

首钢京唐一冷轧酸轧过程控制系统数学模型分析

王 飞

(首钢京唐钢铁联合有限责任公司 第一冷轧厂,河北 唐山 063200)

摘要:介绍了首钢京唐1700 mm酸连轧机组过程控制系统的硬件配置和网络结构,描述了轧制数学模型的功能,着重介绍了过程控制系统的功能和轧制模型中的基本设定计算功能。联系实际对轧制规程下的压下分配和电机功率平衡方法的实现作了详细的调研和分析。现场实际应用表明,过程控制系统硬件运行稳定,软件功能完善,能处理生产中遇到的各种问题。

关键词:过程控制系统;数学模型;基本设定计算;轧制规程;功率平衡

由于对冷轧薄板质量的要求越来越严,随着液压控制系统的广泛应用(液压压下、液压弯辊、液压窜辊机构)加上全部控制都将作用于轧辊和轧件形成的变形区,因此冷连轧控制系统需满足下列两个要求:(1)高速控制。冷连轧机组除了一些顺序逻辑控制可以采用通用的可编程控制器(PLC)外,大部分功能要求实现高速控制。(2)高速通信。由于多个控制功能(例如厚度控制、张力控制、板形控制)最终都作用到变形区,因此存在较强的功能间耦合,需要相互传递补偿信息。

这两个要求决定了冷连轧控制系统应是快速的分布式计算机控制系统^[1]。因此计算机控制系统已是冷连轧不可缺少的组成部分。酸连轧联合机组的计算机控制系统由一级(基础自动化系统)、二级(过程控制系统)系统组成。二级控制系统采用日本日立公司的硬件设备和集成软件。二级系统的主要功能是对轧机控制参数进行计算(通过数学模型对设定值计算)并对控制器进行参数预设置。对轧机的辊缝、轧制速度等进行的设定计算是通过基于轧制理论的数学模型计算的。但数学模型只能精确地描述理想环境下的轧制,现实条件下则存在各种变化的因素。为了克服实际轧制条件下的误差,系统可以通过自学习功能来调节模型的各种参数来提高轧制精度。基础自动化的动态控制和轧制参数则按照从二级系统中接收到的设定值来实施。

1 过程控制系统配置和功能

过程控制服务器采用2台Hitachi RS90/220

内置36 GB镜像硬盘,主控HMI为Hitachi HJ-7500-5EWEA,2台软件开发终端和PDO(产品数据管理计算机)使用的是HP DC7700商用计算机。RS90/220服务器操作系统为Linux + REXIS-EM和Hitachi Semi-Basic中间基础软件。REXIS-EM是Hitachi公司在Linux基础上为高响应和高可靠性开发的软件。REXIS-EM的主要功能有:优先调度、程序数据长驻内存、高度精确的计时器、程序的同步或独立响应、紧急事件功能和任务暂停功能等。HMI应用开发采用的是HumIng应用开发支持包,支持程序员在RS90/220服务器和HMI终端中执行C语言的程序开发。二级系统配置如图1所示。过程控制系统与基础自动化系统的通信是通过 $\mu\Sigma$ Network-100(一种采用FDDI传输的控制用网络,传输速度为100 Mb/s)来保证高速高效的信息交换。二级通过以太网与三级MES制造执行系统通信(下载生产计划,上传产品数据等)。过程控制系统主要功能如下:

(1)钢卷跟踪 跟踪酸轧线中的钢卷,并根据事件和位置在适当的时间进行如自动设置、数据日志记录、HMI显示等功能服务。

(2)设定值计算 酸洗段设备的设定值数据基本上都通过查表的方式计算,设定值数据通过厚度、宽度、钢种的分类从数据库中查到。轧机段设定数据根据钢卷产品的规格和轧机运行状态信息通过数学模型计算而得,数学模型不能100%地适应实际轧制环境,通过自学习模型可以进行补偿。

