

文章编号:1005-7854(2015)S0-0239-04

# 首钢长钢棒材在线温度闭环控制系统

王 鹏 李晓宇 袁 欢

(北京首钢自动化信息技术有限公司,北京 100041)

**摘 要:** 主要介绍首钢长钢棒材在线温度闭环控制系统的工艺概况、系统结构、主要控制功能以及系统投入运行的过程,并对棒材在线温度闭环控制系统使用后的效果进行了对比和总结。

**关键词:** 棒材控冷;温度闭环;控制系统

**中图分类号:** TF7 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1005-7854.2015.zl.060

在 21 世纪的现代化棒材生产线上,棒材冷却装置是一个非常重要的组成部分,通常安装在棒材轧机之间或者精轧机后,分别用于对棒材进行轧制过程温度控制和成品冷却温度控制,达到改善产品性能的目的<sup>[1]</sup>。随着工艺技术的不断进步,降低能耗以生产出低成本、高性能的钢铁产品已成为现今钢铁生产的趋势<sup>[2]</sup>,对棒材的自动化控制水平要求也越来越高,传统的温度控制方法已经无法满足要求。传统的棒材冷却控制普遍采用开环控制模式,依靠操作工经验来控制冷却水量,当棒材温度波动时,操作工不能及时调整冷却水量,导致冷却效果不好,棒材预冷后温度、上冷床温度和工艺要求的温度偏差大,从而造成棒材成品力学性能波动较大,为解决上述问题,在首钢长钢研发出棒材在线温度闭环控制系统,使棒材生产线实现了在线温度闭环控制。

## 1 工艺概况

首钢长钢的棒材生产线采用 18 机架连轧生产线,实现全自动控制,轧制钢坯采用 150 × 150 mm 连铸方坯,长度 12 m,加热炉采用蓄热燃烧步进式连续加热炉。在精轧机组内部增加了控冷水箱,进一步控制轧件温度,既适合一般棒材生产,也适合优特钢棒材生产。棒材控冷的冷却水箱装置由内部冷却器、箱体、横移小车及替换辊道组成。替换辊道是根据生产需要配置的,当不使用穿水时,通过小车横移将冷却器移离轧制线,使用辊道将轧件输送至下游轧机或冷床。冷却器安装在水箱内部,由若干段组成,便于精确控制温度,并且可以实现快速更换。

首钢长钢棒材控冷分为 1 段控冷、机间控冷、2 段控冷、3 段控冷四个控冷段,分布如图 1 所示。

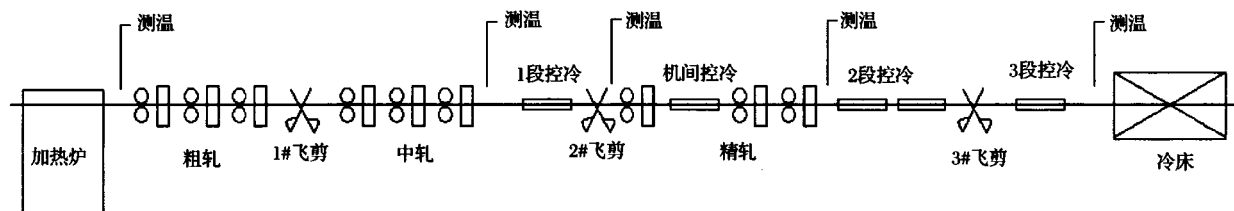


图 1 棒材控冷生产线布局

## 2 控制系统组成

### 2.1 控制系统硬件组成

棒材在线温度闭环控制系统采用西门子 PLC

控制器,系统网络和硬件配置如图 2 所示。

系统由一个西门子 400 PLC 和一个 ET200 分站组成,其通讯方式为 ProfibusDp,西门子 400 PLC 通过以太网模块接入以太网实现与上位机的通讯,通过以太网可实现编程、监控操作、与其它 PLC 的横向通讯,通过输入输出模块读取和控制外部的仪表设备和电气设备。

