

薄板坯连铸连轧

(第2版)

田乃媛 编著



冶金工业出版社

薄板坯连铸连轧

(第 2 版)

田乃媛 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2004

内 容 提 要

本书共分8章,包括薄板坯连铸连轧工艺、薄板连铸坯的轧制、薄板坯连铸连轧工艺的产品现状及质量分析、薄板坯连铸连轧工艺的相关技术、薄板坯连铸连轧生产线上的炼钢设备、薄板坯连铸连轧流程的工程分析、薄板坯连铸连轧技术的工程投资问题等。书中详细论述了薄板坯连铸连轧工艺中的关键技术以及薄板坯连铸连轧带卷的品种和质量问题,全面介绍了CSP、ISP、FTSC、CONROLL、TSP、CPR、QSP等工艺的特点以及各工艺在薄板坯连铸连轧生产线的应用进展情况,重点介绍了我国已建成的几条生产线的近况。

本书可供与薄板坯连铸连轧技术相关的生产、科研、设计、管理及教学人员学习、参考。

图书在版编目(CIP)数据

薄板坯连铸连轧/田乃媛编著.—2版.—北京:冶金工业出版社,2004.1
ISBN 7-5024-3385-6

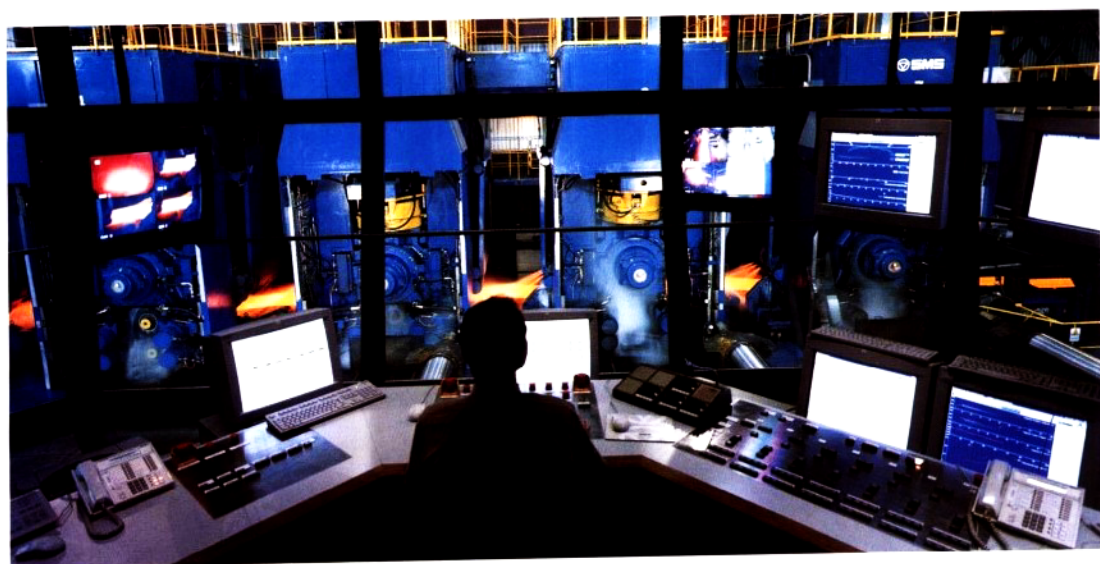
I.薄… II.田… III.①连续铸钢,薄板坯②连续轧制:薄板轧制 IV.①TF777.7 ②TG335.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第097734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 侯 刚 责任印制 牛晓波
北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销
1998年7月第1版,2004年1月第2版,2004年1月第2次印刷
787mm×1092mm 1/16; 20.5印张; 2插页; 502千字; 313页; 2001—6000册
45.00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)



西马克公司为德国蒂森－克虏伯公司提供的薄板坯连铸连轧设备——精轧机组



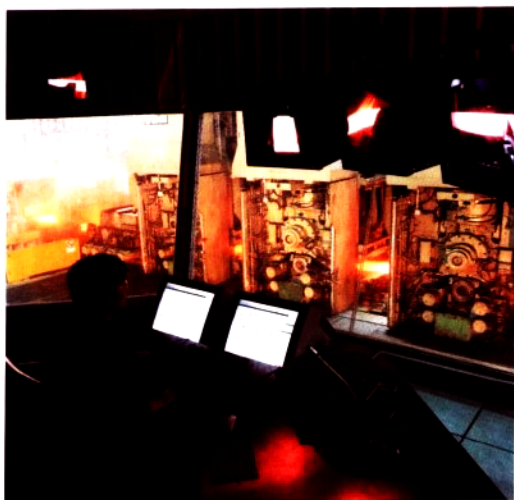
西马克公司为德国蒂森－克虏伯公司提供的薄板坯连铸连轧设备——主控室

(详见正文 68 页)

