

文章编号:2095-2295(2015)04-0405-06

DOI:10.16559/j.cnki.2095-2295.2015.04.023

## 热轧平整机组过程自动化系统研究<sup>\*</sup>

田野,李洁,霍文丰,刘晓智

(北京首钢自动化信息技术有限公司 传动事业部,北京 100041)

**关键词:**平整机组;过程自动化;轧制压力设定;热轧

**中图分类号:**TG335.1 **文献标识码:**A

**摘 要:**依托首钢迁安钢铁公司 1 580 mm 热轧平整机组工程项目,对平整机组过程自动化系统进行深入研究,掌握了平整轧制生产工艺,集成了系统平台组态工具,开发出适用于平整轧制的压力设定预报模型,最终研发出具有自主知识产权的平整轧制过程自动化控制系统,并在该工程进行了现场应用.结果表明:本系统的各项技术性能指标完全满足目标要求,其中轧制力控制精度 $\leq \pm 0.2\%$ ,延伸率控制精度 $\leq \pm 0.1\%$ ,达到国内领先水平,取得了良好的在线应用效果.

## Study of process automation system in hot rolling temper mill

TIAN Ye, LI Jie, HUO Wen-feng, LIU Xiao-zhi

(Drive System Division, Beijing Shougang Automation & Information Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

**Key words:** temper mill; process automation; rolling force setup; hot rolling

**Abstract:** An in-depth study for the process automation system of skin pass mill was carried out under the background of Shougang Qian'an Steel Corp 1580 mm hot rolling temper mill project. The temper rolling production process was mastered, the system platform configuration tool was integrated, and the rolling force setup prediction models were developed. Finally, the temper rolling process automation control system with independent intellectual property rights was developed and the field application was conducted in this engineering project. The result shows that the technical performance index of this system met the requirements, such as the rolling force control precision  $\leq \pm 0.2\%$ , and the elongation rate control precision  $\leq \pm 0.1\%$ ; the leading domestic level was reached and good online application effects were achieved.

平整轧制是生产优质薄板、确保带钢成品质量的一道关键工序,对于提高产品光洁度、控制板形、保证力学性能起着重要的作用<sup>[1]</sup>.随着首钢迁钢公司热轧产品种类的开发以及薄规格产品的增多,现有平整机组已无法满足公司品种多样化以及薄规格产能的需求.迁钢公司拟新上一条 1 580 mm 热轧平整机组,以适应多产品规格的需求,消除热轧带钢产

品的表面缺陷,为酸洗及冷轧取向硅钢轧制等提供高质量的基料,为生产高端精品带钢提供质量保证.

目前,国际上对平整机的设计和控制及生产工艺研究较多,研究水平较高的主要集中在美国、日本、意大利、德国等国家.在国内,由于种种原因,对平整机的设计、控制及生产工艺的开发研究起步比较晚,尚未形成一套比较完整的具有自主知识产权

<sup>\*</sup> 收稿日期:2015-08-10

作者简介:田野(1982-),男,辽宁锦州人,北京首钢自动化信息技术有限公司工程师,博士,主要从事热轧工艺和轧钢自动控制方面的研究工作.

的成熟的平整设计和控制以及生产工艺技术<sup>[2,3]</sup>. 本文依托该热轧平整机组工程项目,通过引进、吸收国外先进的平整轧制技术,完成了系统硬件、软件及网络的设计、安装及调试,掌握了平整轧制的关键技术,最终研发出具有自主知识产权的平整轧制过程自动化控制系统,并应用于该工程.

## 1 平整生产工艺流程

本工程实现的生产工艺流程为:

天车上卷→入口步进梁→钢卷准备站切头→上卷小车→开卷机开卷→六辊矫直机矫直→四辊平整机平整→切分剪剪切分卷→卷取机卷取→卸卷小车→旋转鞍座→出口 1<sup>#</sup>步进梁→称重机→周向打捆机→出口 2<sup>#</sup>步进梁→天车卸卷. 其平整机组设备布置如图 1 所示.

