

城市生活垃圾卫生填埋场 恶臭的防治技术进展

石磊¹ 边炳鑫² 赵由才¹ 牛冬杰¹

(1. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 苏州科技学院环境科学与工程系, 苏州 215011)

摘要 恶臭污染已成为垃圾处理和处置过程中的严重公害。在分析中, 介绍了填埋场各区域恶臭的控制措施, 综述了卫生填埋场恶臭的常规防治技术, 重点讨论了生物技术在填埋场脱臭中的应用, 这些防治技术对各类环境卫生设施, 如垃圾收集站、中转站、焚烧场、堆肥厂及粪便处理厂的臭气治理均有借鉴意义。

关键词 卫生填埋场 恶臭 防治技术 生物脱臭

Technical progress of odor pollution prevention and control in municipal solid waste sanitary landfill

Shi Lei¹ Bian Bingxin² Zhao Youcai¹ Niu Dongjie¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092;

2. Department of Environmental Science and Engineering, University of Science and Technology of Suzhou, Suzhou 2150011)

Abstract Odor pollution has become a serious public hazard in the process of municipal solid waste (MSW) treatment and disposal. In the article, control measures of odor pollution in different areas of sanitary landfill are firstly introduced, then common prevention and control techniques for foul gas in MSW are summarized, and special emphasis is given to microbial deodorization methods in sanitary landfill. These techniques mentioned in this paper are suitable for waste gas treatment in all kinds of environmental sanitation facilities, such as MSW collecting stations, MSW transfer stations, incineration plants, composting plants and night soil treatment plants et al.

Key words sanitary landfill; foul gas; prevention and control techniques; biological deodorization

1 前言

我国城市生活垃圾年清运量约为1.4亿t, 除少部分焚烧、堆肥或回收利用外, 70%以上被运送到填埋场进行处置。在填埋场的中转、平铺、压实等过程中, 垃圾所产生的恶臭正严重危害着环境。恶臭气体按其组成可分成5类: ①含硫化合物, 如 H_2S 、 SO_2 、硫醇等; ②含氮化合物, 如氨气、胺类、吡啶等; ③卤素及衍生物, 如氯气、卤代烃等; ④烃类及芳香烃; ⑤含氧有机物, 如醇、酚、醛、酮等^[1]。

鉴于场内恶臭具有产生量大、持续时间长、影响范围广等特点, 在填埋场设计、运行和封场等过程中, 恶臭的防治问题均需要单独考虑, 以最大限度地降低恶臭污染。

2 填埋场不同区域的恶臭控制措施

通常填埋场布局分为垃圾中转区、填埋作业区、

污水收集区和生活管理区。根据臭气的来源和特点, 应采取不同的预防和治理措施: ①在中转或倾卸区, 应尽量保证垃圾运输车辆和贮存设施的封闭性, 减少垃圾停留时间, 及时清除陈腐垃圾, 并定时喷洒药剂或石灰等防蝇除臭。若有垃圾贮存坑, 则应使其处于负压状态, 以防止运输车辆接近起卸平台时自动门打开后溢出臭气。在转运完成后, 应及时收集洒落的垃圾, 并冲洗地面以消除渗滤液产生的恶臭; ②填埋操作应在尽量缩小的区域内快速高效地进行。减少平铺时垃圾的飞扬抛洒, 确保压实强度,

资助项目: 教育部“博士点”基金资助项目(20020247020); 江苏省科技发展规划(社会发展)项目(BS2004017); 江苏高校省级重点实验室开放研究课题资助项目(KJS03074)

收稿日期: 2003-11-07; **修订日期:** 2004-01-10

作者简介: 石磊(1977~), 男, 博士研究生, 研究方向: 城市垃圾填埋场的稳定化和资源化。

E-mail: shilei19770728@sina.com

并采取日覆盖与适时覆盖相结合的方式,避免垃圾的暴露。填埋完成后,最终覆土的厚度、材质必须遵守防臭规划;③在污水收集区调节池、厌氧塘、兼氧塘等处理设施的周围,应实行通路隔断,或建造防护林带、构建芦苇湿地等方式,减少臭气污染。鉴于填埋场在选址时就考虑到离周围居民较远,可以采用调节池加盖密闭,抽吸臭气后高空排放的技术路线;对于小型填埋场的调节池,也有加除臭菌种的尝试,但不要加入难降解的有机物,以免加重污水处理的难度;④生活管理区应处于填埋场的上风向,周围建有围墙、灌乔木、绿地、防护林等阻隔,并定时喷洒除臭防腐剂或其他有中和掩蔽作用的药剂。办公楼、宿舍、食堂、浴室等设施内应密闭,并采取空间消臭和强制通风相结合的方式,最大程度地降低恶臭影响。

