

污水污泥流化床燃烧研究 及 65 t/d 焚烧炉设计

蒋旭光 池 涌 严建华 李晓东
浙江大学(杭 州 310027) 黄国权 杨家林 倪明江 岑可法
无锡锅炉厂(江苏无锡 214026) 吴文伟 朱晓峰 苏小平

[摘 要] 针对污水污泥这种高水分废弃物的特点,研究了杭州四堡污水污泥在深床层低风速流化床中的失重、直径和密度的变化过程,水分蒸发和挥发分析出过程,污泥水分、床温和过量空气系数对 NO_x 和 SO_2 的影响,最后介绍了 65 t/d 污泥流化床的设计情况。该炉于 1997 年 11 月开始投入运行,运行情况良好。

[关键词] 污水污泥 流化床焚烧 污染物排放 焚烧炉

污泥的来源主要有城市污水处理厂、造纸厂及江河湖泊。据 1993 年的不完全统计,我国已建成的城市污水处理厂共计 117 座,日污水处理量达 $5.13 \times 10^6 \text{ m}^3$,按污泥产率 3.8% 计算,日排出的污泥达 $1.95 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。如此大量的污泥仅靠堆放显然不合适^[1]。

污泥的共同特点是水分很高,一般可达 60% ~ 98%,体积庞大,不易处理。污泥对环境的危害主要包括使水源水质恶化,污染土壤和农作物等。随着人们生活水平的提高和生产规模的扩大,污泥这种污染物质的危害性也日益明显。污泥的适用处理技术应使污泥减容、稳定化和无害化^[2]。

污泥流化床焚烧法与其他处理方法相比具有减容程度高,余热可以回收及发电等优点。但高水分污泥直接送入炉内焚烧,会对炉内焚烧过程产生较大的影响。因此,研究污水污泥在流化床炉内的焚烧过程及污染物的排放,对污泥焚烧炉的设计具有重要意义。

1 试验设备及方法

污泥在深床层低风速流化床内的燃烧特性测定是在一内径为 $d60 \text{ mm}$ 的小型电加热流化床上进行的,

该系统见图 1。污泥来自杭州四堡污水处理厂,其工业及元素分析数据见表 1。

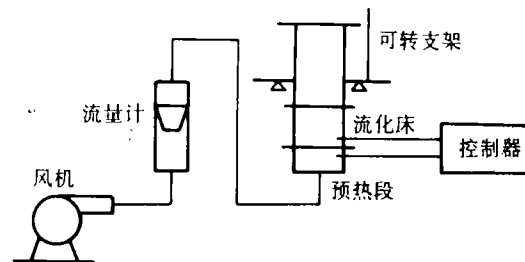


图 1 $d 60 \text{ mm}$ 流化床系统

表 1 四堡污泥的分析数据(干燥基) %

元素分析						工业分析			
碳	氢	氧	氮	硫	水分	挥发分	固定碳	灰分	低位发热量 $/\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
16.04	2.12	10.32	1.41	1.41	0	4.45	26.85	68.70	9 501

小型电加热流化床的床体是一内径为 $d60 \text{ mm}$,高 330 mm 的罗纹陶瓷管,外绕电阻丝,功率由调压器控制,布风板采用多孔硅酸铝纤维板,上下由耐热不锈钢

丝网压紧。上段是一悬浮段,它固定在可旋转的支架上,以便将床内固体物料迅速取出。床内温度由 NiCr-NiSi 热电偶测量,XCT 控温仪调节。

试验所用床料为 0.3 mm~0.6 mm 石英砂,真实密度 2 450 kg/m³。试验时将污泥制成直径 12 mm、高 12 mm 圆柱体,从炉顶投入,待一定时间后同床料迅速倒出,筛分后取出污泥团,记录污泥团投入时的重量和直径,由于污泥团在炉内不易破碎,再记下不同时间倒出污泥的重量和直径,并分别进行工业分析测定其水分、挥发分及固定碳含量。

污染物排放数据的测定是与图 1 类似的内径为 $\phi 100$ mm 的小型电加热流化床上进行的。

2 污泥在流化床中的焚烧过程

2.1 污泥结团焚烧时的物理变化

2.1.1 失重过程

污泥在流化床中的焚烧过程基本上是水分蒸发并伴随挥发分的析出与焚烧,同时污泥表面部分烧透后逐渐被剧烈运动的床料磨损,它们是造成失重的原因。失重在开始阶段速率较大,经过一段时间趋于平稳,如图 2 所示。这时可以认为污泥已经烧透,所剩余的大部分是灰分,它在流化床中将保持较长的一段时间,并最终被磨损而成为细小的粒子。可以看出,温度对失重过程有显著的影响。温度高,失重快。

