

# 生物质还原氧化锰矿 工艺与技术

朱国才 冯秀娟 张宏雷 编著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

# 生物质还原氧化锰矿 工艺与技术

朱国才 冯秀娟 张宏雷 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2014

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了生物质还原氧化锰矿工艺原理、动力学特征、工艺设计及工程计算、设备设计及选用等, 主要内容包括生物质资源现状、生物质热解过程研究、生物质热解还原氧化锰矿机理及动力学、生物质还原氧化锰矿工艺设备设计及技术、锰矿石中的伴(共)生有益元素利用等, 为生物质资源及低品位氧化锰矿资源的利用提供了新思路及基础知识。

本书可供冶金行业特别是锰冶金领域的研究人员、技术人员、企业工作人员, 农业科研人员参阅; 也可供高校冶金、生物、能源、化学等相关专业的本科生及研究生参考和使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

生物质还原氧化锰矿工艺与技术/朱国才, 冯秀娟, 张宏雷编著. —北京: 冶金工业出版社, 2014. 4

ISBN 978-7-5024-6585-8

I. ①生… II. ①朱… ②冯… ③张… III. ①生物能源—能源利用 IV. ①TK6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014) 第 067451 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 yjcs@cnmip.com.cn

责任编辑 常国平 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6585-8

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京慧美印刷有限公司印刷

2014 年 4 月第 1 版, 2014 年 4 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 12.5 印张; 242 千字; 187 页

58.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱: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)

## 前 言

---

我国是世界上最大的电解锰产品的生产国和消费国，全国已有近 200 家电解锰企业，形成了从业人员 200 多万人、产值约 200 亿元的产业。2008 年我国电解锰产能达到 187.9 万吨，产量达到 113.9 万吨，占全球的 98.6%；2012 年产能为 205.6 万吨，实际产量为 116 万吨，我国已经成为名副其实的电解锰生产大国。目前我国电解锰消耗锰矿近 1000 万吨，加上铁合金冶炼对锰矿资源的消耗，造成我国锰矿资源的全面紧张。

截至 2007 年年底，中国锰矿（矿石）查明锰资源储量 7.93 亿吨，约占世界陆地总储量的 6%。其中，基础储量为 2.2 亿吨（储量为 1.27 亿吨），资源量为 5.7 亿吨。我国锰矿查明资源储量分布于全国 23 个省、自治区、直辖市，但主要集中在广西（2.81 亿吨，占 35.5%）、湖南（1.58 亿吨，占 20.0%）、云南、贵州、辽宁和重庆，合计 6.95 亿吨，占全国锰矿查明资源储量总量的 87.6%。我国的锰矿资源特点是贫锰矿占全国储量的 93.6%，就氧化锰矿而言，其品位低于 25% 的氧化锰矿资源目前还不能直接在工业上大规模应用。

与此同时，我国钢铁产能的增加促进了对锰的需求，并形成从 21 世纪初我国开始大规模进口锰矿的局面，2005 年进口量为 465 万吨，2010 年达到了 1158 万吨，至 2011 年突破 1299 万吨，2012 年实际进口锰矿 1238 万吨。进口锰矿以氧化锰矿为主，锰的品位在 40% 以上，主要用于铁合金生产。全国大多数电解锰厂受资源消耗快的影响，使用的碳酸锰矿品位逐年下降，现在大多数电解锰厂使用的品位已下降到 13% 左右。这不但增加了企业的成本，同时会增加废渣量，造成企业

环保压力加大。有些企业不得不从国外进口碳酸锰矿，如宁夏天元公司 2011 年 6 月单月的进口量达到 8.5 万吨，全国 2011 年上半年碳酸锰矿的总进口量达到了 62 万吨。进口的碳酸锰矿锰的品位在 30% 以下，由于单位金属量运费增加造成进口锰矿成本增加，对于企业而言总的经济利益不会增加。因此，如何将氧化锰（国内外的氧化锰资源）还原为一氧化锰替代碳酸锰作为电解锰的原料，是解决我国电解锰企业资源瓶颈，保证其可持续发展的必要途径。

