

浅谈我国剩余污泥处理处置的研究进展

安顺乐, 杨义飞

(山东建筑大学市政与环境工程学院; 山东济南 250101)

摘要: 随着污水处理厂的大量投建, 剩余污泥产量相应增加。如何合理处理处置剩余污泥已经引起越来越多的关注。本文阐述了剩余污泥主要的处理和处置方式, 参考研究进展对我国污泥处理处置提出了未来展望。

关键词: 剩余污泥; 处理; 处置

中图分类号: X701

文献标识码: B

文章编号: 1006-8759(2013)02-0014-05

PROGRESS OF SURPLUS SLUDGE TREATMENT AND DISPOSAL IN CHINA

YANG Yi-fei, AN Shun-le

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China;)

Abstract: With a large number of investment and construction sewage treatment plant, sludge production increase. How reasonable disposal of residual sludge has attracted more and more attention. This paper expounds the residual sludge treatment and disposal methods of main reference to our country, research progress of sludge treatment and disposal and puts forward the future prospects.

Keyword: surplus sludge; treatment; disposal

近几年,随着经济发展和生活水平的提高,我国在各城市陆续新建了越来越多的污水处理厂;据国家环境环境保护部统计资料显示,2010年全国共统计污水处理厂2881座、废水排放总量达617.3亿t。目前,大多数污水处理厂采用活性污泥法,在处理污水的同时产生大量的剩余污泥;其产量约为处理水体积的0.15%~1%^[1]。“十二五”规划目标要求到2015年城市污水处理率达到85%,势必会产生更多的剩余污泥。剩余污泥作为污水处理的副产物,虽然含有N、P等营养元素但也常含有大量有毒、有害物质,如果不经过妥善处理就将

造成二次污染。剩余污泥处理作为污水处理的重要组成部分,其处理运行费用约占污水处理厂总运营费用的20%~50%,甚至70%^[2]。因此,以环境效益、社会效益和经济效益为出发点,剩余污泥的处理处置必须引起足够的重视。

1 污泥处理

污泥处理处置的主要目的是稳定化、无害化、减量化、资源化,按照传统工艺流程要先经过浓缩、稳定、脱水、干化等处理工艺使其便于运输和最终处置。

1.1 污泥浓缩

污泥浓缩根据脱水装置不同分为重力浓缩、气浮浓缩、离心浓缩。重力浓缩是通过固体颗粒借

收稿日期:2012-11-26

第一作者简介:安顺乐(1989-),男,汉族,山东省泰安市,山东建筑大学硕士研究生,从事水污染处理研究。

助其自身重力下降实现固水分离,浓缩污泥从浓缩池底部排出,污泥水则从池顶水堰溢出。气浮浓缩恰好和重力浓缩法相反,气浮法使大量微细气泡附着在固体颗粒周围强制污泥颗粒上浮然后排到污泥槽,污泥水则从池底排出。离心浓缩是根据污泥中固、液比重不同,受离心力不同而分离。污泥浓缩作为降低污泥含水率和减小污泥体积的有效方法适用于含水率较高的污泥(99%左右),可使污泥含水率从99%降到96%,污泥体积降至原来的1/4,减轻后续处理负担。

1.2 污泥稳定

污泥稳定的目的是去除或减少其中的有机物,进一步减少污泥含水率,杀灭或抑制其中的细菌、病原菌等。污泥稳定一般采用生物稳定方法,分为厌氧消化和好氧消化。厌氧消化是在无氧的条件下,由兼性菌及专性厌氧菌降解有机物,最终产生二氧化碳和甲烷;而好氧消化是对污泥进行长时间曝气,是其中的微生物处于内源呼吸阶段进行自身氧化。在我国的污泥处理工艺中,较普遍采用的是厌氧消化的生物稳定方法。尤子敬^[3]曾指出,我国已建立了600余座不同类型工业废水的沼气工程,厌氧工程装置总体积达150万 m^3 ,年处理废水近1亿 m^3 ,年产沼气能力为10亿 m^3 ;他预计在未来5~10年,工业大中型沼气工程将呈现迅速发展。于冰^[4]李志东^[5]等分别对锦州石化公司产生的剩余污泥进行中温和高温厌氧消化实验研究表明在各自的最佳工艺条件下,经过厌氧消化处理后,COD有机质去除率均达到80%左右,污泥含水率可以降到80%~85%左右,实现了污泥的稳定化和减量化。

