

文章编号: 1006-9941(2016)01-0079-06

# 应用低温等离子体技术对超细 AP 粉体表面改性

万雪杰, 郭效德, 欧阳刚

(南京理工大学, 国家特种超细粉体工程技术研究中心, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 为了解决超细高氯酸铵(AP)粉体因吸湿而产生团聚的问题,用低温等离子体设备对超细 AP 粉体进行表面改性处理。运用激光粒度分析仪和扫描电镜(SEM)表征了处理前后超细 AP 粉体的粒度和形貌。用傅里叶变换红外光谱仪(FT-IR)、拉曼光谱仪、X 射线衍射仪(XRD)、X 射线光电子能谱(XPS)和化学法分析了处理前超细 AP 粉体的组成和纯度。用热重和差示扫描量热法研究了处理前后超细 AP 和相对应的 AP/Al 体系的热分解性能。测试了处理前后超细 AP 的撞击感度、摩擦感度和吸湿性。结果表明,经过低温等离子体技术处理后的超细 AP 粉体团聚现象明显得到改善,颗粒分布集中,吸湿性下降,纯度和结构组成几乎未发生变化。处理后的超细 AP 粉体较处理前高温分解峰温滞后了 8.3 °C,低温等离子体技术对处理后 AP/Al 体系热性能影响很小。与处理前超细 AP 粉体相比,撞击感度和摩擦感度分别降低了 7.1% 和 6%。

**关键词:** 超细高氯酸铵; 低温等离子体; 分散性; 热性能; 机械感度

**中图分类号:** TJ55

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.01.013

## 1 引言

高氯酸铵(AP)是复合固体推进剂、改性双基推进剂和硝酸酯增塑聚醚(NEPE)推进剂中常用的氧化剂,具有氧含量高、生成焓大、热安定性高等优点<sup>[1-3]</sup>。目前,为提高推进剂的燃速,超细高氯酸铵已被广泛用于推进剂中<sup>[4-5]</sup>。但是随着粒度变小,比表面积增大,超细 AP 粉体具有较强的吸湿性而易聚结成块状<sup>[6]</sup>,严重影响其在推进剂中的使用效果。为解决超细 AP 的吸湿结块问题,研究者们做了大量的研究工作。邓国栋<sup>[7]</sup>等使用硝化棉(NC)对 AP 进行包覆处理,改性后的超细 AP 吸湿性下降,有效地解决了超细 AP 的结块现象。刘克健<sup>[8]</sup>利用复合改性剂对超细 AP 进行改性处理,改性剂防结块效果良好,具有工业化应用前景。吴昊<sup>[9]</sup>等利用聚苯乙烯(PS)和十二氟庚基三甲氧基硅烷(FAS)对高氯酸铵进行包覆,得到了 AP/PS/FAS 复合薄膜,降低了 AP 的吸湿性。上述方法的共同之处都是对 AP 进行包覆改性,但包覆剂的用量较大,有可能导致推进剂的能力降低,从而影响其使用,因此寻

找 AP 的表面处理新方法尤其重要。

近年来,相关研究表明<sup>[10-13]</sup>,低温等离子体技术对粉体进行处理可在粉体表面引入活性基团或形成保护膜,从而达到改善粉体分散性、相容性、力学性能等多项性能。该技术具有工艺简单、效率高、连续性强、无溶剂、环境污染小等优点,但在处理含能粉体材料方面的应用较少。

本研究主要尝试运用低温等离子体技术对超细 AP 粉体进行表面处理,以降低其吸湿性能,改善团聚结块现象,获得分散性良好的超细 AP 粉体,同时对其结构组成、纯度、热性能和感度进行测定分析。

## 2 实验部分

### 2.1 试剂与仪器

原料 AP,大连北方氯酸钾厂;乙酸乙酯,化学纯,南京化学试剂公司;Al 粉, $d_{50}$ 为 5  $\mu\text{m}$ ,鞍山鞍钢实业超细粉有限公司;CTP-2000K 型低温等离子体设备,南京苏曼电子有限公司;国家特种超细粉体工程技术研究中心的立式搅拌球磨机;Malvern Master Sizer2000 激光干法粒度仪;日立 s-4800 II 型冷场发射扫描电镜;Thermo Nicolet Is-10 型傅里叶变换红外光谱仪,KBr 压片;JY HR800 型拉曼光谱仪;Bruker D8 Advance 型 X 射线粉末衍射(XRD)仪;PHI Quanterall 型 X 射线光电子能谱(XPS)仪;TA Model

