

污泥燃烧特性研究

范海宏^{1,2}, 苏琦¹, 韩丁¹

(1. 西安建筑科技大学材料科学与工程学院粉体工程研究所, 陕西 西安 710055;

2. 西部建筑科技国家重点实验室, 陕西 西安 710055)

摘要:利用 TGA/DSC 同步热分析仪, 分析了不同 NaOH 掺量的污泥的燃烧特性. 结果表明: 污泥中的第一类有机物分解燃烧的温度范围为 50~180℃, 第二类有机物分解燃烧的温度范围随 NaOH 含量的不同而不同. NaOH 的存在, 使污泥中第二类有机物分解燃烧的温度起始点提前, 而温度截止点滞后. NaOH 降低了污泥着火温度, 提高了燃烬温度. 随着 NaOH 掺量的增加, 污泥的总热值降低, 其中第一类有机物的热值增加, 第二类有机物的热值降低. 该结果为污泥的资源化利用提供了依据.

关键词:污泥; 燃烧; 热值

中图分类号: X705

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2011)04-0594-05

污泥是污水处理过程中产生的固体废弃物, 含有大量的病原体、细菌及重金属, 如果不对其进行妥善处理必然会造成严重的二次污染. 污泥中大量的有害物质是以有机物的形式存在, 具有一定的热值, 可以燃烧, 燃烧后生成二氧化碳和水等对环境无害的物质. 因此, 焚烧是污泥减量化、无害化、资源化利用的最为有效的途径. 但是由于污泥含水率高, 固含量低, 在焚烧前需要干化至一定水分, 以维持其自身的燃烧过程. 由于污泥的高粘性, 使得在干化及焚烧过程中必然存在降粘的问题, 即采取各种措施来降低污泥粘度, 以利于输送和焚烧.

呼庆等人^[1]的研究说明了萘系磺酸盐、酒石酸钾钠等分散剂对污泥粘度有一定的降低作用. 吴荣标等^[2]在专利中也描述了一种对污泥有降粘作用的试剂和方法. 但是这些方法的降粘效果并不明显. 本课题组在前期研究中发现, NaOH 对污泥的粘度具有较强降低作用, 可以最大限度地降低粘度. 但是 NaOH 的存在改变了污泥的燃烧特性, 进而影响到污泥的资源化利用.

利用热分析仪器研究污泥的燃烧特性国内外均有大量的研究, 张云鹏等^[3]利用热重研究了五种不同废水污泥的热解和燃烧特性. 刘敬勇等^[4]利用热重法对造纸污泥和含工业污水污泥进行了实验研究. 温俊明等^[5]利用热重分析仪研究了不同升温速率下污泥的燃烧特性.

鉴于热分析仪对于污泥燃烧性能分析的独特优势, 利用 TGA/DSC 同步热分析仪, 分析污泥碱量对污泥燃烧过程的影响, 为污泥的焚烧处置提供理论指导.

1 样品制备、试验仪器及方法

1.1 样品制备

试验用污泥为西安市邓家村污水处理厂的机械脱水污泥(含水率 85%), NaOH 为实验用分析纯样品.

样品制备步骤如下: (1) 在污泥中添加 0%~5% NaOH. (2) 机械方式搅拌均匀. (3) 105℃ 下烘干至恒重. (4) 研磨后, 通过 80 μm 筛, 筛去大颗粒物料, 余下的物料即为样品.

收稿日期: 2011-03-07 修改稿日期: 2011-06-25

基金项目: 西部建筑科技重点实验室开放研究基金资助项目(10KF06)

作者简介: 范海宏(1970-), 陕西韩城人, 副教授, 从事材料工程和固体废弃物资源化研究.

1.2 测试仪器

测试仪器为瑞士 METTLER 公司的 TGA/DSC 热分析仪. 仪器温度最高可达:1 600℃;样品测量范围:0~5 000 mg;灵敏度:0.01 μg;量热温度分辨率:0.000 1℃.

