



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20140122

## 混凝土冻融试验机及监控系统

赵继民, 王丽媛

(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

**摘要:** 设计了混凝土冻融试验机及监控系统。下位机由控制器、温度传感器、开关控制电路以及电源监控电路组成, 其中 ATmega32 控制器负责信息的采集, 并通过串口与上位机通信。上位机软件基于 LabWindows/CVI 平台开发, 可实现温度信息及电源信息的实时采集与处理、数据存储及历史查询等功能。系统根据上位机设定的冻融循环次数对混凝土试件进行冻融破坏实验, 根据结果可确定混凝土的抗冻等级。采用混凝土标准件进行实验, 验证了系统的可靠性。

**关键词:** 混凝土; 冻融实验; LabWindows/CVI

**中图分类号:** TP216      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2015)04-0056-04

## Concrete Freeze-thaw Testing Machine and its Monitoring System

ZHAO Jimin, WANG Liyuan

(College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** A concrete freeze-thaw testing machine and its monitoring system were designed based on virtual instrument technology and micro controller technology. The lower machine was constructed with a micro controller, temperature sensors, switches, circuit and power supply monitoring circuit. The central controller ATmega32 can collect information and communicate with the upper monitor through a serial port. LabWindows/CVI was used to develop virtual instrument that can collect and process temperature information and power information in time. The upper monitor can also store historical data but with the capacity of data query. The system can carry out freeze-thaw damage tests on concrete specimens based on the number of the freeze-thaw cycle set in the upper monitor. After the tests, the freeze level of concrete specimens can be determined against the national testing standards.

**Key words:** concrete; freeze-thaw experiment; LabWindows/CVI

混凝土作为常用建筑材料,其耐久性一直是人们关注的焦点。据调查,我国东北、华北以及西北地区的混凝土建筑物受冻融破坏影响严重,抗冻性成为衡量混凝土耐久性的重要指标<sup>[1]</sup>。为此,在施工前要对混凝土进行抗冻性实验,检测其是否达到施工标准。

目前,抗冻性实验方法主要有快冻法和慢冻法。慢冻法由于实验误差大、周期长、工作量大,已逐渐被国内外相关检测标准取消。快冻法选取相对动弹性模量作为评价标准,其误差小、周期短,已被多数国家采用<sup>[2]</sup>。快冻法需利用混凝土快速冻融试验设备完成。冻融试验机是对冻融破坏过程进行模拟的试验设备,通过反复冻融循环对混凝土试件进行破

坏,以确定其抗冻等级<sup>[3]</sup>。市售冻融试验设备的价格昂贵<sup>[4]</sup>。国内部分冻融试验设备的自动化程度较低,在数据传输和智能控制方面存在不足,较多采用人工操作,且无法实时采集、通信,性能较不稳定<sup>[5]</sup>。

本文依据冻融实验标准<sup>[3]</sup>设计了混凝土冻融试验机,采用 LabWindows/CVI 平台开发了上位机监控系统,可实现冻融实验数据的实时采集和控制。

### 1 系统结构及工作原理

#### 1.1 冻融试验机结构

采用水冻水融法进行冻融实验。冻融试验机包

收稿日期: 2014-09-22; 修回日期: 2015-01-19

基金项目: 天津市自然科学基金资助项目(14JCZDJC39000)

作者简介: 赵继民(1970—),男,天津人,副教授, zhaojiminemail@tust.edu.cn.

括试件箱和冻融控制箱 2 部分,如图 1 所示. 试件箱用于放置待检测的混凝土试件,冻融控制箱内配置水泵、制冷机、加热器,在上位机的控制下实现对试件箱中混凝土试件的冻融循环.

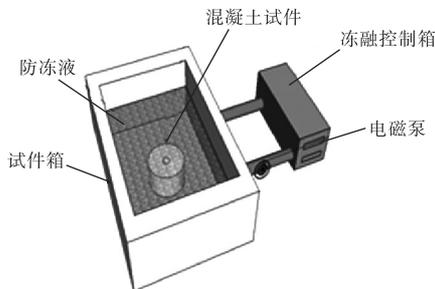


图 1 冻融试验机模型

Fig. 1 Model of concrete freeze-thaw testing machine

实验时将混凝土试件放置于左侧的试件箱中,试件箱中注入防冻液,试件中心的通孔内及试件箱内四角分别放置温度传感器以采集温度信息,传感器位置如图 2 所示. 传感器 5 负责采集试件温度信息,传感器 1—4 负责采集防冻液温度信息.

