

DILIUJIE
GUOJI ZAOKUAI HUIYI
LUNWENXUAN

第六届
国际造块会议
论文选

周取定 张济中 张志明等译

中国金属学会

TF 046-53

Z 66

C.2

第六届国际造块会议 论 文 选

周取定 孙济中 张志明 等译

中国金属学会

第六届国际造块会议论文选

周取定 孙济中 张志明等译

中国金属学会

(北京东四西大街46号, 邮编100711)

三河县友联印刷厂印刷

787×1092 1/32 印张15.0 字数396千字

1994年8月第一版

1994年8月第一次印刷

印数001~800册

北京市新闻出版局准印证号: 京准字94-0204

工本费: 16.00元

译者的话

第六届国际造块会议于 1993 年 11 月在日本名古屋召开，它是继第一届 1961 年在美国费城、第二届 1977 年在美国亚特兰大、第三届 1981 年在联邦德国纽伦堡、第四届 1985 年在加拿大多伦多、第五届 1989 年在英国布赖特之后召开的。会上发表了近四年来各国在铁矿石烧结、球团等方面有关基础理论研究、生产、设计等最新成就的报告。会议论文由日本粉末技术学会、日本钢铁协会及日本化工学会组织编辑，于 1993 年刊印成文集。为了适应我国钢铁工业发展的需要，了解国外烧结球团技术的新发展，我们选译了本届会议论文与我国铁矿石烧结球团生产密切有关的论文 26 篇，以供我国从事炼铁和烧结生产、设计、教学与科研工作的同志参考。

本论文选在冶金部科技司的大力支持下，由北京科技大学、鞍山黑色冶金矿山设计研究院及长沙冶金设计研究院等单位的同志翻译，由周取定、孙济中、张志明、黄典冰等同志作技术校对，周取定同志总审。由于水平所限，译文中的缺点与错误，请读者指正。

1994 年 5 月

目 录

1. 烧结技术在提高过程效率方面
 的最近发展趋势 日本 稻角忠弘 (1)
2. 造球的成长机理及显微结构
 加拿大 J.R.威尼斯基 (34)
3. 铁矿石造块的任务 德国 F.卡佩尔 (81)
4. 铁矿石烧结混合料制粒技术的基础研究
 日本 松村 胜等 (108)
5. 铁矿球团使用的合成有机粘结剂
 英国 A.阿兰 (126)
6. 棕榈树木炭作为铁矿石烧结燃料的可行性研究
 埃及 O.A.默哈迈德 (144)
7. 无水泥冷固结球团的开发
 日本 服部胜夫等 (156)
8. 豆状褐铁矿自密化高熔点液相烧结工艺
 日本 肥田行博等 (169)
9. 高配比豆状褐铁矿的烧结操作
 澳大利亚 A.卡纳加拉茄等 (187)
10. 利用豆状褐铁矿块做铺底料改善烧结过程
 日本 川口尊三等 (200)
11. 预热炉内喷煤气以生产大量石灰、白云石的赤铁
 矿熔剂性球团矿
 澳大利亚 罗伯特·海因斯等 (220)
12. 卡罗尔球团矿质量的优化
 加拿大 T.I.马蒂诺威克等 (236)

13. Al_2O_3 和 TiO_2 对烧结矿和赤铁矿低温
还原粉化性能的影响…… 巴西 H.P.皮门塔 (258)
14. 模拟高炉富氧大喷煤的试验方法中
的炉料熔滴特性…… 瑞典 托马斯·福克 (273)
15. 加古川球团厂能源费用的降低
…………… 日本 长谷川信弘等 (287)
16. 烧结厂废气净化新技术
…………… 奥地利 沃尔特·吉伯特 (305)
17. 烧结过程中氧化亚氮及其他氮氧化物的排放
…………… 日本 葛西荣辉等 (318)
18. 高铁品位烧结矿的工艺与应用前景
…………… 瑞典 J.O.埃德斯特勒 (332)
19. 采用铁酸钙的烧结料层层内脱 NO_x 法
…………… 日本 森冈耕一等 (347)
20. 高炉用新型烧结矿的生产与评价
…………… 日本 丹羽康夫等 (361)
21. 烧结厂污染控制的优化
…………… 德国 D.施莱布施等 (379)
22. 京滨烧结厂均匀稳定烧结技术的开发
…………… 日本 和田 隆等 (394)
23. 加宽台车提高烧结机产量
…………… 奥地利 H.施蒂亚施尼等 (410)
24. 模糊推理及神经网络在烧结过程中的应用
…………… 日本 松田浩一等 (427)
25. 利用在线测量数据分析烧结过程
…………… 南朝鲜 B.K.曹等 (441)
26. 控制烧结混合料的化学及物理特性以改善
烧结矿的产质量…… 意大利 B.皮卢吉等 (455)