作者简介:王 鹏,工程师,研究方向为自动控制专业。

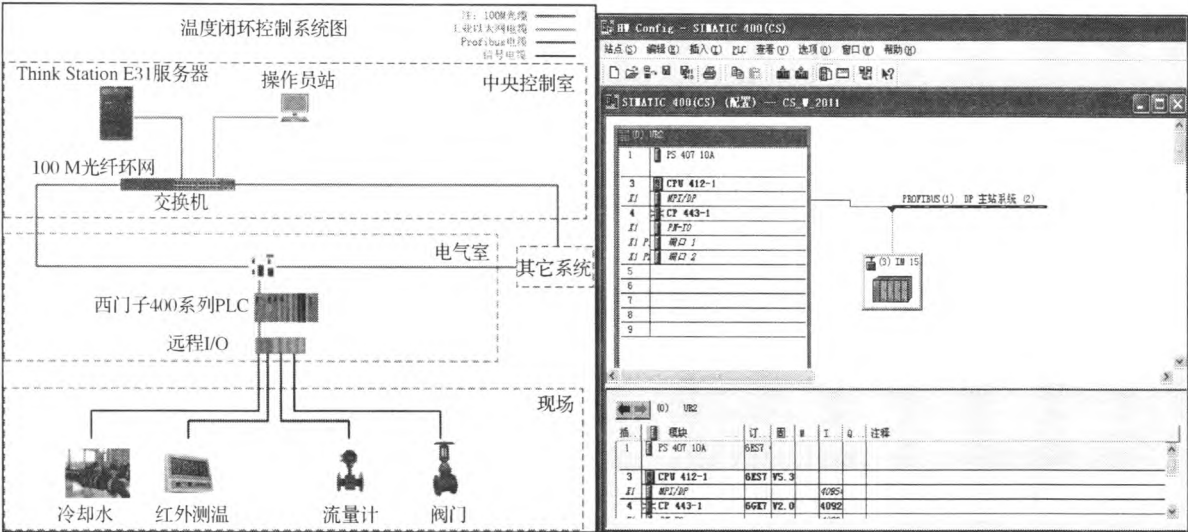


图 2 网络和硬件配置

2.2 控制系统软件组成

棒材在线温度闭环控制系统使用的软件包括下位和上位软件。下位软件采用西门子 Step7 软件, 主要实现一级自动程序的编制; 上位软件采用西门子 Wincc 软件, 主要实现上位画面的编制。

3 棒材在线温度闭环控制系统实现的功能

棒材在线温度闭环控制系统解决了季节性环境温度变化引起换热系数变化导致的冷却差异, 缩小了由于钢坯头尾温差、热冷装钢坯开轧温差、水冷不均等导致的精轧入口和上冷床的较大温度波动, 从而稳定产品性能。系统实现的功能如下: 制定判定温度信号的筛选规则; 压力闭环自动调节; 流量闭环自动调节; 流量闭环的 P、I 参数寻优; 温度闭环控制; 调节限幅控制。

3.1 制定判定温度信号的筛选规则

棒材冷却过程中, 当棒材从控冷器出来时, 偶尔会带着一些水汽, 如果正好是测温仪的测量点就会造成信号失真, 或者棒材上下颠簸的过程导致测温仪测量棒材的位置发生变化, 也会导致信号波动, 要把这些虚假的波动信号去除掉。为此, 在棒材生产线的红外测温仪信号进行工程量转换以后, 编制程序判断并除去偶然性数据, 将采集到的温度传感器信号进行预处理, 计算出当前采集周期和前一个采集周期的温度差, 若偏差大于量程的 10% 认为当前周期的数据为虚假信号, 将此虚假信号舍弃不用, 这样就去除了信号干扰等因素对系统控制稳定性造成的影响。

为了获取棒材更接近真实温度的信号, 需要对采集信号进行进一步的处理, 取前一时段的多个数据, 计算出多个数值的最大值、最小值和平均值, 考虑到温度传感器检测点受到多种因素的影响, 如控冷后棒材表面附着水流、棒材过活套等设备时的波动等, 这些因素都会导致测量结果偏低, 因此采用温度值的偏高值算法, 根据偏高值算法计算出温度偏高值做为处理后的温度值。

