● 装备技术 Equipment Technology ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.11.019

引射式钢包烘烤器自动控制系统的设计及应用

钱斌斌[1],韦 物[1],晏 昆[2],刘江宜[1]

(1. 湖北航鹏化学动力科技有限责任公司,湖北 襄阳 441000;2. 勤工机人科技有限公司,广东 江门 529000)

摘 要:介绍了引射式燃烧技术的工作原理,蓄热式钢包烘烤器与引射式钢包烘烤器的区别。阐述了引射式钢包烘烤器系统结构、钢包温度的控制策略及软硬件的设计,其中烘烤器的控温过程采用时间比例积分控制方法,即先在系统中设定最佳升温过程,运行中通过 PLC 控制系统调节比例阀开度的大小,使钢包温度符合最佳升温过程,确保控温速度快,精度高,实现钢包的实时在线烘烤。结果表明,控制系统工作稳定,节能量显著提高。

关键词:引射式燃烧技术;钢包烘烤器;控制系统;节能量

中图分类号:TG232 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2019)11-1207-04

Design and Application of Automatic Control System for Ejector Ladle Roaster

QIAN Binbin[1], WEI Wu[1], YAN Kun[2], LIU Jiangyi[1]

(1. Hubei Hangpeng Chemical Power Technology Co., Ltd., Xiangyang 441000, China; 2. Diligent Machine Technology Co., Ltd., Jiangmen 529000, China)

Abstract: The working principle of ejector combustion technology and the difference between regenerative ladle roaster and ejector ladle roaster were introduced. The structure of ejecting ladle toaster system, the control strategy of ladle temperature and the design of hardware and software were described. The temperature control process of the oven adopts the time proportional integral control method, that was, the optimal heating process was first set in the system. In operation, the size of proportional valve opening can be adjusted by the PLC control system to make the temperature of the ladle conform to the optimal heating process, so as to ensure the temperature control speed was fast and the precision was high and realize the real-time online baking of the ladle. The results show that the control system works stably and the energy saving is increased obviously.

Key words: ejector combustion technology; ladle roaster; control system; energy savings

钢包内衬由保温层、永久层和工作层组成[1],保温层紧贴钢板外壳,厚度约为 10~20 mm,主要为减少热量损失,防止外壳变形;工作层直接与高温钢液和熔渣接触,是钢包内衬中最重要的砌层(耐火砖)。钢包烘烤的目的是均匀地提高钢包内衬的温度水平,以减少钢液浇注过程的热损失和延长钢包内衬的使用寿命[2]。钢包内衬的低温抗热震性很差,局部温差较大时很容易使耐火材料变形,甚至爆裂脱落,所以对钢包加热应缓慢进行,按照一定的升温速度控温。钢包温度较高时(500 ℃以上),可采用在线快速加热至使用温度;温度较低时,必须按照给出的工艺曲线加热,保证钢包的加热质量和使用寿命。

1 引射式钢包烘烤器

1.1 工作原理

燃气射流式钢包烘烤器是一种引射式燃烧器[3],该引射式燃烧器主要是烧嘴利用高速的煤气引射空气燃烧。图 1 是煤气射流式钢包烘烤器烧嘴的简图,该烧嘴主要包括燃烧管、阀体、煤气管道、电子点火器和空气通道等几部分,高压煤气从煤气管道进入,从阀体和煤气管道之间的缝隙喷射而出,在阀体周围产生负压,带动空气通道内的空气流动,经电子点

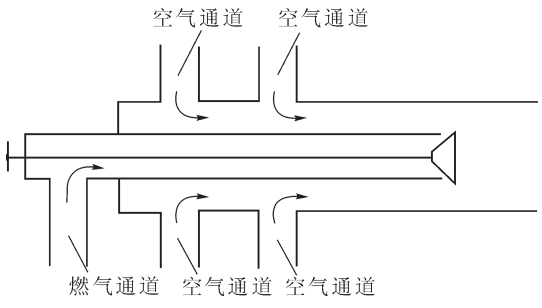


图 1 引射式钢包烘烤器烧嘴

Fig.1 The ejector ladle roaster burner

收稿日期:2019-07-06

作者简介:钱斌斌(1990-),湖北襄阳人,硕士,工程师. 主要从事燃烧器设计方面的工作.电话:17625922683,E-mail:18252585541@163.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

火器点燃后，形成引射流燃烧。调径阀手轮通过调径阀杆可以调节阀体和煤气管道之间的缝隙，从而控制煤气射流的速度。因此，燃烧效率可达到 98% 以上，这正是以往燃烧技术所不能解决的。