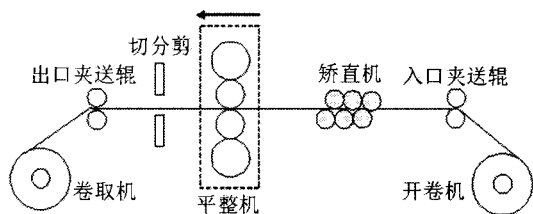


图 1 迁钢 1 580 mm 平整机组设备布置

Fig. 1 Qiangang 1 580 mm temper mill equipment layout

本工程所需的四种作业类型为:(1)平整.可以有效地改善带钢的平直度并提高其力学性能;(2)分卷.使大卷变小卷,满足不同用户的需求;(3)重卷.基本能够消除轧线卷取过程中产生的卷形缺陷;(4)平整分卷.既改善带钢的平直度、提高力学性能,又能达到大卷分小卷的目的.

## 2 系统平台组态工具

过程自动化系统采用客户端/服务器(C/S)架构,系统平台集成了一整套软件组态工具,使用这些组态工具可以轻松组成一个完整的过程控制系统.

### (1) I/O 服务工具

这是一个基于消息机制的通讯工具,是使用过程控制系统的核心.二级系统中的各进程通过这个工具定义的接口(IO)来进行相互连接和通讯.

### (2) 网关工具

网关工具是通讯协议转换工具,可以将接受到的消息中的数据重新包装,并转化成相应的协议以实现和第三方系统的通讯.一般来讲,网关工具使用 TCP/IP 协议和第三方计算机系统通讯.

### (3) HMI 接口工具

HMI 接口工具用来实现各 HMI 画面和二级系统的通讯.

### (4) Director 工具

Director 工具是二级系统中物料跟踪和物料信息管理工具,主要用来实现对钢卷物料的跟踪和信息处理.通常,每个过程控制系统都会使用 Director 工具组态大量的进程,系统通过这些进程来完成各种简单或者复杂的任务.

### (5) 数据字典工具

数据字典工具用来管理和维护二级系统中使用的全部数据结构,比如进程间进行数据交换时各消息中包含的数据记录等.利用数据字典工具,二级系统中的任何数据结构的修改都只需要在数据字典中进行,只需重启引用了该数据结构的进程,修改完成后的新的数据结构就可以被进程引用.

### (6) 系统管理分析和监控工具

系统管理分析和监控工具是操作系统的进程管理工具,通过这个工具,用户可以通过某中心位置的计算机来配置、控制、监视该工具管理下的所有计算机中运行的各软件进程.

## 3 平整轧制压力预报模型的开发及实现

以往国内外的平整机过程控制系统中,现场预设数据通常采用按 PDI 数据查找轧制工艺表的方法获得,表中数据均为经验数据,无法保证新品种钢卷轧制压力的设定精度.而轧制压力设定精确与否将直接影响平整后带钢的尺寸精度、机械性能与表面质量.

为了给新钢种轧制压力设定提供模型化的理论依据,针对首钢迁钢 1580 平整线,充分考虑到该套平整机组的设备工艺特点与实际工况以及工程上对模型本身的稳定性要求,根据大量的理论研究和分析,给出了一套工程上实用的平整轧制压力预报模型<sup>[4-9]</sup>.

对于平整轧制而言,在轧辊和带材交界面处接触弧更具有平面性质,而非圆柱表面性质,相对地说,中性点更靠近接触弧中心.在模型中包括的 4 个

重要参数为<sup>[10]</sup>:

- (1)带材在辊缝中变形时所经受的平均应变速率;
- (2)在此应变速率下使钢塑性变形所需要的垂直于带钢平面的压缩应力;
- (3)在辊缝中带材的平均张力;
- (4)存在于辊缝界面的摩擦系数.

对于单机架平整机,轧制模型给出以下 3 项数学表达式:(1)接触弧长度;(2)平均应变速率;(3)总轧制压力.

在高摩擦条件下,计算其接触弧长的表达式为:

$$L = \frac{1}{2} \left[ \frac{D\epsilon\mu}{2} + \sqrt{\left( \frac{D\epsilon\mu}{2} \right)^2 + 2Dh_0\epsilon} \right] \tag{1}$$

式中, $L$ 为轧制变形区中轧辊与带材接触弧长度,mm; $D$ 为工作辊直径,mm; $\epsilon$ 为带材延伸率; $\mu$ 为摩擦系数; $h_0$ 为带材入口厚度,mm.

