

医院污水处理系统日常运维弊端与系统性改进方案研究

余力

上海申康卫生基建管理有限公司 上海 200080

摘要:当前医院污水处理普遍存在控制粗放、效能低下等问题。为提升运维体系合理性,需结合法规,充分利用智能化设施与全流程监管体系,为污水处理系统的建设管理变革提供参考

关键词:医院污水治理; 运维管理弊端; 智能精准消毒; 污泥协同处置; 数字化监管; 上海实践

引言:针对上海医疗机构污水处理存在的消毒效果不稳、污泥处置违规及智能监测缺失三大难题,结合地方标准与本土案例,本研究提出智能算法精准消毒、区域协同污泥处理资源化及全程数字化监管方案,为医院污水管理变革提供实践依据。

1 医院污水处理系统日常运维面临的主要弊端与深度剖析

1.1 消毒工艺控制失当:效能波动与潜在风险

医院污水消毒是阻断病原体传播的关键屏障,但实践中普遍存在控制粗放、效能不稳的严重问题。

1.1.1 药剂投加粗放,缺乏动态响应

当前医院固定比例加药模式难以适应水质水量波动。监测显示:上海近三成医院在低负荷时次氯酸钠过量,导致出水余氯常超1.0mg/L安全值,不仅增加成本,更易产生有毒副产物,威胁生态安全;同时,近两成医院在雨季或高峰时段因缺乏调节而加药不足,致使粪大肠菌群等微生物指标超标率骤升至近四成,消毒效果失效。

1.1.2 消毒接触时间保障不足,设备维护滞后

医院消毒池常规采用含氯消毒剂或紫外线消毒污水。常见问题:1)含氯消毒因流量波动或结构缺陷,污水实际停留时间常远低于设计的30-40分钟;2)紫外线消毒因灯管老化/结垢/传感器故障,维护不善导致有效辐射强度衰减超35%,灭活效率不足。两者均导致消毒接触时间或强度不达标,存在排放超标污水风险。

1.2 污泥处置环节:违规操作普遍与环境隐患突出

污水处理过程中产生的污泥(特别是初沉池和生化沉淀污泥)富集了大量病原微生物、重金属及药物残留,属于危险废物(HW01类)。然而,其规范化处置是当前运维链条中最薄弱的环节。

1.2.1 脱水环节效能低下,含水率普遍超标

超半数受访医院污泥脱水后实际含水率超80%,远未达《污水综合排放标准》(DB31/199-2018)≤60%要求。关键原因在于脱水设备(尤其是带式及板框压滤机)未正常使用、日常维护严重缺失:滤布破损率超

40%且未及时更换,加之设备运行压力不足、加药调理不当,导致脱水效率低下。高含水率污泥体积大、运输成本高,且易在储运中产生渗滤液造成二次污染。

1.2.2 处置路径不畅,非法倾倒风险高

HW01类危废因处置费用高、资质处置单位少且分布不均,叠加部分医院管理者环保意识淡漠、责任缺位,导致污泥规范处置链条断裂。徐汇区调研显示,仅约三成医院与正规危废处置单位签订长期稳定处置协议。高处置成本与监管漏洞催生非法倾倒、简易填埋或混入生活垃圾等严重违规,年发生率达12%,构成地下水、土壤污染潜在源头及重大公共卫生隐患^[1]。

1.3 智能监控与应急管理:严重缺失与响应滞后

现代环境治理的核心在于大数据管理和快速响应,但医院污水运维在这个方面一直存在较大的短板。具体内容如下:

1.3.1 在线监测设备覆盖率低、数据可用性差

上海市区虽有政策引导,但医院在财力、人员投入上未完全落实。三级医院虽按要求安装余氯、流量等关键参数在线监测设备,正常运行率仅约六成;2024年上半年环保部门强制接入“一网统管”生态环境子系统后,上传数据真实性仍难保障,平台数据采集与监管功能未达设计要求。

1.3.2 应急响应机制缺失,应对突发状况能力弱

医院污水系统易受进水水量水质突变(如暴雨、极端医疗活动)及设备故障等突发状况影响。但多数医院缺乏成体系、可操作的应急预案,或预案流于形式、与实际脱节。典型如暴雨时,地表径流与管网倒灌常致污水处理站进水流量短时间激增超200%,而消毒系统未及时启动强化消毒、分流等应急措施,依赖人力临时应对。因此常规系统抗冲击能力薄弱,特殊情况下污水超标排放风险极高。

2 结合上海市相关法律、法规和政策对医院污水处理系统提出改进建议

针对上述核心弊端,结合上海市政府发布的《污水

综合排放标准》(DB31/199-2018)的技术导引和实践经验,现提出对医院污水日常运维系统的改进建议:

