

# 城市污水处理厂对河流水质的影响及季节差异分析

叶静<sup>1</sup> 屈蒙蒙<sup>2</sup>

1 山阳县环境监测站 2 柞水县环境监测站

DOI:10.32629/eep.v8i11.2962

**[摘要]** 城市污水处理厂尾水排放已成为河流水质的重要影响因素。本研究通过对某流域污水处理厂及其受纳河流为期一年的监测,发现尾水排放使下游河段总氮浓度升高23-47%,总磷增加18-35%,且呈现明显季节波动。冬季低温条件下处理效率下降导致出水COD均值达42mg/L,较夏季高出28%;枯水期(1-3月)河流稀释能力减弱,污染物浓度峰值出现频率增加1.8倍。研究揭示温度、水文条件与微生物活性的耦合作用机制,提出分季节差异化管控策略,为提升污水处理效能与保障河流环境安全提供科学依据。

**[关键词]** 污水处理厂; 河流水质; 季节差异; 营养盐; 稀释能力

中图分类号: U664.9+2 文献标识码: A

## Analysis of the Impact of Urban Sewage Treatment Plants on River Water Quality and Seasonal Differences

Jing Ye<sup>1</sup> Mengmeng Qu<sup>2</sup>

1 Environmental Monitoring Station of Shanyang County

2 Environmental Monitoring Station of Zhashui County

**[Abstract]** The discharge of treated wastewater from urban sewage treatment plants has become an important factor affecting river water quality. Through a one-year monitoring of a sewage treatment plant and its receiving river in a certain basin, it was found that the discharge of treated wastewater increased the total nitrogen concentration in the downstream river section by 23-47% and the total phosphorus by 18-35%, with obvious seasonal fluctuations. Under the low-temperature conditions in winter, the treatment efficiency decreased, resulting in an average COD of 42 mg/L in the effluent, which was 28% higher than that in summer. During the dry season (January to March), the dilution capacity of the river weakened, and the frequency of peak pollutant concentrations increased by 1.8 times. The study revealed the coupling mechanism of temperature, hydrological conditions, and microbial activity, and proposed differentiated control strategies by season, providing a scientific basis for improving the efficiency of sewage treatment and ensuring the safety of river water environment.

**[Key words]** sewage treatment plant; river water quality; seasonal differences; nutrient salts; dilution capacity

### 引言

随着城镇化进程加快,我国城市污水处理厂数量已超5000座,日处理能力达2.5亿立方米,但尾水排放对受纳水体的累积影响日益凸显。现有研究多聚焦单一时段的水质评价,对季节变化引起的处理工艺波动与河流环境容量动态变化关注不足。监测数据显示,同一污水处理厂冬夏两季出水氨氮浓度可相差3-5倍,而河流枯水期流量仅为丰水期的15-30%,导致污染负荷与稀释能力错配问题突出。本研究选取典型城市河流,通过连续12个月的同步监测,系统分析污水处理厂排放对不同季节河流水质指标的影响程度,识别关键控制因子,探讨温度、降雨、径流等环境因素对污染物迁移转化的调控规律,旨在为建立季节适

应性排放管理体系和优化处理工艺运行参数提供实证支撑。

### 1 城市污水处理厂排放特征与河流水质响应机制

污水处理厂尾水作为点源污染通过物理混合、化学反应和生物降解三重途径改变河流水质。监测表明,排污口下游500米处存在明显浓度梯度带,COD较背景值升高55-80mg/L,电导率增幅达300-450 $\mu$ S/cm。尾水残余有机物持续耗氧,使排放口下游1-2公里河段溶解氧下降2.1-3.8mg/L,形成局部缺氧区。营养盐输入打破河流氮磷平衡,排放断面氮磷比由18:1降至7:1,促进特定藻类异常增殖。尾水中难降解物质在底泥累积,排污口下游3公里沉积物中磺胺类抗生素浓度达120-380ng/g,是上游的4-9倍,表明污水处理厂排放对河流生态系统产生持续影响<sup>[1]</sup>。

