

88~91' 国际造块技术
研讨会译文集

International Agglomeration Proceedings

武钢科学技术情报研究所

一九九一年

目 次

• 国际烧结球团研讨会论文集 •

日本烧结技术的最新进步.....	(日本) Yojiro Yamaka (1)
索拉克福斯厂烧结操作的最新改进.....	(法) J. Bouget等 (18)
蒂森钢铁公司烧结工艺的技术现状.....	(德) Hans Peer (25)
印度有限钢铁管理局(SAIL)对铁矿粉造块技术的开发.....	(印度) S. K. Gupta (32)
烧结矿质量对索拉克公司敦刻尔克厂4号高炉操作的影响.....	(法) R. Capelani等 (41)
烧结矿质量的提高及其对高炉操作的影响.....	(南朝鲜浦项) Jin-Seo Noh (47)

• 国际炼铁会论文集 •

和歌山钢厂烧结机的改造.....	(日本) Takahisa Miyai等 (57)
为使烧结反应均匀化而开发的新式布料法.....	(日本) Masami Fujimoto (77)
带式烧结机上铁矿石烧结的水平和垂直方向非均匀性的定量研究.....	(比利时) S. Wuiillaume等 (93)
振动制粒设备的构造与操作.....	(日本) Norifumi Fujii等 (104)
球团烧结混合造块工艺的开发及工业运行.....	(日本钢管公司福山厂) Yasuo Niwa等 (111)

• 国际选矿与造块技术研讨会论文集 •

烧结工艺参数、烧结矿物组成和烧结矿性能的关系

.....	(印度) Usha Srinivasan等 (121)
烧结工艺中改变焦粉.....	(印度) J. P. Mayalan (126)
在返矿平衡条件下的.....	(印度) M. T. Raju等 (129)
塔塔钢厂烧结质量最.....	和 Amit Chatterjee (132)
.....	(印度) K. C. Sahoo等 (140)
超细矿粉对烧结矿质.....	(苏联) E. F. Vegman (147)
混合燃料在烧结工艺中的应用.....	(埃及) M. E. H. Shalabi (150)
采用富氧空气烧结对烧结矿某些工艺性能的影响.....	(埃及) M. E. H. Shalabi (155)
按 ISO 标准进行物理试验方法的状况.....	(德) A. Kortmann等 (155)
用于高炉和直接还原的铁矿石试验.....	

日本烧结技术的最新进步

Yojiro Yamaka

(日本)

1. 前言

在过去20年中,日本炼铁工业的经济和能源的外界条件发生了较大的变化,并且对高炉的操作条件也带来了明显的影响,然而,

烧结矿仍然是高炉的主要原料,见图1。由于各种烧结新技术的开发,促进了烧结矿产量、质量的提高和烧结能耗的降低,但烧结矿的综合成本仍然高于其他高炉原料(例如地矿和球团矿,见图2。

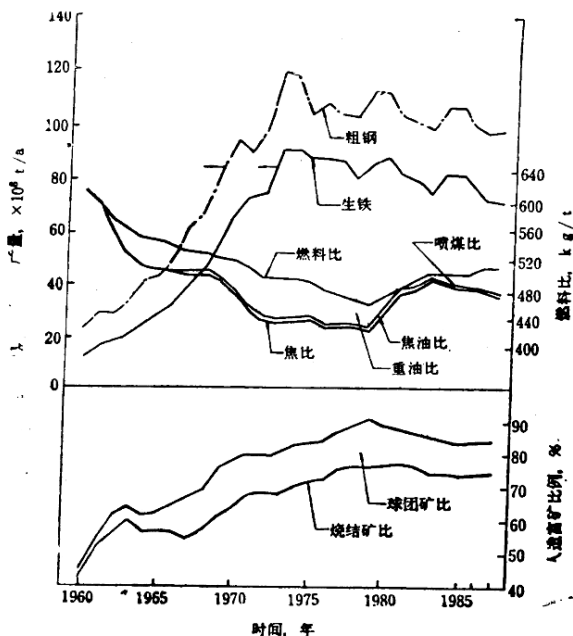


图1 日本钢铁产量和高炉操作条件的变化

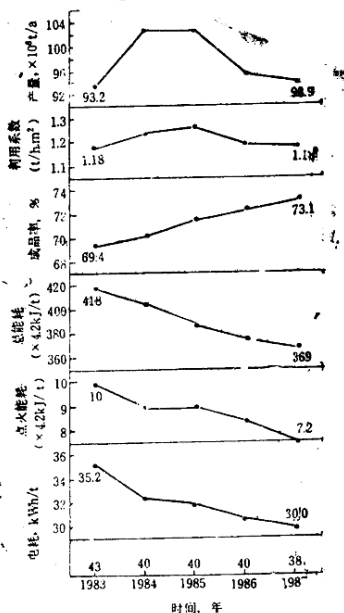


图2 日本烧结操作指标的变化

本文将简要介绍日本烧结技术的最新进步，正是由于这些进步，使烧结矿保持作为日本高炉主要原料的优势。如果本文有助于今后技术的发展和炼铁领域的合理改革，作者将感到由衷的高兴。

