

“十二五”普通高等教育本科规划教材

冶金工程导论

YEJIN GONGCHENG DAOLUN

王维 主编
王爱琴 副主编
谢敬佩



化学工业出版社

“十二五”普通高等教育本科规划教材

冶金工程导论

王 维 主 编
谢敬佩 王爱琴 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要介绍了钢铁（烧结、炼铁、炼钢、连铸和炉外精炼）和主要有色金属（轻金属铝和重金属锌等）的提取冶金过程的基本原理、工艺特点和基本工艺流程。通过学习，使学生对冶金（包括火法、湿法和电冶金）生产过程有一个全面而概括的了解，初步掌握冶金的基本知识，为进一步学习冶金学基本原理和生产工艺打下必要的专业基础。此外，本书还简要介绍了金属分类，主要金属的性质、用途、资源状况、生产方法、冶金工业在国民经济中的地位，以及发展我国冶金工业的基本国情等方面的内容。

本书可作为冶金工程专业本科生教材或者教学参考书、冶金相关专业的普通冶金学教材，也可供从事钢铁冶金以及有色金属冶金工作的科技人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

冶金工程导论/王维主编. —北京：化学工业出版社，2015.9

“十二五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-122-24420-8

I. ①冶… II. ①王… III. ①冶金-高等学校-教材 IV. ①TF

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 140626 号

责任编辑：杨 菁

文字编辑：林 丹

责任校对：吴 静

装帧设计：孙远博

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 346 千字 2015 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为了适应高等学校教学改革的需要,河南科技大学根据教育部将钢铁冶金和有色金属冶金统一为冶金工程专业办学要求,调整了本科生培养计划,增加实践性环节,减少课堂教学。冶金工程概论既要涉及钢铁冶金又要兼顾有色金属冶金。本教材正是在这一背景下编写的。

本书主要介绍了钢铁冶金工业概况、常见有色轻金属(铝)冶炼和重金属(锌)冶炼工艺概况。重点介绍了炼铁、炼钢、钢液炉外精炼、钢液浇注、铝和锌冶炼基本原理和主要工艺流程及其设备,同时综述了现代冶金新工艺。内容上突出了理论性和先进性,注重理论与实践的结合,力求全面、实用。本书可作为高等工科院校冶金工程专业用教材,也可供钢铁、材料加工及相关企业工程技术人员、研究人员、生产一线人员及投资者和管理者参考。

本书由河南科技大学王维任主编,谢敬佩、王爱琴任副主编。其中第1、2、3、4、7、8章由王维编写,第5章由谢敬佩编写,第6章由王爱琴编写。朱骏、李想、冯鲁兴、刘翘楚等参与教材勘误工作,在此向所有帮助和支持过我们的朋友表示感谢。

限于编者水平有限,书中有不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编者

于河南科技大学

2015年6月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 金属及其分类	1
1.2 冶金基本概念	2
1.3 主要冶金过程简介	3
1.4 新中国钢铁工业的发展	4
1.5 冶金工业在国民经济中的地位	9
1.6 冶金工业发展趋势	10
思考题	13
第2章 铁矿粉造块	14
2.1 矿产	14
2.2 铁矿石	15
2.3 熔剂	21
2.4 燃料	21
2.5 烧结矿生产	23
2.6 球团矿生产	34
思考题	40
第3章 高炉炼铁	41
3.1 原料	42
3.2 高炉炼铁的产品	42
3.3 高炉生产主要技术经济指标	43
3.4 高炉炼铁基本原理	44
3.5 炉渣与脱硫	52
3.6 燃料的燃烧及煤气在高炉内的变化	54
3.7 炉料的运动	58
3.8 高炉强化冶炼	59
3.9 高炉炼铁设备	60
3.10 炉后供料和炉顶装料系统	66
3.11 送风系统	68
3.12 煤气除尘系统	70
3.13 渣铁处理系统	72
3.14 喷吹系统	73
3.15 非高炉炼铁	74
思考题	81
第4章 炼钢	82
4.1 炼钢发展史	83
4.2 钢液的物理性质	84
4.3 炉渣的物理化学性质	86

