

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.12.010

# 高臭气标准全地下水水质净化厂全流程除臭系统设计

何磊

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘要:** 深圳B水质净化厂工程设计规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ (生活污水 $7.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,工业废水 $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ),总除臭风量 $25.69\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ (生活污水 $8.47\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ ,工业废水 $8.88\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ ,污泥处理 $8.34\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ )。臭气排放执行广东省《城镇地下污水处理设施通风与臭气处理技术标准》(DBJ/T 15—202—2020),为深圳市最高标准。通过对源头构筑物、过程收集系统、末端处理装置的全流程分析,创新性地采用“两级生物除臭+活性炭吸附”组合臭气处理工艺并辅助离子送风系统,保障污水厂箱体内部环境以及臭气达标排放,实现周边无感。运行阶段应基于实际工况进行精细化管理,优化运行参数,追求环境效益和经济效益的更优平衡。

**关键词:** 全地下水水质净化厂; 除臭系统; 高臭气排放标准; 两级生物除臭; 活性炭吸附

**中图分类号:** TU992      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1000-4602(2025)12-0064-08

## Design of Full-process Deodorization System for an Underground Wastewater Treatment Plant with High Odor Emission Standard

HE Lei

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The B wastewater treatment plant in Shenzhen has a design capacity of  $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ , which includes  $7.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  for domestic sewage treatment and  $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  for industrial wastewater treatment. The total deodorization airflow is  $25.69\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$ , comprising  $8.47\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$  for domestic sewage,  $8.88\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$  for industrial wastewater, and  $8.34\times 10^4\text{ m}^3/\text{h}$  for sludge treatment. The odor emissions are in compliance with *Technical Standards for Ventilation and Odor Controlling System of Urban Underground Sewage Treatment Plant* (DBJ/T 15-202-2020) of Guangdong Province, which represents the most stringent requirement within Shenzhen. Through a comprehensive analysis of the source structures, process collection systems, and terminal treatment devices, an innovative integrated odor treatment process combining two-stage biological deodorization with activated carbon adsorption was implemented. This process was further complemented by an ion air supply system to ensure optimal internal environmental conditions within the box of wastewater treatment plant and to guarantee compliance with the odor emission standard. As a result, the surrounding area achieves a state free of detectable odors. During the operational phase, meticulous management should be implemented based on actual working conditions, and operating parameters should be optimized to achieve an optimal balance between environmental and economic benefits.

**Key words:** underground wastewater treatment plant; deodorization system; high odor emission standard; two-stage biological deodorization; activated carbon adsorption

随着城市化进程的加速,污水处理系统成为现代城市不可或缺的基础设施,污水厂也逐步和公园、绿地等衔接,建设为全地下形式,实现地上、地下分层开发利用的节地目标。然而,全地下污水厂的绝大多数构筑物和设备位于地面以下箱体内部,臭气更易聚集,影响水质净化厂的运营管理。臭气不仅会对周围环境造成污染,影响居民的生活质量,而且可能对操作人员的身体健康造成潜在威胁。因此,全地下水水质净化厂除臭系统的臭气排放标准更高、设计难度更大,开展除臭系统的设计研究具有重要的现实意义。

深圳B水质净化厂是全国首座生活污水、工业废水合建且出水水质均执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)准Ⅲ类的高标准全地下水水质净化厂,也是深圳市首批除臭排放标准执行更加严格的广东省《城镇地下污水处理设施通风与臭气处理技术标准》(DBJ/T 15—202—2020)的水质净化厂。对于工业废水与生活污水合建、出水标准高、臭气排放标准高的全地下水水质净化厂,其除臭系统的设计案例鲜有报道。以深圳B水质净化厂工程的除臭系统为例,全面分析臭气排放标准的差异、臭气产生源密闭方式、臭气收集及处理系统设计、在线监测系统配置等,并测算运行成本,旨在为后续类似工程提供参考。

1 工程概况

B水质净化厂设计规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,其中生活污水处理规模 $7.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ (近期设备规模 $5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ),工业废水处理规模 $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ (近期设备规模 $1.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ )。生活污水(含污泥)处理系统与工业废水(含污泥)处理系统完全分开,二者的进水、出水和监测均独立进行。水质净化厂规划用地面积约 $5.9\text{ hm}^2$ ,按照规划要求,远景预留 $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 生活污水二级处理建设用地,满足规划生活污水处理规模 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的要求。

生活污水出水水质执行GB 3838—2002中准Ⅲ类标准(其中 $\text{COD}\leq 30\text{ mg/L}$ , $\text{TN}\leq 10\text{ mg/L}$ ),处理后排放河道;工业废水出水水质执行GB 3838—2002中准Ⅲ类标准(其中 $\text{TN}\leq 15\text{ mg/L}$ ,总铜 $\leq 0.5\text{ mg/L}$ ),全部回用于人工湿地。污水处理工艺流程见图1。

