

铁矿氧化球团 基本原理、工艺及设备

傅菊英 朱德庆 编著



中南大学出版社

装帧设计 易红卫



ISBN 7-81105-051-X



9 787811 050516 >

ISBN 7-81105-051-X/TF·001

定价: 30.00 元

铁矿氧化球团 基本原理、工艺及设备

傅菊英 朱德庆 编著

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

铁矿氧化球团基本原理、工艺及设备/傅菊英,朱德庆编著.
—长沙:中南大学出版社,2005.4
ISBN 7-81105-051-X

I. 铁... II. ①傅...②朱... III. 铁矿物—氧化—球团
IV. TF5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 035542 号

铁矿氧化球团基本原理、工艺及设备

傅菊英 朱德庆 编著

☐责任编辑 刘石年

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 中南大学湘雅印刷厂

☐开 本 850×1168 1/32 ☐印张 12.75 ☐字数 318 千字

☐版 次 2005 年 4 月第 1 版 ☐2005 年 7 月第 2 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81105-051-X/TF·001

☐定 价 30.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

随着现代高炉炼铁技术的进步,球团矿因其含铁品位高、渣量低、机械强度高、还原性好等优点,与高碱度烧结矿搭配使用,是一种广为接受的理想的高炉炉料。我国《2000-2005年冶金科技发展指南》明确提出:“应建立球团生产用料商品基地,增加氧化球团生产能力,解决直接还原球团用料问题。”因此,近五年来氧化球团矿生产得到了飞速发展,到2003年底,我国已形成年产3 000万t球团的生产能力,尤其链篦机-回转窑法球团矿产量迅速增加。为了适应球团生产规模及多种球团生产工艺的发展,应广大高等院校、科研院所及球团生产企业的要求,我们组织编写了《铁矿氧化球团基本原理、工艺及设备》,供从事球团生产管理干部、技术人员及球团生产人员阅读和参考,同时也可供从事球团直接还原的技术人员及从事球团技术培训人员阅读及参考。

本书共分10章,全面系统地论述了球团理论、工艺及设备。主要内容为:绪论;球团原料性能、技术要求及原料性能检测方法;球团原料准备;配料及混匀;造球理论与工艺,造球机的结构、工作原理、使用及维护;生球干燥机理、影响因素及爆裂温度测定方法;球团焙烧固结基本原理,球团矿矿物组成及显微结构,球团矿还原时的膨胀及抑制措施;球团焙烧设备结构、原理及维护,球团生产工艺热平衡计算;球团矿的质量标准及检测方法;除尘与环保等。

本书是在作者多年从事教学、科研及生产实践的基础上整理

编写而成。第1、2章、第5、6章由朱德庆编写；第3、4章、第7、8、9章由傅菊英编写；第十章由潘建编写。

本书的出版得到了“高等学校青年教师教学科研奖励基金”的资助；本书在编写过程中还得到了攀成钢、鞍钢及山东瑞拓球团工程总公司等单位的大力支持；此外，李建、何奥平等参与了资料整理、图表扫描等工作，在此表示感谢！

由于我们水平有限，编写时间紧，难免存在不足之处，欢迎读者批评指正。

编著者

2004年12月8日

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 球团法的基本概念	(1)
1.2 球团矿在钢铁生产中的地位和作用	(2)
1.2.1 高炉冶炼对原料的要求	(2)
1.2.2 球团矿在钢铁生产中的作用	(4)
1.2.3 合理的高炉炉料结构的需求	(6)
1.3 铁矿球团法发展概况	(7)
1.3.1 国内外球团法发展历程	(7)
1.3.2 世界球团矿生产现状	(13)
1.4 国内外球团厂主要技术经济指标	(16)
1.4.1 球团厂主要技术经济指标计算	(16)
1.4.2 国内外球团厂主要技术经济指标比较	(17)
2 原料性能及技术要求	(30)
2.1 对进厂原料的质量要求	(30)
2.1.1 对含铁原料的质量要求	(30)
2.1.2 对粘结剂的质量要求	(31)
2.1.3 对熔剂的质量要求	(32)
2.1.4 对燃料的质量要求	(33)
2.2 含铁矿石	(35)
2.2.1 磁铁矿	(35)
2.2.2 赤铁矿	(36)
2.2.3 褐铁矿	(37)
2.2.4 风化矿	(37)
2.2.5 菱铁矿	(38)

