

# 污水处理厂除臭技术比较及选择

薛勇刚 薛韵涵 戴晓虎 章婷婷 陈 阳

(同济大学苏州研究院, 苏州 215101)

**摘要** 介绍了目前国内外常用的污水处理厂除臭技术。根据各类除臭技术的优缺点,结合污水处理厂内不同区域不同时间段的臭气排放规律和臭气物质类型,提出污水处理厂除臭技术选择的建议。

**关键词** 城市污水处理厂 除臭工艺 工艺选择

## 0 前言

随着人们对环境的要求不断提高和城市化的进程,国家计划将新建一批污水处理厂,同时原有不少污水处理厂已经进入城市中心区域。而污水处理厂运行中产生的臭气问题也引起了极大的关注。在2002年颁布了新修订的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)之后,许多已建和新建的城市污水处理厂为了达到恶臭排放标准并减少对周边环境和居民的影响,纷纷开始建设除臭设施,除臭技术在我国许多城市污水处理厂得到了一定推广和应用。但是目前污水处理厂除臭技术仍缺少一个合理规范的设计运行体系。

## 1 除臭工艺介绍

目前除臭有多种技术方法,主要是以下几种方法:物理方法、化学方法和生物方法。

## 1.1 物理方法

物理方法主要是活性炭吸附。

活性炭吸附法即是利用活性炭作为吸附剂,吸附去除臭味物质实现除臭效果的方法。活性炭吸附法可以有效去除许多恶臭物质,如产生各类VOC、H<sub>2</sub>S和NH<sub>3</sub>等。由于致臭的物质的化学成分不同,要利用各种性质不同的活性炭来实现有效除臭,在臭气吸附塔内分别填充具有吸附酸性或碱性或吸附中性物质的活性炭。臭气经过吸附塔时,与各种活性炭充分接触后,臭味物质被吸附后排出吸附塔。活性炭吸附容量固定,活性炭吸附一定量时会达到饱和,活性炭必须再生或者更换,所以运行成本相对较高。且由于活性炭的吸附能力极易受臭气中的潮气、灰尘等杂物的影响而下降,不惜安装除湿除尘装置。该方法除臭效果良好,维护简单,但由于建设运行成本较高,一般用于低浓度臭气和脱臭的后处理。

目前已有在该方法基础上发展起来的催化活性炭除臭技术<sup>[1]</sup>,该活性炭是烟煤基带增强催化能力

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2011ZX07301-003-01)。

## 参考文献

- Field R, Pitt R E. Urban storm-induced discharge impacts: US Environmental Protection Agency research program review. *Water Science and Technology*, 1990, 22(10-11):1~7
- 王和意, 刘敏, 刘巧梅, 等. 城市降雨径流非点源污染分析与研究进展. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(6):283~285
- 程江, 徐启新, 杨凯, 等. 国外城市雨水资源利用管理体系的比较及启示. *中国给水排水*, 2007, 23(12):68~72
- 张丹明. 美国城市雨洪管理的演变及其对我国的启示. *国际城市规划*, 2010, 25(6):83~86
- 汪诚文, 郭天鹏. 雨水污染控制在美国的发展、实践及对中国的启示. *环境污染与防治*, 2011, 33(10):86~89, 105

- US Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers. *Urban Runoff Quality Management*. Alexandria, VA, 1998
- Debo, Thomas N, Andrew J Reese. *Stormwater Management (2nd ed.)*. Boca Raton: Lewis Publishers, 2002
- Committee on Reducing Stormwater Discharge Contributions to Water Pollution, National Research Council. *Urban Stormwater Management in the United States*. Washington, DC: National Academies Press, 2009
- USEPA. *Guidance for water quality-based decisions: The TMDL process*. EPA 440/4-91-001. Washington DC, 1991

○ E-mail: jhf@tsinghua. edu. cn

收稿日期: 2013-03-29

的粒状活性炭, 具有独特的催化能力和水再生优势克服了传统活性炭的缺点。催化型活性炭通过对  $\text{H}_2\text{S}$  及其他含硫有机物吸附后, 催化型活性炭促进氧化反应, 将  $\text{H}_2\text{S}$  转变为  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、少量的  $\text{H}_2\text{SO}_3$  和硫元素。催化型活性炭只对  $\text{H}_2\text{S}$  及含硫有机臭味气体去除率高。对污水处理厂产生的其他臭味物质去除率不是很高。