生活污泥处理至含水率 $\leq 40\%$ 后外运处置,工业污泥处理至含水率 $\leq 60\%$ 后外运处置。污泥处理

工艺流程如图2所示。恶臭污染物排放执行DBJ/T 15—202—2020中表A. 0. 1-1、表A. 0. 1-2以及表B. 0. 1-1(其中的非工业区)的要求,经处理达标后通过15 m高排气筒排放。

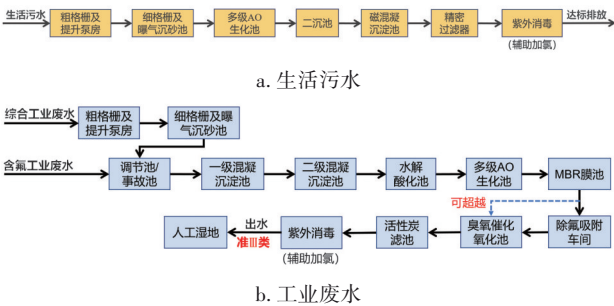


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Process flow chart of sewage treatment

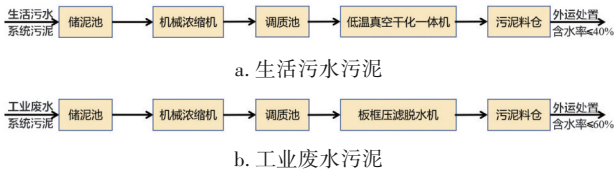


图2 污泥处理工艺流程

Fig.2 Process flow chart of sludge treatment

2 臭气排放标准分析

2.1 臭气排放标准要求高

深圳市近期建成投产的布吉水质净化厂三期工程、固戍水质净化厂二期工程<sup>[1]</sup>,臭气排放均执行天津市《恶臭污染物排放标准》(DB 12/059—2018)以及上海市《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/1025—2016)中的较严值。天津市、上海市与广东省臭气排放标准的限值对比见表1和表2。

表1 周界监控点臭气特征污染物排放限值对比

Tab.1 Comparison of emission limits for odor characteristic pollutants at perimeter monitoring points

| 项目                                     | 天津市和上海市地标<br>排放限值 |       |       | 广东地标(非工业区)排放限值 |
|----------------------------------------|-------------------|-------|-------|----------------|
|                                        | 上海                | 天津    | 较严值   |                |
| 氨/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )    | 0.20              | 0.20  | 0.20  | 0.20           |
| 三甲胺/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )  | 0.05              | 0.05  | 0.05  | 0.05           |
| 硫化氢/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )  | 0.03              | 0.02  | 0.02  | 0.01           |
| 甲硫醇/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )  | 0.002             | 0.002 | 0.002 | 0.002          |
| 甲硫醚/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )  | 0.02              | 0.02  | 0.02  | 0.02           |
| 二甲二硫/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 0.04              | 0.05  | 0.04  | 0.04           |
| 二硫化碳/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 0.3               | 0.5   | 0.3   | 0.3            |
| 甲醛/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )   |                   |       |       | 0.25           |
| 臭气浓度                                   | 10                | 20    | 10    | 10             |

表2 臭气特征污染物有组织排放限值对比

Tab.2 Comparison of organized emission limits for odor characteristic pollutants

| 项目  | 排气筒高度/m | 上海市地标                                      |                                            | 天津市地标                                      |                                            | 广东省地标                                      |                                            |
|-----|---------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|     |         | 最高允许排放浓度/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 最高允许排放速率/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | 最高允许排放速率/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | 最高允许排放浓度/( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | 最高允许排放速率/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) | 最高允许排放速率/( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) |
| 氨   | 15      | 30                                         | 1.0                                        | 0.60                                       | 5.0                                        | 0.60                                       |                                            |
| 硫化氢 | 15      | 5                                          | 0.1                                        | 0.06                                       | 1.0                                        | 0.06                                       |                                            |

该工程执行的广东省臭气排放标准明显严于天津市和上海市臭气排放地标的较严值,其臭气排放标准要求为深圳市最高标准。由表1可知,广东省地标中周界监控点的硫化氢浓度排放限值仅为天津市和上海市臭气排放地标较严值的1/2。由表2可知,广东省地标中氨和硫化氢的臭气有组织排放限值分别仅为上海市臭气排放地标的1/6和1/5,广东省地标中臭气浓度排放限值为300,仅为较严值的3/10。广东省臭气排放地标是在天津市和上海市臭气排放地标的基础上,结合城市快速发展需求以及居民对恶臭污染物零容忍的现状,从严约束臭气排放,并增加了对甲醛的控制<sup>[2]</sup>。