2. 最新烧结技术

表1示为在过去20年中日本烧结技术所取得的进步情况，最近几年日本烧结新技术的发展情况见表2。

1) 原料准备

对料场各种矿石进行事先加工是矿石中和控制的首要条件，各钢铁厂运用各种料场控制系统进行控制就是为了使矿石处理达到

较高的精度、省工和集中统一管理。例如，图3表示的是川崎钢铁公司水岛厂的矿石堆料场系统，该系统是总的炼铁系统的一部分，它可以完成从料场的矿石加工到高炉操作的综合控制。其功能包括作业进度编制、卸料机操作控制、矿石混匀过程控制和料仓装料动态控制。

就矿石混合来讲，由根据化学成分和混合料粒度分布的传统混合目的，转变为同时考虑到矿石的矿物特性对烧结操作和烧结矿质量的影响，见图4。例如，日本钢管公司的福山和京滨两个厂在通过矿石混合对烧结矿的冷强度、还原性和还原粉化性进行控制时，都考虑了在矿石供需平衡的允许范围内各种矿石的收缩率（表示矿石对石灰石的反应性的指标）和RDI系数的影响，见图5。

住友(SMI)鹿岛厂根据矿石特性开发的综合模拟模型可以用来估计烧结矿的产量和质量(TI、RI和RDI)。矿石特性指的是粒度、真密度和视密度、吸水能力、化学成分以及矿石的混合比和烧结操作条件等。矿石混合控制就是通过该模型完成的（将在下面加以介绍）。

川崎千叶厂根据准颗粒模型（同时考虑了各种矿石的吸水能力）和产量估算模型进行矿石混合。

2) 制粒

众所周知，如上所述准颗粒形状与矿物特性有关，而如上所述，矿物特性又对烧结特性有很大的影响。为此，许多厂首先着手开发制粒技术。例如图6所示，新日铁釜石厂开发的部分制粒技术、住友鹿岛厂的预制粒技术、日本钢管福山厂的制小球法，图中还表明了这些新方法对烧结操作的影响。

从图6中可以看出，部分制粒和预制粒对改善SI、RI和RDI影响很大，而小球烧结对提高生产率或大量使用矿粉烧结时效果显著。

日本烧结技术进展情况

表1

料	场	——矿石混匀改善——	——模拟模型和料层质量监视系统——	——料场集中管理和自动操作控制——										
烧	生产和质量特点	高生产率——	低生产率(提高料层厚度)——											
结		高熔点烧结矿——	优质烧结矿(高还原性、改善高温性能和低温还原粉化性能)——	——烧结矿生产成本低——										
技	• 混匀	添加生石灰——	辅助料细磨——	——混匀方案(矿石特性等)——										
术	• 混合和制粒	——强化制粒(如:强化制粒混合机)——		——新的制粒方法——										
	• 布料	——焦粉分加和改进焦粉粒级(如小球、预制粒)——												
	• 点火	——	——偏析布料和二段布料——	——缝式溜槽布料——筛式布料机——										
	• 环境保护	——点火器改进——	——预燃烧结——	——热特性曲线控制的强化——均质烧结——										
	• 模型和系统	——SO _x 和NO _x 的消除——												
		——质量和操作改进预测模型——		——烧结综合控制系统——模糊控制——										
烧	烧结机设备	——台车和装料控制的改进——	——二段布料——	——布料改进——防止漏风——										
结	测量和控制	——质量自动测量(如FeO计)——	——一点火条件测量——	——一点火条件测量——										
设	节能	——冷却机显热回收——	——冷却机显热回收炉——	——冷却机显热回收炉——										
备	环保设施	——防尘和防止S _x 措施、脱氮设备(千叶)——	——脱氮设备(扇岛)——											
		1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987

