

上海宝钢总厂
轧钢继续工程教育系列教材

宽带钢轧机平直度自动控制

东北工学院加工系
上海宝钢总厂干部研修所
一九九一年八月

前 言

宝钢二期包壳热轧带钢厂和冷轧带钢厂是我国从西德引进的大型建设项目,这项工程的特点除了设备大型化、工艺连续化和高速化之外,还采用了多项先进技术。

热轧带钢厂精轧机组设有全液压厚度自动控制,液压弯辊自动控制及“连续可变凸度”系统,还采用了地下式全液压万能卷取机等新技术和设备,全厂的生产和管理采取了四级计算机系统,达到当代世界先进水平。

冷轧带钢厂引进国内第一套全连续式无头轧制冷轧机,配备有过程计算机控制的板厚和板形自动控制系统,采用了新型的CVC系统,通过轴向移动工作辊,连续变化辊缝可获得理想的板形控制。过程计算机系统执行冷轧连轧机最佳化过程自动化任务,事故信号计算机系统完成故障信号收集与分析,过程控制终端及工业电视监视器用以完成冷连轧机的智能控制,这些新技术在国际上也处于领先地位。

为了学习和消化宝钢引进冷热带钢轧机的先进技术,使这些新技术为我国国内在轧钢领域工作的广大工程技术人员所了解和掌握,并能将有关技术逐步推广应用到实际生产中去,做到一家引进,百家受益,冶金部东北工学院继续教育中心和宝山钢铁总厂教培中心联合举办“板带轧制过程自动化”研修班,计划讲授“板带材厚度自动控制”,“宽带钢轧机平直度自动控制”,“热轧板宽自动控制”和“板带轧机计算机控制系统”等四门课,本书是其中之一,“板带轧机计算机控制系统”部分的讲稿。

本书第三章一、四节由肖承香同志编写,第三章三、五节由张勇同志编写,第四章由何汝迎同志编写,第五章第二节由俞海量同志编写,第六章由许茂中同志编写,第七、八章由袁建光同志编写,其余各章由汪洋能同志编写并负责全书的编稿工作。

本书文稿和图表的校对和整理以及全部打字得到了马博同志的帮助,宝钢热轧带钢厂和冷轧带钢厂等兄弟单位的同志对本书的编写提出了不少宝贵意见,宝钢干部研修所的同志为本书的编写做了许多组织工作,在此一并表示感谢。

由于编者的业务水平所限,再加上时间短促,肯定还有一定的错误与不妥之处,诚恳希望参加短训班的同志和其它有关人员给予批评指正。

目 录

第 一 章	平直度概念	1
第 一 节	何为平直度	1
第 二 节	带钢板形缺陷的种类	1
第 三 节	用户对带钢平直度的要求	3
第 四 节	平直度控制方法的历史发展	3
第 二 章	平直度控制的一般理论	6
第 一 节	板形缺陷的表示方法	6
一、	相对波峰值表示	6
二、	松弛系数表示	6
三、	张力差表示	7
四、	向量表示	7
五、	带钢断面形状的多项式表示	10
第 二 节	带钢平直条件	11
一、	产生板形缺陷的原因	11
二、	平直条件	13
第 三 节	带钢横向厚度差的组成	13
第 四 节	支承辊与工作辊之间压力分布的讨论	15
第 五 节	工作辊与支承辊的弯曲挠度	17
一、	在两轧辊接触范围内的挠度差 Δf	19
二、	在两轧辊接触范围之外的挠度差 f	21
三、	剪切挠度	21
四、	总挠度	21
第 六 节	轧辊间的弯曲变形	22
第 七 节	轧辊的热凸度和磨损凸度	23
一、	热凸度	23
二、	磨损凸度	24
第 八 节	轧辊平移及辊缝曲线	25
第 九 节	板平直度控制基本原理	29
一、	板形良好方程	29
二、	平直度的调节过程	30

