

燃料分加对小球团烧结过程的影响

任志国 谢华 柳望沟^① 高彦^① 肖爱元^①

(冶金工业部钢铁研究总院,北京,100081) ①(首钢矿山公司)

摘要 在实验室研究了不同燃料分加量及不同燃料分加时间对烧结混合料造小球的影响。提出在首钢矿山公司原料条件下,燃料分加有有利于混合料造球的因素,也有不利于提高混合料原始透气性的因素。燃料分加小球团烧结必须注意混合料布料问题,否则会破坏烧结过程热制度。在适宜的布料条件下,燃料分加小球团烧结可提高烧结机利用系数,降低固体燃料消耗,提高烧结矿强度。

关键词 小球团烧结 燃料分加 布料

受首钢矿山公司烧结厂委托,冶金部钢铁研究总院承担了“首钢矿山公司烧结厂小球团烧结实验研究”任务。在钢铁研究总院、首钢矿山公司科研技术人员共同努力下,经过实验室实验,完成了小球团烧结实验,现将本实验的燃料分加部分作一介绍。

1 原料及实验条件

1.1 原料

实验用原料全部由首钢矿山公司提供,共6种,其化学成分见表1,粒度组成见表2、表3。

1.2 实验条件

圆筒造球实验及烧结杯实验在钢铁研究总院烧结实验室完成。所用烧结杯尺寸为Φ300 mm,料层高度500~700 mm,用Φ700 mm×1350 mm圆筒混合机造球,烧结实验的原料配比见表4。

表1 原料化学成分(质量分数)/%

原 料	TFe	FeO	CaO	SiO ₂	MgO	S	烧损
精矿粉	65.89	27.16	0.55	6.66	0.36	0.08	-2.2
土烧返矿	47.00	8.77	6.55	17.54	2.09	0.072	2.26
生石灰			65.30	4.39	5.33		21.30
石灰石			47.60	3.61	6.12		39.28
白云石			29.50	1.52	21.53		46.40
无烟煤灰			11.70	43.26	2.88		
无烟煤	灰份为25.16%	挥发份为5.64%		固定碳为69.20%			

表2 精矿粉粒度组成

粒度/mm	>0.5	0.5~0.149	0.149~0.105	0.105~0.074	0.074~0.044	<0.044
w/%	4.9	1.10	13.75	12.54	35.97	31.74

表3 辅料粒度组成/%

辅 料	>8 mm	8~5 mm	5~3 mm	3~1 mm	1~0.5 mm	<0.5 mm
石灰石			22.1	32.26	19.69	25.95
白云石	12.06	17.67	16.12	16	38.15	
无烟煤粉			31.12	24.40	44.48	
土返矿	1.32	18.06	15.96	29.62	9.91	25.13

表4 烧结实验原料配比/%

迁安精矿	土烧返矿	生石灰	石灰石	白云石	无烟煤粉
68.2	2.92	3.9	13.15	5.98	5.846

混合料中固定碳含量为3.17%,混合料水份为7%。混合料配料后加水,人工混匀,然后在混合机中造球6 min,造好球的混合料用人工装到烧结杯中进行烧结。

烧结条件:点火负压为7355 Pa;烧结负压为1176 Pa;冷却负压为7845 Pa;点火温度为1150 °C;点火时间为2 min。除特殊指明外,料层高度均为580 mm。

烧结过程中,从点火开始到风箱温度升到最高点后开始降温的这段时间为烧结时间,从

风箱废气温度开始降温那点开始到温度降到200℃, 这段时间为冷却时间。烧结饼从烧结杯中自动倒出后, 经单辊破碎机破碎到50mm以下, 然后进行筛分筛出小于5mm部分作返矿, 筛上部分装入落下实验机中, 从2m高处自动落下4次。在往复多层筛中筛出大于40mm, 40~25mm、25~16mm、16~10mm、10~5mm, 小于5mm粒级, 大于5mm各粒级作为成品矿, 小于5mm粒级作为返矿。

2 实验

2.1 燃料分加对造球的影响

燃料分加对混合料造球特性的影响及碳在混合料中分布规律以前研究得不多, 为此研究了燃料分加对混合料造球特性及透气性的影响规律。这部分实验的条件为: 燃料内加25%, 燃料外加75%, 燃料分加前造球时间分别为3, 4, 5, 6min, 分加后造球时间为3, 2, 1, 0min。实验结果见表5。

