

**HIGH-QUALITY
STEEL ROLLING**
THEORY AND PRACTICE

高精度 板带材 轧制理论 与实践

〔美〕V.B.金兹伯格 著
姜明东 王国栋 等译

冶金工业出版社



19335.5

2001064

高精度板带材轧制 理论与实践

[美] V. B. 金兹伯格 著
姜明东 王国栋 等译

北 京
冶金工业出版社
2000

000000

High-Quality Steel Rolling: Theory and Practice

Vladimir B. Ginzburg

International Rolling Mill Consultants, Inc.

Pittsburgh, Pennsylvania

©1993 by MARCEL DEKKER, INC.

MDI, 270 Madison Avenue, New York, New York 10016

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2000-2191 号

图书在版编目 (CIP) 数据

高精度板带材轧制理论与实践/ (美) 金兹伯格 (Ginzburg V. B.) 著; 姜明东等译. —北京: 冶金工业出版社, 2000. 9

书名原文: High-Quality Steel Rolling: Theory and Practice
ISBN 7-5024-2389-X

I. 高… I. ①金… ②姜… III. ①板材轧制, 高精度 ②带材轧制, 高精度 N. TG335.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 16157 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 李培禄 美术编辑 王耀忠 责任校对 符燕蓉 责任印制 牛晓波
北京源海印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2000 年 9 月第 1 版, 2000 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 34.25 印张; 832 千字; 528 页; 1-2000 册

70.00 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)

译者的话

近年来我国轧钢行业得到了飞速发展，钢材年产量已达 9700 多万吨，成为世界上钢材产量最多的国家之一。但是我国目前轧钢生产的技术水平与国际先进水平相比还有相当大的差距，一些高精尖的轧制设备与轧制技术还依赖于引进，部分关键钢材品种还不能满足国内需要，轧制产品的一些主要技术指标（如尺寸精度、形状、组织性能等）与国际先进水平相比仍有较大的距离。要实现从钢材生产大国向钢材生产技术强国的跨越，还需要我国广大轧钢工作者付出艰苦的努力。

轧钢技术发展需要强有力的技术支撑，既要有充分的理论研究，又需要丰富的实践经验。金兹伯格先生的这本书在高质量钢的轧制理论与实践两方面都作了比较全面的阐述，特别是对近期板带轧制领域内新技术的发展作了详细的介绍，有很多新的内容是过去的相关著作中没有涉及的，而这些内容又恰恰是轧钢工作者们最为关心的。因此，当我们高兴地读过英文版原书之后，就萌发了把它译成中文，介绍给国内同行的想法。

这个想法得到了本溪钢铁公司和东北大学的支持，征得原书出版社和金兹伯格先生本人的同意，并得到冶金工业出版社的支持，这个想法成为了现实。

本书第 1~9 章由姜明东翻译，第 13~17 章由邹天来翻译，第 18~20 章由李洪斌翻译，其余部分由东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室的王国栋、刘相华、熊尚武、张利、钱征兵、徐俊、龚少腾、吴景辉、门华等翻译。王国栋、刘相华、姜明东对译稿进行了统一审校。

我们在高兴地把本书推荐给国内轧钢界同行的同时，希望这本书能够对我国轧钢技术的发展有所助益。本书正式出版之际译校者对金兹伯格先生、马塞尔·德克尔出版公司（Marcel Dekker, Inc.）、冶金工业出版社、本溪钢铁公司和东北大学为本书的翻译、出版、打印、整理付出辛勤劳动的各位朋友表示衷心的感谢。

译校者

1999 年 8 月

英文版前言

轧钢工艺发展的每个阶段中，钢材生产厂家和轧钢机械设备设计厂家都面临着许多明确的问题。在过去 30 年里，最重要的就是增加生产效率、节约能源、增加卷重和减小成品厚度。

虽然大多数钢材生产厂家逐渐地达到了这些目标，但是提高产品质量和降低产品成本仍然是当今钢材生产厂家的主要问题。尽管过去也经常考虑这些问题，但现在是从一个全新的角度来看待的。其原因有以下 3 方面：