三.	板形良好区	32
第 三 章	可变凸度控制方法的兴起及其工作原理	35
第 一 节	CVC 技术在国内外的应用	35
第 二 节	工作原理	35
第 三 节	CVC 轧辊的辊形曲线	38
一.	CVC 轧辊的辊形曲线函数	38
二.	凸度变化量	40
三.	辊形曲线与凸度变化范围的关系	41
第 四 节	影响辊缝形状的因素	42
一.	轧制力的影响	42
二.	工作辊凸度的影响	43
三.	支承辊凸度的影响	43
四.	工作辊弯辊的影响	43
第 五 节	弯辊和轧辊轴移调节范围	45
一.	弯辊的调节范围	45
二.	弯辊和 CVC 配合形成的调节范围	45
第 四 章	冷轧连续可变凸度平直度控制的机械结构	49
第 一 节	工作辊轴向移动的机械结构	49
一.	连续可变凸度轧机机架内的机械结构	49
二.	连续可变凸度轧机主传动轴的特殊设计	51
三.	工作辊轴承座的结构特点	53
第 二 节	工作辊轴向移动液压控制系统	55
一.	轴向移动液压系统	55
二.	轴向力	57
第 三 节	连续可变凸度轧机正弯辊液压控制系统	57
一.	工作辊平衡缸液压控制回路	59
二.	正弯辊液压控制回路	59
三.	弯辊力	60
第 四 节	需要考虑的几个问题	60
第 五 章	带钢板形测量	62
第 一 节	带钢检测仪的种类	62
一.	热带钢板形检测仪	62

二.	冷带钢板形检测仪	65
第 二 节	ASEA QUSM 2.0 冷轧板材板形测量系统	72
一.	测量原理	72
二.	测量辊	7
三.	数据信号处理	7
第 六 章	平直度控制的基础自动化	86
第 一 节	倾斜控制系统	86
第 二 节	CVC 控制系统	87
第 三 节	弯辊控制系统	90
第 四 节	乳化液流量控制	91
第 七 章	板形计算机控制系统	94
第 一 节	板形控制系统的组成及其功能概述	94
第 二 节	板形计算机控制系统	97
一.	计算机控制系统结构	97
二.	板形控制计算机硬件结构、工作原理及设备配置	101
三.	板形控制的基本原理	104
四.	工作辊弯辊和 CVC 位置的 PRESET	110
第 八 章	板形控制数学模型及程序设计	113
第 一 节	5 # 机架压下负荷分配	113
一.	压下方式	113
二.	5 # 机架压下负荷的确定	114
第 二 节	冷轧带钢板形缺陷的多项式回归分析及数学模型	115
第 三 节	板形控制设定计算数学模型	119
第 四 节	轧辊倾斜调节数学模型	119
第 五 节	工作辊弯辊数学模型	120
第 六 节	CVC 位置调节数学模型	121
第 七 节	轧辊分段冷却控制数学模型	122
第 八 节	带钢板形的自适应控制	124
第 九 节	板形控制系统的程序设计	124
第 九 章	平直度控制的展望	128
第 一 节	板厚和板形联合控制问题	128
第 二 节	板厚和板形分别控制问题	130

第一章 平直度概念

第一节 何谓平直度

取一定长度和一定宽度的钢板放在平台上，或悬挂在一垂直平面旁边，并自然下垂。如果钢板与平台或垂直平面处处贴紧，则谓此钢板平直度良好；如果用直角尺测量或用肉眼能观察到钢板局部不贴合，离开平台或垂直平面的最大距离超过标准规定值，则谓此钢板存在波浪形、翘曲、上下凸起等板形缺陷。这是对最终产品平直度的静态检查方法。

但是，用上述办法无法检查带钢在轧制过程中的动态平直度，而需要用特殊的手段才能检测带钢在运动过程中存在的板形缺陷。

带钢在轧制过程中有两种类型的板形缺陷：一种是用肉眼可以直接观察到的，称为显在板形，它出现在热带钢轧机上；另一种是在卷取张力作用下，带钢被拉直，轧制时看不出板形缺陷，除去卷取张力后，带钢板形缺陷又重新显露出来，这种板形缺陷称为潜在板形，它出现在冷轧带钢轧机上。

这两种带钢的动态平直度概念有所不同。热带钢的动态平直度与静态平直度基本一致，所不同的只是在动态情况下，采用特殊的方法去测量带钢各部分离开辊道平面的高度，以沿宽度方向的高度分布去判断带钢是否存在板形缺陷。冷轧带钢的动态平直度与带钢沿横向的张力分布有关，用宽度方向上的张应力 σ 的差值去表征带钢的平直度。

