



“十二五”国家重点图书

冶金流程 集成理论与方法

Theory and Method of
Metallurgical Process Integration

殷瑞钰 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

TJ-4
2014008

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
“十二五”国家重点图书

冶金流程 集成理论与方法

Theory and Method of
Metallurgical Process Integration

殷瑞钰 著



北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2013

图书在版编目(CIP)数据

冶金流程集成理论与方法/殷瑞钰著. —北京: 冶金工业出版社, 2013. 10

ISBN 978-7-5024-6141-6

I. ①冶… II. ①殷… III. ①黑色金属冶金—生产过程—研究 IV. ①TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013) 第 064989 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

组 稿 张 卫 责任编辑 李 梅 于昕蕾 美术编辑 李 新

版式设计 孙跃红 责任校对 卿文春 刘 倩 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6141-6

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2013 年 10 月第 1 版, 2013 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 24.75 印张; 296 千字; 371 页

69.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

序

殷瑞钰院士是我国著名的钢铁冶金学者，具有坚实的学科理论基础与丰富的生产组织、管理经验。殷瑞钰院士曾任唐山钢铁公司副总经理、总工程师、河北省冶金厅厅长、冶金工业部总工程师、副部长及钢铁研究总院院长等职。不管在什么岗位上，他都执著地致力于推动钢铁工业的技术进步与生产装备的现代化。他的突出贡献之一，是在 20 世纪 90 年代担任冶金工业部主管科技和生产的副部长时，紧紧抓住连铸技术在中国的推广应用不放，仅用了十年时间就使许多大、中型骨干钢铁企业都实现了全连铸化，全国的连铸比，从 25% 猛增到 87% 以上，从而缩小了我国钢铁工业与世界先进水平的差距，也大大提高了钢铁的收得率，使整个生产流程发生了革命性的变化。

众所周知，钢铁冶金生产是一个典型的流程工业，从铁矿石、焦煤、石灰石等主要原材料入厂，到各种钢材的产出，需要经过相互衔接的诸多生产环节和各种熔炼、加工设备。以往的冶金工程学，是将这一生产流程，用还原论的思维方法分割成炼铁、炼钢、铸锭（坯）和轧钢、热处理等工序，并分别采取孤立的或是封闭系统的方法加以理论研究和论述。毋

庸置疑，就各个装置或工序过程的化学反应和物理相变的局部、个体（如铁矿石还原、脱碳炼钢、凝固相变、锻轧形变与冷却相变等）而言，需要有经典热力学的定向指导，但是这种微观的静止思维方法对于现代化大型钢铁生产流程解析与集成管理极不适应，其结果往往造成不同工序、各种装置之间的各自为政、互不协调。正因为此，不得不在许多连续生产的工序（高炉、连铸、连轧机组）与间歇式生产的装置（炼钢炉、开坯机等）之间设置“缓冲器”，如混铁炉、钢水保温炉、均热炉等。更有甚者，当分厂、车间、工序因生产节奏不协调而发生混乱与矛盾时，不得不通过车间和厂部的调度员来进行人为的干预和“仲裁”。但是，如果从钢铁生产流程动态运行的宏观物理本质和规律而言，贯穿始终的是物质流、能量流与信息流。这三个“流”的集成、配置与交互作用的结果，不但完成了钢铁产品的生产，也必然影响到整个流程的顺畅程度（生产节奏的快慢与劳动生产率的高低），还体现出各种要素的利用效率（物耗、能耗、土地、资金投入），乃至产品质量和对环境的影响。殷瑞钰院士在深入研究钢铁生产流程中“三流”动态交集、合理转换的基础上，提出了新一代钢铁生产流程应具有三大功能，即低成本、高效率洁净钢的生产平台、清洁高效的能源转化器及能吸纳消融大宗社会废弃物的无害化处理过程。这一全新的资源节约型和

环境友好型钢铁生产理念，已在首钢搬迁后的曹妃甸京唐钢铁公司的设计、建设、运行中得以体现，第一次打破了我国钢铁厂设计传统照抄、照搬国外某厂的模式，也改变了以单体生产装置的产能来静态“拼图”，凑成一个零乱而不流畅的生产系统的钢铁厂设计方法。

