

张力减径技术

ZHANGLI JIANJING JISHU

孙斌煜 张芳萍 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

内 容 简 介

本书介绍了世界和我国钢管生产的基本状况、我国张力减径技术的发展历程、张力减径技术的基本理论、张力减径孔型设计、钢管定减径和张力减径过程产生的缺陷和质量控制办法、张力减径过程的计算机仿真技术等有关知识。本书可供从事钢管设备设计、工艺研究的本科生使用,也可供从事钢管生产的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

张力减径技术/孙斌煜,张芳萍著. —北京:国防工业出版社,2012.10

ISBN 978-7-118-08440-5

I. ①张... II. ①孙... ②张... III. ①钢管—连续轧制—张力减径—研究 IV. ①TG335.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 257530 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 8 $\frac{3}{4}$ 字数 240 千字

2012 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

总 序

2012年,太原科技大学将迎来60周年华诞。值此六秩荣庆之际,我校的专家学者推出了这套学术丛书,以此献礼,共襄盛举。

六十年前,伴随着新中国的成立,伟业初创,百废待兴,以民族工业为先锋的社会主义现代化建设蓬勃兴起,太原科技大学应运而生。六十年来,几代科大人始终心系民族振兴大业,胸怀制造强国梦想,潜心教书育人,勇担科技难题,积极服务社会,为国家装备制造行业发展壮大和社会主义现代化建设做出了积极贡献。四万余名优秀学子从这里奔赴国民经济建设的各个战场,涌现出一大批杰出的科学家、优秀的工程师和知名的企业家。作为新中国独立建设的两所“重型机械”院校之一,今天的太原科技大学已发展成为一所以工业为主、“重大技术装备”领域主流学科特色鲜明、多学科协调发展的教学研究型大学,成为国家重型机械工业高层次人才培养和高水平科技研发的重要基地之一。

太原科技大学一直拥有浓郁的科研和学术氛围,众位同仁在教学科研岗位上辛勤耕耘,硕果累累。这套丛书的编撰出版,定能让广大读者、校友和在校求学深造的莘莘学子共享我校科技百花园散发的诱人芬芳。

愿太原科技大学在新的征途上继往开来、再创辉煌。

谨以为序。

太原科技大学校长 郭勇义

二零一二年六月

前 言

热轧无缝钢管的生产已经历了 100 多年的历史,钢管的张力减径技术自 1932 年诞生以来也有 80 年的历史。随着国民经济和钢铁工业的大发展,热轧无缝钢管技术迎来第二次黄金快速发展期。张力减径技术在无缝钢管和焊管生产工艺过程中对钢管的多品种和高产量发展起到了关键作用,特别是在无缝钢管连轧管技术出现后,微张力减径和张力减径技术随之得到了飞速的发展,在焊管机组、挤压机组、单机座轧管机和多机架连轧管机组后面都配备了张力减径机组或微张力(定)减径机组。我国目前钢管产量占到了世界钢管总产量的 50% 左右,引进的世界先进的钢管生产技术和设备促进了我国钢管生产装备国产化的进程,拥有了世界上最多、最先进的钢管生产线。但是,多年来没有一部专门介绍张力减径技术理论和设备的专著,因此,作者将 30 多年来对张力减径技术及设备的研究成果总结汇集于此书,系统地介绍张力减径技术的基本理论知识,包括张力减径技术的孔型设计、钢管定减径和张力减径过程中产品缺陷产生机理和钢管质量的控制办法、张力减径过程的计算机仿真技术及钢管定减径设备,同时还介绍了世界钢管生产的基本状况和我国张力减径技术的发展历程。本书希望为从事钢管设备的设计、工艺研究和生产的工程技术人员以及教学科研人员提供有用的帮助。

本书的第一、二、三、五章和附录由孙斌煜编写,第四、六章和第七章由张芳萍编写,全书由孙斌煜统稿。

出版本书正值太原科技大学 60 周年华诞,为母校献上一份绵薄之礼,并衷心祝愿母校春华秋实正当时,桃红李艳满天下,汇校友豪情壮志,续写壮丽的篇章。

本书是作者多年来从事冶金机械专业科研和教学工作的总结,限于作者的业务和理论水平,书中有不妥之处敬请读者批评指正。

本书的出版得到了太原科技大学建校 60 周年专项出版基金的资助。在编写过程中,得到了太原科技大学学校领导、材料科学与工程学院、科技产业处和教育部重型机械工程研究中心领导的大力支持,得到了郝润园教授级高工、程建勋高工的大力支持和热情帮助,在读研究生也参与了本书部分插图的绘制工作。本书的出版还得到国防工业出版社的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。

