



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13-5” GUIHUA JIAOCAI

钢铁生产概论

主 编 孙斌煜

副主编 张芳萍 杨小容



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

内容简介



普通高等教育“十三五”规划教材

钢铁生产概论

主 编 孙斌煜

副主编 张芳萍 杨小容

北京

冶金工业出版社

2017

内 容 简 介

本书按照钢铁大生产工艺流程分三大模块系统地描述了炼铁生产、炼钢生产和轧钢生产的全流程。在炼铁生产模块中主要涉及炼铁技术发展概况、铁矿粉造矿、高炉炼铁和炼铁新技术；在炼钢生产模块中主要涉及炼钢技术发展概况、炼钢任务、炼钢基本原理、氧气转炉炼钢、电弧炉炼钢、炉外精炼、连铸和炼钢新技术；在轧钢生产模块中主要涉及轧钢生产概述、轧制原理、管板型线生产和轧钢新技术。

本书适合高等学校非冶金专业的学生教学用书，也可作为冶金工程专业的学生进行普及钢铁冶金基本知识的教学用书。对从事冶金行业的管理人员也是一本实用的专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁生产概论/孙斌煜主编. —北京:冶金工业出版社, 2017.9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7596-3

I. ①钢… II. ①孙… III. ①炼钢—高等学校—教材
IV. ①TF7

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第233288号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbcs@cnmp.com.cn

责任编辑 常国平 美术编辑 彭子赫 版式设计 禹蕊

责任校对 禹蕊 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7596-3

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
2017年9月第1版,2017年9月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;13.5印张;327千字;201页

36.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027926

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)



前 言

本书是按照高等学校冶金工程专业学科目录和冶金工程概论教学大纲编写的普通高等教育“十三五”规划教材。与国内外同类书比较其主要特点有：(1) 系统地介绍钢铁生产的现状、最新前沿研究热点问题，利用最新、最充分的数据及事例介绍钢铁工业当前发展概况和今后的发展趋势；(2) 采用了最新有关冶金工艺与设备国家标准术语，规范了冶金工程对某一事物的客观描述；(3) 增加了每一章的学习要点、本章小结和复习思考题，有利于学生自学与复习，巩固所学内容；(4) 深入浅出地引出有关钢铁冶金基本原理、冶金生产工艺流程、特点以及相关的知识以及冶金专业的知识架构等内容；(5) 在轧钢生产环节内容有所增强，更加详细、全面、系统。

本书共分炼铁生产、炼钢生产和轧钢生产三大模块，分别介绍了炼铁技术发展概况、铁矿粉造矿、高炉炼铁、炼铁新技术、炼钢技术发展概况、炼钢任务、炼钢基本原理、氧气转炉炼钢、电弧炉炼钢、炉外精炼、连铸、炼钢新技术、轧钢生产概述、轧制原理、管材生产、板材生产、型材和线材生产的工艺与设备、轧钢新技术等有关专业知识。

本书适合作为高等学校非冶金专业（工科、理科、经管、文法、体育）的学生进行普及钢铁冶金基本知识教学用书，也可作为冶金工程专业的学生入门普及有关知识教学用书，对从事冶金行业的管理人员也是一本实用的专业参考书。

本书由太原科技大学孙斌煜教授主编，张芳萍和杨小容副主编。第14章、16~19章由孙斌煜编写，第8~10章、15章由张芳萍编写，第5~7章由杨小容编写，第3、4章由赵爱春编写，第11~13章由李海斌编写，第1、2章由李怡宏编写。在编写过程中，研究生范超、乔东洋、汪宇等同学在图形处理等方面做了大量工作；任志峰博士在复校第8~10章、第15章时提出许多宝贵意见，在此一并表示由衷的感谢。

本书在编写和出版过程中，得到了太原重型机械协同创新中心的经费资助，得到太原科技大学重点教研项目（项目编号：201502）和太原科技大学材

料科学与工程学院 2015 年重点教研项目资助，在此表示衷心的感谢。此外，本书在编写过程中还参考了国内外公开发表的文献资料，编者向有关作者和出版社表示诚挚的谢意。责任编辑常国平在本书编辑和出版过程中付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评、指正。

