

“两段法”污泥干化工艺的应用探讨

严俊泉, 袁 刚

(江苏长江水务股份有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 发展适合中国国情、适应中国污泥处置市场的干化技术是未来亟需解决的首要问题。而污泥热干化技术的适应性,即能耗、安全性、环境友好性、灵活性,成为合理选择干化技术类型、优化干化工艺的重要依据。“两段式”污泥干化技术因其适应性强,并具有稳定性高、低温低耗、安全环保等特点,在国内具有众多良好的实际项目运营业绩,可结合国内的污泥特点进一步优化发展使之更好地满足我国污泥处理的发展需求。

关键词: 污泥处置; 污泥干化; 粉尘浓度; “两段法”污泥干化

中图分类号: X703 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)06-0047-05

Discussion on Application of Two-stage Sludge Drying Technology

YAN Jun-quan, YUAN Gang

(Jiangsu Yangtze River Water Co. Ltd., Yangzhou 225009, China)

Abstract: To develop the drying technology which adapts to Chinese national condition and Chinese sludge disposal market is the most important issue needed to be resolved in the future. The adaptation of sludge thermal drying technology, namely energy consumption, safety, environment-friendly, flexibility, become the important basis to choose a reasonable type of drying technology and optimize the drying process. Two-stage sludge drying technology, because of its high adaptability and stability, low temperature and low consumption, environmental protection and other security features, have many good practical operation results of the projects. Combined with the domestic sludge characteristics, the two-stage sludge drying technology should be further optimized to meet the development requirements of sludge disposal in China.

Key words: sludge disposal; sludge drying; dust concentration; two-stage sludge drying

目前,污泥处理处置主要有填埋、土地利用、堆肥、焚烧等方法,但根据《城镇污水处理厂污泥处置混合填埋用泥质》(GB/T 23485—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质》(CJ/T 309—2009)、《城镇污水处理厂污泥处置 单独焚烧用泥质》(CJ/T 290—2008)等标准,机械脱水污泥水分过高(污泥含水率达80%),无法满足上述处理方法的泥质要求。

为了满足污泥进入环境消纳的要求而需采取必要措施,以使污泥在处置过程中不会对环境产生有害的影响。2013年1月,国务院办公厅发布《近期

土壤环境保护和综合治理工作安排》,文件明确要求,应禁止在农业生产中使用含重金属、难降解有机污染物的污水以及未经检验和安全处理的污水处理厂污泥、清淤底泥等,这也是首次公开提出未来将严格限制污水、污泥用于农业用途。

污泥的处理方法主要取决于污泥处置的方式和要求,主要包括污泥深度脱水、污泥稳定、污泥干化等方法。污泥经干化后体积和质量大幅降低,细菌和病原体得到有效去除,同时营养成分和热值得以保持,可以进一步进行填埋、堆肥、焚烧以及园林绿化等后续处置。

1 污泥干化技术的特点及发展

20 世纪末,由于脱水污泥在农用、填埋、投海时存在突出的不利因素^[1,2],也由于污泥热干化技术在欧美等国家的成功应用,使污泥干化技术在西方国家很快得到推广。国内污泥热干化技术起步较晚,目前仍以引进国外技术和设备为主,其干化工艺类型众多,安全性、稳定性以及能耗成本问题突出,因此选择合理的干化工艺,安全、稳定、低成本和大规模地处理污泥,是目前污泥干化亟需解决的问题。而污泥热干化技术的适应性,即能耗、安全性、环境友好性、灵活性,成为合理选择干化技术类型、优化干化工艺的重要依据。

污泥干化由于有提高水分蒸发强度的要求,故需使用人工热源。干化对污泥的处理效应,不仅是深度脱水,还具有热处理效应;另外,污泥干化处理的产物,其含水率可控制在 30% 以下,即达到抑制污泥中的微生物活动水平,因此污泥干化处理可同时改变污泥的物理、化学和生物特性。具体而言,污泥干化操作的温度效应可以杀灭污泥中的寄生虫卵、致病菌、病毒等病原微生物和其他非病原生物。与干化后污泥的低含水条件相配合,污泥干化可使污泥达到较彻底的卫生学无害化水平,同时干化污泥还具有相当高水平的“表观”生物稳定性(干化污泥如磨细后,重新加水浆化,再接种微生物,则其生物稳定性特征会失去,故称其为“表观”)。