3.2 压力闭环自动调节

在棒材冷却的过程中, 压力的变化对冷却效果有很大影响, 为了保证稳定的压力, 棒材在线温度闭环控制系统要编程实现冷却水压力的自动调节。棒材生产线的供水系统采用两工频、两变频共 4 个供水泵, 根据当前压力和设定压力的差值, 采用智能组合的自动调节算法控制 4 个泵的启停状态和运转频率, 从而保证冷却段喷水点的压力。

4 个泵分别为单独的逻辑块控制, 再编制一个控制四个泵启停状态的逻辑块, 实现泵的互备和压力调节控制, 当有一个泵发生故障停机时备用泵就会自动启动, 当压力设定高于当前泵组所能提供的压力范围时备用泵也会自动启动, 当压力设定低于当前泵组所能提供的压力范围并且变频器低频范围内运行时会自动停止其中一个正在运行的泵。

3.3 流量闭环自动调节

在棒材在线温度闭环控制系统的流量闭环调节中, 根据各分段冷却水阀的设定流量, 使用 PID 算法自动调节冷却水阀, 记录生产中冷却水的流量、压力和调节阀的阀位值, 通过冷却水的压力等参数对冷却水流量的过程值进行修正, 从而得出冷却水流量

的修正值和调节阀的阀位对应值,使得调节阀能最快调节到设定流量。

采用这种流量闭环调节,能够极好的进行环境适应及自学习:

1)当加热炉出炉的坯料冷坯和热坯交替时,程序自动修正相关控制参数;

2)当钢种和规格发生变化时,程序自动修正相关控制参数;

3)当季节发生变化时,水温 and 气温等都发生了变化,水温通过温度检测元件的测量,气温则通过系统时间判断,程序自动修正相关的控制参数。

3.4 流量闭环的 P、I 参数寻优

在棒材在线温度闭环控制系统的流量闭环调节中,PID 算法中 P 和 I 参数直接影响流量调控周期和调控振幅,我们希望获得在较短的周期且较小的振幅下去调控流量,从而增强系统的稳定性。根据计算,棒材一支钢的轧制时间约 40~50 s,为了保证该温度闭环软件对铸坯头尾温差有调节作用,应将一定幅度的调控周期控制在 40 s 以内,同时具有较小的振幅。我们反复设计了多种不同的 P、I 组合参数,对比其在调控偏差 100 m<sup>3</sup>/h 流量下的周期和振幅,当参数设置为  $P = 0.5, I = 2100$  时,调控偏差 100 m<sup>3</sup>/h 的流量需要周期约 30 s,最大振幅 30 m<sup>3</sup>/h,且在 70 s 左右振幅缩小至不超过 10 m<sup>3</sup>/h。

3.5 温度闭环控制

棒材在线温度闭环控制系统的温度闭环控制采用温度串级调节结合模糊控制,根据设定温度,使用 PID 算法自动调节流量设定,通过模糊控制修正温度串级调节的 PI 参数,根据设定温度和棒材实际温度的偏差分出 A(很大)、B(大)、C(正常)、D(小)、E(很小)五个区间,并且对应出五组初始的 P 参数,通过记录的棒材温度和冷却水流量的数值,得出棒材温度和冷却水流量的一个关系列表,根据棒材温度和冷却水流量的对应关系分别得出调节快、正常、慢三个区间,并且对应三组初始的 I 参数值,可根据温度曲线的情况再进行修正 P、I 的区间参数值。温度闭环控制原理如图 3 所示。

3.6 调节限幅控制

棒材在线温度闭环控制系统编程实现了限幅控制及修正,在温度自动调节过程中,对阀位的上下限进行限幅,根据当前的钢种、规格来设定上下限初值,避免水量变化过大,影响其它并行水段的自动控制。但限幅值并不是保持不变的,根据轧机速度、冷却速度和水流量的实际情况,实时的修正调节阀允