作者

目 录

第一章 钢铁工业生产的发展概况	1
1.1 全球钢铁工业发展总体概况	1
1.1.1 全球钢铁工业发展历史和现状	1
1.1.2 全球钢铁工业发展趋势	6
1.2 中国钢铁工业发展总体概况	10
1.2.1 中国钢铁工业发展历史	10
1.2.2 中国钢铁工业发展趋势	12
参考文献	17
第二章 钢管行业及张力减径技术的发展概况	18
2.1 钢管行业发展概况	18
2.1.1 全球钢管行业的发展概况	19
2.1.2 我国钢管行业的发展概况	25
2.2 张力减径机技术的发展概况	38
2.2.1 张力冷减径机技术的起源及发展	38
2.2.2 中国张力减径技术在无缝钢管生产过程的发展概况	41
2.2.3 张力冷减径技术的发展概况	54
2.2.4 张力热减径技术在焊管中应用的发展概况	55
参考文献	60
第三章 定减径理论	63
3.1 轧制塑性变形理论的研究方法	63

3.1.1	工程计算法	63
3.1.2	滑移线场法	64
3.1.3	极限分析法	64
3.1.4	塑性有限元法	65
3.1.5	能量法	65
3.1.6	用黏性流体动力学研究轧制理论	66
3.1.7	边界元法	66
3.1.8	有限条元法	66
3.1.9	人工神经网络技术	67
3.1.10	无网格方法	67
3.1.11	数值流形方法	68
3.1.12	讨论	69
3.2	纵轧定减径变形原理	70
3.2.1	基本概念	70
3.2.2	张力减径时金属流动的变形力学传统算法	73
3.2.3	张力减径时金属流动的变形力学现代算法	83
3.3	斜轧张力减径变形原理	90
3.3.1	无张力定减径变形分析	91
3.3.2	微张力斜轧定减径变形	97
3.4	张力减径过程的力能参数	100
3.4.1	定减径和张力减径时的轧制压力	100
3.4.2	金属塑性变形抗力的影响因素	102
3.4.3	张减轧制温度变化数学模型	105
3.4.4	张力减径过程中的轧制力矩	107
3.4.5	张力减径过程中的驱动功率	109
3.4.6	现代力能参数的计算方法	110
3.4.7	张减过程变形区几何参数确定	112
	参考文献	117
第四章	张力减径孔型设计	120
4.1	孔型系列的划分	120

4.2	减径量的分配	121
4.3	机架数的确定	123
4.3.1	机架数	123
4.3.2	各机架出口钢管的直径和相对减径率	124
4.4	孔型设计	125
4.4.1	选用孔型的一般原则	125
4.4.2	张力减径机孔型的基本参数	125
4.4.3	孔型设计常用基本公式	126
4.4.4	传统的孔型设计方法	127
4.4.5	椭圆孔型设计方法	128
4.4.6	圆孔型设计方法	129
4.5	钢管壁厚的确定	130
4.6	轧辊转速的计算	131
4.7	轧件出口速度的计算	132
4.7.1	根据轧辊转速计算	132
4.7.2	根据轴向对数应变 φ_l 计算	132
	参考文献	133

第五章 钢管定减径和张力的减径过程产生的缺陷和质量

	控制办法	134
5.1	钢管定减径和张力的减径过程产生的缺陷	134
5.1.1	钢管内孔不圆的问题	134
5.1.2	钢管外圆出现青线的问题	138
5.1.3	管端增厚的问题	139
5.1.4	断管的问题	145
5.1.5	堆钢的问题	145
5.1.6	麻面的问题	146
5.2	减少和避免热轧(微)张力减径的缺陷和事故的措施	147
5.2.1	建立减少和避免热轧(微)张力减径的缺陷和 轧卡的操作规程	147
5.2.2	采用自控方法减少和避免热轧(微)张力减径的	