目前电解锰行业受全球经济，尤其是钢铁业不景气的影响，出现了大面积亏损，但 2012 年中国钢铁业的实际粗钢产量仍达到 7.17 亿吨，相对 2011 年增长 3.1%，钢铁行业对锰的需求仍然巨大。实际上从 2008 年以后，国内已成为电解锰消费的主要对象，2011 年以来 90% 的电解锰消费在国内。可归结为：（1）我国市场对锰矿需求依然巨大；（2）电解锰已成为内需为主的产品。因此要改变电解锰行业目前的局面只有依靠科技进步降低生产成本才能提高企业效益。分析电解锰生产企业的成本分布可以发现，原料锰矿占成本的  $1/3 \sim 1/2$ ，在电解锰企业中占主要成本，如何降低电解锰生产中的原料成本一直是企业努力的方向。在我国氧化锰品位高于 40% 的锰含量锰矿处理零资源状态，而锰含量小于 25% 占资源量的 90% 以上，这些低品位矿不能直接用于铁合金工业；这部分矿的价格便宜，目前每吨的价格约为进口高品位矿的  $1/4$ ，如能利用这部分矿必将降低成本；同时采用氧化锰作为电解锰原料，由于相对于碳酸锰矿钙镁含量低，可大幅度降低电解生产的酸耗，每吨电解锰酸耗由 3 吨左右降低至 0.5 ~ 0.8 吨，同样达到降低成本的目的；另外，在我国的氧化锰矿物中，尤其储量最大的广西壮族自治区的氧化锰矿，普遍伴生钴和镍，其含量在 0.1% ~ 0.5% 之间，价值与锰相当，有的锰矿伴生银，如果能综合利用又可进一步提高企业的效益。总之要改变锰行业目前的局面首先需要科技为动力将低品位氧化锰矿用作电解锰原料；其次充分考虑资源的综合利用，将锰矿

物的有价金属综合回收利用，才能保证电解锰行业的可持续发展。

本书作者朱国才十多年来潜心从事生物物质还原低品位氧化锰的研究，无论从工艺及设备都取得了具有工业应用前景的研究成果。本书结合作者所带研究生程卓（硕士）、张宏雷（博士），以及冯秀娟（博士后）及赵玉娜老师在反应机理方面的研究成果编写而成。全书由朱国才及冯秀娟负责统稿和主要编写工作，李天成参与编写第1章，刘靖参与编写第2章。希望本书能为我国锰行业生产及锰相关的科研工作提供参考。

由于编著者水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者  
2014年1月

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1 国内外锰矿及生物质资源现状 .....     | 1  |
| 1.1 生物质资源现状 .....         | 1  |
| 1.1.1 全球生物质资源量 .....      | 1  |
| 1.1.2 我国生物质资源量 .....      | 2  |
| 1.2 全球锰矿资源状况 .....        | 2  |
| 1.2.1 全球的陆地锰矿资源 .....     | 2  |
| 1.2.2 全球的海洋锰资源 .....      | 3  |
| 1.2.3 国外主要产锰国锰矿资源 .....   | 4  |
| 1.3 全球锰矿生产、消费、贸易和市场 ..... | 5  |
| 1.3.1 全球锰矿的生产 .....       | 5  |
| 1.3.2 全球锰矿的消费 .....       | 7  |
| 1.3.3 全球锰矿的贸易 .....       | 8  |
| 1.4 国外锰矿资源、类型、地质特征 .....  | 8  |
| 1.4.1 海相沉积锰矿床 .....       | 13 |
| 1.4.2 海相火山沉积锰矿床 .....     | 13 |
| 1.4.3 热液锰矿床 .....         | 14 |
| 1.4.4 风化锰矿床 .....         | 15 |
| 1.5 我国锰矿资源现状 .....        | 15 |
| 1.5.1 我国锰矿资源特点 .....      | 15 |
| 1.5.2 我国锰矿地质特征 .....      | 16 |
| 1.6 我国主要省份的锰资源状况 .....    | 18 |
| 1.6.1 云南省的锰资源状况 .....     | 18 |
| 1.6.2 陕西 .....            | 19 |
| 1.6.3 甘肃省的锰资源状况 .....     | 20 |
| 1.6.4 贵州省的锰资源状况 .....     | 21 |