从表5可以看出, 在首钢矿山公司原料条件下, 燃料分加后烧结混合料原始透气性变差。燃料分加有利于混合料造球的一面, 如在分加前混合料是在较高的水份下造球, 有利于混合料成球长大; 燃料分加也有不利于造球的一面, 如煤粉的粒度较粗, 亲水性较差, 无烟煤本身成球性差, 燃料分加后煤粉粘在球的表面, 这

层煤粉阻止小球内部的水向外流, 不利于细矿粉粘在小球表面上, 妨碍小球进一步长大。从提高混合料透气性角度, 燃料应当晚些加, 但燃料加得太晚, 煤粉在小球表面粘得浅, 粘得少, 煤粉都集中在小颗粒混合料中。

作者曾对表5中各燃料分加条件下, 不同粒级烧结混合料中的固定碳含量作过化学分析, 从分析结果可以看出如下规律: 混合料粒级越小, 混合料中含碳量越高, 燃料分加时间越晚, 混合料中的碳越向小粒级偏析。在烧结机上, 混合料通过泥辊、反射板向烧结机台车上布料的过程中, 混合料中小粒级有向上偏析的现象。如燃料分加后燃料过份地向小粒级偏析, 小粒级又过多地向料层上部偏析, 势必造成上部热量过剩, 下部热量不够。为研究燃料分加方法及布料方法, 这次实验设计了一台布料小车。

布料小车上的斜面模拟烧结机台车上新形成料层端部的斜面, 其斜度与烧结混合料自然堆角接近。造好球的烧结混合料, 用盘子从布料小车的斜面顶端倒下, 混合料沿斜面向前推移, 从盘子中向下倒料的落点向前推移, 在布料小车上部形成一个平整的斜面。作烧结实验时, 从布料小车中从上到下依次分层取料, 装到烧结杯中的料要事先计算好, 装料时不能剩料。

表5中的3号实验混合料采用这种布料小车布料, 粒度偏析的效果见表6。

表5 燃料分加对烧结混合料造球特性的影响

实验号	燃料/%		分加前造球时间/min	分加后造球时间/min	混合料水分/%	混合料粒度组成/%					透气性指数JPU
	内加	外加				>10mm	10~8mm	8~5mm	5~3mm	<3mm	
1 基准	100	0	6	0	7.08	3.92	2.08	49.21	28.79	16.00	45.35
2 分加前	25	0	3	0	7.24	2.26	2	33.93	32.04	29.77	42.46
2 分加后	25	75	3	3	6.95	0.55	1.27	35.45	34.83	27.90	41.89
3 分加前	25	0	4	0	7.22	3.12	3.62	40.11	31.53	21.62	43.36
3 分加后	25	75	4	2	7.01	2.64	3.15	41.79	26.94	18.47	41.42
4 分加前	25	0	5	0	7.16	0.38	2.32	55.76	27.53	14.01	44.88
4 分加后	25	75	5	1	6.9	3.9	3.0	57.9	22.22	12.90	40.96

表6 布料小车中各层混合料粒度组成/%

距料面距离/mm	>10mm	10~8mm	8~5mm	5~3mm	<3mm
0~60	0.28	1.48	37.88	35.11	25.25
60~120	0	2.23	30.36	44.20	23.21
120~180	0.46	1.34	31.98	44.72	21.50
180~240	0.33	1.81	42.26	41.21	14.39
240~300	0.38	1.22	38.71	45.63	14.06
300~360	2.24	2.85	58.93	27.85	8.13
360~420	3.61	9.44	69.62	12.4	4.93
420~480	21.46	19.81	48.11	5.47	5.15