缺陷和事故的措施	148
5.3 TMCP(控轧控冷)技术在钢管轧制中的应用设想	150
参考文献	152
第六章 张力减径过程的计算机仿真	153
6.1 金属塑性变形抗力数学模型	153
6.1.1 变形抗力的概念	153
6.1.2 应用计算机计算的金属塑性变形抗力数学模型	154
6.2 张减上限元模型的建立	155
6.2.1 上限元法介绍	155
6.2.2 矩形单元动可容速度场的建立	159
6.2.3 矩形单元的上限功率	162
6.2.4 三角形单元动可容速度场的建立	165
6.2.5 三角形单元的上限功率	170
6.2.6 总上限功率的优化	177
6.3 钢管张减过程的上限元分析	178
6.3.1 单元划分及计算程序	178
6.3.2 速度场优化	180
6.3.3 总能耗率泛函的最小化	181
6.3.4 收敛判定	182
6.4 张减计算机仿真系统简介	184
6.4.1 软件开发环境——可视化 BASIC 语言(Visual Basic)	184
6.4.2 系统功能及基本参数	187
6.4.3 软件组成与结构	189
6.5 实例分析	191
6.5.1 仿真界面概述	191
6.5.2 数据的输入	192
6.5.3 仿真结果曲线的输出	193
6.5.4 孔型图的输出	197
6.6 计算结果精度分析	198

参考文献	199
第七章 定减径设备	200
7.1 概述	200
7.2 减径机的基本原理	202
7.2.1 荒管经过轧辊时的尺寸变化	202
7.2.2 过去的和现行的设计方法	204
7.3 减径机设计的基础	206
7.3.1 减径量的分配	206
7.3.2 工作半径	211
7.4 张力减径机的传动形式	213
7.4.1 单独传动系统	214
7.4.2 集中差速传动系统	214
7.4.3 串联集中差速传动系统	217
7.4.4 混合传动系统	219
7.5 张力减径机传动系统的结构选择	220
7.6 张力减径机的结构	222
7.6.1 工作机架	222
7.6.2 轧机上机架的装设	229
7.6.3 工作机架的换辊	230
7.6.4 现代机架更换装置	233
7.6.5 回转定径机	238
7.6.6 定径机	238
参考文献	243
附录 钢管生产工艺常用的缩略词	245
参考文献	258

第一章 钢铁工业生产的发展概况

1.1 全球钢铁工业发展总体概况

1.1.1 全球钢铁工业发展历史和现状

钢铁材料是工业的“粮食”，是各行各业经济建设和人们日常生活不可或缺的基础功能材料，是人类科技进步所依赖的重要物质基础，是国民经济建设过程重要的基础产业，在经济建设和社会发展过程中起着十分重要的作用。钢铁工业生产技术水平往往是衡量一个国家国防和科学技术综合实力、现代化水平的重要标志，因此也是一个国家的国民经济支柱产业。