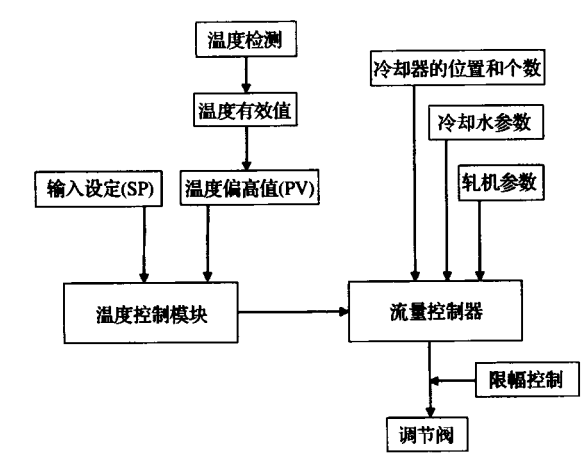


图 3 温度闭环控制原理图

许动作的上限和下限值。

4 系统投入过程

棒材在线温度闭环控制系统先要选择工作模式:冷却水调节阀有三种模式选择,开环模式时操作人员根据现场情况手动调节阀位,投产前期和检修时可采用恒流量控制模式,稳定生产时切换至恒温度控制模式。

1)选择流量闭环模式时,操作人员需要在图 4 右侧事先设定好相应钢种的各段流量设定,系统切换到流量闭环模式时,系统自动按照表中的流量执行相关的流量设定,从而达到流量闭环控制。

2)当温度检测处理模块的结果和实测的棒材温度接近时,同时其它流量、压力、速度等参数也都准确无误时,操作人员可选择投入温度闭环模式,操作工需要设定精轧入口温度和上冷床温度,系统会按照设定的目标温度自动进行调节,同时记录温度自动调节模块的输入参数和控制结果,通过输入参数和结果的关系列表,不断的修正参数和自学习;

图 4 左下部分为目标温度和实测温度的实时曲线,可以查看当前的调节效果。图 4 右下部分为温度闭环控制的相关参数设定,包括流量上限、下限设定以及阀位上限、下限设定。可根据现场实际情况进行相关设定,保证温度闭环控制的稳定性。

