

污泥处理处置技术的应用研究及进展

赵发敏 李兴杰 冯楠 仇云飞

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 本文阐述了污泥浓缩、污泥脱水、污泥消化、污泥热解和污泥干化等污泥处理技术,以及卫生填埋、土地利用、建材利用及焚烧等污泥处置技术的应用研究现状及发展趋势,着重分析污泥焚烧处置技术中流化床、多膛焚烧炉和回转窑等主要焚烧炉型的优缺点,为污泥焚烧处置炉型选择提供参考。

[关键词] 污泥建材利用; 污泥填埋; 污泥堆肥; 污泥焚烧; 流化床; 多膛焚烧炉; 回转窑; 污泥掺烧

[中图分类号] X703 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-5122(2021)06-0050-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.06.011

Research and Progress on Application of Sludge Treatment & Disposal Technology

ZHAO Fa-min, LI Xing-jie, FENG Nan, QIU Yun-fei

Abstract: The authors herein elaborated on the application research and trend of development on sewage sludge treatment technologies such as concentration, dewatering, digestion, pyrolysis and drying, as well as sludge disposal technologies such as sanitary landfill, use on land, reuse as building materials and incineration, focusing on the analysis of advantages and disadvantages of the main types of incinerators (fluidized bed, multi-hearth incinerator, rotary kiln, etc.) in order to provide reference for the selection of incinerators for sludge disposal.

Key words: sludge reuse as building materials; sludge landfill; sludge composting; sludge incineration; fluidized bed; multi-hearth incinerator; rotary kiln; sludge mix burning

0 前言

污泥是污水处理过程中产生的主要产物,是一种由有机质、微生物菌体、原生动物虫卵、无机颗粒和胶体等组成的极其复杂的非均匀体,含水率超过80%。污泥有机物含量高,容易腐化发臭,如果不经过处理处置,会对环境造成二次污染。污泥中也含有植物生长所需要的营养物质,如氮、磷、钾等,能够改善土壤,促进植物生长。

随着污水处理技术的快速发展,污泥的产生量

也逐渐增多,“十四五”期间,预计2025年污泥产生量将达到7538万t。如果污泥得不到规范化的处理处置,会造成环境二次污染,威胁生态环境和人类生活健康。污泥的处理处置已经刻不容缓。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中明确提出城市污泥无害化处置率需要达到90%。预计到“十四五”期间污泥处理处置市场空间将达到922亿元^[1]。

本文阐述了污泥处理处置技术的应用研究现状及发展趋势,着重分析污泥焚烧处置技术中主要焚烧炉型的优缺点,为污泥焚烧处置炉型选择提供参考。

1 污泥处理处置技术

1.1 污泥处理技术

污泥处理是对污泥进行浓缩、调治、脱水、稳定

[收稿日期] 2021-04-27

[作者简介] 赵发敏(1984—),男,山东临沂人,硕士,工程师,主要从事危险废物、污泥处理处置等工作。

[引文格式] 赵发敏,李兴杰,冯楠,等.污泥处理处置技术的应用研究及进展[J].有色冶金节能,2021,37(6):50-54.

和干化的加工过程,其中污泥处理工艺主要包括污泥浓缩、污泥脱水、污泥消化、污泥热解和污泥干化等。

1.1.1 污泥浓缩

污泥浓缩主要是通过重力浓缩、气浮浓缩和离心浓缩三种方式去除污泥颗粒间的水分,浓缩后的污泥含水率为95%左右,仍保持流体的特性。

1.1.2 污泥脱水

污泥脱水主要是采用机械方法去除污泥颗粒间细小的水珠。经处理后,污泥含水量可降至74%左右^[2]。污泥脱水可进一步降低污泥含水率,减少污泥体积。主要脱水方式有离心脱水、真空过滤脱水、板框压滤脱水和带式压滤脱水等。

