

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.01.028

船用油漆导热油温度控制系统^{*}

徐 乐, 刘玉良^{*}

(浙江海洋学院 船舶与海洋工程学院, 浙江 舟山 316022)

摘要:针对导热油温度的有效控制以及效率的问题,对基于普通 PID 控制算法以及基于规则表的模糊控制算法进行了研究,对温度控制系统的温度采集模块、温度显示模块、声光报警模块以及加热模块等进行了改进,对温度控制系统的工作原理包括采用的模糊控制法、脉冲调制法等进行了分析。提出了一种基于 89C52 单片机以及基于模糊控制的船用油漆导热油温度控制系统,利用 Proteus 仿真平台构建温度控制系统的简化模型,分别对基于普通 PID 控制算法以及基于规则表的模糊控制算法进行了仿真。研究结果表明,采用基于规则表的模糊控制算法的导热油温度控制系统性能更好、效率更高,具有良好的温度控制效果,该系统能够在温度发生异常时声光报警并命令系统停止工作,能够满足实际生产加工的需求。

关键词:温度控制;脉冲调制;模糊控制;Proteus 仿真

中图分类号:TP273;TH86

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)01-0146-06

Intelligent temperature control system of marine paint heat conduction oil

XU Le, LIU Yu-liang

(School of naval architecture and ocean engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: Aiming at the problem about the effective control of thermal oil temperature and efficiency, based on the ordinary PID control algorithm and fuzzy control algorithm based on rule table were studied, the temperature control system of temperature acquisition module, temperature display module, sound and light alarm module, the heating module were improved, the working principle of temperature control system including the fuzzy control method, pulse modulation method were analyzed. A kind of based on 89C52 and Marine paint heat conduction oil temperature control based on fuzzy control system was put forward, Proteus simulation platform was used to construct the simplified model of the temperature control system, based on the ordinary PID algorithm and fuzzy control algorithm based on rule table are simulated respectively. The results indicate that, the fuzzy control algorithm based on rule table of heat conduction oil temperature control system performance is better, more efficient, has the good effect of the temperature control, the system can occur at temperatures of abnormal sound and light alarm and command system to stop working, and can meet the needs of actual production and processing.

Key words: temperature control; pulse modulation; fuzzy controller; Proteus simulation

0 引 言

导热油^[1-2]烟气排放量少、无排污污染,属于环保有机热载体。由于其热效率高、加热均匀稳定、安全性好、综合效益高等优点,在工业生产中使用较多,属于

安全保温材料。

船用红丹醇酸防锈漆的半成品醇酸树脂需要利用导热油的安全、稳定等特性加工,以此保证油漆的质量。加工醇酸树脂时对温度的控制有较多的要求,温度需达到 160 ℃ 并保持 15 min 加入物料进行聚合反

收稿日期:2014-09-16

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(LY12E09004,LY13E090004);舟山市科技计划资助项目(2013C31046,2013C41005)

作者简介:徐 乐(1989-),男,江苏淮安人,主要从事电气自动控制方面的研究. E-mail:379417525@qq.com

通信联系人:刘玉良,男,副教授,硕士生导师. E-mail:2574951395@qq.com

应,后继续加热到 180 ℃加入新物料保持 30 min 进行醇化反应,最后需将温度控制在 210 ℃并保持约 5 h,允许 5 ℃以内的温度误差。使用时,导热油先在炉内加热,在热油泵提供的动力下通过导管送至远处油漆加工车间的反应釜,给反应釜里的油漆材料(醇酸树脂)加热。

主要通过对工厂的调查和查看相关文献,得出导热油温度控制主要有以下两种形式:一种是较常见的现场值守式。采用烧煤的方式给导热油提供热量,对温度的控制主要通过现场值班人员直接观察温度仪表来控制送煤量的大小和吸风机的开启,从而控制导热油温度。该方式自动化程度低,温度调节误差大,动态响应较慢,工作劳动强度大,工作环境恶劣(夏天时工作环境温度可达 50 ℃),易出现工伤事故。第二种是基于总线的 PLC 控制方法,以电加热的方式给导热油加热。这种方式利用现场总线将温度传感器检测到的数据传送到控制室,由控制室主机(PLC)根据传送来的数据自动控制现场,从而控制炉内导热油的温度。该种控制方式具有自动化程度高、动态响应好等优点,现场不需要值班人员,大大降低了操控人员的劳动强度和工伤事故发生率,但设备总成本比较高,需要铺设线路较多。

