

设计经验

## 半干污泥焚烧工程设计分析及探讨

生 骏, 胡维杰

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘 要:** 为减少污泥运输体积,减轻污泥运输对环境的影响,污水厂出厂污泥处理趋势逐渐由含水率80%的脱水污泥转变为含水率40%~50%左右的半干污泥。上海市石洞口污泥处理二期工程采用“脱水干化(石洞口本厂污泥)+焚烧及烟气处理(泰和及石洞口污泥)”工艺,是针对半干污泥的焚烧工程。半干污泥接收储运采用“接收坑+抓斗提升”的方式,半干污泥焚烧产生的系统富余热能用于加热污泥调蓄池内的污泥,改善污泥浓缩脱水效果。在此基础上,进一步探讨了选址相对独立的半干污泥焚烧项目需注意的污泥泥质控制、热能利用方式及炉温控制措施等相关因素。

**关键词:** 半干污泥; 污泥焚烧; 接收储运; 热能利用

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0045-05

## Analysis and Discussion on Semi-dry Municipal Sludge Incineration Project Design

SHENG Jun, HU Wei-jie

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

**Abstract:** In order to reduce the sludge volume and the impaction on environment during sludge transportation, the municipal sludge from wastewater treatment plant was gradually converted from dewatered sludge with water content of 80% to semi-dry sludge with water content of 40% to 50%. In Shanghai Shidongkou sludge treatment phase II project, the process of “dehydration and drying (Shidongkou sludge) + incineration and flue gas treatment (Taihe and Shidongkou sludge)” was adopted, which aimed to construct the incineration project of semi-dry sludge. The semi-dry municipal sludge receiving and storage adopted the method of “receiving pit + grab lifting”. To improve the performance of sludge concentration and dewatering, the residual heat generated from the semi-dry sludge incineration was used to heat the sludge in the sludge storage tank. On this basis, we could further explore the related factors such as sludge component content control, heat energy utilization mode and furnace temperature control in the semi-dry sludge incineration project with independent site.

**Key words:** semi-dry municipal sludge; municipal sludge incineration; receiving, storage and transportation; residual heat utilization

污泥焚烧具有减量化程度高、最终处置出路稳定可靠等特点,是污泥处理的主要方式之一。国内先后建成运行了一批污泥焚烧项目,处理对象多为

含水率为80%左右的脱水污泥,主体工艺是污泥干化+焚烧<sup>[1-4]</sup>。基于污水厂污泥集中处理处置的需求,为减少污泥运输体积,避免跑冒滴漏,进一步降

低出厂污泥含水率至半干污泥成为近年来的一种趋势,例如上海泰和、虹桥污水厂出厂污泥设计含水率不大于40%<sup>[5]</sup>。最新发布的《广东省城镇生活污水处理厂污泥处理处置管理办法(暂行)》中也明确规定出厂污泥脱水至含水率50%以下。由于半干污泥的性状与脱水污泥有较大差异,处理对象为半干污泥的焚烧项目有区别于传统污泥干化焚烧项目的特殊之处。以上海市石洞口污泥处理二期工程为例,对半干污泥焚烧工程设计进行探讨。

## 1 工程设计情况

### 1.1 处理对象及建设规模

石洞口片区污泥产生及处理情况如表1所示。

表1 石洞口片区污泥量分析

Tab.1 Sludge volume analysis in Shidongkou area

项 目	污泥量	备 注
石洞口厂	80	包括提标改造前污泥量 60 tDS/d 及提标至一级 A 后增量污泥 20 tDS/d
吴淞厂	8.8	
泰和厂	110	近期 2020 年规模为 96 tDS/d
区域产泥量合计	198.8	
污泥完善工程规模	72	设计处理对象为吴淞厂污泥及石洞口厂提标改造前污泥
片区污泥处理缺口	126.8	区域产泥量减去完善工程规模
污泥二期工程规模	128	设计处理对象为泰和厂污泥及石洞口厂提标增量污泥