烧结技术在提高过程效率方面 的最近发展趋势

稻角忠弘^①

1.1 前 言

在炼铁方面近期的发展趋势是通过淘汰陈旧的小烧结机和小高炉而代之以大烧结机和大高炉以优化生产结构以及广泛采用喷吹煤粉技术。这种情况尤其是在欧洲和日本最为明显。以这些改进和近期对钢的需求暂时增加为背景，烧结产量已经增长了，虽然现在正在回落。与此同时，为使高炉在喷吹煤粉时能稳定操作，烧结矿的质量显著地改善了，烧结操作的合理化和降低成本也不断取得成功。这些成就归功于过程效率的提高，而过程效率的提高是通过改进原料的使用方法以适应低质原料比例的增加和提高成品率与烧结透气性来达到的。然而，在当前烧结厂周围的环境中，维持一个“清洁的环境”的重要性和必要性增加了，中心是要防止空气污染和 CO_2 排放，因此就需要发展能够灵活而经济地应付这种情况的技术。现在可以预计矿石资源的质量加速下降，

①Jadahiro Inazumi新日本钢铁公司过程技术研究实验室

在维持期望的烧结矿质量的同时，在烧结操作中急需开发高生产率并能维持高成品率和降低成本的技术，我们正面对一个严重的局面，我们必须从全球着眼仔细研究将来矿石造块工艺，特别是烧结过程的途径^[1]。

1.2 烧结技术现状和近期发展趋势

1.2.1 资源条件的变化和烧结质量的改进

进一步改进烧结质量对于促使高炉生产结构和效率的改进，诸如将小高炉合并为大高炉，高利用系数操作，喷吹煤粉等等是必不可少的。在日本，为此目的，烧结矿的 SiO_2 含量已显著降低（意味着渣量少了），还原性已得到改善，同时保持了要求的强度和 RDI（图 1-1）。这些质量方面的改进归功于能稳定烧结过程的先进技术的开发，所用原料对烧结矿质量有很大影响，上述质量的改进主要归功于原料使用方法的改进。

在欧洲，由于使用含 Al_2O_3 低的矿石，近些年来烧结指标显著的改善了^[2]。作为原料对烧结操作和烧结矿质量的影响的对比例子，图 1-2 示出了欧洲的烧结操作指标，那里主要用含 Al_2O_3 低的矿石。与此相对照，日本用的是高 Al_2O_3 含量和高结晶水含量的矿石。图 1-2 所示的差别主要是所用矿石质量的差别引起的。即大西洋矿石资源是低 Al_2O_3 、低 SiO_2 、低结晶水含量的矿石，而太平洋矿石资源是高 Al_2O_3 、高结晶水含量的矿石（图 1-3）。这个差别导致质量和能耗上的大差别。虽然这些差别不单是原料引起的，以下还将作详细的比较分析，但除原料以外的其他条件差别并不大，可以说原料的影响是比较大的。

