

蓄热式熔铝炉的自动控制系统

石 晶, 吴红良*, 金 鑫
(浙江拓峰科技有限公司, 浙江 杭州 310012)

摘要:为实现蓄热式熔铝炉安全、节能、连续不间断的生产运行,将现代自动控制系统引入到蓄热式熔铝炉中。根据蓄热燃烧工艺特点分析,建立了生产工艺与控制系统之间的关联,确立了合适的控制系统和控制策略。现场应用结果表明,相关工艺控制策略在熔铝炉系统中得到了充分执行和体现,该自动控制系统能够满足蓄热式熔铝炉的生产工艺要求。

关键词:蓄热式熔铝炉;控制策略;自动控制系统

中图分类号:TF79;TH39;TP273

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)11-1342-03

Automatic control system in regenerative aluminum melting furnace

SHI Jing, WU Hong-liang, JIN Xin
(Zhejiang TOFINE Science & Technology Co., Ltd., Hangzhou 310012, China)

Abstract: In order to realize the safety, energy saving, continuously run of regenerative aluminum melting furnace, the modern automatic control system was integrated. Based on the analysis of the process characteristics of regenerative aluminum melting furnace, the relationship between the production process and the automatic control system was established, and the appropriate control system and control strategies were established. through the application of the case, the relevant process control strategies are fully implemented and embodied. The result shows that the automatic control system meets the regenerative melting furnace production process requirements.

Key words: regenerative aluminum melting furnace; control strategy; automatic control system

0 引 言

熔铝炉是铝加工行业上游生产设备,配以保温炉,可配合连铸连轧机实现整线不间断全自动生产。近年来,蓄热式熔铝炉在燃烧控制技术和余热回收技术方面取得了突破性的进展,在提高生产率、降低能耗和污染物排放方面有了很大的进步,可更好地适应合金成分要求严、生产不连续、单炉容量要求较大等工艺要求^[1]。自动化控制系统在蓄热式熔铝炉中有着普遍应用,在提高设备工作效率的同时,还在增强安全保障、能效优化、运行稳定性等方面起着重要作用,充分发挥出了蓄热式熔铝炉的工艺特点及其良好性能。系统中采用了蓄热式换热控制、燃烧安全保障、出铝液位自控、无扰动切换、铝液温度串级控制、空燃流

量自动配比等控制算法。

本研究介绍自控技术及控制系统在某铝加工厂蓄热式熔炼炉中的实际应用。

1 系统架构与控制策略

1.1 控制系统架构

目前国内常把冶金自动化系统分为 5 级,即企业管理级(L4 级)、生产控制级(L3 级)、过程控制级(L2 级)、基础自动化级(L1 级)、电气和液压传动控制系统(L0 级),L0 传动级主要完成传动设备本身的控制、I/O 控制和管理^[2]。在现代化的控制系统中,变频器、直流调速器、执行机构等执行设备由本体 CPU 控制和监视,并与 L1 级在网进行数据通讯。L1 级作为基础自动化级,负责管控 L0 级现场设备、记录数据并与上级 L2

收稿日期:2011-04-14

作者简介:石 晶(1984-),男,江苏南通人,主要从事工业炉窑自动化系统设计与开发等方面的研究。E-mail:haxo_cn@yahoo.com.cn

通信联系人:吴红良,男,工程师,浙江拓峰科技有限公司副总工程师。E-mail:wuhongliang@tofine.com

网络通讯,是工业炉自动化系统的核心部分。

熔铝炉自控系统作为 L1 级,硬件采用基于现场总线和工业以太网的控制器,分布式 I/O 从站,工业控制计算机、上位机 HMI 组态软件、各类检测仪表、执行机构等^[3],实现炉气温度、铝液温度、炉膛压力、空气燃气流量及压力等多种参数的在线测量与显示,电机阀门、液压系统、点火燃烧系统等各部分的控制执行,最终实现熔铝炉整体生产运行过程的管控与安全保护,网络结构如图 1 所示。

