[控制系统]

板形仪系统在冷轧薄板中的应用

文/唐山钢铁股份有限公司检修公司　侯冠华

在冷轧薄板生产过程中，板形控制是关系到板带产品质量优劣的重要环节，市场对冷轧带钢板形的质量要求越来越高，板形测量辊已成为冷轧机控制板形的标准配置。针对板形仪在线测量系统在冷轧机中的应用进行了分析与研究。

板形所含的内涵很广泛，从外观表征来看，包括带钢整体形状（横向、纵向）以及局部缺陷；从表现形式看，有明显板形及潜在板形之分。

板带的横截面轮廓和平坦度是目前用以描述板形的两个重要方面。横截面外形反映的是带钢沿板宽方向的几何外形，而平坦度反映的是带钢沿长度方向的平坦形状。这两方面的指标相互影响，相互转化，共同决定了带钢的板形质量，是板形控制中必须兼顾的两个方面。

本文以ABB板形仪为例，讲述了板形仪的结构、测量原理，以及在冷轧薄板生产过程中的板形控制原理。

冷连轧机的板形控制系统

板形控制是实现冷轧薄规格精密轧制的重要前提，采用变接触轧制技术VCR（Varying Contact Rolling）的板形控制要考虑机型选择、辊形设计、工艺规程和控制系统四位一体的综合控制手段。板形自动控制包括各机架串辊、弯辊、交叉辊预设定控制和弯辊的前馈调节，在具备板形仪和精细冷却的条件下，还可以进行弯辊反馈闭环调节和轧辊分段冷却闭环调节。

冷连轧板形闭环控制流程主要包括：应力式板形信号检测、数据处理和温度补偿；基于屈曲原理的板形目标曲线的调用；基于人工智能的

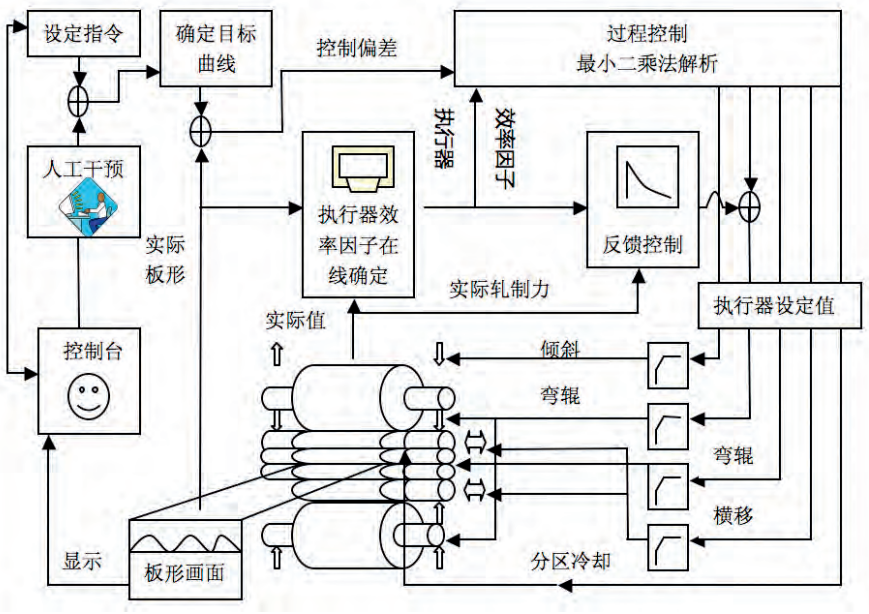


图1　六辊轧机板形控制系统图

板形模式识别；整体倾斜缺陷的压下双摆反馈调节；整体缺陷的弯辊力或串辊位置的反馈调节；局部缺陷的轧辊精细冷却反馈调节等。

ABB板形仪测量系统一般安装在轧机最后一个机架的出口处，通过接触式分段测量辊检测出带钢经过轧制后的张应力分布，能够及时反映出带钢的实际板形与设定板形的目标曲线偏差，通过板形控制系统中的运算和处理，给出各种板形控制的参数，用以调节压下倾斜、液压弯辊、分段冷却和中间辊窜辊等执行机构，实现目标板形控制的目的。六辊轧机板形控制系统结构如图1所示。

