

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.08.023

# 基于 PLC 的加热炉仪表控制系统优化研究

杨莉华

(四川机电职业技术学院 机械工程系, 四川 攀枝花 617000)

**摘要:**针对加热炉仪表自动控制系统运行的稳定性和实时监控问题,对加热炉控制系统配置、炉膛温度串级调节系统、炉膛温度压力设定、安全连锁系统等方面进行了研究,对加热炉高压鼓风机入口风门开度减小,空气压力降到极限位而引起的加热炉停炉故障以及因液位检测不可靠而导致加热炉底水位增高并淹没炉底部件的事故进行了分析,对高压鼓风机 PI 自动调节系统和 PLC 实时监控技术进行了归纳,提出了改进 PI 调节器和 PLC 控制程序以及设备异常状态实时监控的方法。研究结果表明,加热炉两台高压鼓风机入口调节器调节灵活方便,性能稳定,不再出现相互干扰问题;加热炉炉底水位监测准确;优化后的加热炉自动控制系统性能稳定、控制精度高、故障发生率低。

**关键词:**加热炉;PLC;设计;安全连锁;优化

中图分类号:TH39;TP273

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)08-1033-06

## Optimization for control system of heating furnace instrument based on PLC

YANG Li-hua

(Department of mechanical engineering, Sichuan Mechanical and electrical Institute of Vocation and Technology, Panzhihua 617000, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of the stability of heating, furnace automatic control instruments and real-time monitoring. The problems of heating furnace temperature control system, cascade control system, temperature & pressure setting of furnace and safety interlock system were discussed. Some accidents were analyzed, such as the entrance of high-pressure blower was reduced, heating furnace stopped because of low air pressure and the water-level increased due to unreliable water level treasuring which results in the water-level of heating furnace increases. The high pressure blower PI automatic regulation system and PLC real-time monitoring technology were summarized. Some suggestions were given on how to improve PI controller, PLC control program and methods for the abnormal state of equipments in real-time monitoring. The results of study show that the two high-pressure blower inlet regulator are flexible, convenient and stable. No interference problems. The monitoring for the bottom water level of heating furnace and the accident rate are reduced greatly. The automatic control system of heating furnace after being optimized has the characteristics of stability, high precision and low failure rate, which reaches the standards of the design.

**Key words:** heating furnace; PLC; design; safety chain; optimize

## 0 引言

轧钢厂加热炉自动化控制系统的优劣直接影响钢

坯的加热质量、加热炉能耗以及环境污染等问题。自动控制系统研究人员和生产企业一直把提升加热炉自动控制系统的稳定性和精度作为重要的研究方向。文

收稿日期:2016-03-15

作者简介:杨莉华(1972-),女,四川岳池人,硕士研究生,主要从事机电一体化技术、自动化控制技术、冶金、轧制技术等方面的教学和研究  
E-mail:yanglihua\_pzh@126.com

献[1]中提出对步进式加热炉炉温、炉压的控制采用 PLC 控制系统,在确保钢坯的加热均匀、节约能源、延长加热炉的使用寿命方面,取得了很好的效果。文献[2]中提出了加热炉的生产过程采用实时监控系统,能够对加热炉各段的温度、压力、给煤气和空气的流量、汽化冷却装置的汽包水位和压力等物理量进行自动控制、显示和超限报警。较好地保证了加热质量,减少了废品率。

加热炉仪表控制基础自动化系统主要分为 6 个燃烧段的串级控制系统,煤气总管压力自动调节及煤气总管连锁控制快速切断、热风总管压力自动调节、炉膛压力自动控制系统、热风温度控制系统及炉底水梁回水温度检测系统等。系统通过 PLC、上位机(HMI)、标准通讯协议和分层网络等软、硬件措施结合,实现了系统的高度集成化和自动控制<sup>[3]</sup>。

