

# 高精度恒温水浴控制系统的设计

吴 敏, 王晓璐, 姜玉东

(金陵科技学院机电工程学院, 江苏 南京 211169)

**摘 要:** 水浴温度的精确控制是实现温度测量仪器正常工作的关键。系统针对金陵科技学院图书馆的干挂石材幕墙的热工性能测试中使用的 PT100 热电阻的温度检测校准要求, 基于 PID 控制理论, 以三菱 PLC FX3U-32MT 为控制器, 使用触摸屏、电机搅拌电路、加热电路、供水电路实现水浴的智能高精度恒温控制。并在监控界面中设置了三级密码权限管理, 保证了系统的安全可靠。实验测试结果表明系统的控制精度高, 过调量小, 工作稳定可靠。

**关键词:** 水浴; 恒温; PID; PLC; 监控

**中图分类号:** TP273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-755X(2018)04-0038-05

## Design on High-precision Constant Temperature Control System of Water-bath

WU Min, WANG Xiao-lu, JIANG Yu-dong

(Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

**Abstract:** The accurate control of water-bath temperature is the key technology to realize the normal work of temperature measuring instruments. This system aims at the calibration requirement for temperature measurement of PT100 thermal resistance used in temperature measurement of dry-hanging stone curtain wall in the library of Jinling Institute of Technology Library. It uses PLC FX3U-32MT of Mitsubishi as the controller based on PID control theory, and that uses touch screen, motor stirring circuit, heating circuit and water supply circuit to realize intelligent high-precision constant temperature control of water-bath. This system sets three-level password authority management in the monitor interface to ensure the safety and reliability. The experimental results show that the system has high control accuracy, small overshoot, and stable and reliable operation.

**Key words:** water-bath; constant temperature; PID; PLC; monitor

在实验室、企业研发部门, 常需要在出现场前将刚购买或使用时间较长的热电偶或热电阻校核一遍, 剔除其中精度较差者, 以随时保证测量质量。水浴作为一种温度校核设备, 广泛地应用在温度传感器、温度测量器具的检测及校核中, 水浴温度的精确控制是实现温度测量仪器正常工作的关键技术, 其中 PID 控制因原理简单而广泛用于水浴温度的过程控制。

系统以三菱公司的 PLC FX3U-32MT 为控制器, 使用新型集成电路设计出新颖的硬件电路, 利用

收稿日期: 2018-08-26

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(BK20151099)

作者简介: 吴敏(1983—), 女, 河南商城人, 讲师, 硕士, 主要从事测控技术、嵌入式技术方面的研究。

PID 控制理论实现水浴温度的复合智能高精度恒温控制<sup>[1-2]</sup>。将这种采用复合智能高精度恒温控制的水浴应用于金陵科技学院图书馆的干挂石材幕墙的热工性能测试中 PT100 热电阻的温度检测校准中,取得了良好的效果。

## 1 系统组成与工作原理

水浴系统以 PLC 为控制器,主要由触摸屏、温度变送器、A/D 转换模块电路、PT100 温度检测电路、电机搅拌电路、加热电路、供水电路部分构成,其主要完成任务是在监控界面上设定所需温度值,采用 PT100 热电阻进行温度测量,将检测到的信号送入温度变送器进行处理,从温度变送器检测出来的模拟信号经 A/D 模数转换电路后,把数字信号发送给 PLC 进行处理,将当前值与预定值进行比较,如果当前值低于预定值,PLC 产生的输出控制信号经可控硅驱动电路来实现对加热棒的控制,从而实现加热。同时,在加热的过程中,设置直流电动机对水浴进行搅拌以实现均匀加热;若暂停加热后,加热棒余热可以使水温继续上升,因而设置了供水泵对水浴进行冷水供应使温度降低;如果当前温度在设定值上下波动幅度很小,则加热、供水电路循环动作,使水浴槽水温经过 PID 控制调节后达到设定的稳定值,并在人机界面上实时显示水温、报警、数据报表等情况,同时对加热档位进行了设计,可以方便地在触摸屏上设置加热要求,方便用户的操作。

该高精度恒温水浴控制系统的硬件电路如图 1 所示。温度检测电路由铂热电阻 PT100、SBWZ 温度变送器和 FX3U-4AD 型号的 A/D 转换模块组成,电路中 SBWZ 温度变送器是电压输出类型的温度变送器,其量程为 0~100 ℃,精确度可以达到 0.1%,量程可调,且具有线性化校正功能和冷端自动补偿功能。