日本烧结新技术发展情况

表 2

目标	项 目	新技术使用实例
原料准备	1) 矿石加工	(1) 总矿场系统 (KSC) (2) 原料场综合控制系统 (NSC)
	2) 矿石混合	(1) 根据矿石的矿物特性混匀 (EC) (2) 降低混合矿石中的 SiO_2 (EC)
	3) 制粒	(3) 预防矿石布料偏析装置 (KSC) (1) 用球模预制粒 (NSC) (2) 小球 (NKK) (3) 部份制粒 (NSC) (4) 预制粒 (SMI) (5) 采用生石灰和热制粒 (NKK, NSC) (6) 焦粉分加 (NSC)
装料控制	1) 偏析控制	(1) 两段布料 (NSC) (2) 条筛溜槽布料 (NSC) (3) 吹风布料 (NSC) (4) 倾斜偏析板控制 (NIS) (5) 皮带溜槽布料 (KSC)
	2) 料层宽度控制	(1) 多段闸门辊式布料 (NSC, NKK, KSC, KOB)
烧结控制	1) 控制系统	(1) TACS: 总气流控制系统 (NSC) (2) SOFS: 烧结操作预测系统 (NSC) (3) SECOS: 烧结能源控制系统 (KSC) (4) OGS: 操作指导系统 (SMI, KSC) (5) 返矿给料量模糊控制系统 (NKK) (6) DDC: 直读数字控制系统 (KSC)
	2) 探测	(1) 料层风量分布仪 (KSC, NKK) (2) 烧结断面图象分析仪 (NKK, KSC, NAK) (3) 超声波料位计 (NKK, KSC, NIS)
	3) 过程模拟数学模型	(1) 综合模拟模型 (SMI) (2) 风速分布模型 (KSC) (3) 快速计算近似模拟模型 (NSC) (4) 信号探测模拟模型 (NKK) (5) 二维模拟模型 (KOB)
节能	1) 高效点火	(1) 线型烧嘴 (KSC) (2) 缝型烧嘴 (KSC) (3) 面燃烧烧嘴 (NSC) (4) 煤气—煤粉混合烧嘴 (SMI) (5) 煤粉烧嘴 (NIS)
	2) 余热回收	(1) 冷却机废气余热回收系统 (EC) (2) 主烟道废气余热回收系统 (NSC, NKK, SMI, KOB) (3) 用冷却机废气预热烧结混合料 (NSC) (4) 部分机上冷却余热回收 (SMI)
	3) 防止漏风	(1) 整体挡板台车 (NSC, NKK, KSC) (2) 烧结机和冷却机高效密封装置 (EC)
	4) 节电	(1) 主风机转速控制 (EC) (2) 脉冲式电除尘器 (NKK)

注: NSC—新日本钢铁公司; NKK—日本钢管公司; KSC—川崎钢铁公司; KOB—神户钢铁公司;

SMI—住友金属工业公司; NIS—日新钢铁公司; EC—几乎全部靠公司

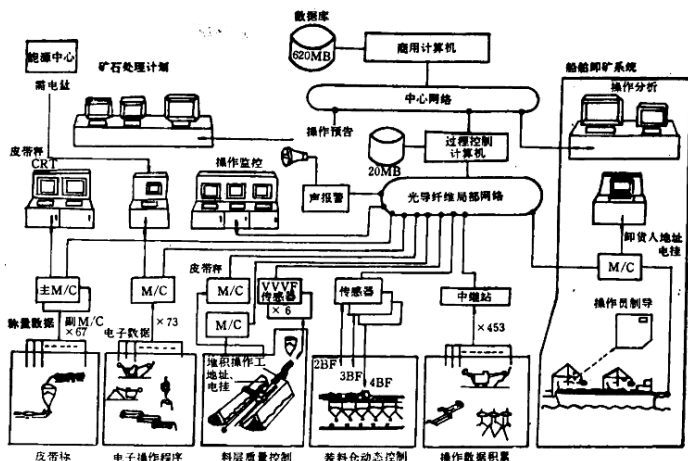


图3 川崎水岛厂矿石堆料场系统示意图

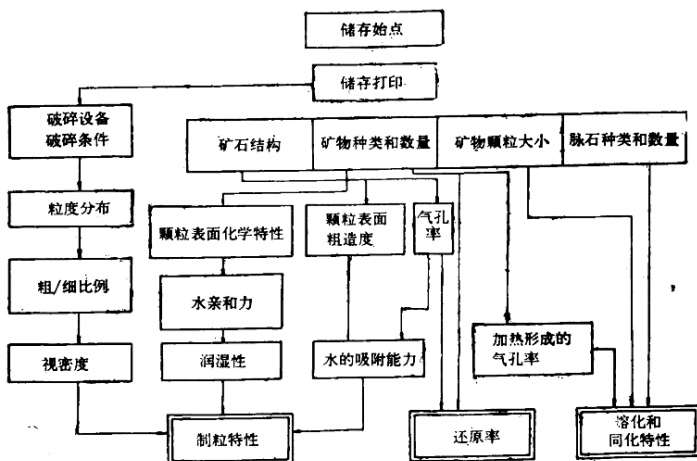
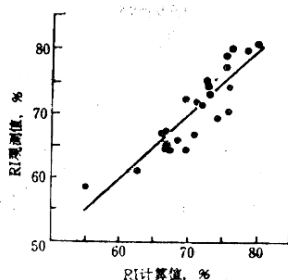


