

市政污水厂设计及处理工艺的探讨研究

杜胜蓝

中国城市建设研究院有限公司湖北分院 湖北 武汉 430040

摘要: 市政污水厂设计需严格遵循国家及地方排放标准,结合水量预测与水质特征分析,秉持可持续性、模块化、智能化等原则。处理工艺涵盖预处理、一级、二级及三级处理,包括活性污泥法、生物膜法等传统工艺及厌氧氨氧化等新型工艺。通过工艺组合优化与效能评估,可提升处理效果,实现节能降耗、资源回收,满足日益严格的环保要求,推动市政污水治理向高效、绿色方向发展。

关键词: 市政污水厂设计; 处理工艺; 效能评估与优化

引言: 随着城市化进程加速,市政污水排放量与日俱增,其有效处理成为保障城市水环境安全、推动可持续发展的关键。市政污水厂作为污水治理的核心设施,其设计科学与否、处理工艺选择是否合理,直接关系到污水处理效果与运行成本。当前,环保标准日益严格,对污水厂的出水水质、资源回收利用等方面提出更高要求。因此,深入探讨市政污水厂设计要点及处理工艺,具有重要的现实意义。

1 市政污水厂设计基础与原则

1.1 设计依据与标准

严格遵循国家统一标准,明确COD、BOD₅、氨氮、总磷等关键污染物的排放限值;同时结合项目所在地地方标准,若地方标准严于国家标准,优先执行地方标准,保障污水排放与区域水环境容量相匹配,避免对周边水体造成污染。水质特征分析需通过实地监测掌握进水pH值、污染物浓度、毒性物质含量等指标,明确污水可生化性,为处理工艺选择提供核心依据。

1.2 设计原则

(1) 可持续性: 秉持节能降耗理念,选用低能耗工艺与设备,优化水力流程减少能耗损失;推行资源回收利用,实现污泥无害化处理与资源化回用(如制肥、产沼气),污水再生利用于绿化、道路冲洗等,构建循环经济模式。(2) 模块化与灵活性: 采用模块化设计思路,将处理单元拆解为标准化模块,便于分期建设与后期扩容;预留工艺升级空间,可根据水质水量变化灵活调整运行参数或增设处理单元,适应城市发展动态需求。(3) 智能化与自动化控制: 构建全流程智能化监控体系,配备在线监测仪表实时采集水质、水量、能耗等数据;通过自动化控制系统实现设备启停、参数调节的精准控制,减少人工干预,提升运行稳定性与管理效率,降低运营成本^[1]。

1.3 核心设计参数

(1) 处理规模: 分为近期与远期规模,近期规模依据当前人口与产业污水排放量确定,远期规模结合城市发展规划预判,确保水厂既能满足当前需求,又避免过度建设造成资源浪费。(2) 水力停留时间(HRT): 根据处理工艺类型确定,如活性污泥法处理生活污水时,HRT通常控制在6-12小时,需通过水质模拟计算优化,确保污染物充分降解,同时避免停留时间过长增加能耗与占地面积。(3) 污泥负荷: 指单位质量活性污泥在单位时间内所能承受的污染物质,是活性污泥法工艺的关键参数,一般控制在0.2-0.4kgBOD₅/(kgMLSS·d),需匹配进水污染物浓度与污泥浓度,保障污泥活性与处理效果。

2 市政污水处理工艺分析与选择

2.1 传统处理工艺

(1) 预处理工艺: 作为污水处理的第一道防线,核心作用是去除污水中粗大杂质、无机砂粒及调节水质水量,保障后续处理单元稳定运行。其中,格栅分为粗格栅(栅间距50-100mm)和细格栅(栅间距10-20mm),主要拦截漂浮物、悬浮物等大块杂质;沉砂池通过重力沉降分离砂粒等无机颗粒物,避免磨损后续设备;调节池则用于均衡进水水量波动、调节水质pH值,减少水质突变对生物处理系统的冲击。(2) 一级处理: 以物理分离为核心,主要去除污水中悬浮态污染物。初沉池通过重力沉降去除约50%-60%的SS和20%-30%的BOD₅,降低后续生物处理负荷;化学强化一级处理(CEPT)在初沉池前投加混凝剂(如PAC)和助凝剂(如PAM),通过絮凝沉淀强化污染物去除,可使SS去除率提升至80%以上、BOD₅去除率提升至40%-50%,适用于水质污染较重或应急处理场景。(3) 二级处理: 核心是生物降解,去除污水中溶解性和胶体态有机污染物,是污水处理的核心环节。活性污泥法通过曝气池中活性污泥与污水的充分接

