

城市污水厂污泥深度脱水中试研究*

陈婉如¹ 龚丽芳^{2,3} 陈繁忠² 马迎辉^{2,3} 叶挺进¹ 李益洪¹

(1. 佛山市水业集团, 广东 佛山 528000; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 佛山镇安污水处理厂污泥原采用离心机脱水方式, 脱水后污泥含水率为80%左右, 难以满足填埋要求。为解决该问题, 开展了污泥深度脱水中试, 将浓缩污泥经化学调理后, 再用厢式压滤机压滤脱水。中试试验表明: 采用有机絮凝剂—无机絮凝剂—生石灰联合调理方法, 脱水效果最好, 脱水泥饼含水率最低可达33%, 无侧限抗压强度可达62.5kPa, 抗剪切强度可达46.5 kN/m²。脱水污泥可满足混合填埋和垃圾填埋场覆盖土材料的要求。

关键词: 污泥; 化学调理; 深度脱水; 厢式压滤机

A PILOT STUDY ON DEEP DEWATERING OF MUNICIPAL SEWAGE SLUDGE

Chen Wanru¹ Gong Lifang^{2,3} Chen Fanzhong² Ma Yinghui^{2,3} Ye Tingjin¹ Li Yihong¹

(1. Foshan Water Group, Foshan 528000, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences,

Guangzhou 510640, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: After centrifugal dewatering, the moisture content of the sludge from Zhen'an Sewage Treatment Plant is about 80%, which is difficult to meet the requirements of landfill. To solve the problem, the pilot test of deep dewatering was carried out, using the high-pressure membrane filtering to filter and dewater after the chemical conditioning of thick sludge. The results show that after regulating with organic flocculant-inorganic flocculant-quicklime process, the water content in sludge cake can reach 33%, unconfined compressive strength is up to 62.5kPa, and shear strength can reach 46.5 kN/m², which can meet the landfill and landfill cover soil material standards.

Keywords: sludge; chemical conditioning; deep dewatering; high-pressure membrane filtering

0 引言

城市污水厂剩余污泥含水率高, 污泥中有机质、氮、磷含量也较高, 易腐败。污泥(以含水率97%的污泥计)产生量通常为污水处理量的0.3~0.5%^[1]。在我国, 随着大量城市污水处理厂兴建, 污泥量大增, 但污泥处理、处置设施还不完善、不配套, 污泥随意处置、堆放现象严重, 污染问题突出。污泥最终处置途径的选择, 需综合考虑污泥性质, 以及当地环境条件、发展水平等。据有关资料^[2], 美国污泥土地利用占55%, 填埋占30%, 干化焚烧占15%(2007年)。欧盟土地利用占52%, 填埋占18%, 干化焚烧占23%, 其他7%(2006年)。我国污泥处置产业起步不久, 污泥最终处置方式大多仍是填埋^[3]。但实际上, 大多数污水处理厂污泥仅经常规脱水处理, 含水率为80%左右, 体积大、松软、土工强度差、易腐败、有恶臭, 难以满足GB/T 23485—2009《城镇污水处理厂处置—混合填埋泥

质》要求。因此在我国污泥处置实践中, 污泥深度脱水是一个亟待解决的重要环节。

机械脱水是一个相对节能的污泥脱水方式^[4]。由于污泥中水分相当大部分是间隙水和生物持水, 脱水困难, 因此发展污泥化学调理方法以及各种有助于脱水的高效预处理手段, 对提高污泥机械脱水性能、实现污泥深度脱水工艺产业化具有重要意义^[5]。

佛山镇安污水处理厂污水处理能力20万t/a, 污泥脱水工艺目前采用的是离心脱水方式, 脱水后污泥含水率为80%左右, 日均产生污泥量约60t(含水率80%计), 难以满足填埋要求, 污泥的出路成为一个难题。本研究开展了污泥深度脱水的中试试验, 着重对污泥调理药剂配方与方法进行了优化, 旨在为解决该厂污泥深度脱水问题提供技术支持。