自动化、现场无人值守式代表了导热油温度控制的发展趋势,目前存在的主要问题是设备价格昂贵,难以大规模推广应用,迫切需要研究开发针对性的导热油温度控制系统。

本研究针对工厂实际需求,加工船用油漆半成品(醇酸树脂)大约需要 2×10^5 Kcal 的能量即功率为 23 kW 加热器工作 10 h,设计时考虑到实际加热器功率问题,采用 3 个 12 kW 的电加热器同时加热 5 h 左右以满足热能的需求,由于仪器仪表在实际工作中存在电磁干扰,为提高温控系统可靠性,硬件上加入了三极管与固态继电器(输入回路与输出回路之间光隔离),系统设计时考虑了不同控制温度对热电偶的要求,考虑了不同电加热功率对继电器的要求,以及固态继电器与加热器连接的要求。

1 模糊控制器设计

1.1 模糊控制的优势

电阻炉作为被控对象,有大惯性、滞后性等特点。如果采用普通 PID 算法,条件发生变化,系统的参数 T 、 K_p 、 T_i 、 T_d (其中: T —采样周期, K_p —比例放大倍数, T_i —积分时间, T_d —微分时间)也需跟着改变,需调整

适合的参数,来满足系统控制要求。然而选用基于模糊集合理论的模糊控制,能模仿人的经验,运用模糊推理的方法^[3],根据对象输出直接映射出被控对象的控制量。由于模糊控制鲁棒性好的特点,其应用在具有大惯性、滞后性的电加热炉系统中较为合适。工业生产过程中,模糊自适应整定 PID 控制^[4]与基于模糊规则表的模糊控制运用的较多,具有各自的优点,本研究主要运用的是基于模糊规则表的模糊控制^[5]。

1.2 模糊规则表原理的建立

根据误差和误差的变化率,第 ij 条模糊控制规则的表达式为:

如果 $e = \mu_i$ and $\Delta e = \mu_j$,则 $u = u_{ij}$

通过采用乘积推理机的方法,推出规则前部分的隶属函数为:

$$f_{ij} = \mu_i(e) \cdot \mu_j(\Delta e) \tag{1}$$

式中: $\mu_i(e)$ 、 $\mu_j(\Delta e)$ — e 和 Δe 的隶属函数。

通过采用中心平均解模糊器的方法进行清晰化,得到模糊控制器为:

$$u = \frac{\sum_{i,j} f_{ij} u_{ij}}{\sum_{i,j} f_{ij}} \tag{2}$$

式中: u_{ij} —值由模糊规则表确定。

在模糊规则表里,各条规则的输出 u_{ij} 的值可根据模糊推理或者经验来确定。如 e 和 Δe 各有 5 个隶属函数,则模糊规则表的形式如表 1 所示。

表 1 控制规则表

		Δe				
		NB	N	Z	P	PB
e	NB	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}
	N	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}
	Z	u_{31}	u_{32}	u_{33}	u_{34}	u_{35}
	P	u_{41}	u_{42}	u_{43}	u_{44}	u_{45}
	PB	u_{51}	u_{52}	u_{53}	u_{54}	u_{55}

NB —负误差很大, N —负误差比较大, Z —误差为 0, P —正误差比较大, PB —正误差很大

根据不同的情况,输出对应的 u_{ij} 值。

1.3 模糊控制表的求取

偏差 e 和偏差变化率 Δe 离散论域都有 7 个元素 $\{-3, -3, -1, 0, 1, 2, 3\}$, e 和 Δe 的值会量化到 5 个元素中的任何一个,所以输入组合有 49 种,选择量化因子 K_e 为 1, K_{ec} 为 1, K_u 为 1,求出 49 种输入组合以及所对应的输出控制量 u ,即为要求的模糊控制规则表。模糊控制规则表如表 2 所示。

