

污水处理厂给排水工艺优化与升级改造实践

苏 坤

武汉市市政工程机械化施工有限公司 湖北 武汉 430050

摘 要：随着我国城市化进程加快和环保要求日趋严格，污水处理厂给排水工艺面临处理效率提升、能耗降低与出水标准升级的多重压力。本文系统分析了现有污水处理工艺在给水调度、排水控制及生化处理环节存在的共性问题，提出了基于过程模拟与智能控制的工艺优化策略，并探讨了升级改造的技术路径与实施要点。研究表明，通过水力负荷均衡调节、曝气系统精准控制、污泥回流比优化以及深度处理单元集成改造，可有效提升污水处理厂的整体效能。本文旨在为城镇污水处理厂的提标改造提供理论支撑与技术参考。

关键词：污水处理厂；给排水工艺；优化升级；深度处理；节能降耗

引言

污水处理厂是城市水环境治理的核心基础设施，其给排水工艺的合理性直接影响出水水质、运行成本及环境效益。近年来，我国陆续出台了更为严格的污水排放标准，许多既有污水处理厂面临出水水质难以稳定达标、运行能耗偏高、抗冲击负荷能力不足等突出问题。与此同时，进水水质水量波动加剧、管网配套不完善等因素进一步放大了工艺运行的矛盾。在此背景下，开展污水处理厂给排水工艺的优化与升级改造实践研究，具有重要的现实意义和应用价值。给排水工艺涵盖污水收集与提升、预处理单元的水力分配、生化反应池的进水调控、二沉池的排泥与出水控制以及深度处理单元的配水均匀性等多个环节。传统设计往往基于稳态假设，忽略了实际运行中的动态变化特征，导致工艺系统存在不同程度的冗余或瓶颈。因此，需要从系统集成的视角出发，综合运用水力模拟、智能控制及单元工艺强化等手段，实现给排水工艺的精准匹配与协同优化。

1 污水处理厂给排水工艺现状与问题分析

1.1 给水工艺环节存在的典型问题

污水处理厂的“给水”主要指将进厂污水按工艺要求分配至各处理单元的过程。这一环节常见问题包括：进水流量波动导致预处理单元水力负荷失衡，格栅及沉砂池拦截效率下降；配水井设计流量与实际运行工况不匹配，造成各生化池进水分配不均，部分池组超负荷运行而另一些池组闲置；提升泵组运行策略单一，频繁启停不仅增加能耗，还加剧了水力冲击。此外，初沉池排泥系统给水控制不当，易造成污泥上浮或泥层过厚，影响后续生化单元的碳源供给平衡。

1.2 排水工艺环节存在的典型问题

“排水”涵盖二沉池出水、污泥回流及剩余污泥排

放、深度处理单元配水以及最终尾水排放等过程。常见问题表现为：二沉池表面负荷过高导致出水携泥，悬浮物超标进而影响后续过滤单元的运行周期；污泥回流比控制粗放，要么回流量过大造成能耗浪费和生化池水力负荷增加，要么回流量不足导致生化系统污泥浓度下降；剩余污泥排放缺乏精细化调节，影响泥龄控制和生物除磷效果。深度处理单元的配水系统若存在短流或死区，将显著降低滤池或膜组件的利用效率，导致出水水质波动。

1.3 生化处理工艺的系统性矛盾

生化处理是污水处理的核心环节，其运行效果与给排水工艺的协调性密切相关。当前普遍存在的问题包括：缺氧区与好氧区容积配比不合理，脱氮效率受限；碳源投加点与混合方式欠佳，造成药剂浪费；曝气系统氧传输效率偏低且缺乏分区控制，导致溶解氧分布不均，既影响硝化效果又增加能耗。在进水碳氮比偏低的条件下，传统工艺往往难以同时满足总氮和总磷的去除要求^[1]。此外，泥水分离系统的水力条件与生化池出水特性不匹配，也是制约系统稳定运行的重要因素。

1.4 自控系统与工艺联动的滞后

多数污水厂的自控系统仍以数据采集与基本逻辑控制为主，缺乏基于工艺模型的预测与优化功能。给水调节阀、回流泵、曝气风机等关键执行机构之间的协调控制不足，参数设定依赖人工经验，难以应对进水水质的快速变化。在线监测仪表配置不完善或维护不到位，导致工艺调控缺乏实时数据支撑。上述问题共同构成了工艺优化升级的技术瓶颈。

