

真空炉分布式监控系统的设计与实现

Design and Implementation of Distributed Monitoring Control System of Vacuum Furnace

蒋兴加^{1,2} 姚彩虹¹(兰州师范高等专科学校工学系机电测试研究所¹,兰州 730070;西安交通大学电信学院²,西安 710049)

摘要: 基于真空钎焊性能和高可靠性等的要求,利用 PLC 自动控制程序取代传统的手动控制,使有关设备和工作参数及工艺流程能有机的协调;为进一步提升真空车间的自动化水平和产品的质量,引入了实用而高效的分布式监控系统,发挥集中管理、分散控制的优势。开发适合真空钎焊炉温度控制特点的智能模糊整定 PID 参数的控制方案,明显地改善了温度控制的精确性。实际运行表明,该控制系统显著地提升了工作效率和产品的质量。

关键词: 真空炉 监控系统 分布式控制

中图分类号: TP27

文献标识码: A

Abstract: According to the demands of high performance and reliability of vacuum braze welding, the traditional hand-controlled is replaced by PLC automatic control program, so the relevant equipment and operational parameters and technological process are organically coordinated. In order to enhance the level of automation in vacuum plant and the quality of products, the distributed monitoring system with practicality and high efficiency is adopted to exert advantages of centralizing management and distributing control. The control strategy for developing the intelligent fuzzy integrated PID parameters obviously improves the precision of temperature control. The fact indicates that the control system markedly enhances operational efficiency and product quality.

Keywords: Vacuum furnace Monitoring system Distributed control

0 引言

针对航空航天等特殊环境和高可靠性的要求,为生产出高品质和高性能的产品,应在真空条件下进行钎焊和热处理,真空车间中主要包括真空钎焊、真空淬火和真空退火。最为核心的设备是真空炉,控制的关键是真空度和温度参数。

对于投产已十几年的真空车间,设备明显老化,真空度和温度控制的有关性能指标已不能满足需要,传统的手动控制系统严重地制约了真空钎焊和真空热处理的品质 and 工作效率,为此在挖掘已有设备潜力的基础上,引入自动控制系统势在必行。

由于 PLC 具有可靠性高和抗干扰能力强等特点,适用于复杂的顺序控制场合,结合真空钎焊工作流程和用户的实际需要,在本系统中,以 PLC 作为真空炉电气控制系统的核心,实现基本的控制目标。为进一步实现真空钎焊、真空淬火和真空退火的有效监控,充分发挥集中管理和分散控制先技术的应用,在真空车间中引入分布式监控系统。

为确保系统工作的高可靠性和冗余性以及发挥现有设备的作用,所设计的分布式系统采用双方案方式,

上位机计算机控制方案和传统的 PLC 控制系统,以上位机控制方案为主,PLC 控制为辅。

下面以真空钎焊炉系统作为介绍对象,真空淬火和真空退火炉基本类似。

1 控制系统硬件设计

根据系统的组成、硬件设计的原则以及系统的工艺和性能的需求进行系统硬件的设计工作,为系统的良好、可靠、高效地工作奠定坚实的基础,下面主要从真空炉系统的组成、分布式监控系统和电气控制系统这三部分进行简要说明。

1.1 真空炉系统

真空炉系统主要由真空系统、加热系统及有关控制设备组成。

真空系统由机械泵、扩散泵、主路阀、旁路阀和高真空挡板阀等组成。机械泵为粗真空装置,其动力源是 1 台三相交流电动机,通过交流接触器的吸合与断开实现泵的工作与停止。高真空油扩散泵为高真空装置,借助前级机械泵和扩散泵油及电炉加热的作用完成高真空度要求的抽气工作,通过交流接触器的吸合与断开控制其电加热炉的通断,进而控制扩散泵的动

