

文章编号:1000-582X(2009)05-0582-07

铁矿球团中有机复合膨润土的强化机理

朱德庆¹, 李慧敏¹, 余 为², 王 斌², 潘 建¹

(1. 中南大学 资源加工与生物工程学院, 湖南 长沙 410083;

2. 武汉钢铁集团矿业有限公司 鄂州球团厂, 湖北 鄂州 436000)

摘 要:在球团生产中配加有机复合膨润土可明显提高生球强度、改善生球热稳定性、降低膨润土配比和提高球团矿铁品位。研究表明:在保证球团质量的前提下,有机复合膨润土配比为 1.2% 时即可达到常规膨润土加入量为 2.2% 时的生球强度,且爆裂温度均大于 620 °C,球团焙烧性能较好,成品球团矿的铁品位约提高了 1.10 个百分点。通过现代微观检测手段对有机复合膨润土作用机理的进行分析,发现有机小分子插入膨润土晶层间,其表面阴离子基团可与铁矿表面产生化学吸附,使其表面负电位增强和表面亲水性得到改善,有利于改善铁精矿成球性;另外,有机复合膨润土同时具有有机物和无机层状硅酸盐的特点,其热稳定性和高温粘接力均优于常规膨润土,改善了球团焙烧性能。

关键词:有机复合膨润土;球团矿;生球质量;铁品位;焙烧性能

中图分类号:TF046.6

文献标志码:A

An organic activated bentonite mechanism for improving pelletization

ZHU De-qing¹, LI Hui-min¹, YU Wei², WANG Bin², PAN Jian¹

(1. School of Mineral Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha 410083, P. R. China;

2. Ezhou Pellet Plant, Wuhan Iron and Steel (Group) Corporation, Ezhou 43600, P. R. China)

Abstract: Adding organic activated bentonite to palletizing production improves the thermal stability of green balls and the iron grade of fired pellets. This addition also permits a reduction in the bentonite dosage. We study the action mechanism of the organic activated bentonite. It is shown that the shock temperatures all exceed 620 °C, the fired pellets iron grade increased 1.10 percent, and 1.2% organic activated bentonite satisfy the properties of green balls and fired pellets being activated, compared to 2.2% traditional bentonite. It is revealed that organic molecules are inserted into the bentonite crystal layers, and the chemical adsorption of anionic-groups takes place on the iron ore surface of organic activated bentonite. This is shown by the presence of higher negative ζ -potential. The ballability of iron ore concentrates greatly improves, and the thermal stability and high temperature binding forces of organic activated bentonite are superior to those of traditional bentonite, leading to higher-strength green balls and fired pellets.

Key words: organic activated bentonite; pellet; green ball properties; iron grade; firing capability

球团矿是高炉冶炼的主要铁矿原料之一,其质量好坏直接影响高炉生产及后道工序。进入 21 世

纪以来,国内球团矿需求量逐年递增,生产发展迅速,2006 年产能已超过 1 亿吨,在短短几年内建成

收稿日期:2008-12-24

基金项目:国家教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励基金资助项目(教人司[2000]26)

作者简介:朱德庆(1964-),男,中南大学教授,博士生导师,主要从事烧结球团理论与技术、直接还原与熔融还原、资源综合利用与环境保护等研究,(E-mail)dqzhu@mail.csu.edu.cn。

了拥有近六千万吨生产能力的链篦机-回转窑工艺^[1-3]。但国内球团矿的产品质量总体低下、品种单一,与国际水平相差甚远,主要表现在球团矿的铁品位低和 SiO₂ 含量高,其中的一个重要原因是膨润土配加量过高。据资料统计,目前国内球团厂膨润土用量较高,一般在 3.0% 以上,与国外水平(小于 1%)相比差距明显,而且随着近年矿石资源的日益紧张,造球用铁精矿质量恶化,膨润土的用量还有增加的趋势^[4-6]。膨润土的用量过高,不仅增加了球团生产成本,而且还降低了球团矿的铁品位,高炉使用这种球团矿进行冶炼,生铁产量下降,焦比增加,严重影响经济效益^[7-9]。因此,研究开发有机复合膨润土用于取代常规膨润土强化铁矿球团具有十分重要的现实意义。

