

策划及编辑：北京金属学会办公室

蓄热式加热炉燃烧控制系统的应用

王艳凯

(北京首钢自动化信息技术有限公司)

摘 要 介绍了首钢长钢公司精品棒材蓄热式加热炉的燃烧控制系统。该系统采用了智能双交叉燃烧限幅控制方法,实现了对加热炉炉膛温度的自动控制,保证了炉膛压力和排烟温度在合理的范围内波动。

关键词 蓄热式加热炉 自动控制 炉膛温度 炉膛压力

Study and Use on Combustion Control System of Regenerative Heating Furnace

WANG Yankai

(Beijing Shougang Automation Information Technology Co., Ltd.)

Abstract: This paper described the combustion control system of regenerative heating furnace in Shougang Changzhi Iron and Steel Co., Ltd. The intelligent double cross limiting range combustion control manner is used in this system. By using them, the automatic control of furnace temperature comes true, the effective range of furnace pressure and exhaust gas temperature is controlled.

Key Words: regenerative heating furnace, automatic control, furnace temperature, furnace pressure

加热炉是连接炼钢和热轧的主要衔接环节,加热钢坯是其重要的工序之一,加热炉的主要任务是对钢坯进行加热,使其在出炉时达到轧制所要求的温度分布。钢坯的加热质量在很大程度上取决于合理的炉型结构和控制方案^[1]。其燃烧控制系统是加热炉自动化控制系统的重要组成部分,是保证钢坯温度在合理范围内的主要系统,而受控对象钢坯温度是实现热轧顺利生产的关键参数,该受控对象惯性、大滞后的特点给燃烧自动控制带来了困难。本文介绍了首钢长钢精品棒材加热炉的炉膛温度、压力和排烟温度的自动燃烧控制系统,主要目标是实现加热炉生产线燃烧自动化控制系统达到国际先进水平。

1 工艺简介和系统配置

1.1 燃烧工艺简介

首钢长治钢铁有限公司精品棒材加热炉为轧钢用加热炉,以高炉煤气为燃料,采用空、煤双蓄热式烧嘴,为连续蓄热式加热炉。燃烧系统采用预热段、加热段和均热段三段控制的方式,其中预热段由四组换向阀组成,加热段由六组换向阀组成,均热段由四组换向阀组成,共计14组换向阀,加热炉的两侧各有7组;每一个燃烧段都包括一组由空气和煤气两个燃烧调节阀,实现对钢坯的温度控制,以及一组空气和煤气排烟控制两个调节阀,实现对炉膛压力和排烟温度的控制;其总管排烟系统由一个煤气烟气排烟机、一个空气烟气排烟机和两个对应的调节阀组成。通过换向阀的工作状态,轮换对加热炉的两侧进行燃烧和排烟控制。

策划及编辑：北京金属学会办公室

1.2 控制系统配置

首钢长钢精品棒材加热炉的自动控制系统是采用西门子 S7 400 系列的 PLC 为硬件、Step 7 V5.4 和 Wincc 7.0 为组态软件组成的控制系统，实现了加热炉温度、压力、流量等各个热工参数的显示和控制功能。该系统由两个 PLC 主站 PLC001 和 PLC002 组成，PLC001 为加热炉的燃烧控制站，PLC002 为加热炉热工顺控站。系统的实现是在 CS1 室和 CS2 室完成。在 CS1 控制室实现对上料系统的监视和控制，由一个 Wincc 组态的画面上位机来完成，该上位机采用 Windows XP SP3 操作系统；在 CS2 控制室实现对加热炉的燃烧和其他控制，包括板坯跟踪、自动上料、自动燃烧、步进梁系统和自动出钢等，由一个工程师工作站和两台 HMI 上位机完成。

2 加热炉炉温控制系统

2.1 系统设计

控制加热炉内钢坯温度是加热炉生产的主要功能，随着科学技术的发展，以及首钢结构调整、开发高端钢铁产品的需要，对热轧钢坯温度控制精度的要求越来越高，对燃烧所带来的环保问题也越来越重视。常规的钢坯温度的控制技术很难满足现在生产的需要。根据燃烧受控对象大惯性、大滞后和非线性的特性，系统设计采用了智能双交叉限幅燃烧控制的方法。该方法以模糊控制理论和自学习方法的智能控制策略，结合常规交叉限幅燃烧控制理论的办法，改善了加热炉燃烧控制系统的控制效果。智能燃烧控制系统框架图如下图 1 所示：

