

日本金属学会 编

# 钢铁冶炼

*Ferrous  
Process  
Metallurgy*

[日] 萬谷志郎 著

李 宏 译

周荣章 许中波 审校

冶金工业出版社

冶金工业出版社  
北京 中国钢铁出版社 编

# 钢铁冶炼

Steelmaking  
Ironmaking  
and Refining

编 者 曹天德  
主 编 曹天德  
副主编 曹天德

冶金工业出版社

日本金属学会编

# 钢铁冶炼

[日] 萬谷志郎 著

李 宏 译

周荣章 许中波 审校

北 京

冶金工业出版社

2001

### 图书在版编目(CIP)数据

钢铁冶炼/(日)萬谷志郎著;李宏译. —北京:冶金工业出版社, 2001.11

ISBN 7-5024-2867-4

I. 钢... II. ①萬... ②李... III. 黑色金属冶金 IV. TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 067680 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 刘小峰 美术编辑 王耀忠 责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2001 年 11 月第 1 版,2001 年 11 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32:9.25 印张;247 千字;277 页;1-1000 册

26.00 元

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(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2001-2250 号

## 日文版出版者的话

日本金属学会在二战后第 10 年的 1956 年发行了新的金属学讲座教材冶炼篇。当时,由于战时的空白和战后的混乱,几乎没有汇总金属冶炼知识的教科书。因此,这个讲座教材在许多大学作为教科书,并作为企业技术人员的手册而受到欢迎,被广泛使用。在此,谨向当时进行策划的编委们,以及收集贫乏的资料并按照要领执笔的作者们,表示深深的敬意和感谢。

这个讲座教材于 1964 年修订,其后伴随着学术的发展和日本工业技术举世瞩目的发展,1979 年又作为新讲座教材规划之一,进行了全面修订,作为由《钢铁冶炼》、《有色金属冶炼》、《冶炼工学》、《金属物理化学》四卷构成的教材·现代金属学冶炼篇而发行。这一套书也大获好评,广泛用作大学的金属学科教科书及企业技术人员继续学习用书。

最近,由于科学技术的发展,产业结构有了显著的变化,与尖端技术领域及

其他技术领域相关的技术、高纯度化、回收再利用、环境问题等受到重视,过去的关于金属·冶金的概念,已不能充分地涵盖这些方面,而且学习的目标也改变了,即“与掌握的知识量相比,更重视创造能力的开发”。为了适应这种状况,拟出版将过分详细的内容予以删减、以基础知识为中心,加以应用实例示范,各卷按2学分(2小时×15次)左右控制,同时也介绍一些尖端技术的《金属化学入门丛书》教科书。本丛书由第1卷《金属物理化学》、第2卷《钢铁冶炼》、第3卷《金属冶炼工学》、第4卷《金属热工学》、第5卷《金属反应工学》、第6卷《材料电化学》、第7卷《特殊材料制造方法》等7卷构成,目标是使具有高中以上水平的人都可以充分理解。我相信,这一新的丛书,对于大多数的金属学领域的技术人员、研究人员及学生,是一套好的指导书。

对于作者及各位编辑委员的尽心尽力,谨表示深切的谢意。

社团法人 日本金属学会  
会长 及川 洪  
1996年4月

#### 补记:

本会为促进工作,对出版计划进行了全面的修正,认为1996年1月由本会发行的教材·现代金属学冶炼篇第3卷《冶炼工学》可以作为同类书使用;另外由于可以找到合适的外国参考书,所以决定中止出版第4卷《金属热工学》和第5卷《金属反应工学》。

## 日文版序言

本书是日本金属学会以《钢铁冶炼》的书名发行的一本包罗钢铁冶炼基本原理和技术的入门书。自1957年发行新的金属学讲座教材冶炼篇以来,这次是第4版。

迄今为止发行的各版,都曾在各自的年代得到了很高的评价且长期被广泛使用,但第3版的讲座教材·现代金属学冶炼篇,自发行以来已经过了20年。这期间,学术的进步发展以及新领域的开拓都迅速地展开,金属学科的学生应该学习的范围明显扩大,在课程设置上发生了变化,要安排充分的时间讲述冶炼有困难,因而还使用过去发行的旧版书已不能完全适应。

