

炼铁原料准备技术的新发展及 对“八五”的建议

周取定

(北京科技大学)

本文综述炼铁原料准备技术的新发展,对我国适用的新技术从理论上及生产工艺上加以详细的阐述与讨论,最后对我国“八五”炼铁原料准备技术的研究提出建议。

NEW DEVELOPMENT OF MATERIAL PREPARATION TECHNIQUES FOR IRONMAKING AND RESEARCH PROJECT PROPOSAL TO THE 8th FIVE-YEAR PLAN

Zhou Quding

(University of Science & Technology Beijing)

This paper comprehensively reports the new development of material preparation techniques for ironmaking. New techniques possibly used in China are elucidated and discussed in detail from theoretical and practical aspects. Finally, the technical research projects for the 8th five-year plan are proposed.

1. 前言

目前国外先进高炉所使用的烧结矿向高还原度、低氧化铁方向发展。其烧结矿的质量为 TFe 57~58%, FeO 4~5%, $R=1.7\sim 1.8$, TI (ISO >6.3 mm)% $>70\%$, RI (ISO 180 min) $>70\%$, RDI (ISO <3.15 mm) $<35\%$; 高炉炉料结构趋向合理化; 在保证炉料高机械强度的前提下控制烧结矿的低温还原粉化率; 努力开发烧结新工艺, 以满足日益细化的原料条件。这些原料准备技术的新发展对我国发展钢铁生产是十分有利的, 但这些新技术都有一定的应用范围。本论文重点对新发展的工艺技术进行理论分析, 对其应用的条件进行讨论。

2. 高还原性、低氧化铁烧结矿的生产

工艺

日本福山钢铁厂1976年入炉烧结矿的 FeO 为 7.8~8.2%, 但到1981年烧结矿的 FeO 降到 4~5%, 德国施韦尔根厂1980年烧结矿 FeO 为 6.18%, 1986年降到 4.28%。 FeO 降低, 烧结矿的还原性明显提高, 焦比降低。实现低氧化铁烧结矿的重要技术措施是在烧结生产上创造条件实现低温烧结工艺。

2.1 理论基础

(1) 大量的研究表明烧结矿的机械强度 (SI) 与烧结矿的矿物组成的平均强度 (S_0) 及气孔率 (p') 有关。日本小仓 3 号烧结机生产的烧结矿统计获得以下关系^[1]

$$SI = 4.13S_0(1-p')^2$$

(2) 烧结矿的还原性主要取决于烧结

中各矿物组成的还原性(R_i),据大量的生产统计,各烧结矿的还原度(R)可由下式表示^[2]

$$R = [R_1, R_2, R_3, \dots, R_n] \left(\sum_{i=1}^n S_i \right) = 1.0$$

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ 为各矿物组成的含量, %。

(3) 对烧结矿中各种粘结相的矿物组成的实测表明,铁酸钙具有良好的还原性,同时具有较高的机械强度,钙铁橄榄石具有中等的还原性及机械强度,铁橄榄石具有中等机械强度但还原性最差。此外从显微结构来评价,低温型的纤细状铁酸钙及赤铁矿比高温型的柱状铁酸钙及次生赤铁矿的还原性要高许多。因此,发展低温型纤细状铁酸钙为主要粘结相的生产工艺是获得高还原性、低氧化铁、高强度烧结矿的主要工艺技术。

2.2 纤细状铁酸钙生成的条件

(1) 温度 1250~1280 °C 较为发展,当 1100~1200 °C 时,出现 10~20 % CF (CaO, Fe_2O_3),但晶粒间尚未连接,所以强度较差;1200~1250 °C 时,有 20~30 % CF 生成,晶桥连接,有针状交织结构出现,强度较好;1250~1280 °C 时,有 30~40 % CF 生成,呈交织结构,强度最好;1280~1300 °C 时,只有 10~30 % CF,结构由针状变为柱状,强度上升但还原性变坏。