收稿日期: 2014-10-09; 修回日期: 2014-12-08

作者简介: 万雪杰(1991-),男,硕士,主要从事含能材料超细化及球形颗粒的制备研究。e-mail: jerrywanxjie@163.com

通信联系人: 郭效德(1968-),男,副研究员,主要从事超细粉体的制备研究。e-mail: guoxiaodeng@sina.com

Q600 型 TG/DSC 热分析仪。

## 2.2 超细 AP 粉体的制备过程

称取 50 g 原料 AP 与 300 mL 乙酸乙酯混合, 并滴加浓度为  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  分散剂聚氧乙烯失水山梨醇单月桂酸酯(吐温-20), 超声分散 30 min 形成均匀的悬浮液; 将配制好的原料 AP 浆料加入研磨腔内, 然后加入到装有陶瓷研磨球的研磨腔中进行超细化处理(研磨球与物料质量为比 60); 研磨转速为  $600 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 4 h 后取出浆料, 静置沉降, 倒去上清溶剂, 放入水浴烘箱干燥(干燥温度  $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 即可得到超细 AP 粉体。

## 2.3 超细 AP 粉体的表面改性处理过程

称取干燥后的 10 g 超细 AP 样品, 放入低温等离子体设备反应器中, 通入  $\text{N}_2$  (气体流量为  $10 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ), 排除反应器中空气开电源, 控制放电电压、电流分别为 55 V 和 2.5 A。分多次对样品进行处理, 每次处理时间 5 s, 共 10 次。断开电源, 取出试验样品, 关闭  $\text{N}_2$ 。

## 2.4 超细 AP/Al 体系的制备

根据 AP-CMDB 推进剂的配方(NC 20% ~ 25%、NG 30% ~ 35%、AP 21% ~ 35%、Al 5% ~ 21%、催化剂 3% ~ 5%、助剂 6% ~ 10%), 将处理前超细 AP 粉体(AP-1)、处理后超细 AP 粉体(AP-2)分别与 Al 粉在乙醇溶剂中混合均匀(AP 与 Al 粉质量比 4 : 1), 放入水浴烘箱干燥( $55 \text{ }^\circ\text{C}$ ), 即可分别得到处理前超细 AP/Al 体系、处理后超细 AP/Al 体系。

## 3 结果与讨论

### 3.1 粒度分布与形貌分析

用激光干法粒度仪对低温等离子体技术处理前后的超细 AP 的粒度分布进行表征, 结果如图 1 所示。从图 1 可知, 处理前超细 AP 的  $d_{50}$  为  $8.92 \text{ } \mu\text{m}$ , 粒度分布范围较宽, 存在一些团聚形成的大颗粒; 经过处理后, 超细 AP 的  $d_{50}$  为  $8.86 \text{ } \mu\text{m}$ , 粒度分布范围较集中, 一些大的颗粒被打散。

用扫描电子显微镜对处理前后的超细 AP 进行相貌和粒度大小表征, 结果如图 2 所示。由图 2a 和图 2b 可知, AP 粒子形貌规则, 大小均匀, 大部分在  $10 \text{ } \mu\text{m}$  以下。与处理前的超细 AP 相比, 处理后的超细 AP 颗粒之间的团聚结块现象得到明显改善。

结合图 1 和图 2 可知, 采用低温等离子体技术处理超细 AP 颗粒后, 其团聚现象得到改善。这可能是因为放电处理过程中, 一些团聚形成的大颗粒被打散, 同时使 AP 颗粒带上相同电荷, 颗粒之间相互排斥, 从而使 AP 颗粒之间分散开。