4.4	钢液的脱碳	89
4.5	钢液的脱磷	89
4.6	钢液的脱硫	91
4.7	钢液的脱氧	92
4.8	氢、氮的反应	94
4.9	炼钢原材料	96
4.10	转炉炼钢设备及工艺	100
4.11	溅渣护炉	108
4.12	喷溅	109
4.13	氧气底吹转炉炼钢工艺	109
4.14	顶底复合吹炼转炉炼钢工艺	110
4.15	转炉炼钢新技术	111
4.16	电弧炉炼钢工艺及设备	112
4.17	现代电弧炉炼钢技术	118
4.18	直流电弧炉技术	122
	思考题	123
第5章	炉外精炼	125
5.1	炉外精炼手段	125
5.2	炉外精炼的方法	128
5.3	不锈钢的炉外精炼法	132
	思考题	134
第6章	钢的连续浇注	135
6.1	钢的浇注概述	135
6.2	连铸机的机型及特点	137
6.3	连铸机的主要设备	138
6.4	钢液凝固结晶理论	142
6.5	连铸工艺	145
	思考题	151
第7章	锌冶金	152
7.1	锌的性质和用途	152
7.2	硫化锌精矿的焙烧	154
7.3	火法炼锌	159
7.4	湿法炼锌	166
7.5	锌冶金新技术	182
	思考题	183
第8章	铝冶金	184
8.1	铝的性质和用途	184
8.2	炼铝原料	185
8.3	铝的生产方法	186
8.4	拜耳法生产氧化铝	187

8.5 氧化铝生产	189
8.6 碱石灰烧结法生产氧化铝	198
8.7 拜耳-烧结联合法生产氧化铝	203
8.8 金属铝生产	205
思考题	214
参考文献	216

第1章 绪 论

本章摘要 本章主要从钢铁冶金和有色金属冶金两个方向介绍了金属及其分类、冶金基本概念、冶金工艺流程、冶金发展史以及冶金工业的发展现状和发展趋势等，同时还分析了冶金行业在国民经济中所处的地位和所起的作用。

1.1 金属及其分类

金属是可塑性、导电性及导热性良好，具有金属光泽的化学元素。在目前已发现的 109 种化学元素中，金属元素有 80 多种，非金属元素有 20 多种。金属的分类是按历史上形成的工业分类法分类的。这种分类法虽然没经严格的科学论证，但一直沿用到现在。

现代工业习惯上把金属分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属是指铁、铬、锰三种金属。黑色金属的单质为银白色，而不是黑色。之所以称它们为黑色金属，是由于这类金属及其合金表面常有灰黑色的氧化物。有色金属是指除黑色金属以外的所有金属，其中除少数有颜色外（铜为紫红色，金为黄色），大多数为银白色。有色金属有 60 多种，分为重金属、轻金属、贵金属、稀有金属和半金属五类。

(1) 重金属 一般指密度在 5g/cm^3 以上的金属，包括铜、铅、锌、镍、钴、锡、铋、汞、镉、铟。它们的密度都很大，由 $7\sim 11\text{g/cm}^3$ 。

(2) 轻金属 一般指密度在 5g/cm^3 以下的金属，包括铝、镁、钠、钾、钙、锶、钡。这类金属的共同特点是密度小 ($0.53\sim 4.5\text{g/cm}^3$)，化学性质活泼。

(3) 贵金属 这类金属包括金、银和铂族金属（铂、铱、钌、钨、铼、钯）。它们因在地壳中含量少、提取困难和价格较高而得名。贵金属的特点是密度大 ($10.4\sim 22.4\text{g/cm}^3$)，熔点高 ($1189\sim 3273\text{K}$)，化学性质稳定。

(4) 稀有金属 通常指那些发现较晚，在工业上应用较迟，在自然界中地壳丰度小，天然资源少，赋存状态分散，难以被经济地提取或不易分离成单质的金属。在 80 多种有色金属元素中，大约有 50 种被认为是稀有金属。稀有金属这一名称的由来，并不是由于其在地壳中的含量稀少，而是历史上遗留下来的一种习惯性的概念。事实上，有些稀有金属在地壳中的含量比一般普通金属要多。例如，稀有金属钛在地壳中的含量占第九位，比铜、银、镍以及许多其他元素都多；稀有金属锆、锂、钒、铈在地壳中的含量，比普通金属铅、锡、汞多。还可以举出一些类似的例子。当然，有许多种稀有金属在地壳中的含量确实是很少的，但含量少并不是稀有金属的共同特征。

