

“十二五”国家重点图书

# 烧结球团生产技术手册

SHAOJIE QIUTUAN SHENGCHAN JISHU SHOUCHE

姜涛 主编



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



“十二五”国家重点图书

# 烧结球团生产技术手册

姜 涛 主编

冶金工业出版社

2014

## 内 容 提 要

本手册系统地总结了烧结球团理论研究成果和生产技术经验,全面反映了烧结球团生产工艺技术、基本原理、操作与维护、节能与环保、控制与检测和最新进展,在工艺技术、节能、环保等章节大量介绍了国内外生产实例,内容丰富,体系完善,是一部“实用性、指导性、先进性”俱佳的权威工具书。

本手册可供烧结球团、钢铁冶金等领域的生产人员、工程技术人员、设计人员、管理人员和教学人员阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

烧结球团生产技术手册/姜涛主编. —北京:冶金工业出版社, 2014. 6

“十二五”国家重点图书

ISBN 978-7-5024-6589-6

I. ①烧… II. ①姜… III. ①烧结—球团—生产技术—手册 IV. ①TF046.6-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第113648号



出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰 曾 媛 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 刘 倩 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6589-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2014年6月第1版, 2014年6月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 56.25印张; 1363千字; 877页

280.00元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿信箱: tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

## 编审委员会

- 王维兴 中国金属学会  
孔令坛 张建良 北京科技大学  
白晨光 重庆大学  
沈峰满 东北大学  
姜 涛 朱德庆 范晓慧 中南大学  
何国强 陈乙元 储太山 中冶长天国际工程有限责任公司  
张福明 李长兴 北京首钢国际工程技术有限公司  
汪立忠 檀为义 中冶北方工程技术有限公司  
周良荣 叶学农 中冶华天工程技术有限公司  
孙文东 肖 扬 舒方华 武汉钢铁(集团)公司  
张龙来 毛晓明 宝钢集团有限公司  
冯焕林 贺淑珍 太原钢铁(集团)有限公司  
邵安林 周节望 鞍山钢铁集团公司  
石 军 覃金平 攀钢集团有限公司  
李春龙 邬虎林 包头钢铁(集团)有限责任公司  
刁岳川 丛培武 南京钢铁集团有限公司  
李红革 首钢集团首钢矿业公司  
陈大元 重庆钢铁集团有限公司  
孙 涛 安阳钢铁集团有限责任公司  
刘道林 新余钢铁集团有限公司  
冯国辉 广东省韶关钢铁集团有限公司  
周云花 湖南华菱湘潭钢铁有限公司  
胡友明 湖南华菱涟源钢铁有限公司

## 主要编写人员与分工

第1章	烧结球团概论	姜涛			
第2章	烧结球团原料	姜涛			
第3章	烧结过程基本理论	郭宇峰	范晓慧	姜涛	
第4章	球团过程基本理论	李光辉			
第5章	烧结生产工艺与设备	肖扬	贺淑珍	毛晓明	杨永斌
第6章	球团生产工艺与设备	孙涛	杨永斌	李红革	舒方华
第7章	特殊铁矿的烧结球团生产	邬虎林	覃金平	张永康	
第8章	直接还原与金属化球团的生产	郭宇峰	黄柱成		
第9章	烧结球团专家系统与自动控制	范晓慧			
第10章	烧结球团生产过程的计算	范晓慧	陈许玲		
第11章	烧结球团设备的操作与维护	肖扬	舒方华	王渠生	
第12章	烧结球团生产节能技术	何国强	黄艳芳	许斌	
第13章	烧结球团厂环境保护技术	李光辉	王维兴	李强	叶学农
第14章	烧结矿与球团矿质量标准与测试	张元波	黄柱成		
第15章	铁矿造块其他方法与技术进步	何国强	杨永斌	饶明军	姜涛
附录		张元波			
审稿	孔令坛 何国强 夏耀臻	姜涛			

# 序 言

我在2002年出版的《高炉炼铁生产技术手册》的前言中，将建国后50年来中国炼铁工业的发展分为三个时期：第一个时期是从新中国成立到1965年以鞍钢为代表和源头的高涨时期；第二个时期是从1966年到1978年的停滞时期；第三个时期是从1979年到当时的第二次高涨时期。进入新世纪以后，我国钢铁工业又经历一个空前的高速发展时期，粗钢产量由2000年的1.27亿吨增加到2013年的7.79亿吨。