1.3 污泥脱水与干化

污泥经浓缩、消化后含水率仍较高,体积很大,需对污泥进行脱水和干化处理,以便于最终处理与利用。对于污泥脱水一般采用机械脱水,根据压力、真空吸力、离心力等机械力的不同对应压滤脱水和离心脱水的方式。国内应用较多的是带式压滤脱水和板框压滤机脱水方式;带式压滤机虽然作为污泥减容的有效脱水设备较早进入国内,但是,板框压滤机更适合中国的污泥处理,这种方式已在上世纪后半叶将污泥脱水达到含水率80%以下,实用效果良好^[6]。而且,程俊^[7]等人对这两种常用污泥机械脱水方法进行比较,用板框压滤机可以轻松地将最难脱水的城市污泥在半小时内存

榨到含固率55%以上,且不用添加任何絮凝剂;所以,板框压滤机应该作为应用广泛的污泥压滤设备。虽然经过脱水后污泥的含水率已经比较低,但体积仍较大不便于外运,仍需作进一步干化处理。干化是一种利用热能将污泥中水分快速蒸发的处理工艺^[8];根据加热方式的不同,国外主要用流化床、转鼓、螺旋、碟片、浆式等干化设备,国内目前虽然已拥有自主知识产权污泥干化焚烧等技术,但是面临干化投资大、运行费用高、难于管理等问题只有很少干化厂建成。在土地不紧张的污水厂大多还是采用自然干化的干化场,但受气候条件影响较大。所以,在污泥干化方面,我国还有很大发展空间。

2 污泥处置与利用

污泥经浓缩、稳定、脱水等处理后,含水率大幅降低,体积大大减小,理化性质得到稳定,但剩余污泥毕竟是污泥处理过程中的副产物,还需做最终处置。在综合考虑当地的土地资源和环境背景情况下,常用的污泥处置包括土地利用、焚烧及建材利用、填埋等方式。

2.1 土地利用

污泥的土地利用通常用于土地改良、农用和园林绿化三种方式。我国污水处理厂污泥富含植物所需营养成分,如活性污泥中含氮约3.5~7.2%,磷3.3%~5.0%,钾0.2%~0.4%;并且还含有硫、铁、钠、镁、钙等微量元素和富含有机物的腐殖质,适宜做有机肥料。用有机污泥施肥,可以利用土壤的自净能力使污泥进一步稳定,同时也能为植物提供生长所需营养元素,改良土壤结构,提高土壤肥力。很多研究人员已经对污泥的土地利用做了大量实验,唐鸣放^[9]等用20%的改性粉煤灰钝化污泥做基质种植佛甲草,结果表明叶绿素含量较高,植物地上部分、地下部分和基质中Zn、Cu的含量下降,种植基质渗滤水中各污染物的含量都明显低于城市地下水道水质标准;李姝娟^[10]等通过污泥堆肥实验研究污泥堆肥农用对土壤环境和小麦重金属含量的影响,结果表明污泥堆肥整体上降低污泥中重金属和有机质的含量,堆肥农用后,土壤和小麦中重金属含量有所增加但风险不大,随着堆肥污泥使用量增加,小麦长势良好,在达到20 t/hm^2 时,土壤肥力达到高肥标准。我国是一个农业大国,污泥的土地利用投资少,能耗

低,运行管理费用较低,其发展前景广阔。

2.2 焚烧及建材利用

2.2.1 焚烧

城市污泥中含有大量的有机物和一定量的纤维木质素,脱水后热值可达 836 kJ/kg,可以进行焚烧,而且,焚烧是污泥处置最有效和最彻底的方法,可以使污泥最大程度上达到减量化。目前,国内大多采用流化床式焚烧炉,所采用方法为污泥经干化处理达到一定热值掺入循环流化床热电厂中与煤一起燃烧,这也要求热电厂与污水处理厂的就近原则。相比其他处置方法,污泥焚烧运行费用较高,为此不少研究者提出了新思路。张长飞^[11]等研究了直接将脱水污泥制成燃料的技术,该工艺将脱水污泥置于混合池,加入适量脱水剂和絮凝剂经搅拌后再掺入煤粉和生物质混合均匀,静置然后压滤成饼即为污泥合成燃料,经燃烧试验表明污泥合成燃料的挥发份要比煤粉高,燃尽与煤粉相当;具有显著的经济效益。王伟云^[12]等提出脱水污泥干燥气化焚烧综合处理工艺,该工艺将含水率 80%的脱水污泥干燥后送入气化炉气化,气化气净化后在燃气锅炉燃烧,燃烧产生的热量回用于污泥干燥,干燥气体冷凝处理液并入下水管网处理,冷凝后的气体则一部分送入气化炉,一部分送入燃气锅炉燃烧,无需设立干燥气体净化装置;可实现脱水污泥的处理处置和资源化。

