

# 热轧 1580 厚度封锁的原因分析和解决方案

梁兴国, 孙红枫

(宝山钢铁股份有限公司热轧厂, 上海 201941)

**摘要:**本文针对热轧 1580 产线出现的厚度封锁指标,详细阐述产线厚度控制原理,并从数学模型及基础自动化控制的角度分析了厚度超差封锁的原因,结合热轧 1580 产线的控制过程的实际情况,针对不同类型厚度封锁提出了解决方案,取得了一定的效果。

**关键词:**热轧;厚度封锁;精轧设定模型;厚度自动控制模型;轧制力 AGC;监控 AGC

## 0 引言

厚度是带钢的基本参数之一,厚度控制的目的是使带钢全长厚度均匀,偏差控制在一定范围内,满足后工序及最终用户的需求,因此,提高精轧厚度控制水平,减小带钢全长的厚度偏差是热轧始终关注的重点问题<sup>[1]</sup>,对热轧 1580 产线厚度超标原因进行分析,并提出改进措施。

## 1 1580 产线厚度控制模型

1580 产线的厚度控制模型分为精轧设定模型(FSU)和厚度自动控制模型(AGC),分别用于控制带钢头部厚度和头部外的带钢全长厚度。

### 1.1 精轧设定模型

精轧设定模型的功能是根据粗轧料温度、厚度的不同,设定精轧机的辊缝、速度参数,确保带钢头部厚度满足要求。

精轧设定模型的计算流程如下:根据带钢成品的目标厚度和粗轧来料的厚度,采用压下分配的计算方法,决定每个机架的出口板厚。采用查询精轧模型配置文件中对应控制层的设定数据的方法,获取末机架的穿带速度。然后以末机架为基准机架,依据流量恒定定律,考虑前滑值,求出各机架的穿带速度。根据粗轧出口处中间坯实测温度及各机架速度,利用温度预报模型计算出精轧入口温度(FET)、精轧出口温度(FDT)以及带钢在各机架的温度。然后利用轧制力模型计算出各机架的轧制力,利用弹跳方程计算出各个机架的弹跳量,完成轧机辊缝的设定。

各机架按照 FSU 的计算设定辊缝,确保带钢头部厚度达到目标值。对于同一块带钢,中间辊

道上的实际传输时间存在差异,尤其是中间坯表面温度和内部温度的差别,会造成精轧过程中轧制力的变化。为弥补轧制力变化的影响,引入动态设定功能。动态设定的基本原理是根据精轧 F1~F3 机架的轧制力实际值与设定值的偏差,调整 F5~F7 机架的辊缝设定。

用理论方法建立起来的数学模型,需要假设一些条件,还要忽略一些条件,同时受到来料、轧制参数变化等不确定因素的影响,模型计算值必然存在着误差,因此自学习功能提升模型的计算精度。

### 1.2 厚度自动控制模型

根据 FSU 的设定,带钢进入各机架完成穿带后,厚度自动控制模型投入使用,目的是修正 FSU 设定的误差,使后续带钢厚度控制稳定在设定值范围内。

AGC 模型分为轧制力 AGC、监控 AGC 以及各种补偿功能。

#### 1.2.1 轧制力 AGC

轧制力 AGC 是 AGC 模型的基础,其基本原理是轧机的弹跳方程:

$$h = S + \frac{P}{M} \quad (1)$$

式中: $h$  为轧件出口厚度(受载辊缝); $S$  为空载辊缝; $P$  为轧制力; $M$  为轧机弹性变形系数。

实际应用中,在轧制力小的情况下轧制力与轧机弹跳值并不是线性关系,辊缝真实零位很难确定,所以一般采用辊缝零调来标定人工零位,再以人工零位为基础进行辊缝控制,就是:

$$h = S_0 + \frac{P - P_0}{M} \quad (2)$$

式中:  $S_0$  为相对人工辊缝零位的辊缝值;  $P_0$  为确定人工辊缝零位时的轧制力。

另一方面, 轧件在轧制过程中产生塑性变形, 由于变形量很小, 因此, 取变形曲线的切线进行研究。

根据牛顿第三定律, 将轧制力和轧件厚度置于同一坐标系内构成  $P-H$  图如图 1 所示。

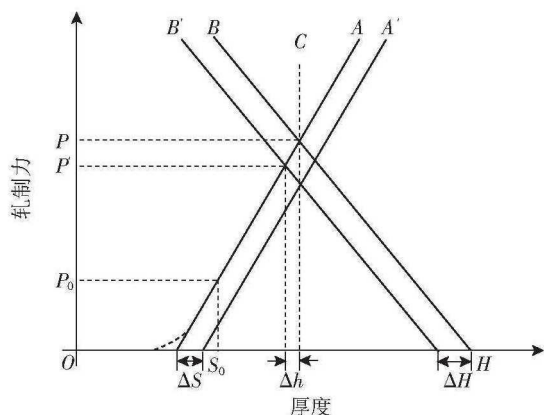


图 1 轧制过程  $P-H$  图

图中,  $A$  线为人工辊缝零位时的轧制力;  $B$  线为轧件塑性变形力, 其斜率为  $-\frac{1}{Q}$ ,  $Q$  为轧件的塑性变形系数;  $C$  为目标出口厚度;  $\Delta H$  为来料轧件厚度变化量;  $\Delta h$  出口厚度变化量;  $\Delta S$  为辊缝调节量。

通过  $P-H$  图可以直观地分析轧件的入口厚度  $H$ 、出口厚度  $h$ 、轧制压力  $P$  以及轧辊辊缝  $S$  等参数的关系。在辊缝尚未调整的情况下, 轧制力由  $P$  减小为  $P'$  时, 可知来料厚度变化  $\Delta H (B \rightarrow B')$ , 则出侧厚度就会减小  $\Delta h$ , 若要消除来料厚度变化带来的影响, 使出侧厚度保持稳定, 则辊缝需要作相应的调整 ( $A \rightarrow A'$ ), 辊缝上抬量为  $\Delta S$ 。

轧制力 AGC 就是根据上述原理来调节辊缝的, 优点在于可以消除相关因素的影响, 保持带钢全长厚度稳定, 如果 FSU 模型精度受限, 轧制力

AGC 启动时锁定的头部厚度与目标值偏差较大时, 将导致带钢全长性的精度误差。

针对轧制力 AGC 的缺陷, 开发了监控 AGC 用于修正 FSU 设定不准带来的厚度误差。

### 1.2.2 监控 AGC

当带钢头部穿过 F7 机架, 到达 X 射线测厚仪后, 系统测得实际厚度与目标厚度的偏差值为  $\Delta h_{X-RAY}$ , 监控 AGC 将根据此偏差按时间原则分配到 F4 ~ F7 机架, 再转换成辊缝调节量用于调节辊缝, 使带钢实际厚度逼近目标厚度。

监控 AGC 分配到第  $i$  机架厚度为  $\Delta h_{MON(i)}$ , 计算公式为

$$\Delta h_{MON(i)} = K_{MON(i)} \times \Delta h_{X-RAY} \times G_i \times T_i \quad (3)$$

式中,  $K_{MON(i)}$  为第  $i$  机架监控 AGC 的增益量;  $\Delta h_{X-RAY}$  为测厚仪或凸度仪实测厚度与目标厚度的差;  $G_i$  为第  $i$  机架厚度分配系数, 与机架的速度有关;  $T_i$  为 PI 调节系数, 用于调节监控 AGC 的反馈、响应速度。

$\Delta h_{MON(i)}$  与  $\Delta h$  相加, 修正后的辊缝调节量为:

$$\Delta S_{RF+MON} = \frac{\Delta h_A + \Delta h_{MON(i)}}{1 - \frac{\alpha Q}{M + Q}} \times K_{RFAGC} - (S - S_{LKON}) \quad (4)$$

