

董宝刚, 徐超, 汪胜利. 生活污水干化协同焚烧处置应用及能量平衡分析[J]. 净水技术, 2026, 45(8): 127-133.

Dong B G, Xu C, Wang S L. Application of sewage sludge drying and co-firing disposal and analysis of energy balancing[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(8): 127-133.

生活污水干化协同焚烧处置应用及能量平衡分析

董宝刚*, 徐超, 汪胜利

(合肥市排水管理办公室, 安徽合肥 230001)

摘要 【目的】针对城市生活污水处置面临的减量化、无害化及“邻避效应”等问题,以某生活污水处置项目为例,系统分析生活污水协同处置技术路线与综合效益。【方法】该项目设计规模为 300 t/d(以 80%含水率污泥计),采用“干化+焚烧”的核心技术路线,将含水率 80%的湿污泥干化至 40%左右与燃煤混合共同送入电厂锅炉焚烧,污泥掺烧比为 1.9%。【结果】污泥干化协同焚烧不仅有效避免了新建独立焚烧设施的“邻避效应”问题,而且充分利用电厂已有的公辅设施,有效降低了建设运行成本,项目总投资为 1.1 亿元,直接运行成本为 231.5 元/t(不包括设备折旧及财务成本等费用)。能量平衡分析揭示了污泥干化及焚烧系统净能量损失仅为 0.95×10^7 kJ/h,占输入总能量的 0.21%,整体影响较小。【结论】该项目成功实现了污泥的减量化、稳定化与无害化处置,为同类城市提供了一种经济技术可行、环境效益显著、社会接受度高的污泥处置解决方案,对推动污泥资源化利用与市政基础设施协同运行具有重要示范意义。

关键词 生活污水; 邻避效应; 干化协同焚烧; 建设运行成本; 能量平衡

中图分类号: X703 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)-08-0127-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.08.013

Application of Sewage Sludge Drying and Co-Firing Disposal and Analysis of Energy Balancing

Dong Baogang*, Xu Chao, Wang Shengli

(Hefei Drainage Management Office, Hefei 230001, China)

Abstract [Objective] Taking a municipal sludge disposal project as an example, this paper investigates the technical pathway and comprehensive benefits of co-firing municipal sewage sludge to address challenges including volume reduction, harmless treatment, and the "Not-In-My-Backyard (NIMBY)". [Methods] The project was designed for a capacity of 300 t/d (based on sludge with 80% moisture content) and implemented a "drying + co-firing" approach, whereby dewatered sludge was dried from 80% to 40% moisture content and then co-firing with coal in an existing power plant boiler at a blending ratio of 1.9%. [Results] Sludge drying and co-firing effectively circumvented the NIMBY issues associated with new standalone incineration facilities. By leveraging the power plant's existing infrastructure, it also significantly lowered capital and operational expenditures, with a total investment of 110 million CNY and a direct operating cost of 231.5 CNY per ton (excluding depreciation and financing costs). Analysis of energy balancing revealed this system energy loss of only 0.95×10^7 kJ/h, accounting for a mere 0.21% of the total energy input, thus having a minimal impact on overall system efficiency. [Conclusion] The project successfully achieves sludge reduction, stabilization, and harmless disposal, thereby presenting a techno-economically viable, environmentally sound, and socially acceptable solution. It thus serves as a valuable demonstration for promoting sludge resource recovery and synergistic municipal infrastructure management.

Keywords sewage sludge; not-in-my-backyard(NIMBY); drying and co-firing; capital and operation cost; energy balancing

污泥处置的主要途径包括卫生填埋、土地利用、土地资源需求较大,且存在渗滤液等二次污染风险,建材利用及焚烧等。其中,卫生填埋和土地利用对在土地资源紧张、环境要求严格的大中型城市适用

