



中国

铁矿石

造块适用技术

冶金工业出版社

潘宝臣 张成吉 主编



中国铁矿石造块适用技术

潘宝巨 张成吉 主编

北京
冶金工业出版社
2000

内 容 简 介

本书收集了来自铁矿石造块的生产、使用、研究和设计单位人员的 30 篇文章。本书共分三部分,第一部分为烧结生产,包括原料准备、烧结工艺、烧结装备和复合矿烧结技术等;第二部分为球团生产,包括竖炉生产技术、带式机生产技术和链箕机-回转窑生产技术及其装备等;第三部分为炉料结构、环保除尘及其他等内容。本书选用的文章介绍的都是生产上正在应用的适用技术,这些技术对推动我国人造富矿领域技术进步方面起到了举足轻重的作用,并且对企业都是有实用性的,具有推广价值。

本书可作为铁矿石烧结生产厂家和钢铁企业有关人员的生产指导用书和培训教材,也可供铁矿石烧结方面的管理、科研、教学、设计等有关人员参考

图书在版编目(CIP)数据

中国铁矿石造块适用技术/潘宝巨,张成吉主编.

—北京:冶金工业出版社,2000.9

ISBN 7-5024-2610-8

I. 中… II. ①潘…②张… III. 铁矿物-造块技术 IV. TF521

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 28693 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 李梅 美术编辑 李心 责任校对 刘倩 责任印制 牛晓波

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2000 年 9 月第 1 版,2000 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19 印张; 463 千字; 296 页; 1-2000 册

40.00 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

20世纪90年代以来,信息技术的浪潮席卷全球,发展之迅速超过人们的想像,每个国家,甚至每个人,不论你是自觉的,或者被迫的,都将先后进入这一浪潮中来,这是关系到国家和个人未来的大事。回顾自18世纪以来,工业革命冲击农业社会,由于旧中国闭关自守,错过了大好时机。这一次,信息技术革命比起工业革命,冲击力更为猛烈,影响更为深远。谓予不信,请看事实,仅举一小国为例:新加坡《联合晨报》载文称,该国拥有电脑进入网络技术的家庭普及率已达60%,政府还嫌太慢,决定要在3年内达到100%,并且举例说在东南亚金融危机影响下,新加坡大批工人失业,当前经济复兴,失业工人已有60%复职,剩下找不到职业的,主要原因是他们不懂电脑和网络技术,没有单位聘用。因此,政府警告人民,在新世纪不懂此项技术的人,将会被社会所抛弃!世界工业国都是这样重视的。

我们吸取历史教训,应该有所觉悟,及早考虑,跟上前进浪潮。2000年5月13日,《经济日报》载“亚洲信息技术市场群雄角逐”一文称,在全世界疾风骤雨般发展的信息产业中,亚洲地区走在了前面,韩国、马来西亚、新加坡以及我国的台湾省、香港都是信息技术产业发展最为强劲国家和地区。在软件方面,印度无论在软件出口的金額以及所拥有的技术人才方面,都居于世界第一位。日本今年计划就要从印度招收一万名软件人才,以发展信息产业。这些活生生的事实和鲜明的对比还不应该引起我们的警觉吗?许多主要工业国家都以信息技术产业作为孤注一掷的最大的、最有效的经济增长点,作为第一战略重点。我认为比起印度、马来西亚等,我国在国力上和技术人才上,都要略胜一筹,他们为何能够超越欧洲和日本?我们为何会落在后边呢?还不值得我们深思吗?

我认为这些国家之所以取得领先地位,关键在于他们抓住了人才培养,他们的理工大学得到加强,快速兴办了上百个信息技术培训学校。几年前,我国曾经提出要提高全民族素质的战略要求,非常重要。冶金行业虽然不是信息产业的直接生产者,但却是信息产业的材料供应者和产品的重要用户,所以也肩负着发展信息技术的责任,当然应该认真执行。我们议论过,认为抓不好人才培养就会拖后腿。还认为冶金职工行业技术不能适应信息技术的要求,跟信息技术衔接不上,也同样被动。80%职工只会六七十年代技术,仅有20%职工具有现代技术水平。从企业管理看,差距也大,先进国家的钢厂,产供销集中在总部,实行电子商务和生产管理,节约大量的人力与财力,仅仅供销费用的减少就可降低10%的成本,而我国只有个别厂才开始进行探讨。究其原因,根于在没有采用现代钢铁技术和最新发展的信息技术培训职工,人们还不具备这些知识。