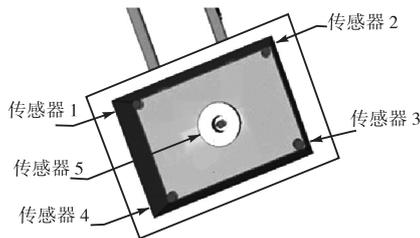


图 2 温度传感器位置分布

Fig. 2 Location of temperature sensor in the machine

冻融控制箱负责防冻液的制冷及加热,内部结构如图 3 所示,其中制冷机、加热器不与防冻液直接接触,以避免水质结垢和腐蚀影响.

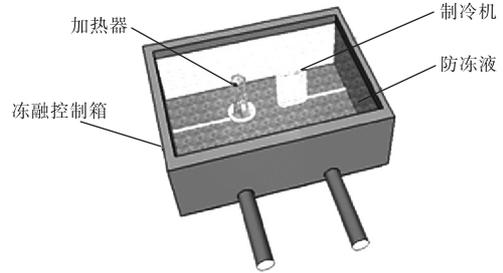


图 3 冻融控制箱结构

Fig. 3 Structure of freeze-thaw control box

在制冷机的作用下,混凝土内部孔隙水冻结、毛细孔膨胀. 然后,加热器对防冻液进行加热,使混凝土冻结孔隙水融化. 在水泵的驱动下,防冻液在试件箱和冻融箱之间循环流动,对浸泡于其中的混凝土试件进行反复冻融破坏,混凝土试件内部毛细孔结构遭到破坏,逐渐出现开裂、剥落等现象. 当试件的相对动弹性模量下降至初始值的 60% 或质量损失率达 5% 时即认为试件已经破坏,并以相应冻融循环次数作为该混凝土的抗冻等级(F)<sup>[3]</sup>.

### 1.2 系统工作原理

下位机控制器 ATmega32 负责采集温度信息,控制水泵开关、制冷机开关、加热器开关,监视交流电源状况,并与上位机通信,冻融试验机系统整体结构如图 4 所示.

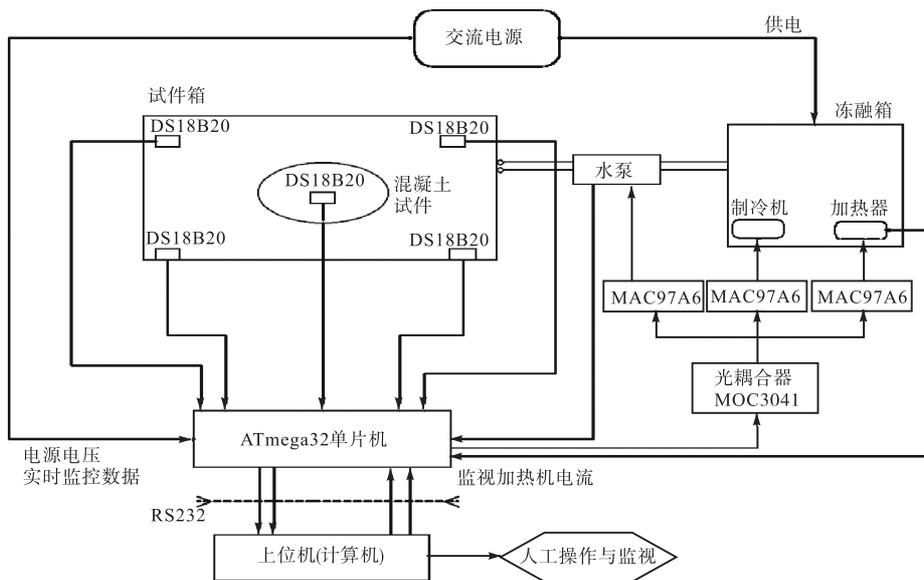


图 4 系统整体结构

Fig. 4 Structure of the whole system

系统选用 Carlyle SM120S4VAC 型压缩机、F22 制冷剂进行制冷;选用瑞泰 RT-DRG 型电加热器,并附加电流监视功能,若不能正常运行将自动断电.同时,系统对水泵电流和电源相电压、线电压进行监控.

## 2 下位机硬件设计

### 2.1 温度采集

标准<sup>[3]</sup>规定:降温 and 升温终了时,试件中心温度应分别控制在  $-17\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 防冻液的温度要控制在  $-25 \sim +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 据此,选用 DS18B20 型数字温度传感器,量程为  $-55 \sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,分辨率为  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高 12 位的 A/D 转换精度为  $0.0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,满足温度测量范围和精度 ( $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 要求.