[收稿日期] 2026-02-02

[通信作者] 董宝刚(1990—),男,工程师,主要从事污水处理、污泥处置与资源化利用等工作, E-mail: dbg1990@163.com。

性较低;建材利用受建筑业下行影响,处置能力不稳定,仅能作为辅助处置方式;焚烧工艺凭借其处置稳定、彻底杀灭病原菌、能量回收等优势,已逐渐成为主流技术路线^[1]。

污泥的焚烧方式主要包括直接掺烧、干化后协同焚烧以及干化后独立焚烧。直接掺烧的优势在于建设投资小、系统简单、建设周期短,但污泥处置能力有限且稳定性较差,焚烧烟气总量明显增加,同时大量水汽进入炉膛会导致锅炉效率降低,尾部烟道腐蚀较为显著。干化后独立焚烧处置规模大,运行稳定性好,污泥烟气处理工艺针对性强,项目未来扩容较为方便^[2];但该方式需建设独立的干化、焚烧及尾气处理系统,建设投资与后续运营成本高,且面临选址困难、邻避效应突出等问题,适用于人口稠密、经济发达、土地成本较高的地区^[3-4]。相对而言,干化后协同焚烧依托既有的燃煤电厂或垃圾焚烧电厂建设,不仅有效规避了邻避效应,而且毗邻电厂,热源供应稳定,建设及运行成本明显下降,污泥经干化后含水率降至 40% 左右后,低位热值显著升高,焚烧烟气量少,对主系统影响较小^[5]。目前,该工艺路线在国内其他城市已积累了丰富的工程应用案例^[6-8]。

然而,现有研究多集中于工艺路线比选或工程应用案例总结,缺乏对污泥干化协同焚烧工艺全过

程的能量平衡机制的探讨。为此,本文以某设计规模为 300 t/d 的污泥干化协同焚烧项目为例,深入探究其运行过程中的能量平衡机制,并对运行过程中典型故障的成因进行剖析,以为同类工程的设计优化与稳定运行提供参考。

1 项目概况

本项目位于合肥市某燃煤发电厂内,设计规模为 300 t/d,采用“干化+焚烧”工艺路线。湿污泥(80%含水率,下同)通过污泥运输车运输至湿污泥料仓,再通过污泥柱塞泵送入圆盘蒸汽干燥机进行干化。

本项目大气污染物排放标准执行《安徽省煤电节能减排升级与改造行动计划(2015—2020 年)》(皖发改能源[2015]7 号)要求(在基准氧含量为 6% 的条件下,烟尘、二氧化硫、氮氧化物排放浓度分别不高于 10、35、50 mg/m³);氯化氢、二噁英类污染物及重金属指标参照《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014);恶臭污染物厂界排放执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554—93)中二级标准(新扩改建);颗粒物执行《大气污染物综合排放标准》(GB 16297—1996)。污水处理达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中三级标准及污水处理厂纳管标准。本项目具体工艺流程如图 1 所示。

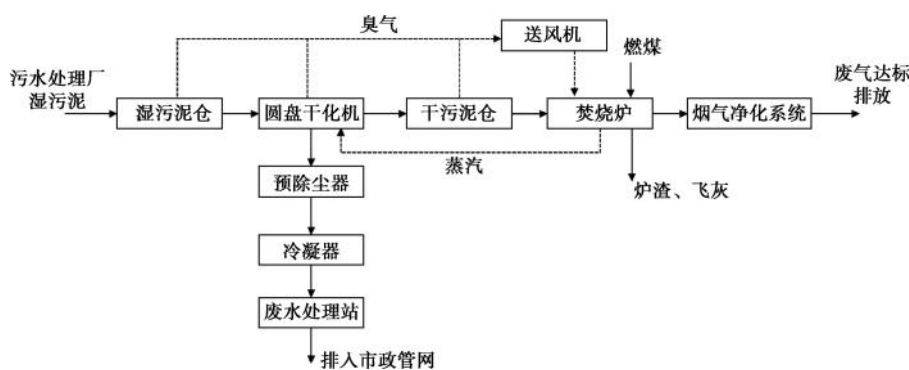


图 1 污泥干化焚烧工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Sludge Drying and Co-Firing

2 主要处理单元

2.1 污泥干化系统

干化系统配置 3 台圆盘干燥机,单台装机功率为 90 kW,传热面积为 411 m²,处理量为 100 t/d,超负荷能力为 110 t/d。配套旋风收尘器和水冷换热器。湿污泥由污泥柱塞泵连续加入圆盘干燥机内,

