

# 化工废水处理中生化污泥的干燥及无害化利用

严加才<sup>1,2\*</sup>

(1. 开滦煤化工研发中心,河北唐山063611;  
2. 河北省煤基材料与化学品工程技术研究中心,河北唐山063018)

**摘要:**通过分析生化污泥的可燃性及热值,设计了利用锅炉烟气余热在旋转干燥机中直接接触换热干燥污泥,将干污泥用作锅炉燃料,并利用燃烧后灰渣提取化工原料。运行结果表明,污泥水分从质量分数80%左右降为27%,每吨干污泥可替代0.8 t 锅炉燃煤,解决了湿污泥储运、堆放问题,实现了生化污泥的无害化和资源化的环保利用。

**关键词:**生化污泥;锅炉烟气;干燥;燃料;环保利用

**中图分类号:**TQ522

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2015)11-0133-03

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2015.11.032

## Drying and harmless utilization of biochemical sludge in chemical wastewater treatment process

YAN Jia-cai<sup>1,2\*</sup>

(1. Coal Chemical R&D Center of Kailuan Group, Tangshan 063611, China; 2. Hebei Provincial Engineering Technology Research Center of Coal-based Chemicals and Materials, Tangshan 063018, China)

**Abstract:** By analyzing the flammability and calorific value, the biochemical sludge is directly heated and dewatered by boiler flue gas. Then, the dry sludge is used as boiler fuel and chemicals can be extracted from the fuel slag. The operation data shows that the sludge moisture is reduced from 80% to 27%. Every ton of dry sludge can replace 0.8 tons of boiler coal, which not only effectively solves the sludge transportation and storage problems, but also obtains the resourcing and environmental utilization of biochemical sludge.

**Key words:** biochemical sludge; boiler flue gas; drying; fuel; environmental utilization

随着社会经济的不断发展,化工行业(煤化工、石油化工)、印染造纸行业和城市生活产生的污水量越来越大,在处理这些污水的同时,产生了大量的生化污泥,建立一种处理效果好、投资成本低、运行稳定、技术先进、节能环保,环境效益、社会效益、经济效益显著的污泥资源化利用方法,达到污泥无害化处理和资源化利用的要求,是节能环保和各工业生产领域的一大技术难题。

污泥中不但含有大量的寄生虫卵、病原微生物和重金属离子等有毒有害物质,还散发着臭气,随意倾倒入对土壤、水、大气环境造成二次污染。污泥的处理处置是污水处理的重要组成部分,是评价污水处理是否规范、完整和彻底的重要标准。目前,我国污泥的处理方式有污泥农用、卫生填埋和焚烧<sup>[1]</sup>,没有处置的也占很大一部分。污泥农用和填埋或堆放的方式存在的问题是,占地面积大,运输费用高,含在污泥中的重金属物质和有毒物质会在土壤中积累,并污染地下水,有报道污泥填埋场附近因毒物累积导致了一些食草动物死亡。污泥经焚烧后体积减少很多,可以解决填埋堆放的不足之处,但过程中烟

气二次污染、热量损失等问题也没有很好地解决<sup>[2]</sup>。

因此,开发一种生化污泥的无害化有效利用技术,避免堆放占地和污染水资源,实现生化污泥的无害化和资源化,具有重要的现实意义和推广示范价值。

### 1 生化污泥的性能分析

本研究项目生化污泥主要来源于污水处理生化系统二沉池和混凝沉淀池,经预处理工艺后,泥饼日产量约为60 t,污泥含水量约为质量分数80%,生化污泥预处理工艺见图1。原有处理方法为将预处理后的泥饼定期用货车运输至指定的污泥堆场,由于含水量高,增加了运输费用,而且需要的堆埋场地逐渐增大,对周边空气和水有一定污染。

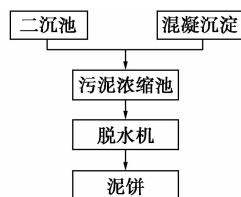


图1 生化污泥预处理工艺流程图

生化污泥含有大量的有机物质、焦粉、煤尘等可燃物质,因此考虑将污泥适度脱水干燥,考察其发热量,表 1 是干燥后污泥和洗末煤灰分、发热量对比。

表 1 干燥后污泥和洗末煤指标

指标	含水质量分数/%	灰分/%	高位发热量/(kJ·kg <sup>-1</sup> )
干燥后污泥	27.32	48.42	9240
洗末煤	5.86	54.87	11348

由表 1 可见,干燥后污泥的灰分小于洗末煤,高位发热量略低于洗末煤。表 2 为干燥污泥和洗末煤按不同比例混合后的发热量,可以看出,混合物的发热量随着干燥后污泥的百分比增加而减少,但二者不论是单独作为燃料还是混合后作为燃料都符合循环流化床锅炉对燃料发热量的要求(≥4 200 kJ/kg)。