纵观全球百年来钢铁工业发展史，大体经历了以下四个阶段（参见图1-1）：

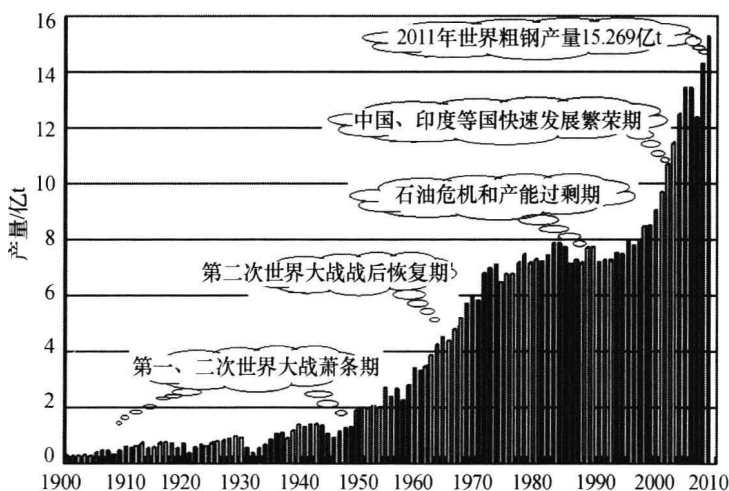


图 1-1 1900 年—2011 年世界粗钢产量走势图

第一个阶段(1900年—1946年)是世界钢铁工业长达50年的萧条期。这期间发生了第一次世界大战(1914年8月—1918年11月),它是一场主要发生在欧洲但波及到全世界的世界大战,当时世界上大多数国家都卷入了这场战争,是欧洲历史上破坏性最强的战争之一。战争过程主要是同盟国和协约国之间的战争。这期间又发生了全球性的经济危机,接着爆发了第二次世界大战(1939年9月—1945年9月),以德国、意大利、日本法西斯等轴心国(及保加利亚、匈牙利、罗马尼亚等国)为一方,以反法西斯同盟和全世界反法西斯力量为另一方进行的第二次全球规模的战争。从欧洲到亚洲,从大西洋到太平洋,先后有61个国家和地区、20亿以上的人口被卷入战争,作战区域面积2200万平方公里。第二次世界大战最后以美国、苏联、中国、英国等反法西斯国家和世界人民战胜法西斯侵略者赢得世界和平与进步而告终。但使全球钢铁工业生产受到严重影响,而钢铁的产量主要集中于西方发达资本主义国家,其中美国当时的钢产量约占到全球钢产量的45%。

第二个阶段(1947年—1972年)是第二次世界大战后恢复期。由于战后重建,对钢铁产品需求大增,经历了约25年世界钢铁产量年均递增16%的高速恢复发展期,由原来的2亿t/年猛增到1972年接近6亿t/年。其中日本以13.4%的年均速度高速增长,日本钢铁工业以大型化、连续化和自动化为核心技术建设了一批大型的钢铁联合企业,实现了规模生产、低成本和高质量的目标,取代美国成为世界第一钢铁大国。

第三个阶段(1973年—1999年)是世界石油危机和产能过剩期。在中东战争中,阿拉伯石油生产国为了打击以色列及其支持者,把石油作为捍卫国家主权、收复失地和反对霸权主义的战略武器,采取减产、提价、禁运以及国有化等措施等开展了一场震撼世界的石油斗争,影响了钢铁工业的正常发展。另一方面由于第二次世界大战恢复期每年钢铁增量远大于市场实际需求消耗量,引发了长达近30年的修复调整期。但在这一阶段调整期却涌现出许多现代化的炼钢技术、连铸连轧新技术,使世界钢铁工业技术水平和装备水平进入了崭新的时代,总产量虽然没有大的增加,但冶金工艺整体技术水平和产品的质量却有了

一个大的飞跃。先进产钢的国家,如日、美、韩等加速了钢铁工业的结构调整,优化了钢铁工业产品结构。这一时期,中国钢铁工业快速发展,产量从1978年的3178万t增长到一亿t以上。20世纪90年代后期,全球钢铁生产过剩,钢铁工业经济效益降低,国际钢铁市场竞争加剧。

第四个阶段(2000年—2011年)是中国、印度、东南亚等国家和地区的发展繁荣期。这是由于^[1]:①中国进入工业期发展阶段。②中国进入城市化推进过程阶段,作为一个农业大国,提高城镇化水平是经济发展的必然之路。与已完成工业化国家达到钢材消费峰值时的城镇化率比较还有很大差距。中国城镇化发展,大大拉动了钢材的需求。③国民消费结构进入升级换代阶段,促进了中国经济的快速发展,中国建筑行业、汽车工业和钢铁工业高速增长。④制造业向中国转移,由于中国劳动力价格低廉,近年来,外资在中国的投资呈增长态势,其中投向制造业的占很大比重,这带来了钢材新的需求。⑤印度有丰富的铁矿石和煤炭资源,品位高、分布集中,已经探明的铁矿石储量有72亿t之多,国家限制原矿出口。⑥印度城镇化率接近30%,发展空间巨大。⑦由于印度经济建设的快速发展,加大了对钢铁的需求,预计2012年底达到1.3亿t,超过日本,位居世界第二。

无论美、英,还是德、法、俄等发达国家在经历工业化革命过程中,当时无一不体现具有强大的钢铁工业基础背景。然而,从20世纪70年代末美、英、德、法等发达国家便开始“去工业化”历程,一度减弱了对钢铁工业的支持。以美国钢铁产量为例,由约1.1亿t/年下降到0.6亿t/年左右,将对于环境有影响的行业向发展中国家转移。另一方面大力支持本国淘汰落后产能,发展冶金新技术,实行兼并重组,因此,美、德、日钢铁工业仍然处于世界先进行列。

根据国际钢铁协会的统计数据显示,2011年全球粗钢产量15.27亿t,同比增长6.8%,其中全球64个主要产钢国家和地区粗钢总产量为14.9亿t,同比增长6.8%;欧盟27国粗钢产量为1.77亿t,同比增长2.8%;独联体产量为1.12亿t,同比增长4.0%;北美产量为1.19亿t,同比增长6.8%;南美产量为4836万t,同比增长10.2%;非洲产量为1397万t,同比下降14.1%;中东产量为2033万t,同比增长