2 工艺优化升级的总体思路与原则

针对上述问题，污水处理厂给排水工艺的优化升级应遵循以下总体思路：以稳定达标排放为核心目标，以

节能降耗为重要约束,以智能控制为技术支撑,实施全过程、多单元的系统性改进。具体原则包括:第一,精准匹配原则。通过水力模拟与水质分析,使各处理单元的设计能力与实际负荷相匹配,消除瓶颈单元,减少冗余容量。给水分配系统和排水收集系统应实现流量与浓度的均匀化分布。第二,弹性适应原则。优化后的工艺应具备应对进水水质水量波动的弹性调节能力,关键设备采用变频控制或分组配置,预留远期扩容接口。第三,协同增效原则。重视不同单元之间的物质与能量传递关系,例如初沉池碳源保护与生化池碳源投加的协同、曝气强度与搅拌能耗的平衡、污泥龄与除磷脱氮效果的协调。第四,智能驱动原则。将工艺机理模型与数据驱动算法相结合,建立具有自适应能力的优化控制系统,实现给排水工艺的实时动态调节。

3 工艺优化的关键技术措施

3.1 进水调配与水力均衡技术

针对进水流量波动问题,可在进水端设置流量均质调节池,其有效容积按日平均流量的4至6小时核算。调节池出水采用多级堰式配水井,各出水支管配备电动调节阀门,根据生化池的实时液位和污泥浓度信号自动调节开度。提升泵组采用大小泵搭配方式,配合变频调速,使泵组运行效率始终处于高效区间。在雨季合流制排水体制下,还应设置超越或调蓄设施,避免高流量冲击导致生化系统污泥流失^[2]。对于配水井至各生化池的给水管道,应核算沿程水头损失,避免因管路阻力差异造成流量分配偏差。当并联池组数量较多时,宜采用环形配水主管结合支管流量调节阀的方案,确保各池进水均匀度偏差不超过百分之五。

3.2 曝气系统的精准控制与节能优化

曝气系统的能耗通常占污水厂总能耗的百分之五十至七十,是工艺优化的重点。传统恒定曝气方式应改造为按需曝气模式,具体措施包括:将生化池好氧区划分为多个控制分区,每个分区独立设置溶解氧传感器和空气调节阀;采用氨氮前馈加溶解氧反馈的串级控制策略,根据进水氨氮负荷预测需氧量,再根据实测溶解氧进行微调;鼓风机采用群控策略,通过调节导叶和转速维持母管压力稳定。在曝气器选型与布置方面,建议采用微孔曝气盘或板式曝气器,安装密度沿池长方向递减,以匹配有机物降解的需氧规律。对于水深超过六米的生化池,应校核氧转移效率并适当增加曝气器数量。当实测气水比高于设计值百分之二十以上时,应排查管路漏损和曝气器堵塞问题,必要时进行清洗或更换。

3.3 污泥回流与排泥系统的精细化调控

污泥回流比直接影响生化系统的微生物总量和沉降性能。优化措施包括:在二沉池污泥斗安装在线浓度计和泥位计,实时监测回流污泥浓度;回流泵采用变频控制,根据生化池混合液悬浮固体浓度(MLSS)设定值与实测值的偏差自动调节回流量;设置备用回流通道的,防止单台设备故障导致系统崩溃。剩余污泥排放应根据污泥龄控制要求实施精准排泥。对于生物除磷系统,应特别注意将剩余污泥排放点设置在好氧区末端或二沉池排泥管,避免在厌氧区或缺氧区排泥造成磷的二次释放。排泥频率由定时排放改为连续小流量排放,以维持污泥龄的稳定性。初沉污泥、剩余污泥和化学污泥宜分类收集、分质处理,为后续厌氧消化或脱水环节创造有利条件。

3.4 深度处理单元的工艺匹配与升级

当出水标准由一级B提升至一级A或更高标准时,深度处理单元往往成为制约环节。过滤系统的优化重点在于配水均匀性和反冲洗控制。V型滤池或活性砂滤池的进水堰应进行水平度校准,必要时增设整流装置。滤速宜采用变水位控制,使滤池在清水阀调节下保持恒速过滤。反冲洗触发条件由定时改为时间与压差双重控制,减少无效反冲洗的耗水量。若增加深度脱氮除磷功能,可采用后置反硝化滤池或磁混凝沉淀工艺^[3]。后置反硝化需外补碳源,投加量应根据出水硝态氮浓度实时调节,碳源种类优选醋酸钠或复合碳源以降低运行成本。磁混凝工艺的关键在于磁粉回收系统的可靠性和混凝剂投加比例的优化,建议设置在线浊度仪和磷酸盐分析仪,实现闭环控制。

