

全球铁矿行业技术 发展指南

The Technology Guideline of
Global Iron Ore Industry

◆ 唐复平 主编 ◆



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

全球铁矿行业技术发展指南

The Technology Guideline of Global Iron Ore Industry

唐复平 主编

鞍 钢 矿 业 集 团

冶金工业信息标准研究院 编

国 际 钢 铁 协 会

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2015

内 容 提 要

为系统分析铁矿行业开采、选矿和利用技术,进一步发挥科技创新对提高铁矿资源保障能力的支撑作用,鞍钢矿业集团、冶金工业信息标准研究院和国际钢铁协会联合组织编写了本书。本书主要内容包括全球铁矿行业供需现状及展望,全球铁矿石资源状况,铁矿开采技术现状及趋势,铁矿选矿技术现状及趋势,铁矿粉造块技术等。

本书适合作为铁矿企业进行生产经营和科技创新的培训教材,为铁矿行业从事管理、科研、生产等的人员提供技术指导,对推动我国铁矿行业科学、持续、健康发展具有重要意义。

图书在版编目(CIP)数据

全球铁矿行业技术发展指南/唐复平主编. —北京:冶金工业出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-5024-6839-2

I. ①全… II. ①唐… III. ①铁矿物—矿业—技术发展—世界—指南 IV. ①TD861. 1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014) 第 285281 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 [www. cnmp. com. cn](http://www.cnmp. com. cn) 电子信箱 yjcbbs@cnmp. com. cn

责任编辑 程志宏 徐银河 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6839-2

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
2015 年 11 月第 1 版, 2015 年 11 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 16 印张; 203 千字; 243 页

68.00 元

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

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

《全球铁矿行业技术发展指南》

编 委 会

顾 问：徐匡迪 殷瑞钰 刘 玠 余永富

古德生 于润沧 孙传尧 刘炯天

邱冠周 蔡美峰 邵安林

主 编：唐复平

编 委：（以姓氏笔画为序）

王丽敏 王 凯 王晓虎 任凤玉

刘小燕 李之奇 连民杰 张宇春

张国建 张京萍 张 蓓 陈占金

赵 辉 赵 磊 钟绍良 姚 强

徐连生 高景俊 韩跃新 焦玉书

雷平喜

前 言

随着我国钢铁工业的快速发展，铁矿石需求剧增。2014 年我国铁矿石进口量超过 9 亿吨，对外依存度达 78.5%，表明我国铁矿石资源保障能力建设严重滞后，直接影响到我国钢铁工业健康安全。为此，提高铁矿石资源保障能力建设受到国家有关部门、行业组织、钢铁和矿山企业的高度重视。

提高国产矿的利用水平是加强我国铁矿资源保障能力的重要途径。众所周知，我国铁矿资源含铁品位较低，且有诸多共生铁矿，而且易选矿石越来越少，难选矿石入选越来越多，这就需要铁矿山企业加快铁矿石采选关键技术的研究开发，加快贫铁矿山开发新技术、新成果的推广应用，从而促进贫铁矿资源的高效开发和利用。

为了系统地分析铁矿行业开采、选矿和加工、利用技术，进一步发挥科技创新对提高铁矿资源利用水平的支撑作用，鞍钢矿业集团、冶金工业信息标准研究院、国际钢铁协会联合组织出版《全球铁矿行业技术发展指南》一书，在对全球铁矿行业供需现状及发展趋势进行分析的基础上，重点从技术的角度，系统阐述



前 言

全球铁矿石资源特点，特别是中国贫杂铁矿采选技术发展现状，并展望未来发展趋势。

本书的出版将为铁矿行业从事管理、科研、设计、生产等领域人员进行生产经营管理和科技创新研发等提供技术指导，对推动我国铁矿行业科学、持续、健康发展具有重要意义。

由于时间关系，加上编者水平有限，书中错误或不足之处，恳请批评指正与谅解。

编 者
2015 年 1 月

目 录

第1章 全球铁矿行业供需现状及展望	1
1.1 全球钢铁工业发展历程、现状及未来展望	1
1.1.1 全球钢铁工业发展历程	1
1.1.2 全球钢铁工业发展特点	4
1.1.3 全球钢铁工业发展现状	6
1.1.4 全球钢铁工业短期展望	9
1.2 全球铁矿石生产现状、进出口贸易及未来展望	10
1.2.1 全球铁矿石生产现状	10
1.2.2 全球铁矿石进出口贸易	13
1.2.3 全球铁矿石生产未来展望	15
1.3 全球铁矿石需求及未来展望	17
第2章 全球铁矿石资源状况	22
2.1 全球分地区铁矿石资源主要分布区域及特点	24
2.1.1 澳大利亚	24
2.1.2 巴西	27
2.1.3 俄罗斯	29
2.1.4 中国	31
2.1.5 印度	34



