

# 上海市白龙港污泥干化焚烧工程工艺设计与思考

胡维杰, 邱凤翔, 卢骏营

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

**摘 要:** 上海市白龙港污泥干化焚烧工程设计处理规模为 486 tDS/d, 采用脱水/干化/单独焚烧的处理工艺; 利用余热锅炉回收污泥焚烧的热量, 产生的蒸汽用于污泥干化; 烟气处理采用 SNCR(炉内)/静电除尘/干式反应器/活性炭喷射/布袋除尘/湿式脱酸/烟气再热/物理吸附工艺, 之后通过烟囱排入大气; 除臭采用离子送风、化学洗涤、生物除臭、活性炭吸附等组合方式。本工程处理对象污泥种类多、泥质变化大, 其各项控制标准和运行稳定性要求高, 给工程设计带来了一定难度。

**关键词:** 污泥干化; 污泥焚烧; 工艺设计

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)04-0054-05

## Process Design and Consideration of Shanghai Bailonggang Sludge Drying and Incineration Project

HU Wei-jie, QIU Feng-xiang, LU Jun-ying

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

**Abstract:** Shanghai Bailonggang sludge drying and incineration project, with design treatment capacity 486 tDS/d, adopted dewatering/drying/separate incineration treatment process. The waste heat boiler was used to recycle the heat of sludge incineration; the steam generated by the waste heat boiler was used to dry the sludge. Flue gas treatment adopted SNCR (in-furnace)/ESP/dry reactor/activated carbon injection/bag dust removal/wet deacidification/reheat/physical adsorption process, and then flue gas was discharged into the atmosphere through the chimney. Combinations process of ion air supply, chemical washing, biological deodorization, and activated carbon adsorption was used to remove the odor from sludge treatment. The sludge treated in this project was composed of several types of sludge, and the properties of the sludge were variable. The requirements of the project construction standards and the operation stability were both high, which brought certain difficulties to the project design.

**Key words:** sludge drying; sludge incineration; process design

2015 年 4 月, 国务院颁布实施《水污染防治行动计划》(以下简称“水十条”), 明确指出: “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。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”。《上海市水污染

防治行动计划实施方案》(沪府发[2015]74 号) 要求“以中心城三大污水片区为重点, 加快污泥处理设施建设, 确保污水处理厂污泥安全处置。继续推进石洞口、竹园以及白龙港污泥处理处置设施等重点工程建设”。“到 2020 年, 全市污泥处理处置形

成以焚烧后综合利用为主、深度脱水后卫生填埋为辅的格局,污水厂污泥有效处理率达到90%”。

从2014年开始,上海启动中心城区污泥项目前期研究,因“水十条”及《上海市水污染防治行动计划实施方案》,污泥项目获得巨大推动力,白龙港、竹园和石洞口三大片区污泥项目建设加快步伐,到2018年4月,三大项目已先后开工,目前正在全力向着既定目标奋进。上海市中心城区三大污泥处理项目布置见图1。



图1 上海市中心城区三大片区污泥处理项目布置

Fig.1 Arrangement of sludge treatment projects in three major districts of downtown Shanghai

## 1 工程概述

白龙港片区内有亚洲规模最大的污水处理厂白龙港污水厂,现状设计处理能力为 $280 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,提标工程完成后出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。白龙港片区内目前正在新建虹桥污水厂,设计处理能力为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,出水执行一级A标准。

白龙港污水厂内已建204 tDS/d厌氧消化污泥处理设施,采用污泥浓缩、厌氧消化、脱水、干化工艺,利用污泥厌氧消化产生的沼气作为污泥中温消化及污泥干化处理的热源,消化后部分污泥进行干化处理,并已于2011年投运<sup>[1-3]</sup>。

白龙港污泥处理二期工程设计规模为486 tDS/d(2 430 t/d,含水率80%),包括白龙港污水处理厂448 tDS/d污泥量和虹桥污水处理厂38 tDS/d污泥量。本工程采用“干化+焚烧”工艺,设6条干化焚烧线,主要建设内容有脱水、干化、焚烧、烟气处理设施、除臭设施及相关配套设施。工程已于2018年3月底开工建设。

## 2 工艺设计

受用地限制,本工程干化焚烧车间分布于2个地块,见图2。



图2 工程效果图

Fig.2 Effect drawing of the project

### 2.1 总体工艺设计

#### ① 白龙港本厂污泥

污泥经现状浓缩和其中部分经厌氧消化(见图3)处理后,进入现状储泥池。



图3 运行中的白龙港污泥一期工程污泥消化池

Fig.3 Sludge digester in operation of the first phase of Bailonggang Sludge Project

