

邯宝冷轧厂酸轧机组板形控制及板形仪探索实践

Roll Shape Technique and Practice at HanBao Cold Rolling Mill

供稿|谢磊¹, 李进², 王鹏昊¹/XIE Lei¹, LI Jin², WANG Peng-hao¹

内容导读

冷轧板带的板形及厚度精度是衡量冷轧板带质量的两个重要外形尺寸指标。从某种意义上讲,带钢的板形控制实际上是厚度控制沿带钢宽度上的拓展。在科学技术飞速发展的今天,板形控制技术不断进步,冷轧板带的生产效率和效益都获得了大幅提升,但钢铁行业竞争的日益严峻,也对冷轧板带的综合质量提出了更高的要求。

带材的平直度及其测量方式

► 对于板形的理解

冷轧板带的轧制过程实质上是金属原材料在轧辊的作用下发生塑性变形的物理过程,不同横截面形状的带材经过轧制发生纵向和横向的延伸。如上所述,该变形过程的重点是要求沿带材宽度方向有平稳、均衡的纵向延伸。

我们不妨设想一下将带材沿宽度方向切割成若干纵条,如果其中任何一条纵条由于压下量的变化而导致纵向延伸不同于其他窄条,便会影响其相邻窄条的变形,所以带材的轧制变形过程是一个整体的过程,各窄条之间必定互相作用,互相影响。

正是因为如此,当沿带材宽度方向的压下量分布不均匀时,各个窄条就会相应地发生纵向延伸的

不均匀,这就会在各窄条之间产生相互作用的内力。当这个内力较大时,就会引起带材的变形,即翘曲。由于轧制过程是一个复杂的物理过程,受到诸如带材所发生的塑性变形或者轧辊所发生的弹性变形等内外因素的影响,所以想要彻底消除这种变形不均,是不可能实现的。但是,将这种变形不均限制在尽可能小的范围内,以防止带材变形即翘曲的产生,便是我们工作的努力方向。

◆ 对于板形的描述

为了说明带材沿宽度方向所产生的变形不均的程度,而引入了板形这个概念。宏观看来,是指带材的翘曲程度,剖析其微观世界,是对带材内部残余应力分布的描述。

带钢的板形,包括带钢横截面凸度和轧制方向上的平直度两个方面。而这两个方面之间存在着密

作者单位:1.邯宝冷轧厂设备管理室,河北邯郸 056015;2.邯宝冷轧厂生产技术室,河北邯郸 056015

切的关系和相互作用。

如上所述,板形的含义包括带钢横截面的凸度和平直度两部分。本文所涉的及板形控制着重平直度控制,对带钢横截面的凸度即带材轮廓偏差暂不涉及。

◆ 平直度的描述

应用于生产实践,经常用相对延伸差 ρ_x 来对平直度进行描述,相对延伸差的单位定义为每米长度的延伸差,按下式表示:

$$\rho_x = \Delta l_x / l_c (\mu\text{m} / \text{m} \times 10^6)$$

或者使用 I-Unit 来表示:

$$1\text{I-Unit} = 10 (\mu\text{m} / \text{m})$$

相对延伸差描述带钢平直度的方法,常常用在理论计算与分析中。

◆ 平直度的定义

平直度即带材纵向平坦性的定量描述。在轧制生产和产品检验过程中,一直存在着多种平直度定义与测量方法,如图 1。

在这里我们用应力(应变)差法定义平直度。即以实测的在线带材中不均匀分布前张应力对平均张应力的差值表示平直度,记为 $\Delta\sigma(x)$,称为板形检测应力分布。

当弹性拉伸应变差与纤维相对长度差法对平直度的描述等价时,即:

$$\Delta\sigma(x) = E (\Delta l_x / l)$$

► 平直度的测量

目前应用于生产实践的带钢平直度检测方法有很多种,按带钢与平直度传感器之间的接触方式可将其分为两大类:与带钢直接接触的平直度检测装置为接触式板形仪,不与带钢接触的为非接触式板形仪^[1]。

接触式板形仪直接进行信号的检测,并且处理信号的保真较为容易,所以该类型板型仪测量精度相对较高,现已达 ± 0.5 I-Unit。但其制造工艺复杂,加工难度大,产品造价高,板型辊的辊面经长期使用磨损后需进行重新修磨处理,否则会对带材表面质量产生影响,重新修磨后的测量装置需进行高技术要求的标定。应用于我厂的即是这种类型的平直度仪。

非接触式板形仪的硬件结构相对简单,易于日常维护,并且由于该类型板形仪不与带材直接接触,从而避免了对带钢表面质量的影响。但该类型板形仪所采集的信号为非直接信号,处理非直接信号的技术难度较大,所以该类型板型仪的测量精度相对较低,约为 ± 2.5 I-Unit。生产实践中应用的该板形仪其测量原理及方法主要有电磁法、位移法及振动法,其中西门子开发的一种采用振动法通过电涡流传感器检测的 SI-FLAT 非接触式板形仪,已在冷轧机上得到了成功的应用。它的检测精度已达到甚至超过了接触式板形辊,预计其在冷轧领域内将会有较为广阔的应用前景^[1]。

