

流化床焚烧炉污泥焚烧工艺特性研究^{*}

李 军 李 媛

H. G. Hohnacker

(北京工业大学建筑工程学院, 北京 100022) (斯图加特应用技术大学, 德国 D-70174)

摘要 本研究以德国 Stuttgart-Mühlhausen 污水处理厂的鼓泡式流化床焚烧炉为主要研究对象, 分析了污泥处理和焚烧工艺流程及其特点, 探讨了鼓泡式流化床焚烧炉污泥焚烧的工艺特性。

关键词 污泥焚烧 流化床焚烧炉 鼓泡式

1 污泥处理与处置的方法

污泥处理与处置的目的与其他废弃物的处理与处置一样, 都是以减量化、资源化、无害化为原则。目前在世界各国, 填埋、农用和焚烧是污泥处置的几种主要方法, 附表^[1]就一些发达国家中使用此几种处理方法的比较。近几年来, 污泥焚烧技术已经成为处理污泥的主流, 愈来愈受到重视。

这是因为焚烧法与其它方法相比具有突出的优点: ①焚烧可以使剩余污泥的体积减少到最小化, 因而最终需要处置的物质很少, 不存在重金属离子的问题, 有时焚烧灰可制成有用的产品, 是相对比较安全的一种污泥处置方式; ②污泥处理速度快, 不需要长期储存; ③污泥可就地焚烧, 不需要长距离运输; ④可以回收能量用于发电和供热。

附表 各国污泥处置方式所占比例

污泥处置方法	美国	日本	丹麦	英国	比利时	意大利	德国	瑞典	荷兰	西班牙	奥地利	卢森堡	爱尔兰	葡萄牙	希腊	法国	瑞典	平均值
填埋%	21	35	29	16	43	55	65	30	29	10	35	20	34	12	90	53	40	36.3
焚烧%	3	55	28	5		11	10	20	10		37				20			11.7
农业%	45	9	43	51	57	34	25	50	53	61	28	80	23	80	10	27	60	43.3
海洋%	30			28					8	29			43	8				8.6

2 污泥焚烧工艺的兴起与发展

污泥焚烧(热分解)是指在高温(500 ~ 1 000 ℃)下, 污泥固形物在无氧气或者低氧气氛中分解成气体、焦油以及灰等残渣这 3 部分的过程。污泥焚烧的对象主要是脱水泥饼。污泥脱水后的滤饼含水率仍达 45% ~ 86%, 干燥处理后污泥含水率可降至 20% ~ 40%, 焚烧处理后含水率可降至 0, 体积很小, 便于运输与处置。

污泥焚烧的初期研究是由美国的诺亚克(Noack)

(于 1959 年)、施莱辛格(Schlesinger)等人(于 1960 年)在彼得堡能源中心(Pittsburg Energy Center)开始的, 其共同的特点是以回收能源为目的^[2]。脱水污泥(水分 65% ~ 85%, 其固体热值为 7 500 ~ 15 000 kJ/kg)的热值低, 因此, 焚烧过程中必需添加辅助燃料, 所以应该设计辅助燃料最少的流程。世界上第 1 台焚烧污泥的流化床锅炉在 1962 年建于美国 Lynnword Washington, 至今仍在运行^[3]。目前, 污泥焚烧是日本、奥地利、丹麦、法国、瑞士、德国等国污泥处置的主要方法。韩国正在 Kwangdong-Li 污水处理厂试运行污泥焚烧新工艺。泰国 Samutprakarn 正在建设东南亚规模最大的污水处理厂, 其污泥处理单元将采用焚烧工艺。在我国的城市污水厂中, 只有深圳特区污水处理厂用于焚烧, 对工业废水污泥的焚烧, 国内应用的也很少。

焚烧炉型有回转型如回转式焚烧炉、多段型如立式多段炉(多段竖炉)及流化床型等。流化床焚烧炉有如下特点: ①由于流化层内粒子处于激烈运动状态, 粒子与气体之间的传质与传热速度很快, 单位面积的处理能力很大。②由于流化床层内处于完全混合状态, 所以加到流化床的固体废物, 除特别粗大的块体之外, 都可以瞬间分散均匀。③由于载体本身可以蓄存大量热量, 并且处于流动状态, 所以床层反应温度均匀, 很少发生局部过热现象, 床内温度容易控制。即使一次投入较多量的可燃性废弃物, 也不会产生急冷或急热现象。④在处理含有大量易挥发性物质时(如含油污泥), 也不会像多段炉那样有引起爆炸的危险。⑤流化床的结构简单, 设有机械传动部件, 故障少, 建造费用低。⑥空气过剩系数可以较少。⑦特别是流化床焚烧炉还具有其本身独特的优点: 燃料适应性广, 易于实现对有害气体 SO₂ 和 NO_x 等的控

