

一种基于 PID 的新型层压器自动控制系统

鲜 睿, 秦会斌*

(杭州电子科技大学 新型电子器件与应用研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要:为实现层压器内温度和压力两项物理参数的自动控制,设计了一种新型的层压器控制系统。该系统的测量单元包括铂金电阻(PT100)温度传感器和扩散硅压力传感器,执行机构包括可控硅和智能电动球阀,过程控制由比例积分微分(PID)调节器完成,调节器通过控制执行机构调节温度和压力,从而使温度和压力按照设定的经验工艺曲线变化;此外,为便于分析数据和组成分层系统,设计了上位机软件,按照一定的通讯协议从调节器获取数据和下达指令。在控制现场,采用了临界比例度法和经验凑试法寻找最适合系统的 PID 参数,并根据上位机记录的实际工作曲线与设定曲线的耦合度分析了运行效果。研究及试验结果表明,该系统的温度设定值与实际值的误差在 ± 1 °C 以内,压力稳定在 ± 0.02 MPa 以内,实际工作曲线与设定曲线基本吻合,系统运行稳定,可以满足工艺需求。

关键词:层压器;PID 调节器;过零触发;集散控制;参数整定

中图分类号: TH69;TP273;TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001 - 4551(2012)11 - 1294 - 05

Automatic control system of laminate device based on PID

XIAN Rui, QIN Hui-bin

(College of Electronic Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at automatic control of two physical parameters which include temperature and pressure in laminate device, a new type of laminate device control system, whose measurement unit was consisted of both PT100 temperature sensor and proliferation silicon pressure sensor, executive body was comprised of silicon controlled rectifier(SCR) and intelligent electric ball valve, process control was completed by proportion integration differentiation(PID) regulator which controlled executive body to regulate temperature and pressure, was designed to change both of them on basis of configured experienced craft curve. In addition, PC software which follows fixed communication protocol was designed to acquire data from regulator, and to send instructions to it for convenience of analyzing data and building hierarchical system. In the control filed, the optimum PID parameter was searched by the way of the critical ratio degree and the experiential trial, and the operating effect was analyzed on the basis of the coupling degree between actual work curve recorded by PC software and the rated one. Many experiments result shows that the error between temperature set value and actual one is less than 1 °C, and pressure could be stabilized in less than 0.02 MPa, basically actual work curve is consistent with the set curve. These experimental results show that the system runs stably, and can satisfy process requirement.

Key words: laminate device; PID regulator; zero-crossing trigger; distributed control; parameter tuning

0 引 言

随着工业自控领域的迅猛发展,各种新型控制理论也相继诞生,但是大多数工控对象的动态特性尚未被完全掌握,得不到其精确的数学模型,故限制了其推

广应用。作为一种最基本的控制算法,基于 PID 的过程控制被不断完善以应用于工控的各个领域,尤其是在温度、压力等参数的控制领域。而在其使用过程中在决定算法参数时,往往需要根据系统运行的实际情况进行现场调试,这样才能发挥 PID 的最佳控制效果。

收稿日期:2012 - 05 - 15

作者简介:鲜 睿(1987 -),男,四川巴中人,主要从事电路与系统、工业自动化控制方面的研究. E-mail: corexian@163.com

通信联系人:秦会斌,男,教授,硕士生导师. E-mail: qhb@hdu.edu.cn

层压器是覆铜板行业的重要设备之一,层压器的发展可以划分为两个阶段:20 世纪 90 年代以前,层压器为非真空机,多采用蒸汽加热、水冷却的方式,设备中压机与上下料架的配比为 1:1,其优点在于造价较低、安装及维修方便,缺点是生产效率低、故障率较高。20 世纪 90 年代以后,层压器多为真空压机,这样可以降低产品的成型压力。据相关数据显示,同型产品的单位压力较非真空压机降低 40%~50%,压力的降低使得控制多层板的厚度变得容易,产品的翘曲度较小。此外,设备以压机组的形式出现,一般 2 台或 3 台热机配 1 台冷机,热机只负责热压成型,冷机负责成型后的产品降温,因此生产效率得到成倍的提高。设备的控制方式主要有以下 3 类:①以继电器为主控元件,这类方式在早期应用较多;②采用 PLC 控制的方式,这类方式易于实现整套设备的自动化控制,运行起来更可靠、稳定;③应用高级微处理器或工业 PC,这类方式更便于组成大规模的控制系统,且功能的配置更加灵活^[1-2]。