- (1) 板带钢生产能力过剩；
- (2) 发展中国家进入市场；
- (3) 短流程轧机 (Mini Mill) 参与轧板生产。

板带钢的过剩使得世界主要的钢材生产厂家之间竞争非常激烈。那些能满足用户高质量要求，同时产品成本又低的厂家将明显优于其竞争对手。然而，现在的竞争已不局限于主要工业国家的钢材生产厂家之间。

随着越来越多的发展中国家进入钢材生产市场，竞争日趋激烈。这些发展中国家对世界钢材市场的冲击不仅表现在生产能力方面，而且表现在产品质量的提高及产品成本的降低方面。这些进展直接归功于那些发展中国家对它们的钢材生产厂家在现代先进的轧制技术方面的大量投资。

最新和最具影响力的进展是：轧板生产从那种用铁矿和煤作为炼钢过程主要原料的综合钢铁厂，转移到利用废钢和直接还原铁的短流程钢厂。这种转移速度将取决于联合钢铁企业依靠进一步提高产品质量和降低产品成本来保住它们所占市场地位的能力。

各钢材生产厂家在降低它们的生产成本方面所采取的方法有较大差别。发展中国家通常可利用它们整个炼钢企业廉价劳动力的优势；短流程钢厂通过在炼钢操作时利用电弧炉和废钢的办法；而主要工业国家的联合钢铁企业则主要依靠将它们已有的炼钢和轧制设备实现现代化和自动化，以减少劳动力和产品成本。

在努力降低成本的同时，所有钢材生产厂家都面临着非常类似的问题，即改进板带材的质量。直到一种全新的钢材生产工艺（例如带钢铸轧）进入商业生产之前，改进现有产品质量对所有轧机都是一个永恒的话题，无论其轧机是什么类型，位于哪里。

一般来说，提高产品质量是否成功很大程度上取决于对下列关键问题的理解程度：

- (1) 质量参数的定义；
- (2) 目前和将来市场的质量要求；
- (3) 质量参数的测定；
- (4) 影响产品质量的因素；
- (5) 提高质量的工艺操作特性；
- (6) 每个特定场合最优工艺的选择。

《高精度板带材轧制理论与实践》这本书将从以下几个方面来讨论这些问题：

第1篇,板带的几何形状:在现行工业标准和工业技术文献中所用传统术语的基础上,总结了板带的几何形状参数的定义;通过比较主要工业国家标准中所规定的允许偏差发现,现有标准并非总是能反映轧制过程的特点;探讨这些标准也表明:与最终产品质量相关信息的统计,过去被忽略了;这里针对板带用户的质量需求及对将来质量标准的不同观点进行了分析。

第2篇,测量原理:给出了基本测量术语的定义及变换器和传感器类型的分类,同时也讨论了应用于现代轧钢厂的信号处理原理;举例说明了复杂信号处理系统的效果,特别强调有必要谨慎估计测量时的附加误差。

第3篇,厚度控制:研究了产生厚差的原因,并介绍了各种类型的AGC系统,包括其中的主要部分:传感器和执行机构;特别是给出了因各种干扰因素引起的静态和动态厚度误差补偿方法。

第4篇,宽度控制:概括了调宽基本原理,分析了产品纵断面和平面的几何形状,叙述了通过连铸、轧制和调宽压力机的不同控宽方法;为客观评价这些方法,定义了描述调宽效率的参数;并回顾了自动宽度控制和平面形状控制系统的新技术进展情况。

第5篇,板形和平直度理论:对板形和平直度的理论与实践进行了探讨,给出了描述轧辊变形、热膨胀和磨损对板形影响关系的各种数学模型,详细叙述了由宾州联合工程公司(United Engineering)和国际轧钢咨询公司(International Rolling Mill Consultants)合作开发的离线计算机模型ROLL-FEX™,用该模型说明了板形、平直度与其他各种轧制参数的关系。

第6篇,板形和平直度控制:阐述了为在线矫正板形和平直度所设计的各种执行机构,包括轧辊弯曲、轧辊横移和轧辊交叉系统;同时对具有特定辊型曲线的轧辊也进行了探讨。本篇在介绍不同类型的自动板形和平直度控制系统的同时,还详细地介绍了板形仪和凸度仪。