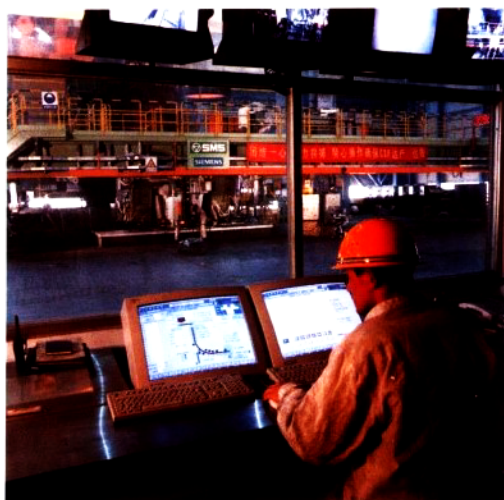
(本页图片和文字由西马克－德马格公司提供)



西马克公司为埃及亚历山大公司提供的薄板坯连铸连轧设备 (详见正文 72 页)



西马克公司为中国珠江钢铁公司提供的薄板坯连铸连轧设备主控室 (详见正文 108 页)



西马克公司为中国邯郸钢铁集团公司提供的薄板坯连铸连轧设备主控室 (详见正文 112 页)

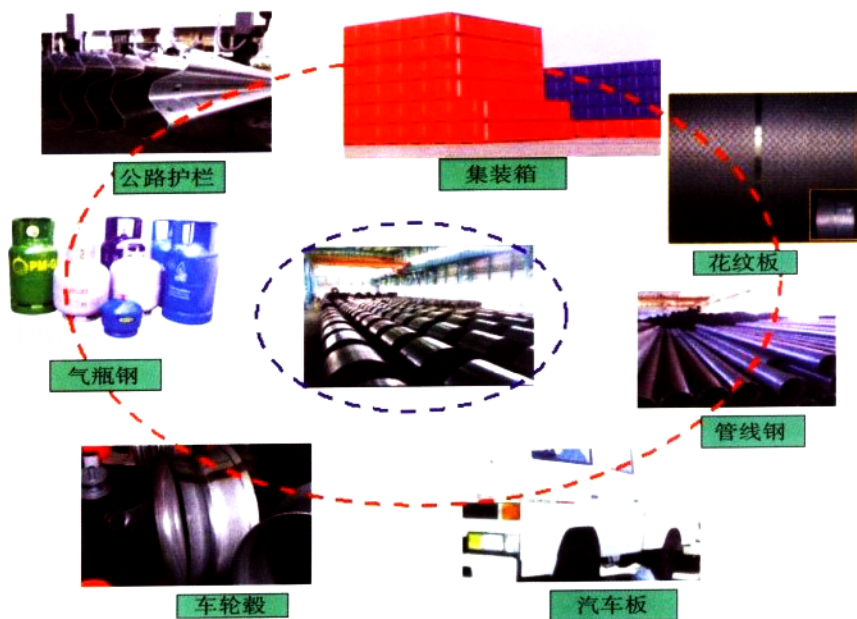
(本页图片和文字由西马克—德马格公司提供)



珠江钢厂热轧薄板生产线是国内引进的第一条 CSP 薄板坯连铸连轧电炉短流程平材生产线。

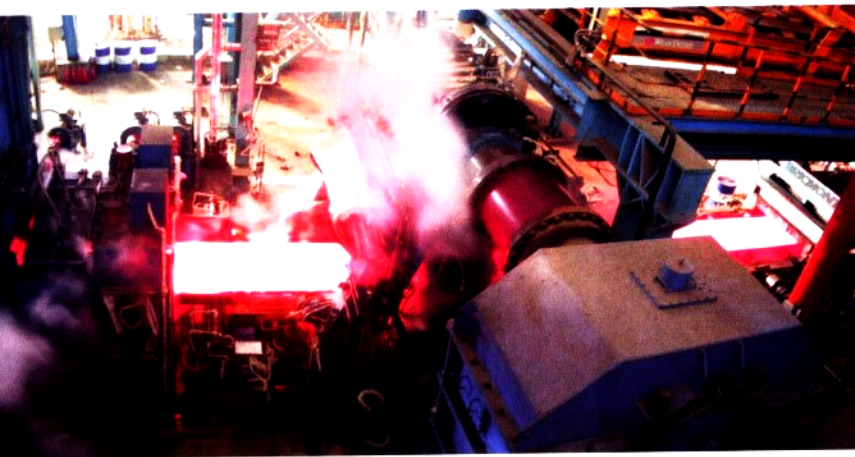
珠江钢厂拥有 150t 超高功率竖式交流电弧炉 EAF2 座, 150t 钢包精炼炉 LF2 座, 150t 真空炉 VOD1 座, CSP 薄板坯连铸机 2 套(50mm; 45~60mm, 带液芯压下), 辊底式均热炉 2 座, 6 机架热连轧机组 1 套和相应的自动控制以及配套设备。

