

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.025

# 市政污泥干化焚烧技术应用工程案例

杨汉文<sup>1</sup>, 王建国<sup>2</sup>, 李冲<sup>1</sup>, 王瑞<sup>1</sup>, 陈安怡<sup>1</sup>

(1. 无锡国联环保科技股份有限公司, 江苏 无锡 214121; 2. 常州锡联环保科技有限公司, 江苏 常州 213169)

**摘要:** 以常州市武进区污水处理厂生活污水污泥焚烧处理工程为例,详细介绍了污泥干化与焚烧技术的实际应用情况。该工程案例主要技术路线采用圆盘干化+流化床焚烧,设计焚烧处理规模为 450 t/d(污泥含水率为 80%)。经过前期的试运行和不断改进完善,该工程达到了设计目标,为武进区污泥的深度减量化、稳定化、无害化与资源化利用打下了坚实的基础。

**关键词:** 污泥焚烧; 圆盘干化; 流化床

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0136-05

## Application Project of Municipal Sludge Drying and Incineration Technology

YANG Han-wen<sup>1</sup>, WANG Jian-guo<sup>2</sup>, LI Chong<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>1</sup>, CHEN An-yi<sup>1</sup>

(1. Wuxi Guolian Environmental Science & Technology Co. Ltd., Wuxi 214121, China; 2. Changzhou Xilian Environmental Science & Technology Co. Ltd., Changzhou 213169, China)

**Abstract:** Taking the sewage sludge incineration project of Wujin sewage treatment plant in Changzhou City as an example, the practical application of sludge drying and incineration technology is elaborated. The main technical route of the project case is disc drying and fluidized bed incineration, and the design incineration capability is 450 t/d (based on the sludge water content of 80%). After the preliminary trial operation and continuous improvement, the project has reached the design conditions, and laid a solid foundation for the deep reduction, stabilization, harmless and resource utilization of sludge in Wujin district.

**Key words:** sludge incineration; disc drying; fluidized bed

市政剩余污泥是城镇污水处理过程中污染物转移、转化的产物,是现阶段难以避免的“副产品”。我国现有污泥处理处置技术,仍是多路线并存的局面。污泥焚烧被认为是污泥处置技术中最有发展前景的方法之一<sup>[1]</sup>。污泥焚烧具有处理速度快、处理量大、占地面积小、无需长期储存、可就地焚烧、不需要长距离运输、最能体现污泥减量化的特点<sup>[2]</sup>。

常州市武进区为解决辖区内 8 座生活污水处理厂约 370 t/d(以含水率 80% 计)污泥出路问题,经综合考量,决定采用污泥干化焚烧的技术路线。常州地处经济发达的长江三角洲腹地,寸土寸金,没有多余的土地进行污泥填埋。污泥好氧堆肥处理后销

路存在很大问题,且堆肥处理方式耗时较长,处理过程中还需做好除臭工作。污泥厌氧消化耗时长,处理不彻底,消化污泥还需进一步处理。污泥干化焚烧处置,利用污泥焚烧产生的热量来干化污泥,可以降低处置成本,达到污泥“减量化、稳定化、无害化和资源化”的目的。

### 1 工程概况

根据常州市武进区生活污水处理厂污泥处置规模的要求,本工程新建 1 座日处理脱水污泥 450 t/d(以含水率 80% 计)的干化、焚烧中心,主要技术路线为圆盘干化+流化床焚烧,污泥焚烧高温烟气用作污泥干化所需热源,选址位于常州市武进区雪堰

镇夹山南麓,常州市工业固体废弃物安全填埋场南侧。水后泥饼含水率降至约 55%,泥饼运输至干化、焚烧处置中心,贮存于脱水污泥贮存仓。武进区污水处理厂脱水泥饼情况见表 2。

表 1 武进区生活污水处理厂概况

Tab.1 Summary of domestic sewage treatment plants in Wujin district

污水处理厂	实际污水处理规模/ ( $10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ )	主要工艺	产泥量(80%含水率)/ ( $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$ )	污泥含水率/%	干基热值/ ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
武南污水处理厂	10.0	氧化沟	128	80	12 461.4
城区污水处理厂	8.0	氧化沟	110	80	11 474.4
滨湖污水处理厂	5.0	A <sup>2</sup> /O	62	81	13 167.0
牛塘污水处理厂	2.0	CAST	23	78	14 313.6
马杭污水处理厂	1.8	A/O	20	82	12 192.6
漕桥污水处理厂	1.0	SBR	12	82	12 112.8
湟里污水处理厂	1.0	SBR	11	83	11 285.4
太湖湾污水处理厂	0.75	A <sup>2</sup> /O	4	83	9 870.0

