

冶金研究

METALLURGY RESEARCH

(2002年)

北京科技大学



冶金工业出版社

1025132

冶金研究

(2002 年)

北京科技大学

北 京
冶金工业出版社
2002

内 容 提 要

本书内容涉及钢铁冶炼、连铸、环境保护、冶金物理化学、矿石烧结、冶金材料和冶金史等。重点对超级钢和优质钢的冶炼、炉外精炼、高效连铸和薄板坯连铸连轧、物流管理、冶金环境保护等课题进行了深入探讨。本书反映了北京科技大学冶金学院近一两年的科研成果。

本书可供冶金、环保、能源等领域的科研、生产、教学、管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金研究(2002年). / 北京科技大学. — 北京: 冶金工业出版社, 2002. 4

ISBN 7-5024-2938-7

I. 冶... II. 北... III. 冶金-文集 IV. TF-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 008957 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 刘小峰 美术编辑 王耀忠 责任校对 侯 珮 责任印制 牛晓波

北京鑫正大印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2002 年 4 月第 1 版, 2002 年 4 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 26 印张; 630 千字; 408 页; 1 - 2000 册

60.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

序

冶金工业是国民经济发展的重要基础产业,近 20 多年来我国冶金工业取得了令人瞩目的成就,已发展成为世界第一产钢国和重要的有色金属生产大国。今后 10~20 年是中国冶金工业更快发展、总体实现现代化、走在世界前列的重要时期。为实现这一目标,冶金高等学校必须在人才培养和科学研究方面做出重要的贡献。

北京科技大学冶金学科创办历史悠久,其渊源于 1895 年伊始的北洋大学矿冶系。1952 年全国高校院系调整时,由北洋大学、唐山交通大学、西北工学院、山西大学、华北大学工学院等 5 所高校的矿冶学科组建成北京钢铁学院(1988 年改名为北京科技大学)并设立冶金系。冶金学科是北京科技大学的优势特色学科,师资雄厚,治学严谨,半个世纪以来为国家培养了大批高质量的人才,取得了大批重要科学研究成果,为冶金工业的发展做出了重要的贡献,在国内外冶金界享有很高声誉。

北京科技大学在建校 50 周年之际,发起举办第一届“冶金工程科学论坛”,届时国内外著名冶金专家、科技工作者、在校学子将参加这一学术盛会,本书收录了此次论坛即将发表的部分学术论文。今后每年 4 月下旬,北京科技大学都将定期举办“冶金工程科学论坛”,并对论坛上发表的学术论文进行整理,编辑出版,以增强冶金学术交流,促进冶金科技发展,同时作为对北京科技大学校庆的纪念。

“冶金工程科学论坛”学术报告范围包括冶金物理化学、钢铁冶金、有色金属冶金、冶金能源技术、冶金环境保护等领域的科学研究成果、新工艺、新技术、新产品等,欢迎广大的冶金科学工作者踊跃投稿,共同办好“冶金工程科学论坛”。

北京科技大学
2002 年 1 月

2003/06

目 录

铁矿石的烧结基础特性之新概念	1
烧结优化配料技术在唐钢一铁烧结车间的应用	6
高品位烧结矿生产及质量改进	13
铁矿粉烧结液相生成特性的评价	18
高炉热风炉前置换热技术	23
高炉冶炼过程理论焦比分析与计算	28
高炉冷却板及炉衬温度场数值模拟与分析	38
高炉炉缸温度场计算模型的建立与选择	45
高炉循环冷却软水的水质改进研究	55
宝钢铁水运输机车调度模型的建立	61
宝钢鱼雷罐车调度模型的建立与实施	66
THE BLOW-IN CHARGING MEASUREMENT OF 2500m ³ BF AT SHANGHAI No.1 IRON AND STEEL (GROUP) Co. Ltd.	73
炼钢厂的物流管制技术	79
中国和美国转炉溅渣护炉工艺的不同特点	87
高阻抗电弧炉合理供电研究及应用	93
莱钢 50t 电炉用氧技术的研究与实践	100
大型交流电弧炉炼钢过程谐波状况的实测研究	104
重轨钢中非金属夹杂物研究	110
钢水过滤器的应用与发展	115
超低硫钢含 BaO 精炼渣系的试验研究	120
钢中夹杂物控制技术研究	125
低碳超级钢中氧硫氮的控制及其对钢组织性能的影响	130
宝钢超低硫管线钢中非金属夹杂物的研究(1)	137
宝钢超低硫管线钢中非金属夹杂物的研究(2)	142
氧、硫对高纯净低合金钢强韧性的影响研究	147
高碳硬线钢非金属夹杂物行为研究	152
高温加热时间对高速钢脱碳的影响	160
板坯连铸浸入式水口出口速度对结晶器流场影响的数值模拟	164
结晶器高频率小振幅振动时铸坯表面振痕研究	170
连铸保护渣结晶性能研究	176