珠江钢厂的生产能力为年产粗钢 200 万 t, 热轧带卷 180 万 t。产品主要有: 优质碳素结构钢、低合金结构钢、深冲钢、管用钢、高强度汽车用钢、气瓶钢、集装箱板、铁路用耐候钢、花纹板等一系列钢种。产品规格: 宽度为 1000~1380mm, 厚度为 1.2~12.7mm。



(详见正文 108 页)

(本页图片和文字由珠江钢厂提供)



中国唐山钢铁股份有限公司
热轧薄板厂薄板坯连铸连轧
设备热试现场



中国唐山钢铁股份有限公司热轧薄板厂
FTSC 薄板坯连铸机全景



中国唐山钢铁股份有限公司热轧薄板厂
薄板坯连铸连轧生产线精轧机组



中国唐山钢铁股份有限公司热轧薄板厂
轧机主控室

(详见正文 123 页)

(本页图片和文字由唐山钢铁热轧薄板厂提供)

第 1 版前言

薄板坯连铸连轧是当今世界钢铁冶金工业的具有革命性的前沿技术,它集科学、技术和工程为一体,将热轧板卷的生产在一条短流程的生产线上完成,充分显示出其先进性和科学性。世界各国都对此给予了极大关注,使得薄板坯连铸连轧技术近年来又有了突飞猛进的发展。

本书作者于 1993 年主编了《连续铸钢继续工程教育丛书——薄板坯连铸及热装直接轧制》一书,这是国内第一本介绍薄板坯连铸连轧的科技书。随着时间的推移,薄板坯连铸连轧技术不断完善,新的技术、新的生产线相继推出,加之我国引进三条 CSP 生产线的现状,为满足国内同行们的需要,有必要尽快地将最新的信息介绍给大家。

历经近一年的编著工作完成的《薄板坯连铸连轧》一书,系统地介绍了该技术的主体和相关技术(炼钢、精炼、连铸、连轧等);一一展示了当今世界上各类已建和在建的各条生产线,详尽地列出各种薄板坯连铸连轧工艺的工艺参数、设备配置、主要特点等,读者可从中进行分析、对比和选择;针对薄板坯表面质量这一关键问题,做了质量分析;在对薄板坯连铸连轧工艺流程优化方向和原则分析的基础上,对该技术的工程投资加以详细的解析,指出投资趋势。书中附有大量图表,读者可直观地了解各种流程的实际情况。为确保本书内容的质量,作者在编写过程中,注意所收集资料的全面性、新颖性和时效性。它的出版必将会有助于国内从事连铸工作的科研、设计、生产及教学人员吸取更多新技术,也会对未来三条 CSP 生产线的建设、投产起到积极的推动作用。

全书由田乃媛编著,其中第 3 章由北京科技大学

唐荻教授撰写。为编著此书,作者搜集了大量资料,此过程得到不少国内外企业的帮助,并曾和许多国内外专家、学者进行过交流、获益匪浅,在此深表感谢!

北京钢铁研究总院常务副院长千勇同志为本书撰写了序言,他是国内资深薄板坯连铸的专家之一,他对本书给予的肯定,令人鼓舞,在此一并表示感谢!

