

纯水管道输送系统微生物污染控制与消毒方法探讨

贺彦涛

江苏中电创新环境科技有限公司 江苏 无锡 214111

【摘要】：纯水管道输送过程极易滋生寡营养微生物，管壁生物膜持续发育常引发水质超标，管网污染防治已成为纯水运维核心难题。水温氧失衡、管路维护缺失、外源杂质侵入构成三类主要污染诱因。本文从水体理化参数调控、管道设备构造优化、外源侵入屏障搭建三个层面落实抑菌消杀措施。多维协同管控可延缓生物膜生成，稳定管网微生物指标。相关方案能为纯水输送系统长效微生物防控提供标准化实操依据，降低管道持续污染所致水质运行风险。

【关键词】：纯水管道；微生物污染；生物膜；消杀工艺；管网管控

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.096

引言

纯水应用场景持续拓宽，输送管网长期运行下的微生物污染问题渐趋突出，微量有机质足以支撑寡营养菌群定植，生物膜一旦形成，常规消杀手段难以彻底清除。现有管控模式常存在单一维度缺失、消杀措施与实况适配不足等短板。围绕水体理化环境、管路硬件设施、外部侵入渠道三方面梳理污染形成逻辑，配套分层抑菌消杀方案，契合洁净供水系统绿色运维发展理念。整套防控思路可填补管网微生物全流程管控细节缺口，为各类纯水输送系统污染治理提供可操作技术参考。

1 纯水管道输送系统微生物管控基础阐释

纯水内部有机物含量维持在 ppb 级别，寡营养型微生物可借助微量碳源完成自身生长增殖，管壁附着形成的生物膜是管网持续微生物污染的主要载体。生物膜由菌体及胞外聚合物交织构成，厚度区间处于 5 至 50 μm ，内部菌群对常规消杀手段具备耐受特性，水流扰动下菌团持续脱落常引发水质周期性超标^[1]。纯水输送管网微生物管控围绕管路硬件条件、水体环境参数、系统封闭防护三个维度推进，依托 1.2 至 1.8m/s 循环湍流、内壁粗糙度不高于 0.8 μm 的管材、全管路无死角构造降低微生物附着概率，配套周期性消杀措施剥离成熟生物膜，同时借助全过程封闭运行阻隔外源杂菌侵入，构建长效稳定微生物防控体系。

2 纯水水体理化特性引发微生物增殖相关诱因梳理

2.1 水体温度与溶解氧参数作用机制

水体温度直接作用于微生物代谢速率，20 至 30℃ 常温区间寡营养菌繁殖活性最强，低于 10℃ 会显著延缓菌体增殖，80℃ 以上热水可通过破坏菌体蛋白结构实现消杀。溶解氧含量影响管壁生物膜成型速度，充足溶解氧可加快胞外聚合物分泌，加速细菌不可逆附着过程。管路长期静置时水体溶解氧分布不均，低点积水区域氧含量稳定，极易持续培育耐药菌群^[2]。

循环水流能均衡全管道温度与溶解氧分布，保持 1.2m/s 以上流速可减少局部静水区形成，抑制微生物依托温氧适宜环境定植。温度与溶解氧存在协同效应，单一调控温度无法阻断生物膜生长，唯有同步控制水流状态平衡氧含量，才能从水体理化层面降低微生物增殖基础条件。

2.2 管道配套设备日常管护存在疏漏

管道配套设备管护漏洞会持续放大微生物污染风险，内壁粗糙度超过 0.8 μm 的管材若未定期钝化处理，凹凸结构便持续截留微量有机质，为细菌提供附着位点。管路盲管长度超出合理范围会形成死水区域，常规循环水流无法完成冲刷，短期静置即可滋生菌群。循环紫外装置石英套管长期积垢，消杀效率下降 70% 以上却未按时清洁更换。储罐呼吸器滤芯未按周期检测完整性，隔膜阀缝隙长期积存积水且缺乏定期冲洗，停机阶段缺少定时水循环操作。各类设备维护周期执行不到位，消杀流程简化、耗材超期使用等问题叠加，导致管网内部微生物持续累积，常规抑菌手段难以发挥实际效用。

2.3 外界杂质渗入系统内部污染途径

纯水输送系统多依靠封闭结构实现外源污染阻隔，封闭结构出现破损或操作不规范时，外界杂质与微生物将持续侵入。储罐顶部缺少有效除菌过滤防护，空气携带浮游菌随气流进入水体，直接推高系统基础菌载量。管路检修及末端取水操作过程中，若未提前开展管路冲洗与环境隔离，环境空气和接触面杂菌便会进入管道内部。临时连接软管内壁粗糙，储存与使用阶段附着大量微生物，接入主管道后持续向外释放菌体。系统排水口与排空口未设置单向防护装置，停产后外部积水及污染物发生回流，各类外源侵入通道叠加作用，持续向纯水系统输送杂菌，逐步加速管壁生物膜成型过程，破坏整体微生物管控效果。如图 1。