3 恶臭的常规治理技术

从最初的扩散稀释、水洗,发展到传统的吸附、焚烧、化学吸收,直至新兴的生物脱臭、光催化氧化、臭氧氧化、等离子体分解等除臭技术,恶臭的治理不外乎是借助于物理、化学、生物手段,或其联合工艺,

通过稀释中和、吸收转化或生物降解等过程,减轻或消除之。

恶臭的常规防治技术(如表 1 所示)各有其优势和局限^[2-4]。物理法只适宜处理低浓度、范围小的恶臭,且成本较高;化学法除臭不持久,除臭设施投资和运行费用高;生物法虽成本低廉,效果好,但菌种的筛选培养较为困难,见效稍慢。

因此,应根据填埋场恶臭的特性、强度和除臭要求等,选用合适的治理技术,或采取联合工艺,以最大程度地降低恶臭,减少污染。

4 生物脱臭在填埋场的应用

4.1 常用的生物脱臭工艺

生物技术是在 20 世纪 50 年代土壤脱臭法的基础上发展起来的^[5],它利用微生物的降解作用,把恶臭物质分解转化成 CO_2 、 H_2O 、 N_2 、硫酸盐等无害物质,特别适用于处理水溶性的、可生物降解的低浓度臭气。该法因具有脱臭效率高、装置简单、成本低廉、运行维护方便、无二次污染等特点,在填埋场的除臭应用中前景看好。

表 1 恶臭的常规防治技术

Table 1 Conventional techniques for odor prevention and control

方 法	原 理 及 特 点
掩蔽中和法	按比例混合 2 种有气味的气体,以减轻恶臭;该法难以直接获得脱臭效果,成本高
稀释扩散法	用烟囱扩散臭气,或以无臭的空气将其稀释至可排放的浓度;需建烟囱,能耗大
物理法	冷凝法 将恶臭物质冷凝为液体除去;该法成本高,适于经过预处理的、浓度高、流量大的臭气
	水吸收法 操作简单,投资和运行成本较低;对不溶于水的恶臭物质净化效果不好,会产生废液
	吸附法 吸附剂有活性炭、硅胶、活性白土等;脱臭效率高,但吸附容量小、有二次污染
化学法	化学洗涤法 添加 NaClO 、 Cl_2 等氧化剂,将臭气中的有机硫和有机胺类物质氧化成臭味较轻或溶解度较高的化合物,然后用酸、碱吸收净化;适用范围广,但废液需要处理
	O_3 氧化法 利用臭氧的强氧化作用,将臭气氧化至无臭或低臭;对氨无效果,运行费用高
	光催化氧化 TiO_2 类催化剂在光照下,可产生高化学活性的、可杀菌除臭的 O 与 OH ;投资少、高效稳定、无二次污染,但对废气的预处理要求较高,并受到催化剂固定方式的影响
	热力燃烧法 在高温 ($\geq 760\text{ }^\circ\text{C}$) 下可较彻底将污染物净化,并可回收热量;但其投资与运行费用昂贵,仅适用于较小气量与较高浓度的场合,若反应室的结构稍有不佳,则脱臭不完全
	催化燃烧法 将燃气与臭气混合,于 $300\sim 500\text{ }^\circ\text{C}$ 通过催化床层;效率高、空时短,催化剂易中毒
生物法	生物过滤法 利用细菌、真菌、放线菌等微生物,将臭气中的有机成分降解为 CO_2 、 H_2O 等物质
	生物吸收法 利用生物洗涤塔和曝气池中的活性污泥,有效地吸附分解臭气,达到除臭目的
	土壤堆肥法 将污泥、垃圾、粪便等混合,通过好氧发酵抑制臭气的产生;装置紧凑、脱臭效率高
	矿化垃圾法 将臭气通过由矿化垃圾构建的生物滤床,该法取材易,成本低,效果好,前景好
	投加药剂法 利用各种微生物制剂的特殊功效,快速降解臭气,适用于各类环卫设施,简单方便
联合法	联合几种工艺,以满足较高的脱臭要求,如化学吸收-吸附、生物过滤-活性炭吸附串联工艺等

