

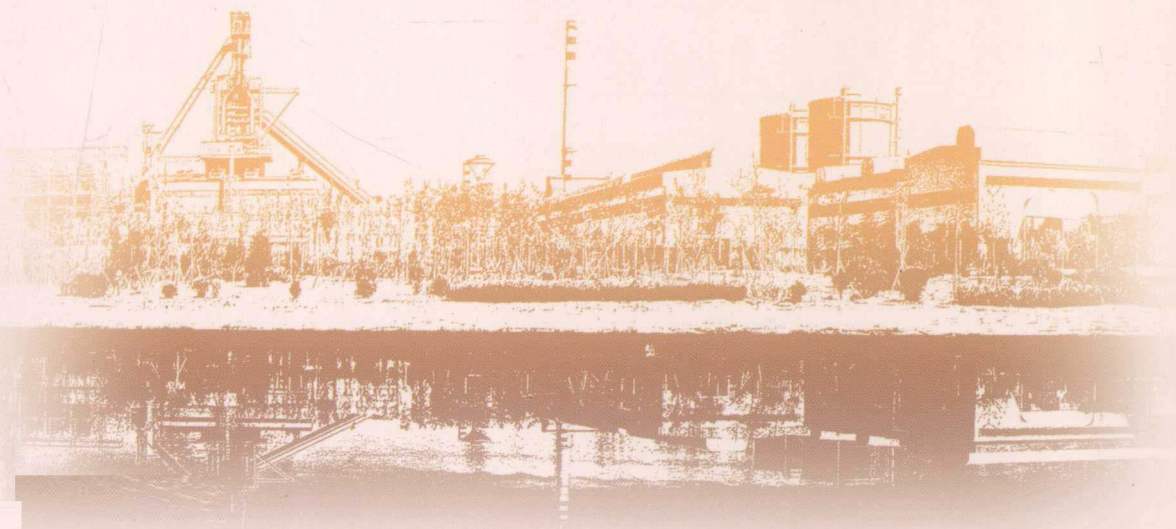


普通高等教育“十二五”规划教材

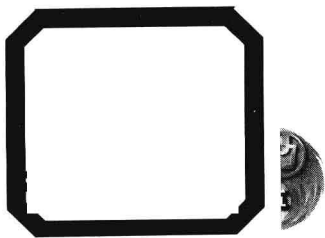
PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 冶金工程概论

主编 杜长坤



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

# 冶金工程概论

主 编 杜长坤

副主编 高绪东 高逸锋 袁晓丽

北 京

冶金工业出版社

2012

## 内 容 提 要

本书是根据冶金行业普通高等教育“十二五”教材规划而编写的,结合现代冶金工业技术,较为系统地介绍了钢铁和有色金属冶金的原料、设备、基本原理、生产工艺流程及压力加工方法,并简要介绍了环境保护和资源综合利用的相关知识。

本书可作为高等院校非冶金专业,尤其是冶金相关专业本科生的教学用书,亦可供从事冶金行业的管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

冶金工程概论/杜长坤主编. —北京:冶金工业出版社,  
2012.4

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5867-6

I. ①冶… II. ①杜… III. ①冶金—高等学校—教材  
IV. ①TF

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 038412 号

出 版 人 曹胜利

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 王 优 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5867-6

三河市双峰印刷装订有限公司印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 4 月第 1 版, 2012 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 17.25 印张; 414 千字; 265 页

35.00 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)

# 前 言

冶金工业是国民经济的基础工业，是国家实力和工业发展水平的重要标志，它为机械、能源、化工、交通、建筑、航空航天、国防军工等领域提供所需的材料产品。现代工业、农业、国防及科技的发展对冶金工业不断提出新的要求，并推动着冶金学科和工程技术的发展；反过来，冶金工程的发展又不断为人类文明进步提供新的物质基础。

本书应部分高等学校教学改革的需要，根据部分非冶金专业人才培养方案和教学计划的要求而编写，共分6章，较为全面地介绍了冶金工艺过程，包括炼铁、炼钢、炉外精炼、连续铸钢、常见有色金属冶炼以及金属压力加工等，同时还概述了环境保护及资源综合利用相关知识。本书在内容上突出理论性和实用性，注重理论与实践的有机结合，力求全面、实用，这对非冶金工程专业的学生学习冶金工业相关知识具有重要的作用，并且对冶金工程专业学生全面了解以及从事冶金行业工作的相关人员熟悉冶金工业过程也会有很大的帮助。

本书的编写人员均为重庆科技学院冶金工程专业的教师，由杜长坤担任主编，并负责本书的策划和统稿，由高绪东、高逸锋和袁晓丽担任副主编。具体编写分工为：第1章由高绪东编写，第2章由杜长坤、袁晓丽共同编写，第3章由周书才编写，第4章由高逸锋编写，第5章由阳辉编写，第6章由夏文堂编写。

