



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

钢铁冶金概论

(第2版)

薛正良 主编



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

钢铁冶金概论

(第2版)

薛正良 主编

北京
冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本教材共分10章,以钢铁冶金工艺流程及与钢铁冶炼相关的专业知识为主线,系统介绍了采矿、选矿、铁矿粉造块、焦化、高炉炼铁、炼钢连铸、轧钢、钢铁产品及其质量检测、钢铁生产用耐火材料和钢铁生产节能与环保等专业知识。通过学习本书,读者可以对钢铁联合企业的生产过程有一个全面概括的了解,并初步掌握钢铁冶金的基本知识。

本书可作为高等学校冶金相关专业的工科、理科、经管、文法等专业的教学用书,也可作为非冶金工程专业学生进行钢铁冶金及相关知识的普及教育用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁冶金概论/薛正良主编.—2版.—北京:冶金工业出版社,2016.4

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7236-8

I. ①钢… II. ①薛… III. ①钢铁冶金—高等学校—教材 IV. ①TF4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第110074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 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 刘小峰 曾 媛 美术编辑 吕欣童 版式设计 吕欣童

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7236-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016年4月第1版,2016年4月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;18印张;434千字;274页

36.00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)

第2版前言

《钢铁冶金概论》是一本以冶金类高等学校相关专业的本、专科生及广大钢铁冶金爱好者为主要受众的教材，也是写给对钢铁冶炼感兴趣的人士进行钢铁冶金及相关知识的普及教育的读本。《钢铁冶金概论》（第1版）自2008年出版至今，已被很多高校采用作为教材，其简洁鲜明的特色受到广大师生的好评，同时也给作者提出了许多宝贵的意见和建议。《钢铁冶金概论》（第2版）在修订过程中，保持了第1版通俗简练的风格，对钢铁冶金及相关专业的基本知识、工艺流程和工艺设备等进行提炼，其知识涉及面广泛而系统。

考虑到不同专业在选择教学内容上的灵活性，本教材编写以钢铁冶金工艺流程及与钢铁冶炼相关的专业知识为主线，系统介绍了采矿、选矿、铁矿粉造块、焦化、高炉炼铁、炼钢连铸、轧钢、钢铁产品及其质量检测、钢铁生产用耐火材料和钢铁生产节能与环保等专业知识。

第2版在修订过程中对部分内容进行了补充和更新，每一章增加了“本章要点提示”“本章小结”“思考题”和“参考文献”，同时去掉了紧密度相对较低的“冶金机械设备”这一章。

《钢铁冶金概论》（第2版）由武汉科技大学薛正良主编。第1章由薛正良修订，第2章由叶义成、刘涛修订，第3章由伍林修订，第4~6章由薛正良、王炜、熊玮、彭其春和朱航宇修订，第7章由徐光修订，第8章由吴润修订，第9章由王玺堂修订，第10章由马国军修订。

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者
2016年3月

第1版前言

为了适应高等学校教学改革的需要,武汉科技大学根据自身的办学要求调整了本科生培养计划,从2007级开始全校所有工科、理科、经管、文法等专业均开设“钢铁冶金概论”课程。本教材正是在这一背景下编写的。

考虑到不同专业在选择教学内容上的灵活性,本教材编写以钢铁冶金工艺流程及与钢铁冶炼相关的专业知识为主线,系统介绍了采矿、选矿、铁矿粉造块、炼焦、高炉炼铁、炼钢、连铸、轧钢、冶金机械、钢材产品及其质量检测、钢铁生产用耐火材料和钢铁生产节能与环保等专业知识。

本书的受众面主要是冶金类高等学校非冶金专业的工科、理科、经管、文法等专业的本、专科生;内容力求通俗简练,对钢铁冶金及相关专业的基本知识、工艺流程和工艺设备等进行简要介绍,其知识涉及面广泛而系统,可以用来对非冶金工程专业学生进行钢铁冶金及相关知识的普及教育。

本书由武汉科技大学薛正良主编。第1、4、5章由薛正良编写,第2章由叶义成、张芹编写,第3章由欧阳曙光编写,第6章由彭其春编写,第7章由程晓茹编写,第8章由刘安忠和李友荣编写,第9章由刘静编写,第10章由李亚伟、王玺堂和李远兵编写,第11章由李光强编写。