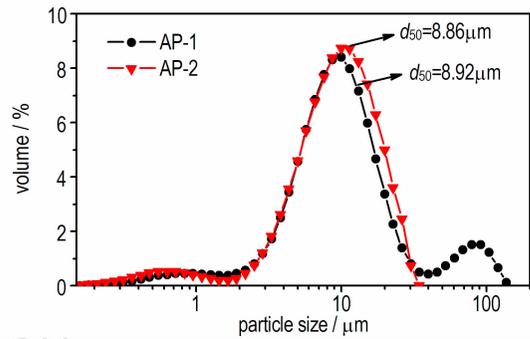


图 1 处理前后 AP 的粒度分布曲线

Fig. 1 Particle size distribution curves of AP samples before (AP-1) and after treatment (AP-2)

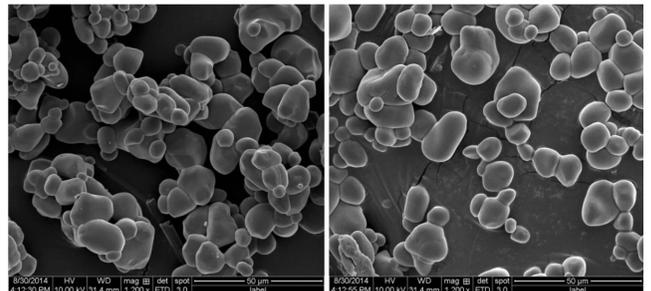


图 2 处理前后 AP 的 SEM 图

Fig. 2 SEM images of AP samples before and after treatment

### 3.2 吸湿性分析

将处理前超细 AP 和处理后超细 AP 放入烘箱烘干至恒重后, 称取相同质量, 放在装有饱和 NaCl 溶液的恒温恒湿的环境下(温度  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , 相对湿度 75%), 每隔 2d 分别测量样品的质量, 根据式(1)计算样品的质量吸湿率。计算结果如表 1 所示。

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $W$  为质量吸湿率, %;  $m_1$  为干燥试样的质量, kg;  $m_2$  为吸湿后试样的质量, kg。计算结果见表 1。

表 1 处理前后 AP 的吸湿性

Table 1 Hydrosopicities ( $W$ ) of AP samples before and after treatment

sample	$W/\%$					
	2d	4d	6d	8d	10d	12d
AP-1	3.12	4.84	6.51	7.80	9.15	10.27
AP-2	0.93	1.30	2.65	3.90	4.27	4.71

从表 1 可以看出, 处理后超细 AP 较处理前超细 AP 的吸湿性大幅度下降。这可能是因为应用低温等离子体技术处理超细 AP 过程中,  $\text{N}_2$  电离生成一些含

氮基团、含氮化合物覆盖在超细 AP 粉体表面,形成憎水层,阻止水分进入;也有可能是因为超细 AP 经过处理后,表面能降低,吸附水分的能力下降,从而导致处理后超细 AP 的吸湿性下降。

### 3.3 纯度分析

运用低温等离子体技术处理超细 AP 粉体后,超细 AP 粉体的分子结构、官能团、晶型、粒子表面元素组成及产品纯度有无发生改变是判断能否运用低温等离子体技术处理超细 AP 粉体的关键。本研究对处理前后的超细 AP 进行红外光谱、拉曼光谱、XRD、XPS 表征和纯度测定,分析处理前后超细 AP 粉体的结构性质和纯度是否发生变化。

#### 3.3.1 FTIR 和拉曼光谱

对处理前后超细 AP 粉体分别进行红外光谱和拉曼光谱表征,如图 3 和图 4 所示。与处理前超细 AP 粉体相比较,处理后超细 AP 粉体的红外光谱和拉曼光谱的峰形一致,峰的位置和峰的相对强度基本一致。说明经过低温等离子体技术处理后,超细 AP 粉体的分子结构和组成未发生明显变化,未引入杂质。

