

热轧带钢卷取温度控制中的自适应律

彭力¹⁾ 涂序彦²⁾

1)河北理工学院自动化系,唐山 063009 2)北京科技大学信息学院,北京 110006

摘要 通过对一个实际的热轧带钢卷取温度控制系统长时间地观察和采样,归纳出一套适用面广、适应性强的自适应律.首先利用温度计算模型,结合目标与实测值得到自适应律的初值,经自适应计算后再去修正原简化模型进而提高模型计算精度.经过多次改进后,在现场使用效果良好.

关键词 层流冷却; 温度计算模型; 自适应律

分类号 TP 273.2

1 参考模型

为保证热轧带钢的组织性能,对其卷取温度的控制精度有较高的要求.通常,在轧机和卷取机之间设有冷却床,当带钢从冷却床通过时,采用层流冷却,使带钢的温度下降到所要求的目标卷取温度.为此,在计算机控制中需要有一个卷取温度计算模型,可以用它计算出带钢进入冷却区不同时刻的温度,并求出需要的冷却水量,实际系统中还要将计算得到的冷却水量转换成需要开启或关闭的喷水阀门数量,最终由基础自动化装置去执行.

可见,其中所使用的温度计算模型对受控对象的反映精度将直接影响带钢卷取温度控制精度.而实际生产中,模型力求简化,所以在现代工业控制中一般的做法就是把现场诸多不可知的因素归纳成一个参数,放到模型中去,建立一种包含参考模型的自适应控制系统^[1],如图1所示.

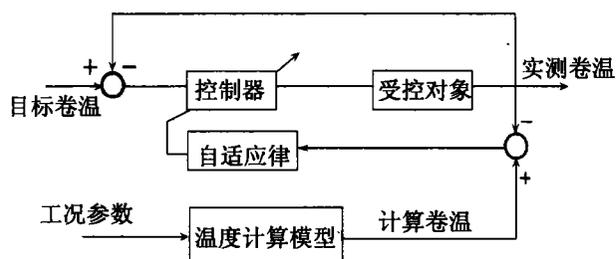


图1 参考模型自适应控制系统结构

Fig.1 Adaptive control system structure of reference model

参考模型为温度计算模型.层流冷却过程中,目标卷取温度作为输入量同时送入控制系统和温度计算模型,将实测卷温与模型计算卷温的偏差送入自适应调整回路,经自适应律计算产生调整作用,来改变控制器中的参数.这种作用从带钢进入冷却区到出冷却区自始至终进行着,因此,自适应律是该系统设计的核心问题.

2 自适应律的设计

温度计算模型是在一维热交换方程的基础上得到的,其形式如下:

$$T = T_0 + (T_1 - T_0)e^{-pZ} \quad (1)$$

其中; T_0 为冷却区环境热力学温度; T_1 为冷却区带钢入口热力学温度; Z 为带钢经过冷却区的冷却时间; p 为温度指数函数,即经归纳后得到的一个参数,它与带钢导热系数、导温系数、带钢厚度以及带钢速度等因素有关,由实验及经验获得,对模型精度有直接影响.

很显然,(1)式所组成的对象模型从机理上讲是不完善的,没有考虑带钢厚度方向上的热传导,但由于它结构简单,适于实际应用,所以目前仍广泛采用.为了弥补模型上的不足,则需要寻找某种途径来完善它.

首先,以带钢头部离开精轧机的时刻为基准,每间隔数秒把带钢分成一段,并设为一个计算点.同时,把冷却区分成水冷段和空冷段.设冷却区共分成 n 段,且它们可交错安排.那么,带钢第 k 计算点通过第 i 段冷却区的时间可记

为 $Z(k, i)$, ($i=1, 2, 3, \dots, n$). 这时, 若假定冷却介质(水和空气)的温度相同且恒定, 则(1)式按采样周期分段离散后可得卷温计算公式为:

$$TCH(k) = T_0 + [T_c(k) - T_0] \cdot e^{\sum_{i=1}^n P(k, i) Z(k, i)} \quad (2)$$

式中, $THC(k)$ 为第 k 段卷温的计算值.