7.1% ;亚洲产量为 9.54 亿 t(其中中国 2011 年的粗钢产量为 6.955 亿 t, 同比增长 8.9%),同比增长 7.9%。表 1-1 给出了 2006 年至 2011 年期间全球前十名国家的粗钢产量。

表 1-1 2006 年至 2011 年期间全球前十名国家的粗钢产量

(单位:千万 t)

排名	国家	2011(P)	2010	2009	2008	2007	2006	2011/2010
1	中国	695.5	638.7	577.1	512.3	489.7	421	8.9
2	日本	107.6	109.6	87.5	118.7	120.2	116.2	-1.8
3	美国	86.2	80.5	58.2	91.4	98.1	98.6	7.1
4	印度	72.2	68.3	63.5	57.8	53.5	49.5	5.7
5	俄罗斯	68.7	66.9	60	68.5	72.4	70.8	2.7
6	韩国	68.5	58.9	48.6	53.6	51.5	48.5	16.2
7	德国	44.3	43.8	32.7	45.8	48.6	47.2	1
8	乌克兰	35.3	33.4	29.9	37.3	42.8	40.9	5.7
9	巴西	35.2	32.9	26.5	33.7	33.8	30.9	6.8
10	土耳其	34.1	29.1	25.3	26.8	25.8	23.3	17

2011 年,全球前 20 大钢厂的粗钢产量总计 6.46 亿 t,占世界粗钢产量的 42%,与 2010 年占比相当。表 1-2 给出了 2008 年至 2011 年期间全球前 20 大钢铁公司的粗钢产量、排名及年度产钢变化率。

表 1-2 2008 年至 2011 年世界前 20 大钢厂粗钢产量排名

(单位:百万 t)

公司名称	2011		2010		变化率/%	2009		2008		变化率/%
	名次	产量	名次	产量		名次	产量	名次	产量	
安赛乐米塔尔集团	1	91.9	1	90.6	1.4	1	91.9	1	90.6	1.4
河北钢铁集团有限公司	2	71.1	2	33.3	114	2	71.1	2	33.3	114
鞍钢集团公司	3	46.2	4	40.3	14.6	3	46.2	4	40.3	14.6

(续)

公 司 名 称	2011		2010		变化 率/%	2009		2008		变化 率/%
	名次	产量	名次	产量		名次	产量	名次	产量	
宝钢集团 有限公司	4	43.3	3	44.5	-2.7	4	43.3	3	44.5	-2.7
武汉钢铁 (集团)公司	5	37.7	5	36.5	3.29	5	37.7	5	36.5	3.29
浦项钢铁公司	6	37.3	6	35.4	5.4	6	37.3	6	35.4	5.4
新日铁制铁公司	7	33.3	7	34.5	-3.5	8	24.3	2	35.6	-31.7
江苏沙钢 集团公司	8	31.9	9	30.1	6.0	7	26.4	10	23.3	13.3
首钢京唐钢铁联 合有限责任公司	9	30.0	10	25.8	16.3	12	17.3	22	12.2	41.8
日本钢铁工程 控股公司(JFE)	10	29.9	8	31.1	-3.9	9	23.5	6	33.0	-28.8
山东钢铁集团 有限公司	11	24.0	12	23.2	3.4	11	21.3	12	21.8	-2.3
印度塔塔 钢铁公司	12	23.8	11	23.5	1.3	10	21.9	8	24.4	-13.5
美国钢铁公司	13	21.9	13	22.2	-1.4	15	15.2	10	23.3	-34.8
巴西盖尔道 钢铁公司	14	19.6	15	17.8	10.1	19	13.5	14	19.6	-31.1
渤海钢铁集团 有限公司	15	19.2	16	17.4	10.3					
德国蒂森克 虏伯集团	16	17.9	17	16.7	7.2	22	11	17	16	-31.3
美国纽柯 钢铁公司	17	17.7	18	16.5	7.3	17	13.9	13	20.4	-32.0

(续)