表6是在布料小车中从上到下每隔60 mm取一层料,各层料的粒度组成。

从表6可以看出,使用布料小车,烧结混合料的偏析效果是很好的。

2.2 烧结实验

我们用这种布料和烧结杯装料方式对不同燃料分加条件作烧结实验。烧结料层高度580 mm,实验条件、实验结果见表7、表8。

从表7、表8可以看出,与普通烧结方法

表7 不同燃料分加条件下布料小车偏析装料试验结果

实验号	实验条件	粒度组成/%					转鼓	耐磨指数 (≥6.3mm)/% (<0.5mm)
		>40mm	40~25mm	25~16mm	16~10mm	10~5mm		
15	3+3, 75	9.29	20.92	22.09	18.86	28.85	67.02	
16	4+2, 75	12.43	20.13	21.65	18.07	27.72	65.9	
17	5+1, 75	6.73	18.27	21.27	18.45	35.27	65.74	
35	4+2, 0	9.56	19.33	24.19	18.78	28.14	68.35	4.6
48	4+2, 25	7.63	21.28	23.08	20.97	27	67.64	4.4
19	4+2, 50	10.01	18.65	22.9	19.55	28.89	66.42	4.8
16	4+2, 75	12.43	20.13	21.65	18.07	27.72	65.9	
20	4+2, 100	7.00	19.48	23.05	17.89	32.58	66.3	5.0
22	4+2, 75	12.32	24.55	20.32	16.64	26.17	68.46	4.5

表中实验条件一栏,第一个数字代表燃料分加前的造球时间,第二个数字代表燃料分加后造球时间,第三个数字代表分加的燃料量占燃料总量的质量分数/%。本表最后一个实验(实验号22)为燃料分加后不偏析布料烧结实验。

表8 不同燃料条件,用布料小车偏析布料,烧结实验结果

实验号	计算利用系数/ (t·m ⁻² ·h ⁻¹)	烧结利用系数/ (t·m ⁻² ·h ⁻¹)	总利用系数/ (t·m ⁻² ·h ⁻¹)	成品率/%	固体燃料消耗/ (kg·t ⁻¹ ·s ⁻¹)	垂直烧结速度/ (mm·min ⁻¹)	冷却速度/ (mm·min ⁻¹)	总垂直烧结速度/ (mm·min ⁻¹)	返矿平衡
15	2.142	1.58	1.071	76.46	66.85	18.78	39.72	12.75	0.979
16	2.14	1.54	1.07	76.59	67.23	18.27	41.33	12.67	0.967
17	2.06	1.59	1.03	74.53	68.85	19.13	35.07	12.38	1.056
35	1.972	1.48	0.986	74.86	69.38	17.92	35.94	11.96	1.03
18	2	1.524	1.00	74.99	69.02	18.48	35.40	12.14	1.03
19	2	1.57	1.00	74.1	69.51	19.19	33.55	12.20	1.07
16	2.14	1.54	1.07	76.59	67.23	18.27	41.33	12.67	0.967
20	2.06	1.57	1.03	74.07	69.80	19.24	36.36	12.58	1.07
22	2.01	1.54	1.01	76.06	68.09	18.33	34.25	11.94	0.986

表中各实验条件见表7。表中烧结利用系数为:烧结矿产量/(烧结杯面积×烧结时间);烧结总利用系数为:烧结产量/[(烧结面积×(烧结时间+冷却时间))];计算利用系数为:烧结总利用系数×2;垂直烧结速度为:烧结杯料层厚度÷烧结时间;冷却速度为:烧结杯料层厚度÷冷却时间;总垂直烧结速度为:烧结杯料层厚度÷(烧结时间+冷却时间)。

表 9 基准条件及普通小球团烧结杯实验烧结指标:

实验号	计算利用系数/ ($t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	烧结利用系数/ ($t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	总利用系数/ ($t \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)	成品率/%	固体燃料消耗/ ($kg \cdot t^{-1} \cdot s^{-1}$)	转鼓强度 ($\geq 6.3mm$)/%	垂直烧结速度/ ($mm \cdot min^{-1}$)	总垂直烧结速度/ ($min \cdot min^{-1}$)	返矿平衡
44	1.96	1.50	0.981	75.88	68.01	68.5	17.55	11.51	10.02
36	1.672	1.287	0.836	74.72	69.57	67.9	15.19	9.87	1.04

(见表 9 中 36 号实验)及普通小球团烧结方法(见表 9 中 44 号实验)相比,外滚煤粉加偏析布料,垂直烧结速度加快,烧结利用系数增加,烧结矿强度降低,在总造球时间 6 min 条件下,外滚煤粉时间越长,烧结矿的强度越好, <10 mm 粒级含量越少。外滚煤粉时间对烧结利用系数影响不大。在造球时间 4 min, 外滚煤粉 2 min 条件下, 外配煤粉的比例从 0 增加到 100%, 随着外滚煤粉量的增加, 垂直烧结速度、燃料消耗、返矿量及烧结矿中 <10 mm 粒级增加, 烧结矿强度下降。