作与停止。

加热系统由加热电源和加热元件组成,加热电源选用磁性调压器,利用直流激磁电源实现无触点的带负载的平滑无级调压,其直流激磁电源由功率调控器控制,而功率调控器利用温控仪通过热电偶检测到的炉温当前值与设定值之差,经PID运算,输出4~20 mA的直流信号,控制磁性调压器中的磁饱和电压,进而按温控仪所设置的温控曲线实现加热电流和温度的自动调控。

在所设计的分布式控制系统中,充分利用计算机强大的数据运算和处理功能,及时监控系统的工作状态,尤其是引入智能PID参数的自动整定,进一步提升真空炉系统的控制指标。

1.2 真空钎焊炉工作概况

真空钎焊是工件整体加热,能精确控制温度加热均匀、工件变形小,能钎焊难焊的高温合金材料,不用钎剂,钎焊质量好,而广泛应用于重要工件的焊接。

真空钎焊炉由真空系统和加热系统组成,真空系统用来满足真空钎焊工艺要求的真空度;加热系统使零件加热并熔化钎料,完成零件钎焊,其过程由温控仪自动实施调控。

真空钎焊的主要工作过程为:先将装配好的工件放进真空室,开动机械真空泵,待系统达到一定真空度后,接通扩散泵,将真空室抽至所要求的真空度后开始按要求升温加热。在整个加热过程中应使真空系统持续抽气,以维持所要求的真空度。加热速度不应太快,以免真空度急剧下降。加热过程完成后,进行冷却,当炉内温度降至出炉温度时出炉,完成零件的钎焊工作。钎焊后一般冷却到低于1500℃才允许出炉,以免工件氧化。

1.3 分布式系统总体设计

分布式系统的方案设计应遵循下述基本要求:

- ① 安全性:是设计控制系统的首要任务;
- ② 实用性:工业控制系统的设计强调控制设备如PLC与工业现场设备如开关、接触器、智能仪表等之间在功能上要和谐搭配,在控制要求上符合工业控制的行业标准。在系统控制和功能实现及操作上,要求简洁明了,显示信息直观清楚;
- ③ 可靠性:真空炉工艺流程要尽可能连续地不间断地正常工作,以免影响工件的质量。

基于以上要求把系统分为过程管理站和现场控制级两个层次,充分发挥分布式系统的优势,在分布式计算机控制系统中,各子系统的温控仪、真空仪、PLC独

立工作,利用RS-232/422转换模块实现与上位机的通信工作。当某个设备出现通信故障时,不影响上位机对其它有关设备的监控,而当上位机出现故障时,也不影响现场控制级有关设备的正常工作。系统的总体结构如图1所示。

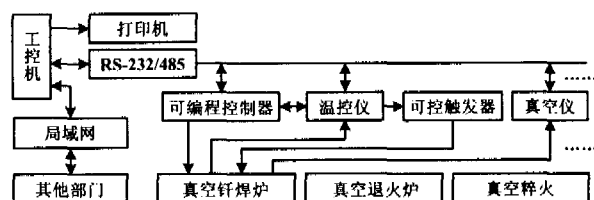


图1 系统结构图

Fig.1 Block diagram of system structure

上图重点揭示了真空钎焊炉的主要设备连接关系,真空退火炉和真空粹火炉与其基本类似。

1.4 电气控制系统设计

以PLC为核心的电控系统在真空炉系统中对真空钎焊工作的安全、质量、高效、可靠等各方面的要求,具有决定性的作用,电气控制系统由控制柜、操作显示台、检测元件和执行元件4大部分组成。

- ① 控制柜内部装有可编程序控制器、接触器、熔断器、继电器、可控整流器等元件。
- ② 操作显示台面上装有各种操作按钮、指示灯、温控仪、触发器、记录仪、真空计、电压表和电流表。
- ③ 真空炉系统的检测元件主要有热电偶、真空计及电离规和水压表。
- ④ 执行元件主要包括各种电磁阀、磁性调压器、加热元件、电动机及指示灯。

