

# 生物滴滤工艺-双水源供给技术除臭系统 在城市水质净化厂中的应用

欧阳荣富

(厦门市政环境科技股份有限公司, 福建 厦门 361000)

**摘要:** 为了解决污水处理过程中产生的臭气问题。以厦门市筭筭水质净化厂臭气除臭提升系统为例,在确定并分析厂区污水臭气来源的基础上,采用生物滴滤工艺-双水源供给技术除臭系统处理污水处理过程中产生的臭气。排放出口的气体在线检测仪检测结果表明,除臭系统能够有效去除臭气中的恶臭物质;厂界无组织气体检测结果证实,在完成除臭系统提升工程后,厂区边界的大气环境指标均满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的限值要求。

**关键词:** 城市水质净化厂;恶臭气体;除臭系统;生物滴滤

**中图分类号:** X512

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2026)08-0256-07

## Application of Deodorization System with Biological Trickling Filter Process - Dual Water Source Supply Technology in Urban Water Purification Plants

OUYANG Rongfu

(Xiamen Municipal Environmental Technology Co., Ltd., Xiamen 361000, China)

**Abstract:** To address the odor problems arising from sewage treatment process, taking the odor deodorization upgrading system of the Xiamen Yundang Water Purification Plant as an example, and on the basis of identifying and analyzing the sources of odorous gases within the plant, a deodorization system with a biological trickling filter process - dual water supply technology is used to treat the odor from the processes. The detection results of the gas online detector at the discharge outlet indicate that the deodorization system can effectively remove the odorous substances in the odor. The unorganized gas detection results at the plant boundary demonstrate that the atmospheric environmental indicators at the boundary of the plant area all meet the limit requirements of the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plants* (GB 18918—2002) after the completion of deodorization system upgrade project.

**Keywords:** urban water purification plant; malodorous gas; deodorizing system; biological trickling filter

## 0 引言

伴随着人民生活水准及城市化的持续增长,社会用水量呈现逐年递增的趋势,城市污水处理量随之增多。根据中国生态环境部2024年6月发布的《2023中国生态环境状况公报》,全国纳入排放源统计调查的污水处理厂共有14 620家(含500 t/d以上集中处理设施),污水处理厂处理能力为2.24亿m<sup>3</sup>/d。对于生活污水来说,在其长时间的收集、管道运送过程中,污水中残留的有机物、蛋白质、碳水化合物等

物质会被各类细菌作用而分解,从而产生各种不完全氧化的恶臭气体<sup>[1]</sup>。因此,污水的臭气处置已逐渐成为污水处理过程中不可忽略的关键问题。

根据中国生态环境部大气环境司于2021年8月印发的《2018—2020年全国恶臭/异味污染投诉情况分析》,恶臭/异味问题已成为公众投诉最强烈的环境问题之一,2018—2022年间“全国生态环境信访投诉举报管理平台”接到的相关投诉举报分别为15.3、11.1、9.8万件,超过投诉总数的20%以上。尽管相对于制造业产生的恶臭气体来说,污水处理厂所产生的臭气浓度较低,但其中仍存在能够威胁人民身体健康的气体组分,大致可分为5类<sup>[2]</sup>:含硫化物(硫化氢等)、含氮化合物(氨气)、烃类化合物(甲烷)、含

收稿日期: 2025-12-30

作者简介: 欧阳荣富(1977—),男,硕士,工程师,副总经理,从事城镇污水处理厂建设、运营及安全管理工作。

氧有机物(醇类)及卤素化合物(氯代烃)等。作为恶臭气体代表,硫化氢气体不仅对人体有剧毒,同时对设备也具有强烈的腐蚀性;此外,臭气的特征污染物之一氨气更是PM2.5的前体物<sup>[3]</sup>,对大气、生态环境破坏较为严重。

表1为污水处理厂中常见的几种臭气嗅阈值、中毒浓度以及中毒症状<sup>[4]</sup>。

表1 污水处理厂常见臭气嗅阈值、检测阈值及中毒症状

| 名称   | 嗅阈值/<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 检测阈值/<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) | 主要中毒症状          |
|------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| 硫化氢  | 0.04                                        | 0.4                                          | 刺激眼睛、上呼吸道,头晕、头痛 |
| 甲硫醇  | 0.08                                        | 1.1                                          | 刺激皮肤、麻痹神经中枢     |
| 氨    | 3.7                                         | 10                                           | 喉咙疼痛,呼吸困难       |
| 二硫化碳 | 0.092                                       | 2.6                                          | 头痛,眩晕           |