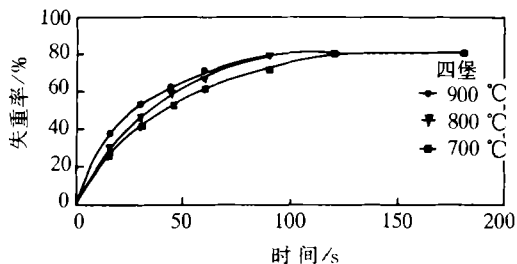


图2 污泥的失重过程

2.1.2 粒径及密度变化

污泥在流化床中失重的同时伴随着污泥粒径的减小,如图 3 所示。图 4 示出了不同温度下污泥粒度和密度的变化过程,温度高时密度下降快。整个焚烧过程中,污泥密度变化的范围很大,而粒度变化相对较小,这一特点使得在用流化床焚烧处理污泥时床料的选择变得十分重要。掌握污泥在焚烧时粒度和密度的

变化规律,对于选取合适的床料,从而保证在焚烧的大部分过程中,污泥均能很好地在床层内混合均匀,具有重要的意义。

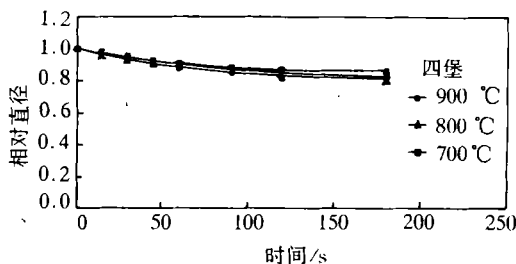


图3 污泥的粒度变化

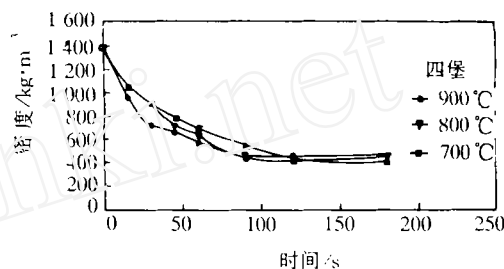


图4 污泥的密度变化

2.1.3 水分蒸发和挥发分析出过程

由于污泥的含水量很高,因而水分蒸发阶段在整个焚烧过程中占有很大的比重。图 5 示出了水分蒸发过程。在污泥投入流化床的初期阶段,水分几乎是直线式快速析出,后期则逐渐平缓,温度的提高有助于水分的更快析出,小粒径的污泥蒸发速度则比大粒径的要迅速得多。

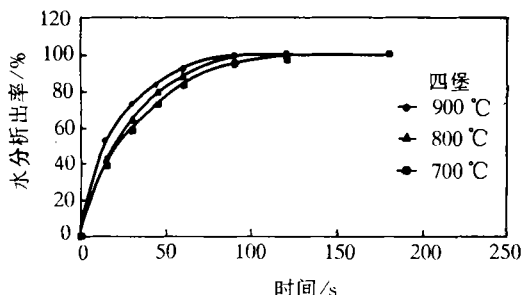


图5 水分蒸发过程

由污泥的工业分析知道,污泥中可燃物的绝大部分都是挥发分,因而挥发分的焚烧过程可以说具有十

分重要的意义。与水分的蒸发过程不同,挥发分的析出在焚烧初期比较缓慢,曲线较为平坦,这是因为初期水分大量蒸发,污泥温度较低缘故。随着焚烧过程的进行,挥发分的析出速度逐渐增大,并在一定的时间内保持不变,最后随着焚烧接近结束,挥发分的析出速度又降为零(图6)。

