

# 辊底式热处理炉自动控制系统设计

李静<sup>1)</sup> 王京<sup>1)</sup> 温治<sup>1)</sup> 李蕊<sup>1)</sup> 李小占<sup>1)</sup> 牛犇<sup>1)</sup> 陆岳嶂<sup>2)</sup>

(1.北京科技大学高效轧制国家工程研究中心; 2.舞阳钢铁有限责任公司)

[摘要]介绍了中厚板**辊底式热处理炉**自动控制系统的配置及主要功能应用。系统采用双重冗余的 SIEMENS 的 S7-400 PLC 装置完成 3 级自动控制功能,实现了燃烧控制、温度控制及钢板跟踪的自动功能。自动化程度达到国际水平。

[关键词]热处理炉 自动控制 系统设计

## the design of automation system in Roller Hearth Normalizing Furnace

Lijing Wangjing Wenzhi Linrui Lixiaozhan Niuben

(1.National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology University of Science and Technology Beijing;

2.Wuyang Iron and Steel Co. Ltd)

[Abstract] In this paper, the application of automation system in Roller Hearth Normalizing Furnace are introduced in detail. Redundancy SIEMENS S7-400 PLC system are used, completing 3 level automation control function, burning automation control function, temperature control function and automation tracking of plate plants. Reaching international automation control level.

[Keywords] Normalizing Furnace, designing of automation system

### 1 设备、工艺及特点

这一座辊底式热处理炉,是国内自行设计研制的首套此类设备装置,是国家西气东输工程管线钢材国产化技术改造项目的组成部分。这种热处理炉的炉型特点,具有热处理质量稳定、产量高、温度调节灵活以及易实现操作机械化、自动化和连续生产等优点,主要用于中厚钢板类坯料的正火、淬火、回火处理以及部分不锈钢板的固溶处理,设计年生产能力为 20 万吨。其中:正火处理能力 16 万吨/年,调质能力 4 万吨/年。整个炉子全长 70000mm,炉内宽 4500mm,炉膛高度 1200mm,辊面表高+800mm。采用预制模块式结构,现场拼接模式,每个模块长 3600mm,供热段共有 19 个模块,在装料端前端设有 1600mm 长的不供热段。炉子燃气为天然气;炉子全长划分成 20 个温度控制段,炉温自动控制采用脉冲燃烧控制方式。炉子装有 118 根炉辊,辊子结构由耐热钢空心辊身及两端辊头(带轴)组合而成,辊子选用的材质,据其所在炉内不同位置区段的各段温度不同而不相同。辊道传动分为三个速度区域:入炉区、中间区和出炉区。辊道采用电气单独传动,交流变频调速。根据加热与淬火钢板坯料的厚度可任意调整炉辊速度。辊底式热处理炉主要技术参数见表 1。主要检测仪表包括热电偶、冷热金属检测器、红外测温仪、炉膛压力监测器、炉气微氧分析仪和增量型编码器等。

辊底式热处理炉自控系统的主要特点是：（1）计算机系统的冗余配置，充分满足工艺设备的要求；（2）整个热处理炉配置了先进齐全的自动化仪表和控制手段，实现全工序质量和安全控制；（3）炉温闭环自动控制的投入确保了炉内坯料的温度精度；（4）炉底辊传动控制采用变频器冗余配置方案，满足高温区辊道不允许停转的设备安全要求。

表 1 辊底式热处理炉的主要技术参数

| 项目名称            | 技术参数            |
|-----------------|-----------------|
| 炉辊辊径×辊身长（mm×mm） | Φ400×4700       |
| 炉辊辊距（mm）        | 600             |
| 炉辊入炉区速度（m/min）  | 0.4~7           |
| 炉辊中间区速度（m/min）  | 0.4~7           |
| 炉辊出炉区速度（m/min）  | 0.4~40          |
| 入炉钢板坯料温度（℃）     | ≤150            |
| 最高炉温（℃）         | 1080            |
| 正火处理最高温度（℃）     | 950             |
| 淬火处理最高温度（℃）     | 950             |
| 固溶处理最高温度（℃）     | 1050 (坯料厚≤50mm) |
| 回火处理温度（℃）       | 280~720         |