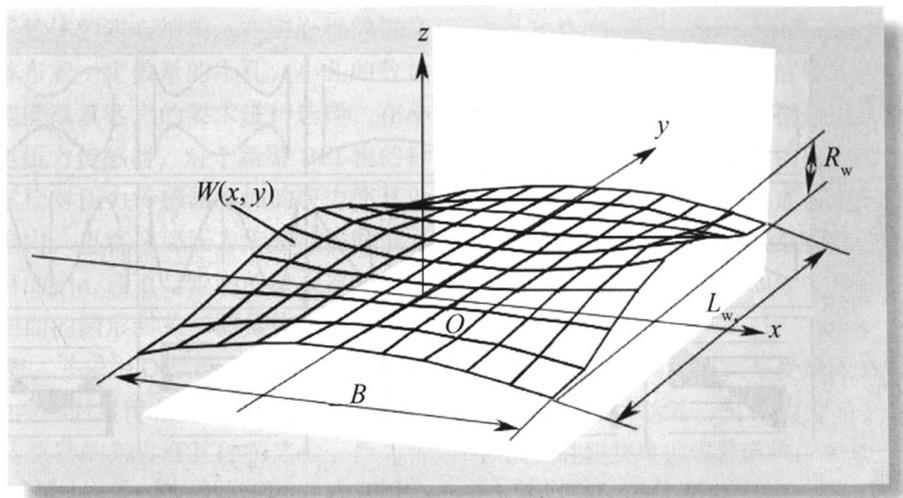


图 1 微观应力分布图示

表 1 中对目前应用于生产实践中的主流板形检测装置进行了介绍及分类。

表 1 板形检测装置分类^[1]

分类	方法	代表仪器	应用情况
接触式	辊式法	ABB压力传感器	广泛
		BFI压力传感器	广泛
		Vidimon、川崎空气轴承	较少
非接触式	电磁法	BISRA磁致弹性	较少
	位移法	神户等感应传感器	较少
	振动法	Siemens SI-FLAT涡流传感器	优势很大

常见的板形缺陷

➤ 带钢纵向屈曲

如图 2 所示，轧后带钢浪形缺陷本质上是由于带材经过轧辊压下时沿横向存在不均匀延伸以及由此造成的不均匀内应力分布，当此内应力足够大以至于引起带材失稳发生屈曲变形，则板形平直度缺陷表现为一种明显浪形(明板形)。

带钢产生局部宽度内压屈曲的根本原因被认为是带钢长度发生了沿板宽方向的不均匀延伸，屈曲的结果是产生所谓浪形。

➤ 带钢横向瓢曲

如图 2 带钢浪形类型图示所示，带钢横向瓢曲的主因是由于带钢宽向中部局部区域张力集中导致不均匀拉伸变形造成的局部屈曲，比如连续退火炉

内带钢“热瓢”现象。

板形控制技术方案——曲面辊应用

德国西马克-德马格公司于 1980 年开发了 CVC (Continuously Variable Crown) 曲面辊板形控制技术，Continuously Variable Crown 的含义为连续可变凸度。经过对于工艺策略和控制手段近 30 年的探索，使得 CVC 技术日趋成熟为目前世界上最先进的轧制技术之一，CVC 曲面辊已应用于多种轧机机型，广泛应用于冷轧板带的生产中。

CVC 曲面辊技术的原理为，将上、下轧辊辊身磨削成相同的纺锤形(S 形)CVC 曲线，上、下辊的位置相对倒置 180°，当曲线的初始相位为零时，形成等距的 S 形平行辊缝，通过轧辊窜辊机构，使上、下 CVC 曲面轧辊同步窜动，就可产生连续变化的辊缝，从而适应工艺对轧辊在不同条件下，能迅速、连续的相应辊缝凸度的要求。

BFI 板形仪的应用实践

➤ 板形辊——传感器的结构

我厂应用德国钢铁工艺研究所(BFI)研制的 BFI 板形仪。如图 3 所示，该辊的检测元件为压力传感器，该压力传感器即压头通过应变片来测量应力。传感器的最大测量力是 1 N，并且具有体积小、灵敏度高的

