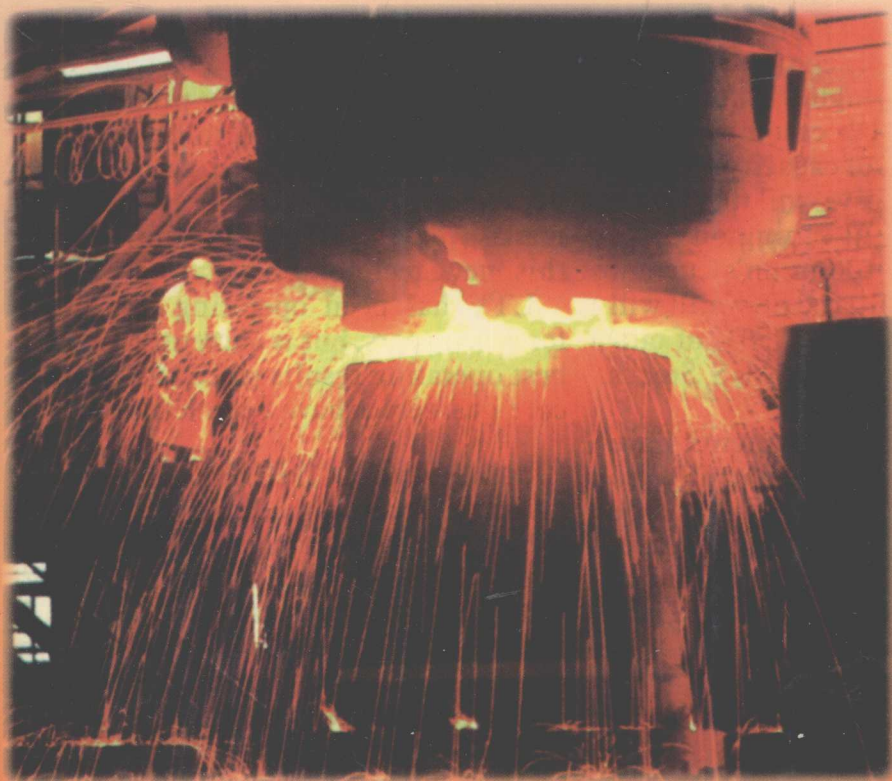


冶金工程概论

李广田 主编



NEUPRESS

东北大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金工程概论/李广田主编. —沈阳: 东北大学出版社, 1997. 3

ISBN 7-81054-175-7

I. 冶…

II. 李…

III. 冶金-工程-教材

IV. TF

内 容 简 介

本书是为适应非冶金类专业教学改革的需要而编写的一部实用性教材。全书共7章, 内容包括绪论、采矿与选矿、炼铁、炼钢、有色金属冶炼、金属压力加工和环境保护。该书体系结构独特, 内容简明充实, 语言流畅, 具有科学性、实用性和可读性。

该书可供管理诸专业以及热能、矿物、加工、环保等非冶金类专业的冶金工程概论教学用书, 也可供冶金企事业领导管理人员培训用书。

©东北大学出版社出版

(沈阳·南湖 110006)

沈阳市北陵印刷厂印刷

东北大学出版社发行

1997年3月 第1版

1997年3月 第1次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 13.5

字数: 345千字

印数: 1~2000册

定价: 16.00元

前 言

应教学改革的要求，在多年教学科研实践的基础上我们编写了《冶金工程概论》。

本书简明阐述了从矿石采选、提取金属到加工成材的冶金生产全过程，包括了冶金基本概念、冶金能源、耐火材料、采矿选矿、炼铁、炼钢、有色冶金、压力加工以及冶金环保等。涉及的知识面宽、相关学科多，便于读者对冶金生产有个概括的全面的了解，为继续学习打下一定基础。本教材可作为管理诸专业以及热能、矿物、环保等非冶金专业的冶金工程概论教学用书。

本书在编写中，参考了国内许多书刊和本校部分教材，其中主要参考书已列于书后；东北大学工商管理学院李凯副教授和研究生院姜茂发教授对本教材的编写给予了大力支持；采选、有色、加工以及环保专业老师对部分章节进行了审阅，在此一并表示感谢。

本书由李广田（第1，4，5，7章）、刘喜海（第2，4，6章）、施月循（第3章）编写，最后由李广田统编定稿。由于水平所限，时间紧迫，错误及不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

1997年3月

目 录

前 言

1 绪 论	(1)
1.1 金属冶炼概述	(1)
1.2 冶金能源	(7)
1.3 耐火材料	(13)
2 采矿与选矿	(21)
2.1 采 矿	(21)
2.2 选 矿	(33)
3 炼 铁	(44)
3.1 高炉冶炼用原料及预处理	(45)
3.2 高炉冶炼原理	(53)
3.3 高炉本体及附属系统	(73)
3.4 高炉操作	(82)
3.5 非高炉炼铁	(87)
4 炼 钢	(90)
4.1 炼钢用原材料	(91)
4.2 炼钢基本原理	(93)
4.3 转炉炼钢法	(104)
4.4 电炉炼钢法	(122)
4.5 钢的炉外精炼	(135)
4.6 钢的浇注	(138)
5 有色金属冶炼	(143)
5.1 铜冶炼	(143)
5.2 铝冶炼	(151)
5.3 钛冶炼	(159)
5.4 钨冶炼	(162)
5.5 镍、锌和铅冶炼	(165)

