

绿色建筑给排水工程中再生水回用系统水质处理工艺与管网布局优化研究

张艳增

1201111977****4038

摘要: 在全球能源危机与环境问题加剧的背景下,绿色建筑作为可持续发展的核心载体,其给排水工程中的再生水回用系统成为降低水资源消耗、提升资源利用效率的关键。本文聚焦绿色建筑再生水回用系统,深入探讨水质处理工艺的选择与优化,分析不同工艺对建筑杂排水、生活污水等水源的适配性;同时,从经济性、安全性、实用性角度研究再生水管网设计原则、路径规划及水力特性优化方法,旨在为系统高效稳定运行提供理论支撑与实践参考,推动绿色建筑给排水工程向环保节能方向发展。

关键词: 绿色建筑;给排水工程;再生水回用系统;水质处理工艺;管网布局优化

DOI: 10.64216/3080-1508.25.10.071

1 研究背景与意义

1.1 研究背景

城市化与建筑行业快速发展使建筑用水需求激增,水资源供需矛盾凸显。建筑中冲刷、绿化等非饮用水占比高,将建筑污水、杂排水再生利用,可减新鲜水消耗与污水排放,缓解城市污水处理压力。绿色建筑以“节约资源、保护环境”为核心,再生水回用系统是其给排水工程关键组成,也是实现建筑可持续发展的重要举措。但当前系统应用存问题:工艺选择不当易致水质不达标、成本能耗高;管网布局不合理引发水力损失大、投资高、维护难,影响系统效率与稳定性,故研究工艺与管网优化意义重大。

1.2 研究意义

理论上,梳理水质处理工艺类型、建工艺选择评价体系,可丰富绿色建筑给排水理论;结合建筑功能建管网优化模型,能完善管网设计理论,填补“工艺-管网”协同优化空白。实践上,成果可为系统设计、建设提供指导,助设计人员选适配工艺、优化管网以降成本能耗,还能推动再生水技术在绿色建筑中普及,助力“双碳”目标与生态文明建设。

2 绿色建筑再生水回用系统水质处理工艺研究

2.1 再生水回用水源与水质要求

绿色建筑再生水回用系统的水源主要包括建筑杂排水(洗手盆、淋浴、厨房排水等)、生活污水(杂排水与厕所排水混合)及雨水。不同水源水质差异显著:

杂排水有机物与悬浮物浓度低、可生化性好,处理难度较小;生活污水含大量有机物、氮磷及病原体,水质复杂,处理难度高;雨水受季节、气候、屋面材质影响,水质波动大,需针对性预处理。

再生水回用场景不同,水质要求各异:冲刷需控制浊度、COD、氨氮及总大肠菌群;绿化灌溉需关注 pH 值、电导率与重金属含量;空调冷却需限制硬度、氯离子浓度以防结垢腐蚀;道路冲洗需降低浊度与悬浮物含量避免堵塞。因此,工艺选择需紧密结合水源特性与回用要求,确保水质达标。

2.2 绿色建筑再生水回用系统水质处理工艺

绿色建筑再生水回用系统常用水质处理工艺分四类:物理处理工艺借物理作用除杂,含格栅(预处理除粗大杂质)、沉淀(降浊度,适高悬浮物水源)、过滤(提透明度,核心工艺)、膜分离(出水优但成本高),操作简、无二次污染却难除溶解性有机物与氮磷,常需组合;化学处理工艺投药剂反应除杂,含混凝(胶体脱稳)、絮凝(絮体长大)、氧化(分解有机物)、消毒(杀病原体),除杂好且快但耗药剂、可能二次污染,成本受药剂价格影响大;生物处理工艺靠微生物代谢除有机物与氮磷,有生物接触氧化法、生物膜法(耐冲击)、MBR 法(出水优但膜成本高),效果显著且环保却受环境影响大、需污泥处理;组合处理工艺因单一工艺难达标,多采用“物理+化学”等组合方式,兼顾优势、适应性强但流程复杂、成本高,需依水源与回用要求优化。