3.5 碳源投加与化学除磷的协同优化

对于进水碳氮比偏低的污水厂,碳源投加成本可占药剂总成本的百分之六十以上。优化策略包括:优先开发内碳源,如对初沉污泥进行水解酸化预处理,产生挥发性脂肪酸补充至缺氧区;将进水优先分配至缺氧区,避免易降解有机物在好氧区过度消耗;碳源投加点宜分散设置于缺氧区前端和中部,并配备高效搅拌器确保混合均匀。化学除磷可采用前馈加反馈的组合控制模式。前馈信号为进水总磷浓度和流量,按铝盐或铁盐的理论投加摩尔比计算预投加量;反馈信号为生化池出水和最终出水的正磷酸盐浓度,用于修正实际投加量。当采用同步除磷时,应避免混凝剂对生物系统的不利影响,投加点宜设置在好氧区末端或二沉池进水管。

4 升级改造实施路径与保障措施

4.1 改造前的系统诊断与评估

升级改造工程启动前,应开展不少于一个完整水文

年的运行数据收集,涵盖进水水质水量、工艺运行参数、能耗药耗、出水指标及设备运行状态。同步进行水力负荷测试和污泥活性检测,识别瓶颈单元和低效环节。有条件时可采用计算流体动力学(CFD)软件对配水构筑物和二沉池进行流态模拟,为改造方案提供定量依据。

4.2 分阶段改造与不停水施工方案

为减少改造对污水厂正常运行的影响,宜采用分阶段、分系列改造模式。保留至少一个完整系列维持运行,其余系列停水改造,完成后切换运行再改造剩余系列。关键节点的管道连接应设置临时旁路或闸阀,保障施工期间的污水导排^[4]。深度处理单元改造可安排在冬季低负荷期进行,利用现有设施作为临时过渡。

4.3 设备选型与自控系统升级

设备选型应兼顾可靠性与经济性,优先选用高效节能产品。水泵效率不应低于百分之八十,风机效率不应低于百分之八十五,电机能效等级达到二级及以上。自控系统升级包括三方面内容:完善在线监测仪表配置,增加氨氮、硝态氮、磷酸盐、溶解氧、污泥浓度等关键指标的在线检测;建立工艺仿真平台,实现基于模型的前馈预测控制;开发中控室集中监控与移动终端巡检相结合的操作模式,关键报警信息推送至运维人员。

4.4 运行调试与人员培训

改造完成后需编制详细的调试方案。调试期分为单机调试、联动调试和工艺调试三个阶段。单机调试重点检查设备转向、振动、温升及保护装置;联动调试验证给排水系统的水力平衡和自控逻辑;工艺调试则通过梯度加载方式逐步恢复至设计负荷,期间加密水质检测频次,校核各单元的最佳运行参数。人员培训应覆盖新设备的操作规程、异常情况处置及控制系统操作界面使用等内容,确保运维团队具备独立运行能力。

4.5 运行效果评估与持续改进

工艺优化升级完成后,应建立科学的运行效果评估体系。评估指标包括出水水质达标率、单位水量电耗、单位水量药剂消耗、污泥产率及设备综合完好率等。

与改造前基准数据进行对比分析,量化各项措施的贡献度。建议设置不少于三个月的跟踪评估期,每月出具评估报告。持续改进机制要求运维团队定期开展工艺审计,每季度进行一次全流程物料平衡核算,识别异常损耗环节。建立工艺优化案例库,积累不同进水工况下的最优控制参数集。当进水水质发生显著变化或出现新的排放要求时,及时启动新一轮工艺适配性分析。

5 结语

污水处理厂给排水工艺的优化与升级改造是一项系统工程,需要统筹考虑水力条件、生化反应动力学、设备性能及自动控制等多个维度。本文通过对进水调配、曝气控制、污泥回流、深度处理匹配及碳源协同等关键技术的系统分析,提出了切实可行的优化措施与改造路径。实践证明,上述措施能够有效提升污水厂的处理能力与运行效率,在保障出水稳定达标的同时实现节能降耗。展望未来,污水处理工艺将向低碳化、智能化与资源化方向深入发展。给排水工艺的优化需更加关注碳足迹管理、能源自给及水资源再生利用。数字化孪生技术、人工智能算法与先进传感技术的深度融合,有望实现从单点优化到全局最优的跨越。同时,厂网一体化调度将成为解决进水波动问题的根本途径,给排水工艺设计应预留与管网系统联动的接口。只有持续推进技术创新与管理优化,才能更好地适应新时代水环境治理的更高要求。

参考文献

- [1]唐凯.城镇污水处理厂提标改造技术路径研究[J].全面腐蚀控制,2026,40(2):170-172.
- [2]李军.城市污水处理厂提质扩容与工艺改造设计研究[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2025中国城建经济研讨会论文集.[出版者不详],2025:205-206.
- [3]罗乾根.污水处理厂改造工程的特点和管理控制[J].中国住宅设施,2025,(10):95-97.
- [4]罗水斌.城镇污水处理厂提标改造技术的应用分析[J].皮革制作与环保科技,2025,6(18):159-161.