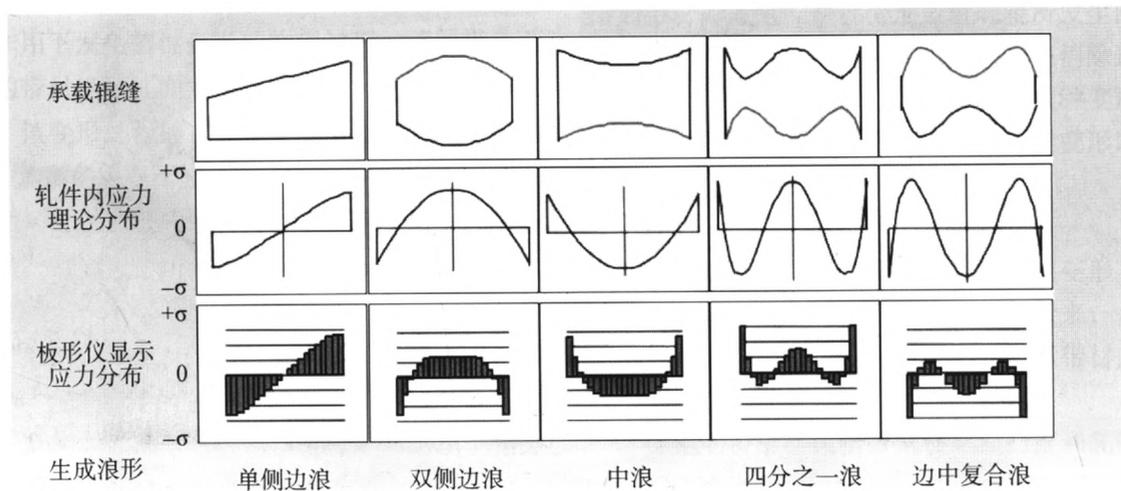


图 2 带钢浪形类型图示

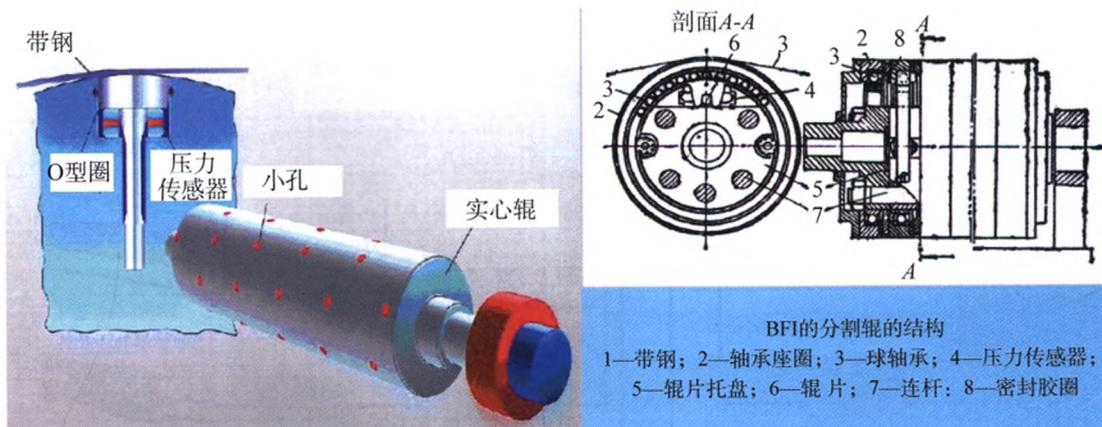


图3 BFI板形仪辊结构图

优点。

如图3所示结构，辊片6的最外面是轴承座圈2。带钢压力经过球轴承3，传到不转动的压力传感器4上，传感器固定到辊片托盘5上。为防止过载，传感器弹性位移通过辊片6限制，当载荷达到1.5~2 N时，过载动作。各辊片通过连杆7连在一起，组成了检测辊的承载轴。并且由于BFI检测辊仅仅是外面的套圈和轴承转动，所以惯性矩非常小，在加减速时不会因辊身和带钢之间滑动而划伤带钢表面，留下划痕。

在上述BFI辊结构的基础上，Siemens公司对传统BFI辊进行了改良，并推出了新型BFI辊，如图3左图所示。新型的BFI辊抛弃了传统的分段式结构，而采用了整体的实心结构。在实心辊的辊身上按一定规则排布着一定数量的小孔，小孔的数量根据生产线的宽度以及客户的要求进行选择，在小孔中用螺栓固定压力传感器，对于新型BFI辊的标定是通过调整螺栓对压力传感器施加的应力使其处于线性测量范围内。再将全部压力传感器检测信号连接，通过辊身的中心通道与辊端的放大器相连。压力传感器上表面的圆形封盖与测量体之间保持有10~30 μm的间隙，并采用O形圈予以密封，以避免测量辊发生弯曲变形时对传感器产生干扰。

新型BFI传感器的布置有其独到之处，压力传感器交错排布，因此信号的发送也是相对错开的，通过这种处理方式可以使检测元件共用一对滑环和一个放大器，降低了板形仪的制造和保养费用。

