

环保水处理行业中先进设备在市政水处理中的应用研究

唐孝驰¹ 柴成薇²

1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司 天津 300000
2. 国检测试控股集团江苏京诚检测有限公司 江苏 南京 210000

摘要：本文聚焦环保水处理行业中先进设备在市政水处理的应用，先对市政水处理各领域（给水、污水、再生水利用、智慧水务管理）的先进设备分类介绍，并列举应用实例。接着分析应用中存在设备适配性与场景匹配、成本与经济性、技术协同与系统集成、运维技术与人才等问题。最后提出精准选型、成本优化、系统集成、人才培养等优化对策，旨在推动先进设备在市政水处理中更好地应用，提升处理效果与效率。

关键词：环保水处理设备；市政水处理；优化对策

引言：随着城市化进程加快，市政水处理面临水质提升、资源化利用等诸多挑战。环保水处理行业先进设备凭借高效、智能等优势，成为解决这些问题的关键。市政水处理涵盖给水、污水、再生水利用及智慧水务管理等多领域，各环节对设备功能需求不同。深入研究先进设备在市政水处理中的应用，分析现存问题并提出优化对策，对保障供水安全、提升污水处理质量、推动水资源的可持续利用具有重要意义。

1 环保水处理行业先进设备的分类

市政水处理系统涵盖给水、污水、再生水利用及智慧水务管理四大领域，各环节对设备的功能需求与技术要求存在显著差异。（1）市政给水处理领域以保障供水安全为核心，先进设备包括超滤膜组件（孔径0.01-0.1 μm，可截留细菌、病毒及胶体）、臭氧发生器（通过强氧化性降解有机物并改善口感）、智能加药系统（基于水质实时数据动态调节混凝剂投加量）。例如，北京某水厂采用超滤+臭氧组合工艺后，出水浊度稳定低于0.5NTU，微生物指标达标率100%。（2）市政污水处理领域聚焦污染物高效去除与资源化，核心设备包括MBR膜生物反应器（集成生物降解与膜分离，出水COD ≤ 30mg/L）、厌氧氨氧化反应器（通过短程硝化反硝化实现氮素深度脱除）、污泥低温干化机（利用热泵技术将污泥含水率从80%降至40%以下）。上海某污水处理厂应用MBR工艺后，处理规模提升至20万吨/日，且剩余污泥产量减少30%。（3）市政再生水利用领域强调水质稳定性与多场景适配性，典型设备包括纳滤膜系统（选择性截留二价离子，保障工业冷却水防结垢）、紫外线消毒设备（替代传统氯消毒，避免消毒副产物生成）、雨水调蓄池（结合液位传感器实现雨水错峰排放与回用）。深圳某再生水厂通过纳滤+紫外线工艺，再

生水回用率达40%，满足电子芯片清洗等高精度用水需求^[1]。（4）智慧水务配套设备则通过物联网、大数据等技术实现全流程智能化管理，如智能流量计（实时监测管网漏损）、SCADA控制系统（集成设备运行数据并自动预警）、数字孪生平台（模拟水处理过程优化运行参数）。广州某智慧水务项目通过数字孪生技术将爆管定位时间从2小时缩短至10分钟，年减少水资源浪费超500万吨。

2 先进设备在市政水处理各环节的应用实践

2.1 先进设备在市政给水处理中的应用

给水处理中，先进设备的应用显著提升了水质安全与处理效率。以超滤膜技术为例，其通过物理筛分作用去除水中悬浮物、微生物及部分大分子有机物，相比传统砂滤工艺，出水浊度可降低至0.1NTU以下，且无需添加化学药剂，避免了二次污染风险。武汉某水厂引入超滤膜后，供水口感显著改善，用户投诉率下降60%。臭氧氧化技术则通过强氧化性降解水中难降解有机物（如农药、抗生素），同时破坏藻类细胞结构，减少消毒副产物前体物。杭州某水厂采用臭氧-活性炭联用工艺后，水中嗅味物质去除率达90%，出水水质符合《生活饮用水卫生标准》（GB5749-2022）要求。智能加药系统通过在线监测pH、浊度等参数，结合机器学习算法动态调整混凝剂投加量，较人工控制可节约药剂成本15%-20%。成都某水厂应用该系统后，年节省聚合氯化铝费用超50万元，同时减少了污泥产量。

2.2 先进设备在市政污水处理中的应用

污水处理领域，先进设备的应用推动了污染物深度去除与资源化。MBR膜生物反应器将生物降解与膜分离有机结合，通过高浓度活性污泥（MLSS ≥ 8g/L）提升有机物降解效率，同时膜组件截留微生物，实现泥水分