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| 1.6.5 | 福建省的锰资源状况 .....       | 24 |
| 1.6.6 | 湖南省的锰资源状况 .....       | 27 |
| 1.6.7 | 安徽、浙江及江西省的锰资源状况 ..... | 33 |
| 1.7   | 广西锰矿资源及矿石工艺特性 .....   | 35 |
| 1.7.1 | 矿床成因类型及矿石工业类型 .....   | 35 |
| 1.7.2 | 锰矿石的化学成分特征 .....      | 37 |
| 1.7.3 | 锰矿石的矿物成分特征 .....      | 38 |
| 1.7.4 | 锰矿石的结构、构造特征 .....     | 40 |
| 1.7.5 | 矿石中锰的赋存状态 .....       | 41 |
|       | 参考文献 .....            | 41 |
| 2     | 生物质热解过程研究 .....       | 44 |
| 2.1   | 生物质的组成 .....          | 44 |
| 2.2   | 生物质的分析指标 .....        | 47 |
| 2.3   | 生物质热解过程原理 .....       | 50 |
| 2.3.1 | 生物质的热解进程 .....        | 50 |
| 2.3.2 | 生物质主要成分及热解产物 .....    | 51 |
| 2.3.3 | 生物质分解过程与途径 .....      | 51 |
| 2.3.4 | 生物质热解物质、能量传递过程 .....  | 52 |
| 2.3.5 | 生物质热解过程的影响因素 .....    | 53 |
| 2.4   | 生物质热解产物分析 .....       | 55 |
| 2.4.1 | 生物质的热解测试方法 .....      | 55 |
| 2.4.2 | 生物质的热解气态产物组成 .....    | 57 |
| 2.4.3 | 生物质的热解固态产物组成 .....    | 58 |
| 2.4.4 | 生物质的热解液态焦油产物组成 .....  | 61 |
| 2.5   | 生物质热解特性研究 .....       | 65 |
| 2.5.1 | 生物质热解特性分析方法 .....     | 65 |
| 2.5.2 | 无氧条件下生物质热解特性 .....    | 66 |
| 2.5.3 | 低氧条件下生物质热解特性 .....    | 68 |
| 2.6   | 生物质热解动力学 .....        | 71 |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 2.7 生物质还原氧化锰矿的热化学分析 .....           | 75  |
| 2.7.1 氧化锰矿热分解特性 .....               | 75  |
| 2.7.2 不同生物质还原氧化锰矿的热重特性曲线 .....      | 76  |
| 2.7.3 不同升温速度生物质还原氧化锰矿的热重特性曲线 .....  | 79  |
| 2.7.4 不同生物质/锰矿配比还原氧化锰矿的热重特性曲线 ..... | 80  |
| 2.7.5 不同生物质组分还原氧化锰矿的热重特性曲线 .....    | 81  |
| 2.7.6 生物质热解还原氧化锰矿的 DSC 曲线分析 .....   | 83  |
| 2.7.7 生物质还原氧化锰矿热力学模型及实例 .....       | 84  |
| 2.8 本章小结 .....                      | 90  |
| 参考文献 .....                          | 91  |
| 3 生物质热解还原氧化锰矿机理及动力学 .....           | 94  |
| 3.1 实验原料及方法 .....                   | 94  |
| 3.2 煤、褐煤与生物质还原氧化锰矿比较 .....          | 95  |
| 3.3 模拟生物质热解产生的各种产物还原氧化锰的研究 .....    | 96  |
| 3.3.1 氧化锰还原过程研究 .....               | 96  |
| 3.3.2 氧化锰矿组分对还原的效果影响研究 .....        | 105 |
| 3.4 生物质还原氧化锰矿工艺研究 .....             | 107 |
| 3.4.1 生物质/氧化锰矿配比对锰还原率影响 .....       | 107 |
| 3.4.2 还原温度和时间对锰矿还原率的影响 .....        | 108 |
| 3.4.3 生物质粒度对锰矿还原率的影响 .....          | 109 |
| 3.4.4 生物质种类对锰矿还原率的影响 .....          | 109 |
| 3.4.5 生物质组分对锰矿还原率的影响 .....          | 110 |
| 3.4.6 锰矿粒径对还原率的影响 .....             | 111 |
| 3.4.7 锰矿种类对锰矿还原率的影响 .....           | 111 |
| 3.4.8 低氧气量对锰矿还原率的影响 .....           | 112 |
| 3.4.9 惰性气体流量对锰矿还原率的影响 .....         | 113 |
| 3.4.10 空气对还原产物的再氧化影响 .....          | 113 |
| 3.4.11 被还原的一氧化锰矿产品防氧化措施 .....       | 113 |
| 3.4.12 生物质热解还原氧化锰矿产物的物相特征 .....     | 114 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 3.4.13 生物质热解还原氧化锰矿的尾气成分 .....     | 115        |
| 3.5 生物质还原氧化锰矿机理分析 .....           | 116        |
| 3.6 生物质热解还原氧化锰矿动力学研究 .....        | 118        |
| 3.6.1 生物质热解还原氧化锰矿的等温动力学分析 .....   | 118        |
| 3.6.2 生物质热解还原氧化锰矿不等温动力学分析 .....   | 120        |
| 3.7 本章小结 .....                    | 126        |
| 参考文献 .....                        | 127        |
| <b>4 生物质还原氧化锰矿设备及技术 .....</b>     | <b>130</b> |
| 4.1 氧化锰还原设备及技术现状 .....            | 130        |
| 4.2 各种氧化锰矿还原设备比较 .....            | 131        |
| 4.2.1 还原堆 .....                   | 132        |
| 4.2.2 还原反射炉 .....                 | 132        |
| 4.2.3 还原回转窑 .....                 | 133        |
| 4.2.4 沸腾炉及流态化还原炉 .....            | 135        |
| 4.2.5 微波还原炉 .....                 | 136        |
| 4.2.6 立式窑还原系统 .....               | 138        |
| 4.3 生物质还原炉设备开发与设计 .....           | 139        |
| 4.3.1 生物质还原炉选型研究 .....            | 139        |
| 4.3.2 生物质还原氧化锰矿能量平衡计算 .....       | 148        |
| 4.3.3 生物质还原氧化锰矿物料平衡计算 .....       | 151        |
| 4.3.4 生物质还原低品味氧化锰矿的产品防氧化研究 .....  | 151        |
| 4.4 生物质还原在电解锰生产中的应用 .....         | 159        |
| 参考文献 .....                        | 160        |
| <b>5 低品位氧化锰矿综合利用 .....</b>        | <b>162</b> |
| 5.1 锰矿资源伴(共)生组分的综合利用 .....        | 162        |
| 5.1.1 锰矿石中的伴(共)生有益元素 .....        | 162        |
| 5.1.2 钴、镍、铜元素的赋存状态 .....          | 164        |
| 5.1.3 钴、镍、铜元素在锰矿床氧化带的分布富集规律 ..... | 170        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 5.1.4 氧化锰矿伴生元素综合利用 .....      | 171 |
| 5.2 生物质还原回收镍钴的工艺 .....        | 172 |
| 5.2.1 试验及原料 .....             | 173 |
| 5.2.2 试验结果 .....              | 174 |
| 5.3 堆积型氧化锰矿围岩中有益组分的综合利用 ..... | 179 |
| 5.4 贫锰矿选矿尾矿的综合回收 .....        | 183 |
| 5.5 锰矿渣的回收利用 .....            | 183 |
| 参考文献 .....                    | 186 |

