



教育部高等学校材料科学与材料工程教学指导委员会
金属材料与冶金工程教学指导委员会

规划教材 (冶金资源造块系列)

丛书主编：邱冠周

铁矿造块学

PRINCIPLE AND TECHNOLOGY
OF AGGLOMERATION OF IRON ORES

姜 涛 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

教育部高等学校材料科学与材料工程教学指导委员会 规划教材(冶金资源造块系列)
金属材料与冶金工程教学指导委员会

铁矿造块学

PRINCIPLE AND TECHNOLOGY
OF AGGLOMERATION OF IRON ORES

主 编 姜 涛
副主编 范晓慧 李光辉



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

铁矿造块学/姜涛主编. —长沙:中南大学出版社,2016. 6

ISBN 978 - 7 - 5487 - 2457 - 5

I. 铁... II. 姜... III. 铁矿物 - 造块 IV. TF5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 189841 号

铁矿造块学

主 编 姜 涛

副主编 范晓慧
李光辉

责任编辑 韩 雪 邓立荣

责任印制 易红卫

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482

印 装 长沙市宏发印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16 印张 21.75 字数 552 千字

版 次 2016 年 6 月第 1 版 印次 2016 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 2457 - 5

定 价 55.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

教育部高等学校材料科学与材料工程教学指导委员会
金属材料与冶金工程教学指导委员会

规划教材

(冶金资源造块系列)

编审委员会

丛书主编

邱冠周

编委会委员(以姓氏笔画为序)

白晨光 朱德庆 杨永斌 李光辉

沈峰满 张建良 范晓慧 姜涛

郭宇峰 黄柱成

序

冶金资源造块(烧结、球团等)是处于选矿与金属提炼之间的加工作业,是以高炉-转炉为主体的钢铁生产流程的第一个工序,担负着为钢铁冶炼制备优质炉料的任务。

现代钢铁生产工艺可以分为以高炉-转炉为主体的长流程和以电炉为中心的短流程,前者以烧结矿和球团矿为冶炼炉料,后者以废钢和直接还原铁为炉料。目前,发达国家钢产量中电炉钢比已接近50%,我国因废钢和直接还原铁短缺,电炉钢比仅约10%。我国钢铁生产每年消耗各类含铁原料约10亿t,这些原料绝大部分需要经过进行造块加工后才能进行冶炼生产,这使得铁矿造块作业成为现代钢铁联合企业中物料处理量居于第二位、能耗居于第三位的重要工序。巨大的钢铁生产规模也使得我国成为产量连续多年占世界50%以上的人造块矿第一生产大国。

进入新世纪以来,我国钢铁工业持续快速发展,对广大造块工作者提出了更高的要求。此外,钢铁高效、节能、清洁生产的要求不仅要求造块生产本身高效、清洁、低耗,而且对造块产品质量提出了更高的要求,如严格的粒度组成、理想的化学成分和优良的冶金性能等。此外,我国优质铁矿资源严重短缺和进口矿价的起伏不定,要求我国造块生产不仅能利用磁铁矿、赤铁矿等传统原料,还必须尽可能多地利用各类难处理的非传统含铁资源,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。这就要求我国造块与炼铁科技工作者努力开拓创新,深入探索和 research 造块新概念、新理论,不断开发含铁资源高效清洁造块新方法、新技术。

经过多年特别是近十年广大造块工作者的努力,我国铁矿造块生产不仅在产量上遥遥领先世界其他国家,在产品质量和技术水平上也取得长足进步。设备大型化、自动化水平显著提高,造块新方法、新技术不断涌现并投入工业应用,褐铁矿等难处理资源得到大量利用,一批重点大中型企业的技术经济指标跨入世界先进行列。当今我国的造块生产及技术水平与20世纪90年代相比,已经不可同日而语。

冶金工业的持续发展需要大批掌握现代科学技术的专业人才,而教材建设是人才培养的重要基础。冶金资源造块专业目前使用的教材,大多是20世纪80—90年代编写出版的。近十年冶金资源造块理论、方法、技术和装备都得到快速发展,原有教材已无法适应新时期人