与平整轧制作业有关的平均应变速率( $\dot{\epsilon}$ )可近似为:

$$\dot{\epsilon} \approx \frac{2V}{D\mu} \tag{2}$$

式中: $V$ 为轧制速度,m/min.

带材变形所需要的最小轧制压力为:

$$\sigma_p = k_3 [\sigma_s + a \lg 1000 \dot{\epsilon}] - (k_1 \sigma_0 + k_2 \sigma_1) \tag{3}$$

式中, $\sigma_p$ 为当量变形抗力,MPa; $\sigma_s$ 为带材屈服强度,MPa; $a$ 为应变速率系数; $k_3$ 为变形抗力影响系数; $\sigma_0$ , $\sigma_1$ 为分别为带材前、后张力,kN; $k_1$ , $k_2$ 为分别为带材前、后张力加权系数,一般情况下, $k_1 = k_2 = 0.5$ .

可用下式来表示单位宽度轧制力:

$$f = \frac{a_1 \sigma_p h_0 (1 - \epsilon)}{\mu} \left\{ \exp \left[ \frac{\mu L}{h_0 (1 - \epsilon)} \right] - 1 \right\} \tag{4}$$

式中, $f$ 为单位宽度轧制力,kN; $a_1$ 为综合工况影响系数.

总轧制压力为:

$$P = fB \tag{5}$$

式中, $P$ 为总轧制压力,kN; $B$ 为带材宽度,mm.

将平整轧制压力计算模型转化为计算机语言,编写了平整轧制压力离线设定预报程序,实现了轧

制压力离线预报功能,为后续平整新品种钢卷的轧制压力设定预报提供了模型化的理论支持.

4 过程自动化系统功能研发及实现

过程自动化(二级)系统完成了 PDI 数据管理、在线物料跟踪显示、设定值计算及下发、数据收集、传输和报表、轧辊数据管理等功能,实现了生产过程管理与轧机生产一体化.

二级系统运用 Socket 方式与基础自动化(一级)PLC 进行通讯,通过 TCP/IP 协议,经过协商好的端口号和报文 ID 将一级 PLC 传送的数据接收到对应的进程中,然后由进程将接收到的数据存储至数据库对应的数据表中.

二级系统依照基础自动化的请求要求,将数据库中计算好的数值经过进程,通过规定的端口号和报文 ID,下发给基础自动化.

过程自动化系统的程序结构由数据库管理、进程管理、生产报表管理、二级画面管理四大部分组成,如图 2 所示.

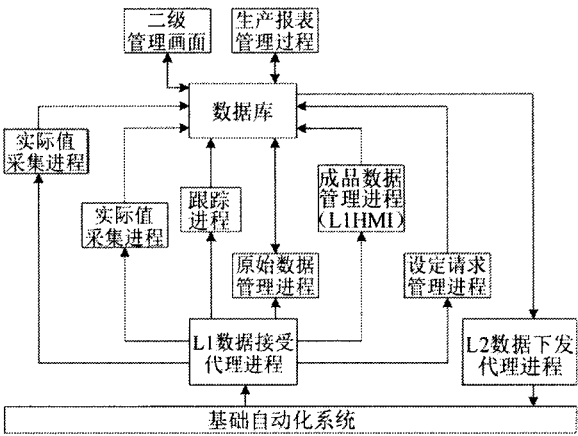


图 2 过程自动化系统程序结构图

Fig. 2 Process automation system procedure structure diagram

5 现场实际应用效果

将自主研发的平整机组过程自动化系统应用于首钢迁钢 1580mm 热轧平整工程项目,图 3 ~ 6 为现场投产后实际应用的过程自动化 HMI 画面.

