

传染病医院排水系统防污染设计要点分析

窦江薇

中国中元国际工程有限公司 北京 100089

【摘要】：传染病医院的排水系统承载高风险含菌废水，对环境与公众健康具有潜在威胁。防污染设计需围绕病原体阻断、交叉风险控制与排放安全展开，通过功能分区处理、密闭化输送、独立化消毒设施与负压导排等环节构建多层屏障结构。系统运行状态的稳定性、消毒效率的保持与排水路径的连续安全性构成整体防护的关键。合理设计不仅削减排水环节的污染可能，也强化院区水流组织的可控性，使高风险污水在收集、输送与排放全过程中维持受控状态，从而达到切断病原扩散链条的目标。

【关键词】：传染病医院；排水系统；防污染设计；病原阻断；消毒设施

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.008

引言

传染病医院承担高致病性微生物的收治工作，院区内部的污水路径往往伴随较高暴露风险。在医疗活动持续运行的情况下，排水系统的安全性成为支撑整体防控体系的重要环节。排水网络一旦产生泄漏、倒灌或不当混接，极易形成无形扩散通道，使病原与含菌气溶胶沿水路进入环境。工程设计的精准性与防护结构的严密性，直接影响院区水流组织是否具备足够的隔离能力。通过对可能的污染节点进行识别与强化，可使排水系统在处理高风险废水时维持稳定、安全与可控的状态，为感染控制体系构建可靠的底层支撑。

1 排水系统污染风险的主要来源

传染病医院的排水系统承载高浓度、高活性和高不确定性的含菌废水，污染风险往往源于多重交织的路径。临床诊疗、检验处置、隔离区混合清洗与污物暂存点在持续运行中不断排放性废水，其中包含病毒、细菌、寄生虫卵及多种稳定性较高的有机载体。当排水系统承受突发流量增加或负荷波动时，若密闭性不足，极易在节点区域形成滞留与回流，使病原体在排水空间内获得附着、扩散及气溶胶化的条件^[1]。排污井、检查井和立管的界面若存在结构缝隙，易在负压扰动或潮湿环境中形成不受控泄散。由此产生的污染压力不仅面向管网内部，也会沿建筑结构传递至环境层面。

在病区高频清洗与废弃物收集过程中，排水节点承担着承接高风险流体的任务。若管道坡度、流速控制和水封完整度受到干扰，容易形成污水滞积区，为微生物存活与繁殖提供时间窗口。排水附属设施中的水封破坏、管壁结垢和通气系统失衡，可使含菌气体沿通道反向扩散，导致病原突破局部分隔。污水在经过输送时，受到水力冲击、空气交换、温度梯度变化等因素影响，若设计未形成连续稳定的排流条件，会促成污水在狭窄处、弯头处或交汇处形成旋涡与反压，进一步推高泄漏几率。排水系统一旦进入这种微循环失稳状态，污染风险呈现累积式扩大趋势。

传染病医院排水系统路径越长、节点越多，潜在污染风险

越复杂。尽管其分区严格、流线独立，但若存在混接、短接或检修不当，区隔可能被弱化，导致污水由污染区倒流至洁净区。部分区域排水负荷波动大，调节能力不足易引发水力冲击，造成接口松动；消毒前高活性污水加速管壁腐蚀，长期形成微裂缝，产生不可见渗漏。高浓度有机物与消毒剂残留混合易生成沉积物，加剧堵塞，延长病原体在管网中滞留时间。多重因素叠加，使排水系统成为病原传播关键节点，一旦破口，污染可沿水路快速扩散。