铁矿粉烧结、球团作业是以高炉—转炉为中心的现代钢铁生产流程的第一个工艺环节，其产品质量对后续的炼铁和炼钢生产具有基础性的重要影响。随着钢铁工业的快速发展，我国优质铁矿资源供不应求的矛盾日益突出。自2000年以来，我国进口铁矿逐年增加，对外依存度连续十余年在50%以上。然而，随着进口量的剧增，进口矿价格也在持续高涨，导致全行业经济效益下滑，我国钢铁企业不得不大量利用各种各样的非传统、劣质含铁资源，如褐铁矿、镜铁矿、复杂共生铁矿以及钢铁、化工、有色冶金企业的含铁二次资源组织生产。如何在品种日益繁杂、品质不断下降的原料条件下实现优质、高效烧结球团生产，是新世纪初我国炼铁和原料工作者面临的第一个严峻挑战。

我国烧结球团生产面临的另一个挑战是清洁生产问题。钢铁生产是能源消耗和污染物排放集中的行业。随着生产规模的迅速膨胀，钢铁生产能耗高特别是污染物排放量大的问题也前所未有的凸显出来，钢铁清洁生产已刻不容缓。作为钢铁生产第一环节的烧结球团工序排放的二氧化硫占钢铁企业总排放量70%以上，这就要求我国的烧结球团生产不仅要优质、高效，而且必须实现清洁生产。

令人高兴的是，经过多年特别是近十年我国炼铁原料科技人员和广大生产者的不懈努力，在原料品质降低的不利条件下，我国的烧结球团生产在产量上实现了一个大的飞跃，有力支撑了钢铁工业的快速发展，在工艺技术和产品质量上也有较大的进步——烧结球团新方法、新技术不断涌现并投入工业应用，设备大型化取得实质进展，生产过程自动控制水平明显提高，一批重点大中型企业的技术经济指标跨入世界先进行列。更令人欣慰的是，虽然一些已建成投

产的烧结球团脱硫设施在运行过程中还存在各种各样的问题，但是在近十年中我国已迅速建成投入运营480余套烧结脱硫装置，为实现烧结球团全行业清洁生产奠定了良好的基础。我相信，只要相关企业和领导高度重视，经过不断总结和完善，我国的烧结球团烟气治理也将很快达到国际先进水平。

我国目前仍处于工业化时期，城镇化还有较长的路要走。虽然近两年钢铁生产快速增长的势头有所减缓，但预计未来若干年大幅下滑的可能性也不大。目前我国的钢铁生产仍然以长流程为主，据现有钢铁生产规模估计，我国每年需消耗各类含铁原料约10亿吨，这些原料绝大部分需要经过烧结、球团加工后才能进行冶炼生产。在此背景下，全面了解国内外炼铁炉料技术的新进展，认真总结我国烧结球团生产的成功经验，对进一步提高我国炼铁原料制备的技术水平、促进我国钢铁工业的持续健康发展有非常重要的现实意义。

《烧结球团生产技术手册》全面反映了烧结球团生产工艺技术、基本原理、操作与维护、节能与环保、控制与检测等内容和国内外的最新进展，在工艺技术、节能、环保等章节大量介绍了国内外生产实例，从而进一步提高了手册的参考价值，体现了手册的“实用性、指导性、先进性”。改革开放三十年来终于见到这样一部全面反映烧结球团生产技术和最新发展成果的手册，令人振奋。可以预期，这部手册一定会受到烧结球团以及炼铁工作者的欢迎，对提升我国炼铁原料制备的科学研究和生产技术水平、指导烧结球团行业的可持续发展、促进钢铁工业持续健康发展将起到积极的推动作用。

