

双碳目标下市政给排水系统低碳改造路径与能效优化研究

江超 安徽华鑫建筑工程有限公司

摘要

在我国“碳达峰、碳中和”战略全面推进背景下，市政给排水系统作为城市高能耗、高排放基础设施，贯穿取水、输水、净水、排水、污水处理、污泥处置全生命周期，能源消耗、资源损耗与碳排放问题突出，成为城市低碳转型的关键攻坚领域。当前我国市政给排水系统普遍存在老旧管网漏损严重、设备能效偏低、工艺技术落后、资源循环利用率不足、智慧化管控薄弱、碳核算体系缺失等问题，系统整体能效水平不高，碳减排潜力巨大。本文立足双碳发展要求，系统剖析市政给排水系统碳排放来源与现存能效短板，从管网低碳改造、设施设备升级、处理工艺优化、水资源循环利用、能源回收利用、智慧化管控、全生命周期碳管理等方面，构建多层次、全链条低碳改造路径，提出针对性能效优化策略，完善低碳运维保障体系，为市政给排水行业绿色低碳转型、实现节能降碳增效协同发展提供理论参考与实践支撑。

关键词：双碳目标；市政给排水；低碳改造；能效优化；智慧水务；资源循环利用

引言

随着全球气候治理进程加快，我国明确提出 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的战略目标，城乡建设领域被列为重点降碳板块。市政给排水系统承担城市供水保障、污水治理、雨水排放、生态补水等核心功能，是城市运行的“生命线工程”，同时也是能源消耗与温室气体排放的重要载体。给排水系统运行依赖大量电力、药剂、燃油等资源，污水处理环节会产生甲烷、氧化亚氮等温室气体，老旧管网漏损造成无效能耗与水资源浪费，施工、运维阶段碳排放累积效应显著，在城市基础设施碳排放中占比居高不下。

长期以来，我国市政给排水建设重供水保障、重排水安全，对节能降碳、能效提升重视不足，大量建成于 20 世纪的老旧管网、泵站、污水处理设施设备老化、能耗偏高，供水管网漏损率居高不下，污水处理工艺能耗强度大，再生水利用率偏低，雨水资源化利用不足，系统整体粗放式运行模式难以适配双碳时代绿色发展要求。传统给排水改造多聚焦结构安全、功能完善，缺乏全生命周期低碳理念，碳减排技术应用碎片化，能效管控机制不完善，导致降碳与增效脱节，改造效果有限。

在此背景下，推动市政给排水系统低碳化改造与能效优化，不仅能够降低能源消耗、减少碳排放，助力城市碳达峰碳中和目标落地，还可提升水资源循环利用水平，降低运维成本，实现生态效益、经济效益与社会效益协同统一。本文结合行业发展现状与技术实践，系统梳理给排水系统碳排放特征与现存问题，探索科学可行的低碳改造路径，构建多维度能效优化体系，为城市水务绿色转型提供实践指引。

一、双碳目标下市政给排水系统碳排放特征与现存问题

（一）系统碳排放主要来源

市政给排水系统碳排放贯穿规划建设、施工改造、运行运维、报废拆除全生命周期，主要分为直接碳排放与间接碳排放。直接碳排放集中在污水处理环节，微生物厌氧分解产生甲烷、脱氮过程释放氧化亚氮，污泥处置、管网厌氧发酵也会产生温室气体；间接碳排放主要为电力消耗，泵站加压、净水处理、污水曝气、设备运行依赖大量电能，药剂生产、运输、管网建材加工、施工机械使用等环节也产生大量隐含碳。此外，管网漏损导致水资源无效输送，间接提升取水、制水能耗，加剧碳排放；雨水无序排放引发城市内涝，增加应急处置能耗，进一步扩大碳足迹。

（二）现存主要问题与能效短板

1. 老旧管网设施老化，漏损严重能耗偏高

大量市政给排水管网服役年限超 20 年，管材腐蚀、接口渗漏、管网沉降破损问题普遍，部分城市供水管网漏损率远超国家管控标准，水资源无效损耗直接提升制水、输水能耗；排水管网淤积、混接错接严重，雨水、污水混排，污水处理负荷增大，同时管网水力条件差，泵站运行能耗增加；老旧泵站水泵、风机等设备多为低效型号，变频调控缺失，存在“大马拉小车”现象，负荷匹配不合理，能源浪费严重。

2. 处理工艺落后，能源资源利用率低

多数污水处理厂采用传统高能耗工艺，曝气系统精准化管控不足，过度曝气造成电能浪费；脱氮除磷工艺能耗、药耗偏高，药剂使用不精准；污泥处理处置方式粗放，多采用填埋、简单脱水，沼气、热能回收利用率极低；净水厂混凝、沉淀、消毒工艺传统，药剂投加量管控粗放，能耗与药耗双重偏高。再生水利用规模有限，雨水收集回用体系不完善，水资源循环利用率偏低，未能实现以水节能、以水降碳。