在本书的编写过程中，得到了重庆科技学院冶金与材料工程学院和教务处的大力支持，在此表示衷心的感谢。此外，本书的编写还参考了国内外公开发表的文献资料，编者向有关作者和出版社一并表示诚挚的谢意。

由于本书内容涉及较广，加之编者水平所限，书中不妥之处，热诚希望广大读者提出宝贵意见。

编 者  
2011年11月

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
<b>1.1 冶金基本概念</b> .....	1
1.1.1 冶金方法 .....	1
1.1.2 主要冶金过程简介 .....	2
1.1.3 冶金的分类 .....	3
<b>1.2 冶金发展史</b> .....	3
1.2.1 早期的冶炼方法 .....	3
1.2.2 近代钢铁冶炼技术的发展 .....	4
1.2.3 新中国钢铁工业的发展 .....	6
1.2.4 有色金属冶炼技术的发展 .....	9
<b>1.3 冶金工业发展现状</b> .....	11
1.3.1 冶金工业在国民经济中的地位 .....	11
1.3.2 冶金工业发展趋势 .....	12
<b>思考题</b> .....	16
<b>2 铁冶金</b> .....	17
<b>2.1 炼铁原料</b> .....	17
2.1.1 铁矿石 .....	17
2.1.2 熔剂 .....	25
2.1.3 燃料 .....	26
2.1.4 烧结矿生产 .....	28
2.1.5 球团矿生产 .....	40
<b>2.2 高炉炼铁</b> .....	47
2.2.1 高炉炼铁概述 .....	47
2.2.2 高炉炼铁基本原理 .....	50
2.2.3 高炉炼铁设备 .....	67
<b>2.3 非高炉炼铁</b> .....	84
2.3.1 直接还原法炼铁 .....	85
2.3.2 熔融还原法炼铁 .....	89
<b>思考题</b> .....	92
<b>3 钢冶金</b> .....	93
<b>3.1 炼钢基础理论</b> .....	93

3.1.1	钢液的物理性质 .....	93
3.1.2	炉渣的物理化学性质 .....	95
3.1.3	钢液的脱碳 .....	98
3.1.4	钢液的脱磷 .....	99
3.1.5	钢液的脱硫 .....	101
3.1.6	钢液的脱氧 .....	103
3.1.7	氢、氮的反应 .....	105
3.2	炼钢原材料 .....	107
3.2.1	金属料 .....	107
3.2.2	造渣材料 .....	109
3.2.3	氧化剂、冷却剂和增碳剂 .....	110
3.3	转炉炼钢工艺 .....	111
3.3.1	氧气顶吹转炉炼钢工艺 .....	111
3.3.2	氧气底吹转炉炼钢工艺 .....	121
3.3.3	顶底复合吹炼转炉炼钢工艺 .....	122
3.4	电弧炉炼钢工艺 .....	123
3.4.1	电弧炉的大小与分类 .....	123
3.4.2	传统电炉炼钢工艺 .....	124
3.4.3	现代电弧炉炼钢技术 .....	128
3.5	炉外精炼 .....	134
3.5.1	炉外精炼的基本手段 .....	134
3.5.2	炉外精炼的主要方法 .....	137
3.6	钢的连续浇注 .....	143
3.6.1	钢的浇注概述 .....	143
3.6.2	连铸机的机型及特点 .....	144
3.6.3	连铸机的主要设备 .....	146
3.6.4	钢液凝固结晶理论 .....	149
3.6.5	连铸工艺 .....	152
3.6.6	连铸坯的质量 .....	156
	思考题 .....	156
4	有色金属冶金 .....	157
4.1	铜冶金 .....	158
4.1.1	铜冶金原料 .....	158
4.1.2	铜的冶炼原理 .....	158
4.1.3	铜的冶炼工艺 .....	160
4.2	锌冶金 .....	162
4.2.1	锌冶金原料 .....	162
4.2.2	锌的冶炼原理 .....	162

4.2.3 锌的冶炼工艺 .....	164
4.3 铝冶金 .....	166
4.3.1 铝冶金原料 .....	166
4.3.2 氧化铝生产 .....	167
4.3.3 电解铝生产 .....	169
4.4 镁冶金 .....	170
4.4.1 镁冶金原料 .....	170
4.4.2 镁的冶炼原理 .....	170
4.4.3 镁的冶炼工艺 .....	170
4.5 钛冶金 .....	171
4.5.1 钛冶金原料 .....	171
4.5.2 钛的冶炼原理 .....	171
4.5.3 四氯化钛的冶炼工艺 .....	172
4.5.4 金属钛生产 .....	172
4.6 钒冶金 .....	173
4.6.1 钒冶金原料 .....	174
4.6.2 五氧化二钒的制取 .....	174
4.6.3 金属钒生产 .....	174
4.7 金冶金 .....	175
4.7.1 金冶金原料 .....	175
4.7.2 金的冶炼原理 .....	175
4.7.3 金的冶炼工艺 .....	176
思考题 .....	176
<b>5 金属压力加工 .....</b>	<b>177</b>
5.1 金属成型方法 .....	177
5.1.1 铸造 .....	177
5.1.2 压力加工 .....	179
5.1.3 焊接 .....	183
5.1.4 材料成型新技术 .....	185
5.2 金属压力加工的基本原理 .....	192
5.2.1 金属塑性变形的物理本质 .....	192
5.2.2 金属塑性变形对材料组织性能的影响 .....	193
5.2.3 金属塑性流动规律 .....	199
5.2.4 金属塑性变形时的塑性与变形抗力 .....	201
5.3 轧钢生产工艺 .....	206
5.3.1 钢材品种的分类 .....	206
5.3.2 板带钢生产工艺 .....	207
5.3.3 型钢生产工艺 .....	211