2 高风险污水的特征与传播途径解析

高风险污水在传染病医院内呈现高度复杂的成分结构，其核心特征体现在病原负荷高、理化性质不稳定及交叉污染潜势强。污水中常含有大量病毒颗粒、细菌群落及多种耐受力极强的微生物载体，这类病原在含有蛋白质、黏附性分泌物、细胞碎片及高浓度有机物的基质中更易保持活性。部分病原可在水体中依附颗粒物形成保护层，延长存续时间^[2]。污水流经院区不同空间时，会因温度变化、pH波动及多种化学试剂混入而呈现不稳定的反应性，若系统设计未考虑冲击负荷吸收机制，污水状态的剧烈变化会加大管道表面附着物形成，进而增加病原富集与再释放的风险。含菌废水在不同压力区间切换时，还可能发生溶解气体析出，促使病原深入微孔或表面不平整处，使其在管网中获得更多残留机会^[3]。

高风险污水的传播途径呈现出隐蔽性与多向性并存的特点。地漏、水封、弯管、检查井等构件在系统负压波动时，会因水封破坏或液面下降而成为含菌气体的释放点。病原通过气溶胶扩散进入空间后，可沿垂直管道、通气管或设备连接口形成上行或下行传播通道，使局部故障演变为跨楼层污染。污水在高速流经弯头及狭窄管段时，若湍流强度过高，会导致细微颗粒与水滴分离，形成微雾化现象，在管道内部产生漂移，使病原体突破局部隔断^[1]。排放节点若处于通风组织不良区域，气液混合流易沿接缝或裂隙逸散。部分区域因污水滞留时间过长，微生物可借助生物膜结构抵抗消毒剂作用，之后在流量骤增时被冲刷脱落，随水流进入其他区域，形成二次传播链^[4]。

高风险污水在院区流动时还会因系统结构差异而呈现多

层级传播模式。排水管网中的压力差、坡度变化、交汇结构与流量不均衡,会促使污水在节点区形成复杂的返流路径。一旦出现局部堵塞,污水会寻求最小阻力方向扩散,可能逆向进入低压段或相关附属设施,引发交叉污染。检修口、密封圈、阀门连接处若存在老化或材料不匹配,可在受压状态下出现细微渗漏,将含菌微滴以缓慢方式释放到周围环境。消毒装置前端区域污水活性高,对设备内部衬材及接口冲击显著,长期运行后形成微裂缝,使病原具备渗透空间^[5]。随着污水在系统中不断循环迁移,传播路径会因结构特性、气流组织和运行负荷而呈现动态变化,使排水系统内部形成多维度、多节点的病原扩散网络,对防污染设计提出更高要求。

3 排水管网的污染阻断策略构建

排水管网的污染阻断策略旨在构建连续、密闭且多层防护的结构体系,使病原在任何节点都难以突破水力与物理屏障。传染病医院的排水路径普遍跨越多个风险等级区域,污水在不同压力区间切换时极易出现倒灌、泄散或气溶胶溢散,因此管网结构需具备稳定的水力控制能力。密闭式排水构件、抗冲击接口材料以及具备耐腐蚀性能的管壁结构,是减少微裂缝与渗漏发生概率的重要基础。排水立管和支管应具有足够的管径与合理坡度,以维持污水流动的连续性,避免因滞留区形成内部污染源。通气系统的压力调节功能必须强化,使负压波动不至于破坏水封,防止含菌气体在管网与室内空间之间形成无意识通道。

在跨区域排水时,应通过结构分隔与功能分区的方式形成独立化的污水路径,使不同病区的污水在进入汇集段前完成单独控制。高风险区域宜设置独立污水通道,并通过专用检查井完成密闭转输,以防止混流水流造成微生物重新分布。逆流防控装置与多级止回结构可在压力突变时阻断污水回行,对承受冲击负荷频繁的节点具有稳定效果。排水附属设施的水封深度应根据高风险特性进行加大,必要时可采用机械式密封组件,在长时间低频排放状态下仍能维持界面完整。管网布局应避免产生不规则交汇,以减少涡流区与沉积区的形成,降低生物膜积聚与再释放的可能。