2.2.2 建材利用

污泥的建材利用属于材料化利用范畴,是近年来一种新型的污泥回用方法,是污泥资源化处置的一个重要发展方向^[13];其内容包含了利用污泥及其焚烧产物(优先考虑)制造砖块、水泥、陶粒等。

(1)污泥制砖。污泥制砖主要有两种方法:一种是用干化污泥直接制砖,另一种使用污泥焚烧灰渣制砖。在实际应用中,干化污泥直接制砖受有机挥发分含量的限制,反而,污泥焚烧灰渣因与制砖粘土成分相似应用较多。梁俊生^[14]等就曾对污泥热处理灰渣制砖做实验报告,作者以大坦沙污水处理厂的污泥经热处理后的灰渣为原料,制出了合格的普通烧结砖。浙江大学理工学院环境与生物地球生化研究所利用污泥热值较高和轻质的特点成功开发出了一种轻质节能砖,砖体主要指标也能达到普通烧结砖的国家标准。

(2)污泥制水泥。在污泥材料利用过程中,污

泥焚烧灰渣可作为水泥制品的原料,在加入石灰或石灰石后,可煅烧制成灰渣水泥,其强度符合 ASTM 丐工水泥规范。我国近几年也做了利用污泥生产水泥的研究。有研究人员将污泥经 900 ℃焙烧后进行化学成分测试,焙烧后污泥灰渣含 SiO₂52.8%、Al₂O₃15.7%、CaO8.7%、MgO4.3%、Fe₂O₃7.7%,具有较高的火山灰活性,可用作水泥的混合材料。韩莉莉^[15]曾探讨利用水泥回转窑来焚烧污泥,焚烧后的灰渣成为水泥熟料的一种,不仅对污泥减量化还节省投资、替代匮乏资源,实现了污泥的资源化利用。

(3)污泥制陶粒。陶粒作为一种轻集料,可以取代普通砂石配制轻集料混凝土,具有密度小、强度高、保温、隔热、抗震性能好的特点^[16]。近年来,利用污泥烧制陶粒用于建筑轻集料得到了迅速发展。

2.3 填埋

污泥的处理处置要根据实际需求选择合适的方案,当污泥泥质不适合土地利用,而当地又不具备焚烧和建材利用条件时,可采用填埋处置。污泥填埋种类分为混合填埋和单独填埋两种方式。根据我国实际情况,大中型城市土地利用相对紧张,污泥单独填埋有操作困难,目前,还是采用与生活垃圾混合填埋的方式。

3 存在问题

近几年,虽然我国污水处理得到较快发展,但是,污水处理厂传统的污泥处理处置仍存在各种弊端。现在,我国处于工业快速发展阶段,工业废水的大量排放增加了污泥处理的难度。随着环境质量要求和污染物排放标准的提高,污泥处理也面临新的问题。我国污泥处理起步较晚,目前还存在技术设备落后、管理水平低的问题。我国污泥的最终处置方法也存在不足。污泥的土地利用虽然投资成本最低但是随着污泥成分的日益复杂而受到限制;污泥焚烧虽然减容化程度最高,但是投资成本和技术难度较高。至于填埋法还存在二次污染的环境风险。

4 研究进展

传统的污泥处理处置工艺可以说是各有利弊,从污泥的处理处置目的出发,很多研究人员研究了新型的污泥处理处置方式。

4.1 预处理减量化

随着越来越严格的污水处理排放标准, 剩余污泥的处理费用也越来越高。因此, 很多研究者近几年热衷于污泥的减量化技术, 提出了超声波法、碱法、高温水解法、解偶联法、臭氧氧化法及其联合法等新型方法, 研究从源头上减少污泥的排放。赵庆良^[17]等研究剩余污泥在经超声波和碱预处理后, 消化过程中 TCOD、VS、VSS 的去除率分别提高了 29.6%、28.6%、58.9%; Bipro^[18]等在研究超声波和热预处理对污泥厌氧消化技术可行性时发现分别经超声波、高温法和联合法预处理原污泥可提高 VSS 去除率 22%~31%、25%~39%、29%~38%。Yasui^[19]等研究发现, 当臭氧投加量为 0.05 kgO₃/kgSS, 臭氧化污泥回流量是剩余污泥量的 3.3 倍时, 基本上达到了剩余污泥的零排放。这些资料显示, 这些实验规模试验和工艺的减量化技术再进一步研究达到工业技术经济要求后, 将得到广泛的应用。