1.2 引射式烘烤器与蓄热式烘烤器的区别

1.2.1 烘烤过程的能耗

蓄热式钢包烘烤器由于比传统设备增加了两台抽风机[4]，其电能消耗是传统设备的 3 倍，性能的提高同时伴随的能耗的升高。每年消耗的耐火材料支出，相当于两台自身设备的费用。不仅如此，由于每分钟需要切换蓄热，部分管道中的未经燃烧的高炉煤气直接排放到空中，对环境造成一定的污染。同时无法安装自动点火器，人工点火，操作不安全。

引射式烘烤器结构简单，操作方便，无助燃风机，燃气燃烧效率高，极大地节约了能源的消耗。同时自动点火，保证了操作的安全性。

1.2.2 燃烧方式

蓄热式烘烤器有两个烧嘴[5]，由空气换向阀和煤气换向阀不停切换燃烧方向分两侧组织燃烧，并通过蓄热体来加热燃气，加快燃烧速率。但是蓄热体在蓄热过程中，每分钟都要进行一次冷热转换，在高达 1 000 ℃的急冷急热的热震冲击下，尤其是高炉煤气含水量较大时，蓄热体的破碎粉化率非常高。

引射式钢包烘烤器属于非预混式燃烧，高速的气流带动空气燃烧，燃烧稳定，不会出现断火、熄火的现象。同时可以根据不同燃料自动配比空气，使空气过量系数达到最优值。

炼钢厂烘烤钢包的燃料是高炉煤气，高炉煤气燃烧的主要成分是 CO，由图 2 看出，要保证火焰的最大传播速度，CO 燃烧空气过量系数(n)的最佳值在 0.4~0.6 之间，蓄热式钢包烘烤器使用双风机供风，很难达到最佳空气过量系数值，导致燃烧不完全。而引射式钢包烘烤器自动配风，利用 PLC 控制燃气的流量，即可以使燃料完全燃烧，又可以节约燃气。

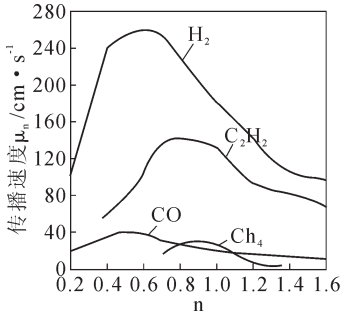


图 2 火焰正常传播速度与空气过量系数的关系

Fig.2 The relationship between normal flame propagation velocity and air excess coefficient

2 烘烤器控制系统设计

2.1 钢包温度控制策略

根据钢包内衬的特性及现场工艺要求，可采用 PLC 控制系统实现现场钢包生产过程中的加热需求。图 3 为典型的低温钢包离线钢包加热控温曲线[6]。

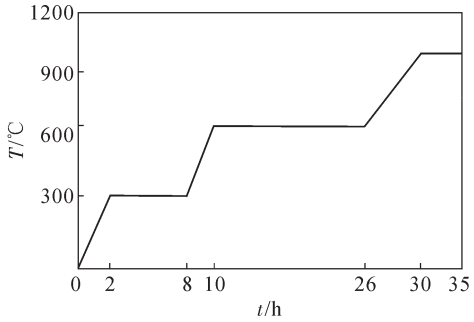


图 3 钢包烘烤工艺曲线

Fig.3 The ladle baking process curve

温度控制采用时间比例积分控制方法，即[4]：

$$u=\frac{1}{P_b}e+\frac{1}{P_b t_i}\int e\,dt+u_0 \qquad (1)$$

式中，e 为偏差；u_0 为偏差 e=0 时的控制输出；t_i 为积分时间；P_b 为时间比例值。

为了实现钢包烘烤的节能要求，同时也要按照钢包烘烤的工艺曲线进行烘烤，应用 PLC 控制系统来调节调节阀的开度，完成钢包烘烤工艺曲线的整个流程。通过现场测试，得出前 8 h 阀门开度在 40%，8~26 h 内阀门开度在 65%，26~30 h 阀门开度在 100%，当红外线测温仪检测到温度达到预定烘烤温度时，阀门开度变为 50%，为终点保温阶段。

2.2 烘烤器控制系统的硬件设计

烘烤器硬件控制系统的设计是以控制机械结构为基础，根据图 4 烘烤器 PLC 控制系统硬件结构，需要控制的有：卷扬机、快切阀、电磁阀、电动调节阀、电子点火器和行程开关，同时红外线测温仪、压力变送器、燃气报警器和火焰监测器反馈信号给

