

污水处理厂的污泥处置与生物堆肥法的利用*

陈雁

陈育如 唐刚 刘友芬

(南京师范大学环境保护科学研究所,南京 210097) (南京师范大学微生物工程重点实验室,南京 210046)

摘要 污泥处置是污水处理的后续阶段和重要过程,在整个污水处理过程中占有重要地位。污泥处置方法通常有填埋、焚烧、制砖、堆肥等多种方法,其中生物堆肥法是目前污泥处理的主要发展方向。提出使用微生物发酵剂结合污泥和辅料特点进行全量化和无害化处理的方法,对污水处理厂的污泥处置与合理利用进行了分析,以期污泥处理及综合利用提供参考。

关键词 污水处理 污泥 资源利用 生物堆肥

0 引言

我国每年的污泥产量约以 10% 的速度在递增,2006 年,我国 661 个设市城市中共建成污水处理厂 791 座,污泥产量(干重)约 173 万 t^[1]。这些污泥通常是由有机残体、菌体、无机颗粒、胶体等组成,其中活性污泥有机物含量高达 60%~70%^[2]。而污泥的随意弃置给环境造成污染,因此污泥的处理是环境生物修复的重要步骤^[3]。我国污泥中总氮、总磷、总钾平均含量分别为 3.03%、1.52%、0.69%,超过国家堆肥需要的养分标准,所以污泥是很好的有机肥源^[4]。

污泥用作肥料在农业上的利用已被许多国家大量采用,在农业应用污泥的比例方面,法国为 60%、丹麦 54%、西班牙 50%、英国 44%、美国 26%,但我国污泥农用的比例较小(不足 10%)。在美国,许多污水处理厂将污泥经生物堆肥法后,再经干燥及颗粒化后成为商品,这种颗粒肥易于同其他肥料混合,便于运输及使用^[2]。

影响污泥农用的主要因素是病原体、难降解有机物以及重金属污染等,而生物堆肥法是减少上述污染

* 南京师范大学高层次人才科研启动基金项目资助

因素的有效措施之一,是国际上从 20 世纪 60 年代迅速发展起来的一项新兴生物处理技术^[5]。利用不同的微生物对污泥中易腐有机物进行生物降解,可以使之成为具有良好稳定性的腐殖土状肥料^[4]。因此,污泥的生物堆肥法的应用将为污水处理厂产生的污泥处置提供一个良好的绿色处理途径。

1 污水处理工艺与污泥的产生

城市污水处理厂一般采用生物处理工艺,生物处理又分为活性污泥法和生物膜法,绝大多数城市污水处理厂采用活性污泥法处理工艺,该工艺能有效地去除城市污水中的主要污染物,处理费用节省,操作管理方便,是成熟的污水处理工艺^[6]。典型的污水处理工艺流程见图 1 所示。

由图 1 可见,污泥是在污水处理过程的不同阶段中产生的,具体由沉砂池污泥、初次沉淀池污泥、二次沉淀池污泥和最后剩余污泥组成。不同的污水处理法产生的污泥量与污泥成分有所不同。

常用的污水处理法有吸附-降解法(adsorption biodegradation, AB),三沟式氧化沟法,序批式处理法(sequencing batch reactor, SBR)法,缺氧-好氧处理

上海环境科学,1994,13(10):39-40

[2] 傅志芳,华宏星.模态分析理论与应用.上海:上海交通大学出版社,2000

[3] 徐金锁,任兴民,范春虎.相机结构系统的试验模态分析.机械科学与技术,2005,24(5):543-545

[4] 朱静,左言言,吴爽,等.轻型客车车身的有限元模态分析.噪声与振动控制,2004(2):23-25

[5] 申秀敏,左言言.洗衣机机箱模态试验研究.家电科技,2006(8):63-65

[6] Bathe K J, Wilson E L. Numerical methods in finite element analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1976:353-386