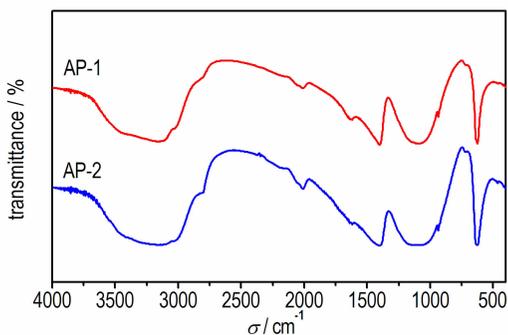


图 3 AP 的红外光谱

Fig. 3 IR spectra of AP samples before and after treatment

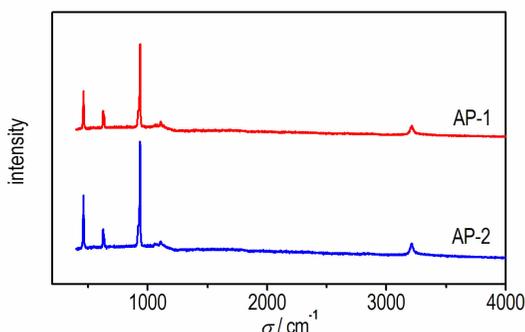


图 4 AP 的拉曼光谱

Fig. 4 Raman spectra of AP samples before and after treatment

#### 3.3.2 X 射线衍射 (XRD)

对处理前后超细 AP 粉体的晶型结构进行表征,

结果如图 5 所示。由图 5 可知:与处理前超细 AP 粉体相比较,处理后超细 AP 粉体的衍射峰峰形、峰的位置和峰的相对强度相同,相对于标准图谱 PDF#43-0648,未引入一些杂质衍射峰。这说明经过低温等离子体技术处理后,超细 AP 粉体的晶型结构未发生变化。

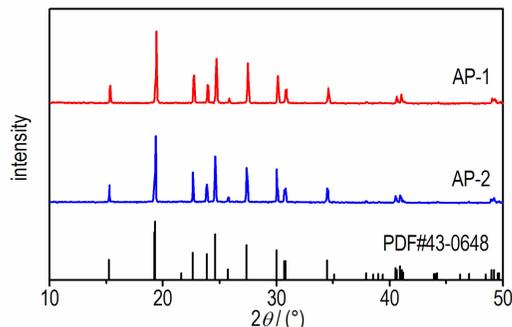


图 5 处理前后 AP 的 XRD 图谱

Fig. 5 XRD patterns of AP samples before and after treatment

#### 3.3.3 X 射线光电子能谱 (XPS)

对处理前后的超细 AP 粉体的表面元素组成进行分析,结果如图 6 所示。由图 6 可以看出,处理后超细 AP 粉体的氮元素含量增加,其他元素含量基本没发生变化。这说明低温等离子体技术在处理过程中处理,氮气被电离,致使 AP 粉体表面附有一些含氮基团,从而造成氮元素含量有所增加。

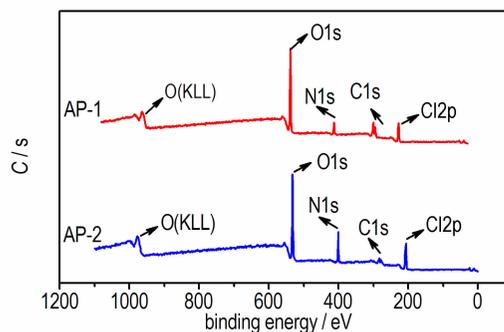


图 6 处理前后 AP 的 XPS 图谱

Fig. 6 XPS patterns of AP samples before and after treatment

#### 3.3.4 纯度测定

根据 GJB 617A-2003 高氯酸铵规范,采用甲醛法测定处理前后超细 AP 粉体的质量分数(以质量分数表征其纯度)分别为 96.75% 和 96.60%,可见,经过低温等离子体技术处理后超细 AP 粉体的纯度变化在分析误差范围内,基本不影响 AP 的纯度。

