

薄层干化机在危废污泥处置的工艺设计研究

毛俊, 李丹阳

中国城市建设研究院有限公司, 北京

收稿日期: 2022年3月17日; 录用日期: 2022年4月20日; 发布日期: 2022年4月27日

摘要

本文以国内某地园区危废污泥干化焚烧处置工程为例, 系统介绍了薄层干化机的设备原理、技术特点、系统组成、工艺参数以及设备调试运行情况, 为其他同类污泥干化焚烧处置项目提供设计思路、运行经验参考。

关键词

危险废物, 污泥, 薄层干化, 工程设计

Research on Engineering Design of Thin Layer Dryer in Hazardous Waste Sludge Disposal

Jun Mao, Danyang Li

China Urban Construction Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing

Received: Mar. 17th, 2022; accepted: Apr. 20th, 2022; published: Apr. 27th, 2022

Abstract

This paper takes the drying and incineration project of hazardous waste sludge in a domestic park as an example. This paper systematically introduces the equipment principle, technical characteristics, system composition, process parameters and equipment commissioning and operation of thin layer dryer. It provides design ideas and operation experience reference for other similar

sludge drying incineration disposal projects.

Keywords

Hazardous Waste, Sludge, Thin Layer Dryer, Engineering Design

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 工程背景概述

根据《国家危险废物名录》(2021 年)定义以及危险废物鉴别标准以及鉴别方法,危险废物是指具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性和感染性等一种或一种以上危险特性,以及不排除具有以上危险特性的固体废物[1]。目前国内大部分采用焚烧处理技术对危险废物进行处置,能够实现减量化和无害化处理目标,同时能够进行余热利用,能量回收[1] [2] [3]。回转窑焚烧炉作为危废焚烧生产线中的主要设备,可同时处理固废和废液,且几乎适用于所有可焚烧处置的废液,具有设备投资小、运行成本较低的优点[4] [5]。

污水污泥中含有的有机化合物主要为蛋白质、碳水化合物、多羟基烷烃等,同时也存在重金属和生物/化学添加剂。这些有害物质不经过处理直接排入环境中,将会对土壤、水体等产生严重影响[6] [7] [8]。

污泥热干化是将污泥颗粒内部或微生物细胞内的水分受热脱除的过程。污泥受热后,微生物细胞膜破裂,内部水分释放;逐步受热蒸发,污泥含水率降低,体积缩小 1/5~1/3;臭味减少,病原体减少;热值提高,为后续污泥处理处置提供了有利条件[9] [10] [11]。

干化 + 焚烧是现阶段我国最常用的污泥处置方式[10]。污泥焚烧处理最明显的优势在于可以迅速且最大程度地使污泥实现减量化,同时即使污泥性质易变、甚至如某些工业污泥归为危废,也可通过相应的焚烧工艺及其合理的工艺运行参数控制,彻底有效控制各类污染物[12] [13] [14] [15] [16]。

污泥热干化设备类型多,如圆盘干化机、桨叶干化机、带式干化机、薄层干化机,不同干化设备各有优缺点,污泥热干化技术的适应性、能耗、安全性、环境友好性,灵活性是选择干化设备的重要依据。

厦门某地园区项目处理危险废物量为 30 t/d,采用“回转窑 + 二燃室”进行处置,配套相应的余热回收利用系统以及烟气净化系统。

干化系统处理物料包括经济开发区三座污水处理厂产生的原生污泥、厂区污水处理站和物化处理产生的浓缩污泥,处理规模为 90 t/d,污泥含水率为 80%,污水中氯离子含量 < 400 mg/L,干基 SiO₂ < 10%,进泥温度 20℃。

本工程采用“干化 + 焚烧”工艺,设 1 条干化线,干化后污泥送入危险废物回转窑进行焚烧处理,干化所需的热源来源于余热锅炉产生的蒸汽,主要建设内容为污泥接收储存设施、干化设施、干污泥输送设施以及相关配套设施。

2. 薄层干化机设备构成及工作原理

2.1. 设备构成

卧式薄层干化机相关产品涉及石油化工、医药、食品及环境能源等众多领域,已经在世界范围内得

到广泛的应用。

设备主要由外壳, 转子&叶片, 驱动装置三大部分组成[3], 外壳为压力容器, 其壳体夹套间可注入蒸汽或导热油作为污泥干燥工艺的热媒, 材质为欧标的耐高温锅炉钢; 内筒壁作为与污泥接触的传热部分, 提供主要的换热面积以及形成污泥薄层的载体, 材质为 Naxtra-700 高强度结构钢覆层材料; 转子为一根整体的空心轴, 在受热的同时高速转动时不产生挠度, 始终使叶片与内筒壁的距离保持 5~10 mm, 在转子的转动及叶片的涂布下, 进入干化机的污泥会均匀的在内壁上形成一个动态的薄层, 污泥薄层不断的被更新, 在向出料口推进的过程中不断的被干燥。