^{*} 中德联合培养资助项目

制,还可获得较高的燃烧效率,污泥焚烧的灰份有多种用途等等。因此,流化床焚烧炉得到了较好的应用,其型式有道尔-奥利弗(Dorr-Oliver)流化床焚烧炉、考可兰(Copeland)式流化床焚烧炉、回旋型流化床焚烧炉、带干燥段的流化床焚烧炉等。

虽然焚烧法与其它方法相比具有突出的优点,但是另一方面随着焚烧工艺的使用,它所存在的若干问题也日渐暴露出来。其一,焚烧需要消耗大量的能源,而能源价格又不断上涨,焚烧的成本和运行费均很高;其二,存在烟气污染问题,噪声、震动、热和辐射以及产生成为环境热点的二恶英污染问题。各发达国家都在制定更严格地固体焚烧炉烟气的排放标准,这也将给剩余污泥的焚烧提出更高的要求。所以,开发热效率高,并能把环境污染控制在最小限度的焚烧工艺成为当务之急。

综上所述,目前焚烧工艺被世界各国认为是污泥处理中的最佳实用技术之一。在欧洲、美国、日本等国家,该工艺已日渐成熟,它以处理速度快,减量化程度高,能源再利用等突出特点而著称。并且由于近年来,世界各国的环境条件均对废弃物处理所花费的时间和所占的空间提出了更为严格的要求,因而污泥焚烧技术已逐步成为污泥处理的主流技术,愈来愈受到世界各国的青睐。我国在废物焚烧的研究方面起步较晚,特别是在污水厂剩余污泥焚烧这一领域更是缺乏系统的研究,因此对污泥处理中焚烧这一技术的研究就显得日益重要。

3 流化床焚烧炉焚烧工艺特性

3.1 Mühlhausen 污水处理厂污泥处理工艺流程

污泥处理工艺流程见图 1。

Mühlhausen 污水处理厂每年产生的污泥量为 540 000 m³,即每日所产生的污泥量为 1 500 m³,污泥处理工艺流程为消化→浓缩→离心脱水→干燥→焚烧。初沉池中产生的生污泥送至消化池发酵,每座消化池可盛装 7 500 m³ 污泥,消化时间为 15 d,日产气 12 000 m³,收集并存储于储气罐中。消化污泥及二沉

池产生的剩余污泥经重力浓缩池,污泥体积降为原体积的一半左右,有 8 座污泥浓缩池,体积总计 11 400 m³。经过离心脱水和干燥的污泥送去焚烧,有 4 个离心机,最大处理量为 160 m³/h,3 个污泥干燥机,处理量为 18 t/h,2 座流化床焚烧炉的每日干燥污泥焚烧量为 72 t。

3.2 污泥焚烧工艺流程

污泥焚烧工艺流程见图 2。流向离心脱水机的污泥是由约 65%的消化污泥和 35%的剩余污泥所组成的,经机械脱水后,污泥含水率降至 75%。干燥机形式为圆盘干燥机(饱和蒸汽压为 9 bar),污泥经过干燥处理后,可达到 50%~55%的含固率,这种组分的污泥在流化床炉中可保证自行燃烧,无需额外添加助燃剂,可大大减少能源的浪费。烟气和飞灰在 850℃左右时在同一个方向上离开焚烧炉,在余热锅炉中其温度降至 210℃,在接下来的静电除尘器 I 中进行脱尘,剩余的灰尘含量约为 100 mg/m³。经过准干燥烟气洗涤装置净化后的烟气通过烟囱排放,灰尘被贮存在灰尘贮房中,稍后再利用或者运走。

准干燥烟气洗涤装置是由喷射干燥机,静电除尘器 II,2 个洗气池所构成的,这套装置的目的是为了减轻空气污染的负担,进一步去除烟气中尚存的灰尘、重金属和硫、氯、氟、氮氧化物等有害物质,烟尘量可以降低到目前含量的十分之一(<10 mg/m³)。特别需要指出的是,对于去除烟气中所含有的金属汞单质和汞离子,Mühlhausen 污水厂使用了专门的去除方法——HOK(膛式炉焦炭)气流吸附法和在碱洗池添加药剂 TMT15。

在静电除尘器 I 和喷射干燥机之间的连接管道中,放有 HOK(膛式炉焦炭),它的目的是吸附烟气中所含有的金属汞单质,大约每 m³ 烟气需 300~330 g HOK。这样含有汞的颗粒在静电除尘器 II 中,可以与烟气完全分离。

