



热重法研究小麦秸秆粘结剂型煤的燃烧特性

外生成矿与矿山环境重庆市重点实验室（重庆地质矿产研究院）
煤炭资源与安全开采国家重点实验室重庆研究中心

■ 浮爱青* 胡科 卢小海

摘 要：利用热分析仪研究了原煤、小麦秸秆粘结剂、生物质型煤的失重—微分 (TG-DTG) 曲线和失重—热流 (TG-DTA) 曲线的特征。结果表明：生物质型煤的燃烧过程分为水分蒸发失重、挥发分的燃烧、固定碳的燃烧、矿物质的分解 4 个阶段；陕西神木烟煤型煤优于焦作无烟煤型煤的燃烧特性，焦作型煤燃烧过程可能会引发断火现象。

关键词：小麦秸秆粘结剂；热重分析；生物质型煤

0 引言

生物质型煤将不可再生的化石能源与可再生的生物质能结合起来，具有综合利用能源和减少环境污染的双重功能。生物质型煤在燃烧过程中，生物质先燃烧形成微孔，增大了其与空气的接触面积，因而能够充分燃烧，并能改变煤炭燃烧冒黑烟的现象，还能固硫和降低烟尘生成量。目前，许多国家对生物质型煤进行了大量的研究，如日本^[1]、土耳其^[2-3]、尼泊尔^[4]、美国^[5]等国家，我国的清华大学、浙江大学、贵州工业大学、哈尔滨理工大学、河南理工大学等高校^[6-13]也分别对高压成型设备、粘结剂、燃烧特性等进行了不同程度的研究。

本文主要采用热重实验，通过对比分析原煤、粘结剂、生物质型煤的热重曲线，分析了生物质型煤的燃烧特点，并分析了陕西神木烟煤型煤和焦作无烟煤型煤的差别及相关情况。

1 实验部分

1.1 实验样品

本实验采用的煤种为陕西神木烟煤和焦作无烟煤，粘结剂为河南理工大学开发的小麦秸秆粘结剂^[13]。小麦秸秆特征分析如表 1 所示，原煤和型煤的煤质特征分别如表 2、表 3 所示。

表 1 小麦秸秆特征分析

组分分析 /%				热值 $Q_{gr,d}$	总硫度 $S_{t,ad}$
FC_{ad}	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	$/kJ \cdot g^{-1}$	/%
19.35	4.39	8.90	67.36	16.50	0.16

表 2 原煤的煤质特征

样品	组分分析 /%				热值	总硫度
	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}	$Q_{gr,d}$ $/kJ \cdot g^{-1}$	$S_{t,ad}$ /%
陕西神木烟煤	0.86	19.16	14.17	65.81	28.59	0.32
焦作无烟煤	1.35	16.42	4.91	77.32	28.65	0.32

收稿日期：2018-01-16

基金项目：河南省高校杰出科研人才创新工程项目 (2003KYCX070)；河南理工大学博士基金资助 (648134)

通信作者：浮爱青 (1976—)，女，硕士研究生、高级工程师，主要从事分析测试及标准的制定与修订方面的工作。faq628@163.com

表 3 生物质型煤的煤质特征

样品	组分分析 /%				热值 $Q_{\text{gr,d}}$ / $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$	总硫度 $S_{\text{t,ad}}$ /%
	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}		
陕西神木烟煤	3.74	20.86	31.24	44.16	22.61	0.26
焦作无烟煤	4.02	19.07	29.18	47.73	21.01	0.20

若原煤与小麦秸秆粘结剂按 7:3 的比例混合后, 焦作无烟煤较难成型; 按 6:4 的比例混合后, 自然风干至水分小于 14% 后较易成型。

1.2 实验条件

采用美国 TA 公司生产的 SDTQ600 热分析仪进行热重分析, 实验气氛为空气, 样品重量为 $8.5\pm0.5\text{ mg}$, 气体流量为 100 mL/min ; 实验从室温开始, 升温速率为 $20\text{ }^{\circ}\text{C/min}$, 终温为 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ [14]。