图4 铁矿石特性及对烧结操作、烧结矿质量的影响



a) 还原指数
多重回归分析 (JIS · RI)

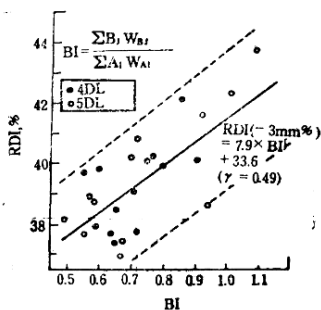
$$\epsilon = 0.416 (\alpha - \text{FeOOH}) + 0.679 (\text{FeO}) - 0.770 (\text{SiO}_2) + 22.4$$

$$\text{RI} = 113.6 - 0.290 [\epsilon] - 2.04 [\text{s.v.}]$$

(i) : 成分含量 (wt%)

ϵ : 收缩率, %

s.v.: $\text{CaO} + \text{SiO}_2$ (wt%)



b) BI与RDI的关系

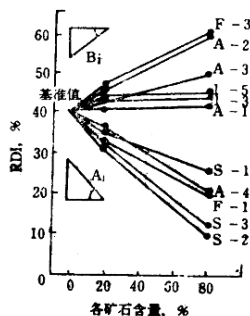
$$\text{BI} = \frac{\sum B_j W_{Bj}}{\sum A_i W_{Ai}}$$

BI: 混合指数

W_{Ai} : RDI好的矿石 i 的混合比

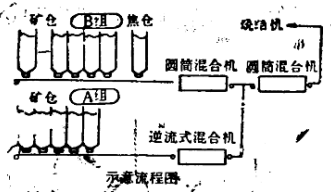
W_{Bj} : RDI差的矿石 j 的混合比

A_i, B_j : 系数

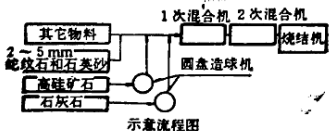


良矿石对还原粉化指数 (RDI) 的影响

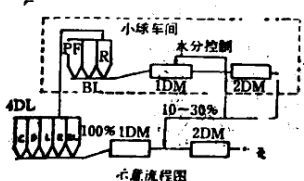
图5 铁矿石烧结特性对烧结矿质量的影响



(a) 预制粒 (住友鹿島)



(b) 部分制粒 (新日铁釜石)



(c) 小球 (日本钢管釜山)

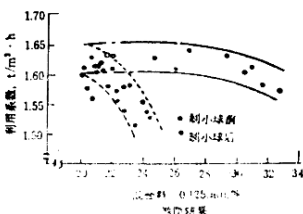
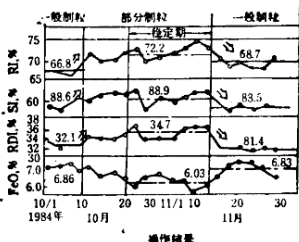
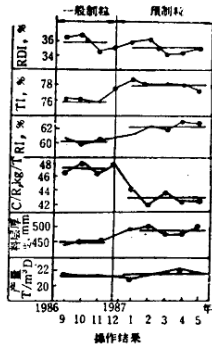


图 6 新制粒方法的流程和操作结果

此外，这些厂还应用了一种类似于小球法的方法，用返矿和石灰石作球核进行预制粒的方法，以及用添加了粘结剂（为转炉渣尘）

进行粒化后的干熄焦焦粉代替部分普通焦粉的焦粉制粒法。

3) 布料

烧结混合料的台车布料时料层断面的粒度偏析, 和由此而引起的焦粉和化学成分
的偏析对烧结矿的成品率和质量造成很大的影响。为此, 进行过各种基础研究工作并根据

这些研究结果, 开发出新的布料技术(见表1)。例如图7和图8分别示出的条筛溜槽布料装置(新日铁君津和广畑厂)和强化移动式给料机(新日铁君津和八幡厂)。

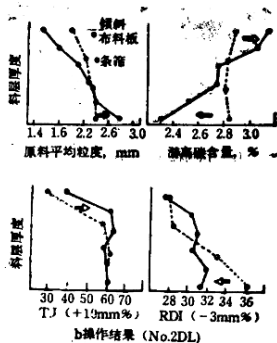
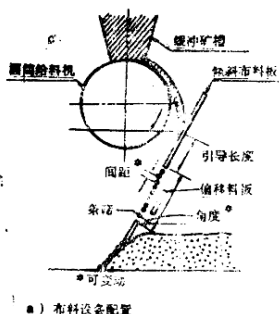