2.1.6 非洲	36
2.2 主要铁矿石供应商	39
2.2.1 淡水河谷	39
2.2.2 力拓	47
2.2.3 必和必拓	52
2.2.4 FMG	56
2.2.5 鞍钢矿业	59
第3章 铁矿开采技术现状及趋势	62
3.1 铁矿露天开采技术发展	62
3.1.1 露天采矿工艺	66
3.1.2 露天采矿设备	70
3.1.3 露天采矿技术	92
3.2 铁矿地下开采技术发展	95
3.2.1 崩落采矿法	96
3.2.2 空场采矿法	105
3.2.3 充填采矿法	118
3.3 露天地下联合开采、露天转地下开采技术发展	124
3.3.1 矿山的整体规划	125
3.3.2 露天开采极限深度	126
3.3.3 露天转地下联合采矿工艺	127
3.3.4 边坡岩体滑移机制	130
3.3.5 境界矿柱的设定	131
3.3.6 存在的主要问题	132
3.4 采矿前沿技术发展趋势	133



3.4.1 数字矿山向智慧矿山的跨越	133
3.4.2 高强度、低贫化、低损失采矿工艺	135
3.4.3 大型、高效和无轨化地下开采设备	135
3.4.4 露天转地下过渡期的协同开采	135
3.4.5 露天井下协同开采及风险防控技术	136
第4章 铁矿选矿技术现状及趋势	137
4.1 铁矿石选矿工艺	137
4.1.1 磁铁矿石选矿工艺	142
4.1.2 弱磁性铁矿石选矿工艺	147
4.1.3 混合型铁矿石的选矿工艺	159
4.1.4 多金属共生复合铁矿石选矿工艺	166
4.2 铁矿石选矿设备和药剂的进展	174
4.2.1 铁矿石选矿设备	174
4.2.2 铁矿选矿药剂	188
4.3 铁矿尾矿综合利用	194
4.3.1 铁尾矿再选	196
4.3.2 铁尾矿制建筑材料	197
4.3.3 铁尾矿做充填料	200
4.3.4 铁尾矿改良苏打盐碱地	201
4.3.5 铁尾矿库生态修复	202
4.4 铁矿石选矿前沿技术	205
4.4.1 超贫磁铁矿选矿技术	205
4.4.2 极贫赤铁矿预选技术	207
4.4.3 菱褐铁矿选矿—冶金联合工艺技术	209



目 录

4.4.4 微细嵌布铁矿石的超细粉磨技术	211
4.4.5 粗粒结晶磁铁矿的磁—浮联合流程 生产超级铁精矿技术	211
4.4.6 尾矿干堆技术	211
4.4.7 含碳酸盐赤铁矿石高效浮选技术	213
4.5 铁矿石选矿技术发展趋势	214
 第5章 铁矿粉造块技术	217
5.1 烧结	217
5.1.1 优化配矿	217
5.1.2 低成本铁矿烧结	222
5.1.3 小球烧结	230
5.1.4 烧结复合制粒	231
5.2 球团	233
5.2.1 带式焙烧机焙烧	234
5.2.2 链算机—回转窑焙烧	235
5.2.3 竖炉焙烧	236
5.3 铁矿粉直接利用	238
 参考文献	241

第 1 章 全球铁矿行业供需 现状及展望

铁矿石作为钢铁工业最重要的基础原材料之一，其行业发展受到全球钢铁工业发展水平的制约，因此，要分析全球铁矿行业供需状况就要首先深入研究全球钢铁工业发展历程、现状及其未来趋势。

1.1 全球钢铁工业发展历程、现状及未来展望

钢铁工业作为国家非常重要的基础工业部门之一，是发展国民经济与国防建设的重要支柱产业，与此同时，钢铁工业发展水平也是衡量一个国家工业化程度的重要标志。钢铁工业是庞大的重工业部门，它的原料、燃料及辅助材料资源的供应状况，影响着钢铁工业的规模、产品质量、经济效益和结构布局等。