5.3.4 钢管生产工艺 .....	212
5.4 有色金属加工工艺 .....	215
5.4.1 铝材加工工艺 .....	215
5.4.2 铜材加工工艺 .....	217
思考题 .....	218
<b>6 环境保护及资源综合利用 .....</b>	<b>219</b>
6.1 冶金工业废气的污染与治理 .....	219
6.1.1 冶金工业废气的分类 .....	219
6.1.2 冶金工业废气的特点 .....	220
6.1.3 冶金工业废气的治理 .....	221
6.2 冶金工业废水的污染与治理 .....	244
6.2.1 冶金工业废水的分类 .....	244
6.2.2 冶金工业废水的污染 .....	245
6.2.3 冶金工业废水的治理 .....	245
6.3 冶金工业固体废物的污染与治理 .....	256
6.3.1 冶金工业固体废物的分类 .....	256
6.3.2 冶金工业固体废物的污染 .....	257
6.3.3 冶金工业固体废物处理的原则和综合利用的意义 .....	258
6.3.4 冶金工业固体废物的治理 .....	258
思考题 .....	264
<b>参考文献 .....</b>	<b>265</b>



# 1 绪 论

---

**本章摘要** 本章主要从钢铁冶金和有色冶金两个方向介绍了冶金基本概念、冶金发展史以及冶金工业的发展现状和未来规划等，同时还分析了冶金行业在国民经济中的重要地位和作用，使初学者对冶金行业有初步了解，对后面章节的学习和冶金专业知识的掌握有引导作用。

---

## 1.1 冶金基本概念

冶金是一门研究如何经济地从矿石或其他原料中提取金属或金属化合物，并用各种加工方法制成具有一定性能的金属材料的科学。

用于提取各种金属的矿石具有不同的性质，故提取金属要根据不同的原理，采用不同的生产工艺过程和设备，从而形成了冶金的专门学科——冶金学。

冶金学以研究金属的制取、加工和改进金属性能的各种技术为重要内容，现发展为对金属成分、组织结构、性能和有关基础理论的研究。就其研究领域而言，冶金学分为提取冶金和物理冶金两门学科。

提取冶金学是研究如何从矿石中提取金属或金属化合物的生产过程，由于该过程伴有化学反应，又称为化学冶金。

物理冶金学是通过成形加工制备有一定性能的金属或合金材料，研究其组成、结构的内在联系以及在各种条件下的变化规律，为有效地使用和发展具有特定性能的金属材料服务。它包括金属学、粉末冶金、金属铸造、金属压力加工等。

### 1.1.1 冶金方法

从矿石或其他原料中提取金属的方法很多，可归结为以下三种：

(1) 火法冶金。它是指在高温下矿石经熔炼与精炼反应及熔化作业，使其中的金属和杂质分开，获得较纯金属的过程。整个过程可分为原料准备、冶炼和精炼三个工序。过程所需能源主要靠燃料燃烧供给，也有依靠过程中的化学反应热来提供的。

(2) 湿法冶金。它是指在常温或低于 100℃ 下，用溶剂处理矿石或精矿，使所要提取的金属溶解于溶液中而其他杂质不溶解，然后再从溶液中将金属提取和分离出来的过程，由于绝大部分溶剂为水溶液，也称为水法冶金。该方法包括浸出、分离、富集和提取等工序。

(3) 电冶金。它是利用电能提取和精炼金属的方法，按电能形式可分为电热冶金和电

化学冶金两类。

1) 电热冶金。它是利用电能转变成热能,在高温下提炼金属,其本质上与火法冶金相同。

2) 电化学冶金。利用电化学反应使金属从含金属的盐类的水溶液或熔体中析出,前者称为溶液电解,如铜的电解精炼,可归入湿法冶金;后者称为熔盐电解,如电解铝,可列入火法冶金。

采用哪种方法提取金属,按怎样的顺序进行,在很大程度上取决于所用的原料以及要求的产品。冶金方法中以火法和湿法的应用较为普遍,钢铁冶金主要采用火法,而有色金属提取则火法和湿法兼有。

