煤气环形加热炉智能燃烧系统改造*

蔺俐枝[1],王 滨[2],马新宇[1],房 旭[1]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010;
2. 博宁热工工程(天津)有限公司,天津 300000)

摘 要: 包钢钢管公司Φ180 mm机组煤气环形加热炉是钢管生产轧制过程中最重要的设备。文章分析了煤气环形加热炉燃烧控制系统存在煤气热值不稳定、流量元件检测不准、阀门流量特性偏失等缺陷,采取了升级温度控制程序,引入空气过剩系数自动修正策略,预留空燃比自动调节接口,新增空气总管压力自动控制,新增炉压自动控制软件,新增自动启炉和气密测试功能,新增回路基本报警、连锁等燃烧控制系统智能化升级的改造措施,最终实现了较为稳定的智能燃烧系统。

关键词: 煤气环形加热炉; 改造控制程序; 智能燃烧系统
中图分类号: TG307 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)03-0035-03
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.03.010

Retrofit of Intelligent Combustion System for Rotary Hearth Furnace with Gas

Lin Li-zhi[1], *Wang Bin*[2], *Ma Xin-yu*[1], *Fang Xu*[1]

(1. *Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Boning Thermal Engineering (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin* 300000, *China*)

Abstract: The rotary hearth furnace with gas of Φ180 mm plant unit in Steel Tube Co. of Baotou Steel is the most important equipment in the process of producing and rolling steel tube. In this paper, it is analyzed such defects as unstable calorific value of gas, inaccurate flow element measurement and deviated flow characteristic of valve for combustion control system of rotary hearth furnace with gas as well as adopted such reformation measures of its intelligent upgrade as upgrading the temperature control program, introducing strategy of autocorrection for coefficient of excess air, reserving automatic regulation interface of air fuel ratio, newly increasing automatic control of pressure in air main, automatic control software of furnace pressure, functions of automatic starting up and air-tight test, basic alarm of loop and interlock. Finally, the stable intelligent combustion system is realized.

Key words: rotary hearth furnace with gas; modification control program; intelligent combustion system

环形加热炉作为钢管生产过程中重要生产工序,环形加热炉燃烧系统是工业炉的核心技术之一,环形加热炉的燃控系统的控制精度直接影响坯料的加热质量,从而影响所轧制钢管的产品质量、成本、以及人员与设备安全。包钢钢管公司Φ180 mm机组煤气环形加热炉自投产年以来,由于设备老化及

* 收稿日期:2021-05-06
作者简介:蔺利枝(1972-),女,内蒙古达拉特旗人,工程师,主要从事工业窑炉热工控制及耐火材料的生产工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

温控系统控制理念落后，燃烧系统控制主要靠人工进行，不能自动控温。本文根据现场轧制的实际情况，并通过分析影响环形炉加热的各个因素，设计了环形加热炉智能燃烧系统，本系统采用了先进的燃烧智能控制系统，较好地解决了传统煤气环形加热炉燃烧系统中出现的问题，并完成了实时数据统计总结、参数反馈联动控制、现场报警显示联动控制以及自动PID控制程序，实现真正的智能烧钢。烧钢过程中，遇到进、出钢口炉门的开闭、突发性保温待轧、轧机节奏变化等，智能烧钢系统都能快速反应，既能稳定地工作，又能维持较好的空燃配比，能实现“一键式”保温待轧。

1 当前控制系统的主要问题

(1) 煤气热值不稳定，温度控制采用随动比例控制，升降温时波动大，温度控制不稳定，抗干扰差。

(2) 温度控制采用PI控制，只引入了比例和积分，没有引入微分。引入微分，采用PID控制可对温度趋势有预判功能，控制效果更好。

(3) 阀门流量调节精度差、线性调节区域窄、调节性能差，空气流量和燃气流量的控制没有引入。

(4) 空气过剩系数的控制没有引入。

(5) 热电偶信号的自动判断和选择的功能缺失。

2 燃烧控制系统智能化改造

2.1 温度控制系统智能化升级

改变原有单纯的随动比例燃烧模式，升级成当前流行并成熟应用的双交叉温控限幅控制方式，控制原理见图1[1]。单纯的随动比例燃烧方式，控制效果差，空气过剩系数不受控，经过改造后，将升温和降温分别单独控制，空气过剩系数也被引入被控对象，在升温和降温过程中有很好的控制效果，温度波动很小。