同时,电控系统中的PLC、温控仪和真空仪等具有通信功能的智能化设备都与上位工控计算机构成分布式系统。

1.5 主要设备选型

上位机选用台湾研发的PIV工控机;磁性调压器选TSH63KVA;真空计选ZDF-III型电阻、电离复合真空计;温控仪选用日本岛电的FP21;PLC选用ORMON的CPM1A-40CDR-A型CPU及CPM1A-20EDR外部扩展I/O,CPU单元具有24点输入和16点继电器的输出,扩展单元具有12点输入和8点输出。

2 分布式系统软件开发

为确保真空钎焊零件的性能和质量,其核心是按照钎焊的工艺流程提供与之相适应的温度和真空度。为完成对真空钎焊系统的监控工作以及为保证系统的可靠运行,除了硬件按照上面的有关要求进行选择

设计外,软件的功能和设计工作也非常重要。在设计时必须熟悉整个工艺系统和运行规程,软件设计应以全开放、运行时尽量减少人工干预和操作、系统参数和工艺参数在线可调、工作曲线和状态直观显示、便于监控和操作、掉电自保护和上电自恢复等为原则,做到运行时,程序不死机、信号采集显示无干扰。

在分布式系统设计中采用两级分布式控制方式,系统的下位机一般采用带微处理器和具有通信功能的智能控制器及仪表。系统的上位机一般是工业控制计算机,它连接多台下位机,用于实现人机对话、完成集中监视、集中操作和集中管理等多项任务。为确保系统工作的高可靠性以及发挥现有设备的作用,所设计的分布式系统采用双方案方式,上位机计算机控制方案和传统的 PLC 控制系统,以上位机控制方案为主;当工控机或网络通信故障时,PLC 控制系统工作方案投入工作,尤其是为便于突发事件的出现和及时处理工作,以及为配合真空炉系统的实际调试工作,在 PLC 的控制方案中,引入了每个真空钎焊工艺流程的完全手动控制方式。

2.1 上位机软件开发

计算机分布式智能控制系统,应具有实时性、可靠性、可维护性、过程量采集和输出、人机交互、通信功能、信息处理和算法等特点,为此在软件开发时,应充分从系统的基本要求和特点出发,以满足系统高性价比的目标。

2.1.1 开发软件的选用

尽管像西门子的 WinCC 和北京昆仑通态的 MCGS 等专业的组态软件功能强大、使用方便简单等优势,但也存在一些不足,比如开发的用户界面不够活泼;数据库操作方面的功能比较弱,且性能差;尤其高价位的组态软件,加重了经济负担。在中小规模的控制系统中,VC、VB 等常用编程开发工具不仅具有巨大的灵活性,同时开发周期由于模块、控件及组件的使用也大大缩短了,所以使用 VC、VB 等常用编程开发工具进行监控软件的开发是一种切实可行的方法。由于 VB 易学易用、强大的功能和良好的界面,VB 除了操作系统不能开发外,没有什么程序它不能开发,为此,上位工控机的监控软件的开发工具选用 VB 6.0。

2.1.2 上位机功能规划

利用上位机及所开发的软件,可对各控制器及仪表的工作参数全面监视和控制,并可完成如下功能:

- ① 监控温控仪和真空计的工作状态;
- ② 监控温控仪和真空计的控制参数,对于设定值、输出百分比、PID 参数、输出限幅、报警上、下限等

进行显示和传输到有关仪表,并采集显示记录各温控仪的测量值及其曲线,也能打印所记录的曲线及数据。尤其可以根据系统的当前工作状态和所设定的目标实现智能 PID 参数的整定,以实现真空炉的最佳控制工作;

③ 监控 PLC 的工作状态和控制参数,上位机不仅完成 PLC 的编程,也要与 PLC 实现通信,以满足生产工艺的要求;

