

轴向移位 变凸度技术

杨光辉 张杰 曹建国 李洪波 编著

ZHOUXIANG YIWEI
BIANTUDU JISHU



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

轴向移位变凸度技术

杨光辉 张 杰 曹建国 李洪波 编著

北 京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书主要以轴向移位变凸度技术为研究对象,结合国内外使用轴向移位变凸度技术有代表性的热轧机和冷轧机,详细地介绍和分析了目前具有代表性的轴向移位变凸度技术,如 CVC、SmartCrown、UPC 等技术,以及与其相关的配套技术和设备结构。全书共分 6 章。第 1 章主要介绍板形控制技术综述;第 2 章主要介绍轴向移位变凸度技术;第 3 章主要介绍不同轴向移位变凸度技术应用研究;第 4 章主要介绍轴向移位变凸度轧辊配套支持辊的设计研究;第 5 章主要介绍轴向移位变凸度技术的新发展;第 6 章主要介绍轴向移位变凸度轧机弯窜系统。

本书适合轧钢工程技术人员、研发人员阅读,也可作为高等工科院校冶金、机械及自动化等相关专业本科生和研究生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

轴向移位变凸度技术/杨光辉等编著. —北京:冶金工业出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5024-7117-0

I. ①轴… II. ①杨… III. ①轴向位移—凸度—技术
IV. ①TG115. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 303923 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 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 常国平 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7117-0

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
2016 年 1 月第 1 版, 2016 年 1 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 13. 75 印张; 332 千字; 210 页

47. 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)64027893

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

板形控制技术是宽带钢热、冷轧机的核心技术之一，在轧机机型确定的情况下，辊形技术是板形控制中最直接、最活跃的因素。机型是机座、辊形、控制模型的统一体，国际上知名的连续变凸度（Continuously Variable Crown, CVC）、智能凸度控制（Sine Contour Mathematically Adjusted and Reshaped by Tilting, SmartCrown）、万能凸度控制（Universal Profile Control, UPC）等机型的开发，均在于辊形的创新。CVC 技术是最早使用的轴向移位变凸度（Variable Crown by Axial Shifting, VCAS）技术之一，CVC 技术的核心即为 CVC 辊形及其相应的窜辊策略。采用 CVC 辊形的轧机，即 CVC 轧机，是联邦德国西马克 SMS（Schloemann-Siemag）公司于 1982 年开发的一种连续变凸度轧机。宝钢于 20 世纪 80 年代末从联邦德国引进了采用 CVC 技术的 2050mm 热连轧机和 2030mm 冷连轧机并投入实际生产，取得了较好的经济效益。

经过近 30 年的研究与发展，CVC 轧机已成为宽带钢生产的主流机型，并普遍采用三次 CVC 辊形曲线。一般来讲，2000mm 以上的带钢轧机可定义为超宽带钢轧机。目前，在国内建成投产的超宽带钢热连轧机有宝钢 2050mm、武钢 2250mm、鞍钢 2150mmASP、太钢 2250mm、马钢 2250mm 等。除了鞍钢 2150mmASP 外，其他的轧机均由德国西马克 SMS 公司供货，并采用 CVC 板形控制技术，取得了较好的控制效果。但是，经过多年的研究发现，三次 CVC 辊形并不具备对高次浪形的控制能力，而对于目前越来越多的宽带钢轧机，尤其是 2000mm 以上的超宽带钢轧机，边中复合浪、1/4 浪、斜浪、小边浪、起筋浪等复杂浪形已逐渐成为生产中常见的浪形；另外，三次 CVC 辊形的凸度控制能力与带钢宽度之间呈抛物线关系，随带钢宽度减小，凸度控制能力下降较快，使得宽带钢轧机尤其是超宽带钢轧机在轧制窄带钢时表现出凸度控制能力的不足。

近年来，国内外学者在三次 CVC 辊形基础上不断地探索研究五次 CVC 辊形的板形控制特性并取得了一定的研究成果。奥钢联 VAI（Voestalpine）基于

提供 CVC 技术的经验研究开发设计了 SmartCrown 工作辊及其相关技术。SmartCrown 技术已经成功应用于铝带轧机,在武钢 1700mm 冷连轧机上应用该技术轧制宽带钢尚属首次工业应用,并已向热轧、中厚板轧制推广使用,取得良好效果。北京科技大学和鞍钢联合开发了线性变凸度 (Linear Variable Crown, LVC) 辊形技术,在鞍钢 2150mm ASP 热连轧机上成功应用。后来,我国的学者又先后提出了混合变凸度 (Mixed Variable Crown, MVC)、先进变凸度 (Advanced Variable Crown, AVC)、高性能变凸度 (High-performance Variable Crown, HVC) 等辊形技术,促进了轴向移位变凸度技术的进一步发展。

本书主要以轴向移位变凸度技术为研究对象,结合国内外使用轴向移位变凸度技术的有代表性的热轧机和冷轧机,详细介绍和分析了目前具有代表性的轴向移位变凸度技术,如 CVC、SmartCrown、UPC 等及其相关的配套技术和设备结构,体现了一定的技术先进性。希望本书能对我们掌握当今世界上先进的板形控制技术有所帮助和指导。本书中所分析和研究的内容既可作为设计同类轧机时选型的依据,也可作为同类轧机更新改造的样板,体现了较强的实用性。