我在出版《高炉炼铁生产技术手册》时就向冶金工业出版社提出要组织编写《烧结球团生产技术手册》，看到此部巨著即将出版，甚感欣慰。手册由北京科技大学的孔令坛教授和我国烧结球团人才培养和科学研究重要基地——中南大学的姜涛教授，会同武钢、太钢、鞍钢、宝钢等十余家大型钢铁企业以及设计院所的专家共同完成，各位编审人员为此付出了艰辛劳动。作为一位毕生致力于我国钢铁事业发展的老炼铁工作者，我也借此机会感谢冶金工业出版社和全体编审人员，感谢他们又为我国钢铁工业做了一件好事。

周传典  
2014年4月

# 前 言

在炼铁前辈周传典先生的倡导和关心、北京科技大学孔令坛教授的指导和帮助下，在各相关生产企业、设计院所、科研院校的支持与配合和冶金工业出版社的全力支持下，《烧结球团生产技术手册》即将出版了。

非常庆幸的是，这部手册的编写正赶上中国钢铁工业飞速发展的机遇，烧结球团生产技术得以不断创新发展，这就为编写手册提供了丰富的素材。

为了编写出一部全面、详实反映烧结球团生产技术进步的工具书，我们进行了多方调研、搜集、考证。每次改稿都感觉距离出版社提出的“实用性、指导性、先进性”俱佳、有行业影响的权威工具书这个要求还有一定的差距，为了不辜负前辈和同行的信任与期待，编写人员勉力前行。希望这部手册能够为我国烧结球团行业的可持续发展起到促进作用。在此，我想简要介绍一下在编写过程中遇到的问题、材料取舍的考虑及手册内容的特点等，以便于读者参阅。

首先是基本理论部分。一般认为由高校老师执笔这一部分肯定不成问题，而且很快就会写出来，其实不然。翻遍了此领域出版的教科书和参考书，发现大部分是20世纪90年代出版的。最近十多年来，世界各国特别是我国的烧结球团生产发生了极大的变化。伴随烧结球团矿产量扩张的同时，烧结球团生产用的原料结构也不断变化，新工艺、新技术不断涌现并用于生产，与之相应的烧结球团理论也有了较大发展。这就需要从更多已出版的专著、教材，特别是新近发表的大量文献中进行收集、总结、提炼并补充到原有的理论中。通过相关编写人员的努力工作，此次编写厘清了一些基本概念，补充了国内外的最新研究成果，完善了烧结球团的理论体系，从而使其对现代烧结球团生产过程和新工艺、新技术的开发更具有指导作用。

其次是工艺技术部分。原来设想工艺技术部分应尽可能反映近十年国内外的最新进展，但在编写过程中发现这还不够，原因是这些年我国烧结球团工艺和装备发展很快。例如，世界单台面积最大的太钢660m<sup>2</sup>烧结机、我国单套产能最大的武钢鄂州500万吨/年链算机一回转窑以及我国单机产能最大的京唐钢400万吨/年带式球团生产线，都是在手册编写过程中投产的。这些工艺和装备



对未来我国烧结球团厂技术改造和设备大型化的发展具有重要的示范作用。为充分反映这些大型装备及工艺的特点,编写人员通过多种渠道收集了我国近年投产的和较典型的大型烧结球团厂的有关资料,并分别在叙述完烧结和球团工艺后,以生产实例的方式予以介绍,从而使得工艺技术部分的内容更加丰富,更具有参考价值。

再之是节能减排部分。我们在编写过程中发现,烧结节能减排特别是烧结烟气净化是近年来我国烧结球团生产面临的最紧迫的课题之一,也是技术研发与生产应用最活跃的领域。编写人员关心的是如何较为全面地将这部分内容反映在手册中,以便于我国广大烧结球团工作者参考。考虑到在烧结球团厂,特别是大型生产厂中,余热利用节能的潜力最大,因此手册对余热利用特别是烧结余热发电技术进行了重点介绍。我们着手编写本手册时,烧结球团烟气净化的问题尚未如此紧迫,我国的烟气净化技术也很不完善,因而早期收集的我国烟气净化资料不够齐全。随着编写工作的进行,这个问题变得越来越重要,这促使我们不断收集资料并补充到书稿中。以2013年5月全国烧结烟气综合治理技术专题研讨会的召开为标志,我国烧结球团烟气净化技术的研发与应用雨后春笋般地发展起来了,这为我们编写这部分内容提供了丰富的资料。为了便于参考,我们在简要介绍烧结烟气各种净化技术的原理和特点后,同样以典型实例的方式介绍了八种烟气净化技术在我国不同钢铁企业应用的情况,相信这部分内容对我国烧结球团烟气净化技术的发展和推广应用将起到应有的促进作用。