(1) 环形加热炉1区到6区的温度和燃烧控制采用在工业炉窑控制系统中被广泛使用的“偏差比例型双交叉制约限幅燃烧控制”方式，该控制方式可保证加热炉在热负荷变化时的动态调节特性好，空燃比准确。同时加入适当的“偏差比例型”动态补偿信号，以提高系统的动态响应速度，实践证明，这种方法可以有效的将系统的响应速度提高，使之适应加热炉热负荷变化的需要。

(2) 出料区温度控制。出料区采用温度值“通/断”式调节控制方式。炉温由炉顶安装的S型热电偶检测，信号送到PLC的模拟量输入模块，在温度设定值的偏差范围内进行开关控制，并和出料炉门联锁。

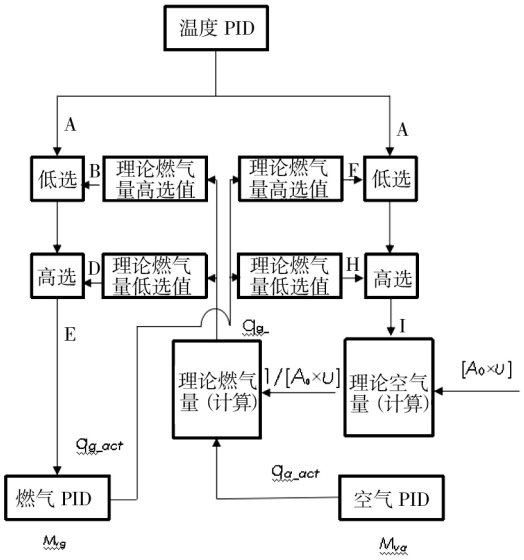


图1 双交叉温控限幅控制原理图

(3) 输出限幅。燃烧控制系统的主调节器(炉温)具有输出限幅功能，可根据最大加热速率对温度调节器输出限幅，防止锭料过热。

(4) 空气和燃气流量的控制。低负荷状态下的燃烧控制，当加热炉工作在低负荷状态下时，由于调节阀的阀门开度较小而进入非线性段，为了避免系统产生振荡，系统将自动切换到“串行开度控制”程序，以保证在低负荷状态下，既能稳定地工作，又能维持较好的空燃配比。

(5) 自动待轧降温模型引入控制系统。当环形加热炉出现轧机待轧，或其它原因需要保温待轧时，操作人员可通过一次点击“按钮”对各供热区的炉温进行保温设定，控制系统将自动保存当前的炉温设定值，当解除保温状态时，控制系统将自动升温到正常炉温。同时可以人工输入降温幅度，手动控制降温过程。

(6) 炉顶升级成双支热电偶检测，系统自动判断热电偶的状态，并实时交叉校验。如果有一支热电偶故障，自动切换到另一支。相比改造之前只有一支热电偶，系统稳定性大大提高，不会发生之前因为一支热电偶损坏而影响加热的问题。

(7) 增加炉温设定功能。人工设定炉温，初始

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

设定值由操作人员根据钢种等生产情况用键盘或鼠标输入系统，系统将根据选定的温度，控制各段的炉温，并且预留二级温度设定接口和功能。

(8) 新增温度测量值、高值、低值、正常值和平均值选择功能。对于各燃烧控制区，可以自动或手动选择其中一只热电偶所测温度值或本区的温度平均值，作为本区温度控制的实际值。