提高连铸结晶器振动频率、减小振幅改善铸坯质量的研究	181
大容量中间包结构优化及冶金效果研究	187
电脉冲处理改善 Q235 钢连铸坯内部质量试验研究	196
氮化钛细化洁净钢凝固组织的研究	201
脉冲电场处理改变铁水凝固石墨化倾向的试验研究	206
高碳钢连铸中心缩孔数学模型解析	211
薄板坯连铸 CSP 线生产气瓶钢钢中夹杂物研究	215
Q195 钢连铸薄板坯中的夹杂物行为	220
板坯连铸凝固过程温度分布与收缩行为的有限元分析	226
凝固传热数学模型在连铸矩形坯上应用	232
钙处理对集装箱板钢铸坯高温延塑性影响研究	238
连铸板坯表面横裂纹研究	244
薄板坯连铸连轧技术的新进展	249
硅钢连铸过程中钢水的二次氧化	256
薄板坯连铸结晶器内流场的三维数值模拟研究	261
连铸—热轧板坯库存量计算	268
硅钢凝固过程溶质元素偏析和夹杂物析出耦合计算模型	274
THE LOW MELTING POINT BATH SYSTEMS USED IN	
ALUMINA ELECTROLYSIS FOR PRODUCING ALUMINUM	281
用盐湖氯镁石电解生产金属镁的研究	291
稀土在钢中微合金化作用研究	295
INVESTIGATION OF HYDRIDING PROPERTIES AND	
STRUCTURE OF $MINi_{5-x}Sn_x$ SYSTEM	301
氧离子渗透膜在冶金上的应用与前景	307
Ti-IF 钢中元素析出的热力学分析与计算	319
固体电解质脱氧技术的研究进展	324
对冲活塞式发动机换气过程的数值模拟	329
多元熔渣与液态合金间界面张力的模拟计算	336
氢还原 Co_3O_4 动力学的非等温热重实验研究	341
金川闪速炉贫化渣渣相结构及还原性能的研究	346
高炉渣合成 $Ca-\alpha-Sialon-SiC$ 热力学分析及工艺优化	352
复合氧化物负热膨胀材料研究进展	360
纳米碳纤维微观结构的高分辨电镜研究	365
AN ELECTROCHEMICAL NITROGEN SENSOR FOR IRON	
AND STEEL MELTS	368
冶金传输过程的耦合现象与线性非平衡态热力学	373
近年来冶金与材料史研究的新进展	378

环保节能新策略新方法和新技术.....	385
SCIENCE, TECHNOLOGY AND STRATEGY FOR MINIMIZING CO ₂ EMISSION IN CHINESE STEEL INDUSTRY	389
我国钢铁工业主流程污染物排放.....	396
轧钢机机架刚度和强度的有限元分析.....	403

铁矿石的烧结基础特性之新概念^①

吴胜利 刘 宇 杜建新 米 坤 林 鸿

(北京科技大学)

摘 要:长期以来,人们对烧结用铁矿石的评价主要集中在化学成分、粒度组成、矿物特征等常温性能方面,而对铁矿石在烧结过程中的高温行为和作用知之甚少。本文根据对这一问题的深入思考和实验室的基础研究,提出了“铁矿石的烧结基础特性”的概念。根据这一反映铁矿石在烧结过程中的高温物理化学特性,可以使铁矿石种类与烧结效果之间的“黑箱”清晰化,从而对完善烧结理论、改善烧结矿质量、优化烧结工艺过程等具有十分重要的意义。

关键词:铁矿石 烧结基础特性

THE NEW CONCEPT OF IRON ORE SINTERING BASIC CHARACTERISTICS

Wu Shengli Liu Yu Du Jianxin Mi Kun Lin Hong

(University of Science and Technology Beijing)

Abstract: For a long time, the estimation to iron ore has been concentrated on its chemical composition, size composition, mineral characteristics under normal temperature by researchers, while the research to the physical chemistry reacting characteristics of iron ore under high temperature was very little. On the basis of experiment and deep consideration, the concept of iron ore basic sintering characteristics has been put forward. Based on the iron ore physical chemistry characteristics under high temperature, the unknown relation between the type of iron ores and sinter effect has been uncovered clearly. It was very important to complete sintering basic theory, improve sinter quality, optimize sintering technology process etc.