根据金属的密度、熔点、分布及其他物理化学特性，稀有金属在工业上又可分为以下几类。

① 稀有轻金属：包括锂、铷、铯、铍。这类金属的特点是密度小（仅为 $0.53\sim 1.859\text{g/cm}^3$ ），化学活性大，其氧化物和氯化物都很稳定，难以还原成金属，一般都用熔盐电解法或金属热还原法制取。

② 难熔稀有金属：包括钛、锆、钨、钼、铌、钽、钨、铪。它们的共同特点是熔点高（例如钛的熔点为 1933K ，钨为 3683K ），抗腐蚀性好，具有多种原子价。在生产工艺上，一

般都是先制取纯氧化物或卤化物,再用金属热还原法或熔盐电解法制取金属。

③ 稀散金属:包括镓、铟、铊、锗、硒、碲。这类金属的共同特点是极少独立成矿,在地壳中几乎是平均分布的,一般都是以微量杂质形态存在于其他矿物中。如镓存在于铝土矿中,铟存在于有色重金属硫化矿中。因此,它们多富集在有色金属生产的副产品、烟尘和尾渣中,品位一般在0.1%以下,需要采用复杂的工艺进一步富集后才能冶炼成金属。

④ 稀土金属:包括钪、钇及镧系元素(从原子序数为57的钪到原子序数为71的镧,共15个元素)。其共同特点是物理化学性质非常相似,在矿物中多共生,分离困难。冶金上一般先制取混合稀土氧化物或其他化合物,再用溶剂萃取、离子交换等方法分离成单一化合物,最后还原成金属。

⑤ 放射性稀有金属:包括天然存在的钍、镭、钋和锕系元素中的锕、钍、镤、铀以及人工制造的、锕系其他元素和周期表中104~109号元素。这类金属的共同特点是具有放射性,它们多共生或伴生在稀土矿物中。

(5) 半金属 又称似金属或类金属,包括硼、硅、砷、碲。其特点是它们的电导率介于金属和非金属之间,并且都具有一种或几种同质异构体,其中一种具有金属性质。

1.2 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材料科学的科学。

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。

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熔及熔化作业,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,也有依靠过程个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,使所安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水溶液或熔体中析出者称为溶

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。

1.3 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、燃烧、烧结、球团、熔炼、精炼等工序。本节重点介绍以下工序。

(1) 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过程。其目的是改变原料中提取对象的化学组成,满足熔炼或浸出的要求。焙烧过程按控制气氛的不同,可分为氧化焙烧、还原焙烧、硫酸化焙烧、氯化焙烧等。

(2) 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变成氧化物的过程,燃烧也称焙解。如石灰石煅烧成石灰,作为炼钢溶剂;氢氧化铝煅烧成氧化铝,作为电解铝原料。

(3) 烧结和球团 将粉矿或精矿经加热焙烧,固结成多孔状或球状的物料,以适应下一工序熔炼的要求。例如,烧结是铁矿粉造块的主要方法;烧结焙烧是处理铅锌硫化精矿使其脱硫并结块的鼓风炉熔炼前的原料准备过程。

(4) 熔炼 是指将处理好的矿石、精矿或其他原料,在高温下通过氧化还原反应,使矿物原料中金属组分与脉石和杂质分离为两个液相层即金属(或金属铕)液和熔渣的过程,它也叫冶炼。熔炼按作业条件可分为还原熔炼、造铕熔炼和氧化吹炼等。

(5) 火法精炼 在高温下进一步处理熔炼、吹炼所得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;火法炼锌得到粗锌、再经蒸馏精炼成纯锌。火法精炼的种类很多,如氧化精炼、硫化精炼、氯化精炼、熔析精炼、碱性精炼、区域精炼、真空冶金、蒸馏等。