6 金属压力加工	(168)
6.1 基本概念	(168)
6.2 轧制	(171)
6.3 锻造	(184)
6.4 挤压	(188)
6.5 金属压力加工的技术经济指标	(189)
7 环境保护	(190)
7.1 环境污染及其对人类的危害	(190)
7.2 冶金企业的环境保护	(193)
7.3 冶金企业环境污染的控制	(195)
主要参考书	(210)

1 绪 论

1.1 金属冶炼概述

1.1.1 金属及其分类

通常把元素周期表中具有金属光泽、可塑性、导电性及导热性良好的化学元素称为金属。迄今为止,人们可以获得的 100 多种元素中,金属占 86 种,而其中的 63 种在 19 世纪前就已发现。在元素周期表中,除了金属之外,其他元素统称为非金属。金属的发现和利用可追述到 5000 年前。金属的分类是沿用历史上形成的工业分类法,这种分类法虽然没有严格的科学论证,但一直沿用至今。

现代工业习惯上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,其余的都属于有色金属。有色金属按照其不同的性质和在自然界中分布状态可分为重金属、轻金属、贵金属和稀有金属等四类。

有色重金属——包括铜、镍、铅、锌、钴、锡、汞、镉和铋。它们的密度都很大,由 7 到 11。

有色轻金属——包括铝、镁、钙、钾、钠、锂、铷、铯、铍、锶和钫。它们的密度都很轻,小于 5。

贵金属——包括金、银、铂、铱、钨、钨、钨和铑。这些金属在空气中不能氧化,由于它们的价格比一般金属贵而得名。

稀有金属——在 80 多种有色金属中,大约 50 多种被认为是稀有金属。所谓的稀有金属并不是这种元素在地壳中的含量稀少。而是历史上遗留下来的一种习惯性概念。稀有金属按其性质和在矿物中共生关系、提取方法及其特征又分为以下五类:

稀有轻金属:包括锂、铍、铷、铯。这类金属的特点是密度很小,如锂的密度为 0.53。

稀有高熔点金属:钨、钼、钽、钨、钨、钨和铌。此类金属的特点是熔点都很高,如钨的熔点为 1660℃,钨的熔点 3400℃。

稀有分散金属:包括镓、铟、铊、铊。此类金属的特点是在地壳中几乎是平均分布的,没有单独的矿物,经常以微量杂质形态存在于其他矿物中。

稀有放射性金属:包括钋、镭、钋、钋、钋、钋等。此类金属的特点是具有放射性。

稀土金属:在元素周期表中自成一族,包括原子序数 58 的镧到原子序数为 71 的镥,共 14 个元素。稀土元素总是在地壳中相互伴生的,其金属性质相近。所以单独提取纯稀土元素是相当困难的。

除上述金属与非金属的划分外,人们还把部分元素如硅、碲、砷、硼等称为半金属。

1.1.2 冶金及其方法

(1) 冶金的概念

冶金是研究由矿石或其他含金属原料中提取金属或金属化合物,并经加工处理适于人类应用的科学,它包括化学冶金和物理冶金两部分。化学冶金是研究如何从矿石或金属化合物中

提取金属,由于该过程伴有化学反应,故称化学冶金。物理冶金是通过研究金属与合金的组织与性能以及在各种条件下的变化规律,以便进一步将其加工处理以满足各部门的需要。

(2) 冶金的分类方法

在现代冶金中,由于矿物性质和成分的不同,以及受环境保护、能源和技术条件等制约,冶金方法也不尽相同。目前冶金方法大体可归结为三类:火法冶金、湿法冶金和电冶金。

1) 火法冶金 是在高温条件下进行的冶金过程。矿石或精矿在高温下经过熔炼与精炼,达到所提取的金属与脉石及其他杂质分离的目的。实现火法冶金过程所需热能,通常是依赖于燃料燃烧来供给,也有依赖冶金过程中化学反应放热来供给的。火法冶金包括:干燥、焙烧、熔炼、烧结、精炼和蒸馏等过程。

2) 湿法冶金 是在低温溶液中进行的冶金过程。湿法冶金温度不高,一般低于 100°C ,极个别情况温度也不超过 300°C 。用溶剂处理矿石或精矿,首先使提取的金属溶解进入溶液,然后再从溶液中将金属提取和分离出来。湿法冶金包括浸出、净化和置换沉积等过程。湿法冶金在很早以前一直用于金、银的氰化冶炼,利用碱浸出铝土矿生产氧化铝,用硫酸浸出氧化铜或锌焙烧矿等。近年来,为了处理低品位矿、复杂矿石,又采用高压技术、离子交换或利用溶剂萃取等进行富集分离新技术。湿法冶金一般用于以下几方面:对于选矿难以富集的金属,或经济上不合算的低品位矿石和难熔性矿石。如果采用火法冶炼,既要消耗大量热能,又产生大量熔渣;对于化学活性强的金属不可能利用火法进行熔炼和精炼,而必须先将其从矿石中以纯化化合物形态予以分离;对于虽可采用火法冶金,但从产品纯度及周围环境污染等进行综合判断,认为湿法更有利条件下都可采用湿法冶金。

3) 电冶金 是利用电能提取和精炼金属的冶金过程。按电能形式可分为电热冶金和电化学冶金。电热冶金是利用电热转变成热能,在高温下提炼金属,其物理化学变化的实质与火法冶金相同,两者的差别只是热能来源不同。电化学冶金是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。前者称为溶液电解,如铜的电解精炼和锌的电积,可归纳为湿法冶金;后者称为熔盐电解,不仅利用电能的化学效应,而且也利用电能的热效应,借以用电加热金属盐类为熔体,所以可归为火法冶金。

