

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.022

# 电解铝烟气余热低温干化处理市政污泥工程应用

吕开雷<sup>1</sup>, 杨 淘<sup>1</sup>, 陈紫君<sup>1</sup>, 杜永材<sup>2</sup>, 杨晓光<sup>1</sup>

(1. 核工业西南勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610052; 2. 眉山市启明星环保科技有限公司, 四川 眉山 620041)

**摘 要:** 我国目前污泥无害化处理处置短板突出,加快推进污泥无害化处置和资源化利用已成为共识。眉山市内污水处理厂污泥产量达 150 t/d(含水率为 80%),由于难以采用填埋处置,迫切需要寻找污泥处理处置新出路。利用该市企业电解铝车间产生的烟气余热低温干化处理市政污泥,将污泥含水率从 80% 降至 30% 以下,工程总规模为 300 t/d。重点介绍了污泥干化系统、烟气余热换热系统、冷却系统、生物除臭系统、冷凝污水处理系统的工作原理、技术参数和设备配置。污泥经干化后运往周边工厂掺烧利用,实现了污泥的减量化、无害化、资源化利用,污泥处理直接运行成本 51.62 元/t,综合效益明显。

**关键词:** 电解铝; 烟气余热; 低温干化; 市政污泥

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0120-04

## Application of Low Temperature Drying in Municipal Sludge Treatment with Waste Heat of Electrolytic Aluminum Flue Gas

LÜ Kai-lei<sup>1</sup>, YANG Tao<sup>1</sup>, CHEN Zi-jun<sup>1</sup>, DU Yong-cai<sup>2</sup>, YANG Xiao-guang<sup>1</sup>

(1. Nuclear Industry Southwest Survey & Design Institute Co. Ltd., Chengdu 610052, China; 2. Meishan Qimingxing Environmental Protection Technology Co. Ltd., Meishan 620041, China)

**Abstract:** At present, the drawbacks of sludge harmless treatment and disposal highlight in China, and it has become a consensus to promote the sludge harmless treatment and resource utilization. Meishan municipal wastewater treatment plant produces 150 t/d of sludge (water content is 80%), which is difficult to treat by landfill and is urgent to find a new way for treatment and disposal. The waste heat of flue gas from electrolytic aluminum workshop of the city's enterprises is used to dry municipal sludge water content from 80% to less than 30% at low temperature with total project capability of 300 t/d. The working principle, technical parameters and equipment configuration of the sludge drying system, flue gas waste heat exchange system, cooling system, biological deodorization system and condensate sewage treatment system are mainly introduced. After drying, the sludge is transported to the surrounding factories for mixed burning, realizing the reduction, harmless and resource utilization of sludge. The direct operation cost of sludge treatment is 51.62 yuan/t, and the comprehensive benefit of the project is obvious.

**Key words:** electrolytic aluminum; waste heat of flue gas; low temperature drying; municipal sludge

根据住房和城乡建设部发布的 2019 年城市建设统计年鉴,我国城市污水处理厂干污泥产量约

$1\ 102.73 \times 10^4$  t。我国不到 20% 的污泥得到安全处理处置<sup>[1]</sup>,存在污泥处理处置能力不足的问题<sup>[2-3]</sup>。与传统的污泥热干化技术相比,污泥低温干化具有节能、可有效避免有机物大量挥发、恶臭气体释放少、干燥过程安全、无爆炸风险等优点<sup>[4]</sup>。

四川省眉山市内市政污水处理厂污泥产量(含水率为 80%)已达 150 t/d。近年来,由于该市垃圾填埋场进入封场阶段,故难以采用填埋方式处置污泥,迫切需要寻找新的处理处置途径。利用当地企业——四川启明星铝业电解铝车间烟气充足的余热低温干化处理市政污泥,是非常有意义的探索。

## 1 工程概况

该工程设计总规模 300 t/d(污泥含水率为 80%),土建一次建成,设备分期实施,一期、二期工程处理污泥量均为 150 t/d。该工程于 2019 年 6 月开始土建,10 月开始设备安装;2020 年 1 月调试投产,11 月竣工验收。