#### 3.4 机械感度

根据 GJB 772A-1997 方法 601.2 和 602.1 测试

处理前后超细 AP 粉体的撞击感度和摩擦感度。测试环境为温度 26 °C, 湿度 55%, 结果见表 2。

由表 2 可知, 处理后超细 AP 粉体特性落高比处理前的提高了 4.5 cm, 撞击感度降低了 7.1%, 同时处理后的超细 AP 摩擦感度降低了 6%。这可能是因为未经过处理的超细 AP 粉体中会团聚形成一些大的颗粒, 这些颗粒形状不规则, 内部存在空隙缺陷, 根据热点理论, 在受到撞击、摩擦等外界作用力时易形成热点。而经过处理后的超细 AP 粉体, 大的颗粒消失, 样品的分散性变好, 在受到外界作用力时, 产生的热量更容易传递, 不易形成热点, 因此, 经过低温等离子体技术处理后, 超细 AP 粉体的撞击感度和摩擦感度均略有降低。

表 2 处理前后 AP 的机械感度

Table 2 Mechanical sensitivities of AP before and after treatment

sample	impact sensitivity ( $H_{50}$ )/cm	friction sensitivity ( $P$ )/%
AP-1	63.1	60
AP-2	67.6	54

### 3.5 热性能分析

#### 3.5.1 超细 AP 粉体的热分解性能

在常压  $N_2$  气氛中分别测定处理前后超细 AP 粉体在不同升温速率下的 TG-DTG、DSC 曲线, 结果如图 7

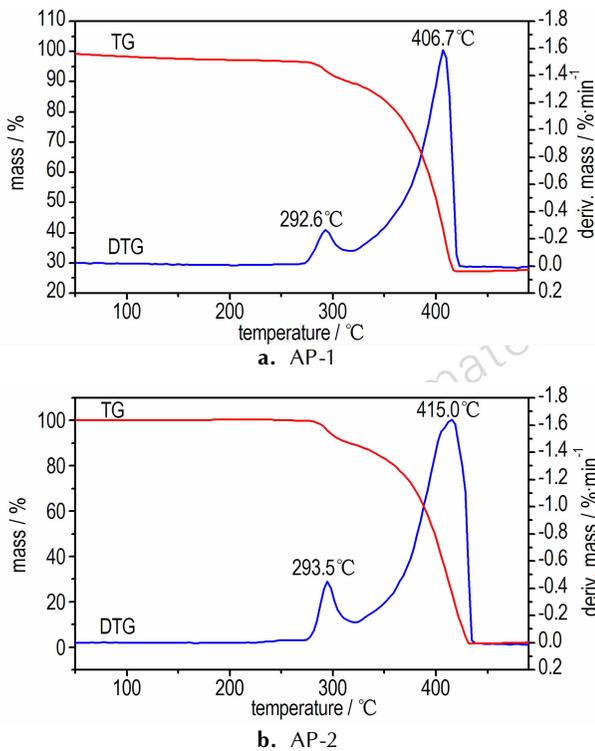


图 7 处理前后 AP 的 TG-DTG 曲线

Fig. 7 TG-DTG curves of AP before and after treatment

和图 8 所示。同时, 计算了它们的表观活化能, 研究低温等离子体技术处理后超细 AP 粉体的热性能变化。

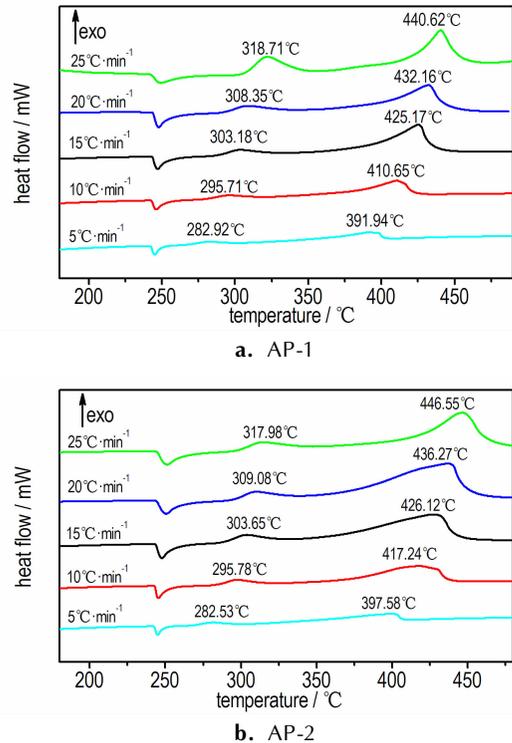


图 8 处理前后 AP 在不同升温速率下的 DSC 曲线

Fig. 8 DSC curves of AP at different heating rates before and after treatment

由图 7 可知, 相对于处理前超细 AP 粉体, 经过低温等离子体技术处理后的超细 AP 粉体的第一阶段 DTG 峰温提高了 0.9 °C, 无明显变化, 第二阶段 DTG 峰温滞后了 8.3 °C。由图 8 可知, 在同一升温速率条件下, 相对于处理前的超细 AP 粉体, 处理后超细 AP 粉体的低温分解峰峰温无明显变化, 高温分解峰峰温有所提高。这可能是因为经过处理后的超细 AP 粉体的分散性变好, 比表面积增大, 吸附能力增强,  $NH_3$  更容易快速地覆盖在 AP 表面, 对 AP 的高温分解阶段的  $NH_3$  解吸过程有一定的抑制作用, 从而处理后超细 AP 粉体的高温分解峰滞后, 即移向高温。利用式 (2) 计算处理前后超细 AP 粉体的高温分解峰对应的表观活化能。