表 2 武进区各污水厂脱水泥饼数据

Tab.2 Data of cement cake removal from sewage treatment plants in Wujin district

污水处理厂	脱水泥饼量/( $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$ )	泥饼含水率/%	干基热值/( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
武南污水处理厂	142	54.48	10 428.6
城区污水处理厂	124	53.96	9 466.8
滨湖污水处理厂	71	56.25	10 789.8
牛塘污水处理厂	26	55.71	12 016.2
马杭污水处理厂	23	57.30	9 765.0
漕桥污水处理厂	14	56.83	10 302.6
湟里污水处理厂	12.5	57.47	9 395.4
太湖湾污水处理厂	4.7	55.66	7 824.6

本工程污泥干化焚烧为自持平衡燃烧,含水率 80% 的污泥经板框压滤机深度脱水至含水率约 55%,经旋转导热油污泥圆盘干化机烘干至含水率约 35%。烘干后污泥(含水率约 35%)送至焚烧炉焚烧,产生的烟气热量通过导热油介质烘干污泥;干化污泥产生的不凝气体通过冷凝器冷却后送入焚烧炉燃烧,产生的烟气经过烟气净化系统净化后达标排放。污泥焚烧烟气排放执行《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)。在正常生产运行过程中不需添加二次辅助燃料(焚烧炉点火阶段,以柴油为辅助热源,点火成功后,无需再添加),减少了一次能源的浪费。焚烧炉运行温度 $\geq 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,烟气炉内有效停留时间 $>2\text{ s}$ ,灰热灼减率 $<3\%$ ,渣热灼减率 $<5\%$ 。干化污泥产生的不凝气体送入炉膛焚烧,避免二次污染。污泥干化产生的废水和生产废水通过预处理设施处理后纳管排放,排放标准执行《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)。

污泥干化焚烧工艺流程见图 1。

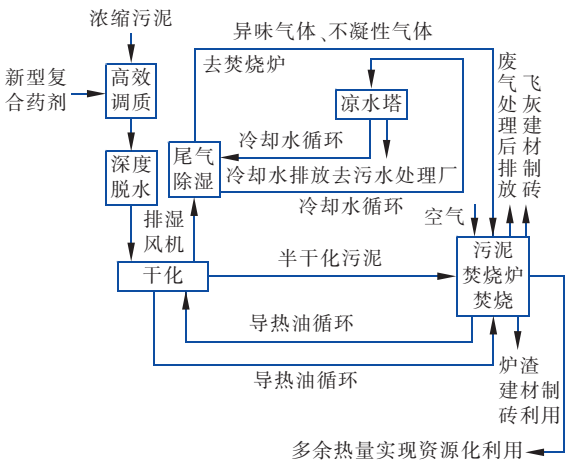


图 1 脱水污泥干化焚烧工艺流程

Fig.1 Flow chart of drying and incineration process for dewatered sludge

污泥干化焚烧主要工艺系统包括:污泥接收、预处理及上料系统,旋转导热油干化系统,流化床焚烧

系统,烟气净化系统,烟风道系统,灰渣收集处理系统,湿污泥除臭系统,导热油系统及公共设施系统。

## 2 主要处理单元

### 2.1 污泥接收、预处理及上料系统

深度脱水污泥经污泥运输车辆送至污泥上料车间;当停车维护时,污泥直接外运。上料车间内污泥经破碎后由螺旋给料机送入主厂房内污泥干化机。

污泥破碎及上料是本工程的起点,起到贮存缓冲和预处理作用。整个破碎及上料设备放置于污泥破碎及上料间,原料堆放区尺寸 18 m × 15 m,占地 270 m<sup>2</sup>。污泥堆高平均 1.5 m,储泥量按 400 t 设计,满足 2 台工艺生产线 2 天生产量。