2.3	球团粘结剂	(43)
2.3.1	膨润土	(43)
2.3.2	佩利多	(45)
2.4	添加剂	(45)
2.4.1	碱性添加剂	(45)
2.4.2	其他添加剂	(48)
2.5	燃料	(48)
2.5.1	气体燃料	(48)
2.5.2	液体燃料	(53)
2.5.3	固体燃料	(56)
2.6	原料性能测定方法	(56)
2.6.1	原料粒度测定方法	(56)
2.6.2	膨润土物理性能测定	(57)
2.6.3	成球性指数 K 的测定	(59)
2.6.4	物料比表面积测定	(61)
3	球团原料准备	(69)
3.1	球团生产对铁精矿物理化学性能要求	(69)
3.2	球团生产用铁精矿水分的控制	(70)
3.2.1	控制铁精矿水分的措施	(71)
3.2.2	圆筒干燥机脱水工艺	(72)
3.3	球团生产用铁精矿粒度的控制	(76)
3.3.1	磨矿工艺	(76)
3.3.2	润磨工艺	(78)
3.3.3	高压辊磨工艺	(85)
3.4	铁精矿中和	(89)
3.5	膨润土提纯及钠化改型	(89)
3.5.1	干法加工流程	(90)
3.5.2	湿法加工流程	(90)

3.5.3	人工钠化改型流程	(91)
4	配料与混匀	(95)
4.1	配 料	(95)
4.1.1	配料方法	(95)
4.1.2	给料设备	(97)
4.2	混 匀	(105)
4.2.1	混匀工艺	(105)
4.2.2	混匀设备	(106)
5	造球理论基础与设备	(110)
5.1	水分在细磨物料中的形态及其作用	(110)
5.1.1	矿粒表面各种水的特性及其作用	(110)
5.1.2	细磨矿粒与水的连接	(115)
5.2	细磨物料的成球机理	(119)
5.2.1	主要连接力	(119)
5.2.2	细磨物料在成球过程中的行为	(119)
5.3	细磨物料的成球过程	(122)
5.3.1	造球过程的三个阶段	(123)
5.3.2	细磨物料成球动力学	(126)
5.4	造球机的结构及工作原理	(133)
5.4.1	造球机种类	(133)
5.4.2	圆盘造球机的结构	(136)
5.4.3	圆盘造球机的工作原理	(146)
5.4.4	圆盘造球机的参数	(153)
5.4.5	圆盘造球机生产能力的计算	(157)
5.4.6	圆盘造球机驱动功率的计算	(159)
5.5	圆盘造球机的使用与维护	(161)
5.5.1	使用中存在的问题	(161)
5.5.2	圆盘造球机的操作	(165)

5.6	生球性能及其检测方法	(173)
5.6.1	生球性能要求	(173)
5.6.2	生球性能检测方法	(174)
6	生球干燥	(176)
6.1	生球的干燥机理	(176)
6.1.1	表面汽化控制	(177)
6.1.2	内部扩散控制	(177)
6.1.3	干燥速度	(178)
6.2	干燥过程中生球的行为	(181)
6.2.1	干燥过程生球强度的变化	(181)
6.2.2	生球干燥过程中发生爆裂的原因	(183)
6.2.3	提高生球爆裂温度的途径	(184)
6.3	影响生球干燥的因素	(185)
6.3.1	干燥介质的影响	(185)
6.3.2	生球性质对干燥过程的影响	(187)
6.3.3	球层高度对干燥过程的影响	(188)
6.3.4	粘结剂对干燥过程的影响	(189)
6.4	生球爆裂温度要求及测定方法	(192)
7	球团焙烧固结基本理论	(195)
7.1	球团焙烧过程概述	(195)
7.2	球团中磁铁矿氧化及脱硫	(196)
7.2.1	球团中磁铁矿氧化的意义	(196)
7.2.2	磁铁矿氧化机理	(197)
7.2.3	球团中硫的脱除	(201)
7.3	球团固结机理	(201)
7.3.1	固相扩散反应及其机理	(202)
7.3.2	液相固结	(207)
7.4	球团矿固结类型	(208)