## 1.2 化学方法

化学方法主要是化学试剂法以及各类高级氧化法。

### 1.2.1 化学试剂法

利用化学介质 ( $\text{NaOH}$ 、 $\text{NaCl}$  或  $\text{NaClO}$ ) 与  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$  等无机类致臭成分进行反应, 从而达到除臭的目的。化学除臭法耐冲击负荷强, 可间歇工作, 工作方式灵活。化学法对  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$  等的吸收比较彻底, 反应速度快; 但对部分挥发性有机化合物的去除存在一定的困难。化学吸收法必须配备较多的附属设施, 如药液贮存装置、药液输送装置、排出装置等<sup>[2]</sup>。

### 1.2.2 臭氧氧化法

臭氧具有强氧化性, 能够氧化臭气中的化学成分而使其分解, 最终达到脱臭的目的<sup>[3]</sup>。由于臭氧氧化反应速度比较慢, 实际工程应用时, 臭气一般先经过药液清洗除臭, 大部分的臭味物质得到去除后, 剩余的臭气再使用臭氧氧化法得到去除。药液清洗法与臭氧氧化法相结合使用, 比较经济, 效率较高。但未能使用的残余臭氧也是属于二次污染物。

### 1.2.3 紫外光氧化法

紫外光技术去除恶臭气体是通过两个途径实现的: ①紫外线作用于空气中的氧气和水分子, 产生羟基自由基、活性氧等活性基团以及臭氧等强氧化性物质, 这些强氧化剂与恶臭物质发生氧化反应, 使恶臭物质转化为无害无臭的物质; ②紫外线产生的能量高于恶臭物质分子间键能的携能光量子, 恶臭物质在携能光量子的轰击下, 分子键可能分解乃至断裂, 使其直接分解为单质原子或无害的分子<sup>[4,5]</sup>。高端紫外光恶臭气体处理装置的优点是对湿度、温度不敏感, 处理效率高; 而且紫外光法同时可产生羟基自由基、活性氧等活性基团。设备占地面积小、重

量轻, 操作灵活、管理方便、除臭灭菌效果好。同时可利用泵站原有的通风管道进行布置, 节约投资成本。该装置可以根据恶臭气体的浓度变化, 灵活调节紫外光强度; 另外, 紫外线技术恶臭气体处理设备的施工、调试、正常运转以及维修工作, 对原生产工艺均没有影响。

### 1.2.4 低温等离子法

低温等离子体中去除恶臭物质发生的反应可分为电子、离子、自由基及分子碰撞反应。在电极间外加高压高频交变电流, 表面生成微放电, 同时诱导引发高电场, 此高电场促使放电空间中的自由电子加速, 此时电子在该电场中将被加速而获足够的能量, 并与气体分子撞击进行激发、游离、解离、结合或再结合等反应, 生成许多电子、离子、介稳态粒子及自由基等强高活性物种, 这些高能、高活性物种可克服能阶的障碍, 使气流中原本相当稳定的恶臭气体分子断键, 促使气态反应快速进行。从上述反应见, 恶臭组分经处理后转变为  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  等小分子, 产物浓度极低, 被周边的大气接受, 无二次污染<sup>[6]</sup>。

## 1.3 生物方法

生物方法是目前最为常用的臭气处理方法, 主要有以下几种。

### 1.3.1 生物滤池法

生物滤池法是把收集的臭气先经过加湿处理, 然后经过湿润、空隙发达并长满微生物的生物滤层, 利用微生物细胞对恶臭物质的吸附、吸收和降解功能, 将恶臭物质分解成  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$  等简单无机物, 从而臭味加以去除。微生物的细胞个体小、表面积大、吸附性强、代谢类型多样, 因此恶臭处理效果较高。常用的滤池填料有海绵、干树皮、干草、木渣、贝壳、果壳及其混合物等。生物滤池的运行费用比较经济, 与普通物理化学脱臭方式相比, 它具有管理维护容易、运行费用低、脱臭效果好、对各类臭气适应性好的优点。缺点是一次性投资较大, 且  $\text{H}_2\text{S}$  降解时产生的酸会最终破坏有机介质, 需定期更换滤料或补充化学物质, 同时为了保证微生物的活性, 需创造适宜的湿度、酸碱度、含氧量、温度以及营养成分等环境条件, 且在试运行或运行工况改变时, 生物滤池有一段适应期。