由表1可知,几种常见臭气的嗅阈值均低于其检测阈值,这意味着尽管人已经能够通过嗅觉感测到臭气存在,但因其浓度低于气体检测传感器的最小检测值而未能及时报警,从而很可能导致人对臭气的警惕性下降。此外,即使臭气处于较低浓度范围,但若长期暴露在这种环境中,仍有很大可能影响人体健康。因此,若不对臭气进行系统性收集、处理,不仅会对厂区工作人员的身心健康造成影响,长期以往,甚至可能影响厂区附近环境及居民生活。简而言之,对厂区的污水臭气进行处理迫在眉睫。

## 1 生物滴滤-双水源供给技术除臭系统的应用

### 1.1 筼筻水质净化厂简介

厦门市筼筻水质净化厂坐落于市区西海域东侧、筼筻湖西岸,地处厦门市最繁华的区域之一,方圆2 km内有海湾公园、中山路、健康步道等热门景点。其前身可追溯至厦门污水处理一厂和污水处理二厂,2厂于2003年合并改制为筼筻水质净化厂,至今已安全运行20余年。在厂区建设初期,为了响应政府的政策压缩用地,净化工艺选取了复杂但占地面积较小的BIOFOR生物滤池技术,配合前级高效沉淀池技术处理,进行除砂、除油、除渣及后级气浮除泥,污水在厂内仅停留数小时即可得到高效率净化。

运行期间,该厂精益求精,于2007年完成了双线生物滤池扩建工作,日处理污水能力提升至30万 $\text{m}^3/\text{d}$ ;为深刻贯彻习近平总书记的“20字方针”及市政府海洋生态环境保护工作,该厂在20多年间的安全运行中不断革故鼎新,于2020年竣工三期反硝化、高速气浮和次氯加药工程,成功地将厂区污水净化能力

从一级B排放标准提升至一级A排放标准。处理过后的尾水可用作城市景观绿化、工业用水等用途,提高了水资源的利用效率,大力推动了城市环境的改善和可持续发展。

筼筻水质净化厂鸟瞰图见图1。



图1 筼筻水质净化厂鸟瞰图

### 1.2 厂区臭气来源分析

根据李应芝<sup>[5]</sup>对城市污水处理厂主要工艺段进行臭气浓度调研的结果(见表2),污泥脱水、格栅、曝气沉沙等污水处理工艺段的臭气浓度较高。原因主要在于污泥脱水工艺的本质是将含有大量污泥的污水通过离心、板框等机械手段,使污泥与污水分离,而未经处理的化学恶臭物质集中存在于脱水后的污泥当中,因此脱水工艺段臭气浓度最高;格栅在污水处理中的作用是过滤、隔绝水体中的砂渣、垃圾等较大颗粒物,这类物质通常也携带着气味。除此之外,曝气沉沙等工艺段由于仅进行一定的物理处理,污水的化学性质并未发生大的改变,此时水体中溶解氧含量仍然较低,细菌会将水体中的硫酸盐或硝酸盐作为其氧源,随后将硫酸盐还原成亚硫酸盐和硫化物,进而产生硫化氢气体,伴随着一定的硫醇和含气态化合物<sup>[6]</sup>,若放任臭气在该处理工艺阶段无组织排放,将对大气环境造成不可逆的破坏。

表2 城市污水处理厂主要工艺段臭气浓度及范围

| 污水处理工艺 | 臭气浓度  | 臭气浓度范围    |
|--------|-------|-----------|
| 污泥脱水   | 1 000 | 50~1 000  |
| 格栅     | 950   |           |
| 曝气沉沙   | 2 500 | 100~5 000 |
| 初沉     | 1 450 |           |
| 生物反应池  | 400   | 0~1 500   |
| 中间沉淀池  | 30    | 23~31     |

图2为筼筻水质净化厂的污水处理工艺简图。根据对厂区主要工艺的实地走访,结合我国臭气强度表示方法<sup>[7]</sup>,利用人体嗅觉对厂区内各污水处理工艺段产生的臭气进行直接表述,具体情况如表3所示。从实地走访测试的结果来看,与上述分析相对应,由于格栅间、污泥脱水、储泥料仓分别存在着栅渣、污泥,且这3个工艺段都位于密闭空间,因此