现状储泥池中,小部分污泥(约35 tDS/d)利用现状污泥脱水和热干化设施(见图4)处理,干化后的污泥通过车辆运至本工程新建污泥焚烧单元进行处理。现状储泥池其余污泥输送至本工程新建储泥池,之后经过新建脱水单元处理后,将含水率降至80%。脱水污泥经新建干化焚烧单元处理。



图4 运行中的白龙港污泥一期工程污泥干化车间

Fig.4 Sludge drying workshop in operation of the first phase of Bailonggang Sludge Project

#### ② 虹桥厂污泥

虹桥污水处理厂的干化污泥(38 tDS/d,含水率40%)通过新建污泥接收装置进入焚烧单元进行处理。总体工艺流程如图5所示。

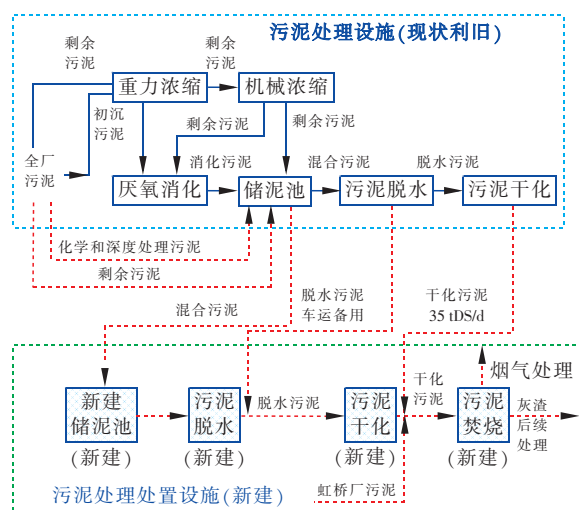


图 5 总体工艺流程

Fig. 5 Overall process flow chart of the project

## 2.2 始端污泥储运系统

在现有储泥池旁新建 1 座始端污泥泵组,用来输送始端污泥,分别将污泥输送至 2 个地块内的储泥池。

### 2.3 污泥脱水系统

该系统对始端污泥进行脱水,减小污泥体积,并将脱水后的污泥送至污泥料仓暂存,而后至污泥干化处理系统进行干化处理。

新建污泥脱水规模为 378 tDS/d,其中 01 地块新建污泥脱水规模为 150 tDS/d,02 地块为 228 tDS/d。

## 2.4 污泥干化系统

污泥经脱水至含水率 80% 后,泵送至污泥干化前料仓。污泥存储仓底部污泥泵根据运行负荷情况将湿污泥输送至干燥机内,湿污泥直接输送至干燥机的給料分配器。

干燥机内设蒸汽管提供湿污泥干化的热能,湿污泥在流化状态下,与蒸汽管束产生充分的热交换,湿污泥最终形成干污泥颗粒。

## 2.5 污泥焚烧系统

污泥焚烧系统采用鼓泡流化床焚烧炉,共设焚烧炉6台,焚烧系统主要参数见表1。存于污泥缓冲仓中的干化污泥通过污泥给料机送入流化床焚烧炉,污泥被砂层托起翻滚并被迅速加热焚烧,焚烧后

的飞灰大部分随烟气携带走,小部分从炉底排渣口排出。所产生的高温烟气排出并进入余热锅炉,将热能转移到蒸汽中,并用于污泥的干化。经预热器预热的空气由一次风机送入焚烧炉中。

表 1 焚烧系统主要参数

Tab. 1 Main parameters of incineration system

项 目	数 据
焚烧炉数量/台	6
设计污泥入炉含水率/%	30 ~ 60
烟气在焚烧炉中的停留时间/s	> 2
燃烧室烟气温度/℃	≥ 850
炉内运行压力	微负压
热灼减率/%	≤ 5

### 2.5.1 流化床焚烧炉

流化床炉为立式装置,炉内流动层采用炉底送风以使砂粒和进料以沸腾状搅拌混合运行。污泥送入炉内,发生激烈翻腾和连续不断的流化。流化床的运行床温一般在  $850 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ,流化床的主要燃烧反应发生在炉床的上方,床内的气化燃料释放出来的挥发性组分从床内流出进入稀相区进行焚烧。另外,砂粒具有巨大的热容量和表面积,可通过直接传热在短时间内使污泥彻底燃烧。

### 2.5.2 焚烧辅助系统

焚烧炉燃烧空气采用分段进风,保证燃烧设备始终在低过量空气系数下进行,以抑制  $\text{NO}_x$  的生成。燃烧空气入口均设有气动调节阀,运行时可适应燃料和负荷变化需求。