采用哪种冶金方法提取金属,主要取决于所用原料及对产品的要求。从矿石或精矿中提取金属的过程中,常常既有火法过程,又有湿法过程并兼有电冶金方法。

(3) 冶金过程简介

在实际生产中,各种冶金方法尽管有所不同,但是它们冶金过程往往差别不大,其工艺过程可归纳成原料预处理过程、金属冶炼过程和金属加工过程。

1) 原料预处理 是冶炼前的准备过程。它可分为原料的破碎、筛分、混匀、焙烧、煅烧、选矿、烧结和球团。其中的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化温度,发生氧化、还原或其他化学反应的冶金过程,主要目的是改变原料中的化学组成以满足冶炼的要求;煅烧是将碳酸盐或氢氧化物等矿物在空气中加热分解,除去二氧化碳或水分而变成氧化物的过程;烧结和球团是将粉矿加热焙烧,固结成多孔块状或球状的过程。

2) 金属冶炼 是冶金过程的主体,它包括熔炼、精炼和浇注等阶段。熔炼是从矿石和其他原料中把金属和杂质分离的过程;精炼是在熔炼得到金属的基础上,进一步提高金属纯度;浇注则是把熔炼或精炼得到的金属液体变成固体锭或坯的过程。

3) 金属加工 是通过塑性加工方法使其成型的工艺过程,包括原料准备、加热、轧制或

锻压、精整等工艺。图 1-1 为钢铁冶金工业生产流程简图。

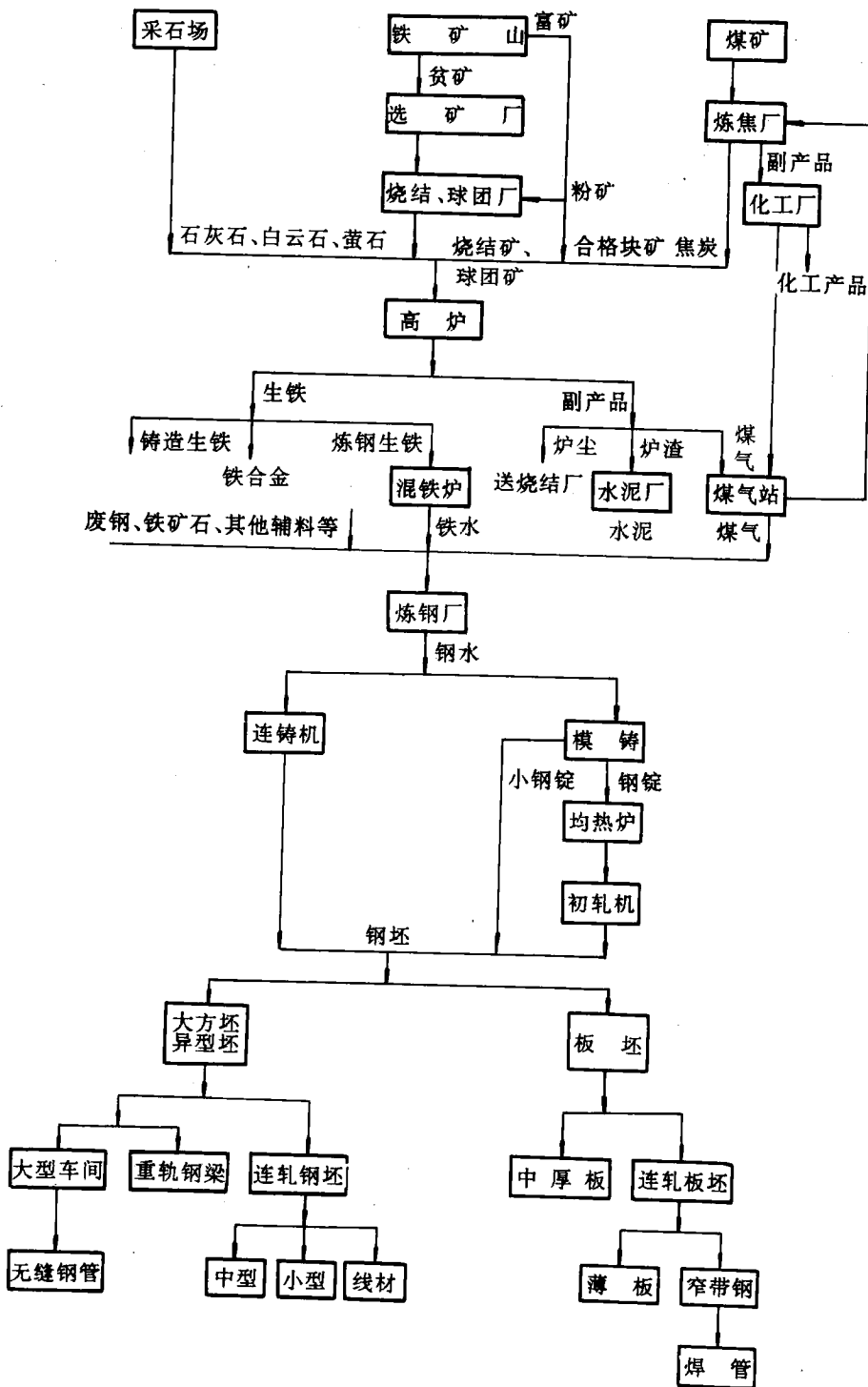


图 1-1 钢铁冶金工业生产流程简图

1.1.3 冶金的发展过程

人类自进入青铜时代以来，同金属材料及其制品的关系日益密切。作为冶金生产技术源远流长，但直到18世纪末才从近代自然科学中汲取营养，逐渐形成一门近代科学——冶金学。在现代社会中金属不仅是重要的战略物资和生产资料，也是人类生活中不可缺少的消费资料，不仅衣、食、住、行离不开金属材料，人们从事生产或其他活动场所所用的工具和设施也都使用金属材料，所以可以说没有金属材料便没有人类的物质文明。