系统运行过程中需依托实时监测与动态调节手段维持管网的封闭稳定状态。压力、流速及水位信息可通过传感装置持续采集,为管网内部的水力特征提供可控依据,使异常流动现象在早期阶段即可被识别。对于污水活性较高的区段,可加设局部密闭消毒模块,使含菌流体在向下游输送前先经历一次杀灭过程,降低突发泄漏的潜在影响。结构老化部位必须在监测到强度退化后立即进行更换,以避免微渗情况放大为系统性泄散。通过对水封维护、通气平衡、界面密闭与节点保护等环节形成协同体系,使排水管网在面对高风险污水时保持稳定运行并具备持续阻断能力。

4 污水消毒与安全排放路径

污水消毒与安全排放路径在传染病医院排水体系中承担核心防护功能,其设计目标在于使高风险污水在离开院区前完成充分、稳定且可验证的病原削减过程。高致病性微生物在复杂基质中具备较强的耐受性,因此消毒体系需具备足够的反应时间、有效浓度与持续接触界面。以含氯氧化剂、臭氧或紫外线处理为主的消毒单元,需要根据污水浊度、有机负荷和悬浮颗粒含量调整工况,使消毒剂能够穿透黏附层并与病原发生有效反应^{[6][7]}。高浓度有机物易消耗氧化剂,在未完成病原杀灭前就降低处理效率,因此预处理区需通过格栅、沉淀或物化手段削减污染物浓度,使后续消毒过程不被干扰。反应池结构应确保水流分布均匀,避免短流现象,使污水在整个池体内均能达到有效的病原杀灭条件。

在消毒过程完成后,污水需通过专设的安全排放路径进入院区外部系统,这一路径的稳定性决定排放是否具备可控性。为了减少消毒后残余活性波动造成风险,排放管网宜采用封闭式输送形式,并保持连续的水力条件,避免污水在管道内形成沉积区。压力调节组件需维持管网内部的正压或微负压状态,使外界空气无法进入管道产生倒置流动。排放节点的位置应与院区气流组织和周边水体环境保持合理距离,以避免气溶胶或逸散物对外界造成影响。在多雨气候或地下水位较高区域,排放路径需设置防倒灌结构,使外部水体无法逆向进入院区排水系统。排放前的在线监测装置应持续记录余氯、浊度、pH等关键指标,使异常情况在短时间内被识别并阻断排放流程。

为了确保整体排放路径长期保持安全状态,系统中还需构建多节点协同结构,使各环节互为补偿。污水在离开消毒区后,可通过缓冲池完成短时间停留,以平衡流量变化,并为在线监测设备提供足够的检测窗口。排放管道材料应具备抗腐蚀和抗微生物附着特性,使消毒后污水不会在管壁形成残留,避免由残留物再度滋生微生物。若排放路径跨越院区不同高度区域,需要确保坡度稳定且无高低不规则段,使水流保持顺畅。系统维护人员在运行管理中应依据监测数据调整药剂投加、反应时间与排放节奏,使消毒设施与排放结构在高负荷条件下仍能保持稳定状态。通过将消毒效果、输送密闭性与排放节律构建为连续体系,可确保高风险污水在离开院区过程中维持可控、安全的状态。

5 防污染体系的整体协同与提升方向

防污染体系的整体协同需要在排水收集、污水输送、消毒处理与安全排放之间形成稳定互动,使各环节保持连续性与可靠性。传染病医院的排水特点呈现高活性、高负荷和高波动性,若各单元独立运行且缺乏信息互通,则在压力切换、流量突增或结构疲劳等工况下,极易出现系统性漏洞^[8]。为了维持排水链条的连贯安全性,管网水力状态、消毒强度以及排放通道的密闭性能需通过统一监测平台进行整合,使运行数据能够在多