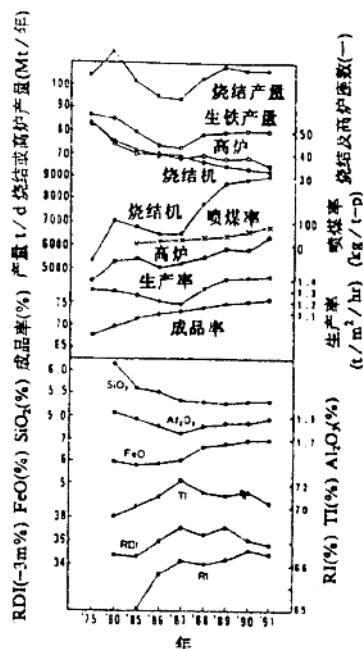


图 1-1 日本烧结及高炉操作发展趋势

由于日本缺乏资源条件，日本能得到的矿石是高 Al_2O_3 、高褐铁矿的矿石，日本近期在改进质量方面的研究是朝着有效利用低 Al_2O_3 、高品位粉矿的开发改进高 Al_2O_3 、褐铁矿的使用技术（表 1-1）。低 Al_2O_3 、低 SiO_2 高品位球团料（PF）对于烧结反应本身是一种有利成分，然而，由于它透气性低，这种球团料用于烧结受到限制。为了克服这个不利因素，各种方法，诸如采用盘式造球机代替一般的筒式混料机，振动造球机和 Eirich 混合机等已经有效的引进，结果球团料使用量的上限已经扩大了，最高可以达到

60%^[3]。HPS (球团烧结法^[3]) 流程是一种典型的工艺。在该过程里, 以核心矿粒粘附球团料而产生+5mm 的球团作为芯子, 以石灰作粘结剂, 其表面包裹焦粉, 烧结时部分熔化烧成葡萄状的块子。另一种操作改进, 例如混匀作业的改进已用于普通流程^{[4][5]}, 由此球团料最高可用到大约 40%。可以说, 由于开发了这些技术高品位的球团料使用的方法已经建立起来。将来的问题是如何运用这些技术进一步增加除球团料以外的粉矿并改善它们。

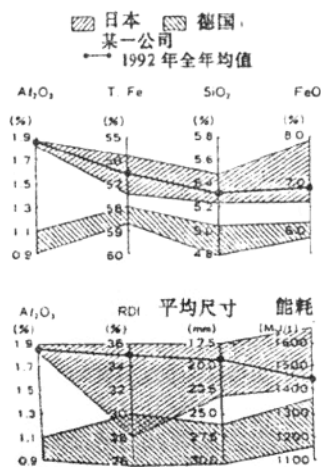
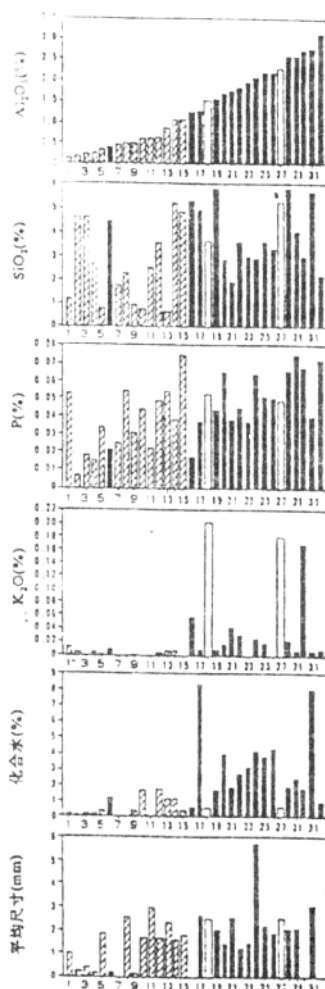


图 1-2 日本与德国烧结矿质量与总能耗的比较



■ 太平洋资源 (澳大利亚+印度)

▨ 大西洋资源 (南美洲等)

□ 非洲

序号	国名	品名
1	瑞典	LKAB
2	加拿大	Carol Lake
3	加拿大	Mt Wright
4	巴西	Rio Doce(PF)
5	巴西	MBR
6	印度	Kudremukh(PF)
7	智利	Remeral(PF)
8	智利	Agarrobo chip
9	巴西	MBR(PF)
10	委内瑞拉	CVG
11	巴西	Nibrasco Chip
12	利比利亚	Lamco
13	巴西	Carajas
14	巴西	Rio Doce
15	智利	Romeral
16	澳大利亚	Yampi Sound
17	澳大利亚	Yandicoogina
18	南非	Iscon
19	澳大利亚	Goldworthy
20	印度	Goa - Dempo
21	印度	Bailadilla
22	印度	Damodor
23	印度	Sesa-Goa
24	印度	Salgaoncar
25	印度	Chowgule
26	印度	Mandovi
27	南非	Asso-Mang
28	澳大利亚	Mt Newman
29	澳大利亚	Hamersley
30	印度	Donimalai
31	澳大利亚	Robe River
32	印度	Bandecar