本研究对加热炉控制系统配置、炉膛温度串级调

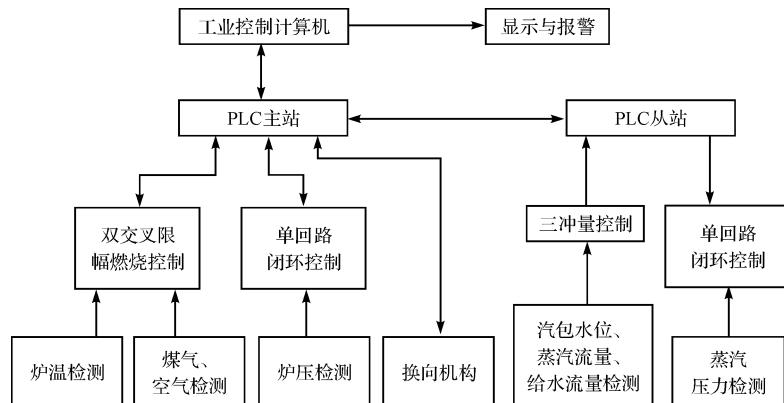


图 1 控制系统组成框图

## 1.2 炉膛温度串级调节系统设计

炉膛温度串级调节系统主要包含温度测量元件,流量、压力测量设备以及流量调节设备和相关附属设备等。炉膛温度测量采用铂铑-铂热电偶,通过补偿导线将测量信号引入 PLC<sup>[4]</sup>;流量元件主要是检测空气和煤气流量,控制炉火的大小,从而调节炉温。空气流量测量一次元件使用标准孔板,煤气使用圆缺孔板,采用 EJA 系列智能变送器,测量信号引入 PLC;流量调节中空气流量调节使用 600 S 高温气动调节蝶阀,煤气流量采用 710 E 高性能气动蝶阀<sup>[5]</sup>。通过以上设备的使用,实现了加热炉仪控系统各类数据采集和控制。

## 1.3 系统软件设计

加热炉基础自动化系统 PLC 的组态、编程软件为 SIMATIC STEP7。程序编写前设计人员即根据加热炉工艺流程要求、电仪控制系统特点及功能区域制定出程序结构,编写过程中逻辑控制部分采用梯形图,涉及

节系统、炉膛温度压力设定、安全连锁系统等方面进行研究。

# 1 加热炉仪表自动控制系统设计

## 1.1 加热炉仪表自动控制系统组成

该系统由 DCS 上位机系统和 DCS 下位机系统组成。上位机系统采用 WINCC 组态软件,完成数据实时显示、监控、历史记录的存取、报警记录及参数设定等。下位机系统采用 PLC 构成一个主站和一个从站,用 Step7 编程软件。上位系统和下位系统之间以及下位系统主站和从站之间均采用 Profibus2DP 现场总线连接。

控制系统由双交叉限幅燃烧自动控制、炉压单回路闭环控制、自动换向、汽化冷却装置的汽包水位和蒸汽压力的自动控制、显示与报警单元等多个子系统构成。控制系统组成框图如图 1 所示。

到较复杂的数据计算、处理则适当采用语句表。人机界面(HMI)部分使用 WINCC 软件进行开发,通过与 PLC 的配合使用,可使操作人员通过上位机画面直观地观测现场设备运行状态,实现对设备的状态监控、操作控制、运行方式监控、故障报警等<sup>[6]</sup>。

## 1.4 网络通讯配置

加热炉自动化系统(L1)网络配置情况如图 2 所示。

PLC 与 PLC、PLC 与上位计算机之间采用标准工业以太网,PLC 与 ET 远程站、传动装置、操作面板之间使用 PROFIBUS-DP 现场总线进行通讯。PLC 与上位机之间的工业以太网使用了 ISO 通讯协议,相比 TCP/IP 协议安全性更高;在主操作室、装料操作室及 PLC 室中各设置 1 台西门子公司的 OSM(光纤交换机),3 台 OSM 之间通过光纤首尾连接构成环网,当单根光纤发生故障时,依然可正常收发通讯数据,提高网络的稳定性<sup>[7]</sup>。