接着烟气流入到 2 个洗气池中,第 1 个为水洗池,主要为吸附灰尘和一些硫氧化物、HCL、HF 等有

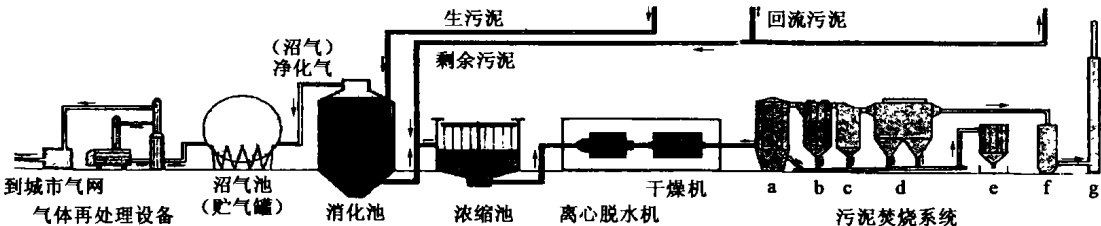


图 1 污泥处理处置工艺流程

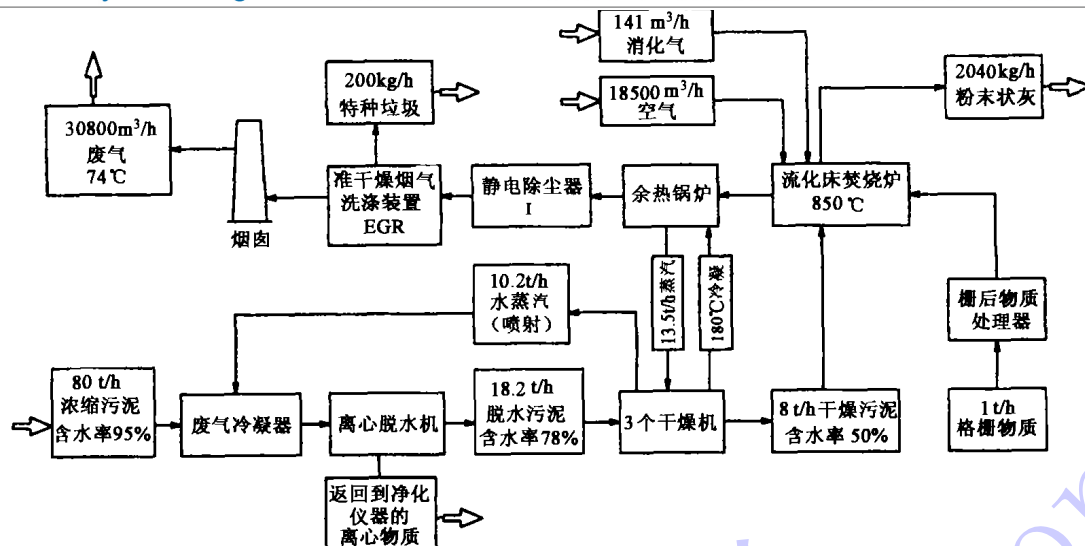


图2 污泥焚烧工艺流程图

害气体, pH 值 < 1; 第 2 个为浓度 33% 的 NaOH 洗气池, 主要为去除 SO_2 等酸性气体, 该池的 pH 值为 7 左右, 同时在这里, 必须考虑到汞离子的去除——添加少量的 TMT15, 使之与 Hg^{2+} 结合。这样通过 HOK 气流吸附法和使用添加到 TMT15 使金属汞和汞离子从烟气中被去除, 同时没有影响其它有害物的分离。最后积聚汞的颗粒和其它剩余物(盐)一起从静电除尘器 II 中排除, 作为特种垃圾被处理。这样 Mühlhausen 污水处理厂所排放的烟气经洗气池处理后, 完全符合 1986 年所确定的气体排放保护法所规定的限值。最后被净化的烟气以 74 °C 经 100 m 高的烟囱排入大气。