### 2.2 旋转导热油污泥干化系统

污泥干化系统采用 2 台旋转导热油干化机(圆盘干化机),单机公称传热面积 200 m<sup>2</sup>,单机蒸发能力 1 291.5 kgH<sub>2</sub>O/h。利用焚烧污泥产生的高温烟气作为干化热源,导热油作为干化介质;高温导热油与脱水污泥采用并流间接接触方式干化。导热油通过焚烧炉的省煤器被高温烟气加热,高温导热油在干化机与焚烧炉之间循环,将烟气热源间接传递给污泥颗粒,从而使污泥干化。为使导热油与污泥充分换热,导热油先经过旋转叶片与污泥换热,然后流入壳体从而形成整体加热环境,提高综合传热效率。干化机的圆盘之间安装有刮泥板,可以防止污泥黏

附在圆盘上造成淤积<sup>[3]</sup>。

在干化机顶部设置有排气口,干化污泥蒸发出来的不凝气体与湿蒸汽及时排出;湿蒸汽首先经过旋风除尘器分离粉尘,后送至冷凝器冷凝,冷凝下的废水排至污水箱,不凝气体通过送风机送入焚烧炉膛焚烧处理。

### 2.3 流化床焚烧系统

本工程采用流化床焚烧炉。流化床焚烧炉对燃料的适应面广,能够适应各种易燃煤种和低热值、高水分的燃料。焚烧系统主要包括流化床焚烧炉、点火和辅助燃料设备、燃烧空气系统及灰渣处理设备。半干化污泥从位于炉膛过渡段前墙的加料口进入,经历加热、干化、热解、破碎和燃烧等过程。污泥中的挥发分大部分在疏相区燃烧,而固定碳主要集中在密相区燃烧。尾部受热面布置有两级省煤器和两级空气预热器。省煤器和空气预热器利用尾部高温烟气加热导热油和冷空气。燃烧过程中产生的炉渣经振动排渣机由炉底排出;随烟气飞离焚烧炉的细灰由尾部除尘装置分离、捕集。

焚烧炉能保证污泥完全焚烧,炉膛内烟气温度在 850 ℃ 以上,停留时间不低于 2.5 s,烟气中有害成分彻底分解,避免二噁英的合成,满足国家标准(“3T”技术)。

污泥干化焚烧工艺设计参数见表 3。

表 3 污泥干化焚烧工艺设计参数

Tab. 3 Design parameters of sludge drying and incineration

项 目	工艺参数	设计值
污泥干化系统	55% 含水率脱水污泥量/(t · d <sup>-1</sup> )	2 × 100 = 200
	污泥含固率/%	45
	污泥绝干量/(tDS · d <sup>-1</sup> )	200 × 45% = 90
	绝干污泥额定进料率/(kg · h <sup>-1</sup> )	90 000/24 = 3 750
	干化机加热方式	间接(传导)
	干化机生产线数量/条	2
	换热介质	导热油 210 ℃/190 ℃
	污泥干化蒸发量/(kgH <sub>2</sub> O · h <sup>-1</sup> )	2 583
	单台干化机蒸发量/(kgH <sub>2</sub> O · h <sup>-1</sup> )	1 291.5
污泥焚烧系统	焚烧炉生产线数量/条	2
	单条生产线额定进料量/(kgDS · d <sup>-1</sup> )	45 000
	单条生产线最大进料量/(kgDS · h <sup>-1</sup> )	1 875
	单条生产线运行时间/(h · a <sup>-1</sup> )	8 000
	焚烧炉进料含水率/%	35
	过剩空气/%	40
	流化床焚烧炉烟气排放温度/℃	≥ 850
	风箱空气温度/℃	650
	焚烧水分蒸发量/(kgH <sub>2</sub> O · d <sup>-1</sup> )	48 000
	焚烧水分最大蒸发量/(kgH <sub>2</sub> O · h <sup>-1</sup> )	56 400

## 2.4 烟气净化系统

烟气净化系统采用活性炭吸附+半干法喷淋塔+布袋除尘器+湿法脱硫(远期预留)。脱硫装置采用1炉1塔的方案,脱硫装置的烟气处理能力为1台焚烧炉额定负荷时的烟气量( $22\,000\text{ m}^3/\text{h}$ ),在燃用设计燃料时脱硫效率 $\geq 95\%$ 。吸收剂为外来成品的槽罐车装粉状氢氧化钙和粉末活性炭。脱硫副产品利用仓泵直接送入灰库,外运综合利用。烟气处理符合《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)后达标排放。为满足更严格的环保要求,尾部烟道预留碱洗塔位置。

