

白龙港污泥厌氧消化对干化焚烧的影响研究

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: 上海市白龙港污水处理厂污泥处理处置二期工程将在现状“厌氧消化+干化”处理工艺的基础上,采用“厌氧消化+干化焚烧”的处理工艺。从能耗及处理费用的角度对“厌氧消化(现状)+干化焚烧”的工艺路线进行了综合评估。结果表明,与直接干化焚烧相比,“厌氧消化(现状)+干化焚烧”工艺路线的外加能量有所增加,但由于污泥厌氧消化减量化,污泥处理费用将会降低。因此,白龙港污泥处理处置二期工程采用“厌氧消化(现状)+干化焚烧”工艺路线经济上是合理可行的。

关键词: 污水污泥; 厌氧消化; 干化; 焚烧

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)14-0032-04

Influence of Anaerobic Digestion of Sludge on Drying and Incineration in Bailonggang Wastewater Treatment Plant

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

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

Abstract: In the sludge treatment and disposal second phase project of Shanghai Bailonggang Wastewater Treatment Plant, the “anaerobic digestion + drying and incineration” treatment process will be adopted based on the “anaerobic digestion + drying (current facilities utilized)”. In this paper, a comprehensive assessment of the process of “anaerobic digestion (current facilities utilized) + drying and incineration” from the perspective of energy consumption and operating costs was conducted. The results showed that energy consumption increased in the process of “anaerobic digestion (current facilities utilized) + drying and incineration”, but the cost of sludge treatment reduced due to the mass reduction through sludge anaerobic digestion. Therefore, it was reasonable and feasible to adopt the “anaerobic digestion (current facilities utilized) + drying and incineration” process for the Bailonggang sludge treatment and disposal second phase project.

Key words: sewage sludge; anaerobic digestion; drying; incineration

上海市白龙港污泥处理工程采用污泥浓缩、厌氧消化、脱水、干化工艺,设计规模为204 tDS/d。该工程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,污泥消化系统在2010年10月建成,于2011年4月12日实现全部8座污泥

消化池的顺利投泥,并调试运行。2011年4月20日,8座污泥消化池均全部产出合格的沼气,其后启动沼气处理与利用系统,经过脱硫处理后的沼气为污泥消化供热,消化后部分污泥进行干化处理,工程至今运行稳定^[1-3]。

随着环保要求的不断提高,白龙港污泥片区污水厂功能调整,白龙港污泥处理处置中心服务对象为白龙港污水处理厂提标到一级A后 $280 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理产生的污泥,以及虹桥污水处理厂投产后的 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 污水处理产生的污泥。白龙港现有污泥处理设施已不能满足需求,需扩建污泥处理处置设施。通过对污泥量的计算和分析,白龙港污泥处理处置二期工程(以下简称白龙港污泥二期工程)的建设规模为 486 tDS/d 。由于上海市污泥填埋容量受限,因此,白龙港污泥二期工程拟采用污泥干化焚烧工艺。

白龙港污泥二期工程将在现状设施的基础上,新建脱水、干化、焚烧、烟气处理等设施,即采取部分污泥厌氧消化后干化焚烧,部分污泥直接干化焚烧的工艺路线。厌氧消化产生的沼气可以提供热量,同时也降低了有机物含量,直接导致污泥热值降低,进而导致污泥焚烧释放的热量降低,因此需分析厌氧消化环节对污泥干化焚烧的影响。

1 能量平衡分析

该工程工艺流程见图1,无厌氧消化环节的污泥干化焚烧工艺流程见图2。

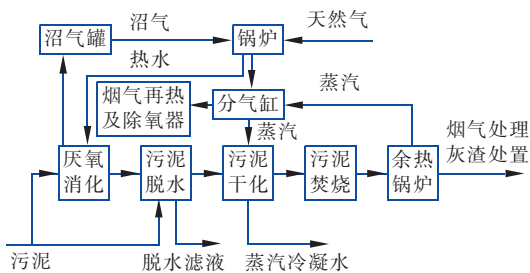


图1 拟建白龙港污泥处理二期工程污泥处理流程

Fig.1 Schematic diagram of sludge treatment process in Bailonggang sludge treatment phase-II project

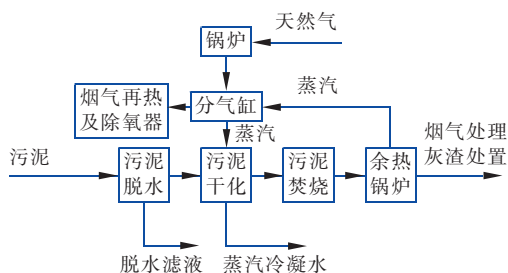


图2 无厌氧消化的干化焚烧工艺流程

Fig.2 Schematic diagram of sludge drying and incineration process without anaerobic digestion