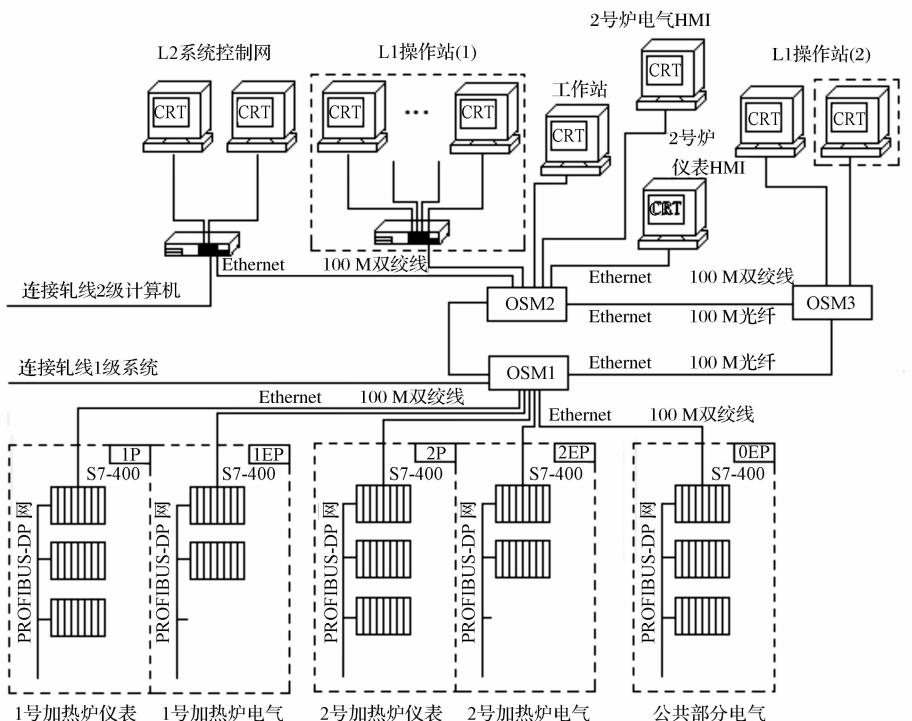


图2 加热炉自动化系统网络配置图

## 2 加热炉仪表基础自动化系统实现

### 2.1 仪表检测与控制的功能设置

根据工艺设备的要求,加热炉本体采用17只S型热电偶测温。在均热段、加热2段、加热1段的炉顶,各设置3只S型热电偶测温;预热段顶部,采用2只S型热电偶测温。均热段、加热2段、加热1段下部炉侧东西位置,各采用1只S型热电偶对称测温;空(煤)气压力、流量检测、控制点的分布对应参与自动调节的压力检测点,采用压力变送器检测。参与温度调节的检测点,采用差压变送器检测。温度、压力、流量等检测仪器控制面板图如图3所示。

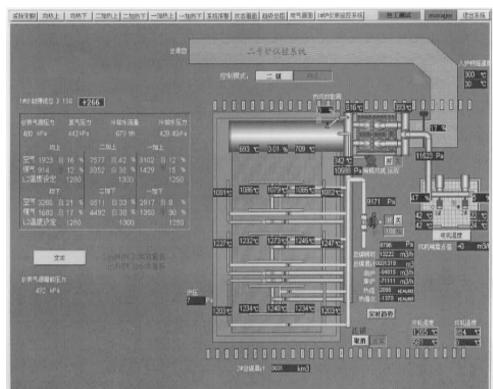


图3 加热炉仪控面板

### 2.2 炉膛温度、压力控制系统

为保证各供热区温度的可控性,本研究首先须对

各区独立设置,以温度为主环,空煤气流量调节为副环的炉温控制回路。根据工艺的供热情况,系统共分为6个供热调节回路。分别对应于:均热段上,均热段下,加热2段上,加热2段下,加热1段上,加热1段下。