又由(2)式可得:

$$\ln\left(\frac{THC(k) - T_0}{T_c(k) - T_0}\right) = -\sum_{i=1}^n P(k, i) Z(k, i) \quad (3)$$

由于(1)式是由经验和实验简化得到的模型, 所以通常难以使卷温的计算值 $THC(k)$ 等于其实际值 $THA(k)$. 为了使 $THC(k)$ 尽量接近 $THA(k)$, 在模型中对 $P(k, i)$ 引入了自适应修正算法: 即把综合了实测信息得到的修正系数 $C(k)$ 用于对 $P(k, i)$ 修正, 则修正后的(3)式变为:

$$\ln\left(\frac{THC(k) - T_0}{T_c(k) - T_0}\right) = -C(k) \sum_{i=1}^n P(k, i) Z(k, i) \quad (4)$$

那么, 需要确定修正系数 $C(k)$ 应取何值, 才能使计算卷取温度 $THC(k)$ 等于实测卷取温度 $THA(k)$.

$$CB(k) = -\ln\left(\frac{THC(k) - T_0}{T_c(k) - T_0}\right) / [C(k) \sum_{i=1}^n P(k, i) Z(k, i)] \quad (5)$$

称 $CB(k)$ 为平衡因子, 这是因为若将 $CB(k)$ 乘(4)式右端, 则可得 $THC(k) = THA(k)$. 这表明: 如果对修正系数 $C(k)$ 再用 $CB(k)$ 修正, 即用 $C(k) \cdot CB(k)$ 作为修正系数, 就可使 $THC(k)$ 等于 $THA(k)$. 但是, 由于计算 $CB(k)$ 时必须先要得到温度实测值 $THA(k)$. 所以, 实际上是无法用 $CB(k)$ 对 $C(k)$ 进行修正的. 很显然, 只能将 $CB(k)$ 提供的信息对后面的计算点进行修正.

在本模型中, 采用前后计算点迭代(或接力)的自适应律, 考虑到信号传输的延迟, 对第 k 段而言, 实际采用的修正系数 $\bar{C}(k)$ (用它代替(4)和(5)式中的 $C(k)$) 只能等同其前面某计算点所得到的修正系数的值 $C(k-m)$. 不妨设定前 m 点, 则:

$$\bar{C}(k) = C(k-m) \quad (6)$$

其中, $C(k-m)$ 可由以下自适应滤波公式确定:

$$C(k+1) = \bar{C}(k) + f \cdot (CB(k) - \bar{C}(k)) \quad (7)$$

其中, $\bar{C}(1) = CSA, 0 < f < 1$.

式中, CSA 为初值, 它与滤波系数 f 由经验获得. 很明显(7)式中用到了 $CB(k)$ 所提供的实测信息, 即“新息”. (6)式中的 m 是应保证 m 个计算点的带钢长度大于冷却区的长度.

引入自适应算法后, (4)式和(5)式分别写成:

$$\ln\left(\frac{THC(k) - T_0}{T_c(k) - T_0}\right) = -C(k) \sum_{i=1}^n P(k, i) Z(k, i) \quad (8)$$

而

$$CB(k) = -\ln\left(\frac{THA(k) - T_0}{T_c(k) - T_0}\right) / [\bar{C}(k) \sum_{i=1}^n P(k, i) Z(k, i)] \quad (9)$$

因为(8)和(9)式中的 $\bar{C}(k)$ 必须当 $k > m$ 时才可用(6)式得到, 所以当 $k \leq m$ 时, 取:

$$\bar{C}(k) = CSA, (k \leq m) \quad (10)$$

由此可见, 系统自适应律的输出便是 $\bar{C}(\cdot)$, 它将不断更新控制器中旧参数值, 并修正模型参数 $P(k, i)$, 使输出越来越接近目标值.

