

# 钢铁冶金

冶炼篇 I

冶金工业出版社

TF#  
9  
3

现代金属学讲座

冶炼篇 I

# 钢铁冶金

日本金属学会 编

王魁汉 崔传孟 等译

梁宁元 校

冶金工业出版社



B

268393

现代金属学讲座

冶炼篇 1

钢铁冶金

日本金属学会 编

王魁汉 崔传孟 等译

梁宁元 校

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街原机械部北楼11号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 14 7/8 字数 392 千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷

印数 00,001~3,200册

统一书号: 15062·4215 定价 4.00元

## 译者序

日本《现代金属学讲座》的冶炼篇共四卷：《钢铁冶金》，《有色冶金》，《冶金热工学》，《冶金物理化学》。该讲座由日本金属学会组织各领域中的权威人士执笔撰写，取材新颖，内容全面。可供冶金工程技术人员、科研工作者及冶金院校师生参考。

本书为该讲座冶炼篇的第一卷，内容包括：钢铁冶炼的基础理论；铁矿石的冶炼；钢的精炼；铸锭；钢的特种冶炼法；炉渣的利用等。

参加本书翻译的有：梁宁元（第一章、第二章第四、五节），徐秀光（第二章第一、二、三节、第七章），崔传孟（第三章、第六章），王魁汉（第四章、第五章）。全书由梁宁元教授校阅。

在本书翻译过程中，承蒙东北工学院钢铁冶金系的教授和专家帮助，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

## 发 刊 词

日本金属学会于1954年发行了新编《金属讲座》，在当时尚未整理出如此简明扼要的书籍，它对学习金属学的人起到了很大的教育作用。为此，向各位编辑，向能在有限的篇幅中撰写出如此颇有要领的著作的各位作者表示由衷的敬佩和感谢。

随着理论的提高以及工业的发展，本讲座于1960年曾进行过修订。但由于理论的显著进步和工业生产的突飞猛进，迫切要求再次修订，为此出版了这套《现代金属学讲座》。

本冶炼篇共分为《钢铁冶金》、《有色冶金》、《冶金热工学》、《冶金物理化学》四卷。无论哪一卷书都并非仅仅追随工业发展的步伐。虽然对工业生产实际状况的认识很有必要，但是本书的宗旨却在于发展上述各项技术，加深对新开拓的基础问题的理解，并运用已掌握的知识阐明新发生的问题，从而提高开发新技术的潜在能力。

因此，本讲座重视金属学的基础理论，邀请了本学界中的权威人士执笔撰写。此外，尽量列举参考文献，力图使读者能够从原著中得到更加深刻的理解。我们确信本书对冶金、材料工程技术人员、研究人员以及学生等将是一本很好的参考书。

最后，谨向各位作者和各位编辑致意，对他们的共同努力表示衷心的感谢。

日本金属学会会长 不破 祐

1979年10月

## 序

国内外出版了很多有关钢铁冶炼方面的著作，但是适合于初学者的、既包括基础理论，又包括操作技术两方面的书籍却很少。因此，学生、冶金工作者以及研究人员等迫切希望出版适于需要的参考书。

为满足这一要求，日本金属学会综合本学界专家的意见，发行了新版冶炼篇的《钢铁冶金》一书。

此书出版后已历经近十五载，在此期间理论不断进步以及开拓新领域的工作取得了急速的发展，而已出版的内容不能充分反映当代发展水平之处日益增多。因此，提出了修改原版《讲座》的问题。编辑委员会经过多次讨论的结果，正如发刊词中所述，决定将原版《讲座》修订为现代金属学冶炼篇，并在新的规划下着手发行。

内容分为：1. 绪论；2. 钢铁冶炼的基础理论；3. 铁矿石的冶炼（包括铁合金）；4. 钢的精炼；5. 铸锭；6. 钢的特殊冶炼法；7. 炉渣的利用。各章在许多内容上均较过去有大幅度的更改，并增添了新的领域，从而能充分满足当前的需要。

本书内容是以大学生为对象，但也考虑到供研究生以及工程技术人员或研究人员参考，故将主要文献尽量列出，以便于研究人员进一步详细探讨。

对于本讲座所用单位的问题曾作过各种讨论，最终决定采用国际单位制(SI制)。但由于在图和文中部分采用了“吨”等单位，所以还不能说完全采用了SI制，作为一个过渡时期的产物还望读者原谅。特别是在气相分压的表示法和用法上有些混乱，因此在书后附有本书所用单位的说明和SI单位与过去所用单位的换算表。