(6) 浸出 用适当的浸出剂(如酸、碱、盐等水溶液)选择性地与矿石、精矿、焙砂等矿物原料的金属组分发生化学作用,并使之溶解而与其他不溶组分初步分离的过程。目前,世界上大约15%的铜、80%以上的锌、几乎全部的铝、钨、钼都是通过浸出,而与矿物原料中的其他组分得到初步分离的。浸出又称浸取、溶出、湿法分解,如在重金属冶金中常称浸出、浸取等,在轻金属冶金中常称溶出,而在稀有金属冶金中常常将矿物冰料的浸出称为湿法分解。

(7) 液固分离 该过程是将矿物原料经过酸、碱等溶液处理后的残渣与浸出液组成的悬浮液分离成液相与固相的混法冶金单元过程。在该过程的固液之间一般很少再有化学反应发生,主要是用物理方法和机械方法进行分离,如重力沉降、离心分离、过滤等。

(8) 溶液净化 将矿物原料中与欲提取的金属一道溶解进入浸出液的杂质金属除去的湿法冶金单元过程。净液的目的是使杂质不至于危害下一工序对主金属的提取。其方法多种多样,主要有结晶、蒸馏、沉淀、置换、溶剂萃取、离子交换、电渗析和膜分离等。

(9) 水溶液电解 利用电能转化的化学能使溶液中的金属离子还原为金属而析出,或使粗金属阳极经由溶液精炼沉积于阴极。前者从浸出净化液中提取金属,故又称电解提取或电解沉积(简称电积),也称不溶阳极电解、如铜电积、锌电积;后者以粗金属为原料进行精

炼,常称电解精炼或可溶阳极电解,如粗铜、粗铅的电解精炼。

(10) 熔盐电解 即利用电热维持熔盐所要求的高温,又利用直流电转换的化学能自熔盐中还原金属,如铝、镁、钠、钽、银的熔盐电解生产。

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,冶金生产又以工厂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。

1.4 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。

1.4.1 “以钢为纲”的发展阶段

新中国钢铁工业的技术进步先后经历了四个阶段:一是 20 世纪 50 年代,在资金和物质相对短缺的情况下,钢铁工业依靠从苏联引进技术和设备,改扩建鞍钢、新建武钢、包钢等,使钢铁工业技术水平基本跟上了当时世界的潮流,初步奠定了新中国钢铁工业发展的基础;二是 1958~1976 年,摆脱苏联发展模式,积极探索中国钢铁工业发展道路,其中以“大炼钢铁”、“鞍钢宪法”及攀钢建设为标志,在此期间,一方面依靠自力更生和群众运动推动技术进步,另一方面则寻求从西方引进先进技术,例如氧气顶吹转炉新工艺和“一米七”轧机,突破了钢铁工业技术进步的瓶颈;三是 1978~1997 年,技术引进和创新进入新阶段,改革开放的推进和巨大的市场需求,为钢铁工业发展注入新活力,其中以宝钢建设最为典型;四是 1997~2011 年,钢铁产量和品种质量得到双发展,实现外延和内涵的双重扩张,但在同时,钢铁工业发展出现了对外依存度过高和产能过剩问题。新中国 62 年钢铁工业发展历程证明:技术进步是我国钢铁工业发展由小变大的根本途径,而技术引进是实现技术跨越式发展的最佳途径。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。

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題。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

