

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2016.09.011

# 基于三层架构的车辆冷却系统测控软件设计\*

张银亮<sup>1,2</sup>, 蔡惠坤<sup>1,2\*</sup>, 廖亦戴<sup>1,2</sup>, 朱开亮<sup>1</sup>

(1. 厦门大学 机电工程系 福建 厦门 361005; 2. 厦门大学 深圳研究院 广东 深圳 518057)

**摘要:** 针对车辆冷却系统测控试验平台中的数据实时采集和电机控制问题,利用三层架构的开发思想,基于C#语言、Measurement Studio控件以及SQL Server数据库,在上位机中结合数据采集卡和传感器等硬件设计开发了车辆冷却系统的测控软件。详细介绍了三层架构的数据访问层、业务逻辑层、表示层在测控程序中的具体实现过程,完成了对测控数据的实时采集、存储与处理,绘制了测控数据实时曲线和历史曲线,以及实现了对风扇电机和水泵电机的控制等功能。同时,利用多次实验对测控程序的可靠性及稳定性进行了测试。实验结果表明,基于三层架构框架指导开发的软件具有更好的可读性、维护性和扩展性,满足车辆冷却系统试验平台的测控要求。

**关键词:** 冷却系统试验平台; 三层架构; 数据采集; C#

中图分类号: U279.3<sup>+</sup>23; TH39; TP273

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)09-1088-06

## Measurement and control software for vehicle cooling system based on 3-access architecture

ZHANG Yin-liang<sup>1,2</sup>, CAI Hui-kun<sup>1,2</sup>, LIAO Yi-dai<sup>1,2</sup>, ZHU Kai-liang<sup>1</sup>

(1. School of Aerospace Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Shen Zhen Research Institute, Xiamen University, Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of real-time data acquisition and motor control for vehicle cooling system test-bed, using the development thought of 3-access architecture, the measurement and control software of the vehicle cooling system was designed and developed by C#, Measurement Studio control and SQL Server database based on the hardware of data acquisition card and sensor in the host computer. The realization process of 3-access architecture of DAL, BLL and UI were introduced in detail in the measurement and control program, it finished real-time acquisition, storage and processing of measurement and control data, real-time curves and history curves, fan motor control and water pump motor control, and other functions. At the same time, the reliability and stability of the program were tested by several experiments. The results indicate that the software can improve the readability, maintainability and expansibility of the program, and meet the requirements of measurement and control based on 3-access architecture.

**Key words:** cooling system test-bed; 3-access architecture; data acquisition; C#

## 0 引言

冷却系统是车辆的重要组成部分,其工作性能的优劣直接影响着动力系统的整体性能。随着车辆功

率和热流密度的增加,以及日益严格的排放标准都对冷却系统提出了更高的要求,因此有必要采用更先进的设计理念来开发高效可靠的车辆冷却系统。

智能冷却系统可以精确、自动地调节冷却液的温度,且可以根据汽车的行驶速度、发动机的冷却水温来

收稿日期: 2016-04-26

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2014J01210); 深圳市科技计划项目(JCYJ20140417162429675)

作者简介: 张银亮(1991-)男,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事车辆冷却系统的控制和热管理方面的研究. E-mail: zhang\_yin\_liang@163.com

通信联系人: 蔡惠坤,男,硕士生导师. E-mail: caihuikun@xmu.edu.cn

综合控制冷却系统,从而达到降低油耗和提高发动机可靠性的效果<sup>[1-5]</sup>。而搭建冷却系统试验台架,改变发动机的工作状况,控制风扇和水泵转速获得各部件的试验数据,研究冷却系统的控制策略和规律是研究冷却系统智能控制的必要环节之一。黄鑫<sup>[6]</sup>、钱向明<sup>[7]</sup>等利用虚拟仪器 Labview 编写了发动机的冷却系统测控软件,张刚<sup>[8]</sup>则利用西门子公司 WinCC 开发了冷却系统的人机交互软件。但是利用 Labview 或 WinCC 开发的上位机软件存在灵活性差、硬件兼容性不够等缺点。而基于三层架构利用 C#语言、Measurement Studio 控件及 SQL Server 数据库设计开发的上位机软件更易于维护和修改<sup>[9-10]</sup>。