关于SI单位，由于东北大学工学部金属材料工学科及川洪副

教授给予了全面的协助，才得以完成，在此特表谢意。

另外，对为本书出版竭尽全力的各位执笔者表示由衷的谢意。

执笔者之一青山芳正氏于1979年4月突然逝世，在此谨致哀悼。

现代金属学讲座冶炼篇编辑委员会委员长 不破 祐

1979年10月

### 责 任 编 辑

东北大学选冶冶炼研究所 教授	工博	大谷正康
执 笔 者		
日新制钢株式会社 常任顾问		青山芳正
新日本制铁株式会社 制品技术研究所焊接中心 焊接第三研究室长	工博	浅野綱一
川崎制铁株式会社技术研究所 制铁研究室主任研究员	M.Phil	福武 刚
新日本制铁株式会社 参事	工博 Sc.D.	不破 祐
新日本制铁株式会社 八幡制铁所技术部副部长	工博	梶岡博幸
九州大学工学部教授	工博	川合保治
东京大学工学部教授	工博	松下幸雄
日本钢管株式会社 福山研究所主任部员	工博	宫下芳雄
新日本制铁株式会社 研究开发本部生产技术研究所 凝固研究室 课长、研究员		长野 裕
日本电工株式会社 监查 株式会社神户制钢所技术开发 本部开发企画部部长代理	工博	成瀬 豆 西田禮次郎
大阪大学工学部教授	工博	萩野和巳
东北大学选冶冶炼研究所 教授	工博	大谷正康
川崎制铁株式会社 技术研究所 次长	工博	岡部俊児
东北大学选冶冶炼研究所 教授	工博	大森康男
名古屋大学 工学部 教授	工博	坂尾 弘



川崎制铁株式会社 千叶制铁所炼铁部	课长		田口肇司
东北大学选矿冶炼研究所	教授	工博	高桥爱和
东北大学选矿冶炼研究所	副教授	工博	徳田昌则
川崎制铁株式会社技术研究所 炼铁研究室主任研究员		工博	梶谷畅男
大同工业大学	教授	工博	鹤野建二
住友金属工业株式会社 第一技术开发部	首席研究员	工博	牛岛清人

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 工业用钢铁</b> .....	1
一、普通元素 .....	1
二、合金元素 .....	1
三、工业用钢铁的分类和名称 .....	2
<b>第二节 铁和文化</b> .....	2
<b>第三节 钢铁冶炼法的进展</b> .....	5
<b>第二章 钢铁冶炼基础理论</b> .....	11
<b>第一节 前言</b> .....	11
<b>第二节 冶金化学热力学</b> .....	11
一、热力学基础 .....	11
二、基本体系的热力学数据 .....	23
三、炉渣的反应性 .....	37
四、反应热、燃烧热、理论燃烧温度 .....	46
五、冶炼化学 .....	48
<b>第三节 金属、炉渣的物性</b> .....	66
一、液态金属的性质 .....	67
二、熔渣的物性 .....	73
<b>第四节 冶金反应速度</b> .....	79
一、氧化铁由气体还原的还原速度 .....	80
二、气体-铁水间的反应速度 .....	85
三、炉渣-铁水间的反应速度 .....	91
<b>第五节 冶金反应及冶炼装置的操作解析</b> .....	94
一、填料床中气体和液体的流动特性 .....	94
二、填料床的传热 .....	98
三、固定床和移动床中的非催化反应操作 .....	102
四、烧结机的解析 .....	104

五、高炉的过程解析 .....	108
六、LD转炉脱碳反应速度的解析 .....	110
七、借助于气泡的精炼 .....	111
八、凝固时的传热 .....	113
参考文献 .....	116
<b>第三章 铁矿石的冶炼</b> .....	121
<b>第一节 原料及处理</b> .....	121
一、炼铁原料 .....	121
二、预处理 .....	127
<b>第二节 各种炼铁法</b> .....	140
一、高炉炼铁法 .....	140
二、电炉炼铁法 .....	191
三、直接炼铁法 .....	198
<b>第三节 铁合金的生产方法</b> .....	221
一、铁合金概要 .....	221
二、生产方法的基础 .....	223
三、铁合金生产方法的分类 .....	227
四、生产工艺和设备 .....	228
五、各种铁合金的生产 .....	231
参考文献 .....	249
<b>第四章 钢的精炼</b> .....	251
<b>第一节 各种炼钢法</b> .....	251
一、氧气转炉炼钢法 .....	251
二、电炉炼钢法 .....	302
三、平炉炼钢法 .....	328
四、特种钢冶炼 .....	334
五、其它炼钢法 .....	346
<b>第二节 钢的脱氧</b> .....	352
一、原理 .....	352
二、设备与操作 .....	363
参考文献 .....	375
<b>第五章 铸锭</b> .....	379