第二节 带钢板形缺陷的种类

下面先叙述带钢板形缺陷的定义。带钢各横截面的中性线不位于同一水平面内，就出现了不平直的缺陷，称为板形缺陷，或称平直度不良。常见的板形缺陷有以下几种（见图1-1）：

边浪 带钢边部的厚度减薄量大于中部，从而引起边部的延伸量大于中部，出现边浪。边浪又有单边浪、双边浪和不对称双边浪三种。产生边浪的主要原因是总轧制力过高，投入错误的工作辊弯辊，负弯辊量过大，而且没有切换到正弯辊，工作辊凸度过平或工作辊温度边部高于中部。边浪可以由弯辊和轧辊轴移来消除。单边浪由调整单侧压下解决。

中浪 带钢中部的厚度减薄量大于边部，从而引起中部的延伸量大于边部，

出现中浪。产生中浪的主要原因是总轧制力太小，工作辊的正弯辊力过大，没有切换到负弯辊，工作辊凸度过大或轧辊中部热膨胀过大。中浪可以由弯辊和轧辊轴移来消除。

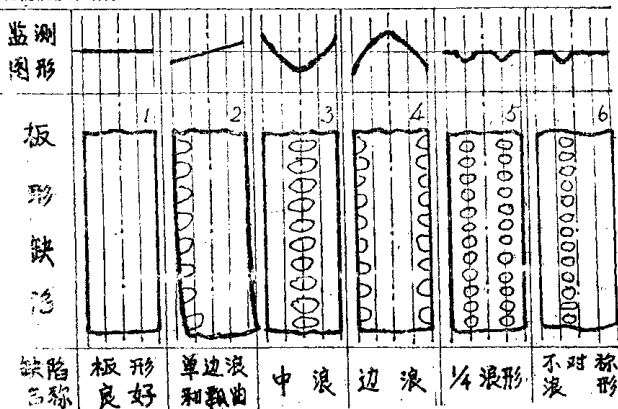


图 1-1 板形缺陷及其监测图形

1/4 浪 波浪出现在中部和边部之间的板宽 1/4 处。这主要是由于连续长时间轧制后，辊中部与边部产生较大温度差，同时辊中部又受到大水量冷却，因而在与板宽 1/4 处相对应的地方辊温偏高，这种局部的热膨胀是产生 1/4 浪的来源。1/4 浪用弯辊和轧辊轴移很难解决，要靠加强对该处的局部冷却才能消除。

横向波浪 由于带钢来料的平直度不良，加上过高的单位轧制力和错误的弯辊设置，出现一个微小的材料横向流动，使带钢出现横向波浪或对角线波浪。减小轧制力，可以阻止横向波浪继续出现，但是出现横向波浪以后，却很难消除。生产中应避免出现横向波浪。

上凸下凹 上凸下凹是局部的不平度。只在带钢宽度的几厘米处可以看出隆起的肿块。它是由于局部地区冷却喷头损坏，轧辊冷却不足而局部升温或轧辊局部磨损，而造成在带钢宽度上的局部压力过高而产生。主要对策应立刻将

卷取张力降低 30%，同时降低轧制速度。一般很难完全消除。

第三节 用户对带钢平直度的要求

随着科学技术的发展，其它各工业部门对带钢的需求量愈来愈多，对宽带钢质量的要求愈来愈高。尤其是用户对汽车钢板、镀锡钢板、硅钢板以及航空铝板等冷轧薄板的平直度都提出很高要求。如果带钢断面形状不好，出现凸度过大、楔形、镰刀弯；或者带钢平直度不良，出现波浪、翘曲、局部凸起等缺陷，将严重影响其他各工业部门制成产品的质量及寿命。

