热连轧机速度控制系统的研究及优化

郭 凯,田 静,丁 黎

(内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢板材厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章以包钢2 250 mm热连轧精轧机组现场调试为背景,研究的主要内容包括两个方面。介绍了基础自动化级主速度控制原理和各种速度控制功能模式,比较详细、系统的阐述了关于主速度控制功能设计的主要内容;分析并解决在轧制过程中关于速度控制及传动系统方面存在的诸多问题,提高控制系统的稳定性,最终使得带钢能够平稳、顺利的通过精轧机组,确保精轧机出口带钢质量。

关键词: 热连轧机;精轧机;速度控制

中图分类号: TG334.9+2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)03-0066-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.03.019

Research and Optimization of Speed Control System for Hot Continuous Rolling Mill

GUO Kai, TIAN Jing, DING Li

(*Rare Earth Steel Plate Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: Based on the field debugging of finishing mill units in 2 250 mm hot continuous rolling of Baotou Steel, the main research contents include two aspects. First, it is introduced the main speed control principle of the basic automation level and various speed control function modes, and main contents in the design of the main speed control function are expounded in detail and systematically; second, the problems of speed control and transmission system during the rolling process are analyzed and solved, and the stability of control system is improved. Finally, the strip steel can be steadily and smoothly passed through the finishing mill units to ensure the strip steel quality of the finishing mill exit.

Key words: hot continuous rolling mill; finishing mill; speed control

为了保证带钢能够顺利通过精轧机组,不出现拉钢、堆钢的现象,在轧制过程中必然要求精轧速度有很高控制精度,速度的控制精度依赖于基础自动化级的速度控制和传动系统的动态性能;轧钢过程是一个极为复杂的工艺,诸多因素都会影响精轧机出口带钢质量,如来料厚度、温度模型设定、AGC的控制精度、冲击负荷以及传动系统响应速度等;在轧制过程中,每个环节控制精度都会影响到每个轧机的金属秒流量,而秒流量偏差的消除一般通过主速度修正来实现的,这些将依赖于主速度的控制精度和动态响应速度控制功能的全面性。

1 2 250 mm热轧厂自动化系统简介

包钢热轧2 250 mm主轧线精轧区域基础自动

收稿日期: 2017-04-24

作者简介: 郭 凯(1983-),男,辽宁省鞍山市人,硕士,工程师,现从事轧钢自动化工作。

中国知网 https://www.cnki.net

化控制系统由 9 套 Nv Controller 控制器和若干个 I/O站组成，它们通过机板总线、Ethernet、TC－NET 网络相互通讯组成一级的硬件控制系统。精轧主速度控制器是标准的 Nv Controller，硬件组成主要由 PU866 处理板、电源板、通讯板、机箱组成，再根据各个控制器的功能不同，配置相应的通信板、信号采集板。Nv Controller 是一个基于标准 VME 计算机(CPU)总线的多 CPU 多任务、实时系统，配有专用 I/O 系统它设计用于大中型复杂系统，这些系统需要高速控制，高速响应、扩展诊断能力，多种 I/O 接口，这些都是普通 PLC 做不到的。Nv Controller 控制器不仅在硬件上表现出很强的兼容性，而且拥有一个强大的编程和诊断工具 NV TOOL。NV TOOL 能以几种不同的编程语言配置控制器，可在继电器控制、顺控配置等方面进行编程。较复杂的控制功能可以用 NV TOOL 内预先定义的控制块或由控制块组成的较高级的宏或者是语言原代码进行编程。不论哪种方式，应用代码都以图形显示在 Windows 格式中。

以其中的一个架构为例详细介绍 PLC 的硬件组成，其中包括的主要模块有：基板(BU866)、电源模块(PS891)、2 个 CPU 模块(PU866)、总线模块(PU86S)、TCNET 网络模块(TG823)、以太网模块(EN811)。