本研究采用中南大学研制的有机复合膨润土 A、B 进行了球团试验研究。在膨润土的用量、造球性能和焙烧特性等方面进行了有机复合膨润土 A、B

取代常规膨润土制备氧化球团的对比实验;同时,还采用 X 射线衍射、表面电位、扫描电镜和差热分析等测试手段对有机复合膨润土的作用机理进行了研究。

1 原料性能和研究方法

1.1 原料性能

试验用含铁原料为巴北精矿、巴南精矿、巴中精矿、金山店精矿及自购精矿,均由武钢鄂州球团厂提供。铁精矿的化学成分和粒度组成见表 1 和表 2。由表 1 可见,除自购矿外,其它精矿的铁品位均在 65% 以上,有害杂质含量低,尤其是属于磁铁精矿的金山店矿,它们均是生产氧化球团的优质原料。由表 2 可知,铁精矿粒度为 -0.074 mm 的含量均在 82% 以上,但其比表面积均较小,未达到一般造球原料的标准(1 500~1 900 cm²/g)^[10-11],必须进行预处理以增大其比表面积,改善其成球性。

表 1 铁精矿化学成分

矿种	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P	S	LOI
巴北	65.72	0.53	1.56	1.07	0.12	0.086	0.015	0.016	0.051	0.029	3.07
巴南	67.79	0.69	1.49	0.43	0.12	0.060	0.0086	0.019	0.014	0.024	0.49
巴中	67.35	1.40	1.91	0.81	0.15	0.060	0.013	0.024	0.014	0.010	0.45
金山店	65.46	26.91	3.11	1.20	1.68	1.55	0.11	0.067	0.021	0.30	0.59
自购	56.97	27.60	11.12	2.88	2.75	1.33	0.23	0.10	0.044	0.90	1.06

表 2 铁精矿粒度组成($w/\%$)和比表面积

矿种	+0.106	0.106~0.074	0.074~0.045	0.045~0.038 5	-0.038 5	比表面积
巴北	1.72	7.82	15.17	9.62	65.67	900
巴南	6.96	11.14	25.66	21.41	34.83	564
巴中	3.33	10.07	26.81	20.29	39.53	524
金山店	0.28	3.13	22.61	16.33	57.65	787
自购	1.89	7.06	17.36	11.45	46.15	1196

表 3 膨润土的化学成分

种类	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P	S	LOI
常规膨润土	8.36	47.51	16.15	1.59	3.33	1.29	1.05	0.25	0.011	14.38
有机复合膨润土 A	8.21	46.73	15.64	1.13	3.02	1.16	1.31	0.23	0.012	15.64
有机复合膨润土 B	8.19	46.82	15.71	1.21	3.11	1.21	1.27	0.24	0.014	15.62

试验采用的膨润土是湖北某地产的常规膨润土和中南大学研制的有机复合膨润土 A、B。其物化性能如表 3 和表 4 所示。由表 4 可见,有机复合膨润

土 A、B 的胶质价、膨胀容和 2h 吸水率均优于常规膨润土。尤其是有机复合膨润土 A 的物理性能指标最好,吸水率及膨胀容明显高于常规膨润土。

表 4 膨润土的物理性能

种类	吸蓝量 /(g · 100 ⁻¹ · g)	胶质价/%	膨胀容 /(mL · g ⁻¹)	吸水率(2 h) /%	蒙脱石含量/%	-0.074 mm 含量/%
常规膨润土	39.0	91	6.5	187.5	88.6	100.0
有机复合膨润土 A	39.5	92	9.0	281.3	89.4	100.0
有机复合膨润土 B	39.0	93	7.5	244.8	88.6	100.0