1.1.1 全球钢铁工业发展历程

现代钢铁工业的发展始于 19 世纪 70 年代，至今已有百余年的历史。但直到第二次世界大战前，全球钢铁产量仍然非常有限，能够生产的国家也不多，并且分布十分集中。1927 年，全球粗钢产量首次突破 1 亿吨，生产地区主要分布在大西洋北部沿岸地区的美国和西欧等地区，两个地区合计占当时全球总产量的 3/4，再加上苏联则占全球产量接近 90%。美国、西欧和苏联是二战之前全球三大钢铁生产基地，其形成的



主要原因包括：西欧是资本主义工业化的发源地，开发较早；美国虽然起步相对较晚，但发展迅速；苏联在十月革命后，由于经济和国防需要，大大加快了钢铁工业的发展。与此同时，上述地区和国家丰富的煤炭和铁矿石资源、有利的经济技术和方便的运输条件都给其钢铁工业发展提供了很好的物质基础。

纵观全球钢铁工业发展，可以大致划分为三个发展阶段：第一阶段为20世纪50~70年代，全球钢铁工业实现快速发展；第二阶段为20世纪80~90年代，全球钢铁工业发展陷入停滞，处于发展平台期；第三阶段为21世纪至今，在我国钢铁工业蓬勃发展的有力推动下，全球钢铁工业再次进入高速增长阶段（见图1-1）。

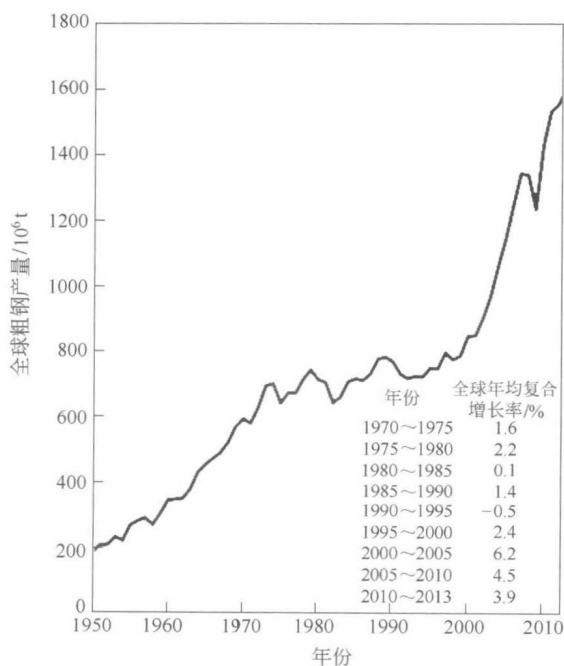


图 1-1 1950 ~ 2013 年全球粗钢产量变化趋势

（来自国际钢铁协会（以下简称：国际钢协）World Steel in Figures 2014）



(1) 第一阶段。二战之后，特别是 20 世纪 50 ~ 70 年代，全球钢铁工业取得了突飞猛进的发展，粗钢产量倍增，并且钢铁生产国也明显增加。1950 年全球粗钢产量只有 1.9 亿吨，1951 年、1959 年、1964 年、1968 年、1972 年和 1974 年分别突破 2 亿吨、3 亿吨、4 亿吨、5 亿吨、6 亿吨和 7 亿吨大关，到 1979 年达到 7.5 亿吨（阶段历史最高纪录），在此期间产量增加近 5.6 亿吨。同期，全球钢铁产量在 1000 万吨以上的国家由 4 个增加到 16 个，并出现多个生产设备能力超过 1 亿吨的国家。分析这一时期全球钢铁工业迅速发展的原因，主要有以下几点：首先，全球不同经济类型的国家产业结构调整，工业向重工业方向发展，造船、汽车及建筑业的迅速发展，提高了钢铁需求量，钢铁工业成为许多国家重点发展的部门。另外，一些国家为了加快工业化进程，如战败国要恢复发展经济，西方老牌钢铁生产国要维持其垄断地位，发展中国家为发展民族经济需要等，都相继扩大生产设备规模。其次，当时国际市场上铁矿石、煤炭、石油等原料、燃料不仅供应充足，而且价格低廉，大大加快了全球钢铁工业的发展步伐。此外，钢铁生产技术的变革，如顶吹转炉与电炉炼钢的广泛应用等也是推动全球钢铁产量激增的重要因素。