其中 PLC 下挂的传动系统和远程 I\O 站通过一个交换机和其中一个 CPU 模块相连，另外一个 CPU 单独处理需要高速响应的设备动作。

远程 I\O 站由 DI、DO、AI、AO 等 I\O 模板组成，采集现场数据后通过光纤网络与 CPU 进行数据传送。图 1 为 PLC 硬件组态图。

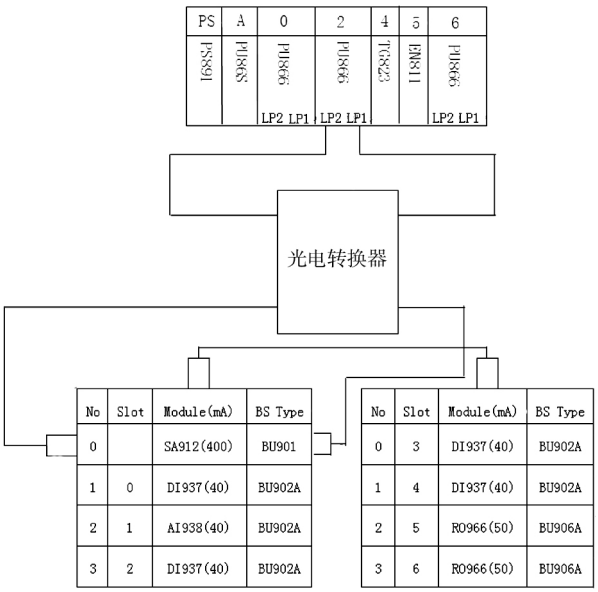


图 1　PLC 硬件组态图

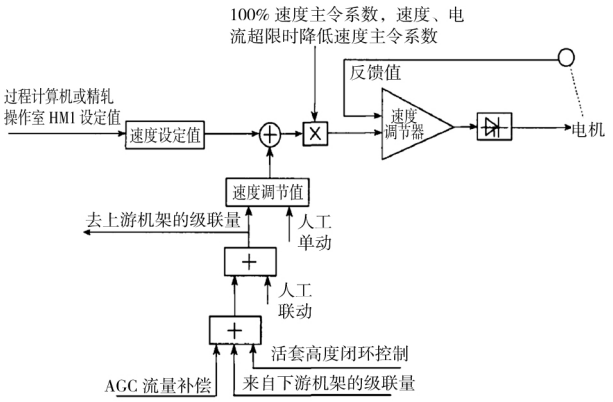


图 2　速度控制原理图

2　精轧速度控制功能主要内容

热轧精轧区域主速度控制功能设计内容主要包括主机的启动和运行顺序控制、各机架穿带速度的设定和调整、动态速降补偿、速度微调和逐移微调、加减速控制、主机维护点动控制、紧急停车控制、故障判逻辑控制等。图 2 为速度控制原理图。

3　精轧设定模型与主速度设定的关系

速度控制器接受二级 FSU 模型下发的设定数据，包括各机架辊缝设定值和速度设定以及加、减速率等数据。主速度控制器主要任务就是对接受数据进行控制和运算，产生并协调主速度基准值(具备加速率控制功能)，并分配到各机架主传动。

3.1　精轧机模型(FSU)介绍

FSU 是精轧设定模型[1]，主要是为精轧区设备如精轧机架、除鳞喷水、机架间喷水、活套和传感器等设备提供给定，以达到过程自动化级 PDI(Primary Data Input data)中目标数据指定的精轧出口温度和厚度。

FSU 先通过 FTS 的计算来决定精轧的穿带速度和已选除鳞水及机架间喷水的流量，再利用 FSU 压下量的计算来满足来自轧制表、轧钢操作工和板型设定模型的负荷分配要求。如果 FSU 适合 PDI 指定的目标厚度、温度，FSU 将为 L1(基础自动化级)进行设定计算。最后，对这些计算出的设定值进行

中国知网　https://www.cnki.net

极限检查，通过 L2 的跟踪程序把它们传送给 L1。如果在计算中设定值不符合极限要求，FSU 将放弃该设定计算，并发报警信息给轧钢操作工。图 3 为模型设定功能流程框图。