ABB板形仪的组成及技术参数

板形仪主要由测量辊组件、平直度测量系统、人机接口及通信部分组成。

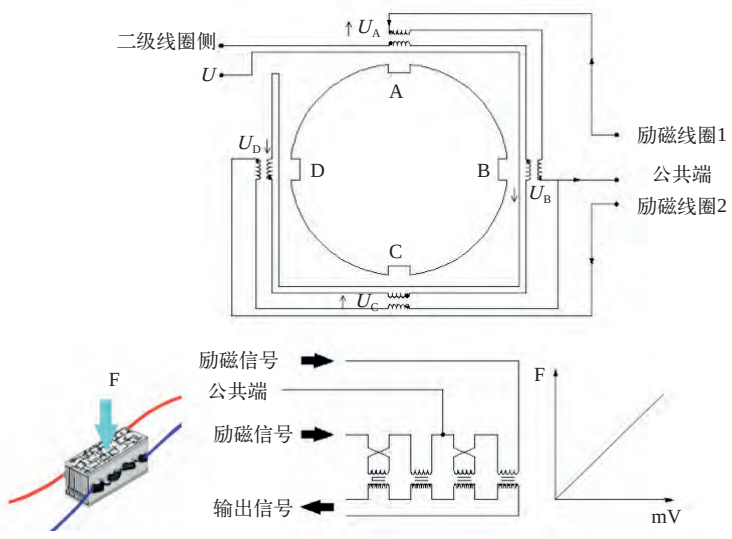
1. 测量辊组件

测量辊组件包括测量辊、空气加湿器、传输单元、空气净化装置和校准装置。测量辊外径为：ϕ 313±0.5 mm；最小允许外径为：ϕ 307 mm；辊表面材质为：高强度钢，54±2 HRC；辊的表面粗糙度为：R_a0.4 μm；检测元件宽度为：52 mm；最大包角为：65°；最大负载为：每个元件瞬时过载25 000 N、半径方向连续负载240 000 N、半径方向瞬时负载700 000 N。

（1）测量辊结构与原理

测量辊为钢结构核心，沿轴向开有4个沟槽，压电传感器被安装在沟槽内，硬质钢环被收缩在钢结构上以保护传感器。钢环的表面坚硬、耐磨，但很有弹性，可以将带钢的力信号传送到传感器上，每个钢环间有一个很窄的缝，使每个钢环可以独立测量。测量环共有31个，每个环上均匀分布4个传感器，共有124个传感器。测量辊的外径是313 mm，钢环厚度是10 mm，测量辊外径允许被打磨6 mm而不改变其特性。钢环被适当收缩并定位，给每个传感器上施加大约16 kN的预负载。传感器的结构很像变压器，核心是一些具有导磁性的金属片，在外力作用下，初级与次级之间的磁连接发生变形，导致输出信号发生变化，这个变化被作为实际力检测出来。所有传感器的初级被串联在一起，次级一个环上的四个传感器也是串联的。反向的连接使带钢的压力更容易被检测出来，同时也减小了温度的变化和离心力的变化对测量的影响。传感器结构及接线如图2所示。

（2）空气加湿器



（a）接线图　　（b）结构示意图

图2　传感器结构及接线图

空气加湿器输出冷却湿润的空气到信号传输单元，对传输单元进行冷却润滑。

（3）信号传输单元

用于在测量辊与控制装置之间传输激励电流和力信号，包括传输单元、电源单元、编码器和连接装置。

（4）净化空气装置

为了增加测量辊内部连接电缆和连接器的寿命，防止冷却液和颗粒进入测量辊。净化空气通过过滤调节器进入旋转舱，空气的流出一般通过测量环之间的缝隙流出，但当带钢的温度超过150 ℃时，在环边上的4个M6螺栓必须被拿掉，以增加空气的流量。

（5）校准装置

为了在线检查测量辊，提供一套校准装置。校准是通过给每个测量单元加一个固定的负载，逐个进行校准。交货前，校准的数据已存在系统中，一般不需要在线校准，但推荐定期检查。