Keywords: iron ore the sintering basic characteristics

1 前言

精料是高炉炼铁发展的基础,尤其对装备和操作条件有了很大改善的现代高炉而言,铁前的原料准备技术变得越来越重要。在我国高炉的入炉含铁原料中,烧结矿的比例高达80%,因此烧结矿质量的改善已成为高炉精料的重要组成部分。

近年来,随着高炉炼铁技术的进步,对烧结矿质量的要求越来越高,且已涵盖整个技术和经济层面。例如:为保证大喷煤量下高炉的顺行,要求入炉烧结矿大幅度降低 SiO_2 含量而强度不能下降;又如,为了提高吨铁效益,要求入炉烧结矿同时具有成本低、性能好的特点。这就使得传统的铁矿石烧结工艺面临重大挑战。另一方面,国内铁矿石资源的缺乏和国外铁矿石的大量进口,使得烧结原料结构发生了很大的变化,如何合理地利用国内和国外两种资源以及实现烧结优化配矿,已成为钢铁企业急需解决的问题。为此,本文从烧结过程

① 国家自然科学基金资助项目(No. 50074005)。

自身精料的角度出发,围绕对烧结主原料——铁矿石的固有特性的认识,探讨优化烧结过程的新思路和新途径。

2 铁矿石特性的研究现状

众所周知,高炉炼铁对烧结矿性能的要求,除了化学成分、粒度组成、转鼓强度等常温性能之外,还对其在炉内的高温性能(如低温还原粉化率、还原性、软熔性等)有明确的要求。但是,在铁矿石烧结方面,人们对烧结用铁矿石的特性的认识和研究,还只是停留在它的化学成分、粒度组成、制粒性等常温性能方面,而对铁矿石在烧结过程中所表现出来的高温行为和作用却知之甚少。

例如,无论是铁矿石供应商还是用户,均是以化学成分、物理性能等常温指标作为对烧结用铁矿石的技术评价依据;又如,现行的烧结配矿也是根据铁矿石的价格和化学成分、粒度组成、制粒性能等进行的。在国内甚至还有为数不少的企业,把从澳大利亚不同矿山进口的铁矿石任意堆放在一起作为同一种澳矿使用。

由于缺乏对铁矿石自身特性的综合认识,特别是不清楚铁矿石在烧结过程中所反映出来的高温物理化学特性,故不能有目的地对各种铁矿石进行合理的选择和使用,从而无法实现真正意义上的“优化配矿”。不仅如此,在这种状况下,往往导致现有的烧结工艺只能是通过操作制度(配碳量、机速、负压、料层高度等)的调整去迎合烧结原料。显然,这种生产方式是非常被动和落后的。因为,倘若所用铁矿石的烧结液相生成能力过弱时,必然在烧结粘结相的数量方面造成“先天性缺陷”,而现有的烧结工艺对于这种铁矿石的烧结,通常只能是采取提高烧结温度的措施予以解决,这就使得先进的低温烧结工艺的实现受到严重制约。

上述问题深刻地表明,在关于铁矿石自身特性及其与烧结过程的内在联系等方面的研究工作还处于较低层次。

为此,如何充分把握铁矿石的自身特性以及深化对烧结过程中铁矿石高温行为和作用的认识,引起了作者的深入思考。通过考察烧结生产实践和基础研究的结果发现:烧结效果与铁矿石种类之间的关系非常密切,而且就赋予烧结过程很大影响的铁矿石自身特性而言,除了通常人们熟知的化学成分、粒度组成、制粒性等常温特性以外,还存在其他与高温状态下的烧结过程密切相关的重要特性。作者之一多年来对铁矿石的这些未知特性进行了探索性研究^[1~3],结果表明:不同种类的铁矿石,在烧结过程中呈现出的高温物理化学性质是各不相同的。例如,在铁矿石与 CaO 的反应性、铁矿石生成的烧结液相的流动性和固结性等诸多方面,因铁矿石种类的不同而有明显的差异。这说明铁矿石由于自身特性的影响对烧结过程所能做的贡献是有很大差别的,而这些与烧结效果有着重大关系的铁矿石的基础特性至今还未被人们充分认识,故作者认为有必要在基于烧结用铁矿石的高温行为及作用规律的基础上,提出了一个属于烧结范畴的新概念——铁矿石的烧结基础特性。

3 铁矿石的烧结基础特性

所谓铁矿石的烧结基础特性,就是指铁矿石在烧结过程中呈现出的高温物理化学性质,它反映了铁矿石的烧结行为和作用,也是评价铁矿石对烧结过程以及烧结矿质量所做贡献的基本指标。铁矿石的烧结基础特性主要包括:同化性能、液相流动性能、粘结相强度性能、铁酸钙生成性能、连晶性能、粘附粉/核矿石的高温结合性能等等。

在铁矿石的烧结基础特性方面,有关的研究工作还非常少。在国外,为数不多的研究工作仅限于对铁矿石的同化性(反应性)的评价方面^[4,5]。作者认为:铁矿石的同化性只是铁矿石的烧结基础特性中的一个指标,整体把握铁矿石的烧结基础特性是非常重要的。由于篇幅有限,本文仅就铁矿石的基础特性中的同化性、液相流动性、粘结相强度性能、铁酸钙生成性能进行探讨。

3.1 同化性

同化性是指铁矿石在烧结过程中与 CaO 的反应能力。它表征的是铁矿石在烧结过程中生成液相的难易程度。一般而言,铁矿石同化性越高,则在烧结过程中越易生成液相。但是,对于非均质烧结矿而言,基于对烧结矿的固结和烧结料层透气性的考虑,并不希望作为核矿石的粗粒矿石过分熔化,以避免起固结骨架作用的核矿石减少以及烧结料层透气性恶化而影响烧结矿的质量和产量。因此,要求铁矿石的同化性适宜。