1.1.3 污泥消化

污泥消化分为好氧消化和厌氧消化,目的是去除或者转化污泥中的有机物。其中厌氧消化工艺占50%以上,好氧消化工艺仅占18%左右^[3]。污泥厌氧消化可实现污泥减量化和无害化,同时可以回收甲烷。我国一般采用中温污泥厌氧消化技术,在无氧条件下污泥有机成分被降解、消化,同时产生大量的热。污泥中的各种病原菌和寄生虫因为消化产生的热量而被杀灭去除。

1.1.4 污泥热解

污泥热解是一种回收污泥中资源的处理技术和再生利用技术,是污泥资源化、无害化和减量化的有效途径,将成为未来污泥处理处置技术的发展趋势。有研究表明^[4],热解后的市政污泥残渣仅含0.01%固定碳,且富含硅铝钙氧化物,适用于制备基础建筑材料,但是污泥热解需要较高的温度,能耗高,投资较大。催化热解可以降低相应所需的热解温度,所以研究提高污泥热解效率的催化剂越来越受到重视。与污泥的单独焚烧相比,污泥热解技术将污泥中的大分子有机物分解成小分子有机物,不会产生大量的烟气,且热解后的固体残渣可以用于制备基础建材材料,具有较高的经济价值和较好的应用前景。

1.1.5 污泥干化

污泥干化是利用热能将污泥表面和内部的水分烘干,同时杀死污泥中的病原菌和寄生虫的过程。污泥干化的优点是适用性广,干化后的污泥含水率可降至40%以下,体积可减少2/3。完全干化的污泥含水率可降至10%以下,体积大幅减少,方便存储,无病原菌及寄生虫。

常用的干化设备主要有圆盘式干燥机、桨叶式干燥机和带式干燥机等。圆盘干燥机主要由夹套、

单轴转子和传动装置组成,污泥通过夹套、空心轴和轴上焊接的空心盘片的热传导间接加热干化。圆盘干燥机的盘片对污泥没有切割作用,而是通过盘片边缘的推进搅拌器,对污泥进行搅拌并不断更新干燥面,从而实现干燥的目的。桨叶式干燥机主要是由夹套、双轴(或四轴)楔形叶片和传动装置组成。污泥通过夹套、空心轴和轴上焊接的空心叶片的热传导被间接加热干化,楔形叶片对污泥切割搅拌,不断更新干燥面,从而实现干燥的目的^[5]。

1.2 污泥处置技术

目前,我国污泥处置方式主要有:卫生填埋、土地利用、建材利用及焚烧等^[6]。

1.2.1 卫生填埋

卫生填埋起源于20世纪60年代,是采用特殊的方法将处理后的污泥运送到指定地点进行人工填埋的一种处置技术。卫生填埋需要占用大量的土地资源,适用于填埋场场地容易选取,有覆盖土且距污泥产生点较近、污泥量相对较小的地方。卫生填埋要求污泥含水率不得超过60%,因为含水率过高会产生大量渗滤液,产生臭味,容易造成二次污染。卫生填埋只是污泥处置的初级阶段,随着填埋场容量的日益枯竭,污泥卫生填埋已经不能满足污泥无害化处置的需要,污泥处置也从最初的卫生填埋向焚烧转移。

1.2.2 土地利用

污泥中含有大量植物生长所需要的微量元素。土地利用是将污泥采用堆肥工艺处理后,将污泥作为辅助材料施加到土壤中,利用污泥中丰富的氮、磷、钾等营养元素改善土壤,增强土壤肥力,促进植物生长的处置技术。污泥土壤利用可以在农业、林业、市政园林绿化和土壤修复方面中创造更多的价值。污泥的农业利用是合理处置污泥的有效途径,但是在污水处理过程中80%左右的重金属元素会被吸附或沉淀到污泥中,给污泥的土地利用造成了一定的限制。重金属元素溶解度小,性质稳定,很难去除,容易在动物和人体内积累,进而对健康产生危害^[7]。因此在污泥土地利用之前,一定要经过预处理过程,杀灭污泥中的病原细菌及寄生虫,去除污泥中的过多重金属等,以降低污泥中有害物质含量,减少或者避免其对土地造成的二次污染及公共卫生问题。