### 1.3.2 土壤过滤法

土壤中的有机质及矿物质具有吸附能力,可以将臭气吸附、浓缩到土壤中,土壤中微生物的新陈代谢活动可以将其降解。该法在脱臭过程中应用了微生物,故也称为生物脱臭方式的一种。空气分布系统是由穿孔管构成,铺设在生物土壤底部。臭气依靠风机进入穿孔管,然后在土壤介质中慢慢扩散,向上扩散穿过土壤介质时,暂时被吸附在土壤介质的表面、微生物表面或薄膜水层中,然后被微生物吸收。参与微生物的生命活动,最终臭气被转化成 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 。土壤扩散层由粗石子、细石子和黄沙组成,臭气在土壤扩散层中均匀分布。土壤法具有设备简单、操作方便和运行费用极低的优点。但土壤脱臭法在处理高浓度或浓度变化较大的臭气方面,不太充分。此外占地较大( $1\text{ m}^3/\text{min}$ 的处理风量需要 $3\sim 5\text{ m}^2$ 土地)<sup>[7]</sup>,一般适用于臭气浓度低以及土地充裕的地方。另外为保证土壤脱臭法的脱臭性能,要时常注意土壤床的压力变化,定期松动土层或更替过滤砂层,同时加强除草、浇水等日常管理。一般而言,土壤脱臭法的建设费用比其他方式要低,但维护管理工作量较大。在常年积雪和土壤容易冻结的地方采用要慎重考虑。

### 1.3.3 曝气式活性污泥法

曝气式活性污泥法是将臭气以曝气的形式分散到活性污泥混合液中,通过悬浮生长的微生物的代谢作用来降解臭气物质,达到脱臭的目的<sup>[8]</sup>。1974年,日本有研究者<sup>[9]</sup>率先提出用臭气代替空气通入曝气池,在曝气充氧的同时降解臭气物质的除臭技术。试验研究表明,经过几天的驯化,活性污泥微生物可降解臭气物质,其去除率与活性污泥浓度、曝气强度、溶解氧和pH等因素有关。该方法对多种臭气物质如 $\text{H}_2\text{S}$ 、胺类化合物、低级醇、低级醛、低级脂肪酸等的处理效果都很好。对于污水处理厂来说,采用曝气式活性污泥法,只需在原有污水处理设施基础上增设风机和配管,将臭气引入曝气池内即可,因此该法系统简单,设备投资、维护管理费较少,十分经济。但需注意鼓风机与配管等的防尘和腐蚀保护,另外活性污泥特有的气味也应事先考虑到。但使用该法时也应结合曝气池和系统运行等特性,曝气池水深、曝气强

度、污泥浓度、酸碱度以及营养物质的平衡等都会影响曝气式活性污泥法的除臭率。

### 1.3.4 腐殖活性污泥法

日本20世纪80年代开发了一种新型的污水处理技术:腐殖活性污泥法。该技术是在传统的污水生物处理系统中增设了腐殖土反应器(液体解臭器),基本工艺流程为:污水经过预处理后,进入生物反应池与经腐殖土反应器处理的浓缩污泥、二沉池回流污泥充分混合,其中的有机污染物被降解;反应池出水流入二沉池固液分离,上清液排放,沉淀浓缩的污泥一部分回流,另一部分进入浓缩池;浓缩池排出的污泥一部分经后续的污泥处理工艺处理后外运或用作肥料,另一部分进入腐殖土反应器与腐殖土填料充分接触、反应后,同二沉池污泥一起回流至生物反应池。试验研究表明,增设腐殖土反应器后,曝气池活性污泥的生物相发生了明显变化,不但污水处理效果提高(尤其是氮磷的去除效果显著改善),污泥产率降低,污泥脱水性好,而且整个污水处理系统几乎不产生臭气,究其原因可能与生长于腐殖土中的光合细菌有关<sup>[10]</sup>。该方法不仅实现了除臭,还提高了污水处理效率,改善污泥性能,实现了整个污水处理厂的高效运行。该方法已在日本<sup>[11,12]</sup>和韩国<sup>[13]</sup>多个污水处理厂内应用并得到了理想的效果。

## 2 除臭工艺比较(见表1)

### 3 臭气分布规律

城市污水处理厂的恶臭气体主要来源于污水和污泥的处理单元。各个处理单元所产生的臭气量、臭气排放强度和恶臭物质种类上存在明显差异。

1988年,Frechen<sup>[14]</sup>对德国100座污水处理厂臭气源进行了调查,结果显示:其中污泥浓缩池产生臭气量占总臭气量的26%,污泥脱水段占17%,曝气沉砂池占13%,初沉池占11%,其余工段均在10%以下。2004年,Frechen<sup>[15]</sup>又报道了城市污水处理厂各个污染源恶臭排放强度的调查结果,结果显示:在污水处理厂的多个处理工段中,格栅、曝气沉砂池、初沉池进水堰、调节池、预酸化池和一级污泥浓缩池的平均臭气浓度明显高于其他工段,分别为 $5\ 200\ \text{OU}/\text{m}^3$ (格栅)、 $3\ 200\ \text{OU}/\text{m}^3$ (曝气沉砂池)、