4.2 污泥制活性炭技术

用剩余污泥作替代材料来制备活性炭早已备受关注, 此技术的研究也较多。方平^[20]等通过炭化法、物理活化法和化学活化法制备含碳吸附剂, 优选了制备方法和最佳实验条件。余兰兰^[21]、文青波^[22]等人分别研究了剩余污泥制备烟气脱硫吸附剂和污泥基活性炭吸附空气中甲醛。目前, 这种吸附剂已得到广泛应用, 处理效果也十分显著, 可作为一种廉价的替代吸附剂; 因此, 利用剩余污泥制备活性炭对污泥的资源化利用具有重要意义。

4.3 蚯蚓生态滤池

蚯蚓生态滤池是把蚯蚓引入滤池处理工艺, 利用蚯蚓的强消化能力来处理污染物, 是一种新型的生态污水处理技术。我国的研究始于同济大学, 韩润平^[23-24]等人进行了小试中试试验研究, 结果显示该工艺具有较高的生态经济效应, 可作为一种新型的资源化处理方式。近年来, 其他学者也进行了研究, 戴一琦^[25]等设计了一种新型的分层式蚯蚓滤池; 杨健^[26]等进一步考察了蚯蚓体内抗氧化酶和消化酶活性对水力负荷胁迫的响应情况。

4.4 其他方法

剩余污泥富含有机质, 其资源化利用方式多种多样, 前人也做了很多研究; 例如: 赵庆良^[27]等重点研究了利用微生物燃料电池技术在处理剩余污泥的同时回收电能; 丘锦荣、王春燕等^[28-30]分别

研究了利用脱水污泥直接生产草坪, 有机复合肥和利用脱水污泥制备微生物絮凝剂。

5 前景展望

我国剩余污泥处理处置起步较晚, 而且污水处理重水轻泥; 虽然本文提到多种方法工艺, 在技术分析上也是可行的, 但有的还处于研发阶段, 工艺很不成熟, 在工业规模应用中较少。随着科技进步, 中小型污水厂的普及, 针对我国的处理现状, 只有做到减量化、资源化、无害化才能解决污泥处置的根本问题。和国外相比, 我国的污泥消化方面偏重于产沼气而忽略了污泥消化对污泥稳定的本质, 甚至消化设备放置不用; 随着未来污泥泥质的提高, 厌氧消化技术的开发应用, 污泥厌氧消化稳定的重新认知将提高污泥处理的效益。污泥的焚烧处理虽然最彻底, 但考虑到成本和二次污染的问题, 该技术也只能作为发达城市的污泥过渡处置手段。我国现行的另一主要手段是污泥填埋, 但是随着我国城市化进展, 此法也会逐渐被淘汰。在借鉴国外先进经验的同时, 我国污泥处理的未来方向应该向资源化、资源化方向靠拢。根据我国国情和经济发展现状, 发达城市应着手污泥的资源化利用, 不发达的城市暂时应以污泥的稳定化、无害化为主。我国是一个农业大国, 在资源化方面, 污泥的农业化利用有很大发展前景。

参考文献

- [1] 刘峰, 万新南, 陈希伟. 浅谈中国城市污泥的处置[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(8): 116~119.
- [2] 张自杰. 排水工程(下册)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999: 328~411.
- [3] 尤子敬. 厌氧处理技术的发展与展望[J]. 辽宁化工, 2009, 38(12): 929~931.
- [4] 于冰, 李春富. 炼油污水处理场剩余污泥中温厌氧消化研究[J]. 黑龙江环境通报, 2010, 34(3): 80~83.
- [5] 李志东, 夏进, 林莉, 等. 炼油厂剩余污泥厌氧消化优化工艺条件的确定[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(4): 80~84.
- [6] 任延杰. 新型板框污泥脱水技术的应用[J]. 环境与可持续发展, 2010, (5): 49~52.
- [7] 程俊, 胡小虎, 姚宝军. 污泥机械深度脱水方法对比研究[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2010, 20(5): 47~49.
- [8] 殷涛. 常用污泥脱水处理技术比较[J]. 河南建材, 2009, (6): 59~60.
- [9] 唐鸣放, 王白雪, 郑怀礼. 城市污泥处理与绿化利用[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(4): 103~106.
- [10] 李姝娟, 李向东, 郝翠, 等. 污泥堆肥对土壤环境和小麦重金属含量的影响[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(80): 40~44.