式中:  $\Delta h_A$  为轧制力 AGC 计算厚度;  $\alpha$  为变刚度系数;  $(S - S_{LKON})$  为实际辊缝与锁定辊缝的差, 即实际辊缝的变化量;  $K_{RFAGC}$  为调节增益。

轧制力 AGC 和监控 AGC 共同作用, 既能保证良好的同板厚度, 也能克服轧制力 AGC 锁定值不精确所带来的全长性误差, 配合油膜补偿、流量补偿、头部补偿、尾部补偿等的补偿功能, 实现对厚度的精确控制。

## 2 厚度封锁的原因分析和解决方案

### 2.1 头部厚度超差的原因分析和解决方案

头部厚度超差的主要原因是 FSU 模型设定精度不高, 轧制力预测计算准确性将直接影响预摆辊缝, 导致厚度超差。

头部厚度封锁曲线如图 2 所示。

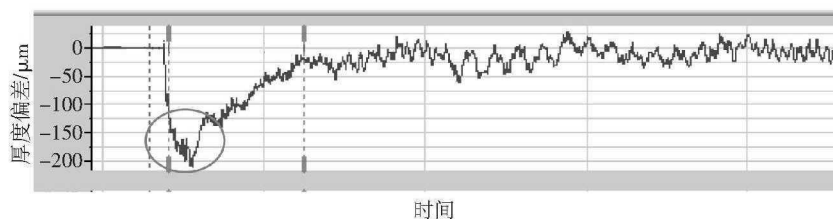


图 2 头部厚度封锁曲线

各机架轧制力偏差率如表 1 所示,偏差率计算方法:(设定值-实际值)/实际值×100%。

表 1 各机架轧制力偏差

FORCE_DIF_1	FORCE_DIF_2	FORCE_DIF_3	FORCE_DIF_4	FORCE_DIF_5	FORCE_DIF_6	FORCE_DIF_7
6	21	30	23	24	46	60

表 1 表明,各机架轧制力偏差大部分在 20% 以上,尤其是后机架最大偏差达到 60%,从轧制设定  $P$ - $H$  原理图分析,预计算时带钢塑性曲线为  $B$  线,各机架轧制力设定为  $P$ ,由于带钢较软,实际塑性曲线为  $B'$ ,对应轧制力为  $P'$ ,导致轧机出口厚度偏小  $\Delta h$ 。从 I2 轧制力自学习遗传系数趋势调查发现,各机架系数已经学习到最小限幅 0.75,已

经无法通过模型自适应校正设定偏差。  
针对此类设定问题,必须根据实际轧制参数重新对轧制力计算公式进行回归,将其单独划分层别,保证设定精度,修改后的效果如图 3 所示。  
**2.2 颈部厚度超差的原因分析和解决方案**