2.3 工艺选择影响因素与优化方向

绿色建筑再生水回用系统工艺选择需综合五大核心因素：

水源特性：含水源类型、水质指标、水量变化规律，水质越复杂需越高处理程度的工艺；

回用要求：依回用场景确定水质标准，要求越高工艺选择越严格；

经济性：平衡设备购置、土建等投资成本与药剂消耗、能耗等运行成本，选择达标且经济的工艺；

绿色建筑理念：优先选择低能耗、少污染、高资源利用率的工艺；

建筑条件：结合占地面积与空间布局，选择 MBR 法等小巧灵活的工艺。

工艺优化可从三方面推进：

参数优化：依据试验与运行数据调整混凝剂投加量、生物反应温度等参数，提升处理效率，降低能耗与药剂消耗；

组合创新：融合不同工艺优势开发新型组合，增强难降解有机物与氮磷的去除能力；

设备智能化升级：采用自动加药、在线水质监测等智能设备，实现自动化控制，减少人工干预，提升系统稳定性。

3 绿色建筑再生水回用系统管网布局优化研究

3.1 管网布局设计原则

绿色建筑再生水回用系统管网布局需遵循五大原则：

功能性原则：覆盖所有回用用水点，满足水量水压要求，避免与饮用水、污水管网交叉污染；

经济性原则：在达标基础上优化路径与管径，降低投资成本及运行能耗（如减少水头损失、降低水泵扬程）；

安全性原则：通过管材选择、敷设方式等防污染，设应急排水系统应对泄漏、爆管等突发情况；

实用性原则：布局便于维护管理，设检修井、阀门等设施方便日常运维与流量监测；

兼容性原则：考虑建筑未来发展，预留扩展性以适应后期改造升级。

3.2 管网布局的影响因素

管网布局主要受四类因素影响：

建筑功能与用水点分布：住宅、办公、商业等不同功能建筑的用水点（卫生间、空调机房、绿化区）分布

及用水量差异大，需据此规划路径减少水力损失；

水源与处理站位置：处理站应靠近水源降低输送能耗，输配管网从处理站向用水点辐射，避免远距离输送导致水质变差与水头损失过大；建筑占地较大时，可设分区处理站或加压泵站优化水力条件；

水力特性要求：满足用水点流量与水压，控制管内流速在合理范围（过低易淤积、过高增损失与磨损），通过水力计算优化管径，确保水头损失匹配水泵扬程以防水压不足；

环境与施工条件：地下管线密集区需避开冲突，地形起伏大处设加压/减压设施，施工空间狭小处选择 PE 管等柔性管材降低施工难度。

3.3 管网布局优化方法

管网布局优化有三类核心方法：

路径规划优化：以覆盖用水点为前提，借助最短路径算法构建管网拓扑图，确定主管、支管最优走向，同时结合建筑实际布局避开设备机房等重要区域，保障路径可行性；

管径选择优化：综合流量、流速等因素，摒弃传统单一水力计算法，通过经济性分析平衡管道投资（与管径正相关）与运行能耗（与管径负相关），建立经济评价模型选择总费用最低的管径；

水力特性优化：以保障水流稳定、满足用水点水压流量为目标，设加压/减压设施调节水压，调整阀门开度平衡支管流量，在管网高点设排气阀防气阻、低点设排泥阀防堵塞。

3.4 管网安全保障措施

管网安全保障涵盖三方面：

防污染措施：选择耐腐蚀无渗漏管材，与饮用水管网保持安全距离（交叉时再生管在下并设套管），统一再生水管网颜色与“再生水”标识，控制再生管压力低于饮用水管（必要时设防回流装置）；

运行维护措施：定期巡检管网及附属设施，定期清洗消毒管道，建立 GIS 管网数字化档案，培训维护人员提升操作与应急能力；

应急保障措施：制定应急预案明确流程与物资储备，设应急排水系统排出泄漏水，配备便携式水质监测设备，与自来水管网建立应急连接保障基本供水。

4 绿色建筑再生水回用系统“工艺-管网”协

同优化

4.1 协同优化的必要性

水质处理工艺与管网布局是系统核心关联环节：工艺选择决定再生水水质与水量，影响管网管径、流速、材质等设计参数；管网布局合理性关系再生水输送效率与水质稳定性，反向对工艺运行效果提出要求。若割裂设计，易引发系统效率低、能耗高、水质不达标等问题（如选水量波动大的 MBR 工艺却未匹配管网水力特性，易致管内流速不稳、淤积；管网管径偏小而工艺出水悬浮物高，会加速管道堵塞）。因此，“工艺-管网”协同优化是提升系统整体性能的关键。

4.2 协同优化的核心思路

4.2.1 基于水质的协同匹配

依据回用要求确定目标水质，同步优化工艺与管网：一方面选择能稳定达标且水量适应强的工艺，避免再生水在输送中因管道吸附、微生物滋生超标；另一方面按水质特性选择管网材质（如氯离子高的再生水用耐腐蚀管材），优化水力参数（如控流速减微生物附着），防止水质恶化。

4.2.2 基于水量的协同平衡

结合用水点水量变化规律优化：工艺端设调节池、蓄水池平衡水量，减少波动对管网影响；管网端采用环状管网或分区供水，提升水量变化适应性，保障用水高峰供水；管网设计流量需考虑工艺最大与最小出水量，避免水量不匹配导致运行不稳。

4.2.3 基于能耗的协同降低

以降低总能耗为目标：工艺端选择低能耗工艺（如生物接触氧化法较 MBR 法能耗低），优化曝气量、膜清洗频率等参数；管网端优化路径与管径，缩短距离、降水头损失以减水泵能耗；采用变频水泵，依工艺出水量与管网用水量自动调节转速，实现能耗动态优化。