另外,干化污泥的低含水率,使其重要的热化学特性——低位发热量大幅上升(含水率为 20% 的干化城市污水处理厂生污泥,其低位发热量约为 8~15 MJ/kg,为标准煤的 60% 左右),不仅可能达到自持燃烧的水平,甚至可作为矿物燃料的替代物使用(污泥衍生燃料)。污泥干化技术主要有热干化、太阳能干化、微波加热干化、超声波干化以及热泵干化等。目前应用最广泛也是最成熟的是热干化技术。根据热介质与污泥的接触方式可将热干化技术分为直接干化法、间接干化法和直接-间接联合干化法。

早在 20 世纪 40 年代,日本和欧美就已经用直接加热鼓式干燥器来干燥污泥。经过几十年的发展,污泥干化技术的优点正逐渐显现出来:①污泥显著减容,体积可减少 4~5 倍;②可形成颗粒或粉状稳定产品,污泥性状大大改善;③产品无臭无病原体,减轻了有关的负面效应,使处理后的污泥更易被

接受;④干化后产品具有多种用途,如作土壤改良剂、替代能源等。

由于污泥干化技术所具有的这种改变污泥物性的能力,因此污泥干化技术不仅可在污泥焚烧和热化学转化等工艺体系中作为预处理技术单元应用,也可以直接将干化污泥产物出售给园林绿化部门作肥料,或出售给建材制造等工业部门作辅助燃料。

对于干化工艺选择的原则,主要体现在以下几方面:

① 安全性。污泥干化过程中污泥自燃和设备爆炸等安全事故时有发生,安全性成为干化最重要的问题之一。早在 1994 年欧盟就颁布了《潜在爆炸危险安全标准》[ATEX95(94/9/EC)和 ATEX137(1999/92/EC)],并于 2003 年起在欧盟强制实施。污泥干化安全性问题存在于整个干化过程,其安全要素主要有粉尘浓度、含氧量、点燃能量及含湿量。污水处理厂干化污泥是一种高有机质物质,在干化过程中可能因自燃或焖烧而发生爆炸。对工艺安全性具有重要影响的要素及其限制指标分别体现在粉尘浓度、含氧量以及点火能量等方面。

② 能耗。能耗是直接影响干化项目运行费用的主要指标,好的干化工艺可尽量减少其不必要的能量损耗。

③ 设备价格。污泥处理项目属于市政基础设施,本身盈利能力不强甚至不具备。因此工艺选择需严格控制设备价格,避免污泥处理费大幅上升。

④ 抗波动能力。进料污泥含水率可能因为脱水运行情况而出现波动,干化设备在保证出泥品质的前提下允许这种波动发生的范围越宽,则抗波动能力越强。

⑤ 处理附着性污泥能力。含水率为 40%~60% 的污泥具有很强的粘滞性,附着在干化设备上会增加能耗,严重时甚至会引发爆炸事故,因此处理附着性污泥的能力越强越好。

⑥ 占地面积。土地是宝贵的资源,因此要求在相同处理能力条件下尽可能地少占地。

⑦ 灵活性。不同的污泥处理方式对污泥的含水率要求不同,理想的干化工艺应根据干污泥颗粒的不同用途而自由方便地调节其含水率。

2 关于“两段法”污泥干化工艺

“两段法”污泥干化工艺包括两级干化,分别利用薄层干化机和带式干化机技术。一级处理阶段多

余的能量部分转换成热量,经过热能回收系统提供给二级干化处理阶段。

2.1 工艺设计组成

工艺设计分为间接干化和直接干化两个阶段,通过中间造粒阶段可有效避免污泥干化过程中所产生大量粉尘的问题,另外通过热量回收装置对一段的废热回收用于二段干化实现热能梯度利用,可实现干化整体能耗降低约30%,大大节省了干化成本。

