CSP 生产线轧机自动标定过程分析*

岳殿佐[1],侯玉双[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古科技大学理学院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: CSP 生产线轧机自动标定技术是 CSP 轧钢的技术重点与难点,实际生产中标定故障往往成为制约生产线稳定运行的关键因素。文章根据包钢 CSP 生产线多年运行中积累的经验,详细分析了自动标定过程与原理,为学习标定技术和处理生产线标定故障提供了技术参考。

关键词: CSP 生产线; 自动标定; 四辊轧机; PID 控制; PDA

中图分类号: TG333.7+1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)05-0076-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.05.022

Analysis on Automatic Calibration Process of Rolling Mill in CSP Production Line

YUE Dian-zuo[1], *HOU Yu-shuang*[2]

(1. *CSP Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
2. *School of Science*, *Inner Mongolia University of Science and Technology*, *Baotou* 014010, *China*)

Abstract: The automatic calibration technology of rolling mill in CSP production line is the technical focus and difficulty of CSP steel rolling, and the calibration failure is the key factor that restricts the stable operation of production line in practical production. Based on experience accumulated in the operation of Baotou Steel CSP production line for many years, the process and principle of automatic calibration are analyzed in detail, which provides a technical reference for studying calibration technology and processing calibrating faults in production line.

Key words: CSP production line; automatic calibration; the four-high mill; PID control; PDA

热轧带钢 CSP 生产线以其连续、高效、稳定的性能,使得热轧薄带产品产量提高,成本降低,成为国内外各大钢厂生产薄板的首选。生产线上最关键的设备就是四辊轧机,一般采用 6 架或 7 架轧机连续轧制,一次成型。CSP 生产线的四辊轧机控制精度高,采用全套的自动化控制系统,生产中几乎不需要人工干预,但其前提是轧机进行了精确的标定。轧机标定的过程实际上是位置测量系统及轧制力测量系统的校正过程,同时计算出轧机轧制线、弹跳值等数据并上传给二级机进行轧制模型的修正,可见轧机自动标定是 CSP 生产线的关键技术[1]。但标定过程涉及到的设备较多,压下系统标定时会产生较大的压下力,如果不能及时发现并处理标定过程中的故障,一方面会使生产中断,导致铸机事故停

* 收稿日期: 2017-06-30

作者简介: 岳殿佐(1982-),男,内蒙古包头市人,工程硕士,工程师,现从事热轧电气自动化设备维护工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

浇，另一方面会造成设备的严重损坏。所以，掌握轧机标定过程，弄清楚每一步的动作原理对轧机维护会起到事半功倍的作用。

1　四辊轧机介绍

CSP 轧机采用四辊结构，两根工作辊，两根支承辊，并采用工作辊传动方式。压下系统采用液压控制，液压缸有效行程约 150 mm。为了能够适应更多的钢种，在液压缸上方设置了阶梯垫，阶梯垫有三级固定的阶梯高度，根据需要投入不同的高度，用以大范围的调整辊缝。液压缸下方依次是上垫板、上支承辊、上工作辊、下工作辊、下支承辊及下垫板和压头。

在支承辊的传动侧和操作侧各有一个液压缸，用伺服阀进行控制，控制可以分为压力闭环控制和位置闭环控制两种模式。在压力控制模式时，压下力的测量可以选择位于机架底部的压头测量，也可以选择用液压管上安装的压力传感器间接测量，两种测量方式由于受力不同，在标定中要采用不同的抛重方式，用以标定轧制力测量系统的零点。实际测量的轧制力与设定轧制力的偏差进行 PID 控制即形成力控的闭环。在位置控制模式时，压下液压缸的行程由索尼传感器进行测量，两个液压缸各自的入口和出口都安装了索尼传感器，即一架轧机有四个索尼传感器测量液压缸的伸出长度，也就是液压缸的绝对位置，标定中计算出零辊缝时对应的液压缸的绝对位置，再以此位置为标准就可以根据液压缸的相对位置计算出实际辊缝[2]。在位置控制中即采用绝对位置或相对位置与设定值进行比较，对偏差进行 PID 控制。

2　自动标定过程分析

2.1　标定前的准备工作

轧机标定之前需做好准备工作，即新的辊数据读入，以便计算出最大辊缝。最大辊缝是用轧机机架的设定高度减去垫板、阶梯垫、支承辊直径、工作辊直径等所有设备高度之后，剩余的距离即最大辊缝。最大辊缝是标定时液压缸压下行程的最大参考值，首先能检测出辊数据是否准确，以及垫入阶梯垫高度是否合理。其次要求轧机同步，即指两个压下液压缸同时完全收缩，由接近开关检测，确定四个索尼传感器的初始位置。