表 1 除臭工艺比较

工艺名称	适用工程	投资运行成本	优点	缺点
活性炭吸附法	低浓度臭气处理或后处理	根据活性炭更换数量与频率而定	有效去除 VOC,对低浓度恶臭处理去除有效可靠	不适用大气量、高浓度,活性炭更换成本高、劳动量大
化学试剂法	高浓度	中投资、中运行成本	较高去除率,可适用高浓度、大气量	处理费用高,产生二次污染维护操作复杂
高级氧化法	高浓度	低投资、中运行成本	简单有效适用各类恶臭物质	运行耗电量大
生物滤池法	低~中浓度	中投资、低运行成本	经济简单高效,适应性强	占地面积大,受温度湿度 pH 条件影响,存在易堵塞板结等问题
土壤过滤法	低~中浓度	低投资、低运行成本	经济,维护简单	占地面积大
曝气式活性污泥法	低~中浓度	低投资、低运行成本	经济有效,适用于改造或土地有限项目	曝气池本身气味影响管道防腐蚀要求
腐殖活性污泥法	低~中浓度	低投资、低运行成本	经济有效,适用于改造或土地有限项目,整体提升污水处理厂运行效果	加强系统运行管理

7 700 OU/m<sup>3</sup> (初沉池进水堰)、10 000 OU/m<sup>3</sup> (调节池)、48 000 OU/m<sup>3</sup> (预酸化池)和 67 00 OU/m<sup>3</sup> (一级污泥浓缩池)。席劲瑛等<sup>[16]</sup>对某市污水处理厂内曝气沉砂池、粗格栅和污泥脱水机房的 H<sub>2</sub>S 和 NH<sub>3</sub> 的排放浓度进行了 9 个月的连续监测。结果表明,该污水处理厂主要恶臭源 H<sub>2</sub>S 的排放浓度为 0~9 mg/m<sup>3</sup>,NH<sub>3</sub> 排放浓度为 0~0.6 mg/m<sup>3</sup>,其中曝气沉砂池和粗格栅的 H<sub>2</sub>S 和 NH<sub>3</sub> 排放浓度均呈夏、秋季节高而冬、春季节低的特征,具有明显的季节变化,且雨天对臭气浓度也有较大影响。日本的青木真一等<sup>[17]</sup>针对污水处理厂中的 9 个不同位置,测定了 21 种恶臭物质的浓度,测定结果显示以硫化氢、甲硫醇、二甲基硫、二甲基二硫醚、氨和乙醛为主要污染物。其中,对于污水处理厂的上游构筑物(进水井、格栅、沉砂池、初沉池等),含硫物质是造成恶臭的主要原因;而对于下游构筑物(最终沉淀池、滤池等),醛类物质是造成恶臭的主要原因,出水中散发的乙醛浓度往往可以达到背景值的 15 倍。

上述资料显示,污水处理厂各工段的主要臭气源以污水预处理段(进水泵房、格栅、曝气沉砂池、初沉池、预酸化池等)和污泥处理段(污泥浓缩池、污泥

脱水机房)为主,其中预处理段的臭气物质主要是含硫物质而污泥处理段的臭气物质主要是醛类物质,另季节、温度、晴雨等气候条件对臭气浓度也有较大影响。

#### 4 除臭工程设计建议

根据上文所述的各臭气处理工艺特点及污水处理厂臭气分布规律,除臭工程设计中因注意依据污水处理厂各工段产生的不同臭气量和不同臭气物质与不同的处理工艺的特点结合,选择合适的处理工艺及手段,才能达到最为经济有效的处理效果。

目前国内外污水处理厂臭气处理仍然以生物处理为主,但是生物处理的限制在于处理负荷有限,受温度、pH、湿度等条件影响。且在实际运行中,负荷随季节变化较大,导致设计负荷较难把握,若设计负荷高则投资建设费用太高,长期使用不经济;若设计负荷低则在部分季节时段出现处理效果不好的问题。因此建议将传统生物处理法和高级氧化法相结合。