第一段是薄层蒸发器,采用间接干化方式干化污泥。第二段是带式干燥机,采用直接干化方式干化污泥,采用循环风设计,内部设计为负压,可有效控制干化过程中的气味扩散,带机内部与污泥直接接触温度一般不高于105℃,整个过程为低温干化,可有效保持污泥中的有机成分,干化后的污泥颗粒长度小于5 cm,含固率可在80%~95%范围内调节,热值可高达3 000 kcal/kg(1 kcal≈4.2 kJ,以下均按此值换算)以上,可以作为生物质能替代燃煤进行焚烧发电,回收污泥中的能量。

两段式污泥干化工艺设计流程见图1。

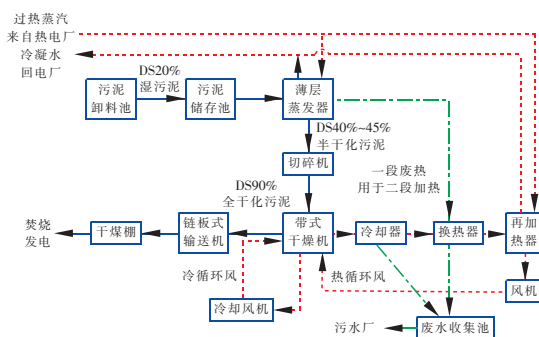


图1 两段式污泥干化工艺设计流程

Fig. 1 Design of two-stage sludge drying technology

① 第一段:薄层蒸发器

在第一阶段,脱水污泥由螺杆泵连续地投入水平薄层蒸发器中。蒸发器的旋转叶片将污泥涂成薄层紧贴在壳体的内壁,充分利用来自热电厂的过热蒸汽,转换为饱和蒸汽后,作为干化系统的热源。

热干化时,污泥进入薄层蒸发器内筒,蒸汽则进入外壳夹套中,通过换热壁间接干化污泥至其含固率为40%~50%(见图2)。随后,半干污泥通过切碎机格栅,被挤压成面条状,经回转式输送机送入带式干燥机。

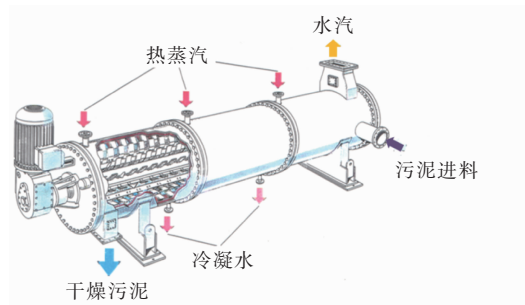


图2 薄层蒸发器构造示意

Fig. 2 Schematic diagram of thin film dryer

② 第二段:带式干燥机

带式干燥机共分三层,风机持续向上、中层送入循环热风(见图3)。形成的污泥颗粒通过一个回转输送装置在整个宽度范围内均匀配送,然后送到带式输送机的传送带上。传送带以一定的速度前进,保证污泥颗粒不会移动,也不产生摩擦。传送带上带有一些小孔,有利于热空气的最佳循环。传送带沿线设置有一定数量的入口,通过入口观测窗可检查运送的过程。干化机在低温负压下运行,可避免臭气蔓延的问题,干化后的污泥颗粒在最后一阶段传送带上冷却,确保最终干污泥温度下降到50℃以下。另外,可根据要求对带式干化机运行条件进行调整,以适应出泥不同含固率的要求。

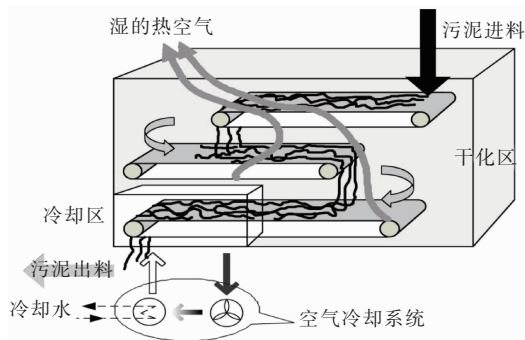


图3 带式干燥机构造示意

Fig. 3 Schematic diagram of belt dryer

2.2 “两段法”污泥干化工艺的特点及优势

采用创新性的两级干化工艺(一级处理后污泥干度达到40%~50%,随后二级干化处理后污泥干度可达到80%~95%),使得污泥在第一处理阶段具有可塑性时已经形成颗粒,然后在第二阶段进行进一步的干化处理。