颈部厚度超差的主要原因是 AGC 模型控制不良,如图 4 所示。

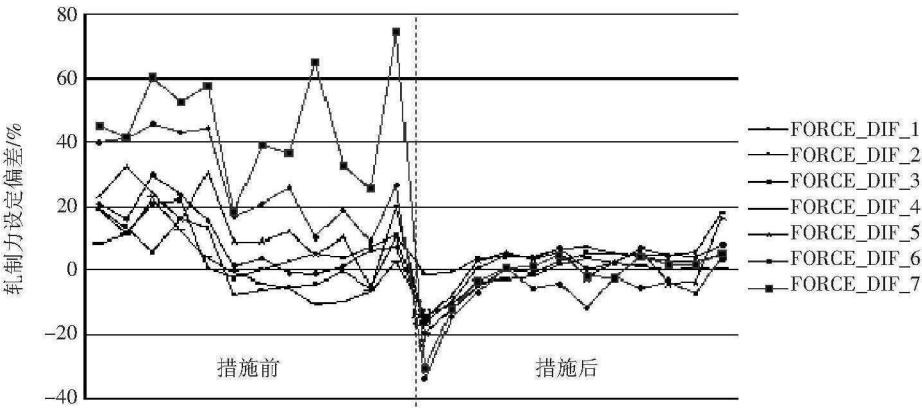


图 3 修正前后轧制力设定偏差趋势

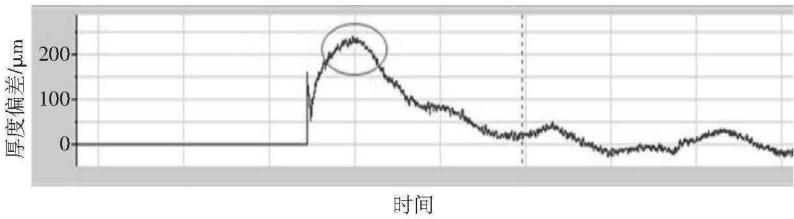


图 4 颈部厚度封锁示意图

颈部厚度超差主要是轧制力 AGC 及监控 AGC 消除偏差效果不佳,对图 4 封锁案例详细分析,过程控制曲线表明,F7 咬钢后 0.45 s 轧制力 AGC 启动,锁定此时的轧制力,并换算出锁定厚度,随即轧制力实际继续下降,轧制力 AGC 认为此时厚度逐渐减薄,要达到锁定厚度需要抬辊缝达到锁定厚度;因此,虽然此时整体厚度与目标值相比偏厚,但 AGC 输出仍然抬辊缝,造成厚度超差变大;F7 咬钢后 1.97 s,监控 AGC 收到实际厚度偏厚后,输出压辊缝向目标值逼近,但从监控 AGC 输出量来看,监控 AGC 增益系数偏小导致其输出过小,监控 AGC 压辊缝量小于轧制力 AGC 输出的抬辊缝量,厚度继续增厚;当后继轧制力 AGC

• 222 •

随轧制力变化输出量变小后,AGC 总输出转成压辊缝,厚度逐渐达到目标值。结合以上分析,消除颈部厚度超差从轧制力 AGC 锁定时序和监控 AGC 调节速度两方面解决。

- (1) 轧制力 AGC 锁定时序方面,将轧制力 AGC 锁定时间点后移,使轧制力 AGC 锁定值避开头部咬钢不稳定区。
- (2) 监控 AGC 调节速度方面,增加监控 AGC 辊缝修正量,辊缝修正量与  $\Delta h_{MON(i)}$  成正比,  $\Delta h_{MON(i)}$  的大小取决于  $K_{MON(i)}$  和  $\Delta h_{X-RAY}$  两个参数,其中  $\Delta h_{X-RAY}$  受 FSU 模型计算精度限制,一定程度上不可控。  $K_{MON(i)}$  为监控 AGC 增益系数,因此,通过人为增大  $K_{MON(i)}$  值,可以使厚度校正的速

度加快,快速消除厚度超差。

将轧制力 AGC 的锁定时刻点调整为咬钢后 0.7 s,同时增加各机架的监控 AGC 增益系数,修改后带钢头部厚度控制明显平稳。

### 3 结束语

头部厚度超差根源在于 FSU 模型设定精度有限,颈部厚度超差原因在于 AGC 控制参数不合适,因此,为提高厚度控制精度,可以从 FSU 模型和 AGC 模型两个方面进行改进。

(1) 通过提高轧制力计算参数准确度,达到提高轧制力设定精度的目的,消除头部厚度超差。

(2) 通过自学习系数趋势判断模型参数的使用性,另外通过参数回归可以提高模型的设定精度。

(3) 轧制力 AGC 与监控 AGC 协调配合,可有效消除颈部超差,确保全长厚度控制精度。

### 参考文献:

- [1] 彭燕华,刘安平. 现在热连轧自动厚度控制系统[M]. 北京:冶金工业出版社,2009.

[编辑:张朝发]