我们认为搞好职工培训,除了各级领导要高度重视外,重要的问题是现有职工培训教材,必须大大加以改革。首先,各专业教材的编写方针,要认真总结几十年来我国在各专科领域取得的成就,去粗存精,对几代人通过实践证明行之有效的技术进行总结,编辑成教材。其次,要打好行业基础,给职工以现代化技术教育。许多专家学者认真消化吸收和

创新了宝钢的现代化长流程钢厂技术，编写了14部书；又根据沙钢的现代化短流程钢厂技术，编写了2部书。这可以作为高级技校和在职职工培训教材以及工科大学的参考用书。第三，也是非常重要的一点，是要认真研究信息技术同钢铁现代技术衔接的新鲜经验，以及在这方面还在进行的新探索。例如，我们在研究宝钢实行信息化管理时，就发现他们编制、创造了许多软件技术，在生产上发挥作用，而这些软件并不为其他企业的职工所知晓。将这些软件、硬件技术穿插进各个专业教材中去，成为职工的必修课程。

最近，看到《中国铁矿石造块适用技术》书稿的概要，非常欣慰！作者们深刻体会“科教兴国”的重要意义，又十分理解新世纪技术发展的大趋势，已将上边提到的职工培训教材的三个重点，包含无遗，融为一体，完全符合我们的要求。特别令人高兴的是，他们从总结建国50年来几代人创造的新技术和实践经验，进行系统总结，编成此书。这是一部不可多得的好书，既有实际应用价值，又有新的内容和前瞻意义，会受到读者的欢迎。我乐于为之作序，受他们的启发，又讲了一大篇议论，热烈祝贺本书的发行成功！

我附带说一个观点：我认为我们科技工业界有一个不小的缺点，就是空话太多而务实不够，信息技术产业的落后就是例证，不是没有预见到，而是没有去做。造块工作者大概还会记得，1983年在推广首钢烧结经验的总结会上，我曾对东北地区钢厂迟迟不搞冷烧提出批评说：“冷烧不过山海关！”有的单位会上承诺，但会后没有行动，成为东北地区多年来炼铁指标从先进变为落后的主要原因之一，教训十分深刻！但愿这本书所提的一些新技术不会落到同样的冷遇。

还想说一句话，请朋友们研究，就是当年苏联用细磨精矿搞烧结的方针是不正确的！我们全盘照搬，遗害无穷！我认为富矿粉搞烧结是惟一的选择，而细磨精矿则是另一回事。由于FeO高、还原性差、凝聚性差，产生的粉末多，成品烧结在转运过程中易破碎，给高炉冶炼带来困难，因此，盛产细磨精矿的北美则采取发展球团的一方针。球团经过氧化焙烧，产生的粉末少，转运过程中破碎也少，所以是高炉欢迎的炉料。50年来，国内外生产数据的对比，足以证明这一方针的正确性。50年代我国照搬苏联经验进行建设，不少造块工作者逐渐发现这一经验的重大缺点，研究纠正的补救办法，“七五”、“八五”以来开发了一批新工艺和新技术，如高碱度烧结技术、球团烧结技术、小球烧结技术、低温烧结技术，这些新技术部分地纠正了烧结生产的缺陷。并取得显著的经济效果。可见技术上的发展方针，最为重要，各级领导在采用时不可不慎！以错误为先进；认为先进技术作用不大不去紧抓，都足以造成严重的后果！

周传典

2000年6月

前 言

建国 50 年来,我国铁矿石造块工业取得了很大的成就。建国初期,铁矿石造块工业几乎为零,目前已建成并投产的特大型烧结机(400m²以上)5台,全国拥有烧结机 210 台,总面积约 13000m²,年产烧结矿 1.5 亿 t 以上。已建成投产球团生产设备近 30 台,年产球团矿能力近 1500 万 t。我国已成为世界上烧结矿和球团矿的生产大国。我国铁矿石造块领域取得的成就概括起来包括以下几个方面。

(1) 烧结工艺方面,自 1978 年马钢冷烧技术攻关成功后,“六五”、“七五”期间一批重点企业和地方骨干企业基本完成了热烧改冷烧工艺。相当部分企业建成原料中和混匀料场,并投入使用,绝大部分厂家实现自动化配料、混合机强化制粒、偏析布料、冷却筛分、整粒技术及铺底料技术。

(2) 新工艺新技术的研究开发和应用。“七五”、“八五”以来在传统烧结工艺基础上研究开发了一批新工艺和新技术,并在国内各大钢铁企业推广应用,如高碱度烧结技术、球团烧结技术、小球烧结技术、低温烧结技术、低硅烧结技术等,上述技术目前已在国内大部分钢铁企业推广应用,并取得显著的经济效益。