图 1 给出了 7 种烧结常用铁矿石的同化性研究结果。由图可见,不同种类铁矿石的同化性有着显著差异。

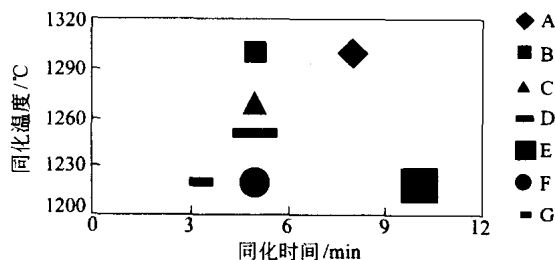


图 1 7 种烧结常用铁矿石的同化性

3.2 液相流动性

液相流动性是指在烧结过程中铁矿石与 CaO 生成的液相的流动能力。它表征的是粘结相的“有效粘结范围”。虽然铁矿石的同化性揭示了低熔点液相生成能力,但同化性和熔化温度的高低并不能完全反映有效液相量的多少。一般来说,液相流动性较高时,其粘结周围的物料的范围也较大,因此可以提高烧结矿的强度;反之液相流动性过低时,粘结周围物料的能力下降,易导致烧结矿中气孔率增加,从而使烧结矿的强度下降。但是,粘结相的流动性也不能过大,否则对周围物料的粘结层厚度会变薄,烧结矿易形成薄壁大孔结构,使烧结矿整体变脆,强度降低,也使烧结矿的还原性变差。由此可见,适宜的液相流动性才是确保烧结矿有效固结的基础。

图 2 给出了 7 种烧结常用铁矿石的液相流动性。由图可见,不同种类铁矿石的液相流动性明显不同。

3.3 粘结相强度性能

粘结相强度性能是指铁矿石在烧结过程中形成的液相对其周围的核矿石进行固结的能力。它对烧结矿的强度有着至关重要的影响。因为,对非均质烧结矿而言,烧结过程中的核矿石的固结主要由粘结相来完成的。核矿石由于其自身强度较高,其不会构成烧结矿固结

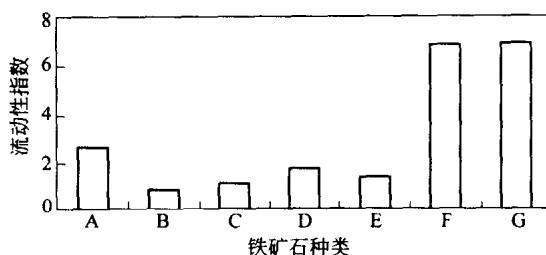


图2 7种烧结常用铁矿石的流动性

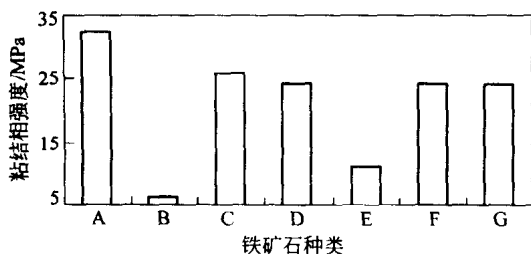


图3 7种烧结常用铁矿石的粘结相强度

强度的限制因素。因此,在烧结工艺条件一定的情况下,粘结相自身强度在很大程度上决定了烧结矿的强度。足够的粘结相虽然是烧结矿固结的基础,但粘结相自身强度也是非常重要的因素。

图3给出了7种烧结常用铁矿石的粘结相自身强度。由图可见,不同种类铁矿石的粘结相自身强度有着明显差异。

3.4 铁酸钙生成性能

铁酸钙生成特性是指在烧结过程中复合铁酸钙的生成能力。铁矿粉烧结的理论和实践都表明:在烧结粘结相中,复合铁酸钙(SFCA)粘结相是最优的。增加烧结矿中的复合铁酸钙含量既有利于提高烧结矿的强度,又有利于改善烧结矿的还原性。如果烧结矿中的复合铁酸钙数量较多且大多以针状存在,则烧结矿的还原性会大大改善。

图4给出了7种烧结常用铁矿石的铁酸钙生成性能。由图可见,不同种类铁矿石的铁酸钙生成特性各不相同。

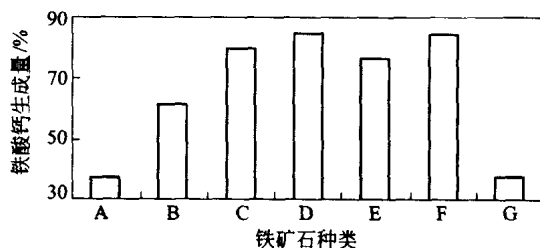


图4 7种烧结常用铁矿石的铁酸钙生成性能

综上所述,不同种类铁矿石的各项烧结基础特性存在很大差异,表明它们在烧结过程中的高温行为和作用各不相同,这是过去依据化学成分、粒度组成、矿物特征等常温因素评价铁矿石的方法所无法获得的重要认识;烧结过程的各项技术经济指标不仅仅取决于铁矿石的常温性能,更大程度上依赖于高温状态下的铁矿石的烧结基础特性。