1 中试方法

1.1 主要设备

镇安污水处理厂污泥深度脱水中试设备包括配药、加药、化学调理系统和压滤系统, 核心设备是厢式

* 中科院佛山市院市合作项目(2010YS005)。

压滤机,包括进泥系统、隔膜压滤系统,吹脱系统和卸料系统。其主要设备和技术参数如表1。

表1 污泥深度脱水中试主要设备

项目	设备名称	生产厂家	数量/台	主要参数
压滤系统	厢式压滤机	无锡通用	1	过滤面积 0.49 m ² 滤室总容量 0.59 m ³
	压榨泵	兰州耐驰泵业	1	Q=0.5~2 m ³ /h H=80 m N=1.5 kW
	空压机	无锡开益	1	排气量 1.6 m ³ /min 最大排气压力 1.0 MPa N=15 kW
配药、加药调理系统	搅拌机	无锡通用	1	N=2.2 kW 转速=60r/min
	配药罐	无锡通用	1	容积 1.5 m ³
	进泥泵	兰州耐驰泵业	1	Q=0.5~2 m ³ /h H=80 m N=1.5 kW

1.2 污泥调理药剂

试验采用的污泥调理药剂主要有有机絮凝剂(阳离子型聚丙烯酰胺,商品名 KW)、无机絮凝剂(氯化铁)、生石灰。

1.3 试验流程

污泥深度脱水处理包括污泥浓缩、污泥调理、压滤脱水和泥饼处置4个步骤,其工艺流程见图1。剩余污泥在污泥浓缩池进行浓缩后,排入污泥调节池,按设计的配方和添加量投加污泥调理剂,污泥经过调理后,输送至高压压滤厢体中。压滤机各滤板是链动设计,可实现移动控制,滤板有多个突起,增加受力面积,污泥由中间进入并向周边扩散,确保受力均匀。压滤过程是利用过滤板、隔膜板和滤布组成的过滤单元,在液压系统恒压压紧所有滤板的条件下,利用进料泵压力在进泥过程中对物料进行初步固液分离,进泥时间一般为30~110 min,进料结束后,注入高压水到隔膜板腔对泥饼进行压榨,提高压滤机脱水效率。压滤时间一般为60~120 min,压力为1~1.2 Mpa。然后利用高压空气吹气约1 min,吹脱压滤机中心进泥管中的污

泥及空腔内的滤液,之后缓慢松开压滤机滤板,排尽剩余滤液。最后卸除压滤机内的泥饼至皮带输送机运出。工作周期约为1.8~3.7 h。

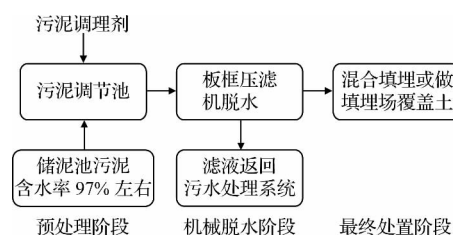


图1 污泥深度脱水处理流程

2 试验结果与分析

2.1 试验结果

中试前后进行半年时间,对其中11次采集所得的试验数据进行详细记录。运行过程中调整了调理药剂配方、添加比例,并对进泥量、进泥时间、压滤时间等操作参数进行了调整,重点考察污泥调理药剂配方、投加量对污泥脱水效果的影响,并寻找合理优化的药剂配方和工艺参数。试验结果如表2所示。

表2 污泥深度脱水试验结果

KW 投加量/kg	氯化铁投药量/kg	石灰投加量/kg	出泥含水率/%	进泥量/m ³	绝干污泥量/t	KW 药耗/(kg·t ⁻¹)	氯化铁/(kg·t ⁻¹)	石灰药耗/(kg·t ⁻¹)	进泥时间/min	压滤时间/min	二次加压压力/MPa
3	4.9	—	59	1	0.030	100.0	163.3	—	110	110	1-1.2
3	3	—	62	0.71	0.021	140.8	142.9	—	110	120	1-1.2
3	3	—	61	0.71	0.021	140.8	142.9	—	110	—	1-1.2
—	2	2.8	55	0.88	0.026	—	76.9	107.7	70	110	1-1.2
—	5	4	59	1.11	0.033	—	151.5	121.2	70	120	1-1.2
—	3	4	59	1.01	0.030	—	100.0	133.3	70	120	1-1.2
—	3	5	56	1.04	0.031	—	96.8	161.3	70	100	1-1.2
1	—	5	53	0.87	0.026	38.46	—	192.3	30	100	1-1.2
1	2	2.8	58	1	0.030	28.57	66.7	93.3	80	110	1-1.2
0.2	3	4	46	1	0.030	6.67	100.0	133.3	45	60	1-1.2
0.1	2	4	33	1	0.030	3.33	66.67	133.3	70	60	1-1.2