臭气级别最大;其余如初沉、提升泵、气浮池等工艺段都位于开放的室外,臭气不断逸散至外界环境,因此臭气级别较低,但若不对其进行处理,也会对大气环境产生影响。因此综合上述分析,有必要对这几个工艺段进行臭气的系统收集和处理。

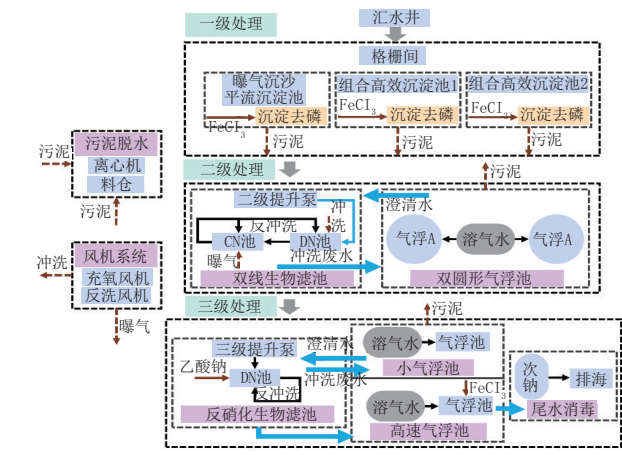


图2 净化厂污水处理工艺

表3 利用人体嗅觉表述的厂区各工艺段臭气强度

| 污水处理工艺 | 臭气级别 | 恶臭物质参考浓度 |
|--------|------|----------|
| 污泥脱水   | 2级   | 51       |
| 格栅间    | 3级   | 117      |
| 平流式沉淀  | 1级   | 23       |
| 曝气沉沙   | 1级   | 23       |
| 组合式沉淀  | 1级   | 23       |
| 二级提升泵  | 1级   | 23       |
| 气浮池    | 1级   | 23       |
| 储泥料仓   | 3级   | 117      |

针对厂区内主要工艺段臭气污染的问题,该厂早在厂区竣工初期就兴建了4座除臭系统,最大程度地改善了厂区及周边环境。当时由于技术等原因的限制,在长期工作运行后,4座除臭系统暴露出了除臭效率低、臭气泄漏、能耗高、维护成本逐渐增多的问题。为此,围绕着“污水处理设施提质增效”、“助力环境保护高质量发展”等目标,厦门市政环科公司于2022年对域内所有净化厂老旧除臭设施进行全方位提标,目标建设出低功耗、高效率、低维护成本、全自动化运行等优点的除臭系统;在为居民打造更加舒适、宜居生活环境的同时,也给行业内水质净化厂恶臭气体治理提供技术参考和工程示范。

1.3 污水臭气处理现有技术

污水处理厂的臭气处理方法主要有物理法、化学法和生物法<sup>[8]</sup>。物理除臭法是指在不改变恶臭物质本质的情况下,使用一些物理方法将恶臭气体臭味进行掩盖、稀释或转移。常见的物理处理手段有稀释法、掩蔽法、水洗涤法(见图3)等。稀释法主要

是使用无味的空气对恶臭气体稀释后减轻臭气浓度以达到除臭的目的;掩蔽法是通过将恶臭气体喷洒具有芳香气味的物质进行混合,掩盖恶臭气体气味后排放至大气环境中。这2种方法虽然成本较低,但无法将恶臭气体彻底根除,仍然会对环境造成影响。水洗涤法则是利用恶臭气体中主要污染物 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 易溶于水的特性,收集后的臭气进入喷淋塔,通过气液交换使恶臭气体污染物从气相转移至液相<sup>[9]</sup>。这种方法原理简单,能够在一定程度上根除气体中的污染物;但臭气中恶臭物质在水中的溶解度十分有限,臭气处理效果不理想。