### 1.1.2 主要冶金过程简介

在生产实践中,各种冶金方法往往包括许多个冶金工序,如火法冶金中有选矿、干燥、焙烧、煅烧、烧结、球团、熔炼、精炼等工序。本节重点介绍以下工序:

(1) 干燥。干燥是指除去原料中的水分。干燥温度一般为  $400 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 焙烧。焙烧是指将矿石或精矿置于适当的气氛下,加热至低于它们的熔点温度,发生氧化、还原或其他化学变化的冶金过程。其目的是为改变原料中提取对象的化学组成,满足熔炼的要求。按焙烧过程控制气氛的不同,其可分为氧化焙烧、还原焙烧、硫酸化焙烧、氯化焙烧等。

(3) 煅烧。煅烧是指将碳酸盐或氢氧化物的矿物原料在空气中加热分解,除去二氧化碳或水分,使其变成氧化物的过程,也称焙解。如将石灰石煅烧成石灰,作为炼钢熔剂。

(4) 烧结和球团。烧结和球团是将不同矿粉混匀或造球后加热焙烧,固结成多孔块状或球状的物料,是粉矿造块的主要方法。

(5) 熔炼。熔炼是指将处理好的矿石或其他原料在高温下通过氧化还原反应,使矿石中金属和杂质分离为两个液相层(即金属液和熔渣)的过程,也称冶炼。按冶炼条件,其可分为还原熔炼、造钼熔炼、氧化吹炼等。

(6) 精炼。精炼是指进一步处理熔炼所得的含有少量杂质的粗金属,以提高其纯度。如熔炼铁矿石得到生铁,再经氧化精炼成钢。精炼方法很多,如炼钢、真空冶金、喷射冶金、熔盐电解等。

(7) 吹炼。吹炼是火法冶金的一个重要过程,是指在转炉中所进行的氧化熔炼。吹炼时,向熔融的钼或粗金属鼓入空气、工业纯氧或其他氧化性气体,使杂质氧化成气体逸出或成为氧化物造渣,以获得较纯的金属或高钼(如白冰铜)。吹炼广泛用于钢和铜、镍的冶炼。

(8) 蒸馏。蒸馏是指将冶炼的物料在间接加热的条件下,利用某一温度下各种物质挥发度不同的特点,使冶炼物料中某些组分分离的方法。

(9) 浸出。所谓浸出(有的也称为溶出)就是将固体物料(例如矿石、精矿等)加到液体溶剂中,使固体物料中的一种或几种有价金属溶解于溶液中,而脉石和某些非主体金属入渣,以使提取金属与脉石和某些杂质分离。

(10) 净化。净化是用于处理浸出溶液或其他含有杂质超标的溶液,除去其中杂质以达标的过程。它也是综合利用资源、提高经济效益、防止污染环境的有效方法。由于溶液

中各种元素的性质不同,采用的净化方法也不同,这样就不能试图采用一种方法将所有的杂质一次除去,而是采用不同方法,多次净化才能完成。一般常用的净化方法有离子沉淀法、置换沉淀法和共沉淀法等。

(11) 水溶液电解。水溶液电解是指在水溶液电解质中插入两个电极(阴极与阳极),通入直流电,使水溶液电解质发生氧化-还原反应的过程。水溶液电解时因使用的阳极不同,有可溶阳极与不可溶阳极之分,前者称为电解精炼,后者称为电解沉积。

(12) 熔盐电解。熔盐电解是指用熔融盐作为电解质的电解过程。其主要用于提取轻金属,如铝、镁等。这是由于这些金属的化学活性很大,电解这些金属的水溶液得不到金属。为了使固态电解质成为熔融体,过程要在高温条件下进行。

可见,冶金过程是应用各种化学和物理的方法,使原料中的主要金属与其他金属或非金属元素分离,以获得纯度较高的金属的过程。

冶金学是一门多学科的综合应用科学,一方面,冶金学不断吸收其他学科,特别是物理学、化学、力学、物理化学、流体力学等方面的新成果,指导冶金生产技术向新的广度和深度发展;另一方面,冶金生产又以丰富的实践经验充实冶金学的内容,也为其他学科提供新的金属材料和新的研究课题。电子技术和电子计算机的发展及应用,对冶金生产产生了深刻的影响,促进了新金属和新合金材料不断产出,进一步适应了高、精、尖科学技术发展的需要。

### 1.1.3 冶金的分类

现代工业中习惯把金属分为黑色金属和有色金属两大类,铁、铬、锰三种金属属于黑色金属,其余金属属于有色金属。因此,冶金工业按照金属的两大类别通常分为黑色金属冶金工业和有色金属冶金工业。前者包括铁、钢及铁合金(如锰铁、铬铁)的生产,故又称钢铁冶金。后者包括各种有色金属的生产,统称为有色金属冶金。