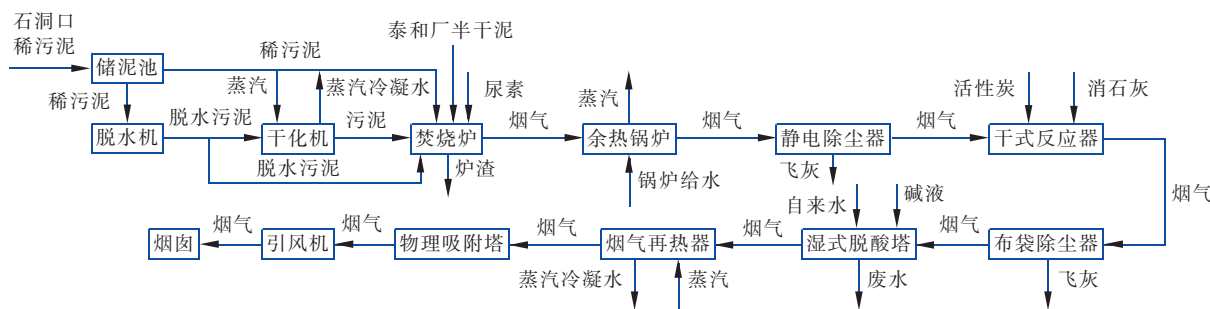


图1 石洞口污泥处理二期工程工艺流程

Fig.1 Flow chart of Shidongkou sludge treatment phase II project process

石洞口厂污泥由厂内现状污泥调蓄池泵送至二期工程新建储泥池,经离心脱水至含水率为80%后,送入桨叶式干化机干化,含水率降至30%以下后,与泰和厂车运来泥(含水率为40%以下)一并送入焚烧炉焚烧处理。烟气经过“SNCR+静电除尘+干式脱硫+布袋除尘+湿法脱硫+烟气再热+物理吸附”后达标排放。

石洞口片区现有石洞口、吴淞、桃浦三座污水处理厂及在建泰和污水处理厂,其中桃浦厂功能定位调整,将取消污水处理厂功能。同时,片区对应已建的污泥处理设施为石洞口污水厂污泥处理工程(干化焚烧一期工程)及污泥处理完善工程(即对一期工程的提标完善及扩建)。

石洞口污泥处理二期工程主要解决石洞口片区增量污泥的处理问题,因此其处理对象包括泰和污水厂污泥(片区新建污水厂)及石洞口污水厂提标增量污泥。其中泰和污水厂污泥量为110 tDS/d(绝干基,下同);石洞口污水厂需二期工程处理的污泥量为16.8~20 tDS/d。二期工程总规模为128 tDS/d。

结合泰和污水处理厂及石洞口污水处理厂已建、在建工程内容,泰和污水处理厂污泥在本厂内脱水干化,而后车运至石洞口二期工程进行后续处理。二期工程接收的泰和厂污泥设计含水率为40%以下。石洞口厂污泥由现状污泥调蓄池泵送至二期工程进行后续处理,二期工程接收的石洞口厂污泥设计含水率为98%~99.2%。

### 1.2 处理工艺及建设标准

石洞口污泥处理二期工程主要处理工艺采用“脱水干化(石洞口本厂污泥)+焚烧及烟气处理(泰和及石洞口污泥)”。

具体工艺流程如图1所示。

工程以泰和污水处理厂半干污泥为外加热源,以天然气为备用热源(考虑泰和厂污泥来源不稳定时的工况),以蒸汽为热媒。由于各主要处理单元的处理对象不同,脱水及干化单元的设计规模为20 tDS/d,焚烧及烟气处理单元的设计规模为128 tDS/d。

工程建设标准如表2所示。

表 2 工程建设标准

Tab. 2 Standards for engineering construction

污染物	建设标准
烟气	《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/768—2013)
一般废物	《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)
危险废物	《危险废物填埋污染控制标准》(GB 18598—2001)
臭气	《城镇污水处理厂大气污染物排放标准》(DB 31/982—2016)
噪声	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)3 类