2 实验结果及分析

图 1~图 10 分别为焦作无烟煤、陕西神木烟煤、小麦秸秆粘结剂、陕西神木烟煤型煤及焦作无烟煤型煤的失重 - 微分 (TG-DTG) 曲线和失重 - 热流 (TG-DTA) 曲线。

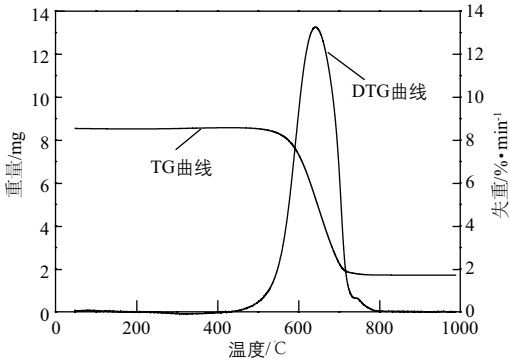


图 1 焦作无烟煤 TG-DTG 曲线

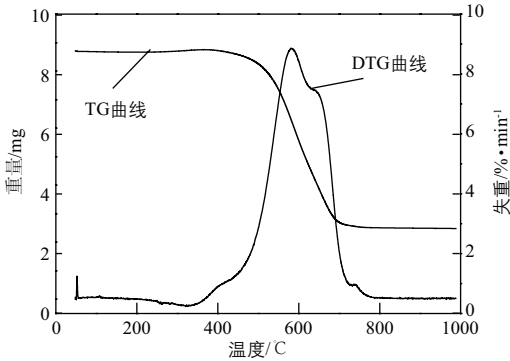


图 2 陕西神木烟煤 TG-DTG 曲线

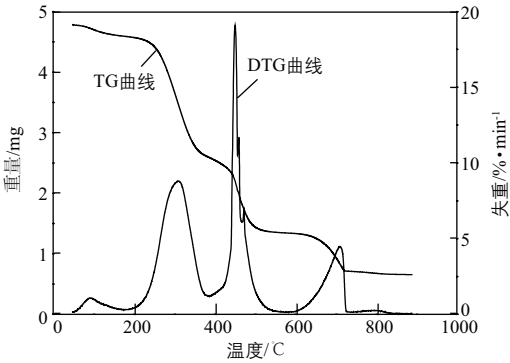


图 3 小麦秸秆粘结剂 TG-DTG 曲线

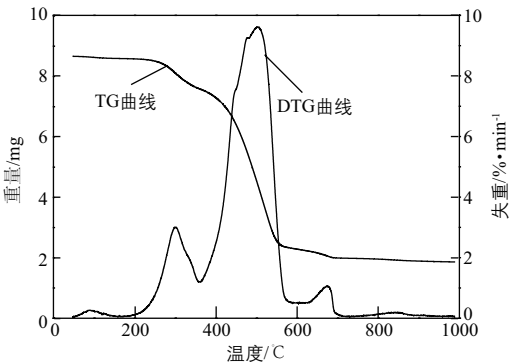


图 4 陕西神木烟煤型煤 TG-DTG 曲线图

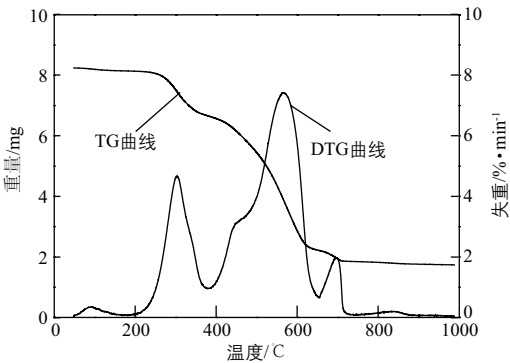


图 5 焦作无烟煤型煤 TG-DTG 曲线

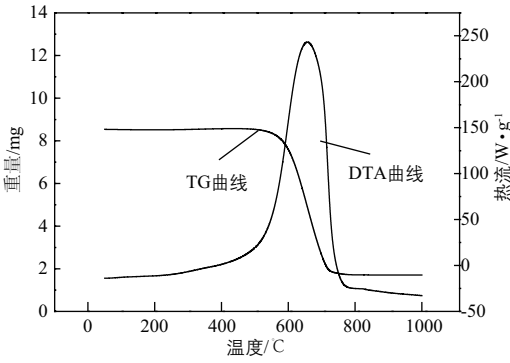


图 6 焦作无烟煤 TG-DTA 曲线

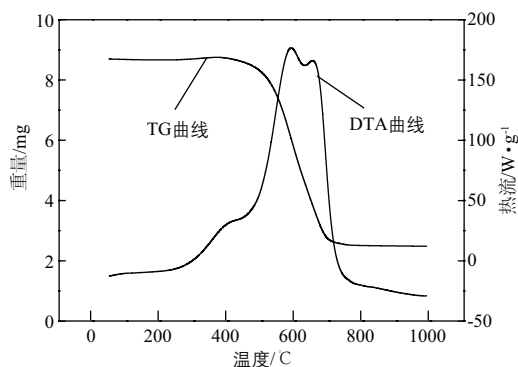