转子配备有传输和摊开叶片, 摊开叶片位于转子的进泥端和出泥端, 其中进泥端成 45°安装, 出泥端与进料端呈斜反 45°角安装[17], 传输叶片分布在转子的中间区域。

2.2. 工作原理

污泥通过湿污泥进料泵以给定流量连续进入薄层干化机内, 在干化机转子及叶片的作用下均匀涂布在内壳的内壁上, 形成一层 5~10 mm 的湿污泥薄层。在薄层干化机的蒸汽夹套中通 1.0 MPa 的饱和蒸汽, 薄层干化机的内壳提供了充足的换热面积, 将热量传导至内壁并将湿污泥中的水分蒸发。随着转子及叶片的转动, 污泥从内壁上被刮下并再次涂布形成新薄层, 在不断的刮下、涂布、形成薄层、干化的过程中向前输送[18] [19] [20]。薄层干化机的蒸发尾气通过风机从排气口排出, 进入后续的喷淋冷凝系统, 并最终排至后续的除臭处理系统进行处理。运行过程中, 薄层干化机内严格控制气体氧含量, 当在线氧含量分析仪检测到薄层干化机内气体氧含量超过安全设定值时, 将通过惰性化气体入口向干化机内补充氮气或饱和蒸汽, 以迅速降低氧含量至安全值, 确保薄层干化机的运行安全。

2.3. 设备特点

- 1) 设备采用负压封闭, 无臭气和粉尘泄露, 不通入氮气情况下, 系统运行氧含量 < 2%, 安全性好。
- 2) 无载气循环, 废气产生量极少, 干化系统排出的废气为系统水蒸发量的 5%~10%, 减少设备数量, 无臭气外溢, 现场操作条件好。
- 3) 设备耐磨、材质防腐, 转轴材质为 SS316L, 外壳材质为 P265gh, 内壳材质为 Naxtra-700 覆层, 年运行时间将不少于 8000 h, 检修维护周期短, 每年检修一次, 一次 3~5 天, 启停和排空时间短, 方便检修, 易损件为 1 年更换 1 次, 叶片的更换比例小于安装总量的 15%。
- 4) 单机处理能力大, 蒸发效率高, 蒸发效率为 45 kg/m²·h。

3. 污泥干化工艺流程

污泥干化工艺流程为: 湿污泥地下接收仓 - 湿污泥储存仓 - 污泥干化机 - 干污泥输送机 - 皮带输送机 - 回转窑焚烧。

含水率为 80% 的湿污泥通过运输车卸到接收仓, 通过螺杆泵高压泵送至湿污泥储存仓进行缓冲储存, 湿污泥储存仓污泥通过螺杆泵连续送入薄层干化机, 螺杆泵变频控制, 24 小时连续运行, 污泥进入后被转子分布于内壁表面, 转子上的叶片对污泥反复翻混同时, 向前输送到出泥口, 在此过程中, 污泥水分被蒸发, 最终含水率达到 40% 以下, 通过螺旋输送机、卸料阀冷却降温后排出。

干化过程产生的废气由进料口上方蒸汽管口排出, 通过降尘箱, 冷凝器、除雾器、引风机送至除臭系统。干化系统内设备和厂房内臭气统一收集后送至危废回转窑进行焚烧处理。

蒸汽来源于焚烧线余热锅炉产生的饱和蒸汽, 干化机所需的蒸汽压力为 1.0 Mpa, 蒸汽温度为 180℃, 蒸汽消耗量为 3.7 t/h。

4. 干化系统设计

4.1. 污泥接收储存系统

湿污泥接收仓为地下式成套组合装置,有效容积为 40 m^3 ,底部为矩形平底结构,顶部设液压进料门,底部配套液压滑架及双轴螺旋给料机,底部螺杆泵输送量为 $15\text{ m}^3/\text{h}$,1用1备。

湿污泥储存仓为圆柱形平地仓,材质为碳钢,直径 6 m ,仓体高度为 15.54 m ,有效容积为 400 m^3 ,为成套组合装置,配套液压滑架、螺旋卸料机。底部螺杆泵输送量为 $15\text{ m}^3/\text{h}$,1用1备,电机功率为 30 KW ,采用变频控制。