图7 条筛溜槽布料装置的配置和它对烧结操作的影响(新日铁君津)

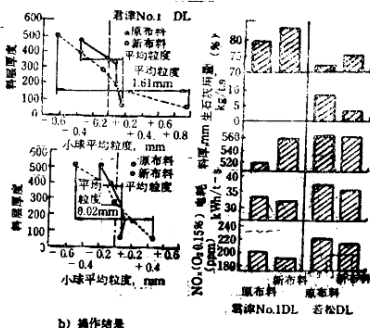
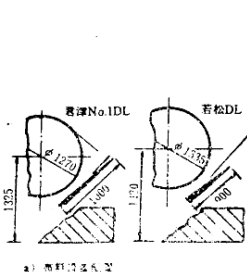


图8 强化移动式给料机的配置及其对烧结操作的影响(新日铁君津和若松1)

在开发控制料层断面粒度偏析设备的同时, 许多厂还安装多段闸门辊式给料机, 其作用是使沿料层宽度方向的烧结过程均匀化。例如, 君津厂安装有条筛溜槽和多段闸

门相结合的布料装置, 其使用效果见图9。该装置的作用是减少了横断面上烧结饼成品率的偏差, 并使平均成品率得到明显的提高(提高约4%)。

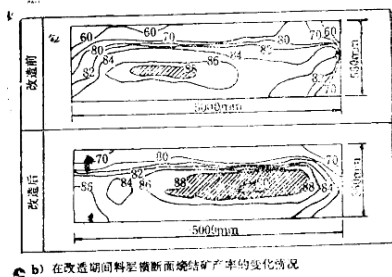
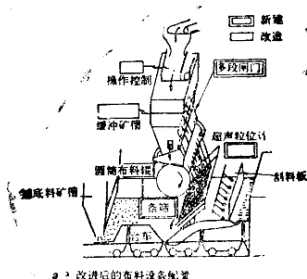
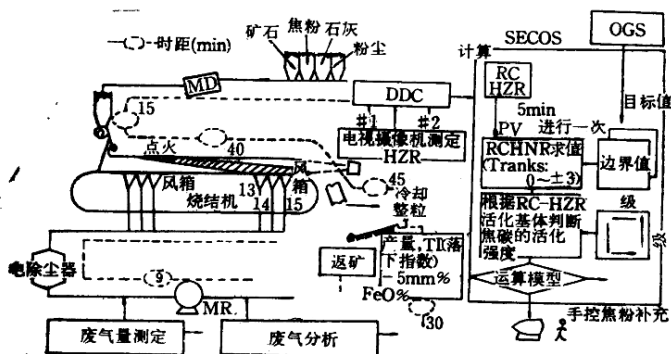


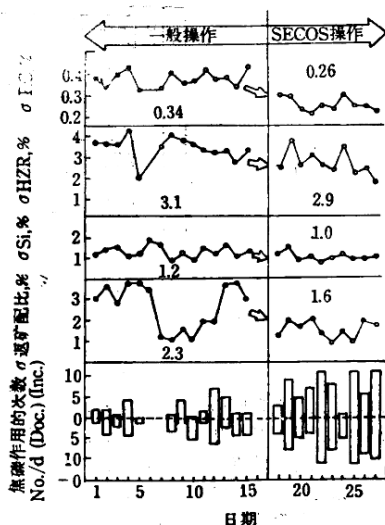
图9 君津厂采用的改进后的条筛溜槽和多段闸门联合布料设备

日本钢管(NKK)则采用了多段闸门辊式给料机, 闸门口度控制系统, 其控制方法是使闸门口度与烧结机尾卸矿端烧结断面红层所占比例的测定值或与烧结机料层宽度方向气箱温度分布的测定值相联锁。