1.3 焚烧系统主要设计参数

本工程设计污泥干燥基高位发热量在 10.8 ~ 19.9 MJ/kg 之间,一般典型值约为 13.5 MJ/kg。焚烧系统总处理规模为 128 tDS/d,共设 3 条生产线(无备用),单线配置鼓泡流化床焚烧炉 1 台,一般工况下单线处理量为 42.7 tDS/d。考虑焚烧炉全年正常工作时间 7 200 h 及必要的超负荷能力,单台焚烧炉实际设备规模为 57 tDS/d。热能利用采用加热蒸汽的形式。设计运行温度 $\geq 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,炉内烟气有效停留时间 $>2\text{ s}$ 。污泥焚烧系统工艺流程见图 2。

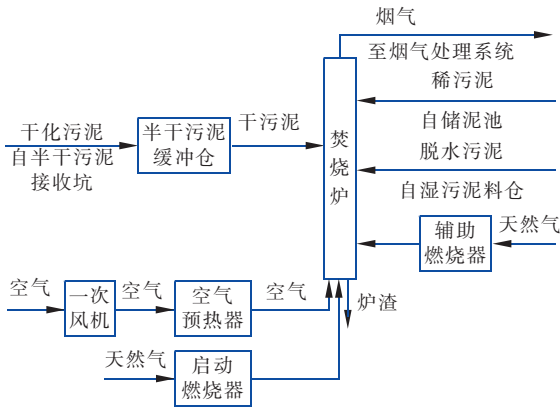


图 2 污泥焚烧系统工艺流程

Fig. 2 Process flow of sludge incineration system

焚烧炉设计污泥入炉含水率为 30% ~ 65%。入炉污泥有三种,分别为来自半干污泥接收坑的干化污泥(含水率 30% ~ 40%),来自脱水后湿污泥料仓的脱水污泥(含水率 80%)以及来自储泥池的稀污泥(含水率 98% ~ 99.2%)。通过不同类型污泥入炉量的配比,应对污泥热值波动,稳定焚烧炉运行工况。同时,焚烧炉采用天然气作为启动及辅助燃烧时的热源。

2 针对半干污泥的特殊设计分析

2.1 半干污泥接收储运方式

泰和污水厂含水率为 40% 以下的半干污泥占本工程污泥处理总量的 86%。因此,能否稳定可靠地接收、储存、输送外来半干污泥是本工程的关键之一,也是区别于传统污泥干化焚烧项目的特殊之处。本工程借鉴垃圾焚烧的经验,针对外来半干污泥采用“接收坑+抓斗提升”的方式。该方式具有机械系统简单、运行稳定可靠、不易产生污泥结块架桥现象、不同来源半干污泥混合较均匀等优点。工艺流程如图 3 所示。

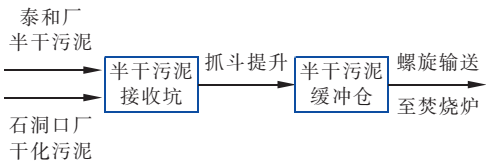


图 3 半干污泥接收储运单元工艺流程

Fig. 3 Flow chart of semi-dry sewage sludge receiving, storage and transportation process

设计半干污泥接收坑 1 座,长 57.55 m × 宽 13.5 m × 深 3.1 m,有效容积约 2 000 m<sup>3</sup>,接收储存泰和厂车运半干污泥及石洞口厂干化机出泥。以污泥堆积密度为 0.7 t/m<sup>3</sup> 计,接收坑设计储存时间为一周左右。接收坑内污泥通过抓斗抓取提升的方式送入焚烧炉前的半干污泥缓冲仓,再通过螺旋输送给料机入炉焚烧。每台焚烧炉对应 2 座半干污泥缓冲仓,单仓储存容积为 10 m<sup>3</sup>。抓斗容积为 4 m<sup>3</sup>,抓取 2 ~ 3 次填满一座污泥缓冲仓。鉴于抓斗为半干污泥输送环节中的关键设备,设计为 1 用 1 备,并另行库备 1 台。