航空工业对它所用的铝板要做严格的平直度检验。如果飞机机翼的蒙皮铝板上存在着板形缺陷，那么在高速飞行下的飞机可能会由于机翼的鼓动而造成事故。

电气工业对硅钢板的平直度要求很高。如果制造变压器的硅钢片上存在着板形缺陷，将使变压器的损耗增加，容易发热，对进一步增加电源功率造成困难。

汽车工业中广泛采用自动流水线进行生产，如果钢板上存在着板形缺陷，则不仅无法在自动焊接机上进行自动焊接，而且会由于运输受到阻碍而使流水生产线中断。

民用工业生产的洗衣机、电冰箱、食品罐头等产品对它所用的钢板的质量要求也很高，如果因为钢板板形不好而影响它的外观质量，将会降低产品的价值。

供冷连轧机组或可逆式单机冷轧机生产的热轧带卷，如果存在波浪形、凹凸、楔形等板形缺陷，一方面给带钢头尾焊接造成困难，轧制时容易断带；另一方面也会给冷轧时纠正板形缺陷增加难度，甚至会直接影响冷轧带钢的产品质量。带钢平直度不良或出现镰刀弯和“S”形带钢，将会给后部的卷取、穿带、剪切、退火、平整、矫直等操作带来困难。从这种意义上来说，热带钢轧机对板形控制的要求更为迫切。

第四节 平直度控制方法的历史发展

五十年代带钢平直度控制主要用磨削轧辊原始凸度的方法来加以控制。由于原始凸度磨削成后是一固定不变的值，很难适应千变万化的轧制生产情况。

因此,在此基础上,人们又采用人工控制压下制度和合理编制生产计划来补充其不足。但是,这必然会影晌轧机生产能力的发挥和增加编制计划的复杂性。

在这阶段中,由于控制手段不完善,钢板平直度控制一直处于这种落后的状态。

六十年代以后,液压弯辊装置被应用到钢板轧机上,这标志着带钢平直度控制进入了新时期。有了弯辊装置,使带钢平直度的在线控制成为可能,人们可以通过这种方法对板宽方向的板厚分布进行调节。

由瑞典的A S E A公司于1967年研制成功的可用于测量冷轧带钢平直度的多段接触辊式板形仪和带钢平直度自动控制系统(A F C),在少数几套单机架冷轧铝带和钢带轧机上应用,并与弯辊装置配合构成平直度闭环控制系统,这是平直度控制技术初期的一大贡献。

七十年代平直度控制逐渐向热带钢轧机发展。但是由于板形检测的困难,热带钢轧机上的平直度控制终于没有实现。虽然这段时期各国都十分重视平直度控制,但是进展不大。日本石川岛播磨于七十年代初期,开始研制在带钢平直条件下的最佳弯辊力计算,把它作为预设定控制模型,由计算机进行在线控制,这是平直度模型控制的雏形。

以后液压弯辊凸度控制技术逐渐被应用到中厚板轧机上去。在中厚板轧机和宽带钢轧机上发现弯辊控制板凸度的效果没有达到预期目的,主要是受到弯辊装置的最大弯辊力的限制,这就是所谓的弯辊能力不足的问题。如何才能扩大轧机的弯辊能力呢?曾有人在这方面进行了大量的研究,创造出大凸度支承辊控制板凸度的N B C M法,倒角支承辊控制板凸度的C B R法,以及工作辊弯辊改用双轴承座工作的D C - W R B法。这些方法对控制带钢平直度都有一定的效果。

虽然弯辊控制技术比较成熟,而且被公认是控制平直度和板凸度的有效手段,但是由于受弯辊能力和模型的限制,把它应用到连轧机上去还存在不少问题。后来出现了最优轧制规程和动态负荷分配法生产带钢的平直度控制技术。

所谓最优轧制规程,就是在轧制中厚板时,前几道考虑最大允许力矩,使轧机生产能力得到发挥,后几道考虑板平直度这一原则来编制压下规程。

在热连轧机上,起初压下设定模型是采用静态负荷分配的方法,即根据操作经验统计得到负荷分配系数,并将这些系数存于计算机中,控制时直接取用此固定系数。当生产工人发现平直度不良,就凭经验对计算机干预,修改各架负荷分配系数。此法不适合于轧制过程经常发生变化的情况。七十年代中期,

比利时的冶金研究中心 (CRM) 提出动态分配负荷系数的方法, 即根据轧制带钢的实鼓撑件, 以保证轧出要求的板凸度和平直度为目标, 考虑各架轧机的辊型及其在轧制过程中的变化, 对各架轧机的负荷和设定值进行分配计算, 实践证明取得较好的效果。

板凸度和平直度的新的控制方法还在不断发展。七十年代末期和八十年代初期又研制成功六辊大凸度轧机 (HC 轧机), 装有可变凸度轧辊 (VC 辊) 的轧机和连续可变凸度的新型轧机 (CVC 轧机)。它们都可用于控制带钢的平直度和凸度。尤其是 HC 轧机和 CVC 轧机在各种型式的冷热带钢轧机, 获得比较广泛的应用, 引起人们的极大注意。