目前,多数厂家使用的层压器结构复杂,其控制系统昂贵,故而本研究在原层压装置的基础上,构建一套简易、高效的控制系统,其主要用途是实现覆铜板层压工艺,即在一个温度、压力可控的环境中,利用高压将铜箔、粘合剂和基板牢固地压合在一起,而要想得到优质的产品,层压器必须按照设定的经验工艺曲线工作,工艺曲线共 3 条,它们分别代表温度、压力、真空度的变化,其中温度和压力是需要严格控制的物理参数,系统采用优质的温度、压力测量变送模块,实现高精度的信号采集,利用基于 PID 算法的调节器实现精准的无缝控制,并通过设计上位机控制软件,提高自动化控制和管理水平。

1 设计方案及要求

层压器系统主要由 5 个部分组成:①工艺生产的核心—层压器,它包括炉体、加热器、加压泵;②测量及控制模块,测量部分包括温度传感器、压力传感器,以及两者的信号变送单元,控制部分包括温度调节器和压力调节器;③执行机构,它包括可控硅调压/调功模块和智能电动球阀;④通讯接口和上位机控制;⑤整个系统的核心,它包括市电接口和电源隔离模块。

系统组成框图如图 1 所示。

1.1 层压器部分

层压器部分的示意图如图 2 所示。

在实际的设备中,炉体设计压力为 3 MPa,温度为

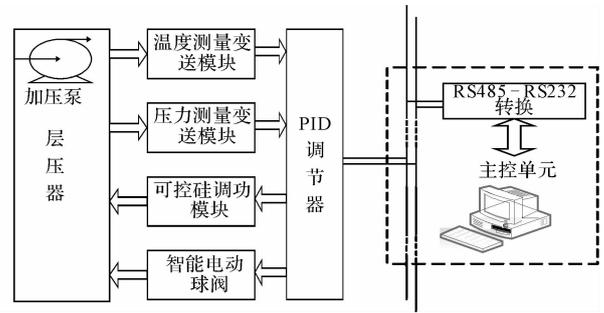


图 1 系统组成框图

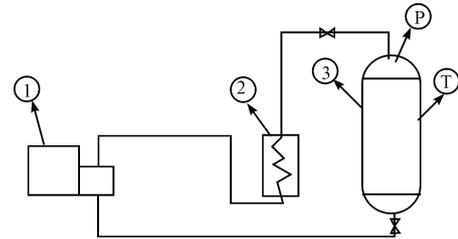


图 2 层压器示意图

①—加压泵;②—电加热器;③—炉体;P—压力采样点;T—温度采样点

300 ℃,几何容积为 0.138 m³;电加热器使用电阻性的加热棒,功率为 9 kW,该加热棒固定在炉体内,当炉内灌满水时,即可启动加热棒进行加热;加压泵使用手提式电动试压泵,最大压力可达 6 MPa,它是通过向炉内注水实现升压,在生产中,即是使用加压泵对层压器升压和补压;P 和 T 两处设有连接口,可以安放压力传感器和温度传感器。

该设备工作过程简单描述如下:当完成试样入炉、注水、炉体密封等准备工作后,即可启动加热棒升温,且按需求给设备升压。早期的生产设备往往只有这部分,故而其生产过程难以控制,后面将介绍层压器的电气控制部分。

1.2 执行机构部分

该部分包括双向可控硅调功模块和智能电动球阀,前者控制加热棒功率,后者完成压力的调节。双向可控硅是一种功率半导体器件,常被用于市电加热系统,通过将该器件串接在主回路中,然后通过触发信号改变它的导通角来实现调节电压或功率的目的,其触发方式有过零触发和移相触发^[3-4],该系统加热棒是电阻性负载,采用过零触发双向调功的方式,从而可大大简化与调节器的连线。