本书编写过程中得到武汉科技大学校长孔建益、副校长陈奎生,以及武汉科技大学教务处和相关学院的大力支持。

由于时间仓促,加之编者水平所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2008年3月

目 录

| | |
|----------------------------|----|
| 1 绪论 | 1 |
| 1.1 钢铁工业在国民经济中的地位 | 1 |
| 1.2 钢铁工业的发展 | 2 |
| 1.2.1 早期的冶铁方法 | 2 |
| 1.2.2 近代钢铁冶炼技术的发展 | 2 |
| 1.2.3 新中国钢铁工业的发展 | 5 |
| 1.3 钢铁生产基本流程 | 6 |
| 1.3.1 概述 | 6 |
| 1.3.2 铁前系统 | 7 |
| 1.3.3 炼钢厂 | 10 |
| 1.3.4 轧钢厂 | 13 |
| 思考题 | 14 |
| 参考文献 | 14 |
| 2 采矿与选矿 | 15 |
| 2.1 矿山地质 | 15 |
| 2.1.1 矿山地质概述 | 15 |
| 2.1.2 矿岩性质 | 17 |
| 2.1.3 地质构造 | 19 |
| 2.1.4 矿床水文地质 | 21 |
| 2.1.5 矿山开采对矿山地质工作的要求 | 22 |
| 2.2 采矿 | 23 |
| 2.2.1 矿床露天开采 | 23 |
| 2.2.2 矿床地下开采 | 29 |
| 2.3 选矿 | 40 |
| 2.3.1 碎矿与磨矿 | 40 |
| 2.3.2 浮选 | 41 |
| 2.3.3 磁选 | 42 |
| 2.3.4 电选 | 43 |
| 2.3.5 重力分选 | 44 |
| 2.3.6 生物浮选 | 45 |
| 2.3.7 分选效果评价 | 45 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| 思考题 | 47 |
| 参考文献 | 47 |
| 3 炼焦 | 48 |
| 3.1 概述 | 48 |
| 3.2 焦炭及其性质 | 48 |
| 3.2.1 焦炭在高炉炼铁中的作用 | 48 |
| 3.2.2 焦炭性能 | 49 |
| 3.2.3 焦炭的质量指标 | 50 |
| 3.3 煤的成因性质及分类 | 51 |
| 3.3.1 煤的成因及种类 | 51 |
| 3.3.2 煤的分类 | 52 |
| 3.3.3 煤的组成与性质 | 54 |
| 3.4 选煤 | 56 |
| 3.4.1 选煤目的 | 56 |
| 3.4.2 选煤方法 | 56 |
| 3.5 配煤炼焦 | 58 |
| 3.5.1 配煤炼焦概述 | 58 |
| 3.5.2 备煤工艺 | 59 |
| 3.6 焦炉炉体结构及炉型 | 59 |
| 3.6.1 焦炉炉体结构 | 59 |
| 3.6.2 焦炉分类 | 63 |
| 3.6.3 我国焦炉炉型简介 | 64 |
| 3.7 焦炉三班操作 | 67 |
| 3.7.1 湿法熄焦 | 67 |
| 3.7.2 干法熄焦 | 67 |
| 3.7.3 低水分熄焦 | 69 |
| 3.7.4 稳定熄焦 | 69 |
| 3.7.5 筛焦 | 70 |
| 3.8 炼焦新技术简介 | 70 |
| 3.8.1 无回收焦炉 | 70 |
| 3.8.2 大容积焦炉 | 71 |
| 思考题 | 72 |
| 参考文献 | 72 |
| 4 铁矿粉造块 | 73 |
| 4.1 概述 | 73 |
| 4.2 铁矿粉混匀作业 | 74 |
| 4.3 铁矿石烧结生产 | 75 |

| | | |
|----------|----------------|------------|
| 4.3.1 | 烧结矿生产使用的原材料 | 75 |
| 4.3.2 | 烧结矿种类 | 75 |
| 4.3.3 | 烧结机结构 | 76 |
| 4.3.4 | 烧结生产工艺流程 | 77 |
| 4.3.5 | 烧结生产技术经济指标 | 81 |
| 4.3.6 | 烧结矿质量 | 81 |
| 4.4 | 球团矿生产 | 84 |
| 4.4.1 | 竖炉球团生产工艺 | 85 |
| 4.4.2 | 链算机一回转窑球团矿生产工艺 | 87 |
| | 思考题 | 88 |
| | 参考文献 | 88 |
| 5 | 高炉炼铁 | 89 |
| 5.1 | 概述 | 89 |
| 5.2 | 高炉炼铁基本概念 | 90 |
| 5.2.1 | 高炉炼铁的原料和产品 | 90 |
| 5.2.2 | 高炉内型 | 92 |
| 5.2.3 | 高炉生产主要技术经济指标 | 92 |
| 5.3 | 高炉炼铁工艺设备 | 93 |
| 5.3.1 | 高炉本体 | 93 |
| 5.3.2 | 炉顶装料设备 | 98 |
| 5.3.3 | 热风炉 | 100 |
| 5.3.4 | 喷煤设备 | 102 |
| 5.3.5 | 除尘设备 | 102 |
| 5.3.6 | 渣铁处理 | 106 |
| 5.4 | 高炉冶炼原理 | 108 |
| 5.4.1 | 炉料在炉内的分布状态 | 108 |
| 5.4.2 | 炉缸燃烧反应 | 108 |
| 5.4.3 | 高炉内铁氧化物的还原反应 | 110 |
| 5.4.4 | 高炉内非铁元素的还原反应 | 113 |
| 5.4.5 | 炉渣和生铁的形成 | 113 |
| 5.4.6 | 铁水脱硫 | 113 |
| | 思考题 | 114 |
| | 参考文献 | 115 |
| 6 | 炼钢 | 116 |
| 6.1 | 钢铁制造流程 | 116 |
| 6.2 | 铁水预处理 | 117 |
| 6.2.1 | 铁水预处理技术概述 | 117 |