3. 能源结构单一，可再生能源应用不足

给排水系统能源依赖传统火电电力，光伏、风能、污水热能等可再生能源应用较少；污水处理厂、净水厂闲置空间未充分利用，光伏发电布局不足；污水源热泵、微型水力发电等能源回收技术普及度低，系统从“高耗能设施”向“产能设施”转型缓慢。

4. 智慧化管控薄弱，能效管理精细化不足

给排水系统监测设备覆盖率低，流量、压力、水质、能耗数据采集不全面，缺乏大数据、物联网智能调度手段；泵站群、污水处理厂运行依靠人工经验调控，无法实现精准曝气、变频调速、联合调度，能耗管控被动粗放；碳排放核算体系不完善，缺乏全流程碳监测、碳评估机制，低碳改造缺乏数据支撑。

5. 低碳改造理念滞后，统筹规划不足

部分地区给排水改造仍停留在修补破损、完善功能层面，未融入全生命周期低碳理念；管网改造、设施升级、污水处理提质增效项目碎片化推进，缺乏整体统筹；海绵城市建设与给排水低碳改造融合不足，雨水调蓄、源头减排落实不到位；政策激励、运维管理机制不完善，低碳技术推广应用动力不足。

二、双碳目标下市政给排水系统低碳改造核心路径

结合给排水系统全流程碳排放特点，围绕源头减碳、过程节能、末端循环、智慧管控核心思路，从管网系统、设施设备、工艺技术、资源循环、能源利用、管理体系六大维度，构建系统化低碳改造路径。

（一）给排水管网系统低碳化升级改造

管网是给排水系统能耗与漏损核心环节，以降漏损、减能耗、优水力、低施工碳排为目标开展改造。一是推进老旧供水管网更新，选用球墨铸铁管、PE 管等耐腐蚀、低阻力新型管材，减少管道内壁摩擦阻力，降低输水能耗；采用非开挖修复技术，通过紫外光固化、CIPP 内衬修复破损管道，减少路面开挖、建筑垃圾产生，降低施工阶段碳排放。二是整治排水管网混接、错接、淤积问题，实施雨污分流改造，优化管网坡度与布局，提升重力排水能力，减少泵站加压能耗；完善雨水管网，配套建设海绵设施，实现雨水源头消纳，降低内涝风险。三是构建分区计量系统，安装智能水表、流量计，精准定位漏损点位，开展漏损管控，降低无效输水能耗。

（二）高效节能设施设备迭代改造

全面淘汰低效落后设备，推广一级能效装备，实现设备层面节能降碳。一是泵站系统改造，更换高效节能水泵、风机，加装变频调速装置，根据流量、压力实时调节运行功率，解决恒速运行能耗浪费问题，节能率可达 20%—40%；优化泵站布局，推行梯级加压，利用地形重力输水，减少加压泵站建设与运行能耗。二是净水、污水处理厂设备升级，更换高效曝气器、节能搅拌设备、低压紫外线消毒设备，替代传统穿孔曝气、大功率搅拌装置；配套智能药剂投加系统，精准控制混凝剂、消毒剂用量，降低药耗与间接碳排放。三是配套节能照明、智能监控设备，厂区全面推广光伏路灯、感应照明，实现辅助系统节能。

（三）水处理工艺低碳化优化革新

聚焦污水处理、净水处理核心环节，优化工艺路线，减少温室气体排放，降低能耗强度。一是污水处理工艺升级，推广厌氧氨氧化、MBR 膜处理、短程硝化反硝化等低碳工艺，减少曝气能耗与氧化亚氮排放；优化 AAO 工艺运行模式，通过溶解氧传感器联动智能曝气系统，精准控制曝气量，避免过度曝气；强化污泥厌氧消化，回收沼气用于发电、供暖，实现能源自给，减少化石能源消耗。二是净水工艺优化，采用低能耗混凝沉淀、超滤工艺，简化处理流程，降低药剂与电能消耗；推行分质供水，对不同用水场景提供差异化水质，避免高规格水处理能源浪费。三是减少温室气体逸散，科学管控管网、处理池厌氧环境，降低甲烷排放，采用绿色环保药剂，减少化学药剂生产运输碳足迹。

（四）水资源循环利用体系构建

以循环用水实现节能降碳，构建“供水—用水—再生—回用”闭环系统。一是扩大再生水利用规模，改造污水处理厂再生水深度处理设施，将再生水用于市政绿化、道路清扫、工业冷却、河道生态补水，减少新鲜水取水，降低取水制水能耗。二是建设雨水资源化利用系统，结合海绵城市建设，配套雨水花园、植草沟、调蓄池、雨水收集装置，实现雨水净化回用，缓解城市排水压力，节约水资源处理能耗。三是推进中水回用，鼓励建筑小区、工业园区内部中水系统建设，实现源头节水、就地循环。