2.2　标定过程

做好标定准备工作之后，即可以进行机架的标定了，具体标定过程如图 1 所示。标定中一般采用顺序控制，一步步进行，某一步发生故障或者超时都会导致整个过程中断。

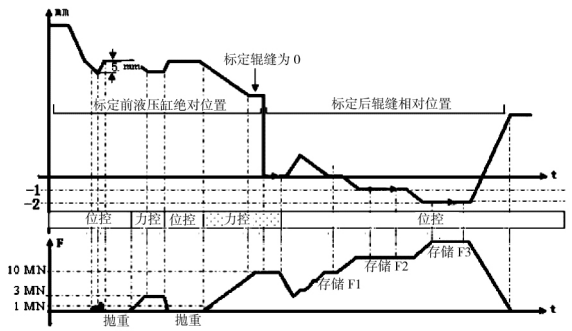


图 1　标定过程的 HGC 位置与轧制力趋势图

在轧机辊缝标定为零辊缝之前，位置控制采用液压缸实际伸出长度的绝对位置进行计算，零辊缝位置标定后即采用辊缝相对位置进行控制，标定主要有以下几步：

(1) 关闭辊缝，HGC 缸按照计算的最大辊缝压下，由于设备之间有间隙，以及计算的最大辊缝存在误差，所以最大辊缝只作为参考。压下到接近 10 mm辊缝时，改为慢速压下，上下工作辊慢慢接触到产生轧制力，并达到 1 MN。1 MN 为程序中预设的接触轧制力，即达到 1 MN 则认为上下工作辊已经接触上。这个过程中一般可以检测出阶梯垫的垫入高度是否正确，辊数据输入是否正确。

(2) 检测到接触轧制力时，辊缝打开 5 mm，此时轧制力消失，系统判断为上下工作辊分开。

(3) 轧制力测量系统进行抛重，即轧制力清零，在采用压头进行轧制力测量时，抛重的过程就是将压头上方下支承辊、下工作辊等设备的自重减掉。

(4) 再次下压，系统切换到力控，先达到接触轧制力，而后达到 3 MN。

(5) 主传动转车，此时工作辊旋转，并达到线速度 1 m/s。

(6) 打开 5 mm 辊缝，CVC 归零，CVC 即工作辊轴向窜动系统，上下工作辊都定位在中心位，轧制力测量系统再次抛重，这也是工作辊转车之后的必要步骤，以保证轧制力测量的准确性。

(7) 切换到力控，下压辊缝，直至达到 10 MN 轧制力。

(8) 保持在 10 MN 轧制力下，支承辊旋转一周，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

如果旋转一周的过程中辊缝位置的偏差不超过0.5 mm,则标定当前液压缸的伸出位置为0辊缝位置。0辊缝不再是之前计算的HGC缸最低位,而标定为此时实际工作辊紧密压靠的位置。之前的位置控制是采用液压缸绝对位置计算的,标定出0辊缝之后,就用相对位置计算出辊缝,采用辊缝控制[3]。

(9)切换到位置控制,再次压到0 mm,记录轧制力,而后打开1 mm,再压到0 mm,再记录轧制力,比较两次轧制力偏差值,要求小于0.5 MN,并进行轧制力存储。这个过程反复验证0辊缝的准确性与稳定性,因为之后的所有标定步骤以及轧钢过程中辊缝设定都是以此为基础的。

(10)辊缝压到-1 mm,并存储轧制力。

(11)辊缝压到-2 mm,并存储轧制力。

(12)打开辊缝,标定完成。

2.3 轧机弹跳方程

标定过程中,三次存储轧制力,并传给二级机,目的是要计算出轧机弹跳曲线[4]。轧机弹跳方程是指轧机出口带钢厚度h,空载时设定辊缝S_0,轧制力P和轧机刚性系数k之间的关系[4]:

$$h = S_0 + \frac{P}{k}$$

此式称为轧机弹跳方程,其中:P/k为辊缝弹跳量。在生产过程中,轧机机架、垫板、工作辊等金属设备都会在较大轧制力下产生弹性变形,轧制力越大变形越明显。因此轧钢时轧机出口辊缝会与空载设定的辊缝产生偏差,从而使产品厚度发生偏差,造成不合格品。因此,需要在标定过程中确定轧机的弹性变形量,绘制出弹性变形的曲线。通过曲线修正提前弥补变形量来保证轧机辊缝与产品厚度的命中率。标定中记录了0 mm辊缝时10 MN的轧制力,与-1 mm辊缝时约15 MN的轧制力以及-2 mm辊缝下约22 MN的轧制力三点,采用压下压靠法测算轧机刚性系数,由于标定时是工作辊面全面压靠,所以数值偏大,相当于带钢宽度等于辊面宽时的刚性系数,生产中AGC系统还会根据测厚仪实际测定的厚度进行修正。但只有在标定过程中提高准确率,二级机才能根据标定结果计算出辊缝位置与轧制力及带钢厚度的对应曲线,才能保证二级机下发模型的一次命中率。