| | | |
|-------|---------------------|-----|
| 6.2.2 | 铁水预脱硫 | 118 |
| 6.2.3 | 铁水预脱硅 | 120 |
| 6.2.4 | 铁水预脱磷 | 122 |
| 6.3 | 转炉炼钢 | 123 |
| 6.3.1 | 转炉炼钢概述 | 123 |
| 6.3.2 | 转炉炼钢设备 | 123 |
| 6.3.3 | 转炉炼钢过程 | 124 |
| 6.3.4 | 转炉炼钢五大操作制度 | 126 |
| 6.3.5 | 转炉长寿技术 | 128 |
| 6.3.6 | 转炉炼钢新技术 | 129 |
| 6.4 | 电弧炉炼钢 | 129 |
| 6.4.1 | 电弧炉炼钢概述 | 129 |
| 6.4.2 | 电弧炉炼钢设备 | 130 |
| 6.4.3 | 碱性电弧炉氧化法冶炼工艺 | 131 |
| 6.4.4 | 废钢预热技术 | 134 |
| 6.5 | 炉外精炼 | 136 |
| 6.5.1 | 炉外精炼概述 | 136 |
| 6.5.2 | 炉外精炼方法分类 | 137 |
| 6.5.3 | 几种常用的炉外精炼方法 | 139 |
| 6.6 | 连铸 | 146 |
| 6.6.1 | 连铸概述 | 146 |
| 6.6.2 | 机型及特点 | 148 |
| 6.6.3 | 主体设备与浇注过程 | 148 |
| 6.6.4 | 连铸工艺 | 153 |
| 6.6.5 | 中间包冶金 | 154 |
| 6.6.6 | 连铸坯的质量 | 155 |
| 6.6.7 | 铸坯的热送热装和直接轧制 | 155 |
| | 思考题 | 156 |
| | 参考文献 | 157 |
| 7 | 金属压力加工 | 158 |
| 7.1 | 概述 | 158 |
| 7.1.1 | 金属成型方法 | 158 |
| 7.1.2 | 金属压力加工及其主要方法 | 159 |
| 7.1.3 | 金属压力加工的技术经济指标 | 162 |
| 7.2 | 钢材品种和用途 | 163 |
| 7.2.1 | 板带钢 | 163 |
| 7.2.2 | 钢管 | 164 |
| 7.2.3 | 型钢 | 165 |

| | |
|------------------------------|------------|
| 7.2.4 线材 | 165 |
| 7.3 轧钢机 | 166 |
| 7.3.1 轧钢机的基本组成 | 166 |
| 7.3.2 轧钢机的分类 | 168 |
| 7.4 板带钢生产工艺 | 171 |
| 7.4.1 轧制过程基本概念 | 171 |
| 7.4.2 轧钢生产系统 | 173 |
| 7.4.3 板带钢生产技术要求 and 特点 | 175 |
| 7.4.4 中厚板生产工艺 | 176 |
| 7.4.5 热轧薄板带钢生产工艺 | 180 |
| 7.4.6 冷轧薄板生产 | 182 |
| 7.5 型线材生产工艺 | 185 |
| 7.5.1 热轧型钢的生产工艺 | 185 |
| 7.5.2 线材生产工艺 | 187 |
| 7.6 钢管生产工艺 | 190 |
| 7.6.1 无缝钢管生产工艺 | 190 |
| 7.6.2 焊管生产 | 193 |
| 7.7 金属压力加工的其他方法 | 195 |
| 7.7.1 锻造 | 195 |
| 7.7.2 冲压 | 196 |
| 7.7.3 拉拔 | 198 |
| 7.7.4 挤压 | 200 |
| 7.8 热带钢轧制新技术 | 201 |
| 7.8.1 薄板坯连铸连轧 | 201 |
| 7.8.2 热带钢无头轧制 | 206 |
| 思考题 | 208 |
| 参考文献 | 209 |
| 8 冶金产品及质量检验 | 210 |
| 8.1 普通钢材的品种及用途 | 210 |
| 8.1.1 型钢类 | 210 |
| 8.1.2 板材类 | 211 |
| 8.1.3 钢管类 | 212 |
| 8.1.4 线材类 | 212 |
| 8.2 普通用途钢材的常见缺陷 | 213 |
| 8.2.1 型钢表面缺陷 | 213 |
| 8.2.2 线材的缺陷 | 216 |
| 8.2.3 管材的缺陷 | 217 |
| 8.3 特殊用途钢及常见缺陷 | 218 |