# 1 国内外锰矿及生物质资源现状

## 1.1 生物质资源现状

随着人口的增长和经济的发展,我国的能源问题已经变得越来越突出。21世纪初到2020年我国能源可持续发展的目标为力争达到利用能源消费翻一番,实现国民经济翻两番,具体为到2020年一次能源消费总量30亿吨标准煤(2010年约为21亿吨标准煤)。然而,根据国家统计局数据,2008年全国一次能源消费总量为29.1亿吨标准煤,2009年已超过30亿吨标准煤,比预期时间提前了11年。

纵观我国的经济发展趋势,其能源需求依然会保持强劲的增长。更为严峻的是化石能源并不是可再生资源,中国已探明的石油、天然气、煤炭储量分别只够使用14年、32年和100年,全世界石油也只够用40年。另外,我国主要的一次性能源消费主要来自于煤炭,2007年煤炭占一次能源消费比例达69.5%。烟尘和 $\text{CO}_2$ 排放量的70%、 $\text{SO}_2$ 的90%、 $\text{NO}_x$ 的67%来自于燃煤,此外机动车快速增长所带来的污染不断加剧。中国已经是能源消费第一大国和 $\text{CO}_2$ 排放第二大国,要求中国限排温室气体的国际压力将越来越大,2020年以后中国将难以回避温室气体排放限制的承诺。