1.3 试验方法

称取 10 mg 左右的样品,放入热分析仪中,升温速率 20℃/min,仪器自动记录数据.

2 结果与讨论

2.1 污泥燃烧过程的 TG/DTG 分析

图 1 为污泥中加入不同量的 NaOH 时的 TG 曲线,图 2 为对应的 DTG 曲线. 可以看出,污泥在升温过程中的变化可以分为三个阶段:第一阶段是水分蒸发阶段,第二阶段是第一类有机物(易热分解的脂类物质)的分解燃烧阶段,第三阶段是第二类有机物(较难热分解的糖类和蛋白质类物质)和固定碳的分解燃烧阶段. 此结果与文献[6]的结果相似. 各阶段的温度范围和重量变化如表 1 所示,其中各阶段的温度范围是指该阶段的温度起始点和温度截止点之间的范围.

(1) 水分蒸发阶段

在 50~180℃ 的温度范围内,属于污泥中的水分蒸发阶段. 由图可以看出,NaOH 的加入,对水分蒸发过程的影响不大.

(2) 第一类有机物(脂类)的分解燃烧阶段

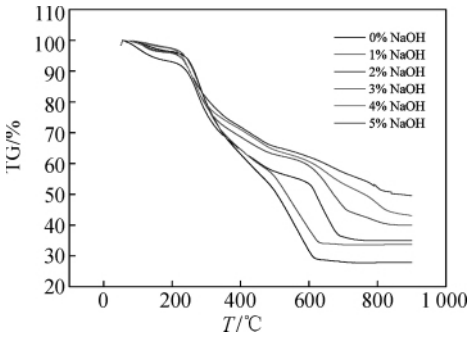


图 1 不同 NaOH 掺量的污泥的 TG 曲线

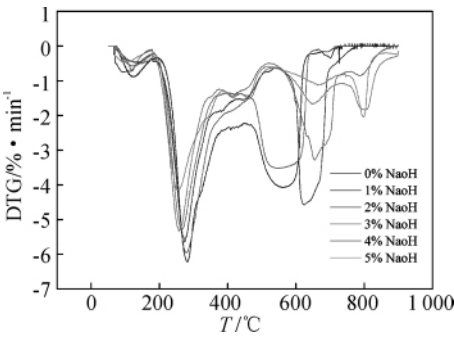


图 2 不同 NaOH 掺量的污泥的 DTG 曲线

Fig. 1 TG curves of sludge under different dosage of NaOH Fig. 2 DTG curves of sludge under different dosage of NaOH

表 1 污泥升温过程的三个阶段及对应的温度范围和失重率

Tab. 1 Temperature range and weightlessness rate of samples at three stages

Dosage of NaOH/%	The first stage		The second stag		The third stage		The total weight loss /%
	Temperature range/℃	Weightlessness rate/%	Temperature range/℃	Weightlessness rate/%	Temperature range/℃	Weightlessness rate/%	
0	50~180	3.41	180~450	36.88	450~630	31.97	72.26
1	50~180	2.18	180~467	36.06	467~639	28.64	66.87
2	50~180	2.80	180~523	32.35	523~793	27.59	66.74
3	50~180	3.83	180~523	29.52	523~832	27.34	60.70
4	50~180	2.30	180~523	28.63	523~850	26.15	57.08
5	50~180	3.55	180~523	26.62	523~860	20.71	50.88

在此阶段中,污泥中易分解的脂类有机物快速分解和燃烧,在 DTG 曲线上表现为尖锐的“V”型峰. 由图 2 和表 1 可以看出,不同的 NaOH 掺量的污泥,此阶段所处温度范围不同. NaOH 掺量为 1% 时,温度范围为 180~467℃. NaOH 掺量大于 2% 时,温度范围为 180~523℃. 且随着 NaOH 掺量的增加,峰

值不断减小,峰宽不断增大.

