

# 城镇污水处理厂低浓度进水原因分析及提升措施

贾亮

湖南省建筑科学研究院有限责任公司 湖南 长沙 410000

**摘要：**城镇污水处理厂常面临低浓度进水问题，影响处理效能。本文将吉首老城区为例分析低浓度进水成因，涵盖城镇排水系统设计、雨污分流工程实施、污水源头排放管控及纳污范围配套等方面。阐述低浓度进水对生化处理系统菌群结构、工艺运行负荷匹配性、反应效率及运行稳定性的内在影响机制。从源头与工艺两个层面提出提升措施，包括优化排水管网系统、深化雨污分流改造、强化污水源头排放管控等，为解决低浓度进水问题提供参考。

**关键词：**城镇污水处理厂；低浓度进水；成因分析；提升措施；工艺优化

引言：随着城镇化进程加快，城镇污水处理厂在保障水环境质量方面作用凸显。然而，低浓度进水成为众多污水处理厂面临的普遍难题。低浓度进水不仅影响污水处理厂的处理效能，增加运行成本，还可能导致出水水质不达标，对生态环境造成潜在威胁。深入剖析低浓度进水成因，明确对处理系统的内在影响机制，进而提出针对性提升措施，对于提高城镇污水处理厂运行稳定性、保障水环境安全具有重要意义。

## 1 城镇污水处理厂低浓度进水的成因分析

### 1.1 城镇排水系统设计与建设层面诱因

城镇排水系统设计与建设不合理，会直接导致污水处理厂进水浓度偏低。排水管网设计需结合城镇发展规模与用水排水需求，设计不当易出现管网管径不匹配、走向规划不合理等问题。部分管网施工质量不达标，会形成管网破损、接口密封不严等隐患，地下水、地表水随之渗入管网，稀释污水中污染物浓度<sup>[1]</sup>。老旧管网长期运行缺乏有效维护，易产生结垢、淤积，既降低输送效率，又使部分污染物沉积，进一步降低进厂污水浓度。此外，管网建设与城镇更新节奏脱节、局部覆盖不全，也会影响进水浓度稳定。

以吉首老城区为例，老城区大部分排水管道未进行规划设计，老旧小区内存在两处常年出水的地下水泉眼，经雨污合流暗涵从现状建筑下方排入峒河沿河截污干管，导致污水处理厂 BOD 浓度偏低，雨天还会发生溢流污染峒河水体，且难以通过常规沿街敷设污水管道实现雨污分流改造。

### 1.2 城镇雨污分流工程实施层面诱因

城镇雨污分流工程实施不到位，是造成污水处理厂低浓度进水的主要原因。部分区域雨污分流改造不彻底，雨污管网存在混接、错接，降雨时大量雨水进入污水管网，显著稀释污染物浓度。管网分区规划不合理、

汇流路径交叉，非降雨期仍有雨水渗入；管网破损未及时修复，雨水持续渗漏，进一步降低污水浓度。部分地区仅完成主干管分流改造，支线仍为合流制，合流污水汇入后持续稀释主干管污水。以吉首市中心城区为例，2021年排水管道检测显示，约88公里市政管道存在4738处缺陷、329处错混接，老旧小区未实施源头雨污分流，地表水、雨水大量入厂导致进水浓度偏低。

### 1.3 城镇污水源头排放与管控层面诱因

城镇污水源头排放不规范、管控不到位，是直接导致污水处理厂进水浓度偏低的重要原因。城镇老旧小区未实施建筑雨污分流改造，雨水立管直接接入污水管网，造成雨水混入。工业企业污水排放监管存在漏洞，部分企业违规采用清水稀释等方式降低污水污染物浓度后排入城镇管网。同时，污水源头分类管控不到位，雨污、清污未能有效分流，进一步加剧污水浓度被稀释，最终导致进厂水质浓度偏低。

### 1.4 污水处理厂纳污范围划分层面诱因

污水处理厂纳污范围划分不合理，是导致进水浓度偏低的重要因素。纳污范围规划不当，覆盖区域人口密度低、产业布局稀疏，污水产生量及污染物浓度不足，难以形成有效浓度负荷。区域配套基础设施滞后，污水收集支管覆盖不全，偏远区域污水无法有效汇入主干管，造成进厂污水量少、浓度偏低。纳污范围与城镇发展规划脱节，新区污水收集系统未及时接入，原有区域污水量逐步减少，进一步拉低进水浓度。同时，纳污范围内污水输送线路过长，输送过程中污染物发生自然衰减，导致进厂时污染物浓度明显降低。