个节点间传递并形成闭环控制模式。系统一旦进入非稳定区间,监测平台即可发出预警,为维护人员提供快速干预依据,使局部异常不至于扩散到整个网络^{[9][10]}。

在高风险污水持续进入管网的情况下,结构性协同同样不可或缺。排水立管、支管、通气管、检查井与消毒单元之间的接口结构需具备高一致性,使压力响应、流速变化和污水分配能够在统一框架中运行。某些区域由于空间限制或布局复杂,排水设施的布局存在交叠风险,此时需通过结构调整使流路清晰,避免水流在节点处反复扰动。消毒单元和排放路径之间的衔接结构应尽可能减少中间过渡段,以缩短污水在未完全稳定状态下的暴露时间。多节点协同机制可减少病原附着、沉积与再释放的概率,使管网在长时间运行中维持稳定状态。

在运行管理层面,防污染体系的可靠性有赖于动态维护与持续优化。排水网络的材质老化、接口松动及微裂缝出现往往难以在早期被发现,因此需依托定期检测技术进行状态评估,包括内窥检测、渗漏测试和压力波动分析等方式,以识别隐蔽

故障。高风险区域的水封、密封组件和止回装置需在运行周期内保持完整,若监测到水封蒸发、负压紊乱或反向气流征兆,应立即执行校正措施。通过数据驱动的运行方式,可使维持体系逐步形成自适应能力,使排水系统在复杂负荷下仍能维持高度协同性与安全性,从而使整体防污染结构具备持久稳定的运行基础。

6 结语

排水系统的防污染设计在传染病医院中承担关键屏障作用,各环节之间的衔接程度直接影响病原阻断效果。高风险污水在收集、输送、消毒与排放过程中具有不稳定性,任何节点出现缺口都可能形成扩散链条,因此管网结构、水力调控及密闭性能需形成协同体系。消毒单元的稳定反应、排放路径的安全组织以及监测平台的动态调节,使整体系统在高负荷条件下仍保持可控性。多层防护结构构成了院区水环境安全的核心基础,为抑制病原扩散提供可靠保障。

参考文献:

- [1] 李佩昂. 建筑排水系统病原微生物气溶胶传播现状及原因分析[C]//第16届建筑给水排水大会论文集. 2024:156-160.
- [2] 周游,林立旺,陈祖毅,等. 医院污水消毒处理方法应用进展[J]. 海峡预防医学杂志,2011,17(6):18-20.
- [3] 刘子欣. 污水管网气溶胶扩散模拟及病毒传播风险评估[D]. 陕西:西安建筑科技大学,2022.
- [4] Zheng Xue, Varun Raj Sendamangalam, Cyndee L. Gruden. Multiple Roles of Extracellular Polymeric Substances on Resistance of Biofilm and Detached Clusters[J]. Environmental Science & Technology: ES&T,2012,46(24):13212-13219.
- [5] 申屠华斌,张逸夫,钱栋,等. 实际重力流排水管道中微生物群落对管道的腐蚀影响[J]. 中国环境科学,2018,38(11):4284-4288.
- [6] 林集先. 医院污水两种消毒技术的比较[C]//2003年水消毒技术国际研讨会论文集.北京:《给水排水》编辑部,2003:135-137.
- [7] 刘文君. 城市生活污水消毒技术比较[C]//2004年全国城镇污水处理工程建设与技术研讨交流会论文集. 2004:331-335.
- [8] Fatimazahra Sayerh, Latifa Mouhir, Laila Saafadi, Ilham Nassri, Abdelmoula El Ouardi, Najia Ameer, Analysis of pathogenic microorganisms in hospital effluents: A statistical approach to understanding antibiotic resistance and environmental health risks, Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, Volume 23, 2025, 101059, ISSN 2215-1532,
- [9] 张哲,何鹏才,王留,等. 高层建筑内排水系统故障诊断研究[J]. 中国给水排水,2016,32(11):147-150.
- [10] 上海深海宏添建材有限公司. 一种带有压力监测和自动平衡系统的建筑生活排水系统:CN202520445767.9[P]. 2026-01-30.