## 2.2 臭气风量计算要求高

深圳市臭气排放执行天津市 DB 12/059—2018 和上海市 DB 31/1025—2016 中较严值的水质净化厂,其臭气风量计算参照《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJ/T 243—2016)第3.1节:进入水泵吸水井或沉砂池的臭气风量可按单位水面面积臭气风量指标  $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  计算,并增加1~2次/h的空间换气量;初沉池或浓缩池等构筑物臭气风量可按单位水面面积臭气风量指标  $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$  计算,并增加1~2次/h的空间换气量;曝气处理构筑物臭气风量可按曝气量的110%计算;半封口设备臭气风量可按机盖内换气次数8次/h和机盖开口处抽气流速  $0.6 \text{ m/s}$  两种计算结果的较小者取值。B水质净化厂的除臭风量计算参照广东省 DBJ/T 15—202—2020第4.2节:按照工艺流程细化约束不同污水构筑物的换气次数和单位水面面积通风指标,增加对二沉池、高效沉淀池的除臭要求;对于污泥区,污泥浓缩池、脱水机房等按换气次数和脱水机、干化机尾气量之和作为计算风量,脱水机、干化机密闭罩和污泥干化间按排除余热风量和按换气次数计算除臭风量的较大值选取;对于有曝气的处理构筑物,

明确要求臭气风量在曝气量的110%基础上叠加换气次数作为计算风量;对于污泥干化间等增加70%排风量作为空间离子送风量。由此可知,由于B水质净化厂执行的臭气排放标准较高,其臭气风量计算的要求也更高,只有精准识别臭气源,才能经济高效地收集、处理恶臭污染物,打造高标准、友好型水质净化厂。

## 3 除臭系统设计

### 3.1 臭气源及气流组织

参照 DBJ/T 15—202—2020, B水质净化厂需除臭的区域包括生活污水预处理区(粗格栅及进水泵房、沉砂池及细格栅)、生物反应池、二沉池、高效沉淀池,工业污水预处理区(粗格栅及进水泵房、细格栅)、水解酸化池、生物反应池、MBR膜池,污泥脱水干化车间(生活污水污泥处理系统和工业废水污泥处理系统)等。箱体内部除臭系统分区平面布置见图3。

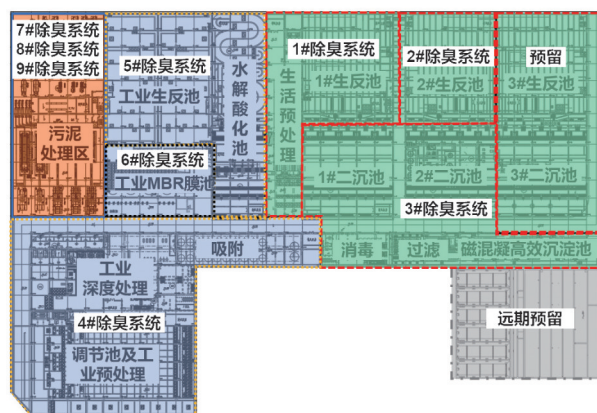


图3 除臭系统分区平面布置

Fig.3 Layout plan of deodorization system zones

全地下水水质净化厂的主要臭气污染物为  $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{S}$ , 臭气浓度源强由强到弱依次为污泥干化车间、预处理区域、二级处理区域、深度处理区域。

该工程采用CFD软件对地下箱体内温度、风速及气流组织进行仿真模拟,分析不同运行工况、运行负荷下的气流组织,并导入BIM模型,充分优化气流组织,减少风管量和管道不合理布置引起的气流不畅,降低狭窄、边缘区域的气流死角或阻塞,既提高了通风效果,也节约了除臭风量,效果明显。

### 3.2 臭气风量计算

生活污水处理规模  $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 近期设备规模  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。因此,生活污水处理系统中细格

栅、生物反应池、二沉池和高效沉淀池等构筑物预留  $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  规模。生活污水处理系统的除臭划分为 3 部分,其中 1#除臭系统设计风量  $31\,000\text{ m}^3/\text{h}$  (计算值  $30\,900\text{ m}^3/\text{h}$ ),负责处理生活污水预处理区域和 1#生反池的臭气;2#除臭系统设计风量  $27\,600\text{ m}^3/\text{h}$ ,负责处理 2#、3#生反池的臭气(3#生反池预留);3#除臭系统设计风量  $26\,100\text{ m}^3/\text{h}$ ,负责处理二沉池和高效沉淀池的臭气;1#、2#、3#除臭系统设计风量合计  $84\,700\text{ m}^3/\text{h}$ 。生活污水系统平均每万吨污水设计除臭风量为  $11\,293\text{ m}^3/\text{h}$ ,与南方某  $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$

全地下污水厂平均每万吨污水设计除臭风量  $11\,000\text{ m}^3/\text{h}$ <sup>[3]</sup>、北方某  $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  全地下污水厂平均每万吨污水设计除臭风量  $10\,600\text{ m}^3/\text{h}$  基本相当<sup>[4]</sup>,低于广州某  $15\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  全地下污水厂平均每万吨污水设计除臭风量  $16\,214.4\text{ m}^3/\text{h}$ <sup>[5]</sup>。由此可见,虽然臭气排放标准的提高导致构筑物数量和计算风量有所增加,但由于该工程用地紧张,布置较为紧凑,且收集系统的优化设计可以避免资源浪费,从而节省风量。