#### 2.2.1 供热区段温度自动调节系统

温度测量值、高值、低值、正常值和平均值选择如图4所示。

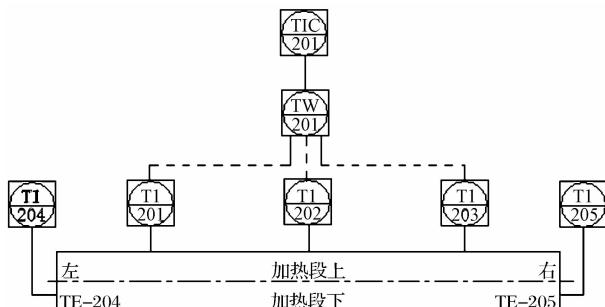


图4 温度测量值选择

TI 201—加热上段左端测量的温度;TI 202—加热上段中端测量的温度;TI 203—加热上段右端测量的温度;TI 204—加热下段左边测量的温度;TI 205—加热下段右边测量的温度;TV 201—3只热电偶测得温度平均值;TIC 201—最终控制温度值

对于各燃烧控制段,本研究自动选择炉顶3只热电偶中一支所测温度值或该3只电偶所测温度的温度平均值(图4中的TI201、202、203),作为该段温度控制的PV值。

该区段具备的功能有:炉段温度超温报警功能;测温热电偶断偶报警功能;炉段温度左右温差超限报警功能,两只热偶所测量的温差大于允许值,则发出报警信号,用以提醒操作人员检查故障点);温度调节器输出限幅功能(根据最大加热速率,对温度调节器输出限幅,防止坯料过热)<sup>[8]</sup>。

### 2.2.2 供热区的温度、流量设定

上部炉段热量设定及控制:采用在工业炉窑控制中典型的双交叉限幅控制方式,以保证热负荷变化时的合理空燃配比。同时,在典型的交叉限幅控制的基础上,加入适当的补偿信号,以提高系统的响应速度(即具有“动态限幅带”的双交叉限幅控制系统),双交叉限幅燃烧控制原理如图 5 所示。

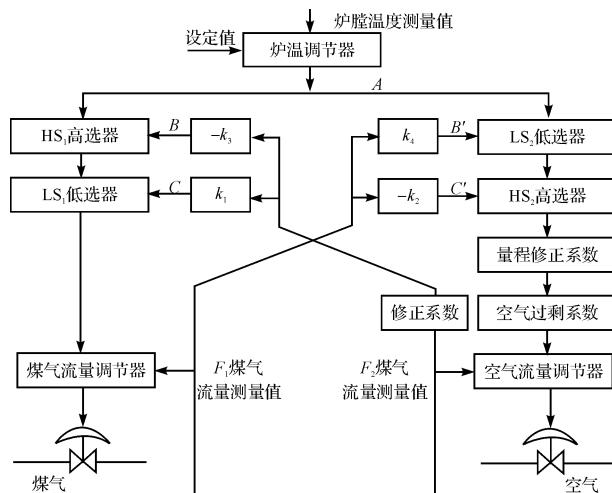


图 5 双交叉限幅燃烧控制原理

这种方法可以有效地将系统的响应速度提高 3~5 倍,使之适应加热炉热负荷周期、快速变化的需要(进出钢口及炉门的开闭、突然性的保温待轧、快速升温、轧制节奏的突变等)。理想的情况下,可以在 5 min 左右的时间内,排除系统出现的扰动<sup>[9]</sup>。

下部炉段热量设定及控制:下部燃烧控制段的热量设定可以在独立控制模式和主从控制模式两种方式中切换。独立控制模式:由本段温度调节器的输出值设定(与上段同);主从控制模式:由上段温度调节器的输出值按比例设定。可以较好地协调本段内上、下加热区的供热量,有效地防止下部对上部的影响,保证炉温的均匀性。