表 2 几种常用的生物脱臭工艺

Table 2 Several biological deodorization techniques

脱臭工艺	原 理	优 点	缺 点
生物过滤池	臭气经过除尘、增湿或降温等预处理后,从滤床底部由下向上穿过由滤料(主要有土壤、堆肥、泥炭等)构建的滤床,恶臭物质由气相转移到水-微生物混合相,通过固着于滤料上的微生物的代谢作用而被分解	投资运行费用极低,处理效率高,气液接触面积大,低压降,运行启动容易	占地大,需定期更换填料,操作条件不易控制,适应进气浓度变化慢,颗粒物会堵塞滤床
生物滴滤池	除臭过程生物滤池相似,但滤料是聚丙烯小球、陶瓷、木炭、塑料等不能提供营养物质的惰性材料,因此,只有针对某些恶臭物质而降解的微生物附着在滤料上,避免了滤池中混合微生物群同时消耗滤料有机质的现象	微生物数量大,无须更换惰性滤料,处理负荷大,缓冲能力强,运行费用低、压降低	需不断投加营养物,操作复杂,传质面积小,剩余污泥有待处理,营养过剩时微生物的繁殖会引起堵塞
曝气式脱臭	与废水的活性污泥法处理过程相似,将恶臭物质以曝气形式分散到含活性污泥的混合溶液中,通过悬浮生长的微生物降解臭气	经济、简单、可借鉴,污水处理设施,无须新建脱臭装置	受到曝气强度的限制,需控制气液体积比,单独用于除臭成本高
洗涤式脱臭	将恶臭物质和含悬浮泥浆的混合液充分接触,使之在吸收池中从臭气中去除掉,洗涤液再送到反应池中,通过悬浮生长的微生物的代谢活动降解溶解的恶臭物质	占地小、适用范围大,压降低,处理量大,操作条件易于控制	投资运行费用高,需不断投加营养物,操作复杂、传质面积小,剩余污泥有待处理

常见的生物脱臭工艺(如表 2 所示)有生物过滤法和生物吸收法^[6,7]。按滤料的不同,前者可分为过滤池和滴滤池脱臭;按气液接触方式不同,后者可分为曝气式和洗涤式脱臭。

在表 2 的生物脱臭工艺中,生物滤池法研究得最多,工艺也最成熟。其脱臭效率除受附着微生物、湿度、pH 值、温度、布气均匀性等影响外,滤料性能的影响也至关重要,近年来,草根碳^[8]、植物纤维^[9]、矿化垃圾^[10]等新型滤料也逐渐被运用到填埋气的脱臭中。同时,各种改进的滤池,如闭路悬浮滤池、转动式滤池和螺旋式生滤池,以及生物膜反应池等装置在气体脱臭上的应用也开始出现。

4.2 组合式生物脱臭工艺

鉴于传统生物脱臭可能对某些臭气的脱除效率不高,国外已有活性炭吸附-微生物降解组合工艺的应用^[11]。其中,活性炭可以大量吸收、吸附臭气中的 NH_3 、 H_2S 等物质,附着于活性炭生长的微生物经过驯化后,可吸收恶臭物质并将其降解,从而使得活性炭得到再生。这不仅延长了活性炭寿命,降低了除臭成本,使占地大为缩小,且获得了良好的除臭效果。

在组合式高效生物滴滤器中,通过添加一些增湿循环液的药剂,可强化生物处理系统效果^[4]。在该法中,臭气进入组合式生物滴滤器后,首先通过洗涤区除尘增湿,然后进入生化区去除恶臭物质组分,最终除雾脱水再经风机加压后由排气筒排放,与传统生物处理法相比,组合式高效生物滴滤器大大缩

小了占地面积,系统整合了气体增湿、生物净化、除雾等流程于一体,便于自动控制。

为避免进气中某些高浓度的恶臭物质对微生物产生毒害作用,致使脱臭效率下降,可以把生物法与化学法结合起来应用^[12]。其措施是前段串联 4 个湿式洗涤室,这样原臭气浓度就会降到微生物可承受的范围,再经过后段的 2 个并行的生物脱臭装置处理后,即可排放。

4.3 微生物菌群除臭剂

微生物菌群除臭剂能有效抑制致臭微生物的生理生化活动,使臭气消除效果比较持久。在填埋场内,它既可通过喷洒菌群稀释液,有效降低 NH_3 、 H_2S 等臭气的浓度;又可在生物脱臭池中添加高效除臭菌种,提高生物脱臭效率。因此,除臭剂空间除臭和局部强化脱臭技术的结合,将使填埋场中恶臭污染大大降低。

丁雪梅等^[13]已培育出在垃圾填埋场的除臭防蝇中有成功应用的复合型微生物制。罗永华等^[14]也从填埋场附近的土壤中筛选出菌珠,并研制出有明显脱臭效果的微生物除臭剂。美国一家公司生产的投菌活性污泥制品,其菌液含有 7 种菌属组分,可有效脱除臭气。

目前,微生物菌群除臭剂的发展方向是:①制备固定化微生物,如海藻酸钠包埋的固定化微生物对甲硫醇的去除率高达 90%;②筛选出对生化性较差的恶臭物质,具有特殊降解性能的高效广谱菌;③寻