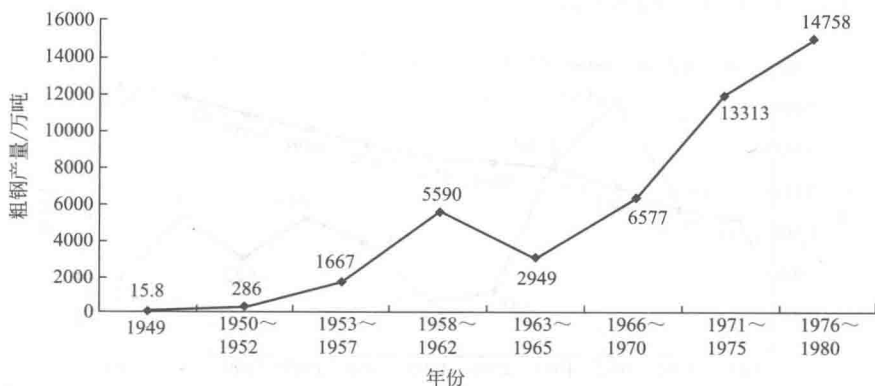


图 1-1 1949~1980 年我国钢产量情况

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, 人们称为“三打二千六打不上”。

1.4.2 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。

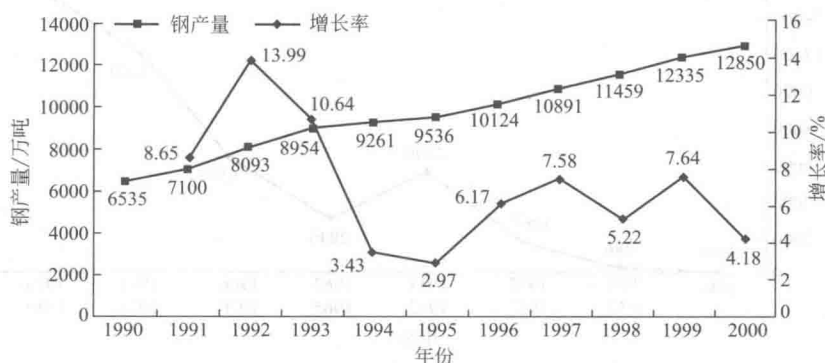


图 1-2 1990~2000 年我国钢产量（粗钢）和增长率情况

1.4.3 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，到 2012 年年底，中国的粗钢生产能力已经超过了 7 亿吨，是 1978 年的 22.5 倍之多，并且连续 17 年保持世界第一的位置。连续实现了钢产量达 2 亿吨、3 亿吨、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。

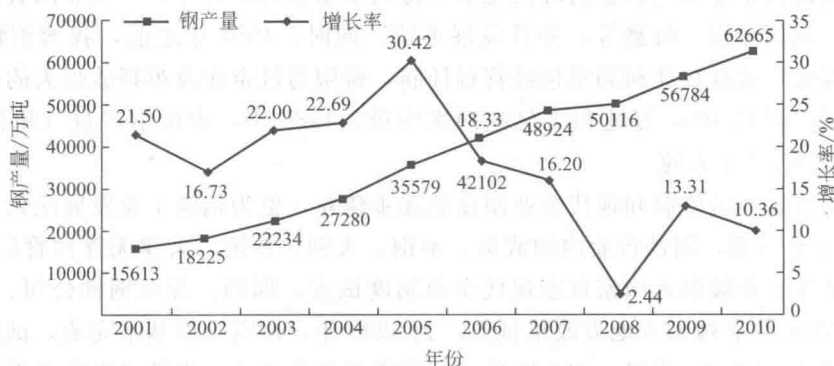


图 1-3 2001~2010 年我国钢产量（粗钢）和增长率情况

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、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。

