包钢热轧加热炉自动化控制系统应用与研究

刘 婷[1,2],邢东旭[1],文 博[2],王 磊[2],张鹏鹏[2]

(1. 内蒙古科技大学信息工程学院,内蒙古 包头 014010;
2. 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: 文章针对包钢热轧2 250 mm生产线年产量热轧钢卷550万t及生产板坯钢种、规格、温度变化不一的需求,基于现有一级自动化设备及新型计算机技术投用加热炉自动化控制系统,通过数字化自动燃烧模型、温度前馈控制实现炉内合理加热板坯及实时定位跟踪控制。解决了热轧加热炉烧钢不均、氧化烧损严重、能源消耗大及职工作业环境危险恶劣等问题。

关键词: 加热炉; 自动化控制; 过程控制

中图分类号: TG307 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)06-0075-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.06.021

Applications and Researches of Automatic Control System for Heating Furnace of Hot Rolling Production Line in Baotou Steel

Liu Ting[1,2], *Xing Dong-xu*[1], *Wen Bo*[2], *Wang Lei*[2], *Zhang Peng-peng*[2]

(1. *School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is described such problems as uneven burning in heating furnace of hot rolling, serious burning loss of oxidation, great energy consumption as well as dangerous and bad working environment of staffs are solved based on the existing first-level automation equipment and new computer technology applied in the automatic control system of heating furnace aiming at the annual output of 5.5 million tons of hot-rolled coils as well as the changing demands of steel grades, specifications and temperatures for slab with the hot rolling 2 250 mm production line. The reasonable heating of slab in heating furnace and real-time locating and tracking control are realized through the automatic combustion model and feedforward control of temperature.

Key words: heating furnace; automatic control; process control

加热炉是轧线上最重要的设备之一,钢坯加热的技术直接影响带钢产品的质量、能源消耗和轧机寿命。对加热炉实行自动化控制实现了:以最小的热耗及轧机需求最快的轧制节奏,把入炉的板坯加热成满足轧线要求的目标温度,送到轧制生产线上。包钢热轧2 250 mm生产线原设计年产热轧钢卷

收稿日期: 2018-04-13

作者简介: 刘 婷(1991-),女,内蒙古呼和浩特市人,在读硕士,助理工程师,现从事热轧计算机自动控制工作。

550万t，所需原料全部为合格的连铸坯，年需连铸坯567万t。为满足加热要求，设4座加热炉，每座炉额定产量为300 t/h、采用组合脉冲燃烧控制的节能环保型步进梁式加热炉[1]。并且通过使用加热炉自动化控制系统来实现加热炉自动定时出钢、对加热炉区内的板坯进行跟踪和控制，并且在满足轧机产量的情况下，合理加热板坯，准确控制板坯的出炉温度和均匀度，使钢坯出炉温度最接近目标值，钢坯截面温差最小，燃料消耗最低，氧化烧损和脱碳最少，加热炉生产均衡，减少操作人员或降低劳动强度，在提高加热质量及产量的前提下节省能源。

1 加热炉自动化控制系统架构描述

加热炉自动化控制系统的控制范围从连铸运输辊道开始，直到除磷前最后一根辊道，包括4座加热炉，每座加热炉主要包括：板坯库辊道，4座步进梁式炉前、炉后辊道，加热炉本体设备及其液压站、汽化冷却系统、干油及其它辅助生产设备的电气仪表设备（包括仪表燃烧系统、汽化冷却系统、基础自动化系统硬设备及配套软件、操作设备、检测器、传动设备等）。加热炉自动化控制系统由两部分组成：基础自动化系统（L1）与自动化控制计算机系统（L2）。加热炉过程控制系统结构如图1所示。

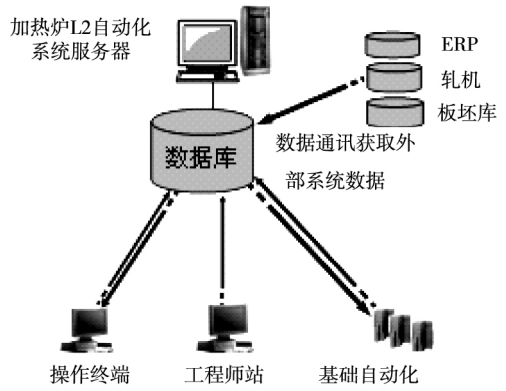


图1 加热炉过程控制系统结果图

加热炉自动控制系统由计算机系统及现场仪表系统组成。计算机系统分为二级计算机控制系统及一级监控系统。一级基础自动化监控系统对各种工艺自动化进行顺序控制、闭路控制、联锁控制故障及报警检测等；二级自动化主要功能是：负责接收由三级管理计算机传送的轧制计划和轧制顺序，从辊道开始对核对完成的板坯进行跟踪，分别接收一级传送的板坯进入炉前辊道、板坯吊销、板坯入炉、步进梁移动、板坯出炉等信号，并向一级PLC发出炉前板坯定位的炉列号和抽钢指令，向模型程序提供所需的数据，并给轧线二级提供抽钢顺序、炉内板坯的温度和时间信息，以及轧线二级的板坯粗轧测量信息和轧制节奏信息；从炉子仪表DCS接收炉子每分钟的温度煤气和空气流量等加热数据，并且每分钟把模型计算的炉子各上部段温度设定值传给仪表DCS，实现炉子的最优化燃烧控制[2]。

