

# 污水厂出水作为生态补水的生态风险研究

彭 玮 (衡阳市水务投资集团水质监测部, 湖南 衡阳 421000)

**摘 要:** 污水厂出水是黑臭水体生态补水的重要来源, 其水质直接关系到受纳水体生态安全和密切接触人群健康风险。对某污水厂出水的富营养化水平的研究表明, 该污水厂化学需氧量、氨氮、总氮、总磷等指标水体富营养化较重, 冬季相关情况加剧, 该出水不宜作为黑臭水体的生态补水。

**关键词:** 污水厂出水; 生态补水; 风险研究; 富营养化评价

近年来, 我国城镇建设高速发展, 然而经济快速发展的背后是人类对生态环境的不断破坏, 随着污染的不断加剧, 自然环境生态功能不断退化, 其中最明显的是城市水环境污染。城镇建成区内水体多接受沿岸降雨径流、生活污水及工业排水, 因其环境容量小, 生态脆弱, 极易引发水体黑臭情况, 严重影响沿岸居民生产生活<sup>[1-3]</sup>。

生态补水是黑臭水体综合治理的重要方法之一, 近年来在国内外均得到了广泛应用<sup>[4-6]</sup>。而污水厂在执行严格的排放标准后, 其出水也是生态补水的来源之一<sup>[7-8]</sup>。衡阳市污水厂出水排放标准主要执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)和《湖南省城镇污水处理厂主要水污染物排放标准》(DB43/T1546-2018)。

本文以衡阳市区某污水处理厂出水作为幸福河生态补水为例, 探讨可能存在的生态风险, 以期为城市建成区黑臭水体的生态补水工作提供参考。

## 1 研究区概况

### 1.1 污水处理厂概况

某污水处理厂接纳污水以生活污水为主, 一期污水处理量 5 万 m<sup>3</sup>/d, 二期污水处理量 5 万 m<sup>3</sup>/d, 合计 10 万 m<sup>3</sup>/d, 出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)中一级 A 标准, 多年来运行稳定。

### 1.2 幸福河概况

幸福河发源于湖南省衡阳市蒸湘区雨母乡和衡南县车江铁市, 全长 17.9km。幸福河流域是衡阳市重点建设的老工业基地, 主要工业包括钢管冶炼、深加工等, 受纳水体包括降雨径流、沿岸生活污水及工业废水, 缺乏自然水源补给。由于受降雨量、蒸发量及受纳水体水质的影响, 幸福河多年来一直存在黑臭情况。该情况随着幸福河综合治理工作的逐步推进逐渐好转, 水质稳中向好, 但部分河段仍时常存在断流情况, 严重影响生态修复效果。

## 2 数据分析

污水厂出水富营养化评价:

水体富营养化对生态环境及水安全具有严重威胁, 因此考察污水厂出水的富营养化水平具有重要意义。常见水体富营养化评价方法主要用于湖库水体, 李祚泳等人<sup>[8]</sup>根据相关资料提出了水体富营养化对数型幂函数普适指数公式:

$$EI_j = 10.77 \times (1 \ln x_j)^{1.1826} \quad (1)$$

$$EI = \sum_{j=1}^n W_j \times EI_j \quad (2)$$

式中:  $EI_j$  为富营养化指标  $j$  的营养状态值;  $x_j$  为通过计算获得的富营养化指标  $j$  的规范值;  $EI$  为  $n$  项指标的综合营养状态值;  $W_j$  是各项指标归一化权重值。

通过  $EI$  值可以判断水体的富营养化状态, 各指标水体富营养化分级标准见表 1:

表 1 各指标水体富营养化规范值及其分级标准

| 级别 | $x_{\text{化学需氧量}}$ | $x_{\text{氨氮}}$ | $x_{\text{总氮}}$ | $x_{\text{总磷}}$ |
|----|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 极贫 | 1                  | 1               | 1               | 1               |
| 贫  | 4                  | 5.5             | 4               | 4.6             |
| 中  | 15                 | 20              | 15.5            | 23              |
| 富  | 59.17              | 65              | 60              | 110             |
| 重富 | 116.7              | 150             | 115             | 250             |
| 极富 | 450                | 500             | 455             | 1250            |