1.2 研究方法

本试验所采用的造球原料构成为:巴北矿:金山店矿:巴南矿:巴中矿:自购矿=55:30:5:5:5,试验过程中该配比固定不变。全部含铁原料均经过烘干使其水分低于适应的混合料水分,将铁精矿、膨润土和水按比例进行混匀(混合料水分固定为7%),然后进行高压辊磨(辊磨压力固定为 1.0×10^6 Pa)及造球。混合料高压辊磨采用中南大学研制的 $\Phi 250 \times 120$ mm 高压辊磨机,转速为68 r/min。生球制备采用圆盘造球机,直径为1 000 mm,转速18 r/min,倾角 $45 \sim 47^\circ$ 可调。造球结束后,称出500 g测定生球水分,并取10~12.5 mm的生球进行生球质量检测,检测项目如下:取20个生球,从距地面0.5 m的高处自由落下到5 mm厚的钢板上,直到生球产生裂纹为止,取其平均值作为生球落下强度的指标;取20个生球,放在KQ-2型生球强度测定仪上进行测定,取其平均值作为生球抗压强度指标;生球爆裂温度测定采用动态介质法,在 $\Phi 650$ mm \times 970 mm的竖式管炉中进行,取50个生球装入不锈钢罐中,热气流以一定速度(1.0~1.5 m/s)穿过生球层,生球在炉膛内停留5 min,然后取出,以生球爆裂4%所能承受的最高温度为爆裂温度。将制备好的生球在105 °C下烘干,在卧式管状电炉中进行预热焙烧试验,电炉炉膛直径为50 mm。每次取10个粒度为10 mm~12.5 mm的成品球团作抗压强度检测,成品球团矿的抗压强度在ZQYC-智能抗压测量仪上测定。在有机复合膨润土作用机理的研究中,分别采用日本理学D/Max-rA型X-Ray衍射仪进行X射线衍射检测、美国Counter-Delsa440sx动电位 & 粒度分析仪测定Zeta电位、JSM-56600LV型扫描电子显微镜分析仪观察颗粒形貌及德国STA449C型差热分析仪测定差热分析曲线。

2 结果及分析

2.1 膨润土种类及用量对生球质量的影响

为了考查有机复合膨润土A、B替代常规膨润土对生球质量的影响,对其分别进行了用量试验。

造球时间为13 min,生球水分为9.5%左右,结果如图1所示。

由图1(a)可知,为使生球落下强度达到4次/0.5 m以上的要求标准,常规膨润土用量为2.0%,有机复合膨润土A或B用量仅为1.2%;由图1(b)可见,为使生球抗压强度满足10 N/个以上的要求标准,常规膨润土用量为2.2%,有机复合膨润土A或B用量仅为1.2%。由此表明,为了使生球落下强度和抗压强度均满足要求,常规膨润土用量达到2.2%,而有机复合膨润土A或B的适宜用量仅为1.2%。