| | | |
|----------|------------------------|------------|
| 8.3.1 | 常用机器零件用钢及其典型缺陷 | 219 |
| 8.3.2 | 常用工模具钢及其典型缺陷 | 221 |
| 8.3.3 | 不锈钢与耐热钢及其典型缺陷 | 224 |
| 8.4 | 钢材的检验 | 226 |
| 8.4.1 | 检验标准 | 226 |
| 8.4.2 | 检验项目 | 227 |
| | 思考题 | 229 |
| | 参考文献 | 230 |
| 9 | 钢铁生产用耐火材料 | 231 |
| 9.1 | 耐火材料的分类 | 231 |
| 9.1.1 | 化学属性分类 | 231 |
| 9.1.2 | 化学矿物组成分类 | 231 |
| 9.1.3 | 按材料形态分类 | 231 |
| 9.2 | 耐火材料的主要性能 | 232 |
| 9.2.1 | 耐火材料的结构性能 | 232 |
| 9.2.2 | 耐火材料的热学性能 | 232 |
| 9.2.3 | 耐火材料的力学性能 | 233 |
| 9.2.4 | 耐火材料使用性能 | 233 |
| 9.3 | 耐火制品 | 233 |
| 9.3.1 | 硅酸铝质耐火制品 | 234 |
| 9.3.2 | 碱性耐火制品 | 234 |
| 9.3.3 | 含碳耐火制品 | 235 |
| 9.3.4 | 碳化硅耐火制品 | 235 |
| 9.4 | 不定形耐火材料 | 236 |
| 9.4.1 | 耐火浇注料 | 236 |
| 9.4.2 | 耐火可塑料 | 237 |
| 9.4.3 | 耐火捣打料 | 238 |
| 9.4.4 | 耐火喷涂料 | 238 |
| 9.4.5 | 耐火泥浆 | 238 |
| 9.5 | 隔热耐火材料 | 238 |
| 9.5.1 | 轻质耐火制品 | 239 |
| 9.5.2 | 隔热耐火浇注料 | 239 |
| 9.5.3 | 耐火纤维及其制品 | 239 |
| 9.6 | 耐火材料应用 | 239 |
| 9.6.1 | 焦炉用耐火材料 | 240 |
| 9.6.2 | 炼铁系统用耐火材料 | 240 |
| 9.6.3 | 炼钢用耐火材料 | 243 |
| 9.6.4 | 轧钢用耐火材料 | 247 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 思考题 | 248 |
| 参考文献 | 248 |
| 10 钢铁生产的环保与节能 | 249 |
| 10.1 钢铁冶金的资源、能源消耗与环境问题 | 249 |
| 10.1.1 钢铁冶金的资源、能源消耗 | 249 |
| 10.1.2 钢铁生产的环境问题 | 250 |
| 10.1.3 清洁生产与循环经济 | 251 |
| 10.2 钢铁生产中的水污染与水处理 | 252 |
| 10.2.1 钢铁厂的用水与污水产生情况 | 252 |
| 10.2.2 钢铁厂污水排放标准与水处理的常用方法 | 253 |
| 10.2.3 废水处理方法 | 253 |
| 10.2.4 废水处理的一般流程 | 254 |
| 10.3 钢铁生产中的尾气处理 | 255 |
| 10.3.1 钢铁冶炼过程中的尾气来源、特点与排放标准 | 255 |
| 10.3.2 烟尘控制技术 | 257 |
| 10.3.3 焦化煤气净化技术 | 260 |
| 10.3.4 烧结尾气脱 SO_x | 260 |
| 10.3.5 SO_2 排污权交易 | 262 |
| 10.3.6 NO_x 防止技术 | 262 |
| 10.3.7 烧结尾气脱硝技术 | 262 |
| 10.3.8 降低 CO_2 排放量的措施 | 263 |
| 10.3.9 《京都议定书》与清洁发展机制 (CDM) | 264 |
| 10.4 炉渣与尘泥的处理与利用 | 265 |
| 10.4.1 高炉渣、转炉渣、电炉渣的产生和性质 | 265 |
| 10.4.2 炉渣处理技术 | 266 |
| 10.4.3 各种尘泥的处理与利用 | 270 |
| 10.5 钢铁生产中的节能工艺 | 271 |
| 10.5.1 我国钢铁企业的能耗指标 | 271 |
| 10.5.2 钢铁工业的主要节能工艺技术简介 | 272 |
| 思考题 | 273 |
| 参考文献 | 274 |