(3) 设备大型化和自动化。20 世纪 50 年代我国最大烧结机为 75m²,60 年代为 130m²,80 年代为 265m²,90 年代宝钢和武钢的烧结机为 450m²,并相继投产,这些都是我国自行设计,自行制造的,并实现了自动化。

(4) 球团工业方面,我国竖炉球团工艺不断完善成熟,16m²竖炉已超过设计能力,8m²竖炉年产球团矿达 30~40 万 t,这在世界上属先进水平,还出口到美国。此外,带式机球团、链算机一回转窑球团也不断完善和提高,其生产能力均远远超过设计水平。

(5) 烧结和球团生产指标及产品质量提高。近年来我国烧结质量显著提高,目前多数厂家烧结矿铁品位达到 55%以上,有的厂家达到 58%。SiO₂含量降到 5%左右,有的还低于 5%,实现了低硅烧结。烧结矿 FeO 含量为 8%~10%之间,转鼓强度明显提高,还原性提高。球团矿质量也均有较大幅度提高,目前球团矿铁品位平均已达到 62%~63%,并且球团矿强度、还原性也有较大提高和改善。此外烧结矿和球团矿的固体燃耗也有较大幅度的降低。

(6) 炉料结构趋向合理。70 年代前我国绝大部分厂家高炉炉料结构是单一自熔性烧结矿入炉为主。近年来我国新建成球团矿生产设备逐年增加,以及酸性球团烧结矿工艺工业化生产成功,使我国酸性料产量逐年增加(包括进口部分块矿),这样使得酸性料配加高碱度烧结矿的合理炉料结构比例逐年在增加,为高炉增产节焦创造了条件。

(7) 三大复合矿造块工艺过关。攀钢、包钢、酒钢三种铁矿石是我国三大特殊类型复合铁矿石,比普通铁矿石造块难度大得多。多年来经企业广大工人和技术人员及科研单位、高等院校技术人员的共同努力,分别解决了这三大类型复合铁矿石的烧结工艺和球团工艺复杂技术难题。由于造块工艺的过关,为这三大钢铁基地的发展奠定了基础。

(8) 一些先进企业采用了近期开发的信息技术。如宝钢等。

此外，烧结厂、球团厂的环境治理及余热回收方面也取得了较大进展。

建国 50 年来，我国人造富矿领域上述成就的取得，是在党的正确方针政策的指引下，我国广大钢铁冶金工作者几代人的共同努力奋斗的结果。在新千年到来之际，中国金属学会炼铁学会决定编写此书，其目的—方面是总结 50 年来在铁矿石造块领域取得的重大成绩，另一方面是要把建国 50 年来钢铁冶金工作者几代人在铁矿石造块工业生产中通过实践证明的行之有效的实用技术进行总结，编成此书供广大铁矿石造块领域的工作者再教育及使用参考。在我们迎接新千年之际，也要清醒地看到我国人造富矿与国外先进国家比较还存在不小的差距，主要是品位低，质量差；不少厂的产品成分波动大，球团厂特别是大型球团厂发展滞后，能耗高，环境治理尚有差距，微机控制技术较为落后等。让我们在过去 50 年成绩的基础上不断地开发创新，为从钢铁大国转为钢铁强国，为在新千年中我国人造富矿领域取得更大的成绩而努力。

本书是由几位多年从事造块专业工作的专家，如周取定、孔令坛等参加策划，雷任时、朱德庆、赵庆杰等理事参与研究，各有关单位分工撰写，由潘宝巨、张成吉汇编而成的，唐先觉、王志花同志也参加了本书的编辑工作。有关单位的学会理事和领导给予了大力支持。作者多是些具有生产研究经验、卓有成就的知名人士，他们不负众望，昼夜不息，潜心著述，仅费半年时间，已经全书脱稿、付印，他们的工作和精神值得我们学习，特此致谢。

由于种种原因，尚有些好的文章未能收集在内，对此表示深深的遗憾和歉意；加上时间仓促，水平有限，本书在编辑过程中缺点和错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

