

污水处理厂污泥处理处置的上海经验及展望

彭吉良

(上海环境集团股份有限公司, 上海市 200336)

摘要: 围绕上海市污泥处理处置情况,在介绍污泥处理处置技术应用概况的基础上,重点介绍了污泥干化焚烧的特点、运行成本及优化方向;同时,基于上海经验总结了污泥处理处置技术如卫生填埋、好氧堆肥、厌氧消化、干化焚烧、干化协调焚烧/掺烧等,对上海污泥处理处置瓶颈问题进行分析,并展望未来发展方向。

关键词: 污泥处理;污泥处置;干化焚烧

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)04-0126-04

0 引言

污水处理厂污泥是污水处理的产物,剩余污泥所携带的有机物占比污水有机污染物的30%~50%,氮污染物20%~30%、磷约90%^[1]。如果简单处置污泥,甚至无组织堆放,极有可能重回水体,造成水体的二次污染,导致水环境治理效果大打折扣,难以达到水环境治理的目标。由于受经济发展水平、社会环境意识、环境治理阶段目标、城市发展规划等诸多因素制约,水环境治理重心一直聚焦在污水的达标治理上,而污水处理过程中产生的污泥,仅仅局限于“减量化”的厂内脱水处理,对污泥更为重要的“稳定化”、“无害化”、“资源化”等有效处置的科学性、必要性认识不足,得不到行业、社会应有的重视。尤其是从本世纪前10年开始,国内污水处理设施建设速度迅猛,但对污泥处理处置设施的投资明显未能与污水处理投资相匹配,污水处理和污泥处置规划建设发展的不同步趋势进一步凸显。

针对污泥处置产物指标长期滞后于水环境治理要求的严峻形势,杜绝脱水污泥二次污染环境的重大隐患,2015年4月国务院发布了《水污染防治行动计划》(即“水十条”)对污水处理产生的污泥,提出了明确的处理要求和阶段性任务完成时间点,指出“推进污泥处理处置。污水处理设施产生的污泥应进行稳定化、无害化和资源化处理处置,禁止经处理处置不达标的污泥进入耕地。非法污泥堆放点一律予以取缔。现有污泥处理处置设施应于2017年底前基本完成达标改造,地级及以上城市污泥无害化处

理处置率应于2020年底前达到90%以上”。上述要求有利于杜绝剩余污泥无组织堆放乱象,改变过去重水轻泥的治理思路,执行泥水并治的治理新理念,对尽快提高污泥的有效处置率,实现污泥“稳定化、无害化、资源化”的有效处置,意义重大。

本文将围绕上海市污泥处置情况,在介绍污泥处理处置技术应用概况的基础上,重点介绍了污泥干化焚烧的特点、运行成本及优化方向;同时,基于上海经验总结了污泥处理处置在技术方面的瓶颈问题及未来发展方向。

1 上海市市政污泥处理基本情况

根据城市发展和环境治理需要,自2003年起上海市相继建成了石洞口污泥处理一期工程,处理量64 TDS/d(绝干污泥);竹园污泥处理一期工程,处理量150 TDS/d;白龙港污泥处理一期工程,处理量204 TDS/d。其中,石洞口和竹园污泥处理项目主要采用干化焚烧处理工艺,白龙港污泥处理项目主要采用厌氧消化工艺。

经统计测算,目前上海市市政污水处理总规模约800万t/d,污泥处理总量约7000 t/d(含水率80%),到2035年预计污水处理规模约达到1200万t/d,污泥总量将增至10500 t/d(含水率80%)。根据“水十条”及上海市第6轮环保3a行动计划(2015年—2017年环境保护和建设三年行动计划),上海市又相继建成和正在建设的有石洞口污泥处理一期完善工程(处理量为72 TDS/d),石洞口污泥处理二期工程,处理量为128 TDS/d,白龙港污泥处理二期工程(处理量为486 TDS/d(含一期厌氧消化后污泥)),竹园污泥处理二期工程(处理量200 TDS/d),浦东临港污泥处理一期工程(处理量80 TDS/d)以及青浦污泥处理项目(处理

收稿日期: 2021-10-13

作者简介: 彭吉良(1968—),男,本科,工程师,从事水污染防治及污泥处理、处置技术与应用工作。

量为 60 TDS/d)。其中,竹园二期工程为干化工艺(干化后送外高桥电厂掺烧),其余均为干化焚烧工艺。石洞口污泥处理一期完善工程已运行,其余石洞口二期污泥处理工程、白龙港二期污泥处理工程、竹园二期污泥处理工程都在调试中,浦东滨海一期、青浦污泥一期处理工程正处在建设之中。同期,上海的松江、青浦、奉贤等地区,投资兴建过污泥好氧堆肥、污泥干化、污泥掺烧等小规模污泥处置工程。