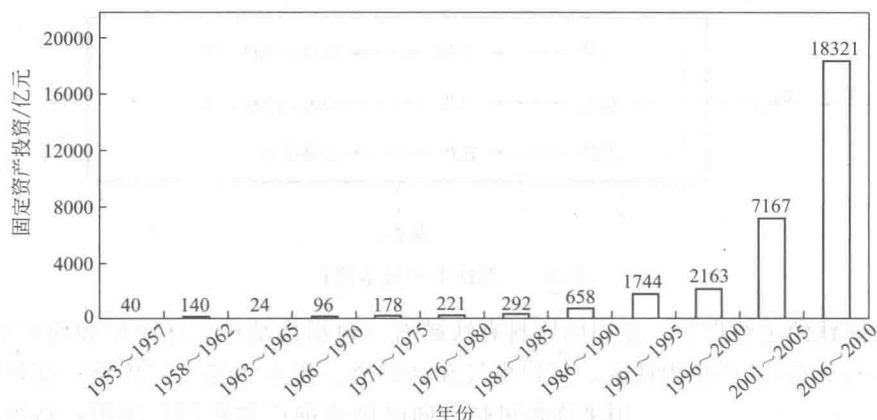


图1-4 1953~2010年我国钢铁工业的固定资产投资情况

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。

1.4.4 钢铁生产的基本流程

钢铁生产是一项系统工程，生产基本流程如图1-5所示。首先在矿山要对铁矿石和煤炭进行采选，将精选炼焦煤和品位达到要求的铁矿石，通过陆路或水运送到钢铁企业的原料场

进行配煤或配矿、混匀，再分别在焦化厂和烧结厂炼焦和烧结，获得符合高炉炼铁质量要求的焦炭和烧结矿。球团厂可直接建在矿山，也可建在钢铁厂，它的任务是将细粒精矿粉造球、干燥、经高温焙烧后得到 $\phi 9 \sim 16 \text{mm}$ 球团矿。

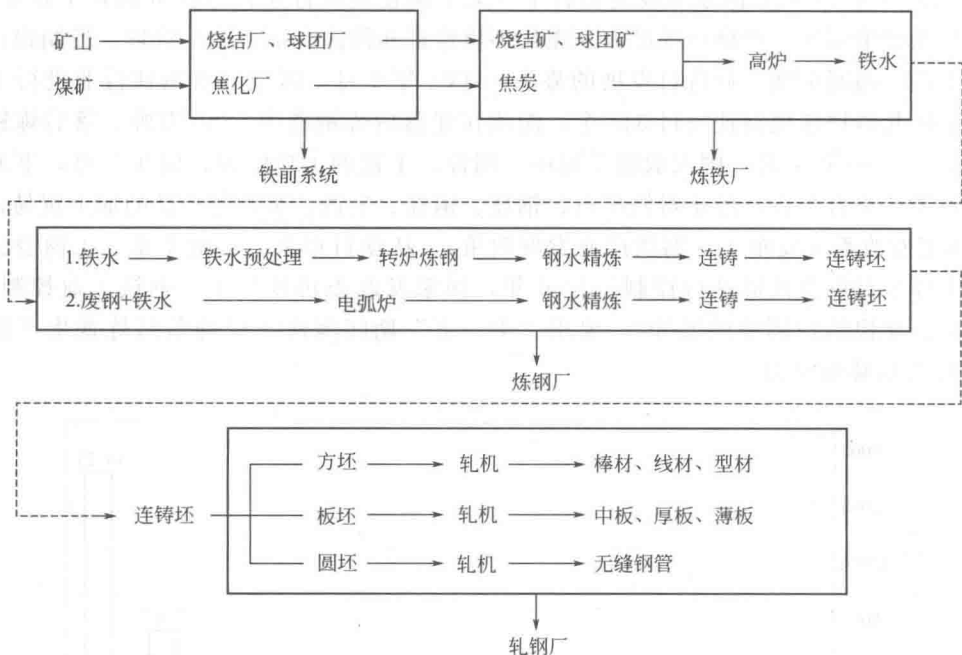


图 1-5 钢铁生产基本流程

高炉是炼铁的主要设备，使用的原料有铁矿石（包括烧结矿、球团矿和块矿）、焦炭和少量熔剂（石灰石），产品为铁水、高炉煤气和高炉渣。铁水送炼钢厂炼钢；高炉煤气主要用来烧热风炉，同时供炼钢厂和轧钢厂使用；高炉渣经水淬后送水泥厂生产水泥。



炼钢，目前主要有两条工艺路线，即转炉炼钢流程和电弧炉炼钢流程。通常将“高炉-铁水预处理-转炉-精炼-连铸”称为长流程，而将“废钢-电弧炉-精炼-连铸”称为短流程。短流程无需庞杂的铁前系统和高炉炼铁，因而工艺简单、投资低、建设周期短。但短流程生产规模相对较小，生产品种范围相对较窄，生产成本相对较高。同时受废钢和直接还原铁供应的限制，目前大多数短流程钢铁生产企业也开始建高炉和相应的铁前系统，电弧炉采用废钢+铁水热装技术吹氧熔炼钢水，降低了电耗，缩短了冶炼周期，提高了钢水品质，扩大了品种，降低了生产成本。