[11]张长飞,葛仕福,赵培涛,等.污泥燃料化技术研究[J].环境工程,2010,28:377~380.

[12]王伟云,李爱民,张晓敏.脱水污泥干燥气化焚烧综合处理工艺[J].化工进展,2010,29:244~247.

[13]张辰.污泥处理处置技术研究进展[M].北京:化学工业出版社,2005:108~112.

[14]梁俊生,杨立新,罗曾凡.污泥热处理灰渣制砖的实验报告[J].广州环境科学,1999,14(2):13~15.

[15]韩莉莉.城市污泥制生态水泥的应用探讨[J].中国给水排水,2011,27(2):107~108.

[16]岳敏,岳钦艳,李仁波,等.城市污水厂污泥制备陶粒滤料及其特性[J].过程工程学报,2008,8(5):972~977.

[17]赵庆良,苗礼娟,胡凯.超声/碱预处理剩余污泥的中温厌氧消化效果[J].中国给水排水,2009,25(15):25~28.

[18]Bipro R D,George N, Madhumita B R. Techno-economic evaluation of ultrasound and thermal pretreatments for enhanced anaerobic digestion of municipal waste activated sludge [J] Waste Management 2012,32:542~549.

[19]Ahnk H, Park K Y, Maeng S K, et al. Ozonation of wastewater sludge for reduction and recycling [J] Water Science and Technology 2002,46(10):71~77.

[20]方平,岑超平,陈定胜,等.用污水处理厂脱水污泥制备含炭吸附剂[J].化工环保,2008,28(3):278~281.

[21]余兰兰,郑凯,苏力宏,等.污水厂剩余污泥制备烟气脱硫吸附剂[J].应用化学,2007,24(9):1045~1049.

[22]文青波,李彩亭,蔡志红,等.污泥基活性炭吸附空气中甲醛的研究[J].中国环境科学,2010,30(6):727~732.

[23]韩润平,陆雍森,杨健,等.生态滤池处理城市污水小试研究[J].环境污染治理技术与设备,2005,6(7):58~62.

[24]韩润平,陆雍森,杨健,等.复合床生态滤池处理城市污水中试研究[J].环境科学学报,2004,24(3):450~454.

[25]戴一琦,李银生,李旭东,等.不同有机负荷条件下分层蚯蚓生物滤池对生活污水的处理效果[J].上海交通大学学报:农业科学版,2010,28(1):35~40.

[26]杨健,赵丽敏,陈巧燕,等.水力负荷对生物滤池中蚯蚓抗氧化酶和消化酶活性的影响[J].环境科学,2009,(4):1029~1035.

[27]赵庆良,姜珺秋,王琨,等.微生物燃料电池处理剩余污泥与同步产电性能[J].哈尔滨工程大学学报,2010,31(6):780~785.

[28]丘锦荣,刘雯,郭晓方,等.利用城市污水厂脱水污泥直接生产草坪的研究[J].中国给水排水,2009,25(13):52~55.

[29]武建军.利用脱水污泥生产有机复合肥的工艺探讨[J].辽宁城乡环境科技,2007,27(4):30~32.

[30]王春艳,周集体,金若菲.利用脱水污泥制备微生物絮凝剂及其絮凝条件研究[J].中国给水排水,2007,23(21):105~108.

(上接第 21 页)

[3]李玲,匡琼芝,闵犁园,等.减压膜蒸馏淡化罗泊湖地下苦咸水研究[J].水处理技术,2007,33(1):67~70.

[4]李建梅,王树源,徐志康,等.真空膜蒸馏法浓缩益母草及赤芍提取液的实验研究[J].中成药,2004,26(5):423~424.

[5] Christensen K,Andresen R,Tandskov L,et al.Using direct contact membrane distillation for whey protein concentration.Desalination,2006,200(1~3):523~525.

[6]段小林.真空膜蒸馏脱除水溶液中 VOC 的研究[D].浙江工业

大学,2001.

[7]温培源,刘红斌,马军,等.VMD 处理反渗透浓水操作参数及水质评价[J].水处理技术,2011,37(7):83~86.

[8]刘东,武春瑞,吕晓龙.减压膜蒸馏法浓缩反渗透浓水试验研究[J].水处理技术,2009,35(5):60~63.

[9]王军,栾兆坤,曲丹,等.疏水膜蒸馏浓缩技术用于 RO 浓水回用处理的研究[J].中国给水排水,2007,23(19):1~5.