本书参阅了大量国内外文献资料,特别是近几年的最新研究进展,结合作者本人的研究成果撰写而成,在此对相关著作和文献的作者表示感谢。编者在求学和工作期间,得到了武汉钢铁集团多位领导、技术人员和工人师傅的大力支持,在此表示由衷的感谢。编者所在课题组的老师、博士和硕士为本书的编写付出了大量的辛勤劳动,在此一并表示感谢。

参加本书编写的有杨光辉、张杰、曹建国、李洪波,杨光辉负责全书统稿工作。本书的编写得到了“北京高等学校青年英才计划 (YETP0369)”和“中央高校基本科研业务费专项资金资助 (FRF-BR-15-047A)”的大力支持,在此特别表示感谢。

限于编者的水平,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2015 年 8 月于北京科技大学

目 录

1 板形控制技术综述	1
1.1 轧钢生产工艺过程	1
1.2 板形缺陷分类	3
1.3 新型轧机机型	6
1.4 新型轧机的机械构成	15
1.5 板形的描述	18
1.5.1 横截面外形	18
1.5.2 平坦度	20
1.5.3 凸度与平坦度的转化	26
2 轴向移位变凸度技术	28
2.1 CVC 技术简介	29
2.1.1 CVC 轧机的结构	30
2.1.2 CVC 轧机的技术问题分析	37
2.1.3 CVC 轧机的特点	38
2.1.4 用于不同板形缺陷的控制方式	39
2.1.5 CVC 轧机的 SMS-EDC 边降控制技术	41
2.2 CVC 辊形的不同表达形式	43
2.3 工作辊辊形设计原则	47
2.4 基于最小轴向力的工作辊辊形设计流程	47
2.5 基于最小轴向力的三次 CVC 工作辊辊形设计	48
2.5.1 三次 CVC 工作辊辊形设计	48
2.5.2 辊形对轴向力大小的影响系数 R	50
2.5.3 三次 CVC 辊形曲线形状分析	50
2.6 基于最小轴向力的五次 CVC 工作辊辊形设计	51
2.6.1 五次 CVC 辊形及辊缝凸度计算	51
2.6.2 五次 CVC 辊形曲线参数的确定	53
3 不同轴向移位变凸度技术应用研究	55
3.1 热轧精轧 CVC 工作辊辊形研究	55
3.1.1 CVC 工作辊使用情况及存在的问题	55
3.1.2 三次 CVC 辊形的设计及改进方法	56
3.1.3 五次 CVC 辊形研究	58

3.1.4 五次 CVC 辊形特性分析	61
3.2 CSP 轧机工作辊辊形设计研究	65
3.2.1 问题的提出	65
3.2.2 现场实验研究	65
3.2.3 工作辊辊形设计思路	67
3.3 SmartCrown 辊形设计研究	69
3.3.1 1700mm SmartCrown 精轧机辊形设计	69
3.3.2 4200mm SmartCrown 中厚板轧机辊形设计	76
3.4 UPC 辊形设计研究	81
3.4.1 UPC 轧机工作原理	81
3.4.2 UPC 辊形曲线分析	82
4 轴向移位变凸度轧辊配套支持辊的设计研究	86
4.1 热连轧支持辊剥落的原因分析	86
4.1.1 支持辊的剥落形式	86
4.1.2 支持辊失效形式分析	87
4.1.3 防止支持辊失效的工艺	88
4.2 支持辊设计原则	89
4.3 热轧粗轧支持辊辊形研究	90
4.3.1 辊形设计方案比较	91
4.3.2 新辊形的近似加工方法	94
4.3.3 粗轧 R2 机架支持辊实验	94
4.4 常规热轧精轧 CVC 支持辊辊形研究	95
4.5 常规热轧精轧 CVR 支持辊辊形研究	98
4.5.1 辊系有限元模型的建立	99
4.5.2 CVR 支持辊辊形的设计	102
4.5.3 CVR 辊形的工作性能分析	105
4.5.4 工业试验及效果	108
4.6 宽带钢热连轧机组均压支持辊辊形开发与应用	109
4.6.1 均压支持辊辊形设计	111
4.6.2 辊形特性分析	111
4.6.3 应用效果	113
4.7 热轧 CSP 生产线 CVC 轧机配套支持辊研究	114
4.7.1 支持辊辊内应力有限元分析	115
4.7.2 支持辊辊间接触压力有限元分析	116
4.7.3 支持辊新辊形设计	119
4.7.4 工业试验及应用效果分析	120
4.8 热轧 CSP 末机架支持辊辊形研究	121
4.8.1 F7 机架支持辊辊形存在的问题	121