为研究燃料分加后对烧结工艺制度的影响, 设计了造球 4 min 后, 外加 75% 燃料再造球 2 min 这一工艺, 观察了在烧结混合料情况下, 烧结矿各料层的温度及组织结构情况。烧结杯料层高度为 700 mm(包括 20 mm 铺底料), 混合料 100% 偏析布料, 在距料层表面 150 mm、300 mm 和 600 mm 处设热电偶测温, 测温曲线见图 1。从图 1 看出, 距料层表面 150 mm 处

温度超过 1300 ℃, 而且高温维持时间短, 距料层表面 300 mm 处料层温度达到 1450 ℃, 而距料层表面 600 mm 处料层温度只有 990 ℃。观察烧结矿各层结构发现, 表层为粘到一起的疏松烧结矿, 这种烧结矿强度很差, 而且放几天之后大部分自然粉化; 中间部分为过烧粘到一起十分致密的烧结矿; 料层下部为未结块的大粒红色球团。

从上到下, 每 100 mm 烧结饼取一个样, 对每层样化验 FeO, 结果见表 10。

表 10 燃料外加 75%、100% 偏析布料时烧结饼中各层烧结矿 FeO 含量

距料面距离/ mm	0~ 100	100~ 200	200~ 300	300~ 400	400~ 500	500~ 600
w(FeO)/%	6.35	12.47	17.69	10.48	5.26	4.15

如果烧结布料时粒度过于偏析, 会造成料层上部碳含量过高, 导致上部烧结温度过高, 而下部碳含量过低, 使得烧结温度过低, 烧结混合料粘不到一起。对于燃料分加烧结工艺, 研究混合料的布料是一个不容忽视的重要问题。为此设计了另一种布料方法, 即分出一定比例的料在布料小车上形成粒度偏析, 然后从上到下按顺序分层取料装盘, 另一部分没偏析的料按比例分别加入每一个盘子中与已经偏析的料混合, 再按顺序装入烧结杯中。经过实验摸索认为: 煤粉内配 25%, 外配 75%, 造球 4 min 后外加煤粉再造球 2 min 制得的混合料, 用 50% 偏析料与 50% 未经偏析的料混合, 烧结效果较好。为寻求燃料分加后, 最佳的烧结工艺条件, 设计如下一组烧结实验, 实验条件见表 11, 实验结果见表 12、表 13。

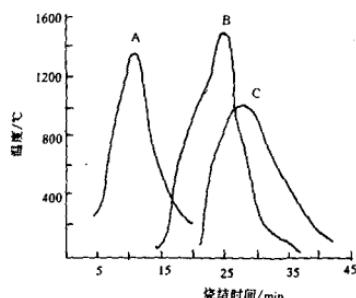


图 1 燃料外加 75%、100% 偏析布料的不同料层测温曲线
A——距料面 150 mm; B——距料面 300 mm; C——距料面 600 mm

表 11 烧结实验条件

编号	烧结负压/ kPa	混合料固定碳含量/ %	料层高度/ mm
23	11.76	3.177	580
31	11.76	2.95	580
40	9.8	3.056	580
50	11.76	3.06	700

按表 11 中 23 号实验条件作烧结实验, 烧出的烧结矿从宏观上看比普通小球团烧结温度高, 这说明燃料分加后燃料的热利用率提高了。按 31 号实验条件烧出的烧结矿, 从宏观上看温度不算太低, 但烧结矿强度低了些。综合 23、31 号实验结果看出, 燃料分加后烧结速度加快不利于提高烧结矿强度。而按 40 号实验条件

表 12 75% 燃料分加, 50% 偏析布料条件下, 烧结矿粒度组成及转鼓强度

实验号	>40mm	40~25mm	25~16mm	16~10mm	10~5mm	转鼓指数($\geq 6.3\text{mm}$)/%	耐磨指数($<0.5\text{mm}$)
23	11.75	25.18	19.88	16.08	27.12	68.18	4.2
31	12.44	25.77	19.41	15.18	27.18	67.22	4.5
40	9.92	21.29	22.92	15.47	30.39	71.28	4.2
50	8.88	27.75	22.94	19.08	21.34	71.05	4.2