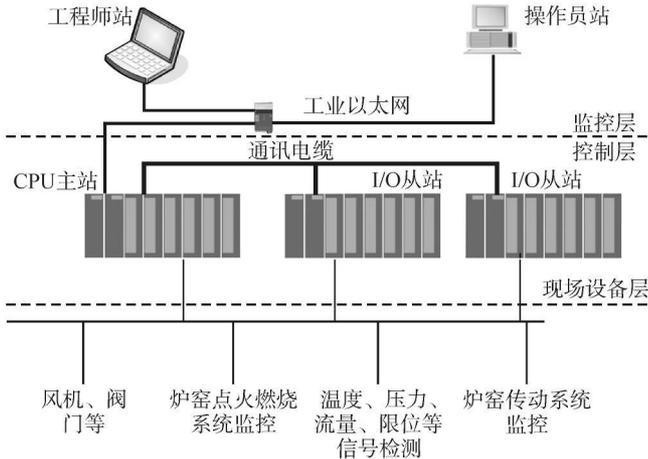


图 1 PLC 系统网络结构图

1.2 蓄热式换热控制技术

蓄热式烧嘴为成对布置,相对两个烧嘴为一组(A、B 烧嘴)。从鼓风机出来的常温空气由换向阀切换进蓄热式烧嘴 A 后,在经过蓄热式烧嘴 A 蓄热箱陶瓷小球时被加热,在极短时间内常温空气被加热到接近炉膛温度(一般为炉膛温度的 80%~90%)。被加热的高温热空气进入炉膛后,卷吸周围炉内的烟气形成一股含氧量远低于 21% 的稀薄贫氧高温气流,同时往稀薄高温空气附近注入燃料,实现燃料在贫氧状态下燃烧;与此同时,炉膛内的热烟气经过另一个蓄热式烧嘴 B 排入大气,炉膛内高温热烟气通过蓄热式烧嘴 B 时将热量储存在蓄热式烧嘴 B 的蓄热体内,然后以低于 150℃ 的低温烟气经过换向阀排出。当蓄热体储存的热量达到饱和时换向进行切换,蓄热式烧嘴在蓄热与工作状态之间进行交换,从而达到节能和降低 NO_x 排放量等目的^[4]。

在熔铝炉的应用中,常用两种模式,蓄热模式和非蓄热模式。在蓄热模式下,成对烧嘴正常换向燃烧,存在 3 种换向条件:① 定时换向,换向时间 45 s ~ 180 s 可调节;② 温度换向,A、B 烧嘴蓄热体高温保护强制换向;③ 人工手动换向。

烟道排烟温度受控用于在尽可能多节能的基础上,保护排烟风机及烧嘴蓄热体,该温度采用 PID 调

节,设定值在采集当前排烟温度的基础上,按照一定斜率上升,最终到达 150° 左右的控制点。而炉膛压力 PID 调节输出控制辅助烟道,与排烟调节回路相互连锁。蓄热燃烧系统如图 2 所示。