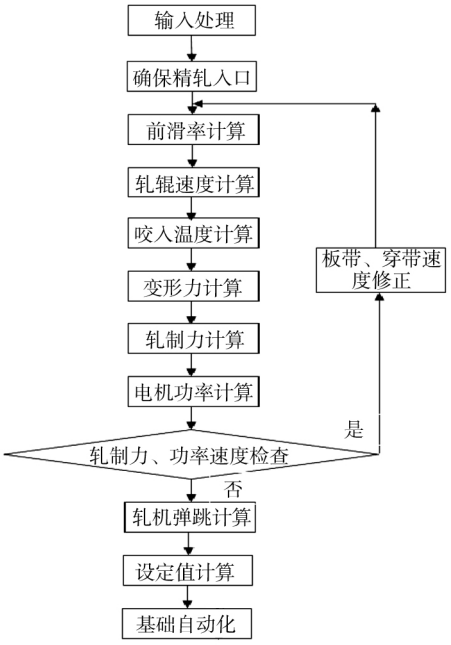


图3 模型设定功能流程框图

3.2 速度设定控制功能与实现

速度设定控制是速度控制功能的重要组成部分[2]，它由速度设定和速度调节两大部分组成。速度设定主要用于穿带前将各机架速度整定到设定值，而速度调节则是穿带后的动态调节，各机架速度的调节量必须遵守机架级联关系。速度设定产生速度给定及其加速率，并且根据轧制过程中金属秒流量相等的原则分配到各机架上。同时它也生成机组运行方式下的其他同步速度，如：辊道、飞剪、卷取机等。

速度设定是由过程自动化控制系统根据轧制工艺状况，以及设备能力情况，按照负荷分配得到各机架出口厚度，并根据终轧温度确定末机架出口速度 v_0 后，用秒流量相等原则计算出各机架速度设定值。

由于带钢在轧制过程中存在前滑现象，轧辊的速度和带钢存在一定的关系。精轧 FSU(FM SET-UP) 模型通过计算的带钢速度、厚度、温度和前滑系数等计算出轧辊的设定速度并将速度设定值下放到基础自动化控制级。前滑系数与各机架的轧辊辊径、中性角和压下量有关系，所以每个轧机的前滑系数不同，各轧机的轧辊线速度和带钢出口线速度的一般关系式为：

$$v_t = v_{0_i}(1 + S_{ht}) \tag{1}$$

并且轧辊线速度与转速存在以下关系式：

$$v_{0_t} = \pi D_t n_t / 60 \tag{2}$$

将上式带入得出新秒流量相等关系式：

$$h_1 D_1 n_1 (1 + S_{h1}) = h_2 D_2 n_2 (1 + S_{h2}) = \cdots = h_{ni} D_i n_i (1 + S_{hi}) \tag{3}$$

其中：h_i 为第 i 机架出口厚度；D_i 为第 i 机架工作辊直径；n_i 为第 i 机架轧辊转速；S_{hi} 为第 i 机架前滑系数；$i = 1,2,3,\cdots n$。

式(3)中为各机架轧辊转速的秒流量相等关系式，通过该式获得轧辊转速后，再经过减速比计算，即可得到传动控制系统所接受的速度给定。

4 活套在速度控制中的应用

在实际轧钢过程中，由于带钢的材质、温度、厚度以及机架的速度、压下量都是变化的，使得每个机架的金属秒流量并不相等。例如，如果带钢温度比预期的低，硬度就会变大，导致轧制力和轧机弹跳比预期的大，最后使得出口带钢厚度和秒流量均比预期的大[3]。因此，在机架间设立了活套装置，利用活套来吸收多余的金属量。与此同时，活套处在一定的工作位置，促使机架间的带钢存在一定的张力，适合的张力是有利于带钢顺利穿带。但是，由于活套前后机架的速度、压下量以及带钢张力都是模型设定的，且它对应于活套的设定工作角度，所以当活套出现失控时，必然会导致带钢的质量控制出现偏差，如带钢拉窄，或者严重时机架间带钢张力失控而导致废钢。这样在活套控制系统中，将根据套量大小，来调节活套前面机架的速度和压下量，使活套动态地维持在设定工作角度，这个过程就是套量控制。通过套量控制，活套在轧钢过程中，将在设定工作角度一定偏差的范围内上下摆动，使整块带钢基本处于恒张力轧制过程。