针对这一情况变化,如出版者的话中所述,要重新编制和第3版不同的教材,基本方针是其内容可以在大学高年级修业范围内(2~3学分)修完。

本书是为初学钢铁冶炼的人所写的,其内容构成是:1. 绪论;2. 高炉炼铁

法;3. 炼钢法;4. 铸锭法及连续铸造;5. 炉外精炼法;6. 特殊冶炼法。铁合金冶炼因篇幅关系而割爱。关于内容的水准,以使具有高中毕业程度以上水平的人就能够充分理解为目标,但希望能够大致理解本丛书第1卷《金属物理化学》。在本书中使用的主要的热力学数据也引自上述《金属物理化学》。当时间不充裕时,推荐第1~5章在学校学习,第6章自修。

期望本书作为钢铁冶炼的入门书,被众多的金属学科技术人员、研究人员及学生更广泛有效地使用。

《金属化学入门丛书》编辑委员会

2000年2月



## 中文版序言

日本金属学会《金属化学入门丛书》之一——《钢铁冶炼》，于1957年出版第1版。经过1964年、1979年及最近的几次大修改，于2000年发行第4版。此书是日本大学钢铁冶炼课程的教科书。2001年日本金属学会授权中国冶金工业出版社出版此书的中文版。

此书作者萬谷志郎博士是日本东北大学名誉教授，早年曾任教于美国麻省理工学院，1970~1993年担任日本东北大学金属工学科教授，是日本和国际上金属冶炼特别是钢铁冶炼和物理化学学科的权威教授，曾任日本铁钢协会副会长。

此书在篇幅上适应大学2~3学分修完的教材要求。在内容上，以炼铁、炼钢、浇铸、炉外精炼基础知识为中心，通过示范举例，涵盖钢铁冶炼及相关技术的新发展，特别严谨地阐明了炼铁化学、炼钢化学及钢包精炼化学的基本原理。此书确实是一本难得的好教材。

相信此书对于中国大学钢铁冶金及有关专业的学生、教师和从事钢铁冶金方面工作的广大科技人员,会是一本有帮助的好教材和参考书。

中国金属学会常务理事 周荣章  
北京科技大学教授

2001年6月

# 《宝钢生产技术系列丛书》

## 编 委 会

总 顾 问：王鹤寿

顾 问：黎明 陆 达 朱尔沛 凌华椿  
沈成孝

编委会主任：王佩洲

副 主 任：徐乐江 张清朗 王 师 徐金梧  
余永桂 张俊杰

秘 书 长：刘希光

委 员：王天青 朱本立 李海平 刘 安  
何文波 宋汉清 沈震世 陈治平  
张桐庆 张世云 柏世宾 赵 昆  
徐 楠 顾宝德 顾家成 蔡祥麟  
谭泽培

主 编：张俊杰

副 主 编：张清朗 顾家成 余永桂 沈震世  
张桐庆

# 目 录

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| <b>1 绪论</b> .....             | ( 1 )  |
| 1.1 钢铁作为工业材料的地位 .....         | ( 1 )  |
| 1.2 工业用铁的分类 .....             | ( 2 )  |
| 1.2.1 根据碳含量对钢铁<br>材料分类 .....  | ( 2 )  |
| 1.2.2 根据化学成分对钢铁<br>材料分类 ..... | ( 2 )  |
| 1.3 钢铁的生产量和用途 .....           | ( 3 )  |
| 1.4 从作业温度对钢铁冶炼<br>方法分类 .....  | ( 8 )  |
| 1.5 近代炼铁法的作业系统图 .....         | ( 10 ) |
| 1.6 工厂选址和工厂配置 .....           | ( 12 ) |
| <br>                          |        |
| <b>2 高炉炼铁法</b> .....          | ( 14 ) |
| 2.1 高炉炼铁法概要 .....             | ( 14 ) |
| 2.2 原料 .....                  | ( 15 ) |
| 2.2.1 铁矿石 .....               | ( 15 ) |
| 2.2.2 焦炭 .....                | ( 17 ) |
| 2.2.3 辅助原料 .....              | ( 18 ) |
| 2.2.4 选矿 .....                | ( 19 ) |
| 2.2.5 原料处理 .....              | ( 19 ) |
| 2.3 高炉设备 .....                | ( 22 ) |
| 2.3.1 高炉设备概要 .....            | ( 22 ) |