有色金属矿石的冶炼，由于其矿石或精矿的矿物成分极其复杂，含有多种金属矿物，不仅要提取或提纯某种金属，还要考虑综合回收各种有价金属，以充分利用矿物资源和降低生产费用。因此，考虑冶金方法时，要用两种或两种以上的方法才能完成。图 1-6 为湿法炼锌工艺流程。

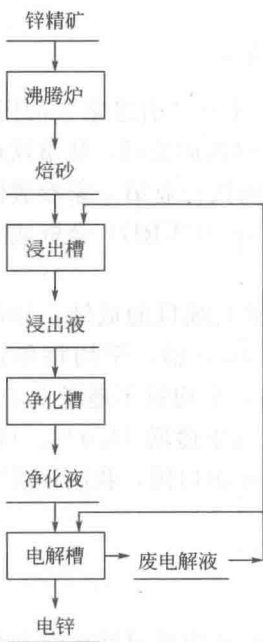


图 1-6 湿法炼锌原则流程

1.5 冶金工业在国民经济中的地位

1.5.1 钢铁工业在国民经济中的地位

现代任何国家是否发达要看其工业化生产自动化的水平,即工业生产在国民经济中所占的比例以及工业的机械化、自动化程度。而劳动生产率是衡量工业化水平极为重要的标志之一。为达到较高的劳动生产率需要大量的机械设备。钢铁工业为制造各种机械设备提供最基本的材料,属于基础材料工业的范畴。钢铁还可以直接为人们的日常生活服务,如为运输业、建筑业及民用用品提供基本材料。故在一定意义上说,一个国家钢铁工业的发展状况也反映其国民经济发达的程度。

衡量钢铁工业的水平应考查其产量(人均年占有钢的数量)、质量、品种、经济效益及劳动生产率等各方面。纵观当今世界各国,所有发达国家无一不是具有相当发达的钢铁工业。

钢铁工业的发展需要多方面的条件,如稳定可靠的原材料资源,包括铁矿石、煤炭及某些辅助原材料,如锰矿、石灰石及耐火材料等;稳定的动力资源,如电力、水等;由于钢铁企业生产规模大,每天原材料及产品的吞吐量大,需要庞大的运输设施为其服务,一般要有铁路或水运干线经过钢铁厂;对于大型钢铁企业来说,还必须有重型机械的制造及电子工业为其服务。此外,建设钢铁企业需要的投资大,建设周期长,而成本回收慢,故雄厚的资金是发展钢铁企业的重要前提。

钢铁之所以成为各种机械装备及建筑、民用等各部门的基本材料,是因为它只备以下优越性能,并且价格低廉。

- ① 有较高的强度及韧性。
- ② 容易用铸、锻、切削、焊接等多种方式进行加工,以得到任何结构的工部件。
- ③ 所需资源(铁矿、煤炭等)储量丰富,可供长期大员采用,成本低廉。
- ④ 人类自进入铁器时代以来,积累了数千年生产和加工钢铁材料的丰富经验,已具有成熟的生产技术。自古至今,与其他工业相比,钢铁工业相对生产规模大、效率高、质量好和成本低。

到目前为止,还看不出有任何其他材料在可预见的将来能代替钢铁现有的地位。

1.5.2 有色金属工业在国民经济中的地位

有色金属与人类社会的文明史息息相关。历史发展证明,材料是社会进步的物质基础和先导。金属的使用和冶金技术的进步与人类社会关系密切。历史学家曾将器物的使用作为社会生产力发展的里程碑,如青铜器时代、铁器时代等。

当今国际社会公认,能源技术、信息技术和材料技术是人类现代文明的三大支柱。占元素周期表中约70%的有色金属及其相关元素是当今高科技发展必不可少的新材料的重要组成部分。飞机、导弹、火箭、卫星、核潜艇等尖端武器以及原子能、电视、通信、雷达、电子计算机等尖端技术所需的构件或部件大都是由有色金属中的轻金属和稀有金属制成的。此外,没有镍、钴、钨、钼、钒、铌、稀土元素等有色金属也就没有合金钢的生产发展。有色金属和轻金属在某些用途(如电力工业等)上使用量也是相当可观的。科技发展需要有色金属,经济发展也需要有色金属,有色金属科技的发展又离不开人类科技和经济的发展,两