在连续轧机机组中，各机架速度应遵守金属秒流量相等的原则。实际应用中的秒流量公式为：

$$h_1 v_1 = h_2 v_2 = h_3 v_3 = \cdots = h_i v_i \tag{4}$$

其中：h_i 为第 i 机架的出口厚度；v_i 为第 i 机架带钢出口线速度。

而在实际生产中，因为坯料尺寸、温度等方面的影响，常常会导致秒流量不相等而破坏正常的连续轧制，因此需要采取一定措施使相邻轧机重新达到秒流量相等。秒流量在瞬间的不相等，并不影响带

中国知网 https://www.cnki.net

钢的精确度，而张力的不恒定却会对带钢的精确度产生严重的影响。因此，热轧连轧机采用了以下控制策略:

(1) 在一定范围内，追求秒流量相等。控制系统始终不断地按秒流量相等的原则控制，使秒流量在一个尽可能小的范围内发生变化。

(2) 恒定的张力控制。在一个小范围内允许秒流量不等，但张力却始终恒定，即秒流量不等时，张力不能改变。

当前，有两类方法可实现秒流量相等和微张力恒定分别为微张力无套轧制和微张力带套连轧。2 250 mm热轧机组采用的是微张力带套连轧。

5　结束语

本文是基于热连轧速度控制系统开展研究工作，研究工作包括基础自动化级的主速度控制和影响速度控制的因素两方面。对主速度控制的基本原理、控制模式、影响因素进行了详细的研究; 对自动化系统的系统组成、工作原理进行了研究，并针对实际中存在的问题进行研究和改进，取得了较好的控制效果，有效改善了系统的稳定性能及控制精度。

参　考　文　献

[1] 中国金属学会热轧板带学术委员会. 中国热轧宽带钢轧机及生产技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社，2002.

[2] 刘玠，孙一康. 带钢热连轧计算机控制 [M]，北京: 机械工业出版社，1997.

[3] 郑申白，韩静涛. 变规格连轧时的速度与秒流量相等法则 [J]. 北京科技大学学报，2003，25(6): 556 - 559.

(上接第 31 页)

表 8　铁精矿化学多元素分析(质量分数)　%

成分	TFe	FeO	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	S	P
含量	66.53	29.12	2.64	1.11	0.77	0.12	0.71	0.064

从全流程试验结果及数质量流程图来看，原矿经过三次不同粒度的抛尾试验，然后再进行磨矿磁选，可以得到铁品位为 66.53%，回收率为 46.68%，产率为 10.09% 的合格铁精矿。

通过含铁岩的选矿实验研究，确定了干选提前抛尾的技术路线，尤其适用于白云鄂博西矿采选一体，剥采比居高不下的生产现状，能够有效的改善矿山的生产经营困境，提高企业的竞争力，目前含铁岩应用已经在巴润选厂及民营选厂进行大规模生产实践，取得较好经济指标。

5　结论

(1) 多元素化学分析结果表明，原矿中铁品位为 14.25%，氧化钙为 27.19%，氧化镁为 10.85%，二氧化硅为 2.77%，而其他元素含量较低，为典型的白云鄂博西矿含铁岩石。

(2) 抛尾试验结果表明，原矿经过三段抛尾，可得到铁品位为 29.12%，回收率为 55.41%，产率为 27.36% 的铁精矿，与原矿相比铁品位大幅度提高，而且抛掉了约 72.64% 的尾矿，可以大大减少后续磨矿处理量，由此可见，对原矿进行抛尾处理是很有必要的。

(3) 本试验原矿样经过三段抛尾处理，然后再磨矿磁选，在磁场强度为 95.51 kA/m，磨矿粒度 -0.074 mm占 95.3% 时可以得到铁品位 66.53%、回收率为 46.68%、产率为 10.09% 的合格铁精矿。

参　考　文　献

[1] 赵德贵，宋立民. 白云鄂博西矿低品位磁铁矿选矿工艺试验 [J]. 现代矿业，2012，(06): 91 - 93.

[2] 袁风香. 某低品位单一磁铁矿磨前预选新工艺选矿试验 [J]. 现代矿业，2013，(01): 114 - 115.

[3] 孙大勇，孙建喜. 建龙某铁矿干式预选抛废工艺优化 [J]. 现代矿业，2016，(02): 68 - 70.

中国知网　https://www.cnki.net