① 安全性高

污泥在可塑性阶段形成颗粒以及带式干化机的

独特设计确保了该工艺无尘,其设备本身更加安全可靠。低温操作、不含粉尘以及封闭的环境都是对安全性的保证。该工艺防止了颗粒燃烧和引发爆炸的风险。同时不需要特殊的处理措施,如充入惰性气体或采取其他限制性程序。系统内物料粉尘浓度低($\leq 50\text{ g/Nm}^3$),系统氧浓度在安全浓度极限范围内($< 5\%$)。

② 节能低耗

间接加热方式在污泥含水率高时干化效率较高,而将最后 20% ~ 30% 水分去除,则比较困难;直接加热方式对含水率 $< 50\%$ 的污泥干化效率较高。

通过两套不同的能量回收系统对一段产生的废热进行回收,用于二段干化,通过此项设计可节约综合能耗达 30% 以上。

③ 出泥干度调整范围宽

通过在第二处理阶段进行适当调整,可产生不同干度的干污泥颗粒,干化度范围为 80% ~ 95%。根据污泥最终用途不同,污泥颗粒的尺寸也可在 10 ~ 50 mm 的范围内进行调整。

2.3 经济性及安全性综合比较

不同污泥干化技术经济性及安全性比较如表 1 所示。

表 1 主要污泥干化技术经济性及安全性比较

Tab. 1 Economy and safety comparison of main sludge drying technology

项 目	带式	两段式	桨叶式
加热形式	直接	间接 + 直接	间接
设备安全性	污泥几乎全静止,粉尘含量约 0.003 g/m^3 ,低于临界浓度;工作温度较高($110\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$),干化机内设喷淋系统,因此是安全的	第一阶段薄层干化机工作温度约 $85\sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度低,出料含固率为 $40\%\sim 50\%$,仍处于塑性阶段,没有粉尘产生。在第二阶段污泥几乎全静止,粉尘产量极低,污泥温度约 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此是安全的	无需空气循环,设备内部含氧量低。工况较平和,工作温度较低。粉尘和蒸汽一同排出,避免了粉尘的积聚。干化机内设置喷淋系统,高温时即进行喷淋,因此是安全的
全干化单位能耗/ ($\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$ 蒸发水量)	760 ~ 850	560 ~ 620	750 ~ 800
粉尘含量	低	低	高
含氧量/%	< 10	< 5	< 5
处理附着性污泥能力	在烘干过程中,污泥不需要任何机械处理,可以容易地经过“粘稠区”,不会产生结块附着问题	采用创新性的两级干化工艺(一级处理后污泥干度达到 $40\%\sim 50\%$,随后二级干化处理后污泥干度可达到 $80\%\sim 95\%$)	采用了特制的楔形桨叶设计,并采用双桨叶结构,彻底杜绝了污泥附着现象
系统复杂性	系统包括上料、供热、干化、湿分冷凝、空气循环,构成简单	工艺所需设备量少,安装、操作和维护简单	系统包括上料、供热、干化、湿分冷凝、颗粒冷却,构成简单
设备占地面积	大	中	中
出泥灵活性	可半干化,也可全干化	可半干化,也可全干化	可半干化,也可全干化

以上工艺均有成功运行的业绩,对主要技术关键点,各自均有特点。从安全性而言,采用“两段法”干化工艺系统内物料粉尘浓度低($\leq 50\text{ g/Nm}^3$),系统氧浓度在安全浓度极限范围内(一般在 5% 以下),干化过程中接触温度低,安全性高;从综合能耗而言,水蒸发耗热量理论计算虽与实际情况有一定的差别,但干化机设备净热耗基本在 $650\sim 850\text{ kcal/kgH}_2\text{O}$ 。其中“两段式”干化工艺设计有两套热量回收系统,回收一段干化的废热用于二段干化加热,因此综合能耗较低,具有很好的经济性。