编 者

2017年6月

目 录

第一篇 炼铁生产

1 炼铁技术的发展概况	1
1.1 炼铁工业发展史及生产工艺现状	1
1.1.1 炼铁工业发展史	1
1.1.2 炼铁工业现状	3
1.2 炼铁技术经济指标的发展情况	4
1.2.1 高炉利用系数和作业率	4
1.2.2 焦比、煤比和燃料比	4
1.2.3 热风温度	5
1.2.4 炼铁工序能耗	6
1.3 炼铁工业中的先进技术	7
1.3.1 高炉煤气的全干法除尘	7
1.3.2 具有我国知识产权的顶燃式热风炉	7
1.3.3 高炉大型化和流程优化	8
1.3.4 高炉薄壁炉衬	9
1.3.5 高炉检测新技术	9
1.4 炼铁工业的发展动向	10
1.4.1 炼铁生产工艺	10
1.4.2 炼铁生产规模	10
1.5 未来炼铁生产面临的挑战	12
本章小结	13
复习思考题	13
参考文献	13
2 铁矿粉造矿	14
2.1 铁矿粉造块的意义和目的	14
2.2 铁矿粉造块的要求	14
2.2.1 烧结矿	15
2.2.2 球团矿	16

2.3 粉矿造矿的工艺	17
2.3.1 烧结法造矿	17
2.3.2 球团法造矿	19
本章小结	21
复习思考题	21
参考文献	21
3 高炉炼铁	22
3.1 高炉炼铁概述	22
3.1.1 高炉炼铁工艺流程及炉内主要过程	22
3.1.2 含铁原料及其他辅助原料	25
3.1.3 高炉燃料	28
3.1.4 高炉产品	31
3.2 高炉炼铁的生产原则	32
3.3 高炉冶炼过程的物理化学	33
3.3.1 蒸发、分解与气化	33
3.3.2 还原过程	34
本章小结	37
复习思考题	37
参考文献	37
4 炼铁新技术	38
4.1 高炉炼铁新技术	38
4.1.1 高炉大型化和自动化	38
4.1.2 计算机控制技术	41
4.1.3 高炉信息化	44
4.1.4 高炉冶炼低硅生铁	44
4.1.5 高炉煤气的余压利用	45
4.1.6 等离子体炼铁	46
4.1.7 高炉使用金属化炉料	46
4.1.8 高炉喷吹还原气体	46
4.1.9 原子能在炼铁中的应用	47
4.2 非高炉炼铁	47
4.2.1 非高炉炼铁技术及发展现状	48
4.2.2 我国发展非高炉炼铁技术的前景	51
本章小结	51
复习思考题	51
参考文献	51

第二篇 炼钢生产

5 炼钢技术的发展概况	53
5.1 转炉炼钢技术的发展	53
5.1.1 转炉炼钢发展概述	53
5.1.2 转炉炼钢技术发展的进程	54
5.1.3 现代转炉炼钢的重大技术	55
5.2 电弧炉炼钢技术的发展	59
5.2.1 电弧炉炼钢发展概述	59
5.2.2 电弧炉炼钢高效化技术发展	60
5.2.3 电弧炉炼钢技术的洁净化发展	61
5.2.4 电弧炉炼钢生产技术进展	61
本章小结	62
复习思考题	62
参考文献	62
6 炼钢任务	64
6.1 钢与生铁的区别	64
6.2 转炉炼钢的基本任务	64
6.2.1 脱碳、脱硫、脱磷和脱氧（“四脱”）	64
6.2.2 去除有害气体和夹杂物（“二去”）	65
6.2.3 调整钢液成分和温度（“二调整”）	66
6.2.4 凝固成型	66
6.2.5 废钢、炉渣返回利用	66
6.2.6 回收煤气、蒸汽	67
本章小结	68
复习思考题	68
参考文献	68
7 炼钢的基本原理	69
7.1 炼钢炉渣	69
7.1.1 炉渣的作用	69
7.1.2 炉渣的来源	69
7.1.3 炉渣的组成	70
7.2 铁、硅、锰的氧化	70
7.2.1 熔池内氧的来源	70
7.2.2 铁的氧化和杂质的氧化方式	70

7.2.3	硅的氧化	70
7.2.4	锰的氧化	71
7.3	碳的氧化	71
7.3.1	碳氧反应的意义	71
7.3.2	碳的氧化反应	72
7.4	脱磷	72
7.4.1	脱磷的基本反应和基本条件	72
7.4.2	回磷	73
7.5	脱硫	73
7.5.1	脱硫的基本反应和基本条件	73
7.5.2	气化去硫	73
7.5.3	钢液中元素去硫	74
7.6	脱氧及合金化	74
7.6.1	脱氧的目的	74
7.6.2	各种元素的脱氧能力	74
7.6.3	脱氧方法	75
7.7	钢中的气体	75
7.7.1	钢中气体对钢性能的影响	75
7.7.2	钢中气体的来源	76
7.7.3	减少钢中气体的基本途径	76
7.8	钢中的非金属夹杂物	76
	本章小结	76
	复习思考题	76
	参考文献	77
8	炼钢原材料	78
8.1	金属料	78
8.1.1	铁水(生铁块)	78
8.1.2	废钢	79
8.1.3	铁合金	79
8.2	炼钢辅助材料	80
8.2.1	造渣材料	80
8.2.2	氧化剂	81
8.2.3	冷却剂	82
8.2.4	增碳剂	82
8.2.5	气体	83
8.3	炼钢用耐火材料	83
8.3.1	转炉用耐火材料	83
8.3.2	转炉炉衬	84