（五）可再生能源与能源回收利用

推动给排水系统能源自给，从耗能单元向产能单元转型。一是推广光伏应用，利用净水厂、污水处理厂、泵站屋顶、空地建设分布式光伏发电系统，自发自用，抵消电网用电碳排放；

二是开发污水热能资源，采用污水源热泵技术，回收污水中稳定热能，用于厂区及周边建筑供暖制冷；三是利用管网地势落差，安装微型水力发电设备，实现势能就地发电；四是污泥能源化利用，通过厌氧消化、干化焚烧实现沼气发电、热能回收，构建污水厂能源循环系统。

（六）全生命周期碳管控体系建设

建立覆盖规划、设计、施工、运维、报废的全流程碳管理模式。前期规划设计阶段，开展碳排放评估，优先选用低碳管材、工艺与设备；施工阶段推行绿色施工，减少扬尘、建筑垃圾，优化施工时序降低能耗；运行阶段建立碳排放核算台账，监测能耗、药耗、温室气体排放；报废阶段推进建材回收再利用，降低末端碳排。同时完善碳核算标准，建立给排水系统碳排放数据库，实现精准管控。

三、市政给排水系统能效优化关键实施策略

（一）构建智慧水务数字化管控平台

依托大数据、物联网、BIM、人工智能技术，搭建一体化智慧水务平台。在管网、泵站、水厂布设流量、压力、水质、能耗传感器，实现全环节数据实时采集；利用水力模型、AI算法开展泵站群联合调度、精准曝气控制、水量预测预警，实现按需供水、按需排水、精准处理，优化设备运行工况，提升整体运行能效；建立能耗在线监测系统，定位高能耗点位，开展节能诊断，实现精细化能效管理。

（二）分区分类实施差异化改造

结合城市区域特点、设施现状、人口密度，推行差异化低碳改造模式。中心城区老旧设施密集，重点开展管网漏损整治、雨污分流、设备变频改造；新区建设同步规划低碳给排水系统，采用分散式污水处理、模块化装备，减少长距离管网能耗；工业园区推行分质供水、中水回用、污水集中低碳处理；城郊区域优先布局雨水调蓄、再生水利用设施，降低集中式系统建设运维成本。

（三）强化技术创新与低碳材料应用

加大低碳给排水技术研发与推广，重点应用非开挖修复、精准曝气、厌氧氨氧化、污水源热泵等技术；推广低碳环保建材、再生骨料管材、绿色药剂，降低材料隐含碳；推行装配式水处理设备、模块化泵站，实现工厂预制、现场安装，缩短工期、降低施工能耗。加强产学研合作，推动低碳技术成果转化应用，提升行业技术水平。

（四）完善政策激励与运维长效机制

建立健全给排水低碳改造政策体系，出台节能降碳补贴、税收优惠政策，鼓励企业参与智慧水务、可再生能源建设；推行合同能源管理模式，引入第三方节能服务机构，开展能效托管；完善运维管理制度，建立常态化巡检、能耗考核、碳减排考核机制；加强专业人才培养，提升从业人员低碳管控、智慧运维能力；强化公众节水宣传，减少水资源浪费，助力系统整体能效提升。

四、结论

双碳目标下,市政给排水系统低碳改造与能效优化是城市绿色转型的重要内容,也是水务行业高质量发展的必然趋势。当前我国市政给排水系统存在管网漏损、设备低效、工艺落后、资源利用率低、智慧管控薄弱、碳排放管控缺失等多重问题,能源消耗与碳减排压力突出。市政给排水低碳改造需坚持全生命周期理念,以管网升级、设备迭代、工艺优化、资源循环、能源回收、碳管控为核心路径,通过智慧化数字化管控、差异化分区改造、技术创新应用、长效运维保障,实现系统节能降碳、资源高效利用、运行能效提升。

在城市更新与海绵城市建设同步推进的背景下,市政给排水系统改造不能局限于安全与功能完善,更要融入绿色低碳发展要求,统筹管网、水厂、泵站、污水处理设施协同升级,推动水资源循环利用与可再生能源开发,构建“节水、节能、降碳、增效”一体化给排水体系。通过系统化低碳改造与精细化能效优化,既能有效降低碳排放强度,助力城市双碳目标实现,又能提升水资源利用效率,降低长期运维成本,改善城市水环境质量,为城市可持续发展提供坚实的水务基础设施保障。

参考文献

- [1] 武一奇,尹小青.市政供排水系统碳排放标准研究[J].环境工程,2024,42(11):146-152.
- [2] 李俊奇,张希,李惠民.海绵城市建设视角下给排水系统碳排放核算研究[J].水资源保护,2023,39(04):86-93.
- [3] 吴德礼,周振.城镇污水处理系统节能降碳关键技术与路径研究[J].给水排水,2024,50(06):112-118.
- [4] 马军,潘新宇.双碳目标下城市给排水系统低碳转型技术路径[J].环境科学学报,2025,45(02):201-209.
- [5] 孙军益,林涛.碳减排背景下市政给排水管网能效优化策略[J].净水技术,2025,44(10):214-221.