④ 利用上位计算机,设计开发和整定智能 PID 参数用于指导温控仪的 PID 控制输出,实现真空炉的最佳控制工作。

2.1.3 主要程序模块

由于 VB 6.0 是面向对象的开发语言,利用 VB 6.0 开发的管理应用软件操作简单易行、通用性强,具有很强的生命力和实用价值。根据系统基本功能需要,规划好系统的工作界面,协调好各个程序模块的分工,把它们相应地分配到工具条按钮和菜单项事件中。设计开发源程序应充分注意 VB 是面向对象的事件驱动的工作方式。下面主要从上位机与 PLC、FP21 的通信和其监控画面以及智能 PID 算法的开发进行介绍。

2.1.3.1 上位机与智能设备的通信

开发上位机与 PLC 和 FP21 的通信程序,首先要掌握 PLC 和 FP21 设备的通信格式,其次利用 VB 6.0 中的 COMM 控件开发出所需的程序模块,实现上位机对现场控制级智能设备的有效监控工作。利用 VB 6.0 的 MSCOMM 控件控制串行口,该控件屏蔽了通信过程中的低层操作程序,只需设置和监视控件的属性和事件,就可很方便地实现串行异步通信,它有事件驱动通信和查询通信两种通信方式。

2.1.3.2 开发监控程序

① 要求程序及画面能够直观地显示各个工艺参数的状态和数据,尤其关键的监控数据必需一目了然,画面的转换要快捷、联系要直接;

② 要有相应的趋势图,鉴于工业控制的特点,要能在画面上直观地看出工艺参数的趋势走向,便于进行分析、采取相应的操作及控制策略;

③ 为便于管理者的监管,要有历史数据库;同时,对主要的工艺参数进行报警监控,以便及时处理生产过程中出现的问题;

④ 在监控程序中要能对有关数据进行统计和打印。

2.1.3.3 智能整定 PID 算法

尽管日本岛电温控仪 FP21 是高性能的 PID 调节

器,能满足大部分场合的需要;但由于真空炉系统具有非线性和时变特性,尤其航空航天高科技领域的特殊要求,FP21 的 PID 参数整定方法及其内部数据处理的局限性,不能满足要求。

为此,在上位监控计算机中,引入智能 PID 控制算法,使其具有自整定和自综合功能。由于模糊控制对于难以确定精确数学模型或具有非线性、时变和纯滞后的被控过程,通过模糊规则和模糊推理方法对 PID 控制器参数进行自校正,能获得较好的控制性能。模糊自整定 PID 是在 PID 算法的基础上,通过计算当前系统误差 e 和误差变化率 ec ,利用模糊规则进行模糊推理,查询模糊矩阵表自动进行 PID (kp, ki, kd) 参数调整。系统 PID 智能整定流程如图 2 所示。

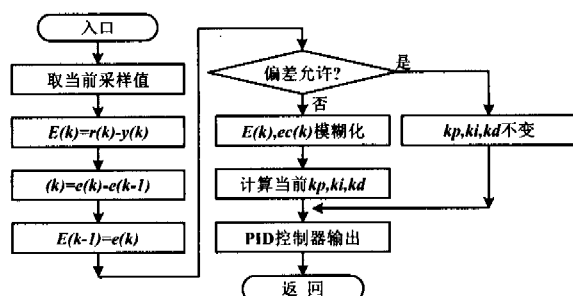


图 2 PID 智能整定流程

Fig. 2 Flowchart of PID intelligent tuning

2.2 PLC 控制流程及程序开发

PLC 的程序是真空钎焊工艺流程实施和性能保障的最为基本和核心的程序,PLC 程序的设计成功与否至关重要。

尽管 PLC 的编程语言多种多样,由于梯形图直观易懂、开发效率高,是应用最广的一种编程语言,在 PLC 程序开发过程中选用梯形图作为开发语言。PLC 的程序设计方法也是多种多样,但由于功能图表法来源于顺序控制的逻辑思想,而且这种设计方法易学易用,程序的调试、修改、阅读直观易懂以及大大缩短了设计周期、提高了设计效率,所以 PLC 的程序开发采用功能图表法。