用蒸汽进行间接加热,污泥在羽根(搅拌推进叶片)作用下搅拌混合及受热。干化热源为电厂自产低压饱和蒸汽,经降温减压后降至 0.5 MPa(饱和蒸汽)供干燥机使用,设计蒸汽流量为 10.5 t/h,湿污泥水分被迅速蒸发出来形成干化尾气,通过除臭风机收集进入尾气处理系统;干化后的污泥含水率低于

40%,经螺旋输送机输送至干污泥仓暂存。

2.2 焚烧系统

电厂设有两台 350 MW 自然循环气泡炉,每台燃烧炉炉膛宽为 14.05 m,深为 14.02 m 锅炉采用正压直吹式制粉系统,配有 3 台磨煤机,燃烧器四角布置,切向燃烧,最上排燃烧器喷口中心线标高为 28.6 m,焚烧炉炉膛温度 $\geq 850\text{ }^{\circ}\text{C}$,烟气停留时间 $> 2\text{ s}$,炉渣热灼减率 $\leq 5\%$,满足“3T+E”原则[指焚烧过程中,要确保足够的温度(temperature)、充足的燃烧时间(time)、确保焚烧阶段形成湍流(turbulence),以及供应过量的空气(excess air)],减少二噁英的生成,污泥及燃煤经充分燃烧后,炉渣从排渣系统排出,飞灰随烟气流出炉膛由除尘器收集。焚烧炉运行参数如表 1 所示。

表 1 焚烧炉基本运行参数
Tab. 1 Basic Operation Parameters of the Incinerator

项目	参数
燃煤量(设计煤)/(t·h ⁻¹)	218.75
主蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	1 158.7
主蒸汽出口压力/MPa	17.31
主蒸汽出口温度/℃	541
炉膛出口烟温/℃	1 340
炉膛容积热负荷/(106 kJ·hm ⁻³)	0.361
炉膛过量空气系数	1.2

2.3 烟气净化系统

污泥焚烧过程产生的粉尘、酸性气体、二噁英等

污染物,依托电厂现有烟气净化系统进行处理,其中粉尘去除利用双室四电场+旋转电极电除尘器+立式湿式电除尘器,除尘效率 $\geq 99.97\%$ 。酸性气体采用石灰石-石膏湿法脱硫装置,1 炉 1 塔,分别增设第 3 层标准喷淋层,采用 1 层管式+2 层屋脊式除雾器,脱硫效率为 98.14%。 NO_x 通过选择性非催化还原法(SCR)进行去除,脱硝效率为 88.89%。在焚烧时,炉膛烟气温度从 1 400 $^{\circ}\text{C}$ 降至 1 118 $^{\circ}\text{C}$ 的停留时间为 9.6 s $> 2.0\text{ s}$,有效避免二噁英的生成,当烟气温度降至 350~400 $^{\circ}\text{C}$ 时,因烟气中含有大量 SO_2 (脱硫前),可抑制二噁英低温段二次合成^[9]。相关研究^[10]也表明,燃煤中掺烧污泥,不会增加二噁英的产生。

3 项目运行效果

3.1 项目特点

(1)建设运营成本低。相较于独立焚烧项目,本项目依托电厂现有的焚烧烟气处理系统及部分公辅设施,避免了重复建设,显著降低了建设成本。干化工艺采用蒸汽热干化,热源来自电厂自产蒸汽,热源供应稳定且价格低廉。干化后的污泥直接送至电厂替代部分燃煤,既减少了燃煤的使用量,也实现了资源的高效互补利用。此外,本项目部分管理人员与电厂共用,有效降低了人力成本。经测算,本项目建设成本为 1.1 亿元,直接运行成本为 231.5 元/t (不包括设备折旧及财务成本等费用),与国内同类型项目相比,处于较低水平。如表 2 所示。

表 2 国内典型污泥处置项目主要技术经济指标对比
Tab. 2 Comparison of Key Technical and Economic Indicators for Typical Sewage Sludge Disposal Projects at Home