$$\ln \left[ \frac{T_p^S}{\Phi} \right] = A \frac{E_a}{RT_p} + C \quad (2)$$

式中,  $E_a$  为表观活化能,  $kJ \cdot mol^{-1}$ ;  $T_p$  为热分解峰峰温, K;  $\Phi$  为升温速率,  $K \cdot min^{-1}$ ;  $R$  为气体常数,  $8.314 J \cdot (K \cdot mol)^{-1}$ ;  $C, S$  为常数,  $A$  为指前因子,  $s^{-1}$ 。

采用 Kissinger 方法<sup>[14]</sup>, 取值  $S=2, A=1$ , 计算结果如图 9 所示。由图 9 可知, 处理后超细 AP 粉体的

高温分解峰对应的表观活化能比处理前超细 AP 粉体的提高了  $3.92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

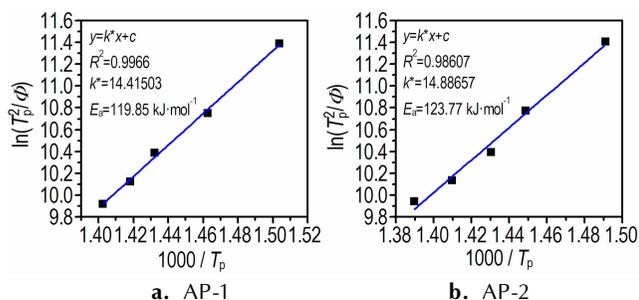


图 9 处理前后 AP 高温分解峰的  $\ln(T_{p2}/\Phi)$  对  $1000/T_p$  的线性回归曲线

Fig. 9 Plot of  $\ln(T_{p2}/\Phi)$  versus  $1000/T_p$  of AP for high decomposition peak temperature before and after treatment

### 3.5.2 AP/Al 粉体系热分解性能

图 10 为升温速率  $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  条件下所测得处理前后超细 AP/Al 体系的 DSC 曲线。图中  $\Delta H_1$  表示低温分解阶段放热量； $\Delta H_2$  高温分解阶段放热量。

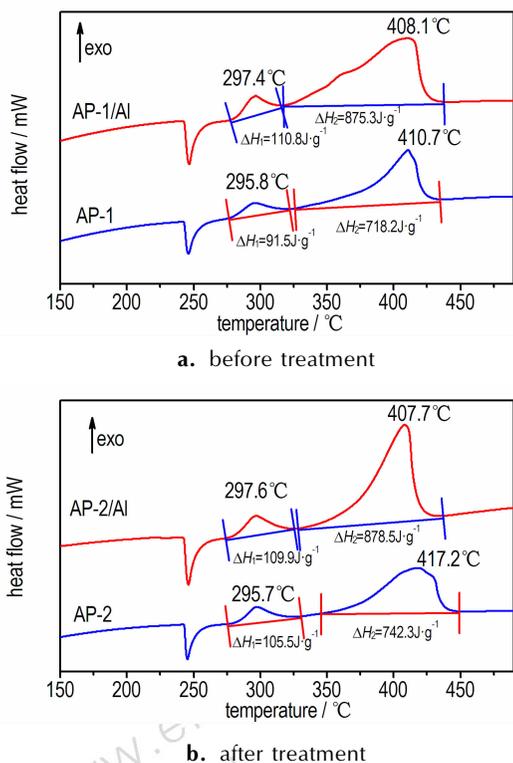


图 10 处理前后 AP 和 AP/Al 的 DSC 曲线

Fig. 10 DSC curves of AP and AP/Al before and after treatment ( $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ )

由图 10 可知,随着 Al 粉的加入,AP 的热分解放热量明显增加,同时第一阶段低温分解峰峰温向后推

迟,而第二阶段高温分解峰峰温提前。经过处理后超细 AP 粉体的放热量略高于处理前超细 AP 粉体的放热量,这可能是因为处理后超细 AP 粉体分散性能变好,热分解更加充分。与处理前超细 AP/Al 体系相比较,处理后超细 AP/Al 体系的低、高温分解峰峰温均未发生明显变化,且低、高温分解阶段的放热量基本相等。因此应用低温等离子体技术处理超细 AP 后,不会对 AP/Al 体系的热分解过程造成明显影响。

## 4 结论

应用低温等离子体技术处理超细 AP 粉体后,超细 AP 粉体吸湿性显著下降,团聚结块现象得到明显改善,分散性变好。处理后超细 AP 粉体的结构性质和纯度没有发生明显变化,同时处理后超细 AP 撞击感度降低了 7.1%,摩擦感度降低了 6%。

应用低温等离子体技术处理超细 AP 粉体后,超细 AP 粉体第一阶段低温分解 DTG 峰温滞后了  $0.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,第二阶段高温分解 DTG 峰温滞后了  $8.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,热安定性有所提高,同时两阶段热分解总放热量增加了  $38.0 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ 。与处理前超细 AP/Al 体系相比,处理后的超细 AP/Al 体系的热分解性能无明显变化。

应用低温等离子体技术处理超细 AP 粉体对改善其团聚结块现象有很好的效果,为含能粉体材料进行类似表面处理提供了一种新途径,具有一定借鉴和参考意义。

### 参考文献:

- [1] 李凤生, 郭效德, Haridwa, 等. 固体推进剂技术及纳米材料的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 239.  
LI Feng-sheng, GUO Xiao-de, Haridwa, et al. Application of solid propellant technology and nano materials[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008: 239.
- [2] 梁彦, 张弛, 郑宏建. 火箭推进剂的发展特点分析[J]. 飞航导弹, 2003(7): 47-55.  
LIANG Yan, ZHANG Chi, ZHENG Hong-jian. Analysis of the characteristics of the development of rocket propellant[J]. Winged Missiles Journal, 2003(7): 47-55.
- [3] 张杏芳. 国外火炸药原材料性能手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991.  
ZHANG Xing-fang. Foreign explosive raw materials performance manual[M]. Weapon Industry Press, 1991.
- [4] 廖林泉, 李笑江, 覃光明. 提高固体推进剂燃速方法述评[J]. 飞航导弹, 2004(2): 39-41.  
LIAO Lin-quan, LI Xiao-jiang, QIN Guang-ming. The method review of improving burning rate of solid propellant[J]. Winged Missiles Journal, 2004(2): 39-41.
- [5] 邓国栋, 刘宏英. 超细高氯酸铵粉体制备研究[J]. 爆破器材, 2009, 38(1): 5-7.