1.1 基础自动化系统（L1级）

基础自动化系统主要实现以下功能：信号采集及处理、板坯库辊道控制、装炉辊道的控制、板坯在核对和装炉辊道上定位、板坯称重测长、对中测宽、装钢机位置及行程控制、加热炉装出料的炉门控制、步进机械控制、出钢机前进、后退行程设定及位置控制、液压站设备控制、干油站设备控制、出炉辊道控制、返回辊道控制及数据采集、数据管理、参数设定等。

1.2 自动化控制计算机系统（L2级）

自动化控制计算机系统主要完成加热炉炉内的坯料跟踪、板坯温度计算、优化温度设定和数据处理及数据通讯，负责接收由三级管理计算机传送的轧制计划和轧制顺序，从辊道开始对核对完成的板坯进行跟踪，分别接收一级传送的板坯进入炉前辊道、板坯吊销、板坯入炉、步进梁移动、板坯出炉等信号，并向一级PLC发出炉前板坯定位的炉列号和抽钢指令，向模型程序提供所需的数据；给轧线二级提供抽钢顺序、炉内板坯的温度和时间信息，以及轧线二级的板坯粗轧测量信息和轧制节奏信息；从炉子仪表DCS接收炉子每分钟的温度煤气和空气流量等加热数据，并且每分钟把模型计算的炉子各上部段温度设定值传给仪表DCS，实现炉子的最优化燃烧控制[2]。

2 加热炉自动化控制系统功能设计

2.1 生产计划数据的管理功能

生产计划数据管理的目的是对必要的轧制计划数据和板坯数据进行管理，本系统从三级管理系统（L3）自动接收加热炉生产计划和板坯数据。同时，本系统具有人工输入生产计划的备用功能。计划数据要求在板坯上料进入核对辊道之前传送到加热炉自动化控制系统。

板坯在进入核对辊道进行测长、测宽、称重时，L3向加热炉L2发送上料板坯数据，用于加热炉L2

进行板坯核对处理。

2.2　板坯核对功能

板坯进入核对辊道，完成测长、测宽、称重后，操作工通过 L2 核对画面，对核对辊道上的板坯测量值、实际板坯号与计划数据进行比对，判断板坯是否正确。如果板坯正确且准备核对时，L2 系统进一步确定板坯的炉号、列号及板坯间距，用于基础自动化系统对板坯进行炉前的自动定位。

当核对通过后，系统自动创建该板坯在炉区的跟踪映像。

2.3　板坯位置跟踪功能

2.3.1　加热炉入口侧板坯位置跟踪

加热炉区域入口侧板坯跟踪的范围从板坯核对开始，到板坯装入加热炉结束。加热炉 L2 过程控制计算机根据来自基础自动化的板坯跟踪实际位置，建立板坯在装料辊道上的跟踪映像。

2.3.2　加热炉内的跟踪

加热炉内板坯位置跟踪的范围从板坯装入加热炉开始，到板坯出加热炉定位到出炉辊道上为止。加热炉 L2 过程控制计算机根据来自基础自动化的各板坯装料时装入行程和步进梁每个周期的移动量等信号，对各板坯在加热炉的位置进行实时跟踪。

2.3.3　加热炉出口侧板坯位置跟踪

加热炉区域出口侧板坯位置跟踪的范围从板坯抽出加热炉放到出炉辊道开始，到板坯进入除鳞箱结束。加热炉 L2 过程控制计算机根据来自基础自动化的板坯跟踪实际位置，建立板坯在出料辊道上的跟踪映像。

2.4　跟踪修正

为了准确跟踪进入炉区的板坯信息，在某些情况下需要使用一些自动或手动的修正方法，包括:

2.4.1　核对异常时的板坯吊销

当板坯在核对辊道处进行核对时，如果板坯测量值与计划值差别较大，超过允许偏差范围，或者板坯上喷印的板坯号与计划板坯号不符时，由操作人员判断该块板坯是否允许继续装炉。如果不能继续装炉进行生产，需要进行“板坯吊销”操作。