离。重庆某污水处理厂采用MBR工艺后，出水COD稳定低于 25mg/L ，氨氮 $\leqslant 1\text{mg/L}$ ，可直接回用于城市景观河道补给。厌氧氨氧化技术通过短程硝化反硝化路径，将氨氮转化为氮气，较传统硝化反硝化工艺可减少40%的曝气量与50%的碳源投加量。南京某污水厂应用该技术后，吨水处理电耗降低 0.2kWh ，年减排二氧化碳超2000吨。污泥低温干化机利用热泵循环原理，在 $40\text{-}80^\circ\text{C}$ 低温条件下蒸发污泥水分，避免高温干化产生的臭气与二噁英污染。广州某污泥处理项目采用该设备后，污泥体积减量70%，且干化污泥热值达 1500kcal/kg ，可作为生物质燃料替代煤炭^[2]。

2.3 先进设备在市政再生水利用中的应用

再生水利用中，先进设备需兼顾水质稳定性与多场景适配性。纳滤膜系统通过电荷效应与尺寸筛分作用，选择性截留二价离子（如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）与有机物，保障工业冷却水防结垢与腐蚀。天津某钢厂采用纳滤再生水后，冷却系统结垢速率下降80%，设备维护周期延长至原来的3倍。紫外线消毒技术利用 254nm 波长紫外线破坏微生物DNA结构，实现无化学残留消毒，尤其适用于食品加工、电子芯片清洗等高精度用水场景。苏州某电子厂应用紫外线消毒后，再生水微生物指标达标率100%，产品良品率提升5%。雨水调蓄池结合液位传感器与智能控制系统，可在暴雨期间储存雨水，旱季时通过泵站回用至绿化灌溉或道路冲洗。北京某海绵城市项目通过调蓄池错峰排放，内涝频率降低70%，年节约自来水用量超30万吨。

3 先进设备在市政水处理应用中的现存问题

3.1 设备适配性与场景匹配问题

不同市政水处理场景对设备性能要求差异显著，但部分设备存在“通用化设计”倾向，导致实际运行效果不佳。例如，超滤膜在给水处理中需应对原水水质波动（如浊度、有机物浓度变化），但部分膜组件缺乏抗污染涂层，易因胶体堵塞导致通量衰减；MBR膜在污水处理中需长期耐受高浓度活性污泥，但部分膜材料机械强度不足，易发生断丝现象。另外，再生水利用场景中，纳滤膜对进水SDI（污染指数）要求严格（通常 $\leqslant 3$ ），但部分污水厂二级出水 $\text{SDI} \geqslant 5$ ，需额外配置超滤预处理，增加了系统复杂性与成本。

3.2 成本与经济性问题

先进设备初期投资与运行成本较高，制约了其在中小城市的推广。以MBR工艺为例，其膜组件成本占项目总投资的30%-40%，且需定期化学清洗（每3-6个月一次），单次清洗费用达5-10万元；臭氧氧化设备能耗

较高（吨水电耗约 0.1kWh ），若缺乏余电利用机制，运行成本将增加20%-30%。此外，智慧水务系统需集成传感器、云计算平台等多类设备，单项目投资可达数千万元，而中小城市水务企业年利润仅数百万元，难以承担高额投入。

3.3 技术协同与系统集成问题

市政水处理系统涉及多环节、多设备协同运行，但部分项目存在“设备堆砌”现象，缺乏系统优化设计。例如，某污水厂同时采用MBR、厌氧氨氧化与污泥干化设备，但未考虑各单元间的碳源分配与污泥产量平衡，导致厌氧氨氧化因碳源不足运行不稳定，且干化污泥量超出焚烧厂处理能力，被迫临时填埋。智慧水务系统中，不同厂商设备数据接口不统一，导致SCADA平台无法实时采集全部运行数据，形成“数据孤岛”，降低了智能化管理效能^[3]。

3.4 运维技术与人才问题

先进设备对运维人员专业能力要求较高，但行业人才短缺问题突出。以膜设备为例，其运行需控制跨膜压差（TMP）、反冲洗频率等参数，但部分运维人员仅具备传统工艺经验，难以精准调控，导致膜污染加速、寿命缩短。智慧水务系统涉及物联网、大数据分析等技术，但高校相关专业设置滞后，企业培训体系不完善，导致复合型人才匮乏。