项目	建设规模/ (t·d ⁻¹)	总投资/元	单位投资/ (元·t ⁻¹)	直接运行成本/ (元·t ⁻¹)	干化热源	入炉污泥 含水率	焚烧方式
本项目	300 (80%)	1.1 亿	36.67 万	231.5	蒸汽	40%	燃煤电厂协同焚烧
青浦项目 ^[11]	300 (80%)	—	—	295	蒸汽	55%	独立焚烧
顺义项目 ^[12]	400 (80%)	1.95 亿	48.75 万	323	蒸汽	40%	独立焚烧
昆明项目 ^[13]	700 (80%)	2.49 亿	35.57 万	304.9	蒸汽	40%	水泥窑协同焚烧

(2)环境友好优势显著。本项目巧妙利用电厂闲置土地,从根本上规避了重新选址可能引发的邻避效应,极大地降低了社会阻力。在项目建设及运营过程中,有效控制水、气、声等污染物的排放,对周边环境影响较小。

(3)工艺简便,运行稳定。污泥干化一次完成,

工艺简便,自动化程度高,大大减轻了运营人员工作量,同时电厂连续生产,蒸汽热源供应稳定,确保了污泥处置的稳定性。

3.2 运行工况及主要技术指标

自 2022 年正式投运以来,本项目除计划内暂停外,未出现减产或停产情况,整体运行稳定。

项目接收污泥量约为 300 t/d,含水率为 76.3%~80.4%,入炉干污泥量约为 100 t/d,电厂燃煤量为 5 250 t/d,污泥掺烧比为 1.9%。经检测,入炉污泥低位热值为 5 023.8 kJ/kg,燃煤低位热值为 20 150.4 kJ/kg,混合后入炉燃料低位热值为

19 907.6 kJ/kg,热值下降约 1.2%,处于锅炉焚烧设计波动范围内,对焚烧系统影响极小。相关研究^[14-15]也表明,污泥掺烧比较小时(15%以下),对锅炉燃烧效率影响不大。混合燃料性质如表 3 所示。

表 3 混合燃料组分及热值一览
Tab. 3 Composition and Calorific Value of Mixed Fuels

项目	收到基水分	收到基灰分	收到基全硫	收到基全氯	收到基全碳	收到基全氢	收到基全氧	收到基低位热值/ (kJ·kg ⁻¹)
污泥	40.00%	28.72%	0.43%	0.040%	16.38%	2.46%	9.89%	5 023.8
原煤	7.52%	31.61%	0.49%	0.013%	48.47%	4.35%	6.64%	20 150.4
混合燃料	8.13%	31.56%	0.49%	0.014%	47.87%	4.31%	6.70%	19 907.6
变化	0.61%	-0.05%	0	0.001%	-0.60%	-0.04%	0.06%	-242.8

3.3 污染物排放

本项目废水通过预处理后排入市政管网,经检测,各项排放指标均稳定达标。由电厂在线监测装置对排放烟气进行监测,并委托第三方进行采样检测,结果显示,烟气各项指标均满足排放标准,如表 4 所示。

表 4 烟气污染物排放数据及排放限值对比
Tab. 4 Comparison of Flue Gas Pollutants Emission Data and Emission Limits

项目	排放限值	检测结果
烟尘/(mg·m ⁻³)	10	3.8
SO ₂ /(mg·m ⁻³)	35	14
NO _x /(mg·m ⁻³)	50	32
二噁英/(ng-TEQ·m ⁻³)	0.1	0.022
镉、铊及其化合物/(mg·m ⁻³)	0.1	3.6×10 ⁻⁵
锑、砷、铅、铬、钴、铜、锰、镍及其化合物/(mg·m ⁻³)	1.0	0.11
汞及其化合物/(mg·m ⁻³)	0.03	1.22×10 ⁻⁴
HCl/(mg·m ⁻³)	60	13
烟气黑度/林格曼黑度	1	<1

4 污泥干化焚烧能量平衡分析

将污泥“干化+焚烧”过程视为一个系统整体进行分析,评估系统的整体能效、能量流向及项目在能量利用方面的合理性。为简化计算,分析基于以下几点假设:1)不考虑干载气影响;2)干化系统视为封闭体系,不考虑系统漏风影响;3)锅炉焚烧效率在污泥掺烧后不发生变化;4)不考虑蒸汽减压降温及输送过程中的能量损失。