2.4.2　数据强制装入

当板坯已经被装入到加热炉里，而数据还停留在加热炉炉前辊道时，需要进行“数据强制装入”操作。

2.4.3　板坯顶端位置的纠正

根据出炉端激光检测仪的信息，对板坯位置跟踪的累计误差进行自动修正。当误差大于最小板坯宽度时，系统不进行误差自动修正，而进行报警输出，由人工进行正确处理。

2.4.4　数据强制抽出

当板坯已经从加热炉抽出到出炉辊道上，而数据还停留在加热炉内时，需要进行“数据强制抽出”操作。

2.4.5　跟踪位置修正

当加热炉区板坯的实际位置与 L2 识别的位置由于某些异常，而发生不一致时，操作人员可以通过本功能人工修正 L2 识别的位置。

2.5　加热炉自动燃烧控制模型

自动燃烧系统(ACC) 是二级系统的核心，主要完成对钢坯在炉内温度的计算和加热炉各段炉温的设定，自动燃烧系统还包括休炉时温度自学习等。加热炉燃烧控制实现了各种钢种、各种规格的板坯在出炉时达到目标出炉温度，上下表面温差小，提高了加热质量，很好地适应轧线轧机节奏，同时燃烧系统控制精准，大大节省了燃料。

2.5.1　板坯装炉温度计算模型

对于热装板坯，根据上料辊道上的高温计测得的板坯表面温度和板坯在炉前辊道上的停留时间，计算板坯装炉温度。对于冷装板坯，装炉温度等于大气温度。

2.5.2　炉内板坯温度计算模型

炉内板坯温度计算模型包括热流量计算模型和板坯内部传热过程数学模型。

热流量计算模型是以上一周期计算的板坯表面温度为基准，根据炉内板坯的位置和由炉内热电偶测得的炉温插值计算出的板坯上下的炉气温度，推算出流入板坯上下表面的热流量(单位时间内流过单位面积的热量) [4]。在计算热流量时，要考虑板坯所在段水印的补偿(加热段板坯水印下部、均热段的水印下部分别考虑补偿系数) 。然后利用板坯内部传热过程数学模型对炉内每一块板坯进行传热计算，通过解差分方程求出板坯的内部和表面温度。

2.5.3　板坯剩余在炉时间计算模型

板坯剩余在炉时间计算模型是根据轧制节奏和板坯在炉内的位置，预测板坯剩余在炉时间，并预测计算出板坯在加热炉内各段的剩余在炉时间。对板坯剩余在炉时间进行预测，是加热炉模型计算最佳炉温设定值的基础。

2.6　加热炉自动化控制系统二级操作画面说明

加热炉自动化控制系统操作室终端上有表示生产所需要的各种显示画面和操作画面，便于操作员了解生产情况和进行有关操作。画面设计采用WINDOWS风格，通用简单，便于掌握，加热炉自动化控制系统跟踪主画面如图2所示。

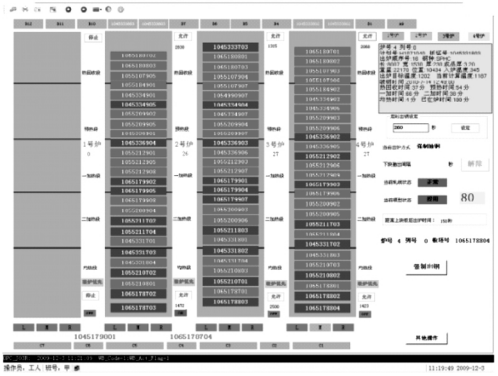


图2 加热炉跟踪主画面

主画面具有显示和操作两大功能。对当前辊道及炉内的板坯跟踪映像的显示，以及对加热炉当前状态的显示，对加热炉二级的主要操作也是在主画面上进行的。主画面上底色为灰色的框表示加热炉炉体，在炉体的旁边标识炉号；每个加热炉炉体的旁边均有标识，用来显示当前加热炉的主要状态。

在画面上显示炉内板坯从入炉到当前所在位置各采样点温度曲线。操作人员可以通过此画面察看某块板坯从入炉开始到目前位置的加热温度曲线，用来了解该板坯在炉内的实际加热过程。此外，本系统还有板坯温度曲线画面、板坯核对画面、出钢设定画面、模型参数修正画面、装出炉数据显示画面、报警画面等多项功能。

3 结论

(1) 加热炉自动化控制系统的投用实现了自动对炉内温度进行调节，针对不同钢种、不同产量、不同装钢温度条件下的炉内板坯温度进行实时计算和准确跟踪，提升板坯加热的均匀度，达到了低损耗、高品质烧钢。

(2) 加热炉自动化控制系统的投用实现了加热炉的全自动化控制，有效提高了热轧2 250 mm生产节奏，满足了热轧工艺生产需求，使年产量及生产效率得到明显提高。

(3) 加热炉自动化控制系统的投用使加热炉生产高效均衡，减少了现场操作人员并降低职工的劳动强度，达到了在提升加热质量、提高加热炉产量的同时尽量节省能源的最终目标。

参 考 文 献

[1] 王延薄. 板带材生产原理与工艺 [M]. 北京: 冶金工业出版社，2006.

[2] 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.

[3] 蔡乔方. 加热炉 [M]. 北京: 冶金工业出版社，2005.

[4] 柳克勋. 大型化是钢铁企业发展的一大趋势 [J]. 冶金管理，2004，(4)：16－17.