3 标定过程典型故障分析

根据生产线多年运行总结的经验,轧机标定失败的原因常见以下五种:

(1)工作辊数据错误。这种情况下一般标定的前3步报错,辊缝压靠过程中提前检测到轧制力或者压下液压缸超出最大辊缝行程仍检测不到轧制力,都会导致标定中断。严重时甚至会造成机械设备的损坏,所以操作人员要在标定前仔细确认工作辊及支承辊数据。

(2)阶梯垫位置偏差。这种情况大多是传动侧与操作侧的阶梯垫由于设备间隙的增大没有同步伸缩,使得两侧垫入压下液压缸的厚度不同,导致两侧轧制力偏差过大,或者位置偏差过大而导致标定失败,此时需要操作人员到现场确认阶梯垫实际垫入位置,并手动更正。还有一种情况是由于垫入的阶梯垫厚度偏小,即最大辊缝偏大,压下液压缸需要伸出较长的长度才能使工作辊接触,压下液压缸伸出长度越长,实际标定中越容易出现偏差,因此阶梯垫的厚度应在保证工艺需要的前提下使最大辊缝尽量小,以提高轧机精度。

(3)索尼传感器位置偏差。机架内4个索尼传感器彼此间的偏差导致标定失败,一般工作辊传动侧与操作侧的偏差超过3 mm就会报警出错。一方面可能是由于机械设备的间隙导致位置的偏差,另一方面可能是索尼传感器实际测量不准确,4个传感器不同步导致的。此类故障可在标定中仔细观察压下缸的位置值而发现偏差,现场确认机械设备正常后,可以选掉一个偏差较大的传感器,程序中允许两侧选掉一个使用,再次标定即可恢复正常。

(4)压头测量系统故障。轧制力测量不准确,主要是传动侧与操作侧两侧偏差。这种情况较为少见,压头测量系统采用应变片式压头,测量准确率高,维护容易,但随着使用年限增长,应变片发生不可恢复的形变后,会影响到压头测量精度,出现由于轧制力偏差导致标定失败的故障时,如果怀疑压头测量不准确,可以选择利用压力传感器进行标定。压头测量不准确在实际轧钢时也会反映出轧制力的异常,两侧的轧制力偏差会异常增大,空载时不归零等,此时应考虑对压头进行校准,或者更换压头。

(5)工作辊磨削问题。由于磨床的问题也会导致工作辊辊型出现偏差。在标定过程中,有的步骤需要采集工作辊或支承辊旋转一周之内的数据,并计算平均值与最大值、最小值的偏差。这个过程中就能检测出辊子各个角度的辊型是否一致,如果在

(下转第82页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

例，同时可以提高生产节奏和生产效率，不必担心过快的生产节奏和铁水的成分影响到除尘系统的寿命，有效的降低了生产成本。

4 结束语

混风降温技术的目的在于将不同温度的气体混合，以达到降温的效果。虽然在采用袋式除尘系统的冶金行业混风降温技术的好处显而易见，但是由于各地区实际情况以及生产安排、生产节奏等因素的影响，仍存在局限性，故在选用混风降温手段前，需通过周密的部署及各参数的计算，不可冒然选用。

参 考 文 献

[1] 李元发. 袋式除尘治理 Consteel 电炉烟气[A]. 中国金属学会中国钢铁年会论文集[C]. 北京: 冶金工业出版社，2003，(7)：34－39.

[2] 徐维臣，肖彪，谷孝保. 低压脉冲滤袋净化工艺在90tConsteel 电炉上的应用[J]. 南方金属，2003，(6)：36－38.

[3] 周中平，赵寿堂，朱立，等. 室内污染检测与控制[M]. 北京: 化学工业出版社，2002.

(上接第78页)

这些过程中出现标定故障，就需要考虑更换新的工作辊再次标定。

4 结束语

轧机自动标定过程步骤繁琐，要求精度高，掌握了标定过程的具体原理才能在实际生产中迅速准确的判断出故障原因。除了根据经验处理故障之外，必要时还要借助 PDA 数据记录系统准确量化分析，才能排除复杂的设备故障。此外，保证位置传感器及压力传感器、压头等检测设备的性能与精度，是轧机准确标定的前提条件。

参 考 文 献

[1] 羌菊兴，罗文钦. 轧钢过程中影响辊缝的因素研究及模型设计[J]. 宝钢技术，2004，(4)：56－58.

[2] 孙一康. 带钢冷连轧计算机控制[M]. 北京: 冶金工业出版社，2002.

[3] 王国栋，刘相华，王军生. 冷连轧厚度自动控制[J]. 轧钢，2003，20(3)：38－41.

[4] 杨卫东. 基于弹跳方程的 GM－AGC 的局限性[J]. 冶金自动化，2005，29(4)：59－61.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net