

工程实例

流化床污泥焚烧炉 Pyrofluid[®] 技术及应用

李 佳, 陈 畅

(威立雅水务工程<北京>有限公司, 北京 100022)

摘 要: 介绍了流化床污泥焚烧炉 Pyrofluid[®] 系统的构成及特点, 着重介绍了其能量回收和烟气处理系统的独特设计。全球应用实例证明, 该工艺是一种简单、清洁和环保的污泥处理工艺。

关键词: 污泥处置; 污泥焚烧; 流化床

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2009)14-0056-03

Application of Pyrofluid[®] Sludge Incineration System for Fluidized-bed Incinerator

LI Jia, CHEN Chang

(Veoliawater Solutions & Technologies <Beijing> Co. Ltd., Beijing 100022, China)

Abstract: The composition and characteristics of Pyrofluid[®] sludge incineration system for fluidized-bed incinerator (FBI) are introduced with emphasis on the special design of energy recovery and flue gas treatment. The global application practice shows that the process is a simple, clean and environmentally friendly process.

Key words: sludge disposal; sludge incineration; fluidized bed

国外发达国家通过消化使污泥达到初级无害化水平后, 已经逐渐开始禁止再向土地直接施用污泥, 焚烧作为更高水平的无害化、减量化的处理技术得到了迅速的发展和广泛的应用。通过半个多世纪的发展和改进, 能耗更低、能量回收利用率更高、满足更加严格的排放标准的流化床污泥焚烧系统已经成为应用普遍并能提供成功运行保证的技术。

1 污泥焚烧技术

污泥含水率是污泥焚烧处理中的重要影响因素。一般国内市政污泥脱水后含水率较高(约为75%), 挥发性物质含量较低(约为50%, 国外同比数据普遍约为70%)。通过热平衡计算, 如果直接进行污泥焚烧处理, 会长期消耗大量的辅助燃料; 而对污泥进行预干化能够充分利用污泥有机物焚烧所产生的热量, 再通过烟气的余热回收作为干化的热量来源, 则可最大程度地优化能源配置。因此, 综合

考虑设备的整体设计合理性、投资和运行成本、设备运行的灵活和可靠性, 将污泥干化作为焚烧工艺的前处理工艺, 是应对国内污泥焚烧处理的最佳处理方案, 其一次性投资和运行成本都是最合理的。由于干化技术具有多样性, 其中干化设备的形式和热源介质可以根据实际应用而定。

2 Pyrofluid[®]污泥焚烧系统

2.1 系统的构成和特点

一套完整的焚烧系统包括 Pyrofluid[®] 流化床焚烧炉, 以及后续作为能量回收的热交换系统和废气处理系统(包括静电除尘器 ESP、化学处理装置和袋式除尘器)。Pyrofluid[®] 焚烧炉采用流化工艺, 借助上向空气流, 将尺寸分级为 0.5~2 mm 的惰性物质(一般为砂)保持在悬浮状态。流化床的优势在于能够保证助燃气体在水平截面上的均匀分布、砂层的良好混合、污泥和燃烧气体的最佳接触。Pyroflu-