2 计算机控制系统的组成

计算机控制系统的整体结构如图 1 所示，控制系统包括过程自动化级 L2，基础自动化级 L1 和数字传动级 L0，并为与将来生产过程控制级 L3 的联网预留了接口。

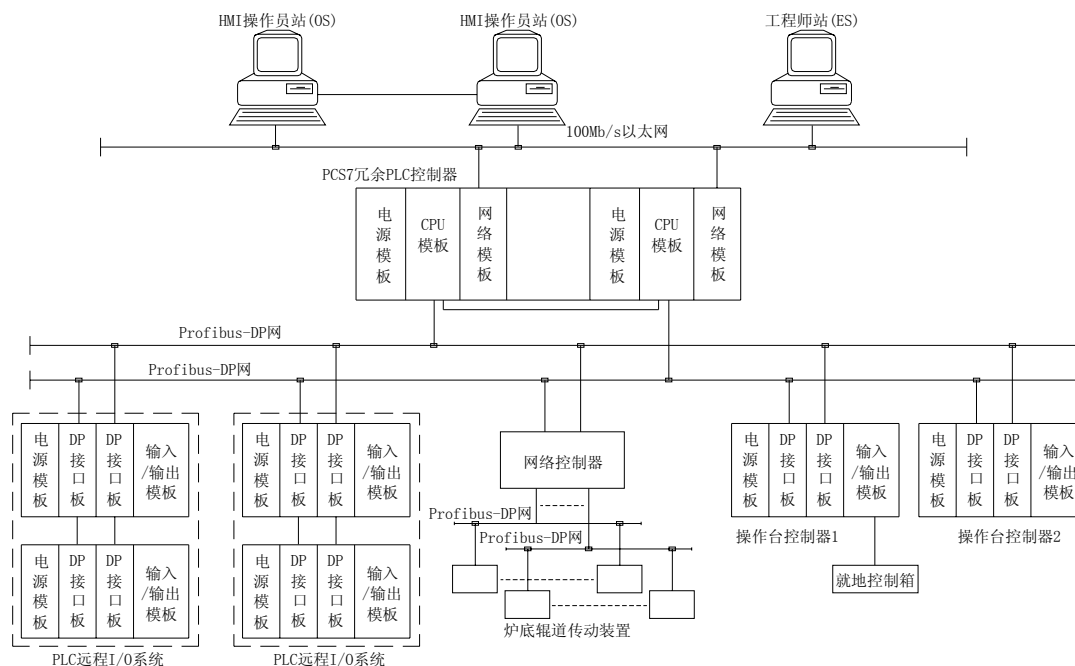


图 1 计算机控制系统结构图

过程自动化 L2 级采用一台小型机或微机加上必要的外设，通过 100Mb/s 以太网与基础自动化级 L1 和 2 台操作站连接。

基础自动化 L1 级采用分布式结构，均采用 Profibus-DP 网连成一个控制器群，基础自动化级控制器采用 SIMENS PCS7 冗余 CPU 系统，2 个 CPU 之间由光纤连接，实时保持在线备份。同样 Profibus-DP 网也采用 2 个分别独立的网络结构。主要完成炉内温度闭环控制、辊道速度控制、炉内板坯自动跟踪以及热处理炉系统安全联锁控制。

系统采用统一的人机界面系统 HMI,即 L2 级和 L1 级使用同一个 HMI 系统，由 2 个操作站组成，通过 100Mb/s 以太网与 PCS7 控制器和 L2 级计算机交换数据，实时更新数据库，以便在操作员站上显示 L1 级或 L2 级相关工艺画面和实时数据。

数字传动 L0 级控制器全部采用 SIMENS-6SE70 系列变频器对入炉辊道、炉底辊道和出炉辊道进行控制，变频范围可达 1~100，完全满足热处理炉辊道的速度控制要求。

### 3 自动控制系统的主要功能

辊底式热处理炉自动控制系统的主要任务是保证正火、回火、淬火及固熔处理后钢板的产量和质量。控制功能主要包括模型设定、参数优化、炉内钢板跟踪、温度自动控制、辊道速度控制及燃气安全联锁等。