4) 烧结控制

各厂均采用了烧结控制系统(见表1),控制准确度得到了明显的提高。例如,川崎千叶采用的烧结能源控制系统(SECOS)和日本钢管福山厂的烧结操作控制系统(SOCS)分别示于图10和图11。最近根据模糊集气论建立的模糊控制已应用于返矿





b) 标准偏差和焦炭作用次数的变化图

图10 川崎千叶厂烧结能源控制系统 (SECOS) 及其对烧结操作的影响

给料量的控制。

随着烧结控制系统的进步,相继开发出各种传感装置和数学模型。SECOS和SOC S采用的新型传感图象分析仪是值得注意的,该传感器用于观测烧结机尾烧结矿饼断面红层分布情况。

根据测定结果可以反馈控制SOC S系统多段闸门辊式给料机的开口度,并结合废气成分估计碳的燃烧量再反馈到SECOS系统,控制焦粉用量。

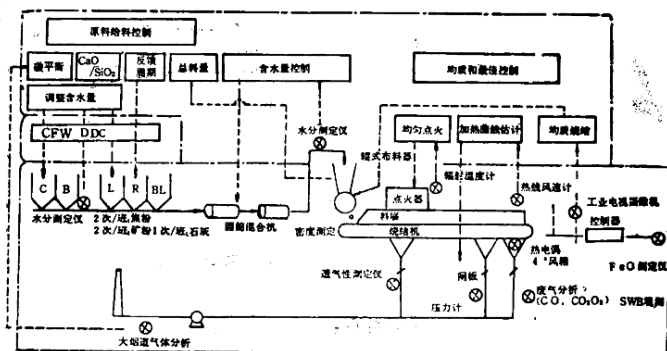
川崎水岛厂配置了料层风量分布仪,见图12,根据该仪所测得的数据,借助风量分布模型,就可以直接估计出风箱温度的分布

情况。

住友鹿岛厂和新日铁富山厂已开发出综合模拟模型,日本钢管京滨厂则已开发出建立在传感信号基础上的模拟模型,这些模型都可用来作为在线检测的数学模型。

用图13所表示的综合模拟模型,即可通过矿石特性和混合比例及烧结操作条件预测出烧结矿的质量、产量和生产成本,由建有该模型的操作指导系统来预测最佳操作条件。

神户浅田研究中心最近开发出二维模拟模型,它采用有限元法数值计算作离线操作分析。



a) No 5 DL 烧结控制系统简图

b) 改进控制精度

项目	控制前	控制后	备注
1. 混合精度	1.2%	0.6%	模拟控制
2. 返矿率	12%	6%	模糊控制
3. 碳控制	0.3%	0.2%	碳平衡
4. 水分控制	0.4%	0.2%	红外线测水仪
5. 料位控制	6%	2%	料位控制
6. 点火温度	45°C	16°C	均匀点火

c) 操作结果变化

项目	操作前 1985.9~11	操作后 1981.9~11	效果
1. 利用系数, t/m^2h	1.40	1.40	
2. 能耗			
a. 熟粉, $kg/T \cdot Sr$	40.3	40.3	
b. 焦炭煤气, $Nm^3/T \cdot Sr$	133	0.95	-0.58
c. 返矿, $kg/T \cdot Sr$	287	25	-32
d. 废气, $kg/T \cdot Sr$	70.7	73.6	2.9
3. 原料			
a. 生石灰, %	2.1	1.5	-0.6
b. 矿石 (-125 μm) (%) (2%PF+)	20.9	21.9	1.0
4. 质量			
a. SiO_2 , %	5.76	5.60	-0.16
b. FeO , %	6.11	5.92	-0.19
c. TI , %	68.7	69.1	0.4

图 11 日本钢管福山厂烧结操作控制系统 (SOCS) 及其对烧结操作的影响

5) 节能

尽管近10年来节能技术已取得重大的进展,但目前对新型点火烧嘴和大烟道废气余热回收系统仍然很重视。

图14简要地列举了各种新型点火烧嘴。由于采用了这些新烧嘴,使得点火能耗大幅度下降。例如,川崎千叶厂的线式烧嘴点火

能耗已达到12.54MJ/t的纪录,而新日铁广畑厂采用面燃烧烧嘴与狭缝式溜槽,小型点火炉和点火炉的最佳压力控制相结合,使点火能耗达到最低的世界纪录9.73MJ/t。

至于废气显热回收,这几年的研究目标是回收冷却机的废气显热,但现在也回收大烟道的废气显热。日本钢管京滨厂和住友和

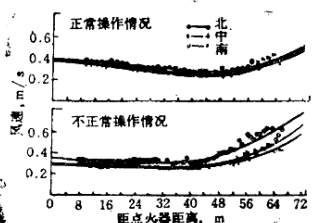
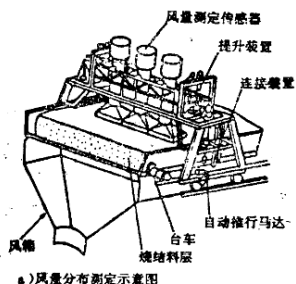


