

探究净水厂给水处理工艺的设计

刘家伟

中工武大设计集团有限公司 湖北 武汉 430074

摘要: 给水处理工艺体系涵盖传统工艺解析、现代创新方向、设计要素及挑战对策。传统工艺注重絮凝、沉淀、过滤、消毒等环节优化;现代工艺强调深度处理、预处理及智能化控制。设计需考虑水质特性、空间布局与节能降耗。当前面临新兴污染物、极端气候等挑战,需通过膜截留与高级氧化联合、混凝强化、预氧化等措施应对,同时借助材料科学、信息技术等跨学科技术,提升处理效能,保障出水安全,推动给水处理工艺持续发展。

关键词: 给水处理工艺; 工艺设计要素; 预处理技术

引言: 给水处理工艺是保障供水安全与质量的核心环节,传统工艺体系历经长期实践,已形成较为成熟的流程,但在应对新兴污染物、极端气候条件时面临挑战。与此同时,现代给水处理工艺正朝着深度处理、预处理前置、智能化控制等方向创新发展,且在工艺设计上需综合考虑水质特性、空间布局、节能降耗等关键要素。在此背景下,深入探讨给水处理工艺的设计要点、挑战与对策具有重要的现实意义。

1 传统给水处理工艺体系解析

1.1 常规处理工艺流程

传统给水处理以“混凝—沉淀—过滤—消毒”为核心工序,其中混凝阶段是药剂作用的关键环节。絮凝剂的选择需结合原水水质特性,聚合氯化铝因适用范围广、矾花形成快,常用于低温低浊水处理;硫酸铝成本较低,但需严格控制pH值以避免铝离子残留。药剂投加方式需通过烧杯试验确定最佳剂量,机械搅拌混合设备通过叶轮旋转实现均匀混合,静态混合器则依赖水流剪切力,二者效能差异需根据水量规模与水质波动选择。沉淀工序是实现固液分离的关键,平流沉淀池结构简单、抗冲击负荷强,但占地面积大;斜管沉淀池通过缩短颗粒沉降路径提升效率,表面负荷率需控制在合理范围以避免絮体上浮。停留时间与表面负荷率的协同设计需平衡处理效果与占地面积,低温条件下需延长停留时间以补偿絮体沉降速度下降^[1]。过滤工序进一步截留残余颗粒物,滤料选择需兼顾截污能力与反冲洗效果。石英砂滤料成本低但易板结,活性炭可吸附有机物但需定期再生。多层滤料组合应用时,上层粒径较大以拦截大颗粒,下层粒径较小以提升过滤精度。反冲洗方式对滤层再生效果有显著影响,气水反冲洗通过气泡扰动增强滤层清洁度,但能耗高于单水反冲洗,需根据滤料特性与运行周期选择冲洗策略。

1.2 消毒工艺的技术演进

氯消毒是传统消毒工艺中应用广泛的方式,具有消毒效果可靠、成本较低、操作便捷等优点,能快速杀灭水中各类病原微生物,保障出水卫生安全。但其存在明显缺点,消毒过程中会产生多种消毒副产物,这些副产物长期存在会影响水质安全性,需通过优化投加量、控制反应时间等方式减少副产物生成。臭氧消毒具有极强的氧化能力,能快速分解水中有机物、微生物及异味物质,消毒效果彻底,且不会产生氯系消毒副产物。但臭氧消毒设备投资成本较高,运行过程中对设备维护要求严格,需确保设备稳定运行以保障消毒效果。紫外线消毒是一种物理消毒方式,具有瞬时灭活特性,能在短时间内杀灭水中微生物,消毒过程无化学药剂投加,不会产生消毒副产物,对水质无二次污染。其操作简单,运行维护便捷,适用于对水质要求较高、且无需持续消毒的场景。但紫外线消毒受水中浊度影响较大,浊度过高会影响紫外线穿透性,降低消毒效果,且消毒后无持续抑菌能力,需配合其他消毒方式使用,确保出水在输送过程中的卫生安全。

2 现代给水处理工艺创新方向

2.1 深度处理技术集成

超滤、纳滤与反渗透通过孔径差异实现分级处理。超滤截留大分子有机物与悬浮物,纳滤进一步去除二价离子及部分小分子,反渗透则实现脱盐与高纯度水生产。膜污染控制需结合定期反冲洗与化学清洗,通过优化清洗剂配方与浸泡时长延长膜寿命。能量回收装置通过回收反渗透浓水压力能,降低高压泵能耗,提升系统整体能效。臭氧-活性炭联用工艺中,臭氧分解产生羟基自由基,通过电子转移与脱氢反应高效降解有机物。活性炭吸附与催化氧化协同作用,延长臭氧接触时间并强化中间产物矿化。生物活性炭滤池通过微生物附着形成生物膜,实