由此可见，钢铁冶金工业流程中的诸多问题，都可凝练、提升到流程中物质流、能量流、信息流的合理配合、集成作用的高度来加以分析、解决。而这一新的工程思维逻辑不但可应用于流程优化控制，还应贯穿于钢铁冶金工程的规划、钢铁厂设计、冶金生产的动态运行和管理，以及用于钢铁工业全生命周期的评估方法，从而更加科学、合理地评价其对自然、社会环境的影响。

殷瑞钰院士正是本着上述的理念与精神，在近十年里，对冶金流程的集成理论与解析方法进行了前瞻性的、缜密的思考与研究，并在此基础上提出了：流程动态运行的概念与理论基础；钢铁制造流程动态运行的基本要素与特征分析；钢厂的动态精准设计和集成理论。除此以外，还结合实际进行了若干案例分析，提出新一代钢铁制造流程。上述成果皆集成于本书中。

回顾 60 年来几代钢铁冶金工作者的奋斗历程，中国已从当年的“手无寸铁”（1949 年产钢仅 19 万

吨，不到当年世界钢产量的千分之一），发展成为世界的钢铁生产大国（年产7亿多吨，占世界钢产量46%左右），但中国的钢铁工业也因此成了资源与能源消耗高、污染排放大的“众矢之的”。要从根本上改变社会对钢铁工业的看法，就必须建设资源节约型与环境友好型的钢铁工业，而这恐怕不是简单地若干污水处理厂、废气净化装置和固体废弃物填埋场所能解决的。必须从源头治理，从新的流程入手，把钢铁厂转变成具有“优质钢材生产线—高效率能源转化器—社会废弃物消纳者”等三个功能的新型流程工业，只有这样，钢铁工业才能实现可持续发展。殷瑞钰院士所著《冶金流程集成理论与方法》就是这一转变的基本理论与指导思想。可以毫不夸张地说，此书是他对21世纪中国钢铁工业发展的一个新的重大贡献。

本书可作为高等院校钢铁冶金专业师生的教学参考书，并可供设计、研究单位的中高级科技人员，以及钢铁生产企业的管理者进修之用。

徐匡迪

二〇一三年二月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
冶金流程工程学(第2版)	65.00
高炉生产知识问答(第3版)	46.00
矿热炉机械设备和电气设备	45.00
铌微合金化高性能结构钢	88.00
含铌钢板(带)国内外标准使用指南	138.00
电弧炉炼钢工艺与设备(第2版)	35.00
电弧炉短流程炼钢设备与技术	270.00
电炉炼钢原理及工艺	40.00
电炉炼锌	75.00
电炉炼钢除尘与节能技术问答	29.00
现代电炉炼钢生产技术手册	98.00
现代电炉炼钢理论与应用	46.00
现代电炉炼钢操作	56.00
电炉钢水的炉外精炼技术	49.00
现代电炉炼钢工艺及装备	56.00
电炉炼钢问答	49.00
转炉炼钢问答	29.00
转炉炼钢生产	58.00
氧气转炉炼钢工艺与设备	42.00
转炉钢水的炉外精炼技术	59.00
转炉炼钢工	49.00
转炉干法除尘应用技术	58.00
转炉护炉实用技术	30.00
转炉炼钢实训(第2版)	30.00
轧钢设备维护与检修	28.00
轧钢机械知识问答	30.00
轧钢机	79.00
轧钢生产基础知识问答(第3版)	49.00
轧钢机械设备维护	45.00
稀有金属真空熔铸技术及其设备设计	79.00
平板玻璃原料及生产技术	59.00
金属表面处理与防护技术	36.00
金属固态相变教程(第2版)	30.00

目 录

第1章 绪论	1
参考文献	12
第2章 流程动态运行的概念和理论基础	13
2.1 过程系统及其基本概念	14
2.1.1 流程制造业	14
2.1.2 过程的时空尺度	16
2.1.3 过程和流程	17
2.2 过程工程与流程工程	19
2.2.1 工程与工程科学	19
2.2.2 过程工程学	22
2.2.3 流程工程学	23
2.3 流程系统动态运行的物理本质	24
2.3.1 关于制造流程的特征	25
2.3.2 钢铁制造流程动态运行的本质和功能	26
2.4 流程系统动态运行过程及其物理层次	29
2.4.1 流程系统动态运行过程的物理特征	29
2.4.2 三类物理系统	30
2.5 热力学的发展进程	33
2.5.1 从热机学到热力学	34
2.5.2 热力学系统的分类	35
2.5.3 不可逆性	38