(2) 碱度 提高碱度,CF 生成量增加,但超过 1.8~2.0 以后出现 C_2F ($2CaO, Fe_2O_3$),还原性开始下降。

(3) Al_2O_3 促使 CF 生成, SiO_2 有利纤细状 CF 生成。控制烧结矿中 Al_2O_3/SiO_2 有助于纤细状 CF 生成,此种 CF 叫复合铁酸钙,亦称 SFC A。

2.3 实现低温烧结工艺的生产措施

(1) 加强原料准备 首先要对烧结用的原料进行整粒。富矿 < 8 mm, > 90 %, 焦粉 < 3 mm, > 85 %, 其中 < 0.125 mm, < 20 %, 灰石 < 3 mm, > 90 %; 要求实现原料中和混匀,达到成分稳定均匀。

(2) 强化混合料制粒 配加足够的生石灰或消石灰及成核颗粒。加强制粒作业,料层要提高到 400 mm 以上。

(3) 生产高碱度烧结矿 碱度以 1.8~2.0 为宜,使 SFC A 生成量达到 30~40 % 以上。

(4) 调整烧结矿化学成分 尽可能降低混合料中 FeO 的含量, $Al_2O_3/SiO_2 = 0.10 \sim 0.35$, 最佳值由具体条件而定。

(5) 降低点火温度 一般以 1050~1150 °C 为宜,点火时间以烧结表面呈黑灰色无过熔为宜。

(6) 低水低碳高料层作业 烧结温度曲线由熔化型转变为低温型,烧结最高温度控制在 1250~1280 °C 左右,1100 °C 以上高温保持时间在 5 min 以上。

以磁铁精矿为主的低温烧结生产实践证明,天津铁厂烧结矿的 FeO 自 10.5 % 下降到 8.2 %, 转鼓强度没有改变,还原度由 69.2 % 提高到 81.65 %, 高炉使用此种烧结矿焦比降低 13.5 kg, 利用系数上升 9.3 %^[3]。

高炉工作者常常担心烧结矿 FeO 的含量降低会对机械强度不利。实际上只要实现低温烧结工艺所必需的条件,就可获得高还原性、低氧化铁、高强度的烧结矿。

3. 高炉炉料结构合理化

日本高炉炉料结构都是以高碱度烧结矿为主配加小部分澳矿及酸性球团矿,其焦比低,系数高。西欧高炉则以高碱度烧结矿为主配加酸性橄榄石球团矿。由于原料条件不同,人造富矿生产历史的不同,世界各国高炉炉料结构不尽相同。我国生产的铁精矿粒度一般较粗,烧结装备及生产能力已占绝对

优势。这决定了我国高炉的炉料结构以烧结矿为主，但是配加何种酸性炉料，烧结矿的碱度如何选择仍值得研究与讨论，这是高炉炉料结构合理化中必需解决的问题，也是各钢铁企业制订炼铁原料发展规划前所必需解决的问题。

3.1 理论基础

对烧结矿矿物组成的分析及冶金性能测试可以获得以下结论。

(1) 高碱度烧结矿其机械强度高，粒度组成合理，还原性好，*RDI* 较低，软熔温度较高，并具有一定的储存能力。

(2) 酸性球团矿的品位高，机械强度高，粉末少，中温还原性好，能运输及储存。近年来由于配加橄榄石及蛇纹石使其 MgO 的含量提高，高温 ($1250\text{ }^{\circ}\text{C}$) 还原性、软熔温度都有所提高，因而与高碱度烧结矿组成综合炉料结构取得了良好的冶炼效果。

(3) 酸性烧结矿由于其主要粘结相为铁橄榄石，其还原性最差，软熔温度低，因而很少被采用。

(4) 天然矿可以满足综合炉料中平衡碱度的需要，有加工处理简单、耐储存的优点。但它是生料，各地来矿成分不太稳定，有些天然矿易爆烈，还含有有害元素，因而不是最佳的炉料。

图 1 列出德国矿石准备研究所对高炉所有入炉原料的冶金性能进行检验，并与高炉生产效果进行对比^[4]，说明了以上结论的正确性。

3.2 综合炉料结构中炉料碱度与配比的确定^[5]

