

首钢 2160 热轧板带厚度控制系统的研究

李振兴^{1,2}, 刘相华¹, 李欣³

(1. 东北大学 轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004;

2. 首钢自动化信息技术有限公司; 3. 首钢迁安钢铁有限责任公司)

摘要:从提高首钢 2160 热轧板厚度控制精度出发, 结合首钢 Siemens 绝对 AGC 模型应用情况, 详细分析、测试了动态设定 AGC 模型特点及相关控制特性。

关键词:热连轧; 动态设定 AGC; 厚控精度; 模型

热轧板带厚度控制系统在整个生产过程处于十分重要的地位, 其效果直接影响成品质量。具有完善的厚度控制系统的轧机生产出的带钢厚度精度可以控制在 $\pm 30 \sim \pm 50 \mu\text{m}$ 范围之内。设计完善的厚度控制系统, 首先要明确影响板带厚度变化的因素, 采用相应的对策。凡是影响轧制压力、辊缝等的因素, 都将对实际轧件出口厚度产生影响, 影响板带厚度精度的因素主要有以下几个方面: 来料的厚度变化、材料温度的变化、支撑辊油膜的变化、张力的变化、轧辊热膨胀和磨损、轧辊和轴承偏心的影响、轧制速度的影响等^[1-3]。

1 首钢 2160 热连轧厚度控制模型

首钢 2160 热连轧是测厚型厚度控制系统^[4-6], 即由弹跳方程间接测量钢板出口厚度与设定值之差, 乘以压下效率的倒数 $(M+Q)/M$, 再经过积分环节得到作为消除厚差所需要的辊缝调节量 Δs 。整个厚度控制系统是由压力 AGC, 监控 AGC 共同组成。

1.1 厚度计算模型

$$h = s + \Delta s_b + \Delta s_p - \Delta s_1 - \Delta s_{cvc} - \Delta s_t \quad (1)$$

式中, s 为实际辊缝值; Δs_b 为弯辊力对辊缝造成的影响; Δs_p 为轧机的弹跳量; Δs_1 为油膜补偿量; Δs_{cvc} 为 CVC 轧辊对辊缝的影响; Δs_t 为轧辊热膨胀对辊缝的影响。

首钢 2160 热轧厚度控制系统分绝对和相对方式两种情况。

绝对方式 AGC 是指每个轧制道次的板厚设定值 h^* 为轧机咬钢 200 ms 后的负载辊缝设定值。

该值由过程机(二级)根据预测轧制力计算得到, AGC 的控制功能也是在轧机咬钢 200 ms 后参与辊缝调节。AGC 系统工作时, 根据实测的轧制力以及实测的辊缝计算出实际厚度与过程计算机发出的设定厚度 h^* 比较得到厚度偏差 Δh , 从而可以进一步得出相应的辊缝调节量。

相对方式 AGC 是指在咬钢后 3 s, AGC 开始动作, 并将此 3 s 内 4 次板厚计算值的平均值作为锁定值, $h^* = \sum h_i / i (i=0 \sim 4)$, 以后的厚度计算值 h 与锁定值 h^* 比较得到 Δh , 再换算成辊缝调节量 Δs , 送到 APC 系统执行。AGC 系统工作时绝对方式和相对方式是自动切换的, 切换的依据是设定轧制力和实际轧制力差值或操作人员的干预。

1.2 辊缝计算模型

综合各种影响, 实际送往 APC (APC 亦为 PI 调节器) 系统的辊缝调节量:

$$\Delta s_{AGC} = K_p \left(\frac{Q+M}{M} \right) \times \Delta h \times \frac{1}{s} - \Delta s_e + \Delta s_m \quad (2)$$

式中, Δh 为带钢出口厚度偏差, 是根据带钢实际厚度与过程计算机发出的设定厚度之差, 上式中第 1 项为经过积分的辊缝调节量; Δs_e 为轧辊偏心对辊缝造成的影响, 轧辊偏心和压力 AGC 的调节作用是相反的。

在式(2)中, Δs_m 为监控补偿量, 其控制算法为

$$\Delta s_m = C_\Delta \times G_v \times \frac{M+Q}{M} \times \frac{1}{s} \times \Delta h \quad (3)$$