目 录

第一章 烧结部分

第一节 原料准备	(1)
一、原料场混匀技术的发展	姚驻斌 张望兴 王 光 (1)
二、烧结自动配料技术的发展及生产实践	宋开永 孙 骥 薛万青 (10)
三、白灰的生产及使用技术	张清江 常玉洁 (21)
第二节 烧结新工艺、新技术开发及推广应用	(38)
四、铁精矿球团烧结工艺理论与生产实践	潘宝巨 王志花 (38)
五、小球烧结技术	单继国 石红梅 (50)
六、高碱度烧结矿及低温烧结	王树同 孔令坛 (60)
七、自熔性烧结矿自然粉化机理及防止措施	周取定 任允芙 (69)
八、喷洒氯化物控制低温粉化技术	吴捐献 陈先文 黎成家 郑修悦 (80)
九、宝钢烧结使用进口矿生产实绩	钱植仪 成正福 (89)
十、进口铁矿石性能浅析	樊御飞 (93)
十一、烧结矿的整粒	许封球 (100)
十二、烧结矿冷却技术及应用	许景利 (107)
第三节 烧结装备水平的进步	(121)
十三、我国烧结机的大型化和老烧结机的改造	唐先觉 (121)
十四、降低烧结机漏风率技术	伍世梓 (126)
十五、烧节点火炉改造	宁德乙 (130)
十六、烧结过程检测和自动控制	范晓慧 李 桃 (139)
第四节 我国特有的复合矿烧结生产技术	(146)
十七、钒钛磁铁精矿烧结特性	石 军 何 群 (146)
十八、包钢含氟铁矿烧结技术的进步	赵映同 张成吉 (158)
十九、酒钢铁精矿烧结生产实践	于海津 (183)

第二章 球团部分

二十、中国竖炉球团矿生产技术	郑逸怀 (194)
二十一、中国带式焙烧机的生产实践	任 伟 (204)
二十二、链算机·回转窑氧化球团生产工艺及我国生产状况	叶学农 张彦博 (212)
二十三、铁矿球团使用的膨润土质量标准及其控制	傅菊英 (220)
二十四、球团用铁精矿粉粒度和水分的控制	傅菊英 (229)

二十五、冷固成型固结理论及生产实践	朱德庆 姜 涛 (237)
二十六、球团矿的质量标准与检测方法	傅菊英 (245)

第三章 炉料结构、环保除尘及其他

二十七、高炉炉料结构的进步与发展	许满兴 (258)
二十八、烧结余热利用技术	杨济凡 周节旺 杨照鹏 (271)
二十九、烧结除尘技术	杨庆钧 (276)
三十、烧结烟气排烟脱 SO ₂ , NO _x 技术	申桂秋 (288)
附录 书中涉及到的部分冶金系统单位简称与全称对照表	(296)

一、原料场混匀技术的发展

姚驻斌 张望兴 王 光

(武汉钢铁(集团)公司工业港)

1 引言

随着现代钢铁生产的发展,提高产品质量、节能降耗成为各大钢铁企业当务之急,其中至关重要的一点是必须抓好“精料”工作。现代化高炉生产需要精料,这就要求烧结矿的物化性能均要满足大型高炉冶炼的需要,而烧结矿要满足上述要求,烧结原料必须进行混匀,使其原料化学成分稳定、粒度均匀,而且供料长期稳定。这就需要新建原料场对各种物料进行混匀。对于一些原料品种多,粒度、化学成分波动大的钢铁企业,更需要有完善的、先进的混匀工艺及设施。

2 原料混匀技术的发展

原料混匀是国外在 20 世纪 60 年代兴起的一种原料处理技术,它将多种散状原料按比例精确配料,使混合料质量稳定。这对提高烧结、炼铁的产、质量,降低能耗及利用氧化铁皮、高炉灰等厂内循环原料有积极作用。

我国的原料混匀技术从一片空白发展到目前接近国际先进水平,大致经过了以下四个阶段:

(1) 在 20 世纪 50 年代末至 60 年代中期,我国钢铁工业的恢复和发展时期,原料准备生产和设施相当落后,50 年代末以重钢为代表的机械化生产原料车间的建成,并实现了部分原料集中处理和供给的新工艺,表明了我国原料准备技术已开始起步。

(2) 60 年代末至 70 年代中期,国外开始大规模建设混匀场,原料准备技术取得了飞速发展,也使我国钢铁工业的原料准备技术有了新的进展。酒钢原料准备系统在国内第一次采用了将全公司的散状原燃料集中处理和供给的新工艺。

(3) 70 年代末至 80 年代中期,宝钢原料分厂处理全厂所需的原燃料,拥有包括整粒、混匀、取制样、控制中心在内的完整的先进工艺生产系统,并拥有当代国际先进水平的新工艺和新技术,它的建成投产对我国原料准备的发展起到了很大的促进作用。我国炼铁工作者对物料准备技术愈来愈重视,尤其是物料的混匀技术。