公 司 名 称	2011		2010		变化 率/%	2009		2008		变化 率/%
	名次	产量	名次	产量		名次	产量	名次	产量	
俄罗斯耶弗拉兹集团	18	16.8	19	16.3	3.1	14	15.3	16	17.7	-13.5
马鞍山钢铁集团有限公司	19	16.7	20	15.4	8.4	16	14.8	19	15.0	-1.3
意大利里瓦钢铁集团	20	16.0	23	14.0	14.3	21	11.32	14	18.03	-37.2
谢韦尔钢厂			18	9.55		13	16.7	15	19.2	-13.0
印度钢铁管理局有限公司			14	10.57		18	13.6	21	13.7	-0.1
湖南华菱钢铁股份有限公司						20	11.8	25	11.3	4.4

在2011年世界前20大钢铁厂家排名中,中国钢厂入围最多,有10家,其中6家位居前10位,4家排名进入前5名。2010年世界前20大钢铁厂家排名中,中国钢厂入围有9家,其中6家位居前10位,4家排名进入前5名。而在2009年世界前20大钢厂排名中,亦有9家中国钢厂入围,其中5家进入前10位。

1.1.2 全球钢铁工业发展趋势

一、几次钢铁生产地域大转移

最早在18世纪英国发生了工业革命,成为“世界工厂”,当时英国最高钢铁产量达0.28亿t,占全球80%的份额。19世纪20年代钢铁生产重心由“东”向“西”转移,即由英国转移到美国,1885年英国钢产量390万t,美国170万t。但到1890年美国的钢产量达1427.7万t,超过英国800万t,此后一直到1970年的80年间美国钢铁生产一直位居全球第一。当时钢铁产量占到全球粗钢产量的30%~60%,20世纪50年代美国粗钢产量达到1亿t,到1973年美国粗钢产量达到最高峰

1.36 亿 t。20 世纪 70—90 年代,世界钢铁工业打破了垄断局面,钢铁生产重心由“西”向“东”转移,由于日本采用了先进的冶金工艺和设备大型化、连续化和自动化规模化生产,钢铁工业迅速崛起,1973 年粗钢产量突破 1 亿 t,取代美国成为全球第一。同时由于地区经济发展不平衡,亚洲、非洲、拉丁美洲的中国、韩国、印度、巴西、土耳其、伊朗等国的钢铁工业蓬勃发展,逐渐成为重要的钢铁生产国,由日本向中国、韩国、印度等国转移。1996 年中国粗钢产量超过 1 亿 t,并首超日本,之后一直稳居世界粗钢产量第一,截止到 2011 年已经连续 15 个年头。2011 年中国钢铁产量达 6.995 亿 t,占到世界钢铁总产量的 45%。印度、东南亚、巴西和俄罗斯由于国民经济发展势头很猛,下一个世界钢铁工业重心将会转移到这些国家,图 1-2 给出了世界钢铁工业几次重心转移示意图。

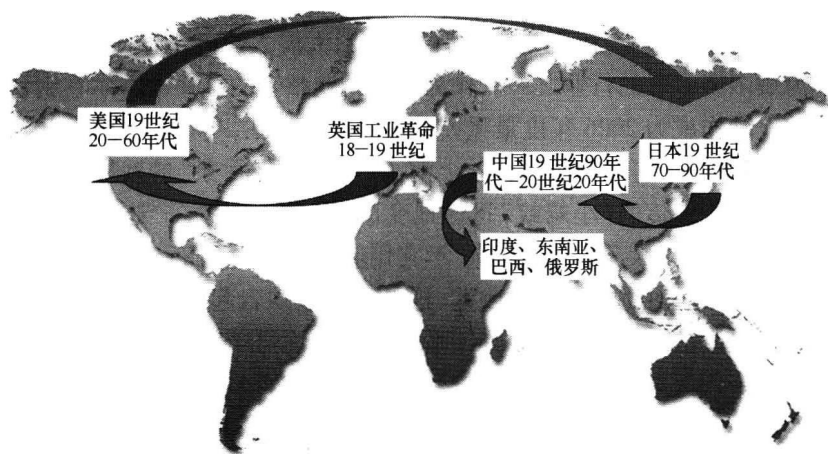


图 1-2 世界钢铁工业生产重点转移示意图

二、由内陆地域向临海地域迁移

一般钢铁企业建厂的基本原则是经济效益最大化原则。所以最早钢铁企业建厂的基本原则是邻近铁矿矿山或邻近煤矿建厂,如我国的包头钢铁公司(简称包钢)、鞍山钢铁公司(简称鞍钢)、武汉钢铁公司(简称武钢)、印度的塔塔钢铁集团公司、法国洛林区 and 俄罗斯马格尼托哥尔斯克,这样可以有效降低物流成本。这对钢铁企业生产成本核