

山东省西部大学科技园中水设施工程管理与技术优化研究

李基强 尹 翀^{1*} 于晓静

济南市生态环境监控中心 山东济南 250399

摘 要: 中水回用是缓解城市水资源短缺、控制水环境污染的重要工程技术手段。本文以山东省西部大学科技园为研究对象, 结合实地调研数据与工程技术规范, 系统分析中水设施建设运行中的工程管理缺陷与技术瓶颈。针对设施应建未建、设计参数不匹配、排污口不规范等核心问题, 提出技术优化方案与工程监管机制。研究结果可为高校集中区中水设施的标准化建设、高效运行及水源地保护提供工程实践参考。

关键词: 中水设施; 工程管理; 技术优化; 高校集中区; 水源保护

1 引言

研究背景与意义

随着我国高等教育园区规模化发展, 高校及配套区域的用水量与污水排放量同步增长。山东省西部大学科技园作为山东省“西进”战略中的重要教育与新城建设载体, 其所处的济南泉域岩溶地下水源二级保护区及济西水源地径流保护区地理特征, 对水环境保护提出刚性约束^[1]。根据《城市中水设施建设管理暂行办法》, 园区需构建“源头减排—过程处理—循环利用”的中水系统, 这既是工程技术问题, 更是涉及规划、建设、运维的全链条工程管理问题。

当前, 高校集中区中水设施普遍存在“重建设轻管理”“重规模轻适配”等问题, 导致设施闲置、处理效率不足等工程失效现象^[2]。本文通过解析山东省西部大学科技园中水设施的工程实践, 从技术参数优化与管理机制创新双视角提出解决方案, 对同类园区的水资源循环利用工程具有示范价值。

研究范围涵盖 9 所高校、4 个居民安置区及商业街等公建区域。2024 年 3–5 月对园区 13 个主要用水单元的中水设施进行现场勘查, 记录处理规模、工艺参数、运行状态等 23 项技术指标; 采集 9 所高校中水站进出水水质 (COD、NH₃-N 等)、管网压力等运行数据。

2 材料与方法

2.1 研究区域基础条件

园区定位为山东省高级人才培养与科研中心, 需满足高校、居住、商业等多类用水需求。根据规划, 中水主要用于绿化 (占比 40%)、冲厕 (25%)、道路喷洒 (15%)、

景观补充 (20%) , 需达到《城市污水再生利用城市杂用水水质标准》(GB/T18920–2002) 中“绿化用水”(COD ≤ 50mg/L、NH₃-N ≤ 8mg/L) 及“景观用水”(COD ≤ 60mg/L、TP ≤ 0.5mg/L) 标准。

区域水文地质特征对设施提出特殊要求: 作为济西水源地强渗漏补给区, 污水若直排或渗漏, 将通过冲洪积扇含水层 (渗透系数 10–30m/d) 污染地下水, 进而威胁饮用水安全^[3]。

2.2 设施建设与运行工程特征

设施建设覆盖率与类型

园区规划高校 15 所 (北部 6 所、南部 9 所), 目前已入驻 9 所; 公建区域包括 4 个居民安置区、1 条商业街等。从建设进度看 (表 1), 高校中水站建设率为 100%, 但公建区域建设率为 0, 商业街虽建成 500m³/d 中水站却“建而未用”, 导致约 1200m³/d 生活污水直排。

表 1 大学科技园内高校中水站和安置区现状

用水单元类型	应建数量 (座)	已建数量 (座)	建成率 (%)	运行率 (%)	未处理污水量 (m ³ /d)
高校	9	9	100	88.9	200
居民安置区	4	0	0	0	800
商业街及公建	1	1	100	0	400
合计	14	10	71.4	70	1400

2.3 技术参数匹配性

从工程设计角度, 中水站处理规模、调节池容量等参数需与实际用水需求匹配。但调研发现, 3 所高校存在设计参数不足问题:

N 高校规划规模 2000m³/d, 实际仅 1000m³/d, 处理能力缺口 50%, 导致每日约 500m³ 污水直排;

G 高校调节池设计容量仅满足 6h 污水停留(规范要求 $\geq 24\text{h}$), 曝气设备日均过载运行 3 次, 出水 COD 超标率达 15%;

3 所高校调节池仅能存储 8h 污水(规范要求 1-2 天), 停电时污水外溢风险达 100%(近 3 个月发生 4 次外溢事件)。

2.4 工程布局与管网衔接

从工程布局看, F 高校、J 高校 2 所高校中水站选址最优。以下高校偏离最优位置:

Q 高校中水站建于校园中部(非污水管道末端), 需额外增设 2 台提升泵(功率 5.5kW), 年耗电增加 1.2 万度, 不符合“节能降耗”工程原则;

G 高校、Y 高校中水站紧邻学生宿舍(距离小于 20m), 因未设置废气收集系统, 夏季氨味浓度达 $0.8\text{mg}/\text{m}^3$ (规范 $\leq 0.2\text{mg}/\text{m}^3$), 影响周边环境。

同时管网衔接存在“雨污混接”问题: 3 所高校中水站前污水管与雨水管直接连通, 雨天时约 30% 污水通过雨水管排入北大沙河, 导致河道 COD 浓度较晴天升高 2-3 倍(监测数据显示: 晴天 $25\text{mg}/\text{L}$, 雨天 $60-75\text{mg}/\text{L}$)^[4]。

3 中水设施工程问题诊断

3.1 工程管理机制缺陷

“三同时”制度执行不到位

“建设项目环保设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产”是工程管理核心制度, 但公建区域存在“先建设后环保”现象: 居民安置区、商业街主体工程已投用 3 年, 中水设施仍未启动建设, 违反《建设项目环境保护管理条例》第 16 条。其本质是工程前期未将中水设施纳入项目总投资(公建项目总投资中环保占比仅 1.2%, 低于规范要求的 3-5%), 导致后期资金缺口。