提高板带产品质量的需求推进了轧钢工艺的发展。问题已不再是缺乏先进的工艺,而是对每个特定轧钢厂如何选择合适的工艺。我希望《高精度板带材轧制理论与实践》这本书能给钢材生产厂家和设备供应厂家,在客观估计和选择为它们的轧钢厂获得最大利益的工艺时,提供一些方向和指导。

这本书是在美国匹兹堡宾州联合工程公司(United Engineering Inc., Pittsburgh, Pa)支持下出版的。感谢戴维·罗斯伯格(David Rosburg)、弗雷德·巴克塔尔(Fred Bakhtar)、马里奥·阿扎姆(Mario Azzam)和基思·沃森(Keith Watson),宾州联合工程公司的全体人员,以及那些参与了本书中提到的新工艺研究和开发的人们。也要感谢国际轧钢咨询公司的尤金·金兹伯格(Eugene Ginzburg),他参与了新工艺的大量计算机描绘。同时感谢玛里琳·德斯金斯(Marilyn Deskins)所做的大量的文字处理工作及罗伯特·巴拉斯(Robert Ballas)承担的对草稿编辑和准备出版的繁琐工作。

我还要特别向塔特娅娜·金兹伯格(Tatyana Ginzburg)——我的同事、朋友和全力支持我工作的妻子表示深深的谢意。

V. B. 金兹伯格

目 录

第 1 篇 板带轧制产品的几何参数

1 几何参数的定义	1
1.1 描述带钢断面形状的主要参数	1
1.2 带钢横断面的关键厚度	1
1.3 断面凸度的类型	2
1.4 断面的楔形和水平度	3
1.5 边部减薄区和骤减区	4
1.6 局部高点和局部低点	5
1.7 带钢断面的基本类型	5
1.8 狗骨形断面	6
1.9 边部断面的形状	6
1.10 轧件的平面形状	7
1.11 轧件端部的平面形状	7
1.12 带钢的板形分类	8
1.13 带钢的潜在板形	9
1.14 带钢的表观板形	10
1.15 带钢的飘摆	11
1.16 温度梯度引起的平直度缺陷	11
1.17 带钢平直度与伸长率的关系	12
1.18 带钢平直度的表达式	13
参考文献	16
2 标准化和质量要求	17
2.1 标准化的首要目标	17
2.2 获得最佳的经济效益	17
2.3 便于交流	18
2.4 钢铁工业的需要	18
2.5 汽车工业的要求	19
2.6 金属包装工业的要求	20
2.7 加工叠层钢板的要求	22
2.8 日用工业品的要求	22
2.9 公差和费用的兼容性	23
参考文献	26
3 尺寸公差标准	27
3.1 尺寸公差的各种标准	27

3.2	尺寸公差的例外情况	28
3.3	带钢、薄板和中厚板的定义	28
3.4	板带产品的性能	29
3.5	厚度公差	29
3.6	宽度公差	35
3.7	平直度公差	36
3.8	边部侧弯公差	39
3.9	凸度公差	39
3.10	尺寸公差的比较	41
	参考文献	43
4	尺寸公差的统计与分析	45
4.1	标准的升级和统一	45
4.2	基本统计术语	45
4.3	直方图和正态分布曲线	45
4.4	特定的和自然的公差极限	46
4.5	处理能力指标	48
4.6	统计术语所规定的公差	49
4.7	公差解析表达	49
4.8	杜法斯克 1727mm 热带轧机性能	54
4.9	带有液压压下的机架数对厚度精度的影响	56
4.10	美国内陆钢铁公司 1422mm 4 机架冷轧机的性能	57
	参考文献	58

第 2 篇 测量的基本原理

5	基本测量术语的定义	59
5.1	测量过程	59
5.2	测量的基本方法	59
5.3	传感器的性能特征	60
5.4	传感器的静态特性	61
5.5	测量系统的静态校正	63
5.6	传感器的动态特性	64
5.7	误差分析	65
5.8	误差的传播	66
	参考文献	67
6	传感器和检测元件	68
6.1	轧制过程中参数测量的基本特点	68
6.2	传感器的作用及分类	68
6.3	检测元件的分类和用途	70
6.4	伸缩式检测元件	72