作为一种洁净而又可再生的能源,生物质是唯一可替代化石能源转化成气态、液态和固态燃料以及其他化工原料或者产品的含碳资源<sup>[1,2]</sup>。

### 1.1.1 全球生物质资源量

瑞典农业大学(SLU)能源与技术系开展的一项关于全球生物质能资源的研究揭示,全球生物质作为能源资源的开发潜力足以满足世界能源需求。这项研究认为,来自农业、林业、城市废物及其他工业废料的生物质是位于煤炭、石油和天然气之后的第四大能源来源<sup>[3]</sup>,如果转化为能源,其生产潜力到2050年约为1100~1500EJ能量单位(EJ,相当于 $10^{18}\text{J}$ 或100亿亿焦耳)。而根据国际能源署(IEA)的研究,2007年全球能源消费总量约为490EJ,到2050年可望略超过1000EJ。这意味着,如果全球生物质资源得到充分利用,生物质能至少到21世纪中期可以满足世界能源需求。

研究人员认为,目前全世界从生物质获得的能源约50EJ,只占全球能源消

费的 10% 左右<sup>[4]</sup>。未来生物质资源的主要潜力来自富余的农业用地和不适合耕作的次级土地。目前，可用作生物质能的农作物生长用地为 2500 万公顷，只占全世界农业用地面积的 0.5% 和全球陆地面积的 0.19%。从能源作物所需的土地资源量看，世界未来发展生物质能也具有潜力。

1.1.2 我国生物质资源量

我国拥有丰富的生物质能资源。据测算，我国理论生物质能资源为 50 亿吨左右标准煤，是目前我国总能耗的 4 倍左右<sup>[5]</sup>。

在可收集的条件下，中国目前可利用的生物质能资源主要是传统生物质，包括农作物秸秆、薪柴、禽畜粪便、生活垃圾、工业有机废渣与废水等。据 1998 ~ 2003 年的统计数据估算（《中国统计摘要》、《中国农村能源年鉴（1998—1999 版）》），我国的可开发生物质资源总量为 7 亿吨左右（农作物秸秆约 3.5 亿吨，占 50% 以上），折合成标煤约为 3.5 亿吨，全部利用可以减排 8.5 亿吨二氧化碳，相当于 2007 年全国二氧化碳排放量的 1/8。由此可见，生物质能作为唯一可存储的可再生能源，具有分布广、储量大的特点，且为碳中性，加强对生物质能源的开发利用，有助于节能减排，是实现低碳经济的重要途径<sup>[6,7]</sup>。

1.2 全球锰矿资源状况

锰在地壳中平均含量约 0.1%，在重金属中仅次于铁而居第二位。锰多以化合物形式广泛分布于自然界，几乎各种矿石及硅酸盐的岩石中均含有锰矿物。锰的主要矿产为氧化锰及碳酸锰矿，是工业产业重要的基础性大宗原料矿产，90% 以上用于钢铁工业<sup>[8,9]</sup>。

1.2.1 全球的陆地锰矿资源

全球的锰矿资源分布很不均匀。世界陆地的锰矿床主要分布在南非、乌克兰、澳大利亚、加蓬、印度、中国、巴西和墨西哥等国家。据美国 USGS 统计，截至 2008 年年底世界探明的陆地锰矿石储量、储量基础合计 57 亿吨（锰金属量，下同），其中储量 50 亿吨、储量基础 52 亿吨（见表 1-1）。

表 1-1 截至 2008 年年底世界锰矿石储量和储量基础（锰金属量）

| 国 别  | 矿石含锰量/% | 储量/万吨 | 储量基础/万吨 | 合计/万吨  |
|------|---------|-------|---------|--------|
| 世界总计 |         | 50000 | 520000  | 570000 |
| 南 非  | 30 ~ 50 | 9500  | 400000  | 409500 |
| 乌克兰  | 18 ~ 22 | 14000 | 52000   | 66000  |
| 澳大利亚 | 42 ~ 48 | 6800  | 16000   | 22800  |

续表 1-1

| 国 别 | 矿石含锰量/% | 储量/万吨 | 储量基础/万吨 | 合计/万吨 |
|-----|---------|-------|---------|-------|
| 加 蓬 | 50      | 5200  | 9000    | 14200 |
| 中 国 | 15 ~ 30 | 4000  | 10000   | 14000 |
| 印 度 | 25 ~ 50 | 5600  | 15000   | 20600 |
| 巴 西 | 27 ~ 48 | 3500  | 5700    | 9200  |
| 墨西哥 | 25      | 400   | 800     | 1200  |
| 其 他 |         | 少 量   | 少 量     |       |