## 2 污水处理厂对河流主要水质指标的影响评价

### 2.1 营养盐指标的时空分布特征分析

污水处理厂尾水是河流营养盐的主要外源输入。全年监测显示,排放口下游总氮年均浓度为8.6mg/L,较上游高出4.2mg/L,增幅达95%。氮素浓度在排放口达峰值后沿程降低,至下游8公里处仍维持6.1mg/L,削减率仅29%。总磷从0.18mg/L升至0.31mg/L,超III类标准0.11mg/L。氨氮与硝态氮比例随距离转化,排放口氨氮占比62%,经5公里硝化后降至38%。营养盐影响范围在枯水期延伸至12公里,丰水期因稀释在6公里处接近背景值。底泥总磷在排放口下游2公里处达1250mg/kg,是上游3.2倍,形成内源污染风险。

### 2.2 有机污染物及耗氧指标的变化规律

监测显示,尾水COD年均值36mg/L, BOD<sub>5</sub>为11mg/L,虽达标,但对河流产生耗氧压力。排放口下游溶解氧呈“凹陷型”曲线,在1.5公里处降至最低4.8mg/L,较上游减少3.4mg/L,降幅41%。高锰酸盐指数在排放断面瞬时浓度达9.2mg/L,是上游的2.8倍。有机物降解遵循一级动力学,降解速率常数k值为0.08-0.15d<sup>-1</sup>。尾水中15-22%的难降解有机物在河流去除效率不足30%,导致水体色度增加、透明度下降18-25cm, UV<sub>254</sub>吸光度升高0.12-0.19单位,指示溶解性有机物结构复杂化<sup>[2]</sup>。

### 2.3 重金属及新兴污染物的累积效应评估

尾水微量污染物虽浓度低但具生物累积性和长期生态风险。重金属监测显示,尾水中铜、锌、镍浓度分别为18-35μg/L、85-142μg/L、12-28μg/L,使河流相应金属浓度提升40-65%。排放口下游底泥中铜富集系数达2.3-3.8,锌为1.9-2.6,呈中度污染。排放口下游检测到17种药物及个人护理品,抗生素浓度80-340ng/L,激素类15-68ng/L,常规工艺去除率仅50-70%。生态毒理学测试显示,排放口下游500米水样对大型蚤48小时急性毒性EC<sub>50</sub>值为68%稀释倍数,安全性明显下降。低浓度抗生素使河流生物膜抗性基因丰度增加2-4个数量级,表明污水处理厂排放对河流微生物群落产生深远影响。

表1 污水处理厂排放前后河流主要水质指标对比

水质指标	上游对照断面	排放口断面	下游3km断面	增幅(%)	标准限值
COD(mg/L)	15.2	48.6	28.3	86	≤20
氨氮(mg/L)	0.35	4.82	2.16	517	≤1.0
总氮(mg/L)	2.8	9.4	6.7	139	-
总磷(mg/L)	0.12	0.34	0.23	92	≤0.2
溶解氧(mg/L)	7.9	5.1	6.2	-35	≥5
电导率(μS/cm)	380	1250	720	89	-

注:标准限值参照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III类水质标准

## 3 季节变化对污水处理效果与河流水质的影响

### 3.1 温度变化对生物处理工艺效率的季节性影响

温度是制约污水生物处理效能的关键环境因子。实测数据显示,冬季(12月-2月)进水温度降至8-12℃时,活性污泥系统的硝化效率显著下降。对比分析表明,冬季出水氨氮浓度均值达5.8mg/L,是夏季(6月-8月)2.1mg/L的2.8倍,去除率从夏季的94%降至冬季的78%。低温抑制了硝化菌和反硝化菌的代谢活性,使污泥沉降性能变差,SVI值从夏季的85mL/g升至冬季的142mL/g。COD去除同样受温度影响。冬季出水COD波动范围为38-51mg/L,超标率达35%,而夏季稳定维持在28-36mg/L区间。微生物群落结构分析显示,冬季活性污泥中氨氧化菌丰度下降62%,这直接导致氮素转化链条受阻<sup>[3]</sup>。春秋过渡季节(3-5月、9-11月)水温在15-22℃范围内,处理系统表现出较好的适应性,出水水质合格率保持在88-92%,但仍需7-10天的微生物驯化周期来应对温度变化。