## 1.2 冶金发展史

### 1.2.1 早期的冶炼方法

早在商代我国就开始使用天然的陨铁锻造铁刃,而真正的冶炼术是大约发明于西周时期的块炼铁法。在土坑里用木炭在 $800 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 下还原铁矿石,可得到一种含有大量非金属氧化物的海绵状固态块铁。这种块铁碳含量很低,具有较好的塑性,经锻打成形可制作器具。

我国古代液态冶铁技术得益于液态冶铜技术的发展,使得我国在发明块炼铁的同时快速转入液态冶铁阶段。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,铁质的农具和兵器也已得到普遍使用。战国时代,我国已经掌握了“块铁渗碳钢”制造技术,制出了非常坚韧而锋利的宝剑。西汉中晚期,发明了所谓“炒钢”的生铁脱碳技术。东汉初期,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,冶铁技术进一步发展,由皮囊鼓风机鼓风改为木风箱鼓风,并广泛以石炭(煤)为炼铁燃料,当时的冶铁规

模是空前的。

世界历史上,我国、印度、埃及是最早使用铁的国家,也是最早掌握冶铁技术的国家,比欧洲要早 1900 多年。欧洲的块铁是公元前 1000 年前后发明的,但是欧洲直到公元 13 世纪末~14 世纪初才掌握生铁冶炼技术。在获得生铁的初期,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,可得到性能比生铁好的粗钢(也称熟铁)。从此钢铁冶炼就开始形成了一直沿用至今的三步冶炼法: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,高炉燃料从木炭发展到焦炭,鼓风动力用蒸汽机代替水力(或风力),产量也在不断增长。

## 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精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,用热风代替冷风,鼓风动力采用电力,并建立起蓄热式热风炉,确定了作为生铁精炼炉的转炉、平炉和电炉的炼钢方法。

### 1.2.2.1 空气底吹转炉的发明

第一次解决用铁水大规模冶炼钢水这一难题的是 1856 年由英国人贝塞麦(H. Bessemer)发明的酸性空气底吹转炉炼钢法。该法将空气吹入铁水,使铁水中锰、硅、碳快速氧化,依据这些元素氧化放出的热量将液体金属加热到能顺利进行浇注所需要的温度,从此开创了大规模炼钢的新时代。由于采用酸性炉衬和酸性渣操作,吹炼过程中不能去除硫、磷;同时,为了保证有足够的热量来源,要求铁水有较高的硅含量,故只能用低磷高硅生铁作原料。由于低磷铁矿的匮乏(特别是在西欧地区),这种炼钢方法的发展受到限制。1878 年,英国人托马斯(S. G. Thomas)发明了碱性空气底吹转炉炼钢法(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。但碱性空气底吹转炉钢水中氟的含量高,炉子寿命也比较低。

### 1.2.2.2 平炉时代

18 世纪各国工业的迅速发展使全世界的废钢数量与日俱增,人们开始寻求以废钢作为原料经过熔炼得到合格钢锭的冶炼方法。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炼钢法。继托马斯碱性空气底吹转炉炼钢法之后,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了空气转炉,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。随着钢需求量的不断增加,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被淘汰,但第一次炼钢技术革新是以平炉取代空气底吹转炉为标志的。

### 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以及品种适应性大,这种方法特别适用于冶炼高合金钢。电弧炉炼钢法一直沿用至今,炉容量不断扩大(目前最大的电弧炉容量已超过 400t),铁

水热装和电弧炉用氧技术的应用使其产能不断提高，是当前冶炼碳素钢的主要方法之一。

#### 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。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年在多纳维兹城（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，一般称其为BOF（Basic Oxygen Furnace）或BOP（Basic Oxygen Process）法。这种方法一经问世即显示出强大的优越性和生命力，它的生产率很高，一座120t氧气顶吹转炉的小时钢产量高达160~200t，而同吨位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；钢的品种多，可以熔炼全部平炉钢种和大部分电炉钢种；钢水质量好，转炉钢的气体和非金属夹杂物的含量低于平炉钢，深冲性能和延展性能良好；无需外来热源，原料适用性强，投资低而建设速度快，所以在很短时间内就在全世界得到推广。目前，转炉钢的产量已达到世界钢产总量的70%左右，氧气转炉炼钢是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的。

氧气顶吹转炉方法的出现启发人们在旧有炼钢法中用氧，使它们获得新生。氧气底吹转炉法于1967年由联邦德国马克希米利安（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，此法有利于冶炼超低碳钢种，也适用于高磷铁水炼钢。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试验并获得成功，并先后在卢森堡、比利时、英国、美国和日本等国进行了实验和半工业性试验。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，因此该炼钢方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便应运而生。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不足的弊端；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，其生产灵活，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）还是工业发达国家（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。

我国早期的块炼铁法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-罗斯（Midland-Ross）公司分别于1957年发明的HYL-I（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）、回转窑（DRC、SL/RN等）、转底炉（Inmetco、Midrex、Fastmet、Comet、Itmk3等）、流化床（Circored、Finmet、Fior等）等煤基直接还