注：资料来自 Mineral Commodity Summaries, 6, 2009。

全球具有商业价值的锰矿储量为 9 ~ 10 亿吨，95% 以上分布在南非、加蓬、澳大利亚、巴西、乌克兰、中国和印度等国家，其中绝大多数为氧化锰矿石。南非和乌克兰是世界上拥有锰矿资源总量最多的两个国家，南非锰矿资源约占世界锰矿资源的 71.8%，乌克兰占 11.9%。

世界锰矿矿床类型主要有：沉积型、火山沉积型、沉积变质型、热液型、风化型和海底结核-结壳型。高品位锰矿（含锰 35% 以上）资源主要分布在南非、澳大利亚、加蓬和巴西等国家。乌克兰为世界第二大锰矿资源国，储量占世界总量的 11.9%，但 70% 储量的锰矿为碳酸盐型的中低品位锰矿石，碳酸锰矿石含锰仅 16% ~ 19%，且含磷偏高（0.25% 左右），氧化锰矿石含锰约 22% ~ 27%。

1.2.2 全球的海洋锰资源

锰结核是世界大洋底蕴藏的重要潜在资源。锰结核是铁、锰氧化物的集合体（矿石），含有锰、铜、钴、镍等 30 多种金属元素，具有巨大的商业经济价值。锰结核广泛地分布于世界海洋 2000 ~ 6000m 水深海底的表层，而以生成于 4000 ~ 6000m 水深海底的品质最佳。深海海底锰结核约有 4400t/km<sup>2</sup>，总储量估计在 3 万亿吨以上，其中锰、铜、钴的储量比其陆地上相应储量要大 1 ~ 3 数量级。太平洋、印度洋和大西洋都有丰富的海锰结核资源，但最有开发前景的地区是太平洋夏威夷群岛的东南部海域。

随着世界陆地锰矿石储量日益减少，人们越来越重视海底锰结核的利用。西方国家，尤其是无陆地锰矿床的国家，如英国、日本、德国、法国、瑞典和加拿大等对海底锰结核进行了广泛的开发研究。20 世纪 80 年代，美国、苏联、日本、德国等国矿产商组成的跨国公司，采用链斗、水力升举和空气升举等方法开采锰结核，日产锰结核 300 ~ 500t。冶炼技术方面，美国、法国、德国等国家建成了日处理锰结核 80t 以上的试验工厂。海底锰结核的开采、冶炼技术已基本成熟，一旦商业上可行，便可形成新的产业，进入批量规模生产。

### 1.2.3 国外主要产锰国锰矿资源

国外主要产锰国有南非、巴西、澳大利亚、加蓬等国家,其主要锰矿资源介绍如下<sup>[10]</sup>。

(1) 南非。南非是世界最著名的矿业大国,蕴藏有 60 多种具有经济价值的矿产,资源丰富且储量巨大。矿产资源总量占非洲的 50%,居全球第 5 位,许多种矿产储量都位居世界前列。南非拥有世界最丰富的锰矿资源,其储量和高品级锰矿产量居世界之首。截至 2008 年年底,南非锰矿资源储量、储量基础合计 40.195 亿吨,占世界总量的 71.18%;储量基础 40.10 亿吨,占世界总量的 76.19%。均居世界首位。南非锰矿资源主要分布于北开普省、德兰士瓦省,锰矿床主要集中在北开普省西北部的波斯特马斯堡及卡拉哈里锰矿区。该矿区是一南北伸展的小丘陵地带,全长 130km,面积 2331km<sup>2</sup>,其中波斯特马斯堡矿区位于南端,卡拉哈里矿区位于北面的库鲁曼(Kuru-man)地区,两大矿区相隔约 45km。波斯特马斯堡及卡拉哈里矿区的巨大锰矿体产于前寒武纪德兰士瓦系变质岩中,共有 4 个含锰矿层。这些原生矿层与白云岩、硅质角砾岩和页岩共生。该矿床是同生的沉积型锰矿床,后经表生淋滤,使锰矿变富。卡拉哈里锰矿区南北长约 45km、东西宽 5~10km,目前拥有工业储量 61.69 亿吨、推测储量 71.15 亿吨、潜在资源量约 102 亿吨。