本章小结	84
复习思考题	85
参考文献	85
9 氧气转炉炼钢	86
9.1 氧气顶吹转炉炼钢法	86
9.1.1 氧气顶吹转炉炼钢特点	86
9.1.2 钢的冶炼过程	88
9.1.3 转炉吹炼过程金属成分的变化规律	89
9.1.4 熔池内炉渣成分的变化规律	91
9.1.5 熔池温度的变化规律	92
9.1.6 氧气顶吹转炉炼钢工艺	92
9.2 底吹氧气转炉炼钢法	96
9.2.1 底吹氧气转炉结构特点	96
9.2.2 底吹氧气转炉炉内反应	96
9.3 顶底复合吹炼转炉炼钢法	98
9.3.1 顶底复合吹炼转炉炼钢法的类型	99
9.3.2 复合吹炼转炉少渣冶炼	99
本章小结	100
复习思考题	100
参考文献	100
10 电弧炉炼钢	101
10.1 电弧炉炼钢概述	101
10.1.1 电弧炉炼钢特点	102
10.1.2 电弧炉炼钢技术的发展	103
10.1.3 电弧炉炼钢操作方法	104
10.2 传统电弧炉炼钢工艺	105
10.2.1 补炉	105
10.2.2 装料	106
10.2.3 熔化期	106
10.2.4 氧化期	108
10.2.5 还原期	108
10.2.6 出钢	109
10.3 现代电弧炉炼钢工艺	109
10.3.1 快速熔化和升温操作	110
10.3.2 脱磷操作	110
10.3.3 脱碳操作	110
10.3.4 合金化	110

10.3.5	温度控制	111
10.3.6	泡沫渣操作	111
	本章小结	111
	复习思考题	112
	参考文献	112
11	炉外精炼	113
11.1	概述	113
11.2	炉外精炼的主要目的和任务	113
11.2.1	主要目的	113
11.2.2	主要任务	114
11.2.3	炉外精炼手段	114
11.3	炉外精炼主要方法	114
11.3.1	钢包炉精炼法 (LF 法)	114
11.3.2	真空吹氧脱碳法 (VOD 法)	116
	本章小结	117
	复习思考题	117
	参考文献	117
12	连铸技术	119
12.1	连铸机主要设备	119
12.1.1	浇钢设备	119
12.1.2	连铸机本体设备	119
12.1.3	引锭杆	121
12.2	连铸生产工艺	122
12.2.1	钢水出钢温度	123
12.2.2	钢水温降	123
12.2.3	浇铸温度	123
12.2.4	拉速的确定和控制	124
12.3	连铸的生产准备	125
12.3.1	中间包的准备	125
12.3.2	引锭的生产准备工作	125
12.3.3	开浇前的检查工作	125
12.4	基本作业技术指标	126
12.4.1	连铸钢水成分相关指标	126
12.4.2	钢水温度控制	127
12.4.3	中间包液面控制	127
	本章小结	127
	复习思考题	127

参考文献	127
13 炼钢新技术	128
13.1 中国炼钢技术发展的主要成就	128
13.1.1 转炉装备日趋大型化	128
13.1.2 大幅度提高钢的纯净度	128
13.1.3 “负能炼钢”的发展	129
13.1.4 实现负能生产的工艺措施	129
13.2 炼钢技术的创新发展	130
13.2.1 减渣护炉与长寿复吹转炉工艺技术	130
13.2.2 转炉高效吹炼工艺技术	131
13.2.3 电炉兑铁水高效冶炼工艺	132
13.2.4 节能与环保技术的发展	132
13.2.5 展望	133
本章小结	133
复习思考题	134
参考文献	134
第三篇 轧钢生产	
14 轧钢生产概述	135
14.1 钢材品种和用途	135
14.1.1 板带材	135
14.1.2 管材	137
14.1.3 型材	137
14.1.4 线材	139
14.2 轧钢生产系统	139
14.2.1 板带材生产系统	140
14.2.2 管材生产系统	140
14.2.3 型材生产系统	141
14.2.4 线材生产系统	141
14.2.5 混合生产系统	141
14.2.6 合金钢生产系统	141
14.3 我国轧钢生产现状及轧钢技术的发展趋势	142
14.3.1 我国轧钢生产现状	142
14.3.2 轧钢技术的发展趋势	142
本章小结	145
复习思考题	145