7.4.1	Fe_2O_3 微晶连接	(208)
7.4.2	Fe_2O_3 再结晶	(209)
7.4.3	Fe_3O_4 再结晶	(210)
7.4.4	液相粘结	(211)
7.5	球团矿的矿物组成和显微结构	(213)
7.5.1	酸性球团矿矿物组成及显微结构	(213)
7.5.2	熔剂性球团矿矿物组成及显微结构	(215)
7.6	影响铁精矿球团矿焙烧的因素	(216)
7.6.1	焙烧温度的影响	(216)
7.6.2	加热速度的影响	(219)
7.6.3	高温保持时间的影响	(220)
7.6.4	焙烧气氛的影响	(221)
7.6.5	燃料燃烧的影响	(222)
7.6.6	精矿中硫的影响	(222)
7.6.7	冷却制度的影响	(223)
7.6.8	生球粒度的影响	(225)
7.7	球团矿还原时的膨胀	(227)
7.7.1	概 述	(227)
7.7.2	球团矿还原时膨胀的原因	(228)
7.7.3	抑制球团矿还原膨胀的措施	(232)
8	球团焙烧工艺设备及热平衡	(234)
8.1	概 述	(234)
8.1.1	对原料的适应性	(235)
8.1.2	各种焙烧设备的单机生产能力	(235)
8.1.3	产品质量	(235)
8.2	竖炉焙烧球团矿	(236)
8.2.1	竖炉焙烧球团工艺	(240)
8.2.2	竖炉物料平衡及热平衡计算	(245)

8.2.3	竖炉设备	(251)
8.2.4	竖炉生产操作	(264)
8.3	带式焙烧机焙烧球团矿	(273)
8.3.1	鲁尔基 - 德腊伏型带式焙烧机法	(274)
8.3.2	带式焙烧机焙烧工艺	(279)
8.3.3	带式焙烧机热平衡	(281)
8.3.4	带式焙烧机主要设备及结构	(289)
8.4	链篦机 - 回转窑焙烧球团矿	(293)
8.4.1	链篦机 - 回转窑工艺过程及其参数	(293)
8.4.2	链篦机 - 回转窑主要设备结构	(303)
8.4.3	回转窑的维护与操作	(312)
9	球团矿的质量标准与检测方法	(318)
9.1	球团矿的质量标准	(318)
9.2	球团矿物理性能检验方法	(318)
9.2.1	抗压强度	(318)
9.2.2	转鼓强度	(320)
9.2.3	筛分指数	(323)
9.3	球团矿冶金性能的测定	(323)
9.3.1	球团矿还原性的测定	(323)
9.3.2	球团矿低温还原粉化性能的测定	(328)
9.3.3	球团矿相对自由膨胀率的测定	(331)
9.3.4	球团矿还原软化 - 熔融特性的测定	(336)
10	除尘与环保	(342)
10.1	概 述	(342)
10.1.1	除尘和烟气脱硫的作用	(342)
10.1.2	除尘及烟气脱硫工艺技术分类	(343)
10.2	除尘设备的选择与评价	(344)
10.2.1	除尘设备选择和计算的原始数据	(344)