表 2 模糊控制规则表

u	e						
	-3	-2	1	0	1	2	3
-3	3	3	3	2	1	0	0
-2	3	2	2	2	1	0	-1
-1	2	2	1	1	0	-1	-1
Δe	0	2	1	0	0	-1	-2
	1	1	1	0	-1	-2	-2
	2	1	0	-1	-2	-2	-3
	3	0	0	-1	-2	-3	-3

模糊控控制规则表中 u 的值为正值时,即系统进入调节加热阶段。当 u 值为负值时,由于没有加入冷水循环装置以使反应釜温度降低,系统处于停止加热阶段。

1.4 模糊控制算法

温度控制系统中,本研究选取温度为模糊控制^[6]的主控因子,将温差 E 和温度变化率 EC 作为输入,进过模糊化、模糊推理、清晰化得到输出量 U ,调整输出的 PWM 波,改变加热器的加热功率,以达到控制电加热炉温度的目的,模糊控制器的结构框图如图 1 所示。

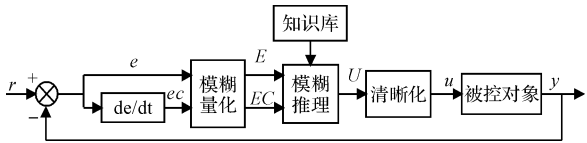


图 1 模糊控制原理图

2 系统硬件组成

系统的硬件由核心控制器、显示模块、检测模块、加热模块和报警模块组成,结构如图 2 所示。

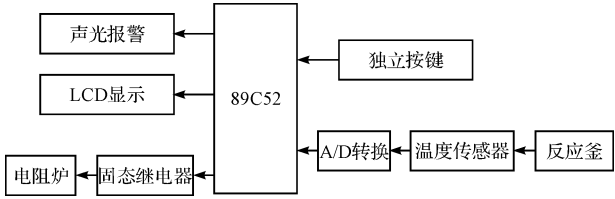


图 2 温度控制系统

2.1 核心控制器

89C52 单片^[7]机内置 8 位中央处理单元、512 字节内部数据存储器 ROM 以及 8 k 片内程序存储器,它有 32 个双向输入/输出(I/O)口、5 个两级中断结构和 3 个 16 位定时/计数器。

2.2 显示模块

本研究采用 1602LCD 显示器,它可以显示字母、数字和符号。

2.3 检测模块

本研究采用 I 级 K 型热电偶作为温度传感器,可

测量 0 ~ 1 300 ℃ 范围的液体、蒸汽以及固体的表面温度。线性度好,稳定性好,广泛为用户采用。在 -40 ℃ ~ +375 ℃ 允许误差为 ±1.5 ℃。A/D 转换芯片选用 MAX6675^[8],它是一种较复杂的单片热电偶数字转换器,MAX6675 芯片转换的数字量和被测温度值间线性关系较好,关系如下:

C = 1 023.75 × S / 4 095 (3)

式中:C—温度值,S—转换后的数字量。

2.4 加热模块

本研究选用固态继电器^[9],它输入与输出电路的隔离和耦合均采用光电耦合,输入回路与输出回路之间光隔离;光电耦合一般用光电二极管来控制光电三极管,以及光电二极管控制双向可控硅,实现直流控制交流,固态继电器的功率开关可以直接接入负载段和电源,实现控制效果。主要使用有大功率晶体三极管负载,电流选用 500 A,负载电压 220 V,控制电压为 3 V ~ 32 V。