由于作者水平所限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

田乃媛

1998年4月

第 1 版序

工业生产流程优化的主要内容,包括流程技术(工艺、装备)的先进性,经济(规模、投资)的合理性。工业生产流程的发展决定于社会对产品的需求,并依赖于客观环境、基础条件和主观能力。合理的工艺、装备、技术组合起来的流程与企业管理水平、员工素质、资金运营水平的有机结合构成了企业的市场竞争能力。

现代科学技术的进步,市场经济的发展,钢铁工业生产由粗放型经营向集约型经营的转变,促进了连铸技术和轧制技术的发展。近终形连铸技术及热连轧技术因其经济性和合理性得到了迅速推广。近终形连铸与轧制的紧凑衔接构成了现代钢铁企业结构优化发展的方向,其典型代表是薄板坯连铸连轧。

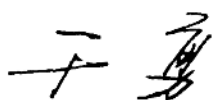
热轧带钢是钢铁工业最重要的钢材产品之一,其产量在工业发达国家中占钢材总产量的 50% 左右,因此热轧带钢生产工艺流程的不断改进和发展,对钢铁工业的技术进步和经济效益的提高具有重要的影响。

薄板坯连铸连轧是 20 世纪 80 年代末、90 年代初开发成功的生产热轧板卷的一项短流程工艺,是继氧气转炉炼钢、连续铸钢之后钢铁工业最重要的革命性技术之一,国外各钢铁大国先后投入了大量人力、物力进行了专项研究。美国纽柯公司克拉福兹维莱厂薄板坯连铸连轧生产线的成功投产,标志着热轧板卷大工业生产一代新流程的诞生。与传统生产工艺流程相比,短流程可节约投资、提高成材率、降低生产成本、大幅度缩短生产周期等。目前,世界上已建成或在建生产线已达 45 流,典型的工艺有 CSP、ISP、CONROLL、FTSRQ、TSP、CPR 等,它们使传统的热

轧带钢工艺流程受到了强烈的挑战。

田乃媛教授在深入进行薄板坯连铸连轧相关技术研究的基础上,与有经验的专家、学者共同撰写的《薄板坯连铸连轧》一书,详细论述了薄板坯连铸连轧工艺中的关键技术;全面介绍了 CSP、ISP、CONROLL、FTSRQ 等工艺的特点、现状以及与流程相适应的冶金设备;分析了薄板坯连铸连轧工艺中的金属学特点、生产钢种和产品质量水平;讨论了各工序时间、温度等因素的优化及各工序间的配合、衔接与缓冲;并对不同规模、不同流程薄板坯连铸连轧工艺的工程投资进行了综合评价,体现了作者对钢铁生产最先进流程的深刻理解和深厚、广博的专业研究水平。

本书是目前国内最为全面、系统介绍薄板坯连铸连轧技术的专业书籍,是从事冶金专业技术人员了解新技术、提高业务水平的好教材,也是从事薄板坯连铸连轧研究人员必备的参考书。本书的出版将对我国发展薄板坯连铸连轧技术起到推动和促进作用。



1998 年 1 月

第2版前言

《薄板坯连铸连轧》一书应称为“幸运儿”，因为它“生正逢时”，赶上了好时机——薄板坯连铸连轧技术在我国得到了飞速发展，在不断适应世界薄板坯连铸连轧技术进步的潮流中有所创新，形势越来越好。

作为书的作者感到欣慰的是，在薄板坯连铸连轧技术从引进开发成功到国内各生产线“雨后春笋”般建成投产，以至今天硕果累累的过程中，这本书成了广大冶金工作者研究薄板坯连铸连轧技术的启蒙教材，可以说这本书起到了它应有的作用。

当冶金工业出版社刘小峰编辑希望我修订此书时，书已断档。从内心讲，的确曾犹豫过：是否还有精力接受此项任务？因为这意味着不仅需要继续付出大量的艰辛劳动，而且需要充足的时间保证。在友人、同事的鼓励下，在众多学生的期待和帮助下，再次出行走访国内各薄板坯连铸连轧生产线，进行调研、座谈，收集了大量第一手资料。与此同时，和国外几大公司（如西马克、达涅利等）频频接触，索取最新技术资料……终于在今年4月动笔，在“非典”肆虐京城前结束了调研工作，之后的几个月给修订工作创造了条件。

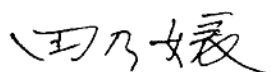
修订后的《薄板坯连铸连轧》基本保持了原来的格局，第3章薄板连铸坯的轧制仍请北京科技大学唐荻教授撰写。修订过程中，对原书不足和错误之处进行了修正，更主要的是增加了新的内容，粗略统计约占原书的1/2。其中，重点放在对国内已建成的几条生产线的全面介绍和对国外生产线的进展现状的介绍。根据读者需求，第4章篇幅扩充最多，这是因为冶金工作者们越来越关注薄板坯轧出的带卷品种和质量。面对我国已成为近年来世界上兴建薄板坯连

铸连轧生产线最多的国家,且还有一批项目在筹备中的局面,作者在项目投资以及工程实施上提出一些供参考的意见。为适应国内各企业重视与薄板坯连铸连轧相关的技术科研开发工作,还对近年来开展的科研情况做了简略介绍……尽管如此,受限于个人接触面和水平,也难以全面满足读者的需求,只愿此书的修订再版暂时做到与时俱进吧!