现有机物生物降解与氨氮硝化,挂膜周期需控制进水负荷与溶解氧水平,定期反冲洗维持生物活性。

2.2 预处理技术的前置应用

通过微生物代谢作用去除原水中氨氮与可生物降解有机物。生物膜附着于填料表面,利用溶解氧氧化分解污染物,降低后续处理负荷。其效能受水温、pH及水力停留时间影响,需通过控制曝气量与流速优化微生物活性,避免过度氧化导致出水溶解氧超标。高锰酸钾通过氧化中间价态锰离子生成新生态氧,破坏有机物结构;过氧化氢在催化剂作用下产生羟基自由基,强化氧化效能。氧化动力学受投加量、反应时间及原水水质影响,需通过小试确定最佳剂量,避免过量投加导致消毒副产物生成^[2]。作为应急处理手段,通过高比表面积吸附水中微量有机物与异味物质。投加策略需根据水质突变情况动态调整,采用干式投加或湿式投加系统,确保快速混合与均匀分布。吸附饱和后通过沉淀或过滤分离,避免残留炭粉影响后续工艺。

2.3 智能化控制系统的构建

多参数在线监测:浊度、pH、余氯等关键指标通过传感器实时采集,数据传输至中央控制系统。监测点位覆盖进水、处理单元及出水,通过冗余设计提高数据可靠性。传感器需定期校准与维护,确保测量精度符合工艺要求。基于历史数据训练模型,识别水质参数与药剂投加量的非线性关系。动态调整算法根据实时监测数据优化投加策略,减少人工干预。模型需持续更新以适应水质波动,通过交叉验证确保预测准确性。构建虚拟工艺模型,模拟实际运行参数变化对出水水质的影响。通过参数同步校准实现虚拟与实际系统的双向映射,支持工艺优化与故障预测。数字孪生平台集成多源数据,提供可视化决策支持,提升运营管理效率。

3 给水处理工艺设计关键要素

3.1 水质特性与工艺匹配

原水水质参数的动态分析是工艺设计的核心前提,需全面掌握浊度、有机物、微生物等关键参数的变化规律。通过持续监测各类参数的波动范围,明确水质变化的时段性与关联性,为工艺选型与参数设计提供依据。动态分析需兼顾水质参数的稳定性与波动性,精准判断参数变化对处理效果的影响,避免因水质波动导致工艺运行异常,确保工艺设计能够适配原水水质的动态变化,为后续处理环节筑牢基础。工艺链的冗余设计是应对原水水质突变的重要保障,核心是在常规处理流程基础上,预留备用处理环节与调控空间。冗余设计需结合水质突变的可能类型与程度,合理设置备用处理单元,确保在水质突发恶

化时,能够快速启动备用流程,拦截超标污染物^[3]。优化工艺参数的可调范围,提升工艺链的抗干扰能力,避免因水质突变导致出水水质不达标,保障处理系统的稳定运行与出水安全。平行处理单元的流量分配与切换机制,直接影响处理系统的整体效能与稳定性。流量分配需遵循均匀性原则,根据各单元的处理能力,合理分配进水流量,避免单个单元负荷过高或过低,确保各单元同步高效运行。切换机制需具备快速响应能力,当某一处理单元出现故障或需要维护时,可快速切换至备用单元,保障处理流程不中断。

3.2 空间布局与流态优化

构筑物平面布置需遵循紧凑性原则,通过模块化设计与功能分区整合,减少占地面积与管道长度。混合池、反应池与沉淀池的衔接流道需优化几何形状,采用渐缩或渐扩结构控制水流速度,避免湍流导致絮体破碎或沉淀效率下降。竖向高程设计需充分利用重力势能,通过合理分配各构筑物标高,实现水流自流传递与能量梯级利用,减少泵提升次数与能耗。重力流与泵提升的协同节能方案需结合实际流量需求,在低流量时段优先利用重力流完成部分处理环节,高流量时段启动泵提升补充动力,通过流量传感器与变频控制实现动态调节。流态优化需通过数值模拟验证设计合理性,确保水流均匀分布,避免短流、死水区或局部冲刷现象。

3.3 节能降耗技术路径

高效水泵选型需综合流量、扬程与效率曲线,优先选择比转速高、效率曲线平坦的机型,降低长期运行能耗。变频调速装置需根据实际流量需求动态调整电机转速,避免定速运行导致的能量浪费,同时需配置过载保护与软启动功能,延长设备寿命。叶轮切割需通过流体力学计算确定最佳直径,在满足处理量的前提下减少轴功率消耗;管径优化需平衡初始投资与长期运行成本,选择经济流速范围以降低管道阻力与水头损失^[4]。污泥处理系统的资源化利用需通过浓缩池与脱水机的协同运行控制泥饼含水率,减少后续处置能耗与运输成本。污泥焚烧需评估热值与燃烧效率,确保能量回收覆盖处理成本;土地利用需分析重金属含量与生态风险,确保符合环境安全要求,实现污泥减量化、稳定化与资源化的综合目标。