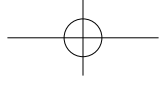


图7 陕西神木烟煤 TG-DTA 曲线

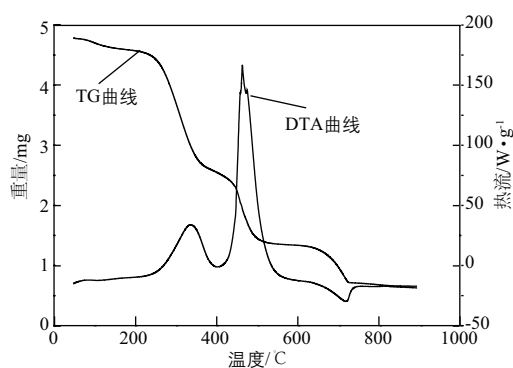


图8 小麦秸秆粘结剂 TG-DTA 曲线

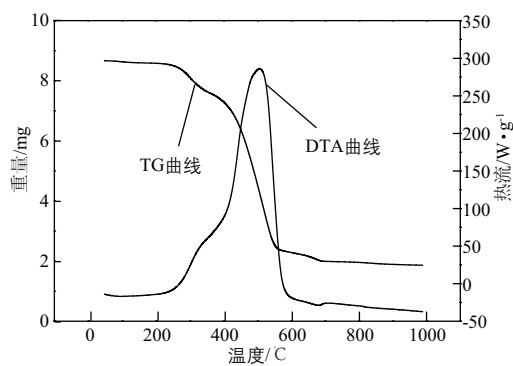


图9 陕西神木烟煤型煤 TG-DTA 曲线

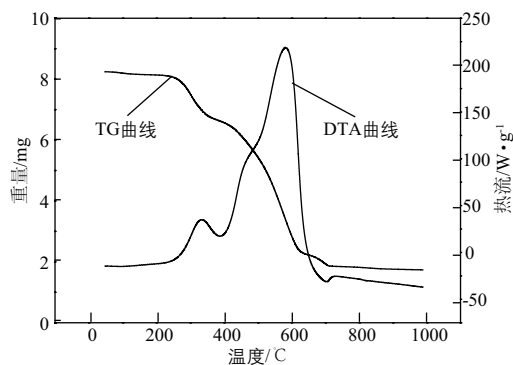


图10 焦作无烟煤型煤 TG-DTA 曲线

2.1 原煤、粘结剂和生物质型煤的 TG-DTG 曲线特征分析

图1~图5分别为焦作无烟煤、陕西神木烟煤、小麦秸秆粘结剂、陕西神木烟煤型煤、焦作无烟煤型煤整个燃烧过程的TG-DTG曲线变化情况。

对照原煤、粘结剂和生物质型煤的曲线特征可以看出,生物质型煤的TG-DTG曲线受粘结剂的影响,由原煤时的1个失重峰变化为3个,且失重峰所对应的温度与粘结剂的类似。根据文献[15]中提到的温度对不同挥发分含量煤燃烧的影响可知,与原煤相比,型煤的着火温度将可能降低。实际燃烧过程中,尤其是在升温速率高的情况下,生物质和煤的燃烧可能交叉进行,无明显的分界^[16]。

