, 对水力工况优化考虑不足, 部分管段管径配置不合理, 局部水头损失偏高。部分城市供水管网存在漏损问题, 清水输送过程中造成无效能耗浪费^[2]。排水管网部分区域存在坡度不足淤积堵塞问题, 会降低污水雨水输送效率, 间接增加提升泵站运行负荷。管网拓扑结构布局受城市发展影响, 部

分区域管线迂回绕接,延长输水路径,加剧能量损耗。部分老旧管网采用传统管材,内壁粗糙系数较大,长期运行过程中能耗水平持续攀升。

2.2 节能改造技术层面的局限

市政给排水管网节能改造相关技术应用存在不均衡现象,高效节能设备推广应用程度有限。部分节能改造技术适配性不足,难以直接应用于老旧管网改造场景。管网能耗监测技术覆盖范围有限,部分管段能耗数据采集难度较大,难以支撑精准节能改造。水力工况优化技术应用门槛较高,实际改造过程中落地难度较大。新型管道材料应用成本偏高,大范围推广使用存在一定限制。管网运行调控技术智能化水平有待提升,难以实现能耗的精细化管控。部分节能改造技术缺乏成熟应用经验,实际节能效果稳定性不足。

2.3 改造实施层面的现实阻碍

市政给排水管网改造工程多位于城市建成区,施工场地空间受限,对城市交通与居民生活影响较大,协调难度较高。管网改造工程涉及多个部门协同推进,沟通协调流程较为复杂,影响改造进度。部分城市老旧管网改造资金投入不足,难以支撑大规模节能改造工程开展。管网改造施工过程中易对周边管线造成影响,施工风险管控难度较大。部分区域地下管线资料不完善,给改造工程前期勘测设计带来困难。改造工程实施周期较长,短期内难以显现节能成效,影响改造推进动力。部分区域改造工程需结合城市更新同步开展,整体推进节奏受城市规划进度制约。

2.4 运维管理层面的节能不足

市政给排水管网运维管理体系对节能管控重视程度不足,日常运维工作以保障管网稳定运行为主,缺乏针对性节能管控措施。部分运维人员节能意识薄弱,对管网能耗影响因素认知不足,运维操作难以兼顾节能需求。管网运维管理信息化水平偏低,能耗数据监测分析机制不完善,难以发现能耗异常问题。部分管网运维单位缺乏系统的节能管理规范,运维操作流程缺乏节能导向。管网运维考核指标多聚焦运行稳定性与服务质量,未将能耗管控纳入核心考核体系,难以推动节能运维措施落地。部分运维单位缺乏节能专项培训机制,运维人员专业能力难以适配节能管控需求。

3 市政给排水管网节能改造的关键方向

3.1 管网结构优化方向

市政给排水管网结构优化以降低水力损耗为核心目标,可通过梳理管线拓扑布局减少迂回管段,缩短输水路径^[1]。结合城市功能分区调整管径配置,适配区域用

水排水需求,降低局部水头损失。针对老旧管网开展更新改造,替换锈蚀结垢严重的管线,降低管壁摩擦阻力。优化排水管网坡度设计,解决低洼区域淤积问题,减少提升泵站运行频次。通过环状管网改造提升供水系统水力稳定性,降低泵站压力调节幅度。结合城市更新规划调整管网走向,消除管线交叉干扰,保障水流输送顺畅。

3.2 节能技术应用方向

节能技术应用聚焦设备能效提升与能耗源头管控,可推广高效节能水泵设备,降低泵站运行电能消耗。采用新型管道内衬技术改善内壁粗糙度,减少输水过程中的能量损耗。应用管网漏损控制技术,降低清水无效输送造成的能耗浪费。引入雨水资源化利用技术,减少市政供水依赖,降低整体供水能耗。推广污水源热泵技术,回收污水中的低品位热能,实现能源循环利用。应用水力平衡调节技术,优化管网压力分布,降低不必要的压力损耗。

3.3 运维模式优化方向

运维模式优化围绕节能管控目标重构管理流程,建立以能耗数据为核心的运维管理机制。调整泵站运行调度策略,根据用水排水负荷动态优化启停时段,降低空载能耗。推行管网分区运维模式,针对不同区域能耗特征制定差异化运维方案。建立管道定期养护机制,及时清除管内淤积杂质,维持管网水力工况稳定。优化二次供水设施运维流程,减少压力调节过程中的能量耗散。完善能耗统计分析制度,定期梳理能耗偏高环节,针对性调整运维措施。

3.4 管网智能化升级方向

管网智能化升级以数据驱动能耗管控为核心,搭建管网能耗监测系统,实现关键节点能耗数据实时采集。应用水力模拟分析技术,构建管网运行数字模型,支撑节能改造方案制定。引入泵站智能调控系统,根据实时水力工况自动调整运行参数,提升能效水平。建立管网漏损智能预警机制,通过压力流量数据异常分析定位漏损管段。推广智慧运维平台应用,整合能耗监测与运维管理功能,实现管控一体化。利用大数据分析技术挖掘能耗变化规律,为长期节能改造提供数据支撑。