(3) 第二类有机物(糖、蛋白质)和固定碳的分解燃烧阶段

此阶段中,较难分解的糖类和蛋白质类大分子量物质分解燃烧.由表 1 可以看出,由于 NaOH 的加入,污泥中第二类有机物质分解为分子量相对较小的易挥发物质,在较低温度就开始挥发,从而与第一类有机物挥发失重峰重合.而污泥中存在的难以分解和燃烧的物质,使得第二阶段温度截止点滞后.加入 1%~2% NaOH 时,污泥燃烧的峰型和未加 NaOH 的污泥燃烧峰值基本保持一致,说明其燃烧机理基本保持不变.加量 3%~5% NaOH 时,其峰型有了明显变化,从原来的一个失重峰变为两个失重峰.随着 NaOH 掺量的增加,第一失重峰逐渐减小,第二失重峰逐渐增大.这是由于碱的加入阻碍了固定碳的燃烧,使得燃烧滞后,同时也使得挥发份和固定碳的燃烧区分开.

2.2 污泥燃烧特性分析

污泥的燃烧特性主要是指污泥的着火温度、燃烬温度和综合燃烧特性指数.本研究采用文献[7]中的 TG-DTG 法来确定污泥的着火温度 T_i ,燃烬温度 T_b 用失重 98% 时对应的温度来表示.污泥综合燃烧特性指数 S_N 则用文献[8]中的方法来确定,结果如图 3 和图 4 所示.

由图 3 可以看出,随着 NaOH 加入量的增加,污泥的着火温度不断减小.掺量达到 5% 时,着火温度降低到 217 °C,比不加 NaOH 时降低了 24 °C.这是由于碱的加入使得原来以高分子链存在的难以挥发的有机物降解变为低分子链易于挥发的物质,使得污泥挥发分浓度能够提前达到着火浓度,着火点提前.这与文献[9]的研究结果相似.

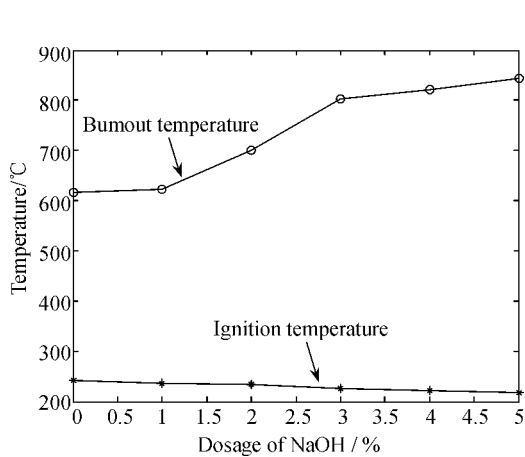


图 3 不同 NaOH 掺量的污泥着火温度和燃烬温度

Fig. 3 Burnout temperature and ignition temperature of samples

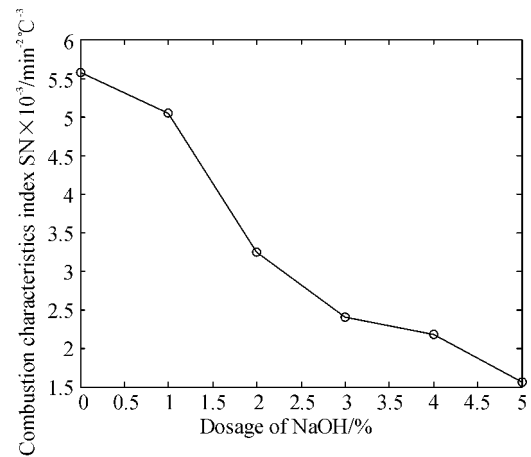


图 4 不同 NaOH 掺量的污泥燃烧特性指数

Fig. 4 Combustion characteristics index of samples

由图 3 还可以看出,随着 NaOH 量的增加,污泥燃烬温度滞后.在 NaOH 加入量为 1% 时滞后不明显.但当掺量增加到 3% 时,滞后了 186 °C.掺量增加到 4%,燃烬温度的变化趋于缓和.