根据原煤、粘结剂和生物质型煤的曲线特征,以及文献[17-18],并结合实验结果,将生物质型煤从吸氧氧化到燃烧的整个过程分为水分蒸发失重阶段和燃烧阶段。其中燃烧阶段分为挥发分的燃烧(200~400 °C)、固定碳的燃烧(400~600 °C)及矿物质的分解(600~800 °C)。

2.2 原煤、粘结剂和生物质型煤的 TG-DTA 曲线特征分析

图6~图10分别为焦作无烟煤、陕西神木烟煤、小麦秸秆粘结剂、陕西神木烟煤型煤、焦作无烟煤型煤整个燃烧过程的TG-DTA曲线变化情况。

分析原煤、粘结剂和生物质型煤的曲线特征可知,陕西神木烟煤型煤和焦作无烟煤型煤TG曲线的失重反应温度在200~600 °C,对应的DTA曲线显示在200~600 °C之间出现放热反应;焦作无烟煤型煤DTA曲线出现2个放热峰,若第1次燃烧放热后达不到第2次的燃烧温度,则可能会出现断火现象。在600~800 °C之间,陕西神木烟煤型煤的DTA曲线无吸、放热反应,焦作无烟煤型煤DTA的曲线仅有轻微的吸热反应;而二者的TG曲线在200~600 °C有明显的失重,对应的DTG曲线有明显的失重峰,证明此温度段一定发生了反应。

比较原煤、粘结剂和生物质型煤的 TG-DTA 的曲线,在低于 400 °C 时,原煤无吸热峰而粘结剂有明显的吸热峰,原因可能是低于 400 °C 时生物质型煤中和了粘结剂的反应特征,也可能是生物质型煤成型后,其结构由以前的有秩序排列变成了混乱的无秩序^[19-20];生物质型煤燃烧过程中,生物质中的 Fe、Ca、Mg、Si 等微量元素的氧化物会破坏煤胶质体的形成^[21],反映在 TG 曲线上为重量减少、DTA 曲线上为陕西神木烟煤型煤无吸放热反应特征,焦作无烟煤型煤有轻微的吸热反应特征。

3 结论

通过分析实验中生物质型煤的 TG-DTG 曲线可知:1) 生物质型煤的燃烧过程分为 4 个阶段:水分蒸发失重(起始温度至 200 °C)、挥发分的燃烧(200~400 °C)、固定碳的燃烧(400~600 °C)、矿物质的分解(600~800 °C)^[17-24]。2) 生物质型煤燃烧过程不仅仅是生物质和煤燃烧的叠加。