## 2 城镇污水处理厂低浓度进水的内在影响机制

### 2.1 对生化处理系统菌群结构的作用机制

低浓度进水会改变生化处理系统中菌群的生存环境，进而影响菌群结构组成。生化处理依赖各类功能菌

群的代谢作用降解污染物, 菌群生长繁殖需充足营养底物支撑<sup>[2]</sup>。在低浓度进水条件下, 污水中碳源、氮源等营养物质不足, 难以满足生化系统内各类功能微生物的生长需求, 优势菌群生长受到抑制。负责污染物降解的功能微生物活性降低、数量减少, 而寡营养杂菌则大量繁殖并占据主导地位, 导致微生物群落结构失衡、多样性下降、功能趋于单一, 菌群间协同代谢作用减弱。原有稳定的微生态平衡被破坏, 最终直接影响生化处理系统对污染物的降解效果与处理效率。

## 2.2 对工艺运行负荷匹配性的作用机制

低浓度进水打破了污水处理工艺设计的负荷平衡, 造成实际运行负荷与设计负荷严重不匹配。现有处理工艺及运行参数均基于常规进水浓度与负荷设定, 低浓度进水使得实际进水负荷远低于设计值, 系统长期处于低负荷工况。在此状态下, 各工艺单元处理能力无法有效发挥, 曝气、沉淀、回流等关键环节运行参数与进水条件脱节, 工艺运行效率降低。长期低负荷运行不仅造成能耗、药耗等资源浪费, 还会加剧参数调控难度, 导致系统负荷波动加大, 整体运行稳定性下降。

## 2.3 对污水处理工艺反应效率的作用机制

低浓度进水会直接影响污水处理工艺各反应单元的反应效率, 导致整体处理效能下降。生化反应单元中, 营养底物不足会减缓微生物的代谢速率, 污染物降解反应速率降低, 反应时间延长, 原本可在规定时间内完成的降解反应无法充分进行。脱氮除磷等关键反应中, 底物匮乏会导致反应无法达到理想反应状态, 反应不完全现象突出。工艺反应过程中, 底物浓度过低还会影响反应的传质效率, 各类反应物质的接触概率降低, 反应推动力不足, 进一步抑制反应进行, 导致工艺反应效率持续下滑。

## 2.4 对处理系统运行稳定性的作用机制

低浓度进水会削弱污水处理系统的运行稳定性, 增加系统运行波动风险。低浓度进水易伴随水量、水质的频繁波动, 使得工艺运行参数难以稳定控制, 各处理单元的运行状态易出现偏差。菌群结构失衡与反应效率下降, 会导致处理系统对水质、水量波动的抗冲击能力减弱, 轻微波动就可能引发系统运行异常。长期低负荷运行还会导致污泥沉降性能变差、污泥龄异常变化等问题, 进一步影响处理系统的稳定运行, 使得系统运行状态难以维持在合理范围, 增加运维难度。

## 3 城镇污水处理厂低浓度进水的源头提升措施

### 3.1 城镇排水管网系统优化措施

针对排水管网设计与建设缺陷, 优化管网系统以减

少污水浓度稀释。结合城镇发展实际, 调整管网规划布局, 优化管径匹配度, 避免管网走向不合理导致的污水滞留与损耗<sup>[3]</sup>。加强管网施工质量管控, 严格规范管道接口密封与敷设施工流程, 强化过程监管, 有效减少管网破损隐患, 降低地下水及地表水入渗量。以吉首老城区为例, 针对合流暗涵难以实现完全分流的实际情况, 先对涉及的老旧小区开展全面现状摸排与系统分析, 论证在渠道内增设污水管道或新建雨水管以规避地下水影响的可行性, 再依据科学设计方案规范推进项目落地实施。

### 3.2 雨污分流改造工程深化措施

推进雨污分流改造, 从源头遏制雨水混入导致的污水浓度偏低问题。全面开展雨污管网排查摸底, 建立混接、错接问题台账, 实施精准整改, 明晰管网分区功能, 优化汇流路径, 实现雨污彻底分流。健全改造后长效运维机制, 强化日常巡检巡查, 严厉查处私接乱排行为, 及时处置管网破损渗漏, 杜绝雨水持续入渗。推进主干管与支管网分流改造, 全面消除合流制管网带来的稀释影响, 为污水处理系统稳定运行提供保障。以吉首中心城区为例, 已对主管进行检测, 下一步需进行CCTV检测后确定修复方案, 对功能性缺陷进行清淤、对三四级结构性缺陷进行修复、对雨污管错混接

### 3.3 污水源头排放管控强化措施

强化污水源头管控, 规范排放行为以提升污水浓度。引导居民合理使用洗涤剂, 减少清水过度冲洗造成的稀释, 提升生活污水污染物含量。督促餐饮、洗涤等小型经营场所落实污水预处理要求, 禁止未处理清水直接混入污水排放。加强工业企业污水排放全过程监管, 建立常态化排查机制, 严查企业通过稀释排放降低污染物浓度的违规行为, 督促企业规范污水处理流程, 确保工业污水按标准排放, 避免清水违规混入城镇污水管网。完善污水源头分类收集体系, 根据污水污染程度与类型, 进行针对性收集与输送, 分离清洁废水与污染废水, 减少清洁废水对污染废水的稀释, 进一步提升进入污水处理厂的污水浓度。