人才培养、科学研究和生产管理的要求。此外，过去出版的造块专业教材大多只介绍造块原理与工艺技术，而在工厂设计、机械设备和研究测试方法方面很少看到公开出版的教材，相关高校一般采用自编讲义教授相关内容，这不仅影响人才培养质量，也使从事科研、设计和生产的造块工作者深感可供参考的书籍太少。因此，尽快编写出版一套反映21世纪造块科学技术最新发展，包括造块原理、工艺、设备、工厂设计和研究方法等内容的冶金资源造块专业教材不仅十分必要，而且非常紧迫。

创建于1956年的原中南矿冶学院的团矿专业，经过近60年的发展，已成为我国冶金资源造块领域高级专门人才培养中心和科研开发基地。此次编写工作，集中该校造块专业(方向)的优秀教师和国内相关高校的知名专家组成编委会，确定了编写原则和要求，制订了编写大纲和编写计划，各分册均由经验丰富的专家领衔主编。在长达数年的编写过程中，编写人员参阅了大量国内外文献，并对书稿进行了多次修改、补充，形成了内容新颖、系统完善、相互独立而又相互支撑的系列教材。相信这套教材的出版对我国资源造块领域高级专门人才的培养一定能够起到应有的促进作用，对从事造块科研、设计和生产的科技工作者也有较大的参考价值。

感谢参加教材编写工作的全体教师以及在编写过程中给予帮助和支持的所有人员，感谢中南大学出版社热情周到的服务。

邱冠周

2015年10月

前 言

铁矿造块是以高炉-转炉为标志的现代钢铁生产流程的第一步工序,对钢铁生产能耗、排放及产品质量具有重要影响。目前我国钢铁生产每年消耗各类含铁原料超过10亿t,这些原料绝大部分需要经过造块加工后才能入炉冶炼。

钢铁工业的持续发展,需要大批掌握现代铁矿造块科学技术知识的专业人才。教材建设不仅是培养造块领域后备专业人员的需要,也是钢铁企业工程技术人员更新知识的需要。铁矿造块专业(方向)目前使用的教材,大多是20世纪八、九十年代编写出版的,已难以适应新时期人才培养、科学研究和生产管理的要求。

此次编写参阅了大量国内外文献,重新构建了烧结和球团两类造块方法的基本理论框架,对原有教材中的概念、公式、术语、图表、单位等进行了全面审查和校订,并根据近十年来国内外的新发展,补充了大量新的内容。

本书将烧结过程的理论体系归纳为物理化学基础、气体运动规律、燃烧与传热规律和烧结矿物学与微观结构四个部分。在物理化学基础部分,本次编写新增了烧结成矿的铁酸钙理论,更新和补充了水分蒸发与冷凝、固相反应的相关内容,充实了烧结成矿相图分析的内容;在气体运动规律部分,进一步澄清了烧结料层透气性的概念,补充了料层各带气体运动阻力的实验测定与计算方法,讨论了烧结过程料层透气性的变化规律;在燃烧与传热部分,新增了料层热交换特点、混合料单位空气需要量、热波移动速率数学解析的内容,补充和完善了热波、传热前沿、燃烧前沿、传热前沿速率、燃烧前沿速率、热波移动速率等概念与术语的定义,充实了影响传热速率与燃烧速率因素的内容,进一步阐明了两种速率匹配对烧结生产的影响与重要意义;烧结矿物学与微观结构部分则根据近年来国内外烧结技术的发展,充实了与高碱度、厚料层及特殊矿种烧结相关的内容。

本书将球团过程基本理论界定为矿粉成球和球团焙烧固结两大部分。在矿粉成球理论部分,增加了国内外及编者团队应用界面化学原理与方法研究矿粉成球的新成果,并增加了膨润土与典型有机黏结剂与铁矿表面相互作用的内容。在球团焙烧固结部分,将生球团干燥内容纳入其中,并根据近年来的发展变化,增加了内配煤粉赤铁矿球团和熔剂性球团焙烧固结机理等新内容。