表 13 75% 燃料分加, 50% 偏析布料条件下烧结杯实验烧结指标

实验号	计算利用系数/ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	烧结利用系数/ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	总利用系数/ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	成品率/ %	固体燃料消耗/ ($\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)	垂直烧结速度/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	冷却速度/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	总垂直烧结速度/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	返矿平衡
23	2.06	1.64	1.03	76.75	67.05	19.16	32.13	12.00	0.964
31	2.16	1.59	1.084	76.87	62.14	18.54	39.63	12.63	0.957
40	1.97	1.57	0.987	74.81	66.35	18.86	31.84	11.85	1.08
50	2.06	1.53	1.03	77.31	64.65	17.82	37.04	12.03	0.956

烧出的烧结矿强度明显提高, ISO 转鼓强度达到 71.28%, 烧结机利用系数达到 1.97 $\text{t}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 烧结矿固体燃料消耗降到 66.35 $\text{kg}/(\text{t}\cdot\text{s})$ 。燃料分加后, 混合料中燃料燃烧条件改善了, 垂直烧结速度增加, 为提高烧结料层高度提供了条件。在造小球燃料分加条件下, 50 号实验烧结料层从 580 mm 提高到 700 mm, 烧结指标明显改善, 烧结机利用系数达到 2.06 $\text{t}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$; 烧结矿转鼓强度达到 71.05%; 烧结矿固体燃料消耗降到 64.65 $\text{kg}/(\text{t}\cdot\text{s})$; 烧结矿中 $< 10\text{mm}$ 粒级为 21.34%, 远低于其它实验条件; 烧结各项指标均优于其它普通烧结和普通小球团烧结。

为进一步研究燃料分加对烧结工艺制度的影响, 观察了造球 4 min 后, 外加 75% 燃料, 再造球 2 min 这一工艺条件下, 经 50% 偏析布料

的烧结矿各料层温度分布及结构。烧结杯料层高度为 700 mm(包括 20 mm 铺底料), 料层测温曲线见图 2。从图 2 看出, 距料面 150 mm 处温度为 1260 °C, 在距料层表面 300 mm 处温度为 1290 °C, 而距料层表面 600 mm 处温度为

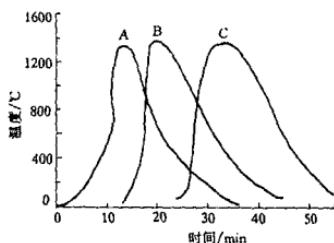


图 2 燃料外加 75%、50% 偏析布料时不同料层测温曲线
A—距料面 150 mm; B—距料面 300 mm; C—距料面 600 mm

1 280 ℃。烧结过程中料层上下温度较均匀。

对烧结矿进行解剖观察到, 表层约 50 mm 左右, 为较疏松的烧结矿, 往下为厚壁小孔结构的烧结矿, 从料层上部到下部略有变得致密的趋势, 但变化不大。烧结矿各层 FeO 变化见表 14。

表 14 燃料 75% 分加, 50% 偏析布料时各层烧结矿

FeO 含量		0~	100~	200~	300~	400~	500~
距料面距离 / mm	w(FeO) / %	100	200	300	400	500	600
	w(FeO) / %	8.51	9.66	7.38	7.65	7.13	8.57

表 14 中, 表层烧结矿 FeO 偏高, 可能是料层高温停留时间短, 铁矿氧化不充分所致。

从以上实验可以看出, 如燃料分加量及时问、偏析布料程度、料层高度适当, 不仅可以改善燃料的燃烧条件, 提高燃料利用率, 还可以有

效地控制料层温度, 使料层温度均匀, 从而获得上、下质量一致的烧结矿。这对节省点火能耗, 提高烧结矿产量, 提高烧结矿强度很有好处。

3 结 论

(1) 在首钢原料的具体情况下, 采用燃料分加工艺一般要降低混合料的原始透气性, 但燃料分加后, 垂直烧结速度加快。

(2) 采用燃料分加工艺必须注意燃料分加量, 分加时间和混合料在台车上的布料方式, 否则因燃料的过度偏析会破坏烧结过程热制度, 降低烧结机的产量和烧结矿质量。

(3) 如采用合适的燃料分加量、分加时间及混合料布料方式, 并将烧结料层高度提高到 700 mm, 烧结机利用系数, 烧结矿固体燃料消耗, 烧结矿 ISO 转鼓强度, 烧结矿中 < 10 mm 粒级含量均优于燃料全部内配的小球团烧结。