参考文献	146
15 轧制原理	147
15.1 变形区主要参数	147
15.1.1 轧制变形区及其主要参数	147
15.1.2 轧制变形的表示方法	149
15.2 咬入条件	149
15.3 轧制过程的建立	150
15.4 金属在变形区内各不同横断面上的流动速度	150
15.5 中性角的确定	151
15.6 稳定轧制条件	153
15.7 前滑和后滑	154
15.7.1 轧制时的前滑与后滑	154
15.7.2 影响前滑值的因素	155
15.8 轧制过程的宽展	155
15.8.1 宽展及其实际意义	155
15.8.2 宽展分类	156
15.8.3 影响宽展的因素	156
本章小结	157
复习思考题	158
参考文献	158
16 钢管生产	159
16.1 无缝钢管生产工艺	159
16.1.1 自动轧管生产工艺	159
16.1.2 连续轧管生产工艺	160
16.1.3 三辊轧管生产工艺	162
16.1.4 周期轧管生产工艺	163
16.1.5 挤压管生产工艺	164
16.2 焊管生产	164
16.2.1 直缝焊管生产工艺	164
16.2.2 螺旋焊管生产工艺	164
本章小结	165
复习思考题	165
参考文献	165
17 板带钢生产	166
17.1 中厚板生产	166
17.1.1 轧机类型及配置	166

17.1.2 中厚板生产工艺	167
17.2 热轧带钢生产工艺	170
17.3 冷轧带钢生产工艺	172
17.3.1 冷轧板带钢生产方法	173
17.3.2 冷轧带钢联合机组	174
本章小结	175
复习思考题	175
参考文献	175
18 型钢和线材生产	176
18.1 型钢生产工艺	176
18.1.1 型钢生产的特点	176
18.1.2 型钢生产的方法	177
18.2 线材生产工艺	181
18.2.1 线材生产的特点	181
18.2.2 线材轧机的布置	181
18.2.3 线材生产工艺	181
本章小结	185
复习思考题	185
参考文献	185
19 轧钢生产新技术	187
19.1 以节能降耗为目标的新技术	187
19.1.1 连铸坯热送热装技术	187
19.1.2 棒线材直接轧制技术	187
19.1.3 采用先进的加热炉和加热技术	188
19.1.4 低温轧制与轧制润滑技术	188
19.1.5 氧化铁皮控制技术	188
19.2 以提高产品性能、质量为目标的新技术	189
19.2.1 TMCP 技术	189
19.2.2 “ μ -TMCP”技术的开发与应用	190
19.3 无头轧制和半无头轧制新技术	191
19.3.1 概述	191
19.3.2 薄带钢无头轧制生产线 Arvedi ESP 生产线	191
19.4 薄板坯连铸连轧技术	192
19.5 薄带铸轧技术	193
19.5.1 宝钢薄带铸轧技术	193
19.5.2 东北大学薄带铸轧技术	194
19.6 板坯复合轧制复合板、厚板技术	195

19.7 钢管生产新技术	195
19.7.1 三辊联合穿轧新工艺	195
19.7.2 三辊斜连轧新工艺	195
19.7.3 三辊连轧管机组生产线技术开发	196
19.8 轧钢装备现代化	197
19.8.1 我国自主开发大型宽带钢冷轧生产线工艺装备技术	197
19.8.2 计算机生产过程管理技术	197
19.8.3 我国自主开发钢板滚切剪技术	197
本章小结	200
复习思考题	200
参考文献	201

炼铁生产

1

炼铁技术的发展概况

本章学习要点

本章主要学习炼铁工业的生产现状以及发展动向，近年来中国炼铁的先进技术等。要求熟悉炼铁工业的发展史，了解我国炼铁工业存在哪些挑战，知道我国炼铁工业与世界先进水平之间的差距，掌握炼铁过程的技术经济指标。

1.1 炼铁工业发展史及生产工艺现状

1.1.1 炼铁工业发展史

从1949年中华人民共和国成立到20世纪80年代初，是中国炼铁工业奠定基础的阶段。新中国成立前的旧中国，钢铁工业十分落后，1949年新中国成立时，中国钢年产量只有15.8万吨，生铁年产量仅为25万吨。经过3年的生产恢复，1952年中国的钢、铁、材产量都创造了新纪录。