原铁生产技术则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(Korff)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,以及韩国浦项(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。

### 1.2.3 新中国钢铁工业的发展

经过近60年的发展,我国钢铁工业取得了举世瞩目的成就,逐步进入了成熟的发展阶段。1949年,我国的钢铁产量只有15.8万吨,居世界第26位,不到当时世界钢铁年总产量的0.1%。2010年,我国钢铁产量为62665万吨,居世界第1位,超过第2~10位的产量总和,占世界总产量的44.3%。总体上来讲,我国钢铁工业可以大致划分为三个阶段:第一阶段(1949~1978年)为“以钢为纲”的发展阶段,第二阶段(1978~2000年)为稳步快速发展阶段,第三阶段(2001年至今)为加速发展阶段。

#### 1.2.3.1 “以钢为纲”的发展阶段

1949年新中国成立时,我国钢铁工业的基础十分薄弱,全国几乎没有一家完整的钢铁联合企业。新中国成立后,钢铁工业开始逐步得到恢复和发展,在苏联援助下建设了鞍钢、武钢、包钢等钢铁厂,钢铁工业逐步建设发展,形成了“三大”、“五中”、“十八小”的格局。随着“三线建设”的铺开,在西南、西北建设了攀钢、酒钢、成都无缝钢管厂等一批新的钢铁企业,初步形成了新中国的钢铁工业布局。

考虑到钢铁工业在国民经济中的重要地位,我国确立了“以钢为纲”的工业发展指导方针,提出了“大跃进”、“全民大炼钢铁”、“超英赶美”等口号。因此,在这一阶段我国钢铁工业走上了一条以追求产值、产量增长速度为目标的粗放型发展道路。经过全国上下的努力,此阶段内我国钢铁工业的产量和产值都有了较大幅度的增长。1978年,我国钢产量为3178万吨,占世界钢产量的4.5%,居世界第4位。据统计,1952~1978年期间,我国钢产量平均每年递增12.9%,产值每年递增11.8%,实现利税每年递增9.67%,见图1-1。

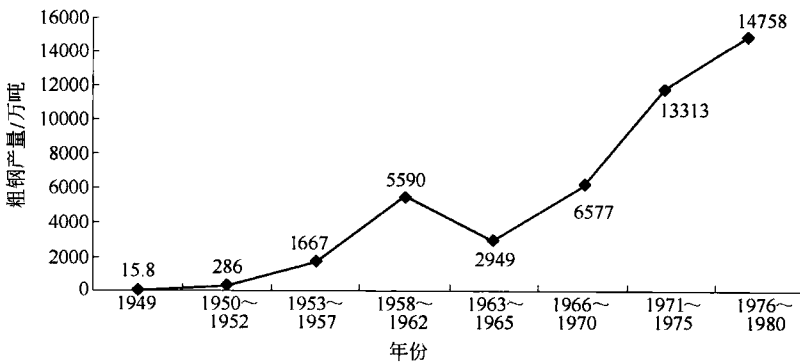


图 1-1 1949~1980 年我国钢产量情况

需要指出的是，在“以钢为纲”的工业发展指导方针下，不可避免地会遇到钢铁工业部门与国民经济其他部门协调发展的问题。由于对钢铁工业部门的固定资产投资过大，产生了两方面的影响：一方面，在资金有限的前提下，过分的投入会制约其他工业部门的发展；另一方面，由于钢铁工业部门的利税贡献与其他产业部门相比较低，在一定程度上表现出“高投入、低产出”的特点，所以较高比例的投入就会影响进一步发展所需要的资金积累。由于钢铁工业是一个资源消耗量大、能耗高的行业，这一阶段钢铁工业的发展也占用了大量的能源。据统计，1978年，钢铁工业投资占全国固定资产投资的7.36%，能源消耗占整个国民经济消耗能源总量的12.97%。另外，企业管理水平低、职工积极性不高也是当时我国钢铁工业发展中存在的问题。实际上，在1970~1975年期间，我国钢铁工业已经形成了3000万吨的生产能力，但是并不能够得到充分实现。1974~1976年，曾经连续三年计划生产2600万吨钢的目标都没有实现，人们称之为“三打二千六打不上”。