找菌株的最佳组合,或存活容易、适应性强及遗传性稳定的优势菌株。如分解 H_2S 的黄单胞菌 DY44 等;④通过基因工程改造菌株,把许多降解特性组合在一起,培育超级脱臭细菌;⑤将除臭剂制剂化、商品化。

4.4 生物脱臭技术在填埋场的应用展望

随着我国卫生填埋场向着生态型和综合利用型方向的发展,场内的除臭问题已刻不容缓。结合填埋场的实际,生物脱臭技术,因其运行费用极低、除臭效果好、操作方便等特点,将逐渐成为场内大范围除臭的主导技术。

当前,我国对生物法的研究主要集中在工艺、材料上,有关微生物菌群方面的研究较为薄弱,微生物脱臭尚有许多亟待解决的问题,以后的研究方向应为:①选择适当的滤料,提高滤料的表面性能,使之既有效增强生物的吸附和吸收功能,又不造成滤料的堵塞;②筛选和驯化适当的微生物,针对性地降解特定的有机污染物,提高生物负荷;③建立微生物降解动力学模型,选择适当的运行参数及控制参数;④合理选择多种工艺串联,使之适合不同污染物组成的废气,降低总处理成本;⑤开发出结构紧凑、投资省、能耗低、运行稳定的生物处理系统、装置和设备。

5 结论

卫生填埋场的恶臭污染因其范围广、浓度高和危害大等特点,不仅严重危害着环卫人员的健康、影响周边经济的发展,而且已经成为一种社会公害,引起了全社会的广泛关注。

(1)我国环境卫生设施的臭气治理技术起步较晚,填埋场的恶臭治理极具代表性,根据场内不同区域规划和臭气特点,应采取相应的防治措施。

(2)常规的臭气治理技术各有其优缺点,在填埋场的臭气治理上,应因地制宜,根据臭气种类、流量和除臭要求,合理选用几种联合工艺,达到防治目的。

(3)作为一种清洁高效、经济简单的除臭方法,生物脱臭工艺在填埋场有广阔的应用前景,其中组合式生物脱臭、微生物菌群除臭剂等技术的发展完

善,将使其在各类环卫设施的恶臭污染防治上均获得广泛应用。

参考文献

- [1] 赵由才主编. 城市生活垃圾卫生填埋场技术与管理手册. 北京: 化学工业出版社, 1999. 125 ~ 139
- [2] Reij M. W., Keurentjes J. T. F., Hartmans S. Membrane bioreactors for waste gas treatment. *J. Biotechnol.*, 1998, 59: 155 ~ 167
- [3] 蒋芝君, 王鹏, 翟杰, 等. 恶臭的生物治理技术. *微生物学通报*, 2003, 30(2): 70 ~ 73
- [4] 吴冰思. 环境卫生设施臭气治理技术. *环境卫生工程*, 2003, 11(1): 20 ~ 24
- [5] Joanna E. Burgess, Simon A. Parsons, Richard M. Stuetz. Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: A review. *Biotechnology Advances*, 2001, 19: 35 ~ 63
- [6] Nishimura S., Yoda M. Removal of hydrogen sulphide from an anaerobic biogas using a bio-scrubber. *Water Sci. Technol.*, 1997, 36(6 ~ 7): 349 ~ 356
- [7] Tang H-M, Hwang S-J. Waste gas treatment in biofilters. *J. Air Waste Manage Assoc.*, 1996, 46: 349 ~ 354
- [8] Cho K. S., Hirai M., Shoda M. Enhance removability of odorous sulfur-containing gases by mixed cultures of purified bacteria from peat biofilter. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 1994, 73(3): 219 ~ 224
- [9] 方向平, 罗永华, 邓穗儿, 等. 生物滤池处理生活垃圾恶臭. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(1): 34 ~ 36
- [10] 张华, 赵由才. 矿化垃圾生物反应床处理 NO_x 废气的工艺与机理研究. *给水排水*, 2003, 29(5): 98 ~ 102
- [11] Kennes C., Thalasso F. Waste gas biotreatment technology. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 1998, 72: 303 ~ 319
- [12] Marc A. Deshusses. Biological waste air treatment in biofilters. *Environmental Biotechnology, Current Opinion in Biotechnology*, 1997, 8: 335 ~ 339
- [13] 丁雪梅, 李维炯. BM 微生物制剂在垃圾处理中除臭抑蝇的作用. *城市管理与科技*, 2003, 5(1): 71 ~ 73
- [14] 罗永华, 邓穗儿. 一种新型微生物除臭剂的垃圾除臭实验. *城市环境与城市生态*, 2003, 16(3): 23 ~ 25