截至 2017 年,上海市污水处理系统已基本形成石洞口、竹园、白龙港、杭州湾沿岸、嘉定及黄浦江上游、崇明三岛六大区域分片处理格局,如图 1 所示。全市共有污泥处理设施 30 座,污泥无害化处理处置率达 95%以上。

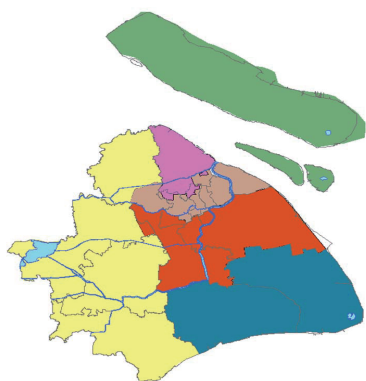


图 1 上海市污泥处置片区分布图

2 上海市污泥处理处置技术应用概况

目前,国际主流的污泥处理处置技术在我国均有应用,各地进行选择时常因地制宜确定主流及辅助性技术路线。上海市区经济发展水平高,土地资源非常短缺,而污泥日产量却巨大,干化焚烧作为最彻底的污泥“减量化、无害化、资源化”的处置技术,成为《上海市污水处理系统及污泥处理处置专业规划》(2017—2035)中所要求的主要选择。同样的道理,因崇明区规划为生态岛,工业污染极少,城镇污水处理厂污泥所含重金属污染有限,污泥采用好氧发酵后可安全适用于各类绿化、农地,而且崇明岛有较多的土地可供利用。在解决安全使用的前提下,又有足够的土地可供使用,因此,上海市形成了以干化焚烧为主,其他方式(如电厂掺烧、好氧发酵、厌氧消化等)为辅的污泥处理处置技术方案。现对各处理处置技术的应用概况介绍如下。

2.1 卫生填埋

上海市污泥处置的最初主流工艺即为卫生填埋,目前已被干化焚烧、厌氧消化等处置工艺所替

代。上海市污泥的卫生填埋发展历程,可能就是全国其他城市污泥处置工艺将来发展的缩影。但是,作为末端处置技术的卫生填埋,在不远的将来仍然是污泥处置中不可或缺的方法,只是被填埋的污泥不再是脱水污泥,而是经其他工艺处置后的满足卫生填埋条件的其体积较原污泥缩减 90%以上,甚至更高比例的残余物^[2,3]。

2.2 好氧堆肥

好氧堆肥处理技术是对污泥等废弃物进行高温好氧发酵,利用微生物的活性对废弃物中的有机质进行生物分解,同时高温杀灭病原体,使其达到“稳定化、无害化、资源化”的一种污泥处理技术。经好氧发酵后,污泥相关指标达到规范要求后,通过深耕、播撒等方式施用于土壤中或土壤表面。堆肥产物可进行污泥农用、园林绿化、林地利用、土壤修复及改良等。上海市青浦、松江等郊区建设运行过的好氧堆肥项目,基本没有达到项目建设的初衷,使污泥通过好氧堆肥实现土地安全、可持续利用的目标,还有很多的实际问题有待解决。

2.3 厌氧消化

厌氧堆肥消化技术在发达国家应用较为广泛,由于其污泥有机质含量高(60%~80%),以及分解率较高,发达国家污泥厌氧消化产生沼气转化的电能即可满足污水厂处理时所需电力的 33%~100%。由于泥质分析、系统运行管理污泥厌氧消化工艺操作复杂,运行管理难度大、存在消防隐患等因素,到目前为止,我国稳定运行的污泥厌氧消化项目并不多,上海白龙港污泥厌氧消化工程是国内较典型的厌氧消化工程之一。

2.4 干化焚烧

污泥干化焚烧是指在一定温度和有氧条件下,污泥分别经蒸发、热解、气化和燃烧等阶段,其有机组分发生氧化(燃烧)反应生成 CO_2 和 H_2O 等气相物质,无机组分形成炉灰/渣等固相惰性物质的过程。流化床焚烧炉是目前单独焚烧技术中应用最多的焚烧装置,主要有鼓泡式和循环式两种,其中尤以鼓泡流化床焚烧炉应用较多^[4-5]。污泥含水率在 55%~65%时,热值为 4.8~6.5 MJ/kg,可自持燃烧^[6]。焚烧是污泥减量化最彻底的处置工艺,也是上海市污泥处理处置的主要方式。污泥干化或焚烧后的无机灰末均可作为建材的原料利用。污泥的建材利用是一个资源化过程,要真正使其进入良性循环,在降低污泥处理处置成本的同时,能保证建材本身的产品质