参考文献

- [1] Kim H J, Lu G Q, Naruse I, et al. Modeling on combustion characteristics of biocoal briquettes[J]. Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME, 2001, 123(1): 27 - 31.
- [2] Yaman S, Sahana M, Haykiri-Açma H, et al. Fuel briquettes from biomass-lignite blends[J]. Fuel Processing Technology, 2001, 72(1): 1 - 8.
- [3] Altun N E, Hicyilmaz C, Kók M V. Effect of different binders on the combustion properties of lignite[J]. Thermal Analysis and Calorimetry, 2001, 65(4): 787 - 795.
- [4] Shakya G R, Shakya I. Salient features of biomass briquetting in Nepal [J]. International Energy Journal, 2002, 3(2): 99 - 109.
- [5] Robinson A L, Rhodes, J S, Keith D W. Assessment of Potential Carbon Dioxide Reductions Due to Biomass coal Co-firing in the United States [J]. Environmental Science & Technology, 2003, 37(22): 5081 - 5089.
- [6] Xu K F, Ma Y L, Chang X L, et al. A new briquetting method for biomass coal and its influencing factors[J]. Huanjing Kexue/Environmental Science, 2001, 22(4): 81 - 85.
- [7] 毛玉如, 骆仲决, 蒋林, 等. 生物质型煤技术研究 [J]. 煤炭转化, 2001, 24(1): 21 - 25.
- [8] 何方, 王华, 何屏, 等. 生物质复合型煤在热分析仪中的燃烧行为研究 [J]. 煤炭转化, 2002, 25(4): 87 - 91.
- [8] He F, Wang H, He P, et al. Combustion Characteristics of Biomass Compound[J]. Coal Conversion, 2002, 25(4): 87 - 91.
- [9] Jiang L, Luo Z Y, Fang H Y, et al. Research on sulfur retention of bio-briquette based on pore fractal geometry[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2002, 36(1): 69 - 73.
- [10] 金会心, 李水娥, 吴复忠, 等. 生物质型煤在固硫剂条件下的燃烧特性研究 [J]. 中国稀土学报, 2004, 22(z1): 198 - 202.
- [11] 刘伟军, 于艳秋, 胡仁德. 生物质型煤点火性能的理论分析和试验 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 1998, 3(4): 1 - 4.
- [12] Liu W J, Fu G M, Zhang S H, et al. Study on compressive strength characteristics of bio-coal[J]. Fuel & Energy Abstracts, 1997, 38(5): 327.
- [13] 黄光许, 谌伦建, 王建军, 等. 生物质型煤的制备及成型原理研究 [J]. 煤炭转化, 2008, 31(1): 75 - 78.
- [14] Benfell K E, Beamish B B, Rodgers K A. Thermogravimetric analytical procedures for characterizing New Zealand and Eastern Australian coals [J]. Thermochimica Acta, 1996, (286): 67 - 74.
- [15] 何启林, 王德明. TG-DTA-FTIR 技术对煤氧化过程的规律性研究 [J]. 煤炭学报, 2005, 30(1): 53 - 57.
- [16] 孙佰仲, 王擎, 申朋宇, 等. 油页岩干馏残渣与烟煤混合燃烧试验研究 [J]. 煤炭学报, 2010, 35(3): 476 - 480.
- [17] 李梅, 张洪, 谌天兵. 石灰石对煤炭燃烧特性影响的研究 [J]. 煤炭转化, 2004, 27(4): 38 - 41.
- [18] 李治刚, 张晓明, 管井裕一, 等. 煤在高浓度 CO₂ 环境下的燃烧、气化及吸附实验 [J]. 煤炭学报, 2010, 35(6): 1021 - 1027.
- [19] 宋薇, 刘建国, 聂永丰. 含油污泥热解和燃烧的反应过程 [J]. 清华大学学报, 2008, 48(9): 1453 - 1457.
- [20] 宋薇, 刘建国, 聂永丰. 含油污泥组成及其对热解特性的影响 [J]. 环境科学, 2008, 29(7): 2063 - 2067.
- [21] 王蓉. 对煤粉燃烧与热解的实验研究 [D]. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2005.
- [22] Naruse I, Kim H J, Lu G Q et al. Study on Characteristics of Self-Desulfurization and Self-Denitrification in Biobriquette Combustion[A]. In Proceedings of the 1998 27th International Symposium on Combustion[C]. USA, 1998.
- [23] 傅维标. 煤燃烧理论及其宏观通用规律 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [24] 孙学信. 燃煤锅炉燃烧试验技术与方法 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001. **太阳群**

更正

本杂志于 2018 年第 10 期刊登的文章《一种便于实现的标准太阳能电池的结构设计》, 作者为王亿、朱冰洁、王顺权、宋昊、刘莺、陈鹏、曾鹏, 由于编辑的失误, 作者单位刊登错误, 应为“无锡市产品质量监督检验院”, 特此更正, 并向作者表示歉意。