污泥焚烧炉正常运行时不需外加辅助燃料。采用天然气作为焚烧炉启动和备用燃料。

## 2.6 余热锅炉系统

余热锅炉系统包括:余热锅炉、空气预热器以及锅炉水处理系统等。本系统主要用于回收高温烟气的余热。干化机利用后的蒸汽冷凝水经除氧后送入余热锅炉内产生蒸汽,用于污泥的干化。

## 2.7 烟气处理系统

### 2.7.1 烟气排放标准

本工程污泥处理工艺采用干化焚烧工艺,焚烧产生的烟气排放执行上海地标《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/768—2013)。

### 2.7.2 烟气污染物

烟气中所含污染物的产生及其含量与污泥的成分、燃烧速率、焚烧炉型、燃烧条件、进料方式有密切的关系,一般情况下,主要的污染物质有以下几种:



不完全燃烧产物;粉尘;酸性气体;重金属污染物;氮氧化物。

### 2.7.3 烟气处理流程

烟气处理系统接自空气预热器,之后依次经过静电除尘器、干式反应器、布袋除尘器、湿式洗涤塔、烟气再热器,最后经物理吸附装置后进入烟囱并排入大气。

烟气离开空气预热器后进入静电除尘器,烟气中的飞灰通过排灰口进入下部的卸灰装置,而净化后的烟气通过排气管排出。

在布袋除尘器前视情况喷入消石灰和活性炭粉末与烟气中的有害成分进行反应。主要通过投加消石灰对酸性气体进行去除,通过投加活性炭对重金属、二噁英及呋喃等进行吸附去除。

经过布袋除尘器滤袋时,烟气中的粉尘被截留在滤袋外表面,从而得到净化。

湿式洗涤塔用于中和烟气中的酸性物质,进塔烟气中酸性气体与喷淋的NaOH溶液进行中和反应,脱酸后的烟气经过洗涤塔顶部除雾器去除液滴后,通过洗涤塔顶烟道排出,进入烟气再热器,烟气再热后进入引风机。

为了应对日益提高的环保标准,提高污泥干化焚烧工程烟气处理系统达标排放的稳定性,满足应急工况下烟气处理的高要求,本工程在烟气处理系统末端设置物理吸附单元。

通过引风机使炉膛内保持一定的负压,确保焚烧和烟气处理系统正常稳定运行,经过净化的达标烟气进入烟囱(60 m)高空排放。进烟囱前烟道设置烟气在线监测系统,实时对烟气进行检测,以便调整工艺参数,保证烟气达标。

## 2.8 除臭系统

### 2.8.1 除臭控制标准

厂界标准同时满足上海市地方标准《城镇污水处理厂大气污染物排放标准》(DB 31/982—2016)、《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)和《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)的要求。

为满足臭气控制标准,同时改善运行人员的工作环境,减少臭气对周边区域的影响,本工程除臭设计重点考虑臭气处理的可靠性、针对性以及全面性。

### 2.8.2 除臭设计范围

根据需除臭构(建)筑物位置、臭源特性,对各

需除臭区域进行系统划分。需除臭的构(建)筑物主要为储泥池、污泥接收间、污泥脱水车间、污泥干化车间。

### 2.8.3 除臭工艺方案

根据臭气性质等因素,本工程在产生臭气的厂房内设置离子送风装置,通过管道收集并经过化学洗涤装置、生物除臭装置和活性炭吸附装置处理,之后达标排放。

## 3 工程特点及若干思考

### 3.1 工程特点

#### ① 工程规模大

白龙港污水处理厂目前为亚洲最大的污泥处理厂,本工程处理对象包括白龙港提标到一级A后 $280 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理产生的污泥和虹桥污水处理厂建成投产后 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理产生的污泥。污泥处理规模为486 tDS/d,折合脱水污泥(含水率80%)2430 t/d,为国内乃至亚洲最大的城镇污泥处理工程之一。

#### ② 污泥种类多、泥质变化大

本工程处理的污泥种类多,从污水处理厂的污泥种类看,包括初沉污泥、剩余污泥、化学污泥;从现状处理流程看,包括消化污泥、未消化污泥,进入本工程的污泥为上述几种或全部污泥的混合污泥;从进入本工程干化焚烧系统的污泥含水率来看,包括含水率约80%的脱水污泥、含水率约30%的现状厂内干化污泥、含水率约40%的虹桥污水厂污泥。