感谢冶金工业出版社和责任编辑又给了我一次为我国冶金工业发展贡献绵薄之力的机会,感谢所有为本书提供数据资料的国内外同行们,感谢为本书整理数据、绘制图表的学生们,感谢每一位阅读这本书的读者,恳切希望听到你们的意见和指正。

祝愿我国的薄板坯连铸连轧技术更上一层楼,祝愿我国的冶金工业兴旺发达!

北京科技大学



2003年9月

目 录

1 概述	1
1.1 近终形连铸技术的兴起	1
1.2 薄板坯连铸连轧技术的发展	3
1.2.1 薄板坯连铸连轧技术的出现	3
1.2.2 薄板坯连铸连轧技术的发展趋势	3
1.2.3 薄板坯连铸连轧技术的最新进展	6
1.2.4 薄板坯连铸连轧工艺现状	11
1.3 薄板坯连铸连轧工艺中的关键技术	17
1.3.1 结晶器及其相关装置	17
1.3.2 液芯压下技术	17
1.3.3 高压水除鳞	18
1.3.4 加热方式	18
1.3.5 精轧机架	18
1.4 薄板坯连铸连轧工艺对传统理论的突破	19
1.5 薄板坯连铸连轧技术在我国的应用前景	19
2 薄板坯连铸连轧工艺	23
2.1 薄板坯连铸连轧工艺特点	23
2.2 薄板坯连铸连轧技术的开发和研究	26
2.2.1 薄板坯厚度的选择	26
2.2.2 冶金工艺特性	28
2.2.3 薄板坯连铸机与连轧机间的 衔接匹配	40
2.3 典型的薄板坯连铸连轧工艺	40
2.3.1 CSP 工艺	40
2.3.2 ISP 工艺	75
2.3.3 FTSRQ(FTSC)工艺	85
2.3.4 CONROLL 工艺	96
2.3.5 TSP 工艺	100
2.3.6 CPR 工艺	101
2.3.7 QSP 工艺	103

2.3.8 中国薄板坯连铸连轧的技术开发与 生产线近况	105
3 薄板连铸坯的轧制	144
3.1 连轧的工艺特点	144
3.1.1 热连轧带钢生产的工艺特点	144
3.1.2 薄板坯连铸连轧的工艺特点	147
3.1.3 新旧工艺的比较和分析	151
3.2 薄板坯连铸连轧的轧钢工艺和设备	151
3.2.1 大压下高刚度的连轧技术	151
3.2.2 高精度的板形控制技术	154
3.2.3 热轧除鳞技术	162
3.2.4 宽度自动控制技术	170
3.2.5 控制冷却技术	175
3.2.6 自由规程轧制技术	180
3.2.7 热轧薄带生产技术	184
3.2.8 新型炉卷轧机	186
3.3 薄板坯连铸连轧技术的新进展	190
3.3.1 生产超薄规格的半无头轧制技术	191
3.3.2 选择适当厚度的铸坯	195
3.3.3 铁素体加工技术的应用	196
3.3.4 生产更多的品种	198
3.3.5 连铸的速度更快,产量更高.....	201
3.4 几点看法和分析	202
4 薄板坯连铸连轧工艺的产品现状及质量分析	204
4.1 薄板坯连铸连轧技术的质量优势	204
4.2 薄板坯连铸连轧工艺品种开发的现状	205
4.3 国外各薄板坯连铸连轧生产线产品开发近况	214
4.3.1 荷兰康力斯厂直接轧制(DSP)生产线产品介绍	214
4.3.2 德国蒂森—克虏伯钢厂的产品分布	214
4.3.3 意大利阿维迪厂 ISP 生产线品种现状	215
4.3.4 美国几条 CSP 生产线的品种开发	215
4.3.5 墨西哥希尔沙厂和西班牙 ACB 厂 CSP 生产线的品种开发	217
4.3.6 意大利 AST 钢厂 CSP 生产线的产品结构	218
4.3.7 加拿大阿尔戈马钢厂 FTSC 生产线的产品结构和质量	218
4.3.8 美国北极星厂 QSP 生产线的产品结构.....	219
4.4 我国已投产的薄板坯连铸连轧生产线产品开发近况	219
4.4.1 邯钢 CSP 生产线	219
4.4.2 鞍钢 ASP 生产线	220