触,利用微生物代谢分解污染物,典型工艺包括A²/O(厌氧-缺氧-好氧)工艺,可同步实现脱氮除磷,适用于氮磷排放标准严格的场景;SBR(序批式活性污泥法)工艺通过时序交替实现进水、反应、沉淀、排水等过程,占地面积小、灵活性强,适合中小型污水厂。生物膜法通过载体附着微生物形成生物膜降解污染物,MBBR(移动床生物膜反应器)结合活性污泥法与生物膜法优势,抗冲击能力强;BAF(曝气生物滤池)兼具生物降解与过滤功能,处理效率高、出水水质好。(4)三级处理:主要任务是保证TP达标,进一步削减SS,同时考虑远期进水水质的不确定性、出水水质标准提高的可能,进一步消减TN。物化深度处理的工艺流程,根据出水不同要求,有多种组合形式,包括以下一些工艺或其中几种的组合:混凝沉淀、过滤、活性炭吸附、离子交换、电渗析、过滤、反渗透、超滤、纳滤等等。具体工艺的选择应视进水水质情况、出水的水质要求、出水具体用途等而定。

2.2 新型处理工艺

(1)厌氧氨氧化:属于节能型脱氮技术,利用厌氧氨氧化菌在厌氧条件下直接将氨氮与亚硝态氮转化为氮气,无需曝气供氧和外加碳源,能耗仅为传统脱氮工艺的1/3-1/2,适用于高氨氮、低COD的工业废水与市政污水深度脱氮场景,大幅降低脱氮成本^[2]。(2)短程硝化反硝化:通过控制溶解氧和pH值,将氨氮氧化停留在亚硝态氮阶段,再进行反硝化脱氮,相比传统全程硝化反硝化,可节省40%曝气能耗和50%碳源需求,适用于低碳源、高氨氮污水的脱氮处理,尤其适合南方低碳源市政污水厂。(3)人工湿地/生态处理:利用土壤、植物、微生物的协同作用实现污水净化,属于低成本生态修复技术,无需复杂设备和高额运行费用,同时兼具生态景观、水土保持等功能,适用于小城镇、乡村等水量较小、经济条件有限的区域,或作为市政污水深度处理的生态缓冲单元^[3]。

2.3 工艺组合优化

(1)多级AO+MBR组合工艺案例分析:某大型市政污水厂针对高氮磷污水处理需求,采用“预处理+多级AO+MBR”组合工艺。多级AO工艺通过多段厌氧-缺氧-好氧交替,强化反硝化脱氮和聚磷菌释磷吸磷过程,提升氮磷去除效率;后续MBR膜分离单元彻底截留活性污泥和悬浮物,出水COD、氨氮、总磷分别稳定达到50mg/L、1mg/L、0.1mg/L以下,满足准IV类水体排放标准,同时膜组件的高效截留使污泥浓度提升,减少占地面积30%以上。(2)生物处理与化学沉淀协同脱磷:针对生物脱磷难以达标的低C/P比污水,采用“AAO生物脱磷+化学

沉淀辅助脱磷”组合工艺。AAO工艺通过聚磷菌生物代谢去除大部分磷,后续在二沉池前投加聚合氯化铝等化学药剂,通过化学沉淀去除残留磷,使总磷去除率从生物脱磷的70%提升至95%以上,确保出水总磷稳定达标,同时减少化学药剂投加量,降低运行成本。

2.4 工艺选择依据

(1)水质特性:核心依据包括BOD/COD比值(反映污水可生化性,比值>0.3优先选用生物处理工艺,比值<0.3需预处理提升可生化性)、TN/TP含量(决定脱氮除磷工艺选型,高氮需强化脱氮工艺,高磷需组合化学辅助脱磷)、SS含量(影响预处理工艺选择,高SS需增设细格栅和沉砂池)。(2)经济性:涵盖投资成本与运行成本,投资成本需考虑工艺设备购置、土建工程等初期投入(如MBR工艺投资高于传统活性污泥法);运行成本包括能耗、药剂消耗、污泥处置、人工维护等长期费用(如厌氧氨氧化工艺运行成本远低于传统脱氮工艺),需结合项目资金实力和长期运营规划综合权衡^[4]。(3)环境影响:重点关注碳足迹(如曝气工艺能耗对应的碳排放,低碳工艺可降低碳足迹)和污泥产量(如短程硝化反硝化工艺污泥产量比传统工艺减少20%-30%),同时需考虑工艺对周边环境的影响(如噪声、异味控制),优先选择环境友好型工艺,契合绿色低碳发展要求。