---

|        |                |      |
|--------|----------------|------|
| 2.3.2  | 高炉本体           | (22) |
| 2.3.3  | 原料卷扬及装入设备      | (24) |
| 2.3.4  | 热风炉及送风机        | (24) |
| 2.3.5  | 铸铁场设备          | (25) |
| 2.3.6  | 高炉煤气净化设备       | (26) |
| 2.3.7  | 高炉仪表设备         | (26) |
| 2.4    | 高炉操作           | (27) |
| 2.4.1  | 日常操作           | (27) |
| 2.4.2  | 炼铁单耗和产品        | (27) |
| 2.4.3  | 送风技术           | (28) |
| 2.5    | 炼铁化学           | (31) |
| 2.5.1  | 氧化物的标准自由能      | (31) |
| 2.5.2  | 铁—氧系状态图        | (33) |
| 2.5.3  | 碳的燃烧           | (36) |
| 2.5.4  | CO 对氧化铁的还原平衡   | (37) |
| 2.5.5  | 碳对氧化铁的还原       | (39) |
| 2.5.6  | 氢对氧化铁的还原平衡     | (40) |
| 2.5.7  | 碳在铁中的溶解度       | (40) |
| 2.5.8  | 渣的生成           | (44) |
| 2.5.9  | 硅的还原反应         | (48) |
| 2.5.10 | 锰的还原反应         | (50) |
| 2.5.11 | 脱硫反应           | (50) |
| 2.5.12 | 脱磷反应           | (52) |
| 2.5.13 | 铁矿石的还原性        | (53) |
| 2.6    | 高炉的炉内状况        | (59) |
| 2.6.1  | 炉内物料的状况        | (59) |
| 2.6.2  | 滞留时间           | (61) |
| 2.6.3  | 高炉内温度分布        | (61) |
| 2.6.4  | 高炉内的煤气分布       | (61) |
| 2.6.5  | 里斯特(Rist)的操作线图 | (64) |

---

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 参考文献 .....              | (66)  |
| <b>3 炼钢法</b> .....      | (67)  |
| 3.1 炼钢法概要 .....         | (67)  |
| 3.1.1 炼钢法原理 .....       | (67)  |
| 3.1.2 主要的炉内反应 .....     | (68)  |
| 3.1.3 炼钢法种类和特征 .....    | (69)  |
| 3.2 炼钢化学 .....          | (72)  |
| 3.2.1 氢在铁液中的溶解度 .....   | (72)  |
| 3.2.2 氮在铁液中的溶解度 .....   | (74)  |
| 3.2.3 氧在铁液中的溶解度 .....   | (76)  |
| 3.2.4 铁液中碳和氧的反应 .....   | (81)  |
| 3.2.5 熔渣的构造和解释方法 .....  | (84)  |
| 3.2.6 钢渣的氧化能力 .....     | (88)  |
| 3.2.7 硅的分配 .....        | (88)  |
| 3.2.8 锰的分配 .....        | (90)  |
| 3.2.9 脱硫 .....          | (91)  |
| 3.2.10 脱磷 .....         | (96)  |
| 3.2.11 水蒸气的反应 .....     | (99)  |
| 3.3 转炉炼钢法 .....         | (104) |
| 3.3.1 转炉炼钢法的种类和特征 ..... | (104) |
| 3.3.2 热源和原料铁的成分 .....   | (105) |
| 3.3.3 LD 转炉炼钢法 .....    | (107) |
| 3.3.4 纯氧底吹转炉法 .....     | (116) |
| 3.3.5 顶底复吹转炉法 .....     | (121) |
| 3.4 电炉炼钢法 .....         | (129) |
| 3.4.1 电炉炼钢法的种类和特征 ..... | (129) |
| 3.4.2 电弧炉炼钢法的设备 .....   | (130) |
| 3.4.3 电弧炉炼钢法的原料 .....   | (134) |
| 3.4.4 电弧炉炼钢法的炉内精炼 ..... | (135) |