本研究针对车辆冷却系统测控试验平台中的数据实时采集和电机控制问题,利用三层架构的开发思想,基于 C#语言、Measurement Studio 控件以及 SQL Server 数据库,在上位机中结合数据采集卡和传感器等硬件设计开发车辆冷却系统的测控软件。

## 1 三层架构及测控系统的构成

### 1.1 三层架构原理

三层架构<sup>[11]</sup> (3-Access Architecture) 是基于模块化程序设计理想,为实现分解应用程序的需求,而逐渐形成的一种标准模式的模块划分方法。三层架构通常是将整个业务应用划分为:表现层 (UI)、业务逻辑层 (BLL) 与数据访问层 (DAL)。在三层结构将具体业务规则、业务逻辑处理等工作放到了业务逻辑层进行处理。三层架构的优势是当业务逻辑发生微小变化时,无需修改整个程序,只需要修改业务逻辑层中的某些方法即可。

三层架构中各层之间的关系如图 1 所示。

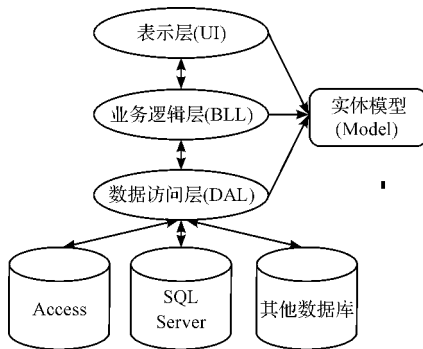


图 1 三层结构原理

### 1.2 测控系统的构成

该测控系统主要由人机交互的上位机、被控对象水泵电机和风扇电机、采集对象等构成,其结构如图 2 所示。

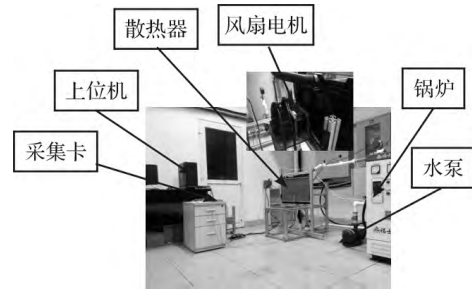


图 2 试验台总体结构图

该系统由锅炉模拟发动机的不同工况,改变散热器的入口水温。

本研究在散热器水侧入口端处布置了涡轮流量计、水温 PT100 传感器、水压传感器,散热器出口端布置了水温 PT100 传感器和水压传感器。笔者在散热器空气侧布置了空气压差传感器,入口端布置了 Omega 风速测量仪和热电偶传感器,出口端布置了热电偶传感器。本研究采用研华公司的 ADAM 模块将传感器的电流和电压模拟信号转化成数字信号,再经过 RS485 转 USB 数据线将数据传递给上位机。同时,本研究在上位机人机交互界面上通过 RS485 数据线将电机的控制信号发送给驱动器,控制电机的启停和转速。

系统设计框图如图 3 所示。

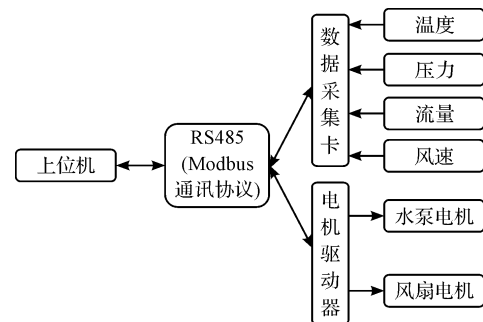


图 3 系统设计框图

## 2 车辆冷却系统测控软件设计

为了实现对监测数据的实时采集和对电机的控制,在三层架构的框架下该测控软件应具备功能包括:

- (1) 与采集和控制设备的通信和数据交换;
- (2) 实时显示并绘制监测数据曲线图;
- (3) 查询、管理监测数据并绘制历史监测数据曲线图;
- (4) 监测数据的处理和用户数据的管理等功能。