[7] 博嘉科技.有限元分析软件-ANSYS 融会贯通.北京:中国水利水电出版社,2002

作者通信处 左言言 212013 江苏大学振动噪声研究所

E-mail xuchao1982428@163.com

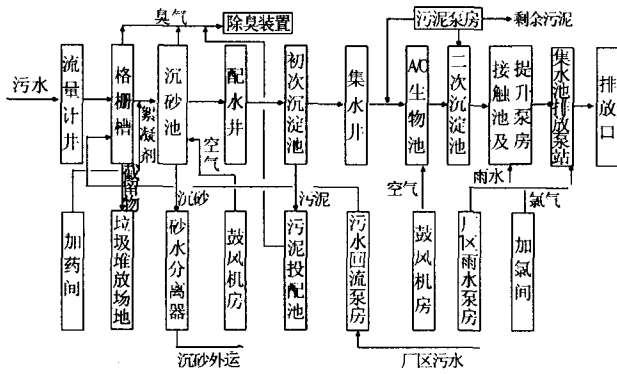


图1 污水处理工艺流程图

(A/O)法,一体化活性污泥法等等。各种处理方法的优缺点见表1。

表1 几种不同污水处理方法的优缺点比较

污水处理方法	优点	缺点
AB法	成熟的脱氮除磷工艺、运行经验较多、能耗低。	不适合低浓度进水要求、产泥量大。
三沟式氧化沟法	工艺较成熟、处理流程简单。	占地面积与装机功率大、利用率低。臭气收集较困难、处理成本高。
SBR法	节省占地和投资、耐冲击负荷、运行方式灵活。	每池均需曝气和输配水系统、池容的利用率不高。
A/O法	常规的脱氮除磷工艺,有成熟的运行经验可供借鉴,管理维修方便。	处理构筑物多,占地多,地基处理费用高。机械设备多,维修不易。回流污泥量大,耗电多。臭气收集较困难、处理成本高。
一体化活性污泥法	便于管理、可调节厌氧、缺氧时间,适应水质变化,脱氮磷效果好,容积利用率高。占地省、地基处理费用少、无刮泥机械、维修量少。投资省、运行费用少、处理成本低。流程简单、构筑物少、废气收集容易。	运行管理经验尚需积累、对自控要求较高。

一体化活性污泥法和类似的连续流序批式活性污泥系统(TCBS)、改良型序批反应器 MSBR(modified sequencing batch reactor, MSBR)工艺一样,都是SBR法新的变型和发展。它集“序批法”、“普通曝气池法”及“三沟式氧化沟法”的优点,克服了“序批法”间歇进水、“三沟式氧化沟法”占地面积大、“普通曝气池法”设备多的缺点,能有效地完成有机物和氮磷的去

除^[7]。处理的有机物与氮磷等以污泥的形式转至污泥中。一体化活性污泥法具有许多优点,是目前大多数城市污水处理厂采用的处理方法,这种方法得到污泥因其有机物含量及氮磷含量高,更适合于生物堆肥处理。

2 污泥排放标准、处置原则和卫生指标

从污泥产生的角度,有《城市污水处理厂污水污泥排放标准》(CJ3025-93)部颁标准。污泥处理后,如农用时须对其中的污染物进行控制,具体标准有《农田污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)标准。两者从污泥的产生到应用对有关指标进行了规范。

污泥处理处置时,除要符合有关标准外,从保护环境和资源综合利用出发,采取因地制宜,经济合理的措施非常重要。在进行污泥的生物堆肥处理前,若能尽量减少含水量(<80%),则更有利于处理的进行。

污泥处理前后,有关卫生方面的指标如细菌总数,大肠菌群以及虫卵等是判断处理有效性的重要依据,如处理前有的污泥中细菌总数可达 4.72×10^7 个/g干泥,其中包括一些病原菌,虫卵量有的达 2.3×10^5 个/g干泥。通过生物高温堆肥,由于接入有益微生物的新陈代谢作用,产生的大量的热量,使物料升温,在50~70℃的温度可持续多天。待堆肥基本完成后,污泥中病原菌、寄生虫(卵)以及杂草种子等可被杀死,物料达到无害化的要求。