在选择可控硅时,首先要确定其连接方式,而后需根据加热器的功率确定其平均通态电流 I 和耐压值 U ,对于电阻性负载,取值可在额定值的 3 倍左右,而

对于感性负载,取值一定要在额定值 5 倍以上;最后要注意它所需的触发脉冲宽度和高度,必须要匹配触发模块的控制信号。该系统采用双向可控硅过零触发的连接方式,TA 与 GA 与调节器触发板对应接口相连。

智能电动球阀负责调节炉内的压力,由于层压器内将会逐渐变成一个高温、高压的环境,必须选择能经受得住如此恶劣环境的球阀,再者球阀的开关角度应是可调节的,开关的速率不能太慢,球阀管径不能太大,整机体积和质量不能太大。

本研究所选阀门参数如下:公称通径为 DN6;公称压力为 3.0 MPa;适用温度为 300 ℃ 以内;电气接口为 AC 220 V 电源线,输入控制信号线(4~20 mA DC)两根,输出反馈信号线(4~20 mA DC)两根;输出力矩能达到 400 N·m,重量在 8 kg 左右。调节器根据测量到的压力信号输出 4 mA~20 mA 之间的信号就可以控制阀门的开启度,也就是控制了介质向外排放的速率,从而实现炉内压力的调节。

1.3 测量及控制部分

该部分由温度、压力测量单元和 PID 调节器组成,由于在整个生产过程中,炉内温度不会超过 300 ℃,在本研究中,温度测量使用 PT100 铠装铂电阻,因为它在 -50 ℃~600 ℃ 范围内具有其他任何温度传感器无可比拟的优势,包括高精度、稳定性好、抗干扰能力强^[5]。本研究选用 PT100 一体变送器,其铂电阻封装在金属棒内前端,在顶部的金属盒装置中安放有能将阻值转换为 4 mA~20 mA 电流的电路板;根据层压器装置实际情况,可选择金属棒长度、密封接口管径等参数。

压力测量采用压力一体变送器,选用进口高品质扩散硅式压力传感器,经专用集成电路模块进行非线性补偿、变送信号,从而实现对液压、气压变化的准确测量和变送。该压力一体变送器的被测介质为液体、气体、蒸汽;测量范围为 0.1 MPa~4 MPa;供电为 24 VDC,输出信号为 4 mA~20 mA;输出信号与测量范围内的输入压力呈线性比例关系,即 0.1 MPa 对应 4.0 mA,4 MPa 对应 20 mA。接线方式如图 3 所示,电源、传感器、仪器三者组成一个电流回路,那么流过仪器的电流即反应了当前压力的大小,如果仪器需要的是电压信号,那么串接一个精密电阻将电流信号转换为电压信号即可(如 $R=250 \Omega$,电压为 1 V~5 V),前提是仪器接口有足够大的输入阻抗。

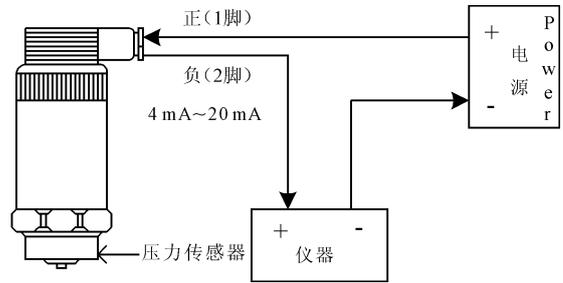


图 3 两线制电流输出接线图

整个系统的控制核心采用 PID 调节器,因为在实际工业生产应用中,调节器是构成自动控制系统的核心仪表,它的基本功能是将来自变送器的测量信号与给定信号相比较,并对由此所产生的偏差信号进行 PID 处理后,输出调节信号控制执行器的动作以实现对不同被测或被控参数(如温度、压力等)的自动控制,故而组建的系统运行起来更加稳定、高效。