6.5	惯性式检测元件.....	72
6.6	热力式检测元件.....	73
6.7	液压气动式检测元件.....	74
6.8	电阻式检测元件.....	76
6.9	电感式检测元件.....	76
6.10	电容式检测元件	77
6.11	压电式检测元件	78
6.12	光电式检测元件	78
6.13	磁致伸缩式检测元件	79
6.14	辐射吸收式检测元件	80
6.15	多普勒式检测元件	81
	参考文献	83
7	信号处理原理.....	84
7.1	信号处理的主要内容.....	84
7.2	信号调节.....	84
7.3	数/模转换	85
7.4	信号采样.....	86
7.5	信号调谐的类型.....	87
7.6	调幅 (AM)	87
7.7	调频和调相 (FM 和 PM)	88
7.8	脉冲调谐.....	88
7.9	噪声限制.....	89
7.10	带宽限制	90
7.11	多路传输	90
7.12	信号恢复	91
7.13	信号过滤	91
7.14	信号平均和相关	92
7.15	数据处理	92
7.16	测量技术与公差的兼容性	93
7.17	避免测量中的非法误差	93
7.18	避免采样误差	95
	参考文献	96

第 3 篇 厚度控制

8	影响轧件厚度波动的因素.....	97
8.1	轧制中影响轧件厚度的因素.....	97
8.2	影响厚度变化的主要因素.....	98
8.3	热轧带钢的厚度变化	100
8.4	带钢张力对厚度的影响	100

8.5	轧制速度对带钢厚度的影响	101
8.6	轧件厚度动态变规格轧制	104
8.7	轧机震颤对带钢厚度的影响	105
	参考文献	108
9	带钢厚度自动控制系统	109
9.1	带钢厚度自动控制系统的定义	109
9.2	测厚仪的分类	109
9.3	光学测厚仪	109
9.4	同位素测厚仪	110
9.5	X 射线测厚仪	111
9.6	同位素和 X 射线复合测厚仪	112
9.7	辊缝的测量方法	112
9.8	模拟感应型位置传感器	113
9.9	数字感应型位置传感器	114
9.10	磁致伸缩型位置传感器	115
9.11	轧制力的测量	116
9.12	轧制力传感器	116
9.13	带钢张力的测定	118
9.14	带钢速度传感器	119
9.15	辊缝控制的执行机构	120
9.16	液压执行机构的闭环控制系统	122
9.17	测厚仪式 AGC	123
9.18	差动厚度控制	124
9.19	定位式厚度控制法	124
9.20	厚度偏差控制	125
9.21	冷轧机的带钢张力控制系统	126
9.22	辊缝和带钢张力的解耦控制	127
9.23	带活套的热带连轧机组中间机架的张力控制	128
9.24	带钢张力和辊缝控制的相互作用	129
9.25	无活套的张力控制	129
9.26	冷连轧机组的三段式 AGC	130
9.27	热带连轧机组的三段式 AGC	131
9.28	冷连轧机组中的前馈 AGC	132
9.29	冷连轧机组的流动应力前馈 AGC	132
9.30	冷连轧机组中的互不相关 AGC	133
9.31	张力和厚度的自动控制系统	134
9.32	高/低频 AGC	135
9.33	轧辊速度控制系统的响应速度对 AGC 性能的影响	136
9.34	交流与直流传动	136