### 2.2.3 炉膛压力设定控制算法

加热炉炉膛压力是加热炉自动控制非常重要的参数。炉压过高,烟气就会四处溢出,增加能耗,且易损坏炉体,炉子使用寿命降低;炉压过低,会大量吸入冷风,增加炉子的热耗和增加钢坯的氧化烧损,甚至出现

烧钢。因此,对加热炉的炉压希望其保持在微正压。该系统采用模糊-PID 混合控制,把炉压控制在 10 Pa ~ 20 Pa 之内。普通 PID 控制由于积分的作用,使调节比较缓慢。为加快响应,当误差较大时,采用模糊控制,控制作用迅速;当误差小于某一值时,再切换为参数离线整定好的 PID 控制,以消除稳态误差。控制原理图如图 6 所示。

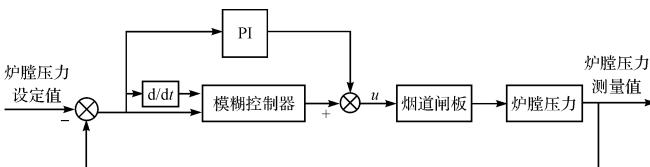


图 6 炉膛压力控制原理

### 2.3 仪表控制安全连锁系统

加热炉供热采用的主要能源为高焦混合煤气;空气系统备二台(一用一备)助燃空气鼓风机;净循环水用于炉子炉底梁、立柱等冷却循;介质系统为压缩空气,用于控制仪表执行机构的动力源;氮气用于煤气管道的正常放散及吹扫。

当煤气总管压力、空气总管压力、冷却压力、压缩空气压力过低时,系统断电并发出电气停炉信号。系统将完成总管煤气快速切断、支管煤气切断、支管至烧嘴氮气吹扫;炉膛压力自动控制系统自动将烟道闸板全打开;热风放散打开。连锁信号运行参数如表 1 所示。

表 1 连锁信号运行参数表

控制对象	数据模块	参数设置
GASLOW	DB100. DBX48. 0	= “com”. GASLOW
煤气阀前压力	DB1. DBD108	L“模拟量值”. PI2010
GASLOWLOW	DB100. DBX48. 1	L 2. 500000e + 003 < R: = “com”. GASLOWLOW
气源压力	DB1. DBD120	L“模拟量值”. PI2051
INSAIRLOW	DB100. DBX48. 2	L 4. 000000e + 002 < R: = “com”. INSAIRLOW
气源压力	DB1. DBD120	L“模拟量值”. PI2051
INSAIRLOWLOW	DB100. DBX48. 3	L 3. 000000e + 002 < R: = “com”. INSAIRLOWLOW
冷风压力	DB1. DBD104	L “模拟量值”. PI2022
AIRLOW	DB100. DBX48. 4	L 4. 000000e + 003 < R: = “com”. AIRLOW
冷风压力	DB1. DBD104	L “模拟量值”. PI2022
AIRLOWLOW	DB100. DBX48. 5	L 3. 000000e + 003 < R: = “com”. AIRLOWLOW
冷却水压力	DB1. DBD116	L “模拟量值”. PI2041
WATERLOW	DB100. DBX48. 6	L 2. 000000e + 002 < R: = “com”. WATERLOW
冷却水压力	DB1. DBD116	L “模拟量值”. PI2041
WATERLOWLOW	DB100. DBX48. 7	L 1. 500000e + 002 < R: = “com”. WATERLOWLOW