1.2.3 建材利用

建材利用是利用污泥作为建筑材料原材料使用

的过程。污泥含有大量的硅铝钙等无机物,与建筑材料物质组成相似。污泥的建材利用可填补我国目前建材原材料匮乏造成的缺口,也为合理处置污泥找到了解决办法。污泥建材利用首先向污泥中加入黏土等辅助材料,经无害化预处理后才可制成建筑材料。污泥制砖包括污泥焚烧残渣制砖和污泥干化制砖;污泥制水泥是利用水泥窑协同处理污泥,以污泥代替部分水泥原材料。

生活污水处理和工业废水处理产生的污泥成分相差较大,具有成分复杂多变等特点。因此,利用污泥制砖和生产水泥,应对污泥的性状进行检测^[8]。只有当污泥符合制砖和生产水泥性状,且重金属含量不超标时,才可以考虑利用污泥制砖和生产水泥。热干化污泥或湿污泥在制砖烧制过程中会释放甲烷,产生二噁英等有害物质^[7],所以直接用热干化污泥或湿污泥制砖在环保要求上不可行。污泥建材化处理处置虽然在理论上可行,但由于我国污泥处理与处置技术、设备比较落后,污泥建材化处理处置方式并未有效地应用于实践中。

1.2.4 污泥焚烧

污泥焚烧解决了污泥难分解和填埋可能造成地下水源污染的问题,可从根本上减少污泥最终填埋量,彻底杀灭病菌、病原体等有害有机物,是一种彻底的、完全的污泥处置方式,在国内外大中型工程中有较多应用。焚烧后的污泥产物已经无害化,可以二次利用,制成有用的成品。此外,污泥焚烧过程产生的热量回收后可以完全满足污泥干化的需要,也可用于供热或者发电。

污泥焚烧可分为直接焚烧和协同焚烧两种方式。污泥直接焚烧是利用污泥焚烧炉,添加少量助燃燃料进行焚烧的方式。协同焚烧主要是在垃圾焚烧发电厂、燃煤热电厂和水泥窑中掺入少量污泥,对其进行协同处置的方式。目前,国内不论掺烧还是单独焚烧,都是将污泥干化后进行,焚烧产生的余热可以直接用于污泥干化过程。

直接焚烧多采用流化床焚烧炉,焚烧装置要求建设在其他热源厂附近,所需投资较大,运行成本较高,焚烧产生的灰渣还需要寻找处理途径,因此需要企业正常运行及有关部门的有效监管。

污泥协同焚烧主要有垃圾发电厂、燃煤电厂和水泥窑等协同处置方式。污泥协同焚烧分为直接协同焚烧和干化后协同焚烧方式。刘涛^[9]研究了不同含水率污泥协同焚烧对垃圾发电量的影响,含水

率80%的污泥直接掺烧对垃圾发电量的影响十分显著,掺烧量建议不超过3%;对于经干化后含水率40%的污泥,掺烧量建议不超过10%。《燃煤耦合污泥电厂大气污染物排放标准》(DB 31/1291—2021)规定了污泥的掺烧率:含水率60%的污泥掺烧率不超过燃煤质量的5%。