此外,为了让广大读者了解制备炼铁炉料的其他方法和最新进展,以适应未来钢铁生产发展的需要,我们在广泛收集资料的基础上,专门编写了铁矿造块其他方法与技术进步一章(第15章),内容包括加压造块、复合造块、小球团烧结、废气循环烧结、还原烧结、低温烧结、双层烧结、含碳球团、硫酸渣球团、熔剂性球团等共18个专题,重点介绍了各种方法和技术的原理、特点和应用情况。这部分内容对准备采用新方法和新技术改革和改造现有工艺、增加非传统资源用量、提高生产效率和产品质量、降低能耗和生产成本的企业管理者和技术人员会有直接的帮助,对正在和准备开展炼铁炉料制备新方法、新工艺、新技术研究和开发的科技工作者和广大研究生也有一定的参考价值。

自2008年6月在郑州召开手册第一次编委会会议,正式启动编写工作以来,历时数年、经数次增补删改才形成了相对完整的一稿。北京科技大学孔令坛教授审阅后提出了详细的审阅意见,中冶长天国际工程有限责任公司夏耀臻

教授级高工对工艺和设备操作部分进行了重点审阅。在此基础上,利用2013年12月全国烧结厂设计规范修订会议在长沙召开的机会,在中冶长天公司召开了第二次编委会会议。出席会议的编委参照两位专家的修改意见,与主要编写人员交流了意见和看法。在此基础上,主编又对全部书稿进行了更正、补充与修改,提交冶金工业出版社。

在手册即将出版之际,我们首先要特别感谢老领导、老前辈周传典先生。周传典先生对手册的编写与出版给予充分肯定,并为手册撰写了热情洋溢的序言。感谢孔令坛教授,没有孔先生对我国炼铁原料事业持之以恒的关心和对我们的信任、鼓励与支持,就不会有今天这样的一部手册。我们还要感谢中国金属学会王维兴教授、中冶长天公司何国强、夏耀臻教授对编写工作的大力支持。王维兴、何国强教授提供的资料对手册最后定稿起了重要作用,夏耀臻教授对书稿进行了认真审阅、修改并提供了有价值的参考资料。感谢武钢、太钢、宝钢、鞍钢、京唐钢、攀钢、包钢、安钢和马钢等公司领导和相关人员对编写工作的热情支持。感谢河北省张家口市科达有限公司朱双跃总经理、北京矿迪科技有限公司张志敏总经理和全国烧结球团信息网黄金才秘书长对手册出版工作的大力支持。同时还要感谢中南大学烧结球团与直接还原工程研究所的同事和研究生黄艳芳、饶明军、陈凤、周友连等在资料收集、整理和文稿校对方面给予的大力帮助。此外,特别感谢冶金工业出版社谭学余社长、任静波总编、侯盛镗副社长、杨传福副社长对手册工作的支持与帮助。出版社领导以及责任编辑给予我们热情鼓励和全力支持,不仅推荐手册成为“十二五”国家重点图书,而且在编写过程中提供大量参考资料和有益的建议、信息,在出版过程中对书稿进行了细致的修改、润色,并纠正了许多原始资料中的错误,促成了手册高质量的出版。在此,还要感谢王淀佐院士和邱冠周院士数十年来对中南大学团矿专业(方向)始终如一的支持和对主编本人的指导和帮助。

由于这是第一部烧结球团生产技术手册,国内外无成例可循,加之编者经验和水平所限,手册肯定存在不足、不妥之处,恳请读者和广大同行批评、指正,以便将来有机会修订再版时予以补充完善。