4 给水处理工艺设计挑战与对策

4.1 新兴污染物的应对策略

微塑料、药物残留等新兴污染物难以通过传统工艺有效去除,成为给水处理工艺设计的重要挑战。需建立精准的检测方法,全面捕捉这类污染物的含量与分布特

征,为去除技术选型提供依据。去除技术需针对性优化,结合污染物的粒径、理化特性,选择高效的拦截、吸附或氧化技术,实现污染物的精准去除。同时,需提升检测与去除技术的协同性,确保能够及时发现并高效处理新兴污染物,保障出水水质安全,应对新型污染带来的设计挑战。膜截留与高级氧化的联合工艺,是应对新兴污染物的高效技术路径,可弥补单一工艺的处理短板。膜截留凭借精准的孔径筛选,能有效拦截微塑料等颗粒类新兴污染物,阻止其进入后续处理环节。高级氧化技术则可通过强氧化性物质,降解水中药物残留等溶解性新兴污染物,破坏其分子结构使其无害化。两者联合应用可实现优势互补,提升对各类新兴污染物的去除效果,优化工艺设计,应对新型污染带来的挑战,保障出水水质达到更高标准^[5]。抗性基因的传播风险,对给水处理消毒工艺提出了更高要求,成为工艺设计需应对的重要挑战。抗性基因可通过微生物载体传播,常规消毒工艺难以将其彻底灭活,易造成安全隐患。需推动消毒工艺升级,优化消毒方式与参数,提升消毒效能,确保能够有效灭活携带抗性基因的微生物,阻断抗性基因传播。

4.2 极端气候条件下的适应性设计

低温低浊水需强化混凝效果,可通过调整絮凝剂类型(如采用高分子聚合物替代传统铝盐)或优化投加量,结合pH值调节提升颗粒碰撞效率;微涡旋反应器与网格絮凝的组合应用可增强水流剪切力,促进微絮体形成,但需控制水力停留时间以避免絮体破碎导致沉淀效率下降。高藻期水需预氧化破坏藻类细胞结构,结合气浮或过滤拦截藻体碎片,同时需严格控制预氯化剂量以减少消毒副产物生成;预氯化与超声波除藻的协同效应可通过空化作用加速藻类裂解,降低后续处理负荷,但需优化声能密度与作用时间以平衡能耗与除藻效率。极端气候下还需加强构筑物保温设计,采用防冻材料或加热装置防止设备冻裂,确保工艺稳定运行。

4.3 跨学科技术融合趋势

材料科学推动滤料性能升级,纳米材料改性可赋予滤料抗菌、抗污染特性:负载银离子的滤料可通过释放金属离子抑制微生物滋生,延长运行周期并减少反冲洗频率;石墨烯或碳纳米管改性滤料可提升吸附效率,对重金属或有机物有更强的去除能力,但需解决纳米材料脱落导致的二次污染问题。信息技术助力智慧水务建设,通过物联网传感器实时监测水质参数(如浊度、余氯、pH值),结合大数据分析优化工艺运行,实现精准投药与节能降耗;人工智能算法可预测水质变化趋势,提前调整处理参数以应对突发污染。区块链技术可应用于水质数据溯源,通过分布式存储确保数据不可篡改,提升监管透明度,为工艺改进提供可信依据,同时可追溯水源地至出水口的全程信息,增强公众对供水安全的信任。

结束语:给水处理工艺设计正面临新兴污染物、极端气候等诸多挑战,但也迎来材料科学、信息技术等跨学科技术融合带来的创新机遇。从传统工艺的优化到现代深度处理、预处理技术的创新,再到智能化控制系统的构建,以及空间布局、节能降耗等关键要素的考量,都需不断探索与实践。未来,唯有持续创新、加强融合,才能设计出更高效、稳定、安全的给水处理工艺,保障优质供水。

参考文献:

- [1]胡婷华,赵智勇.探究净水厂给水处理工艺的设计[J].中国科技投资,2022(6):104-106.
- [2]杨娟娟.净水厂给水处理工艺的设计[J].百科论坛电子杂志,2024(24):205-207.
- [3]谢莉.低温低浊水条件下净水厂给水工艺设计与优化[J].中国建筑金属结构,2025,24(11):49-51.
- [4]孙书博,谢益佳,黄廷林,等.循环造粒流化床处理水厂排泥水的试验研究[J].中国给水排水,2020,(7):12-18.
- [5]胡婷华.探究净水厂给水处理技术的设计[J].技术探讨,2021(10):104-106.