20世纪50年代中期以前，中国炼铁主要学习前苏联技术，其间扩建了鞍钢，新建了武钢、包钢。在“大跃进”年代，本钢总结出高炉高产经验，提出了“以原料为基础，以风为纲，提高冶炼强度与降低焦比并举”的操作方针，中国炼铁技术开始进入探索进程。

60年代初的国民经济调整期，大批高炉停产，生产中的高炉则维持低冶炼强度操作。1963~1966年，中国自主开发了高炉喷吹煤粉、重油以及钒钛磁铁矿冶炼等技术，技术经济指标达到新中国建立以来的最好水平。“文革”时期中国钢铁工业受到沉重打击，出现“10年徘徊”的局面。经过改革开放约30年的曲折发展，中国初步奠定了钢铁工业的基础，1980年中国生铁产量达到3802万吨。

以1985年投产的宝钢一期工程为标志，20世纪80年代起中国炼铁进入学习国外先进

技术阶段。“文革”结束后，党的十一届三中全会拨乱反正，以经济建设为中心，实施改革开放政策，引进国际先进技术，使中国钢铁工业进入发展新阶段。以宝钢建设为契机，消化吸收宝钢引进的炼铁技术并移植推广，对促进中国炼铁系统的技术进步起了很好的示范和推动作用。

20世纪80~90年代，中国钢铁企业进行了大规模的扩建和技术改造，采用先进的技术装备，在原燃料质量改进和高炉操作方面也有很大进步，高炉技术经济指标有很大改善。1994年，中国生铁产量达到9741万吨，成为世界第一产铁大国。

1996年以来，中国钢铁产量一直保持世界首位。进入21世纪，中国炼铁技术发展进入自主创新阶段。近十几年来，中国钢铁工业以更高的速度发展。

2013年，中国粗钢产量为7.79亿吨，占世界粗钢产量的48.5%；生铁产量为7.0897亿吨，占世界生铁总产量的61.1%。这一时期，以中国自主创新设计建设的京唐5500m³高炉为标志，中国炼铁技术进入自主创新阶段。

至2016年，世界粗钢产量为16.285亿吨，其中，中国大陆为8.08亿吨，占世界粗钢产量份额从2015年49.4%提高至2016年49.6%。

图1-1所示为1949年以来中国生铁产量的变化，曲线的斜率明显反映了上述3个阶段的差别。炼铁技术的发展和生铁产量的变化是同步的，分别经历了三个阶段：（1）从1949年到70年代末，是中国炼铁工业奠定基础阶段；“文革”结束后，党的十一届三中全会拨乱反正，明确了以经济建设为中心，实施改革开放政策，由此，中国钢铁工业进入发展的新阶段。（2）80年代初中国已陆续引进了欧美和日本的当代先进工艺技术。1985年建成投产的宝钢1号高炉是中国炼铁进入学习国外先进技术阶段的重要标志。（3）进入21世纪以来，中国钢铁产量以更高的速度增长。2016年，中国生铁产量达到7.07亿吨，已占世界总产量的60.95%，进入了自主创新阶段。

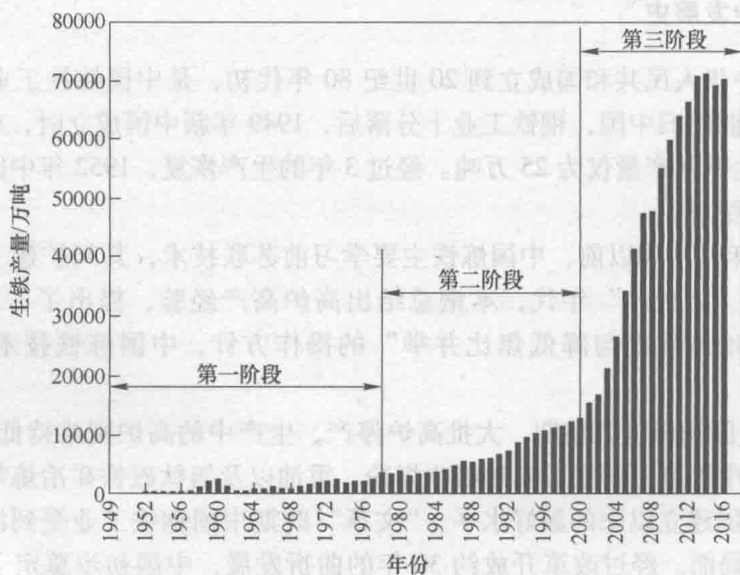


图 1-1 1949~2016 年中国生铁产量