3 应用与展望

在众多的污泥干化工艺中,“两段式”污泥干化

工艺所具有的安全环保、低温低尘、节能低耗等特有优势,使其在国内已经得到广泛的应用,已建成投运的如重庆、天津滨海、苏州园区等污泥干化项目,在当地产生了巨大的社会经济与环境效益。以苏州工业园区污泥干化项目为例,一期设计规模为 300 t/d ,就近利用热电厂的蒸汽作为干化热源,干化并输送至热电厂与煤混烧,连续稳定生产近 5 年来已累计处理湿污泥约 $42\times 10^4\text{ t}$ 。

随着我国城镇污水处理率的不断提高,城镇污水处理厂污泥产量也急剧增加,而目前我国的污泥处置以填埋为主。堆肥、复合肥研究不少,但生产规模很小。国内污泥综合利用实例不多,大规模污泥

的处置问题必将提上日程。在 2013 年,国务院办公厅发文提出未来将严格限制污水、污泥使用于农业用途,也意味着传统的填埋和农用出路逐步受到限制,而采用热干化后加焚烧资源化利用的组合处置方式可作为解决大规模污泥处置问题的有效方案。

根据污泥热干化技术的适应性特点合理选择干化技术类型,优化干化工艺,发展适合中国国情、适应中国市场的干化技术是未来亟需解决的首要问题。“两段式”污泥干化技术因其适应性强的特点,并从扩大处理规模、优化热源、减少工艺步骤、提高系统安全性,避免二次污染等方面进行改良、优化,使之更好地满足我国污泥处理的发展需求,因此具有众多良好实际项目运营业绩以及适应中国泥质特点的“两段式”污泥干化工艺也具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 丘锦荣,吴启堂,卫泽斌,等. 城市污泥干燥研究进展

[J]. 生态环境,2007,16(2):667-671.

[2] 郭淑琴,孙孝然. 几种国外城市污水处理厂污泥干化技术及设备介绍[J]. 给水排水,2004,30(6):34-37.



作者简介:严俊泉(1966-),男,江苏扬州人,大学,高级经济师,高级工程师,研究方向为净水及污水运营管理等。

E-mail:yjq_888999@sina.com

收稿日期:2016-09-20

(上接第 46 页)

区域(金汇镇)管网产销差率在“十一五”期间(2010 年底)的基础上平均降低 3 个百分点”。

4 结语

针对太湖流域上海地区饮用水安全输配中的突出问题,研究供水管网水质安全多级保障与漏损控制技术并进行工程示范,通过多级消毒、管道冲洗、漏损控制、非开挖修复和布局优化等五个方面的研究和应用示范,示范工程管网水质稳定达标,示范区供水产销差在“十一五”基础上下降 6.68 个百分点;结合国家需求和上海市的地方需求,有力地支撑上海市供水管网系统的安全保障和用户端饮用水卫生安全保障工作。

参考文献:

[1] 舒诗湖,郑小明,赵明,等. 基于区块化的供水管网全系统多级水平衡管理[J]. 中国给水排水,2013,29(12):18-21.

[2] 郑小明,赵明,舒诗湖,等. 管网区块化理念在上海市奉贤区集约化供水中的实践[J]. 给水排水,2012,38(1):100-102.

[3] 郑小明,舒诗湖. 基于 GIS 的供水管网全系统鱼骨式多级水平衡管理[J]. 中国给水排水,2014,30(2):8-11.



作者简介:舒诗湖(1981-),男,江西玉山人,博士后,高级工程师,上海市技术带头人,国家工程中心研发部副部长(主持工作),兼任上水奉贤公司总师办主任(挂职),主要从事城镇供水管网系统模拟与优化分析工作。

E-mail:ssh314@126.com

收稿日期:2016-08-06