4 市政给排水管网节能改造的具体路径

4.1 管网结构优化路径

管网结构优化以现状勘测为基础,系统梳理管线分布、服役年限及运行工况,明确优化重点区域与核心环节。针对迂回绕接管段,结合城市地形地貌与用水排水需求,重新规划管线走向,缩短输水路径,降低水力输送能耗。对管径配置不合理管段,结合区域人口密度、

用水定额及排水强度,调整管径规格,优化水力工况,减少局部水头损失^[4]。对老旧破损、锈蚀结垢严重管线,实施分批次更新替换,优先选用内壁光滑、阻力系数小的新型管材,从源头降低管壁摩擦能耗。优化排水管网坡度设计,改造坡度不足、易淤积管段,提升重力流输送效率,减少提升泵站运行负荷。推进枝状管网向环状管网改造,完善管网连通性,提升水力稳定性,降低泵站压力调节产生的额外能耗,同时清理堵塞的检查井、阀门井,保障水流输送顺畅。

4.2 节能技术落地路径

节能技术落地立足管网实际运行特征,兼顾适配性与经济性,分阶段推进推广应用。泵站节能改造优先替换传统高能耗水泵,选用高效节能水泵并搭配变频调控装置,实现水泵运行参数与管网水力工况精准匹配,降低空载与低效运行能耗。针对已建成管网,采用管道内衬修复技术,在不破坏原有管线前提下,改善管道内壁粗糙度,减少水流阻力,降低输水能耗。推广管网漏损精准控制技术,通过压力监测、流量分析定位漏损管段并及时修复,减少清水无效输送造成的能耗浪费。引入雨水资源化利用技术,同步搭建雨水收集回用系统,将收集雨水用于绿化灌溉、道路清扫,降低市政供水负荷,间接减少供水系统能耗。合理应用污水源热泵技术,回收污水中低品位热能用于周边建筑供暖制冷,实现能源循环利用,降低管网系统整体能耗投入。

4.3 运维管理优化路径

运维管理优化重构节能导向管理体系,打破传统模式局限,推动运维工作精细化规范化。建立管网能耗动态监测机制,定期采集泵站运行、管线输水等能耗数据,梳理能耗偏高环节,制定针对性管控措施。优化泵站运行调度策略,根据用水排水负荷时段变化,动态调整泵站启停与运行参数,避免无效运行,降低电能消耗。推行管网分区运维模式,结合不同区域管网特征与能耗水平,制定差异化运维方案,强化老旧管网、高能耗管段养护力度。建立管道定期养护制度,开展管内清淤除锈工作,维持管网水力工况稳定,减少淤积锈蚀导致的能耗上升。完善运维人员培训体系,提升节能意识与专业能力,规范运维操作流程,确保运维环节贴合节能要求,调整运维考核体系,将能耗管控指标纳入核心考核,推动节能运维措施落地。

4.4 智能化改造实施路径

智能化改造以数据驱动为核心,分步骤搭建智能化管控体系,实现管网能耗精准管控。搭建管网智能化监测平台,在关键节点、泵站、阀门等位置布设传感器,实现流量、压力、能耗等数据实时采集传输,打破数据孤岛。基于监测数据构建管网数字孪生模型,模拟水力运行状态,精准识别能耗异常环节,为改造方案制定提供数据支撑。推进泵站智能化升级,引入智能调控系统,自动调节水泵运行参数,依据实时水力工况优化运行模式,提升泵站运行能效。建立管网漏损智能预警机制,通过大数据分析对比流量压力数据变化,及时发现漏损隐患并定位位置,缩短修复周期,减少能耗浪费^[5]。搭建智慧运维管理平台,整合能耗监测、设备运维、调度管理等功能,实现运维全流程智能化管控,利用大数据挖掘能耗规律,预判发展趋势,为长期节能改造提供科学依据,逐步实现能耗精细化智能化管控。

结束语

市政给排水管网节能改造是推动城市水务领域低碳转型、助力碳中和目标实现的重要举措,依托管网结构优化、节能技术落地、运维管理升级与智能化改造的协同发力,可有效破解当前改造面临的各类困境。管网节能改造需立足实际运行特征,兼顾技术适配性与实施可行性,通过科学规划、分阶段推进,逐步降低管网能耗水平,减少碳排放。通过完善改造路径、强化运维管控,可推动市政给排水管网实现节能与减碳协同发展,为城市基础设施绿色低碳升级提供有力支撑,助力水务领域高质量发展与碳中和战略落地见效。

参考文献

- [1]陈尚莲.市政给排水工程设计中节能技术的应用[J].大众标准化,2024(21):116-118.
- [2]席莉.市政给排水管网的优化配置与设计分析[J].中国房地产业,2022(7):53-55.
- [3]丛大朕.城市市政给排水管网的优化配置分析[J].建筑工程技术与设计,2021(16):1563.
- [4]林永江.论市政给排水管网优化配置与管理分析[J].砖瓦世界,2023(7):196-198.
- [5]康爽.市政给排水设计中输水方式及管网分区的研究[J].砖瓦世界,2023(3):187-189.