# 包钢4 100 mm宽厚板精轧机辊缝控制原理及改造

王 民[1],杨丛军[1],韩基伟[1],刘秀英[1],王春生[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连轧连铸厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢稀土钢板材厂,内蒙古 包头 014010)

**摘 要:** 文章围绕着辊缝控制系统的两大功能位置自动控制和厚度自动控制,介绍了包钢宽厚板轧机的电动压下和液压压下位置自动控制方案,以及AGC对钢板的头部补偿和零点位置补偿。最后阐述了在生产中提高HGC缸测量精度以及轧辊利用率不高的改造方法,解决了生产中遇到的难题。

**关键词:** 宽厚板; 辊缝控制系统; AGC

**中图分类号:** TG334.9+1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)01-0069-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.01.021

# The Control Principle and Transformation for Roll Gap of 4 100 mm Heavy Plate Finishing Mill in Baotou Steel

*WANG Min*[1], *YANG Cong-jun*[1], *HAN Ji-wei*[1], *LIU Xiu-ying*[1], *WANG Chun-sheng*[2]

(1. *CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

**Abstract:** In this paper, it is introduced two functions, automatic control of position and the thickness in the roll gap control system, and the automatic position control scheme for the electric pressing and hydraulic pressing of the heavy plate mill in Baotou Steel, and AGC have compensation on head and zero position. Finally, the method for improving measuring accuracy of HCG cylinder and the low utilization rate of the roller is introduced to solve the problems encountered in the production.

**Key words:** heavy plate mill; roll gap control system; AGC

2007年包钢薄板连铸连轧厂引进国外先进技术,建成了4 100 mm宽厚板生产线。轧机的主体设备由上海重工和中国一重企业制作并安装,电气设备及控制系统由德国西门子公司设计并成套提供。轧机成功的采用了自动辊缝控制,使产品的控制精度及成材率达到了先进水平。

## 1 辊缝控制系统

包钢宽厚板轧机最大压下量接近300 mm,为实现轧钢的快速性和精确度,精轧机压下系统采用电动压下和液压压下相结合的控制方式。电动机带动压下丝杠使上辊系初级定位,剩余压下量由液压压下调节下辊系完成。

**收稿日期:** 2016-11-07

**作者简介:** 王民(1980-),男,内蒙古包头市人,自动化工程师,现主要从事工业自动化管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

包钢宽厚板精轧机辊缝控制系统的主要控制功能包括:

(1) 位置自动控制 APC;

(2) 厚度自动控制 AGC。

## 2 位置自动控制 APC

往复式轧机在轧制每一道次前,二级根据钢板的目标值计算出钢板的轧制表并下发给基础级。压下系统会快速将辊缝控制到设定位置上,使控制后的位置与设定值之差保持在允许的偏差范围之内,此种控制为位置自动控制。位置自动控制包括电动 APC 和液压 APC,它的控制任务是完成空载预摆辊缝。

轧机总辊缝就是上下工作辊间的距离,是电动辊缝和液压辊缝相对零点的和,所以辊缝公式为:

$$S_{总} = S_{电} + S_{液} \quad (1)$$

式中: $S_{电}$ ——EGC 丝杠的相对零点辊缝;

$S_{液}$ ——HGC 的相对零点辊缝;

$S_{总}$ —— 轧机总辊缝。

通常二级下发辊缝设定后,压下系统执行命令分两步:

(1) 二级下发固定的液压辊缝设定值,使液压缸的杆侧伸出最佳控制的高度,电动辊缝设置为当前道此总辊缝减去 HGC 缸的设定辊缝;

(2) 当电动辊缝摆到设定值实现粗调辊缝后,HGC 缸的设定值为当前道次总辊缝设定值减去电动辊缝实际值。

一般情况下,EGC 电机辊缝定位精度低,而液压 HGC 缸辊缝定位精度高。对于大压下量的道次来说,EGC 电机的调节速度快,HGC 缸的调节速度慢;而对于小压下量的道次来说,由于 EGC 电机的启动及打开抱闸都需要一定的时间,反而没有 HGC 缸调节的快。所以针对宽厚板的轧制特点,在不影响产品精度的前提下,为提高轧机预辊缝速度,包钢采用了由东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室研发的"无回缩变精度快速辊缝设定法"[1]。在不影响厚度控制精度的前提下,其思路如下:

在前几个道次相对轧机压下量比较大且辊缝精度设定要求不高,而且这些道次的辊缝压下量都大于临界行程(小于临界行程,HGC 液压缸摆辊缝的速度比 EGC 电机的速度快。大于临界行程,HGC 液压缸摆辊缝的速度比 EGC 的速度慢。),压下只执行预摆辊缝的第一步,EGC 电机定位即可,这样就节省了第二步的运行时间。

后三个道次对钢板最终尺寸的精度影响比较大,所以对执行机构的速度和精度上都要求比较高。如果钢板的压下量所需行程大于临界行程,继续采用电动压下粗调和液压压下精调的执行顺序;如果道次的压下量的行程小于临界行程,只需 HGC 缸进行辊缝设定,即只进行压下执行命令的第二步。

### 2.1 电动压下

电动压下可以实现较大压下量,所以宽厚板轧制中得到了广泛的应用。电动压下的作用包括:①在没有咬钢前,预摆辊缝辊缝。②换辊后,相对零辊缝的标定。③在换辊时,运行到工作辊平衡泄压后上工作辊与上支承辊不接触的位置,精轧机 EGC 的换辊位为 335 mm。④使上辊系水平。

图 1 为 EGC 位置控制系统原理图,电动压下丝杠的设定值由 TDC 程序计算得出。根据丝杠的位置传感器检测的实际值与其设定值相减,其偏差通过 EGC 电机控制器算出速度设定值,再通过 Profibus DP网输送到变频器并驱使电机带动压下丝杠产生相对位移。当电动压下带动丝杠运行到设定偏差的精度范围内后,变频器发出指令给电机每侧液压抱闸,使电机立刻制动,起到精确停止定位的作用。EGC 控制器和丝杠的精确检测成为电动辊缝精确控制的关键。

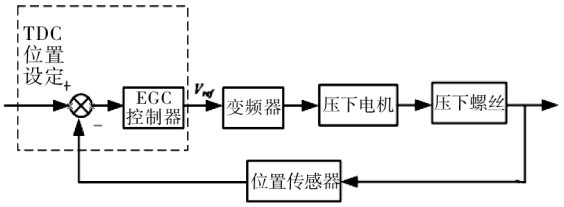



图 1 EGC 位置控制系统原理图

为了满足控制要求,轧机一级基础级自动化控制系统的 PLC 选用西门子 SIMATIC TDC。它擅长处理解决复杂的传动控制、工厂高速、高精度的控制和通讯任务。CPU551 采用 64 位 RISC 技术设计,采用频率快、采样时间间隔短为 100 μs[2]。

丝杠位置传感器选用最可靠、耐用、高精度,位置传感器,传感器长度为 800 mm,控制精度可达 ±5 μm。此直线式位置传感器可以直接测量出压下丝杠的位移,实时检测上辊系的变化,避免了采用 EGC 电机码盘间接测量压下丝杠的位置所带来的误差,为轧制钢板对辊缝的冲击补偿提供了有效的依据。

中国知网 https://www.cnki.net

### 2.2　液压压下

液压压下主要执行预摆辊缝和动态调整辊缝的任务。HGC 缸的功能作用是: ①主要实现在轧钢过程中,辊缝的快速调整; ②在轧制或标定的情况下,使下辊系水平; ③补偿 EGC 在调节辊缝时,无法达到的精度和咬钢过程中 EGC 微小的位置变化; ④在标定机架时,提供轧制力; ⑤轧制线的调整。

液压缸的伺服阀系统根据 HGC 缸的位置传感器检测出实际的下辊系位置,与设定值相比较,其差值转化成电流信号控制伺服阀的开口度,从而控制高压液压油流量来实现 HGC 缸的位置闭环控制。液压压下具有动态调节速度快,定位精度高的特点,但调整行程短。定位精度主要取决于位置传感器的精度。

HGC 缸传感器选用数字感应式位移传感器,长度为 275 mm,精度可达 ±3 μm。位置传感器安装在 HGC 缸体外侧,外型与液压缸相似,当 HGC 缸上、下动作时,传感器也跟随着运动,从而测出 HGC 缸活塞杆伸出的长度。每个 HGC 缸在缸的对称角位置,各安装一个位置传感器,这样可以更准确的测量出 HGC 缸的实际位置。

液压辊缝控制精度要求 ±2 μs,响应速度最高为 0.018 m/s。为了符合这些控制精度和要求,轧机每侧的 HGC 缸腔侧由两个伺服阀控制,可选任意一个阀为主或从阀。当主阀的开口度达到 80% 以上,伺服阀动态响应就会大大降低,液压控制系统就会把剩余的位置变化交给了从阀,这样即保证 HGC 缸的快速响应,又保证伺服阀的同步损耗和使用。