除臭设施的设计,应根据污水、污泥处理流程,针对臭气浓度高低,臭气物质种类、风量大小等参数的不同而区别考虑,具体建议见表 2。

表2 除臭设施设计选择工艺建议

处理工段	臭气分布规律	选择工艺	运行方式	优势
进水泵房、格栅、曝气沉砂池等污水预处理阶段	浓度较高,主要以含硫物质为主,构筑物相对集中,便于收集集中处理	高级氧化预处理,生物过滤或土壤过滤等后续处理	夏秋季负荷高时开启高级氧化预处理,其余时可直接通过生物处理	负荷高可降低后续生物处理负荷,保证生物处理处理效果;同时降低 H <sub>2</sub> S 反应对滤料的影响,延长滤料使用寿命
		高级氧化预处理,曝气池活性污泥法后续处理	夏秋季负荷高时开启高级氧化预处理,其余时可直接通过曝气池处理	曝气池活性生物法建设投资成本低,适用于改造工程或面积有限的项目
曝气池	浓度低,但范围广,面积大,收集集中处理成本高	腐殖活性污泥法		方法简便,工程建设投资少,从提高系统整体运行角度降低臭气浓度
污泥浓缩池、污泥脱水机房	浓度高,醛类物质为主,构筑物相对集中,便于收集集中处理	高级氧化预处理,生物过滤或土壤过滤等后续处理	夏秋季负荷高时开启高级氧化预处理,其余时可直接通过曝气池处理	负荷高可降低后续生物处理负荷,保证生物处理处理效果
		高级氧化预处理,曝气池活性污泥法后续处理	夏秋季负荷高时开启高级氧化预处理,其余时可直接通过生物处理	曝气池活性生物法建设投资成本低,适用于改造工程或面积有限的项目

## 5 结语

目前我国许多地区的污水处理厂都正在新建、改建除臭设施,但是由于缺乏相关经验和具体的技术规范指导,在工艺技术的选择上缺乏一定的盲目性。只有结合各类工艺的优缺点、臭气分布规律和特点以及污水处理厂自身的特点和要求,选择合适的工艺技术,才能实现整个污水处理厂经济高效的运行。

### 参考文献

- 1 韩金枝,赵洪梅,付腾飞. 污水处理厂除臭工艺及选择. 能源与环境, 2011,(2):86~87
- 2 孙政,周建忠,王胤. 城市污水处理厂除臭技术. 西南给排水, 2006, 28(5):5~8
- 3 杨勇,蒋岚岚. 臭氧在市政污水处理中的应用. 给水排水, 2009,(增刊):255~257
- 4 白希尧. 脉冲活化一次全部治理 CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 和烟尘研究. 环境科学研究, 1995,8(3):1~5,8(4):14~48
- 5 吴正华. 紫外光技术在污水恶臭气体处理中的应用. 公用科技, 2008,22(6):31~33
- 6 许小红,吴春笃,张波等. 低温等离子体处理污水厂恶臭气体的应用研究. 高压电技术, 2007,33(3):171~173
- 7 朱佳,董文艺,杜红,等. 污水厂恶臭控制技术进展. 水处理技术, 2006,32(2):6~8
- 8 尹军,王晓玲,赵玉鑫,等. 城市污水处理厂除臭技术. 环境污染治理技术与设备, 2006,7(8):90~94
- 9 金成英夫. 臭气的发生下水处理法. 腐殖活性污泥文献集. 日本:国土馆大学工学部, 2000
- 10 金成英夫. 腐殖活性污泥的处理特性. 腐殖活性污泥文献集. 日本:国土馆大学工学部, 2000
- 11 金成英夫. 长崎市小江原处理场的改造に伴う特\* 4/ 発生泥量のめて少ない腐殖活性泥法. 腐殖活性污泥文献集. 日本:国土馆大学工学部, 2000
- 12 金成英夫. 山之内町水质化・タ4の水処理能について. 腐殖活性泥文献集. 日本:国土馆大学工学部, 2000
- 13 韩美株式会社. 利用土壤微生物对废水进行脱臭的深度处理方法. 中国: CN1290663A, 2001
- 14 Frechen F B. Odor emission and odor control at wastewater treatment plants in West Germany. Wat Sci Tech, 1988,(20):361~266
- 15 Frechen F B. Odor emission inventory of Germany wastewater treatment plants odor flow rates and odor emission capacity. Water and Science Technology, 2004,50(4):139~146
- 16 席劲瑛,胡洪营,罗彬,等. 城市污水处理厂主要恶臭源的排放规律研究. 中国给排水, 22(21):99~103
- 17 Shinichi AOKI, Hiroyuki SUGIMOTO, Daiya BAMB. Analysis of odor compounds in sewerage process water and deodor methods. Journal of Japan Society on Water Environmental, 2004, 27(10): 643~649

※ 通讯处:215101 江苏省苏州市吴中区木渎镇金枫南路 198 号博济科技园 7 号楼 2 楼 薛韵涵  
 电话:(0512)66016535  
 E-mail:snowy630@163.com  
 收稿日期:2013-04-24