生活污水处理系统除臭风量的计算见表 3。

表 3 生活污水处理系统除臭风量(不含污泥)

Tab.3 Deodorization air volume for domestic sewage treatment system (excluding sludge)

| 项目                                                                                                                                                                      |                   | 数量/个 | 换气次数/<br>(次·h <sup>-1</sup> ) | 风量系数/<br>(m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 曝气量/<br>(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 设计风量/<br>(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 粗格栅、进水泵房、细格栅及沉砂池                                                                                                                                                        | 速闭闸 1             | 1    | 2                             | 10                                                           |                                            | 730                                         |
|                                                                                                                                                                         | 速闭闸 2             | 1    | 2                             | 10                                                           |                                            | 1 340                                       |
|                                                                                                                                                                         | 分配闸               | 1    | 2                             | 10                                                           |                                            | 640                                         |
|                                                                                                                                                                         | 粗格栅渠(地面以下部分)      | 2    | 2                             | 10                                                           |                                            | 710                                         |
|                                                                                                                                                                         | 粗格栅设备本体(地面以上加罩部分) | 1    | 8                             |                                                              |                                            | 640                                         |
|                                                                                                                                                                         | 进水泵房(地面以下)        | 1    | 2                             | 10                                                           |                                            | 2 490                                       |
|                                                                                                                                                                         | 细格栅渠(地面以下部分)      | 2    | 2                             | 10                                                           |                                            | 3 640                                       |
|                                                                                                                                                                         | 细格栅设备本体(地面以上加罩部分) | 1    | 8                             |                                                              |                                            | 610                                         |
|                                                                                                                                                                         | 曝气沉砂池             | 1    | 2                             | 10                                                           | 1 780                                      | 5 280                                       |
|                                                                                                                                                                         | 放空泵房              | 1    | 2                             |                                                              |                                            | 1 010                                       |
|                                                                                                                                                                         | 合计(取整)            |      |                               |                                                              |                                            | 17 100                                      |
| 生物反应池                                                                                                                                                                   | 好氧池               | 1    | 4 <sup>*1</sup>               |                                                              | 15 625                                     | 23 860                                      |
|                                                                                                                                                                         | 缺氧池               | 10   | 2                             | 3                                                            |                                            | 17 470                                      |
|                                                                                                                                                                         | 合计(取整)            |      |                               |                                                              |                                            | 41 400                                      |
| 二沉池                                                                                                                                                                     | 二沉池               | 15   | 2                             | 3                                                            |                                            | 24 210                                      |
|                                                                                                                                                                         | 合计(取整)            |      |                               |                                                              |                                            | 24 300                                      |
| 高效沉淀池 <sup>*2</sup>                                                                                                                                                     | 高效沉淀池             | 4    | 2                             | 3                                                            |                                            | 1 760                                       |
|                                                                                                                                                                         | 合计(取整)            |      |                               |                                                              |                                            | 1 800                                       |
| 注: <sup>*1</sup> 即 DBJ/T 15—202—2020 要求生化区好氧池内空间除臭增加 4 次/h 换气次数,对应 CJJ/T 243—2016 无此要求; <sup>*2</sup> 即 DBJ/T 15—202—2020 对膜区、二沉池、深度处理区、加药间要求除臭,对应 CJJ/T 243—2016 无此要求。 |                   |      |                               |                                                              |                                            |                                             |

工业废水处理规模  $2.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,近期设备规模  $1.5\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。因此,工业废水处理系统中水解酸化池、生物反应池、MBR 膜池等构筑物预留  $1.0\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$  规模。工业废水处理系统的除臭划分为 3 部分,其中 4#除臭系统设计风量  $47\,300\text{ m}^3/\text{h}$ ,负责处理工业废水预处理区域(格栅,沉砂池,调节池,一级、二级混凝沉淀池)臭气;5#除臭系统设计风量  $30\,000\text{ m}^3/\text{h}$  (计算值  $29\,600\text{ m}^3/\text{h}$ ),负责处理工业废水生物反应池的臭气;6#除臭系统设计风量  $11\,500\text{ m}^3/\text{h}$  (计算值  $11\,310\text{ m}^3/\text{h}$ ),负责处理工业废水 MBR

膜池和综合加药间的臭气;4#、5#、6#除臭系统设计风量合计  $88\,800\text{ m}^3/\text{h}$ 。工业污水处理系统除臭风量的计算见表 4。

为了节省空间以及便于臭气收集,生活污水处理系统产生污泥和工业废水处理系统产生污泥的处理设施合建在同一区域,但市政污泥和工业污泥处理系统完全独立,确保不会对后续污泥处置带来不必要麻烦。污泥处理系统的除臭风量较大,共采用 3 个系统(7#~9#),每个系统设计风量均为  $27\,800\text{ m}^3/\text{h}$ ,合计  $83\,400\text{ m}^3/\text{h}$ 。

表4 工业废水处理系统除臭风量(不含污泥)