(1) 烧结矿与球团矿配比已定，求合理的碱度。现以杭钢原料条件为例，制成三组不同碱度的炉料，在模拟高炉冶炼条件的熔滴炉进行试验，以收缩率及压差陡升温度作为评价指标。图 2 为其试验结果。试验表明，烧结矿碱度 1.87，酸性球团矿碱度 0.56 为最佳碱度。

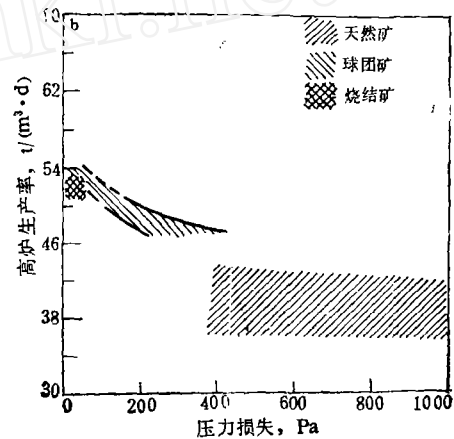
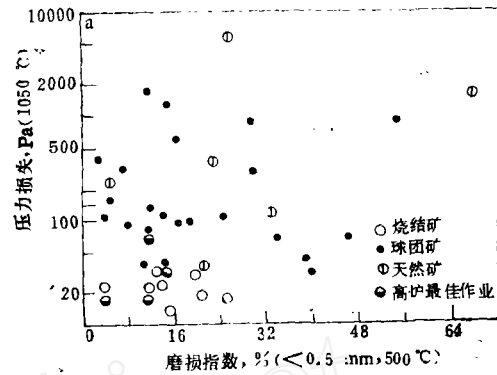


图 1 烧结矿、球团矿、天然矿的冶金性能 (a) 及其 $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时压差与高炉生产率的关系 (b)

(2) 当酸性球团碱度为 0.3 时，烧结矿与球团矿最佳配比的确定。通过如上试验程序确定最佳的炉料结构为烧结矿 ($R=1.67$) 70%，球团矿 ($R=0.3$) 30%，见图 3。

各厂根据自己的原料条件通过试验才能确定较合理的配比与碱度。

4. 烧结矿低温还原粉化控制新技术

烧结矿的低温还原粉化性对于高炉冶炼的影响已有许多报道。日本广畑 3 号高炉操作统计表明，当烧结矿的粉化率 ($<3\text{ mm}$) 自 25% 增加到 39%，高炉利用系数自 $1.9\text{ t}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 下降到 $1.65\text{ t}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ^[6]。法国索里梅福斯厂生产实践指出，当烧结矿还原粉

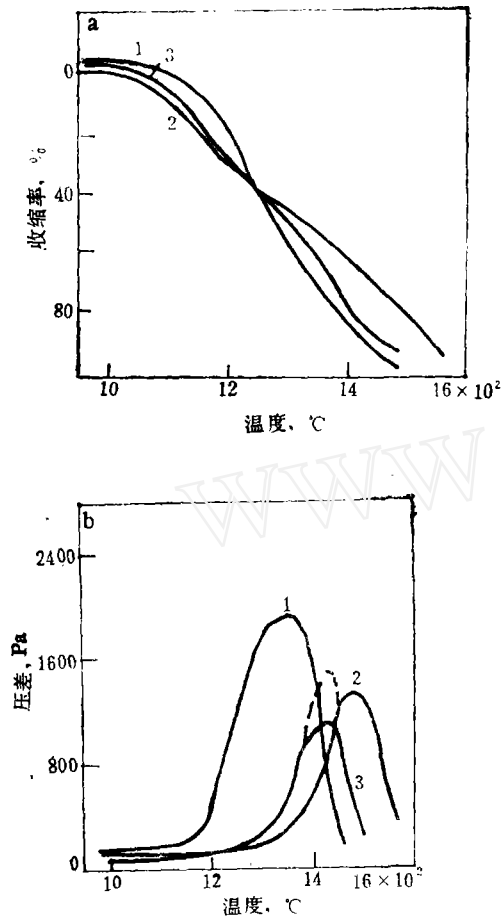


图 2 配比各50%时三种炉料结构的收缩率及熔滴特性
 1-球团 ($R=0.3$), 烧结 ($R=2.39$); 2-球团 ($R=0.56$), 烧结 ($R=1.87$); 3-球团 ($R=1.05$), 烧结 ($R=1.01$)