3)系统正常运行,当温度的设定值和温度的过程值产生的偏差超过系统设定的死区范围时,调节阀开始自动调节,完成棒材温度的自动控制过程。

5 棒材在线温度闭环控制系统效果分析

棒材在线温度闭环控制系统上线后,系统会根

据检测温度与目标温度的差距及时调控流量(温度闭环模式),流量值时刻在发生变化。图 5 的流量

控制模式和温度闭环模式应用效果对比。

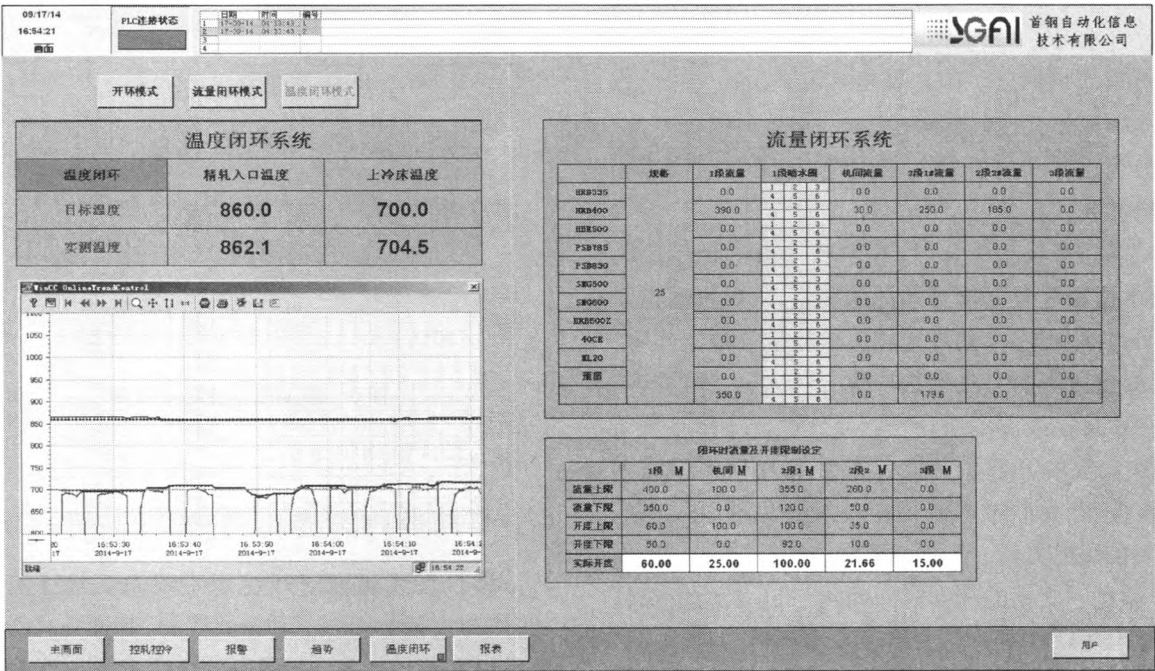


图 4 棒材在线温度闭环控制系统人机界面

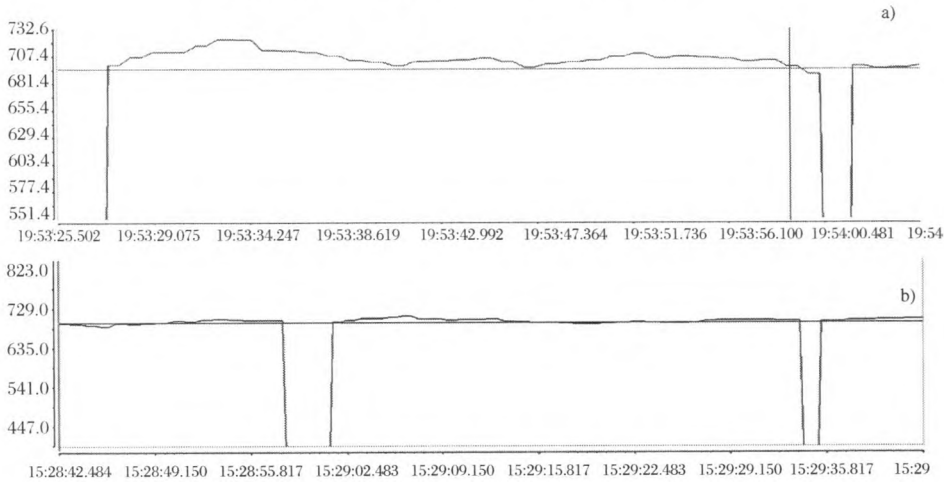


图 5 现场采集的上冷床温度曲线  
a) 流量控制模式;b) 温度闭环模式

采用温度闭环模式后,棒材精轧入口温度由原来的  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  缩小至  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ,上冷床温度波动从原来的  $\pm 17.5^{\circ}\text{C}$  缩小至  $\pm 7.5^{\circ}\text{C}$ 。

2013.08-2014.07 期间里,首钢长钢棒材生产线共生产棒材 120 万 t,依托该生产线,棒材在线温度闭环控制系统解决了棒材冷却过程中的几个关键性问题,实现冷却过程的全自动智能控制,系统投入运行后使得温度稳定性增强,产品性能波动范围缩小,从而使得由屈服强度、强屈比等指标不合格导致的

废品率由 0.5% 降至 0,取得的经济效益如下约 480 万元/年。

参考文献:

[1] 程知松,余伟,刘涛,等.棒材生产线及穿水冷却系统[J].金属世界,2010(5):81-82.

[2] 蓝慧芳,杜林秀,刘彦春,等.控轧控冷工艺对高强度结构钢组织及力学性能的影响[J].东北大学学报,2009(2):201.