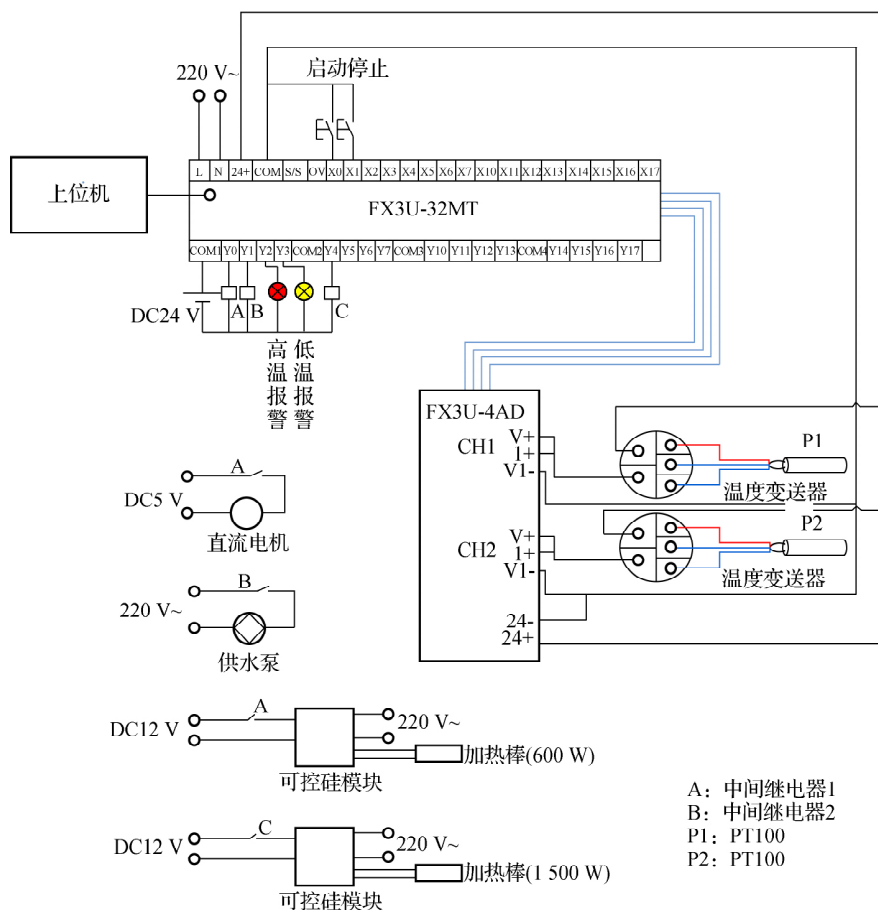


图1 系统硬件电路图

执行电路包含加热电路、电机搅拌电路、供水泵电路。加热电路中的加热棒的额定电压为交流 220 V；直流控制交流通断选用 YYAC-2 型号的原装可控硅，其输入与输出光耦完全隔离，输入信号电压为直流 3.3~24 V，电流 5 mA 左右，可以控制交流 220 V/5 A 以内的负载；且加热电路中为了方便控制，可控硅输入端接中间继电器，达到电压要求时即可使电路导通；系统需要对水浴进行搅拌，所以需要扭力大的电机。系统所选用的 775 双滚珠轴承电机，具备  $10^4 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  的高转速，扭力大，对于 24 V 以下的直流电压通用；供水泵电路中供水泵选用的是 YE-750 供水泵，其安全耐用超静，节能高效，并可以选择两个档位进行抽水。

系统在实际使用时，需要将上位机 PC 机和触摸屏连接，然后用 MCGS 组态软件把相关的全中文工控组态监控界面下载进触摸屏。PLC 与 PC 机及触摸屏的实际接线，如图 2 所示。

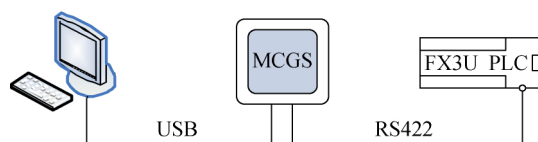


图 2 PLC 与 PC 机及触摸屏的连接电路

## 2 系统软件设计

### 2.1 下位机 PLC 软件设计流程

温度控制具有时变性、非线性、滞后性和不稳定性，因而不方便得出系统完全精确的数学模型，但可以进行近似等效<sup>[3]</sup>。系统从初始状态到稳定状态共经历两个过程，一是加热过程，二是保温过程。如果对加热过程没有特殊的要求，则可采用 P 直接控制升温过程，这样可以达到快速升温的目的。保温过程中采用 PID 控制，积分过程相当重要，否则保温段很容易出现震荡或静差。目前，工程常采用施加阶跃信号的方法，来得出设计系统的近似传递函数<sup>[4]</sup>。参数设置如表 1 所示。