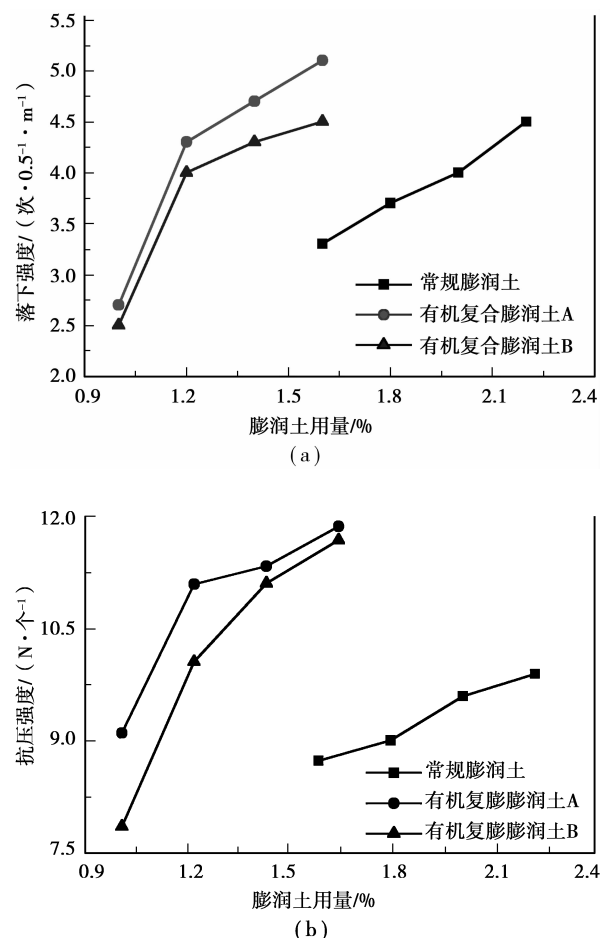


图 1 膨润土用量对生球强度的影响

膨润土种类及用量不仅影响生球强度,而且对生球爆裂温度也有显著影响,有资料显示添加有机

粘结剂使生球爆裂温度降低^[12-16]。为此,考察了 3 种膨润土对生球爆裂温度的影响,结果表明:在以上最佳用量时,生球爆裂温度均大于 620 ℃。这一结果说明,用有机复合膨润土 A 或 B 取代常规膨润土作粘结剂时不会导致生球爆裂温度的下降。因此,有机复合膨润土 A 或 B 取代常规膨润土能提高铁精矿的成球性和改善生球性能。

2.2 膨润土种类对球团焙烧性能的影响

膨润土种类不仅影响生球质量,而且影响成品球团矿质量。3 种膨润土在各自不同焙烧条件下的成品球抗压强度对比示于表 5。根据大型高炉生产指标,入炉球团的抗压强度应达到 2 500 N·个⁻¹以上^[17],对配比为 2.2%的常规膨润土而言,焙烧温度为 1 280 ℃,焙烧时间为 12 min 时,成品球抗压强度可以满足大型高炉的生产要求;配加 1.2%的有机复合膨润土 A 的球团,在焙烧温度相同的条件下,焙烧时间缩短为 8 min 时,成品球抗压强度可达到要求;而配加 1.2%的有机复合膨润土 B 的球团,焙烧温度为 1 250 ℃,时间为 10 min 时,成品球抗压强度就达 2 510 N·个⁻¹,相比较配比为 2.2%的常规膨润土球团而言,不仅焙烧温度下降了 30 ℃,而且焙烧时间缩短了 2 min。因此,在满足大型高炉生产指标的前提下,采用有 1.2%的有机复合膨润土 A

或 B 取代 2.2%的常规膨润土时,改善了球团的焙烧性能,有利于提高球团矿产量和质量,节能降耗。

表 5 膨润土种类对成品球抗压强度的影响

粘结剂	焙烧温度/℃	焙烧时间/min	成品球抗压强度/N·个 ⁻¹
常规膨润土 2.2%	1 250	15	2 277
	1 280	12	2 523
	1 250	15	2 350
有机复合膨润土 A 1.2%	1 280	6	2 381
	1 280	8	2 709
有机复合膨润土 B 1.2%	1 250	10	2 510
	1 280	6	3 353

注:预热温度为 1 020 ℃,预热时间为 10 min。

另外,对配加不同种类膨润土的成品球团矿进行了化学成分分析,结果示于表 6。从此可见,相对常规膨润土而言,配加有机复合膨润土 A 或 B 的成品球团矿的铁品位提高了约 1.10 个百分点,SiO₂、Al₂O₃ 和 CaO 的含量均有所下降。因此,采用有机复合膨润土 A 或 B 取代常规膨润土具有明显提高球团铁品位的效果。

表 6 成品球团矿化学成分对比 (ω/%)

粘结剂	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S
常规膨润土 2.2%	61.82	0.44	4.28	3.06	1.40	0.63	0.044	0.03
有机复合膨润土 A 1.2%	62.93	0.41	3.48	2.76	0.87	0.62	0.037	0.027
有机复合膨润土 B 1.2%	62.89	0.27	3.59	2.56	0.84	0.60	0.037	0.026

2.3 有机复合膨润土的作用机理

2.3.1 X 射线衍射

3 种膨润土的 X 射线衍射分析结果见表 7。由此可见,有机复合膨润土的晶层间距较常规膨润土大。这主要是由于有机小分子中的阳离子置换膨润土中的阳离子,使有机物分子一端插入膨润土的晶层之间,从而使晶层间距增大。本文所采用的有机复合膨润土中的有机小分子结构模型为:SG(Sh)-[R]_n-HG,其中 SG(Sh)一与铁精矿表面发生化学吸附作用的亲矿、亲水基团;HG一插入晶层间的阳离子基团;R一有机架;n一聚合度,有机小分子的阳离子基团(HG)插入膨润土的晶层之间后,活性基团(SG)端则暴露于膨润土晶层外,亲矿基团与铁矿颗粒表面产生化学作用力和物理作用力,亲水基团