4.3 协同优化的实现方法

4.3.1 建立协同优化模型

基于系统工程理论，以工艺运行参数（处理效率、能耗、水量）与管网设计参数（管径、路径、水力损失）为变量，以系统运行成本、水质达标率、能耗为目标函数，通过遗传算法等多目标优化算法求解，得到最优参数组合。

4.3.2 利用数字化工具辅助优化

借助 BIM、CFD 等工具实现精细化优化：BIM 构建三维模型，整合设备、管网与用水点，直观排查设计冲突；CFD 模拟管内水流，分析不同工艺出水下的水力特性，预测问题并优化；建立系统运行数据库，通过大数据分析机器学习优化模型参数，提升准确性。

5 案例分析

5.1 案例概况

某绿色办公建筑位于我国东部地区，为中等规模高层建筑，功能涵盖办公、会议及配套服务。建筑配套再生水回用系统，以内部杂排水（洗手盆、淋浴排水等）为水源，回用场景包括冲厕、空调冷却、室外绿化及道路冲洗，满足日常非饮用水需求。

5.2 水质处理工艺选择与优化

结合杂排水（有机物、悬浮物含量适中，可生化性好）及回用场景水质要求，建筑初期采用“格栅+调节池+生物接触氧化+斜管沉淀+石英砂过滤+次氯酸钠消毒”组合工艺。试运行中发现，该工艺对特定离子与硬度去除有限，空调冷却需额外加阻垢剂增成本；且次氯酸钠消毒产生的余氯轻微腐蚀管网，影响使用寿命。

基于“工艺-管网”协同优化思路，针对性调整工艺：在石英砂过滤后增设活性炭过滤，借吸附性除部分有机物与特定离子，降低阻垢剂依赖；将消毒改为紫外线，避免余氯腐蚀管网；在调节池装水质在线监测传感器，实时追踪进水指标，自动调整曝气量与混凝剂投加量。优化后，再生水水质稳定达标，空调冷却耗材用量减少，工艺能耗有效控制。

5.3 管网布局优化

建筑初期采用枝状管网，再生水从地下层处理站输出，主管沿核心区域敷设、支管向各楼层延伸。试运行中，较高楼层冲厕水压不足，空调冷却水管网因流速过快导致水力损失大、水泵能耗高。

结合协同优化思路优化管网：将枝状改为环状管网，在中高楼层设加压泵站提升水压、增强供水可靠性；依优化后工艺出水量与用水需求，重新核算调整管径（重点优化空调冷却水管径），将流速控在合理范围；在管网高点设自动排气阀、低点设排泥阀，定期排空气与淤积物。优化后，高层水压稳定，水泵能耗降低，管网维护间隔延长。

5.4 协同优化效果

经“工艺-管网”协同优化,系统整体性能显著提升:再生水水质达标稳定性大幅提高,基本全时段符合标准;综合运行成本(含投资摊销、能耗、药剂、维护)显著下降;管网故障发生率降低,运行更可靠。此次实践验证了协同优化思路的可行性,为同类项目提供参考。

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文研究得出:水质处理工艺需依水源与回用要求选择,物理、化学、生物工艺各有优劣,实际多用组合工艺,优化可从参数调整、组合创新、设备智能化入手,实现水质达标与降耗节本;再生水管网布局需循功能、经济等五原则,受建筑功能、水源位置影响,经路径规划等优化可提效稳能,结合防污染措施保安全;“工艺-管网”协同优化是提系统性能关键,借水质等协同匹配及工具应用,可降耗降本、提水质稳定性;案例验证该思路能解决水质不达标、水压不足等问题。

6.2 研究展望

未来可从四方向深入研究:研发低能耗、高效率、无二次污染的新型处理工艺,探索其在不同场景的应用;借物联网、大数据等技术构建智慧化系统,实现实时监

测与智能调控;将再生水回用与雨水收集结合,建立多水源协同利用系统;从生命周期角度开展环境影响评价与碳足迹分析,为系统绿色化设计提供全面指标。

参考文献

- [1]黄梦阳.关于绿色建筑给排水设计的节水措施探究[J].安家,2024(12):0268-0270.
- [2]Li Yan,李妍,Di Yanqiang,等.某绿色生态城区再生水系统规划研究[C]//中国绿色建筑与节能委员会青年委员会.中国绿色建筑与节能委员会青年委员会,2015.
- [3]王凤蕊,李真茹.模块化排水节水分户中水系统在绿色建筑中推广应用研究[C]//第十届国际绿色建筑与建筑节能大会暨新技术与产品博览会.0[2025-10-01].
- [4]耿安锋,王启山,王秀艳.绿色建筑再生水回用可行性研究[J].山西建筑,2006,32(1):2. DOI:10.3969/j.issn.1009-6825.2006.01.002.
- [5]WANG Fengrui,王凤蕊,LI Zhenru,等.模块化排水节水分户中水系统在绿色建筑中推广应用研究[C]//国际绿色建筑与建筑节能大会.中国城市科学研究会,2014.