### 1.2.3.2 稳步快速发展的中国钢铁工业

在这一阶段，我国钢铁工业发展遇到了两次重要机遇。1978年，党的十一届三中全会后，我国实行改革开放政策，为利用国外的资金、技术和资源创造了条件。1992年，党的十四大确立了建设社会主义市场经济体制的改革方向，极大地激发了企业的活力。我国钢铁工业面对良好的发展机遇，加快了钢铁工业现代化建设的步伐。在这一阶段，除了建设上海宝钢、天津无缝钢管厂等具备世界先进水平的现代化大型钢铁企业外，又对一些老的大型钢铁企业进行了技术改造和升级，例如鞍钢、武钢、首钢、包钢等。1981年，我国与澳大利亚科伯斯公司通过签订补偿贸易合同的方式，首次实现了改革开放以后利用外方资金和技术对鞍钢焦化总厂沥青焦车间进行改造。1987年，国家计委批准了鞍钢、武钢、梅山（1998年后被并入宝钢集团）、本钢、莱钢5个企业利用外资的项目建议书。通过技术引进、消化和吸收，我国钢铁企业工艺装备的现代化水平得到不断提升。另外，一些非国有企业也进入到钢铁行业，例如沙钢、海鑫等，并且发展迅速。同时，1992年之前，我国钢铁企业进行了一系列的探索，从放权让利到承包经营责任制，希望通过企业改革释放强大的内在发展动力，实现了钢产量达5000万吨和1亿吨两次突破。1986年，中国钢产量（粗钢）超过了5000万吨，达到5221万吨。

社会主义市场经济体制和现代企业制度的逐步建立，更为钢铁工业发展注入了强大的内在动力。1994年以来，钢铁行业内的武钢、本钢、太钢、重钢、天津无缝钢管厂、“大冶”、“八一”等12家企业被列入国家百家现代企业制度试点，邯钢、抚顺钢铁公司、天津钢铁、酒泉钢铁等57家企业被列入地方改革试点。到1998年，试点工作基本完成，试点钢铁企业均按照《公司法》实施了改组，初步明确了国家资产投资主体，理顺了出资关系，建立了企业法人财产制度和法人治理结构。1996年，我国钢产量（粗钢）首次超过1亿吨，达到10124万吨，占世界钢产量的13.5%，超过日本和美国成为世界第一产钢大国。2000年，我国钢产量为12850万吨，见图1-2。

### 1.2.3.3 加速发展的中国钢铁工业

“十五”期间，我国钢铁工业更是实现了持续高速发展。2000年，我国粗钢产量为1.3亿吨；2003年，粗钢产量超过2亿吨；2005年，粗钢产量达到3.6亿吨，我国成为全球第一个粗钢产量突破3亿吨的国家；2006年，粗钢产量达到4.2亿吨；2008年，粗钢产量达到5亿吨；2010年，粗钢产量达到6.3亿吨，连续实现了钢产量达2亿吨、3亿

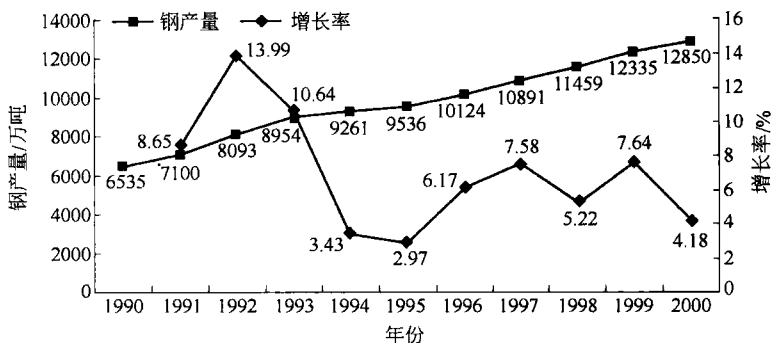


图 1-2 1990~2000 年我国钢产量(粗钢)和增长率情况

吨、4 亿吨、5 亿吨和 6 亿吨的五次跨越。2001~2007 年期间,钢产量年均增长率为 21.04%;2008 年出现经济危机,钢产量增长率减缓,为 2.4%;2009 年及 2010 年,钢产量恢复较高速度增长,增长率分别为 13.3%和 10.3%。其中,2001 年、2003 年、2004 年和 2005 年的增长率均保持在 20%以上,2005 年钢产量与上年相比,增长率更是创纪录的高达 30.42%,见图 1-3。同时,我国钢铁工业在整个工业中也占据着重要的地位。2006 年,我国规模以上钢铁企业实现销售收入 25735 亿元,在 39 个工业行业中排名第 2 位,仅低于通信设备、计算机及其他电子设备制造业;实现利润总额 1367 亿元,在 39 个工业行业中排名第 3 位,仅低于石油和天然气开采业以及电力、热力的生产和供应业。