4.2. 污泥干化系统

螺杆泵将湿污泥送入干化机入口端,进入卧式薄层干化机的污泥被转子分布于热壁表面,转子上的叶片在对热壁表面的污泥反复翻混的同时,还将其向前推送到出泥口。在此过程中,污泥中水分被加热蒸发为水蒸汽,水蒸汽在干化机内部与污泥逆向运动,最终由污泥进料口上方的乏气箱排出。

污泥处理量为 90 t/d (按含水率 80%),出泥含水率为 40% ,设备净重为 56.6 吨 ,设备尺寸为 $L15850 \times W2650 \times H2800$,内壁厚度大于 25 mm ,转速为 100 r/min ,电机功率 250 KW ,采用软起动。外壳材质为 $P265GH$,内壳材质为 $P265GH+Naxtra-700$,转子&叶片为 $SS304$ 。

干化机热源为饱和蒸汽,蒸汽进口参数:蒸汽温度 180°C ,蒸汽压力为 1.0 Mpa ,单台干化机的额定蒸发量为 2.5 t/h ,单台干化机蒸汽消耗量为 3.25 t/h ,干化机配置为 1 台 。

4.3. 尾气收集冷却系统

干化过程中产生的废蒸汽在干化机内部与污泥逆向运动,由污泥进料口上方的乏气箱排出,进入喷淋冷凝器。在喷淋冷凝器中,废蒸汽通过水洗,水分从蒸汽中冷凝下来。少量不凝气体(空气和污泥中挥发物)及水蒸汽经过除雾器,由废气风机排出干化系统。自干化系统排出的废气约为系统水蒸发量的 10% ,废气风机使整个干化系统处于负压状态,避免臭气及粉尘的溢出。

冷凝器为立式筒形结构,内置喷头,有蒸发尾气入口、废水排放口、不凝气体出口,液位监控口以及循环喷淋水入口。处理能力为 $5277\text{ m}^3/\text{h}$,废气入口温度 $90\sim 110^\circ\text{C}$,排气温度为 50°C ,热交换量为 1960 kW ,喷淋水量为 $170\text{ m}^3/\text{h}$,设备尺寸为 $\varnothing 800/2000 \times 4500\text{ mm}$,材质为 $SS304$ 。

降尘箱为静态降尘减速箱,为立式方形结构,设备尺寸为 $1200 \times 525 \times 2000\text{ mm}$,重量 330 kg 。除雾器为静态液滴分离器,立式筒形结构,有不凝气进出口、冲洗水入口和排放口,排气温度为 50°C ,设备尺寸为 $\varnothing 150 \times 1000\text{ mm}$,材质 $SS304$,重量 100 kg 。

不凝气风机风量为 $400\text{ m}^3/\text{h}$,风压为 5000 Pa ,电机功率为 5.5 kw ,设备重量为 350 kg ,风机壳和叶轮为 $SS304$,机座为碳钢,轴承: $S304$ 。

设置板式换热器对热侧的循环喷淋水进行间接冷却降温,循环喷淋水降温后回到冷凝器内对尾气进行喷淋洗涤。换热器采用大流道式,防止循环喷淋水中粉尘颗粒堵塞。热侧水量为 $170\text{ m}^3/\text{h}$,冷测水量为 $170\text{ m}^3/\text{h}$,换热面积为 40.64 m^2 。

4.4. 干污泥运输转载系统

自卧式薄层干化机产出含水率 40% 的污泥首先进入干泥冷却螺旋进行冷却,温度由 90°C 降低到 50°C 。干泥冷却螺旋为带有夹套的螺旋输送机,兼顾冷却与输送干污泥的作用。冷却后干泥首先通过卸料阀,随后由刮板输送机送至干污泥运输机,输送量为 $8\text{ m}^3/\text{h}$,运输距离 25 m ,宽度 500 mm ,功率 4 kw ,材质为碳钢。

4.5. 臭气处理系统

本工程臭气来源主要三部分,一部分为污泥干燥机不凝尾气,二是污泥接收仓、储存仓以及干污泥输送过程产生的臭气,三是污泥接收及干化车间产生的低浓度臭气。

臭气风量为 5000 m³/h,采用“酸洗 + 碱洗 + 活性炭吸附”工艺处理,烟囱高度 15 米,直径 350 mm。酸洗塔和碱洗塔尺寸为 Ø800 × H4100 mm,设备重量为 2000 kg。活性炭设备尺寸为 1600 × 1500 × 1500 mm。