【本章要点提示】 钢铁冶金是基于资源开发利用和钢铁材料生产过程的学科，是研究如何经济地从铁矿石中提取金属铁，并通过吹炼去除杂质元素和合金化过程得到纯净的钢液，最后通过浇铸和一定的加工方法制成具有某种特定性能的钢铁材料的科学。钢铁工业作为国家经济发展的支柱产业具有不可替代性。本章介绍了钢铁工业在国民经济发展中的地位，钢铁冶炼的发展历史和我国钢铁工业的现状，重点介绍了与钢铁生产相关的各工序的基本流程。

1.1 钢铁工业在国民经济中的地位

地壳中铁的储量比较丰富，按元素总量计占 4.2%，在金属元素中仅次于铝。纯金属铁本身质地柔软，不能作为结构材料使用，在工业生产和日常生活中广泛应用的是铸造生铁和钢。铸造生铁是含碳量 3%~4% 的 Fe-C 合金，并含有少量硅、锰、硫、磷等元素，其质地硬而脆，不能锻压，主要用于生产铸件。钢是生铁的深加工产物，炼钢过程是将液态生铁脱碳、脱硫、脱磷和脱氧合金化（加入一种或几种数量不等的合金元素，如铝、硅、锰、铬、镍、钨、钼、钒、钛和铌等）。与生铁相比，钢具有良好的可塑性，可以轧制或锻造成各种形状的钢材和机械零部件，具有良好的综合力学性能。

钢铁工业是基础材料工业，钢铁工业为其他制造业（如机器及机械制造、汽车、桥梁、造船、家电、交通运输、军工、能源、航空航天等）提供最主要的原材料，也为建筑业及民用品生产提供基础材料。可以说，一个国家钢铁工业的发展状况间接反映其国民经济发达的程度。

钢铁工业的发展水平主要体现在钢铁生产总量（或人均产量）、品种、质量、单位能耗和排放、经济效益和劳动生产率等方面。在一个国家的工业化发展进程中，都必须拥有相当发达的钢铁工业作为支撑。

钢铁工业是一个集成度很高的产业，其发展需要多方面条件的支撑，如稳定的原材料供应，包括铁矿石、煤炭、耐火材料、石灰石和锰矿等；稳定的动力供应，如电力、水等；由于钢铁工业生产规模大，消耗的原材料和生产的产品吞吐量巨大，如一个年产 2000 万吨粗钢的钢铁联合企业，厂外运输量达到 2 亿吨，必须有庞大的运输设施为其服务。对大型钢铁企业来说，还必须有重型机械的制造业为其服务。此外，钢铁企业的建设除了需要雄厚的资金保障，还需要工程的设计部门、设备制造商和建设安装工程公司的大力协作。

钢铁产品之所以能成为各制造行业和基础建设的基础材料，是因为它具有以下优越的性能和相对低廉的价格：

- (1) 具有较高的强度和韧性；
- (2) 可通过铸、锻、轧、切削和焊接等多种方式进行加工，以得到任何结构的工部件；
- (3) 废弃的钢铁产品可以循环利用。

人类自进入铁器时代以来，积累了丰富的生产和加工钢铁材料的经验。与其他工业相比，钢铁工业生产规模大、效率高、质量好、成本低，具有强大的竞争优势。在可以预见的将来，还没有其他材料能替代钢铁材料现有的地位。