3 污泥处置方法分析

污水处理厂污泥处置是整个污水处理工程最重要的环节之一,如不妥善处置会产生二次污染。目前污泥处置方法主要有:填埋、堆肥、焚烧和污泥制砖^[11-12],其中填埋和堆肥是最主要的处理方法。

3.1 填埋

污泥的卫生填埋优点是投资较少、容量大、见效快、易操作,缺点是占用土地资源。另外污泥中所含的丰富生物有机质,在填埋后易分解、排出渗滤液和产生恶臭及生物废气,易产生二次污染。因此这种处理方法的成本越来越高,有必要寻找更为理想的方法。

3.2 焚烧与制砖

焚烧对污泥减容减量化程度很高,能比较彻底消除污泥污染问题,缺点是设备投资大,运行费、能耗均很高,操作管理复杂,在我国现有的经济条件下较难接受,另外焚烧过程也会产生大气污染。焚烧的高成

本并且没有利用污泥的资源化特点以及后续的尾气处理等问题限制了其发展,尤其是经济欠发达地区,焚烧技术更是难以推广^[13]。污泥制砖的方法有两种,一是利用干化污泥直接制砖,另一种是污泥焚烧制砖。目前该方法运用较少,尚需进行进一步的研究。

3.3 污泥的堆肥处理

堆肥是可资源化利用的处理方法,污泥中含有丰富的有机物和一定量的纤维素、木质素以及 N、P、K 等营养元素和植物生长必须的各种微量元素 Ca、Mg、Zn、Cu、Fe 等,若能进行适当的加工处理、综合利用,可实现污泥资源化,充分发挥消除污染、保护环境的作用。利用纸浆污泥和烟草废料的联合堆肥处理研究表明,不同菌株的协同作用加快了处理速度,降低了物料含水量,提高过程效率。发酵后得到的有机物可以作为无公害生产用肥的原料^[14]。

生物堆肥处理相对成本低,有利于推广,是污泥实现稳定化、无害化、资源化、减量化的重要方法,在国外,污泥生物堆肥处理后农用的处置方式被广泛采用。在生物堆肥处理工艺中,微生物菌剂使用可提高堆肥的效率与质量,一般流程见图 2 所示。

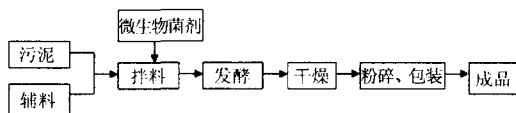


图2 污泥的生物堆肥法流程图

适用于生物堆肥的微生物种类很多,主要有细菌、放线菌、真菌、酵母等^[15]。污泥处理所用的微生物发酵剂中,可以使用以下微生物:曲霉属(*Aspergillus Micheli ex Fr.*)、侧孢霉属(*Sporotrichum*)、毛霉科(*Mucoraceae*)、青霉属(*Penicillium sp.*)、地霉属(*Geotrichum sp.*)、脉孢霉属(*Neurospora*)、芽孢杆菌属(*Bacillus sp.*)、酵母菌目(*Saccharomyces sp.*)、放线菌目(*Streptomyces sp.*)的微生物。采用复合菌群的发酵剂,利用好氧发酵方式,可以建立常温、中温、高温协同递进、功能互补,酶系互补的高效转化菌群体系,充分发挥各菌株的优势,提高降解效率。使污泥有机废弃物在复合菌群的作用下迅速降解与转化,成为良好的有机肥料或微生物肥生产基质^[16]。