各种板平直度控制方法的应用情况及其效果比较见图 1-2。

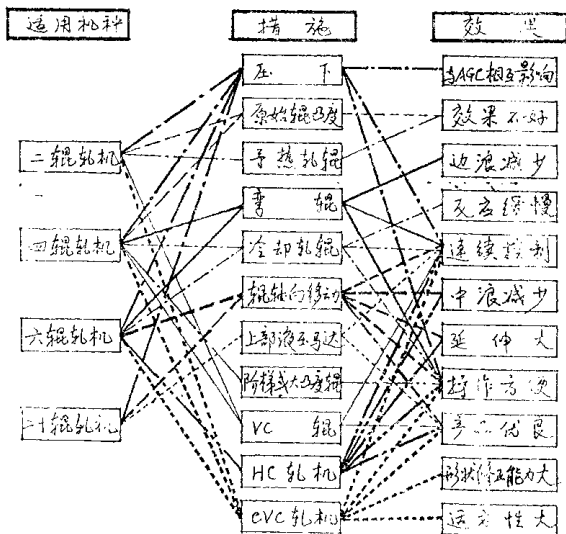


图 1-2 平直度控制方法的应用和效果

第二章 平直度控制的一般理论

第一节 板形缺陷的表示方法

板带钢的板形缺陷是只有感官印象，而无数量上的定量关系，且比较模糊的物理现象。因为既不容易分清各种板形缺陷的差别和界限，又不容易区别各种板形缺陷所达到的程度，所以要对带钢平直度进行控制是比较困难的。为了对板带钢的平直度实现检测和控制，首要的问题是如何对板带钢的板形缺陷进行数量化，即把各种类型和各种程度的板形缺陷用数学形式表达出来。最常用的有以下几种表示方法。

一、相对波峰值表示

将带材取出一段放在平台上，如图 2-1 a 所示。带材平直部分与平台相贴合，如把该纵条视为一直线，带材波浪部分与平台接触如图 2-1 b 所示；如把该纵条视为一正弦波，则可将带材的相对波峰值 λ 用振幅 h 与 L_0 之比来定义，即

$$\lambda = h/L_0 \quad (2-1)$$

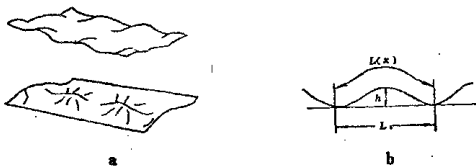


图 2-1 带材的波浪缺陷表示

这种表示方法比较直观，也便于测量，常作为成品带钢静态平直度检查之用。

二、松弛系数表示

假如带钢平直部分的标准长度为 L_0 ，而宽度方向任意点 x 上波浪弧长为 $L(x)$ (如图 2-1 b)，则松弛系数 $\varepsilon(x)$ 可表示为：

$$\varepsilon(x) = \frac{L(x) - L_0}{L_0} \quad (2-2)$$

松弛系数表示波浪部分的曲线长度对于平直部分标准长度的相对增长量。一般用带材宽度上最长部分和最短部分的相对长度差表示，单位是百分数。因为该数很小，也有规定相对长度差的 10^{-5} 为一个 1 单位，即

$$\varepsilon(x) = \frac{L(x) - L_0}{L_0} \times 10^5 \quad 1$$

—— 1 单位相当于 1 m 长的带材中有 10 μ m 的长度差。

三、张力差表示

带钢在张力作用下，显在波形消失，而变为潜在波形。此时在板宽方向出现张力不均匀分布（图 2-2）。原来平直部分（即 $\varepsilon = 0$ ）受张力大，而原来有波浪部分（即 $\varepsilon > 0$ ）受张力小。换句话说，带钢上张力分布与平直度成正比。如果施加到标准长度部分上的单位张力为 T_0 ，则板宽上某一点的单位张力 $T(x)$ 可用下式表示