1.2 钢铁工业的发展

1.2.1 早期的冶铁方法

早在商代，我国就开始使用天然的陨铁锻造铁刃。而真正的冶铁术大约发明于西周晚期（公元前 841~前 771 年）的块炼铁法，它是一种在土坑里用木炭在 800~1000℃ 下还原铁矿石，得到一种含有大量非金属氧化物的海绵状固态块铁。这种块铁含碳量很低，具有较好的塑性，经锻打成型，制作器具。春秋中期（公元前 600 年前后），我国已经发明了生铁冶炼技术，到了春秋末年，铁制的农具和兵器也已得到普遍使用。到战国时代（公元前 403~前 221 年），已经掌握了“块铁渗碳钢”制造技术，造出了非常坚韧的农具和锋利的宝剑。西汉中晚期（公元前 100 年~公元 9 年），发明了“炒钢”的生铁脱碳技术。东汉初期（公元 25~220 年），南阳地区已经制造出水力鼓风机，扩大了冶炼生产规模，产量和质量都得到了提高，使炼铁生产向前迈进了一大步。北宋时期（公元 960~1127 年），冶铁技术进一步发展，由皮囊鼓风机改为木风箱鼓风，并广泛以石炭（煤）为炼铁燃料，当时的冶铁规模是空前的。

在世界历史上，中国、印度、埃及是最早用铁的国家，也是最早掌握冶铁技术的国家，比欧洲要早 1900 多年。欧洲的块炼铁法是公元前 1000 年前后发明的，但是直到公元 13 世纪末、14 世纪初才掌握生铁冶炼技术。获得生铁的初期，人们把它当作废品，因为它性脆，不能锻造成器具。后来发现将生铁与矿石一起放入炉内再进行冶炼，得到性能比生铁好的粗钢。从此钢铁冶炼就开始形成了一直沿用至今的二步冶炼法：第一步从矿石中冶炼出生铁；第二步把生铁精炼成钢。随着时代的发展，高炉燃料从木炭、煤发展到焦炭，鼓风动力用蒸汽机代替人力、水力（或风力），鼓风温度也由热风代替冷风，产量也不断增长，从而逐渐进入到近代冶铁的历史时期。

1.2.2 近代钢铁冶炼技术的发展

19 世纪中期至今，以生铁为原料在高温下吹炼成钢，一直是钢铁生产的主要方法。在此期间，高炉容积不断扩大，鼓风动力采用电力，并建立起了蓄热式热风炉，高炉用热风代替冷风炼铁。确立了作为生铁精炼炉的转炉、平炉和电炉炼钢方法。

1.2.2.1 底吹空气转炉的发明

第一次解决用铁水大规模冶炼钢水这一难题的是 1855 年英国人贝塞麦 (H. Bessemer) 发明的底吹酸性空气转炉炼钢法。将空气吹入铁水, 使铁水中硅、锰、磷和碳快速氧化, 依靠这些元素氧化放出的热量将液态金属加热到能顺利地进行浇铸所需要的温度, 从此开创了大规模炼钢的新时代。转炉因采用酸性炉衬和酸性渣操作, 吹炼过程中不能去除铁水中的硫和磷。同时为了保证有足够的热量来源, 要求铁水有较高的含硅量, 故贝塞麦转炉只能用低磷高硅生铁作原料。由于低磷铁矿的匮乏 (特别在西欧地区), 这种炼钢方法的发展受到限制。1879 年, 英国人托马斯 (S. G. Thomas) 发明了碱性底吹空气转炉炼钢法 (即托马斯法), 用白云石加少量黏结剂制成炉衬, 在吹炼过程中加入石灰造碱性渣, 解决了高磷铁水的脱磷问题。这种方法特别适用于西欧一些国家, 曾在德国、法国、比利时和卢森堡等国家得到充分发展。但空气底吹碱性转炉钢水中氮的含量高, 炉子寿命也比较低。

1.2.2.2 平炉时代

19 世纪各国工业的迅速发展使全世界的废钢数量与日俱增, 人们开始寻求废钢作为原料经过熔炼得到合格良锭的冶炼方法。1864 年, 法国人马丁 (Martin) 利用德国人西门子 (Siemens) 的蓄热原理发明了以铁水、废钢为原料的酸性平炉法炼钢。继托马斯碱性底吹空气转炉炼钢法以后, 于 1880 年出现了第一座碱性平炉。由于碱性平炉能适用于各种原料条件, 生铁和废钢的比例可以在很宽的范围内变化, 解决了废钢炼钢的诸多问题, 钢的品种质量也大大超过空气转炉, 因此碱性平炉一度成为世界上最主要的炼钢方法, 其地位保持了半个多世纪。随着对钢铁需求量的不断增加, 平炉容量不断扩大, 20 世纪 50 年代最大的平炉容量已经达到 900t。但是平炉设备庞大, 生产率较低, 对环境污染较大。目前平炉炼钢已经基本淘汰, 但第一次炼钢技术革新是以平炉取代底吹空气转炉为标志的。