在机架标定时,液压 HGC 采用位置和压力闭环相结合的控制方式。例如: 在机架标定过程中,设定的最小轧制力 2 MN、接触轧制力 4 MN、标定轧制力 20 MN 与 HGC 缸腔侧和杆侧压力传感器计算出的轧制力或用压头检测出的轧制力相比较,根据差值来控制 HGC 缸伺服阀的开口度形成压力闭环。

## 3　AGC 控制系统

厚度自动控制是通过在轧机架后的测厚仪或其他检测元件( 如辊缝传感器和压头等) 对出口钢板厚度连续的测量,并根据实际值与设定值的差值信号,通过 PLC 程序的逻辑控制以及控制回路,改变液压压下位置、窜辊位置、轧制力、以及弯辊力等,最终把厚度偏差控制在允许的范围内,把这种能实现厚度自动控制的系统称为“AGC 系统”[3]。系统的工作原理是补偿轧机变形和其他干扰因素的影响。

### 3.1　头部厚度补偿

轧机在咬钢的瞬间,钢板都会对轧辊有所冲击,使辊缝产生不同程度的变化,使得钢板头部和尾部产生超厚或超薄,导致钢板切头、切尾占总损失的比率增大,降低了钢板的成材率。

包钢宽厚板轧机轧制的钢板也出现过大批量的头部厚度超差现象。在轧制40 mm以下的钢板,头部和尾部的厚度在允许的公差范围内,但在轧制 40 mm以上钢板时,头部和尾部存在不同程度厚度过补的现象。在正常轧钢时,二级对钢板头部的设定值较低,在实际轧制过程中,实际的轧制力一般都大于二级的设定值,由于 AGC 对压力补偿属于正反馈,HGC 缸调节辊缝致使实际轧制力进一步加大,直到实际轧制力小于设定轧制力为止,这样就造成压下量过大,钢板头部过薄。

此现象问题根源在于二级的轧钢模型,由于二级轧钢模型修改比较复杂,关键的部分都是不可修改的。基础级进行了对钢板头部冲击控制进行了尝试。熟悉 AGC 动态调节的相关程序,并在头部 500 mm内,根据式 2 制作补偿曲线加大对钢板头部的补偿,通过小批量实验、跟踪测量,取到了良好的效果,并已正式投入使用。

$$\Delta h_{\mathrm{meas}} = \Delta s + c_g^{-1} \times \Delta F_r + d^2 g / d\, F_r^2 \times (\Delta F_r + 2\Delta F_b)^2 / 2 + \Delta s_{\mathrm{bend}} + \Delta s_{\mathrm{shift}} \tag{2}$$

其中: $\Delta s$ 为辊缝实际值与设置值偏差; $\Delta F_r$ 为轧制力的实际值与设定值偏差; $\Delta F_b$ 为弯辊力的实际值与设定值偏差; $\Delta s_{\mathrm{bend}}$ 为弯辊力产生的辊缝; $\Delta s_{\mathrm{shift}}$ 为窜辊力产生的辊缝; $c_g^{-1}$ 为轧机机架的弹性形变量一阶导; $\mathrm{d}^2 g / \mathrm{d}\, F_r^2$ 为轧机机架的弹性形变量二阶导。

### 3.2　零点位置补偿

在二级设定的刚度曲线只是实际轧机刚度的接近曲线,这两条曲线存在着一定的偏差。根据轧制规格顺序,二级模型可以通过自学习消除偏差,逐渐的调整零点参数 $k_{\mathrm{learn}}$。由于钢铁市场的激烈竞争下,每个钢厂所轧制的板材都根据客户合同所定,每种厚度的钢板需要的产量不多,而且厚度跨度大,导致二级模型自学习时间太短,轧制出的钢板厚度不精,所以需要人工修正零点参数。

厚度模型公式为:

$$h = S + \Delta h_{\mathrm{stand}} + \Delta h_{\mathrm{roll}} - \Delta h_{\mathrm{Morgoil}} - \Delta h_{\mathrm{thermal}} + \Delta h_{\mathrm{wear}} - S_0 \tag{3}$$

其中: $h$ 为钢板出口厚度; $S$ 为轧机辊缝值; $\Delta h_{\mathrm{stand}}$ 为轧机机架形变; $\Delta h_{\mathrm{roll}}$ 为轧辊形变量; $\Delta h_{\mathrm{Morgoil}}$