(4) 从 80 年代中期至今, 我国许多钢铁企业如武钢、马钢、唐钢均建成了先进的原料场及混匀工艺设施。

3 武钢原料场混匀系统介绍

武钢为解决高炉生产长期存在的原料条件差、产量低、消耗高的问题, 早在 1981 年就开始着手建设原料场的工作。经过近 8 年的矿石场一期改造工程的建设, 工业港原料场成为我国现代化大型原料场之一。工业港占地面积 201.7 万 m², 拥有 9 座码头和 1227m 码头岸线, 堆场面积 82 万 m², 贮矿量可达 190 万 t。工业港的混匀系统由一次料场、混匀工艺设施、混匀场组成。混匀工艺是将水运料场和陆运料场取得的原料送入 11 个混匀配料槽, 按 BLOCK 计划由 $\phi 3600$ mm 圆盘给料机经皮带电子秤完成配料作业, 再送至 DBKH1900·30 型混匀堆料机进行人字形往返行走堆料, 最后由 QLG1500·40 型滚筒式取料机全断面取料送至烧结厂。武钢工业港第一混匀料场占地面积 6.1 万 m², 是双料条布置, 每一料条可堆混匀矿 21 万 t, 采取 1 堆 2 取作业方式。武钢混匀场与国内外先进厂矿设备性能参数比较见表 1。武钢混匀场工艺流程图见图 1。

表 1 武钢混匀场与国内外先进厂矿设备性能参数比较

厂名	武钢	宝钢	马钢	若松	大分	君津
混匀料场宽度/m	34	33	33	33	31	29
混匀料场长度/m	550	540	230	310	535	130
混匀料堆高度/m	12.4	12.4	12.4	13	11.5	11.5
堆积量/万 t	21.3	23.5	10.73	16	14	6
料堆数/个	1 堆 2 取	2 堆 2 取	1 堆 1 取	2 堆 2 取	2 堆 2 取	2 堆 2 取
混匀配料槽/个	11	8	8	3	7	3
配料槽容/m ³	400×5 200×6	400×4 200×4	400×4 125×4	500×3	185×3, 130×1 120×1, 147×1 250×1	530×3
设计能力/(t·h ⁻¹)	200~1000	200~1000	150~750		50~400 50~600 120~750 200~1300	
槽容比	3.89	2.67		2.50	1.20	1.71

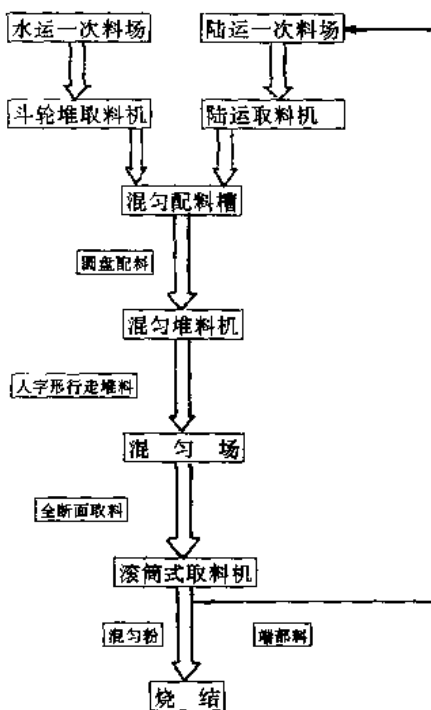


图 1 武钢混匀场工艺流程图

4 混匀系统工艺介绍

4.1 一次料场预混工艺

4.1.1 堆料工艺

一次料场的工艺设备主要有斗轮堆取料机、堆料机、斗轮式取料机三种。武钢工业港的一次料场及堆取料设备见表 2。

表 2 武钢工业港一次料场设备性能表

料场	江边水运一次料场	L-D 料场	陆运一次料场
项目名称			
堆取料机/台	堆取料机 4	堆取料机 2	堆料机 2 取料机 2
设计能力/t·h ⁻¹	堆料能力 1250 取料能力 1250	堆料能力 600 取料能力 300	堆料能力 1500 取料能力 1200
料场面积/万 m ²	5.4	5.0	14.1
贮矿品种	进口粉矿、块矿、球团	国内粉矿、精矿	熔剂、粉矿、精矿

一次料场堆取料机作业方式可分为 4 种：定点堆料、鳞形堆料、行走堆料、条形堆料。定点堆料作业方式最简单，也最常用，但容易产生粒度偏析（见图 2）。而后 3 种工艺对解