第一节 概述 .....	379
第二节 普通铸锭法 .....	379
一、铸锭设备 .....	379
二、铸锭操作 .....	385
三、钢锭的凝固组织及缺陷 .....	388
第三节 连铸 .....	401
一、概说 .....	401
二、连铸坯的凝固与连铸设备 .....	405
三、连铸工艺 .....	410
四、连铸坯与成品质量 .....	416
第四节 特殊铸锭法 .....	422
一、真空铸锭法 .....	422
二、其它特殊铸锭法 .....	431
参考文献 .....	432
<b>第六章 钢的特殊熔炼法 .....</b>	<b>434</b>
第一节 特殊熔炼法概述 .....	434
第二节 真空感应熔炼法 .....	435
一、概要 .....	435
二、设备 .....	435
三、操作和效果 .....	436
第三节 等离子电弧熔炼法 .....	437
一、概述 .....	437
二、等离子弧一次熔炼法 .....	438
三、等离子感应熔炼法 .....	439
四、等离子弧重熔法 .....	440
第四节 真空电弧重熔法 .....	441
一、概述 .....	441
二、设备 .....	441
三、操作和效果 .....	442
第五节 电渣重熔法 .....	444
一、概述 .....	444
二、设备 .....	445

三、操作和效果 .....	445
<b>第六节 电子束熔炼法 .....</b>	<b>447</b>
一、概述 .....	447
二、高压电子束熔炼法 .....	448
三、真空等离子电子束熔炼法 .....	449
<b>第七节 炉外精炼法概述 .....</b>	<b>449</b>
<b>第八节 AOD法.....</b>	<b>450</b>
一、概述 .....	450
二、设备 .....	451
三、操作和效果 .....	451
四、CLU法概述 .....	453
<b>第九节 VOD法.....</b>	<b>453</b>
一、概述 .....	453
二、设备 .....	454
三、操作和效果 .....	454
<b>第十节 RH-OB法 .....</b>	<b>456</b>
一、概述 .....	456
二、设备、操作和效果 .....	457
参考文献 .....	459
<b>第七章 炉渣的利用.....</b>	<b>460</b>
参考文献 .....	461

# 第一章 绪 论

## 第一节 工业用钢铁

作为工业用材料的铁与钢并非化学元素所表示的纯铁，而是以铁为主要成分，含有某些其它元素的合金。

工业用钢铁所含的合金元素，有金属的与非金属的，并区分为工业用钢铁的普通元素与合金元素（或特殊元素）。

### 一、普通元素

普通元素是指C、Si、Mn、P、S五种元素。采用一般的炼铁原料，用普通的冶炼方法，不可避免地要在钢铁中含有一定浓度的元素，其中C和Mn在保证钢铁性能上是不可缺少的。这些元素在最常用的钢或铁中的通常含量如下：

	生铁（铸铁）	钢
C	3.0~4.5%	0.08~1.2%
Si	0.2~2.0%	0.01~0.3%
Mn	0.2~2.5%	0.3~0.8%
P	0.02~0.5%	0.01~0.05%
S	0.01~0.5%	0.01~0.05%

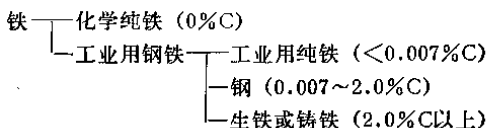
### 二、合金元素

合金元素是为赋予钢铁以特殊性质而有意添加的元素，因此，又称为特殊元素。除上述普通元素外，如Ni、Cr、W、Mo等当然是合金元素。即使本来是普通元素，如果超过普通元素的浓度范围，为赋予钢铁以特殊性质而添加时，例如，硅钢片的硅，耐磨铸钢的锰等，当然也可以视为合金元素。含有合金元素的钢称为合金钢，未添加合金元素的钢称为碳钢或普通钢。特种钢与合金钢有时为同义词，但特种钢的定义因国家而异。德国将普通元素限制在很窄的浓度范围内的碳钢，也包括在特殊钢中。

日本则将渗碳钢归入特种钢。

### 三、工业用钢铁的分类和名称

工业用钢铁的分类，虽然很难找出一般通用的方法，但根据Fe-C二元相图，按碳的含量大致作如下区分，也许是适当的。



工业用纯铁和钢的区别主要在于有无淬火效果。碳含量在1.2~2.5%的钢铁实用价值很少，因此，在工业上不生产。钢与生铁（或铸铁）的区别是以含碳量、可锻性，可铸性的好坏作为指标。另外，有时还根据淬透性的有无，而把半熔融状态下炼制的产品分别称为软钢和熟铁。但是以上区分并不一定很明确，根据共存的其它元素的种类和浓度也可以有所改变。例如，也有将抗拉强度在490MPa (50kgf/mm<sup>2</sup>) 以上的称为钢，以下的称为铁的分类法。此外，还有从完全不同的角度分类的，如以使用原料（例如低磷生铁）、冶炼方法（例如木炭生铁、平炉钢）、成品的特性或使用目的（例如磁钢、耐热钢）、断口（例如白口铁、灰口铁）等作为分类或命名的根据，有时用起来反倒方便。生铁和铸铁实质上是同一物质，但是，当视为冶炼铁矿石的成品或作为后续处理的原料时称之为生铁；视为铸造材料时称之为铸铁。托马斯生铁是特指含P在1.7~2.2%、作为托马斯炼钢法原料的生铁。