#### 3.1 过程自动化级

在这座热处理炉上实现高水平的数学模型计算机优化控制系统，成功地将数学模型投入在线实际应

用。通过建立辊底式热处理炉内钢坯二维内部导热数学模型和炉膛传热数学模型，并运用 Visual Basic 开发了连续或摆动加热过程数学模型计算机优化控制仿真对该钢坯在炉内热处理过程进行了离线仿真模拟计算。同时，通过大量的数值仿真优化计算，确定了在各热处理工艺下，不同成分燃料成分时，不同的物性、尺寸、入炉温度的钢坯加热过程，所需的最佳运行方式(加热策略、炉辊速度)与供热制度(各区炉温、各区燃料消耗量)。根据现场的跟踪记录数据表明：在线数学模型计算精度高、响应速度快；最佳炉温设定值合理可以有效地提高了热处理质量、降低了能耗和氧化烧损；最佳辊速满足高产量的要求。同时，数学模型的投入运行，避免了现场工人操作的盲目性，为实际生产提供了科学依据，有效地提高了该辊底式常化热处理炉的自动化控制水平。图 2 为模型计算温度趋势显示。其中每个柱状棒为在炉内跟踪钢板的实际温度，横坐标 Z1~Z10 为 10 个炉节位置，纵坐标为钢板温度指示。