$$T(x) = T_0 - \Delta T(x) \quad (2-3)$$

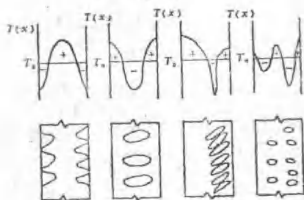


图 2-2 板形缺陷与张力分布的关系

上式说明，在张力作用下板宽方向出现张力偏差 $\Delta T(x)$ ，它与松弛系数成比例，即

$$\Delta T(x) = E \varepsilon(x) \quad (2-4)$$

式中 E —— 带钢的弹性模量 (KN/m^2)。

如果将上式改写成

$$\varepsilon(x) = \Delta T(x) \times 1/E \quad (2-5)$$

说明松弛系数的分布以及由它引起的形状凹凸不平可以由 $\Delta T(x)$ 来估量。

四、向量表示

上面所叙述的三种板形缺陷表示法，只能表示板上某一点的板形缺陷的大

小，或者表示中浪和边浪的简单情况，而无法说明整个钢板的平直度好坏。实际钢板上出现的板形缺陷是极其复杂的，可能出现在钢板上任何部位，板形缺陷的形状和严重程度各不相同。为了形象地表示出钢板板形缺陷的复杂变化，可以采用向量表示法。

大家知道，钢板上出现板形缺陷是与沿宽度方向的压下分布有关。宽度上某一点具较大的压下变形量，在该位置处可能会出现波浪形缺陷。图 2-3 就是用图形表示带钢中心（c 点）、1/4 处（q 点）和板边（e 点）的厚度变化情况。以板宽方向的位置 x 为横坐标，以厚度变化量 δ 为纵坐标。上述三点厚度变化量不同，表示板形缺陷变化趋势也不同。这种变化趋势是与它们的相对差值有关。如果以 S_q 和 S_e 分别表示内部两点之间的厚度变化量的相对差值，即

$$S_q = \frac{\delta_c - \delta_q}{x_q} \quad (2-6)$$

$$S_e = \frac{\delta_q - \delta_e}{x - x_q} \quad (2-7)$$

并以 S_e 分量为横坐标， S_q 分量为纵坐标，则向量 S 同样可以表示板形变化的趋势（图 2-3 b）。

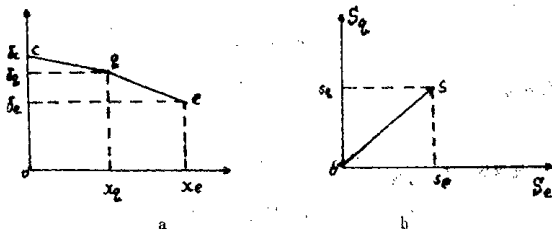


图 2-3 板形缺陷的向量表示

实际上，向量 S 的两个分量 S_e 和 S_q 分别是图 2-3 a 中直线段 qe 和 cq 的斜率。直线段 qe 和 cq 的斜率可能是正值或负值，它们的组合情况如

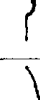
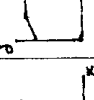
板形缺陷	小边浪	大边浪	小边浪	1/4浪	小中浪	大中浪	小中浪	中边浪
钢板形状								
宽度方向 变化分布								
向量表示								

图 2-4 板形缺陷向量表示法的组合情况

图 2-4 所示。图中表示出现各种板形缺陷的趋势。当 S 位于第一象限时，带钢向发生边浪的方向变化；当 S 位于第三象限时，带钢向发生中浪的方向变化；当 S 位于第二象限时，带钢上将出现 1/4 浪；当 S 位于第四象限时，带钢上将出现复合浪。

图 2-5 是第四象限的向量图，根据向量所在的象限及大小，可以判断钢板板形缺陷的性质及严重程度。

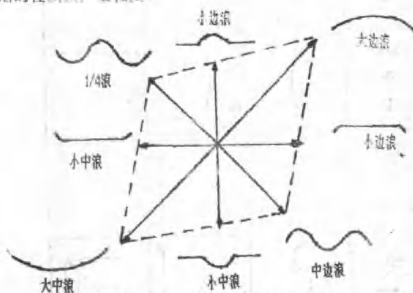


图 2-5 四象限板形缺陷向量图

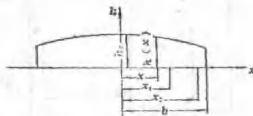
五. 带钢断面形状的多项式表示

带钢的板形与带钢断面形状有关，所以为了控制带钢平直度，也可以将带钢板形用断面形状参数来表述。带钢断面形状可以用带钢厚度 $h(x)$ 与板宽方向离开中心线距离 x 之间的数学表达式来表示（图 2-6）。

$$h(x) = h_c + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^6 \quad (2-8)$$