9.35	热连轧机组的前馈 AGC	137
9.36	带钢头部厚度的前馈控制系统.....	138
9.37	轧机设备缺陷的补偿.....	139
	参考文献.....	141
10	轧缝自动控制系统的动态特性.....	143
10.1	自动控制系统的动态特性.....	143
10.2	液压轧缝控制系统框图.....	144
10.3	位置误差放大器.....	144
10.4	超前-延迟算法	146
10.5	电流控制器.....	146
10.6	伺服阀和连接管路.....	147
10.7	液压执行机构.....	148
10.8	轧机弹跳.....	149
10.9	轧机刚度和结构重量.....	149
10.10	伺服阀压降系数	150
10.11	位置和轧制力传感器	151
10.12	执行机构压力和轧制力传递函数	151
10.13	轧机刚度系数放大器	152
10.14	整体框图传递函数	152
10.15	各方框振幅因子和相移	153
10.16	频率响应特性	153
10.17	位置误差和控制范围	155
10.18	时域响应特性	156
10.19	控制系数的补偿	157
10.20	轧件塑性系数的补偿	158
10.21	液压缸油面高度补偿	159
10.22	轧制力补偿	160
10.23	无带钢时控制系统的特性	160
	参考文献.....	162
11	轧辊偏心的起因与后果.....	163
11.1	轧辊偏心的定义及起因.....	163
11.2	镶套式轧辊偏心的起因.....	164
11.3	轧辊修磨.....	165
11.4	轧辊修磨的精度.....	167
11.5	轴承类型对轧辊偏心的影响.....	169
11.6	已装配轧辊的偏心测量.....	169
11.7	轧辊偏心对轧制力的影响.....	171
11.8	机架中轧辊偏心测量.....	172
11.9	轧辊偏心对轧件厚度的影响.....	174

11.10 冷连轧机中轧辊偏心对厚度变化的影响	176
参考文献	178
12 轧辊偏心的补偿方法	179
12.1 方法分类	179
12.2 死区法	179
12.3 轧制力法	180
12.4 辊缝厚度控制法	181
12.5 前馈控制法	181
12.6 纽曼 (Neumann) 法	183
12.7 阿索普 (Alsop) 法	184
12.8 史密斯 (Smith) 法	186
12.9 霍华德 (Howard) 法	187
12.10 盐崎 (Shiozaki) 和高桥 (Takahashi) 法	188
12.11 库克 (Cook) 法	191
12.12 福克斯 (Fox) 法	192
12.13 Ichiryu 等人的方法	193
12.14 叶山 (Hayama) 等人的方法	193
12.15 山口 (Yamagui) 等人的方法	195
12.16 韦里奇和沃尔德 (Wehrich and Wohld) 法	196
12.17 盖伯尔 (Gerber) 法	197
12.18 大井 (Ooi) 等人的方法	199
12.19 金兹伯格 (Ginzburg) 法	200
参考文献	203

第4篇 宽度控制

13 调宽理论	205
13.1 扁平轧件的宽展	205
13.2 希尔和麦克如姆 (Hill and Mccrum) 宽展公式	206
13.3 乌沙托夫斯基 (Wusatowski) 宽展公式	206
13.4 艾-卡雷和斯帕林 (El-Kalay and Sparling) 宽展公式	206
13.5 赫尔米和亚历山大 (Helmi and Alexande) 宽展公式	207
13.6 毕斯 (Beese) 宽展公式	207
13.7 芝原 (Shibahara) 宽展公式	208
13.8 摩擦对宽展的影响	208
13.9 影响宽展的主要因素	208
13.10 原始坯料厚度对宽展的影响	209
13.11 原始坯料宽度对宽展的影响	210
13.12 轧辊直径对宽展的影响	211
13.13 压下量对宽展的影响	211

13.14	平辊侧压	211
13.15	狗骨形的主要参数	213
13.16	狗骨形计算公式	213
13.17	凸起峰处相对狗骨厚度	214
13.18	侧压后平轧	215
13.19	有效减宽量和侧压效率	216
13.20	孔型辊侧压	217
13.21	工件平面形状的偏差	219
13.22	轧件头尾形状	219
13.23	轧件端部的宽度变化	219
13.24	非均匀区长度	221
13.25	鱼尾长度	221
13.26	预测端部形状的公式	222
13.27	翘曲 (Buckling)	224
13.28	板边部横断面形状	224
	参考文献	226
14	连铸和轧制变宽方法	227
14.1	连铸变宽方法	227
14.2	在恒定浇铸速度期间变宽	227
14.3	轧制减宽方法	229
14.4	立式轧边机	231
14.5	侧压实践举例	233
14.6	板坯定尺轧机	234
14.7	侧压对工件端部形状的影响	235
14.8	侧压对工件组织性能的影响	236
14.9	精轧机侧压	237
14.10	靠轧制增宽的方法	237
14.11	用扇贝形轧辊增宽	238
14.12	采用具有交错辊环的轧辊增宽	238
14.13	采用具有中部凸出块的轧辊增宽	239
14.14	利用带可变环形凸出块的轧辊增宽	241
14.15	利用大凸度辊增宽	242
14.16	利用锥形辊增宽	242
	参考文献	244
15	压缩调宽方法	245
15.1	调宽压力机的分类	245
15.2	长锤头调宽压力机	246
15.3	短锤头调宽压力机	247
15.4	短锤头起-停式调宽压力机的设计	247