运维监管缺失

排污口管理存在工程规范化不足问题:

8 所高校均未按《排污口规范化整治技术要求》设置标准化排污口, 6 所高校超越管无标识(占比 75%), 4 所高校私设应急阀门(占比 50%), 存在“借检修直排”现象(监测显示: 某高校检修期间直排污水 COD 达 $180\text{mg}/\text{L}$, 远超标准);

管网监管缺乏数字化手段, 未建立“污水量-处理量-回用量”联动监测系统, 无法实时发现漏排。存在未接入中水站的“暗管”, 日均漏排 150m^3 。

3.2 技术工程设计缺陷

处理工艺与负荷不匹配

以 A2O 工艺(园区主流工艺)为例, 其设计需满足“水力停留时间(HRT) $\geq 8\text{h}$ 、污泥龄(SRT) $\geq 15\text{d}$ ”, 但 3 所高校因缩减池容, HRT 仅 4-6h、SRT 8-10d, 导致 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除率仅 60-70%(规范要求 $\geq 80\%$)。如山东某高校出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 常达 $10\text{mg}/\text{L}$ (标准 $\leq 8\text{mg}/\text{L}$), 需额外投加药剂处理, 增加运行成本 $0.3\text{元}/\text{m}^3$ 。

防渗工程隐患

5 所高校景观池未做防渗处理(占比 62.5%), 且与雨水管连通, 成为“隐性排污池”。检测显示: 景观池周边 50m 内地下水 COD 较背景值升高 1.5 倍(背景值 $3\text{mg}/\text{L}$, 现状 $4.5-5\text{mg}/\text{L}$), 说明污水已通过未防渗池体下渗(渗透速率约 $0.5\text{m}/\text{d}$), 威胁泉域地下水^[5]。

4 工程优化策略与技术方案

工程管理机制优化

前期: 将中水设施纳入公建项目可行性研究, 明确环保投资占比 $\geq 4\%$, 签订《中水设施建设承诺书》(参考高校模式, 由建设单位与环保部门双签字);

中期: 引入工程监理第三方评估, 对调节池容量、防渗层施工等关键节点进行验收(验收不合格不得进入下一工序);

后期: 建立“智能监管平台”, 通过流量计、水质传感器实时监测污水量、出水 COD 等指标, 数据异常时自动预警(响应时间 $\leq 1\text{h}$)。

排污口规范化改造

按“一单位一排污口”原则, 对现有排污口归并改造:

标准化设计: 设置直径 300mm 的圆形排污口, 安装在线监测仪(COD、流量), 配套环保图形标志(参照《环境保护图形标志》);

超越管管控: 加装电磁锁闭阀, 开启需向环保部门申请(审批通过后远程解锁), 杜绝“私开直排”。

4.3 技术工程优化方案

处理系统扩容与参数优化

针对规模不足问题, 制定分阶段改造方案:

N 高校: 新增 1 组 $1000\text{m}^3/\text{d}$ A/O 处理单元(HRT=8h), 调节池扩容至 2000m^3 (满足 2 天存储), 预计投资 120 万元, 改造后可实现污水全处理;

统一标准: 调节池容量按 " 最大日污水量 $\times 2d$ " 设计, 曝气设备功率提升 20% (避免过载), 确保出水稳定达标 (目标: $COD \leq 50mg/L$ 、 $NH_3-N \leq 8mg/L$)。

防渗与应急工程升级

景观池防渗: 采用 "HDPE 膜 (1.5mm) + 混凝土防渗层 (10cm)" 复合防渗, 周边设截渗沟 (收集渗漏污水至中水站)。

应急供电: 所有中水站增设柴油发电机 (连续供电 $\geq 72h$), 配套双电源切换装置 (切换时间 $\leq 10s$), 避免停电外溢。

优化效果预测

以公建区域为例, 建成 5 座合建中水站 (总规模 $1500m^3/d$) 后, 可实现污水全收集, 预计:

环境效益: 北大沙河 COD 浓度从现状 $45mg/L$ 降至 $25mg/L$ (达到 III 类标准), 地下水污染风险降低 90%;

经济效益: 中水回用率提升至 60%, 年节约自来水 13 万 m^3 (按 3 元/ m^3 计, 年节水费 39 万元);

管理效益: 智能监管平台使漏排发现时间从 72h 缩短至 1h, 监管效率提升 72 倍。

5 结论

西部大学科技园中水设施的核心问题在于“工程管理缺位”与“技术设计失配”。通过构建全周期工程管理机制 (强化前期投资、中期监理、后期智能监管), 结合技术参数优化 (扩容调节池、规范排污口、升级防渗), 可实现污水“全收集 - 全处理 - 全回用”。研究表明, 高校集中区中水设施需以“工程技术适配性”为基础、“管理机制强制性”为保障, 才能兼顾水资源循环利用与水源地保护双重目标。

参考文献

- [1] 济南市人民政府. 济南市城市中水设施建设管理暂行办法 [Z]. 2002.
- [2] 李军, 王凯军. 城市污水再生利用工程技术导则 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [3] 山东大学. 济南长清大学科技园环境影响报告书 [R]. 2006.
- [4] GB/T 18920-2002, 城市污水再生利用 城市杂用水水质标准 [S].
- [5] 张智, 李大鹏. 高校中水系统工程管理模式创新研究 [J]. 中国给水排水, 2022, 38 (10): 1-6.