决粒度偏析及成分波动各有所长。鳞形堆料（见图 3）针对定点堆料的缺点，解决了粒度偏析问题，由于粒度的波动往往与成分的波动是相关的，根据以往的实验数据，一般赤铁矿其粒度大的铁分要高于粒度小的，因而对稳定成分也有一定作用（见表 3），不过对块矿的效果比粉矿更好。行走堆料虽可使大堆成分更均匀，但也会有一定的粒度偏析（见图 4）。条形堆料是在行走堆料的基础上加以改进而成的，既可以减少粒度偏析也可以稳定成分波动，只要堆料设备具备行走堆料的性能，此种作业方式应是最佳选择（见图 5）。

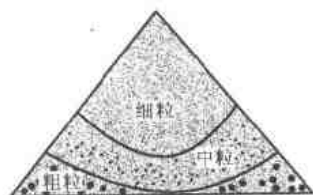


图 2 定点堆料偏析图



图 3 鳞形堆料平面图



图 4 行走堆料断面图

表 3 综合粉鳞形堆料前后效果比较 (%)

比较项目		平均值	极差	标准偏差
综合粉 w (TFe) 值	堆料前	49.6	8.92	1.773
	鳞形堆料后	49.33	2.57	0.66

注：表中数值为质量分数，以后凡未经注明的百分浓度均为质量分数。

4.1.2 取料方式

一次料场取料按旋转分层分段取料（见图 6），亦称为扇形台阶式取料，这样可保证送料量稳定、均匀，也可提高设备作业效率。



图 5 条形堆料断面图

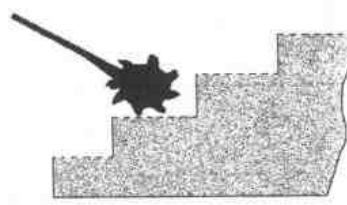


图 6 旋转分层分段取料示意图

(1) 旋转调速是为了保证料流的均衡，取料机臂架回转速度按 $1/\cos\phi$ 函数自动无级调速，以弥补取料的月牙损失；

(2) 分层取料可保证原料的初混，对鳞形和人字形堆料如采用分层分段法取料，以堆料机的行走布料速度及生产能力计算，每层高 1.8~2m，则每取一层含布料层数 8~10 层，初混效果较好；

(3) 分段取料则可充分利用料场，先堆先取，提高料场利用率。

4.2 作业线的优化及货场管理

武钢原料场系统流程复杂，且由于原料品种多，料场分散（有3个一次料场），加工工序多，因此料场货位的合理配置、作业线的优化选择，成为生产组织的一个重要课题。

4.2.1 优化作业线与货位布置

为了降低混匀成本，优化料场作业，减少倒运，消除迂回运输，并改善原料结构，我们通过建立配料模型与作业线优化模型，运用运筹学原理及物流技术对武钢的原料场进行系统分析，从而对货位与运输作业线进行科学的配置，找出了运价最高与运价最低的作业线，并依此调整了货位，使大宗原料尽量贮存在运距最短的料场，用量较小的原料贮存在运距较远的料场。通过作业线的优化与料场的调整，取得以下效果：

(1) 充分利用码头设备的装卸能力，平衡资源，发挥料场的潜力，减少倒运；

(2) 改善原料结构，减少混匀大堆成分的波动，使混匀料在保证质量的前提下综合成本最低；

(3) 通过对生产组织的动态规划，形成了每一品种均有两条作业线向混匀输送的格局，从而确保了向混匀供料的连续性与稳定性，减少了大堆间成分波动，同时消除回流、减少迂回运输，以做到最小费用最大流。

(4) 加强了原料货位储量的动态管理。通过原料储量的计算机管理，每月末对部分关键品种进行盘点调整。对货位进行定置管理，尽量避免货位的变更，以减少工艺性杂矿的产生。几年来，尽管原料场的年作业量与混匀产量逐年提高，但倒运量与杂矿量却日益减少。

4.2.2 一次料场实行启、封堆制

启、封堆制使一次料场堆贮更有计划性，从而确保了每个矿堆的量与成分的准确性，以实现原料的批别管理。落实启、封堆制很重要的一环是严禁对同一料堆边堆边取。

4.3 混匀工艺改进

武钢混匀工艺在消化国内外先进技术的基础上，结合武钢的条件，从配料到堆料、取料采用了一些新工艺，经过几年的发展，日趋完善并具有自己的特点与优势。

4.3.1 BLOCK 计划的优化

BLOCK 计划是根据混匀配比计划进行制定的。将一个配料计划分成4个BLOCK来执行，每个BLOCK堆积量基本相等，这样做可以保证在混匀建堆的整个周期内混匀配料成分与大堆计划成分的一致性，使建堆管理更方便，而且对于影响配料的各种因素适应性强，对质量的稳定更易于控制。