4.8.2	VCR + 支持辊辊形设计	122
4.8.3	二维变厚度有限元	122
4.8.4	VCR + 支持辊性能分析	126
4.8.5	VCR + 支持辊试验效果	130
4.9	中厚板 SmartCrown 轧机支持辊辊形研究	131
4.9.1	SVR 新辊形的设计	131
4.9.2	辊间接触压力对比分析	131
4.9.3	外商提供的支持辊	133
4.10	冷轧 SmartCrown 轧机支持辊辊形研究	134
4.10.1	支持辊边部剥落问题	134
4.10.2	支持辊辊形设计原理	135
4.10.3	轧辊辊间压力分析	136
4.11	支持辊倒角的工作性能研究	138
4.11.1	支持辊大圆弧复合型倒角设计原理解析	138
4.11.2	支持辊倒角工作性能分析的计算参数	139
4.11.3	基于影响函数法的辊系弹性变形模型	139
4.11.4	不同支持辊倒角的板形控制性能分析	148
4.12	宝钢支持辊的使用技术	151
4.12.1	对支持辊的性能要求与使用水平	151
4.12.2	宝钢支持辊的使用技术	152
4.12.3	支持辊制造和使用技术展望	154
5	轴向移位变凸度技术的新发展	156
5.1	LVC 连续变凸度辊形	156
5.1.1	CVC 辊形设计原理和推导	156
5.1.2	LVC 辊形设计原理和推导	159
5.1.3	LVC 辊形工作原理	161
5.1.4	LVC 工作辊辊形窜辊补偿研究与应用	163
5.2	MVC 连续变凸度辊形	168
5.2.1	完全线性变凸度辊形	168
5.2.2	混合变凸度辊形	170
5.2.3	设计与对比	173
5.3	AVC 连续变凸度辊形	174
5.3.1	五次 CVC 辊形的凸度控制特性分析	174
5.3.2	先进变凸度辊形	176
5.4	HVC 高性能变凸度辊形	178
5.4.1	HVC 辊形曲线	178
5.4.2	HVC 辊形工作原理	179
5.4.3	HVC 辊形技术理论分析	179

5.4.4 HVC 现场实际应用效果	180
5.4.5 HVC 板形控制模块分析	181
6 轴向移位变凸度轧机弯窜系统	185
6.1 轧制工艺控制手段	185
6.1.1 液压弯辊	185
6.1.2 液压窜辊	187
6.1.3 弯辊和窜辊结构	188
6.2 弯窜系统组成	191
6.2.1 弯辊系统组成	192
6.2.2 窜辊系统组成	194
6.2.3 窜辊锁定装置	196
6.3 弯窜系统运动分析	197
6.3.1 窜辊最小转速及窜辊力	198
6.3.2 弯窜系统的干涉	199
6.4 不同弯窜系统对比分析	200
6.4.1 不同种类的弯窜系统	200
6.4.2 不同弯窜机构的对比分析	204
参考文献	206

我国钢铁行业经过近十几年的飞速发展, 粗钢产量从 2005 年的 3.53 亿吨增加到 2013 年 7.79 亿吨, 约占全球总产量的 48.5%。到 2010 年年底, 我国已建成投产宽带钢冷连轧机(含酸洗轧机联合机组) 50 余条, 可逆式冷轧机 150 余条。

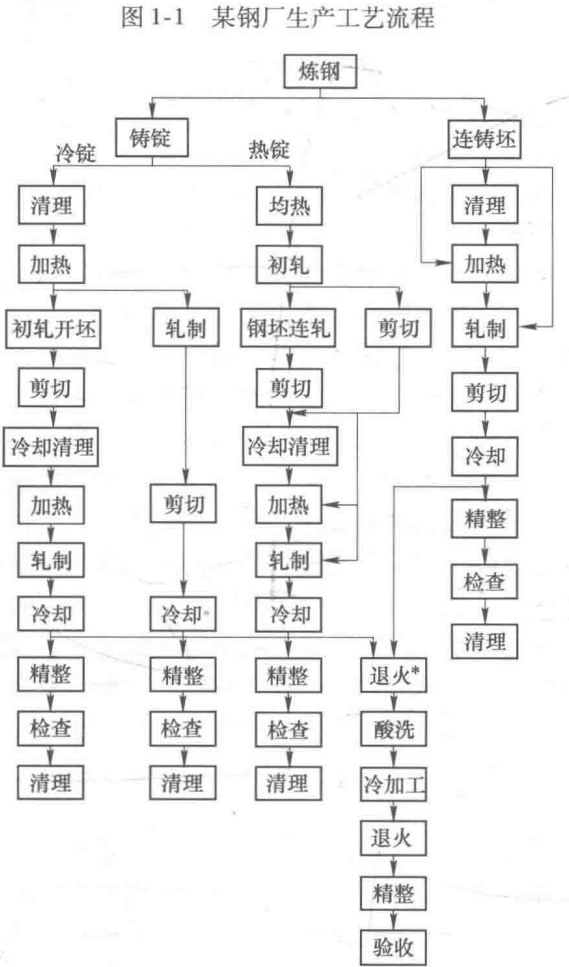
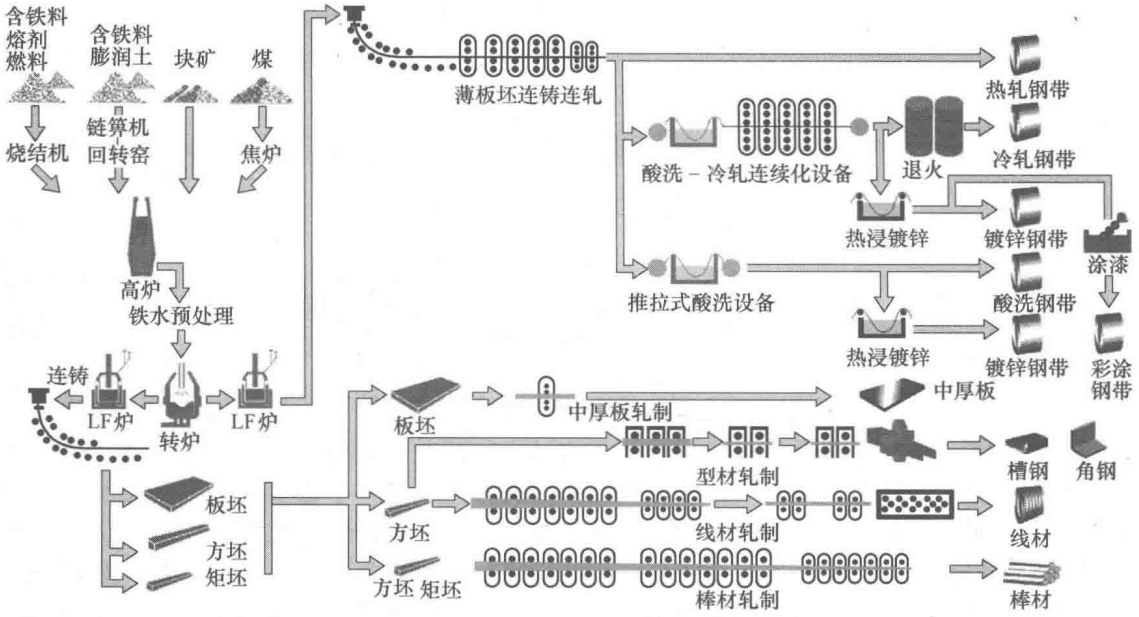
板带材是广泛应用于国民经济各部门的重要材料, 是钢铁工业的主干产品。随着制造业的迅速发展, 用户对优质钢板的需求量越来越大, 同时对钢板综合质量的要求也越来越高。钢板的综合质量除包括力学性能外, 几何外观参数也是一个重要因素。板带的几何特性在宏观上讲, 包括板带的厚度、宽度; 在微观上讲, 包括带钢的凸度、平坦度、楔形及板廓形状。板带的几何参数直观反映了带钢的质量, 是最易得到的数据, 因此, 对板带几何特性的控制是对板带质量控制的基础。目前, 板厚控制精度已经达到令人满意的效果, 厚度控制技术可以将板带的纵向厚差稳定地控制在成品厚度的 $\pm 1\%$ 或 $\pm 5\mu\text{m}$ 甚至 $\pm 2\mu\text{m}$ 的范围内, 而板形控制技术尚未达到稳定成熟的地步。