中南大学 姜 涛

2014年5月

# 目 录

<b>1 烧结球团概论</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 铁矿造块概念与方法 .....	1
1.1.2 铁矿造块的地位与作用 .....	2
1.2 世界铁矿造块的发展 .....	3
1.2.1 烧结法 .....	3
1.2.2 球团法 .....	6
1.2.3 压团法 .....	7
1.3 我国铁矿造块的发展 .....	8
1.3.1 烧结法 .....	8
1.3.2 球团法 .....	10
1.3.3 我国铁矿造块的现状与展望 .....	11
1.4 冶炼和环保对造块生产的要求 .....	15
1.4.1 冶炼对造块产品质量的要求 .....	15
1.4.2 环境保护对造块生产的要求 .....	18
1.5 造块生产主要技术经济指标 .....	19
1.5.1 设备利用系数 .....	19
1.5.2 设备作业率 .....	20
1.5.3 产品质量合格率 .....	20
1.5.4 物料消耗指标 .....	20
1.5.5 工序能耗与生产成本 .....	20
1.5.6 劳动生产率 .....	20
<b>2 烧结球团原料</b> .....	21
2.1 含铁原料 .....	21
2.1.1 天然铁矿石 .....	21
2.1.2 二次含铁原料 .....	27
2.2 锰矿石 .....	28
2.3 熔剂和添加剂 .....	29
2.3.1 熔剂 .....	29

2.3.2	添加剂	29
2.3.3	黏结剂	30
2.4	燃料	30
2.4.1	固体燃料	30
2.4.2	气体燃料	31
2.4.3	液体燃料	32
2.5	造块生产对原料的要求	32
2.5.1	烧结生产对原料的要求	32
2.5.2	球团生产对原料的要求	33
3	烧结过程基本理论	35
3.1	烧结过程概述	35
3.2	烧结过程物理化学反应	37
3.2.1	水分的蒸发与冷凝	37
3.2.2	烧结过程的气—固反应	41
3.2.3	烧结过程的固—固反应	57
3.2.4	烧结过程液相的形成与冷凝	59
3.3	烧结料层气体运动规律	63
3.3.1	散料的基本参数	63
3.3.2	烧结料层气流运动的阻力	67
3.3.3	烧结料层透气性及其应用	71
3.4	烧结料层燃料燃烧与传热规律	81
3.4.1	烧结过程中的固体燃料燃烧	81
3.4.2	烧结料层中的热交换	85
3.4.3	热波移动速率及其影响因素	88
3.4.4	燃烧带移动速率及其影响	89
3.4.5	烧结料层蓄热及其利用途径	92
3.5	烧结成矿过程与矿相结构	98
3.5.1	铁矿粉烧结成矿过程	98
3.5.2	烧结成矿过程的相图分析	100
3.5.3	烧结成矿的铁酸钙理论	114
3.5.4	烧结矿主要矿物及其性质	119
3.5.5	烧结矿的结构及其性质	124
3.5.6	矿物组成、结构与其性能的关系	127
3.5.7	影响组成、结构和冶金性能的因素	128
4	球团过程基本理论	134
4.1	水分在成球中的作用	134
4.1.1	吸附水的特性及其作用	134

4.1.2	薄膜水的特性及其作用	135
4.1.3	毛细水的特性及其作用	136
4.1.4	重力水的特性及其作用	137
4.2	矿粉成球机理	137
4.2.1	颗粒黏结机理	137
4.2.2	黏结剂与铁矿表面的作用	140
4.3	矿粉成球性能与成球过程	142
4.3.1	矿粉成球性能	142
4.3.2	矿粉的成球过程	146
4.4	影响矿粉成球的因素	149
4.4.1	影响矿粉成球速率的因素	149
4.4.2	影响生球强度的因素	151
4.5	生球的干燥	156
4.5.1	生球的干燥机理	157
4.5.2	干燥过程中生球的行为	160
4.5.3	影响生球干燥的因素	161
4.6	球团的高温固结	165
4.6.1	颗粒间连结机理	165
4.6.2	铁矿球团的固结机理	168
4.6.3	影响球团矿固结的因素	173
4.7	球团矿的矿物组成	178
5	烧结生产工艺与设备	180
5.1	烧结生产工艺流程	180
5.2	烧结原料的准备	182
5.2.1	原料的接受	182
5.2.2	原料的储存	187
5.2.3	熔剂准备	194
5.2.4	固体燃料的准备	201
5.3	配料	206
5.3.1	配料方法	206
5.3.2	配料计算方法	207
5.3.3	配料仓	210
5.3.4	配料设备	212
5.3.5	配料室的配置	215
5.4	混合与制粒	215
5.4.1	混合与制粒工艺	216
5.4.2	影响混合制粒的因素	216
5.4.3	混匀效率及混合设备	217

