

钢铁冶金反应工程学

金培洪 韩 晔 编译

东北工学院出版社

ISBN 7-81006-312-X/TF · 14

定价: 2.72元

钢铁冶金反应工程学

金培洪 韩 晔 编译

东北工学院出版社

1991 年 · 沈阳

(辽)新登字第8号

内 容 简 介

本书是以钢铁工业发展过程为主线,从化学工程学的角度出发,论述了钢铁生产工艺过程及反应机理,并对生产中出现的某些问题,如LD转炉的喷溅、高炉的悬料等从理论上和实践上作了分析。根据大工业生产的实际数据,对有关的问题提出了具体的解决措施。主要内容包括:钢铁冶金相似模化原理、LD转炉化学工程学、高炉的炉内现象、工艺过程的计算机控制等共8章。每一章结束后,都配有例题,以促进对理论部分的理解,指导具体应用。本书是冶金院校师生一部很好的教学用书,也是冶金工程技术人员必备的参考书之一。

钢铁冶金反应工程学

金培洪 韩 晔 编译

东北工学院出版社出版发行 大连海运学院出版社印刷厂印刷
(沈阳市文化路3巷11号) (大连凌水桥)

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 9.75 字数: 219千字
1992年1月第1版 1992年1月第1次印刷
印数: 1~1300册

责任编辑: 郭爱民
封面设计: 唐敏智

责任校对: 张德喜
版式设计: 秦 力

ISBN 7-81006-312-X/TF·14

定价: 2.72元

编译者的话

近几十年来钢铁工业，不断采用新工艺、新技术，如顶底复吹技术、各种炉外精炼技术及各种新的连铸技术等。然而，应用其一新技术、新工艺并取得良好的经济效益，需要经过选题、理论论证、实验室内冷（热）态模拟实验、半工业实验、实机设计、试生产和改进后才能正式推广应用。

本书以钢铁工业的发展历程、各种新技术的采用及冶金反应机理等为主线，从工程学的角度出发，在理论和应用实践上加以定性和定量的分析。书中突出了相似模化原理及其应用，并列举了各种实例。既有理论计算，又有工业生产及实验的具体数据作对比，以寻求理论和实际的偏差原因。

本书除第二章中增加了相似定理及国内平炉挡渣出钢的应用实例外，其他部分是根据濑川清先生（日本工学博士）编著的《铁冶金反应工程学》修订版（日刊工业新闻社出版）全文译出。在翻译过程中，对原书中某些数字、符号及计算错误等均一一作了订正，并与原著者商榷，征得原著者的同意。原书中参考文献均在所引用处的页码下方以脚注方式列出，由于这类脚注较多，故在本书中译者不再列出。

本书由金培洪（第1, 2, 3, 7, 8章）、韩晔同志（第4, 5, 6章）翻译，最后由金培洪同志整理、校阅并定稿。

在本书的翻译过程中，得到姜茂发博士的大力支持，在此表示谢意。

编译者

1990年11月

修订版前言

初版发行后已近 10 年了。在此期间，在技术方面，由技术引进型向技术独创型方向发展。高炉向超大型化发展，平炉消失，LD 转炉已进入全盛时期。因此，从初版的内容看，存在很多与时代不相称的内容。修订版充实了因次分析、模型实验、半工业实验的理论部分，而有关平炉的内容几乎全部删掉，其他部分也补充以全新的内容。

著 者

1977 年 3 月

中文版前言

我的著作《铁冶金反应工程学》能译成中文在中国出版，我感到非常光荣。本书如能对中国冶金界的同事有所帮助，将是我最大的荣幸。

金先生等人在翻译过程中，对原书中的一些错误之处所做的订正，我逐一查对过。感谢金先生来信与我共同商榷及为提高本书质量所做的努力。

祝事业成功！

濑川清

1990年11月14日

目 录

编译者的话

修订版前言

中文版前言

第1章 绪 论

- 1.1 化学工程学的概念 1
- 1.2 创造新技术的时代 2

第2章 因次分析与模型实验

- 2.1 因 次 5
- 2.2 相似定理 8
- 2.3 无因次项与因次分析 17
- 2.4 由因次分析整理出实验式 23
- 2.5 模型实验的相似 28
- 2.6 相似准则的应用实例 41
- 2.7 实验装置 54