2019年10月26日在线烟气监测数据见表4。

表4 2019年10月26日在线烟气监测数据

Tab.4 Online flue gas monitoring data on October 26, 2019

$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$							
项目	CO	HCl	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	粉尘
原始值	6.26	0.50	0.11	5.78	0.59	11.12	1.69
小时均值	22.80	1.43	1.82	116.84	3.97	213.38	12.75

## 2.5 烟风道系统

烟风道系统由一次引风机、二次引风机以及相应的空气、烟气管道等组成。一次风机的取风口设置在干化车间,干化车间的异味送入炉膛焚烧。污泥干化产生的不凝气体同时送入炉膛焚烧处理。二次风分4路从炉膛密相区与疏相区之间的过渡段的四角喷入炉膛。焚烧炉排气以引风机强行抽风,使炉内的风压控制在负压约0.05 kPa。系统引风机采用变频调速控制。

## 2.6 灰渣收集处理系统

干化焚烧灰渣主要来自焚烧炉(炉渣炉灰)、布袋除尘器(飞灰)和喷淋塔(出口尾气产生的残渣)。

除渣系统包括从焚烧炉炉膛底部排渣口一次门开始至渣仓底部排渣设备出口止,包括冷渣机、输渣皮带机、斗式提升机、渣仓、渣仓本体设备等。每台焚烧炉产生热渣从焚烧炉底部排渣口排出后,先经一道手动卸料阀后排出,进入冷渣机内进行冷却,冷却介质为水,冷却后的干渣落入一台布置在焚烧炉房的耐高温皮带输送机内,然后由皮带输送机将干渣输送至布置在焚烧炉间外的斗式提升机内,由斗式提升机送至渣仓。渣仓底部设有两个卸料口,分别为干式卸料口和加湿卸料口,炉渣可直接装车外运至综合利用场所。

除灰系统从除尘器排灰口开始至飞灰打包机排

灰口止,包括输灰仓泵、管路系统、灰库、螯合混炼机、飞灰造粒机、打包机及附属设备等。本工程设1套飞灰螯合处置装置,对2台100 t/d污泥焚烧炉烟气净化收集的飞灰进行螯合稳定处理,螯合后的飞灰经造粒成型、装袋打包后运至指定填埋场填埋处置,飞灰填埋执行《危险废物填埋污染控制标准》(GB 18598—2019)。

## 2.7 湿污泥除臭系统

在污泥上料间贮存55%含水率的污泥,会产生一定的臭气,臭气成分主要包括NH<sub>3</sub>和H<sub>2</sub>S。污泥破碎及上料间采用生物除臭方式处理,按1 h抽气3次计算,生物除臭装置的处理能力为16 200 m<sup>3</sup>/h。生物除臭能够实现恶臭气体达标排放,同时减少投资和运行费用<sup>[4]</sup>。生物除臭系统主要由引风管道、生物过滤器、水泵、风机、控制系统等组成。根据工作流程系统的布局结构可以归结为:管道+风机+加湿系统+生物过滤器+排气筒。恶臭气体排放标准执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)厂界标准值中的二级标准执行,排气筒高度为15 m。

2019年10月26日除臭系统检测数据见表5。

表5 除臭系统检测数据

Tab.5 Detection data of deodorization system

检测项目	排放浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	排放速率/ ( $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ )
氨	1.03	$3.09 \times 10^{-2}$
三甲胺	$< 2.5 \times 10^{-3}$	$< 7.5 \times 10^{-5}$
硫化氢	0.007	$2.0 \times 10^{-4}$
甲硫醇	未检出	未检出
甲硫醚	未检出	未检出
二甲二硫	未检出	未检出
二硫化碳	0.34	0.01
苯乙烯	0.16	$4.9 \times 10^{-3}$
注: 15 m排气筒出口处臭气浓度为1 792。		

## 2.8 导热油系统

本工程以污泥焚烧产生的高温烟气作为热源,导热油为传热介质。导热油经过导热油循环泵加压送入焚烧炉的省煤器入口,经过省煤器加热至210℃后送入干化机,干化机190℃冷却导热油再经过循环泵返回至省煤器吸热。导热油受热膨胀部分经过油气分离后进入膨胀罐。