(1) 古代的冶金技术

据冶金史研究，人类使用天然金属（主要是天然铜）距今大约不下8000年，但天然铜资源稀少，要使用更多的铜必须从矿石中提取。据目前所知，世界上最早炼铜的是美索不达米亚地区，大约在公元前38~36世纪。最早的青铜大约在公元前30世纪，在人类文明中大量使用青铜的年代称青铜时代。人类最初使用的铁是陨铁，如埃及金字塔中发现的和我国出土的商代铜钺铁刃，它们在公元前1400~1500年被人们所利用。最早炼铁是在黑海南岸山区，大约在公元前14~13世纪进入铁器时代，但在不同地区，铁的使用和生产发展水平有很大差异。中国古代的冶金在明代中叶以前一直居于世界先进水平，如使用木风箱、焦炭炼铁，生铁炼钢，锌、镍、白钢的冶炼，永乐大钟的制造，都标志着我国古代冶金技术的卓越水平。

(2) 近代冶金的发展

近代冶金出现于资本主义发展初期，特别是在1640年以后的200多年里，以高炉炼铁、炼钢为主的冶金生产技术的发展及变革主要发生在英国，尤其是1700~1890年期间，一系列重要的技术发展创造使英国的炼铁炼钢工业得到了蓬勃发展，主要有：1709年达比用焦炭代替木炭炼铁成功，使冶金摆脱了木炭资源的限制；1735年蒸汽机的发明改善了鼓风，强化了冶炼过程；1828年尼尔森采用蓄热式热风炉鼓风炼铁，使焦比降低，生产率成倍提高；1856年贝塞麦发明酸性转炉炼钢法，扩大了炼钢的原料来源；1879年托马斯应用碱性转炉炼钢法，解决了高磷铁水冶炼优质钢的问题。1866年德国发明了发电机，使电解法提铜工业得于实现（1869年），也开创了电冶金新领域，1899年出现了电弧炉炼钢；1927年高频感应炉的使用成为合金钢生产的普遍方法，并使真空冶炼成为可能。第二次世界大战后，特别是1952年奥地利研究成功的氧气顶吹转炉，成为冶金史上发展最快的新技术。随着高炉大型化、自动化，50年代以来钢铁生产得到了突飞猛进的发展。就产量而言，世界钢产量：1856年6.6万吨；1899年2280万吨；1955年2.6亿吨；1979年7.8亿吨。

有色金属继钨钢（1882年）之后相继出现了锰钢（~1889年）、镍钢（1889年）和耐蚀铬钢。自19世纪初开创熔盐电解法，使铝成为用量仅次于铁的第二大金属。战后有色金属的发展也十分迅速。从50年代到80年代，有色金属在世界金属总产量中占5%（钢铁95%），但其产值几乎与钢铁相当，在工业、农业、国防、科技都离不开有色金属，由于它的应用面广、经济价值高、发展迅速，它和黑色金属相辅相成，共同构成现代金属材料体系。

(3) 我国冶金的发展

旧中国的冶金工业非常落后，产量低，虽然我国有相当丰富的煤、铁、有色金属和水力资源。由于长期受封建主义的束缚与帝国主义的侵略，冶金工业远远落后于资本主义国家。中国近代冶金工业的兴起于1890年湖北汉阳铁厂和大冶铁矿的兴建为标志，铁厂于1894年投产。1915年后在本溪、鞍山、石景山等相继建厂，它们都具有典型的殖民地与半殖民地性质。

1895~1913年间全国最高年产铁未超过50万吨，钢未超过10万吨，技术落后、产品比例不平衡。1949年钢仅15.8万吨，居世界26位。有色金属自20世纪以来逐步采用新技术，但是能生产的品种仅限于铜、铅、锌、金、银、汞等传统金属，而且主要冶炼粗金属，甚至以矿砂形式出口。

解放后，经过短短三年的恢复期钢产量就达135万吨，从1953年起开始了大规模的基本建设，到1983年钢产量达4002万吨，增长了28.6倍，1988年全年产钢已超过5900万吨，至1995年年生产能力已达1亿吨。表1-1为新中国建立以来钢铁工业主要产品产量统计表。

表 1-1 我国钢铁工业主要产品产量

单位：万吨

年 份	钢	钢 材	生 铁	铁矿石
1949	15.80	14.00	25.20	59.00
1952	134.90	112.90	192.90	429.00
1960	1866.20	1175.00	2716.10	11279.00
1965	1223.00	894.90	1076.70	3149.00
1970	1778.60	1223.30	1705.50	6422.00
1975	2390.30	1621.70	2449.00	9694.00
1980	3712.40	2715.80	3802.40	11258.00
1985	4679.40	3962.80	4383.70	13735.00
1989	6158.72	4859.11	5820.03	17185.64
1990	6634.86	5153.21	6237.31	17935.00
1991	7099.99	5638.24	6765.37	19055.79

工业布局有了相当大的改变，在新建扩建大型钢铁联合企业的同时，建设了十多个特殊钢厂，几十个中小钢铁厂，分布在全国各地，为均衡发展工农业生产，利用当地资源，创造了良好的条件。