良好的板形不仅是带钢用户的永恒要求, 也是保证生产过程中带钢在各条连续生产线上顺利通行的要求。改善带钢产品的板形一直是板带生产的关注重点, 板形理论和板形控制设备及技术的研究在近几十年来一直是本领域中的热点课题, 并已经取得长足的进展。在板带钢生产中, 轧制钢板的宽度越大, 成品板的厚度越薄, 则带钢的板形缺陷越严重; 尤其用户对汽车钢板、镀锡钢板、硅钢板以及航空铝板等冷轧薄板的平坦度又有很高的要求。因此在这些薄板生产中, 除了采用计算机实现板厚控制、速度控制、位置控制、温度控制以外, 板形控制也是一个不可缺少的环节。板形不仅是衡量带钢产品质量的一个重要方面, 而且直接关系到热轧和冷轧带钢产品的市场竞争力。存在板形缺陷的带钢不仅不美观, 还会对后续工序, 如连续退火、冲压等生产的稳定性、带钢的表面质量等造成不利影响。图 1-1 为某钢厂生产工艺流程。

近几年我国已成为世界最大钢材出口国, 但在不锈钢、镀锌板、特殊冷轧薄板等高端冷轧板带产品方面仍大量依赖进口。出现这种现象的原因很大一部分是由于我国大部分的冷轧生产设备均为国外引进, 也正处于消化吸收阶段, 虽然有国际领先的装备水平, 但工艺技术却没有达到国际领先水准。国产冷轧带钢多出现板形及表面质量不稳定、通卷性能不均等问题, 这也从侧面说明了对先进生产技术掌握还不够, 要想改变这种局面就必须大力提高冷轧生产技术水平, 尤其是板形综合控制技术水平。

1.1 轧钢生产工艺过程

由钢锭或钢坯轧制成具有一定规格和性能的钢材的一系列加工工序的组合, 称为轧钢生产工艺过程。合理的轧制生产工艺能够达到高产、优质和低耗的目的。从轧钢生产过程的各个阶段来看, 可分为轧制前的准备、加热、轧制、精整及热处理等工序。图 1-2 所示为碳素钢和低合金钢的一般生产工艺流程, 图 1-3 所示为合金钢的一般生产工艺流程(带*的工序有时可略去)。