### 3.2 丰水期与枯水期河流稀释能力差异分析

河流水文条件的季节波动直接影响污染物的稀释扩散效果。实测数据显示,丰水期(5-9月)河流平均流量为18.6m<sup>3</sup>/s,而枯水期(12月-次年3月)骤降至3.2m<sup>3</sup>/s,流量减少83%导致稀释倍数从12倍降至2倍。在此背景下,枯水期排放口下游断面总氮浓度峰值可达11.8mg/L,较丰水期的5.4mg/L高出118%。污染物扩散模型计算表明,枯水期污染带宽度仅为河道宽度的40-55%,混合距离延长至排放口下游1.8-2.5公里,而丰水期在600-900米处即可实现横向均匀混合。水力停留时间的差异使污染物自净能力产生季节分异,丰水期河段COD降解速率为4.2mg/(L·d),枯水期仅为1.6mg/(L·d)。降雨径流对水质的冲击效应在汛期(6-8月)尤为显著,暴雨后24小时内河流悬浮物浓度激增至580-920mg/L,携带的面源污染物使总磷瞬时浓度升高至0.68mg/L,叠加污水处理厂排放形成复合污染。

### 3.3 季节性水生态系统响应特征

河流生态系统对污水处理厂排放的响应呈现明显季节差异。春夏季(4-8月)水温升高、光照充足促进浮游植物生长,排放口下游叶绿素a浓度达42-78μg/L,较上游增加3-5倍,优势种由硅藻转变为蓝藻和绿藻,指示富营养化加剧。夏季高温期水体溶解氧昼夜波动幅度扩大至5.2-6.8mg/L,夜间耗氧使凌晨氧含量跌破4mg/L鱼类生存阈值<sup>[4]</sup>。底栖动物调查显示,排放影响区春季物种多样性指数为1.8-2.3,较对照区3.1-3.6显著降低,耐污种摇蚊幼虫占比从12%升至58%。秋冬季(10月-次年2月)低温抑制生物活性,叶绿素a浓度回落至8-15μg/L,但底泥间隙水氨氮浓度在冬季达峰值18-26mg/L,形成内源释放风险。鱼类群落结构在四季均响应污染,排放区鲤科鱼类占比从45%升至72%,敏感的鲑科鱼类消失。

### 3.4 不同季节污染物迁移转化规律对比

污染物在河流中的迁移转化受季节因素显著调控。氮素形态转化方面,夏季高温(25-30℃)氨氮硝化速率达0.28d<sup>-1</sup>,冬季(8-12℃)降至0.09d<sup>-1</sup>,导致氨氮影响距离在冬季延长2倍以上。磷素沉降在春夏季更活跃,沉降速率为0.15-0.22m/d,秋冬季因

紊流减弱降至 $0.06-0.11\text{m/d}$ 。有机物降解动力学参数 $k_2$ 。在夏季为 $0.18\text{d}^{-1}$ , 冬季 $k_2$ 降至 $0.11\text{d}^{-1}$ , 降解效率下降39%。挥发作用季节差异明显, 夏季高温使挥发性有机物逸散通量达 $680-920\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ , 是冬季3.2倍。光降解效应呈季节规律, 夏季强紫外辐射使药物残留光解半衰期缩短至2-4天, 冬季延长至7-12天。吸附-解吸平衡受温度和水动力双重影响, 丰水期高流速下沉积物再悬浮使重金属释放量增加45-68%, 枯水期以吸附固定为主, 这种季节转换机制决定了污染物在水-沉积物界面的迁移方向。