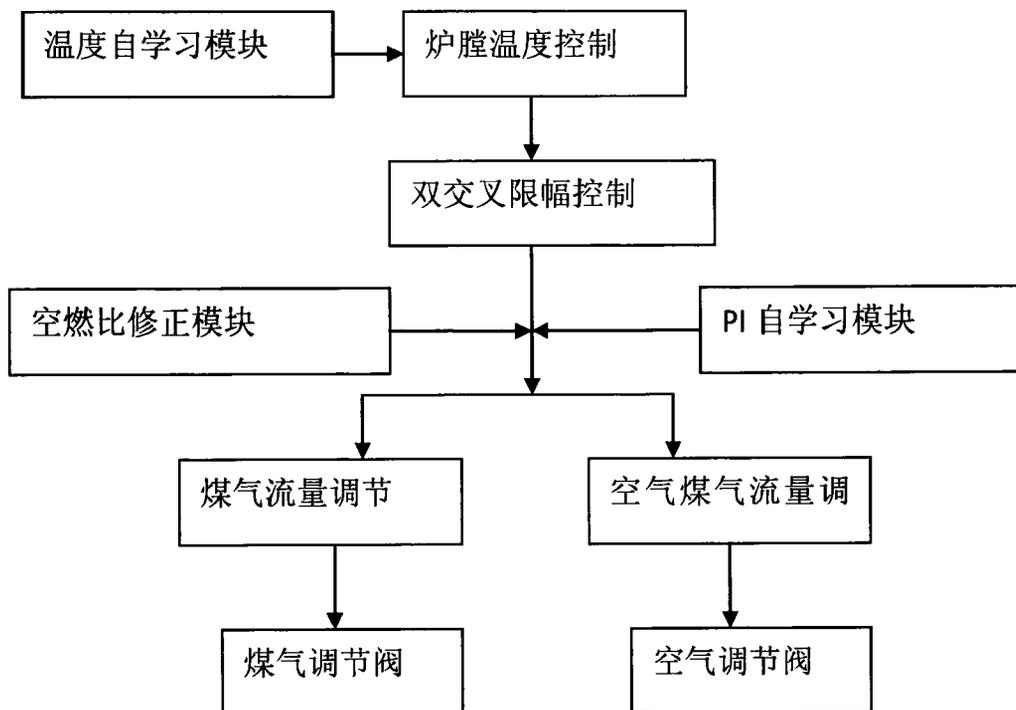


图 1 智能双交叉限幅燃烧控制系统框图

2.2 系统实现

根据加热炉控制系统的配置要求，建立 PLC 主站以及相应的 DP 网络，实现工程师工作站以及 Wincc 监控机与 PLC 主站之间的以太网通讯连接，同时对系统的通讯和检测点进行校验。在加热炉燃烧控制系统中，经过现场的调试和对智能双交叉限幅燃烧控制系统的改进，在蓄热式加热炉的燃

策划及编辑：北京金属学会办公室

烧控制过程中，取得良好的控制效果。该系统主要包括温度自学习模块、空燃比自修正模块、PI 参数学习模块和双交叉限幅控制模块。在实际调试过程中，具体的实施步骤如下：

1) 温度趋势判断：

根据对炉膛温度的历史趋势和实际温度的变化情况来判断温度的趋势，并参考煤气热值和烟气残氧量进行一定权重的修正，最终做出对温度上升、保持和下降趋势的判断。

2) 空燃比自学习：

根据空燃比设定值、残氧量和热值三个变量进行计算，根据实际调试经验来改变变量的权重，没有热值的加热炉可以只根据残氧量来进行计算，并且参考时间范围上的限制，从而得出实际所需空燃比的最佳值。

3) 温度自学习模块：

根据温度偏差和温度趋势以及其他因素（残氧量和热值的大小等）做出对预期温度的判断。在设定值的一定范围内，对温度进行模糊化处理，得到温度快升、慢升、保持、慢降和快降的变化趋势，结合温度偏差，建立模糊控制列表。

4) PI 参数自学习：

根据煤气的流量、压力和调节阀的阀位值，通过煤气的压力和温度对煤气流量的过程值进行修正。记录煤气流量的修正值和调节阀的阀位对应值，得出调节周期的快、正常和慢三种结果，并且对应三组 PI 参数值。结合炉膛各个加热段的燃烧效果，记录时间较长、控制效果较好的 PI 参数并作为优选参数。