(Sh)与极性水分子作用,从而使铁矿颗粒表面亲水性得到明显改善,生球中毛细引力能显著增大,提高生球强度^[18]。

表 7 三种膨润土在 C 轴(001 晶面)晶层间距对比

粘结剂	衍射角/(°)	晶层间距/(Å)
常规膨润土	8.94	9.882 93
有机复合膨润土 A	8.03	11.003 88
有机复合膨润土 B	7.07	12.499 12

2.3.2 表面电位

测定了常规膨润土、有机复合膨润土 A 和有机复合膨润土 B 在不同 pH 值的 Zeta 电位,结果见图 2 所示。

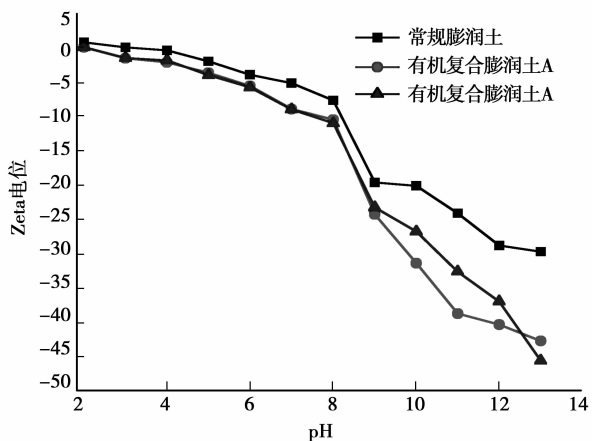


图 2 pH 与不同膨润土 Zeta 电位的关系
(质量分数为 0.05% 的稀溶液在 0.1mol/L 盐酸和 0.1mol/LNaOH 溶液中测定)

由此可见,常规膨润土零电点为 $\text{pH}=3.1$,有机复合膨润土 A 和 B 零电点分别为 $\text{pH}=2.1$ 和 $\text{pH}=2.3$ 。与常规膨润土相比较而言,有机复合膨润土 A 和 B 表面电位更负。电位较负的颗粒可极化和吸引更多的水分子和阳离子,扩散层较厚,吸水膨胀能力较强^[8]。由此也可以证明,含有阴离子极性基团的有机小分子插入膨润土的晶层间,使其表面电位更负。因此,铁精矿配加有机复合膨润土 A 或 B 后,有机膨润土表面的阴离子基团可与铁精矿颗粒

之间产生化学吸附,促进了颗粒间的接触、吸附和聚结,从而可以提高铁矿表面的亲水性,有利于生球质量的提高。

2.3.3 颗粒形貌

颗粒形貌与物性之间存在着密切的关系,它对颗粒群的许多性质产生影响。例如,物料的比表面、流动性、填充性、表面现象和化学活性等^[19]。对于用于球团造球的粘结剂,其形状对生球性能有重大的影响。

3 种膨润土的颗粒形貌见图 3、4 和 5。常规膨润土中大多为表面相对较光滑的粗颗粒,以聚结状态存在,呈层片状与块状的集合体。有机复合膨润土 A、B 中颗粒粒度明显减小,大多为形状不规则、表面粗糙的粒状,微颗粒生成新表面,比表面积增大,从而颗粒表面自由能增加、活性增强,呈细小鳞片状集合体。从颗粒表面形貌可知,常规膨润土的蒙脱石颗粒以聚合物存在,而有机复合膨润土的蒙脱石颗粒呈分散状态,分散的蒙脱石颗粒浸润填充在矿石颗粒之间,增加了固相桥键和液相桥键,特别是形成微细的毛细管,增大毛细力,从而大大提高了生球抗压强度;同时由于有机复合膨润土的抗压吸水能力增强,促使了矿石颗粒间的相对滑动,从而提高了生球的落下强度。