同时在具体细节上对半干污泥卸料安全性、车间操作环境、通风除臭系统及抓斗机械构造等方面也均有针对性的配套设计。每个半干污泥卸料口均设有降尘抑尘系统,在车运卸料时开启,通过水雾抑制扬尘,保障卸料安全性;接收坑区域用实体墙及卷帘门与车间其余部分实现空间物理隔断,既有利于维护车间操作环境,也便于提高除臭效果;接收坑内采用微负压抽风,收集的臭气作为焚烧炉的助燃空气入炉焚烧。除正常除臭系统外,接收坑内另设有应急事故通风系统,配备事故风机及独立风管系统,在发生事故,需人员进入检修时开启,保障人员安全;为避免半干污泥粘连在抓斗内侧,影响抓斗抓取

物料的有效容积,机械设计中抓斗内侧需进行打磨抛光。

## 2.2 富余热能利用方式

在污泥干化焚烧工艺中通常利用焚烧产生的热能作为污泥干化的能源。含水率为80%的脱水污泥仅凭污泥自身热值无法实现系统能量自平衡,需要补充外加能源。而含水率为40%以下的半干污泥一般均能实现自持燃烧,并产生系统富余热能,需加以利用。石洞口污泥处理二期工程约产生 $5 \times 10^4$  MJ/h的可利用热能(128 tDS/d,污泥热值13.5 MJ/kg情况下),其中约 $1.7 \times 10^4$  MJ/h的热能用于本工程污泥干化、空气预热、烟气再热等,剩余 $3.3 \times$

$10^4$  MJ/h的热能中约59%供给石洞口污泥处理完善工程(处理对象为含水率80%的脱水污泥)作为外加热源,41%的热能供给石洞口污水厂,用于加热污泥调蓄池内的污泥,增强污泥浓缩脱水效果。二期工程热能介质为温度188℃、压力1.2 MPa的蒸汽。外供蒸汽通过1根DN200的蒸汽管,一路接至污泥处理完善工程蒸汽分气缸内,另一路接至石洞口厂现状污泥调蓄池内蒸汽加热器。

在设计过程中,对蒸汽发电及加热储泥池内的污泥这两种余热利用方式进行了比选,见表3。最终,综合考虑工程建设进度、发电审批手续、工程实施难度等因素,选择加热调蓄池内的污泥方式。

表3 余热利用方式综合对比分析

Tab.3 Comprehensive comparative analysis of residual heat utilization modes

项目	方案一:低品质蒸汽发电	方案二: 用于加热污水厂调蓄池内的污泥	备注
建设程序	需要发改委核准后实施,与供电部门协调界面偏多,建设程序较为复杂,工程建设推进进度受影响	余热蒸汽自产自消,建设程序简单,不影响工程建设推进进度	方案二较优
系统复杂性	需要设置螺杆膨胀机、发电机、润滑油系统、冷凝系统、并网系统等,系统较为复杂	仅需通过蒸汽管道将余热蒸汽送至调蓄池,设置蒸汽喷头将蒸汽喷入,系统较为简单	方案二较优
运行维护	蒸汽发电系统较复杂,运行维护的要求较高	蒸汽加热污泥的系统较为简单,运行维护的要求较为简单	方案二较优
设备投资	蒸汽发电系统投资较高	蒸汽加热污泥系统投资较低	方案二较优

## 3 半干污泥焚烧项目的进一步探讨

### 3.1 半干污泥泥质控制

污泥最终处置方式决定污泥处理工艺。就焚烧而言,污泥热值过低不利于焚烧,而污泥中氯元素含量过高会对设备产生严重腐蚀并增大产生二噁英的风险。污泥脱水至含水率为80%的工艺中添加药剂为一定比例的PAM,对污泥热值及氯元素含量影响不大。但脱水至半干污泥的工艺中往往会另行添加混凝剂及其他药剂,从而影响半干污泥的泥质。因此,为控制污泥泥质,提高污泥焚烧效果,对产出为半干污泥的处理工艺中的加药种类应有所限制,尽可能避免添加氯盐类混凝剂及石灰等无机物。为配合石洞口污泥处理二期工程,泰和污水厂污泥脱水采用的药剂是PAM及硫酸亚铁。

### 3.2 富余热能利用方式

半干污泥焚烧产生的富余热能应妥善利用。石洞口污泥处理二期工程由于邻近污水厂,且附近有其他污泥处理工程需要热能,因此二期工程富余热能的利用方式相对比较明确。而对于一些选址相对