该系统分别选用上海国龙 TCW-32B 温控仪和日本导电 SRS13A,前者控温,后者控压。该型号属于可编程温控仪,集成专家 PID 算法,具有 50 段编程能力,可设置任意斜率曲线,程序编排采用温度时间编排方法,如此可满足设置温度工艺曲线的要求;此外,它集成了过零检测或移相触发模块,可以直接驱动可控硅模块等大功率器件;还可配置标准 RS485 通讯接口,实现与上位机的通讯,以方便组建 DCS 系统。在系统中,它和 PT100 变送模块连接实现测温,与可控硅模块连接实现控温,通讯接口与上位主机相连。导电 SRS13A 是一款通用型的数字调节器,集成无超调专家 PID 算法,可设置 3 组独立的 PID 参数,编程段数为 32,还可设置正、反作用,故而它可以应用于更多非标准的系统。此外,它也集成有 RS485 接口,且内置有导电通讯协议,方便实现 DCS 控制。在系统中,它和压力变送模块连接实现测压,与电动球阀连接实现调压,通讯接口与上位机连接。

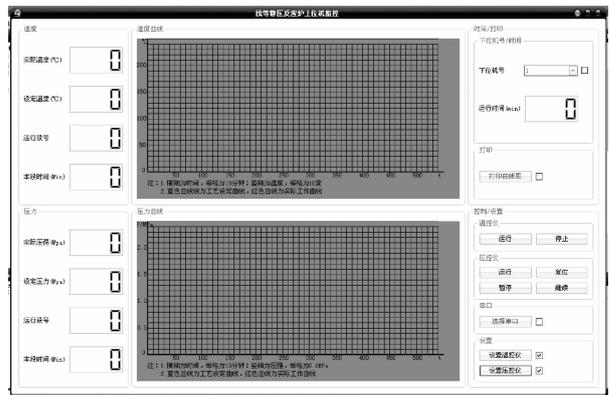


图 4 上位机控制软件

1.4 上位机联调控制

上位机控制软件如图 4 所示^[6-7],软件界面可分为 3 个区域:数据读取区、绘图区、控制区,研究者利用该软件可实现温度、压力联合控制,数据区可实时显示当前的测量数据;绘图区显示了系统运行的实际曲线,该记录曲线有助于工艺人员对系统进行分析,也便于 PID 参数整定;控制区的各个命令按钮可实现对下位机的实时控制。系统中所使用的 PID 调节器都自带 RS485 通讯接口,且内置 Modbus 通讯协议,上位机与调节器之间即是用该协议进行交互,大大简化了通讯的难度,提升了通讯的可靠性、稳定性。在此基础上,研究者可以组建分层控制系统,从而实现 DCS 集散控制。

2 调节器 PID 参数整定及其现场调试

PID 过程控制原理在很多文献中都有阐述,这部分主要讲述 PID 参数整定的方法,以及在实际生产中的现场调试。在运用 PID 过程控制的系统中,PID 算法是否适用于该系统是决定控制好坏的核心,本研究所选调节器内置的专家 PID 算法是一种统计大量样本而得出的 PID 算法,它的通用性较好,但一个新建工控对象的一些属性往往难以捉摸,对此需要调节算法里的几个参数,使得算法最佳匹配于当前系统,寻找该 PID 参数的过程即称为参数整定^[8]。只要参数设置适当,理论上均可以达到 0.1% 的控制要求,甚至更高。

2.1 PID 参数的整定

在工程上最常用的 PID 参数整定方法有临界比例度法、衰减曲线法和经验凑试法。临界比例度法是目前使用较多的一种方法,它是先通过实验得到临界比例度 P_B 和临界周期 T_k ,然后根据经验公式求出控制