15.5	短锤头起-停式调宽压力机的使用性能	250
15.6	连续式调宽压力机	252
15.7	连续式调宽压力机的设计和操作	253
15.8	摇摆式调宽压力机	255
15.9	调宽压力机的优化设计	257
	参考文献	259
16	调宽工艺优化	260
16.1	减少切损的方法	260
16.2	凸形断面轧制法	260
16.3	可变孔型尺寸轧辊法的应用	261
16.4	板坯端部预成形法	262
16.5	板坯端部压缩预成形法	263
16.6	板坯端部压缩预成形法的特性	263
16.7	退返轧制工艺	265
16.8	防止板坯横断面脱方的方法	266
16.9	防止板坯翘曲的方法	266
16.10	防止板坯边部折叠的方法	267
16.11	最优调宽工艺选择	268
16.12	调宽工艺比较分析	270
	参考文献	273
17	自动宽度和平面形状控制系统	274
17.1	宽度测量系统的分类	274
17.2	宽度测量的比较法	274
17.3	宽度测量的摄影法	275
17.4	宽度测量的混合法	275
17.5	水平光束宽度仪	276
17.6	接触型宽度测量系统	276
17.7	宽度和侧弯测量系统	278
17.8	宽度控制执行机构	279
17.9	轧边时的宽度控制目标	280
17.10	立式轧边机的自动宽度控制系统	280
17.11	前馈控制模式	282
17.12	前馈-反馈组合控制模式	283
17.13	展宽轧机的宽度控制系统	284
17.14	热连轧机的综合宽度控制系统	284
17.15	平面形状控制的目标	285
17.16	MAS 轧制法	286
17.17	自动平面形状控制系统	287
17.18	正向轧制平面形状控制	289

17.19 自动侧弯控制系统	289
参考文献	292

第5篇 板凸度和平直度理论

18 轧辊变形对板形的影响	293
18.1 轧辊变形的主要类型	293
18.2 轧辊变形模型的分类	294
18.3 二辊轧机简支梁模型	294
18.4 四辊轧机的简支梁模型	295
18.5 简支梁模型的局限性	296
18.6 分割法模型	297
18.7 分割梁模型的局限性	299
18.8 有限元分析理论	299
18.9 简化的有限元分析	302
18.10 二维有限元分析模型	304
18.11 三维有限元分析模型	305
18.12 轧辊压扁模型的建立	307
18.13 轧件的变形原理	309
18.14 轧件变形的经验模型	311
参考文献	314
19 轧辊的热膨胀和磨损对板形的影响	316
19.1 轧辊的热凸度模型	316
19.2 二维轧辊热凸度模型	316
19.3 三维轧辊热凸度模型	317
19.4 轧辊的热胀和冷缩	319
19.5 轧制一卷到一卷带钢时轧辊的热凸度变化	321
19.6 每卷带钢轧制期间轧辊的热膨胀	323
19.7 轧辊热凸度的在线测量	325
19.8 轧辊热膨胀对带材凸度的影响	327
19.9 磨损的分类	327
19.10 热轧过程中的轧辊磨损	328
19.11 热疲劳机理	328
19.12 工作辊的热裂与粘辊	329
19.13 热轧带钢轧机上轧辊的总磨损	330
19.14 热轧带钢轧机工作辊的局部磨损	334
19.15 热轧带钢轧机支撑辊的轧辊总磨损	335
19.16 工作辊磨损对热轧带钢板凸度的影响	337
19.17 支撑辊磨损对热轧带钢凸度的影响	337
19.18 冷轧机的轧辊磨损	338