3 市政污水处理工艺效能评估与优化

3.1 模拟与实验验证

(1)采用BioWin/WEST等软件模拟工艺运行:借助专业污水处理模拟软件构建工艺数学模型,输入进水水质、水量、处理单元参数等基础数据,模拟不同工况下工艺的运行状态。例如利用BioWin软件可模拟A²/O工艺中溶解氧(DO)、污泥龄(SRT)变化对脱氮除磷效率的影响,预判出水水质达标情况;WEST软件则擅长动态模拟突发水质冲击下工艺的响应规律,为抗冲击策略制定提供数据支撑。通过软件模拟可快速筛选最优工艺参数组合,减少现场调试周期与成本。(2)小试/中试实验数据对比分析:小试实验在实验室规模构建缩小版处理单元,重点验证工艺可行性与参数适配性;中试实验则在接近实际工程规模的条件下开展,更贴近真实运行环境。通过对比不同工艺、不同参数下的实验数据,如污染物去除率、能耗、污泥产量等,可精准评估工艺实际效能。例如针对新型短程硝化反硝化工艺,通过中试实验对比不同DO浓度下的氨氮去除效率与碳源消耗,确定最优运行参数,为工程化应用提供可靠依据。

3.2 处理效能评估指标

(1)出水水质达标率:核心评估指标,指出水各项

污染物浓度满足排放标准的频次占比,直接体现工艺的核心处理能力。达标率需结合长期运行数据统计,重点关注峰值负荷、水质突变等特殊工况下的达标稳定性,是判断工艺是否满足设计要求的核心依据。(2)能耗:主要包括曝气系统、提升泵、搅拌设备等的电能消耗,以单位水量能耗(kWh/m^3)为量化指标,直接影响工艺运行成本。不同工艺能耗差异显著,如MBR工艺能耗高于传统活性污泥法,通过能耗评估可识别高能耗环节,为节能优化提供方向。(3)药耗:指混凝剂、消毒剂、碳源等化学药剂的消耗量,以单位水量药耗(g/m^3)计量,是运行成本的重要组成部分。药耗评估需结合出水水质要求,在保证达标前提下,追求药耗最小化,例如通过精准碳源投加优化,可显著降低碳源药耗。(4)污泥产量:以单位水量污泥产量(kg/m^3)为指标,反映工艺的污泥生成效率。污泥产量直接关系污泥处置成本与环境影响,低污泥产量工艺可减少污泥填埋、焚烧等处置压力,契合绿色低碳发展要求。

3.3 优化策略

(1)运行参数调整:核心优化方向包括溶解氧(DO)精准控制,如在 A^2/O 工艺中,好氧段DO控制在 $2\text{--}3\text{mg}/\text{L}$ 保障硝化反应,缺氧段DO低于 $0.5\text{mg}/\text{L}$ 强化反硝化;污泥龄(SRT)适配调整,硝化工艺需延长SRT至 $10\text{--}20$ 天,反硝化工艺可适当缩短;回流比优化,硝化液回流比控制在 $200\%\text{--}300\%$ 提升脱氮效率,污泥回流比控制在 $50\%\text{--}100\%$ 保障污泥浓度稳定。(2)抗冲击负荷能力提升:针对突发污染事件(如高浓度污水涌入、有毒物质冲击),建立预警机制,通过在线监测仪表实时捕捉水质水量突变信号;增设应急调节池缓冲冲击负荷,临时调整运行参数

(如降低进水负荷、增加曝气强度);储备应急药剂(如吸附剂、氧化剂),快速降解有毒有害物质,避免工艺系统崩溃。(3)碳源优化与精准投加:针对低碳源污水,优先利用污水中内碳源(如挥发性脂肪酸),减少外碳源投加;通过在线监测进水COD、TN浓度,构建碳源投加数学模型,实现精准投加,避免碳源过量导致出水COD超标或投加不足影响脱氮效果。同时可选用低成本碳源(如工业废水处理副产物)替代传统葡萄糖,降低运行成本。

结束语

市政污水厂设计与处理工艺的探讨研究,旨在为城市污水治理提供科学指引。合理的设计是污水厂稳定运行的基础,而先进且适配的处理工艺则是保障出水水质达标的关键。面对不断变化的污水成分与日益严格的环保要求,我们需持续创新工艺、优化设计。通过多学科融合、新技术应用,提升污水厂效能,实现资源高效利用与环境友好发展,为城市构建绿色、可持续的水生态屏障。

参考文献

- [1]汪继刚,刘彦超,孙威.市政污水处理工艺与回用技术[J].化学工程与装备,2020,(06):287-288.
- [2]刘平波,喻庆,杜胜蓝,等.低氧条件下反硝化氮氧化工艺污染物去除机理[J].化工管理,2023,(25):95-98.
- [3]赵鹏飞.市政污水处理工艺选择研究[J].建材与装饰,2020,(13):169-170.
- [4]王卓.市政污水处理工艺与污水回用利用技术[J].化工设计通讯,2021,(11):178-179.