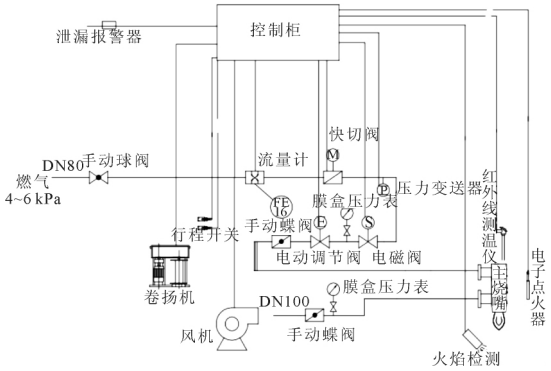


图 4 引射式钢包烘烤器系统图

Fig.4 The ejector ladle roaster system diagram

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

PLC，PLC 根据反馈信号来执行机械部分的运行。具体控制如下：当燃气报警器响声超过 10 s 时，PLC 执行关闭快切阀、电磁阀，保证烘烤器运行安全；当压力变送器的压力超过 30 kPa 时，PLC 执行关闭快切阀、电磁阀，以免管道压力过大导致爆炸；当火焰监测器没有监测到火焰时，PLC 执行关闭电磁阀，以免燃气泄漏，导致危险事故；红外线测温仪将测得的钢包温度传给 PLC，PLC 再根据所需要的温度来控制电动调节阀的开度，以此来控制燃气流量。

在整个控制系统设计中，共涉及 25 个开关量输入点，13 个开关量输出点。故采用的是西门子 S7-200，集成 24 个 DI，16 个 DQ；两个 EM235 扩展模块，提供 AI 8 个，AQ2 个，以及一些辅助器件。

2.3　烘烤器控制系统软件设计

引射式钢包烘烤器控制系统的主要功能，是基于 STEP7 PLC 编程软件和 WNCC 组态软件的程序设计，两者之间的数据交换由 S7-200PLC 和上位工控机通讯实现。

烘烤器系统软件模块主要设计有手动控制模块和自动控制模块。手动控制模块设置有基本的控制按钮如上电、启动、停止、急停等完成基本的动作。同时卷扬机、电磁阀、电动调节阀的启动和停止按钮，用于在钢包烘烤调试控制过程中，根据设定温度来调节燃气流量，同时保证调试运行过程的安全可靠。最终确定合理的温度设定值，实现烘烤器长时间投入生产不出现故障。系统的电器原理图如图 5 所示。系统控制原理图如图 6。

烘烤器操作流程：①启动烘烤流程，控制程序启动电子打火器，20 s 后，自动开启燃气电磁阀，并将电动燃气调节阀调节到开度在 40%；②火焰检测器检测到火焰点燃后，火焰指示灯亮，延迟 30 s 关闭电子打火器，此时，需手动按下卷扬机下降按钮，放下包盖；③当红外测温仪测得温度达到设定温度时，控制程序自动调节电动调节阀的开度，保持在 50%，进入保温工作状态；④结束保温阶段，使用钢包时，点击关闭按钮，控制程序自动关闭燃气电磁阀、关闭燃气调节阀；⑤手动启动卷扬机，翻转包盖。

3　应用结果

文中设计的引射式钢包烘烤器控制系统已在天津某炼钢厂运行，针对两种不同的钢包烘烤器，炼钢厂在改造前后对钢包的烘烤温度进行了测量，燃料采用的是高炉煤气，钢包温度和燃气消耗量比较见表 1。

表1 钢包温度和燃气消耗量

Tab.1 Ladle temperature and gas consumption

	起始度 /℃	终止温度 /℃	燃气消耗量 /$m^3 \cdot h^{-1}$	平均燃气消耗量 /$m^3 \cdot h^{-1}$
改造前	23.5	756.8	1 255	1 286.2
	27	780.5	1 326	
	19	729.3	1 284	
	35.6	830	1 203	
	40	817.6	1 363	
改造后	25	750.5	950	881.1
	17	775.1	1 140	
	33.6	826.6	750	
	35	815	845.5	
	20.1	820.2	720	

可以得出，在保证钢包烘烤温度的同时，引射式钢包烘烤器比蓄热式钢包烘烤器的平均燃气消耗流量每小时减少 405.1 m^3，燃烧效率得到了提高，节约了能源。采用自动点火器，提高了设备运行的安全性。