产品品种质量有了明显的增加与提高。旧中国只生产100多个普通钢号，现已能生产1000多钢号。建立了符合我国资源特点的合金钢体系。1953年我国仅能轧制400多种规格的钢材，现可轧制2万多种规格的钢材，满足了国民经济各行业所需的金属材料。

技术设备水平有了较大提高，通过技术改造、技术引进，我国已有4000多 m^3 的大高炉，300吨的氧气顶吹转炉，80吨电炉和大型板坯连铸机等。

我国有色金属资源丰富，品种齐全。据目前所知，钨和稀土等7种金属的贮量据世界第一位，铝、镍、铌等贮量也相当丰富。自1949年以来，有色金属工业发展很快，铜、铅、锌三种有色金属的产量（1982年）较1952年分别增长了12倍、23倍、28倍，这在世界有色金属史上是少见的，1992年我国10种有色金属总产量占世界第5位，达到300万吨。稀有金属资源综合利用、有色金属加工业都得到了迅速发展。

1.1.4 金属冶炼方法概要

金属冶炼方法概要见表1-2。

表 1-2 金属冶炼方法概要

金属	原 料	预 处 理	金 属 还 原	金属精炼
Na	氯化物	化学分离 (NaCl)	熔盐电解	
Mg	海水、氯化物、碳酸盐矿	化学分离 (MgCl ₂) 煅烧 (MgO · CaO)	熔盐电解 在减压下用 Fe-Si 还原	
Al	氧化矿	碱浸、化学分离 (Al ₂ O ₃)	熔盐电解	三层液熔盐电解
Ti	氧化矿	氯化处理、化学分离 (TiCl ₄) 化学分离 (TiO ₂)	镁还原 铝还原 (Fe-Ti)	
Th	磷酸盐矿	硫酸处理、化学分离 (ThF ₄)	钙还原	真空溶解碘化法
Cr	氧化矿	精矿 碱焙烧、化学分离 (Cr ₂ O ₃) 化学分离 (NH ₄ Cr (SO ₄) ₂ · 12H ₂ O)	铁-硅还原 (Fe-Cr) 铝还原 电解	氢处理碘化法
Mo	硫化矿	氧化焙烧、化学分离 (MoO ₃)	碳还原 (Fe-Mo) 氢还原	
W	氧化矿	精矿 加碱焙烧、化学分离 (WO ₃)	碳还原 (Fe-W) 氢还原	
U	氧化矿	碱浸、硫酸浸出 硫酸处理、化学分离 (UF ₄)	镁还原、钙还原	
Mn	氧化矿	精矿 硫酸处理、化学分离 (MnSO ₄)	碳还原 (Fe-Mn) 电解	
Ni	硫化矿 氧化矿 混合硫化矿	焙烧、冰铜熔炼、焙烧 (NiO) 同硫化矿熔炼、还原焙烧-浸出 加压氨浸	碳还原 (Ni, Fe-Ni) 电解 高压氢还原	电解; Ni (CO) ₄ 的分解
Co	伴生于镍、铜矿中	除上述外, 硫酸化焙烧、沉淀溶解 分离、溶剂萃取	高压氢还原	电解
Cu	硫化矿 氧化矿	焙烧、冰铜溶炼 (Cu ₂ S · FeS) 硫酸 浸出 (CuSO ₄)	转炉炼铜 用铁置换, 电解	电解
Ag	自然银, 硫化银 电解阳极泥 粗铅	氰化法 (NaAg (CN) ₂) 化学分离 利用锌的熔融分离 (Zn-Ag)	用锌置换 灰吹 蒸馏、灰吹	电解
Au	自然金 银阳极泥	氰化法 (NaAu (CN) ₂) 化学分离	用锌置换	电解
Zn	硫化矿	焙烧、烧结 (ZnO) 焙烧、硫酸浸出 (ZnSO ₄)	碳还原 (蒸馏) 电解	精馏
Cd	烟尘, 净液渣	化学分离 (CdSO ₄ , CdO)	用锌置换	电解, 蒸馏
Hg	硫化矿		蒸馏 (脱硫)	再蒸馏
Si	氧化矿	化学分离 (SiHCl ₃) 化学分离 (SiH ₄)	碳还原 (Fe-Si) 氢还原 热分解	区域熔炼
Ge	冶炼中间产品	盐酸处理、化学分离 (GeO ₂)	氢还原	区域熔炼
Sn	氧化矿	焙烧	碳还原	电解
Pb	硫化矿	焙烧、烧结 (PbO)	碳还原 利用相互反应还原	电解 熔析, 选择性氧化, 添加第三种元素
Sb	硫化矿	熔析 (Sb ₂ S ₃) 挥发焙烧 (Sb ₂ O ₃)	用铁还原 碳还原	熔剂处理, 电解

金属	原料	预处理	金属还原	金属精炼
Bi	硫化矿, 冶炼中间产品	焙烧 (Bi_2O_3) 化学分离 (BiOCl)	碳还原	熔剂处理、电解
Se	烟尘, 电解阳极泥	化学分离 (SeO_2) 挥发焙烧 (SeO_2)	用 SO_2 还原	蒸馏

1.2 冶金能源

1.2.1 能源及其分类

能源是可以从其获得热、光和动力三类能量的资源, 简单地讲就是自然界中能够产生能量的资源。能源是发展国民经济的重要物质基础, 也是发展冶金工业的重要物质。能源的种类很多, 如来自外天体能量太阳能, 地下的煤炭、石油、天然气燃烧产生的热能, 来自海洋波浪、风能、水能等所提供的能量。