(2) 第二阶段。进入 20 世纪 80 ~ 90 年代，世界性经济危机造成市场需求萎缩，能源供给紧张，发达国家产业结构大幅调整等因素，造成全球钢铁工业开工率不足，钢产量增长陷入停滞甚至出现下降。这一时期全球粗钢产量基本维持在 7 亿 ~ 8 亿吨的水平，1982 年更是低至 6.4 亿吨，全球钢铁工业进入一个长达 20 年的震荡调整期。

(3) 第三阶段。在全球钢铁工业经历发展速度较为缓慢的 20 年（1980 ~ 2000 年）之后，进入 21 世纪，我国钢铁工业的迅猛崛起有力地带动了全球钢铁工业的发展，由此也迎来了自 20 世纪 60 ~ 70 年代以来发展速度最快的黄金十年。全球粗钢产量由 2001 年的 8.5 亿吨上升



至2013年的16.5亿吨，尽管在2008~2009年期间因受全球性经济危机影响而连续两年出现下滑。2001年我国粗钢产量仅为1.5亿吨，经过十多年的发展，2013年已经达到8.2亿吨（国际钢协最新修正数据），是2001年的五倍多。2013年全球粗钢产量同比增加接近9000万吨，其中仅我国就增加9000多万吨，由此可见，除我国之外的全球其他地区粗钢产量总体是下降的。

1.1.2 全球钢铁工业发展特点

纵观全球钢铁工业发展历程，可以看出其主要具有以下几个特点：

（1）全球钢铁工业地域结构变化的显著特点是打破了过去高度垄断的局面，钢铁工业地域自西向东发展的趋势日益明显。从20世纪50年代中期开始，日本钢铁工业发展极为迅速，先后超过法国、英国、原联邦德国，直至1980年超过美国跃居世界第二位。同期，苏联大力发展钢铁工业，于1971年首次超过美国，登上“冠军”宝座。进入20世纪70年代后，亚非拉地区发展中国家钢铁工业日益发展壮大，产量成倍增长。亚洲的中国、印度、韩国发展迅速，特别是我国1982年超过原联邦德国成为世界第四大钢铁生产国，1991年我国生产粗钢7100多万吨。1991年拉美国家的巴西年产粗钢2200多万吨，位居世界第八位，阿根廷、墨西哥钢产量增长也较快。过去非洲除南非以外几乎都是空白，但自20世纪90年代以来，埃及、阿尔及利亚都有所发展，因此实际上又呈现出由“北”向“南”发展的新趋势。

（2）随着科学技术的进步与生产力水平的提高，全球钢铁工业向大型化和现代化方向发展。这既适应了技术经济合理性的要求，也提高了经济效益。据英国金属通报（Metal Bulletin）统计，2013年全球粗钢产量在500万吨以上的钢铁厂共计63家，合计粗钢产量达到10亿吨，占全球总产量的比重约为64%。



(3) 全球钢铁工业空间结构变化是从内陆资源指向型向临海消费指向型的布局方向发展。在二战之前的相当长时间内,全球钢铁工业属于内陆资源指向型布局。早期木炭炼铁阶段,炼铁业分布在木材、铁矿石、河流运输方便和剩余劳动力充沛的地区。进入煤炭炼铁阶段后,工厂向大煤田、大铁矿集中,煤铁复合区是最理想的区位。随着冶炼技术的改进,特别是炼铁焦比的下降,则由就煤布局转向就铁布局,形成了三种钢铁工业地域类型:在大煤田区建钢铁联合企业,以德国的鲁尔区,乌克兰的顿巴斯区,美国的阿巴拉契亚区为代表;在铁矿区形成钢铁工业基地,以法国的洛林区,俄罗斯的马格尼托哥尔斯克,我国的包钢、马钢、武钢为代表;介于煤铁资源运输线上的基地(钟摆式),以美国的五大湖沿岸钢铁工业基地,俄罗斯的乌拉尔-库兹巴斯为代表。

(4) 20 世纪 50 年代以来,全球钢铁工业向消费区布局成为主导方向。新的钢铁厂多建在工业中心,形成钢铁工业为主的综合性工业基地。分析其原因,首先是布局条件变化所引起的,如能源消费构成的变化、运输条件的改善,特别是海上运输的发展、运输工具的革新、新资源来源地的出现等。以铁矿石生产为例,战前开采和加工主要集中在西欧和北美几个国家。20 世纪 60 年代后,在南半球三大洲相继发现大型铁矿区。巴西、澳大利亚铁矿石产量跃居世界第二和第三位,并逐渐成为世界上两个最大的铁矿石出口区。此外,加拿大、印度、委内瑞拉、秘鲁、利比里亚和毛里塔尼亚等国都有铁矿石出口。老的铁矿石产地产量减少,自给率下降,如法国原为净出口国,目前 60% 依靠进口,使钢铁工业与铁矿石生产地脱节,而靠进口原料、燃料的钢铁工业多趋向在消费区建厂。其次是技术经济的合理性,就地生产,就地消费,既节约时间又减少运费,可以降低成本,经济效益最高。日本就走出一条无资源国家依靠进口原料、燃料,在消费区建设大型钢厂的成功之路。