由图 4 可以看出,随着 NaOH 掺量的增加,综合燃烧特性指数 S_N 不断减小,说明燃烧性能不断降低.当 NaOH 掺量为 2% 时, S_N 值为 $3.24 \times 10^{-3} \text{ min}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-3}$,比不加 NaOH 时低了 41%.掺量达到 5% 时, S_N 值降至 $1.56 \times 10^{-3} \text{ min}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-3}$,下降幅度达 72%.

2.3 污泥热值分析

由以上的分析可知,污泥中低分子量的脂类有机物、高分子量的糖类、蛋白质等有机物,以及固定碳等,在升温过程中都会分解和燃烧,放出热量.污泥的热值主要来源于这些物质的燃烧. NaOH 的加入,

会改变这些物质的分解燃烧过程。

利用 METTLER 公司的热分析软件来分析计算污泥的热值。样品为烘干污泥,水分蒸发所需热值可忽略不计,只考虑第一类有机物的分解燃烧、第二类有机物分解燃烧以及固定碳的燃烧放热,即污泥升温过程的第二阶段和第三阶段的放热。计算结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出,随着 NaOH 含量的增加,第二阶段污泥的热值(即脂类等第一类有机物分解燃烧放出热量)由 $1\,030\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 提高到 $4\,140\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。而第三阶段污泥的热值却由 $12\,000\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 降低到 $3\,650\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这是由于碱的加入使得第二类有机物部分分解为易挥发物质,在第一阶段就已经挥发和燃烧,相应的第二阶段热值必然减小。

随着 NaOH 含量的增加,污泥总热值减小。由图 5 可以看出,污泥在未加入 NaOH 时,总热值为 $13\,000\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。当 NaOH 含量达到 5% 时,总热值为 $7\,800\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,比未加 NaOH 含量低了 40%。按照文献[10]的分析,这是由于 NaOH 会使污泥小分子无机物质(CO_2 、 H_2O)释放出来,从而使得污泥中可燃碳元素和氢元素减少,热值降低;同时碱的加入使得污泥中灰分物质比重增加,可燃物比重减小,因此出现上述结果。

3 结 论

(1)污泥的燃烧过程可以分为三个阶段,即水分蒸发阶段、第一类有机物分解燃烧阶段以及第二类有机物分解燃烧和固定碳燃烧阶段。

(2)污泥中加入 NaOH,使第二类有机物分解的温度起始点提前,而温度截止点滞后。

(3)随着 NaOH 掺量的增加,污泥的着火温度降低,燃烬温度提高,燃烧特性指数减小,整体燃烧性能降低。

(4)随着 NaOH 掺量的增加,污泥总热值减小。其中第二类有机物热值降低,第一类有机物热值增加。

参考文献 References

- [1] 呼庆,雷西萍,范海宏,等.分散剂对脱水污泥流动性能的影响[J].环境科学与技术,2010,33(7):61-64.
HU Qing, LEI Xi-ping, FAN Hai-hong, et al. Influence of Dispersant on Rheological Properties of Dewatered Sludge [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(7):61-64.
- [2] 刘敬勇,孙水裕,许燕滨等.造纸工业污泥燃烧特性及动力学实验研究[J].环境工程学报,2010,4(3):693-699.
LIU Jing-yong, SUN Shui-yu, XU Yan-bin, et al. Experimental study on combustion characteristics and its kinetics of paper mill sludge[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(3):693-699.
- [3] 廖艳芬,马晓茜.城市污水污泥燃烧特性和动力学特性分析[J].燃料化学学报,2009,37(3):296-301.
LIAO Yan-fen, MA Xiao-qian. Combustion behavior and kinetic characteristics of a city sewage sludge[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2009, 37(3):296-301.
- [4] 聂其红,孙绍增,李争起等.褐煤混煤燃烧特性的热重分析法研究[J].燃烧科学与技术,2001,7(5):72-76.
NIE Qi-hong, SUN Shao-zeng, LI Zheng-qi, et al. Thermogravimetric Analysis on the Combustion Characteristics of Brown Coal Blends[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2001, 7(5):72-76.