利用 8 通道模拟多路复用器/多路分解器 M74HC4051 进行通道选择,  $\overline{\text{EN}}$  为芯片使能端, A、B、C 为数字选择输入端. 当  $\overline{\text{EN}}$  为低电平时,根据 A、B、C 端口的状态选通  $\text{X}_0\text{—X}_7$  中的某一个通道. 当  $\overline{\text{EN}}$  为高电平时,所有通道都处于高阻关断状态<sup>[6]</sup>. 温度采集电路如图 5 所示.

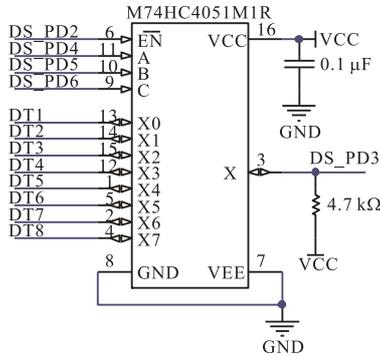


图 5 温度采集电路原理图  
Fig. 5 Diagram of temperature acquisition

### 2.2 开关控制

系统利用光耦合器 MOC3041 与小功率双向晶闸管 MAC97A6 实现对制冷机开关、加热器开关、水泵开关的控制,开关控制电路如图 6 所示.

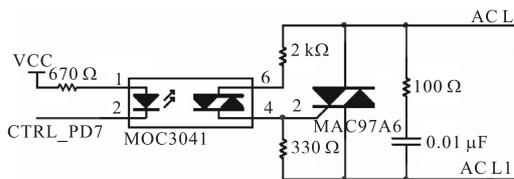


图 6 开关控制电路原理图  
Fig. 6 Diagram of switching control

光耦合器 MOC3041 利用发光二极管把输入的电信号转换为光信号,而后光敏二极管将光信号再次转换为电信号输出,控制其所对应的双向晶闸管 MAC97A6,进而实现开关控制. 由于没有直接的电气连接,可以隔离部分干扰. 光电隔离方法常用于测控装置与现场信号之间、弱电和强电之间,其目的是从电路上把干扰源和易受干扰的部分隔离开来,使测控装置与现场仅保持信号联系,实质是把干扰通道切断,从而隔离现场干扰.

### 2.3 电源监控

为了增强装置的安全性能,对交流电源进行监控. 交流信号通过电压互感器 HPT304 和电流互感器 HCT215 传送给电能测量芯片 CS5463,该集成芯片是专门为住宅用单相电能表或工业用三相电能表设计的,可精确测量瞬间电流和电压.

### 2.4 控制器

下位机控制器选用 ATmega32,各引脚分配如图 7 所示. PD2—PD4 端口连接 74HC4051,负责采集温度信息;PC0—PC3、PD7 端口用于开关控制;PB3—PB7、PC4—PC7 端口用于监控交流电,采集电流和电压信息;PB5—PB7 端口及  $\overline{\text{RESET}}$  用于单片机程序的下载;PD0—PD1 端口用于实现与上位机通信.

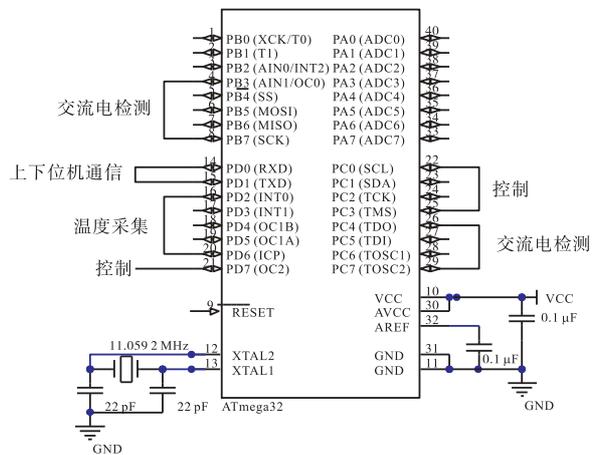


图 7 引脚分配图  
Fig. 7 Pin assignment

## 3 软件设计

### 3.1 下位机程序设计

下位机采用 C 语言编程,实时采集并存储温度以及电源运行状况信息,控制水泵、制冷机、加热器运行,并通过串口将数据传送给上位机,其程序流程图见图 8. 首先,进行系统初始化并将各个端口寄存