在经过多年技术攻关及科研实验、建堆实绩的基础上，武钢原料场形成了一系列优化BLOCK计划的工艺原则：

(1) 在分配配料品种槽位时，原则上按含铁品位高低来顺序安排；

(2) 特殊品种原料（如强磁精矿、海粉等 SiO_2 含量很高的原料）尽量安排在料堆中间；

(3) 质量较差的原料多用小槽，使其尽量分散，减少成分波动对配料的影响；

(4) 充分利用设备优势，11个配料槽保证9个以上同时作业，一般留两个槽备用，以保生产的顺行；

(5) 不断增加配料品种，以逐步提高配料层数，而且可以保持混匀配矿结构的长期稳定，这对保证烧结配矿结构的稳定、提高烧结矿质量尤为重要；

(6) 以控制 SiO_2 含量为中心，确保烧结对碱度的控制水平。

4.3.2 对端部料处理

混匀堆料机把经过精确配料的原料以人字形行走堆料方式进行平铺，再通过滚筒式混匀取料机进行全断面截取。混匀大堆根据取料机截取部位的不一样可分为端部料与胴体料。端部料指的是大堆头、尾部分取料机不能一次截取所有料层的那部分料堆，而胴体料部分取料机可以一次截取所有料层（见图 7），因而端部料质量波动比胴体料要大。武钢工业港原料场目前采取的堆料作业方式为变起点定终点的人字形堆料（见图 8），从图 8 可见头部端部料比图 7 有明显的减少。采用起点的个数，国内采用此堆料工艺的厂家没有定论，限于目前堆料机的性能不可能有很高精度的定位，堆料点过多端部料混匀效果无明显提高，且可能过犹不及，通过几年科研和工艺实验，我们认为在现有建堆量下，起点个数定为 8 个左右较好。这样可充分减少端部料成分的波动，而且设备控制及工艺操作也相对较容易。对于尾部端部料可采用死料堵头，即取料机每次取到尾部端部料时停止取料，可进行下一次建堆，这样会缩短建堆周期、减少返回料量。采用死料堵头要求各混匀堆的成分稳定一致，不必每次都处理端部料，缩短了建堆时间。对于已形成的端部料，通过返回一次料场的作业线，在一次料场进行充分预混后，再重新参与混配。



图 7 定起点定终点人字形堆料



图 8 变起点定终点人字形堆料

4.3.3 堆料层数及配料层数提高

对于一个混匀大堆应堆多少层目前有较多说法，各厂矿依据自身条件堆料层数也不相同，但普遍认为 500~600 层以上最好。根据经验式：

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1}{\sqrt{n}}$$

式中 σ_1 ——输入料流的标准偏差；

σ_0 ——输出料流的标准偏差。

由上式可知，堆料层数越多，混匀效果越好。为了提高混匀效率，我们在保证提高堆料层数的同时，还注意提高配料层数，并尽量保持层厚的一致性。

一是要保证提高堆料层数，并保证每层料厚的一致性。由于愈往上料层愈薄，最后可能料布不满料堆面，从而使料堆在断面分布不均，影响横断面的混匀效率。所以我们采取在不同的堆料阶段控制料流的方法，稳定料层厚度，同时也保证了堆料层数。

二是提高每次配料的下料层数，这包括提高配料品种数和同时参与配料的槽数。无疑，配料层数越多，混匀效果越好。它不但可以减少质量波动，而且由于配料品种多，可保证

配料结构的长期稳定。这对减少混匀大堆之间的波动，保证烧结配矿结构的稳定及烧结矿的质量是相当重要的。

这两点在制定 BLOCK 计划时都作了充分的细化。

4.3.4 控制杂矿对混匀质量影响

武钢工业港原料场工艺性杂矿较多，这些杂矿成分、粒度波动大，再加上各种国内粉矿经常粒度不合要求，这些对混匀质量有较大影响，尤其是一些地方矿成分波动大、杂物多，因此，应注意以下两点：

(1) 在一次料场加强对这些矿种的初混，把大块杂物先行处理走；

(2) 在制定配比计划时严格控制其配比量，并要求这些矿入配料槽前必须先通过去块筛。

4.3.5 混匀效果评价

评价一个原料场混匀工艺及工艺设施先进与否，必须以一些技术经济指标作为参考依据。目前大多数厂矿以最终混匀粉的质量指标如 TFe 标准偏差、SiO₂ 标准偏差作为对比指标。由于混匀粉的质量指标如 TFe 标准偏差只能反映最终成品矿的质量状况，未考虑原料情况，所以很难比较何种混匀工艺或混匀设备混匀的效果好，因而混匀效率指数常被用来比较不同的混匀工艺及设备的混匀效果。