id®流化床技术非常适用于污泥焚烧,它可以保证污泥的良好分布,固气充分接触和温度均衡,也可以保证在较低过剩燃烧气体状况下的完全燃烧和炉内的自燃热平衡。

3T 原则(即时间、温度和湍流)是燃烧效率的关键因素,这些运行条件在 Pyrofluid®污泥焚烧炉中可以得到充分满足,以保证污泥挥发物质完全燃烧。

2.2 焚烧炉的结构

Pyrofluid®污泥焚烧装置包括 2 个不同尺寸的垂直放置的同轴圆柱,由一个渐变圆台结构连接。焚烧炉结构见图 1。

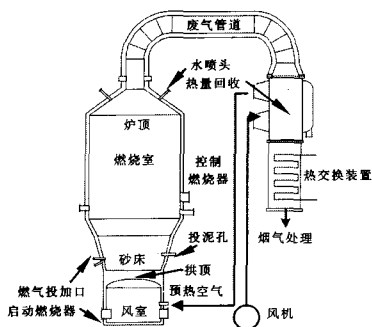


图 1 焚烧炉的结构示意

Fig. 1 Structure of Pyrofluid® incinerator

污泥焚烧装置自下而上,包括风室、带喷嘴的拱顶、砂床、燃烧室以及炉顶和烟气管。风室类似于一个加压室,可以在流化床的整个水平面上分布燃烧气体。在空气入口相对的一面设有启动燃烧器,可以在安装调试期、启动期和长期关闭后对焚烧炉进行预热。风室设有观测孔、温度和压力等必要的监控和操作设备。由耐热砖建造的拱顶用于隔开风室和流化床。拱顶上分布着安装喷头的规则开口。这些喷头由中空耐火钢铸成,在其外壁上有小孔。喷头可以保证燃烧气体在流化床均匀分布而避免砂子落入风室。砂层在静止状态下高为 1 m,流化态时为 1.5 m。污泥和燃料通过均匀的沿焚烧炉外周分布的投加口进入砂床,流化床上部设有栅渣投加装置。污泥投加到温度为 720 ℃ 的砂床,在高温和砂床流动下,污泥中的水分蒸发,干物质沿砂床整个表面分布,以达到更好的燃烧效果。

此外,大量砂子提供的热惯量可以平衡被焚烧污泥质量变化以及间断操作带来的潜在问题。燃烧始于流化床,在燃烧室(超高室)结束。燃烧室中烟气温度 > 850 ℃,停留时间 > 2 s。这些条件保证了

有机物的充分燃烧,使其在灰分中的含量 < 3%。如果燃烧室中的温度 < 850 ℃,则通过燃烧室的燃料(气体/汽油)投加口投加辅助燃料。废气(包括燃烧气体、剩余空气、水蒸气)和矿物渣则通过焚烧炉顶部的烟气管道排出。

2.3 能量回收

烟气从耐热炉顶和废气管道进入空气热交换器。通过热交换器可以实现以下功能:燃烧空气(即流化空气)的预热,回收热量供预干化部分使用或发电。这部分包括两个主要部件:一个烟气/流化空气热交换器,为助燃气体提供预热;一个冷却器,即烟气/热媒流体热交换器,冷却废气,回收热量。

第一级热交换器称为气体预热型热交换器,在助燃空气/流化空气进入风室前,用部分烟气的热量对其进行加热。由此污泥焚化系统运行时,使需要注入的补充燃料量达到最小化。在 Pyrofluid® 设计中,在给定的污泥热值和挥发性物质含量下,可以根据湿污泥量和热负荷设计出不需要添加任何辅助燃料或不需要喷淋降温水的运行工况,最大限度地减少能耗和降低运行成本。

第二级热交换器称为冷却型热交换器,能冷却废气达到适宜温度。冷却液可为过热水或导热油。回收的热量将用于预干化部分,由此干化设备的能耗将得到最大限度的节约。

2.4 烟气处理

烟气处理需要考虑的污染物包括:灰分、酸性气体(HCl、SO₂ 和 HF)以及重金属。通常包括以下步骤:干式静电除尘器(ESP)去除固体状态的灰分和重金属。袋式除尘器去除粉尘和由于投加化学药剂产生的副产物。Pyrofluid®烟气处理后的排放限值充分满足并严于 EEC 4/12/2000 颁布的废弃物焚烧 2000/76/EC 指令,部分指标优于目前《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2001)。处理后的烟气通过工业用风扇排出,保持焚烧炉内零压力,使热交换器和烟气处理的压力总是低于大气压,以防止灰尘和气体泄漏,保持焚烧厂的清洁环境。被排放的烟气温度控制在 210 ℃,避免湿度和温度较高时烟羽生成。

3 技术应用

Pyrofluid®流化床焚烧炉最初为处理市政污泥而设计,同时也兼顾其他废物的焚烧,包括污水处理预处理阶段产生的油脂、栅渣以及其他污水处理过

程中可能产生的固废。

1968年 OTV 设计和建造的第一座污泥焚烧 Pyrofluid® 流化床在法国的 Le Havre (勒阿弗尔市) 投入运行。之后, OTV 在法国和世界各地共设计、建造和运行了近百座污泥焚烧流化床用于工业和市政污泥处理。

3.1 满足最严格的排放要求

OTV 公司在法国巴黎哥伦布 Colombes 污水处理厂的 Pyrofluid® 污泥焚烧系统是当今最先进的污泥焚烧及废气处理工艺的应用范例。这座投产于 1998 年的焚烧厂建于全覆盖的污水处理厂内, 已经运行 10 年, 建有 4 座 Pyrofluid® 流化床污泥焚烧炉, 每台焚烧炉的处理能力为 2 tDS/h。焚烧系统的先进性突出地体现在后续废气的处理上, 可达到欧洲最严格的排放要求, 特别是在去除氧化氮 (NO_x) 和二噁英 (Dioxins) 上。排放烟囱上还安装有连续测定 CO 、各种酸和粉尘等的测定仪。