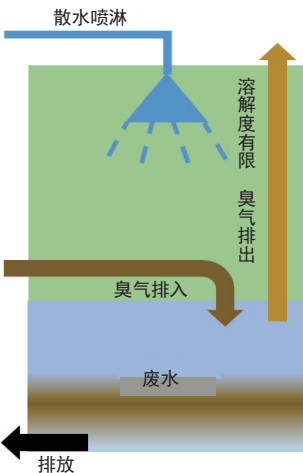


图3 水洗涤法基本原理

相较于物理法,化学除臭法能够使臭气中的污染物质发生化学反应从而生成新产物,因此除臭效率显著高于物理法。常见的化学处理法有药剂吸收法和燃烧法。燃烧除臭法是指通过催化剂的作用,在高温环境下将臭气氧化为二氧化碳和水的方法,这种直截了当的方法操作方便,但燃烧过程中存在一定的危险性,且燃烧产物复杂,很可能还携带着有毒或臭气物质。如图4所示,药剂吸收是利用碱性或酸性物质与恶臭物质发生反应来达到除臭的目的,一般采用分级处理来完全去除恶臭物质。这种方法对 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 等酸碱物质去除效果较完全,但由于臭气中的某些有机物质不与或难以与药剂发生反应,很难对恶臭物质进行全面去除。

与物理、化学除臭法不同的是,始于1957年研究的生物除臭是指利用在特定物质上培养、附着的微生物将臭气中的恶臭物质作为其养分,新陈代谢后产生新产物的过程。微生物能够有效分解恶臭气体中的有机物、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 等物质,作为一个生化反应过程,其除臭效率远高于物理法或化学除臭法。常见的生物除臭法有生物滤池、生物滴滤法等;这2种除



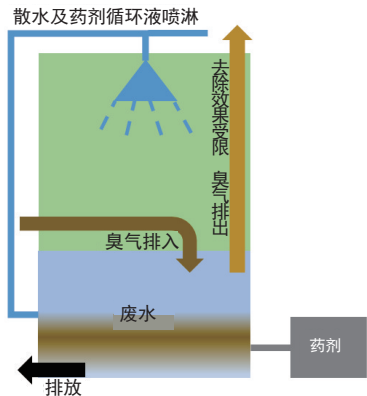


图4 药剂吸收法基本原理

臭方法的原理类似,都是将臭气送入系统并通过微生物处理单元,微生物吸收并分解物质(见图5)。相较于生物滤池除臭法来说,生物滴滤法除臭采用的填料一般为可长期使用的惰性填料,例如陶粒、塑料球等,维持微生物所必须的营养物质由喷淋塔喷出的喷淋液提供;喷淋液经过惰性填料后回到系统底部可循环流回使用。而生物滤池除臭法的微生物需要附着在有机填料中,一般为干草、树皮等<sup>[10]</sup>,这类有机填料的寿命是有限的,且随着系统使用时间的增长,填料还可能会发生堵塞、板结的情况,致使后期保养的成本增加。因此,对比来看,生物滴滤法填料寿命长,可长时间运行且成本较低,已被广泛应用于污水处理厂的除臭系统中<sup>[11]</sup>。

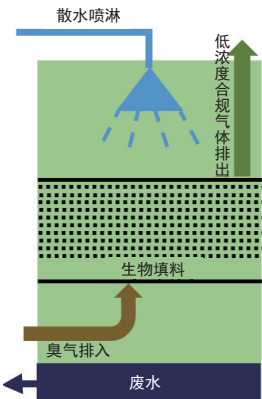


图5 生物除臭法基本原理

表4 常见除臭方法的特点和缺点

| 除臭方法 | 主要特点      | 缺点               |
|------|-----------|------------------|
| 物理法  | 稀释        | 成本低,操作简单         |
|      | 水洗涤       | 未去除恶臭物质,仍对环境造成影响 |
| 化学法  | 药剂吸收      | 成本低              |
|      | 对无机物去除效果好 | 处理效率低            |
|      | 对有机物去除效果好 | 无法去除有机物质         |
| 生物法  | 燃烧        | 产生二次有害气体         |
|      | 生物滤池      | 处理效果好            |
|      | 生物滴滤      | 处理效果好,运行成本低      |
|      |           | 填料需定期洗涤、更换       |
|      |           | 填料需保持水源供给        |

由表4可见,生物除臭法得益于填料中微生物对恶臭物质发生的生化反应,因而能够将其显著地去除,具有其他除臭方法不可比拟的优越性;而其中的生物滴滤法又具备易维护、运行成本低的特点,使其脱颖而出。