系统 PLC 软件设计流程如图 3 所示。

表 1 参数设置	
项目	参数设置
采样时间	1 s
运行方向	1
输入滤波	55
比例增益	13
积分时间	21 s
微分增益	95
微分时间	90 s

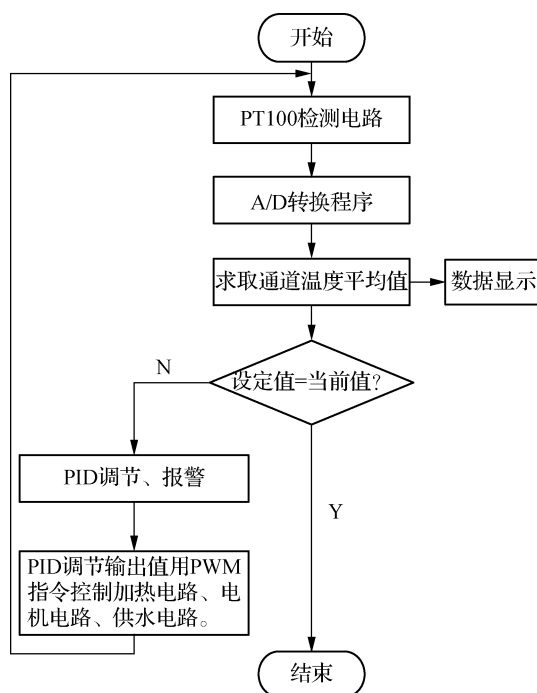


图 3 系统 PLC 软件设计流程图

2.2 上位机监控系统权限管理

系统选用 MCGS 嵌入式全中文工控组态软件设计监控系统。为了保证系统的安全可靠性,对系统进行加密设置,使只有相关人员才能进入监控环境、修改工程参数、发布指令,所以设置了三级权限管理,设置的三级管理权限说明如表 2 所示。其中,管理员组可打开主界面系统以及报警、报表、曲线窗口;工程师组不可以打开曲线窗口,操作员组可打开主界面系统、报警窗口<sup>[5]</sup>。

表 2 三级权限管理说明

用户名	密码	权限等级
管理员组	1	一级(高)
工程师组	2	二级
操作员组	3	三级(低)

3 过程测试

在系统设计完成后,对其运行效果进行了测试。在触摸屏界面上,设置预定温度 42 ℃,开启 PLC 后,检测到当前温度,当前温度小于预定温度,则加热电路、电机电路启动灯亮,并且 PLC 执行相应操作,如图 4 所示。



图 4 加热电路启动

若检测到当前温度大于预定温度,则降温电路启动灯亮,并且 PLC 执行相应操作向水浴槽内注水。经过不断调节,温度稳定在 42 ℃左右。调试过程中,由于 PT100 较灵敏,水面波动对其干扰的影响较大,所以 PT100 检测到的温度值会有所波动,上位机监控界面上的温度曲线如图 5 所示。曲线中,红色曲线为当前温度曲线,蓝色曲线为设定温度曲线。

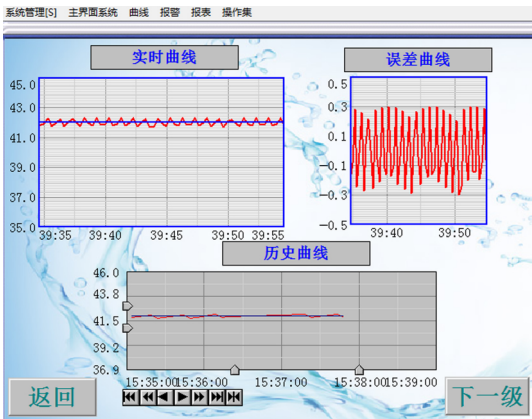


图 5 温度曲线图

在系统运行中,监控界面设计很重要,所以设计了温度的实时报警界面,以及历史数据存储报表等功能,可以方便地看到历史温度数据及温度报警情况,历史报表设置后,方便读取数据及之后的数据分析。运行结果如图6—图7所示。



图6 报警界面图



图7 报表界面图

调试中设置水浴槽温度 42℃,系统运行一段时间后,温度基本稳定在 42℃。从平稳后历史报表记录的温度数据随机抽样 10 个数据点(单位为℃),设为  $x_i (i=1, 2, \dots, 10)$ : 41.87, 41.90, 41.80, 42.26, 42.23, 42.13, 42.05, 42.11, 42.20, 42.27。

按定义计算得平均值:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{10} x_i / 10 = 42.082 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

偏离平均值的标准差:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2 / 10} = 0.163 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

从计算中可以得出,水浴槽任意一点处的水温能够保持在 42.082℃ 附近,并且偏离平均值的程度很小,偏离平均值的标准差仅为 0.163℃。

## 4 结 语

通过实际使用验证,将这种采用复合智能高精度恒温控制的水浴应用于金陵科技学院图书馆的干挂石材幕墙的热工性能测试所使用的 PT100 热电阻的温度检测校准中,温度控制精度稳定在 0.1℃ 范围之内,控制精度高,过调量小,工作稳定可靠,由于在设计过程中引入了三级密码授权,可有效防止操作员误操作而引起实验结果错误等问题,从而使其在实验室的仪器管理上显得更加方便,达到了设计要求,取得了良好的效果。

### 参考文献:

- [1] 向晓汉. 三菱 FX 系列 PLC 完全精通教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 43—233
- [2] 刘旭明, 吴晓燕. 基于触摸屏、PLC 和变频器的电机控制应用[J]. 金陵科技学院学报, 2011, 27(2): 46—50
- [3] 李强. 大滞后温度系统的控制方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009
- [4] 王乐峰, 王建峰, 刘飞. 基于阶跃响应曲线的系统传递函数辨识方法[J]. 嘉应学院学报, 2016, 34(11): 27—30
- [5] 李江全. 组态控制技术实训教程(MCGS)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 25—153

(责任编辑: 谭彩霞)