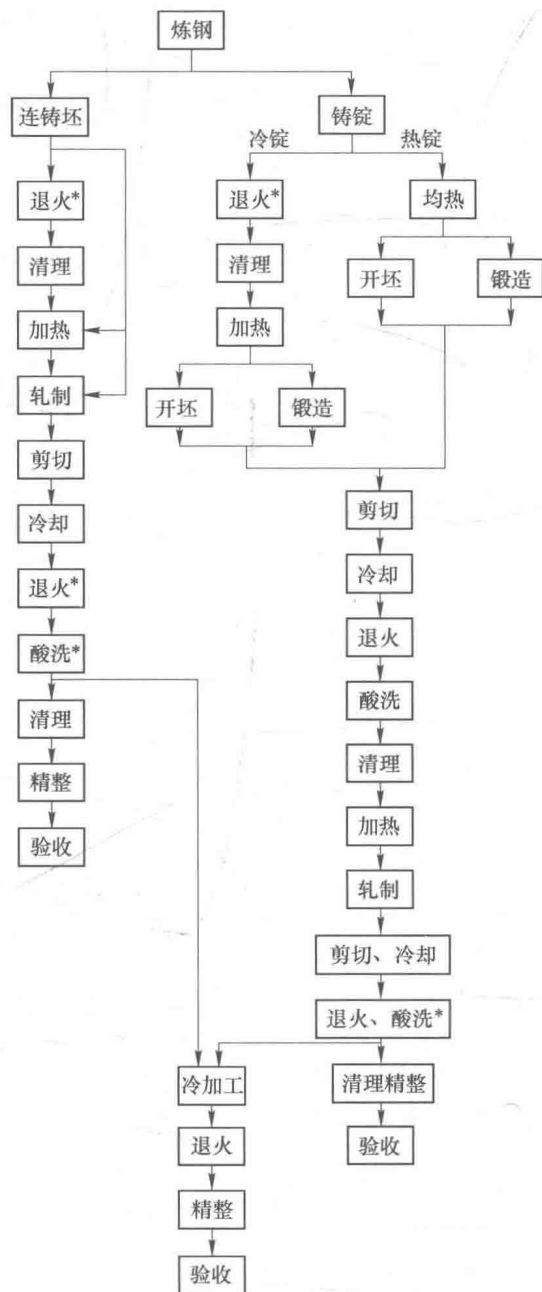


图 1-3 合金钢的一般生产工艺流程

1.2 板形缺陷分类

广义的带钢板形包括沿轧制方向的平坦度及沿带钢横截面方向的板廓两个方面，在冷轧生产过程中，狭义的带钢板形缺陷一般指平坦性缺陷。实际生产中带钢出现的板形缺陷形式多种多样，Gert Mücke 等德国学者在其研究中将板形缺陷分为平坦性与纵直度缺陷两类，且将带钢横向厚度差（即板廓）列入了平坦性缺陷。国内学者按板形的基本含义，将板形缺陷分为平坦性和横向厚差两类。如国内学者在 Gert Mücke 等人的研究基础上，将横

截面轮廓缺陷列为与平坦性缺陷和纵直性缺陷并列的板形缺陷类型，并对平坦性缺陷中的瓢曲和翘曲进行了更为细致的分类，如图 1-4 所示。

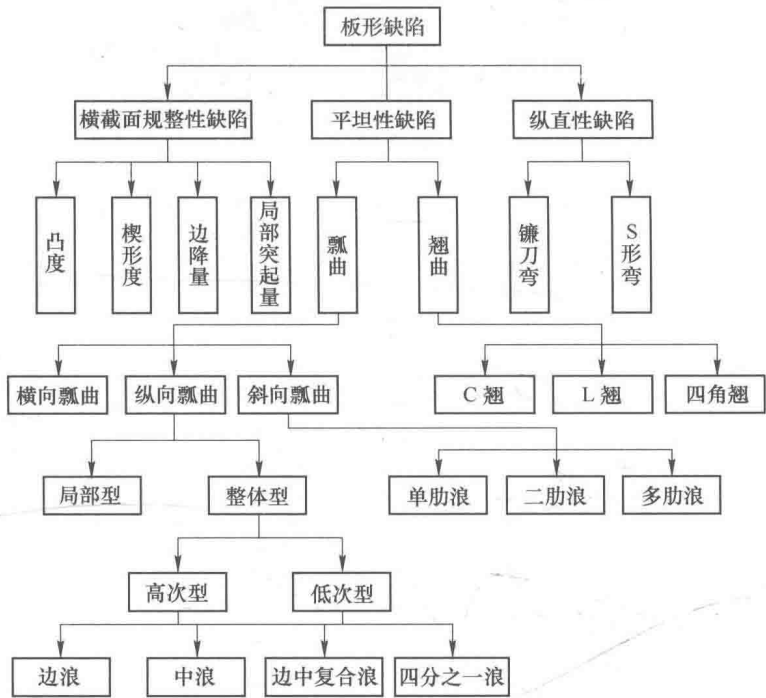


图 1-4 带钢板形缺陷的分类

板形缺陷的实质是轧制过程中带钢内部产生残余应力沿宽度方向的不均匀分布，其包含超过屈服极限的带钢所表现出来的“明板形”，以及未显现出来的“暗板形”。不同的应力分布形式会导致不同的浪形，以往的研究与应用过程一般常将冷轧浪形缺陷划分为单侧边浪、双侧边浪、中浪、四分之一浪和边中复合浪这 5 种基本浪形，其基本张应力分布形式和对应辊缝形状如图 1-5 所示，且认为任何复杂浪形均由简单浪形线性叠加而成，这也是板形分析和板形控制的重要基础之一。