4 铁矿石的烧结基础特性研究的应用前景

铁矿石的烧结基础特性之概念的提出,为揭开铁矿石种类与烧结效果之间的“黑箱”提供了途径,因而对完善烧结精料的理论基础、对有效利用铁矿石资源、对优化烧结工艺过程均具有重要意义。这一研究的应用前景主要有如下几个方面:

(1) 深化烧结精料理论的研究。铁矿石的烧结基础特性既是铁矿石常温特性的综合,又弥补了它们的不足。因而,它更贴切、更真实地反映了铁矿石在烧结过程中的行为和作

用。通过对铁矿石的烧结基础特性的研究,有助于深化对烧结矿固结机理的认识以及对铁矿石自身性质的整体评价,从而可为烧结过程的优化提供理论基础。

(2) 实施烧结的自主优化配矿。传统的烧结配矿方法,从本质上而言,属于试探性配矿。一方面,由于不了解铁矿石的烧结基础特性,故盲目性大,从而耗费的人力、财力较多;另一方面,由于不清楚铁矿石的互补特性,很难实现真正意义上的优化配矿。铁矿石的烧结基础特性的概念,使真正意义上的烧结自主优化配矿成为可能。通过对铁矿石的烧结基础特性的把握,可建立同时满足烧结矿成本优化和烧结矿性能优化的新型配矿系统,它不仅能准确预测烧结矿质量,而且能根据对烧结矿的质量要求产生优化的烧结配矿方案。

(3) 优化烧结工艺过程。现有的烧结工艺很大程度上是通过操作制度的调整去迎合烧结原料,导致理想的烧结工艺原则和先进的烧结技术无法得到有效的遵循和实施。基于铁矿石的烧结基础特性的精料技术的开发,有助于改变上述以“工艺”去迎合“原料”的被动、落后状态,通过应用铁矿石的烧结基础特性和新型的优化配矿系统,用“原料”去适应“先进工艺”,从而有利于实现烧结过程的整体优化。

5 结论

通过上述分析可得到以下结论:

(1) 对烧结用铁矿石的评价仅仅依据化学成分、粒度组成、矿物特征等常温性能是远远不够的。铁矿石的烧结基础特性贴切、真实地反映了铁矿石在烧结过程中的高温行为和作用,它既综合了铁矿石的常温特性,又弥补了它们的不足,是影响烧结过程的重要因素。

(2) 不同种类铁矿石的烧结基础特性各不相同。把握和应用铁矿石的烧结基础特性,可以使铁矿石种类与烧结效果之间的“黑箱”清晰化,从而对完善烧结精料的基础理论、实施烧结的自主优化配矿、优化烧结工艺过程等具有十分重要的意义。

参考文献

- 1 Shengli Wu, Eiki Kasai, Yasuo Omori. Effect of the Constitution of Granules on Coalescing Phenomenon and Strength after Sintering. Proceedings of the 6th International Iron and Steel Congress, 1990, Nagoya, ISIJ: 15 ~ 20
- 2 Eiki Kasai, Shengli Wu, Yasuo Omori. Influence of Property of Iron Ores on the Coalescing Phenomenon of Granules during Sintering. Tetsu - to - Hagane, 1991; 77(1): 56 ~ 61
- 3 Shengli Wu. Study on Ore - proportioning Design and Reduction of Nitrogen Oxides in Iron Ore Sintering Process (Doctor Degree Paper). Japan Tohoku University. 1991
- 4 Yukihiro Hida, Jun Okazaki, Kaoru Ito, Shunichi Hirakawa. Effect of Mineralogical Properties of Iron Ore on its Assimilation with lime. Tetsu - to - Hagane, 1992; 78(7): 1013 ~ 1020
- 5 Caporali L, Oliveira D, Ottoni R. 铁矿石烧结反应性的概念. 钢铁, 1999; 34(增刊): 111 ~ 115

烧结优化配料技术在唐钢 一铁烧结车间的应用

张延玲 李士琦

亢立明 傅丽娜

(北京科技大学)

(唐山钢铁公司)

摘 要:论述了烧结优化配料技术在唐钢一铁烧结车间的实际应用情况。该技术以配料计算为核心,通过模拟各种条件下的生产状况,将产品质量信息及成本信息反馈到决策层,实现计算机辅助决策。2000 年全年,唐钢一铁烧结车间应用该技术指导生产,取得了非常好的实用效果。

关键词:烧结生产 优化配料 辅助决策

APPLICATION OF OPTIMAL SINTER BURDEN DESIGN IN No.1 IRON-MAKING PLANT OF TANGSHAN IRON AND STEEL CORP.