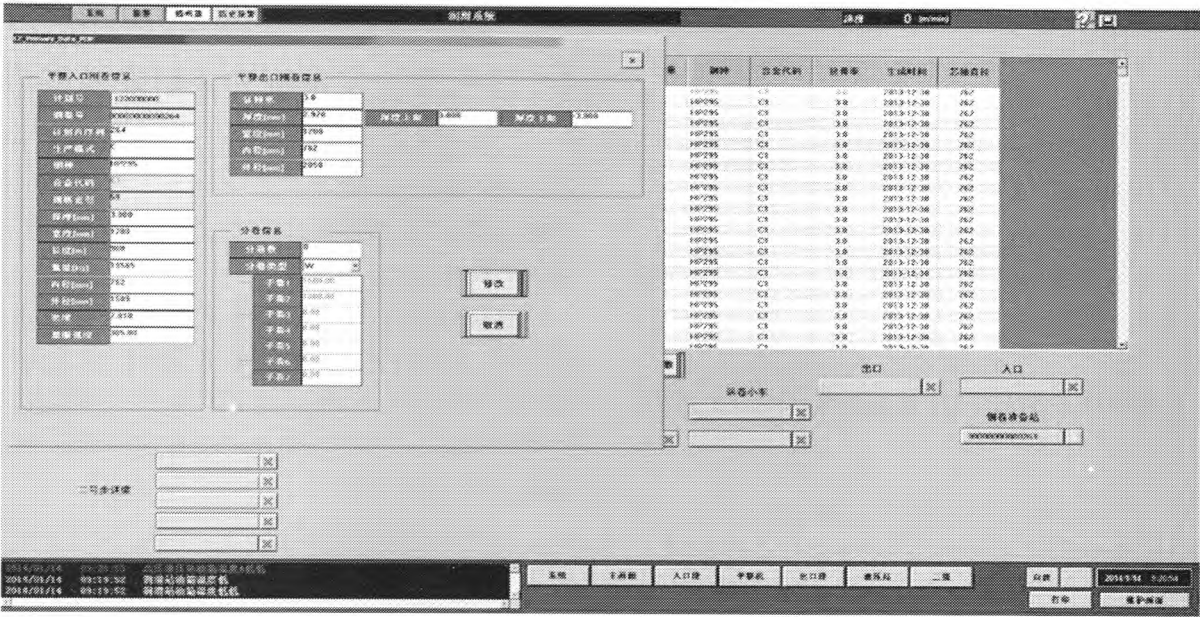


图 3 PDI 数据管理画面  
Fig.3 PDI data management picture

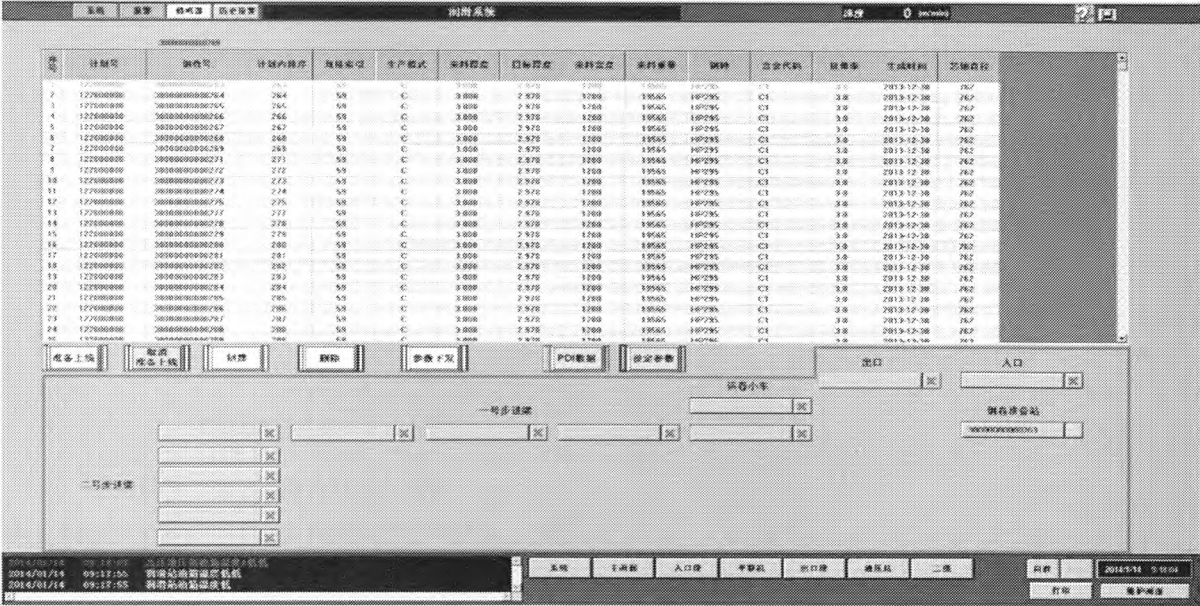


图 4 在线物料宏跟踪画面  
Fig.4 Online material tracking picture

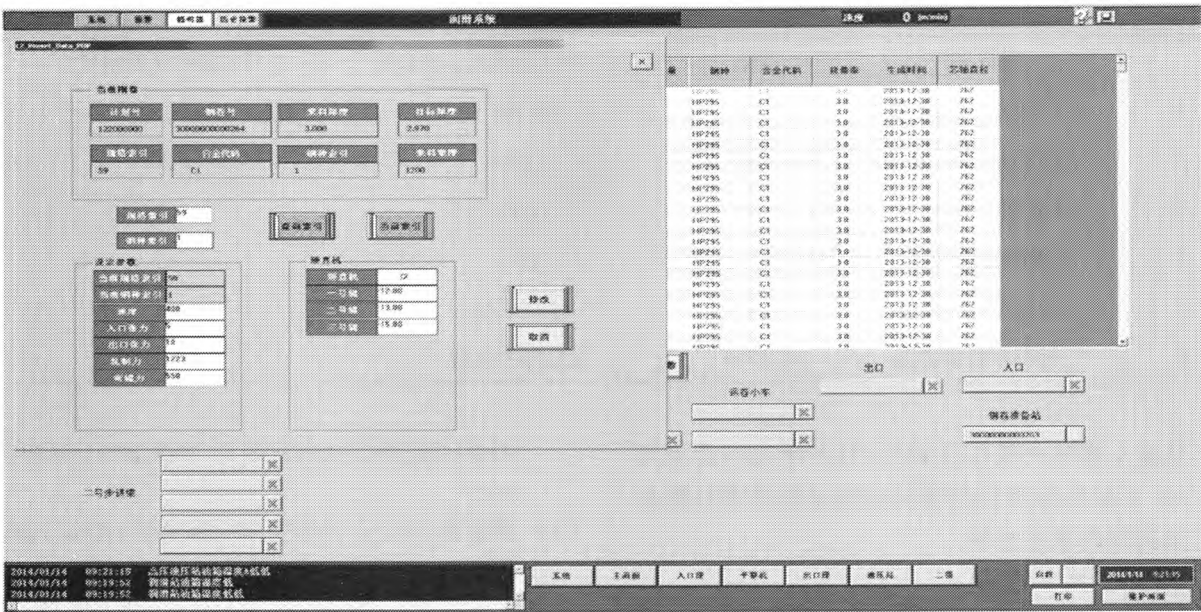


图5 设定值计算及下发画面  
Fig.5 The setting value calculation and issue picture

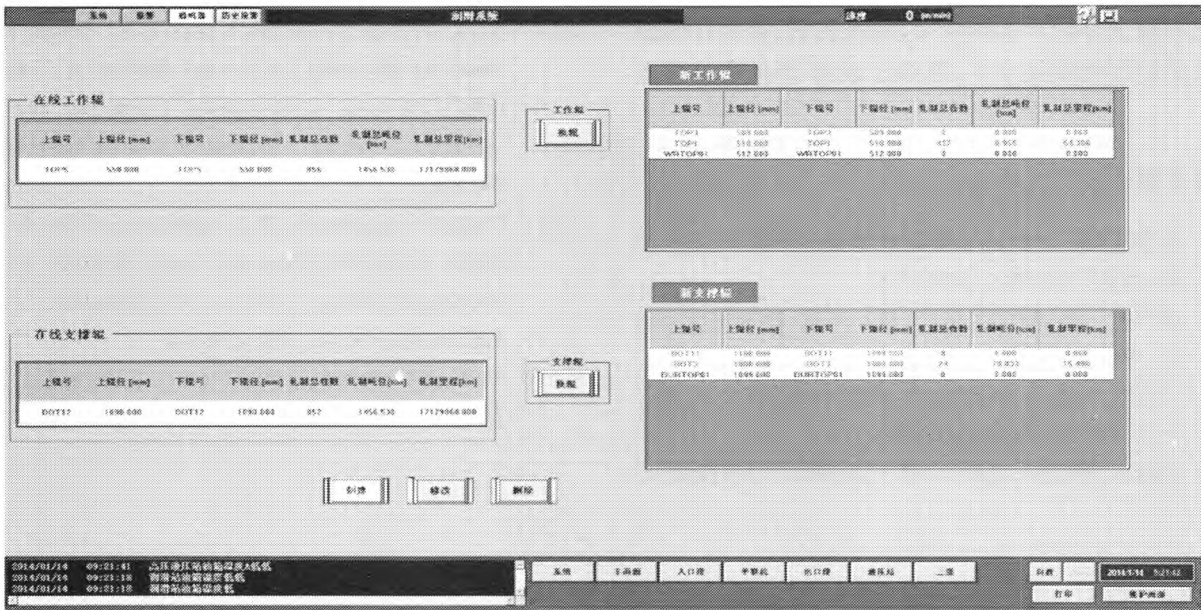


图6 轧辊数据管理画面  
Fig. 6 Roller data management picture

表1 为本系统的技术性能指标与首钢迁钢原 2160 平整机组的技术指标对比表.

表 1 技术指标对比表  
Table 1 Comparison of technical indicators

	保证条目	目标	原迁钢 2160 平整机达到指标	本系统达到指标
1	二级系统运转率	99.8%	99.8%	99.8%
2	二级系统 CPU 负荷率	<45%	<30%	<20%
3	HMI 画面刷新时间	<2 s	<2 s	<2 s
4	数据刷新时间	<1 s	<1 s	<1 s