能源按其来源不同, 可分为两大类。第一类能源是指自然界中存在的天然能源又称一次能源, 如煤炭、石油、天然气、水能、风能、太阳能、核能和地热能等。第二类能源是指因生产和生活中, 由于工艺和环境保护的要求, 或是便于输送使用等原因, 将一类能源经加工转换后的能源产品, 像蒸汽、焦炭、煤气、电力等。由于这些能源是第一类能源的加工和延伸, 因而习惯上称其为二次能源。

由于能源的种类繁多、品质各异, 需要一个统一的度量单位。按习惯规定用吨标准煤来衡量各种能源的品质, 每 1 kg 标准煤的发热量为 29.27 MJ。将其他能源都折算成标准煤, 如 1 kg 重油发热量为 39.71 MJ, 相当于 $39.71/29.27=1.36$ kg 标准煤。

我国是一个能源资源较丰富的国家, 煤的探明储量居世界第 3 位; 石油的储量居世界第 8 位; 天然气储量居世界第 16 位; 水力资源极其丰富, 理论蕴藏量为 6.8 亿千瓦, 居世界第 1 位, 可开发的装机容量为 3.8 亿千瓦; 铀钍和其他新能源的资源也较丰富。自新中国成立以来, 我国能源开发的速度是比较快的。我国的主要能源——原煤产量增加 21 倍; 原油产量由 1949 年的 12 万吨, 提高到 1983 年的 10 600 多万吨, 增加了 883 倍; 电力工业装机容量 1983 年已达 7644 万千瓦, 为 1949 年的 41 倍。我国能源的年消耗总量居世界第 3 位, 但由于人口众多, 人均能源消耗量仅为 0.6 吨 (加上农村非商品能源也不到 0.9 吨)。这个数字仅为世界水平 (2.3 吨) 的四分之一。同世界上发展中国家相比, 属于中等偏低水平。如果和一些工业发达国家相比, 那就更低了。我国的能源消耗中重工业占一半以上, 这与工业发达国家的情况很不相同。在工业发达国家中, 重工业和轻工业的能源消耗加在一起仅占总能源产量的三分之一左右。我国能源结构以煤为主, 而工业发达国家以石油为主 (见表 1-3)。与油相比, 煤在开采、输送和使用方面都相形见拙, 燃烧效率也较低, 而且污染严重。这些因素直接影响到单位国民生产总值的能耗。为了在本世纪末以前实现工农业总产值翻两番的战略目标, 关键问题之一是能源。在国民经济各部门中, 钢铁工业是能源消耗最多的部门, 约占全国总能源消耗的 12%~14%。加强对钢铁生产企业能源的管理, 是节约能源, 提高经济效益的重要途径, 是一项战略任务。以下仅以钢铁冶金节能进行叙述。

表 1-3 几个国家能源结构的对比

单位: %

国 别	能 源				
	石油	天然气	煤	水电	核能
中 国	22	3	71	4	0
日 本	75	3	15	5	2
德 国	49	13	35	1	2
美 国	43	29	21	5	2
世界平均	44	18	30	6	2

1.2.2 冶金能源及其构成

(1) 钢铁生产用能源

钢铁工业是能源的主要用户。一些国家的钢铁工业在国民经济能耗所占的比重是：美国 5%~6%；日本 19.7%；欧洲 10%；英国 10%~12%；中国 12%~14%。世界钢铁工业的能耗占总能耗的比重约为 17%。其中石油 49.0%；煤炭 8.7%；电力 15.6%。近年来，由于能源紧张，迫使钢铁工业从原料处理到产品加工，对如何降低能耗都作出了不懈地努力。在各个环节上降低能耗，有效利用和开发新能源对于其今后的发展将产生较大影响。一般情况下，钢铁生产所用的能源主要有煤炭、重油、天然气和电力。习惯上，把以上四种能源叫做钢铁冶金工业的购入能源。煤在钢铁企业主要用于炼焦和自备电厂的发电，蒸汽机车、工业锅炉和其他炉窑，少部分制成煤粉用于高炉喷吹和烧结生产，重油和天然气是国家宝贵资源，冶金厂应尽量少用。钢铁联合企业，首先考虑充分利用内部的焦炉、高炉和转炉等回收的副产煤气，只是在本企业供需无法平衡时，才用少量重油和天然气。冶金企业所用电力一般是购入的，但较大的联合企业多数有自己的自备电厂。我国及世界主要钢铁工业能源结构见图 1-2。

从图 1-2 可知，我国钢铁工业的能源构成是以煤为主，电力及重油也占一定比重，天然气用量很少。美、日、德等国的钢铁能源构成中煤的比重低于我国，而重油与天然气的比重高于我国，这与本国的资源条件和国际贸易状况有关。冶金工业从外部购入的煤炭、重油、天然气能源在生产过程中转换成多种形式的其他能源。最常见的有焦炭、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、电力、蒸汽、氧气和压缩空气等。上述能源习惯上称作冶金企业的自产能源。

(2) 能耗指标

冶金企业各主要设备有各自的能耗指标，如高炉的焦比和电弧炉的吨钢电耗等。这里重点阐述从钢铁工业各工序的、企业的乃至整个冶金工业的现行能耗指标。

1) 吨钢综合能耗 全国平均的吨钢综合能耗等于全国钢铁工业在统计期内所有能源总量与钢产量比。同理，企业的吨钢能耗等于企业统计期内的耗能量与钢产量比。

$$\text{吨钢综合能耗} = \frac{\text{耗能量} \left[\frac{\text{千克标准煤}}{\text{吨钢}} \right]}{\text{钢产量}}$$