PLC 的程序设计重点就是依据钎焊工艺的流程围绕温度和真空度的控制,为提高工作效率,以自动工作方式为主,为便于调试和特殊情况的及时处理,提供了手动工作方式,两种工作方式能按照当前的工序状态实现无缝切换。根据钎焊工艺和异常情况处理的要求,立足于系统工作的可靠性和稳定性及钎焊质量的优异性进行控制程序的设计。其自动方式的控制程序流程如图 3 所示:

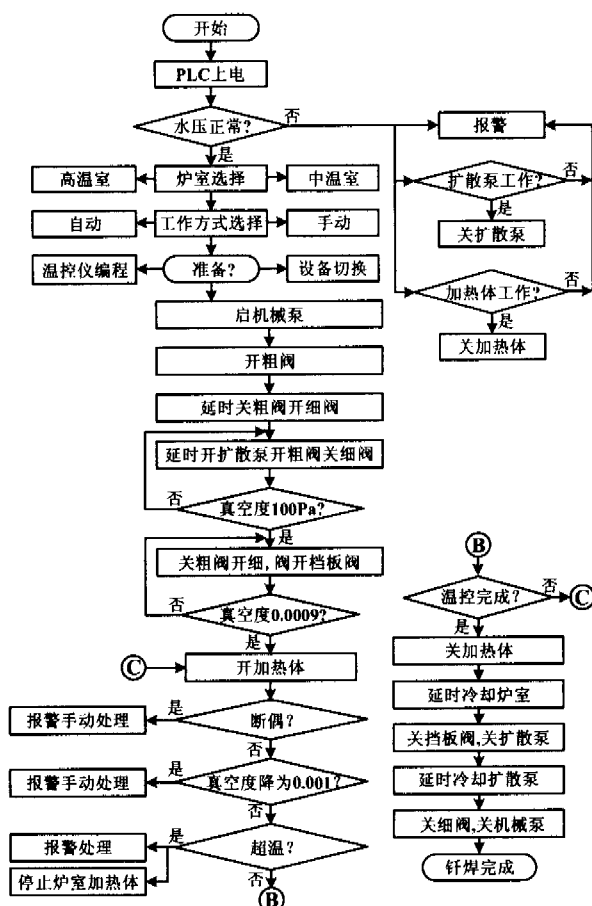


图 3 真空钎焊工艺流程

Fig. 3 Flowchart of vacuum braze

根据顺序控制设计的功能图表法,由工艺流程图,得到相应的功能图表,再由功能图表转换为梯形图,把程序下载到 PLC,经调试和实际运行,确认所开发的 PLC 程序的正确性。

2.3 几点注意事项

2.3.1 联锁互锁应用

从系统工作的可靠性和安全考虑,两个炉室之间的有关设备工作实现了软硬方面的双重互锁,扩散泵和机械泵间、扩散泵与炉室加热体间、放气阀与炉室加热或扩散泵间实现了联锁控制。尤其对于系统工作异常时也引入了联锁控制,以进一步提高系统工作的可靠性。

2.3.2 炉室加热体启停具体顺序

炉室加热体的启停主要涉及到磁性调压器的原边、副边、温控仪和可控整流器的触发器,为确保系统工作的可靠性、安全性和使用寿命。不论是在正常状态,还是故障状态,加热体的启、停动作在编程时应按照以下顺序进行,而且在程序中必须引入联锁和互锁

(下转第 43 页)

假设 A 点的系统时间为 t_1 , B 点的系统时间为 t_2 。考虑到二者的系统时间不能完全一致,将差值定为 Δt ,则 B 点的系统时间修正为 $t_2' = t_2 + \Delta t$ 。

将 A 点发起请求的时刻作为参数传给 B 则调用过程的时间为 $t_2r' - t_1r = t_2r + \Delta t - t_1r$ 。同理 B 点至 A 点的响应时间为 $t_1q - t_2q' = t_1q - t_2q - \Delta t$,所以一个来回的时间为 $t_2r - t_1r + t_1q - t_2q$ 。