化率增加7.2%，高炉边缘 η_{CO} 下降0.018，焦比上升4 kg/t^[7]。宝钢由于护炉的需要，在烧结料中配加2~3%攀枝花钒钛磁精矿，发现，每增加1%该精矿时烧结矿的粉化率增1.984%^[8]，高炉焦比上升。防止低温还原粉化已有许多措施，但因原料条件及生产条件的限制而无法实行。1985年德国矿石准备研究所H. A. 科特曼首次提出使用卤化物处理以降低烧结矿及球团矿的低温还原粉化率的新工艺^[9]。这一方法可以在保证烧结矿强度下，降低FeO而不受低温还原粉化率上升

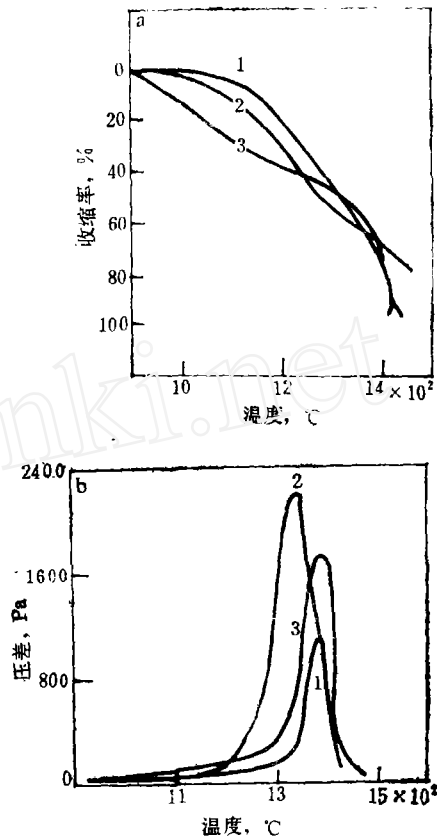


图 3 固定酸性球团矿碱度为0.3时，三种炉料结构的收缩率及熔滴特性
 1-70%烧结 ($R=1.69$), 30%球团 ($R=0.3$);
 2-90%烧结 ($R=1.45$), 10%球团 ($R=0.3$);
 3-50%烧结 ($R=2.39$), 50%球团 ($R=0.3$)

的困扰，是一种简易、经济可行的方法。

4.1 理论基础

采用卤化物 ($NaCl$, $CaCl_2$, $CaBr_2$, $MgCl_2$, $MgBr_2$ 等) 溶液以浸泡或喷洒的方式将烧结矿的表面及孔隙润湿，因而烧结矿的表面及孔隙被卤化物所覆盖，减缓了它在450~500℃的还原度。当烧结矿进入600℃以上高温区时，卤化物开始挥发，还原加快，900℃时恢复了原来应有的还原速度。废气中 Cl^- 自高炉炉顶煤气排出，主要以 NH_4Cl 形式存在，在煤气清洗塔可以完全分离，废水用石灰浆中和。只要炉顶温度保持在露点以上，对金属结构不会发生腐蚀。

4.2 影响因素

(1) 卤化物种类 试验表明卤化物中以 $MgCl_2$, $CaBr_2$, $NaCl$, $CaCl_2$ 最有效果, 氟化物没有什么效果。按效果顺序, $MgCl_2 > CaBr_2 > CaCl_2$; $MgBr_2 > CaF_2, MgF_2$ ^[10]。