在工艺技术方面,除按现代生产工艺流程顺序,结合主要设备全面介绍相关技术外,还根据国内外发展变化,摒弃一些落后、陈旧的工艺、技术与装备,补充了近十年发展的新内容。

为促进我国烧结球团节能环保和自动控制技术的发展与应用,此次编写专设两章,分别介绍国内外各种烧结球团节能减排方法原理与技术特点,以及烧结球团生产过程控制原理与方法。为了进一步推动我国铁矿造块工业的发展和科技进步、更好应对资源短缺和节能减排的挑战,还专门编写了铁矿造块新方法与新技术一章。内容包括我国自主研发的复合造块法,以及烟气循环烧结、小球团烧结、其他烧结方法、熔剂性球团、新型球团黏结剂等。厚料层烧结和低温烧结技术没有收入此章,其原因是料层的厚、薄和温度的高、低都是相对概念,实践中,厚料层烧结和低温烧结主要是通过原料准备、烧结工艺技术优化实现的,况且经过近十年的发展,国内外烧结生产料层普遍提高,固体能耗也普遍下降,已在较大程度上实现了厚料层和低温烧结,因而此时再作为新技术收入书中已不合时宜。

本书由姜涛担任主编。参加编写的有姜涛(第1章、第2章、第5章和第12章)、范晓慧(第4章、第7章部分内容和第14章)、李光辉(第8章、第9章和第13章)、郭宇峰(第3章、第6章)、杨永斌(第10章、第11章和第7章部分内容)。

虽然编写人员付出了很多努力,但由于水平所限,书中肯定存在许多不足和谬误之处,恳望读者批评指正。感谢黄艳芳、饶明军和陈凤博士在资料收集、整理和文稿校对过程中给予的帮助。

姜涛

2016年3月

目 录

第 1 章 铁矿造块概论	(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	(4)
1.2.1 烧结法	(4)
1.2.2 球团法	(6)
1.2.3 压团法	(8)
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	(12)
1.4 钢铁冶炼和环境保护对铁矿造块的要求	(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	(19)
1.5 造块生产主要技术经济指标	(20)
1.5.1 设备利用系数	(20)
1.5.2 设备作业率	(20)
1.5.3 产品质量合格率	(21)
1.5.4 物料消耗指标	(21)
1.5.5 工序能耗与生产成本	(21)
1.5.6 劳动生产率	(21)
第 2 章 铁矿造块原料	(22)
2.1 含铁原料	(22)
2.1.1 天然铁矿石	(22)
2.1.2 二次含铁原料	(28)
2.2 锰矿石	(29)
2.3 熔剂和添加剂	(31)
2.3.1 熔剂	(31)
2.3.2 添加剂	(31)
2.3.3 黏结剂	(32)

2.4	燃料	(32)
2.4.1	固体燃料	(32)
2.4.2	气体燃料	(33)
2.4.3	液体燃料	(34)
2.5	造块生产对原料的要求	(34)
2.5.1	烧结生产对原料的要求	(34)
2.5.2	球团生产对原料的要求	(36)
第3章 烧结过程物理化学基础		(37)
3.1	概述	(37)
3.2	烧结过程中水分的蒸发与冷凝	(40)
3.2.1	水分在烧结过程中的作用	(40)
3.2.2	水分的蒸发	(40)
3.2.3	水汽的冷凝	(41)
3.2.4	防止烧结料层过湿的主要措施	(43)
3.3	烧结过程的气-固反应	(44)
3.3.1	固体物料的分解	(44)
3.3.2	氧化物的还原与氧化	(51)
3.3.3	烧结过程中有害元素的行为	(58)
3.4	烧结过程的固-固反应	(63)
3.4.1	固-固反应理论	(63)
3.4.2	烧结过程的固-固反应	(65)
3.5	烧结过程液相的形成	(67)
3.5.1	液相的形成过程	(67)
3.5.2	影响液相量的主要因素	(68)
3.5.3	液相的性质	(69)
3.5.4	液相在烧结过程中的作用	(71)
3.6	液相的冷凝与固结成矿	(71)
3.6.1	结晶过程及其影响因素	(71)
3.6.2	烧结成矿行为与成矿过程	(72)
3.6.3	烧结成矿的铁酸钙理论	(75)
3.6.4	烧结成矿过程的相图分析	(80)
第4章 烧结料层气体运动力学		(97)
4.1	散料的基本参数	(97)
4.1.1	散料的平均直径	(97)
4.1.2	空隙率	(98)
4.1.3	表面积、比表面积、形状系数	(100)
4.1.4	水力学直径	(101)