由表2可见:采用有机絮凝剂(KW)、无机絮凝剂(氯化铁)联合调理,出泥含水率可达到59%~62%;采用无机絮凝剂(氯化铁)、石灰联合调理,出泥含水率可达到55%~59%;采用有机絮凝剂(KW)、石灰联合调理,出泥含水率可达到53%;采用有机絮凝剂

(KW)、无机絮凝剂(氯化铁)、石灰联合调理,出泥含水率可达到33%~58%。

从试验结果可以看出:单纯采用有机絮凝剂(KW)、无机絮凝剂(氯化铁)联合调理,尽管药剂添加量已经比较大,但污泥脱水效果仍不够理想,污泥含水

率在60%上下。无机絮凝剂(氯化铁)、石灰联合调理后脱水,出泥可以达到填埋所需的含水率要求,说明石灰对提高污泥脱水效果明显。有机絮凝剂(KW)、石灰联合调理,也取得良好脱水效果。

本次试验中,序号为10、11的污泥调理剂配方对提高污泥脱水性能最有效,其出泥含水率低至33%~46%,说明在无机絮凝剂-石灰调理系统中,添加少量有机絮凝剂,可大幅度提高脱水效果,但如有机絮凝剂添加过多,反而不利于提高脱水效果^[6]。综合本次中试结果,采用有机絮凝剂(KW)、无机絮凝剂(氯化铁)、石灰联合调理效果最好。单位质量绝干污泥药剂合理投加量分别为KW药剂3.33~6.67 kg/t,三氯化铁66.67~100 kg/t,石灰133.3 kg/t。

对试验序号11产生的污泥泥饼的土工力学指标进行了测试,结果显示,该泥饼的无侧限抗压强度为62.5 kPa (> 50 kPa),抗剪强度为46.5 kN/m² (> 25 kN/m²)符合填埋场覆盖土的土工强度要求。试验序号11产生的污泥泥饼外貌见图2。



图2 深度脱水后的泥饼

2.2 调理药剂配方对污泥脱水性能影响机理初步分析

由于生石灰来源广泛易得,在实际应用中有一定优势,因而絮凝剂-石灰联合调理系统近年来已有较多研究,以往研究表明^[7],石灰作为助凝剂,通过与污泥中腐植酸的作用形成多网格状的骨架,增强絮体强度,降低可压缩性,在高压挤压下可保持透水性滤层,从而提高脱水率。本试验结果也进一步证实石灰的作用效果,在絮凝剂加量不变时,石灰加量越大,脱水效果越好。同时,加入的CaO还有钝化重金属和杀菌除臭的作用。

以往单纯采用高分子絮凝剂的研究表明^[8],如投加量小,其吸附架桥能力弱,对提高污泥脱水能力有限,而加量过大通常会导致污泥黏度加大,同时不利于脱水。本试验表明在无机絮凝剂-石灰调理系统中添

加少量阳离子聚丙烯酰胺,对提高脱水性能有非常明显的效果,其作用机制可能是通过Fe³⁺、Ca²⁺压缩双电层和电中和后,絮体颗粒间排斥力减弱,有利于阳离子聚丙烯酰胺的吸附架桥,使颗粒排列紧密,改善污泥的脱水性质^[9]。

2.3 与原有污泥离心脱水工艺对比分析

佛山镇安污水处理厂污泥原来采用的是离心脱水机,本试验采用的厢式压滤机脱水。经过半年的中试运行,二种方法的脱水效果、药耗、能耗情况见表3。

表3 二种脱水方法运行对比

	原有离心机脱水	厢式压滤机脱水
运行设备总功率/(kW·h)	54.65	18.5
进泥含水率/%	99	97
进泥量/(m ³ ·h ⁻¹)	43	1
出泥含水率/%	79.7	53
出泥剪切强度/kPa	—	40
每小时产绝干泥量/t	0.43	0.03
药耗/(kg·t ⁻¹)	3.72	200
电耗/(kW·h·t ⁻¹)	127.09	274.46