器各参数值,其特点是:不要求得控制对象的特性,而直接在闭合的控制系统中进行整定,适用于一般的控制系统,但对于临界比例度很小的系统不适用,在某些生产过程中不允许振荡的场合也不适用;衰减曲线法是通过使系统产生衰减振荡来整定控制器的参数值的,有 4:1 和 10:1 两种衰减曲线法,其特点是比较简便,适用于一般情况下的各种参数的控制系统,但对于干扰频繁、记录曲线不规则、不断有小摆动的情形时,由于不易得到正确的衰减比例度 P_s 和衰减周期 T_s ,使得这种方法难于应用;接下来重点介绍一下经验凑试法,这也是该系统现场调试时采用的方法,它是根据经验公式先将控制器参数放在一个数值上,直接在闭合的控制系统中,通过改变给定值施加干扰,观察过程曲线,根据 P 、 T_i 、 T_d 对过程的影响,对这 3 个参数按顺序逐个整定,直到获得较好的过程曲线^[9-10]。在温度控制系统中,温度受干扰后变化迟缓, P 应小, T_i 要长,需要加上微分;在压力控制系统中,对象容量滞后一般,可不加微分,这是经验参考数据,遇具体问题时还需具体分析。

表 1 不同系统 PID 值参考表

温度设定值	比例参数 P	积分参数 I	微分参数 D
400 °C 以下	5 ~ 25	5 ~ 10	1 ~ 10
400 °C ~ 1 000 °C	5 ~ 50	4 ~ 8	1 ~ 6
1 000 °C 以上	5 ~ 20	1 ~ 3	0 ~ 4

国龙仪表提供的以温度区间划分的不同系统的 PID 参考值如表 1 所示,在表 1 中经验参考值的指导下,调试人员可很快凑出最佳 PID 参数,获得较好的控制效果。此外调节器也可以进行自整定,该功能大大有利于整定经验缺乏者,但是如:硅钼棒炉、硅碳棒炉等不宜进行自整定,故而掌握经验凑试法还是很重要的。另外,压力控制系统的参数整定方法与此类似。

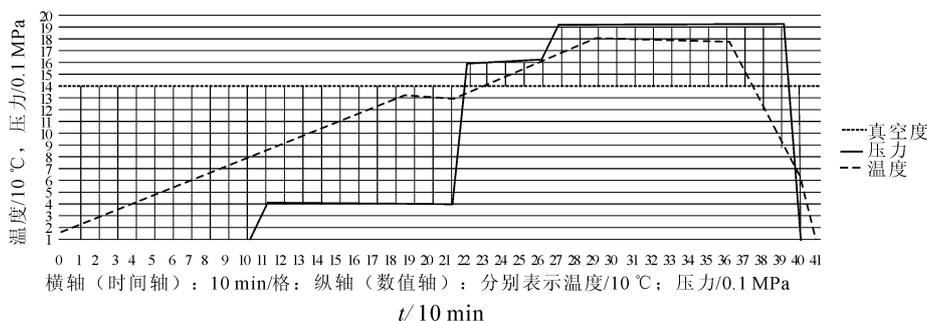


图 5 浅等静压工艺曲线

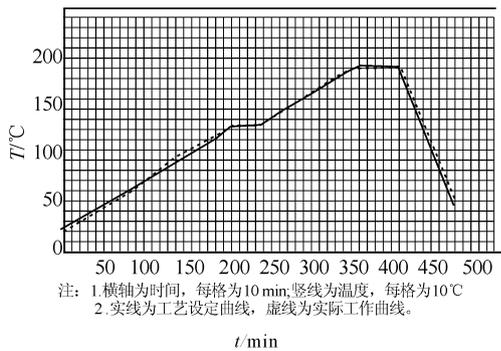
2.2 现场调试及数据分析

浅等静压工艺曲线如图 5 所示。以该图作为一份

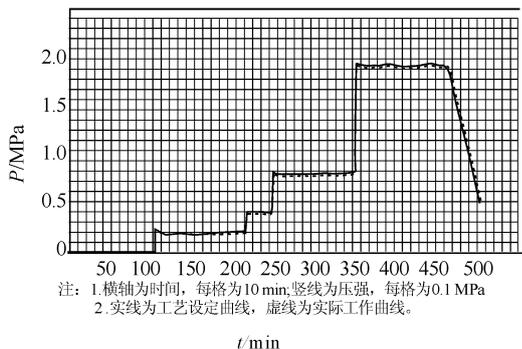
系统工艺曲线图,3 支曲线分别代表温度、压力、真空度的变化。当拿到这样一份工艺图时,首先应搞清楚