垃圾发电厂和燃煤电厂掺烧污泥对后续烟气处理设施产生影响。垃圾发电厂掺烧污泥后,一方面烟气中粉尘和二噁英含量增加,易出现粉尘和二噁英超标的问题;另一方面炉渣热灼减率上升,炉渣中重金属含量增加^[10]。燃煤电厂掺烧污泥同样对烟气中的烟尘、二氧化硫、氮氧化物、二噁英等物质含量造成影响。污泥含水率对燃煤电厂烟气中二氧化硫浓度影响较大;掺烧污泥后,氮氧化物的排放量比单纯燃烧煤炭更高^[11]。水泥窑协同焚烧污泥使得污泥在水泥窑的高温作用下碳化成活性炭,吸附烟气中的二氧化硫、氮氧化物,污染物的减排效果明显,但是如果掺烧超量的污泥,其中的微量元素也会造成水泥熟料强度下降^[12]。

2 污泥直接焚烧处置设备

在污泥焚烧设备中,应用比较广泛的炉型有鼓泡式流化床、多膛焚烧炉和回转窑焚烧炉,其他炉型有旋风炉和不同形式的熔炼炉。

2.1 流化床焚烧处置技术

鼓泡式流化床焚烧炉一般设计成上部直径略大于下部直径的圆柱形反应器,下部设置布风风箱、布风板等;中部设有污泥投料口、燃烧器接口;上半部设置二次风进口,以保证污泥焚烧烟气充分燃烧(图1)。鼓泡式流化床投料口设置在二次焚烧区位置,污泥进入流化床内时,污泥焚烧过程中产生的热量直接作用于污泥,满足污泥水分的蒸发、挥发分的热解与燃烧的需要,不再需要附加其他燃烧室。鼓泡式流化床焚烧炉具有燃烧速度快、污泥停留时间短、焚烧热量可直接利用、效率高、适用性强、结构紧凑、占地面积小和事故率低等优点,但是存在动力消耗较大、飞灰量大等缺点。

2.2 多膛炉焚烧处置技术

多膛式焚烧炉是一种带机械传动装置的立式多段焚烧炉,是一个垂直的圆柱形耐火衬里钢制设备,内部设置多层炉膛、耙动装置、进料口、排料孔及烟气出口(图2)。污泥靠耙动装置的翻动依次进入焚烧炉每段炉膛。多膛炉以逆流方式运行,加热表面

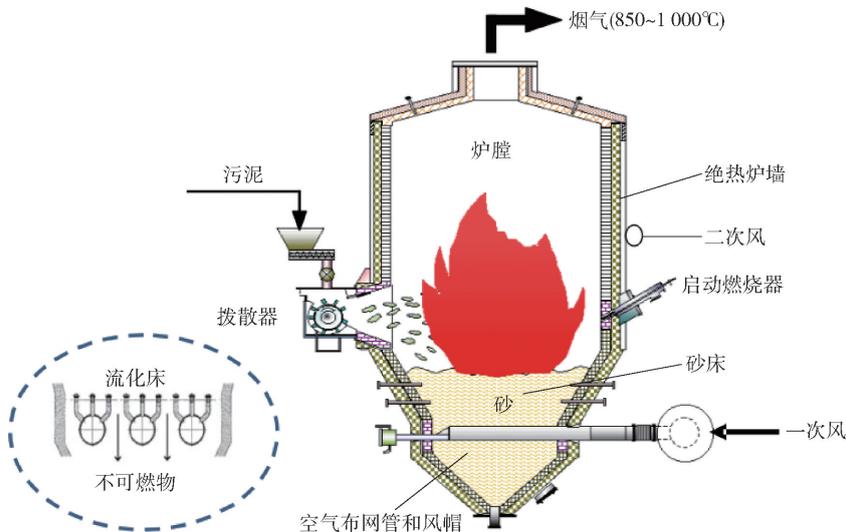


图1 鼓泡流化床焚烧炉结构示意图

积和换热表面积大,燃料消耗量少。但是多膛炉机械设备较多,易出现机械故障,需要经常维修与保养。目前多膛炉多用于活性炭生产、再生,及作为冶金炉使用。

烟气未经完全燃烧就排出,所以逆流式回转窑焚烧炉需设置二次燃烧室。

在实际应用过程中,回转窑按照一定的倾斜角度安装,且有一定的旋转速度,在回转窑的一端加入需要处理的污泥,在另一端排出处理后的灰渣。回转窑焚烧炉适用性强,可处理废物的范围广,操作稳定、焚烧安全,但多用于危险废物的焚烧处置。