收稿日期:2010-08-15;修改稿收到日期:2010-11-30

作者简介:王 飞(1983-),男,安徽亳州人,助理工程师,主要从事冷轧过程控制研发工作。

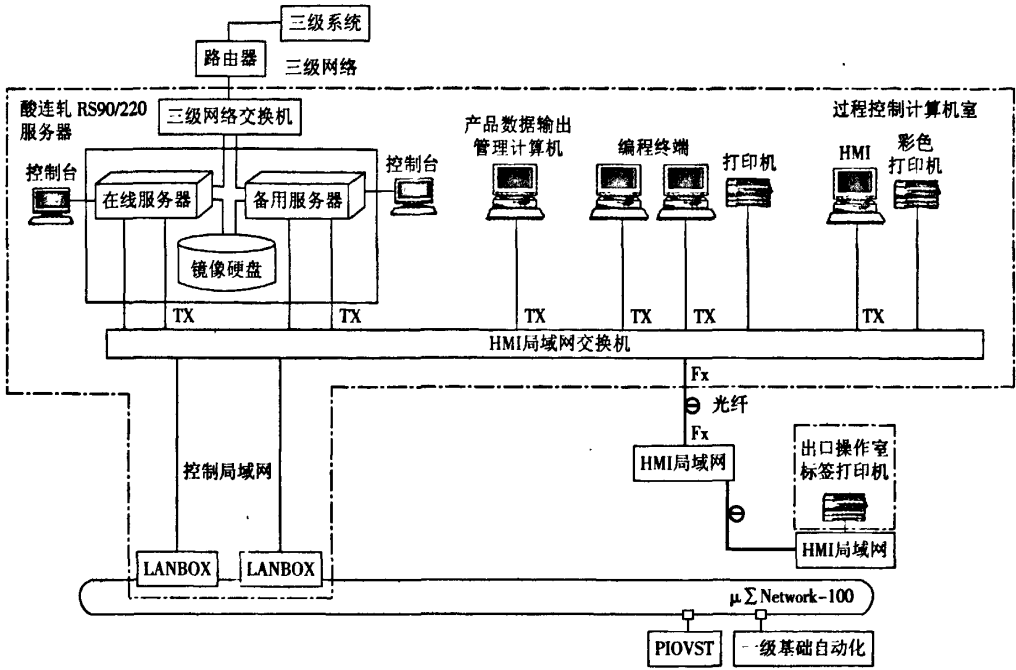


图1 过程控制系统配置图

(3)数据采集 收集活动与跟踪功能通知,带钢到达相应位置将触发数据收集功能,酸洗段的实际数据从一级系统传送来,数据收集功能接收这些数据并储存它们到相应文件中。轧机实时轧制数据在稳定高速轧制状况下被一级收集,这些数据被送到二级主要用于自学习计算。其他数据采集还有能源消耗数据的收集等。

2 轧制数学模型

过程控制功能中最重要的数学模型,根据钢卷数据和工艺数据为基础自动化系统计算出轧制

和板形设定值^[2]。通过实际的测量值,对轧制模型和板形模型进行自适应和优化。优化后的轧制参数通过基本设定值计算功能计算后再送给基础自动化系统,也就是轧机根据带钢的钢种、宽度、厚度焊缝的位置以及各种仪表设备(测速仪、测厚仪、张力计和板形仪等)的上传数据进行动态计算,以达到对产品目标厚度和板形进行控制,而数学模型的基础则是基本设置计算^[3]。轧机段主要仪表配置如图2所示。

当如下事件发生时,将触发基本设定计算功

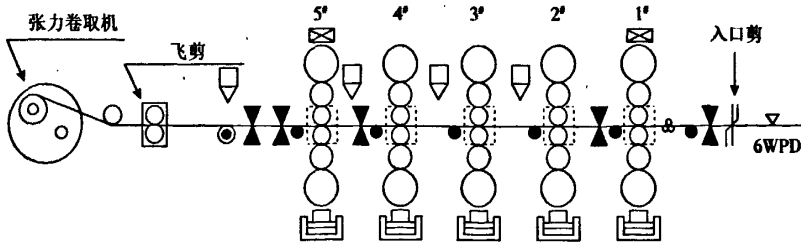


图2 轧机段主要仪表配置图

▲—测厚仪;●—张力计;▨—弯辊力测量仪;▩—液压缸位置磁尺;□—测速仪;●—板形仪;⊞—压力计;▽—焊缝探测仪

能:

(1)跟踪事件 入口步进梁上卷、焊接完成、焊缝通过轧机出口剪、跟踪修改完成、自学习计算完成。

(2)HMI操作 修改轧机当前轧制卷设置(辊缝,压下率等)信息、修改当前卷下一卷轧机预设数据、预计算、轧机设定模拟。

(3)一级换辊清零完成后向二级发送初始化

设置请求。

基本设定计算流程如图 3 所示。

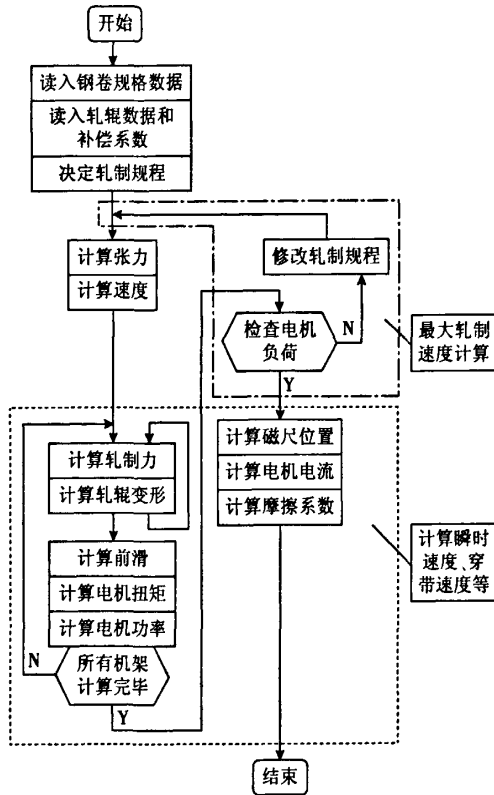


图 3 基本设定计算流程图

通过读入钢卷入口厚度、宽度、屈服强度、出口厚度和轧辊的直径、5*末端机架的轧辊表面情况(光辊或者毛辊)、轧辊粗糙度和凸度等,还有一些自学习的补偿系数(如轧制力、辊缝、前滑),然后通过查表来取得各个机架初始压下率。

末端机架工作辊若是毛辊,则优先考虑带钢的板形和稳定轧机的前提,电机功率平衡方法则不会修改 5*机架的压下率。5*机架采用恒轧制力轧制,其他采用秒流量控制产品厚度。5*机架根据钢卷的厚度、宽度和屈服强度通过查表所得压下率为 s_{rd} 。带钢原料与成品厚度的压缩比 a 计算为(文中下标 F 表示末端机架号,此为 5)

(1) 5*机架光辊轧制时:

$$a = \frac{h_F}{h_1}$$

(2) 5*机架毛辊轧制时:

$$a = \frac{h_F}{h_1(1-s_{rd})}$$

式中, h_1 为钢卷原料厚度; h_F 为带钢目标厚度(5*

机架出口厚度)。

其他机架压下率通过查表所得。这种方法得到的是初始化的压下规程,然后根据初始化的轧制规程通过计算方法进行重新修改,计算如下。

通过 s_{ri} 计算内部机架的出口厚度公式为

$$h_i = H_1 \cdot e^{(s_{ri} \times \ln a)}$$

式中, H_1 为 1*机架入口带钢厚度; h_i 为 i 机架出口厚度; s_{ri} 为第 i 机架初始压下率。

根据求出的出口厚度计算各个机架的压下率为

$$s_{ri} = 1 - \frac{h_{i+1}}{h}$$

式中, s_{ri} 为第 i 机架的压下率; h_{i+1} 为 $i+1$ 机架的出口厚度; h 为原料厚度。

当 1*~5*机架中有一个机架的电机功率到达最大值时,轧制速度将不能继续增长了。这也是电机功率平衡中很重要的一点。轧机设定计算通过初始的轧制规程检查电机功率平衡是否合适。如果不合适,轧机设定计算功能将修改轧制规程和重新计算轧机设定数据直到电机功率平衡达到要求为止。电机功率平衡检查按照如下公式计算:

$$HP_{ratei} = \frac{HP_i}{HP_{maxi}}$$

$$HP_{ave} = \sum_{i=1}^{L-1} (HP_{ratei}) / (L-1)$$

$$B_{ali} = \frac{HP_{ratei}}{HP_{ave}}$$

式中, HP_{ratei} 为第 i 轧机的电机功率比($i = 1 \sim F$); HP_i 为第 i 轧机的电机功率; HP_{maxi} 为第 i 轧机的最大电机功率; HP_{ave} 为平均电机功率; B_{ali} 为功率平衡时第 i 轧机的电机功率比; α 为允许的轧机相关的电机功率比,如取值为 0.03,即允许的轧机相关的电机功率比为 3%。

若计算的 B_{ali} 满足如下范围则达到功率平衡的要求:

$$1 - \alpha < B_{ali} < 1 + \alpha$$

否则修改轧制规程压下率,进行如下处理:

(1) 如果 $B_{ali} > 1 + \alpha$

则 $r'_i = r_i - \frac{r_i}{20 + L_p \times 3}$

(2) 如果 $B_{ali} < 1 - \alpha$

则 $r'_i = r_i + \frac{r_i}{20 + L_p \times 3}$

循环迭代到 $1 - \alpha < B_{\text{ali}} < 1 + \alpha$ 时则停止计算。

上述式中, r_i 为第 i 机架的临时压下值; r_i 为第 i 机架的压下值; L_p 为循环递增计算值。

带钢的最大轧制速度则是根据最大秒流量 M_{max} 计算的。这里的最大秒流量为轧机入口张力辊处的最大流量 M_{maxE} 与轧机最大转速时流量 M_{maxR} 中的小值, 即

$$M_{\text{max}} = \min \{ M_{\text{maxE}}, M_{\text{maxR}} \}$$

$$M_{\text{maxE}} = V_{\text{maxE}} \cdot H_1$$

$$V_{\text{maxRi}} = 2\pi \cdot R_i \cdot G_i \cdot R_{\text{maxi}} \cdot \text{SSRH}_{\text{maxi}} / 1000$$

$$M_{\text{maxR}} = \min_{i=1}^F \{ V_{\text{maxRi}} \cdot h_i \cdot (1 + f_i) \}$$

(公式应用于工作辊驱动情况)

因此, 末端机架的最大轧制速度 V_F 为

$$V_F = \frac{M_{\text{max}}}{h_F \cdot (1 + f_F)}$$

上述式中, f_i 为第 i 机架前滑; f_F 为 5[#] 轧机前滑; V_{maxE} 为轧机入口最大速度; G_i 为第 i 机架变速比; R_{maxi} 为第 i 机架最大转速; V_{maxRi} 为第 i 机架最大轧制速度; R_i 为第 i 机架工作辊半径; $\text{SSRH}_{\text{maxi}}$ 为第 i 机架最大速度调节值 (5[#] 轧机 $\text{SSRH}_{\text{maxi}}$ 取值为 1.00, 其他取值为 0.95)。

当轧制规程下达以后, 单位张力也就决定了。单位张力根据目标厚度、屈服强度、宽度、5[#] 机架工作辊类型通过查表取得, 进而求出总张力。如果总张力大于设定最大值, 将用设定最大值代替总张力。弯辊力和中间辊窜辊都是自动板形控制 ASC 通过查找常数表取得, 允许操作人员更改相应的数值。

3 结束语

轧制模型的复杂程度以及涉及范围关联到基础自动化、工艺控制等领域, 是控制系统研究的重点。随着生产经验积累和学习的深入, 对模型的研究也会越来越深入。本过程控制系统通过两年的实际生产检验, 对轧机设定计算、动态变规格和板形控制有良好的控制效果。特别是数学模型很稳定成熟, 能应对生产中遇到的各种问题。

参考文献:

- [1] 孙一康, 童朝南, 彭开香. 冷轧生产自动化技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 50-61.
- [2] 华建新, 王贞祥. 全连续式冷连轧机过程控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 10-30.
- [3] 王国栋, 刘相华, 王军生. 冷连轧机过程控制系统 [J]. 轧钢, 2003, 20(2): 41-44. [编辑: 谢红]