器清零, 随后采集温度信息数据以及制冷机、加热器的电流、电压信息数据, 通过串口通信将采集到的实时数据传送至上位机, 并根据上位机的控制信息对制冷机、加热器进行开关控制, 从而实现冻融循环。

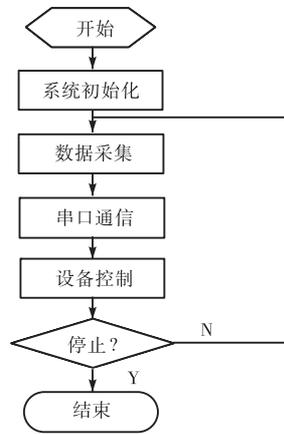


图 8 下位机程序流程图  
Fig. 8 Program flow chart of MCU

### 3.2 上位机程序设计

采用 LabWindows/CVI 平台进行上位机软件开发<sup>[7]</sup>. 上位机软件的主要功能是实现数据通信和界面显示. 系统最终设计实现的上位机界面如图 9 所示.

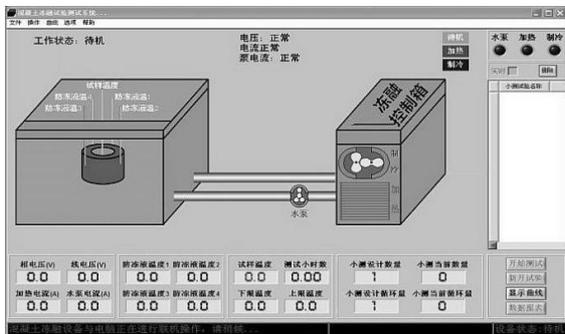


图 9 上位机界面  
Fig. 9 Interface of PC

系统采用 RS232 串口通信实现上下位机交互, Labwindows/CVI 具有专门针对串口通信的函数库, 可使串口通信的实现变得简单. 进行数据通信时, 首先打开串口设置串口通信, 在实现和安装串口回调函数之后进行读写串口操作, 最后关闭串口.

通过上位机软件可设定测试小时数、上限温度、下限温度、小测设计数量、小测设计循环量, 显示相电压、线电压、加热电流、水泵电流、防冻液温度及试件温度, 方便操作人员了解下位机运行状况. 同时, 上位机软件可以在测试过程中显示数据曲线并生成数据报表.

## 4 实验

为检验系统的实际性能, 采用系统进行混凝土冻融循环实验, 并对测试后的混凝土进行抗冻等级的评定, 实验步骤<sup>[3]</sup>如下:

(1) 选用抗冻等级为 F200 的混凝土试件进行测试前养护.

(2) 称量试件的初始质量, 测量初始自振频率, 作为评定抗冻等级的起始值, 作必要的外观描述并拍照.

(3) 将经过养护的混凝土试件放入冻融箱内, 倒入防冻液, 使其高出试件上表面至少 5 mm.

(4) 每循环 50 次后, 称量试件的质量, 测量自振频率, 计算出质量损失率以及相对动弹性模量, 作必要的外观描述并拍照.

(5) 冻融  $n$  次循环后出现以下 3 种情况之一时即可停止实验: 冻融至预定的循环次数; 相对动弹性模量下降至初始值的 60%; 质量损失率达 5%.

水灰比是影响混凝土抗冻性能的重要指标<sup>[8]</sup>. 因此, 固定水泥用量为 305 kg/m<sup>3</sup>, 水灰比选取 0.32 和 0.40, 分别验证抗冻等级. 实验结果见表 1. 在水泥用量相同、水灰比不同的情况下, 在冻融循环 200 次之后的相对动弹性模量均未小于 60%, 质量损失也均未超过 5%, 符合抗冻 200 次的标准.

表 1 实验数据  
Tab. 1 Experimental data

编号	水灰比	循环次数	质量损失率/%	相对动弹性模量/%
1	0.32	0	0.00	100.0
2	0.32	50	1.84	94.8
3	0.32	100	2.87	89.2
4	0.32	150	3.12	79.6
5	0.32	200	3.41	69.8
6	0.32	250	5.13	58.3
7	0.40	0	0.00	100.0
8	0.40	50	1.96	93.9
9	0.40	100	2.98	85.2
10	0.40	150	3.67	72.6
11	0.40	200	3.89	63.7
12	0.40	250	6.78	50.1

## 5 结 语

本文设计了混凝土冻融试验机测试系统, 基于 LabWindows/CVI 平台开发上位机软件, 采用 C 语言

(下转第 69 页)