2. 平直度测量系统

平直度测量系统主要由基本测量系统和平直度计算系统组成，包括信号处理板、数据汇总板、微处理器板、激励单元、电源单元和服务器单元组成，如图3所示。

1）信号处理板主要用于处理来自测量辊信号传输单元的力信号，每个板可以处理16个环的力信号。

2）数据汇总板用于汇总同步信号处理板送来

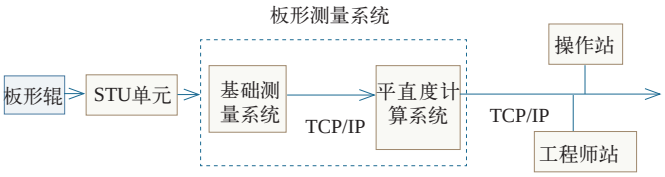


图3　平直度测量系统组成图

的信号，并传送到微处理器板。

3）微处理器板是一台用于计算被测力的单板计算机。

4）激励单元为传感器提供激励信号。

5）电源单元为处理单元提供+5 V、+12 V和－12 V电压，同时为LAN单元和风扇单元提供24 V电压。

6）服务器单元作为测量处理器、Web服务器的人机接口和平直度服务器的代理。

7）人机接口主要由带网卡的PC、21 in彩色显示器和激光打印机组成。

8）TCP/IP通信协议主要通过以太网进行。板形仪的参数设置及板形信息都通过TCP/IP协议进行网络传输。

3. 测量原理

在带钢的长度方向上如果各个区域的长度不同，会引起表面波浪或不平直，若辊缝与来料不能精确匹配，则在带钢的宽度方向上的延伸是不均匀的，也就表现为带钢表面的不平直。而带钢在运行过程中受到很大的张力，在此张力下带钢的长度变化与带钢的张力差成正比。根据这个原理把板形测量辊分成若干个测量区，从每个测量区的张力值可得到整个测量宽度上带钢的张力分布，从而确定带钢的长度变化。其计算公式为

$$\Delta\delta_i = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \cdot \frac{T}{w \cdot t}$$

式中：$\Delta\delta_i$为第i测量段带材张应力（N／mm^2）；F_i为第i测量段的径向压力，$\bar{F}$为各测量段径向压力的平均值，单位为N；i=1，2，…，n；n为钢带覆盖的最大测量段；T为钢带张力，单位为N；w为钢带宽度，单位为mm；t为钢带厚度，单位为mm。

具体方法是：测量辊上有31个测量环，每个环上有均匀分布4个测量元件，共有124个测量元件，环宽52 mm。当钢带经过测量辊表面时，每个测量环上的对应元件检测到不同的压力信号，这些信号被送入平直度测量系统进行分析与计算

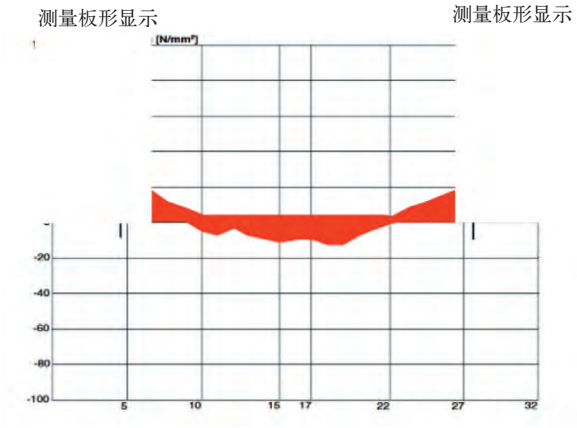


图4　板形显示图

后，得到薄板的断面形状，这样连续的断面组成板形，由测量系统计算出板形数据并由计算机显示出来，如图4所示。

板形控制的基本策略与实现方法

1. 轧机控制板形的基本策略

（1）柔性辊缝控制策略

柔性控制策略即通过操作板形控制机构，使承载辊缝形状能够在较大的范围内连续可控变化，消除由于带钢规格变动、轧辊辊型变化或轧制力波动而导致的承载辊缝曲线形状与当前轧制带钢入口板廓的比例凸度偏差，保证轧制过程始终满足板形平坦性良好。

轧机采取柔性辊缝控制策略的前提条件是其具有足够大的辊缝形状控域。辊缝形状控域是指轧机各项板形控制技术共同对辊缝形状或带钢板廓的各个描述指标——凸度、楔形度、边部减薄量及局部突起量的最大可调控范围。实际应用中，一般都通过多项式拟合得到辊缝形状曲线的二次凸度C_2和4次凸度C_4，并在C_2—C_4坐标系中建立辊缝凸度最大可控范围，称之为辊缝凸度调控域。

（2）刚性辊缝控制策略

刚性辊缝控制策略即通过操作板形控制机构的设定值，使承载辊缝形状能够在面临带钢规格变动或轧制力波动时保持不变，维持承载辊缝形状曲线与当前轧制带钢入口板廓的比例凸度接近，并能满足板形平坦性良好。