图12 川崎水岛厂料层量分布仪配置图及测定结果

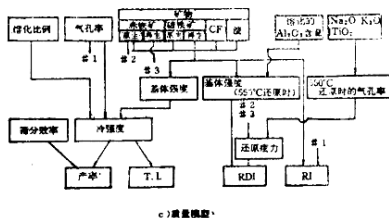
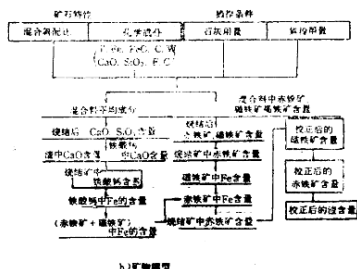
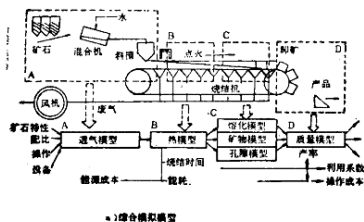


图13 住友水岛厂综合模拟模型

鞍山厂废气显热回收设施分别见图15和图16。过去废气显热回收的特点是用于锅炉和预热点火用空气，而现在的重点则是与部分

机上冷却结合在一起了。

就节能来讲，各厂采用了各种不同的技术。例如，减少漏风、风机转速控制和电除

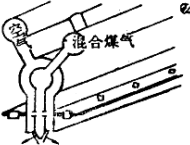
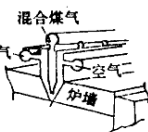
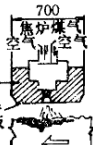
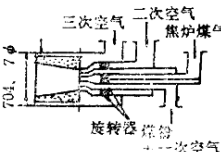
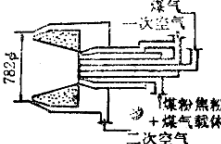
种类	结构	特性	效果
线式烧嘴 ⁵²⁾		• 多孔烧嘴 • 短火焰 400~600mm • 可用低热值混合煤气 (9.63MJ/t) • 可更换前端烧嘴	• 点火能耗 28.05MJ/t • 空燃比 1.7 • 川崎千叶厂于1983年8月开始使用
长缝式烧嘴		• 长缝式烧嘴 • 炉顶可移动 • 短火焰 300mm	• 点火能耗 29.51MJ/t (混合煤气) • 川崎千叶厂于1983年4月开始使用
面燃烧式烧嘴		• 预混合型 • 短火焰 400mm • Ni-Cr合金多孔燃烧器面板	• 焦炉煤气消耗 1.46Nm³/t m=1.1 • 新日铁广畑厂于1985年7月开始使用
煤气-煤粉湿粉式烧嘴		• 煤气和二次空气经旋转器喷入烧嘴 • 长火焰 800mm	• 煤粉(-170目) + 焦炉煤气 (混入比10%) • 煤粉消耗 1.7kg/t • 焦炉煤气消耗 0.41Nm³/t • 住友和歌山于1982年10月开始使用
煤粉烧嘴		• 作辅助点火 喷煤烧嘴 • 长火焰 800mm	• 煤粉(-200目) • 1.4kg/t (m=1.3) • 新日铁广畑厂于1984年10月开始使用

图14 各种新型点火烧嘴概况图

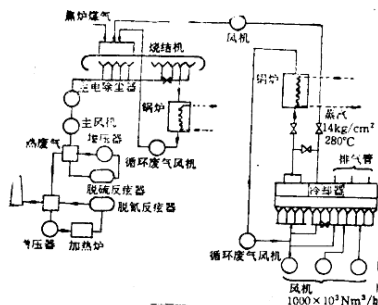


图15 日本京滨厂废气余热回收系统

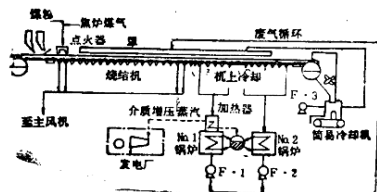


图16 住友和歌山厂废气余热回收系统和部份机上冷却的结合

尘脉冲控制。

因此，最近几年这些节能技术的应用使烧结净能耗明显降低（净能耗为焦粉、电能和煤气消耗减去回收的蒸汽和电能）。1987年全国烧结平均能耗约为 $151 \sim 155 \times 10^4 \text{ kJ/t}$ 烧结矿，部分厂已降低到 $109 \sim 113 \times 10^4 \text{ kJ/t}$ 烧结矿。