混匀效率指数 $H = S_A / S_B$ ，式中， S_A 为输入料流的标准偏差； S_B 为输出料流的标准偏差。

混匀效率可反映单机设备或系统对多种原料混匀或单品种原料匀化的效果，因而最适宜作为评价系统工艺水平的指标。例如对于桥式双斗轮取料机与滚筒式取料机混匀效果孰优孰劣，就可利用混匀效率指数这一指标来进行比较。经实验证明，滚筒取料机由于是全断面取料，可有效减少横向波动，因而其混匀效率比桥式双斗轮要好，这一点已得到国内外同行的共识。

5 混匀系统效益分析

原料场的主要作业就是将厂内、外运进的熔剂，含铁料进行整粒、堆存，落地混匀后输送到烧结、炼铁、炼钢等生产厂，以提高各生产厂的技术经济指标，增加钢铁公司的整体经济效益，因此原料场的作业效益，应体现在烧结、炼铁及轧钢系统。含铁原料经混匀后，可满足烧结矿对含铁料化学成分波动的要求，为提高烧结矿的成品率创造了有利的条件。当合格的烧结矿进入高炉后，又可稳定高炉的冶炼操作，优化高炉的技术经济指标，向炼钢厂输送合格的铁水，为轧制各种钢材提供优质原料。国内外许多厂矿多年的混匀生产实践表明，炼铁原料经过混匀后，烧结和炼铁的增产、降耗效果显著，见表 4、表 5。

表 4 国内外一些厂家混匀料场的经济效益

项目 国家	厂名	条 件	经 济 效 益
德国	曼内斯曼	使用混匀矿烧结	烧结机增产 15%
澳大利亚	肯布拉港	使用混匀矿烧结	高炉增产 10%~25%

续表 4

项目 国家	厂名	条 件	经 济 效 益
荷兰	艾莫依登	使用混匀矿烧结	烧结机增产 7.0%，固体燃耗降低 15%
中国	济钢	2×90m ² 烧结机用混匀矿烧结	烧结工序能耗（标煤）由 88.83kg/t 降至 75.93kg/t，降低 14.52%。高炉利用系数由 2.566t/(m ³ ·d) 提高至 2.651t/(m ³ ·d)，提高 3.31%，焦比降低 5.07%
	广州钢铁厂	使用混匀料生产的烧结矿	高炉增产 6.09%，焦比降低 10%
	首钢	使用混匀料生产的烧结矿	高炉利用系数由 1.876t/(m ³ ·d) 提高至 2.0867t/(m ³ ·d)，提高 11.23%，焦比降低 10%

表 5 武钢烧结厂使用混匀矿前后烧结厂的主要技术指标

指 标	1991	1992	1993	1994	1995	1996
(1) 混匀指标						
混匀矿用量/万 t	0	46.2	78	108.2	176	324.3
(2) 烧结指标						
烧结产量/万 t	772.77	899.627	938.54	946.15	942.27	906.97
综合合格率/%	96.51	95.14	96.77	98.17	98.94	99.01
综合一级品率/%	77.10	65.72	75.46	85.62	89.13	92.10
转鼓一级品率/%	98.43	88.57	92.60	97.87	99.25	98.60
w(TFe) ≤ ±0.5/%	82.56	80.91	85.77	91.12	92.43	94.00
R ≤ ±0.1/%	85.22	85.37	90.91	92.95	94.82	94.81
能耗(标煤)/kg·t ⁻¹	52.08	51.78	51.48	50.89	48.56	48.11
工序能耗(标煤)/kg·t ⁻¹	76.29	74.43	73.02	71.78	69.54	67.87
利用系数/t·(m ³ ·h) ⁻¹	1.382	1.445	1.506	1.513	1.521	1.538

6 混匀工艺技术展望

我国原料场混匀工艺经过这些年的快速发展已经日趋成熟，为了进一步促进混匀工艺技术的发展，应加强原料匀化的基础理论研究及提高系统控制水平。

6.1 自动取制样、在线检测系统的应用

现代化的原料场必须配备先进的检、化验中心。通过自动取制样系统，对所有进厂原料进行自动取样，集中化验，并按品种、批别、成分、定量堆贮，以实现原料的批别管理。