该工程热量来源包括厌氧消化产生沼气、污泥

热值及天然气。热量消耗包括厌氧消化加热及散热、污泥干化吸热及其他热耗(如锅炉、管道散热及热损失、烟气再热等)。

文中统计数据来源于2013年—2015年白龙港厌氧消化运行数据,污泥热值、VSS/SS来源于2017年2月某样本检测值。

1.1 厌氧消化减量

白龙港污泥二期工程设计污泥处理量为 486 tDS/d ,其中虹桥污水厂污泥为 38 tDS/d ,干化至含水率为40%后运输到本工程直接入炉焚烧,无脱水与干化环节,不列入计算。因此,按 448 tDS/d 计算,其中 160 tDS/d 污泥(初沉污泥为 112 tDS/d ,剩余污泥为 48 tDS/d)经厌氧消化后脱水干化焚烧, 288 tDS/d 不经厌氧消化而直接脱水干化焚烧。

通过对运行数据分析,厌氧消化减量化率有季节性波动,年均值为26%。因此,减量化率取26%,可得 160 tDS/d 厌氧消化减量 41.6 tDS/d ,则 448 tDS/d 减量化后污泥干基为 406.4 tDS/d 。

1.2 厌氧消化能量平衡

污水厂采取中温厌氧消化,消化温度为 35°C ,沼气用于锅炉产生蒸汽和热水,分别用于干化污泥和加热厌氧消化污泥。厌氧消化设施散热包括消化池空气表面散热、消化池地下接触面散热。2013年—2015年厌氧消化运行数据统计平均值见表1。

表1 厌氧消化产沼量及剩余量

Tab.1 Biogas production and residual amount of sewage sludge

项目	anaerobic digestion		$\text{Nm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
	总沼气产量	沼气用量	沼气剩余量
统计平均值	32 576	15 024	17 552

1.3 污泥干化焚烧热平衡计算

1.3.1 热量计算公式

① 焚烧炉输入热量 Q_{in}

$$Q_{\text{in}} = Q_{\text{net,ar}} + Q_{\text{fue}} + Q_{\text{air}} \quad (1)$$

式中 $Q_{\text{net,ar}}$ ——入炉污泥收到基低位发热量, kJ/kg

Q_{fue} ——入炉污泥物理显热, kJ/kg

Q_{air} ——入炉空气所带热量, kJ/kg

焚烧炉采用鼓泡流化床,焚烧所产生的热量以烟气形式通过余热锅炉产生蒸汽,用于污泥干化。排烟热量占总热量的比例约92%,焚烧环节热损失约8%。

② 余热锅炉吸热量 Q_{ab}

$$Q_{ab} = (H_{in} + H_{out}) Q_{yan} \quad (2)$$

式中 H_{in} ——余热锅炉进口烟焓, kJ/kg

H_{out} ——余热锅炉出口烟焓, kJ/kg

Q_{yan} ——烟气流量, kg/s

进出口烟焓、烟气流量根据入炉污泥量、污泥组成元素、空气过量系数等参数计算获取。余热利用率约70%。

③ 干化污泥所需热量

污泥吸热 Q_w :

$$Q_w = C_w (G_1 - G_s) (T_{w2} - T_{w1}) \quad (3)$$

污泥中水分吸热 Q_s :

$$Q_s = (I_q - I_s) G_s \quad (4)$$

干化机所需热量 Q :

$$Q = \frac{Q_s + Q_w}{\eta} \quad (5)$$

式中 C_w ——脱水污泥比热, kJ/(kg·℃)

G_1 ——脱水污泥量, kg

G_s ——干化机内脱水量, kg

T_{w1} ——脱水污泥入口温度, ℃

T_{w2} ——干化机内污泥干化温度, 取值 90 ℃

I_q ——水蒸气焓, kJ/kg

I_s ——脱水污泥的水焓, kJ/kg

η ——干化机效率, 取值 90%

根据干化污泥量、入炉含水率计算出干化污泥所需热量, 与余热锅炉产出水蒸气的热量进行比较, 若蒸汽不够, 则计算蒸汽缺口, 由蒸汽缺口反推出蒸汽锅炉房需要的沼气量及天然气量, 沼气量为厌氧消化加热后剩余量, 若剩余沼气不够, 则补充天然气, 由此得出天然气缺口。

1.3.2 直接干化焚烧

2017年2月某污泥样品检测结果表明, 厌氧消化前初沉污泥干基高位热值为 18.58 MJ/kg, 厌氧消化前剩余污泥干基高位热值为 16.27 MJ/kg, 化学污泥干基高位热值为 9.86 MJ/kg, 按比例加权得到污泥干基高位热值为 16.25 MJ/kg。

进入干化机的脱水污泥含水率为 80%, 入炉污泥含水率根据热值动态调节, 以保证炉膛烟气温度维持在 900 ℃左右。需要说明, 在进行热平衡计算时, 污泥干基高位热值与低位热值可通过污泥元素组成进行转换, 以统一基准。