## 2 工程总体设计

### ① 设计进泥含水率及处理要求

设计进泥含水率为 80% ~ 85%,经干化后的出泥含水率  $\leq 30\%$ 。

### ② 工程平面布置

该工程位于启明星铝业厂区内,利用厂区北侧预留空地建设。平面布置见图 1。主要单体包括干化厂房、综合楼等建筑物以及配套附属设施等。工程平面布置紧凑,总占地 1.16 hm<sup>2</sup>。

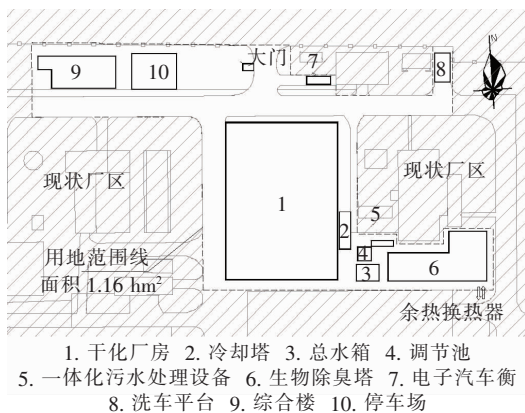


图1 工程平面布置

Fig.1 Project layout

### ③ 工艺流程

该工程由污泥干化系统、烟气余热换热系统、冷却系统、生物除臭系统、冷凝污水处理系统组成,工艺流程见图 2。

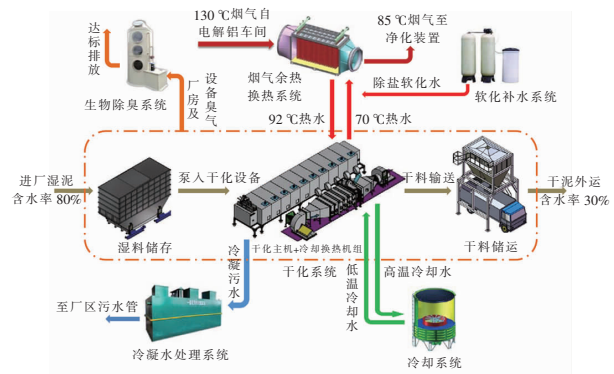


图2 工艺流程

Fig.2 Flow chart of sludge treatment process

进厂污泥卸料进入湿污泥料仓进行短暂储存,继而通过螺杆泵送入污泥低温干化主机,经干化后的污泥含水率达到 30% 以下,并由斗式提升机输入高位干料仓进行储存,随后外运处置。烟气余热换热系统为污泥低温干化提供热源,采用水作热传导介质,配套软化补水装置补充软化水。冷却系统提供冷却水,对污泥干化过程中产生的高温高湿气体进行冷却,形成的冷凝污水由一体化污水处理设备处理后排入厂区污水管。采用生物除臭系统对污泥干化过程中产生的恶臭气体进行处理。

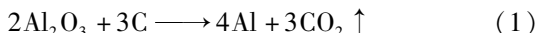
## 3 工艺系统设计

### 3.1 污泥干化系统

污泥干化系统包括中转湿料仓、湿料仓、污泥干化机、冷却换热机组、干料仓及物料输送设备等,均布置在干化厂房内。干化厂房建筑面积 3 649.70 m<sup>2</sup>,采用门式刚架轻型钢结构。中转湿料仓为地下式,一期 1 台,容积 30 m<sup>3</sup>,二期预留 1 台。湿料仓一期 2 台,总容积 200 m<sup>3</sup>;二期 1 台。带式污泥干化主机尺寸 23.0 m × 4.4 m × 4.75 m,每台均配套冷却换热机组;一期 3 台,单台处理能力 50 t/d;二期 2 台,单台处理能力 75 t/d。污泥经成型机后均匀平铺在干化机上层网带上;70 °C 的干燥热空气通过网带与湿污泥接触后变成湿热空气,带走污泥中的水分;湿热空气经冷却换热降温至 40 °C 成为饱和冷空气,过程中湿热空气中的水分冷凝成液态以冷凝污水形式排出。在换热器机组将饱和冷空气升温至约 70 °C 成为干燥热空气,再经循环风机输送至干化机网带下方进行循环除湿干燥;湿污泥经过多层网带干燥至含水率 30% 以下。干料仓设 1 台,容积为 60 m<sup>3</sup>。