式中 h_c —— 带钢中部厚度 (mm)；

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 —— 表示断面形状特征的系数。



任何一个给定的断面形状，都能以式(2-8)表达。但是除一次项与两侧压下不等有关外，一般认为带钢是左右对称的，所以奇次项不存在，同时为使计算不太复杂，忽略高次项，因而式(2-8)可以写成

$$h(x) = h_c + a_1 x + a_2 x^2 + a_4 x^4 \quad (2-9)$$

由上式可知，只要知道了四个参量 h_c 、 a_1 、 a_2 和 a_4 ，则断面形状就完全确定了。系数 a_1 、 a_2 和 a_4 主要取决于轧辊凸度分布、单位长度轧制压力分布、弯辊力大小和方向，即

$$\begin{aligned} a_1 &= a_1(\Delta D_x, p_x, J) \\ a_2 &= a_2(\Delta D_x, p_x, J) \\ a_4 &= a_4(\Delta D_x, p_x, J) \end{aligned} \quad (2-10)$$

在轧制过程中，控制 ΔD 、 p 和 J 可以改变 a_1 、 a_2 和 a_4 ，从而达到改变轧后带钢断面形状和控制平直度的目的。

根据板形良好条件，可以确定合理的断面形状所应具有 a_1 、 a_2 以及 a_4 的值，它应根据下面式子来确定

$$H(x)/h(x) = \mu \quad (2-11)$$

而带钢来料的断面形状设为

$$H(x) = H_c + a'_1 x + a'_2 x^2 + a'_4 x^4$$

轧出带钢的断面形状设为

$$h(x) = h_c + a_1 x + a_2 x^2 + a_4 x^4$$

则

$$\frac{H_c + a'_1 x + a'_2 x^2 + a'_4 x^4}{h_c + a_1 x + a_2 x^2 + a_4 x^4} = \mu \quad (2-12)$$

为此必须满足

$$H_c/h_c = a'_1/a_1 = a'_2/a_2 = a'_4/a_4 = \mu \quad (2-13)$$

这种表示方法不是以板宽上某一点的板形来描述，而是以整个断面的形状来表示板形，所以它能反映复杂的板形缺陷。

第二节 带钢平直条件

一、产生板形缺陷的原因

钢板在轧制过程中，一般要经过粗轧、中轧、精轧三个阶段。粗轧阶段主要产生

显的纵向延伸。如果板带沿宽度方向各部分有不均一的压下变形，则必将产生不均一的纵向延伸。由于带钢实际上是一个整体，各部分之间必定互相牵制，互相影响。因此带钢内部就产生相互作用的内应力。当这个内应力足够大时，就可能破坏带钢各部分之间维持平直的稳定性条件，带钢上就会出现波浪形、翘曲等板形缺陷。

由于轧制过程是一个复杂的物理过程，金属所发生的塑性变形和轧辊所发生的弹性变形受到许多因素的影响，要想彻底地消除压下变形不均，是不可能的。但是，应该将它限制在尽可能小的范围内，以防止带钢出现波浪形和翘曲的缺陷。

二、平直条件

根据以上叙述，欲使带钢在轧制过程中维持平直，其首要的条件就是保证带钢沿宽度方向各处有均匀的延伸。图 2-7 是带钢变形前和变形后的横断面形状， H 和 H_e 分别表示带钢变形前中部和边部的厚度； h 和 h_e 分别表示带钢变形后中部和边部的厚度，则带钢在变形前和变形后的凸度 Δ 和 δ 分别为

$$\Delta = H_c - H_e \quad (2-14)$$

和

$$\delta = h_c - h_e \quad (2-15)$$

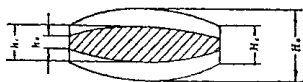


图 2-7 带钢横断面形状

为了获得平直的带钢，应使带钢中部和边部有相等延伸量，应该保证：

$$\frac{H_c}{h_c} = \frac{H_e}{h_e} = \mu \quad (2-16)$$

即

$$\frac{H_e + \Delta}{h_e + \delta} = \frac{H_e}{h_e} = \mu$$