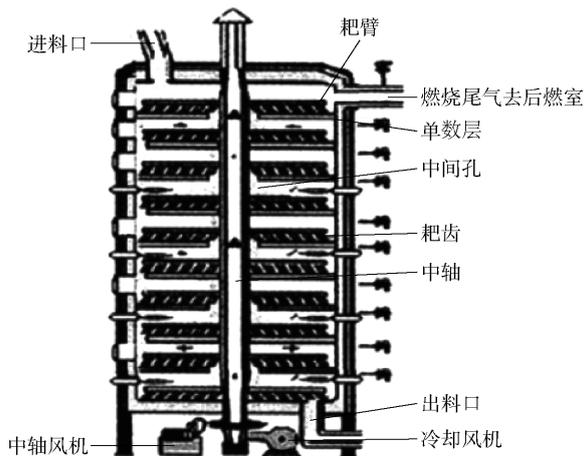
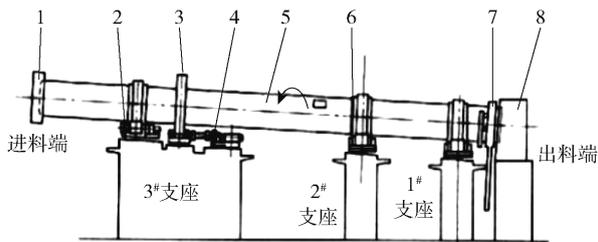


图2 多膛炉焚烧炉结构示意图



1 - 窑尾密封装置; 2 - 带挡轮支承装置; 3 - 大齿圈装置; 4 - 传动装置; 5 - 窑筒体部分; 6 - 支承装置; 7 - 窑头密封装置; 8 - 窑头罩

图3 回转窑结构示意图

2.3 回转窑焚烧处置技术

回转窑焚烧炉为卧式圆筒状,具有一定的倾斜角度(图3)。回转窑焚烧炉多用于危险废物焚烧处理,具有强大的废物焚烧处理能力,可以同时处理固体、液体及气体废物,废物在焚烧炉内停留时间长。回转窑焚烧炉分为顺流式焚烧炉和逆流式焚烧炉。顺流式回转窑焚烧炉为一端进料,另一端排出焚烧残渣和烟气的焚烧炉,目前国内危险废物回转窑焚烧多为顺流式回转窑焚烧炉。逆流式回转窑焚烧炉的烟气出口和进料口在同一端,焚烧残渣在另一端排出。逆流回转窑内物料运动方向与烟气方向相反,传热效率高,但是烟气出口与进料口在同一端,

3 结束语

人们在关注污水处理厂污水处理的效果时,往往忽视了污水处理产生的污泥带来的环境问题,因此污泥处理处置越来越受到国家的重视,国家将在“十四五”期间进一步提升加大污泥的处理与处置规模。污泥处理处置技术的选择要充分考虑各处理处置技术的优劣,又要结合实际情况。当然污泥的最佳处理处置方式是资源化再利用,然而受到污泥成分多变的影响,资源化利用受到一定的限制。污泥焚烧处置技术是一种最直接、最彻底的处理工艺,污泥焚烧分为直接焚烧和协同焚烧,无论哪一种焚

烧方式,都需要进一步改进、创新、优化和完善,提升污泥处理效率。

[参考文献]

[1] 中国市场调研在线. 2019—2025年中国污泥处理处置市场现状调研与发展趋前景分析报告(2019—2025年)[R/OL]. www.cninfo360.com.

[2] 普大华, 吴学伟, 李洁. 城市污泥处理处置技术对比[J]. 中国水运(学术版), 2007(2): 73-74.