式中，耗能量是指统计期内某企业所消耗的全部购入能源量，包括煤、油、天然气和电。计算时，各种能源的数量均须折算成标准煤的重量。吨钢综合能耗计算式中钢产量是指企业内生产优良钢锭、钢坯和用于铸造钢铁水数量之和。在研究钢铁工业节能问题时，主要应着眼于吨钢综合能耗。因为只有吨钢能耗降低了，整个钢铁工业的总能耗才能降下来。我国钢铁工

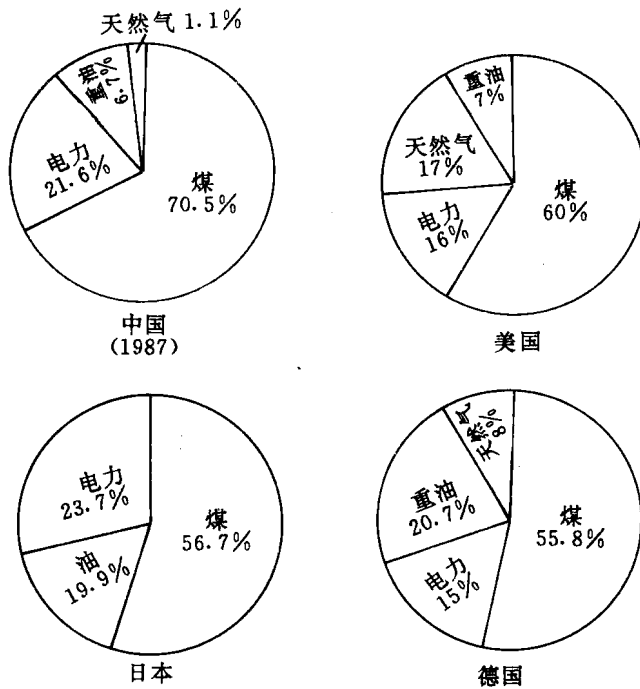


图 1-2 我国及主要工业国钢铁工业能源构成

业与西方其他国家相比，生产过程中所使用的大部分物品都是自己生产的，所以降低吨钢能耗的潜力较大。但必须指出，由于各国钢铁工业的生产结构不同，就是在本国内部各企业之间生产结构也不尽相同，所以不能用吨钢综合能耗作为国与国和企业与企业之间评比考核的唯一依据。

2) 吨钢可比能耗 为了在生产结构不同的各企业之间，以及我国与外国钢铁企业之间进行能耗对比，我国有关部门提出吨钢可比能耗这一特殊的指标。吨钢可比能耗即是指以生产 1 吨合格的钢为基准，能耗只计算某些规定主要工序的能耗和与 1 吨钢配套生产所必须的能耗。按照有关部门的规定，计算可比能耗时，只考虑以下诸工序：焦化、烧结、球团、炼钢、铸锭、初轧、轧钢、燃气加工、厂内运输以及能源亏损，其他工序如采矿、选矿、铁合金、耐火、白灰、轧辊、机修和烧煤等工序均不考虑在内。这样计算出来的可比能耗基本上可用于各企业之间的对比，也可用于同国外钢铁工业作粗略的对比。

3) 工序能耗 工序能耗单耗是指该工序在统计期内的耗能量除以产品的重量，即

$$\text{工序能耗} = \frac{[\text{耗能量}]}{[\text{产品重量}]} \left[\frac{\text{千克标准煤}}{\text{吨产品}} \right]$$

式中，耗能量是指在统计期内该工序消耗的能源量，其中包括企业购入的能源和自产能源，如该工序有副能源（如煤气等）供其他工序使用则应扣除。计算时，各种能源均须折算成标准煤的重量，各种燃料均按发热量折算。电力、氧、蒸汽、压缩空气和水等可按表 1-4 折算成标准煤的重量。工序能耗的计算式中产品重量是指统计期内该工序的合格产品量。

表 1-4 几种动力、能源的等价热值

名 称	等 价 热 量	等 价 标 煤
电 力	12557 kJ/kWh	0.429kg
新 鲜 水	7534 kJ/t	0.257 kg/t
循 环 水	4186 kJ/t	0.143 kg/t
软 化 水	14232 kJ/t	0.486 kg/t
除 氧 水	28461 kJ/t	0.971 kg/t
氧	12557 kJ/m ³	0.429 kg/m ³
压 缩 空 气	1172 kJ/m ³	0.040 kg/m ³
鼓 风	879 kJ/m ³	0.030 kg/m ³
蒸 汽	视压力、温度而定	

4) 能耗水平 近年来,我国吨钢能耗的变化情况如表 1-5。就目前情况而言,我国钢铁工业的能耗指标与世界主要工业国相比是落后的。几个主要产钢国的吨钢能耗值见表 1-6,各主要工序单位能耗见表 1-7。

表 1-5 我国吨钢能耗 (吨标煤/吨钢)

	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
吨钢综合能耗 (全国)	2.36	—	2.79	3.11	2.87	2.51	2.28	2.04		1.906	1.85	1.78
吨钢综合能耗 (重点企业)	1.87	—	2.15	2.33	2.16	1.85	1.57	1.47	1.395	1.400	1.37	1.33
可比能耗 (重点企业)	1.40	—	1.59	1.72	1.59	1.40	1.29	1.20	1.184	1.154	1.127	1.106

表 1-6 西方主要产钢国吨钢能耗 (千克标煤/吨钢)