电路图如图 3 所示。

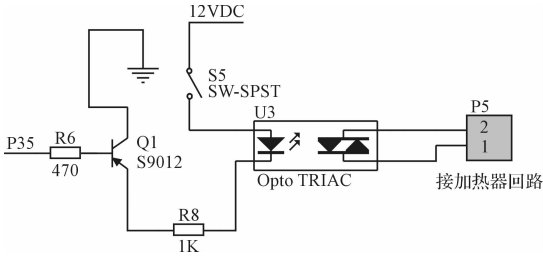


图 3 加热模块电路图

2.5 声光报警模块

报警电路图如图 4 所示。

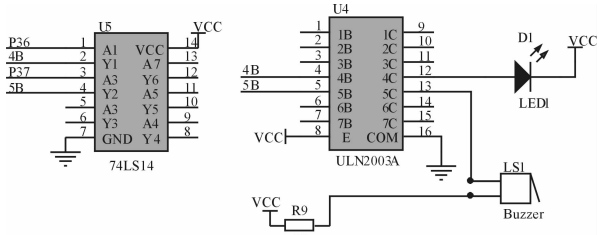


图 4 报警电路图

3 系统软件设计

3.1 主程序流程图

本研究设定目标程序 H,开启启动开关,温度传感热电偶监测电热器的温度,经过 MAX6675 转换,单片机接收相应的数据,经过模糊控制算出占空比 U,实现 PWM 调制,并将实时温度显示在 LCD 屏上主程序流程图如图 5 所示。温度发生异常,将启动声光报警同时命令加热器停止工作。

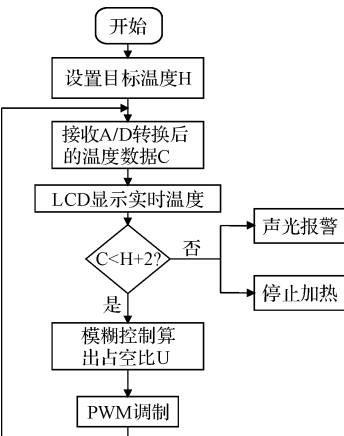


图 5 主程序流程图

3.2 中断子程序

用户按下设置键一次进入中断进行目标温度的设定,此时可按下加 1 键与减 1 键,当再次按下设置键将退出中断,返回温度检测界面。中断程序流程图如图 6 所示。

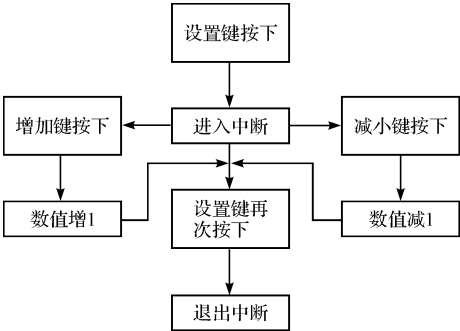


图 6 中断程序流程图

3.3 模糊控制子程序

计算模糊控制总表^[10-12],将总表写入 89C52 单片机的程序存储器。工作时,采用查表的方法。系统将 n 时刻的采样值与所设定的目标值以及系统上次的采样值比较得出 n 时刻的偏差 $E(n)$ 和偏差的变化率 $EC(n)$,由相对应的模糊控制表得出模糊控制量 U ,运用加权平均的方法对 U 进行清晰化,得到精确量 U ,实现控制继电器的通断。

设计时运用单片机的定时器设置每个单脉冲周期 50 ms(一个高电平或一个低电平保持时间),PWM 脉冲周期为 1 s(PWM 周期由 20 个单脉冲组成)。通过查规则表,模糊整定后模糊控制器输出的值即为占空比。程序流程图如图 7 所示。

4 系统仿真及分析

由于有 3 个加热阶段,本研究对第 3 个预设温度为 210 ℃ 的情况进行仿真。

打开 Proteus 软件^[13],构建的系统仿真图如图 8

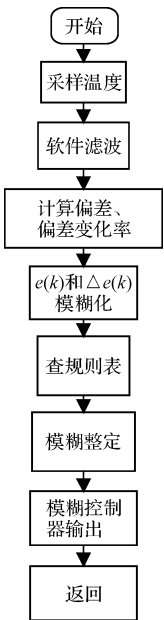


图 7 模糊控制子程序流程图

所示。热电偶检测的是反应釜的实时温度,加热器表示电加热炉中的加热器,固态继电器选用光电二级管控制大功率光电三极管,设置加热器参数,发热功率选择 36 K,时间常数选 100,其他参数不变。仿真图中 TC1 是 K 型热电偶(温度传感器),MAX6675 是 A/D 转换器,LCD 显示的是转换后的实时温度,在 0 ~ 375 ℃ 内允许误差范围为 1.5 ℃。加入示波器,A 通道检测继电器输入端的电压变化信号,B 通道检测电加热器 T 端电压变化信号(T 端电压信号随电加热器温度的变大而增大),运用 keil uvision2 软件编写好基于模糊控制的 C 程序以及基于普通 PID 控制的 C 程序,程序调试成功后,将生成的 HEX 文件烧入到仿真图中的单片机里。仿真简化了系统的模型,增加热电偶的温度(反应釜的温度),系统根据接收到的信息,控制加热器加热,以此实现对温度的控制。