从表3可以看到:本试验采用的厢式压滤机脱水方法,出泥含水率平均可达53%,出泥剪切强度可达40 kN/m²,能满足填埋要求;同时,运行过程中所添加的药剂用量及用电量也大幅上升。但是由于深度脱水后,泥饼含水率大幅降低,从原来的含水率79.7%下降到53%,污泥容积减少到原来的40%左右,大大减少了污泥运输费用,可以运至垃圾填埋场进行混合填埋,也解决了镇安污水处理厂污泥的出路问题。

3 结论

镇安污水处理厂污泥深度脱水的中试表明,浓缩污泥通过氯化铁-石灰-KW药剂联合调理,再经过厢式压滤机压滤脱水,可使泥饼最终含水率低于60%,且土工强度较好,可满足混合填埋的要求。污泥脱水前的化学调理工作至关重要,污泥调理药剂最佳配方和最佳投加量仍需作进一步研究优化,以降低污泥深度脱水的经济成本。

参考文献

- [1] 顾国维. 水污染治理技术研究[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.
- [2] 王静, 卢宗文, 田顺, 等. 国内外污泥研究现状及进展[J]. 市政技术, 2006, 24(3): 140-143.
- [3] 韩晓芳, 顾建新, 李燕. 污泥处置现状及新技术探讨[J]. 国外建材科技, 2006, 27(5): 43-46.
- [4] 柯明勇. 集美污水处理厂污泥深度脱水技术探讨[J]. 给水排水, 2011, 37(5): 40-43.
- [5] 陈美香, 陈梅霞. 污泥深度脱水絮凝剂的选择[N]. 科技创新导报, 2012, 4.

(下转第302页)

着 BDE-209 在大型蚤体内的富集和降解。European Chemicals Bureau 也按照 OECD Guidelines for Testing of Chemicals 202. *Daphnia* sp., Acute Immobilisation Test^[9], 通过 21 d 的流水式慢性毒性试验, 没有发现八溴联苯醚对大型蚤的繁殖产生显著性影响。而汤宝华等^[20] 得出五溴联苯醚(Penta-BDE) 对大型蚤的 48 h-LC₅₀ 为 165 μg/L, 即低溴联苯醚会对大型蚤产生明显的毒性作用。因此可得, BDE-209 本身毒性比较小, 但能够降解成为多种毒性更强的低溴联苯醚。由于大型蚤个体太小, 质量不足 0.1 g, 这对后续冷冻干燥、提取等步骤造成很大的困难, 本研究没有对 BDE-209 在大型蚤体内的富集及降解情况进行检测。

同时 BDE-209 的降解产物并不单一, 所以有必要加强对多种多溴联苯醚单独作用以及联合作用时对大型蚤的毒性进行研究。

4 结论

BDE-209 对大型蚤的急性毒性 48 h-EC₅₀ 大于 10 mg/L, 属于低毒。

在 14 d 慢性毒性试验中, 当 BDE-209 暴露浓度 ≥ 10 mg/L 时, 对大型蚤的繁殖和生存产生显著影响, 其中对第一次产蚤时间和产蚤总数影响较大。浓度越大, 繁殖能力和生存能力下降越大。

BDE-209 对发光菌的剂量效应曲线为非线性, 且急性毒性较小, 浓度越高, 抑制率越高, 但高浓度下对发光菌的抑制率变化很小。

在大型蚤慢性毒性试验中, BDE-209 降解成了多种毒性更强的低溴联苯醚, 多种多溴联苯醚单独作用以及联合作用时对大型蚤的毒性有待于进一步研究。

参考文献

- [1] U S Environmental Protection Agency. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) project plan[R]. 2006.
- [2] 薛铮然, 李海静. 高溴系阻燃剂十溴联苯醚生产工艺研究[J]. 山东化工, 2002, 31: 31-32.
- [3] 魏爱雪, 王学彤, 徐晓白. 环境中多溴联苯醚(PBDEs)类化合物污染研究[J]. 化学进展, 2006, 18(9): 1227-1233.
- [4] Damermd P O. Toxic effects of brominated flame retardants in man and in wildlife[J]. Environment International, 2003, 29(6): 841-853.
- [5] Fair P, Mitchmm G, Hmlsey T, et al. Polybrominated diphenylethers