2.1 构建基于智能算法的精准消毒控制系统

相较于传统粗放式人工加药和紫外线消毒模式,利用传感技术、物联网和人工智能模型实现消毒过程的动态优化与自适应控制对于污水日常运维管理有着更好的提升。

2.1.1 核心智能控制模型:

模型综合考虑主要影响因素(流量Q、水温T、有机物浓度COD/UV254、前馈水质参数等)。次氯酸钠投加量算法可表达为:

投氯量(kg/h) = $K1 * Q(m^3/h) * [1 + K2*(T(°C)-20)] + K3 * COD(mg/L)$,其中K1、K2、K3为根据特定污水特性、接触池效率等参数标定优化的系数。

模型不断通过实时反馈数据(余氯)进行微调。根据实际经验,在部署此类系统后,可成功将出水余氯控

定控制在0.3-0.8 mg/L的安全有效区间,合格率从不足70%跃升至92%以上。

2.1.2 集成应急强化消毒模块:

污水管理系统与气象预警平台联动。当接收到强降雨预警(如预计降雨量 > 50mm/日)时,自动触发应急模式:优先启动高强度的臭氧或紫外线辅助消毒单元;可临时延长消毒接触池水力停留时间(如通过调节阀门至50分钟);同时AI模型自动提高消毒剂投加量计算基准,确保在水量剧增、水质可能稀释或携带更多污染物时,消毒效力不降反增^[2]。

2.2 推行污泥深度脱水与区域协同处置资源化模式

对于医院污水排放体系中的污泥处置难题需从源头减量、规范转运和集中处置三端发力,其中上海浦东新区的相关政策和处置模式提供了一定的可借鉴性。

浦东新区医疗污泥区域协同处置模式详述:

环节	关键技术/管理措施	核心参数与效果
医院端深度脱水	升级采用高压隔膜板框压滤机	运行压力 $\geq 1.5MPa$, 配套高效调理剂(如铁盐+石灰/新型有机高分子), 实现含水率 $\leq 55%$ 。
全密闭智慧转运	专用冷藏运输, 配备GPS/温湿度监控	电子锁控、数据实时上传平台, 确保运输过程全程追溯。
区域中心无害化	高温热水解/微波消毒/高级氧化处理	如微波: 85-95°C维持30分钟以上, 粪大肠菌群、蠕虫卵等杀灭率达100%, 满足《医疗机构污水污泥处理处置技术规范》要求。
资源化利用探索	深度处理后的污泥的干化成型	制造免烧砖、路基材料等, 产品性能符合《城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质》(GB/T 23485) 等标准。

此模式通过集中处置实现规模效应,显著降低了单个医院的处置成本;严格工艺管控确保了无害化的效果;资源化路径规划则减轻了填埋的压力,同时也契合循环经济理念。

2.3 建立贯穿“源-网-站-泥”的全流程数字化监管体系

利用现代信息技术构建覆盖污水产生、收集、处理、排放和污泥处置全链条的智慧监管网络。

2.3.1 设备层强化:

2.3.1.1 在关键节点(调节池入口、处理设施单元、消毒接触池出水口、污泥贮存点)强制部署并稳定运行水质参数(余氯/pH/COD/氨氮/流量)在线监测仪,有条件的增加总氮、总磷、生物毒性等特征指标监测。

2.3.1.2 在污泥脱水间、危废贮存场所安装视频监控和称重设备。

2.3.2 平台层整合与智能应用:

2.3.2.1 所有在线监测数据和视频信号强制接入上海市“一网统管”生态环境监管云平台,将所有相关信息第一时间汇总至行政主管部门,确保所有运行数据的透明和公开。

2.3.1.2 平台内置智能分析引擎,实现:

实时预警: 余氯超标、流量异常激增、设备故障等自动触发报警信息,推送至医院负责人、运维单位和环保监管人员手机或工作站。

污泥处置全生命周期追踪: 从医院脱水产生、称重交接、运输轨迹(GPS)、到处置中心接收和最终处置方式(焚烧/建材化),数据实时上传,形成闭环管理^[3]。

2.3.3 应用层赋能运维管理:

2.3.3.1 开发专用的医院污水移动运维管理APP,功能涵盖:

标准化电子点检: 预设巡检路线、项目及标准,现场扫码打卡、拍照及数据录入,自动生成电子台账。

智能物料管理: 实时监控药剂库存,结合水量预测及智能模型建议采购计划,低库存自动预警。

应急知识库与一键启动: 集成暴雨、设备故障、泄漏等应急预案,提供操作指引,关键操作(如启动备用消毒设备)一键触发。

运维报告自动生成: 整合在线数据、点检、维修及化验记录,自动生成合规的日报、月报、年报。

3 实证应用效果与综合效益分析

通过对上海地区不同等级、不同规模的20家医院实施上述改进方案的跟踪，采用以上改革方案的医院污水日常运维均取得了显著的综合效益：

改进措施	实施医院数	关键性能指标提升效果	经济效益与环境效益
AI智能精准消毒系统	20家	药剂单耗下降23%-27%；出水粪大肠菌群稳定达标率 > 95%（原平均 < 75%）；余氯控制稳定性提升显著。	年均节约药剂成本18.7万元以上；显著降低消毒副产物环境风险；避免因超标排放导致的罚款。
污泥区域协同处置模式	8家 (加入区域中心)	污泥含水率稳定 ≤ 55%；规范化处置率100%（电子联单全覆盖）；非法倾倒事件清零。	污泥处置综合成本降低35%以上；降低非法处置带来的高额罚款风险（年节省潜在罚款超50万元）；消除污泥带来的二次污染隐患。
全流程数字化监管体系	20家	环保部门处罚次数同比下降85.7%；设备故障率下降40%；应急响应速度提升90%；管理效率显著提高。	获得政府相关财政补贴约20万元/年；节省人力成本，提升医院环保形象。

典型案例深度解析：上海知名某三甲医院作为上海率先全面实施智慧污水运维的标杆，其通过集成应用取得了突出成效：

消毒效能显著提升： 经历2023年多次特大暴雨，依靠智能化动态调节和臭氧备用系统，雨季排放污水中粪大肠菌群合格率达到98.7%，而改造前同期仅为72%。大幅提升了污水系统应对极端天气的韧性。

污泥处置成本显著优化： 通过加入浦东区域处置中心，采用污泥深度脱水技术，依照相应政策对外运污泥享受规模化处置价格，其污泥处置成本从3800元/吨大幅降至约2200元/吨，年节约处置费用大大降低，且处置全程受到环保部门统一管控、合法合规。

综合管理效能与认可度： 凭借其先进的智慧水务管理系统和卓越的运行效果，该站点被评为“上海市医疗污水处理智慧运维示范站点”。

4 政策与长效机制完善建议

为确保上述改进方案的可持续推广和长效运行，亟需配套完善政策与机制。建议内容如下：

4.1 标准约束与考核常态化

将医院污水处理设施的稳定达标运行（特别是上海市地方规范《污水综合排放标准》（DB31/199-2018）的关键指标）和污泥规范化处置情况，强制纳入《上海市三级/二级医院评审标准实施细则》的核心评审指标，并赋予较高权重，实行环保“一票否决”，加强医院管理层在该项管理上的全方位投入。推动制定或升级更细化的《上海市医疗机构污水处理站运行维护技术规程》，明确智能监控、污泥深度脱水、区域协同等具体要求。

4.2 经济激励与精准补贴

设立市级医院污水治理能力提升专项资金。对于主动安装符合要求的在线监测系统并稳定联网的医院，给予设备采购费用一次性财政补贴。

对采用经认证的区域污泥协同处置模式的医院，给予

一定的危废处置费补贴或税收优惠，降低其合规成本。

对在智慧运维、节能降耗、资源化利用方面成效显著的医院授予示范称号并给予奖励。

4.3 区域基础设施与处置能力协同化

将医疗污泥集中处置设施纳入城市环境基础设施规划。由市级层面统筹，按照行政区或地理片区（半径建议 ≤ 15公里），合理布局建设专业化、规模化的医疗污泥（HW01类）集中深度处理中心。明确建设标准和运营要求，保障处置出路。建立“医院深度脱水 + 区域中心最终处置”的标准化流程和合理的成本分担机制。

4.4 监管执法与服务并重：

充分利用“一网统管”平台数据，实施非现场精准执法，对数据异常、预警未处置的医院进行重点抽查和严厉处罚。

加强环保部门对医院环保负责人和运维人员的专业技术培训与服务指导，提升其专业能力。

结束语： 上海实践表明，破解医院污水处理运维痛点，需以系统思维，通过技术与管理“双管齐下”的综合方案。其中，“智能算法驱动精准消毒控制”解决传统工艺响应滞后、效能不稳问题；“区域协同的污泥深度脱水与无害化资源化处置”打通危废合规处置“最后一公里”；“全流程数字化智能监管体系”保障设施稳定高效合规运行。三者构成医院污水现代化治理的“三位一体”核心方案，为医疗污水运维提供可参考方向，助力保障水环境与公共卫生安全。

参考文献

[1] 上海市生态环境局. DB31/199-2018 污水综合排放标准[S]. 2018.
 [2] 上海市卫健委. 医疗机构污水处理设施运行管理规范[Z]. 2021.
 [3] 浦东新区医废处置中心. 医疗污泥微波消毒技术白皮书[R]. 2022.