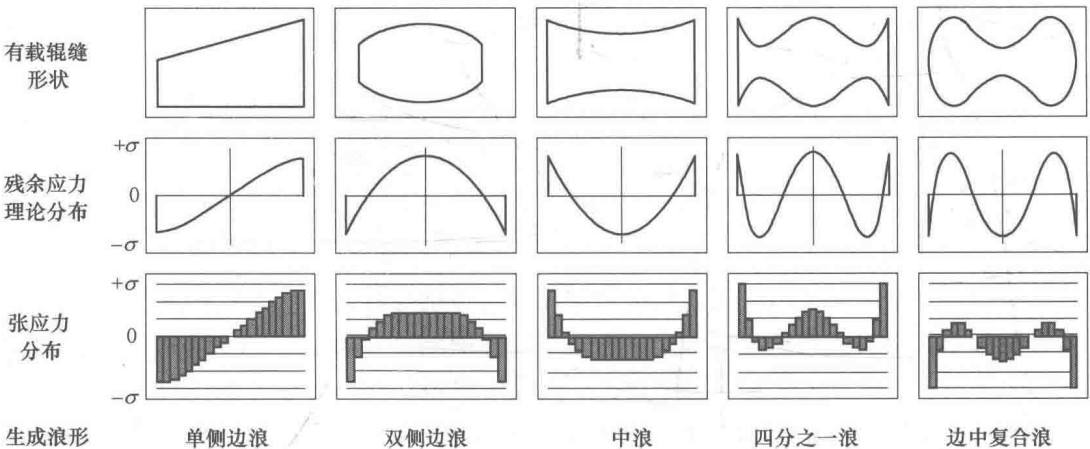


图 1-5 带钢的张应力分布和板形缺陷

在生产过程中,使用传统的5种浪形分类仍无法全面地描述板形缺陷的具体形式,有学者尝试对同一种浪形形式进行更为细致的划分,V. B. Ginzburg 在其著作中给出了表观板形缺陷形式与带钢横截面伸长率分布的对应关系,主要包括镰刀弯、小中浪、中浪、边浪、小边浪、二肋浪,如图1-6所示。Chiran Andrei 等在其研究中描述了宽幅不锈钢生产过程中的常见浪形,包括常见的中浪、边浪等基本浪形,以及斜浪、全板的口袋形浪形等,如图1-7所示,并对这些板形缺陷的产生原因进行了分析,进而给出控制方法。

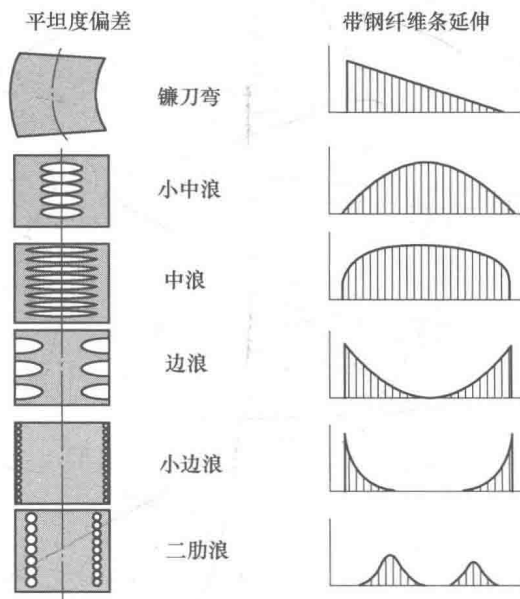


图 1-6 表观板形缺陷的分类

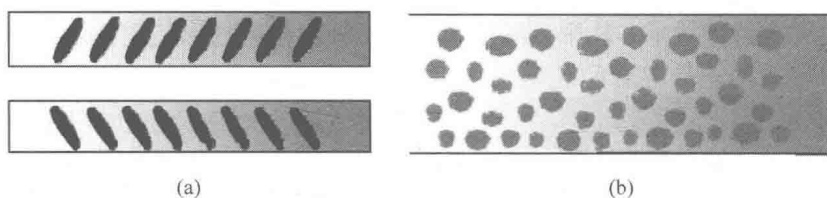


图 1-7 非基本浪形表现形式
(a) 斜浪; (b) 口袋形浪形

普通宽带钢冷轧机产品宽度一般在 1800mm 以下,宽厚比不超过 3800,工作辊辊身长度在 1900mm 以下。例如,具有代表性的武钢 1700mm 冷连轧机,其工作辊辊身长度为 1700mm,产品最大宽度为 1570mm,最大宽厚比接近 2700。近年来,随着市场上对宽幅冷轧带钢需求的增大,国内新建了一些可轧制宽度在 1800mm 以上的冷连轧机,如武钢 2180mm 轧机,其工作辊辊身长度达到 2180mm,产品最大宽度为 2080mm,最大宽厚比超过 4000,较 1700mm 轧机增加了 48%。此类型的超宽轧机在可轧制宽度、辊身长度均明显增加的同时,所轧带钢厚度和轧辊直径差别却不大。宽厚比大的带钢更容易起浪,且易出现复杂浪形,而长径比大的轧辊在载荷作用下更易弯曲变形,无疑加大了超宽轧机板形控