1.3.3 消化干化焚烧

对同一污泥样品进行检测发现, 厌氧消化后干

基高位热值为 12.55 MJ/kg, 通过厌氧消化的污泥与原污泥按比例混合, 并加权得到混合后污泥高位热值为 14.53 MJ/kg。

厌氧消化产生的沼气经净化后, 供燃烧使用。“消化干化焚烧”干化机入口污泥由厌氧消化脱水污泥和未经消化直接脱水污泥组成, 其温度按厌氧消化来泥 35 ℃、直接脱水来泥为 16 ℃加权得出, 其值为 22.8 ℃。污泥干化焚烧热平衡计算结果见表 2。由表 2 可知, 相比“直接干化焚烧”, “消化干化焚烧”处理量减少, 但天然气缺口较大。从系统角度分析, 主要原因在于厌氧消化环节提升了污泥温度, 增加了对环境的散热损失, 增大了厌氧消化污泥脱水滤液排热损失。

表 2 污泥干化焚烧热平衡计算

Tab. 2 Heat balance calculation of sewage sludge drying and incineration

项目	直接干化焚烧	消化干化焚烧
污泥处理量/(tDS·d ⁻¹)	448.0	406.4
干化机入泥温度/℃	16.0	22.8
天然气缺口/(Nm ³ ·h ⁻¹)	503.3	732.4
天然气耗量/(Nm ³ ·t ⁻¹ DS)	27.0	43.2

2 污泥处理费用分析

2.1 直接干化焚烧

鉴于白龙港现状污泥处理设施没有污泥焚烧环节, 以上海市某同类型污泥干化焚烧运行数据为依据计算污泥处理费用, 包括辅助燃料天然气(4.39 元/Nm³)、电力[0.72 元/(kW·h)]、自来水(5.0 元/m³)、各类药剂、灰渣处置、人工费用、设备修理费、设备及土建折旧费、管理费等。

2.2 消化干化焚烧

① 厌氧消化环节

白龙港厌氧消化处理费用分为两部分: 第一部分是维持厌氧消化设施运转的费用, 包括电力、自来水、药剂、人工费用、修理费、管理费; 第二部分是厌氧消化设施前期投资的设备与土建折旧费。另外, 厌氧消化所需热量来源于厌氧消化本身产生的沼气, 这部分费用不计入厌氧消化处理成本。具体计算结果见表 3。

表 3 污泥厌氧消化处理费用

Tab. 3 Sewage sludge treatment cost of anaerobic digestion

项目	日处理费/(元·d ⁻¹)	单位污泥处理费/(元·t ⁻¹ DS)
合计	28 463	178

其中:设备资产综合折旧率取4.8%,年设备维修费为1.5%,土建资产综合折旧率取2.0%,厌氧消化设施设备按0.6亿元计,土建按1.2亿元计。

② 干化焚烧环节

消化干化焚烧处理量按减量化后406.4 tDS/d计。由于厌氧消化对污泥灰分产生量的影响很小,因此,直接干化焚烧与消化干化焚烧产生灰渣的量基本相同,总的灰渣处置费用固定。

因厌氧消化污泥减量化,干化焚烧设施规模得以减小,干化焚烧设施按70万元/t(污泥含水率为80%)计算,减量化为41.6 tDS,可节省投资1.46亿元,降低了初期投资及折旧费、维修费等。计算结果见表4,该计算结果包含了干化焚烧设施折旧费、维修费,其中污泥处理费按含水率为80%计。

表4 干化焚烧环节处理费用

Tab.4 Costs of the sewage sludge drying and incineration

项目	直接干化焚烧	消化干化焚烧
污泥处理费/(元·d ⁻¹)	986 944	938 178
单位污泥处理费/(元·t ⁻¹)	441	419

由此可见,直接干化焚烧处理费用高于消化干化后焚烧,其主要原因在于厌氧消化减量化带来设施运行费用的降低,且投资减少,折旧费、维修及管理费用也相应降低。

2.3 两种工艺污泥处理费用比较

消化干化焚烧和直接干化焚烧费用差值 ΔP 计算公式如下:

$$\Delta P = P_1 + P_2 - P_3 \quad (6)$$

式中 P_1 ——厌氧消化处理费用,元/d

P_2 ——消化后干化焚烧处理费用,元/d

P_3 ——直接干化焚烧处理费用,元/d

根据式(6)计算可得两种工艺处理费用的差值 $\Delta P = -20\,303$ 元/d,合计-740万元/a。综合考虑厌氧消化设施、污泥减量化后的干化焚烧设施投资等因素,厌氧消化干化焚烧污泥处理费用低于直接干化焚烧。

3 结语

与直接干化焚烧工艺相比,由于厌氧消化的减量化作用,厌氧消化干化焚烧总体上有利于降低污泥处理费用。白龙港污泥二期工程在现状厌氧消化的基础上对污泥进行干化焚烧是合理的、经济可行的。对于现状污泥厌氧消化工程,若厌氧消化后污

泥出路存在问题,可考虑采取消化干化焚烧的污泥处理路线以进一步缩减污泥体积。

消化干化焚烧工艺增加了湿污泥温度提升、环境散热等能耗环节,因此,其干化焚烧环节外加能量高于直接干化焚烧工艺。

参考文献:

- [1] 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).
- [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 (in Chinese).
Hu Weijie. Production experiment study on performance of combined biological/ecological co-processing treating small town sewage [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(2): 34-36 (in Chinese).
- [3] 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).



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:2018-11-27