### 3.2 烟气余热换热系统

电解铝工业生产采用冰晶石-氧化铝融盐电解法。氧化铝作为溶质,以碳素体作为阳极,铝液作为阴极,通入强大的直流电后,约 960 ℃,在电解槽内的两极上进行电化学反应,其反应式为:



随着电解反应的发生,在阳极上产生大量烟气。烟气以  $\text{CO}_2$  和  $\text{CO}$  为主,还含有一定量的  $\text{HF}$  有害气体及固体粉尘,须净化处理后达标排放。电解烟气温度一般为 100 ~ 140 ℃,可回收其显热生产热水,作为生活热水及冬季采暖水<sup>[5]</sup>。

本工程热交换系统由余热换热器、热水循环泵、软水补水装置、热水循环管道及其附属配件等组成。按一期规模进行热平衡计算,结果见表 1。

表 1 热交换系统热平衡配置

Tab. 1 Heat balance configuration of heat exchange system

| 污泥干化侧   |                   | 热水供给侧  |        |
|---|-------------------|--|--------|
| 污泥处理规模/<br>( $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$ )                   | 150               | 高温烟气流量/<br>( $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )            | 45     |
| 污泥含水率/%   | 进泥 80,<br>出泥 ≤ 30 | 烟温(进/出口)/<br>℃   | 130/85 |
| 热负荷需求/kW  | 4 722             | 热负荷供给/kW   | 7 392  |
| 热水需求量<br>(92 ℃/65 ~<br>70 ℃)/( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 198.5             | 热水供给量<br>(65 ~ 70 ℃/<br>92 ℃)/( $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 255    |

烟气余热换热器单台设计烟气流量  $7.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ ,共 6 台,安装在电解铝车间旁的烟气净化烟道上,不影响电解铝生产。余热换热器采用软化水作为热传导介质,通过气-水换热产生 92 ℃ 热水接至污泥干化机为污泥干化提供热源,污泥干化机产生的 70 ℃ 回水经热水循环泵加压输送至余热换热器,如此循环往复。

### 3.3 循环冷却水系统

循环冷却水系统主要为湿热空气冷却提供冷源。每台污泥干化机均配套 1 台无填料闭式冷却塔,冷却换热器高温回水进入冷却塔降温后,经循环水泵再次进入干化机冷却换热器,对湿热空气进行冷却。冷却塔设计循环水量  $400 \text{ m}^3/\text{h}$ ,供水温度 33 ℃,回水温度 41 ℃,湿球温度 26.7 ℃。

### 3.4 除臭系统

对污泥干化过程中产生的臭气,采取高、低浓度分别收集、分别处理的方式。干化厂房建筑内部低浓度臭气采用 1 套  $80 000 \text{ m}^3/\text{h}$  的生物除臭装置处

理,1 h 换气不低于 8 次,维持厂房内呈负压状态。干、湿料仓及污泥干化机等设备产生高浓度臭气,采用 1 套  $30 000 \text{ m}^3/\text{h}$  的生物除臭装置处理,1 h 换气不低于 10 次,可有效防止高浓度臭气外逸,改善室内工作环境。两套除臭设备生物滤池空塔停留时间均为 37 s,臭气经处理后共用 1 个排气筒集中排放,执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—1993)表 1 的二级标准。

### 3.5 冷凝污水处理系统

冷凝污水处理系统按总规模一次建成;设计冷凝污水量  $214.3 \text{ m}^3/\text{d}$ ,加上除臭系统排水和车间冲洗废水,设计处理规模  $300 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计进、出水水质见表 2。主体工艺采用格栅调节池 + MBBR 一体化设备,调节容积为  $70 \text{ m}^3$ 。污水经处理后送至启明星厂区污水处理站进一步处理。

表 2 设计进、出水水质

Tab. 2 Design influent and effluent quality

| 项目 | $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ |                  |                    |    |    |
|----|---------------------------------|------------------|--------------------|----|----|
|    | COD                             | BOD <sub>5</sub> | NH <sub>3</sub> -N | TN | TP |
| 进水 | 519                             | 240              | 40                 | 60 | 4  |
| 出水 | 60                              | 20               | 8                  | 20 | 1  |