4.6. 循环冷却系统

为干化系统提供冷却水,设计圆型逆流中温型玻璃钢冷却塔。循环水量为 200 m³/h,温降 10℃,设备尺寸为 D4150 × 3850 mm,运行总重为 2365 kg。

5. 工程运行效果

本项目已通过 72 h + 24 h 性能考核,处理能力能够满足 90 t/d 的满负荷,干化后污泥含水率均低于 40%,满足设计目标值要求。运行过程中焚烧装置产生的蒸汽无法满足负荷运行所需的用汽量,设施了燃油锅炉补足蒸汽量,需要在后期调试过程优化工艺条件,使焚烧系统稳定运行,提供稳定充足的蒸汽量,减少燃油消耗。

6. 结论

薄层干化机作为污泥干化设备的一种,已经应用到越来越多的污泥干化项目中,并取得良好的处理效果。成都市第一城市污水污泥处理厂项目为国内首个采用半干化 + 焚烧工艺的污泥处理设施,于 2013 年建成投产运行,至今运行状况良好,处理能力达标,现场无臭味、粉尘泄露。

薄层干化机不仅适用于市政污泥处理方面,同时因为其良好的气密性和极低含氧量,在含油污泥等危废污泥项目干化焚烧得到应用,本项目为危废污泥干化焚烧项目,对于薄层干化机在危废领域的应用具有较强的借鉴参考意义。

参考文献

- [1] 环境保护部. 国家危险废物名录[Z]. 2021.
- [2] 胡文琦, 谢明, 林晓伟, 任佩佩, 肖勇. 危险废物焚烧及烟气处理系统研究与优化设计[J]. 广东化工, 2020, 47(13): 106-108+112.
- [3] 姚鹏程, 顾利星, 郑时光, 张华生, 梁永维. 危险废物回转窑焚烧系统及烟气净化工程实例[J]. 中国环保产业, 2019(8): 54-56.
- [4] 王德锋. 危废焚烧与烟气净化系统的设计难点及对策[J]. 有色冶金设计与研究, 2019, 40(5): 43-45.
- [5] 赵锦. 几种污泥焚烧处理技术[J]. 工业炉, 2018, 40(6): 1-6.
- [6] 谢昆, 尹静, 陈星. 中国城市污水处理工程污泥处置技术研究进展[J]. 工业水处理, 2020, 40(7): 18-23.
- [7] 张丽霞. 城镇污水厂污泥处理处置技术的研究进展[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2019, 3(3): 56-59.
- [8] 李润东, 张万里, 孙洋, 贺业光. 污泥热干化技术适应性分析及未来发展趋势[J]. 可再生能源, 2012, 30(5): 95-99.
- [9] 彭小龙, 毛梦梅, 袁晓辰, 杜海亮. 与垃圾焚烧协同的污泥热干化工艺选择[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(1): 47-49.
- [10] 李家祥, 贺阳, 范跃华. 4 种污泥干化技术及设备的比较与展望[J]. 中国市政工程, 2013(1): 80-84.
- [11] 张宝茸, 岳宝. 能量梯级利用在污泥热干化中的应用研究[J]. 中国给水排水, 2016, 32(23): 135-138.
- [12] 郝晓地, 陈奇, 李季, 等. 污泥干化焚烧乃污泥处理/处置终极方式[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4): 35-42.

- [13] 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): 55-58.
- [14] 胡维杰. 我国污水处理厂污泥处理处置需关注的若干内容[J]. 给水排水, 2019, 45 (3): 35-41.
- [15] 林莉峰, 王丽花. 上海市竹园污泥干化焚烧工程设计及试运行总结[J]. 给水排水, 2017, 43(1): 15-20.
- [16] 郑凯. 常州污泥干化焚烧项目技术应用[J]. 净水技术, 2019, 38(s1): 163-166.
- [17] 汪喜生, 吕瑞滨. 污泥薄层干化工艺的 engineering 实践[J]. 净水技术, 2017, 36(10): 80-83+110.
- [18] 陈汝超. 化工区危废污泥干化焚烧项目的工艺设计与运行[J]. 中国给水排水, 2017, 33(20): 50-52.
- [19] 毛梦梅, 刘嘉南. 薄层干化机污泥干化过程能耗及污染物特性研究[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(3): 37-40.
- [20] 胡中意. 苏州工业园区污泥干化焚烧系统工艺设计[J]. 中国给水排水, 2014, 30(2): 88-90.