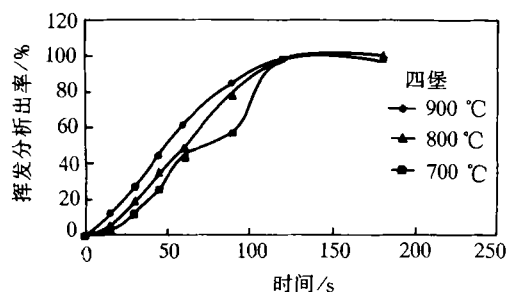


图6 温度对挥发分析出过程的影响

3 污泥流化床焚烧时 NO_x 、 SO_2 的排放特性

采用流化床焚烧技术处理污泥,是一种简单、有效、可行的废物处理方法。然而这种方法是否还会产生二次污染,便成了大多数关心的问题。污泥中的矿物质在焚烧完成之后转化为灰分,一部分随炉渣排出,另一部分以飞灰形式随焚烧后的尾气排到大气,以下讨论污泥流化床焚烧时产生的 NO_x 、 SO_2 气体的排放规律。

3.1 NO_x 的排放特性

图7是850℃时 NO_x 排放同污泥水分的关系,可见随着燃料水分的增加, NO_x 排放量有较大的减少。这主要是因为大量水蒸气的存在极易发生气化和还原反应,从而抑制了 NO_x 的生成并促进已生成 NO_x 的还原与分解;另外贯穿整个焚烧过程的水分的蒸发会使燃料周围的温度低于床温,而且大量的水蒸汽还会冲淡燃料周围氧气浓度,从而使 NO_x 排放减少。

图8是 NO_x 排放浓度随床温变化的规律。可以看出, NO_x 随床温的增高而增大。 NO_x 排放同过量空气系数的关系如图9所示,可见 NO_x 排放随过量空气系数的增加而增加,这是因为过量的空气使得燃料有充足的氧气,在焚烧过程中,将维持在一个较高的氧化性气氛条件下,这会促进燃料的氮转化为 NO_x 。

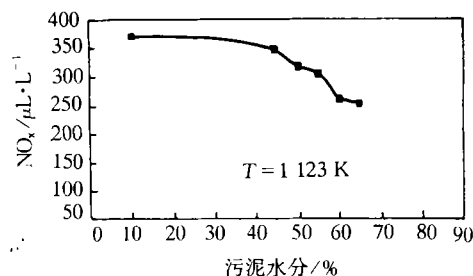


图7 NO_x 排放同水分的变化规律

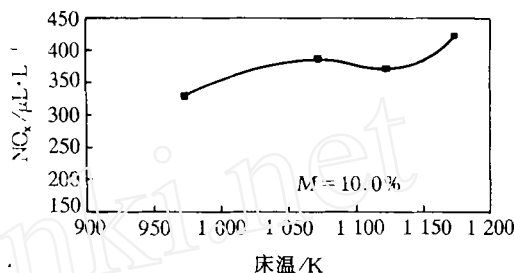


图8 NO_x 随床温的变化规律

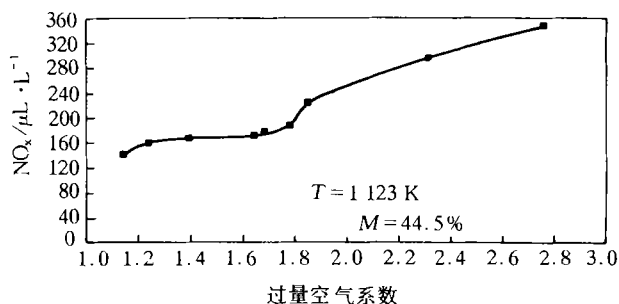


图9 NO_x 的排放同过量空气系数的关系

3.2 污泥流化床焚烧时 SO_2 的排放规律

SO_2 的排放浓度也随水分的增大而较快地减小,见图10所示。图11是 SO_2 浓度与床温的关系。从图可明显看出, SO_2 随床温的增加而升高,在800℃以下, SO_2 析出很少,800℃后增加很快,至850℃时达到最大,超过850℃后变化不大,甚至有所降低。图12反映了 SO_2 随过量空气系数的变化规律,可知高的氧浓度有助于 SO_2 的生成。

图13给出了在流化床上不同 Ca/S 摩尔比下 SO_2 的浓度及脱硫率的变化曲线。由图可见,随着 Ca/S 摩尔比的增大,脱硫效果增加,在850℃时, $\text{Ca/S} = 2$ 时的脱硫率为84%。