Tab.4 Deodorization air volume of industrial wastewater treatment system (excluding sludge)

| 项目                   | 数量/个               | 换气次数/<br>(次·h <sup>-1</sup> ) | 风量系数/<br>(m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 曝气量/<br>(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 设计风量/<br>(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) |
|----------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 粗格栅、进水泵房、<br>细格栅及沉砂池 | 进水井                | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 260                                         |
|                      | 速闭闸1               | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 160                                         |
|                      | 速闭闸2               | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 140                                         |
|                      | 分水井                | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 140                                         |
|                      | 粗格栅渠1(地面以下部分)      | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 120                                         |
|                      | 粗格栅设备本体1(地面以上加罩部分) | 1                             | 8                                                            |                                            | 120                                         |
|                      | 粗格栅渠2(地面以下部分)      | 2                             | 2                                                            | 10                                         | 250                                         |
|                      | 粗格栅设备本体2(地面以上加罩部分) | 1                             | 8                                                            |                                            | 270                                         |
|                      | 进水泵房1(地面以下)        | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 170                                         |
|                      | 进水泵房2(地面以下)        | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 240                                         |
|                      | 细格栅渠(地面以下部分)       | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 240                                         |
|                      | 细格栅设备本体(地面以上加罩部分)  | 2                             | 8                                                            |                                            | 900                                         |
|                      | 曝气沉淀池              | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 1 080                                       |
|                      | 调节池                | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 12 870                                      |
|                      | 应急事故池              | 1                             | 2                                                            | 10                                         | 9 690                                       |
|                      | 一级混凝沉淀池            | 2                             | 2                                                            | 10                                         | 8 950                                       |
|                      | 二级混凝沉淀池            | 2                             | 2                                                            | 10                                         | 9 650                                       |
|                      | 混合搅拌池-1            | 4                             | 2                                                            | 10                                         | 790                                         |
|                      | 混合搅拌池-2            | 4                             | 2                                                            | 10                                         | 790                                         |
|                      | 合计(取整)             |                               |                                                              |                                            | 47 300                                      |
| 水解酸化池、好氧<br>池及缺氧池    | 水解酸化池(水解酸化区)       | 1                             | 2                                                            | 3                                          | 5 800                                       |
|                      | 水解酸化池(沉淀区)         | 3                             | 2                                                            | 3                                          | 4 970                                       |
|                      | 好氧池                | 3                             | 4 <sup>*1</sup>                                              |                                            | 1 293                                       |
|                      | 缺氧池                | 10                            | 2                                                            | 3                                          | 9 660                                       |
|                      | 合计(取整)             |                               |                                                              |                                            | 29 600                                      |
| MBR膜池 <sup>*2</sup>  | 膜池                 | 1                             | 4                                                            |                                            | 4 000                                       |
|                      | 清洗池                | 2                             | 2                                                            | 3                                          | 390                                         |
|                      | 中水池                | 1                             | 2                                                            | 3                                          | 260                                         |
|                      | 合计(取整)             |                               |                                                              |                                            | 8 900                                       |
| 综合加药间 <sup>*2</sup>  | 综合加药间              | 1                             | 2                                                            |                                            | 2 410                                       |

注: <sup>\*1</sup>及<sup>\*2</sup>标注同表3。

B水质净化厂工程按照 DBJ/T 15—202—2020 计算,除臭风量为  $25.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ ;若按 CJJ/T 243—2016 要求计算,除臭风量为  $20.00 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,两者相差  $5.69 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 。DBJ/T 15—202—2020 的尾气排放标准较为严格,对臭气收集构筑物 and 收集风量要求较高,从而实现全流程除臭,其与 CJJ/T 243—2016 的差异主要在于:①臭气收集构筑物增多,二沉池、高效沉淀池、综合加药间等按照 DBJ/T 15—202—2020 需考虑臭气风量;②构筑物计算风量增大,生物反应池好氧区除臭风量在原曝气风量的 110% 基础上增加 4 次/h 换气次数等。

### 3.3 臭气源密闭

臭气的收集需要对臭气源进行密封,对于一般的池体可采用加盖密封,而对于一些处理设备则需要加罩密封,然后通过臭气收集风管输送至除臭设备进行处理。该工程的臭气源密闭方式主要有 3 种:①单独为设备配套密闭罩,加罩密封设备包括工业废水处理的粗格栅、细格栅,生活污水处理的粗格栅、细格栅,污泥处理的污泥浓缩机以及脱水机/干化机,密封罩采用 50 mm×50 mm×1.2 mm 不锈钢 304 方管+3 mm PC 耐力板制作;②池顶增加盖板实现密封,格栅井、生物反应池、MBR 膜池等区域通

过顶部加盖板进行密封,既可以设置钢筋混凝土顶板,也可以设置便于开启的钢制盖板,周边通过柔性材料二次密闭;③局部增加隔断实现小空间密闭,如污泥运输车间通过卷帘门的启闭实现动态的空间密闭,确保卸泥装车过程中污泥车处于密闭空间,防止臭气外逸。