5.4.4	混合室的配置 .....	220
5.5	布料、点火与烧结 .....	222
5.5.1	布料 .....	222
5.5.2	点火 .....	224
5.5.3	烧结 .....	227
5.6	烧结矿处理 .....	238
5.6.1	烧结矿破碎 .....	239
5.6.2	烧结矿的冷却 .....	241
5.6.3	烧结矿的整粒 .....	244
5.6.4	成品烧结矿的表面处理 .....	249
5.7	烧结生产实例 .....	249
5.7.1	实例一：太钢 660m <sup>2</sup> 烧结机的生产 .....	249
5.7.2	实例二：宝钢 495m <sup>2</sup> 系列烧结机的生产 .....	264
<b>6</b>	<b>球团生产工艺与设备 .....</b>	<b>273</b>
6.1	球团生产工艺概述 .....	273
6.2	球团原料的准备 .....	274
6.2.1	含铁原料的准备 .....	274
6.2.2	膨润土的准备 .....	282
6.3	生球的制备 .....	284
6.3.1	配料 .....	284
6.3.2	混合 .....	285
6.3.3	造球 .....	287
6.4	球团的焙烧与冷却 .....	299
6.4.1	竖炉法 .....	299
6.4.2	链算机—回转窑法 .....	309
6.4.3	带式焙烧机法 .....	319
6.4.4	三种球团焙烧方法的比较 .....	326
6.5	球团生产实例 .....	326
6.5.1	实例一：武钢鄂州链算机—回转窑球团 .....	326
6.5.2	实例二：首钢京唐钢带式焙烧机球团 .....	331
<b>7</b>	<b>特殊铁矿的烧结球团生产 .....</b>	<b>335</b>
7.1	高钛型钒钛磁铁精矿的烧结生产 .....	335
7.1.1	攀西地区钒钛磁铁精矿的特点 .....	335
7.1.2	钒钛磁铁精矿烧结生产的特点 .....	336
7.1.3	钒钛磁铁精矿烧结工艺特点 .....	337
7.1.4	钒钛磁铁精矿烧结成矿过程 .....	340
7.1.5	烧结矿化学成分与矿物组成 .....	343

7.1.6	烧结矿的强度与冶金性能 .....	347
7.1.7	攀钢近年来烧结生产实践 .....	353
7.2	钒钛磁铁铁矿的球团生产 .....	355
7.2.1	钒钛铁矿球团原料特征 .....	355
7.2.2	钒钛铁矿球团工艺流程和主要设备 .....	356
7.2.3	精矿中 $\text{TiO}_2$ 对球团生产的影响 .....	358
7.2.4	钒钛铁球团矿焙烧特点 .....	358
7.2.5	成品球质量及其高炉冶炼行为 .....	360
7.2.6	回转窑结圈机理及预防 .....	368
7.3	白云鄂博铁矿的烧结生产 .....	382
7.3.1	白云鄂博铁精矿的特点 .....	382
7.3.2	烧结生产工艺设备 .....	384
7.3.3	自熔性烧结矿的研究与生产 .....	387
7.3.4	高碱度烧结矿的研究及生产 .....	390
7.3.5	高氧化镁烧结矿的研究与生产 .....	393
7.3.6	低氟烧结矿的研究与生产 .....	396
7.3.7	烧结配加再磨再选精矿的研究与生产 .....	399
7.3.8	配加白云鄂博西矿的研究 .....	404
7.3.9	白云鄂博铁矿烧结生产主要指标 .....	406
7.4	白云鄂博铁矿的球团生产 .....	408
7.4.1	包钢球团矿生产工艺 .....	408
7.4.2	精矿特性对球团生产的影响 .....	412
7.4.3	白云鄂博铁精矿成球特性及生球性能 .....	413
7.4.4	白云鄂博铁精矿球团的焙烧 .....	414
7.4.5	白云鄂博铁精矿球团的还原膨胀性能 .....	417
7.4.6	铁精矿球团焙烧过程氟、硫的脱除 .....	421
7.4.7	碱性含镁球团技术的开发 .....	424
7.4.8	包钢球团工艺的改造及新技术应用 .....	427
8	直接还原与金属化球团的生产 .....	429
8.1	概述 .....	429
8.2	球团矿还原理论基础 .....	430
8.2.1	球团矿还原机理 .....	430
8.2.2	球团还原膨胀及其结构变化 .....	432
8.2.3	影响球团矿直接还原因素 .....	433
8.3	球团矿直接还原工艺与设备 .....	436
8.3.1	固定床还原法 .....	436
8.3.2	竖炉法 .....	436
8.3.3	回转窑法 .....	438