#### 4 污水处理厂排放的水质管理优化策略

##### 4.1 基于季节差异的排放标准动态调控建议

针对季节性水质波动应建立差异化排放管控体系。枯水期(12月-次年3月)河流环境容量降至丰水期的20-30%, 建议氨氮排放限值从 $5\text{mg/L}$ 收严至 $2\text{mg/L}$ , 总磷从 $0.5\text{mg/L}$ 降至 $0.3\text{mg/L}$ 。冬季可通过延长水力停留时间(12小时增至16小时)、提高污泥浓度( $3500\text{mg/L}$ 升至 $5000\text{mg/L}$ )或投加外源碳源(COD/TN比值从4:1调至5:1)强化脱氮效果。夏季应重点控制藻类暴发, 当叶绿素a浓度连续3天超 $30\mu\text{g/L}$ 时启动应急削减, 临时降低氮磷负荷20-30%。分季节核定排污总量, 枯水期日排放量控制在丰水期的60-70%。引入实时在线监测与动态反馈系统, 根据河流即时参数自动调整工艺, 实现“河流-处理厂”联动管理<sup>[5]</sup>。

##### 4.2 污水处理工艺季节性优化与河流水质保护措施

工艺季节性优化应聚焦生物处理系统动态调控与深度处理强化。冬季低温期采取提升曝气池污泥浓度至 $4500-6000\text{mg/L}$ 、延长水力停留时间4-6小时、投加复合菌剂等措施补偿硝化效率损失。夏季需控制溶解氧在 $1.5-2.5\text{mg/L}$ 区间, 避免过度曝气, 同时缩短污泥龄至10-12天防止毒素累积。引入膜生物反应器或移动床生物膜等强化技术可提高系统季节适应性。河流水质保护需建立“源头减排-过程控制-末端修复”全链条模式, 在排放口设置生态缓冲带, 种植水生植物形成200-500米净化区, 可削减氮磷负荷15-28%。枯水期启动生态补水机制, 当流量低于 $5\text{m}^3/\text{s}$ 时调配再生水或水库水源, 确保稀释倍数不低于5倍。建立河

流-污水厂协同预警系统, 水质恶化时自动触发应急处置预案, 响应时间控制在2小时内。

#### 5 结论

本研究揭示了城市污水处理厂排放对河流水质影响的季节差异规律及作用机制。污水处理厂尾水排放显著改变下游河段水质, 营养盐升高、溶解氧下降, 形成持续性污染带。季节因素通过温度与水文条件双重路径调控污染过程, 冬季低温抑制微生物活性降低处理效率, 枯水期稀释能力不足加剧污染累积, 两者耦合构成水质恶化的关键时段。水生态系统响应呈现季节差异, 暖季富营养化风险增加, 冷季内源污染隐患加剧。研究表明建立季节差异化管控体系是缓解水质波动的有效途径, 为污水处理厂精细化管理和河流水环境保护提供了科学支撑。

#### [参考文献]

[1] 乔志浩, 李宝, 邓一深, 等. 河流型湿地及污水厂尾水人工湿地水质净化效能对比分析: 以山东临沂市为例[J]. 环境工程, 2023, 41(S02): 19-24.

[2] 张柏桓, 丁宁, 孙昊田, 等. 城市河流沉积物微生物群落对污水处理厂排放的响应——以西安市皂河为例[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(6): 1117-1127.

[3] 马圣玥, 高静思, 朱佳, 等. 污水处理设施提标对城市雨源型河流旱季水质达标的影响[J]. 水电能源科学, 2021, 39(7): 4.

[4] 张树杰. 污水厂尾水对河流水质控制断面水质影响分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 002(018): 118-119.

[5] 田雨露, 张柏桓, 鄢仕伟, 等. 污水处理厂排放废水对受纳河段沉积微生物群落结构的影响——以太平河为例[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2023, 53(4): 586-596.

#### 作者简介:

叶静(1996--), 女, 汉族, 陕西省商洛市山阳县人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 环境保护, 环境监测。

屈蒙蒙(1989--), 男, 汉族, 陕西省商洛市商州区人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 环境保护, 环境监测。