(2) 配加数量 在烧结矿 $TFe57.7\%$, $FeO4.0\%$ $R=1.62$ 条件下, 使用 $NaCl$ 水溶液, 浓度为 1.0% 处理后, 低温还原粉化率($ISO < 3.15\text{ mm}$)自 57% 下降到 36% ; 浓度为 3.0% 时, 下降到 23% ; 在烧结矿 $TFe57.6\%$, $FeO4.3\%$, $R=1.51$ 条件下, 使用 $CaCl_2$ 水溶液, 浓度为 3.0% 的处理后, 低温还原粉化率($ISO < 3.15\text{ mm}$)自 28% 下降到 7% ; 每吨烧结矿使用 $50\text{ g } MgCl_2$ 即可获得很好的效果。

(3) 矿石种类 对于磁铁矿及赤铁矿制成的烧结矿其效果相同。以浓度为 1.0% 的 $NaCl$ 溶液处理, 对混合矿烧结矿及赤铁矿烧结矿效果相近。

4.3 污染物的数量

以使用 $NaCl$ 为例, 当浓度为 1.0% 时, 每吨烧结矿带入 $Na_2O 120\text{ g}$, $Cl^- 130\text{ g}$, 相当于高炉作业允许含碱金属量的 8% , 数量是微小的。 Cl^- 在煤气中含量只占 0.01% , 因此浓度也是很低的。当使用 $CaCl_2$ 时, 连碱金属的危害也不存在了。

以上新工艺实际上已超过实验研究阶段, 目前在德国使用的球团矿已全部是用海水处理过的。由于球团矿的还原粉化倾向所遇到的系列问题已得到解决, 球团在高炉内的性能是令人满意的。

5. 正在开发的烧结新工艺

5.1 球团烧结新工艺

由于原料粒度的细化, 为了保证烧结机高产及低能耗, 日本钢管开发一种新工艺叫球团烧结法(HPS)。在烧结矿的机械强度维持不变的条件下, $FeO < 4\%$, 还原度由 65% 提高到 80% 。此工艺已于1988年12月在日本福山 550 m^2 烧结机(年产600万吨)

进行生产、操作稳定^[11]。

本工艺特点:(a)所有原料均 $< 5\text{ mm}$, 其中 $< 44\ \mu\text{m}$ 的 $> 40\%$, (b)在圆盘造球机上制造 $5\sim 10\text{ mm}$ 小球, (c)大部分煤粉($< 1\text{ mm}$)滚在球团外层, (d)新的布料系统, 包括一个横向移动的梭式皮带机与两条沿台车宽度方向移动的布料机进行布料, 把 $< 4\text{ mm}$ 返矿布在台车边缘, (e)设置干燥段, 干燥废气温度为 $150\sim 300\text{ }^\circ\text{C}$, (f)使用低负压抽风。

烧结矿的质量:(a)系葡萄状的粘块, 系扩散烧结结构(与球团矿的固结相似), (b)烧结燃耗下降 20% , 电耗下降 30% , 成品率由 80% 上升至 85% (d)低温还原粉化率由 30% 下降到 20% , (e)软熔性与烧结矿相同。

5.2 双球烧结新工艺^[12]

为强化细精矿烧结及改善烧结矿的冶金性能, 鞍钢对此工艺进行开发并进行工业试验, 取得良好的结果。该工艺的特点是:(a)使用全精矿制成两种碱度的小球, 其粒度为 $1\sim 5\text{ mm}$, (b)将高碱度小球与酸性小球以 $60\sim 70\%$ 与 $40\sim 30\%$ 的重量比相混合, 再与返矿及煤粉进行二次配料与混合, (c)烧结料层由 300 mm 提高到 390 mm , 抽风负压下降了 820 Pa , (d)烧结利用系数上升 28% , 煤耗下降 35% , (e)烧结矿的还原性 R_{180} 由 58.3% 上升到 69.3% 、 FeO 由 13.8% 下降到 7.86% , 转鼓强度(ISO)由 69.42% 上升到 72.4% , 低温还原粉化率自 26.9% 下降到 21.3% 。高炉冶炼试验, 焦比下降 6.5% , 产量提高 14.6% 。