从监测数据来看,白龙港污水处理厂污泥泥质变化显著,从污泥热值来看,干基高位热值变化范围为10~19 MJ/kg,峰值相差近一倍。

同时,本工程服务范围内的虹桥污水处理厂目前尚未建成,可以预见,工程的污泥泥质尚存在不确定性,将来建成后实际泥质可能存在一定变数。

#### ③ 环保标准高

随着对环保的日益重视,上海市陆续出台了相关的地方环保标准,涉及到本工程的相关标准主要有《生活垃圾焚烧大气污染物排放标准》(DB 31/768—2013)、《城镇污水处理厂大气污染物排放标准》(DB 31/982—2016)等,上述标准均严于相应的国家标准。

#### ④ 工程运行可靠性要求高

本工程污泥处理规模特别大,承担着上海市中心城区大量的污泥处理任务,如果污泥处理设施不

能稳定可靠地运行,片区内每天2 430 t/d(含水率为80%)的污泥将对污水厂及周边环境造成极大的危害。因此,本工程安全、可靠、稳定运行的要求特别高。

### 3.2 若干思考

#### ① 厌氧消化和干化焚烧工艺的结合

白龙港污水厂内已经建成污泥厌氧消化处理设施,受填埋库存限制,现将厌氧消化污泥进行干化焚烧处理以进一步减容减量。厌氧消化和焚烧工艺相结合的污泥处理路线在国内尚属首次。国外有采用该工艺的案例,如德国汉堡科勃兰霍夫污水处理厂污泥处理采用厌氧消化+脱水+干化+焚烧的处理工艺,平均污泥处理量约为120 tDS/d。

污泥经厌氧消化有助于减小干化焚烧规模,减少干化焚烧设施的工程投入。对于国内已建成的污泥厌氧消化设施,若厌氧消化污泥出路存在问题,可考虑对厌氧消化的污泥进行干化焚烧处理。

#### ② 焚烧灰渣的鉴定

本工程焚烧飞灰采用两级除尘处理工艺,目前对本工程的危废性质界定:一级除尘飞灰为一般固废,二级除尘飞灰为危废。

目前的界定方法有失准确,应按照“危险废物鉴别标准”进行鉴定,并根据鉴定结果进行相应处置或综合利用。

#### ③ 开展污泥焚烧标准研究

污泥干化焚烧工程标准还不够完善,部分已有标准需修订完善。如污泥焚烧的烟气排放标准参考生活垃圾焚烧烟气排放标准,但污泥和垃圾的组成具有较大差异,需要根据污泥自身特点开展研究,并制定相应的污泥焚烧烟气排放标准。

#### ④ 加快污泥焚烧灰渣资源化利用

本工程污泥焚烧灰渣处置路线目前尚以卫生填埋为主、资源化利用为辅。目前仍没有完全明确资源化利用途径,为此,需研究资源化利用技术与途径,打通污泥干化焚烧处理处置全流程,实现绿色循环经济。

## 4 结语

在环保要求日益严格的大环境下,污水与污泥污染所引发的各种问题日益受到全社会的关注与重视,甚至对社会的安定、国民经济的持续稳定发展产生重要影响。

本工程作为城市环境保护市政基础设施,是上海市实施污泥处理处置规划的重要环节,是城市可持续发展的重要保证。本工程的实施将使污水处理厂的污泥朝着减量化、稳定化、无害化、资源化方向发展,必将为上海市经济实现可持续发展、改善并保护城市的生态环境作出积极贡献,也将为国内其他城市的城镇污泥处理提供重要参考。

### 参考文献:

- [1] 胡维杰,孙晓,卢骏营.上海白龙港片区污水处理厂污泥处理处置技术探讨[J].中国给水排水,2016,32(2):1-5.  
Hu Weijie, Sun Xiao, Lu Junying. Technical discussion on sludge treatment and disposal in WWTPs for Shanghai Bailonggang Area [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(2): 1-5 (in Chinese).
- [2] 胡维杰.大型污泥消化工程热水系统的设计优化研究[J].给水排水,2014,40(2):34-36.  
Hu Weijie. Study on the design optimization of the hot water system in the large scale sludge digestion treatment project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(2): 34-36 (in Chinese).
- [3] 胡维杰.上海市白龙港污泥处理工程工艺设计及其技术特点[J].中国给水排水,2011,27(18):40-45.  
Hu Weijie. Process design and key technical features of Shanghai Bailonggang Sludge Treatment Project [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(18): 40-45 (in Chinese).



作者简介:胡维杰(1972—),男,浙江慈溪人,本科,教授级高级工程师,从事污水处理、污泥处理工程设计及研究工作。

E-mail: huweijie@smedi.com

收稿日期:2018-08-30