国 别	年 份			
	1973	1976	1978	1981
日 本	693	718	681	678
美 国	912	945	894	1076
德 国	769	799	748	748 ^①
法 国	834	851	819	—
英 国	891	902	874	797 ^②
意大利	592	630	594	—
加拿大	723	728	738	—

①为 1980 年的能耗值。

②为 1981 年 4~12 月份平均值。

表 1-7 各主要工序单位能耗 (千克标煤/吨产量)

工序名称	我国重点企业 1980 年平均	日本君津钢厂	德国蒂森钢厂	美 国
焦 化	196	162	180	
烧 结	99	76	78	
炼 铁	531	475	451	
平炉炼钢	200			115~125
转炉炼钢	60 (顶吹)	2	44	18
	189 (化铁炼钢)			230
电炉炼钢	373			
初 轧	86	37		
热 轧	157		85	

从上面的数据可以看出,我国钢铁工业能耗较高,同时也说明节能的潜力是大的,尤其是炼钢以后的各工序。上述的能耗水平是 1981 年前的统计值。近年来,随着我国改革开放的不断深入,国民经济快速发展,钢铁工业依靠科学技术和科学管理要能源。钢铁工业在降低能耗方面取得了很大的成就。图 1-3 是我国 70 年代以来能耗变化情况,可见吨钢能耗水平已达到较好水平,在能耗方面与发达国家相比差距正在缩小。据 1990 年统计,世界各主要产钢国家吨钢能耗指标见表 1-8。

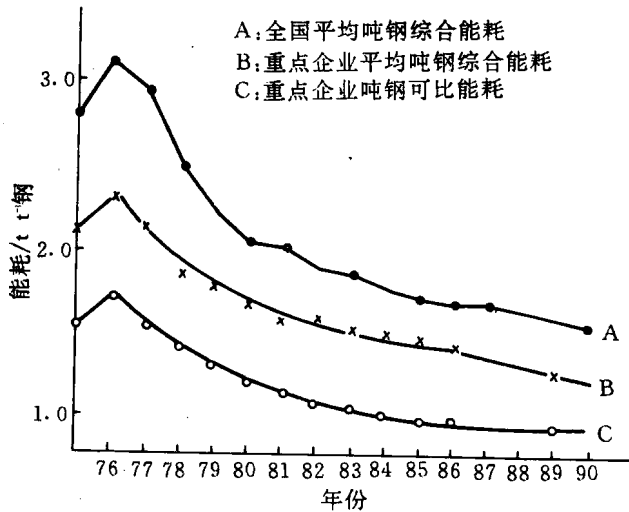


图 1-3 我国历年吨钢能耗变化

表 1-8 世界各主要产钢国吨钢能耗指标 (吨标煤/吨钢)

日 本	美 国	德 国	法 国	英 国	中国平均	中国重点企业
0.678	1.067	0.748	0.82	0.797	1.211	0.997 (1990 年)

1.2.3 能源节约途径

降低钢铁工业能源消耗，管理上应从三个方面入手：一是节约一次和二次能源，降低各个生产环节的能耗；二是节约各种原材料消耗，因生产这些原材料要消耗大量的能源；三是回收各生产环节散失的能量，即工业余热。目前钢铁工业中散失的能量很多，如表 1-9 所示。如果建立能源管理的考核体系，制定能耗定额，加强能源管理并采取相应措施回收这些能量，就能大幅度地降低吨钢能耗。据统计，目前各生产工序有效利用的能量也已达 50% 左右，因此钢铁企业节能的潜力是很大的。节能的途径可从以下几个方面考虑。

(1) 采用先进工艺和设备

在选矿工序采用细磨强磁选工艺以提高精矿品位。在烧结工序采用低碳厚铺，加长点火器和增设保温装置。在炼铁工序采用高压、高风温、重负荷、富氧，扩大喷煤量、余压发电等新技术。采用精料入炉一项新技术的节能效果见表 1-10。

在炼钢方面不断更新和改造耗能高的设备，如用氧气转炉代替平炉；用直流电弧炉代替交流电弧炉；用连铸代替模铸并采取连铸连轧新工艺，这不仅省去了铸锭、脱模、均热炉和初轧机等基建投资和生产费用，还可提高金属收得率大约 10%，每吨钢可节能 0.63~0.92 GJ。

表 1-9 钢铁生产中散失的能量

类别	炼焦	烧结	炼铁	炼钢	轧钢
散失的“废料”		烧结粉尘	高炉渣 渣中铁珠 高炉炉尘（泥）	钢渣 转炉炉尘（泥） 废钢	切头、切尾 氧化铁皮
散失的煤气	放散焦炉煤气		放散高炉煤气	未回收转炉煤气	
散失的热能	红焦物理热、炉体及管道散热、炉尾废气物理热	热烧结矿物热、烧结过程散热、烧结机排风的物理热	高炉炉渣物理热、高炉、热风炉及管道散热 热风炉废气物理热、高炉炉顶煤气物理热	平炉炉体散热、钢锭显热、烟气显热	各种加热炉散热、废气热 钢锭、钢坯显热
散失的压力能			高炉炉顶煤气余压、高炉冷却水动能		

表 1-10 高炉精料节能效果

因素	入炉含铁量	熟料比	矿石整粒/mm	入炉废铁量	碳灰分
措施	增 1%	增加 10%	8~40→8~30 8~30→10~25	增加 10%	减少 1%
效果节能	1.5%~2%	4%~5%	(10~13) kg/t (5~7) kg/t	(2~3) kg/t	1.5%~2%

(2) 回收利用散失的热量并提高热效率

钢铁联合企业生产过程中能量损失很大，一般约占总输入能量的 66%。其中废气占 13%，