第3章 生产成本和热消费量的解析

- 3.1 生产量和生产成本 63
- 3.2 冶金炉的热收支和燃料消耗 69

3.3	LD 转炉的热分析	76
3.4	高炉焦比的分析	86

第4章 间接炼铁方式和炼钢方法

4.1	炼钢的概念	101
4.2	近代炼钢法的沿革	102
4.3	炼钢方法与炼钢原料	106
4.4	未来的炼钢方法	107
4.5	LD 转炉的原理和特点	108

第5章 LD 转炉的化学工程学

5.1	钢液的运动	116
5.2	冲击坑深度	119
5.3	喷溅(Slopping)	129
5.4	LD 转炉的设计基础	136

第6章 LD 转炉的炉内反应

6.1	脱碳反应	144
6.2	钢中〔Si〕与〔Mn〕的氧化	161
6.3	脱磷反应	166
6.4	脱硫反应	182
6.5	LD 转炉炼钢中〔N〕的行为	193
6.6	高铬钢的精炼反应	198

第7章 高炉的炉内现象

7.1 炉床上的反应	209
7.2 从燃烧带到熔融带附近的炉内现象	215
7.3 矿石的还原	238
7.4 炉身附近的各种现象	254
7.5 装入物的粒度和生产率的极限	262

第8章 工艺过程的计算机控制

8.1 工艺过程控制的基本方法	271
8.2 LD 转炉的工艺过程控制	274
8.3 高炉的工艺过程控制	288

主要参考文献	296
--------------	-----

第1章 绪 论

在修订新版之际，充实了因次分析和模型实验的基础理论部分，但作为全书，对 LD 转炉和高炉仍尝试用化学工程学的解析方法。

考虑到有关转炉和高炉的知识还不充分以及原大纲的错误，此次努力做到准确地掌握有关炉内现象的全部基础概念。因此，不仅对解析方法，实际上对原理概念也做了系统地整理。为了加深理解，书中尽可能多地列举实例。

1.1 化学工程学的概念

化学工程学是一门用于设计的学科。它原是化学工业为了设计设备而产生的一门工程学科，也可以说是机械工程学科之一。可是，化学工程学自引进了钢铁冶炼技术之后，操作和现象的解析等是作为一种手段而被采用的。以钢铁冶炼为例，其设备规模是很庞大的，一旦设备定型后，就很难变更了。因此，利用化学工程学作为设计基础是很难的。另外，以前依赖引进国外技术，有必要对引进技术及工艺过程进行分析，而化学工程学就是为其服务的。但现在，钢铁冶炼技术也迫切需要从根本上进行改变，必须开发新的工艺过程。化学工程学原本是作为设备工程学、设计工程学基础的一门学科，也可以说，它在钢铁冶炼方面也占有很高的地

位。

化学工程学可以利用种种手段。如反应速度、(物质移动、热移动、流体力学、因次分析等，都是重要的基础)。这些方法很早就被应用在钢铁冶金技术方面。1955年，曾经用过高炉的炉内现象解析方法，并发表了很多有意义的论文。在适合于用化学工程学进行研究的场合，进行模型实验和教学模型研究时，能得以准确的模拟。这些方法能最大程度地发挥效用，是在很多未知因素的场合，以及与其分析现存的工艺过程不如开发新的工艺过程的场合，将此再归总到化学工程学的基础是有效的利用方法。从某种意义上讲，现在已是必须对化学工程学在钢铁冶炼方面的重要性给予重新认识的时代。

1.2 创造新技术的时代

现在是在变革的时代，为适应新的社会需要，就要求革新技术，(而利用化学工程学是很有效的手段。)到目前为止，对以不同形式存在的钢铁冶炼技术，应给予重新认识。那么，从技术史的角度来看，我们当前正处在一个什么样的时代呢？