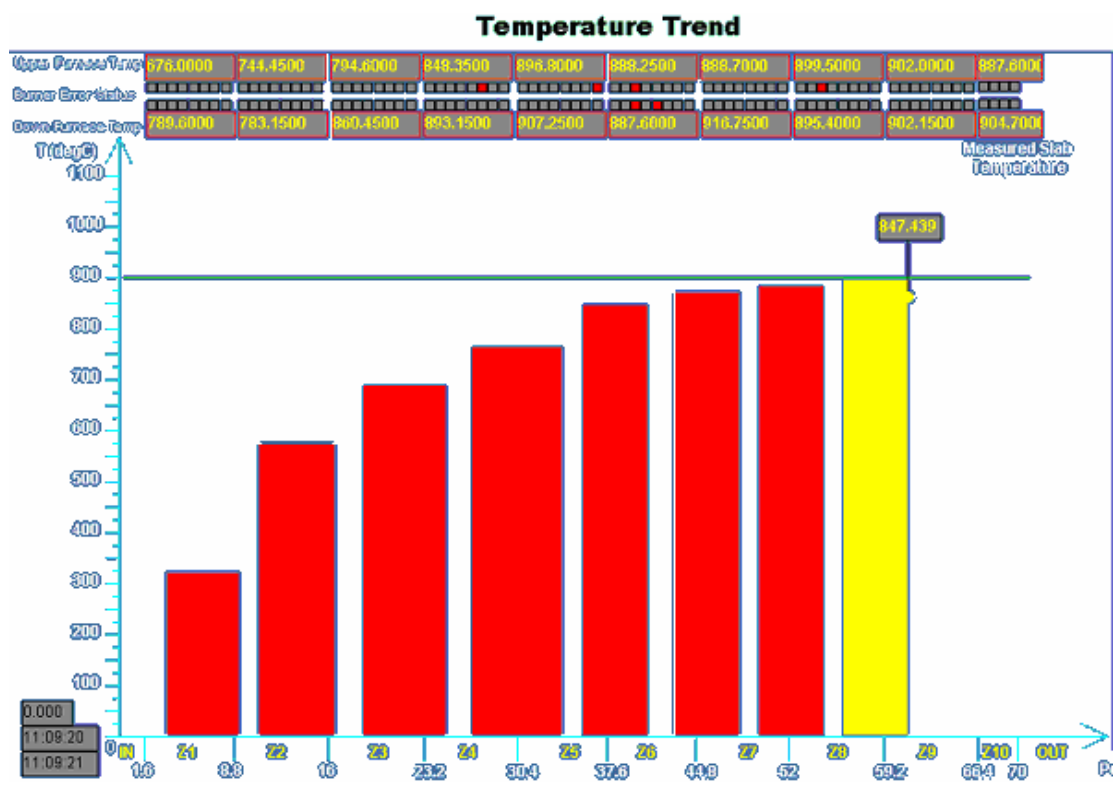


图 2 模型温度趋势柱状图

### 3.2 基础自动化级

基础自动化系统采用 SIEMENS 的 SIMATIC PCS7 系统，包括 1 面主控制柜、2 面扩展控制柜、2 面燃烧控制柜、1 面网络控制柜、2 个操作台和 1 个就地操作箱。主控制器选用双重冗余的 SIEMENS 的 S7-400PLC 系统；扩展柜和操作台内选用 SIEMENS 的 ET200M 系统。采用两套以 WINDOWS2000 为平台的 WINCC 工控软件组成的人机界面操作站(HMI)，分别对辊底炉电气、仪表进行在线监视操作。采用 SIEMENS 的 Profibus-DP 网和工业 ETHERNET 网，将炉区上位机、一套双重冗余 PLC、HMI 数据进行通讯，同时和前道工序的轧制线系统、后道工序的钢板库进行有关数据交换。各控制器通过 Profibus-DP 网同主要传动控制设备、远程 I/O

相连接，形成分布式的计算机控制系统。主要介绍一下钢坯跟踪、温度闭环控制、燃烧控制和安全联锁。

3.2.1 钢板跟踪

钢板跟踪是指以每块钢板为基础的物流跟踪，主要包括每块钢板数据的输入与显示，测定炉内最后一块钢板的位置及决定将要入炉钢板的预期位置，炉内钢板运行跟踪。炉内钢板跟踪，必须要知道钢板的长度，包括炉内最后一块及将要装入的一块钢板的长度，为此对每块将要入炉的钢板都要进行测长，这一测长过程是在炉外装料辊道上完成的。

3.2.2 温度闭环控制

为保证炉内各段温度的可控性，首先须对各区段设置独立的炉温控制回路。根据工艺的供热要求，设置 20 个供热段自动控制。沿炉长分为 10 个炉节，每个炉节分上、下温度控制段。每个供热段都设有 2 根热电偶, 取其平均值作为温度反馈。过程自动化级将温度设定传送到基础自动化级，在 PLC 中对每个温度段进行 PID 闭环控制，各个温度段的 PID 参数均是经过多次自整定而确定的，响应特性和温度偏差完全满足工艺要求。温度自动闭环控制炉内各段温度设定及反馈如图 3 所示。