该软件的功能模块图如图 4 所示。

### 2.1 数据库和数据模型层的设计

根据应用程序的需求分析,本研究在 SQL Server

2010 里面创建系统的数据库。该数据库主要包括两个表,分别是监测数据表和用户信息表,如图 5 所示。

本研究在模型层(Models) 里面创建监测数据模型

类( Data\_Info. cs) 和用户信息模型类( User\_Info. cs) , 将数据库里面的数据表字段定义成属性,封装成一个实体类。同时在其他各层添加引用,用于传递数据。

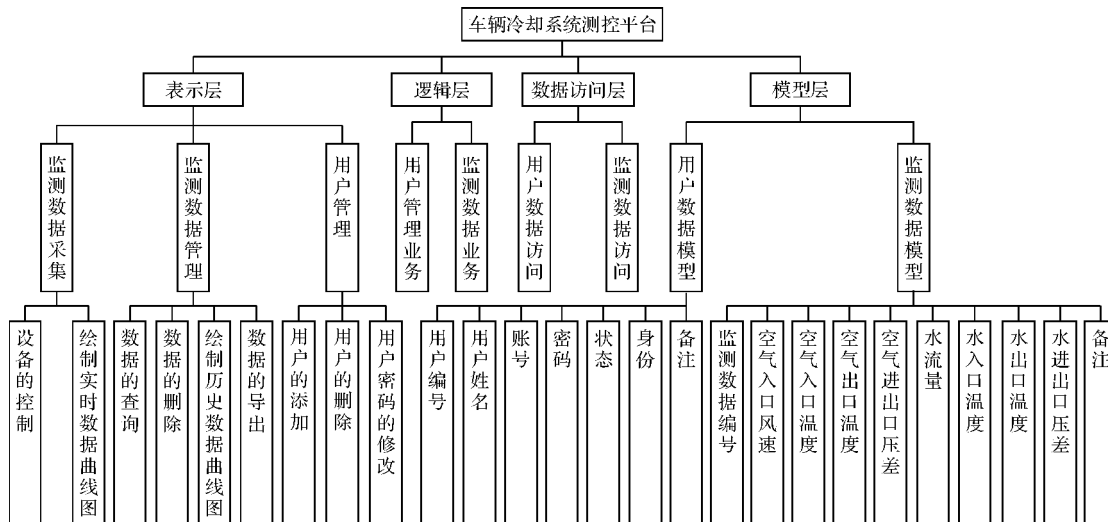


图 4 功能模块图

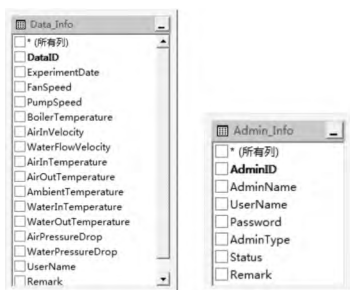


图 5 监测数据表和用户信息表

### 2.2 数据库访问层和业务逻辑层的设计

数据库的访问主要是通过添加应用配置文件 ( APP. config) 编写配置项。因为在数据访问中经常用到的数据操作相同,本研究通过将相同的操作进一步提取,编写在公共数据操作类( DBHelper. cs) 中来实现数据查询、插入、修改、删除等操作,供监测数据访问类 和用户信息类调用<sup>[12]</sup>。在 APP. config 文件里面编写的配置项,然后在公共数据操作类( DBHelper. cs) 中连接数据库,其部分代码实现如下:

```
public static string connectionString = System. Configuration. ConfigurationManager. AppSettings [ " DB-Conn" ]. ToString ( ) ;
```

在业务逻辑层通过引用数据访问层的命名空间,调用数据访问功能,实现业务逻辑。其代码实现如下 (以监测数据类( Data\_Info. cs) 删除监测数据代码作为说明):

```
//实例化监测数据
CoolingSystem. DAL. Data_Info dal = new DAL. Data_Info ( ) ;
```

```
//删除监测数据
public int Delete( int DataID)
{
    return dal. Delete( DataID) ;
}
```