由于造小球及造双球, 需要研制高效造球机, 工艺流程有待简化。

球团烧结法适合于细精矿原料, 工艺较为成熟, 在我国, 是具有发展前途的新工艺。

6. 对“八五”炼铁原料准备技术的建议

从我国钢铁工业发展规划看, 本世纪末钢的产量要达到 8000 万吨以上, 1990年已完

成了6600万吨。“八五”期间仍以挖潜为主，炼铁的技术发展将以开发与推广富氧大喷煤强化冶炼为方针，因此原料准备技术必需适应炼铁技术发展的要求。

高炉高富氧大喷煤强化冶炼对原料的要求有以下几个方面。

(1) 由于喷煤量的增加高炉料柱中焦炭量减少、焦炭负荷增加，料柱透气性恶化，因此要求含铁原料包括焦炭在内要有较高的机械强度、适宜的粒度及抗粉化的能力。

(2) 高富氧喷煤后，随着鼓风中含氧的增加，将使煤气量减少，炉内高温区下降，铁矿石的还原将受影响，因此要求含铁炉料有较高的还原性。

(3) 高炉下部软熔带焦窗变小，阻力增大。除加大焦批重量外，要求含铁炉料有较高的软熔温度及较窄的软熔区间。

根据“八五”炼铁技术发展的方针，炼铁原料准备技术的推广及研究有以下几个方面。

6·1 进一步强化烧结生产、提高烧结矿的还原性

(1) 努力推广配加生石灰或消石灰的有效强化烧结生产的措施；

(2) 大力开展制粒技术的研究(包括原料的粒度组成，成核颗粒的数量及混合机作业的最佳化)；

(3) 研究与推广低温烧结工艺；

(4) 开发与研究球团烧结法新工艺。

6·2 提高烧结矿的机械强度，改善高炉上部料柱透气性

(1) 推广烧结矿的整粒技术；

(2) 开发与研究降低低温还原粉化率的新措施。

6·3 改进高炉炉料结构，提高原料的软熔性

(1) 重点投向酸性氧化镁球团矿生产能力的建设；

(2) 结合各厂的原料条件开展合理炉料结构的研究，并提高其软熔性。

6·4 降低烧结工序能耗

(1) 大力推广长寿节能的新型烧结点火器；

(2) 开展偏析布料的研究；

(3) 开展外配燃料的研究及实施方案；

(4) 开展鼓风冷却机的热废气利用及机上冷却烧结终点部位废气余热的利用。

参 考 文 献

[1] S., Sato, et al, Tetsu-To-Hagane, 1987, №8, 48~55.
 [2] 板本 登等, 高炉炉料结构译文集, 冶金出版社, 1987, 95~103.
 [3] 郑信懋等, 烧结球团, 1989, №3, 6~11.
 [4] G.W. Van Stein Callenfells, et al, European Practice, Symposium: Pellets or Sinters? IISI Brussels, Belgium, 1979.
 [5] 周取定等, 钢铁, 1984, №4, 1~7.
 [6] H. A. 科特曼, 第二届国际造块会议论文集, 冶金出版社, 1980, 98.
 [7] N. 朱索, 高炉炉料结构译文集, 冶金出版社, 1987, 110~128.
 [8] 成正福, 第二届全国炼铁精料会议文集, 中国金属学会炼铁学会, 1990, 182~189.
 [9] H. A. 科特曼, 第四届国际造块会议论文集, 鞍山黑色冶金设计研究院出版, 1986, 413~436.
 [10] N.Taguchi, et al, Proc. of The 6th International Iron and Steel Congress, 1990, Nagoya, ISIJ, 134~140.
 [11] N. Sakamoto, et al, 5th International Symposium on Agglomeration, Brighton, UK, 1990, 269.
 [12] 麻瑞田等, 钢铁, 1991, №3, 1~6.