图1 纯水管道微生物污染诱因与管控策略对应体系图

3 匹配各类污染诱因的纯水管道抑菌消杀实施举措

3.1 调控水体理化参数抑制微生物繁育

稳定调控水体温度、溶解氧与水流流速三类核心理化指标,可从生存环境层面压缩微生物繁育空间。系统常态运行阶段将循环流速控制在1.2至1.8m/s区间,持续形成湍流状态,依靠水流剪切力冲刷管壁初期附着菌体,避免微量有机物堆积形成滋养层。温度条件按分场景方式管控,日常维持水体低温环境以减缓菌体代谢,定期通入80℃热水完成全管路循环,借助高温破坏细菌蛋白质结构,降低水体活菌总量。针对溶解氧失衡问题,借助不间断循环消除管道低点死水,均衡管路各处溶氧浓度,杜绝局部高氧环境加速胞外聚合物生成。各类理化参数需保持同步联动管控,仅依赖单一指标调整难以获得长效抑菌效果,稳定的水流环境搭配周期性温度消杀,可延缓管壁生物膜成型周期,减少微生物持续增殖所需的基础生存条件,降低管网长期运行中微生物超标的发生概率。

3.2 优化管道设备构造完善日常管护流程

管道硬件构造优化是降低微生物附着概率的基础环节,配套标准化管护流程可维持管网洁净状态。管材统一选用内壁粗糙度不高于0.8 μm的抛光材质,减少管壁凹陷处截留杂质,每年开展一次钝化处理以修复内壁氧化保护层。管路布局严格

限定支管长度,消除大面积死水区域,全程设置1%至2%排水坡度,确保停机后积水能够完全回流储罐,阀门全部选用无凹槽卫生隔膜款式,规避缝隙积存水体滋生菌群。配套设备建立固定管护周期,循环紫外装置定期清理套管水垢,储罐呼吸器滤芯每90天更换并完成完整性检测。系统停机不超过24小时时每6小时启动循环30分钟,长期停产需排空管路并密封保护,按月执行预防性消杀,季度开展深度除膜作业,每次消杀完成后多点取样核验水质状况。标准化管护动作覆盖设备、管路、停机全场景,持续消除设备管护疏漏所伴随的微生物污染隐患。

3.3 搭建隔离屏障阻断外源介质侵入通道

全方位多层级隔离屏障可切断外部微生物与杂质进入纯水管道系统的全部可能路径。储罐通气位置装配过滤精度0.2 μm的除菌滤器,阻隔空气内浮游菌及粉尘随气流接触水体,滤器配套完整性检测机制,避免滤材破损失去防护能力。管路检修与末端取水作业前需提前对相应管段开展冲洗,操作区域做好洁净隔离,减少空气中杂菌直接进入管路内部^[3]。系统临时时接驳管路禁止使用粗糙橡胶软管,优先选用低附着卫生管材,使用完成后及时拆除冲洗存放,防止软管附着菌体回流至主管路。排水与排空点位加装单向防护构件,避免外界污水及杂质出现倒灌情况。系统闲置阶段封闭全部外露接口,减少无防护开口与外界环境接触,进一步压缩外源污染物侵入渠道。整套隔离体系覆盖空气、人为操作、外接管路、排水点位所有外源入口,形成连续封闭防护空间,持续削减外部污染物输入系统,从源头环节减轻管网微生物管控压力。

4 结语

纯水管道输送系统微生物污染由水体理化条件、设备管护疏漏及外源杂质侵入三方协同促成,管壁生物膜是水质反复超标的关键诱因。水体温度、溶解氧及水流参数调控,管路硬件构造优化,多层隔离屏障搭建三类举措组合为完整防控体系,既能抑制微生物增殖又可剥离成型生物膜。多维度协同管控有助稳定管网微生物指标,降低长期运行中水质超标风险。上述管控思路贴合纯水系统绿色运维发展需求,可为各类纯水输送管网微生物长效治理提供标准化技术参考。

参考文献:

- [1] 吕晨曦.纯水设备管路系统压力波传递仿真分析[D].哈尔滨工程大学,2024.D.
- [2] 施强.实验室超纯水系统PVDF管道施工技术[J].安装,2023,(4):36-38.
- [3] 靳现平.纯水支架液压系统管路推荐流速分析[J].煤矿机械,2022,43(6):78-80.