式中, G_Δ 为比例增益; G_v 为速度增益; Δh 为出口厚度偏差。

1.3 Siemens 绝对 AGC 模型特点

(1) 其模型是厚度闭环,从控制理论的角度出发,一个纯比例的闭环系统是有差调节。为消除该误差需要在控制模型引入积分环节以消除稳态误差。因此 APC 模型及测量计算模型中都存在积分环节,但是这样系统的响应速度就会相对变慢。

(2) 在该系统中,监控 AGC 起到了至关重要的作用。从模型中可以看出,监控 AGC 在某种意义上对成品的厚度精度起着决定性作用。因为如果过程机设定误差较大,最终成品厚度精度的控制将主要依赖于监控 AGC 的控制精度。

2 动态设定型 AGC 模型系统

动态设定 AGC 模型(相对 AGC)不同于 2160 热轧厚度控制系统模型,它能识别外界扰动,清晰地反应 AGC 的动态调节过程,具有响应速度快,控制精度高等特点。

2.1 模型调节原理

AGC 的调节过程,实际上是解决外界扰动(坯料厚度和硬度差等)、调节量(辊缝)和目标量(厚度)等之间的相互影响关系。外界扰动影响轧制力,调节辊缝也引起轧制力的变化。因此,当轧件头部锁定之后,第 1 次测得的轧制力差 ΔP 肯定是由外界扰动引起的,即可以 $\Delta P_1 = \Delta P_d$ 计算出这时的辊缝调节量 Δs ,第 2 次,第 3 次,……,第 n 次的压力测量值,不仅包含了外界扰动因素的影响 ΔP_d ,而且还包含辊缝调节引起的轧制力变化量 ΔP_s 。图 1 反映了 AGC 的调节过程。

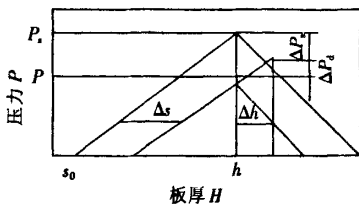


图 1 P-H 图

轧机的弹跳方程为

$$h = s + P/M + E \tag{4}$$

式中, h 为轧件出口厚度; P 为轧制力; s 为辊缝; M 为轧机刚度; E 为补偿系数。

其微分形式为

$$\Delta h = \Delta s + \Delta P/M \tag{5}$$

由 P-H 图得:

$$\Delta s = -(M+Q)\Delta h/M \tag{6}$$

只考虑轧制力的变化,式(5)变为

$$\Delta s = \Delta P_d/M \tag{7}$$

代入式(6)得:

$$\Delta s = -(M+Q)\Delta P_d/M^2 \tag{8}$$

调整辊缝引起的轧制力变化由下式表示:

$$\Delta P_s = -MQ\Delta s/(M+Q) \tag{9}$$

式(8)用于计算外界扰动引起的辊缝调节量,式(9)用于计算调整辊缝引起的轧制力变化量。以连轧某一机架为例,假定轧件头部厚度已达到目标值,将头部锁定,并记录此时的轧制力、辊缝、出口厚度等值的 P_0, s_0, h_0 ,其他时刻的测量值用增量形式表示,即 $\Delta P_k = P_k - P_0; \Delta s_k = s_k - s_0$,其中 k 为采样时刻序号, $k = 1, 2, \dots$ 。

当 $k = 1$ 时,可测得 ΔP_1 ,而 $\Delta s_0 = 0$,引用式(8)可计算出此刻的辊缝调节量:

$$\Delta s_1 = -(M+Q)\Delta P_1/M^2 \tag{10}$$

当 $k = 2$ 时,可以测得 ΔP_2 ,但是此时 ΔP_2 包含两部分;一部分是由于坯料外界扰动引起的轧制力变化 ΔP_d ,另一部分是第 1 次辊缝调整引起的轧制力变化 ΔP_s , ΔP_2 可以用式(9)计算。

$$\Delta P_{d1} = -MQ\Delta s_1/(M+Q) \tag{11}$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_{d1} + \Delta P_d = \Delta P_d - MQ\Delta s_1/(M+Q) \tag{12}$$

$$\Delta s_2 = -Q\Delta s_1/M + (M+Q)\Delta P_2/M^2 \tag{13}$$

由上式递推,并可以证明下式存在:

$$\Delta s_k = -Q\Delta s_{k-1}/M + (M+Q)\Delta P_k/M^2 \tag{14}$$

上式为动态设定 AGC 系统即相对 AGC 的控制模型,由此式可以计算出出口厚度恒定时的辊缝调节量。上式可以简便地用作 DDC-AGC 系统的控制模型,用它构造的控制框图如图 2 所示,比其他模型构造的控制框图更为简便。