图 1-3 世界主要铁矿石的质量

表 1-1 针对难烧结铁矿的先进技术

资源趋势	近期开发的技术
高品位球团料的利用 (低 SiO_2 、低 Al_2O_3 矿)	球团料(PF)的有效利用:造球盘,振动造球机 Eirich 混合机
增加使用褐铁矿 (高 Al_2O_3 高结晶水矿石)	抑制由于结晶水形成的孔隙和裂纹:褐铁矿在炉篹上预焙烧,蛇纹石-褐铁矿选择性造球 Al_2O_3 熔化性控制:石灰分批加入法,用粗粒度石灰石烧结,流动性控制剂加入法,控制可抑制 Al_2O_3 影响的矿物生成, 成球性的利用:预喷水 易熔矿粒度偏析效应:强化的偏析布料法。

此外,在使用高 Al_2O_3 情况下改善其烧结性能的研究正在进行,这种技术就是 CaO 分批加入法^[6]。起初这个方法的目的是通过最大限度的利用各种原料的特性使原料最有效地烧结。但现在采用这种方法的主要目的在于改进高 Al_2O_3 褐铁矿的利用方法,而在日本该矿正以很高配比使用着,故这里重述此法,设计这种方法是为了改善 RDI 和利用系数,具体作法是改变矿粒的碱度使 CaO 的含量在局部区段是偏析的而又不改变装入高炉的总烧结矿量的平均 CaO 含量。这项技术的特点是当形成高、低碱度的准颗粒时,决定 CaO 的分布原则是使碱度、成球状况和熔体生成都是最理想的。 CaO 含量大约 10% 时 RDI 达到峰值,有几种使 CaO 含量偏离 10% 的其他技术,其中之一就是高碱度烧结本身。石灰石粒度粗化技术^[7]和不同碱度的混合料分两步加料^[8]也展示出上述效果,后者通过石灰含量的偏析而改善了 RDI。最近一种向供料皮带间歇加石灰的方法已开发出来了,其效果已得到肯定^[9]。如果 PF 分别造球(像 HPS 那样)而其 CaO 含量与平均水平不同也将得到同样效果。为

了在不控制 CaO 含量情况下消除 Al_2O_3 的影响，人们知道加入含 Ba 化合物以改变熔体的流动性可以提高成品率和改善 $\text{RDI}^{[10]}$ ，最近这个效果得到再次确认^[11]。据报道，分批加入 CaO 的效果是因为熔化的流动性最佳化了，所有这些技术说明改善熔体流动性是一种有效的方法。高 Al_2O_3 矿流动性差，而澳大利亚的高 Al_2O_3 、高结晶水矿又是易熔的这似乎相矛盾，我们认为易熔是由于含结晶水高而非含 Al_2O_3 所致。关于 Al_2O_3 本身对烧结性能的影响，通过正常操作^[12]和压块试验^[13]已经阐明由于生成高熔点的铁酸钙、成品率和强度都是下降的^[14]。除高 Al_2O_3 含量的铁酸钙的脆性以外，作者最近的研究显示，由于熔体流动性降低，粘结相的生成和烧结饼的致密性都被 Al_2O_3 所抑制，形成了细的粘结键和许多孔洞结构（图 1-4）^[3]。在任何情况下熔体在烧结过程中都起着重要作用。解决 Al_2O_3 问题的基本课题是阐明这些不同因素对烧结过程的影响。为了大量使用高 Al_2O_3 矿，更详细地研究评价矿石熔化性的方法和这类矿石对烧结过程反应的影响是很重要的。