#### 1.4 笕篁水质净化厂除臭提升系统

##### 1.4.1 除臭系统组成

图6为笕篁水质净化厂生物滴滤型污水除臭系统示意图。该系统由密封系统、除臭风管、除臭风机、生物滴滤除臭塔、散水系统构成。其中,密封系统的作用是封闭污水处理工艺段,防止臭气泄漏;散水系统对除臭塔间歇性供水,能够对恶臭气体起到降温、润湿的作用,同时还能够带走已被填料中的微生物处理过后的臭气物质。

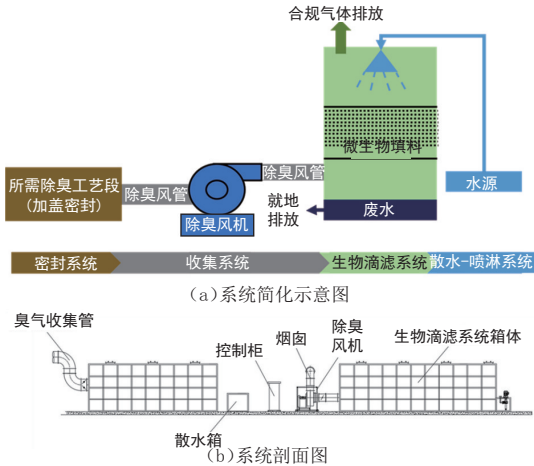


图6 生物滴滤型污水除臭系统

##### 1.4.2 密封系统

作为除臭系统的第一单元,对各污水工艺段进行封闭,不仅能够隔绝臭气外泄,且密封环境还有助于除臭风机通过风管将臭气排入除臭塔中进行处理。为了更好地收集污水臭气,最大程度地减少臭气外漏的情况,该厂依据厂内实际情况对各工艺段进行了不同结构的封闭处理。由于平流池具有占地面积大、池面敞口、无凸起设备结构的特点,同时考虑到工作人员取样、巡查的需求,池上密封结构设计采用了如图7所示的新型分离式滑动玻璃钢盖板<sup>[12]</sup>。这种玻璃钢盖板的特点是分离式设计,盖板之间通过连接座安装,可有效解决传统平流池因盖板一体化面积过大而容易造成形变,进而导致密封性差的问题。盖板材料采用耐酸的优质间苯型树脂,树脂含量约为40%~60%,能长期耐紫外线照射。根据平流池大跨度的池体特征进行片区活动盖板的设计,在活动盖板上设有滚轮。盖板轨道和滚轮的

材质均为304不锈钢,并装有自润滑轴承,活动盖板容易滑动,横向滑动力不大于25 kg,便于池内设备起吊检修。同时,在检修通道一侧设置有侧边观察窗,易于厂区工作人员巡查取样;在无需取样关闭观察窗时,盖板的固定及密封件能够确保池内的密封性,有效防止恶臭气体外泄。

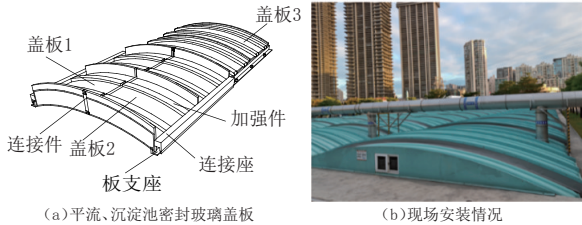


图7 平流池臭气封闭处理

此外,其余工艺段也有体积较大的设备,例如行车刮泥机或自身需要一定高度空间的设备,也需按照各自所处的建筑特点进行加盖密封。例如气浮池的横向尺寸跨度较大,宜采用“轻型支撑反吊膜”这类自重轻、抗腐蚀性强的结构;对于存在格栅机、砂水分离器等室内小型设备的工艺段,宜采用“不锈钢骨架+耐力板”密封方式,在减少除臭空间容积的同时,易于巡视及检修。不同除臭工艺段的加盖密封结构如表5、图8所示。

表5 净化厂工艺段除臭加盖封闭结构

| 平流式沉淀      | 组合式沉淀   | 曝气沉沙      | 二级提升泵   | 气浮池     |
|------------|---------|-----------|---------|---------|
| 分离式滑动玻璃钢盖板 | 卡普隆板集气罩 | 不锈钢骨架+耐力板 | 卡普隆板集气罩 | 轻型支撑反吊膜 |