8.3.4	转底炉法	439
9	烧结球团专家系统与自动控制	441
9.1	烧结过程专家系统与自动控制	441
9.1.1	烧结过程控制方案	441
9.1.2	烧结矿化学成分的控制	442
9.1.3	烧结过程状态的控制	450
9.1.4	烧结过程异常状况诊断和能耗控制	460
9.2	球团生产过程的自动控制	465
9.2.1	链算机—回转窑过程模拟模型	466
9.2.2	链算机—回转窑过程平衡模型	469
9.2.3	链算机—回转窑控制专家系统	470
9.2.4	链算机漏风状况的判断方法	473
10	烧结球团生产过程的计算	475
10.1	烧结生产过程计算	475
10.1.1	烧结配料计算	475
10.1.2	烧结过程物料平衡计算	480
10.1.3	烧结过程热平衡计算	488
10.2	球团生产过程计算	492
10.2.1	球团配料计算	492
10.2.2	竖炉球团生产物料平衡和热平衡计算	494
10.2.3	带式焙烧机球团生产物料平衡和热平衡计算	497
10.2.4	链算机—回转窑球团物料热平衡计算	501
11	烧结球团设备的操作与维护	507
11.1	原燃料准备设备与操作	507
11.1.1	翻车机	507
11.1.2	斗轮堆取料机	515
11.1.3	桥式抓斗起重机	518
11.1.4	原燃料破碎设备	523
11.1.5	原料筛分设备	531
11.1.6	运输设备	533
11.2	烧结生产设备与操作	539
11.2.1	圆盘给料机	539
11.2.2	圆筒混合机	542
11.2.3	辊式布料器	545
11.2.4	烧结机	551
11.2.5	抽风机	555



11.2.6	破碎设备	563
11.2.7	冷却设备	567
11.2.8	整粒筛分设备	572
11.3	球团生产设备与操作	579
11.3.1	原料准备与球团制备设备	579
11.3.2	竖炉的操作	584
11.3.3	链算机一回转窑的操作	599
11.3.4	带式焙烧机的操作	605
11.4	自动控制设备与应用	610
11.4.1	自动控制技术及其在烧结生产中的应用	610
11.4.2	烧结生产自动控制系统的典型配置	613
11.4.3	烧结生产过程自动控制功能及应用	618
11.4.4	操作规则与使用维护要求	626
11.4.5	常见故障分析及处理	627
11.5	计量检测设备与操作	628
11.5.1	烧结生产用计量检测设备分类	628
11.5.2	电子秤称量设备	629
11.5.3	调节阀系统	633
11.5.4	水分检测仪表	635
11.5.5	温度检测仪表	637
11.5.6	压力、流量检测设备	638
11.5.7	振动检测设备	639
11.5.8	粉尘检测设备	640
11.6	环境保护设备与操作	640
11.6.1	烧结生产环境治理	640
11.6.2	除尘设备	644
11.6.3	NID 半干法烟气脱硫设备	653
11.6.4	溴化锂吸收式制冷设备	660
11.6.5	余热利用设备	668
12	烧结球团生产节能技术	679
12.1	降低烧结生产能耗的技术	679
12.1.1	降低烧结固体能耗的技术	680
12.1.2	降低烧结电耗的技术	684
12.1.3	降低烧结点火能耗的技术	686
12.2	烧结厂余热利用技术	693
12.2.1	烟气余热源概述	693
12.2.2	烧结余热利用的方式	693
12.2.3	影响烧结余热利用的因素	695