18世纪末，欧洲发生了以动力机械为中心的产业革命。进入20世纪，美国就形成了高生产、高消费的经济体系。当前，我们又迎来了技术大变革时期。由于资源的枯竭和货源的国家主义、环境污染的产生等，人们正在考虑进入超技术的产业社会。在日本也有这种情况，人们还未理解应由技术引进型向技术自由创造型发展。在钢铁冶炼技术方面，对工艺过程的基础如不给予重新认识，将会处于被动局

面。在这样的时代，对具有不同观点的化学工程学的重要性应重新认识。为了能对上述问题充分地认识，让我们来回顾一下技术史的变迁过程吧。

1.2.1 技术史的变迁

1. 产业革命时代 (18—19 世纪中期)

这个时代以瓦特的蒸气机为代表，是动力的机械化时代。以此为契机，英国开始了产业革命，并向全欧洲发展。

2. 继续产业革命的时代 (19 世纪)

资本主义的确立，使各种技术已完备。在钢铁方面，高炉、平炉、转炉和电炉等各种冶炼设备也很完备。

3. 高生产率时代 (20 世纪 30 年代以后)

以美国为主导，建立了合理化、大型化、连续化和自动化的高生产率技术体系，并由熟练劳动向机械化方向发展。不仅美国，世界上许多国家也进入了高生产、高消费的时代。

4. 迷惑的未来

高生产、高消费已接近于全球规模，资源、环境等问题都将成为重要的研究课题。可以说，现在已经到了产业工作者必须重新认识这一问题的时候了。必须对经济上应具有的规模及随之而来的技术发展方向进行新的探索。因此，为适应新的社会需要，必须去创造新的独创的技术。从这种意义上讲，技术工作者所应完成的任务没有比当前更重要了。

1.2.2 钢铁技术的变迁

1. 技术的萌芽时期 (1700 年以前)

是以德意志为中心的用木炭高炉炼铁的时代。

2. 钢铁间接冶炼方式的确立时期 (1700—1900 年)

从 1700 年开始使用焦炭高炉，而酸性平炉、贝塞麦转炉也于 1870 年投入生产。碱性平炉、托马氏转炉也于 1870 年诞生，电炉在 1900 年也投入使用。这样，现在的钢铁冶炼技术体系几乎是以同样方式完成的。

3. 高生产率生产方式的发展时期 (1900 年以后)

以美国为中心，高生产率生产方式定型化，并开始向大型化、合理化和自动化方向发展。从轧机方面看，下决心向省力化和连续化方向发展。不久，在世界各地广泛发展起来。例如，作为临海的日本钢铁厂，是以典型的最新技术装备起来的大钢铁厂，但其技术体系的基础仍是采用欧洲的间接冶炼方式，只是在高生产率、合理化方面更前进了一步。

4. 当前所面临的问题

现在，资源问题、环境问题都已成为全社会最关心的问题，以至于达到了震撼整个经济体系的程度。因此，就要求产生带有根本性的新技术。18—19 世纪，欧洲曾创造了间接的钢铁冶炼方式。进入 20 世纪以后，美国在大型化、合理化方面已达到了顶点。而现在是要要求诞生新技术的时候了。新技术必须适应新的社会需要，并对以前的间接钢铁冶炼方式的技术体系进行彻底的改造。

[对引用的数值、符号的说明]

本书中所引用的反应热、比热和热容量等数值，系选自日本钢铁协会和学术振兴会共同编写的数值表。本文没有记入其他符号。

成分表示法：液态金属成分用 [%C]，[%Si]，或 [C]，[Si] 等表示。渣中成分表示为 (%FeO)，(FeO) 等。

第2章 因次分析与模型实验

对实验数据进行整理并归纳出经验公式，因次分析是便利的手段，但不能用于理论解析。根据不同的场合，为了整理数据和较容易地整理实验式，这种方法是可以采用的。）

对于某一现象，为了研究其各主要因素之间的关系，用与实物系统不同的简单的替代系统做实验，据此推断在实物系统中将引起的现象，模型实验就是这样一种方法。）例如研究汽车发生碰撞时乘车人的受伤情况，因不能用人去做实验，而使用与人完全相似的模型（人型）做实验。人型的关节等部位完全与人相似是必要的，但脸型完全相似就没有必要。应视实验的目的来决定是否相似。像做上述实验的场合，就能使用因次分析和类似的考虑方法。这对于得到正确的实验结果是一种便利的手段。