[3] 朱明权, 周冰莲. 污水厂污泥稳定方法及稳定化程度的评价指标[J]. 给水排水, 1997, 23(10): 5-10, 2.

[4] 李明峰, 文炯. 市政污泥热解固体产物特性与应用研究[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(1): 5-7, 22.

[5] 房凯文, 曹宪周. 城市河道污泥干燥技术研究现状与装备性能分析[J]. 河南科技, 2020(16): 131-134.

[6] 徐丽莉, 孙善利, 任永忠. 国内外污泥处理现状及工艺[J]. 商场现代化, 2007(20): 381.

[7] 周立祥, 胡霁堂. 城市生活污泥农田利用对土壤肥力性状的影响[J]. 土壤通报, 1994, 25(3): 126-129.

[8] 史君洁. 直接用热干化或湿污水污泥制砖应予制止[J]. 标准科学, 2012, (1): 56-59.

[9] 刘涛. 污泥掺烧比例对生活垃圾协同处置的经济影响分析[J]. 给水排水, 2021, 57(6): 61-67.

[10] 王琳琳. 垃圾焚烧发电厂污泥掺烧技术应用[J]. 能源与节能, 2020(6): 89-91.

[11] 黄伟, 林英红, 罗子丰, 等. 燃煤电厂污泥掺烧技术及其研究进展[J]. 上海电力大学学报, 2021, 37(1): 1-4, 22.

[12] 杭世珺, 关春雨, 戴晓虎, 等. 污泥水泥窑协同处置现状与展望(下)[J]. 给水排水, 2019, 55(5): 41-45.

(上接第33页)

[12] KAWAKAMI I, ESAKIM, TETSUYAMA I, et al. Immobilization of fly ash from MSW incinerators and ash-melting furnaces [J]. Waste Manage, 1996, 16(5-6): 483-489.

[13] BASEGIO T, BECK LEO A P, BERNARDES A M, et al. Vitrification: An alternative to minimize environmental impact caused by leather industry wastes[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 165(1-3): 604-611.

[14] KUO Yiming, WANG Jianwen, WANG C T, et al. Effect of water quenching and SiO₂ addition during vitrification of fly ash Part 1: On the crystalline characteristics of slags[J]. Journal of Hazardous Materials, 2008, 152(3): 994-1001.

[15] CHOU IC, WANG Yafen, CHANG Chengping, et al. Effect of NaOH on the vitrification process of waste Ni-Cr sludge[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 185(2-3): 1522-1527.

[16] HAUGSTEN K E, GUSTAVSON B. Environmental properties of vitrified fly ash from hazardous and municipal waste incineration[J]. Waste Management, 2000, 20(2-3): 167-176.

[17] SINGH Narendra, LI Jinhui, ZENG Xianlai. Global re-

sponses for recycling waste CRTs in e-waste[J]. Waste Management, 2016, 57(9): 187-197.

[18] HARTMAN Alan D, ODEN Laurance L, WHITE Jack. Facility for Melting Residues From Municipal Waste Combustion: Design Criteria and Description of Equipment [R] // Report of Investigations/1993, UNITED STATE.

[19] 廃棄物・リサイクル六法編集委員会. 廃棄物・リサイクル六法[M]. 东京: 中央法规出版株式会社, 2010.

[20] 日本工业标准调查会. 熔渣类的化学物质试验方法-第1部分: 溶出量试验方法: JIS K0058-1-2005[S].

[21] CEDZYNSKA K, KOLACINSKI Z, IZYDORCZYK M. Plasma vitrification of waste incinerator ashes[C]. International Ash Utilization Symposium. Centre for Applied Energy Research, University of Kentucky, 1999.

[22] PARK H S, LEE B J, KIM S J. Medical waste treatment using plasma[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2005, 11(3): 353-360.

[23] 程伟, 鞠阿莲. 日本生活垃圾焚烧处理现状及启示[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(6): 57-60.