4 先进设备在市政水处理中应用的优化对策

4.1 精准选型：基于场景的设备适配方案

需建立“水质特征-处理目标-设备性能”三维匹配模型，指导设备选型。例如，针对高浊度原水（如长江流域），给水处理宜选用抗污染型超滤膜（如PVDF共混膜），并配套自动反冲洗系统；针对低碳氮比污水（如生活污水 $\text{C/N} \leqslant 4$ ），污水处理可采用短程硝化反硝化+厌氧氨氧化组合工艺，减少碳源投加；针对工业冷却用水，再生水处理应优先选用纳滤膜（截留分子量 $200\text{-}400\text{Da}$ ），并配置pH调节装置防止结垢。因此，需加强设备标准化建设，制定《市政水处理设备适配性评价规范》，明确不同场景下设备的关键性能指标（如膜通量、截留率、能耗等）。

4.2 成本优化：全生命周期与政策支持

推行全生命周期成本管理（LCC），对设备从采购、运行、维护直至报废的每一个环节进行细致梳理与成本优化。以MBR膜采购为例，深入分析不同材质膜的特性与成本关系，陶瓷膜虽初始成本是PVDF膜的2倍，但凭借其长达10年的寿命（PVDF膜仅5年）以及更优的抗污染性能，从长远视角综合考量，其整体成本更低。

臭氧氧化设备搭配余电利用系统，将臭氧发生器与光伏发电巧妙结合，有效降低吨水电耗成本。政策上，设立专项补贴，如对再生水利用设备给予30%补贴；实施税收优惠，像环保设备增值税即征即退；提供绿色信贷，以低息贷款支持智慧水务项目，多管齐下降低企业初期投资压力。同时，大力推广PPP模式，吸引社会资本参与设备投资与运营，借助“使用者付费+政府补贴”机制，确保项目收益稳定，实现多方共赢^[4]。

4.3 系统集成：打破“数据孤岛”与协同运行

构建“感知-传输-分析-决策”一体化的智慧水务平台，全力打破设备间的“数据孤岛”现象，实现数据的互联互通与高效利用。通过OPCUA协议统一不同厂商设备的数据接口，将MBR膜运行数据（如跨膜压差TMP、通量）、污水水质数据（如化学需氧量COD、氨氮）以及泵站状态数据（如流量、压力）等全面集成至SCADA系统。借助数字孪生技术，精准模拟设备运行状态，提前敏锐预警故障风险，为设备维护提供科学依据。在技术协同方面，深入优化工艺流程设计，例如把污泥干化产生的热量巧妙用于MBR膜清洗，大幅降低能耗；将再生水回用产生的反冲洗水回用至污水处理前端，实现水资源的循环利用，减少浪费。此外，积极建立区域性水务设备共享平台，通过“设备租赁+技术服务”的创新模式，提高设备利用率，降低单项目的投资成本，推动水务行业的高效发展。

4.4 人才培养：构建运维技术支撑体系

加强高校专业建设与企业培训的深度协同，共同构建完善的运维技术支撑体系，培养适应行业发展的复合型运维人才。在高校层面，建议在环境工程、给排水科学与工程等专业中，有针对性地增设“智慧水务”“膜技术应用”等前沿课程，拓宽学生的知识面与专业视

野。同时，联合企业建立实训基地，开展设备操作、故障诊断等丰富多样的实践培训，让学生在实际操作中积累经验，提升实践能力。企业层面，需完善内部培训体系，精心编制《MBR膜运维手册》《智慧水务平台操作指南》等标准化文件，为运维人员提供系统、全面的学习资料。定期组织技术比武、案例分享等活动，激发运维人员的学习热情与创新精神，提升其技能水平。另外，积极引入第三方技术服务机构，为中小城市水务企业提供设备巡检、远程诊断等增值服务，有效弥补人才短缺的短板，助力水务行业运维水平的整体提升。

结语

环保水处理行业先进设备在市政水处理中的应用是行业发展的重要趋势。尽管目前存在设备适配、成本、技术协同和人才等方面的问题，但通过精准选型、全生命周期成本管理、系统集成和人才培养等优化对策，可有效解决这些问题。未来，随着技术的不断进步和政策的持续支持，先进设备将在市政水处理中发挥更大作用，提升处理效率与质量，实现水资源的合理利用和可持续发展，为城市生态环境改善和居民生活品质提升提供有力保障。

参考文献

- [1]曾真.环保水处理行业中先进设备在市政水处理中的应用研究[J].中州建设,2024(4):64-65.
- [2]宋涛,兰玲,贺亚.生物膜法在市政水处理中的应用[J].工程技术研究, 2023,8(7): 182-184.
- [3]吴益峰,顾菁华,陈峰,等.正渗透膜处理城市生活污水实验研究[J].化工管理,2020(05):55-56.
- [4]朱维鑫,俞国钦.利用藻类生物膜处理生活污水观察[J].区域治理, 2020(02): 168-170.