4.1 干化过程能量平衡分析

以圆盘干燥机为对象建立干化过程能量平衡分析,由于干化过程不涉及污泥化学能变化,因此能量平衡计算仅考虑污泥显热变化。污泥干化过程能量平衡公式如式(1)~式(6)。

$$G_2 \cdot (1 - W_2) = G_1 \cdot (1 - W_1) \quad (1)$$

$$\eta_a \cdot Q_1 + Q_{s,in} = Q_{s,out} + Q_{v,out} \quad (2)$$

$$Q_1 = M_s \cdot h_s \quad (3)$$

$$Q_{s,in} = G_1 \cdot [c_d \cdot (1 - W_1) \cdot T_1 + c_w \cdot W_1 \cdot T_1] \quad (4)$$

$$Q_{s,out} = G_2 \cdot [c_d \cdot (1 - W_2) \cdot T_2 + c_w \cdot W_2 \cdot T_2] \quad (5)$$

$$Q_{v,out} = (G_1 - G_2) \cdot h_g(T_g) \quad (6)$$

其中: G_1 、 G_2 ——输入、输出圆盘干燥机的污泥量,kg/h;

W_1 、 W_2 ——进、出圆盘干燥机污泥含水率;

Q_1 ——输入干化系统的饱和蒸汽所携带的能量,kJ/h;

$Q_{s,in}$ ——输入污泥显热,kJ/h;

$Q_{s,out}$ ——输出污泥显热,kJ/h;

$Q_{v,out}$ ——干化过程中蒸发出的水分(以水蒸气形式)所携带的能量,kJ/h;

M_s ——饱和蒸汽消耗量,kg/h;

h_s ——0.5 MPa 饱和蒸汽比焓,kJ/kg;

c_d ——污泥干基比热容,取 1.5 kJ/(kg·℃);

c_w ——水的比热容,取 4.18 kJ/(kg·℃);

T_1 、 T_2 ——污泥进出料温度,分别取 20℃、80℃;

$h_g(T_g)$ ——在干化尾气温度 T_g 下水蒸气的比焓, T_g 取 90℃, $h_g = 2 676$ kJ/kg;

η_a ——圆盘干燥机热效率,取 90%。

4.2 焚烧过程平衡分析

对于稳定运行的锅炉,输入热量等于输出热量,其中输入能量主要来自燃煤释放的化学能 Q_c 和污泥焚烧产生的化学能 Q_s (不计干污泥显热 $Q_{s,out}$),输出能量主要为锅炉有效热 Q_e 及其他各项热损失 Q_r ,计算公式如式(7)~式(11)。

$$Q_c + Q_s = Q_e + Q_r \quad (7)$$

$$Q_c = M_c \cdot C_{LHV} \quad (8)$$

$$Q_s = G_s \cdot S_{LHV} \quad (9)$$

$$Q_e = \eta_b \cdot (M_c \cdot C_{LHV} + G_s \cdot S_{LHV}) \quad (10)$$

$$Q_r = (1 - \eta_b) \cdot (Q_c + Q_s) \quad (11)$$

其中: M_c ——燃煤总消耗量,kg/h;

C_{LHV} ——燃煤收到基低位热值,kJ/kg;

S_{LHV} ——污泥收到基低位热值,kJ/kg;

η_b ——锅炉运行效率,在最大连续蒸发量 (BMCR) 工况下为 93.41%。

4.3 系统能量平衡分析

基于式(1)~式(11)及相关指标数据对污泥干化焚烧系统能量平衡进行分析,结果表明,因干化污泥所需要提供的额外蒸汽能量为 2.90×10^7 kJ/h,污泥干化后焚烧增加锅炉有效能量为 1.95×10^7 kJ/h ($\eta_b \cdot Q_s$),系统净损失能量为 0.95×10^7 kJ/h,占电厂总输入能量的 0.21%,对系统整体影响较小。污泥干化焚烧过程能量平衡分析如图 2 所示。