2.5.4 稳定态的演变过程——近平衡区	39
2.5.5 线性不可逆过程	42
2.6 开放系统和耗散结构	43
2.6.1 何谓耗散结构	43
2.6.2 耗散结构的特征	46
2.6.3 耗散结构的形成条件	47
2.6.4 涨落、非线性相互作用与工程系统自组织	50
2.6.5 临界点与临界现象	54
参考文献	58
第3章 钢铁制造流程动态运行的基本要素	60
3.1 制造过程中的“流”——物质流、能量流、 信息流	60
3.2 物质流与能量流的关系	64
3.3 物质流/能量流与信息流	71
3.4 流程“网络”	73
3.4.1 “网络”是什么	73
3.4.2 怎样研究“网络”	73
3.5 流程运行的程序	76
3.6 动态有序运行结构内的耗散	78
3.6.1 “流”的形式和耗散	78
3.6.2 运行节奏和耗散	81
3.6.3 工序功能分布和耗散	82
3.7 时间在钢铁制造流程中的表现形式及其内涵	83
3.8 制造流程动态运行的内容和目标	89
3.8.1 认知思路	89
3.8.2 学科研究内容	90
3.8.3 战略性研究目标	90

参考文献	91
第 4 章 钢铁制造流程动态运行特征及分析	92
4.1 流程动态运行的研究方法	92
4.1.1 视野和理念的变化	92
4.1.2 研究流程工程的方法	94
4.2 流程系统动态运行与结构优化	95
4.2.1 流程系统与结构	95
4.2.2 钢厂结构的内涵和结构调整的趋势	97
4.2.3 流程宏观运行动力学机制和运行规则	98
4.2.4 动态运行与流程结构优化的关系	100
4.3 流程的自组织与信息化他组织	104
4.3.1 系统的自组织与他组织	104
4.3.2 钢铁制造流程中的自组织现象	105
4.3.3 流程集成过程中的自组织与他组织	106
4.3.4 信息/信息化对自组织和他组织的作用	107
4.4 物质流动态运行与时空管理	109
4.4.1 时间动态调控与动态运行 Gantt 图	109
4.4.2 洁净钢概念与高效率、低成本洁净钢 生产平台	112
4.4.3 高效率、低成本洁净钢生产平台与 动态运行 Gantt 图	115
4.4.4 钢厂生产过程物质流的“层流式”或 “紊流式”运行	117
4.5 钢铁制造流程中的能量流功能、行为与 能量流网络	120
4.5.1 对钢铁制造流程物理本质和运行 规律的再认识	121

4.5.2 过程能量流研究方法 with 特点	122
4.5.3 钢厂中的“能量流” with “能量流网络”	124
4.5.4 钢铁制造流程中能量流的宏观运行动力学 ...	128
4.5.5 能量流网络 with 能源中心	129
参考文献	131
第5章 钢厂的动态精准设计和集成理论	132
5.1 设计的传统 with 现状	133
5.1.1 如何认识设计	134
5.1.2 设计理论与设计方法概况	135
5.1.3 中国钢厂设计理论与方法现状	137
5.2 关于工程设计	141
5.2.1 工程 with 设计	141
5.2.2 工程设计创新观	144
5.2.3 工程设计与知识创新	147
5.2.4 工程设计与动态精准	149
5.3 钢铁厂设计理论与设计方法	152
5.3.1 钢厂设计理论、设计方法创新的背景	153
5.3.2 钢厂设计的理论、概念 with 方向	157
5.3.3 钢厂设计方法的创新的 path	164
5.3.4 钢厂制造流程动态-有序运行过程中 的动态耦合	167
5.3.5 钢厂制造流程的能量流网络	179
5.4 钢厂的动态精准设计	183
5.4.1 传统的钢厂设计 with 动态精准设计的区别	184
5.4.2 动态精准设计流程模型	188
5.4.3 动态精准设计方法的核心思想 with 步骤	193
5.5 集成 with 结构优化	197