5) Wincc 画面的控制：

在 Wincc 画面中，建立温度调节控制画面，在画面中包括：手动、自动控制方式选择；温度、流量控制方式选择；控制温度对象选择；各个燃烧段的温度、流量和空燃比设定窗口等。

6) 系统调试和实现过程：

在现场调试过程中，首先选择流量调节进行自动调节，投入空气和煤气流量比例控制器；对调节器进行限幅控制；其次投入温度控制器，并在温度控制器中引入温度趋势和控制时间的禁止调节条件；最后投入智能双交叉限幅控制系统。

3 加热炉炉膛压力和排烟温度控制系统

蓄热式加热炉的炉膛压力和排烟温度控制系统是相互独立又相互影响的两个系统。各燃烧段的炉膛压力是通过相应段的煤气排烟、空气排烟调节阀和总管排烟调节阀的动作来实现的，同时各段的排烟调节阀直接关系到排烟温度的控制。由于温度是一个相对滞后的大惯性热工参数，加热炉炉膛需要保持在微正压状态，并且炉膛压力和排烟温度相比，受控对象压力具有响应快、扰动因素多元化的特点。在本控制系统中，采用了快速响应模块和 PID 调节模块相结合的方法，实现了蓄热式加热炉炉膛压力和排烟温度的有效控制。具体方法如下。

3.1 快速响应模块

加热炉炉膛压力的合理控制范围在 10~25Pa，炉膛压力太大会影响加热炉的设备及工作人员的安全，增加热损耗，不利于环保等；压力太小，会影响到炉内钢坯的加热质量并带来煤气回火等问题。在快速响应模块中，建立对炉膛压力的快速反应机制，能使系统在最短的时间内实现炉膛压力的相对稳定。具体的控制方法和步骤如下：

1) 炉膛压力过程值和设定值的差值响应法。

蓄热式加热炉的炉膛压力的扰动因素很多，包括煤气压力、流量、煤气热值、空气压力、流量、炉门开关状态和换向阀门动作等。各种因素最终反应到炉膛压力的变化上，采用快速响应的方法能实现各个燃烧段的炉膛压力迅速稳定在安全的范围内。主要步骤包括：计算炉膛压力的过程值和设

策划及编辑：北京金属学会办公室

定值的差值；对调节阀的阀位反馈进行分段处理；对不同的差值进行不同时间的限定；根据不同的压力差值对各个加热段的排烟温度控制器的输出 OUT 进行快速补偿，同时补偿结果作用于与排烟温度调节阀控制方向一致的调节阀。其补偿公式如下：

$$OUT = (k * V_1 + m * T_1) * E_1$$

m：调试常数；

k：调节阀阀位反馈的分段系数；

V_1 ：调节阀的阀位反馈值；

T_1 ：压力差值的持续时间参数；

E_1 ：炉膛压力过程值与设定值的差值；

2) 煤气排烟控制器和空气排烟控制器脉冲式响应法：

煤气排烟机和空气排烟机进行脉冲式限幅微调，通过对炉膛压力和设定值的差值大小进行分段，在一定时间的限制下，对煤气排烟和空气排烟调节阀进行不同大小的脉冲式调节。同时对排烟调节阀有一个上限和下限的保护值。

3.2 PID 调节模块

排烟调节阀的控制通过排烟温度的过程值和设定值的差值来进行 PI 调节。根据排烟温度响应滞后的特点，采用了对温度分段进行变 PI 值调节，同时根据阀门的阀位反馈和实际效果的大致关系，对调节控制进行限幅控制。传统的炉压控制是负反馈控制，当受控对象受到扰动的作用，被控量偏离给定值时，调节器才会起作用，改变对象的输出，从而补偿扰动的影响^[2]。

在排烟温度控制器，采用了炉膛压力和煤气流量（因为煤气和空气为限幅比例调节，也可采用空气流量）为前馈的闭环控制系统对排烟温度进行调节。前馈控制的补偿值 D 可以对本加热段进行补偿，也可以对其他加热段同时进行补偿。补偿公式如下：