4.4.3	珠钢 CSP 生产线	221
4.4.4	包钢 CSP 生产线	226
4.4.5	唐钢的薄带钢生产线	228
4.4.6	小结	229
4.5	产品性能特性	230
4.6	微合金化高强度钢的生产	232
4.6.1	薄板坯连铸连轧工艺特点与微合金化的关系	232
4.6.2	微合金化钢的优势	233
4.6.3	微合金元素的选择	233
4.6.4	优化工艺参数开发微合金高强度钢	238
4.7	薄板坯连铸连轧产品的主要质量问题	240
4.7.1	横向角裂	240
4.7.2	表面纵向裂纹	241
4.8	薄板坯连铸连轧生产线组织性能预报系统的开发	244
5	薄板坯连铸连轧工艺的相关技术	246
5.1	薄板坯连铸对钢水质量的要求	246
5.1.1	钢水温度	246
5.1.2	钢水成分	247
5.1.3	钢水纯净度	248
5.2	炼钢炉—薄板坯连铸生产线上的炉外精炼装置	249
5.3	浸入式水口和保护渣	250
5.3.1	浸入式水口	250
5.3.2	保护渣	251
5.4	结晶器的振动形式	255
5.5	二次冷却系统	256
5.6	加热炉	257
5.6.1	加热炉的作用	257
5.6.2	辊底式隧道加热炉结构	258
5.6.3	加热炉布置	260
5.6.4	加(均)热炉缓冲区布置	263
5.7	薄板坯连铸连轧流程中的缓冲问题	264
5.7.1	精炼炉的配置	264
5.7.2	加热炉缓冲能力的计算	265
5.7.3	薄板坯连铸连轧故障类型的分类及其影响范围	265
5.7.4	薄板坯连铸连轧生产线发生故障时的调整策略	266
6	薄板坯连铸连轧生产线上的炼钢设备	269
6.1	电炉短流程	269
6.1.1	ABB 型直流电弧炉	271

6.1.2	GHH 型(Unarc)直流电弧炉	272
6.1.3	CLECIM 型直流电弧炉	274
6.1.4	VAI 型直流电弧炉	275
6.1.5	MDH 型直流电弧炉	280
6.2	高炉—转炉长流程	281
7	薄板坯连铸连轧流程的工程分析	284
7.1	研究方法	284
7.2	薄板坯连铸连轧流程的优化方向和原则	284
7.2.1	优化方向	284
7.2.2	化学冶金过程优化原则	284
7.2.3	物理冶金过程优化原则	286
7.2.4	化学冶金过程—物理冶金过程的衔接、匹配原则	287
7.2.5	薄板坯连铸连轧流程“在线”/“离线”协调内涵	288
7.3	薄板坯连铸连轧流程的时间因素解析	288
7.3.1	时间因素在流程中的重要性	288
7.3.2	时间在“紧凑型”流程中的表现形式及其内涵	288
7.4	薄板坯连铸连轧生产线(“紧凑型”流程)的运行特性	289
8	薄板坯连铸连轧技术的工程投资问题	291
8.1	选择薄板坯连铸连轧工艺流程方案的依据	291
8.2	不同薄板坯连铸连轧工艺流程方案的经济分析	292
8.2.1	各种方案简介	292
8.2.2	各种方案的经济分析	298
8.3	薄板坯连铸连轧技术投资趋势	303
8.4	我国薄板坯连铸连轧生产线投资分析	304
8.5	薄板坯连铸连轧生产线的产品定位及后部产品深加工的接续问题	305
8.5.1	产品定位	305
8.5.2	投资、工艺规模、产品定位的优化匹配	305
8.5.3	深加工产品的延续优化	305
8.6	薄板坯连铸连轧生产线的投资、建设顺序	306
8.7	薄板坯连铸连轧生产线计算机控制系统的建立	306
8.7.1	生产执行系统 MES 概述	306
8.7.2	德国蒂森克虏伯钢厂的 MES	307
8.7.3	中国珠江钢厂 CSP 生产线的计算机控制系统	308
8.7.4	中国鞍钢 ASP 生产线的计算机控制系统	309
8.7.5	薄板坯连铸连轧生产线的物流仿真系统	311
	参考文献	312