世界上的褐铁矿的使用比例正在增加。褐铁矿中含的结晶水在烧结过程中当其进行热分解时会形成大的孔洞和裂纹并增加其同化能力，因而致使成品率和强度下降^[15]。为了防止这种现象，在烧结前将褐铁矿在高温下进行焙烧以使其致密化是有效的^[16]。各种技术正在开发中，包括烧结焙烧过程的褐铁矿及将其铺在篦子上焙烧^[6]和自致密化烧结（将蛇纹石—褐铁矿选择性造球）^[5]。为了利用褐铁矿的高成球性以克服其烧结性不好的缺点正在研究料场预先喷水的方法^[17]。这些技术尚在研究开发阶段，但其中有些已实际应用了，其结果是褐铁矿比例可以增加而在操作和质量上都未产生负作用。

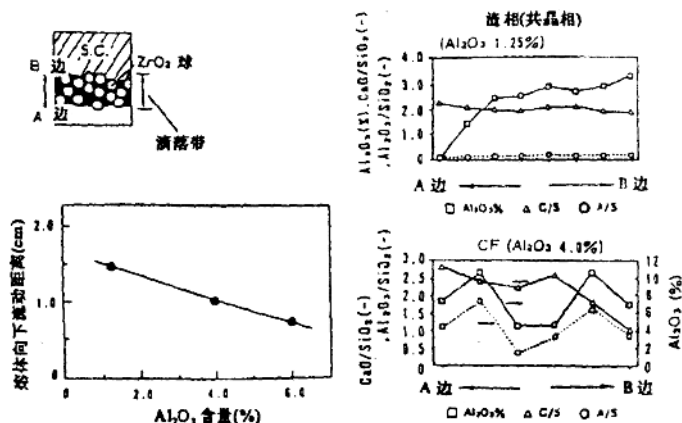


图 1-4 Al₂O₃ 含量对熔体流动性及组成的影响

根据远景，澳大利亚高品位矿将逐渐转到 Maramanba 矿和豆状褐铁矿，巴西硬矿将转到 Itabilite 矿。由于用于烧结的矿粒在减小（因为可得到的矿石变软、褐铁矿增加），矿石使用方法的改进将变得越来越重要。这是一个必须给予更强化研究的领域。

1.2.2 烧结过程趋向高效率

最近的趋势是通过淘汰旧的小烧结机而代之以大的相对新的烧结机以提高生产效率（图 1-5），这个趋势在欧洲和日本特别明显。特别值得一提的是在日本烧结的还原性和包括降低 SiO₂ 在内的质量都取得很大进步，尽管如图 1-1 所