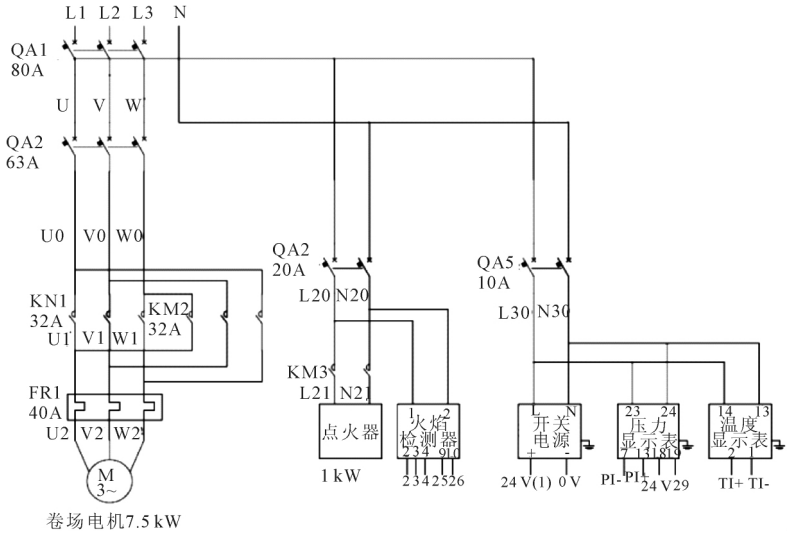


图 5 系统电气原理图

Fig.5 Electrical schematic diagram of the system

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

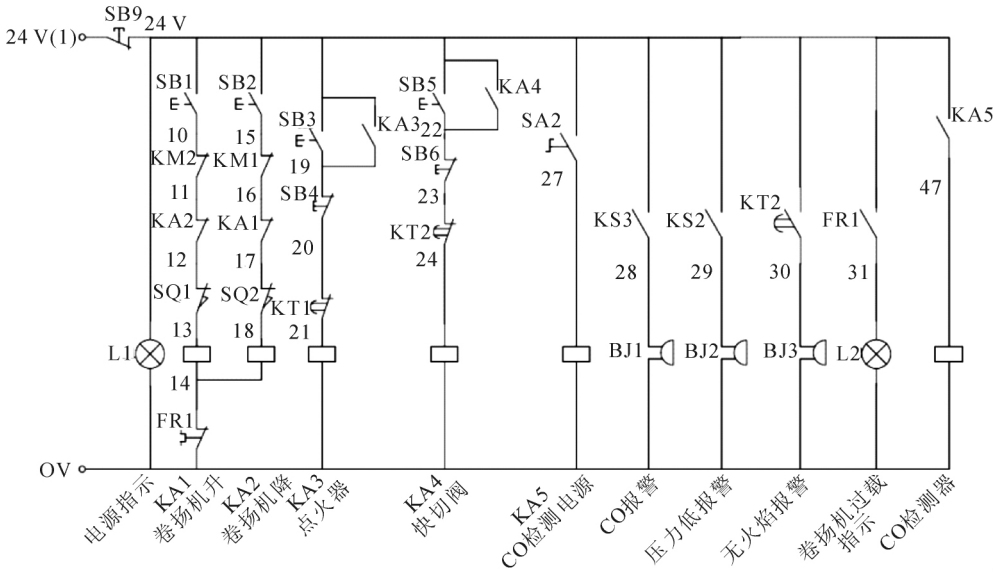


图 6 系统控制原理图

Fig.6 Schematic diagram of system control

4 结束语

PLC 控制系统在引射式钢包烘烤器上应用以后，煤气耗量显著降低，钢包烘烤的时间也明显缩短，钢包烘烤效果得到极大地改善；同时引射式钢包烘烤器无风机助风，极大地节约了电能；该烘烤器燃烧效率高，污染物排放少，具有很大的应用前景。

参考文献：

[1] 刘彬. 基于 PLC 控制的高效蓄热式钢包烘烤器技术的研究[J]. 中国高新技术企业, 2009(6): 51-52.

[2] 饶荣水. 钢包烘烤技术的发展[J]. 工业加热, 2000(3): 8-10.

[3] 钱斌斌，王助良，杜敏. 燃气射流式式钢包烘烤器的设计及应用[J]. 铸造技术，2016，37(3): 549-552.

[4] 蔡培力，杨迪光，孙家富. 基于 PLC 的钢包烘烤器控制系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2009(2): 92-93.

[5] 刘玉梅，郝万新，李忠明. 基于 PLC 控制的双蓄热式钢包烘烤器自动控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2008(3): 94-96.

新书邮购

《消失模铸造工艺学》

《消失模铸造工艺学》由化学工业出版社2019年5月20日出版发行。（书号：ISBN978-7-122-34175-4）

《消失模铸造工艺学》作者刘立中，历经三十多年现场实践经验的总结和理论的升华。全书总结136个案例，选用1718帧彩色照片，撰写583千字创造性的提出了消失模铸造“三场理论”，详细解读在“流场、热场、负压场”理论指导下的“消失模铸造浇注系统设计原则”，提出了“借用型腔做浇道，极致简化浇注系统”新的理念，在国内外均属首创。奠定了消失模铸造的理论基础，提出了消失模铸造研究与发展的方向。

定价：498元

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-83222071　　微信：13991824906

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net