### 3 控制系统优化

在加热炉控制系统投入使用后,经试验运行,发现系统存在的一些问题,本研究对系统进行以下优化。

#### 3.1 加热炉备用高压鼓风机入口风门优化

##### 3.1.1 系统试运行存在问题

高压鼓风机是对加热炉执行鼓风助燃的一种设备,以系统检测的助燃空气压力为基准,经 PID 调节后输出至入口电动执行器控制其开度,达到稳定的空气压力。然后通过金属换热器预热后经各个燃烧段与煤气调节阀按一定比例进行配比燃烧。每座加热炉配两台高压鼓风机,采用一用一备形式,原设计系统中 HMI 画面仅采用一台画面调节器,执行实时压力数据的显示、设定数据、手自动的转换、调节阀开度调节及 PI 参数设定等功能。同时 PLC 控制程序中仅对一台电动执行器进行 PI 调节,而备用风机入口电动执行器则由 HMI 中“操作静止风机”按钮来改变操作模式。正常生产过程中自动模式或者没有人为改变操作模式的情况下,控制正常。如遇需要启用备用风机时,系统通过仅有的一套调节器与“操作静止风机”按钮混合操作,极易引起使用中的电动执行器开度减小,导致空气压力降到极限位,煤气切断阀自动切断,加热炉被迫停炉,从而影响生产的正常进行。

##### 3.1.2 改进措施

本研究在原有基础新增一套 PI 调节器,采用相同功能,并且在 PLC 控制器中新增控制程序,供备用电动执行器的调节控制,以达到两套调节系统各自独立控制的功能,从而有效地改善了系统的稳定性。

#### 3.2 万能加热炉炉底地坑抽水系统优化

##### 3.2.1 存在问题

原加热炉地坑水泵为就地操作箱来控制,启停条件由两种模式执行:①根据液位电极检测点确定高位抽水、低位停泵的自动抽水模式;②由操作人员根据现场情况手动模式直接控制水泵的启动、停止<sup>[10]</sup>。因设备及操作箱安装在加热炉炉底,另因液位检测不可靠,经常会常出现加热炉底水位增高,将炉底的液压管沟、部分机械设备及抽水泵淹没的事故,对设备正常运行造成极大影响<sup>[11]</sup>。

##### 3.2.2 改进措施

本研究将液位电极检测拆除,新增一台投入式液位传感器作为液位测量,将测量信号送入 PLC 进行控制。在 HMI 画面上增设一套“地坑水泵系统的软操作”画面,显示实时水位,配备就地/远程转换开关、自

动/手动转换开关、1#泵选择按钮、2#泵选择按钮、启动以及停止按钮等功能。本研究在未增加任何硬件成本的前提下,通过软件程序的改进优化而实现了全自动抽水。同时减小了操作人员的劳动强度,设备异常状态时也得到实时监控。

### 4 实施效果

(1) 加热炉的两台高压鼓风机拥有各自的 PI 调节器,具有独立控制的功能。启用方便,很好地解决了相互干扰问题,加热炉再没有因为启用备用高压鼓风机而停炉现象。提高了生产效率。

(2) 通过采用高精度液位传感器,大大地提高了检测精度,能够实时监控加热炉炉底水位的情况,从而避免了炉底的部件水淹没的事故,保证了设备的正常运行。

### 5 结束语

加热炉仪表自动控制系统是以 SIMATIC STEP7 为编程软件,采用 PLC 控制技术,对加热炉炉膛温度调节、流量控制、压力设定、安全连锁等方面进行控制。系统运行过程中,出现在启用备用高压鼓风机时加热炉因供气不足而停炉故障,而且还经常出现加热炉底的液压管沟、部分机械设备及抽水泵淹没的故障。笔者通过研究分析,找到了解决办法,并对系统进行了优化设计。系统改造后,加热炉仪表基础自动系统工作稳定,自动化程度高,各项性能指标达到设计要求,该系统也为后期的维护及功能扩展提供了开放、易用的系统环境。该项目的成功实施,大幅减少运行过程的故障率,满足了工艺要求,保证了产品的质量、产量和降低了能耗。系统具有较好的经济效益、实用价值和借鉴意义。

### 参考文献(References):

- [1] 袁善华.高线步进梁加热炉控制系统设计与应用[D].南昌:南昌大学机电工程学院,2009.
- [2] 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系统[J].自动化仪表,2014,25(11):60-62.
- [3] 邓峰.轨梁厂万能线步进梁式加热炉工艺设计特点[C]//全国轧钢生产技术会议文集.宜昌:中国金属学会.2006:824-827.
- [4] 廖常初.S7300/400PLC 应用技术[M].3 版.北京:机械工业出版社,2012.
- [5] 张中元.工业基础自动化[M].攀枝花:攀钢职工技能培

训教材,2012.