Zhang Yanling Li Shiqi

Kang Liming Fu Lina

(University of Science and Technology Beijing) (Tangshan Iron and Steel Corp.)

Abstract: The application of the optimal sinter burden design in the sinter shop of No.1 Iron-making Plant in Tangshan Iron & Steel Corp was reported in this paper. By using burden calculation and simulating production under different situations, the technology can provide the relevant information in product quality and cost etc for decision makers. The technology has been used to guide production of the Sinter Shop since 2000, and a remarkable achievement has been obtained.

Keywords: sinter optimal burden design computer aided decision-making

1 烧结优化配料技术

1.1 数学模型

决策变量 $X_j (j = 1, 2, \dots, m)$, 是各种原料的配入量(干料量)。 m 是实际配料计算考虑的原料种类数。本模型中原料种类数可允许达到 50 种。

约束条件为:

(1) 技术指标约束:主要是对烧结矿成分如 TFe 、 R_2 、 SiO_2 的约束,形式如下:

配料成分下限 $Li \leq$ 配料成分 $i \leq$ 配料成分上限 Ui

各成分的具体约束量由技术部门提供。

(2) 配入量约束:各种原料的允许配入量上下限约束,由原料部门和技术部门给出。

(3) 非负约束: $x_j \geq 0$

目标函数:优化配料的目标取烧结矿成本最低:

$$\text{Min} Z = \sum_{j=1}^m x_j C_j$$

可以看出,这是一非线性规划问题,因为如碱度、品位等的约束是自变量的非线性函数表达式。但对于如此大规模的优化问题,利用非线性规划技术无法证明解的存在性和惟一性,必须转化为线性规划模型求解。详细情况请参阅文献[1,2]。

1.2 烧结矿优化配料技术开发

软件框架如图 1 所示。

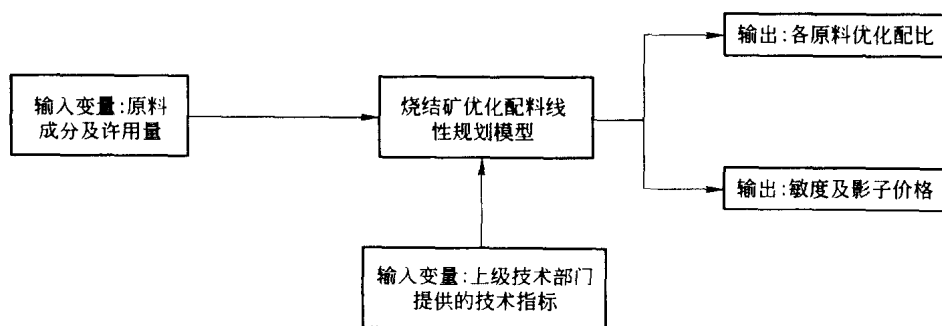


图 1 烧结优化配料软件结构

该软件利用 VB 语言和 ACCESS 数据库开发。

2 工程背景

该车间有两台 24m^2 的烧结机,年产量为 90 万 t 左右。配料车间共有 10 个配矿槽,采用圆盘给料机给料,计量精度为 2%。下料量的控制采用端盘法。每隔 2h 产品取样化验一次,化验结果报出时间大约为 2h。

烧结生产使用的原料有含铁料、熔剂和燃料 3 种。含铁料主要是地方精粉,种类多(大约有 30 多种),来源复杂,另外还包括厂内副产品如:钢渣、轧钢皮、煤气粉尘、炼钢污泥、返矿粉、副矿粉等,成分和价格波动大,品位波动在 27.6% ~ 69.0%,价格在 14 ~ 280 元/t 之间变化不等。传统配料方法采用试算法,首先指定几种原料配比,再调节其他原料配比,进行试算,如最终产品品位在目标 ± 1.0 、 R_2 在目标 ± 0.1 的范围内,即认为是合格的,这种方法将会造成产品成分的严重不合格,而且没有考虑配料成本。

与传统配料方法相比,优化配料技术无论是在产品质量还是成本上都具有无可比拟的优越性,因为优化技术是在可行域上寻求最优解——“最优”意味着成本最低,而“可行域”意味着满足所有的约束条件,本软件中品位要求在 $\pm 0.25\%$ 、碱度在 ± 0.03 范围内波动。

3 烧结矿优化配料技术在唐钢一铁烧结车间的应用

如前所述,烧结矿优化配料技术的核心是线性规划模型,它特有的敏度分析及影子价格的灵活作用使得该模型在烧结生产的多个方面得以应用。本优化配料模型可用作模拟各种情况及其最佳对策的工具。由于它是将配料所涉及的各方面问题结合为一个整体的模型,通过调节模型结构参数就可模拟多种情况的变化,其相应的结果就是在该情况下的最佳对策。这些模拟工作对企业的生产决策有着十分重要的参考价值。