目前,南非主要锰矿产区是卡拉哈里矿锰矿区,生产优质冶金级锰矿石为主的生产矿区主要包括萨曼科锰业(Samancor Manganese)的马马特旺(Mamatwan)、韦塞尔(Wessels)和霍特泽尔(Ho-tazel)锰矿及米德尔普莱茨、恩契瓦宁(Nchwaning)、格罗利亚(Gloria)、布莱克洛克、桑托和贝尔格莱维亚等锰矿。卡拉哈里锰矿石中分布最广的锰矿物为褐锰矿、硬锰矿、软锰矿和残余古锰土。锰矿石平均含锰 42%,含磷低(0.103%~0.105%),是冶金级优质富锰矿石。此外,以生产化学级锰矿石为主,在南非的东北地区也有锰矿分布,从克鲁格斯多普向西至博茨瓦纳边境,该矿床由德兰士瓦系 Malmani 分组的白云岩风化形成。

(2) 巴西。巴西联邦共和国是世界上重要的矿业国之一,其高品级锰矿在世界上久负盛名。巴西锰矿资源分布广泛,在全国大多数的州都发现有锰,主要的锰矿床分布在阿马帕州、米纳斯吉拉斯州(Minas Gerais)、帕拉州(Para)、马托格罗索州(Mato Grosso)、巴伊亚州(Bahia)和戈亚斯州(Gerais)等地区。截至 2008 年年底,巴西锰矿资源储量、储量基础合计 9200 万吨,其中储量 3500 万吨、储量基础 5700 万吨,估计查明资源储量 1.86 亿吨。阿马帕州的锰资源主要是塞腊多纳维奥(Serra Do Novio)锰矿床,矿石储量约 8000 万吨,其中氧化锰 3000 万吨、原生锰矿石 5000 万吨;氧化锰矿石含锰量 40% 以上,原生锰矿石含锰量 25%~31%。西部边陲的马托格罗索州主要为乌鲁库姆(Urucum)锰矿

床, 储量约 5900 万吨, 据称实际储量要大得多, 且正在勘探中, 估计锰矿石储量 1 亿吨; 露天开采出矿平均品位 41%, 主要生产冶金级块矿和化工用锰。帕拉州卡拉加斯 (Carajas) 地区的米纳多阿祖尔 (Azul) 锰矿区是目前巴西主要的锰矿山, 该矿区有伊加拉普、布里提拉马 (Buritirama)、塞纳杜塞莱诺三个锰矿床, 锰矿储量 5930 万吨, 其中含锰量在 40% 的高品位锰矿石储量约 4800 万吨, 是高级别的电池锰矿石。

(3) 澳大利亚。澳大利亚是世界主要的高品位锰矿石生产国和出口国。锰矿资源主要分布在北部和西部。澳北部地区卡彭塔利亚湾格鲁特岛的锰矿储量占澳大利亚总储量 80% 左右; 其余主要分布在西澳大利亚的皮尔巴拉和皮克希尔地区, 另外在南澳大利亚州、昆士兰州和新威尔士州也有少量锰矿床分布。截至 2008 年年底, 澳大利亚锰矿资源储量、储量基础合计 2.28 亿吨, 占世界总量的 4.0%, 居世界第三位, 其中储量 6800 万吨。全国查明资源储量约 5.4 亿吨, 其中格鲁特岛的锰矿储量 4.3 亿吨。格鲁特岛锰矿是澳大利亚最大的原生氧化锰矿床, 锰矿石赋存于砂质黏土中的海相沉积矿层中, 矿体平均厚度约 3m, 锰矿物主要为隐钾锰矿, 软锰矿、黑锰矿和硬锰矿等, 矿石含锰量 40% ~ 50%, 脉石主要是石英和黏土。格鲁特岛锰矿露天开采, 推土机和铲运机剥离, 穿孔爆破, 反铲装运, 重卡运输。锰矿主要为原生氧化锰矿, 只需经洗矿和重介质选矿即可获得高品位锰成品矿和粉矿。

澳大利亚一直是我国锰矿砂及精矿的最大供给国。2008 年, 中国从澳大利亚进口的锰矿砂及精矿达到 230.4 万吨, 占中国总进口量的 30.4%, 价值额达到 11.9 亿美元。