1.2.2.3 电弧炉的发明

1899 年, 法国人赫劳特 (Heroult) 研制炼钢用三相交流电弧炉获得成功。由于钢液成分、温度和炉内气氛容易控制, 品种适应性大, 这种方法特别适合于冶炼高合金钢。电弧炉炼钢法一直沿用至今, 炉容量不断扩大 (目前世界上最大的电弧炉容量达到 400t), 铁水热装和电弧炉用氧技术的应用, 使电炉产能不断提高, 是当前冶炼碳素结构钢和合金结构钢的主要炼钢方法之一。

1.2.2.4 氧气转炉时代

20 世纪 40 年代初, 大型空气分离机问世, 可提供大量廉价的氧气, 给氧气炼钢提供了物质条件, 同时, 超声速射流技术也应用于炼钢氧枪。1948 年, 德国人罗伯特·杜勒 (Robert Durrer) 在瑞士成功地进行了氧气顶吹转炉炼钢试验。1952 年在奥地利林茨城 (Linz)、1953 年在多纳维茨城 (Donawitz) 先后建成了 30t 氧气顶吹转炉车间并投入生产, 所以该法也称 LD 法。而在美国一般称作 BOF (Basic Oxygen Furnace) 或 BOP (Basic Oxygen Process)。这种方法一经问世, 就显示出巨大的优越性和生命力。它的生产率很高, 一座 120t 的氧气顶吹转炉的小时产钢量高达 160~200t, 而同吨位的平炉的小时钢产量在用氧的情况下为 30~35t, 不用氧时仅为 15~20t。氧气转炉可吹炼

的钢的品种多,可以熔炼全部平炉钢种和大部分电炉钢种。氧气转炉熔炼的钢水质量好,钢中气体和非金属夹杂物的含量低于平炉钢,因而深冲性能和延展性能良好。氧气转炉吹炼过程无需外来热源,且原料的适应性强,基建投资低,建设速度快,所以在很短时间内就在全世界得到推广应用。目前转炉钢的产量已占世界总产钢量的80%以上。氧气转炉炼钢是目前世界上最主要的炼钢方法,第二次炼钢技术革新是以氧气顶吹转炉代替平炉为标志。

氧气顶吹转炉炼钢方法的出现,启发人们在旧有的炼钢法中使用氧气,使它们获得新生。氧气底吹转炉法于1967年由德国马克希米利安(Maximilian)公司与加拿大莱尔奎特(Lellquet)公司共同协作试验成功。由于从炉底吹入氧气,改善了冶金反应的动力学条件,脱碳能力强,有利于冶炼超低碳钢种,也适于高磷铁水的炼钢。1978年,法国钢铁研究院(IRSID)在顶吹转炉上进行了底吹惰性气体搅拌的实验并获得成功,并先后在卢森堡、比利时、英国、美国和日本等国进行了试验和半工业性试验。由于转炉复合吹炼兼有底吹和顶吹转炉炼钢的优点,促进了金属与渣、气体间的平衡,吹炼过程平稳,渣中氧化铁的含量少,减少了金属和铁合金的消耗;加之改造容易,因此顶底复吹转炉炼钢法在各国得到了迅速推广。

1.2.2.5 直接还原和熔融还原技术

传统的高炉—转炉流程具有生产能力大、品种多、成本低等优点,但这种流程无法摆脱对焦炭的依赖。而电炉炼钢以废钢为主要原材料,废钢的供应问题直接影响电炉炼钢的发展。作为废钢替代品的直接还原铁应运而生。用直接还原铁作原料的电炉炼钢新工艺,比高炉—转炉传统工艺流程的投资、原料和能源费用均低。直接还原铁技术的新发展,为电炉提供了优质原料,弥补了当前废钢数量的不足。从长远来看,可使电炉摆脱对废钢的绝对依靠,实现炼钢工业完全不用冶金焦。另外,直接还原法生产灵活,可以利用天然气、普通煤作还原剂生产直接还原铁。这为缺乏炼焦煤而富产天然气的国家发展钢铁工业创造了条件。因此无论是发展中国家(如委内瑞拉、墨西哥、印度、伊朗等)或工业发达国家(如美国、德国、加拿大等)都根据本国资源和能源特点,建设了一批直接还原铁—电炉炼钢新型联合企业。