2019 年铜桥港污水处理厂出水富营养化分析分别见表 2。

表 2 铜桥港污水厂出水 2019 年各指标出水富营养化评价

| 月份 | $EI_{\text{化学需氧量}}$ | $EI_{\text{氨氮}}$ | $EI_{\text{总氮}}$ | $EI_{\text{总磷}}$ | $EI$  | 富营养化级别 |
|----|---------------------|------------------|------------------|------------------|-------|--------|
| 1  | 79.41               | 34.98            | 62.82            | 82.58            | 64.95 | 富      |
| 2  | 70.42               | 9.71             | 63.02            | 86.27            | 57.35 | 富      |
| 3  | 62.49               | 12.04            | 63.78            | 74.23            | 53.14 | 富      |
| 4  | 72.43               | 21.47            | 62.42            | 74.23            | 57.64 | 富      |
| 5  | 42.92               | 9.71             | 62.62            | 62.49            | 44.44 | 富      |
| 6  | 70.42               | 85.72            | 80.05            | 115.20           | 87.85 | 富      |
| 7  | 71.45               | 60.29            | 85.02            | 86.27            | 75.76 | 富      |
| 8  | 65.55               | 88.25            | 89.57            | 115.20           | 89.64 | 富      |
| 9  | 70.42               | 67.00            | 88.57            | 121.41           | 86.85 | 富      |
| 10 | 75.07               | 90.34            | 98.39            | 121.41           | 96.30 | 富      |
| 11 | 75.87               | 97.78            | 88.74            | 111.11           | 93.38 | 富      |
| 12 | 64.09               | 100.44           | 92.07            | 116.95           | 93.39 | 富      |

由表 2 可知铜桥港污水厂 2019 年各月出水均为富营养状态, 而且受气温影响, 冬季水体富营养状态进一步加重, 因此将其作为黑臭水体的生态补水具有一定不利影响。

将污水处理厂出水作为黑臭水体的生态补水是黑臭水体治理体系中的一个重要手段, 铜桥港污水处理厂出水满足污水排放标准一级 A 标准, 但营养元素氮、磷等仍存在富营养化倾向, 整体补水工程存在一定生态风险。

### 参考文献:

- [1] 吴世喜, 陆定兰, 夏永鸿. 贵州省黑臭水体污染现状与治理对策 [J]. 环境与发展, 2020, 32(06): 63-64+66.
- [2] 陈春瑜, 杨艳, 范红梅, 邵江晶, 高丹, 李思江, 黄东艳. 城

- 市黑臭水体治理思路初探——以昆明市滇池流域为例[J]. 环境科学导刊, 2020, 39(05): 38-42.
- [3] 王凯, 王延华, 朱国伟, 屈森虎. 南京建邺区城市黑臭水体特征及其影响评价[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2020, 20(03): 71-80.
- [4] 叶维丽, 刘雅玲, 王强, 刘晨峰. 城市黑臭水体治理思路初探——以山东省胶州市跃进河—如意湖流域为例[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(07): 88-92.
- [5] 孙菲, 高书连, 袁鹏, 张晓峰, 张英杰. 青岛市李村河黑臭水体整治案例分析[J]. 环境工程技术学报, 2020, 10(05): 740-745.

- [6] 邢梦雅, 陈星, 周锴, 向龙, 金辉, 朱丽丽. 基于生态补水的水环境改善效果评价体系[J]. 水资源保护, 2016, 32(01): 64-66+85.
- [7] 仇付国, 王晓昌. 城市回用污水中病毒对人体健康风险的评价[J]. 环境与健康杂志, 2003(04): 197-199.
- [8] 杨智敏, 黄奕龙, 刘雪朋. 污水厂尾水回补城市河流的健康风险评价[J]. 人民珠江, 2016, 37(04): 89-92.

#### 作者简介:

彭玮(1981-), 女, 汉族, 湖南衡阳人, 助理工程师, 本科。主要研究方向: 水质检测。

(上接第 155 页) 低温干化机组系统工艺流程: 经脱水后含水率约 85% 左右的污泥进入湿泥料仓, 通过干化机自带的造粒成型机将污泥造粒成直径 6-8mm, 长度 3-5cm 圆柱状泥条, 依靠重力落入缓慢行走的网带上, 空气经干化机逆卡诺循环系统中的冷凝器从工质中吸热后成为干燥的热干风, 经风机由网带底部与污泥进行强制对流, 与污泥接触的过程中将污泥干化。热干风吸收污泥中的水分成为湿空气降温后, 然后进入干化机逆卡诺循环系统中的蒸发器对工质进行放热(蒸发器内的制冷工质温度一般为 5℃), 湿空气降温后水分大部分凝结, 进入冷凝器从工质中吸热(冷凝器中的工质温度可达 75℃), 使得“脱水”后的空气升温变为热干空气, 再送入网带干化系统继续干化污泥, 不断进行循环。全过程中空气循环利用, 热干风温度不超过 75℃, 污泥中的有机物挥发量较小, VOCs 爆炸风险大幅度减少。

根据污泥直接干化技术原理, 对干化机的电能消耗进行计算, 如下表所示:

表 2 直接式污泥干化技术耗电量计算表

|                                                                                                                              |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 湿物料重量 (kg)                                                                                                                   | 1000        |
| 湿物料含水率 (%)                                                                                                                   | 85%         |
| 干物料含水率 (%)                                                                                                                   | 30%         |
| 蒸发水量 W (kg)                                                                                                                  | 785.71      |
| 热风进干化机前温度 (℃)                                                                                                                | 75          |
| 热风进干化机前含湿量 H <sub>1</sub> (kg/kg 干空气)                                                                                        | 0.00763189  |
| 热风进干化机前的焓 (kJ/kg 绝干气)                                                                                                        | 100.9512434 |
| 热风出干化机温度 (℃)                                                                                                                 | 50          |
| 热风出干化机水汽压力 / 饱和 (kPa)                                                                                                        | 12.35127    |
| 热风出干化机含湿量 H <sub>2</sub> (kg/kg 干空气)                                                                                         | 0.086345598 |
| 干空气消耗量 L (kg)                                                                                                                | 9981.924468 |
| 假定: 出蒸发器后热风温度 (℃)                                                                                                            | 10℃         |
| 出蒸发器热风含湿量 H <sub>0</sub> (kg/kg 干空气)                                                                                         | 0.00763189  |
| 热风进冷凝器时的焓 (kJ/kg 绝干气)                                                                                                        | 312.4725449 |
| 热风出冷凝器时的焓 (kJ/kg 绝干气)                                                                                                        | 29.24688664 |
| 热风升温至 80℃ 时的吸热量 (kJ)                                                                                                         | 715747.4734 |
| 冷凝器需经风机散热量 (MJ)                                                                                                              | 2896.705524 |
| 热风经蒸发器时释放热量 (kJ)                                                                                                             | 2827137.128 |
| 制冷系统 cop 为 3.5 时, 产生相同冷量时的耗电量 (换热效率 90%) (kWh)                                                                               | 249.31      |
| 注: 1、焓值计算: $I = (1.01 + 1.88H) \cdot t + 2490 \cdot H$ ; 2、含湿量计算: $H = 0.622PS / (P - PS)$ ; 3、干空气消耗量: $L = W / (H_2 - H_1)$ |             |

如上表所示, 在理论状态下, 将 1t 含水率 85% 的污泥干化至含水率 30% 时, 理论耗电量 249.31kWh。按照电价

0.6 元 / kWh 测算, 吨污泥干化成本约为 150 元。与间接干化系统, 采用蒸汽作为热源进行污泥干化的系统相比(采用蒸汽作为热源吨污泥干化需耗蒸汽约 1t, 1t 蒸汽成本约 160-200 元不等), 直接干化在运行成本上具有明显的价格优势。

### 3 基于逆卡诺循环原理污泥干化工艺技术的应用

某炼化企业目前为 1200 万 t/a 炼油能力, 现有污水场装置设计规模 800t/h, 年接收污水 360 万 t, 该企业现有浓缩、离心脱水设施, 其污水场每年产生的经浓缩罐浓缩后的含水率 98% 的污泥约 30000t/a, 经离心脱水后污泥含水率降低至 85% 左右后, 委托第三方危废处置单位进行无害化处置, 污泥处置成本已达到污水场总成本费用的 15% 以上。

为进一步降低污泥处置费用, 该企业计划完善污泥减量化工艺流程, 在千万吨炼油企业中首次采用了污泥直接干化工艺, 投资新建了污泥干化装置。

考虑到该企业新建 100 万 t/a 乙烯及 300 万 t/a 炼油改扩建项目即将投产, 新建污泥干化设施的设计规模在考虑原有污泥处置规模的基础上, 按照新增含水率 98% 的污泥约 30000t/a 考虑, 对浓缩、离心脱水设备进行扩建。该企业浓缩-脱水-干化污泥减量化工艺路线设备配置: 离心脱水机组 (15t/h) 4 台, 污泥干化 (1t/h) 一套, 配套附属设备传输设备及安全附件等, 整个系统采用 PLC 控制。

经性能考核测试, 截至目前, 污泥干化机组运行稳定、可靠, 耗电量 270.84kW/h, 经污泥干化机干化后干污泥含水率可稳定保持 < 30%。

### 4 结语

该套污泥减量化工艺装置总投资不足 2000 万元, 将污泥经离心脱水后含水率 85% 的污泥干化至含水率 30% 以下, 该企业企业炼油改扩建及新建乙烯项目投运后, 需要外委第三方危废处置单位处置的污泥从 8000t/a 可以降至 1714t/a, 干化系统年耗电量约 200 万 kWh, 装置投入运行 1 年即可收回投资, 该污泥干化工艺具有一定的推广意义。

#### 参考文献:

- [1] HJ298-2019. 危险废物鉴别技术规范[S]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2019.
- [2] HJ/T176-2005. 危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范[S]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2019.