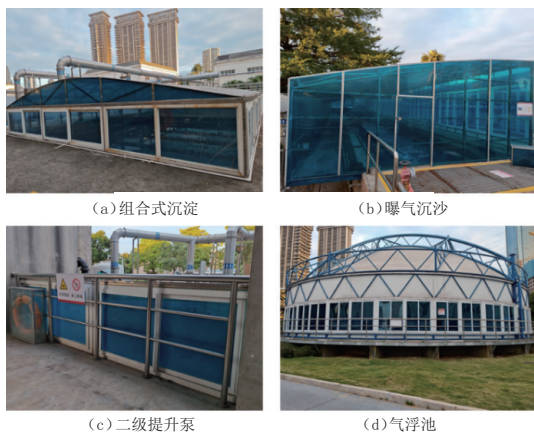


图8 净化厂工艺段臭气封闭处理现场安装情况

#### 1.4.3 收集系统

臭气在除臭风机的作用下,经由风管汇入生物除臭塔后进行相应的生物处理。由于除臭系统是不间断运行的,同时臭气中含有大量的酸碱成分,因此选择了玻璃钢风机作为系统的排风设备。这种风机得益于材料的优异性能,具备良好的抗腐蚀性,且长

期使用较稳定、寿命长。此外,现场安装时还采用了不锈钢箱体密闭的方式来保护风机及其密封件不受外部腐蚀等的潜在破坏,如图9所示。此外,因除臭风机放置在除臭塔箱体后方,意味着风机在正常运行工作中,进入其入口的气体已经为处理过后的气体,风机出口则通过管道直连排放烟囱。这种设置在结构上可最大程度地减少气体泄漏的可能;同时还能保证即使风机、管件出现密封件老化泄漏的情况,泄漏的气体也为已经过生物处理的气体,不会对周围环境造成影响。



图9 除臭收集系统现场安装示意图

同时,为了避免臭气在传输过程中潜在的泄漏问题,除臭风管的结构共有防腐层、结构层、外表层3层。其中:防腐层材料采用富树脂层,能够有效防止管壁被臭气腐蚀;结构层采用玻璃纤维、树脂的复合材料,保证其具备良好的刚度和强度,能够抵抗外界载荷;外表层则采用了防紫外树脂材料,能防止管道受紫外辐射作用而产生老化现象。

#### 1.4.4 生物滴滤系统

作为整个系统的关键部件,生物滴滤系统承担着将恶臭气体转化为合规气体并排入大气的的作用。如上节所述,生物滴滤法除臭性能优异,因此该厂采用生物滴滤作为除臭塔的臭气处理方法。生物滴滤系统的关键组成部件有壳体、填料层、喷淋组件等。其中:系统的壳体结构采用钢骨架形式(见图10),以保证结构具有刚度及强度;壳体内部则使用玻璃钢包封以避免其被气体腐蚀。

生物滴滤系统的填料层采用如图11所示的炭质填料,其粒径为5~15 mm,比表面积大于260 m<sup>2</sup>/g。炭质填料具有多孔、比表面积大的优点<sup>[13]</sup>,因而十分有利于微生物的生长。除此之外,其优良的机械强度、耐腐蚀性等特点使其具有很长的使用寿命,在除臭系统的工作运行期间无需更换,节省了运行维护费用,避免了如树皮、岩石等其他填料存在的寿命





图 10 生物滴滤系统壳体现场示意图

短、除臭效率低、耐老化性差的问题。在系统运行中,臭气经由风机从下方进入除臭塔内,首先经过水洗段,臭气在这个阶段中有部分得以溶解在水中,从而降低了浓度,并为后方的生物除臭提高了效率;紧接着,臭气受气压作用从下往上流动;在经过存放在塔内中部的炭质填料时,填料上的多种微生物能够对特定的臭气物质进行生物分解,分解反应式如表 6 所示。经过生化反应,恶臭物质被分解生成无害气体  $\text{CO}_2$  等并向上流动,再经由排放口排入大气;分解的硫酸、硝酸则易溶于水而流入储液层。排液口在运行过程中定期排放液体,进液口则定期排入新鲜散水进入塔内,以保证储液层中的液体具备良好的化学性质;此外,塔外部的循环泵不断地将储液层的液体回收、供给至喷淋组件,实现了塔内水源的内循环,在供给填料层微生物作为营养物质使用的同时,还进一步减少了系统的水源用量。