该技术在唐钢一铁烧结车间的现场运行、短期计划层次、中长期计划层次得到了充分应

用。框图如图 2 所示。

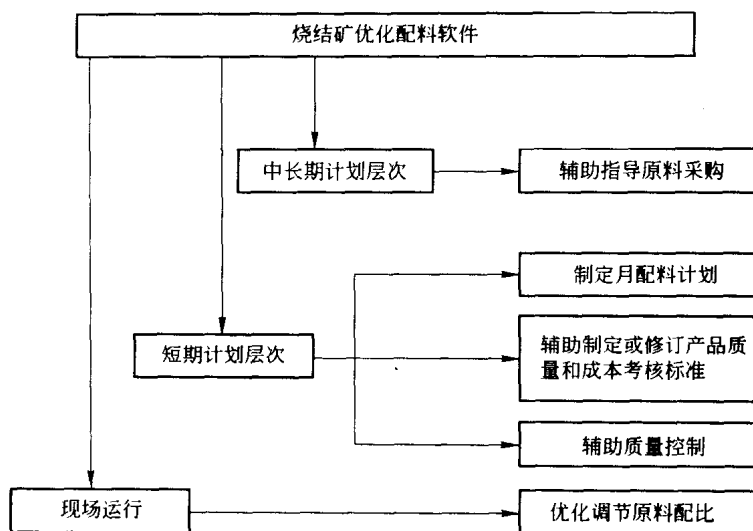


图 2 烧结优化配料技术在唐钢一铁烧结车间的应用框图

3.1 现场运行层次上的应用——优化调节原料配比

生产中发现产品成分超出技术指标时,需要调整原料配比稳定产品质量。多年以来采用的方法是,试调节原配比方案中的两种或三种原料,观察结果是否满足要求。如若碱度 R_2 比要求值低 0.1,则将精粉的湿配比下调 1%、石灰石上调 1%,试用一个班或两个班;如仍不合适,再进行调整。这样做的结果是往往顾此失彼,碱度合格了,难保品位,更无法考虑成本。优化配料技术把各种成分指标的要求纳入约束条件,构成可行域,再在此可行域上寻优求解。因而当一种指标(如碱度)超标,可通过寻优,同时调整多种物料的配比,能够尽量减小对其他多项技术指标的影响。

图 3 和图 4 分别是应用优化配料技术进行工业实验期间(1999 年 12 月份)产品品位及碱度波动情况与实施传统配料方法(1999 年 11 月份)情况的对比,表 1 所列为该期间内相应品位、碱度均值与标准偏差对比。显然,应用优化配料技术不但可以提高品位、提高碱度基数,更重要的是使二者波动范围变窄,大大有利于提高质量稳定性。

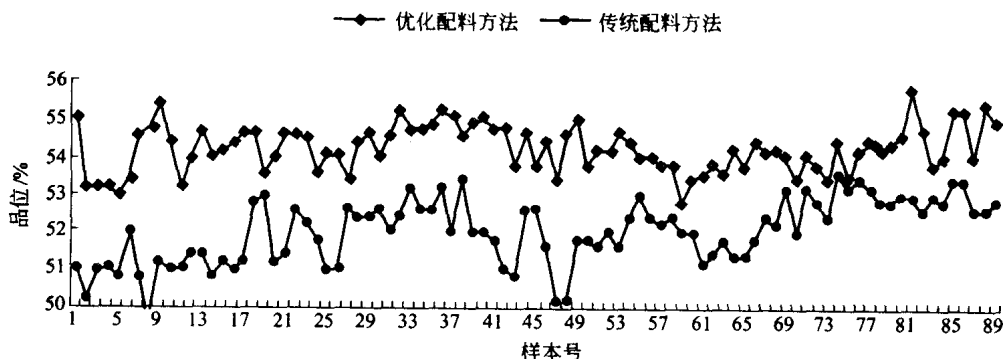


图 3 两种配料方法的产品品位波动情况对比

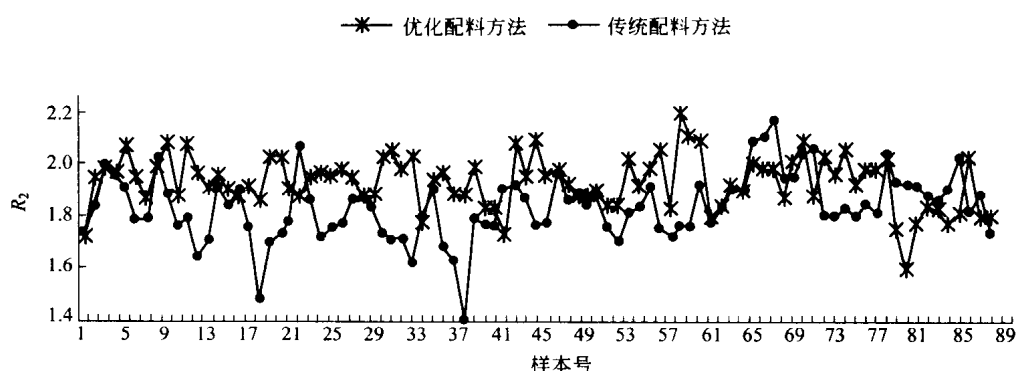


图 4 两种配料方法的产品碱度波动情况对比

表 1 品位与碱度均值与标准偏差对比

时 间	TFe/%		R_2	
	均 值	标准偏差	均 值	标准偏差
1999 年 11 月(传统配料)	52.04	0.89	1.83	0.10
1999 年 12 月(优化配料)	54.25	0.62	1.93	0.12
改善情况	+ 2.21	- 0.27	+ 0.10	- 0.02