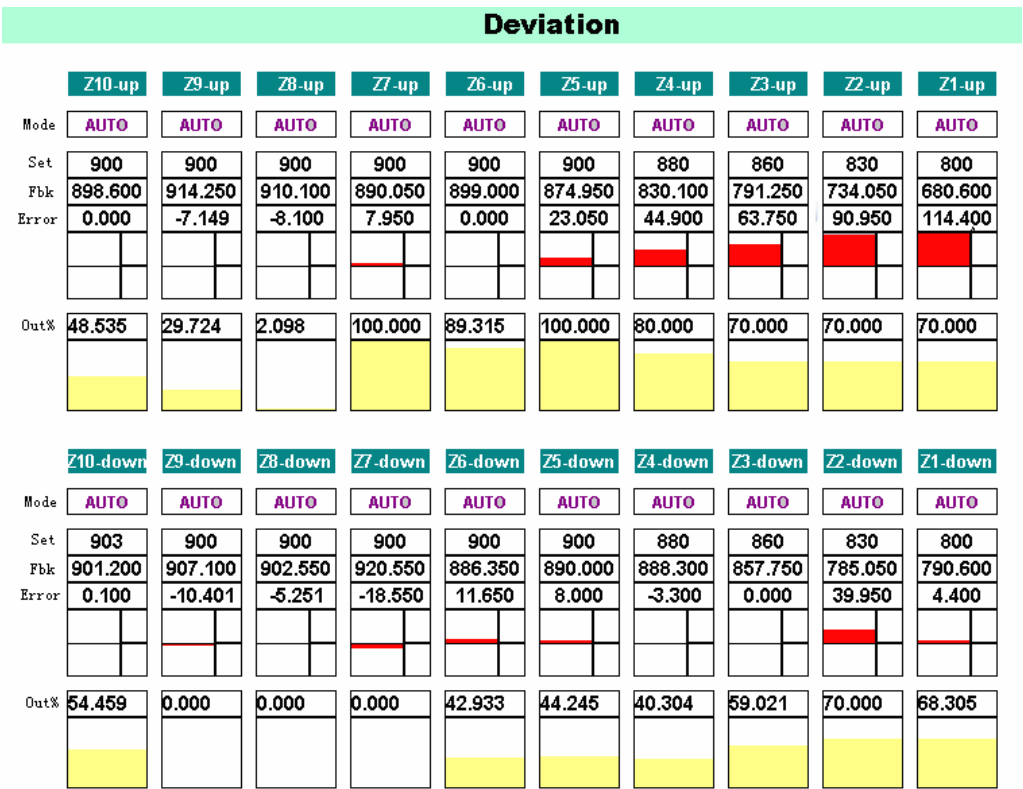


图 3 温度闭环控制界面

3.2.3 燃烧控制

整个炉子分 10 个炉节，前 9 个炉节的上、下温度控制段各有 8 个脉冲控制的烧嘴，第 10 个炉节的上、下温度控制段各有 4 个脉冲控制的烧嘴。全炉共有 152 个脉冲控制的烧嘴。采用自身预热式烧嘴，经预先调节可保

持自身的空燃比和 100% 的排除自产的燃烧生成物，并维持炉内压力。烧嘴采用 ON/OFF 循环脉冲操作模式。即：将根据各控制区的加热要求，调节烧嘴操作时间和关闭时间，每个区的烧嘴或开启或关闭，各个烧嘴循环使用。每个炉节配置一个 MPT 脉冲控制器，分别控制炉子上、下部的烧嘴开启或关闭时间。一个 MPT 可发出 8 个脉冲；前 9 个炉节，其中 4 个脉冲控制上部 8 个烧嘴，另外 4 个脉冲控制下部 8 个烧嘴（即一个脉冲控制两个烧嘴的开/闭）；第 10 个炉节，其中 4 个脉冲控制上部 4 个烧嘴，另外 4 个脉冲控制下部 4 个烧嘴（即一个脉冲控制一个烧嘴的开/闭）。

#### 3.2.4 安全联锁系统控制

整个炉子设置了完善的安全联锁系统和故障预警系统，用于确保系统、设备和人身安全。主要包括：（1）炉段温度超温报警；（2）热电偶断偶报警；（3）燃气及助燃空气压力及流量监测、报警及快速切断功能；（4）炉膛压力故障报警；（5）废气风机故障报警。

### 3.3 数字传动级

根据工艺要求，炉内辊道电机需要可逆、调速功能，采用交流变频传动。在单独电机传动的基础上，根据辊道实际运行的需要，采用 118 台变频器单独控制的方式。同时，采用现场总线技术，将 118 台变频器同 PLC 相连接。既提高了系统运行的可靠性，又大量节约了施工成本。同时使现场维护更加简单化。炉子工艺特点本身对炉内辊道可靠稳定运行要求极高，为保证辊道驱动可靠，配置设计上增设一定数量的备用变频器。备用变频器一直处于热备状态，在一台变频器出现故障时及时自动投入运行。备用变频器在需要时由 PLC 系统自动操作输出接触器实现切换。

## 4 结束语

炉子的自动控制系统现场成功调试后，这一座辊底式热处理炉于 2006 年 3 月 29 日开始烘炉进行无负荷调试，4 月 6 日成功地完成了第一批钢板的顺利出炉，各项性能指标已达到预期设计要求。事实证明，辊底式热处理炉自动控制系统的设计，满足了热处理工艺的要求，工程应用获得了成功。

#### [参考文献]

- [1]《中厚板热处理线辊底式热处理炉设计说明书》 北京凤凰工业炉有限公司
- [2]于刚等. 常化炉炉底辊道链传动系统改造 冶金设备
- [3]马驰. 常化炉快速加热工艺的研究与应用 宽厚板
- [4]白泽华等. 辊底式常化炉的技术改造 工业炉