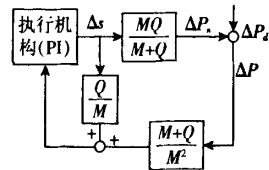


图 2 动态设定 AGC 控制框图

2.2 动态设定 AGC 模型的几点讨论

(1) 此方程动态地反应了压力 AGC 的调节过程。外界扰动引起轧制力变化,要消除由此轧制力变化所引起的轧件厚度变化,必须调整辊缝,而辊缝的调整又引起轧制力的变化,轧制力的变化又引起轧件出口厚度的变化。因此,辊缝需要再次调整。上述过程反复进行直到达到平衡状态为

止。式(14)可以动态地反应调节过程中各量之间的定量关系,从根本上揭示轧制力、外扰、辊缝和轧件出口厚度之间的矛盾关系。

(2)动态设定型 AGC 是从轧制力增量中,减掉位置调节量引起的轧制力,得到单独由扰动引起的轧制力增量,根据扰动引起的轧制力增量与消除厚差所需的位置调节量之间的对应关系,对轧机压下系统进行调节,一次性完成的消除厚差所需的辊缝调节。这样相比 2160 热轧厚度控制系统能够更快地达到平衡状态,不发生振荡。

(3)在公式推导时,各时刻的扰动 ΔP_i 是不相同的,真实地反映了系统外界干扰。

(4)动态设定 AGC 与监控 AGC、前馈 AGC 等控制系统是相容的,而且保持各自的独立性,无相互影响。

3 AGC 模型在首钢 2160 热连轧机的应用

以上分析表明,动态设定 AGC 与首钢 2160 热轧厚度控制系统相比具有控制精度高、响应速度快、系统融合性好等特点。从首钢 AGC 模型可以看出,首钢厚度控制模型比较复杂,考虑因素繁多,如何将这些影响因素转化应用到动态设定 AGC 模型中是一个关键的问题。针对上述问题,作者采集了大量的在线数据,充分考虑了原系统监控 AGC、弯辊、CVC、油膜、热膨胀等因素对动态设定 AGC 模型的影响。例如,理论和实践证明动态设定 AGC 和监控 AGC 相互独立,无干扰。经过长期观察试验和大量在线数据采集,收集了动态设定 AGC 和原厚度控制系统模型的最佳配合方案。动态设定 AGC 模型的辊缝调节计算值曲

线和实测轧制力波动曲线具有对称性,辊缝计算值和实际要求的辊缝调节量比较吻合,其响应速度比原控制系统明显加快。动态设定 AGC 投运后,带钢厚度同板差控制精度明显高于原控制系统的控制精度,由原来 $\pm 30 \mu\text{m}$ 提高到 $\pm 20 \mu\text{m}$ 。

4 结束语

在板坯中部采用动态设定 AGC 取代原控制系统的模型是正确的,从热轧产品质量数据来看,动态设定 AGC 控制效果明显优于原来的控制系统模型。动态设定 AGC 在首钢 2160 热连轧机取得较好的控制效果是在不改变原有设备和自动化水平的基础上实现的。从而可以说明,在首钢现有条件下,在某些领域采用好的工艺控制模型,不改变原有设备和自动化水平完全可以得到高质量产品。

参考文献:

- [1]刘相华,胡贤磊,杜林秀.轧制参数计算模型及其应用[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [2]蔡正.热轧带钢温度场的数值模拟[J].金属成形工艺,1988,16(5):39-42.
- [3]孙一康.带钢热连轧的模型与控制[M].北京:冶金工业出版社,2002.
- [4]陈建华,张殿华.压力 AGC 有关的问题综述[J].钢铁研究,1999(5):33-35.
- [5]张进之.压力 AGC 分类及控制效果分析[J].钢铁研究总院学报,1987,8(2):87-89.
- [6]丁修堃,张殿华,王祯祥.高精度板带钢厚度控制的理论与实践[M].北京:冶金工业出版社,2009.

[编辑:周希章]