2001 年—2002 年中 3 个工作周期排放的废气值见表 1。

表 1 烟气排放标准及实测值

Tab. 1 Emission standard and actual experimental data

检测指标	法国条例 (2002 年)	处理厂所在 当地法例 (1998 年)	实测试验 数据(2001 /2002 年)
总尘/ $(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	10/30*	15	2.3
$\text{CO}/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	50	80	20.8
$\text{TOC}/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	10/20	20	14.4
$\text{HCl}/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	10/60	25	0.4
$\text{HF}/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	1/4	2	0.14
$\text{SO}_2/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	50/200	100	6.8
$\text{NO}_x, \text{NO}_2/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	200/400	400/70**	47
$\text{Zn}/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	0.5	4	3.3
$\text{Cd}/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	0.05	0.2	0.03
$\text{Hg}/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	0.05	0.2	0.09
二噁英和呋喃/ $(\text{ng} \cdot \text{m}^{-3})$	0.1	0.1	0.08

注: * 第一个值为日平均值, 第二个值为 0.5 h 平均值; ** 日平均第一值表示不进行 deNO_x 处理, 第二值表示进行 deNO_x 处理。

这些工作周期内焚烧炉排放的废气均满足严格的排放要求。使用探测器对 NO_x 、 HCl 、 SO_2 、 CO 和灰尘进行连续监测, 同时检测 H_2O 和 O_2 。这些参数每隔 0.5 h 统计一次。

3.2 能量回收

1997 年俄罗斯的首座 Pyrofluid® 流化床焚烧厂

建造在处理能力为 2.5×10^6 人口当量的圣彼得堡中心区污水处理厂内。混合污泥在浓缩到 35 g/L 后经过离心脱水至 26%, 然后进入 4 台设计能力为 2.5 tDS/h 的 Pyrofluid® 流化床焚烧炉。部分焚烧热能回收转换为低压蒸汽 (0.5 MPa, 158 °C) 用于厂区供热采暖和生产工艺。湿式烟气处理可保证烟气排放符合当地的排放标准 (烟尘 $< 30 \text{ mg/m}^3$)。

在 2004 年, 俄罗斯圣彼得堡北部污水处理厂再次选用 Pyrofluid® 焚烧系统。污水处理厂污泥处理线包括传统重力浓缩和离心脱水。焚烧系统包括 3 台 Pyrofluid® 流化床焚烧炉, 设计能力为焚烧 150 t 干泥/d (包括 122 t 混合干污泥、4 t 油脂、24 t 栅渣)。OTV 公司的设计使得该系统在处理量只有 50% 时, 只要一条焚烧线运行, 而另外一座焚烧装置可以进行维护。当处理量增至 150% 时, 3 条焚烧线同时运行并将产生的高压蒸汽进行发电。烟气排放符合 EU 2000/76/EC 指令, 烟气处理包括有 ESP、干式碳酸氢钠和活性炭投加以及布袋式除尘。

烟气回收的热量除了预热空气外, 还通过超高温锅炉产生高压蒸汽 (20 t/h, 3.2 MPa, 450 °C), 再通过冷凝式涡轮机发电 (3 MW)。两个处理厂从 ESP 收集的粉尘灰分在圣彼得堡被广泛回用到混凝土骨料预制和改善级配。

4 结语

在全球范围内成功运行的业绩充分证明了 Pyrofluid® 焚烧系统所保证的对污泥的热分解, 对病原菌和有机微污染物的彻底分解, 可用于热能和发电的能量回收, 粉尘灰分的循环利用。实践证明, 卓越的设计和运行保证了 Pyrofluid® 是一种简单、清洁和环保的污泥处理工艺。

参考文献:

- [1] Heitz M W, Biju G. Emissions optimization of a new fluid bed reactor [A]. WEF/AWWA/CWEA Joint Residuals and Biosolids Management Conference [C]. CA: San Diego, 2001.

电话: 13701294624

E-mail: jia. li@veoliawater.com

通讯作者: 李佳 (威立雅水务工程亚洲市政污泥解决方案经理)

收稿日期: 2009-03-25