导热油通过注油泵打入膨胀槽,再通过膨胀槽流入整个循环系统,当膨胀槽低液位报警取消时,说明整个循环管路中注满油品,再缓慢升温脱水,脱水



完成后即可进行导热油系统的正常运行。

导热油的泄漏通过焚烧炉进出口油压差及尾部烟道的含氧量来监测,一旦发生导热油泄漏,立即启动消防系统,同时将系统中导热油输送至储油槽,用膨胀罐中的冷油缓慢置换省煤器中的热油,防止结焦炭化。

## 2.9 公共设施系统

主要包括给排水系统、废水处理站、循环水系统、压缩空气系统、电气与自动化控制系统、热控系统等。废水处理站总占地面积约 30 m<sup>2</sup>,采用钢筋混凝土合建式,地下构筑物。生产废水先采用投加酸碱药剂调节,并进行总量调节。再经组合式 A/O(水解酸化+生物接触氧化)+MBR 工艺处理后达到纳管标准,排入城市污水管网。生活污水经化粪池后直接接入城市污水管网。废水处理站设计规模 120 m<sup>3</sup>/d。

## 3 工程特点

### ① 能源综合利用

污泥焚烧产生的热量通过导热油传导用于污泥干化,无需外加辅助燃料和热源,有效实现污泥热量综合利用,节约能源,降低运行成本。

### ② 自动化程度高

本工程用于 DCS 控制系统采集、监视和控制干化、焚烧处理过程的工艺参数、电气参数及设备运行状况,可以实现过程测量参数的采集、设备运行状态的采集、上位计算机对设备的控制以及自动控制。每个现场控制站将通过通信网络连接实现数据共享,并将网络连接到监控计算机。

### ③ 技术经济可行,兼具环境效益和社会效益

该工程投资总额为 7 981.8 万元,按处理污泥量 13.5 × 10<sup>4</sup> t/a 计算(含水率 80%),单位污泥处理总成本为 171.9 元/t,单位污泥处理经营成本为 148.25 元/t。因此本工程污泥深度脱水与自持焚烧方案技术经济可行,运行安全可靠、环保,工程实施后将具有显著的环境效益和社会效益。

## 4 结语

常州市武进区污泥处置工程主要技术路线采用

圆盘干化+流化床焚烧,设计焚烧处理规模为 450 t/d(以含水率 80%计),烟气采用半干法处理系统,处理后各项污染物排放均满足国家标准,不会造成二次污染。本工程采用方案技术经济可行,运行安全可靠、环保,工程实施后对武进区生态文明建设产生积极的推动作用。

## 参考文献:

- [1] 郭志光,马明磊,刘斌,等. 污泥处理处置技术研究进展[J]. 河北地质大学学报,2019,42(1):59-63.  
GUO Zhiguang, MA Minglei, LIU Bin, et al. The research progress on sludge treatment and disposal technology[J]. Journal of Hebei GEO University, 2019, 42(1): 59-63 (in Chinese).
- [2] 李辉,吴晓芙,蒋龙波,等. 城市污泥焚烧工艺研究进展[J]. 环境工程,2014,32(6):88-92.  
LI Hui, WU Xiaofu, JIANG Longbo, et al. Progress in study on the incineration technology of municipal sewage sludge[J]. Environmental Engineering, 2014, 32(6): 88-92 (in Chinese).
- [3] 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.  
LIU Yujia, ZHAO Xudong. Progress of sludge drying and incineration technology and general situation of typical projects in China[J]. China's Environmental Protection Industry, 2019(2): 55-59 (in Chinese).
- [4] 刘建伟,陈雪威,张波,等. 城市污水厂污泥脱水间除臭工程设计和运行[J]. 中国给水排水,2019,35(8):91-95.  
LIU Jianwei, CHEN Xuewei, ZHANG Bo, et al. Deodorization engineering design and operation of sludge dewatering room in urban sewage treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(8): 91-95 (in Chinese).

作者简介:杨汉文(1970-),男,江苏盐城人,硕士,高级工程师,研究方向为市政污泥处理处置。

E-mail:869551059@qq.com

收稿日期:2020-04-21

修回日期:2020-11-17

(编辑:衣春敏)