(4) 加蓬。加蓬是世界著名的富锰矿石和电池级锰矿石产地和出口国。加蓬锰矿资源主要分布在该国东南部莫安达地区, 包括斑戈姆贝、奥库马-巴佛拉、米森多、伊伊和布尤贝 5 个高原成矿地带, 是世界上最大的独立锰矿床, 其最大锰矿山为莫安达锰矿。截至 2008 年年底, 加蓬锰矿资源储量、储量基础合计 1.42 亿吨, 占世界总量的 2.5%, 居世界第 5 位; 其中储量 5200 万吨, 储量基础 9000 万吨。加蓬查明资源总储量 4.4 亿吨。莫安达锰矿床产于黑色碳质页岩中, 属海相陆缘沉积型锰矿床; 主要的开采矿体斑戈姆贝矿床中含锰最富的为板状层层状构造, 矿体平均厚度 5m, 地质品位 44% 以上; 矿石类型为氧化锰矿, 主要锰矿物为软锰矿、黝锰矿、硬锰矿、隐钾锰矿、黑锰矿等。加蓬莫安达产出的锰矿石, 冶金级锰矿石占总产量的 95%, 其余为加工后的电池锰粉。

## 1.3 全球锰矿生产、消费、贸易和市场

### 1.3.1 全球锰矿的生产

国际上通常将锰矿分为主流和非主流锰矿。主流锰矿一般是指含锰量高、来

自锰矿主产地国家南非、澳大利亚、巴西及加蓬的锰矿。而非主流锰矿一般指来自缅甸、印度尼西亚、印度、菲律宾、纳米比亚、摩洛哥等国家的锰矿，其锰矿资源天然禀赋优越，矿床规模大而构造相对简单，多为厚大矿体，矿体产状条件较好，多赋存于近地表或浅部，宜于大规模、大装备、机械化露天开采。

国外锰矿资源露天开采占 80%，地下开采仅占 20%，生产规模多在 100 万吨以上，采掘（剥）装备大型化，矿山生产采、掘、运机械化、连续化、自动化程度高，集成高效，通常是推土机、索斗铲和铲运机剥离，穿孔爆破，索斗铲、挖掘机装矿，大吨重卡、皮带机和铁路运输。2007 年及 2008 年全球锰矿产量见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 2007 年全球锰矿产量 (万吨)

| 国家和地区 | Mn > 44% | 30% ≤ Mn ≤ 44% | Mn < 30% | 总 计    |
|-------|----------|----------------|----------|--------|
| 中 国   | 0        | 15             | 1525     | 1540   |
| 南 非   | 377.4    | 181.6          | 0        | 559    |
| 澳大利亚  | 507.1    | 0              | 0        | 507.1  |
| 加 蓬   | 333.4    | 0              | 0        | 333.4  |
| 乌克兰   | 0        | 240.1          | 0        | 240.1  |
| 巴 西   | 152.5    | 11.8           | 10.2     | 174.5  |
| 印 度   | 0        | 201.6          | 0        | 201.6  |
| 加 纳   | 0        | 0              | 185.4    | 185.4  |
| 哈萨克斯坦 | 0.7      | 45.3           | 56.9     | 102.9  |
| 墨西哥   | 0        | 36.4           | 5.2      | 41.6   |
| 其他地区  | 29.1     | 24.6           | 40.6     | 94.3   |
| 世界总计  | 1400.2   | 756.4          | 1823.3   | 3979.9 |

表 1-3 2008 年全球锰矿产量 (万吨)

| 国家和地区  | Mn > 44% | 30% ≤ Mn ≤ 44% | Mn < 30% | 总 计     |
|--------|----------|----------------|----------|---------|
| 中 国    | 0        | 15             | 1685     | 1700    |
| 印 度    | 0        | 206.75         | 0        | 206.75  |
| 独联体国家  | 0        | 315.4          | 23.98    | 339.4   |
| 亚洲其他地区 | 515.26   | 6.23           | 0        | 521.5   |
| 欧 洲    | 755.59   | 305.26         | 100.28   | 1161.13 |
| 美 洲    | 229.52   | 85.13          | 23.6     | 338.25  |
| 緬 甸    | 0        | 35.65          | 0        | 35.65   |
| 世界总计   | 1500.37  | 969.42         | 1832.86  | 4302.65 |

目前全球主要锰矿生产国南非、澳大利亚、巴西、加蓬、加纳、乌克兰主要