本研究首先对采用模糊控制的方法仿真,设定目标温度值为 210 ℃,闭合开关,调节示波器,调节每格时间为 200 ms,设置 A 通道的每格大小为 5 V,B 通道的每格大小为 1 V。全速加热波形图如图 9 所示,标记为 28 V 的第一条线是固态继电器输入端的电压(PWM 脉冲),全是高电平。下面连续上升的第二条线是加热器输出电压(加热器加热情况),在快速上升。表明系统 100% 全速加热阶段。

采用普通 PID 方法调节温度波形图(温度在 209.5 ℃)如图 10 所示,程序中设置 P 为 10,I 为 10,D 为 6。根据第一条线可以看出 PWM 脉冲的周期在变化,根据第二条线可以看出加热器的电压随时间有一定的起伏变化,系统实现了温度控制的作用。

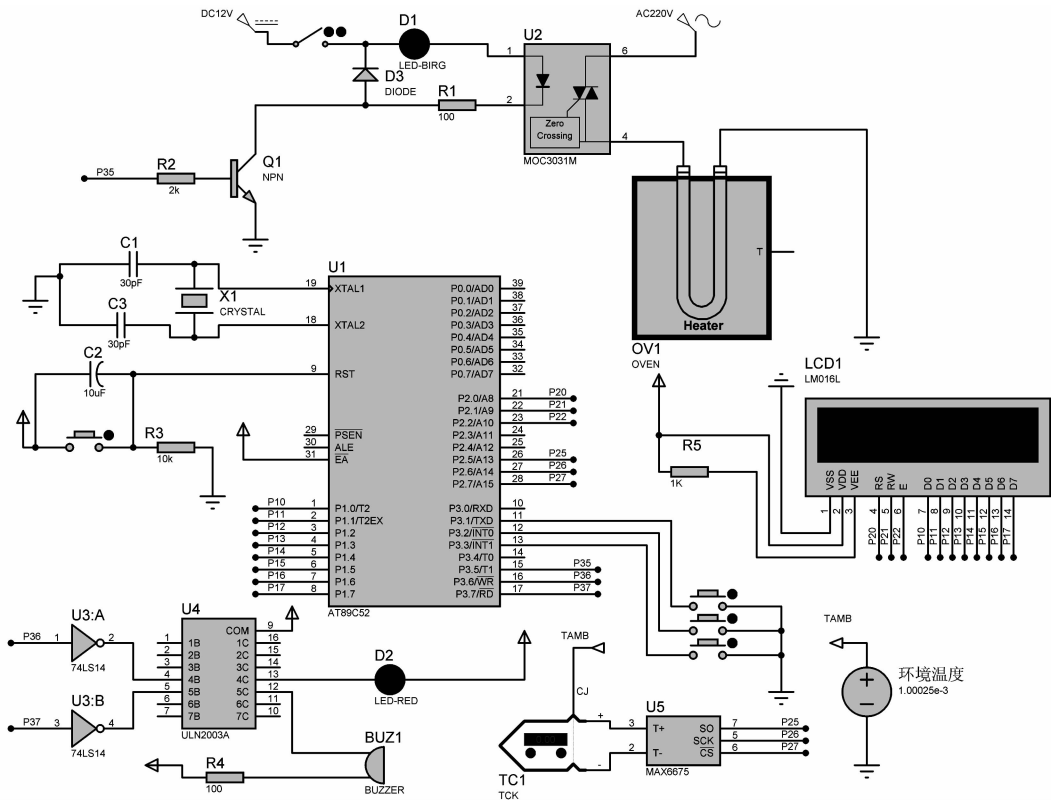


图 8 仿真电路图

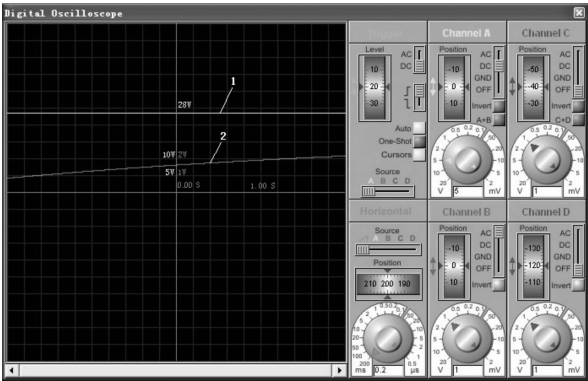


图 9 全速加热波形图

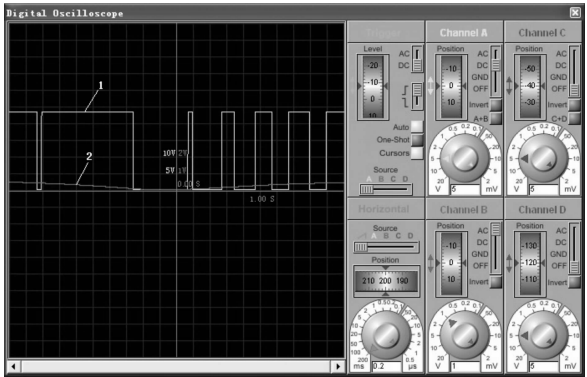


图 10 普通 PID 调节阶段波形图

采用模糊控制的方法调节温度波形图(温度在 209.5℃)如图 11 所示,根据第一条线可以看出 PWM 脉冲的周期比较稳定为 1 s,根据第二条线可以看出加热器的电压随时间的变化较稳定,系统实现了温度控制的作用。

温度达到 212.0℃超出温度范围启动声光报警信号,红色 LED 灯亮,蜂鸣器鸣叫同时电加热器停止加热系统声光报警图如图 12 所示。

两种温度控制的算法,都可以实现温度的控制与报警功能,采用普通 PID 控制方法,PWM 周期变化较大,加热器电压存在较大的波动,而采用模糊控制的方法系统加热较稳定。普通 PID 控制的方法需知道系统的模型,需对系统参数进行设置,通过调整参数以满足