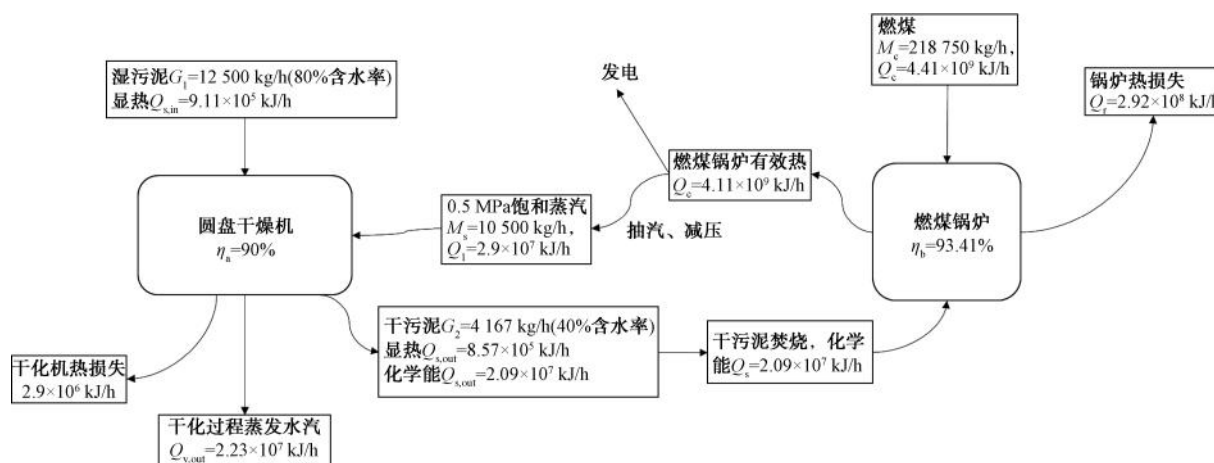


图 2 污泥干化焚烧能量平衡分析

Fig. 2 Energy Balancing Analysis of Sludge Drying and Co-Firing

4.4 敏感性分析

(1) 污泥掺烧比影响分析。在其他条件不变的情况下,当污泥掺烧比从 1.9% 提升至 3.0%、5.0% 时,系统能量平衡变化如表 5 所示。随着掺烧比的增加,干化污泥消耗的能量和污泥焚烧增加的有效

能量均随之增加,但污泥焚烧回收的能量不足以完全抵消污泥干化过程的能耗,系统净损失能量随之增大。当掺烧比达到 5.0% 时,净能量损失占电厂总输入的比例升至 0.55%,仍控制在较低水平,表明本项目具有良好的能量稳定性。

表 5 不同掺烧比下系统能量平衡变化

Tab. 5 Variation of System Energy Balancing under Different Co-Firing Ratios

掺烧比	干化污泥消耗蒸汽能量/ (kJ·h ⁻¹)	污泥焚烧增加有效热/ (kJ·h ⁻¹)	系统净损失能量/ (kJ·h ⁻¹)	净损失能量占电厂 总输入能量比例
1.9%	2.90×10^7	1.95×10^7	0.95×10^7	0.21%
3.0%	4.58×10^7	3.08×10^7	1.50×10^7	0.33%
5.0%	7.64×10^7	5.13×10^7	2.51×10^7	0.55%

(2) 入炉污泥含水率影响分析。除掺烧比外,入炉污泥含水率是项目运行的另一核心参数。能量

平衡计算结果显示,当含水率由 60% 降至 40% 时,系统能量净损失由 0.81×10^7 kJ/h 升至 $0.95 \times$

10^7 kJ/h,这表明,降低入炉污泥含水率会增加系统能量损失。但工程实践中,一方面,含水率升高会增加焚烧烟气量,增加后续烟气净化系统运行负荷,加大烟气超标风险;另一方面,当含水率处于特定区间时(一般为45%~65%),污泥黏滞性显著增强,极易堵塞设备(本项目试运行阶段曾出现该现象),造成运行中止。因此,在综合权衡系统能量损失、运行稳定性等因素后,本项目最终确定入炉污泥含水率为40%,这也与国内同类项目^[12-13]的选择相吻合。