5.5.1 关于集成与工程集成	198
5.5.2 关于钢厂结构	202
参考文献	207
第6章 案例研究	208
6.1 钢铁厂流程结构优化与高炉大型化	208
6.1.1 高炉炼铁的发展趋势	209
6.1.2 钢铁厂流程结构优化前提下的高炉大型化 ...	213
6.1.3 不同容积高炉的工艺技术装备比较	221
6.1.4 讨论	228
6.2 高炉—转炉之间的界面技术与铁水罐多功能化 ...	229
6.2.1 铁水罐多功能化总体思路简介	230
6.2.2 首钢京唐钢铁公司铁水罐多功能化的实践 ...	233
6.2.3 沙钢在铁水罐多功能化方面的实践	239
6.2.4 讨论	256
6.3 “全三脱”铁水预处理与高效率、低成本 洁净钢生产“平台”	258
6.3.1 为什么要进行铁水“三脱”预处理	259
6.3.2 “全三脱”预处理过程中的工序功能 解析-优化和工序之间关系的协同-优化	260
6.3.3 新流程的应用实例——住友金属和歌山 制铁所炼钢工厂	263
6.3.4 日本不同类型的“三脱”炼钢厂	272
6.3.5 铁水“三脱”预处理工艺在韩国的 发展动向	275
6.3.6 首钢京唐钢铁公司“全三脱”预处理 炼钢厂的设计和运行	278
6.3.7 一种设想的高效率、低成本洁净钢	

炼钢厂流程（大型全薄板生产厂）	285
6.3.8 铁水“全三脱”的理论意义和实用价值	290
6.4 小方坯铸机—棒材轧机之间界面技术优化	292
6.4.1 关于铸坯高温直接入炉的技术基础	293
6.4.2 6号小方坯连铸机—1号棒材生产线之间 铸坯高温直接入炉技术的实绩	294
6.4.3 5号小方坯铸机—2号棒材生产线之间 铸坯高温直接入炉技术的实绩	297
6.4.4 关于定重供坯的进展	299
6.4.5 讨论	302
参考文献	308
第7章 工程思维与新一代钢铁制造流程	310
7.1 工程思维	312
7.1.1 科学、技术、工程的相互关系	312
7.1.2 关于中国文化中思维方式的某些特点	316
7.1.3 从“还原论”的缺失中寻找 工程创新之路	318
7.2 工程演化	322
7.2.1 演化的概念和定义	322
7.2.2 技术进步和工程演化	324
7.2.3 集成与工程演化	327
7.3 新一代钢铁制造流程的思考和研究	329
7.3.1 钢铁制造流程的概念研究	330
7.3.2 流程顶层设计研究	336
7.3.3 流程的动态精准设计	339
7.3.4 流程整体动态运行的规则研究	341
7.3.5 关于新一代钢铁制造流程的认识	342

7.4 从工程哲学思考冶金工程学的发展方向	343
参考文献	348
后 记	349
术语索引	356
图 索 引	364
表 索 引	370

Contents

Chapter 1	Introduction	1
References		12
Chapter 2	Concept and theory of dynamic operation of the manufacturing process	13
2.1	Process system and basic concepts	14
2.1.1	Process manufacturing industry	14
2.1.2	Time-space scales of the process	16
2.1.3	Process and manufacturing process	17
2.2	Process engineering and manufacturing process engineering	19
2.2.1	Engineering and engineering science	19
2.2.2	Process engineering	22
2.2.3	Manufacturing process engineering	23
2.3	Physical essence of dynamic operation for manufacturing process system	24
2.3.1	Features of manufacturing process	25
2.3.2	Essence and functions of steel manufacturing process	26
2.4	Operation process and physical levels of dynamic process system	29
2.4.1	Physical features of process system dynamic operation	29
2.4.2	Three kinds of physical system	30

2.5	Evolution of thermodynamics	33
2.5.1	From thermomechanics to thermodynamics	34
2.5.2	Classification of thermodynamic system	35
2.5.3	Irreversibility	38
2.5.4	Evolution of stable state—the quasi-equilibrium area ...	39
2.5.5	Linearly irreversible process	42
2.6	Opening system and dissipative structure	43
2.6.1	What is the dissipative structure	43
2.6.2	Features of dissipative structure	46
2.6.3	Formation conditions of dissipative structure	47
2.6.4	Fluctuations, nonlinear interaction and self-organization of engineering system	50
2.6.5	Critical point and critical phenomena	54
	References	58
 Chapter 3 Basic elements in dynamic operation of the steel manufacturing process		
3.1	“Flow” of manufacturing process—mass flow, energy flow, information flow	60
3.2	Relationship between mass flow and energy flow	64
3.3	Mass flow/energy flow and information flow	71
3.4	Manufacturing process “network”	73
3.4.1	What is the “network”	73
3.4.2	How to study the “network”	73
3.5	Program of manufacturing process operation	76
3.6	Dissipation in dynamically and orderly operating system	78
3.6.1	“Flow” types and dissipation	78