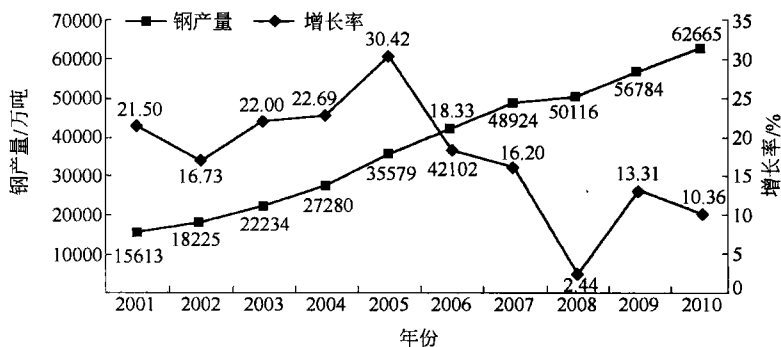


图 1-3 2001~2010 年我国钢产量(粗钢)和增长率情况

由于城市化进程的加快、消费结构的升级等多方面的原因,钢铁的需求增长迅速,各地纷纷大力发展钢铁工业,钢铁工业的固定资产投资增速较快。“十五”期间,我国钢铁工业的固定资产投资总额为 7167 亿元,超过 1953~2000 年固定资产投资的总和(见图 1-4)。为了抑制钢铁工业固定资产投资的过热和低水平的重复建设,国家对钢铁工业不断加大宏观调控力度。2003 年 11 月,国家发改委出台了《关于制止钢铁行业盲目投资的若干意见》,提出要用加强政策引导、严格市场准入、强化环境监督和执法、加强土地管理、控制银行信贷等多种手段,遏制钢铁工业盲目发展的势头。2004 年 2 月,国务院对钢铁行业进行了清理整顿,全国共清理违规钢铁项目 345 个,淘汰在建落后炼钢能力 1286 万吨、



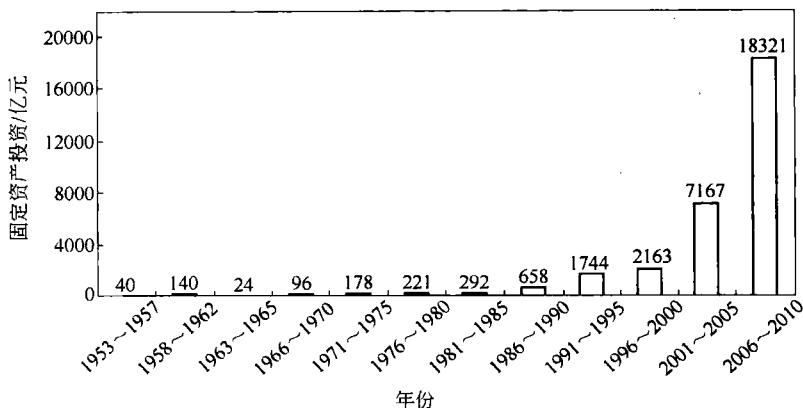


图 1-4 1953~2010 年我国钢铁工业的固定资产投资情况

落后炼铁能力 1310 万吨。2005 年 4 月，国家取消了钢坯、钢锭、生铁的出口退税；同年 5 月，下调钢材出口退税率 2 个百分点，停止对铁矿石、钢坯、钢锭、生铁、废钢等产品的加工贸易；同年 7 月，国家发改委又发布了《钢铁产业发展政策》，从项目审批、土地审批、工商登记、环保等多个环节对钢铁投资进行控制。2006 年，国家发改委再度发出《钢铁工业控制总量、淘汰落后、加快结构调整的通知》，要求“十一五”期间淘汰 1 亿吨落后炼铁生产能力和 5500 万吨落后炼钢能力。

另外，我国钢铁工业对外开放的方式更加多样化。我国钢铁企业在“引进来”的同时，还进行了“走出去”的探索。首钢还收购了秘鲁铁矿，成立了首钢秘鲁铁矿公司，从事铁矿开采；鞍钢集团则收购了金达必金属公司 12.94% 的股份，成为国内钢铁行业第一家参股国外上市矿业公司的企业；宝钢的首个海外投资项目，即与巴西淡水河谷（CVRD）合资成立的宝钢维多利亚钢铁项目也开始启动。

总体上来讲，我国钢铁工业经过四个阶段的发展，取得了令世人瞩目的成绩。1978~2010 年，我国生铁产量从 3479 万吨增加到 59022 万吨，增长了 16.9 倍，平均每年递增 9.25%；粗钢产量由 3178 万吨增加到 62665 万吨，增长了 19.7 倍，平均每年递增 9.76%；钢材产量从 2208 万吨增加到 79627 万吨，增长了 36.1 倍，平均每年递增 11.9%。目前，我国不仅是全球最大的钢铁生产国和消费国，还是全球最大的钢铁进出口国，我国钢铁工业的发展对全球钢铁工业的发展具有重要的影响。

#### 1.2.4 有色金属冶炼技术的发展

大约在七八千年前，我国已掌握了制造陶器的技术。考古发掘证明，在几个地方同时出现了新石器时代富有特色的彩陶文化。我国古代制陶技术具有三个特点：一是陶窑设计合理；二是烧成温度高；三是能控制氧化或还原气氛。制陶技术的高度发展为金属冶炼准备了条件。

近年通过对夏代古城河南登封王城岗遗址和山西夏县东下冯遗址的发掘，证明夏代确已进入青铜时代。我国的青铜时代大约延续了夏、商、周三个朝代，在这一时期，除铜和锡外，已陆续掌握了金、铅、银、汞、铁的冶炼方法。这些金属的开发和利用大大