2.2　引入空气过剩系数自动修正策略

根据燃烧理论，空气过剩系数与烧嘴负荷之间的关系见图 2[图]。由图 2 可以看出: 随着烧嘴负荷的变化，理论空气过剩系数也应该随之变化，这种变化的空气过剩系数修正策略对提高燃烧效率、降低氧化烧损有好处。另外，在常规控制的低负荷状态时，为了保证在小流量情况下，使空气和煤气能够很好的混合燃烧，必须在相应煤气流量的情况下，适当加大空气流量，才能保证在小流量情况下的合理燃烧。

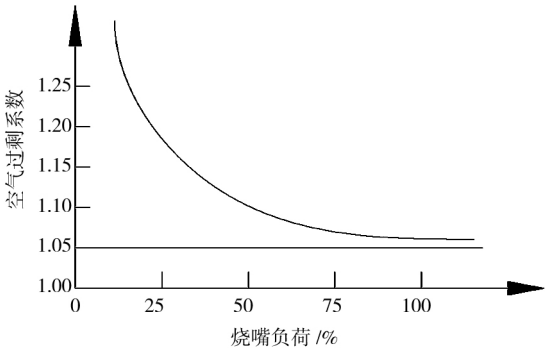


图 2　空气过剩系数与烧嘴负荷之间的关系

2.3　预留空燃比自动调节接口

预留空燃比自动调节接口，后续会增加热值检测设备。当煤气热值发生变化时，热值检测设备传递热值信息给环形加热炉控制系统，控制系统会自动设定空燃比，保证最佳的空燃配比，从而达到最理想的燃烧效果。

2.4　空气总管压力自动控制

为了稳定燃烧，空气总管设调节阀稳定空气压力。采用单回路控制方式，见图 3。助燃风压力稳定，可以保证燃烧最佳效果。

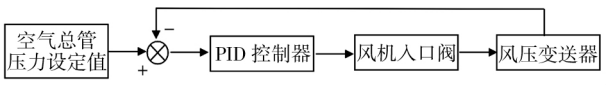


图 3　空气总管压力自动控制图

2.5　炉压自动控制软件更新

(1) 由于环形加热炉燃烧处于一直变化的状态，炉压测量值的波动很大，为了保证炉压的稳定控制，新增程序首先对炉压的测量值进行特殊滤波，保证测量值的稳定。

(2) 为了使炉压控制更为精确，按照微积分参数控制炉压执行机构，避免执行结构频繁动作，从而保护执行机构，另外可以保证炉压系统稳定运行，详见控制图 4。

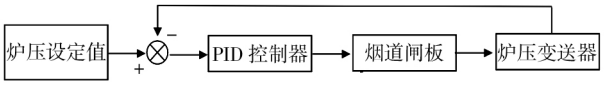


图 4　炉膛压力自动控制图

2.6　增加自动启炉和气密测试功能

自动启炉功能中嵌入安全联锁条件，安全联锁条件不满足，将不能进行启炉加热操作。同时如果现场管道或者切断阀存在泄漏，系统将自动识别这些故障并输出报警。此功能降低了启炉操作的强度，将原来的人工启炉操作升级成自动模式，并增加了系统的安全性。

2.7　新增回路报警、连锁等功能

(1) 炉区内外环温差超限报警及断偶报警。同一燃烧控制区的两支热电偶所测量的温差大于设定值，或任何一支热电偶发生断偶时，则发出报警信号，提醒操作人员检查故障点。

(2) 各区温度超限报警。如果某一区的实际温度超过 1 320 ℃，控制系统将输出报警提醒; 如果实际温度超过 1 350 ℃，控制系统将自动停止本区的加热，保证设备安全。

3　应用效果

该系统自 2020 年 12 月在包钢钢管公司 Φ180 mm煤气环形加热炉运行以来，提高了整个炉区的自动化水平，提高了钢坯的加热质量，降低了工人的劳动强度，并为轧钢的过程控制系统提供了必需的信息来源。与改造前相比，该项目实现钢坯出炉温度与目标温度差值达到 ± 10 ℃以内，降低氧化烧损约 0.5%，节约煤气用量约 25% 以上; 该燃烧控制系统把煤气高低压、空气高低压及停电停风机的安全报警和自动停机功能全部实现，提高了环形加热炉安全控制和预警的等级。