轧机采取刚性辊缝控制策略的前提条件是其辊缝形状刚度可调，并可趋向无穷大。辊缝形状刚度是指当轧制力发生波动时辊缝形状保持相对稳定的能力，定义为

$$K_q=\Delta q/\Delta C_2$$

式中：Δq为轧制力q的变化量；ΔC_2为辊缝二次凸度C_2对应Δq的变化量。

（3）保持辊缝控制策略

保持辊缝控制策略即通过初始辊型设计（如VCL支承辊技术）或轴向横移（如工作辊长行程WSR技术和ASR技术），是轧辊在经历了服役期的表面磨损后，其辊廓形状与其初始辊形保持大致相似，进而保证轧机原具有的辊缝凸度调控域和辊缝形状刚度保持基本不变。使轧辊的表面磨损量沿其轴向均匀分布是保持辊形的有效办法。

如果轧辊表面磨损均匀，则轧辊具有最优的辊形自保持性，辊形自保持性参数R_w= 1.0。

辊缝凸度调控域表明了辊缝的调节柔性，辊缝形状刚度表明了辊缝形状在轧制力变动时的稳定性。建立将二者结合组成的C_2—C_4—q（轧制力）坐标系，轧制宽度B为参变量。可以得到描述轧机板形控制性能的三维图。如果轧辊自保持性良好，则这一板形控制性能的三维图在整个轧辊服役期内保持恒定。

2. 板形控制的基本方法

板形受大量非线性因素的影响，如轧辊原始凸度、弯辊力、轧制速度、温度分布及来料缺陷等。而且，轧制过程的动态特性使控制时难以考虑所有影响因素，因此板形控制十分复杂。板形控制通常建立在基于数学模型的现代控制理论基础上，但其具有的复杂非线性特点，使其难以建立精确的控制模型。当模型不能很好地完成控制工作时，操作者必须手工干预。操作者的经验对于板形控制的稳定进行及精确度提高具有重要意义。

一个完整的板形控制系统中，预设定控制模块和反馈控制模块必同时存在，且相互不可替代。在每一根带钢来到轧机入口前时，轧机的各板形调节机构都需要一个正确的板形预设定值，由程序自动给出这一组预设定值就是预设定控制的任务。而且从带钢头部进入辊缝到建立稳定轧制的一段较长时间内，反馈控制模块不能投入，需要预设定值保证这一段带钢的板形。此外，当反馈控制模块投入运行时，当时的预设定值就是反馈控制的起始点、初始值，它的正确与否将影响反馈控制模块调整实际板形达到目标值的时间。

结束语

随着工业技术的不断发展，冷轧板的产品规格越来越薄，轧制速度越来越快，用户对板材纵、横向的厚度精确度和板形的要求也越来越高。因此必须对板形进行精确控制，而要控制带钢的板形，首要的问题是对带钢的板形进行测量。ABB板形控制系统，检测精确度高，适应较恶劣的工作环境且工作稳定，日常维护也比较容易，因此被许多板带企业所使用。EA

（收稿日期：2014.12.12）
（责任编辑：杨得润）

（上接第99页）

电所电容器单组及多组容量最优配置值分析表。完善的报表功能可以使供电公司准确掌握设备情况，为分接头和电容器开关的检修提供数据依据。

4）电压波动幅度小，投入AVC系统之前（见图3曲线）大屯站220 kV 4#母线电压波动约为4 kV，投入AVC系统后（见图3上曲线）大屯站220 kV 4#母线电压波动明显减小，仅为1.5 kV，电压波动幅值减小62.5%，母线电压波动的频率也明显减小，改善了电压波形。2008年，公司220 kV电网电压合格率达到100%，A类电压合格率为99.87%，稳居冀北5个供电公司之首。

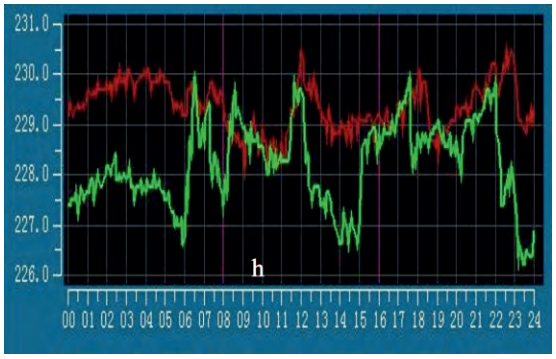


图3　AVC投入前后电压曲线对比时域图

结束语

无功电压运行管理新模式适应了集控站模式下无功电压运行工作的要求，提升了无功电压管理水平和电压运行工作效率，减少值班人员的劳动强度，避免人为误差，全面改善和提高了电网电压质量。EA

（收稿日期：2014.06.07）
（责任编辑：杨得润）