中国知网　https://www.cnki.net

为支承辊摩根油膜厚度; $\Delta h_{thermal}$ 为轧辊热膨胀; $\Delta h_{wear}$ 为轧辊磨损; $S_0$ 为轧机零点。

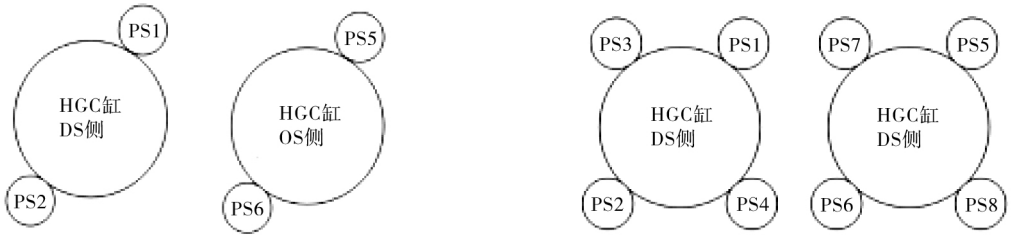
由式3可以推导出轧机零点票移 $\Delta S_0$ 自学习公式为:

$$\Delta S_0 = k_{learn}(h_{meas} - h_{gauge}) \quad (4)$$

以式4为依据,操作工可通过钢板测厚仪曲线值($h_{gauge}$)与辊缝值偏差($h_{meas}$)去纠正零点漂移现象,有效的改善了钢板厚度超差现象,使产品的合格率进一步提高。

## 4 提高测量精度

按照西马克的设计,宽厚板轧机每个机架的HGC缸上有两个位置传感器,安装方式如图2(a)所示。由于HGC缸的直径较大,2个传感器不能准确反映出轧钢过程中液压缸上压板受力变化情况,影响轧机的轧制精度计算和精度控制,尤其是轧制较薄规格产品时,板坯容易出现较大的镰刀弯。为了提高机架的控制精度,保证在轧制薄规格板坯时,镰刀弯得到有效的控制,需要在每一个HGC缸增加两个位置传感器如图2(b)所示。




(a) (b)

图2 HGC缸位置传感器安置图

HGC缸增加位置传感器后,液压压下位置采集将是四个位置传感器的平均值。无论HGC缸上的压板受力如何变化,位置传感器能精确的测量出缸的油柱高度,进而提高了同板厚度控制精度。原来HGC缸位置传感器出现故障时,会产生异常轧制并需要停产更换。改造后传感器出现故障时,液压压下的位置会自动采集另两个对角传感器的数值,对压下系统只报警不影响生产,保证了轧钢的顺利进行。

## 5 提高轧辊利用率

轧机在轧制到规定吨数钢板后,需要更换轧辊。为保证轧制线的一致性,轧辊磨损高度可通过安装在支撑辊轴承座下的阶梯垫来补偿。在实际生产中有时会出现轧辊选取、阶梯垫都在规定值范围内,但下辊系却无法达到所要求的轧制线位置,迫使更换大辊径轧辊,造成小辊径轧辊提前报废减少了轧辊的使用寿命。

为提高轧辊利用率,经多个专家商榷采取修改HGC液压缸工作点位置,实现延长工作辊使用寿命。规定压下系统计算出阶梯垫级数在设备范围内,HGC液压缸工作点设定为45 mm,如超出阶梯垫级数,提升HGC缸工作点位置,让液压缸杆侧多伸出15 mm,即工作点设定为60 mm,来弥补阶梯垫级数的不足,从而使轧辊利用率达到100%。

## 6 结束语

宽厚板企业要在微利时代的激烈竞争中生存,必须对产品结构进一步优化,提高产品质量和降低生产成本。通过近几年对轧机的改造,在钢板的成材率和控制精度方面有所提高。为产品经济效益和市场竞争上作出了一定的贡献,但真正掌握AGC技术还需在实践中不断地学习总结。

### 参 考 文 献

[1] 刘建昌. 轧钢自动化及计算机控制系统[D]. 沈阳: 东北大学,2001.

[2] 王君,张殿华. 中厚板轧机液压辊缝控制系统研究及其PLC实现[J]. 东北大学学报,2001,(4): 435-437.

[3] 胡加洪. 中厚板轧机厚度自动控制系统的研究[D]. 沈阳: 东北大学,2007.

中国知网 https://www.cnki.net