10.2.2 除尘设备的评价方法	(347)
10.3 电除尘器	(352)
10.3.1 电除尘器的工作原理	(352)
10.3.2 电除尘器的构造	(354)
10.3.3 电除尘器的主要影响因素	(357)
10.3.4 提高电除尘器效率的措施	(365)
10.4 机械除尘	(367)
10.4.1 重力沉降室	(367)
10.4.2 惯性除尘器	(369)
10.4.3 旋风除尘器	(371)
10.5 湿式除尘器	(374)
10.5.1 喷淋填料洗涤器	(375)
10.5.2 泡沫洗涤器	(376)
10.5.3 文丘里除尘器	(377)
10.5.4 洗浴式除尘器	(378)
10.6 过滤式除尘器	(380)
10.6.1 充填层过滤除尘器	(380)
10.6.2 袋式除尘器	(381)
10.7 烟气中 SO_2 的脱除与利用	(383)
10.7.1 氢氧化钠或亚硫酸钠水溶液吸收法	(384)
10.7.2 石灰石乳或石灰乳吸收法	(387)
10.7.3 氨水吸收法	(388)
10.7.4 氢氧化镁吸收法	(392)
10.7.5 亚硫酸镁 - 亚硫酸钙混合浆液吸收法	(392)
10.7.6 碱式硫酸铝水溶液吸收法	(393)
10.7.7 氧化吸收法	(394)
10.7.8 干式脱硫法	(395)
参考文献	(396)

1 绪论

1.1 球团法的基本概念

随着高炉日益大型化、现代化,对入炉炉料提出的要求越来越高,高炉合理炉料结构越来越受重视,在对铁矿粉烧结工艺不断完善和发展的同时,对另一种为高炉提供“精料”的造块方法——球团法也日益引起重视。

球团法是将细磨精矿制成能满足冶炼要求的块状物料的一个加工过程。其过程为:将准备好的原料(细磨精矿或其他细磨粉状物料,添加剂或粘结剂等),按一定的比例经过配料、混匀,在造球机上经滚动而制成一定尺寸的生球,然后采用干燥和焙烧或其他方法使其发生一系列的物理化学变化而硬化团结。这一过程就叫做球团过程,这种方法称为球团法。它所得到的产品称之为球团矿。

在球团矿制备过程中,物料不仅由于粒子密集而发生物理性质(密度、孔隙度、形状、大小和机械强度等)上的变化,而且也发生了化学和物理化学性质(化学成分、还原性、还原膨胀性、低温还原粉化性能、高温还原软化性能、熔滴性能等)上的变化,从而使物料的冶金性能得到改善。

根据球团矿固结温度和气氛的差异,球团法所得产品可分为氧化球团矿、冷固球团矿、金属化球团矿等。按照球团矿的碱度一般分为酸性球团矿和熔剂性球团矿。酸性球团矿与熔剂性球团矿相比,前者在生产上不会引起操作上的困难,而且其品位高、

强度也好，便于长途运输；同时又由于大多数烧结厂生产高碱度烧结矿，需要酸性球团矿配合使用以满足高炉冶炼的要求，所以，目前世界各国仍以生产酸性球团矿为主。球团矿是一种高效的造块方法，球团法无论是在高炉、转炉或电炉中都能使用。

目前铁矿球团法和烧结法一样，已经成为人造富矿的主要方法之一，得到了广泛应用。铁矿氧化球团矿，主要采用竖炉法、带式焙烧机法、链篦机-回转窑法三种工艺生产。最近，中南大学烧结球团研究所又成功开发出“酸性球团矿烧结机焙烧新工艺”。本书主要介绍铁矿氧化球团矿的基本原理、工艺过程及相关的设备。

1.2 球团矿在钢铁生产中的地位和作用

1.2.1 高炉冶炼对原料的要求

众所周知，要使高炉冶炼获得最佳的技术经济指标，就要求入炉原料能很好地满足高炉冶炼的要求。根据高炉生产的理论和实践，对入炉原料的基本要求有如下几点：

1) 品位高、杂质少、化学成分稳定

入炉原料品位高、脉石少，冶炼时渣量减少，炉料在高炉中下降就顺利，炉渣带出的热量也就少，这就有利于提高产量，降低焦比。生产实践证明，高炉入炉原料含铁品位每增加1%，焦比降低2%，产量提高3%。

入炉原料中的有害杂质（硫、磷、锌、铅、铜、砷等）在高炉冶炼时有的进入生铁中，会影响生铁的质量，影响钢的性能；有的转入到炉渣中；有的变成蒸气挥发，均会使高炉设备受到破坏或结瘤而影响生产。