- [6] 翟华,李贵闪,严建文,等.基于以太网技术的大型冲压生产线的远程监控系统设计[J].机床与液压,2012,40(1):92-94.
- [7] WALL R W, KING B A. Incorporating plug and play technology into measurement and control systems for irrigation management[C]//ASAE Annual International Meeting. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers,2004:042189.
- [8] WU SHAO-EN, BIAZ S, WANG HONG-GANG. Rate ad-

aptation with loss diagnosis on IEEE 802.11 Networks[J].

- International Journal of Communication Systems. 2012, 25(4):511-528.
- [9] 北京凤凰工业炉有限公司.攀枝花钢铁(集团)公司新建万能轧制生产线步进梁式加热炉技术规格书[M].北京:北京凤凰工业炉有限公司.2015.
- [10] 赵排官,张玉宏,浅析步进梁式加热炉[J].中国新技术新产品,2011,19(24):129-130.
- [11] 曹树卫.板坯步进梁式加热炉工艺设计及装备[J].钢铁研究,2007,35(1):46-54

[编辑:周昱晨]

#### 本文引用格式:

杨莉华.基于 PLC 的加热炉仪表控制系统优化研究[J].机电工程,2016,33(8):1033 - 1038.

YANG Li-hua. Optimization for control system of heating furnace instrument based on PLC[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(8):1033 - 1038.

《机电工程》杂志:<http://www.meem.com.cn>

(上接第 1015 页)

通过对比实验,使用该高压电源的介电抛光方法的材料去除率比传统 CMP 方法提升了 15.5%,硅片最终表面粗糙度值达到 4.25 nm,证明了该高压可调电源的工程应用价值。

#### 参考文献(References):

- [1] KIM W B, PARK S J, MIN B K, et al. Surface finishing technique for small parts using dielectrophoretic effects of abrasive particles [J]. **Journal of materials processing technology**, 2004,147(3):377-384.
- [2] 陈慧英,朱岳麟,张鹤腾,等.油品中无机微粒的介电响应[J].石油学报,2010,26(2):289-293.
- [3] 许静,赵湛,刘泳宏,等.缓冲液成分对介电泳力的影响[J].仪表技术与传感器,2009(B11):78-80.
- [4] KUSUMI T, SATO Y, AKAGAMI Y, et al. New polishing method using water-based slurry under AC electric field for glass substrate[J]. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 2011,323(10):1394-1397.

- [5] 史平君.几种特殊领域应用的高压电源及脉冲电源[J].电力电子技术,2014,48(12):18-21.
- [6] 戚栋,王宁会.实用电源技术手册特种电源分册[M].辽宁:辽宁科学技术出版社,2005.
- [7] 葛涛,史平君,李振国.一种基于高频、高压隔离技术的新型离子源电源设计方案[J].中国原子能科学研究院年报,2009,20(1):69-71.
- [8] 许祥义,赖伟全.电子辐照加速器大功率工频高压电源[J].原子能科学技术,2006,40(1):116-120.
- [9] 周志敏,纪爱华.IGBT 驱动与保护电路设计及应用电路实例[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [10] 夏思泗,夏霄红,俞琳,等.新型半桥式 IGBT 逆变中频感应加热电源[J].电力电子技术,2006,40(6):63-64.
- [11] 罗毅飞,刘宾礼,汪波,等.IGBT 开关机理对逆变器死区时间的影响[J].电机与控制学报,2014,18(5):62-68.
- [12] 赵鹏涛,杨长林,侯荣昌.电缆检测多频率激励信号源的研究[J].电测与仪表,2007,44(8):53-56.

[编辑:周昱晨]