者相互促进,相得益彰。

新中国成立 60 年,特别是改革开放 30 年来,我国有色金属产量快速增长。1949 年 10 种有色金属产量仅有 1.33 万吨,2008 年达到 2519 万吨,2010 年达到 3134.97 万吨,1950~2010 年间年均增长 16.4%。我国 10 种有色金属产量连续九年位居世界第一。进入新世纪后,有色金属工业企业经济效益大幅度提高。我国有色金属工业产品销售(主营业务)收入,1950 年仅有 2614 万元,1978 年为 84.3 亿元,2008 年达到 21000 亿元,2010 年达到 3 万亿元;实现利润方面,1950 年仅有 844 万元,1978 年为 12.2 亿元,2008 年达到 800 亿元,2010 年约为 1300 亿元。此外,我国有色金属进出口贸易额大幅度增加,尤其是加入世贸组织后,进出口总额出现快速增长。1949 年,我国有色金属产品进出口总额为 2.9 亿美元,1978 年为 8.1 亿美元,2008 年达到 874 亿美元,2010 年达到 1203.4 亿美元。

1.6 冶金工业发展趋势

1.6.1 钢铁工业发展趋势

① 严格控制产能和产量的过快增长,要坚持按照国内市场需求来组织生产;加快钢铁企业的兼并重组,优化调整全行业的组织结构;适时调整行业准入门槛,加大淘汰落后企业的力度,用先进技术改造传统产业,不断推进装备的大型化、连续化和高效化;加快新产品开发,努力增加低消耗、低污染、高附加值、高技术含量的“双低双高”产品,建立层次合理、资源利用价值高、具有自身特色的产品体系。

② 着力提升铁矿石资源保障能力和水平。加强中国铁矿石现货交易平台建设,为平台营造良好的发展环境,引导国内企业和海外矿石企业积极参与平台交易。进一步规范铁矿石流通秩序,逐步将钢铁行业规范企业与进口铁矿石流向挂钩,优化铁矿石资源配置。加强铁矿石预警机制研究,探索建立健全信息监测、咨询、组织网络等系统。

③ 大力发展钢铁循环经济,实现可持续发展战略。要大幅度降低能源、资源消耗的强度和二氧化碳的排放强度,要严格控制全行业的产量过快增长,继续淘汰落后和低水平的产能,合理地控制全行业能源总量和污染物的排放总量,大力开发运用二次能源的回收利用技术,以零排放为目标,提高全行业能源有效利用率。

④ 加快推进科技进步,着力提高自主创新能力,特别是要提高引进消化吸收再创新能力、集成创新能力及原始创新能力,着力开发更多具有自主知识产权的核心技术和产品,把技术进步与全行业产业调整、产业升级结合起来,促进科技成果向生产力的转化。一是在高技术含量、高附加值产品的研究开发方面,特别是国内市场需求而主要依靠进口的高端产品的研发方面,应该实现新的突破;二是在节能减排工艺技术推广应用方面,以及节能减排的新工艺、新技术的研究开发方面,要实现新的突破;三是在全世界钢铁生产工艺技术方面,特别是具有前瞻性、预见性的重大工艺技术研究方面,要实现新的突破。

⑤ 加大科技投入,加强人才培养。重点发展和培养钢铁技术前沿的研发和应用人才、具有专业背景的销售人才及外贸人才、市场分析人才、钢铁信息化人才、高级管理人才等钢铁企业紧缺的高层次人才。重视基础理论研究及其对生产力的转化工作,充分利用国内外科研院所的知识和技术优势,建立社会化的“产、学、研”及企业内部的“研、产、销”机制,为企业深入推进技术创新、大幅提升竞争力和实现可持续发展积蓄强大后劲。

⑥ 加快钢铁企业物流的发展,推动由传统物流向现代物流的转变。钢铁企业要大力引