(a) 示意图 (b) 电镜图

图 11 炭质填料

表 6 主要恶臭物质分解反应式

| 恶臭物质 | 分解反应式                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 硫化氢  | $\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$                                      |
| 甲硫醇  | $\text{CH}_3\text{SH} + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ |
| 氨    | $\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$                                 |
| 三甲胺  | $2(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$      |

#### 1.4.5 散水-喷淋系统

在除臭反应进行的同时,塔内上部的散水喷淋组件每间隔 1 h 对填料进行一次散水喷洒,从而起到对臭气进行水洗及带走分解后物质的作用。喷淋模式可根据除臭设备实际运行情况、臭气处理情况通过控制柜现场自由调整;喷淋组件中的喷头采用 PP

材质,不易堵塞,可实现在 20 m 扬程下  $120^\circ$  的喷洒角度,以确保能够无死角地喷淋填料层,进而维持填料层中微生物的活性。如图 12 所示,散水来源于外部双水源供给系统<sup>[14]</sup>,这种系统的特点是采用自来水与中水双水源供给的设计,即在厂区内同时、独立铺设中水和自来水补水管路;除臭系统在工作过程中优先使用厂区内中水,当中水故障或水源不足时系统将自动切换至自来水管路,以确保除臭系统稳定达标运行。

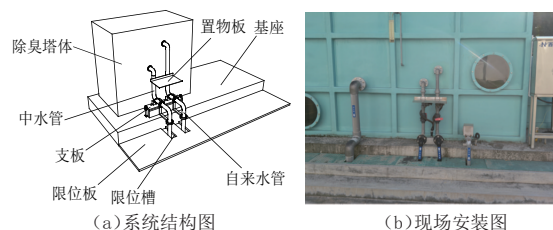


图 12 散水水源的双供给系统

臭气在生物滴滤系统内完成处理后达标排放。为了更好地贯彻“花园厂区”、“环境友好”原则,臭气排放气筒重新设计并采用了仿生树形貌,融合了生态、环境、艺术等理念(见图 13);同时,根据《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)的要求,气筒高度设计为 15 m,进一步降低了排放气体对周围环境及居民的影响。



(a) 改造前 (b) 改造后

图 13 排放气筒

由于所需除臭的工艺段在厂区内是分散的,采用统一处理不仅收集的难度较大,且会给生物处理系统带来负担,因此该厂按照就近布置原则在每个所需除臭的工艺段就地建设、安装除臭系统。如图 14 所示,厂区共设置了 5 套除臭系统独立运行,处理过程互不干扰。这种布置方法不仅能够避免臭气长距离运输过程中潜在的泄漏问题,同时还能够减轻除臭系统工作负荷,提高臭气处理效果。每套系统独立排放,且在排放风管中设置有传感模块,包含硫化氢和氨气等在线传感器,实现了上位机实时监控;若发生异常情况,系统能够自动调整风机、散水系

统,进而调控臭气处理工艺参数,现场人员也能够通过实时数据迅速进行手动调整和控制。

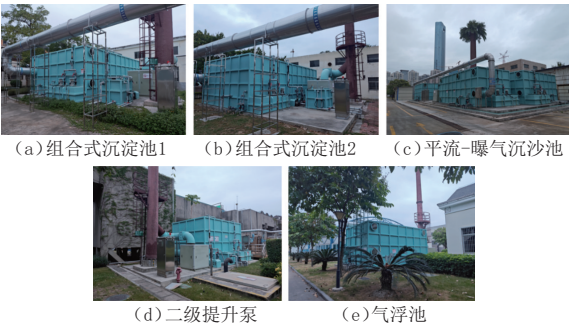


图 14 净化厂 5 套除臭系统

2 除臭系统效果分析

前面提到,为了检测臭气的处理效果,每套除臭系统的独立排风管中都设置了在线气体检测模块;除此之外,厂区每年还会依据计划申请外界第三方检测机构对厂内的无组织及有组织废气进行检测。表 7 是该厂 5 套除臭系统的气体在线检测结果。由表 7 数据可知,除臭系统对硫化氢、氨气的处理效率分别达到了 98%、51%,因而极大程度地改善了厂区的大气环境。