4 污泥中的重金属问题

城市污水中,如果工业废水比重较大,则重金属含量较多,经处理后相当一部分重金属转移到污泥中,因此污泥堆肥农用须考虑农用标准和施肥土壤的

重金属背景值。但如果废水来源以生活污水为主,则重金属的量则要少得多,另外,生物堆肥处理对污泥中重金属有钝化作用,可减轻其污染。表 2 是以生活污水为主的污水处理厂出水中的金属离子含量检测报告,其中的金属离子含量相对较低。

表 2 一个污水处理厂出水中的金属离子含量 mg/L

项目	铜	锌	铅	镍	镉	总钾	六价铬	总铬	汞	砷
出水	-	0.89	-	2.56	0.009	25.0	0.003	0.004	-	-

注:-:未检出

从表 2 中可以发现该出水中未检出铅、汞、砷等。按照《城市污水处理厂污水污泥排放标准》(CJ3025-93)规定的城市污水处理厂污水二级处理后最高允许排放浓度,六价铬 < 0.5 mg/L、总铬 < 1.5 mg/L、总镉 < 0.1 mg/L,该出水中各相应指标的含量(六价铬: 0.003 mg/L、总铬: 0.004 mg/L、镉: 0.009 mg/L)均低于标准值。

因此,如果生物处理后各批的处理物中重金属指标不超标,则可作为农用;在处理工业污水产生的污泥处理后重金属含量较高时,则可考虑作为城市绿化用肥。

对于污泥处理后的农用,其中的污染物质可按《农田污泥中污染物控制标准》(GB4284-84)进行判断,很多情况下还需考虑所施用土壤的性质。以镉为例,在 pH < 6.5 的酸性土壤上,最高容许含量为 5 mg/kg(干污泥);在 pH ≥ 6.5 的中性和碱性土壤上,其含量为 20 mg/kg(干污泥)。

5 污泥处置工艺的技术经济比较

污水处理厂产生的污泥中含有大量的水分,因此污泥的脱水处理是一个重要的技术与经济问题,通常有浓缩脱水和消化脱水处理等方法,浓缩脱水时所需投加的絮凝剂量大,因而污泥产生量也大一些。消化脱水时,有部分污泥被转化,故最终的干污泥量变少,消化过程中产生的沼气还可补充处理过程的部分能源消耗。两种污泥处理工艺的技术经济性比较见表 3。

污泥经厌氧消化后,其中的有机物可转化为稳定的腐殖质,使污泥量减少 20% ~ 30%,且更容易脱水,从而减少污泥的运输和处置费用,同时抑制了病原微生物,并获得沼气。产生的沼气可用于污泥加热^[8-9]。但污泥厌氧消化过程中,污泥中聚集的磷将被部分释放,不利于生物除磷,另外消化脱水的投资也比浓缩脱水高得多,折合成每吨污水处理费用也高

一倍左右^[10]。在做好污泥脱水的基础上,污泥处理的农用化将处于主导地位,焚烧和填埋将在有适宜条件的地方起到很好的补充作用。

表3 污泥脱水处理工艺的技术经济比较

项目	污泥处理方案	
	浓缩脱水处理	消化脱水处理
工程费用/万元	2 254	6 981
沼气产量/($\text{万 m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)		15.0
最终干污泥量/($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	26.00	20.0
投药量/($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)	90.00	66.0
年污泥处置费/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	48.73	37.5
年消耗燃料费/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)		108.0
动力费/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	52.03	141.9
年药剂费/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	164.25	120.5
检修维护费/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	54.10	167.5
折旧费/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	108.19	335.1
年经营费/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	343.11	613.4
年总费用/($\text{万元} \cdot \text{a}^{-1}$)	451.30	966.5
折合成每吨污水费用/($\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$)	0.041	0.088

6 结论

污水处理厂产生的污泥是一宗数量巨大的资源,合理的处理与利用是关系到污水处理厂经济运行与生态保护的重要问题,因地制宜,采用适当的技术进行处理,可以减轻或消除污染,变废为宝。