19.19 冷轧与平整带钢的板形	339
参考文献	342
20 板形和平直度分析	344
20.1 板形和平直度分析理论	344
20.2 ROLLFLEX™模型中的主要参数	344
20.3 基本带钢中心凸度	347
20.4 再生的带钢中心凸度	348
20.5 带钢宽度对带钢凸度的影响	349
20.6 轧制力对带钢凸度的影响	350
20.7 工作辊直径对带钢凸度的影响	352
20.8 支撑辊直径对带钢凸度的影响	354
20.9 工作辊凸度对带钢凸度的影响	356
20.10 支撑辊凸度对带钢凸度的影响	358
20.11 轧辊接触长度对带钢凸度的影响	360
20.12 工作辊弯辊对带钢凸度的影响	362
参考文献	365
21 弯辊分析	366
21.1 影响弯辊系统效率的因素	366
21.2 工作辊直径对弯辊效率的影响	366
21.3 支撑辊直径对弯辊效率的影响	366
21.4 工作辊凸度对弯辊效率的影响	369
21.5 支撑辊凸度对弯辊效率的影响	370
21.6 轧辊接触长度对弯辊效率的影响	370
21.7 工作辊辊身长度对弯辊效率的影响	370
21.8 轴承座间距对弯辊效率的影响	372
21.9 正、负弯辊效率之间的关系	373
21.10 双轴承座弯辊系统的效率	374
21.11 板凸度对板平直度的影响	377
21.12 ROLLFLEX-Q 计算机模型	378
21.13 确定最优的轧辊凸度	379
参考文献	383

第 6 篇 板带断面形状及平直度控制

22 弯辊系统	384
22.1 弯辊系统的分类	384
22.2 垂直面 (VP) 工作辊弯辊系统	384
22.3 带嵌入式轴承座的垂直面工作辊弯辊系统	387
22.4 带凸块 (Mae West) 的垂直面工作辊弯辊系统	388
22.5 联合式垂直面工作辊弯辊系统	389

22.6	带 E 形凸块的垂直面工作辊弯辊系统	389
22.7	带双向液压缸的垂直面工作辊弯辊系统	390
22.8	垂直面双轴承座工作辊弯辊系统	391
22.9	水平面 (HP) 工作辊弯辊系统	393
22.10	采用实体压力辊的水平面工作辊弯辊系统	394
22.11	采用分段压力辊的水平面工作辊弯辊系统	395
22.12	带静压轴承的压力辊设计	395
22.13	四辊轧机和六辊轧机的水平面工作辊弯辊系统	396
22.14	五辊轧机的水平面工作辊弯辊系统	397
22.15	支撑辊弯辊系统	398
22.16	使用外轴承座的支撑辊弯辊系统	400
22.17	无轴承座支撑辊弯辊系统	401
	参考文献	403
23	轧辊横移和交叉系统	405
23.1	轧辊横移系统的目的和分类	405
23.2	轴向移动圆柱形轧辊	405
23.3	HC 轧机 (High Crown Control Mill) 的基本概念	406
23.4	HC 轧机的分类	406
23.5	HCW 和 K-WRS 轧机中板断面形状的控制方法	409
23.6	板凸度控制 (HC) 方法	410
23.7	锥度调节 (TA) 方法	411
23.8	锥度振荡 (TO) 法	412
23.9	周期横移 (CS) 方法	413
23.10	热带轧机中 CS 法的优化	414
23.11	磨损补偿横移 (WCS) 法	416
23.12	用 HCM 轧机减轻边部减薄	417
23.13	用 HCW 轧机减轻边部减薄	417
23.14	HC 轧机的平直度控制能力	418
23.15	非圆柱轧辊轴向移动	419
23.16	轴向移动非圆柱轧辊的外形	420
23.17	连续可变凸度 (CVC) 技术	421
23.18	CVC 技术的应用	422
23.19	万能板断面形状控制 (UPC) 系统	424
23.20	轧辊横移机构的类型	426
23.21	带中间梁的轧辊横移机构	426
23.22	轧辊横移系统中的弯辊机构	427
23.23	同向轧辊横移系统	429
23.24	轧辊横移控制系统	430
23.25	可轴向横移的带套筒的轧辊	432