4.1.5	烧结料层结构参数的变化	(102)
4.2	烧结料层气体运动阻力	(102)
4.2.1	散料层中气体运动的压力降	(102)
4.2.2	烧结料层各带压力损失系数	(103)
4.2.3	烧结料层各带的压力降	(106)
4.3	烧结料层透气性及其变化规律	(109)
4.3.1	单位面积风量	(109)
4.3.2	沃伊斯公式	(109)
4.3.3	烧结过程透气性变化规律	(110)
4.4	提高烧结生产率的途径	(111)
4.4.1	抽风负压的影响	(111)
4.4.2	料层高度的影响	(112)
4.4.3	降低漏风率	(112)
4.4.4	改善烧结料层的透气性	(113)
第5章	烧结料层燃烧与传热规律	(119)
5.1	烧结料层中固体燃料的燃烧	(119)
5.1.1	烧结料层燃料的燃烧特点	(119)
5.1.2	烧结料层燃料燃烧动力学	(119)
5.1.3	烧结废气组成及其影响因素	(121)
5.1.4	烧结料层燃烧带厚度的计算	(122)
5.1.5	燃烧带移动速率及其影响因素	(124)
5.2	烧结料层中的热交换	(126)
5.2.1	烧结料层的热交换特点	(126)
5.2.2	单位空气需要量	(127)
5.2.3	烧结料层温度的分布	(128)
5.3	影响热波移动速率的因素	(130)
5.3.1	气流速率的影响	(130)
5.3.2	固体物料特性的影响	(130)
5.3.3	气体性质的影响	(131)
5.4	热波移动速率的数学解析	(131)
5.4.1	无内部热源时	(132)
5.4.2	有内部热源时	(133)
5.5	传热速率与燃烧速率的匹配	(134)
5.6	烧结料层蓄热及其利用途径	(136)
5.6.1	烧结料层的蓄热现象	(136)
5.6.2	烧结料层蓄热的计算	(136)
5.6.3	烧结料层蓄热特点及利用途径	(141)

第 6 章 烧结矿矿物组成与微观结构	(143)
6.1 烧结矿主要矿物及其性质	(143)
6.1.1 烧结矿主要矿物	(143)
6.1.2 烧结矿主要矿物的性质	(145)
6.2 烧结矿的结构及其性质	(147)
6.2.1 宏观结构	(147)
6.2.2 微观结构	(148)
6.3 烧结矿组成、结构与其性能的关系	(150)
6.3.1 烧结矿组成、结构与强度的关系	(150)
6.3.2 烧结矿组成、结构与冶金性能的关系	(151)
6.4 影响烧结矿组成、结构和性能的因素	(151)
6.4.1 烧结料碱度的影响	(151)
6.4.2 烧结料配碳量的影响	(154)
6.4.3 烧结料化学成分的影响	(155)
6.4.4 操作制度的影响	(156)
第 7 章 烧结工艺与技术	(158)
7.1 烧结工艺流程	(158)
7.2 烧结原料准备	(159)
7.2.1 原料接受、贮存及中和	(159)
7.2.2 熔剂和燃料的破碎筛分	(162)
7.3 烧结混合料制备	(164)
7.3.1 配料	(164)
7.3.2 混合与制粒	(165)
7.4 混合料烧结	(168)
7.4.1 布料	(168)
7.4.2 点火	(170)
7.4.3 烧结	(171)
7.5 烧结矿处理	(175)
7.5.1 烧结矿的破碎筛分	(176)
7.5.2 烧结矿的冷却	(176)
7.5.3 烧结矿的整粒	(178)
第 8 章 铁矿粉成球理论基础	(180)
8.1 水分在成球中的作用	(180)
8.1.1 吸附水的特性及其作用	(180)
8.1.2 薄膜水的特性及其作用	(181)
8.1.3 毛细水的特性及其作用	(182)