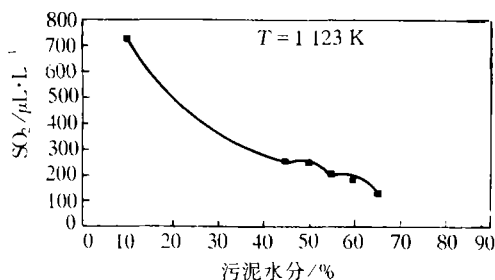
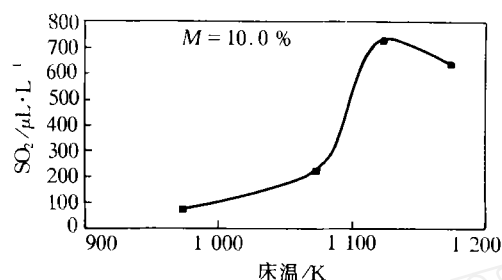
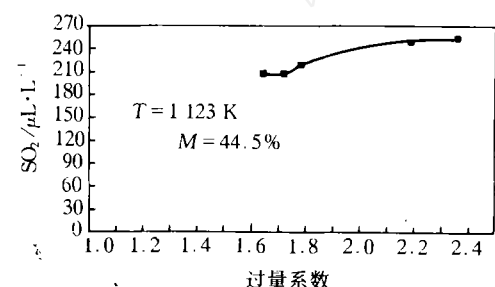
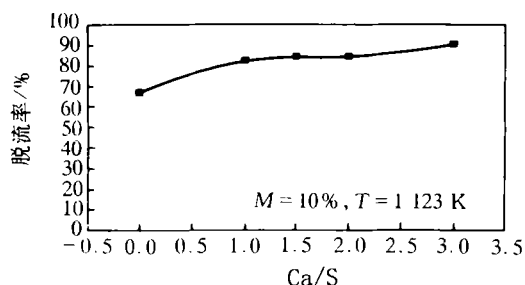
图 10 SO₂ 排放同水分的关系图 11 SO₂ 排放同床温的关系图 12 SO₂ 排放同过量空气系数的关系

图 13 不同 Ca/S 摩尔比下脱硫率的变化曲线

4 65 t/d 污泥焚烧炉的设计和运行

韩国某公司受政府委托,承担清州污水处理厂污泥的焚烧处理项目,浙江大学热能工程研究所承担污泥焚烧炉的设计及供货任务。污泥焚烧炉要求能处理水分为 85.1% 的清州污水污泥 65 t/d(保证工况),以废油为辅助燃料,同时预留加煤口作为焚烧试验用。还要求能处理废塑料和废橡胶,处理量各为 2.5 t/d。燃料分析数据见表 2。

锅炉的负荷调节范围为 40% ~ 100% 污泥量。设备制造委托无锡锅炉厂,自动点火装置和辅助油系统由浙江大学热能工程研究所设计和制造。

根据韩国某公司给定的设计条件,以尽量高的热空气温度(约 300 ℃),计算出需要辅助油为 280 kg/h,蒸发量为 2.5 t/h,设计床温 859 ℃,其结构如图 14 所示。

由于采用废油为辅助燃料,为了增加废油在床内的焚烧份额,采用较低的流化风速 2.21 m/s。悬浮段的风速为 1.31 m/s,使污泥及废物在炉内停留时间达

表 2 清州燃料分析数据

	元素分析/干燥基/%						总计/%			基高位	
	C	H	O	N	S	Cl	灰分	总计	干量	水分	热量/MJ·kg ⁻¹
污泥	42.82	6.44	19.47	7.25	0.07	1.21	22.74	100	14.9	85.1	20.21
废油	66.85	9.65	5.20	2.00			16.30	100	100	0.0	35.44
混合塑料	60.00	7.20	22.60	0.50	1.34		8.36	100	98.0	2.00	26.68
废橡胶	77.65	10.35			2.00		10.00	100	98.8	1.20	41.23

5 s 以上。从而可以有效破坏烟气中的有害有机物,不致引起二次污染。

锅炉已于 1996 年 6 月制造完成并运往韩国。经过一年多的安装和调试,于 1997 年 11 月开始投入运

行,运行情况良好。由于当地污泥水分高出设计值较多,高达 91.64%,低位发热量只有 925 kJ/kg,导致废油的投入量比设计值高许多,炉膛出口烟温也比设计值高 50 ℃。