### 2.3 表示层设计

表示层,即测控软件的界面设计。本研究在 Visual Studio2012 里面,利用安装的 Measurement Studio2015 插件,既可以创建 National Instruments 窗体应用程序,也可以在窗体应用程序中添加编译程序所需的 Measurement Studio 动态链接库( DLL) 。本研究将波形图控件 WaveFormGraph、时钟控件 Timer、串口控件 SerialPort 等拖到窗体 Form 上,窗体设计器会生成相应的控件变量。

该测控应用程序一共设计了 7 个窗体,分别是用户登录窗体( LoginForm)、主窗体( MainForm)、数据采集窗体( DataCollectionForm)、数据管理窗体( DataManageForm)、数据查询窗体( DataQueryForm)、用户密码修改窗体( ChangePasswordForm)、用户管理窗体( UserManagerForm)。其中主界面为多文档窗体( MDI 窗体),包括菜单栏、工具栏等控件,主窗体作为子窗体的容器。

表示层的窗体控件程序通过引用业务逻辑层实现对数据库的交互。

### 2.4 实时监测数据绘图的实现

本研究通过 RS485 传递给程序的监测数据,要实现实时绘图需利用 Timer 时钟控件,设置时钟的间隔时间为 1 000 ms。系统每秒触发一次读采集卡的监测

数据,并把监测数据保存到对应的数组中,同时刷新一次 WaveFormGraph 曲线图<sup>[13]</sup>。在 Timer 的 Tick 事件中其实现代码如下(以采集空气入口温度为例):

```
model_datainfo_arry[count].AirInTemperature = iData[0];
wfpAirOutTemperature.PlotYAppend(model_datainfo_arry[count].AirInTemperature);
```

### 2.5 监测数据采集的实现

研华亚当模块(ADAM),以 ADAM4017+ 为例,具有 8 个通道 16 位带光电隔离的模拟量输入通道,具有 RS485 通讯功能,支持 Modbus 通讯协议数据的采集。首先本研究在 AdamApax.NET Utility 配置模块端口数据采集的类型和范围,然后在 Visual Studio 2012 里面添加 Advantech 动态链接库(DLL)实现数据的采集。采集的监测数据在 A/D 转换后,需对转换的监测数据进行计算才能转换成测量的物理量。其部分实现代码如下:

```
//读采集卡数据
adamCom.Modbus(m_iAddr).ReadHoldingRegs(m_iStart, m_iLength, out iData)
```

某次试验数据的实时采集如图 6 所示。

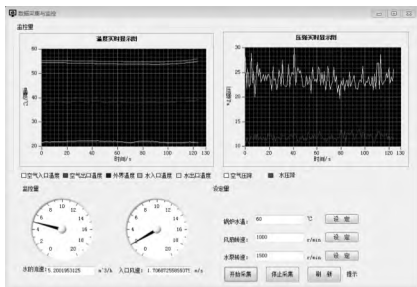


图 6 监测数据实时采集

### 2.6 设备控制的实现

以水泵电机的控制为例,本研究通过台达的变频器 VFD-M 对水泵电机的转速和启停进行控制。变频器 VFD-M 支持 485 通讯,Modbus 通讯协议。本研究首先在变频器界面设置 Modbus-RTU 通讯数据帧格式,然后在应用程序配置串口(SerialPort1)的波特率、停止位等,最后配置主机发送数据帧 message 写入到串口。其部分实现代码如下:

```
serialPort1.Write(message, 0, message.Length); // 写入串口
```

### 2.7 历史监测数据绘图的实现

本研究利用数据库语句查询出相应的监测数据,然后在曲线图 scatterPlot 中绘出,其实现代码如下(以空气入口温度为例):

```
DataTable dt = bll_datainfo.GetQueryList(str); // 获取查询的数据
```

```
model_datainfo[i].AirInTemperature = Convert.ToDouble(dt.Rows[i]["AirInTemperature"]);
for (int i = 0; i < count; i++) //绘图
{
    scatterPlot1.PlotXYAppend(time[i], model_datainfo[i].AirInTemperature);
}
```