制难度，给冷轧板形控制提出了新的问题。

相比于普通宽带钢，超宽带钢的宽厚比更大，起浪形式更加多样，如图 1-8 所示。同时，随着板形控制技术的进步及用户对产品质量需求的提高，现场轧制生产过程中对板形缺陷控制的要求也水涨船高，传统的简单分类方法已经无法满足当前对超宽带钢冷连轧机板形缺陷特征精准分析的需求，如何更为准确地描述超宽带钢复杂的板形缺陷形式，成为分析与解决板形问题的基础。

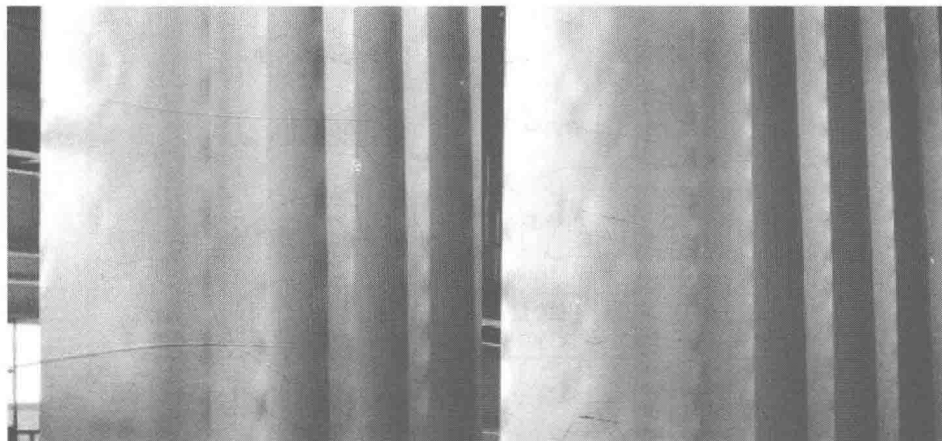


图 1-8 超宽带钢实物板形质量

1.3 新型轧机机型

从 20 世纪 50 年代末采用液压弯辊技术控制板形以来，改进设备成为控制板形的主要手段。世界各国先后开发了许多种控制板形的技术，使板形实物水平得到不断提高，从这些技术特点来看，主要有以下几方面：垂直平面弯辊系统；水平面工作辊弯辊系统；轧辊交叉系统；阶梯支持辊技术；轧辊分段冷却技术；轴向移动柱形轧辊技术；轴向移动非柱形轧辊技术；轴向移动带辊套的轧辊技术；柔性轧辊技术；柔性边部支持辊控制板形技术；轧辊边部热喷淋技术等。

带钢板形包括横截面外形（Profile）和平坦度（Flatness）两个指标。凸度（Crown）和边部减薄（Edge Drop）是横截面外形的主要参数。板形控制系统的主要功能是在不超出带钢要求的平坦度精度范围内轧制出期望的横截面形状。20 世纪 50 年代末出现了液压弯辊装置；60 年代末出现了阶梯支持辊；自 70 年代以来，国际上涌现出各种形式的新型轧机和轧辊，如日本日立公司开发的 HC（High Crown Control Mill）六辊轧机（图 1-9（a））、德国西马克 SMS 公司发明的连续变凸度的 CVC 轧机（图 1-9（b）和图 1-10）、奥钢联发明的连续变凸度的 SmartCrown 轧机、日本三菱发明的双辊交叉 PC（Pair Cross）轧机（图 1-11）、欧洲开发的 DSR（Dynamic Shape Roll）轧辊（图 1-12）、日本住友公司发明的 VC（Variable Crown Roll System，凸度可变式轧辊系统）轧辊（图 1-13）、北京科技大学与武钢和宝钢合作开发的 VCR 支持辊（图 1-14）等，其重点都主要突出在板形控制装备和技术的进步方面。从表 1-1 可以看出各个代表轧机的基本特征和主要差异。