| 表 7 除臭系统气体在线检测数据 |    |       |      | 单位:mg/m <sup>3</sup> |
|------------------|----|-------|------|----------------------|
| 除臭工艺段            |    | 硫化氢浓度 | 氨气浓度 |                      |
| 组合式沉淀 1          | 进气 | 4.670 | 3.97 |                      |
|                  | 出气 | 0.033 | 1.88 |                      |
| 组合式沉淀 2          | 进气 | 3.520 | 1.98 |                      |
|                  | 出气 | 0.026 | 0.97 |                      |
| 平流-曝气沉沙          | 进气 | 7.130 | 2.71 |                      |
|                  | 出气 | 0.024 | 0.77 |                      |
| 二级提升泵            | 进气 | 4.110 | 1.58 |                      |
|                  | 出气 | 0.042 | 0.71 |                      |
| 气浮池              | 进气 | 4.550 | 2.83 |                      |
|                  | 出气 | 0.032 | 1.20 |                      |

为了进一步验证除臭系统的处理效果,该厂还对厂界无组织气体进行了检测,结果如表 8 所示。可以看出,在厂界范围内的上、下风向中,臭气浓度在 10 左右,硫化氢、氨气、甲烷的浓度则在 0.008、0.05、0.000 2 mg/m<sup>3</sup> 上下,即厂界大气环境中的臭气浓度均符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的二级排放标准。

图 15 是该厂 5 套除臭系统 2024 年近半年的月均耗电量和除臭平均能耗。可以看出,除臭系统的月均耗电量稳定在 2 800 kW·h 左右,满负载运行情况下,除臭平均能耗在 0.01 (kW·h)/m<sup>3</sup> 附近,实现了高效率、低功耗的目标。自投入运行以来,该厂除臭系

表 8 厂界无组织气体测试结果

| 检测项目  | 臭气浓度 | 气体浓度/(mg·m <sup>-3</sup> ) |         |          |
|-------|------|----------------------------|---------|----------|
|       |      | 硫化氢                        | 氨气      | 甲烷       |
| 上风向 1 | 10.0 | 0.008 7                    | 0.017 5 | 0.000 20 |
| 下风向 1 | 10.5 | 0.008 8                    | 0.052 5 | 0.000 22 |
| 下风向 2 | 10.0 | 0.009 5                    | 0.052 5 | 0.000 22 |
| 下风向 3 | 10.5 | 0.008 5                    | 0.065 0 | 0.000 21 |
| 二级标准值 | 20   | 0.06                       | 1.5     | 1        |

统未发生运行错误,后期的维护费用主要用于日常除臭电量和运行水费,同时实现了设备用水利用污水厂中水循环供给模式,达到了低碳高效运行、全自动化运行的目标。

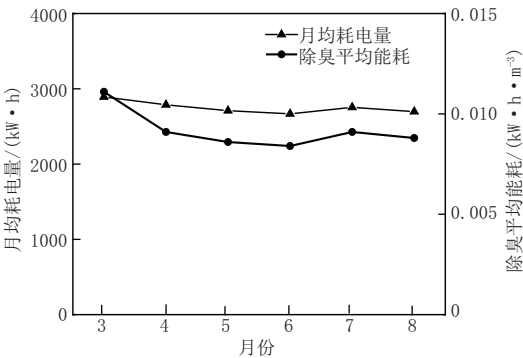


图 15 净化厂除臭系统能耗

3 结 语

(1) 笕桥水质净化厂于 2023 年完成了臭气系统提升工程,改善了原除臭系统滤料除臭效率低、故障率高、臭气外泄及能耗高的缺点。通过对需要除臭的工艺段进行加盖密封,最大程度地减少了臭气逸散的情况;选择了生物滴滤技术作为除臭方法,系统运行期间稳定高效;采用炭质填料吸收并分解臭气物质,使用寿命长、维护成本低;散水水源的双水源供给方法不仅提高了系统的工作稳定性,更进一步节省了水资源用量。

(2) 根据实时监测数据,除臭系统对硫化氢、氨气气体的去除量分别达到了 98%、51%,极大程度地改善了厂区及附近居民区的生态环境;无组织气体检测结果则表明,厂界的大气环境极大地优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的二级标准。自 2023 年投入运行以来,厂区内 5 套除臭系统工作稳定,系统平均电耗仅为 0.01 (kW·h)/m<sup>3</sup>,实现了高效率、低功耗的目标;成功打造了“具有花园式景观意境的环境友好型”水质净化厂,进一步地化“邻避效应”为“邻利效应”。

(下转第 271 页)