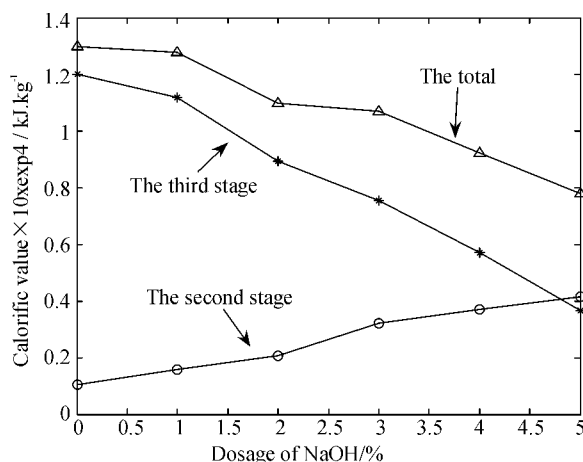


图 5 不同阶段的污泥热值

Fig. 5 Sludge heat at different stages

- [5] 孙学信,陈建原. 煤粉燃烧物理化学基础[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1991:148-151.
SUN Xue-xin, CHEN Jian-yuan. Physical and chemical basis of coal combustion [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1991:148-151.
- [6] 温俊明,池涌,刘渊源等. 城市污水污泥的燃烧动力学特性研究[J]. 电站系统工程,2004,20(5):5-8.
WEN Jun-ming, CHI Yong, LIU Yan-yuan, et al. Study on Kinetics of Municipal Sewage Sludge Combustion[J]. Power System Engineering, 2004, 20(5):5-8.
- [7] 吴荣标. 一种降低城市生活污泥粘度的制剂及方法:中国, CN200810198670[P], 2008-09-16.
WU Rong-biao. A method and preparation to lower viscosity of city life sludge: China, CN200810198670[P], 2008-09-16.
- [8] 张晓杰,聂其红,李振中等. 混煤着火过程试验研究[J]. 电站系统工程,1999,15(6):41-44.
ZHANG Xiao-jie, NIE Qi-hong, LI Zhen-zhong, et al. Power System Engineering[J]. Power System Engineering, 1999, 15(6):41-44.
- [9] 杨洁. 碱和超声波预处理技术促进污泥厌氧消化效能及机理研究[D]. 天津:天津大学,2008:4-6.
YANG Jie. Characteristics and Mechanism of Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge by Alkaline and Ultrasonic Pretreatment[D]. Tianjin: Tianjin University, 2008:4-6.
- [10] 张云鹏,李海滨,赵增立等. 利用热重分析不同废水污泥的热解和燃烧[J]. 环境科学技术与工程,2005,28(5):34-36.
ZHANG Yun-peng, LI Hai-bin, ZHAO Zeng-li, et al. Pyrolysis and Combustion of Different Sewage Sludge by TG Analysis[J]. Environmental Science & Technology, 2005, 28(5):34-36.

Study on combustion characteristics of sludge

FAN Hai-hong^{1,2}, SU Qi¹, HAN Ding¹

(1. Institute of Powder Engineering, School of Material Science and Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China; 2. State Key Laboratory of Architecture Science and Technology in West(XAUAT), Xi'an 710055, China)

Abstract: The combustion characteristics of sludge of different NaOH dosage was studied with the TGA/DSC simultaneous thermal analyzer. The results showed that the temperature range of the first category of organic matter was 50℃~180℃, and the second category varied with the dosage of NaOH. With the addition of NaOH, the initial temperature of decomposition and combustion of the second category of organic matter in sludge reduce and the end temperature increase. Accordingly, the ignition temperature of sludge lower, and the burnout temperature rise. The calorific value of the first category of organic matter of sludge lifted with the increasing of NaOH, the second category reduce, and the total calorific value drop. These results provide some basic data for the resource-oriented utilization of urban sewage treatment plant, especially for the application of sludge as industrial fuel.

Key words: *sludge; combustion; calorific value*

*Biography: FAN Hai-hong, Associate Professor, Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-15102959572, E-mail: fsln-napo@163. com