---

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| 3.4.5 高频感应炉炼钢法 ..... | (138)        |
| 3.5 平炉炼钢法 .....      | (138)        |
| 参考文献 .....           | (140)        |
| <b>4 铸锭法 .....</b>   | <b>(142)</b> |
| 4.1 铸锭法概要 .....      | (142)        |
| 4.2 脱氧 .....         | (143)        |
| 4.2.1 脱氧原理 .....     | (143)        |
| 4.2.2 化学脱氧法 .....    | (144)        |
| 4.2.3 脱氧速度 .....     | (147)        |
| 4.2.4 脱氧操作 .....     | (150)        |
| 4.3 凝固和偏析 .....      | (151)        |
| 4.3.1 凝固现象 .....     | (151)        |
| 4.3.2 钢锭的偏析 .....    | (152)        |
| 4.4 铸锭法 .....        | (153)        |
| 4.4.1 铸锭操作 .....     | (153)        |
| 4.4.2 钢锭的内部性状 .....  | (154)        |
| 4.5 连续铸钢 .....       | (156)        |
| 4.5.1 概要 .....       | (156)        |
| 4.5.2 连铸设备和操作 .....  | (157)        |
| 4.5.3 连铸机的设备形式 ..... | (161)        |
| 4.5.4 连铸坯的缺陷 .....   | (161)        |
| 4.5.5 新的连铸法 .....    | (163)        |
| 参考文献 .....           | (165)        |
| <b>5 炉外精炼法 .....</b> | <b>(166)</b> |
| 5.1 大生产中钢的炉外精炼 ..... | (166)        |
| 5.2 铁水预处理法 .....     | (167)        |
| 5.2.1 铁水脱硫 .....     | (167)        |
| 5.2.2 铁水同时脱磷脱硫 ..... | (167)        |

---

|                       |              |
|-----------------------|--------------|
| 5.3 二次精炼法 .....       | (174)        |
| 5.3.1 二次精炼法的种类 .....  | (174)        |
| 5.3.2 真空铸锭法 .....     | (174)        |
| 5.3.3 真空处理钢包精炼法 ..... | (176)        |
| 5.3.4 电弧加热钢包精炼法 ..... | (182)        |
| 5.3.5 简易钢包精炼法 .....   | (189)        |
| 5.3.6 高纯钢的制造工艺 .....  | (191)        |
| 5.3.7 不锈钢的吹炼 .....    | (193)        |
| 5.4 钢包精炼化学 .....      | (199)        |
| 5.4.1 脱氢速度 .....      | (199)        |
| 5.4.2 脱氮速度 .....      | (200)        |
| 5.4.3 脱碳反应速度 .....    | (201)        |
| 5.4.4 脱硫反应速度 .....    | (203)        |
| 5.4.5 夹杂物的形态控制 .....  | (205)        |
| 参考文献 .....            | (209)        |
| <br>                  |              |
| <b>6 特殊冶炼法 .....</b>  | <b>(212)</b> |
| 6.1 非高炉炼铁法 .....      | (212)        |
| 6.1.1 直接炼铁法概要 .....   | (212)        |
| 6.1.2 蒸馏罐法 .....      | (213)        |
| 6.1.3 竖炉法 .....       | (216)        |
| 6.1.4 流化床法 .....      | (219)        |
| 6.1.5 回转窑法 .....      | (221)        |
| 6.1.6 熔融还原法 .....     | (223)        |
| 6.1.7 将来的炼铁法 .....    | (226)        |
| 6.2 特殊熔炼法 .....       | (228)        |
| 6.2.1 特殊熔炼法的概要 .....  | (228)        |
| 6.2.2 真空熔炼法 .....     | (229)        |
| 6.2.3 等离子弧熔炼法 .....   | (232)        |
| 6.2.4 电子束熔炼法 .....    | (234)        |



---

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 6.2.5 电渣重熔法 .....             | (236) |
| 参考文献 .....                    | (239) |
| <b>附录</b> .....               | (241) |
| 附录 1 物质的摩尔定压比热容 .....         | (241) |
| 附录 2 物质的标准生成热、标准熵、熔点、沸点 ..... | (244) |
| 附录 3 化合物的标准生成自由能 .....        | (247) |
| 附录 4 符号、术语说明 .....            | (266) |
| 附录 5 单位符号及其与旧单位的换算 .....      | (267) |
| 附录 6 表示 10 的整数倍的 SI 词头 .....  | (269) |
| <b>索引</b> .....               | (270) |