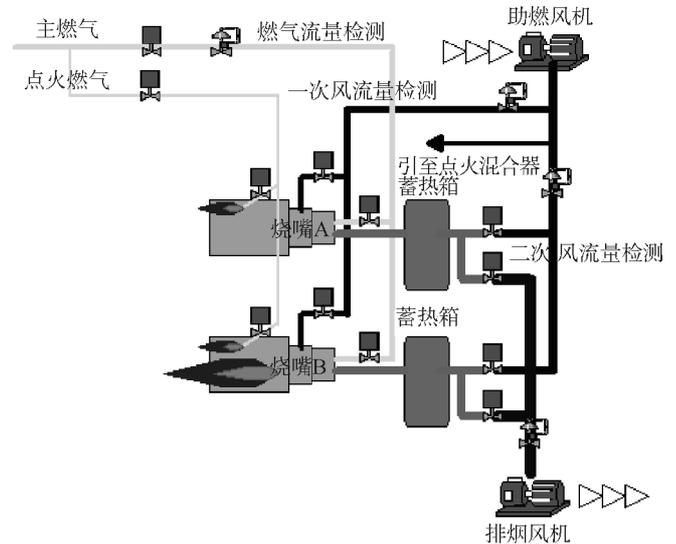


图 2 蓄热燃烧工艺系统图

1.3 空气燃气最佳燃烧配比

助燃风分为一次风和二次风,一次风为直接进入烧嘴的冷风,二次风为经过烧嘴蓄热体预热过的热风,其中一次风用于保护烧嘴,占总助燃风量的 20% 左右,系统分别配有一次风、二次风孔板流量检测及流量调节阀,天然气孔板流量检测及调节阀。由于空气、燃气流量调节阀反应速度不同,在炉温升降即流量要求增加或者减小的过程中,空气、燃气流量正常配比会出现较大失衡,火焰差。

该系统采用了双交叉限幅调节算法^[5],将燃气实测流量 F_1 引入助燃空气调节回路,助燃空气实测流量 F_2 引入燃气调节回路,再通过设置高选 HS₁、HS₂,低选器 LS₁、LS₂,空燃气流量互相连锁以保证在温度升降、流量调节的过程中,空燃比维持在合适的范围内。通过调节高低选择器的参数 $K_1 \sim K_4$,使系统在合理调整空燃比的同时又不失灵活性。该算法在空气、天然气,空气、煤气以及空气、燃油配比等相关燃烧系统中均适用。算法原理及效果如图 3、图 4 所示。

如图 4 所示,火焰在调节过程中空燃配比合理,保持了较好的燃烧状态。

1.4 铝液温度串级保护控制

熔铝炉配有汽缸伸缩热电偶,用于检测铝液温度,S 型热电偶用于检测炉气温度。烧嘴燃烧加热提高炉气温度,从而熔化固体铝料,最终影响铸造质量的为铝水温度而非炉气温度,所以铝水温度为最终控制对象,炉气温度与铝水温度之间存在偏差并有较大的

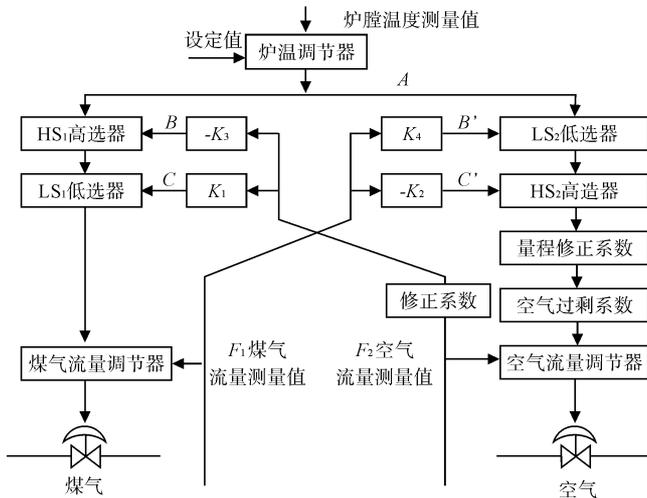


图 3 双交叉限幅调节算法原理图



图 4 火焰调节变化图

滞后性,故在控制铝水温度时,需引入炉气温度,防止炉气温度过高。一般在熔化过程中,系统采集炉气温度来调节烧嘴火焰,当铝料处于液态时,系统同时采集铝水及炉气温度串级调节烧嘴火焰,在串级回路中,铝水温度控制作为主回路,炉气温度控制为副回路。串级回路图如图 5 所示。

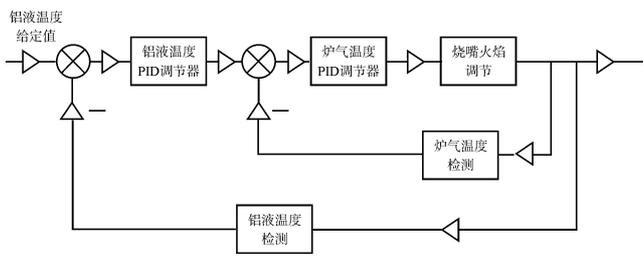


图 5 温控串级回路图

1.5 连续平稳出铝控制

炉体倾动为液压驱动,液压比例调节阀采用 4 mA~20 mA 电流控制,其中前半段调节炉体倾动上升,后半段调节炉体下降,中间为停止区。炉出口溜槽中铝液液位采用漫反射激光液位计在线监测。