如上所述，这些烧结新技术已在生产实际中应用，但为了继续保持其活力，并进一步开发出更新的技术，因此正在进行基础研究工作。例如，烧结工艺分析，烧结矿饼的结构及其破碎特性分析，通过高炉取样对烧结矿冶金特性的研究，用模拟装置阐明对烧结矿质量的要求并反馈给烧结和高炉操作，同时还可以对烧结矿的还原率加以分析。但是，由于篇幅有限，在此不再详述，读者若需进一步了解，可参阅有关文献资料。

3. 烧结矿经济分析

前面已经介绍了近年来日本烧结技术所取得的进步。而“为什么在日本要发展烧结技术”这个问题的答案，就是因为烧结生产的综合成本高。

为了阐明今后烧结技术的发展方向，下面将对烧结矿与球团矿和块矿进行简要的经

济对比分析，分析结果如下。

1) 质量

图17用框图简要说明了高炉操作与炉料质量之间的关系，对高炉炉料质量的要求概括起来包括：粒度粉化小（对烧结矿来讲还原粉化小，对球团矿来讲膨胀率小，对块矿来讲热裂性小），高还原性和高温性能好（软化开始温度高、高温透气性好且从软化到滴落的温度范围窄）。下面可列举出烧结矿的质量优于球团矿和块矿之处。

(1) 烧结矿的还原性（特别是 $>1000^\circ\text{C}$ 时）和高温性能优于块矿和酸性球团矿（见图18和图19）。

(2) 由于烧结矿的安息角大于酸性球团矿和自熔性球团矿，因此高炉装料时容易控制（但神户钢铁公司采取球团矿破碎技术已经解决了该问题）。

(3) 除神户钢铁公司以外，其他厂本身没有球团设备。因此，就球团矿而言，其矿质量和混合料中矿石的配比，就不能根据高炉的需要和为使用烧结矿条件下的矿石的供需平衡来进行控制。

2) 成本实效

烧结矿与球团矿和块矿勿需进行经济对比分析，而应根据总的成本，即成本实效，

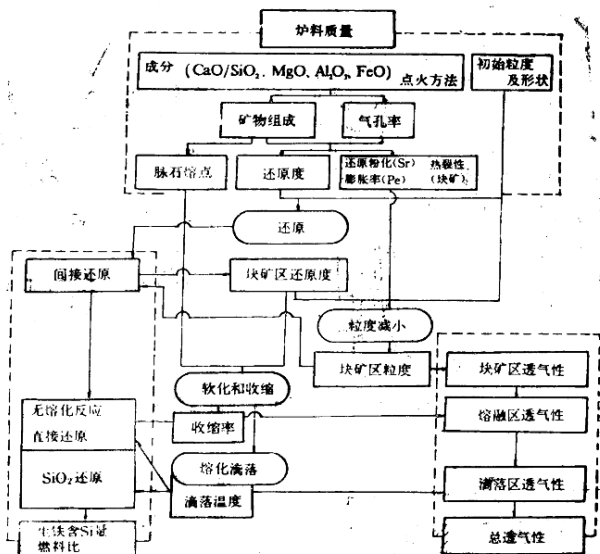


图17 炉料质量对高炉操作的影响

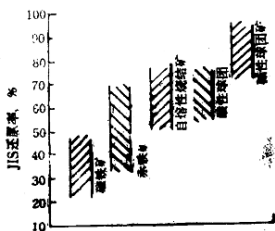


图18 烧结矿、球团矿和
矿石还原性比较

代替单独的生产成本来评价。这种评价方法计入了对钢水成本的影响（即经过高炉的冶炼、铁水预处理到转炉的一系列工艺过程后，生产出化学成分合乎要求的、吨钢水的

成本)。

图20所示日本钢管福山厂烧结矿、球团矿和块矿的总成本可作为一个例。在总成本计算中,考虑了进货、厂内运输、破碎筛分、化学成分控制(在烧结、高炉、转炉工艺过程中)、矿石混合、还原粉化控制、烧结等成本以及对高炉焦比和生铁含硅量的影响。由于它们的品种多(在烧结矿情况下、混合料中用多种矿石),所以,图20给出的是烧结矿、球团矿和块矿的成本范围。

从上述平均总成本比较可看出, 烧结矿低于块矿和球团矿, 因此生产烧结矿较为经济。然而, 很明显烧结矿的经济性受混合料中矿石种类的影响很大。

在日本钢管，高炉用烧结矿、球团矿和块矿的配比是预先确定的，因此要使炼钢总