表 5 污泥处理系统除臭风量  
Tab.5 Deodorization air volume of sludge treatment system

| 项目     | 数量/个 | 换气次数/<br>(次·h <sup>-1</sup> ) | 风量系数/<br>(m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> ) | 设计风量/<br>(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ) |
|--------|------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 储泥池    | 4    | 2                             | 3                                                            | 1 180                                       |
| 调质池    | 2    | 2                             | 3                                                            | 440                                         |
| 污泥浓缩机  | 1    | 12                            |                                                              | 9 360                                       |
| 脱水干化设备 | 4    | 12                            |                                                              | 17 340                                      |
| 污泥运输间  | 1    | 12                            |                                                              | 51 880                                      |
| 污泥料仓   | 4    | 6                             |                                                              | 1 200                                       |
| PAM加药间 | 1    | 2                             |                                                              | 2 000                                       |
| 合计(取整) |      |                               |                                                              | 83 400                                      |

3.4 管道收集系统

生物除臭法的工艺流程为臭气收集→风管输送→水洗(如有)→生物洗涤段→生物滴滤段→活性炭吸附段→引风机→输送风道→集中排气筒。对各臭气源进行加盖、加罩密封,通过风管收集系统收集各臭气源产生的臭气并输送至生物除臭设备进行处理。

臭气具有一定的腐蚀性,要求收集管道防腐,因此,除臭风管选用有机玻璃钢材质。主风管风速不大于 12 m/s;次主风管风速不大于 10 m/s;支风管风速不大于 6 m/s,不小于 4 m/s。水平风管坡度 0.005,坡向臭气收集点,风机入口段最低处设排水短管,将系统内废水连续密闭排至污水池。

3.5 臭气处理系统

该工程臭气处理系统选择“两级生物除臭+活性炭吸附”的组合处理工艺,工艺流程见图 4。水质净化厂连续产生臭气,臭气量较大且稳定,臭气经收集后集中送至生物滤池装置,通过湿润、多孔且充满活性微生物的滤层,其中的恶臭物质被微生物吸附、吸收并降解,最终分解成 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O 等简单无机物。因此,该工程以生物除臭作为核心臭气处理单元。活性炭吸附装置主要由壳体及活性炭滤层构成,活性炭是一种较为细小的炭粒,具有较大的表面积,能与臭气成分充分接触,当臭气通过活性炭

吸附层时,其中的恶臭物质被活性炭吸附,从而起到净化作用。吸附法对低浓度臭气处理效果好,但需定期更换吸附材料,成本较高。因此,该工程中活性炭吸附装置串联于生物除臭工艺后,作为应急和保障措施。

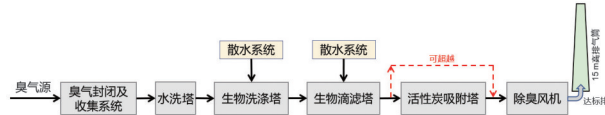


图 4 臭气处理工艺流程  
Fig.4 Process flow chart of odor treatment

考虑到不同除臭分区的臭气组成存在一定差异,对于浓度较高区域的臭气,首先要经过水洗,将其中的杂质和易溶于水的 NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S 等致臭物质部分去除,其次进入生物洗涤塔(高负荷工艺段),利用微生物代谢去除 H<sub>2</sub>S 等成分,然后进入生物滴滤塔(低负荷工艺段),此时微生物为饥饿状态,可以更为彻底地处理可生物降解的臭气。经过两级生物塔串联处理,臭气中的致臭成分得到有效去除后,再经活性炭吸附塔处理前面未能去除的低浓度臭气成分,最后达标排放。而对于生活污水二沉池区域、工业废水预处理区域,其臭气组分中可溶性物质较少,可以直接增加生物洗涤塔的停留时间来达到最佳处理效果。通过差异化设计,强化处理系统的针对性、高效性。不同除臭子系统各工艺段的接触停留时间见表 6。

表 6 不同除臭子系统各工艺段接触停留时间  
Tab.6 Contact residence time of different deodorization subsystems in each process section

| 除臭系统<br>编号 | 接触停留时间 |           |           |            |      |
|------------|--------|-----------|-----------|------------|------|
|            | 水洗段    | 生物洗<br>涤段 | 生物滴<br>滤段 | 活性炭<br>吸附段 | 合计   |
| 1#         | 2.0    | 8.5       | 12.8      | 3.1        | 26.4 |
| 2#         | 2.0    | 8.1       | 12.4      | 3.2        | 25.7 |
| 3#         |        | 10.6      | 12.6      | 3.7        | 26.9 |
| 4#         |        | 10.0      | 12.5      | 3.2        | 25.7 |
| 5#         | 2.2    | 8.0       | 12.3      | 3.2        | 25.7 |
| 6#         | 2.9    | 8.6       | 12.4      | 3.4        | 27.3 |
| 7#、8#、9#   | 3.3    | 10.4      | 15.5      | 3.3        | 32.5 |