污泥的处理措施有露天搁置、填埋、焚烧、热解和生物堆肥处理等多种方法。各种方法在应用时都存在一定的有利与不利条件^[17]。生物堆肥处理后农用是国际上污泥处理的发展趋势。现已被许多国家大量采用,占污泥处理的比例也在不断增大中,与其他处置方法相比,它是一种资源化、变废为宝、化害为利的有效处置方式。

污泥经生物堆肥处理后,其中的病原菌、寄生虫(卵)、杂草种子等可被杀死,挥发性成分减少,速效养分含量增加,臭味减低或消失,重金属的价态转化,污染减少,成为比较稳定的物质^[18]。

我国污水处理厂产生的污泥数量巨大,急需得到高效、低耗、升值化的处理,加入有益微生物发酵剂的生物堆肥处理方法应用前景广阔,开发潜力大,是一种值得大力开发与推广的技术,符合我国国情,是污泥无害化、资源化的有效途径之一。

参考文献

- [1] 普大华,吴学伟,李洁.城市污泥处理处置技术对比.中国水运,2007,7(2):73-74
- [2] 刘亮,张翠珍.污泥燃烧热解特性及其焚烧技术.长沙:中南大学出版社,2006
- [3] 陈育如,杨启银,何萍.污染物的降解与环境的生物修复.环境保护,2001(10):16-18
- [4] 徐强,张春敏,赵丽君.污泥处理处置技术及装置.北京:化学工业出版社,2003
- [5] Wang Jianlong, Wang Jiazhuo. Application of radiation technology to sewage sludge processing: A review. Journal of Hazardous Materials, 2007, 143(1-2):2-7
- [6] 徐向红,李志娟.城市污水处理工艺综述.新疆大学学报(自然科学版),2003,20(1):109-112
- [7] 王学闯,魏晓安.一体化活性污泥法在污水处理中的应用.广州化工,2006,34(5):57-59
- [8] 戴前进,方先金,邵辉煌.城市污水处理厂污泥厌氧消化的预处理技术.中国沼气,2006,25(2):11-14
- [9] Raf Dewil, Jan Baeyens, Lise Appels. Enhancing the use of waste activated sludge as bio-fuel through selectively reducing its heavy metal content. Journal of Hazardous Materials, 2007, 144(3,18):703-707
- [10] 陈世朋.污水处理中的污泥脱水技术研究进展.污染防治技术,2006,19(1):16-19
- [11] 刘帅霞.城市污水处理厂污泥制砖的可行性研究.中原工学院学报,2006,17(1):47-49
- [12] Zhang Panyue, Zhang Guangming, Wang Wei. Ultrasonic treatment of biological sludge: Flocculation, cell lysis and inactivation. Bioresource Technology, 2007, 98(1):207-210
- [13] Tamer Karayildirim, Jale Yanik, Mithat Yuksel, Henning Bockhorn. Characterisation of products from pyrolysis of waste sludges. Fuel, 2006, 85(10-11):1498-1508
- [14] 陈育如,骆跃军,李雪梅.纸浆污泥和烟草废料的联合堆肥处理研究.江苏农业科学,2005(1):92-94
- [15] Yezza A, Tyagi R D, Valéro J R, et al. Bioconversion of industrial wastewater and wastewater sludge into Bacillus thuringiensis based biopesticides in pilot fermentor. Bioresource Technology, 2006, 97(15):1850-1857
- [16] 陈育如,李雪梅,骆跃军,等.微生物发酵剂. ZL 200410065178.0. 2004
- [17] 戴逸琼.污水处理厂污泥处置的环境制约因素分析.浙江建筑,2007,24(3):57-59
- [18] 高定,郑国砥,陈同斌,等.堆肥处理对排水污泥中重金属的钝化作用.中国给水排水,2007,23(4):7-10

作者通信处 陈雁 210097 江苏南京 南京师范大学环境保护科学研究所

电话 (025)83598967

E-mail jschenyan@126.com