(下转第 94 页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

抬起轧辊后槽底壁厚最厚，该处壁厚 $S_{槽底}$ = 5.83 mm。计算抬辊后槽底处的壁厚值 $S_{max} = S_{nom} + \delta_{抬起}$ = 3.83 + 2 = 5.83 mm，计算值和实际值相等。

3.3.2 侧壁30°处壁厚

侧壁30°处壁厚 $S_{30°}$ = 5.565 mm。计算抬辊后侧壁30°处的壁厚值：$S_{max} = S_{nom} + \delta_{抬起}\sin60° = 3.83 + 2 \times \sin60° = 5.562$ mm，计算值与实际值相等。

3.4 附加壁厚公差率上限计算公式

抬起轧辊钢管断面壁厚的最小值 S_{min}、最大值 S_{max}、等效壁厚 S_{mean} 代入附加壁厚公差率计算公式(1)，就可以得出抬起轧辊情况下附加壁厚公差率计算公式：

$$\Delta = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{mean}} \times 100\%$$

$$\Delta = \frac{(S_{nom} + \delta_{抬起}) - (S_{nom} + \delta_{抬起}\sin30°)}{S_{nom} - 0.766\,3\,\delta_{抬起}} \times 100\%$$

$$\Delta = \frac{0.5\delta_{抬起}}{S_{nom} + 0.766\,3\,\delta_{抬起}} \times 100\% \quad (17)$$

推导出抬起轧辊时的孔型调整量计算公式为：

$$\delta_{抬起} = \frac{\Delta \times S_{nom}}{0.5 - 0.766\,3\Delta} \quad (18)$$

4 推导公式与外方公式对比

4.1 计算附加壁厚公差率

利用公式(6)计算135孔型，名义壁厚3.83 mm、芯棒直径127.2 mm、孔型直径减小2 mm，对应轧辊压下1 mm(壁厚减小1 mm)附加壁厚公差率为：

$$\Delta = \frac{1 - 1 \times 0.866\,0}{3.83 - 0.955\,3 \times 1} \times 100\% = 4.661\,3\%$$

4.2 外方数模计算结果

外方数学模型计算该孔型减小相同数值的附加壁厚公差率为4.85%，本文推导附加壁厚公差率公式的计算值与外方数学模型计算值接近，存在0.19个百分点的差值。

5 结束语

通过在孔型图上模拟和与外方数学模型的对比，证明了推导公式的正确性，该附加壁厚公差率计算公式可以用于工艺研究和工艺设计。为了推导出更加精确的附加壁厚公差率计算公式，应该应用数值模拟方法分析测量出轧钢过程轧件的滑移系数和轧件轧辊间、轧件芯棒间的摩擦系数，利用这些系数修正附加公差率公式。

参 考 文 献

[1] 卢立峰，王庆伟. PQF三辊连轧管机辊缝调整[J]. 钢管，2020，48(2)：45－46.
[2] 王鹏飞，秦建新. 少机架限动芯棒连轧管机孔型设计探讨[J]. 钢管，2000，29(1)：19－20.
[3] 李国祯. 现代钢管轧制与工具设计原理[M]. 北京：冶金工业出版社，2006.
[4] 王先进，徐树成. 钢管连轧理论[M]. 北京：冶金工业出版社，2005.

(上接第37页)

4 结束语

智能燃烧系统投入使用以来，比传统的控制系统有着更快的系统响应速度和更高的控制精度，既节约了能源，又保证了稳定的生产工艺，也为目前煤气环形加热炉智能燃烧控制改造提供了可借鉴的方案。

参 考 文 献

[1] 杨福宇. 现有双交叉限幅系统的缺点[J]. 冶金自动化，1989，(1)：13－17.
[2] 卢于逑. 热轧钢管生产问答[M]. 北京：冶金工业出版社，1994.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net