3.5.1 水洗段

水洗洗涤塔与生物洗涤塔合建,主要材质为钢制骨架结构包覆玻璃钢,水洗洗涤液采用厂区中水,空塔风速小于 0.5 m/s,停留时间 2~4 s。填料为

PP多面球,单层布置,采用FRP格栅板承载。以污泥处理区域为例,水洗设备共3套,单套处理能力27 800 m<sup>3</sup>/h,过滤面积16.16 m<sup>2</sup>,空塔风速0.48 m/s,填料高度1.6 m,停留时间3.3 s,塔体高度3.5 m,填料层喷淋的液气比2~2.5 L/m<sup>3</sup>。

### 3.5.2 生物洗涤段

生物洗涤段除臭设备主体为有机玻璃钢结构,设备钢制骨架采用方钢的截面尺寸不小于80 mm×80 mm(方钢符合国标要求),骨架各向间距不大于1 m。设备配置风管接口、管道接口、填料收纳架、填料、检修门、喷淋加湿装置等完善的附件,可以24 h连续运行,臭气与填料接触时间8~11 s,利用微生物代谢去除臭气中的致臭成分,不添加药剂。

以污泥处理区域为例,生物洗涤段设备共3套,单套处理能力27 800 m<sup>3</sup>/h,过滤面积57.2 m<sup>2</sup>,空塔风速0.14 m/s,填料高度1.4 m,停留时间10.4 s,塔体高度3.5 m,塔体尺寸18 m×4.4 m×3.5 m(与水洗塔共建),填料层喷淋的液气比2~2.5 L/m<sup>3</sup>,水泵1用1备,单台 $Q=70\text{ m}^3/\text{h}$ 、 $H=200\text{ kPa}$ 、 $P=11\text{ kW}$ 。

### 3.5.3 生物滴滤段

生物滴滤段除臭设备同生物洗涤段,可以24 h连续运行,臭气与填料接触时间12~16 s,单位体积填料用水量480 L/(m<sup>3</sup>·d),利用微生物代谢去除臭气中致臭成分,不添加药剂。两级生物除臭总停留时间20~26 s,满足广东省地标中臭气与生物填料的接触时间应不小于15 s的要求。

以污泥处理区域为例,生物滴滤段设备共3套,单套处理能力27 800 m<sup>3</sup>/h,过滤面积70.4 m<sup>2</sup>,空塔风速0.11 m/s,填料高度1.7 m,停留时间15.5 s,塔体高度3.5 m,塔体尺寸16 m×4.4 m×3.5 m,每天喷淋24次、每次喷淋时间2 min。

### 3.5.4 活性炭吸附段

活性炭吸附段设备主体为有机玻璃钢结构,设备钢制骨架采用方钢的截面尺寸不小于70 mm×70

mm(方钢符合国标要求),骨架各向间距不大于1 m。除臭设备配置风管接口、管道接口、填料收纳架、填料、检修门等完善的附件。活性炭填料被充填于塔中央部位,由支撑板支持,其粒径3~4 mm,比表面积900 m<sup>2</sup>/g,堆积密度约500 kg/m<sup>3</sup>,总填充量234 m<sup>3</sup>。活性炭填料需定期更换,臭气与填料接触时间3~4 s。

以污泥处理区域为例,活性炭吸附段设备共3套,单套处理能力27 800 m<sup>3</sup>/h,每套含2座塔(塔内2层并联),单层过滤面积14.1 m<sup>2</sup>,空塔风速0.14 m/s,填料高度0.45 m,停留时间3.3 s,塔体高度3 m,塔体尺寸5.9 m×2.4 m×4 m(含1 m高的底部塔架),填充量12.7 m<sup>3</sup>。

### 3.5.5 离子送风系统

离子送风设备送风量60 000 m<sup>3</sup>/h,功率38.5 kW,主要对污泥处理区进行离子送风。离子送风集中处理箱体采用固定式全密闭矩形结构,框架为不锈钢304型材。

离子送风风管采用不锈钢304材质,用于输送可控浓度的正负氧离子空气。离子空气在极短的时间内与臭气污染物因子发生分解氧化反应,有效破坏空气中细菌的生存环境,降低细菌浓度,与空气中微小可吸入固体颗粒碰撞,使颗粒带电并通过聚合作用形成较大颗粒而得到去除,从而进一步净化空气。

### 3.5.6 在线监测系统

在设备进出口安装一体式在线气体检测仪,探头为耐腐蚀材质,信号反馈至除臭控制系统。硫化氢和氨气进风段的检测仪表量程0~100 mg/L,出风段的检测仪表量程0~25 mg/L。