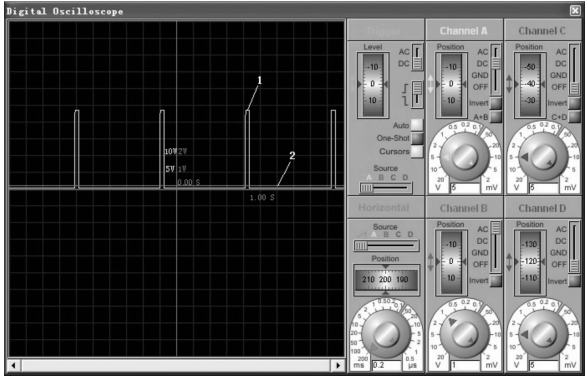


图 11 模糊控制调节阶段波形图

控制效果,如果系统模型改变,参数也需跟着改变,而模糊控制方法不需要知道系统的精确模型,可以更方便地在实际生产中应用。

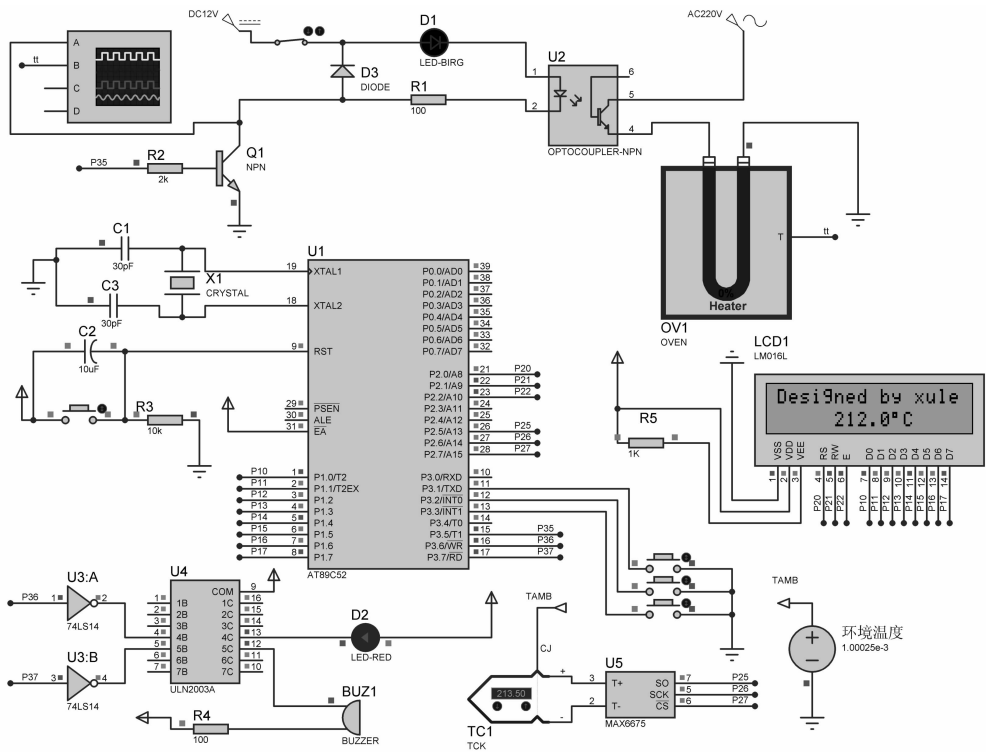


图 12 系统声光报警图

5 结束语

本研究所设计的系统主要功能是用于导热油的温度控制。

该系统硬件以通用型芯片为主,具有性价比高、操作灵活等优点。操作人员只需设定 3 次目标温度,能够满足实际的需求,提高船用油漆的加工质量。

由于本研究在仿真时对系统模型进行了简化,没有对电阻炉与反应釜组合进行仿真,存在不足之处,以后将改进仿真模型同时在系统反应釜里增加冷凝水循环装置,提高系统的实用性与稳定性。

参考文献 (References) :

[1] 孔德恩,韩 笑,高 冲. 导热油炉综合控制系统的研究与应用[J]. 科协论坛,2010(7):75-76.
[2] 王秀琳,陆广平,蒋根才. 1 200 KW 防爆导热油电加热控制系统设计[J]. 自动化技术与用,2008,27(12):129-132.
[3] 邹 恩. 基于模糊理论的电阻炉温度控制[J]. 仪表技术与传感器,2000(10):41-42.
[4] XING Wei, PAN Hai-Peng. Resistance Stove Temperature Control System Based on Fuzzy Self-turning PID[C]// Pro-

ceeding of IEEE International Conference on Control and Automation. Portugal:[s. n],2007:1123-1125.

[5] 刘金珉. 先进 PID 控制及 MATLAB 仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