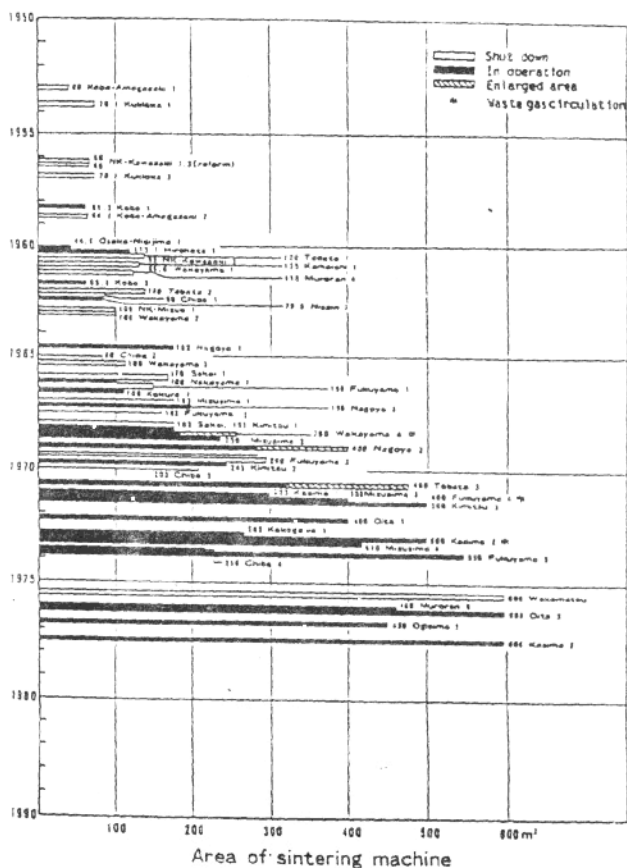


图 1-5 日本烧结机建设的历史

示利用系数很高，成品率也是升高的，一般利用系数和质量及成品率是矛盾的，然而如图 1-6 所示，我们得到与此相反的结果。成品率是成本的一个特殊因素，它直接影响到能耗，它也是代表质量控制能力的一个过程能力指标。因此，成品率是被当成生产能力的综合指标来看待的，在生产环境和原料质量都不利的条件下，日本在成品率方面取得的成就主要归功于烧结技术的进步。这个进步也归功于改进烧结控制技术、防止烧结饼过粉碎和高炉利用细粒烧结矿等方面的综合努力。(表 1-2)

表 1-2 烧结过程的技术进步

项 目	进 步 例
①烧结料层内烧结过程的最佳化(减少未烧透部分)	开发造球工艺，例如分别造球，开发强化偏析布料和防止崩塌的布料方法，焙烧控制系统的实际应用，开发改进烧结料层透气性的方法，加强漏风的防范。
②防止烧结饼的过粉碎	破碎机刀片和受料叶片之间间隙的最佳化和破碎机转速的最佳化
③提高细烧结矿的回收率	高炉操作中使用较小粒度的烧结矿，引进摩根森筛(Morgensen)，实现细烧结矿的筛分技术。

1.2.2.1 提高成品率和利用系数的近期烧结技术的进步

从改善透气性的观点，日本近期为改进烧结过程而开发的技术归纳如表 1-3。

布料技术

料层透气性基本上可用 Ergun 方程表达；它决定于平均粒度和孔隙度，实际操作中与之相对应的因素是准颗粒的平均粒度、分布情况和堆比重(与孔隙度相反)，后者取决于粒度偏析和填充压力。强化造球是增强准颗粒影响的技术，堆比重可谓对透气性有较大影响的系数。如上所述，料层的

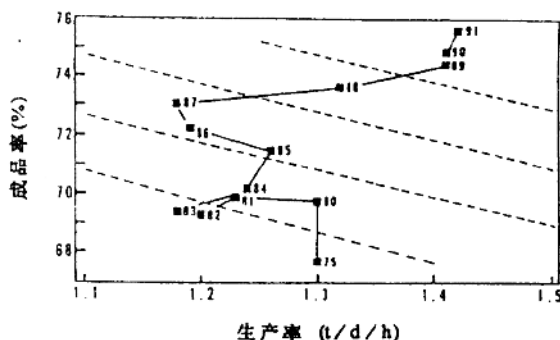


图 1-6 日本烧结厂生产率及成品率的变化
(图中数字表示年份)

粒度偏析和堆比重随布料方法而异，因为矿粉、焦粉和熔剂的平均粒度不同。焦粉的分布状况和烧结床的化学成分因粒度偏析状况而变化，因为矿石、焦粉及熔剂的平均粒度都是不相同的。透气性、焦粉消耗、传热和熔化均受这些变化的影响。自石油危机以来，在日本为改进布料作了艰苦的努力，目的是开发提高料层顶部的成品率的技术。由于该处热量不足，故将焦粉作为热源进行偏析分布，这些技术包括：两步布料技术^[22]，SF 系统^[23]，狭缝棒系统^[24]等。与此同时，推进了用流槽布料设备布成的料层结构特性^[25]和理论上的理想布料结构的基础研究。已经搞清楚，当用流槽布料设备时不可避免地发生在料堆表面的崩塌现象，干扰了所布原料的结构，并妨碍了粒度偏析。换言之，除了在烧结床的高度方向发生粒度偏析以外，这种崩塌还沿崩塌表面形成了像三明治那样的粗细粒度的偏析，从而干扰了料堆斜面上沿高度方向粒度偏析的形成（图 1-7）。为克服流槽布料的问题