表 2 干燥后污泥和洗末煤混合后发热量

方案	洗末煤/%	干燥污泥/%	高位发热量/(kJ·kg <sup>-1</sup> )
1	100	0	11348
2	66.7	33.3	10689
3	50	50	10357
4	33.3	66.7	9895
5	0	100	9240

污泥和洗末煤燃烧后的灰分都很高,如若将灰分加以利用,将能增加经济效益变废为宝。对污泥和洗末煤燃烧后灰分进行分析(见表 3),发现污泥灰渣中的氧化铁质量分数很高,接近 50%,此外二氧化硅的质量分数也很高,达 30% 以上,灼烧后污泥的灰分颜色为红褐色,原因是铁的赋存形态为三

表 3 污泥和洗末煤燃烧后的灰分组成(质量分数) %

灰分含量	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	其他
洗末煤灰	8.5	50.6	31.7	4.4	0.9	3.9
污泥灰	49.6	32.3	8.6	2.9	0.6	6.0



从左到右对应表 2 中方案 1~5

图 2 干燥污泥和洗末煤混合物燃烧后的灰分照片

氧化二铁。洗末煤灰渣中,二氧化硅的质量分数超过 50%,其次为三氧化二铝,达到 31%,而洗末煤灰分为浅灰色接近白色,原因是其主要成分为二氧化硅和三氧化二铝。图 2 是干燥污泥和洗末煤不同配比下的混合物燃烧后灰分照片。由图 2 可见,随着混合燃料中污泥含量的增加,对应的灰分颜色逐渐由浅灰色变为红褐色,是因为随着干燥污泥配比增加,燃烧后灰分中三氧化二铁含量也随之增加。

## 2 生化污泥的干燥处理和综合利用

### 2.1 生化污泥干燥利用思路及原理

根据对生化污泥性质以及燃烧后灰分的分析,设计用化工园区锅炉烟气余热干燥污泥,干燥后污泥用于锅炉燃料,并将污泥燃烧后的灰渣提取化工原料的一体化综合利用技术。湿的生化污泥在旋转干燥设备中与热烟气传质传热,经过干燥后污泥体积和质量减少 2/3 以上,并且污泥处理速度快,污泥可作为燃料用于流化床锅炉,不需长距离运输,还能回收热量产生蒸汽。污泥处理及利用的流程示意图如图 3。

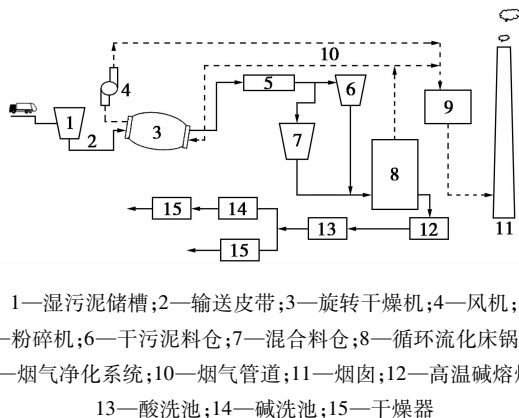


图 3 污泥处理及利用的流程示意图

生化污泥的干燥、燃烧及其灰渣提取化工原料的资源化利用技术,主要由干燥系统、锅炉燃烧系统和提取化工原料系统构成。如图 3 所示,湿污泥由汽车运至湿污泥储槽 1,经运输皮带 2 进入旋转干燥机 3,旋转干燥机由 DCS 控制转速和旋转干燥时间,从循环流化床排出的部分热烟气由风机 4 吸入旋转干燥机 3。干燥结束后,干污泥由运输皮带 2 送至破碎机 5,经破碎后的干污泥经运输皮带 2 直接进入干污泥料仓 6,或与其他锅炉燃料混合后经皮带 2 输送至混合料仓 7,料仓 6 或 7 的燃料输送进入循环流化床锅炉 8 燃烧放热产生蒸汽,燃烧后产生的烟气一部分经管道 10 进入旋转干燥机 3 干燥

湿污泥后,与其余大部分烟气经管道 11 进入烟气净化系统 9,经吸收有害气体和布袋除尘后,经烟囱 11 排入大气。燃烧后的灰渣经皮带输送至高温碱熔炉 12,水洗过滤后进入酸洗池 13,经酸溶解后过滤,滤渣经洗涤、干燥器 15 干燥后得到产品白炭黑,滤液进入碱洗池 14 与过量碱反应生成沉淀,过滤后的滤渣经过洗涤,进入干燥器 15 干燥煅烧后得到产品铁红。

干燥系统的主要原理是,湿污泥由储槽经皮带输送至直接接触式旋转搅拌干燥机中,与热的烟气直接接触干燥,水分随烟气排出。污泥由于不断地旋转,增加了传热传质接触面积,通过 DCS 系统对转速、干燥烟气流量等进行调节,可以控制污泥在干燥机内的滞留时间。