5	轧制力控制精度	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 0.5\%$	$\leq \pm 0.2\%$
6	延伸率控制精度	$\leq \pm 1\%$	无延伸率控制	$\leq \pm 0.1\%$

从表 1 指标比较可以看出,自主研发的首钢迁钢 1580 平整机组项目自动化控制系统技术性能指标已达到国内领先水平.

6 结论

本文依托首钢迁安钢铁公司 1 580 mm 热轧平整机组工程项目,对适用于平整机组的过程自动化系统进行深入研究,最终研发出具有自主知识产权的平整轧制过程自动化控制系统,并在迁钢 1580 平整机组现场进行了实际应用,结果表明:各项性能指标已达到国内领先水平,取得了良好的在线应用效果.

参考文献:

[1] 陈龙宫,黄 伟. 冷轧薄钢板精整生产技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2009:7-8.  
[2] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产[M]. 北京:冶金工业出版社,1996:434-437.  
[3] 白振华,刘宏民,李秀军,等. 平整轧制工艺模型[M]. 北京:冶金工业出版社,2010:3-4.  
[4] 白振华,康晓鹏,龙瑞兵,等. 工程实用平整轧制压力

模型及其自学习技术研究[J]. 钢铁,2008,43(10):51-54.  
[5] 贾玉春,刘宏民,邱格君. 神经模糊组合预报冷连轧机轧制力[J]. 燕山大学学报,2005,29(3):18-21.  
[6] 王东城,彭 艳,刘宏民. 冷轧带钢平整机高精度高速轧制力模型开发[J]. 塑性工程学报,2008,15(1):172-177.  
[7] 马庆龙,王东城,刘宏民. 基于神经网络和自适应预报模型参数的平整轧制力模型[J]. 塑性工程学报,2008,15(3):191-194.  
[8] Wang D, Peng Y, Liu H. A High-speed Rolling Force Model for Thin Strip and Temper Rolling[A]. International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics[C]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2007: 808-812.  
[9] Domanti S A, Edwards W J. Application of Foil Rolling Models to Thin Steel Strip and Temper Rolling [A]. 6th International Rolling Conference[C]. Dusseldorf: Dusseldorf University Press, 1994: 639-648.  
[10] W. L. 罗伯茨. 冷轧带钢生产[M]. 北京:冶金工业出版社,1991:528-531.