### 3.4 分散式污水收集与处理措施

完善分散式污水收集处理体系, 弥补集中式收集的短板, 扩大污水收集覆盖面, 提升整体进水浓度。针对纳污范围偏远、地形复杂、管网覆盖难度大的区域, 科学规划建设分散式污水收集设施, 实现污水就近收集、就近处理, 减少污水长距离输送过程中的污染物自然衰减与稀释, 保障污水浓度。优化分散式处理设施运行模式, 定期维护处理设备, 提升分散污水处理效率, 确保处理后污水达到接入主干管网的标准, 避免未达标清水

直接混入主干管网，影响整体进水浓度。统筹协调集中式与分散式污水收集处理系统，建立两者协同衔接机制，实现污水收集互补，扩大污水收集覆盖面，将更多分散区域的污水纳入处理体系，进一步提升整体进水浓度，有效缓解低浓度进水对污水处理厂运行的影响。

#### 4 城镇污水处理厂低浓度进水的工艺提升措施

##### 4.1 现有生化处理工艺参数优化措施

结合低浓度进水特点，优化现有生化处理工艺参数，提升工艺适配性与处理效能。调整生化反应单元的水力停留时间，适配低浓度污水的降解需求，避免停留时间过短导致污染物降解不充分，或过长造成能耗浪费<sup>[4]</sup>。优化曝气强度与曝气时长，根据进水浓度动态调节曝气参数，在保障微生物代谢所需溶解氧的同时，减少无效曝气，降低能耗。合理调控污泥龄，结合低浓度进水下微生物生长特性，调整污泥排放速率，维持污泥浓度稳定，保障功能菌群数量，提升菌群代谢活性，适配低浓度污水的降解需求。

##### 4.2 现有处理工艺单元改造升级措施

针对现有工艺单元与低浓度进水的适配短板，开展改造升级，强化处理能力。对生化反应池进行改造，优化池体结构，增设导流装置，提升污水与微生物的接触效率，减少死水区，强化污染物降解效果。升级沉淀单元，优化沉淀时间与池体流速，提升污泥沉降性能，减少污泥流失，维持生化系统污泥浓度稳定。改造格栅与沉砂池，优化拦截与分离效果，减少无机杂质对生化系统的干扰，保障功能菌群的代谢环境，提升工艺对低浓度进水的适配能力。

##### 4.3 外加碳源投加系统优化配置措施

优化外加碳源投加系统，解决低浓度进水下碳源不足问题，强化脱氮除磷效果。结合进水水质动态变化，优化碳源投加量，避免投加不足导致反应底物匮乏，或投加过量造成浪费与二次污染。选择适配低浓度进水的碳源类型，优先选用易降解、性价比高的碳源，提升碳源利用率，促进微生物代谢。优化投加点位与投加方式，将碳源精准投加至生化反应关键区域，延长碳源与

污水的混合反应时间，提升碳源利用效率，同时优化投加系统控制模式，实现精准投加、动态调控，适配低浓度进水的波动特点。

##### 4.4 工艺组合模式调整与重构措施

调整重构工艺组合模式，构建适配低浓度进水的处理流程，提升整体处理效能。整合现有工艺单元，优化工艺衔接顺序，将生化处理、深度处理等单元科学组合，强化各单元协同作用，提升污染物去除效率。引入高效处理工艺，与现有工艺组合运行，弥补单一工艺在低浓度进水处理中的不足，强化低浓度污染物的去除效果。优化工艺运行流程，简化冗余环节，减少污水在处理过程中的浓度衰减，提升处理效率与稳定性。统筹工艺组合的运行成本与处理效果，构建高效、节能、适配低浓度进水的工艺组合模式，实现低浓度污水的稳定处理。

#### 结束语

城镇污水处理厂低浓度进水问题成因复杂，涉及排水系统、污水源头、纳污范围等多个层面，且对处理系统的菌群结构、运行负荷、反应效率及稳定性产生多方面影响。通过实施源头提升措施，如优化排水管网系统、深化雨污分流改造等，以及工艺提升措施，包括优化生化处理工艺参数、改造升级处理工艺单元等，能够有效应对低浓度进水问题，提升污水处理厂的处理效能与运行稳定性，保障城镇污水得到妥善处理，为城镇水环境的持续改善提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1]李宗强.分析珠三角某污水处理厂进水浓度偏低原因及对策[J].广东化工,2022,49(7):139-140,177.
- [2]肖仲进,周杨军.基于污水处理厂进水浓度提升的排水系统调查和评估[J].市政技术,2023,41(2):161-167.
- [3]丁炜,曹林春.浅析污水处理厂容纳COD质量浓度偏低的可能成因与建议对策[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(1):374-376.
- [4]刘文强,郁达伟,郑利兵,等.南昌某城市污水处理厂进水浓度低成因分析研究[J].环境科学学报,2022,42(9):141-150.