直接接触式旋转干燥机的优点在于:①加热均匀、蒸发速度快、热效率高、出料干化均匀,干燥机滚筒内有 4 块对称分布的突起隔板,在旋转过程中,污泥经均匀分布的 4 块隔板从内筒的顶部摔落到底部,有利于污泥粒度的均匀和提高受热效率;②机械磨损少,干燥机内的隔板与内筒接触面为弧形,不容易挂料,维护清理方便;③转速可调节,控制污泥干燥度和适应现场不同的工艺条件性能好,干燥后的污泥由皮带送往粉碎机粉碎后,由干污泥储槽经皮带输送至干污泥料仓;④干燥过程是在密闭状态下全程负压工作,系统密闭性能良好,有效防止气味外散。

工业中普遍使用的循环流化床锅炉具有以下特点:①燃料适应性广,低发热量( $\geq 4\ 200\ \text{kJ/kg}$ )的煤渣、煤泥、洗矸、污泥都可燃烧,并且可达到很高的燃烧效率;②循环流化床锅炉温度一般控制在  $850\sim 950\text{ }^\circ\text{C}$ ,排渣温度低,灰渣不软化黏结。干污泥料仓的干污泥可直接用作锅炉燃料,也可以和动力煤混合后进入混合料仓,再送入锅炉燃烧,污泥或污泥混合燃料燃烧放热产生蒸汽可以调压后供工业生产使用,也可用于发电。

为防止干燥污泥燃烧后的烟气污染环境,烟气净化主要有 4 个途径:①在燃料中加入一定量的石灰固硫生成硫酸钙,抑制  $\text{SO}_2$  的产生;②安装烟气净化器,可以去除 95% 左右的  $\text{SO}_2$  气体;③流化床锅炉由于燃烧稳定,炉膛温度均匀,且炉温高于  $600\text{ }^\circ\text{C}$ ,抑制了二噁英的产生;④采用高性能可更换的布袋除尘,可去除 99.9% 的灰尘。

锅炉燃烧后的灰渣用来提取化工原料,干污泥直接燃烧后的灰渣或与动力煤混合燃烧后的灰渣经

碱熔、水溶后,过滤掉不溶部分。在滤液中加酸,二氧化硅会沉淀下来,过滤收集沉淀,经洗涤、干燥、煅烧后可得到白炭黑。在二次滤液中加碱,当碱过量时,铝会生成可溶的偏铝酸盐,而铁会生成沉淀,过滤收集沉淀,经洗涤、干燥、煅烧后可得到铁红。

## 2.2 具体运行效果

本项目某段时间的运行数据:生化污泥含水体积分数为 78.94%,旋转干燥机入口处烟气温度为  $195\text{ }^\circ\text{C}$ ,旋转干燥机转速为  $40\ \text{r/min}$ ,干燥时间为  $20\ \text{min}$ ,干燥后的污泥含水体积分数为 27.32%,旋转干燥机出口温度为  $116\text{ }^\circ\text{C}$ 。干燥后污泥的高位发热量为  $9\ 240\ \text{kJ/kg}$ ,而另一种锅炉燃料某洗末煤的高位热值为  $11\ 348\ \text{kJ/kg}$ 。在燃烧过程中,每吨污泥热量相当于  $0.8\ \text{t}$  洗末煤。

燃烧后的灰渣成分分析及产品产率见表 4(方案与表 3 的方案一致)。其中铁红产率和白炭黑产率表示每百公斤的灰渣经处理后得到的铁红和白炭黑产品质量。根据灰渣组成的不同,可以适当改变提取工艺,重点提取其中一种产品。

表 4 灰渣灰成分分析及产品产率

方案	质量分数/%						铁红产率/%	白炭黑产率/%
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	其他		
1	8.5	50.6	31.7	4.4	0.9	3.9	2.6	45.3
2	49.6	32.3	8.6	2.9	0.6	6.0	44.5	23.3
3	30.1	40.6	18.7	3.6	0.7	6.3	26.8	34.7

## 3 结论

(1)利用循环流化床锅炉烟气,在直接接触式旋转干燥机中将湿的生化污泥干燥,生化污泥水分从质量分数 80% 左右降为 27% 左右,污泥干燥后用于循环流化床锅炉燃料,每吨污泥热量相当于  $0.8\ \text{t}$  燃料煤。

(2)直接接触式旋转干燥机可调速、负压操作,避免气味外散,热效率高,出料干化均匀。

(3)本项目有效地处理了生化污泥,解决堆放和污染环境的问题,合理地利用产生的热量和产物,具有处理效果好、节能环保的特点。

## 参考文献

- [1] 周家平,唐强,王丽朋,等. 污水污泥在富氧环境下燃烧特性的实验研究[J]. 环境工程学报,2011,5(8):1871-1876.
- [2] 李波. 城市生活污水污泥干化处理及与煤掺烧实验研究[D]. 合肥:合肥工业大学资源与环境工程学院,2013. ■