8.1.4 重力水的特性及其作用	(183)
8.2 矿粉成球机理	(184)
8.2.1 颗粒黏结机理	(184)
8.2.2 黏结剂与铁矿表面的作用	(190)
8.3 矿粉的成球性能与成球过程	(192)
8.3.1 矿粉成球性能	(192)
8.3.2 矿粉的成球过程	(195)
8.4 影响矿粉成球速率的因素	(197)
8.4.1 原料性质的影响	(198)
8.4.2 水分的影响	(198)
8.4.3 黏结剂的影响	(199)
8.5 影响生球强度的因素	(199)
8.5.1 原料性质的影响	(199)
8.5.2 黏结剂的影响	(202)
第9章 球团固结理论基础	(205)
9.1 生球的干燥	(205)
9.1.1 生球的干燥机理	(205)
9.1.2 干燥过程中生球的行为	(208)
9.1.3 影响生球干燥的因素	(209)
9.2 球团的高温固结	(212)
9.2.1 球团焙烧固结机理	(212)
9.2.2 铁矿球团的固结形式	(215)
9.2.3 影响球团矿固结的因素	(220)
第10章 球团生产工艺与技术	(226)
10.1 球团生产工艺流程	(226)
10.2 球团原料的准备	(226)
10.2.1 含铁原料的准备	(226)
10.2.2 膨润土的准备	(232)
10.3 生球的制备	(233)
10.3.1 配料	(233)
10.3.2 混合	(233)
10.3.3 造球	(234)
10.4 球团的焙烧与冷却	(241)
10.4.1 竖炉工艺	(241)
10.4.2 链算机-回转窑工艺	(248)
10.4.3 带式焙烧机工艺	(253)
10.4.4 三种球团焙烧工艺的比较	(258)

10.5	球团生产过程质量要求	(259)
10.5.1	生球质量要求	(259)
10.5.2	预热球质量要求	(260)
第11章	压团原理与工艺	(261)
11.1	压团原理	(261)
11.1.1	加压过程中颗粒的位移和变形	(261)
11.1.2	压团过程团块密度变化规律	(263)
11.1.3	压团过程中物料的受力分布	(263)
11.1.4	团块的黏结机理	(264)
11.2	压团设备	(266)
11.2.1	对辊式压团机	(266)
11.2.2	冲压式压团机	(267)
11.2.3	环式压团机	(268)
11.3	压团工艺	(268)
11.3.1	黏结剂的选择	(268)
11.3.2	压团工艺过程	(269)
11.3.3	团块固结方法	(269)
11.4	压团过程影响因素	(270)
11.4.1	物料的天然性质	(270)
11.4.2	添加物	(270)
11.4.3	压团工艺条件	(271)
第12章	铁矿造块方法与技术的发展	(273)
12.1	复合造块法	(273)
12.1.1	复合造块法产生的背景	(273)
12.1.2	复合造块工艺流程与技术特点	(274)
12.1.3	复合造块法的成矿原理	(276)
12.1.4	复合造块法的作用与优势	(277)
12.1.5	复合造块法的工业实践	(278)
12.2	废气循环烧结法	(279)
12.2.1	废气循环烧结的基础	(279)
12.2.2	废气循环模式及分析	(279)
12.2.3	废气循环烧结典型工艺	(281)
12.3	小球团烧结法	(284)
12.3.1	小球团烧结法的原理	(284)
12.3.2	小球团法的工艺流程与特点	(285)
12.3.3	小球团烧结法的工业应用	(286)
12.4	其他烧结方法	(286)