[6] GE Ai-dong, WANG Yu-zhen, LIU Zhen-bin, et al. Hierarchical Fuzzy Control of Multivariable Systems Via Semi-Tensor Product Method[C]// Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference. Portugal:[s. n],2014:4551-4556.
[7] 张志良. 单片机原理与控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
[8] 李 平,李亚荣. 基于 MAX6675 的温度控制器设计[J]. 仪表技术与传感器,2004(7):29-30.
[9] 周卫兵. 固态继电器的特点及应用[J]. 山西电子技术,2010(1):90-92.
[10] 肖恩忠. 基于 AT89C52 的电阻炉智能温度控制系统[J]. 农业化研究,2005(3):238-239.
[11] 杨国强. 基于模糊自适应控制的锅炉温度控制[J]. 轻工机械,2013,31(2):52-55.
[12] 王衍平. 单神经元 PID 算法在包装机温控系统中的应用[J]. 包装与食品机械,2013(3):69-72.
[13] 沙春芳. PROTEUS VSM 在单片机系统仿真中的应用[J]. 现代电子技术,2004(24):110-112.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

徐 乐,刘玉良. 船用油漆导热油温度控制系统[J]. 机电工程,2015,32(1):146-151.

XU Le, LIU Yu-liang. Intelligent temperature control system of marine paint heat conduction oil[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(1):146-151.