量,稳定消纳量,为建材市场所接受。上海市正在推进污泥焚烧灰渣的建材利用,未来有望实现焚烧灰渣全部资源利用。

2.5 干化协同焚烧/掺烧

借助已有的垃圾焚烧项目或电厂,利用其设施的处理或焚烧能力,将污泥干化至含水率30%后,按一定比例掺入垃圾焚烧炉或电厂焚烧。该技术系统投资少、见效快,在污泥处理设施相对缺乏的特殊时期,对污泥处理可发挥积极作用。由于污泥与垃圾、煤等物料特性毕竟相差较大,在掺烧过程中,会产生或给已有设施的生产运行带来较大的影响,如:当污泥掺烧比过高时,容易出现炉膛结焦和锅炉积灰现象,大大增加了检修时间和频次;烟气处理成本较掺烧前,有较大的增幅,烟气排放浓度不易控制,操作不当有超标风险^[7];协同焚烧规模受到限制,往往难以覆盖污泥全量处理需求。电厂掺烧是上海市污泥单独焚烧路线的重要补充。

3 污泥干化焚烧成本及优化方向

成本及影响因素是技术选择的重要考虑因素。到目前为止,污泥干化焚烧技术能够较为彻底的实现污泥“稳定化、无害化、资源化”处置,且是较为成熟的技术,越来越多经济发达、土地紧张的城市开始考虑选择该技术。上海市是国内污泥干化焚烧工程最多、规模最大的城市,现重点介绍上海市及国内其他城市相关工程在投资和成本方面的经验,为干化焚烧技术的推广应用提供参考。

根据全国范围内已建成并正常运行的同类污泥干化焚烧调研情况分析,扣除财务成本和投资收益,直接运行成本,含人工费、电费、燃料费(天然气或轻质柴油)、各类药剂费、大修费及其他相关费用(炉渣、飞灰处置外运、环保监测、资产保险、绿化保安、行政管理等),约为450~500元/t(含水率80%)。费用构成比例大致是:人工费占10%~12%、动力费占16%~18%、燃料费占10%~15%、药剂占15%~20%,大修占18%~20%,其他相关费用占25%~30%。

经统计分析,污泥处理能耗100~110kW·h/t污泥(含水率80%),对比“新建焚烧厂电耗指标应小于90kW·h/t垃圾”,能耗高约10%~20%。其动力消耗主要工段占比:污泥接收及干化占22%~25%(干化13%)、焚烧占18%~20%,烟气占25%~30%。

如果项目选址不在污水厂规划厂界内,离污水厂有较远的距离,则这类“孤岛”污泥干化焚烧项目,

为满足污水排放环保要求,还需建设独立的污水处理系统,确保污水经净化后达标排放。同时,因无污水厂经净化的中水利用,干化冷凝过程中需新增部分自来水用量。因此,污水达标处理及自来水使用将新增污泥处理成本约40~50元/t。该类“孤岛”污泥干化焚烧厂成本约500~550元/t(含水率80%)。

针对干化焚烧技术特点,结合成本占比数据,未来可能降低成本的主要措施如下:

(1)随着生活水平的提高,污泥中有机质含量将进一步上升,其热值势必同步上升。在这种情况下,需补充天然气(或轻质柴油)量将会降低,当污泥热值常年超过12MJ/kg后,补充的燃料费用将降至零。

(2)发展烟气处理新工艺,降低烟气处理的能耗和药耗。

(3)合理规划场址,力争污泥项目在污水厂规划厂界内或紧邻厂界外,避免“孤岛”建厂,充分利用污水厂污水处理潜能和中水供给能力,避免污泥项目新增污水处理成本和新增自来水费用的产生。

(4)装备产业化成熟、国产化率提高,以及建设理念优化等因素引发财务成本降低。

随着污泥干化焚烧技术进一步成熟,干化焚烧项目较大规模建设,干化焚烧装备量产的增加、国产化率的提高,以及对简约、有效建设理念的重新认识,建设投资将有较大幅度的下降。参考垃圾焚烧50~55万元/t垃圾的工程直接投资强度,将污泥干化焚烧处理规模小(同服务区域内,污泥干化焚烧项目一般只有垃圾焚烧项目处理规模的1/3,甚至更少)、污泥接收系统+干化段设备及相关土建占项目投资约30%的投资增量等因素考虑在内,在可以预见的将来,将污泥干化项目投资强度控制在100万元/t污泥(含水率80%)以下,甚至更低,完全可以实现。该投资强度较目前的约120万元/t有近20%的下降幅度,对应的财务成本也将有同幅度的下降。

综上,如果能顺利实现,生产运行成本预计降低30%以上。

4 污泥处理处置技术瓶颈及发展方向

根据污泥处理理论技术和项目实践经验,污泥处理处置的绝大部分技术工艺原理明确、成熟,但由于各个项目在污泥泥性及其变化规律等方面具有其特殊性,在普遍性的技术理论与项目的特殊性相结合的时候,相关各方包括业主、设计方以及将来的设备供货方,对项目的特殊性关注不够、研究不够透