3.2 短期计划层次上的应用

3.2.1 制定月配料计划

烧结生产中需要事先做出下个月的用料计划。表 2 为唐钢一铁烧结车间 1999 年 9 月的月报配料方案与在同样原料条件下应用优化配料技术模拟计算的结果对比,由表 2 中可以看出,优化结果比原结果,产品碱度没有太大变化,在品位上升 0.43% 的基础上,成本降低 3.17 元/t,可见应用该技术降低成本的潜力是巨大的。

表 2 两种配料方案比较

原料	月报配料方案/%	模拟优化配料方案/%	价格/元·t ⁻¹	TFe/%	SiO ₂ /%	CaO/%	MgO/%	R_2
铁精粉	52.09	50.93	190	63.78	8.56	1.00	0.80	
返球	2.53	2.68	170	60.39	9.54	1.70	1.08	
返矿	10.14	10.72	160	50.02	7.73	15.60	3.96	
钢渣	4.36	4.47	18	27.52	9.96	26.70	10.22	
污泥	5.63	5.36	120	60.59	6.09	4.40	1.66	
白灰	4.40	4.64	160	0	5.43	80.80	7.92	
铁皮	3.48	3.57	140	70.00	6.00	1.00	0	
石灰石	6.97	7.14	36	0	2.01	49.20	4.50	

续表 2

原料	月报配料 方案/%	模拟优化 配料方案 /%	价格 /元·t ⁻¹	TFe/%	SiO ₂ /%	CaO/%	MgO/%	R ₂
白云石	5.86	6.07	36	0	1.78	31.00	20.45	
焦粉	4.55	4.63	220	0	5.86	1.32	0.03	
	100	100						
月报产品计算结果			184.92	54.60	7.19	12.83	3.93	1.78
模拟优化配料产品计算结果			181.75	55.03	7.23	12.53	3.68	1.73

3.2.2 辅助制定产品质量和成本考核标准

对于烧结生产而言,设备系统及人员操作因素可变性不大,容易引起产品质量及成本变动的经常是原料条件的变化。技术人员只有及时跟上原料条件的变化,针对不同的原料水平修订不同的质量标准及成本考核标准,才能保证标准的良好作用。

表 3 是不同质量水平的精粉能够生产出的产品最高品位及最优品位,最优品位指的是可比成本(表 2 中为折合到品位为 53.5%时的成本)最低的品位,它反映了应用这种精粉所生产的效益最大的品位。

表 3 精粉质量对烧结生产的影响($R_2 = 1.95 \sim 2.05$, 所用熔剂、燃料条件相同)

原料条件			最高品位			最优品位		
名称	品位 /%	SiO ₂ /%	最高品位 /%	成本 /元·t ⁻¹	可比成本 /元·t ⁻¹	最优品位 /%	成本 /元·t ⁻¹	可比成本 /元·t ⁻¹
迁安 精粉	66.5	6.3	55.2	188.93	181.44	53.5	182.41	179.96
	66.0	6.8	54.6	186.85	182.14	53.0	178.00	180.21
	65.5	7.3	53.8	183.22	181.9	52.5	176.04	180.45
	65.0	7.8	53.2	181.11	182.43	52.0	174.07	180.69
	64.5	8.3	52.5	179.33	183.74	52.0	175.36	181.98
迁西 精粉	67.0	5.0	56.6	193.57	179.9	54.5	183.15	178.74
	66.5	5.5	55.8	190.23	180.09	54.0	181.185	178.98
	66.0	6.0	55.2	187.61	180.17	53.2	177.95	179.27
	65.5	6.5	54.5	185.36	180.95	53.0	177.3	179.51
	65.0	7.0	53.8	182.55	181.22	52.5	175.35	179.76
遵化 精粉	66.5	6.0	55.5	189.92	181.1	54.0	181.935	179.73
	66.0	6.5	54.8	187.16	181.42	53.5	180.01	180.01
	65.5	7.0	54.2	184.39	181.30	52.5	175.41	179.82
	65.0	7.5	53.4	181.45	181.89	52.0	173.906	180.52
	64.5	8.0	52.6	178.04	182.89	52.0	174.309	180.92

依据上述模拟计算结果,唐钢—铁烧结车间及时根据市场变化,制定了考核标准,从计