► 板形信号的传输与处理

如图4所示，压力传感器的测量信号，即所获得的测量值，经过放大处理后到达多通道转换器，多通道信号转换器将信号送至输出装置，信号输出装置通过将信号传送到检测辊外，上位机接收到信号并与位置传感器(位置传感器的作用是将各测量元件发出的信号标上序号，以便信号输出后能识别处理)送来的信号进行综合分析、处理，然后将最终的信号应用于两个途径，分别是用于在线显示板形和用于对即时板形的控制。就应用于我厂目前使用的板形仪来说，测量信号的数据采集与传输都是采用接触式，即通过滑环装置输出。但冷轧的轧制过程大多环境恶劣，恶劣的环境可严重影响板形仪的稳定性和精度。

近年来研发出了新型信号的传输方式，及测量数据的非接触式传输，数据通过红外线无接触地从旋转的检测辊传递到固定的接收器上。为实现这一传递，数据在传递前需要通过编码器编码，接收以后再通过解码器解码，最终存储在上位机的交替存储器中。

► 板形控制实践

板形控制的实质，是受载辊缝形状的控制。通过改变轧制力大小、轧制力分布、轧辊形状，都可以改变轧辊挠度即辊缝形状。

◆ 板形控制对轧机性能的基本要求

1. 辊缝的可调节柔度：力求辊缝形状具有足够的可调节柔度。

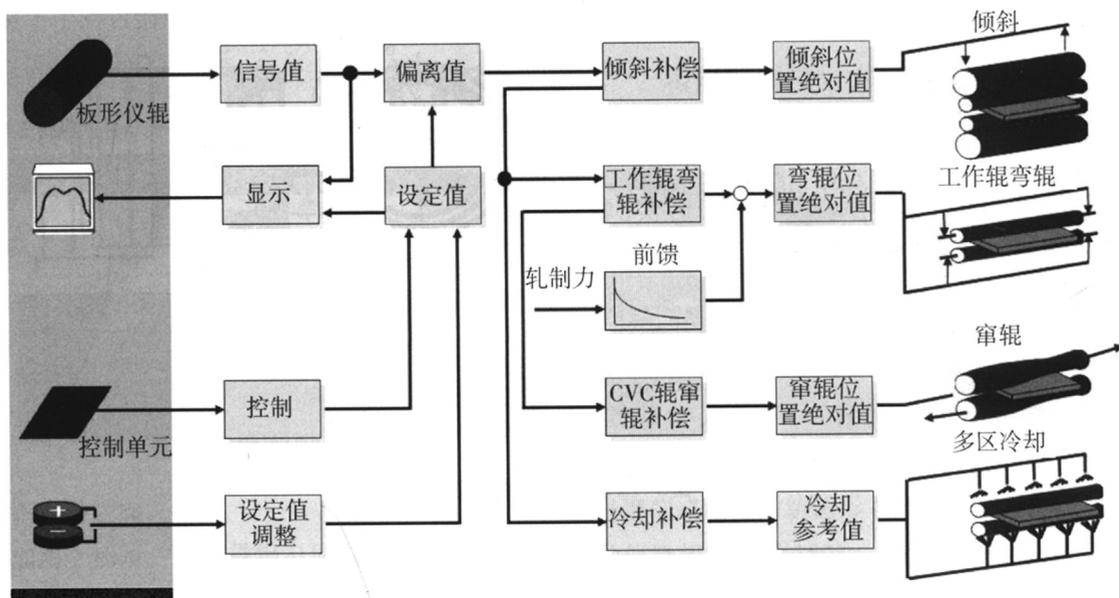


图4 改善板型的方式

2. 辊缝的横向刚度：力求辊缝具有足够的对应于轧制力的横向刚度，建立低凸度、高刚度（也就是高稳定度）的辊缝。

◆ 我厂 CVC 轧机改善板形的手段

1. 倾斜；
2. 弯曲：
 - ① 工作辊弯辊；
 - ② 中间辊弯辊；
3. 窜辊；
4. 冷却。

结语

我厂主要控制及可实现手段如下，并取得较理想的控制效果。

1. 制定良好的 SPCU 目标曲线—板形跟踪、反馈目标曲线；

2. 凸度数据；
3. 安装精度：机械、轧机等；
4. 轧制力、张力、工艺参数；
5. 二级模型（1-4 机架）；
6. 来料；
7. 乳化液：温度、流量、压力；
8. 执行机构工作正常；
9. 板形仪检测数据正常；
10. 乳化液喷嘴定期检测是否堵塞（约两周进行一次循环喷淋测试）。

综上所述，板形控制技术是一项综合技术，生产中必须通过长期的摸索，结合先进的控制手段，合理配置工艺参数，才能获得理想的板形。

参考文献

[1] 徐乐江. 板带冷轧机板形控制与机型选择. 北京: 冶金工业出版社, 2007