3.3 测试数据及结论

表 1 Internet 环境下系统性能测试数据表

Tab. 1 System performance test data under internet environment

Round-Trip 时间/s	进程时间/ms
5.030 999 999 988 537 6	531
8.812 000 000 062 489 6	469
2.358 999 999 999 849 6	500
3.735 000 000 047 289 6	468
2.265 999 999 998 025 6	500
4.000 000 000 007 059 2	469
6.718 000 000 012 879 7	437
5.407 000 000 019 827 2	453
5.125 000 000 015 584 0	484
12.640 999 999 983 318 7	523

由测试数据我们得出以下结论:

① Web Service 调用过程的时间绝大部分都花费在数据的传输过程,Web Service 的 Processing Time 时间均值仅为 483.4 ms;

(上接第 39 页)

控制。

① 启动时,磁调原边→磁调副边→温控仪→触发器→加热体开始工作;

② 停止时,触发器→温控仪→磁调副边→磁调原边→加热体停止工作。

2.3.3 报警功能

在 PLC 的硬件线路及程序设计中,为了提高系统工作的安全性和可靠性,设置了四种报警功能,即超温、断偶、水路失压及锂电池电量不足,若出现报警,10 s 内应排除故障,否则自动切断加热电源,以免造成严重后果。

3 结束语

在真空炉控制系统中引入分布式监控系统,炉温、

② 数据在 Internet 上传输的不确定性非常大,10 次测试当中费时最少的一次为 2.35 s 左右,最长的一次达到了 12.64 s,可以认为在 Internet 环境下系统的时效性是无法保证的。将上述测试在局域网中重复, Round-Trip 的时间均值可以降到 171.00 ms,因此系统必须构建在网络状况良好或专有网络上以保证数据传输的稳定。

4 结束语

本文提出了一种基于 Web Service 技术的 CORBA 接口发布方案;并提出了一个基于 Web 技术的分布式监控系统的体系结构;在我们开发的分布式电力监控系统中这种方法得到了成功应用,并在 BCB 6.0 中调试通过,对于使用 CORBA 开发,并想通过 Web Service 技术实现集成的系统具有现实意义。

参考文献

- 1 OMG Management Group. Realtime CORBA Joint Revised Submission[M], 1999.
- 2 Thomas Erl. Service-Oriented Architecture[M]. Prentice Hall PTR, 2004.
- 3 朱其亮,郑 斌. CORBA 原理及应用[M]. 北京:邮电大学出版社, 2001.
- 4 Michi Henning, Steve Vinoski. 基于 C++ CORBA 高级编程[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.
- 5 李 维. C++ Builder 6 SOAP/Web Service 开发[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2002.

修改稿收到日期:2006-01-11。

第一作者黄熙,男,1982 年生,现为西北工业大学计算机学院在读硕士研究生;主要研究方向为软件工程与网络软件。

炉温均匀性和炉室的真空度实现了高度的协调和有效地控制,不仅提升了工件的质量和工作效率,也提高了系统的经济效率。

参考文献

- 1 陈 宇. 可编程控制器基础及编程技巧[M]. 第 2 版. 广州:华南理工大学出版社, 2002:20-25.
- 2 上海欧姆龙自动化系统有限公司. SYMAV-CPMIA 可编程序控制器操作手册[M]. 2002:30-35.
- 3 王 鹏,任耀文. 双室真空钎焊炉的自动控制[J]. 电焊机, 2003, 33(5):40-35.
- 4 周 颖. VB 6.0 实例精通[M]. 北京:清华大学出版社, 2000: 90-96.

修改稿收到日期:2005-12-21。

第一作者蒋兴加,男,1969 年生,现为西安交通大学计算机应用技术专业在读硕士研究生,讲师;主要从事自动控制和计算机网络开发领域的研究。