5 相关问题探讨

5.1 干污泥运输堵塞与对策

试运行期间,发现经圆盘干燥机干化后的污泥频繁堵塞输送机。后排查发现,其堵塞的根本原因在于污泥黏滞性与温度变化耦合所致。污泥黏滞性受含水率、温度、胞外聚合物等因素综合影响,其中含水率是最显著的影响因素,当污泥含水率在45%~65%,污泥呈现黏滞状态,极易在干燥机内壁、输送设备上黏附、结团;这一区间含水率通常被称为污泥“黏滞区”,当干化后污泥携带大量水汽进入螺旋输送机后,迅速在输送机内壁及污泥表层冷凝,导致表层污泥含水率上升;同时,温度迅速下降,进一步削弱了高温对污泥黏滞性的抑制作用^[16-17]。在含水率上升与温度下降的双重影响下,表层污泥重新进入黏滞区,从而发生频繁堵塞输送机现象。后通过增设排气孔方式将水汽及时排出,并加装摄像头监控污泥输送情况,有效减少了污泥堵塞现象。建议在设计类似项目时,从以下几个方面进行优化:①对输送机增设保温措施,维持适宜温度,既利用高温抑制污泥黏滞性,又可减少水汽冷凝;②螺旋输送机每隔一定距离设置排气孔,将水汽及时排出;③尽量缩短污泥输送距离,避免水汽聚集;④设备选型时优先选用耐腐蚀材质。

5.2 废水预处理系统受季节影响的优化

污泥干化过程产生的冷凝水输送至废水处理站进行处理,达标后排放至市政管网。试运行阶段发现,夏季高温期间换热器效率降低,进水温度升至43℃以上,超过生化工艺的耐受范围,污泥活性下降,造成生化系统崩溃。后在原有换热器基础上并联增设一组换热器,一方面可作为日常备份提高系统稳定性,另一方面夏季极端高温时双机同时运行可提升换热能力。此外,在夏季来临前及时检查并

清洗换热器,确保换热效率。改造后,连续两年夏季运行数据显示,水温稳定控制在37℃以下,生化系统未发生崩溃现象。因此,在类似项目的设计中,需充分考虑季节性温度变化对换热系统的影响,特别是高温天气下的换热效率衰减问题,并采取针对性措施(如强化换热能力、增设预冷却设施等),确保废水处理系统的稳定运行。

6 结语

(1)本项目采用“干化+焚烧”的工艺路线,对污泥进行协同处置,成功实现了污泥“减量化、稳定化、无害化”的处置目标。项目采用与燃煤电厂合建的模式,从源头上规避了邻避效应,项目建设成本为1.1亿元,直接运行成本为231.5元/t,经济效益显著。

(2)在污泥干化及处置过程中,烟气、废水等污染物的排放均符合相关标准,杜绝了二次污染的风险。

(3)干化焚烧系统能量平衡分析结果表明,污泥干化至含水率40%后焚烧,掺烧比为1.9%时,整个系统净能量收益下降约 0.95×10^7 kJ/h,仅占电厂总输入能量的0.21%,敏感性分析显示,污泥掺烧比提升至5.0%时,能量损失仅占电厂总输入能量的0.55%,仍处于极低水平,表明本项目具有良好的能量稳定性。

参考文献

- [1] 安叶,张义斌,黎攀,等.我国市政生活污水污泥处置现状及经验总结[J].给水排水,2021,47(s1):94-98.
An Y, Zhang Y B, Li P, et al. Current situation and experience summary of municipal sewage sludge treatment and disposal in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(s1): 94-98.
- [2] 张辰,段妮娜,张莹,等.污水处理厂污泥独立焚烧工艺路线及适用性解析[J].给水排水,2021,47(1):41-48.
Zhang C, Duan N N, Zhang Y, et al. Analysis and comparison of the technical routes of sewage sludge mono-incineration[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(1): 41-48.
- [3] 杨汉文,王建国,李冲,等.市政污泥干化焚烧技术应用工程案例[J].中国给水排水,2021,37(12):136-140.
Yang H W, Wang J G, Li C, et al. Application project of municipal sludge drying and incineration technology[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(12): 136-140.
- [4] 胡维杰,周友飞,陈汝超,等.石洞口污水处理厂污泥干化焚烧二期工程工艺要点解析[J].中国给水排水,2019,35