为实现出铝的连续平稳调控,一般采用 PID 调节算法为核心算法,PID 控制技术是基于反馈的控制方法,反馈理论的要素分为 3 个部分:测量、比较和执行,将测量值与期望值进行比较,并用这个误差来调节控制器,进而实现对系统控制^[6-8]。本研究根据现场实际

情况,发现传统的 PID 算法不能满足要求,因此采用人工干预的 PID 算法进行双位调节,所谓人工干预的 PID 算法即该 PID 调节模块在人机界面上配有输入/输出接口,用于人工预设参数,PID 输出的 0 ~ -100% 为炉体下降,0 ~ +100% 为炉体上升,分两个阶段实施即出铝和溜槽液位控制。在出铝阶段,PID 以手动状态下固定值输出,炉体以一恒定速度倾动上升,直至出铝溜槽液位计检测到铝液,系统将无扰动切换到液位调节阶段,此刻 PID 在原有速度基础上自动调节输出。PID 设有调节死区,以减少输出波动,提高稳定性。

1.6 燃烧系统安全保护

燃烧系统进行了安全连锁,引入助燃空气压力过低保护,燃气压力过高、过低保护,助燃风机、排烟风机运行状态,炉门开启状态等连锁。系统中,紫外线火焰检测器(UV)用于检测火焰信号,小火为安全火焰,用于引燃大火,正常工作状态中一直长明,不允许熄灭。大火即主火焰,点火前,系统必须检测到小火信号,同时燃气及助燃空气调节阀处于适当开度,否则禁止点大火。在正常蓄热燃烧过程中,若小火或者大火熄火报警,系统将终止燃烧命令,并强制进入换向吹扫程序。安全自检保护程序逻辑如图 6 所示。

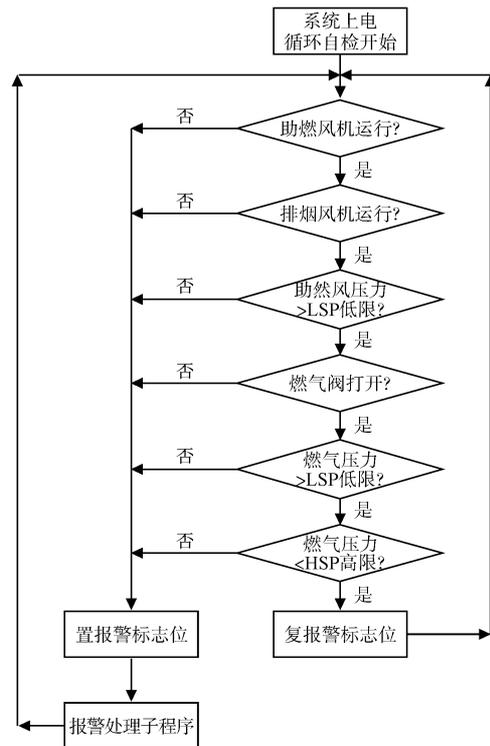


图 6 系统安全保护循环自检程序图

2 结束语

本研究论述了自控技术在蓄热式熔铝炉中的应
(下转第 1390 页)

所示。

下载线用 USB-Blaster 下载, 下载模式为 AS 模式, 下载进度是 100%, 说明下载成功。下载信息如图 8 所示, 表明下载成功。

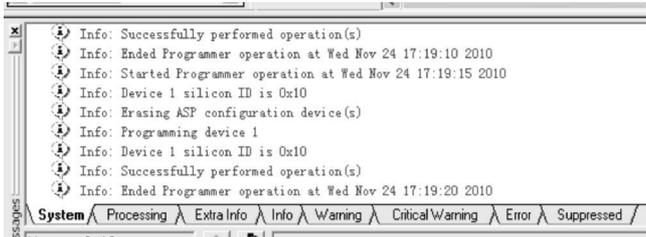


图 8 下载成功的信息

实验结果表明:无线通信功能是正常的。

本研究采用新型无线通信系统, 不仅能满足机器人比赛中无线通信的要求, 且能增加比赛系统的稳定性, 有利于机器人小车在足球比赛中发挥更好的性能。

5 结束语

本研究主要介绍用 FPGA 设计小型足球机器人无线通信部分架构, 以及 FPGA 外围部分电路结构。目前小型足球机器人运动控制系统已经升级到第五代, 即采用 FPGA 作为运动控制子系统的 CPU。但是对于足球机器人整个底层电路部分, 想要实现基于 FPGA 的 SOPC 系统设计, 还需要作更进一步的研究与探讨。