3.3 鼓泡式流化床焚烧炉污泥焚烧工艺特性

Mühlhausen 污水处理厂所使用的鼓泡式流化床焚烧炉的结构如图 3 所示。

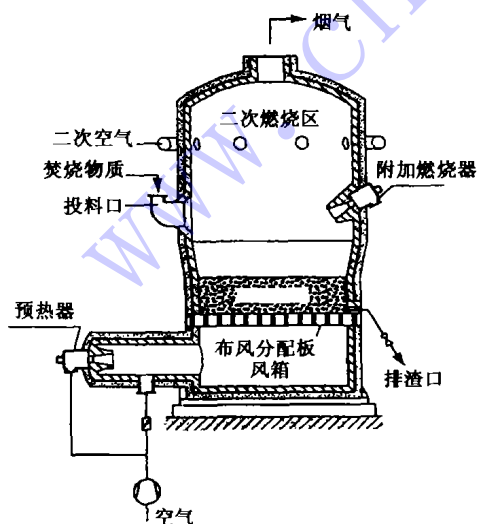


图3 流化床焚烧炉结构图

支配燃烧过程的因素: 时间、温度、废物和空气的

混合程度。这些因素有着相互依赖的关系, 而每一个因素又可单独对燃烧产生影响。燃烧反应所需的时间就是烧掉固体废物的时间。这就要求固体废物在燃烧层内有适当的停留时间。固体粒度愈细, 与空气的接触面愈大, 燃烧速度快, 固体在燃烧室内的停留时间就短, 燃烧时间与固体废物粒度的 1~2 次方成正比; 反应速度随温度的升高而加快, 所以在较高的温度下燃烧时所需的时间较短; 为了使固体废物燃烧完全, 必须往燃烧室内鼓入过量的空气。氧浓度高, 燃烧速度快, 这是燃烧的最基本条件。对具体的废物燃烧过程, 需要根据物料的特性和设备的类型等因素确定过剩气量。

在该焚烧炉的炉膛内, 有 1 个悬浮的焚烧区。当处于静止状态时, 炉膛内有 1 个约 50 cm 厚的细砂床置于喷嘴式气体分配板之上, 载体为十几孔目的石英砂, 在焚烧炉运转过程中, 热空气从炉膛下部通入, 并以一定速度通过分配板, 从而细砂床呈“沸腾”状态, 产生了一个约 1.5~2.0 m 的流化床。流化床的流化起始速度 u_{mf} 为 10~20 cm/s, 空塔速度 u_a 是 u_{mf} 的 2~8 倍。若 $u_a > 15u_{mf}$ 时, 载体的带出量非常大, 同时床层压力将减少; 若 $u_a < 1.5u_{mf}$ 时, 被焚烧物呈未燃烧状态, 容易结成饼状, 破坏系统运行。污泥从塔侧的投料口投入到流化床上, 在那里污泥急速的燃烧。直接位于流化床区域上的炉区是二次燃烧区。该流化床具有的一个特性是: 在焚烧过程中, 污泥中有机物所产生的热量, 可作为污泥中所含水分蒸发所需的能量, 这样对于流化床的二次燃烧区来说, 附加的燃烧室就不再需要了, 从而使流化床的温度比烟气的出口



在燃烧过程中过剩空气比为 1.4, 在高温区 ($> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$) 送入二次空气燃烧, 减少 CO、不完全燃烧产物和前躯体的生成量, 从而抑制二恶英的生成量。所产生的烟气在 $850 \sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围从炉膛上部排出, 进入余热锅炉 (在此所产生的 9bar 的饱和蒸汽用于污泥干燥机的加热), 同时烟气在这里被冷却到 $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。未燃烧的碳粒或多环芳烃等合成二恶英在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 附近最显著, 因此为防止这种合成, 让除尘器低温化, 即将除尘器入口气体温度降至 $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 抑制二恶英的生成。该流化床的另一特性是它在运转过程中所产生的炉渣非常少, 主要是以一种很细的灰——飞灰, 散布在烟气中, 它的去除是通过余热锅炉后的静电除尘器来捕集。对于烟气中所含有的有害污染物是通过喷雾式湿法洗涤而被去除。在该水厂, 共设有 2 个洗气池, 分别采用的是水和 NaOH 溶液进行湿法洗涤。

4 结语

鼓泡式流化床焚烧炉, 燃烧速度快, 固体在燃烧

作为污泥中所含水分蒸发所需的能量, 无需附加燃料, 且在运转过程中产生的炉渣极少, 其后续的静电除尘器和烟气洗涤系统可捕集去除烟气中尚存的灰尘、重金属和氮氧化物等有害物, 确保了所排放的烟气达标。

参考文献

- 1 李军, 杨秀山, 彭永臻编著. 微生物与水处理工程. 北京: 化工出版社, 2002.
- 2 (日) 平冈正腾, 吉野善弥著. 宗永平, 林喆译. 污泥处理工程学. 上海: 华东化工学院出版社, 2000.
- 3 Brain Hemphill. Fluid Bed Technology for Sludge Destruction. Water Engineering & Management, 1988. 12: 37 ~ 40.

作者通讯处 李军, 李媛 100022 北京工业大学建筑工程学院
电话 (010) 67391648 转 3
E-mail iglijun@bjut.edu.cn lj21c@263.net