某次试验数据查询后,空气侧入口温度和出口温度的历史监测数据绘图如图 7 所示。

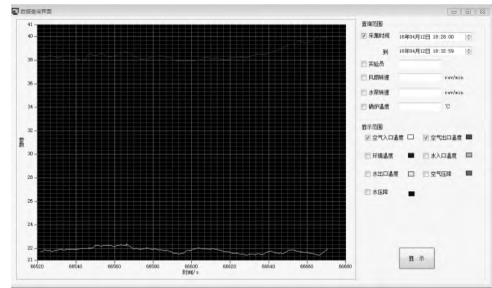


图 7 历史监测数据绘图

### 2.8 监测数据存储和导出的实现

由于采集到的监测数据数量是可控的,可以通过实例化模型层对象数组存储数据到数据库。这样处理虽然需要在程序窗体初始化的过程中必须对每个对象进行实例化,浪费了内存,但是不需要创建多线程来存储数据,减轻了程序运行压力。其实现代码如下:

```
//添加到数据库
for (int i=0; i < count; i++)
{
    j = bll_datainfo.Add(model_datainfo_arry[i]);
}
```

存储到数据库的监测数据,可以通过查询呈现在 ListView 表格中,然后导出到 Word 文档或者 Excel 文档中。首先本研究在程序中添加 Microsoft.Office 动态链接库(DLL),然后在表示层创建一个命名为“Comm\_CreateReport.cs”的公共类,最后在监测数据管理窗体界面实现数据导出功能。其实现代码如下(以导出监测数据到 Excel 为例):

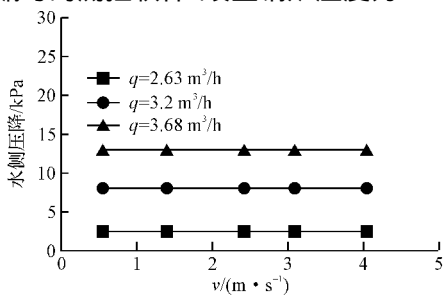
```
//创建 excel 应用程序
public static bool ListViewToExcel(ListView lv, bool isShow, string fileName)
//导出到 Excel 表格
Comm_CreateReport.ListViewToExcel(lv_DataInfo, true, "数据信息查询表");
监测数据导出界面如图 8 所示。
```



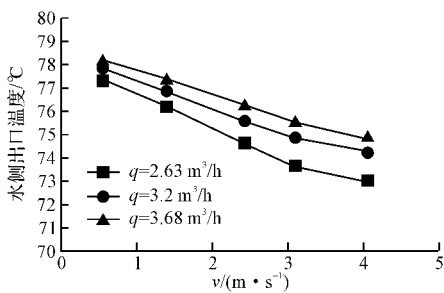
图 8 监测数据的导出

### 3 实验结果及分析

本研究根据编写的测控软件,设置锅炉温度为



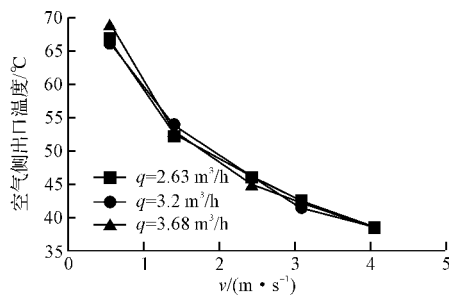
(a) 水侧压降变化图



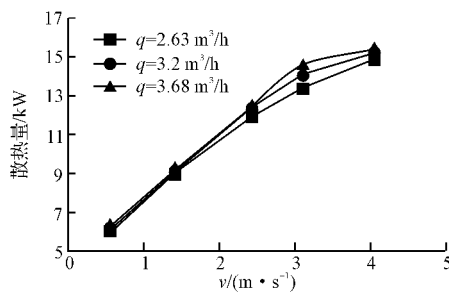
(c) 水侧出口温度变化图

83 °C, 改变风扇电机转速  $n_F$  和水泵电机转速  $n_P$ , 外界环境温度为 24 °C 左右。采集监测数据前, 需要判断试验平台是否达到热平衡<sup>[14]</sup>, 即散热器进出口空气带走的热量和进出口水带走的热量之间的偏差是否维持在 10% 内。一个工况点达到热平衡大约需要 30 min 左右, 然后进行数据的采集, 采集 1 min。采集得到水流量  $q$  为 2.63 m<sup>3</sup>/h、3.2 m<sup>3</sup>/h、3.68 m<sup>3</sup>/h 下, 风速  $v$  为 0.55 m/s、1.40 m/s、2.43 m/s、3.10 m/s、4.06 m/s 的 3 组数据。