$$D = K_1 * E_1 + K_2 * E_2 + K_3 * E_3$$

K_1 、 K_2 、 K_3 ：调试常数；

E_1 ：炉膛压力过程值与设定值的差值；

E_2 ：本加热段炉膛温度设定值与过程值的差值；

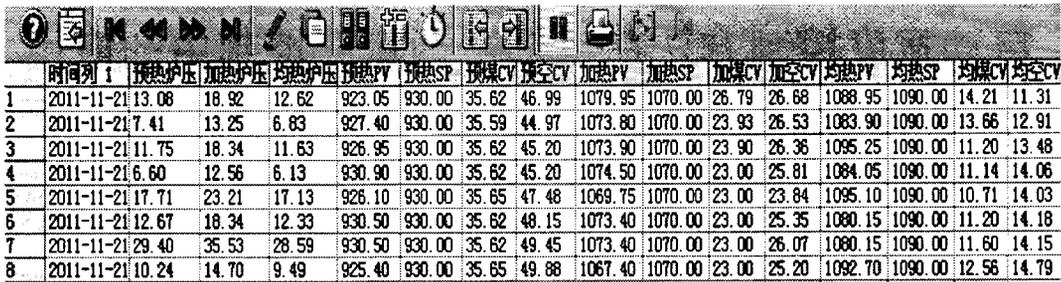
E_3 ：其他加热段炉膛温度设定值与过程值的差值。

4 系统运行效果

首钢长钢精品棒材加热炉燃烧控制系统是在加热炉正常生产（燃烧系统为手动控制）后进行调试的，从 2011 年 11 月 2 日开始，经过 20 多天的现场调试，投入了自动炉膛温度控制系统和炉膛压力和排烟温度自动燃烧控制系统，目前燃烧炉况得到了明显改善，煤气利用率得到有效的提高，节约煤气量在 3% 以上。炉膛温度的控制精度得到大幅提高，从手动控制的 15℃ 以上的波动，提高到目前的控制出炉温度在设定温度的 ±5℃ 以内。炉膛压力控制在 5~30Pa 之间，排烟温度控制在设定值的 ±20℃ 以内。

在燃烧控制系统投入自动后，炉膛温度和压力的控制效果报表如下表 1 所示。表中描述了三个加热段炉膛压力、温度和阀门开度，其中 PV 表示过程值，SP 表示设定值，CV 表示阀门的实际开度

策划及编辑：北京金属学会办公室



时间列1	预热炉压	加热炉压	均热炉压	预热PV	预热SP	预热CV	预热CV	加热PV	加热SP	加热CV	加热CV	均热PV	均热SP	均热CV	均热CV
1	2011-11-21 13.08	18.92	12.62	923.05	930.00	35.62	46.99	1079.95	1070.00	26.79	26.68	1088.95	1090.00	14.21	11.31
2	2011-11-21 7.41	13.25	6.83	927.40	930.00	35.59	44.97	1073.80	1070.00	23.93	26.53	1083.90	1090.00	13.66	12.91
3	2011-11-21 11.75	18.34	11.63	926.95	930.00	35.62	45.20	1073.90	1070.00	23.90	26.36	1095.25	1090.00	11.20	13.48
4	2011-11-21 6.60	12.56	6.13	930.90	930.00	35.62	45.20	1074.50	1070.00	23.00	25.81	1084.05	1090.00	11.14	14.06
5	2011-11-21 17.71	23.21	17.13	926.10	930.00	35.65	47.48	1069.75	1070.00	23.00	23.84	1095.10	1090.00	10.71	14.03
6	2011-11-21 12.67	18.34	12.33	930.50	930.00	35.62	48.15	1073.40	1070.00	23.00	25.35	1080.15	1090.00	11.20	14.18
7	2011-11-21 29.40	35.53	28.59	930.50	930.00	35.62	49.45	1073.40	1070.00	23.00	26.07	1080.15	1090.00	11.60	14.15
8	2011-11-21 10.24	14.70	9.49	925.40	930.00	35.65	49.88	1067.40	1070.00	23.00	25.20	1082.70	1090.00	12.56	14.79

5 结 语

加热炉智能燃烧控制系统很好地满足了目前生产要求，对特种钢轧制工艺的实现起到了很大的保障作用，对保证加热炉的优质生产提供了技术上的有力支持。同时提高了加热炉的生产效率，节约了能源，减少了大气污染，降低了氧化烧损率。加热炉智能燃烧控制系统在首钢京唐 2250 加热炉和迁钢 2160 板坯加热炉等项目得到广泛应用，目前在首钢长钢蓄热式棒材加热炉中也得到成功应用。从节约能源和降低氧化烧损率上讲，均取得了显著的经济效益，在钢坯加热质量和大气环保方面也做出了一定的贡献。

参 考 文 献

- 1 朱宏进 熊应祥等. 数字化加热炉在石钢大方坯棒材轧线中的应用. 工业加热, 2005 年 05 期
- 2 张燕 于志祥等. 中型加热炉炉压前馈控制功能的研究与实现, PLC&FA, 2006 年