12.4.1	低温烧结法	(286)
12.4.2	还原烧结法	(288)
12.4.3	富氧烧结法	(289)
12.4.4	双层烧结法	(290)
12.4.5	热风烧结法	(291)
12.5	熔剂性团矿的生产	(294)
12.5.1	熔剂性球团矿的发展背景	(294)
12.5.2	碱性熔剂对球团强度的影响	(294)
12.5.3	碱度与含镁熔剂对冶金性能的影响	(296)
12.5.4	熔剂性球团矿的制备技术	(297)
12.5.5	熔剂性球团在我国的生产实践	(298)
12.6	新型球团黏结剂的开发	(299)
12.6.1	有机黏结剂	(299)
12.6.2	复合黏结剂	(301)
第 13 章	造块生产节能与环境保护	(303)
13.1	烧结节能技术	(303)
13.1.1	烧结余热回收	(303)
13.1.2	降低烧结电耗	(306)
13.1.3	降低烧结燃料消耗	(307)
13.2	烧结球团烟气净化技术	(309)
13.2.1	烟气脱硫	(309)
13.2.2	烟气脱硝	(313)
第 14 章	造块生产自动控制原理	(315)
14.1	烧结矿化学成分控制	(315)
14.2	烧结过程状态控制	(317)
14.2.1	烧结过程状态的软测量	(317)
14.2.2	烧结过程状态的预报	(319)
14.2.3	烧结过程状态的控制	(320)
14.3	烧结能耗控制	(321)
14.3.1	RC 的推算与 HZR 的测定	(322)
14.3.2	控制机理	(322)
14.4	链算机 - 回转窑过程控制	(323)
14.4.1	过程模拟模型	(323)
14.4.2	平衡模型	(326)
14.4.3	专家系统	(327)
参考文献		(331)

第1章 铁矿造块概论

1.1 概述

1.1.1 铁矿造块概念与方法

造块(Agglomeration)可以定义为利用水和黏结剂作介质将粉末状固体物料制备成具有一定形状和机械强度的块状物料的过程。作为一种自然现象,造块早在史前时代就已存在。作为一种改善粉体物料性能的“工具”或手段,造块被我国古代劳动人民广泛应用,如用泥土配加植物秸秆制备建筑用泥坯,用蜜糖作黏结剂将粉状药物制成药片或药丸等。然而,作为一门工程技术,造块仅有160年的历史,始于19世纪中叶人类应用造块作为回收和利用粉煤的方法。此后,随着造块领域的不断扩展、科学研究的不断深入和造块知识的不断汇集,至20世纪50年代,逐渐形成了独立的造块科学。现在,造块被广泛应用于冶金、化工、建材、煤炭、医药和食品等领域。

传统的铁矿造块是将铁矿粉或铁精矿制备成供高炉炼铁用块状炉料的过程。随着冶金科学技术的进步、优质铁矿资源的不断减少和人类对自身生存环境的关切,现代铁矿造块已不限于制备成块状炉料,还要求造块产品具有良好的机械强度、适宜的粒度组成、理想的化学成分和优良的冶金性能。其处理对象也扩展到钢铁厂内各种含铁尘泥、化工及有色冶金渣尘等二次含铁资源。铁矿造块产品也不仅限于高炉炼铁,对一些成分合格的含铁原料,通过造块可直接制备电炉或转炉炼钢用炉料。

铁矿造块学(Aglomeration of Iron Ores)是研究由含铁粉状物料制备钢铁冶炼炉料方法、原理、工艺技术和设备的科学。粉状物料造块的基本方法包括滚动造块、加热造块和加压造块三类,用于钢铁生产的铁矿造块方法有烧结法、球团法、压团法等。烧结法属加热造块,压团法属加压造块,而球团法属滚动造块与加热造块组合的方法。通过造块制得的产品统称为人造块矿,以区别于钢铁生产早期采用、目前仍少量使用的铁岩石块矿。

烧结法(Sintering)是将粉状物料进行高温加热,在不完全熔化的条件下烧结成块的方法,所得产品称为烧结矿,外形为不规则多孔状。烧结所需热量由配入烧结料内的燃料与通入料层的空气燃烧提供,故又称氧化烧结。烧结矿主要靠熔融的液相将未熔矿粒黏结成块获得强度。依据二元碱度($R = \text{CaO}/\text{SiO}_2$)的不同,可将烧结产品分为酸性($R < 1.0$)、自熔性($R = 1.0 \sim 1.3$)和碱性($R > 1.3$)烧结矿,碱性烧结矿中 $R > 1.8$ 时为高碱度烧结矿。长期的炼铁生产实践表明,高碱度烧结矿不仅机械强度高,而且冶金性能好,碱度1.8~2.2的高碱度烧结矿为现代烧结生产的主流产品。

球团法(Pelletizing)是将细粒物料尤其是细精矿加入适量水分和黏结剂在专门造球设备上滚动制成生球,然后再进行焙烧固结的方法,所得产品称为球团矿,外观呈球形,粒度均