- (16): 41-47.
Hu W J, Zhou Y F, Chen R C, et al. Analysis of process design of the sludge drying and incineration project phase II in Shidongkou WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(16): 41-47.
- [5] 颜莹莹, 黄荣敏, 王保龙, 等. 燃煤机组掺烧城市污泥发电的干化工艺对比[J]. 中国给水排水, 2023, 39(24): 53-58.
Yan Y Y, Huang R M, Wang B L, et al. Comparison of drying processes of coal-fired generating units mixed with municipal sludge[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(24): 53-58.
- [6] 刘波, 廖竞萌, 郭韵, 等. 成都市污水污泥处理处置现状及对策探讨[J]. 中国给水排水, 2025, 41(4): 9-15.
Liu B, Liao J M, Guo Y, et al. Current situation and countermeasures of sewage sludge treatment and disposal in Chengdu[J]. China Water & Wastewater, 2025, 41(4): 9-15.
- [7] 何磊. 南方某市污泥处理处置现状及对策研究[J]. 城市道桥与防洪, 2025(8): 205-210.
He L. Study on present situation and countermeasures of sludge treatment and disposal in a southern city[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2025(8): 205-210.
- [8] 马杜娟, 黄纯琳, 李顺泉, 等. 燃煤电厂掺烧城市污泥性能分析[J]. 当代化工研究, 2021(24): 116-118.
Ma D J, Huang C L, Li S Q, et al. Performance analysis of municipal sludge blending in coal-fired boiler[J]. Modern Chemical Research, 2021(24): 116-118.
- [9] 官贞珍, 潘卫国, 郭瑞堂, 等. 国内外燃煤电厂二噁英排放及控制[J]. 燃烧科学与技术, 2020, 26(5): 423-429.
Guan Z Z, Pan W G, Guo R T, et al. PCDD/fs emissions and control in coal-fired power plants at home and abroad[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2020, 26(5): 423-429.
- [10] 周虹光, 李帅英, 王超, 等. 燃煤耦合污泥发电过程二噁英生成与排放研究[J]. 热力发电, 2023, 52(5): 160-166.
Zhou H G, Li S Y, Wang C, et al. Formation and emission of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans during the co-firing of coal and sludge in power plant[J]. Thermal Power Generation, 2023, 52(5): 160-166.
- [11] 刘庄泉. 青浦污泥干化焚烧项目设计运行分析[J]. 净水技术, 2024, 43(S2): 192-200.
Liu Z Q. Design and operation analysis of Qingpu sludge drying and incineration project[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(S2): 192-200.
- [12] 李彪, 周欣, 高波, 等. 顺义区污泥干化焚烧处理工程工艺设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(14): 63-68.
Li B, Zhou X, Gao B, et al. Design of sludge drying incineration treatment process in Shunyi district[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(14): 63-68.
- [13] 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 J S, Ye Y L, Zheng X C, et al. Research and discussion on the sludge disposal technology of Kunming WWTPs[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(18): 108-112.
- [14] 曹通, 方立军, 李鸿远. 循环流化床锅炉掺烧污泥的炉内燃烧数值模拟研究[J]. 锅炉技术, 2017, 48(2): 30-35.
Cao T, Fang L J, Li H Y. A numerical simulation of co-combustion of sludge on a circulating fluidized bed boiler[J]. Boiler Technology, 2017, 48(2): 30-35.
- [15] 李德波, 阙正斌, 陈健, 等. 350 MW 超临界 CFB 锅炉掺烧生活污水现场试验研究[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(S2): 249-254.
Li D B, Que Z B, Chen J, et al. Field experimental study on mixed combustion of domestic sludge in 350 MW supercritical CFB boiler[J]. Clean Coal Technology, 2024, 30(S2): 249-254.
- [16] 刘亚军, 王爱春, 邓文义. 市政污泥热力干化过程中黏滞特性研究进展[J]. 化工进展, 2018, 37(6): 2378-2385.
Liu Y J, Wang A C, Deng W Y. Progress in sticky characteristics of sewage sludge during thermal drying process[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018, 37(6): 2378-2385.
- [17] 王磊. 市政污泥脱水干化及粘滞特性变化规律研究[D]. 上海: 东华大学, 2018.
Wang L. Study on the change rules of the dehydration, drying and viscous properties of municipal sludge[D]. Shanghai: Donghua University, 2018.