## 第二节 铁 和 文 化

世界和日本的钢铁产量的变迁示于表1-1。世界的技术和经济与钢铁生产有着极为密切的关系，钢铁的生产方式和生产量影响着所有的工业生产。

表1-2示出1976年日本主要有色金属的产量。不仅日本，就是在全世界范围，钢铁产量为其他金属总产量的20倍，钢铁对人

类社会来说是最重要的金属。就是说人类的文明和自由是由钢铁创造，由钢铁维护的，甚至一国的文化水平都是按每人平均钢铁消耗量来衡量。

表 1-1 世界和日本钢铁产量的变迁

年份	世 界			日 本		
	生铁 10 <sup>4</sup> 吨	粗钢 10 <sup>4</sup> 吨	备 考	生铁 10 <sup>4</sup> 吨	粗钢 10 <sup>4</sup> 吨	备 考
1870	12	7	近代初期	—	—	
1900	41	35	19世纪末年	—	—	
1911	64	65	第一次世界大战结束	0.24	0.24	1913年
1929	99	122	世界经济繁荣	1.5	2.3	
1932	40	51	世界经济萧条	1.5	2.4	
1940	106	143	第二次世界大战前一年	3.4	7.0	
1946	77	109	第二次世界大战结束	0.5	1.1	
1950	134	189		2.0	5.0	
1955	190	223		5.2	9.4	
1957	212	293		6.8	12.6	
1960	253	346		11.9	22.1	
1965	325.7	461.2		27.5	41.16	
1967	353.4	495.4		40.1	62.15	
1970	427.5	598.6		68.0	93.3	
1971	423	584.9		72.7	88.56	
1972	448	631.5		74.0	96.9	
1973	494	700.0		90.0	119.3	
1974	505.7	710.0		90.4	117.1	
1975	471.2	647.0		86.9	102.3	
1976	489.7	677.0		86.6	107.4	
1977	484.7	673		85.9	102.4	

注：1929~1946年日本钢产量计入了当时朝鲜和我国东北的钢产量。——编者

表 1-2 1976年日本主要有色金属的产量

金 属	生产量, 吨	金 属	生产量, 吨
电解铜	864350	锡	1144
铅	219050	钨	1411440
锌	742070	镍	24010



表1-3示出了构成地壳的各种元素的质量比例。

表 1-3 构成地壳的各种元素的比率

元 素	符 号	比率, %	元 素	符 号	比率, %
氧	O	50.00	碳	C	0.25
硅	Si	26.00	氯	Cl	0.175
铝	Al	7.45	磷	P	0.08
铁	Fe	4.20	锰	Mn	0.07
钙	Ca	3.25	硫	S	0.06
镁	Mg	2.35	钡	Ba	0.03
钠	Na	2.40	氟	F	0.03
钾	K	2.35	氮	N	0.02
氢	H	0.90	铬	Cr	0.01
钛	Ti	0.80	镍	Ni	0.005

由表可见，人类从很早就开始使用的金、银、铜、锡等金属远少于铁，而到本世纪方开始作为工业材料出现的铝反比铁的贮量多。从铁器时代开始到如今，铁远比其他金属使用的多，其原因何在呢？起初是因为铁的氧化物具有易于还原的性质；但长时间持续使用的原因，则不仅是由于铁矿石赋存有大矿床，而且还由于在钢铁中添加各种元素或通过加工和热处理等，能赋予各种性质，从而满足作为工业材料的各种要求。

正如考古学者认为的那样，在石器时代以后有青铜时代、铁器时代。金属冶炼技术是由于人类利用了火而开发的极为古老而又重要的技术之一。钢铁技术是其中一例。如图 1-1 所示，根据人类在不同的时代和地点、所能利用的温度，可以说明钢铁冶炼技术的发展过程。即分为 1) 在炉算上熔炼铁矿石，生产粘饼状熟铁或软钢；2) 在炼铁炉中熔炼铁矿石，得到熔融状态生铁，并以此为原料生产熟铁或软钢；3) 以生铁为原料，在熔融状态炼钢等三个时代。虽然在不同地方，三个时代所处年代不同，但都是经过这样三个阶段发展到今天。当今，主要产铁国是处于