- DENG Guo-deng, LIU Hong-ying. Study on preparation of the superfine powder of ammonium perchlorate[J]. *Explosive Materials*. 2009, 38(1): 5-7.
- [6] 沙恒, 李凤生, 宋洪昌, 等. 超细高氯酸铵表面改性及对高燃速推进剂性能的影响[J]. 含能材料, 1995(2): 26-30.
- SHA Heng, LI Feng-sheng, SONG Hong-chang, et al. Surface modification of ultra-fine AP and its influence on the high burning rate propellant[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 1995(2): 26-30.
- [7] 邓国栋, 刘宏英. 超细高氯酸铵的防聚结技术[J]. 火炸药学报, 2009, 32(1): 9-12
- DENG Guo-deng, LIU Hong-ying. Anti-aggregation technology of the superfine powder of AP[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2009, 32(1): 9-12.
- [8] 刘克建. 防结块超细高氯酸铵的制备及其应用研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- LIU Ke-jian. Study on Preparation and application of anti-aggregation ultrafine ammonium perchlorate [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.
- [9] 吴昊, 李兆乾, 裴重华. 高氯酸铵疏水表面的制备及表征[J]. 含能材料, 2014, 22(4): 482-486.
- WU Hao, LI Zhao-qian, PEI Zhong-hua. Preparation and characterization of hydrophobic surface of ammonium perchlorate [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2014, 22(4): 482-486.
- [10] 王跃华, 陈敏, 李长敏, 等. 低温低离子体技术在无机粉体表面改性中的研究进展[J]. 材料导报, 2008, 22(4): 34-37.
- WANG Yue-hua, CHEN Min, LI Chang-min, et al. Research progress in low temperature plasma technology in surface modification of inorganic powder [J]. *Materials Review*, 2008, 22(4): 34-37.
- [11] 何铁石, 周正发, 任凤梅, 等. 低温等离子体技术在粉体表面处理中的应用[J]. 材料导报, 2008, 22(z3): 76-77.
- HE Tie-shi, ZHOU Zheng-fa, REN Feng-mei, et al. Application of low-temperature plasma technology in surface modification of powder [J]. *Materials Review*, 2008, 22(z3): 76-77.
- [12] 颜鲁婷, 司文捷, 苗赫濯, 等. 低温等离子体聚合对超细陶瓷粉体的表面改性[J]. 稀有金属材料与工程, 2004, 33(7): 755-758.
- YAN Lu-ting, SI Wen-jie, MIAO He-zhuo, et al. Surface encapsulation of ceramic powders by low temperature plasma polymerization [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2004, 33(7): 755-758.
- [13] 孟月东, 钟少锋, 熊新阳, 等. 低温等离子体技术应用研究进展[J]. 物理, 2006, 35(2): 140-146.
- MENG Yue-dong, ZHONG Shao-feng, XIONG Xin-yang, et al. Advances in applied low-temperature plasma technology [J]. *Physics*, 2006, 35(2): 140-146.
- [14] Fan R H, Lü H L, Sun K N, et al. Kinetics of thermite reaction in Al-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system [J]. *Thermochimica Acta*, 2006, 440(2): 129-131.

## Application of Low-temperature Plasma Technique in Surface Modification of Superfine AP Powder

WAN Xue-jie, GUO Xiao-de, OUYANG Gang

(Nanjing University of Science and Technology, National Special Powder Engineering Research Center, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** To solve the aggregation problem of the superfine ammonium perchlorate (AP) powder caused by moisture absorption, the surface modification treatment of the superfine AP powder was performed using a low-temperature plasma equipment. The particle size and morphology of the superfine APs before and after treatment were characterized by a laser granularity analyzer and scanning electron microscope (SEM). The component and purity of the superfine AP before and after treatment were analyzed by Fourier transform infrared (FTIR) spectrometer, Raman spectrometer, X-ray diffractometer (XRD), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and chemical method. The thermal decomposition performances of AP samples before and after treatment and the corresponding AP/Al system were studied by thermogravimetric analysis (TG) and differential scanning calorimetry (DSC). The impact sensitivities, friction sensitivities and hygroscopicity were measured. Results show that the aggregation phenomenon of superfine AP powder after treatment with low-temperature plasma technology is obviously improved, the particle distribution concentrates, the hygroscopicity decreases, while the component and purity almost do not change. Compared with the superfine AP powder before treatment, its peak temperature of high temperature decomposition increases by 8.3 °C, the impact and friction sensitivities decrease by 7.1% and 6%, respectively.

**Key words:** superfine ammonium perchlorate (AP); low temperature plasma; dispersion; thermal properties; mechanical sensitivity

**CLC number:** TJ55

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.01.013