入炉原料的化学成分波动大，将会引起高炉炉况不顺，增加

燃料消耗,影响产量。生产证明,铁品位波动由1%降到0.5%时,焦比可降低1%,产量可提高2%,碱度波动从 ± 0.05 降低到 ± 0.025 时,产量提高0.5%,焦比降低0.3%。

2) 强度好、粉末少、粒度均匀

入炉原料强度不好,粉末(一般指小于5 mm)就多。在高炉冶炼时,粉末除以炉尘的方式被吹出造成大量损失外,还会造成炉内料柱的局部堵塞,透气性变坏,煤气不能均匀地通过炉子的横截面,致使冶炼过程失常,从而降低高炉的生产率。特别是冶炼风压提高时,这个问题更为严重。入炉原料的粒度也不能过大(一般指大于50 mm)。粒度过大,冶炼时还原困难,焦比就会增加。某厂生产表明,入炉矿中小于5 mm的粉末每减少10%,可使高炉增产6%~8%;6~50 mm粒级含量每增加10%,焦比可降低1.8%。

3) 易还原、低温还原粉化少、高温性能好

入炉原料还原性的好坏直接影响到高炉中的还原和造渣过程。入炉原料的还原性越好,在高炉中的间接还原率就越高,高炉中吸热较多的直接还原反应就越少。这样就可以提高产量,降低焦比。若原料的还原性差,在炉内易进入成渣带,初渣中的氧化亚铁就会增多,当达到某一值时,初渣就渐趋粘稠,导致炉况不顺,影响高炉的产量。一般认为,入炉原料的还原度提高10%,焦比可降低8%~9%。入炉原料中氧化亚铁含量降低1%,焦比降低1%。

入炉原料在低温还原的条件下,往往会出现粉化现象。若粉化程度达到某一值时,就会影响高炉内块状带的透气性,致使高炉技术经济指标变差。如在高炉中因粉化使小于5 mm的粉末增加1%,则每吨生铁需要增加4~7 kg焦炭,所以要求入炉原料的低温还原粉化程度低。

入炉原料的高温性能,通常是指温度在1 000℃以上的还原

性，荷重软化和熔融滴落等性能。如入炉原料在高温下还原时，若发生较大程度的还原停滞现象，就会使还原速度大幅度降低；若开始软化温度较低，软熔温度区间较宽，就会增加高炉中软熔带的透气性阻力，恶化块状带分配煤气流的机能，对炉内的还原过程、炉缸温度和高炉内的透气性都有较大的影响；若熔融滴落温度较低，炉缸就不能保证充足的热量，影响炉缸的热制度。所以，入炉原料的高温性能，对改善高炉冶炼是很重要的。

综上所述可见，只有保证入炉原料符合上面所讲的几点要求，才能使高炉冶炼实现高产、优质和低耗。

1.2.2 球团矿在钢铁生产中的作用

长期的生产实践证明，球团矿是一种理想的高炉精料，主要表现在：

1) 球团矿铁品位高、有害元素少，能提高冶炼产品质量和保护冶炼设备

众所周知，贫铁矿要提高铁品位必须经过选矿，但选出的精矿粒度细，不能直接入炉。所以，必须制成球团矿，以改善入炉原料的粒度组成，满足高炉要求。

对于某些含有大量二氧化碳或结晶水的矿石，直接入炉冶炼是不经济的，若将其破碎、磨细、分选后加工成球团矿，可除去挥发成分，提高入炉原料品位，减轻了冶炼过程的“负担”。

铁矿石中常含有硫、磷、砷以及铜、铅、锌等元素，当这些元素超过某一值时，直接入炉冶炼对钢铁的质量有很大的影响，对冶炼设备也有很大的破坏作用，如硫使钢具有“热脆”性、强度低，轧制时就容易产生裂纹，影响钢材的质量，是最为有害的成分。又如磷会使钢具有“冷脆”性，砷会降低钢的焊接性能。而铅、锌对炉体有破坏作用等。所以，对高炉冶炼来说，就希望入炉原料中这些有害元素愈少愈好。