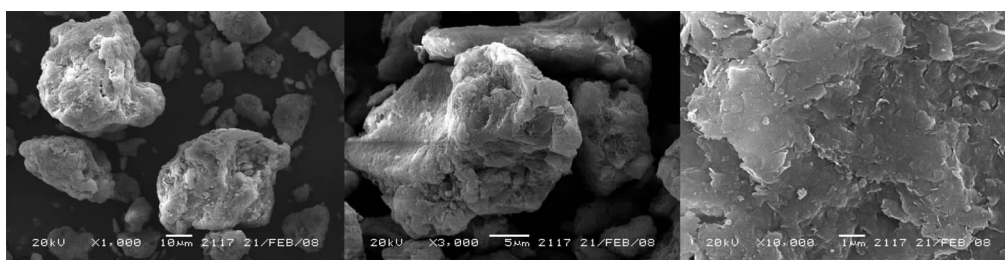


图 3 常规膨润土 SEM 照片
(从左至右依次为 $\times 1\,000$ 、 $\times 3\,000$ 、 $\times 10\,000$)

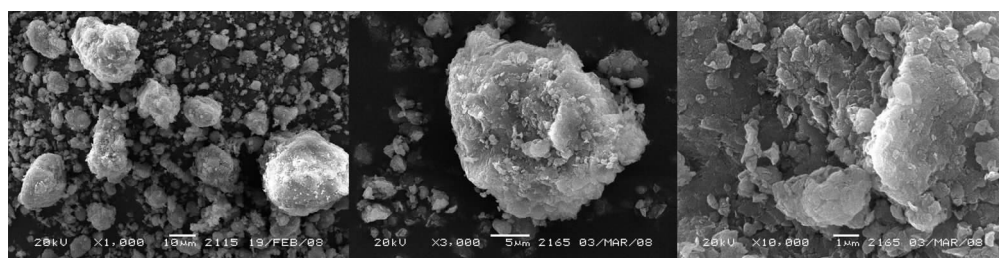


图 4 有机复合膨润土 A SEM 照
(从左至右依次为 $\times 1\,000$ 、 $\times 3\,000$ 、 $\times 10\,000$)

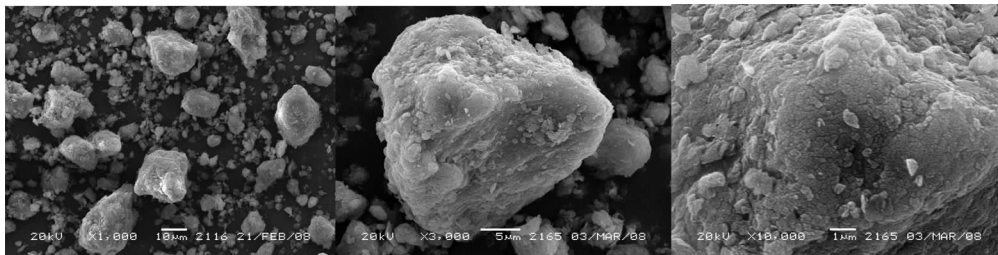


图5 有机复合膨润土B SEM照片
(从左至右依次为 $\times 1\,000$ 、 $\times 3\,000$ 、 $\times 10\,000$)

2.3.4 热稳定性和高温粘结力

膨润土在焙烧固结过程中产生的一系列物理化学变化的过程直接决定了膨润土的添加量和焙烧工艺条件的选择^[18]。通过对3种膨润土进行差热分析,考查了膨润土在固结过程中的行为,见图6。

由图6差热分析曲线可见,3种膨润土的晶层间水的脱除均发生在 $500\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,它标志着结构水排出也显示了晶体结构的破坏,即造成膨润土物理性能的丧失。此温度区间吸热谷出现的早晚,说明了膨润土耐热性能的优劣,吸热谷出现得越晚,膨润土耐热性能越好^[20]。由图中差热分析可知,常规膨润土在 $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右出现一个较强的吸热谷,在 $667\text{ }^{\circ}\text{C}$ 出现一个较弱的吸热谷;有机复合膨润土A、B均在 $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右出现一个微弱的吸热谷,在 $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ 出现一个较强的吸热谷。由此可见,有机复合膨润土的吸热谷滞后于常规膨润土,即有机复合膨润土A、B的热稳定性优于常规膨润土。因此,当焙烧温度达到 $500\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间时,铁矿配加耐热性能好的膨润土,有利于增加矿石颗粒之间的粘结力,提高焙烧球强度。当焙烧温度达到 $1\,100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,膨润土开始熔化成为渣化剂与氧化物结合,从而进一步提高焙烧球的强度。