其水侧压降、空气侧出口温度、水侧出口温度、散热量随风速  $v$  变化如图 9 所示。



(b) 空气侧出口温度变化图



(d) 散热量变化图

图 9 冷却系统性能图

从图 9 中可以看出, 随着风速  $v$  的增加, 对流换热增强, 空气侧出口温度和水侧出口温度逐渐下降, 散热量增大; 随着水侧流量  $q$  的增加, 水侧压降和出口温度逐渐增加。采集的监测数据符合冷却系统的变化规律, 验证了监控软件采集数据的准确性。

为了实现对发动机冷却系统的智能控制, 除了了解冷却系统的散热性能外, 还需要测量不同散热器入口水温条件下, 改变风扇转速  $n_F$  和水泵转速  $n_P$ , 得到目标散热器出口水温。因此笔者在试验台上测得散热器入口水温在 81 °C、80 °C、79 °C、78 °C, 散热器出口水温为 76 °C 时不同风扇转速和不同水泵转速  $n_P$  的监测数据。

本研究根据监测数据采用样条插值法绘制的风扇转速  $n_F$ -水泵转速  $n_P$ -散热器入口水温的特性图, 如图 10 所示。

在车辆冷却系统控制模块中, 根据特性图和相应的原则选择合适的风扇转速  $n_F$  和水泵转速  $n_P$ <sup>[15]</sup> (此

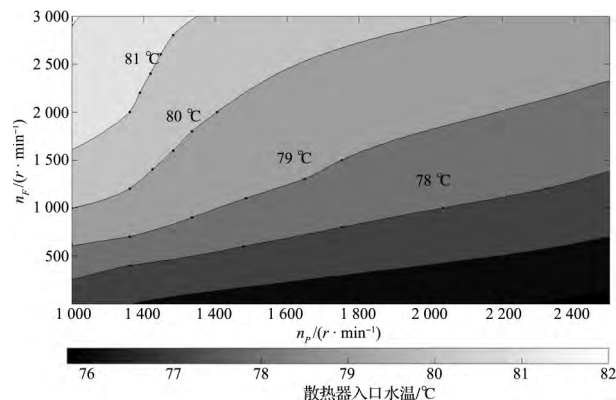


图 10 冷却系统特性图

处忽略了车辆行驶速度和外界环境温度的影响), 就可实现对发动机入口水温的智能控制。

### 4 结束语

本研究针对实际车辆发动机冷却系统的结构特点, 基于三层架构, 利用 C#语言, 结合 SQL Server 数据

库和 Measurement Studio 控件设计开发了车辆冷却系统测控软件。代码易于封装和维护,能很好地适应测控硬件的扩展造成的对软件的变动。

经过调试后的实验结果表明,该测控软件完成了对冷却系统测控数据的实时采集、存储与处理,实时曲线和历史曲线的绘制以及对电机的控制等功能,满足冷却系统控制研究试验台的要求。