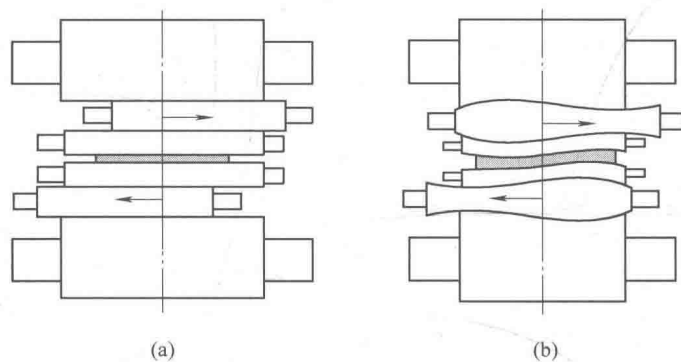


图 1-9 六辊轧机
(a) HC; (b) CVC

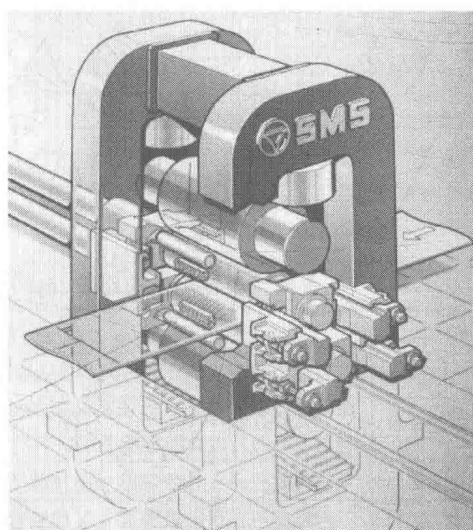


图 1-10 SMS 轧机示意图

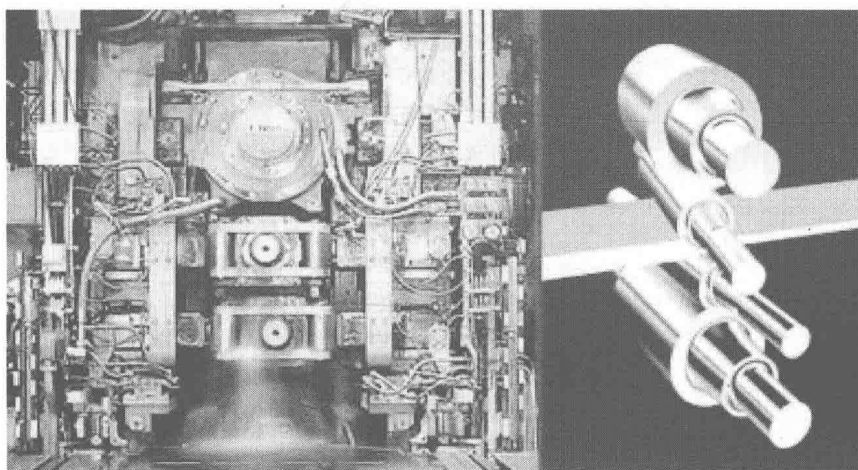


图 1-11 PC 轧机示意图

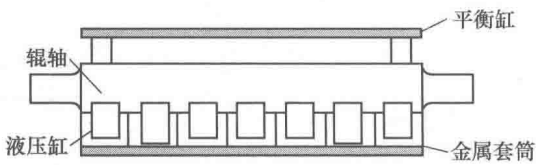


图 1-12 DSR 辊结构示意图

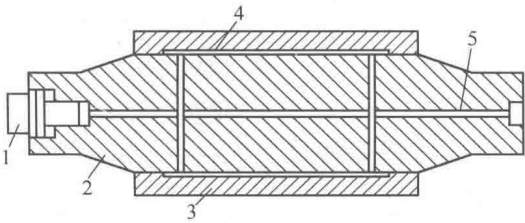


图 1-13 VC 轧辊结构图

1—旋转接头；2—芯轴；3—套筒；4—油腔；5—孔道

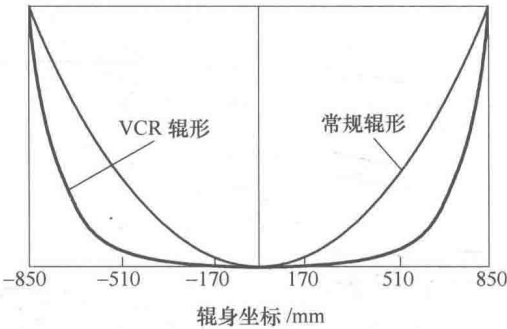


图 1-14 VCR 辊形曲线

表 1-1 具有代表性轧机的比较

轧 机	名 称	基 本 特 点
HC	HC 轧机	通过中间辊或工作辊轴向窜移来有效减少和消除“有害接触区”，从而使辊缝刚度增大，保证在轧制条件（来料板形、轧制品种规格、轧制压力……）变化时辊缝的形状和尺寸保持稳定，以轧出良好的板形
HCW	（HC 系列）	四辊轧机：工作辊窜移 + 工作辊弯辊
HCM	（HC 系列）	六辊轧机：中间辊窜移 + 工作辊弯辊
HCMW	（HC 系列）	六辊轧机：工作辊窜移 + 中间辊窜移 + 工作辊弯辊
UCM	（HC 系列）	六辊轧机：中间辊窜移 + 工作辊弯辊 + 中间辊弯辊
UCMW	（HC 系列）	六辊轧机：工作辊窜移 + 中间辊窜移 + 工作辊弯辊 + 中间辊弯辊
K-WRS	锥形工作辊抽动轧机	其工作辊辊形一端为锥形（Taper），上下工作辊反对称布置，根据带钢的宽度调节工作辊窜动的位置，从而降低带钢凸度、减少边部减损，达到调节板形的目的
UPC	万能凸度轧机	工作辊磨削成雪茄形（Cigar Shape）形，上、下工作辊反对称。通过抽动工作辊来改变辊缝的形状，从而来达到调节板形的目的
CVC	可连续变动轧辊凸度轧机	工作辊磨削成纺锤形（或称 S 形），上、下工作辊反对称。通过抽动工作辊来改变辊缝的形状，从而来达到调节板形的目的
SmartCrown	可连续变动轧辊凸度轧机	工作辊磨削成纺锤形（或称 S 形），上、下工作辊反对称。通过抽动工作辊来改变辊缝的形状，从而来达到调节板形的目的
PC	对辊交叉四辊轧机	上支持辊和上工作辊为一组，轴线平行；下支持辊和下工作辊为一组，轴线平行。上、下两组轧辊相互交叉成一定的角度。改变轧辊的交叉角度，就可以改变辊缝形状，所以可以改变板凸度和板形
VC	可变凸度轧辊轧机	向轧辊轴与辊套间缝隙处注入高压油，通过液压装置调节液体压力变化，从而来补偿轧辊凸度达到控制板形的目的