我们的祖先发明的块炼铁法,其实质就是直接还原炼铁法。现代意义上的直接还原技术以墨西哥希尔萨(Hylsa)公司和美国米德兰(Midrex)公司分别于1957年发明的HYL-I(至1980年开发出HYL-III)和1968年发明的Midrex法气基竖炉直接还原铁生产技术的诞生为标志。而隧道窑(Hoganas法)、回转窑(DRC、SL/RN等)、转底炉(Inmetco、Midrex、Fastmet、Comet、Itmk3等)、流化床(Circoreo、Finmet、Fior等)等煤基直接还原铁生产技术使缺乏天然气的国家和地区生产直接还原铁成为可能。

熔融还原技术的诞生,真正实现了用煤直接冶炼获得铁水。目前,工业化生产的熔融还原技术主要有奥钢联(VAI)与德国科尔夫(Korf)工程公司联合开发的用块状铁矿石和非焦原煤为原料生产铁水的Corex熔融还原法和韩国浦项(POSCO)与奥钢联(VAI)联合开发的用粉状铁矿和非焦原煤为原料生产铁水的Finex熔融还原法。20世纪80年代末,世界上第一座C-1000型Corex熔融还原炉在南非伊斯科(ISCOR)公司首次实现了工业化应用。目前,世界上最大的Corex熔融还原炉是2007年11月24日在我国宝钢集团浦

钢公司罗泾工程基地投产的 C-3000 型 Corex 熔融还原炉, 设计年生产铁水 150 万吨。该 Corex 熔融还原炉已于 2012 年搬迁至新疆八一钢铁公司。

1.2.3 新中国钢铁工业的发展

由于长期受封建主义的束缚和帝国主义的掠夺和摧残, 近代中国工业和科学技术的发展极度缓慢, 钢铁工业技术水平及装备也极其落后。新中国成立前 (1949 年), 由于受长期战争的破坏, 我国生铁产量只有 25 万吨, 钢产量还不到 16 万吨。

新中国成立后, 我国逐步建立了现代钢铁工业基础, 至 1960 年钢产量超过了 1000 万吨, 某些生产指标接近当时的世界先进水平。1960 年到 1966 年间, 在困难的条件下我国钢铁工业继续得到发展, 如炼铁方面以细粒铁精矿粉为原料的自熔性及超高碱度烧结矿生产技术、高炉喷吹煤粉技术和复合矿冶炼技术为代表。1966 年至 1976 年间, 我国国民经济基本上处于停滞不前的状态, 钢铁工业装备陈旧, 机械化、自动化水平低, 技术经济指标落后, 生产效率低、品种少、质量差、成本高。

从 1977 年开始, 我国钢铁工业走向持续发展阶段, 到 1982 年钢产量达到 3700 万吨, 仅次于苏联、美国和日本, 居世界第四位。到 1996 年我国粗钢产量突破 1 亿吨, 跃居世界第一。此后的 10 多年间, 我国钢铁工业持续高速发展, 粗钢产量以每年 15%~20% 的速度增长, 见图 1-1。至 2014 年, 我国粗钢产量达到 8.23 亿吨, 占世界粗钢产量的 49.52%。我国不锈钢产量自 2006 年超过日本, 居世界第一位后, 至 2014 年不锈钢粗钢产量达到 2169.2 万吨, 占世界不锈钢粗钢产量的 53.9%。我国是目前世界上最大的钢铁生产国和消费国。

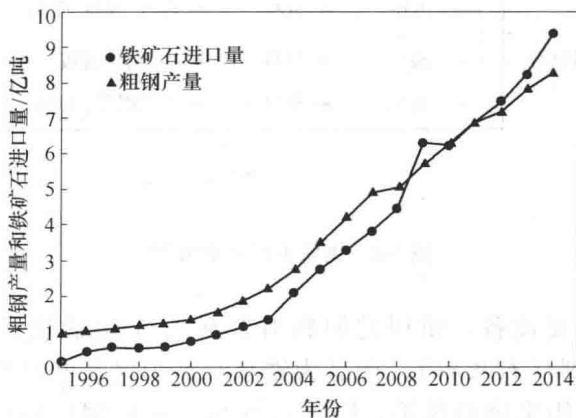


图 1-1 我国历年粗钢产量和铁矿石进口量变化

我国是个铁矿石储量比较丰富的国家, 目前已探明铁矿石储藏量为 593.9 亿吨 (其中 415 亿吨矿石为磁铁矿), 但品位低, 含铁量大多在 30%~35%。近十多年来, 我国钢铁工业的高速增长对铁矿石的需求迅速增加, 国产铁矿石数量远不能满足需求, 需要大量依靠进口。自 2002 年铁矿石进口量突破 1 亿吨后, 我国铁矿石进口量每年以 15%~20% 速度增长, 到 2014 年我国铁矿石进口量达到 9.33 亿吨。