#### 参考文献(References):

- [1] 成晓北,潘立,鞠洪玲. 现代车用发动机冷却系统研究进展[J]. 车用发动机, 2008, 273(1): 1-6.
- [2] 杨明举. 浅论现代汽车发动机冷却系统发展特点[J]. 科技创新与应用, 2014(27): 131.
- [3] 郭新民,翟丽,高平,等. 汽车发动机智能冷却系统的研究[J]. 内燃机工程, 2001, 22(1): 14-16.
- [4] 张辉平,胡在双. 基于流固耦合传热的摩托车发动机冷却水套优化设计[J]. 机械, 2014, 41(9): 35-39.
- [5] 张金凤,昌杰云,袁寿其,等. 变转速工况下汽车冷却水泵内外特性变的规律[J]. 流体机械, 2014, 42(8): 1-6.
- [6] 黄鑫. 发动机热平衡试验系统开发[D]. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2006.
- [7] 钱向明,徐澍敏. 基于虚拟仪器的发动机冷却系统测控试验台[J]. 仪表技术与传感器, 2009(5): 120-122.
- [8] 张刚. 汽车发动机冷却系统试验台的研制与开发[D]. 武汉: 武汉理工大学机电工程学院, 2012.
- [9] 孟庆柳,虞先国,王磊,等. 基于三层架构的肺部内污染检测软件设计[J]. 核电子学与探测技术, 2015, 35(1): 95-98.
- [10] 毛鑫,吴误,沈钢. 基于C#控制的NI板卡在振动试验台中的应用[J]. 测控技术, 2015, 34(2): 103-106.
- [11] 陈建国. C#项目开发经典案例教程[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2014.
- [12] 郑细端,张苏红,阮学斌. 基于.NET三层架构的酒店管理系统的设计与实现[J]. 计算机与数字工程, 2011, 262(8): 91-93.
- [13] 周建伙,顾申申. 基于Visual C#和Measurement Studio混合编程的数据采集分析和绘图软件[J]. 工业控制计算机, 2015, 28(9): 24-27.
- [14] 董军启. 车辆冷却系统空气侧特性研究[D]. 上海: 上海交通大学机械与动力工程学院, 2007.
- [15] 刘震涛,尹旭,韩松,等. 基于前馈的柴油机冷却液温度控制策略研究[J]. 内燃机工程, 2013, 34(4): 7-12.

[编辑: 李辉]

#### 本文引用格式:

张银亮,蔡惠坤,廖亦戴,等. 基于三层架构的车辆冷却系统测控软件设计[J]. 机电工程, 2016, 33(9): 1088-1093.

ZHANG Yin-liang, CAI Hui-kun, LIAO Yi-dal, et al. Measurement and control software for vehicle cooling system based on 3-Access Architecture[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(9): 1088-1093.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1079页)

#### 参考文献(References):

- [1] 潘峰,朱平,孟瑾. 微型货车车架的拓扑优化[J]. 机械设计与研究, 2008, 24(2): 87-90.
- [2] 刘林华,辛勇,汪伟. 基于折衷规划法的车架结构多目标拓扑优化设计[J]. 机械科学与技术, 2011, 30(3): 382-385.
- [3] BENDSOE M P, SIGMUND O. Topology Optimization: Theory, Methods and Applications[M]. Berlin: Springer, 2003.
- [4] 龙江启,李毅,俞平等. 基于结构优化的客车骨架轻量化设计研究[J]. 机械科学与技术, 2013, 32(4): 558-563.
- [5] 李永欣,薛开,戴光昊,等. 基于特征灵敏度技术的船用齿轮箱抗震优化设计[J]. 机械设计, 2011, 28(2): 69-72.
- [6] MIN S, NISHIWAKI S, KIKUCHI N. Unified Topology Design of static and Vibrating Structures Using Multi-objective Optimization[J]. Computers and Structures, 2000, 75(1): 93-116.
- [7] 蒋金星,谷正气,米继承,等. 矿用自卸车车架结构多目标拓扑优化研究[J]. 中国机械工程, 2013, 24(8): 1028-1032.
- [8] 范文杰,范子杰,苏瑞意. 汽车车架结构多目标拓扑优化方法研究[J]. 2008, 19(12): 1505-1507.
- [9] ZHENG-DONG MA, NOBORU KIKUCHI, HSIEN-CHIE CHENG. Topological Design for Vibrating Structures[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1995, 121(4): 259-280.
- [10] 母德强,范以撒,杨君. 龙门导轨磨床立柱的多目标拓扑优化[J]. 制造业自动化, 2014, 36(14): 69-72.
- [11] 苏文献,杨随云. 齿啮式快开门装置上法兰的拓扑优化[J]. 轻机械, 2016, 34(1): 79-83.
- [12] KASPRZAK E M, LEWIS K E. Pareto Analysis in Multi-objective Optimization Using the Collinearity Theorem and Scaling Method[J]. Struct Multidisc Optimization, 2001, 22(3): 208-218.

[编辑: 李辉]