- (PBDEs) in blubber of free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops Truncatus*) from two Southeast Atlantic Estuarine Areas[J]. Archives of Environment Contamination Toxicology, 2007, 53(3): 483-494.
- [6] Schantz U, Keller J, Leigh S, et al. Certification of SRM1589a PCBs, pesticides, PBDEs and dioxins/furans in human serum[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2007, 389(4): 1201-1208.
- [7] Hu X Z, Xu Y, Hu D C, et al. Apoptosis induction on human hepatoma cells Hep G2 of decabrominated diphenyl ether(BDE-209) [J]. Toxicology Letters, 2007, 171(1/2): 19-28.
- [8] GB/T 13266—91 水质物质对蚤类(大型蚤)急性毒性测定方法[S].
- [9] OECD. OECD Guidelines for Testing of Chemicals[S]. *Daphnia magna* Reproduction Test.
- [10] 国家环境保护局. 化学农药环境安全评价试验准则[J]. 农药科学与管理, 1990, 2: 1-5.
- [11] van Der Geest H G, Grevegd, Boivin M, et al. Mixture toxicity of copper and diazinon to larvae of the mayfly (*Ephoron virgo*) judging additivity at different effect levels[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2000, 19(12): 2900-2905.
- [12] 王冬梅, 卢嘉丽, 程悦, 等. 苦茶的急性毒性与神经药理学初步研究[J]. 中山大学学报. 自然科学版, 2010, 49(1): 76-79.
- [13] 张美, 袁连玉, 刘勋成, 等. 重金属镉处理的水稻幼根 eDNA 抑制差减杂交文库的构建[J]. 中山大学学报. 自然科学版, 2010, 49(2): 90-94.
- [14] 方磊, 黄俊, 余刚. 多溴联苯醚光化学降解[J]. 化学进展, 2008, 20(7/8): 1180-1186.
- [15] Heather M Stapleton. Debromination of the flame retardant decabromodiphenyl ether by juvenile carp (*Cyprinus-carpio*) following dietary exposure [J]. Environmental Science and Technology, 2004, 38: 112-119.
- [16] A melie k, Lennart B, Ulla T, et al. Dietary uptake and biological effects of decabromodiphenyl ether in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Environmental Science and Technology, 1999, 33: 1612-1617.
- [17] 陈树科, 沈晓飞, 江锦花. 乐清湾海域鱼类中多溴联苯醚的分布特征[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2009, 37(23): 11040-11043.
- [18] 郭英, 唐洪磊, 孟祥周, 等. 多溴联苯醚在桂花鱼体内的分布[J]. 环境科学, 2007, 28(12): 2806-2810.
- [19] 林竹光, 张莉莉, 孙若男, 等. 动物肝脏中九种多溴联苯醚残留量的 GC-NCI/MS 分析 [J]. 分析实验室, 2008, 27(7): 30-34.
- [20] 汤保华, 祝凌燕, 周启星. 五溴联苯醚(Penta-BDE) 与重金属对水生无脊椎动物大型蚤存活及其繁殖的联合毒性影响[J]. 中山大学学报. 自然科学版, 2010, 49(6): 93-99.

作者通信处 张泽光 201620 上海市松江区人民北路 2999 号东华大学 4 号学院楼 4165 室

E-mail zezhang@126.com

2012-10-25 收稿

(上接第 298 页)

- [6] 黄志斌, 陈亮, 高莉莉, 等. Ca²⁺ 和 PAM 对污泥流变性和脱水性能的影响[J]. 污染防治技术, 2003, 16(4): 48-51.
- [7] 杨国友, 石林, 柴妮. 生石灰与微泡协同作用对污泥脱水的影响[J]. 环境化学, 2011, 30(3): 698-702.
- [8] 李大强. 聚丙烯酰胺絮凝剂对污泥脱水性能的影响[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(8): 162-163.
- [9] 柳海波, 张惠灵, 范凉娟, 等. 投加调理剂与表面活性剂对污泥脱水

性能的影响[J]. 中国给水排水, 2012, 28(3): 10-14.

作者通信处 陈繁忠 510640 佛山市禅城区季华 2 路 国家火炬园 B 栋 408

E-mail lifang040@163.com

2012-07-20 收稿