2.1 因 次

2.1.1 单 位

对于所有的特性，应该能用某些单位来表示其数量。否则，对实验数据的整理和分析将带来不便，欲归纳出实验式也是困难的。

以长度单位[L]，质量单位[M]，时间单位[T]为基本单位。这三个单位相互独立，相互之间不能进行换算。在基本

单位以外仍有很多单位，如能量、力、热量和速度等的单位，这些单位均可用基本单位的组合来表示。以速度为例，可用 $[L]/[T]$ 表示。像这样的组合单位，叫做导出单位，它与基本单位是不同的。

1. 绝对单位

上述的 $[L]$ ， $[M]$ ， $[T]$ 的基本单位系叫做绝对单位系。必要时，温度的单位也可列入基本单位系。如果力以 $[MLT^{-2}]$ 的形式表示，则力可由绝对单位系表示出。这样，各导出单位如果用同一单位系表示，则单位换算将是非常方便的（从英制单位向国际单位的换算等）。

2. 重力单位系

在工业上，重力单位系是经常使用的单位系。其基本单位以长度 $[L]$ ，力 $[F]$ ，时间 $[T]$ 表示。必要时，温度 $[\theta]$ 也被列入。不言而喻，这些基本单位是相互独立的。在绝对单位系里，力 $[F]$ 虽然是导出单位，但在重力单位系里，可用作基本单位。

3. 热量单位系

在处理有关热问题的场合下，用长度 $[L]$ ，热量 $[Q]$ ，时间 $[T]$ ，温度 $[\theta]$ 作为基本单位是方便的，这个单位系叫做热量单位系。在其他单位系里 $[Q]$ 是导出单位，但在热量单位系里 $[Q]$ 就成了基本单位，而作为基本单位的 $[M]$ 和 $[F]$ 被取代而不再使用。表 2-1 是以因次的形式用上述 3 种单位系表达的各种物性。

2.1.2 因次的统一

无论是理论还是实验式，要表达其各种因素间的关系时，式中各项必须以有关的基本单位统一的因次表示。例

如，重量和长度是不能直接进行比较的。

在研究管内流体流动的系统时，若系统内外无能量交换，则能量守恒定律成立。这叫做伯努利方程。

表 2-1 3 种单位系的物性因次比较

各 种 物 性	绝 对 单 位 系				重 力 单 位 系				热 量 单 位 系			
	[L]	[M]	[T]	[θ]	[L]	[T]	[θ]	[F]	[L]	[T]	[θ]	[Q]
力	1	1	-2	0	0	0	0	1	-1	0	0	1
运动量	1	1	-1	0	0	1	0	1	-1	1	0	1
应力或压力	-1	1	-2	0	-2	0	0	1	-3	0	0	1
功或能量	2	1	-2	0	1	0	0	1	0	0	0	1
功 率	2	1	-3	0	1	-1	0	1	0	-1	0	1
杨氏模量或弹性系数	-1	1	-2	0	-2	0	0	1	-3	0	0	1
表面张力	0	1	-2	0	-1	0	0	1	-2	0	0	1
粘性系数	-1	1	-1	0	-2	1	0	1	-3	1	0	1
热 量	2	1	-2	0	1	0	0	1	0	0	0	1
比 热	2	0	-2	-1	2	-2	-1	0	2	-2	-1	0
反应热或潜热	2	0	-2	0	2	-2	0	0	2	-2	0	0
热传导度	1	1	-3	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	-1	1
焓	2	1	-2	-1	1	0	-1	1	0	0	-1	1
气体常数 R	2	0	-2	-1	2	-2	-1	0	2	-2	-1	0
玻尔兹曼常数 K	2	0	-2	-1	2	-2	-1	0	2	-2	-1	0
斯忒番-玻尔兹曼常数 δ	0	1	-3	-4	-1	-1	-4	1	-2	-1	-4	1

$$\frac{u^2}{2g+h+p/\rho g} = \text{定值} \quad (2-1)$$

式中 u ——流速， (LT^{-1}) ；

g ——重力加速度， (LT^{-2}) ；