### 4 运行效果

该工程建成后,污泥干化系统及配套设施已稳定运行 1 年,出泥含水率稳定达到 30% 以下。污泥干化前、后对比见图 3。



图 3 污泥干化前、后对比

Fig. 3 Image before and after sludge drying

### 5 项目效益

① 社会和环境效益。该项目回收利用企业烟气余热,对污泥进行烘干处置,整个系统全封闭运行,具备良好的节能减排环保效果。干化后的污泥



含有较高的有机质和热值,运往周边工厂掺烧利用,实现了污泥的减量化、资源化、无害化处置。

② 经济效益。污泥直接运行成本按一期规模150 t/d测算。用电量 $24.46 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{月}$ ,电价按0.5元/(kW·h)计,电费12.23万元/月;运行管理人员共9人,工资按1万元/(人·月)计,人工费9万元/月;水费、药剂费以及其他杂费2万元/月;直接运行成本共计23.23万元/月;折合单位污泥直接运行成本51.62元/t。当地污泥处置费用约300元/t,本项目实施具有明显的经济效益。

③ 示范作用。该项目在国内首次采用电解铝烟气余热干化污泥,具有一定示范意义。

## 6 结论

采用电解铝烟气余热低温干化处理含水率80%的市政污泥,技术可行,出泥含水率稳定达到30%以下。污泥干化后作为能源进行掺烧利用,实现了污泥的减量化、资源化和无害化处置,工程综合效益明显。

## 参考文献:

- [1] 戴晓虎. 城镇污水处理厂污泥稳定化处理的必要性和迫切性的思考[J]. 给水排水,2017,43(12):1-5.  
DAI Xiaohu. Necessity and urgency of sludge stabilization treatment in urban sewage treatment plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(12): 1-5 (in Chinese).
- [2] 刘双柳,徐顺青,陈鹏,等. 城镇污水治理设施补短板现状及对策[J]. 中国给水排水,2020,36(22):54-60.

LIU Shuangliu, XU Shunqing, CHEN Peng, et al. Current situation and countermeasures of municipal wastewater treatment facilities to strengthen the weak points[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 54-60 (in Chinese).

- [3] 孙建升,叶雅丽,郑兴灿,等. 昆明市污水处理厂污泥处理工艺的研究与探讨[J]. 中国给水排水,2020,36(18):108-112.  
SUN Jiansheng, YE Yali, ZHENG Xingcan, et al. Research and discussion on the sludge disposal technology of Kunming WWTPs[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(18): 108-112 (in Chinese).
- [4] 吴青荣,张绪坤,王高敏. 城市污泥低温干化技术研究进展[J]. 环境工程,2017,35(3):127-131.  
WU Qingrong, ZHANG Xukun, WANG Gaomin. Advances on low temperature drying technology of municipal sewage sludge [J]. Environmental Engineering, 2017, 35(3): 127-131 (in Chinese).
- [5] 谢照亮,张海龙. 铝电解烟气余热利用技术的应用[J]. 轻金属,2019(7):70-73.  
XIE Zhaoliang, ZHANG Hailong. Application of waste heat utilization technology in aluminium reduction flue gas [J]. Light Metals, 2019(7): 70-73 (in Chinese).

作者简介:吕开雷(1982-),男,山东梁山人,硕士,高级工程师,主要从事水污染防治和市政工程设计、咨询工作。

E-mail:748628871@qq.com

收稿日期:2021-01-26

修回日期:2021-02-22

(编辑:衣春敏)

(上接第119页)

- 絮凝池提升改造[J]. 净水技术,2019,38(5):30-33,44.  
ZHANG Xianbin, LI Li, YANG Haimei, et al. Upgrading and reconstruction of perforated swirling flocculation tank of Songkuang water treatment plant in Gejiu City[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(5): 30-33, 44 (in Chinese).
- [4] 陈黎明. 老旧水厂技术改造实践[J]. 供水技术, 2014, 8(3): 46-49.  
CHEN Liming. Practice of technical reconstruction for

old waterworks[J]. Water Technology, 2014, 8(3): 46-49 (in Chinese).

作者简介:黄孟斌(1990-),男,湖北咸宁人,硕士,工程师,主要从事饮用水工艺管理和技术研究工作。

E-mail:menbing2013@163.com

收稿日期:2020-06-24

修回日期:2020-07-10

(编辑:衣春敏)