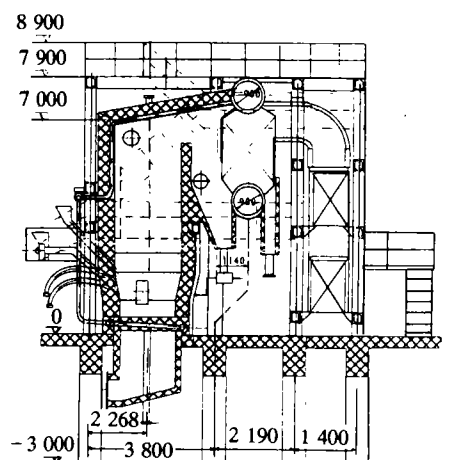


图 14 65 t/d 污泥流化床焚烧炉结构

5 结 论

(1)水份蒸发过程贯穿于污水污泥流化床燃烧过程的始终,因而与挥发分的析出与燃烧一样,占有重要的地位。污泥在流化床焚烧过程中密度的变化范围较大,使得在焚烧炉设计过程中必须合理选择床料。

(2) NO_x 的排放浓度随污泥水分的增大而减少;床

温增大, NO_x 浓度有所增高;过量空气系数增加, NO_x 的浓度也随之增大。

(3) SO_2 的浓度随污泥水分的增大而减少较快, SO_2 的排放浓度对床温有强烈的依赖性。过量空气系数增加时, SO_2 的浓度也随之增大。 $\text{Ca}/\text{S} = 2$ 时的脱硫率为 84%。

(4)根据实验室研究结果,完成了一台 65 t/d 处理量的韩国清州污泥流化床焚烧炉的设计。于 1997 年 11 月开始投入运行,运行情况良好。

参 考 文 献

- 1 赵丽君.天津纪庄子污水处理厂运行回顾(上).给水排水,1995,1(1)
- 2 徐颖.污泥用作农肥处置及其环境影响.环境污染与防治,1993,15(4)
- 3 蒋旭光.高水份污泥流化床焚烧的试验、理论及应用研究.浙江大学博士学位论文,1996

作者简介 蒋旭光,男,1965 年 10 月出生。1986 年 7 月毕业于浙江大学热物理系电厂热能动力工程专业。1986 年 8 月开始留在浙江大学热能工程研究所工作。1996 年晋升为高级工程师。1996 年 12 月获工程热物理专业博士学位。主要从事洗煤泥、洗煤泥煤矸石混烧、污泥以及城市生活垃圾等废弃物流化床焚烧技术研究。获国家发明二等奖和国家教委科技进步二等奖各一次。在国内外杂志及学术会议上发表论文 40 余篇。

(上接第 5 页)

于床层截面增大而带来二次风穿透能力不足和布风不均匀的问题,可通过将炉膛下部设计成裤衩形及优化风帽设计等办法来改善。

(5)冷渣器的不正常工作易导致大容量循环流化床锅炉停运或减负荷运行,因此需大力开展这方面的研究,冷渣器能起减小灰渣热污染和回收灰渣热量并提高锅炉效率等作用。

(6)由于在大容量循环流化床锅炉中给料量以及返料量都显著增大,因此需合理地布置给料点和返料点,避免物料过度富集而造成床层截面物料分布不均匀的情况。

参 考 文 献

- 1 Dave Parham, Iqbal Abdulally. 美国福斯特惠勒公司为电力市场设计的大型循环流化床锅炉. Foster Wheeler 公司中国地区报告
- 2 P. Javd, L. Jacquet, O. Piedfer, L. Jestin. The Provence 250 MW Unit: The Largest CFB Boiler Ready for Operation. Proceedings of the 12th Int. Conf. on FBC. 1995, 2: 721 ~ 728
- 3 王树荣, 方梦祥, 骆仲决, 李绚天, 倪明江, 岑可法. 高浓度方形分离器的分离机理研究. 动力工程, 1998, 18(3)
- 4 S. Kavidass, V. K. Bakshi, K. K. Diwakar. Overview and Status of First 25 MW IR - CFB Boiler in India. proceedings of the 14th int. Conf. on FBC, 1997, 1: 71 ~ 78
- 5 James Maitland, Yoram Schaker. Design of the 200 MW(Net) Tonghae Thermal Power Plant Circulating Fluidized Bed Steam Generator. Proceeding of the 14th Int. Conf. on FBC. 1997, 1: 191 ~ 196
- 6 J. R. Grace, A. A. Avidan, T. M. Knowlton. Circulating Fluidized Beds. Blackie Academic & Professional, 1997, ISBN 07514 0271 0: 431 ~ 432