参考文献(References):

- [1] 陈万米, 张冰, 朱明, 等. 智能足球机器人系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [2] 徐璟业. F-180 小型足球机器人的无线通信系统设计[J]. 电子技术应用, 2004(5): 60-63.
- [3] 李策. 基于 DSP 和 FPGA 的小型足球机器人控制系统的研究[D]. 大连: 大连理工大学电子与信息工程学院, 2006.
- [4] DORIGO M, CARO G D. Ant Colony Optimization: a New Metaheuristic[C] //Proceeding of the 1999 Congress on Evolutionary Computation. Piccataway: [s.n.], 1999: 1470-1477.
- [5] 刘新云. 基于 EP2C5Q208 的最小 Nios II 开发板设计[J]. 荆楚理工学院学报, 2010, 25(5): 16-19.
- [6] GALANIS M D, DIMITROULAKOS G, GOUTIS C E. Performance improvements from partitioning applications to FPGA hardware in embedded socs [J]. *The Journal of Supercomputing*, 2006(2): 185-190.
- [7] 张丛荣. 足球机器人运动控制系统的研究与完善[D]. 沈阳: 东北大学信息学院, 2006.
- [8] 孙育才. 新型 AT89S52 系列单片机及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [9] 张崇, 于晓琳, 刘建平. 单片 2.4 GHz 无线收发一体芯片 nRF2401A 及其应用[J]. 国外电子元器件, 2004(6): 34-38.
- [10] Altera Company. Cyclone II Device Handbook[Z]. Altera Company, 2008.
- [11] 吕游, 陈文艺. 基于 NIOS II 的 SOPC 中存储器型外设接口的设计[J]. 电子元器件应用, 2010, 12(2): 59-62.

[编辑: 李辉]

(上接第 1344 页)

用, 利用成熟的控制策略与稳定的电气系统相结合, 在提高炉窑安全性、生产效率及能源利用率上发挥了重要作用, 增强了蓄热式熔铝炉整体的自动化水平。该自控系统经过局部调整后, 在相关熔炼设备及连续加热工业炉中可推广应用。

参考文献(References):

- [1] 李佳峰, 张姝羽, 王悦, 等. 蓄热式燃烧技术在熔铝炉上的应用[J]. 冶金能源, 2010, 29(3): 38-40.
- [2] 中国工控网. 冶金自动化系统浅析[EB/OL]. [2008-01-01]. http://a.gongkong.com/customer/gktx/imgpdf/200801_yjzdhqx.pdf.

- [3] 马翠红, 张涌涛, 纪玉荣. 基于组态软件的加热炉生产过程的实时监控[J]. 自动化仪表, 2004, 25(11): 60-62.
- [4] 刘日新. 蓄热燃烧技术及其在冶金工业炉中的应用[C]// 高效蓄热式工业炉应用学术会议论文集, 2006: 45-50.
- [5] 胡祖宝. 偏差比例双交叉限幅控制在生产中应用[J]. 控制工程, 2004, 9(5): 392-393.
- [6] 郝建强, 顾强, 李世中. 基于蚁群算法的数控进给伺服系统 PID 参数优化[J]. 机械, 2010, 35(3): 61-63.
- [7] 王本术, 龚宪生. 电液伺服扭振试验机模糊 PID 控制仿真研究[J]. 机械, 2010, 35(10): 15-19.
- [8] 何顶新, 王维, 徐金榜, 等. 温控系统中改进的 PID 算法[J]. 电气传动, 2007, 37(8): 36-39.

[编辑: 张翔]