## 4 工程投资

除臭系统工程概算投资约2 850万元,运行成本主要包括风机电耗、水泵电耗和水耗。除臭系统运行成本见表7。

表7 除臭系统运行成本测算

Tab.7 Cost calculation for deodorization system operation

| 项目   | 单价                   | 1#~3#系统                 |                          | 4#~6#系统                 |                          | 7#~9#系统                 |                          | 备注     |
|------|----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------|
|      |                      | 日用量                     | 费用/(万元·a <sup>-1</sup> ) | 日用量                     | 费用/(万元·a <sup>-1</sup> ) | 日用量                     | 费用/(万元·a <sup>-1</sup> ) |        |
| 风机电耗 | 0.8元/(kW·h)          | 4 320 kW·h/d            | 126.14                   | 4 262.4 kW·h/d          | 124.46                   | 4 320 kW·h/d            | 126.14                   |        |
| 水泵电耗 | 0.8元/(kW·h)          | 1 077.6 kW·h/d          | 31.47                    | 628.8 kW·h/d            | 18.36                    | 1 293.6 kW·h/d          | 37.77                    |        |
| 水耗   | 3.77元/m <sup>3</sup> | 236.8 m <sup>3</sup> /d | 32.58                    | 255.9 m <sup>3</sup> /d | 35.21                    | 298.8 m <sup>3</sup> /d | 41.12                    | 可用中水替代 |
| 合计   |                      |                         | 190.19                   |                         | 178.03                   |                         | 205.03                   |        |

## 5 结语

① B水质净化厂是深圳市首批臭气排放执行广东省地标 DBJ/T 15—202—2020 的水质净化厂,按照臭气源特征、平面布置情况等就近划分为9个子系统,采用“两级生物除臭+活性炭吸附”的组合式处理工艺;同时,结合不同工艺段的臭气成分及其特性,选取经济合理的工艺组合和技术参数,实现全流程覆盖和分区控制,使臭气得到有效去除和净化。

② 广东省地标对氨、硫化氢以及臭气浓度要求均高于上海市和天津市地标的较严值,且其处理设施臭气风量按照“换气次数+单位水面风量+110%曝气风量”计算,导致需要除臭的构筑物增多(如二沉池、深度处理区等)、除臭风量增加、运行成本提高,应通过源头精细化收集、气流模型、跟踪监测以及处理效果来调整并选定合理稳定的运行工况,进一步优化系统能耗和运行成本。

③ 生活污水和工业废水性质差异较大导致其处理工艺流程、臭气产生量等存在差异,后续类似工程可以在借鉴该工程除臭系统工艺流程、设计参数的基础上,针对污废水特性、排放标准要求等特点,采用离子送风、机械通风等措施,共同实现高臭气排放标准的要求,减少对周边环境的影响,发挥社会效益和生态效益。

④ 相较于现行臭气排放标准,广东省地标要求对更多的构筑物进行除臭设计,从而导致除臭风量增加,其对箱体内部和周边环境的改善效果更为明显,但随之而来的是较高的能耗和药耗。因此,应结合新排放标准及污水类型等研发新技术、扩展新思路、探索新参数,在确保处理效果的同时,最大限度地节省投资和运行成本,实现环境效益和经济效益的双赢。

## 参考文献:

- [1] 王雪,陈颖童,戴仲怡.“花园式”大型半地下智慧水质净化厂设计[J].中国给水排水,2023,39(8):73-77.  
WANG Xue, CHEN Yingtong, DAI Zhongyi. Design of “garden style” large-scale semi-underground intelligent

wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(8): 73-77 (in Chinese).

- [2] 刘承东.广东省《城镇地下污水处理设施通风与臭气处理技术标准》的编制思路[J].中国给水排水,2020,36(22):13-18.

LIU Chengdong. Thoughts of compiling Guangdong Technical Standard for Underground Municipal Wastewater Treatment Plant Ventilating & Odor Controlling System [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 13-18 (in Chinese).

- [3] 林培真,宋旭,祝雅杰,等.地下污水处理厂除臭工程设计问题探讨[J].中国给水排水,2018,34(16):50-54.

LIN Peizhen, SONG Xu, ZHU Yajie, et al. Discussion on deodorization project design of underground wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(16): 50-54 (in Chinese).

- [4] 刘绪为,尤颖,王利剑,等.正定新区全地下污水处理厂生物除臭设计计算[J].中国给水排水,2015,31(4):69-71.

LIU Xuwei, YOU Ying, WANG Lijian, et al. Design and calculation of biological deodorization in fully underground wastewater treatment plant in Zhengding new district [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(4): 69-71 (in Chinese).

- [5] 唐宏辉,刘承东,谢艺强.广州地理式石井净水厂通风除臭设计[J].中国给水排水,2020,36(4):41-46.

TANG Honghui, LIU Chengdong, XIE Yiqiang. Ventilation and deodorization design of Shijing underground wastewater treatment plant in Guangzhou City [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(4): 41-46 (in Chinese).

**作者简介:**何磊(1985—),男,河南平顶山人,工学硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给排水)、注册环保工程师、注册咨询工程师、一级注册建造师,主要从事市政给排水和水环境综合整治咨询设计工作。

**E-mail:**helei@smedi.com

**收稿日期:**2024-04-22

**修回日期:**2024-12-20

(编辑:沈靖怡)