彻,再加上建设周期的偏紧、同类型项目偏少、可参考借鉴的经验有限等因素,在诸多细节方面考虑不周全,常导致项目上马后不能顺利完成调试,很难迅速转入商业运营。

例如,干化焚烧技术中的热干化技术,上海市普遍采用以蒸汽为热媒的传导式热干化技术。原理很简单,即利用蒸汽热源,通过干化机传递热量,完成污泥的干化过程,同时干化机将干化污泥顺利推出。但是,由于项目策划时国内在热干化方面的成熟制造商较少,上海市污泥干化机多为国外进口。而国外进口干化机,是根据该国污泥的含砂量、有机含量、粘滞特性等特性,研制生产的。一旦干化的污泥特性有不同,在生产过程中,进口干化机在工作稳定性、检修频次、污泥脱水效率等使用性能方面,在可能有很多不尽人意的方面,甚至因为污泥泥性的不同,导致干化机不能正常工作,从而引起后续焚烧线的停运。因此,以干化焚烧技术的推广为例,研制符合国内泥质的干化机,在降低投资成本的同时,提高干化机的工作效能,尤为重要和迫切。

在干化焚烧、厌氧消化、好氧发酵等传统技术之外,创新污泥处理处置新工艺、新技术,也是污泥处置事业发展不可或缺的关键环节。例如,未来可考虑更为绿色的热解技术作为焚烧的替代技术。污泥热解工艺,在缺氧环境下,通过间接高温加热,切断固体废物中有机物质的高分子链结构,完全裂解有机物分子,使其分解重组,最终形成可燃气体和干燥低

分子链碳化固体物质。热裂解过程中产生的可燃气体,一般为一氧化碳、氢气、甲烷等低分子碳氢化合物,可被无害燃烧处理(燃烧热能补充干化热能),燃烧尾气二氧化硫浓度低,且烟气没有二噁英和重金属污染风险,较污泥焚烧的尾气处理工艺简单、成本低;干燥低分子链碳化固体物质为一般固体废物,整个处理过程没有危废产生风险。与污泥焚烧技术相比,该技术在实现污泥“无害化、减量化、稳定化、资源化”的处置过程时,运行成本有明显优势。在取得污泥有效处置的环境价值或者说削减同等的环境污染当量时,较少的运行成本意味着更大的环境价值或更低的碳当量排放,是持续环境污染总量下降的重要治理技术和装备。

参考文献:

[1] 刘宇佳,赵旭东.污泥干化焚烧技术进展及我国典型工程概况[J].中国环保产业,2019(2):55-59.
[2] 王磊.市政污泥脱水干化及粘滞特性变化规律研究[D].上海:东华大学,2018.
[3] 梅静.污泥粘滞特性的宏观表征和降粘研究 [D]. 上海: 东华大学, 2017.
[4] 陈文迪. 污泥在流化床内的燃烧特性及高效焚烧处理处置研究[D]. 杭州:浙江大学,2019.
[5] 朱小玲. 竹园污泥干化焚烧厂运行技术优化研究[D].杭州:浙江大学,2012.
[6] 陈少卿,王飞,池涌,等.污泥干燥焚烧工程系统质能平衡分析[J].环境工程学报,2017,11(1):515-521.
[7] 孙中涛,刘露. 垃圾焚烧烟气脱酸工艺选择及应用[J]. 环境卫生工程,2018(12):93-96.

(上接第 121 页)

表 5 设计进出水水质处理程度表						单位:mg/L
项目	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
现进水水质	263	94.7	459	37.6	44.5	5.73
现设计出水水质	≤40	≤10	≤10	≤3	≤10	≤0.3
原出水水质	30.5	6.8	6.5	0.75	13.8	0.41
现出水水质	20.9	7.0	4.4	0.3	7.6	0.2

31.5%、44.9%和 51.2%,且平均水质满足一级 A 标准,说明本次提标改造方案可行,应用效果良好。

5 结 语

本项目于 2020 年 12 月 18 日建成,改造工艺可

靠,运行效果稳定,作为无锡市滨湖区、无锡市、乃至华东地区的污水处理示范工程,具有较为深远的影响。本次改造工艺可供类似项目参考。

参考文献:

[1] 蒋岚岚,胡邦,陈皓,等.无锡市胡埭污水处理厂升级改造工艺设计[J].中国给水排水,2010,26(6):27-29.
[2] 张辰.城镇污水处理厂升级改造工程要点[J].给水排水,2008,34(5):1-2.
[3] 孟兴智,张仂,谢承友,等.气浮法水处理工艺应用现状[J].盐科学与化工,2021,50(6):1-3.
[4] 隋克俭,李家驹,李鹏峰,等.溶气气浮工艺用于城镇污水处理厂二级出水的深度除磷研究[J].环境工程,2020,38(7):66-70,65.