3 实例分析

下面是自适应律改进前后 2 个典型实例. 从现场取 2 条材质、厚度、速度目标卷取温度、终轧温度均相同的带钢, 各自的实测卷取温度波动幅度较大, 较多的计算点温度超出目标卷温 (570 ± 30) °C 的范围, 控制精度较低 (见图 2(a)), 而改进后有明显改善 (见图 2(b)). 现场长时间的统计结果也是如此^[2].

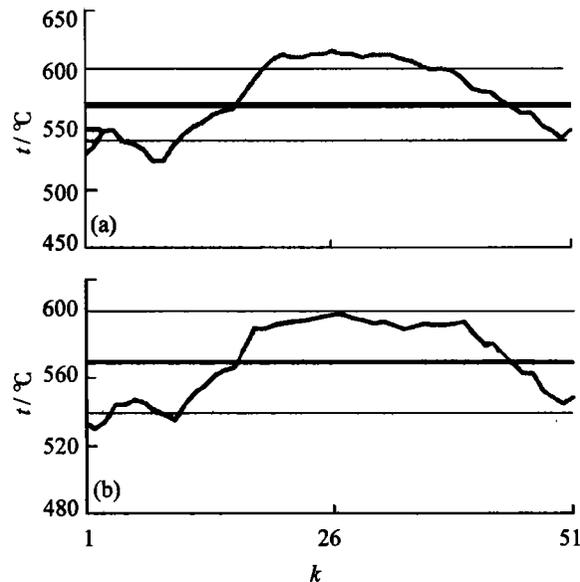


图 2 改进前(a)和后(b)卷温实测值图
Fig.2 Real-measured value before(a) and after(b) modify-
ing of self adaptive regulation

4 结论

自适应律的实现, 是通过带钢后面计算点使用的修正系数要由前面计算点用迭代或“接力”的办法获得, 即在同一条带钢上按照带钢计算点的顺序进行迭代; 不同带钢则要按带钢的材质、厚度、目标卷温规格进行分类后, 在认为是同一类带钢属于同一个样本总体时, 才能彼此迭代.

为了使算法收敛,则应尽量保证参与“接力”的带钢计算点条件相似.一般的解决办法就是把分类更细些,从理论上讲,越细越好,但要受到计算机硬件、运行速度、采样周期等因素的制约,不允许分类过细.即使分类很细,如果其他工艺条件不稳定,甚至波动很大时,认为同一类带钢属于同一个总体,偏差也会很大,也不宜迭代.所以提出如下改进方法:

(1)同类带钢相互迭代时,应按相同序号的计算点对应迭代计算,即同类带钢中,前一条带钢第 k 计算点自适应计算的结果,作为下一条带钢第 k 计算点自适应迭代的初值.相应地,则要求带钢计算点应按照等距离划分长度,而不是按照采样周期划分长度.

(2)在带钢分类时,尽量兼顾条件差异较大的带钢,即在分类总数确定后,尽量把特殊材质,极薄、极厚带钢(甚至考虑到带钢头部条件特殊等因素)的钢种,分类级差分得更细些.这一措施应用到现场后,使卷取温度控制命中率提高了5%.同时,为改善算法的稳定性,还应在改进的滤波公式(7)中增加对突发的、且幅值很大的噪声的抑制条件.

参 考 文 献

- 1 韩曾晋. 自适应控制系统, 北京: 机械工业出版社, 1983.6
- 2 吴毅平. 宝钢热轧层流冷却卷取温度控制的改进. 冶金自动化, 1997,21(1):15

Self-adaptive Regulation of the Coiling Temperature Control

PENG Li¹⁾, TU Yangxui²⁾

1)Institute of Hebei Science of Technology, Tangshan 063009,China 2)Information Engineering School, UST Beijing,Beijing 100083, China

ABSTRACT A real coiling temperature control system for hot rolling strips was investigated for a long time. A useful self-adaptive regulation was obtained. First before the self-adaptive calculation the initial value which combines the target with the measured information can be got by using the coiling temperature model. Then the result of the self-adaptive calculation can be used to correct the simple model in order to improve the model accuracy. For the more, some modified methods were put forward and applied into the production line. As result, the good effect was achieved.

KEY WORDS section cooling; coiling temperature model; self-adaptive regulation