独立的污泥焚烧处理中心,富余热能的利用形式值得进一步分析研究。一种方式是在处理中心周边有供热管网且参数合适的情况下并网运行;另一种方式是配置一定量的发电设施,发电供自身使用。采用何种热能利用方式应结合项目实际情况,通过技术经济比较分析来确定。

### 3.3 焚烧炉内温控措施

污泥焚烧炉内炉温一般控制在850℃。炉温过低时,可通过增加入炉半干污泥量及辅助燃烧器外加燃料等措施来提高炉温。炉温过高时,也需有相应的措施来降低炉温。石洞口污泥处理二期工程紧邻石洞口污水厂,因此可利用部分石洞口本厂污泥,通过增加脱水污泥的入炉量,及紧急情况下喷入脱水前稀污泥的措施来降低炉温。而对于一些选址相对独立的污泥焚烧处理中心,目前可行的措施是减少入炉的污泥量或在炉内喷水。但前者减少了污泥处理量,后者降低了能量利用效率,是一种变相的能量浪费。除了上述两种方式外,是否有其他更好的措施,值得研究探讨。



#### 4 结语

① 上海市石洞口污泥处理二期工程采用“脱水干化+焚烧及烟气处理”工艺。处理量中86%是泰和污水厂的半干污泥(含水率为40%以下),直接入炉焚烧。剩余14%是石洞口本厂污泥(含水率为98%~99.2%),脱水干化后入炉焚烧。

② 针对半干污泥的接收储运,采用“半干污泥接收坑+抓斗提升”的方式。同时在具体细节上对半干污泥卸料安全性、通风除臭系统、车间操作环境及抓斗机械构造等方面均有针对性的配套设计。

③ 针对半干污泥焚烧产生的系统富余热能,除部分供二期工程自用外,大部分热能供给石洞口污泥处理完善工程(即一期干化焚烧工程)及石洞口污水厂使用。

④ 对于半干污泥焚烧项目,污泥泥质控制、富余热能利用及炉温控制措施均有其特殊性,应予以重视。

#### 参考文献:

- [1] 胡维杰,周友飞,陈汝超,等. 上海市石洞口片区污泥干化焚烧处理工程设计总结与分析[J]. 给水排水, 2018,44(9):34-41.  
Hu Weijie, Zhou Youfei, Chen Ruchao, et al. Summary on sludge drying and incineration treatment project design for Shanghai Shidongkou area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018,44(9):34-41 (in Chinese).
- [2] 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):15-21.  
Lin Lifeng, Wang Lihua. Engineering design and trial operation summary of Zhuyuan sludge drying and incineration project in Shanghai [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017,43(1):15-21 (in Chinese).
- [3] 李文兴,郑秋鹃,廖建胜,等. 温州市污泥干化焚烧处理工程技术改造[J]. 中国给水排水, 2017,33(2):90-95.

Li Wenxing, Zheng Qiujuan, Liao Jiansheng, et al. Technical transformation of sludge drying and incineration treatment project in Wenzhou City [J]. China Water & Wastewater, 2017,33(2):90-95 (in Chinese).

- [4] 任向锋,鲁巍. 深圳市上洋污泥处理工程工艺选择及运行工况探讨[J]. 给水排水, 2010,36(10):23-26.  
Ren Xiangfeng, Lu Wei. Discussion on process selection and operation of the Shangyang sludge treatment project in Shenzhen [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(10):23-26 (in Chinese).
- [5] 韩蒙. 全地下式泰和污水处理厂建设[J]. 净水技术, 2018,37(5):6-11.  
Han Meng. Construction of full underground Taihe wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2018,37(5):6-11 (in Chinese).



**作者简介:**生骏(1981-),男,上海人,硕士,高级工程师,注册设备(给水排水)工程师,注册环保工程师,注册咨询工程师,研究方向为污水处理及污泥处理等,曾获全国优秀工程勘察设计奖2项、省市级优秀工程设计奖4项、省市级优秀工程咨询成果奖6项、上海市水务海洋科学技术奖二等奖1项。

**E-mail:** shengjun@smedi.com

**收稿日期:**2019-08-05