匀。焙烧时的热量主要由外部燃料的燃烧提供。球团矿的强度主要靠固相固结起作用,熔融液相黏结的作用很小。根据焙烧过程气氛的不同,产品可分为氧化球团矿和还原球团矿两类。前者依据产品成分又可分为酸性(不加碱性熔剂)、熔剂性(加碱性熔剂)和镁质(加含镁添加剂)球团矿等,后者依据铁氧化物还原程度又可分为供炼铁用的预还原球团和供炼钢用的金属化球团。在现代球团生产中,酸性氧化球团矿(一般 $R < 0.3$)占主要地位。

压团法(Briquetting)是将粉状物料在一定外压力作用下在模具内受压,形成形状和大小一定的团块的方法,团块强度主要由添加的黏结剂或粉状物料本身具有的黏结性保持。成型后团块一般还需要进行某种方式的固结。由于单机生产能力小、难以满足现代钢铁工业大规模生产的需要,目前压团法在钢铁生产中较少采用,不过对于少数烧结法和球团法难以处理的原料如钢铁厂含铁尘泥,压团法是一种有效的造块方法。

在烧结和球团两种主要方法中,烧结法适宜处理粒度较粗(0~8 mm)的原料,而球团法适宜处理细粒物料尤其是经磨矿和分选获得的精矿(-0.074 mm)。两种方法在原料粒度上的互补性,客观上形成了高碱度烧结矿配搭酸性球团矿的高炉炉料结构,并被认为是理想的炉料结构之一。但是,由于历史的原因,我国造块生产中高碱度烧结矿占据支配地位,酸性料严重不足,酸、碱炉料不平衡成为长期困扰我国钢铁企业的难题。此外,进入新世纪后,随着我国钢铁工业的快速发展,自产细粒铁精矿迅速增加,不仅其供应量远超过现有球团生产的处理能力,而且部分细粒精矿采用球团法也无法有效处理。酸碱炉料不平衡和细粒铁精矿的高效造块成为新世纪来我国钢铁生产必须解决的紧迫问题。

复合造块法(Composite Agglomeration)是中南大学基于上述背景开发的一种新的铁矿造块方法。它将质量比占30%~60%的细粒含铁原料或铁精矿制备成直径为8~12 mm酸性生球,而将其余40%~70%的含铁原料与熔剂、燃料、返矿混匀、制粒,制成碱性基体料,然后再将生球和基体料混合并布料到带式烧结机上进行烧结、焙烧,制成由酸性球团嵌入高碱度基体料组成的人造复合块矿。该法集烧结法和球团法的优点于一体,可利用现有烧结的主体设备在碱度由1.2至2.0的范围内制备优质炼铁炉料,同时解决酸、碱炉料不平衡和细粒精矿的造块问题。研究发现,复合造块法还可以大量处理烧结法和球团法难以处理的各类非传统含铁资源。该法于2008年在我国包头钢铁公司投入工业应用。

1.1.2 铁矿造块的地位与作用

图1-1是目前国内外含铁原料加工处理与钢铁生产的原则流程。铁矿造块是处于矿石破碎、磨矿分选和钢铁冶炼之间的加工作业,担负着为钢铁冶炼提供优质炉料的任務。由于全球范围内高品位块矿的稀缺,绝大部分的含铁物料须经细磨、分选并造块后才能进行冶炼,使得造块加工成为现代钢铁联合企业中物料处理量居于第二位(仅次于炼铁)、能耗居于第三位(仅次于炼铁和轧钢)的重要生产工序。

高炉炼铁时为了保证炉内料柱透气性良好,要求炉料粒度均匀、粉末少、机械强度高。为了提高生产效率,要求炉料含铁品位高,脉石成分和有害杂质少。为了降低炼铁焦比,还要求炉料具有优良的冶金性能。

这些要求只有通过含铁原料的加工处理才能达到。大部分的铁矿石必须经过深磨细选;少量铁品位达到入炉要求的富矿,也要经过破碎和筛分,使粒度均匀。天然富矿粉、破碎筛分过程中所产生的粉矿和选别后所得到的细粒精矿,都必须经过造块加工后才能供高炉