各控制变量的变化过程,如图中升温的速率、恒温的时间等,然后把各变量工艺曲线按段编程输入对应的PID调节器中,编程完毕就可以设定PID参数值,先按照经验值设定P、I值即可。接着开启设备运行,观察实际运行的工作曲线,记录误差的变化,若设计有上位机软件,可用其记录整个运行过程,这让观察记录的工作变得简单,经过一段时间的观察,确定误差的变化趋势,先改变P值,如果误差值是发散的,那么就减小P值直到误差值稳定,即等幅振荡,这也用到了临界比例度法,然后可以调节I值减小振荡周期和误差幅度,直到可调整的最佳效果,那么P、I值就确定了;最后可以加入微分作用,这样可以改善系统的动态指标,即一发现测量值有变大或变小的趋势,马上就输出一个阻止其变化的控制信号,以防止出现过冲或超调等,D参数要由小往大微调,以免引起系统振荡。以上即是一个基本的PID参数整定和系统调试过程。

实验记录的温度曲线如图6(a)所示,实线是工艺设定曲线,虚线是实际测得的温度变化曲线,分析两条曲线的耦合度可以得出,在两个升温段中,偏差基本维持在1℃以内;两个恒温区除了在起始与结束点反应稍滞后外,中间过程都比较稳定;在降温区内,降温速率一直小于设定速率,注水循环冷却方式的滞后性对此影响较大。



(a)温度曲线



(b)压力曲线

图 6 温度压力测试曲线

实验记录的压力曲线如图6(b)所示,实线、虚线分别表示设定值与实测值,在各个恒压区内,虚线振荡微弱,偏差值维持在0.02 MPa以内;升压区的主要问题在于结束处的惯性超出,此时偏差值会达到0.05 MPa;降压期间,偏差值逐渐缩小,但振荡周期太长。

3 结束语

本研究所设计开发的新型层压机控制系统目前已进行多次试验。通过观察每次实验所得测试曲线可以发现,该设备与设定的工艺曲线耦合度较好。将此实际工艺流程之下获得的产品送专业测评,其测试结果显示,产品合乎要求,证明该系统自控效果较好,可以应用于实际生产中。

但是,在实验过程中也出现了一些问题:由于系统的控制存在一定周期,这样带来的滞后性会造成反馈误差;当工艺条件改变,对应控制对象的特性也就改变,参数就得重新整定;每次升压的过程很短,在此期间振荡厉害;开始升温时,流体的热平衡较慢,单点温度的测量引入了误差等。

参考文献 (References) :

- [1] 蒋向军. PCB 基板层压机控制系统的开发与研究[D]. 西安:陕西科技大学轻工与能源学院,2009.
- [2] 张建刚. 覆铜板制造用真空层压机的使用与维护[J]. 覆铜板资讯,2008(3):40-41.
- [3] 何安琴,陈世明. 可控硅控制器在电加热系统中的应用[J]. 自动化与仪器仪表,2009(3):32-33.
- [4] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [5] 陈志文,王 玮. 基于Pt100铂热电阻的温度变送器设计与实现[J]. 现代电子技术,2010,33(8):197-199.
- [6] 孙 鑫,余安萍. VC++深入详解[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [7] 谭浩强. C++程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [8] 王 环,李福进,王 森. 浅析工业电阻炉温度控制系统[J]. 数字技术与应用,2011(3):9-11.
- [9] 杜云超. PID过程控制及其参数整定策略浅析[J]. 化学工程与装备,2010(9):142-144.
- [10] 戴雅馨. 浅析PID参数整定方法[J]. 纯碱工业,2009(6):15-17.

[编辑:张 翔]