由差热分析可知,有机复合膨润土A、B的熔化温度分别为 $1\,159\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $1\,170\text{ }^{\circ}\text{C}$,比常规膨润土的熔化温度为 $1\,227\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时低了 $60\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此,配加有机复合膨润土的球团在较低的焙烧温度下就有液相形成,液相的存在对固相物质的扩散提供了通道,消除了颗粒的晶格缺陷,增加了颗粒接触面积,使颗粒之间高温粘结力增强,增加球团致密化程度,从而使球团矿获得高的抗压强度。因此,在较低的焙烧温度和较短的焙烧时间,配加有机复合膨润土的球团就能达到较高的成品球强度。以上结果与配加有机复合膨润土A或B的球团焙烧性能优于配加常规

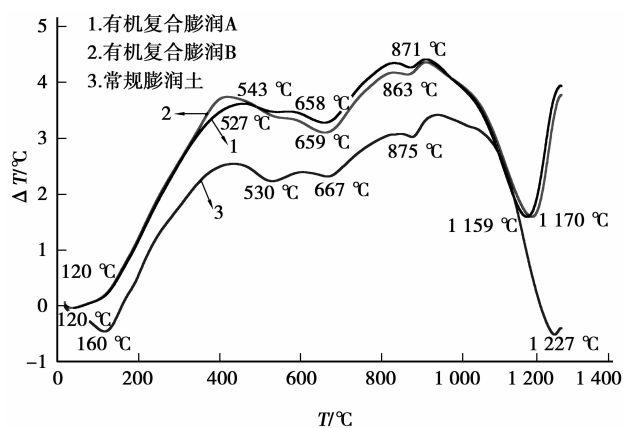


图6 膨润土的差热分析曲线

膨润土的球团是一致的。

3 结论

1)有机复合膨润土的造球效果良好,用于取代常规膨润土时,在其用量为 1.2% 时即可获得满足生产要求的生球性能,落下强度大于 $4\text{ }^{\circ}/0.5\text{ m}$,抗压强度大于 10 N/个 ,爆裂温度在 $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上;在球团焙烧中,在较低的焙烧温度和较短焙烧时间就可获得满足要求的成品球团矿强度。因此,有机复合膨润土取代常规膨润土时,既达到了显著降低膨润土用量的效果,又可满足生产及产品用量的要求,具有广阔的应用前景。

2)采用有机复合膨润土取代常规膨润土能有效提高球团铁品位。配加 1.2% 的有机复合膨润土A或B时,比配加 2.2% 常规膨润土的球团铁品位提高了 1.10% 。

3)有机复合膨润土的作用机理表明:含有阴离子极性基团的有机小分子插入膨润土的晶层间,使晶层间距增大,表面电位更负,从而使有机复合膨润土的扩散层较厚,吸水膨胀性能较好,可以提高铁精

矿表面的亲水性,有利于生球质量的提高;有机复合膨润土 A 和 B 的颗粒比表面积增加,其表面吸附能力提高,增加了其表面活性,有利于铁精矿成球;另外,有机复合膨润土 A 和 B 的热稳定性和高温粘结力均优于常规膨润土,有利于改善球团焙烧性能。

参考文献:

- [1] 叶匡吾. 大力推进我国球团矿的生产[J]. 冶金管理, 2007(10):13.
YE KUANG-WU. Advancing the production of pelletization[J]. Metallurgical Management, 2007(10):13.
- [2] 孙立晏. 全国球团技术协调组工作汇报[J]. 球团技术, 2006(4):21.
SUN Li-YAN. The work report of Pellet Technical Coordination Group[J]. Pellet Technology, 2006, (4):21.
- [3] 苏曦, 潘宝巨, 葛铸高. 通过降低膨润土配比获得优质球团矿[J]. 钢铁研究学报, 1997, 9(增刊):1-6.
SU XI, PAN BAO-JU, GE ZHU-GAO. High quality pellets obtained by reducing the bentonite content[J]. Journal of Iron and Steel Research, 1997, 9(Suppl):1-6.
- [4] 杨永斌. 有机粘结剂替代膨润土制备氧化球团[J]. 中南大学学报:自然科学版, 2007, 38(5):850-857.
YANG YONG-BIN. Application of organic binder as substitutes for bentonite in pellet Preparation [J]. J Cent South Univ: Science and Technology, 2007, 38(5):850-857.
- [5] 刘桂阳, 朱德庆. 有机复合膨润土改善铁矿球团性能的工业试验[J]. 烧结球团, 2005, 30(4):13-16.
LIU GUI-YANG, ZHU DE-QING. The industrial test for improving iron ore pellets properties with adding of organic activated bentonite[J]. Sintering and Pelletizing, 2005, 30(4):13-16.
- [6] 杨大兵, 张一敏, 吴卫国, 等. 武钢金山店高品位球团矿制备研究[J]. 烧结球团, 2003, 28(3):12-15.
YANG DA-BING, ZHANG YI-MIN, WU WEI-GUO, et al. Study on preparation of high grade iron pellet using iron concentrate from Jinshandian iron mine[J]. Sintering and Pelletizing, 2003, 28(3):12-15.
- [7] 李朝晖. 论提高球团矿铁品位与经济效益[J]. 烧结球团, 1998, 23(6):10-13.
LI ZHAO-HUI. On increasing grade of pellets and comprehensive economic results[J]. Sintering and Pelletizing, 1998, 23(6):10-13.
- [8] 刘国防. 济(南)钢提高球团矿品位的实践[J]. 烧结球团, 2001, 26(6):37-38.
LIU GUO-FANG. Practice of increasing the pellet grade in JiGang[J]. Sintering and Pelletizing, 2001, 26(6):37-38.
- [9] 张永祥, 田发超, 张克诚, 等. 添加复合粘结剂[J]. 烧结球团, 2004, 29(5):9-11.
ZHANG YONG-XIANG, TIAN FA-CHAO, ZHANG KE-CHENG, et al. Pelletizing test of adding various complex binders[J]. Sintering and Pelletizing, 2004, 29(5):9-11.
- [10] 傅菊英, 朱德庆. 铁矿氧化球团基本原理、工艺及设备[M]. 长沙:中南大学出版社, 2004.
- [11] 肖琪. 团矿理论与实践[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1991.
- [12] 李宏煦, 王淀佐, 胡岳华, 等. 羧甲基淀粉钠提高球团强度的机理[J]. 中南工业大学学报:自然科学版, 2001, 32(4):351-354.
LI HONG-xu, WANG DIA-ZUO, HU YUE-HUA, et al. The mechanism of improving pellet strength by carboxyl methlated amyllum[J]. J CentSouth Univ Technol: Natural Science, 2001, 32(4):351-354.
- [13] KAWATRA S K, RIPKE S J. Developing and understanding the bentonite fiber bonding mechanism [J]. Minerals Engineering, 2001, 14(6):647-659.
- [14] KAWATRA S K, RIPKE S J. Laboratory studies for improving green-ball strength in bentonite-bonded magnetite concentrate pellets [J]. International Journal of Mineral Processing, 2003, 72(1/4):429-441.
- [15] KAWATRA S K, RIPKE S J. Effects of bentonite fiber formation in iron ore pelletization [J]. International Journal of Mineral Processing, 2002, 65(3/4):141-149.
- [16] HAAS, LARRY A. Effectiveness of organic binders for iron ore pelletization[R]. Report of Investigations - United States, Bureau of Mines, 1989, 92(30):1225-1230.
- [17] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社, 2002.
- [18] 朱德庆. 细磨精矿冷固成型机理及其在直接还原中的应用[M]. 长沙, 中南工业大学出版社, 1994.
- [19] 王昌安, 朱德庆. 润磨活化机理初探[J]. 钢铁研究, 2003(6):23-27.
WANG CHANG-AN, ZHU DE-QING. Study on the mechanism of activation of magnetite concentrate pre-treated by dam Pmill[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2003(6):23-27.
- [20] 叶绪喜, 陈海风. 膨润土的某些物理性能测试[M]. 长沙:烧结球团编辑部出版社, 1984.

(编辑 张小强)