(5) 全球钢铁工业日益向沿海、河、湖发展。二战以来,新建的



钢铁厂多向沿海、沿河、沿湖布局。全球大型钢铁厂有 3/5 分布在沿海地带，其中半数以上是 20 世纪 50 年代以后建成的，沿海建厂成为普遍的特征。如法国的福斯、敦刻尔克，德国的不来梅，意大利的塔兰托，美国的雀点，我国的宝钢，特别是日本新的大型钢铁厂全部建在沿海地区。德国鲁尔区经过调整，钢铁工业逐渐向莱茵河畔集中。分析其主要原因：首先，原料、燃料依靠进口，沿海港口在一定意义上更接近原料地；其次，钢铁原料与成品笨重，体积大、运费高；加之战后原材料的长距离运输已成为普遍现象，而以海运最为便宜，故多选择沿海区位。再次，港口设施和运输技术的日益先进，如人工挖深水港湾、建专业化码头、船舶大型化、装卸现代化等都为降低运费创造了条件。最后，接近消费区还有利于形成综合工业区，能获得较好的经济效益。

1.1.3 全球钢铁工业发展现状

国际钢协公布的最新统计数据显示，2013 年全球粗钢产量达到 16.49 亿吨，同比增长 5.8%，再创历史新高。全球粗钢产量增长动力主要来自亚洲、非洲和中东地区，而欧盟、独联体、北美和南美粗钢产量均出现下滑。

2013 年，亚洲粗钢产量达到 11.23 亿吨，该地区占全球粗钢产量的比重为 68.1%（见图 1-2）。其中，我国粗钢产量达到 8.22 亿吨，占全球比重高达 49.8%，几乎占据半壁江山；日本生产粗钢 1.11 亿吨，占比 6.7%。

2013 年，欧盟 27 国粗钢产量为 1.66 亿吨，在全球占比为 10.1%，其中德国生产粗钢 4260 万吨，占比 2.6%；北美粗钢产量达到 1.19 亿吨，在全球占比仅为 7.2%，其中美国生产粗钢 8690 万吨，占比 5.3%；独联体粗钢产量 1.08 亿吨，在全球占比为 6.6%，其中俄罗斯生产粗钢 6890 万吨，占比 4.2%；南美粗钢产量为 4580 万吨，占比

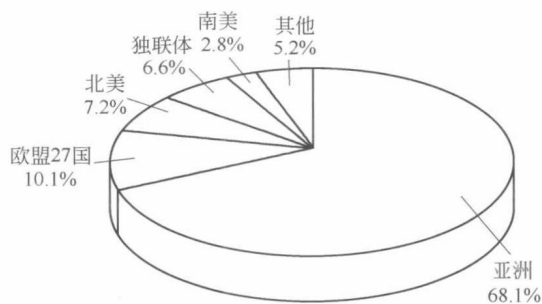


图 1-2 2013 年全球主要产钢地区粗钢产量占比
(数据来自国际钢协 Steel Statistical Yearbook 2014)

2.8%，其中巴西粗钢产量 3420 万吨，占比 2.1%。

从 2013 年全球前十大粗钢生产国家的排名情况可以看出（见表 1-1），近十年来，尽管进入前十的国家变化不大，但从中也能发现一些根本性变化。自 1996 年我国粗钢产量首次突破 1 亿吨，并超越日本成为全球最大的粗钢生产国以来，其“霸主”地位就没有其他国家能够撼动。作为钢铁工业发展较为成熟的日本和美国，除去金融危机时期之外，近十年日本粗钢产量基本保持在 1.1 亿吨左右的水平，而美国也基本处于 9000 万吨左右的水平，排名也都维持在第二三位。

表 1-1 2013 年全球前十大产钢国粗钢产量及排名 (万吨)

国 家	粗钢产量	排 名
中 国	82200	1
日 本	11060	2
美 国	8690	3
印 度	8130	4
俄罗斯	6890	5
韩 国	6610	6
德 国	4260	7