

# 变转速变排量复合调速液压系统监控平台设计

田晴晴 谷立臣

西安建筑科技大学,西安,710055

**摘要:**以泵控马达变转速变排量复合容积调速液压系统为研究对象,完成了其监控平台的设计。在介绍系统工作原理及监控平台设计思路的基础上,结合 LabVIEW 技术,完成了监控平台软件开发。运行结果表明:该平台对模拟量数据及串口数据进行统一采集、保存及处理,并通过变转速、变排量方式实现泵控马达液压系统的无级调速,以及通过调节比例溢流阀实现电液负载模拟加载。监控平台人机界面友好,运行可靠,具有良好的开放性和可扩展性,能更好地满足液压系统动态参数监测和自动控制的需要。

**关键词:**变转速;变排量;容积调速液压系统;监控平台

**中图分类号:**TH137;TP391.8

**DOI:**10.3969/j.issn.1004-132X.2016.16.017

## Design of Supervisory Control Platform for Composite Hydraulic Speed Control System with Variable Frequency and Displacement

Tian Qingqing Gu Lichen

Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055

**Abstract:** The supervisory control system for a pump-control-motor composite hydraulic volumetric speed control system with variable frequency and displacement was researched. Based on the full introduction to the working principles about the experimental system and the supervisory control system's structure, the supervisory control platform was implemented with LabVIEW technology. The results indicate that the supervisory control system realizes the acquisition, preservation and processing of the data, including analog data, serial data and so on. At the same time, the control for the speed of hydraulic system was realized by adjusting frequency or variable displacement, and the electro-hydraulic load simulation was achieved by adjusting the proportional relief valve. The supervisory control platform with friendly man-machine interface has a good openness and extensibility, and performs reliably, which is able to meet the needs of dynamic parameter monitoring and automatic control for the hydraulic system better.

**Key words:** variable speed; variable displacement; hydraulic volumetric speed control system; supervisory control platform

## 0 引言

近年来,在固定式液压设备中,采用变转速和变排量组合泵驱动成为一种趋势。该驱动单元通常由变频器及电动机、变排量泵组成,是继变排量泵驱动单元、变转速泵驱动单元之后的又一节能型液动力源,在相关的能量效率研究中也显现出较前两种高的功率效率优势<sup>[1-4]</sup>。但在变转速变排量泵性能及其复合调速液压系统性能方面,目前还鲜见研究报道。

系统的性能研究及安全运行通常通过相关特征参数来表征和调整控制完成,如在变转速变排量复合调速液压系统中,流量、压力、温度、电动机及变量马达的转速和转矩等参数反映了系统的工况及运行状态,而电动机转速、泵排量等参数影响

着系统的性能,所以对这些参数进行实时监控是十分必要的<sup>[5-6]</sup>。笔者以泵控马达变转速变排量复合调速液压系统为研究对象,完成了其监控平台的设计及软件实现。

## 1 泵控马达变转速变排量复合调速液压系统

### 1.1 液压系统组成

泵控马达变转速变排量复合调速液压系统是由变频器、电动机、变量泵和变量马达构成的一种液压传动系统,图 1 是其液压系统原理图。系统主要由动力源、液压传动系统、加载系统三部分组成。其中:

(1)系统动力源为交流电动机调速系统,由异步电动机 1 及变频器组成,可将电能转换为机械能。交流调速系统采用矢量控制,通过控制信号完成系统自动调速。

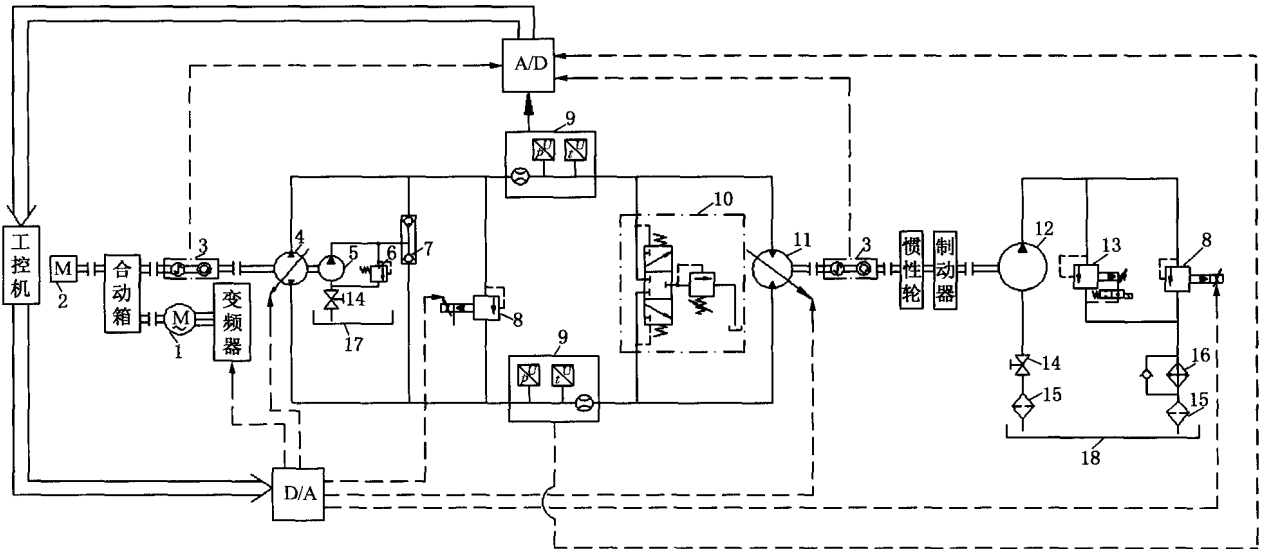
收稿日期:2015-11-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275375);陕西省教育厅自然科学基金项目(15JK1412)

(2) 液压传动系统为典型的闭式系统, 主要包括主泵 4、补油泵 5、冲洗阀组 10 和变量马达 11 四个部分。主泵 4 的进油口、出油口分别与马达 11 的出油口、进油口通过液压管道直接相连, 液压油在主泵 4、马达 11 和管路组成的封闭腔中进行循环。油泵 4 输出的高压油直接进入马达 11 的进油腔, 推动马达 11 旋转, 进而带动负载运动。其中, 冲洗阀组 10 对系统工作油液进行冷却和过滤。对于变量泵-变量马达调速系统, 一般先将马达排量调节到最大, 然后通过调节泵的排量来调

速, 当泵的排量调节到最大时, 通过调节马达排量来进一步完成调速。

(3) 加载系统由惯性轮、制动器和加载液压系统组成, 可实现多种负载形式的组合。其中惯性负载可通过增减惯性轮的数量(调节重量)实现; 制动器可以实现制动和打滑工况的模拟; 加载液压系统通过电液比例技术实现数字化模拟加载, 可完成典型负载工况的模拟加载<sup>[7]</sup>。其中, 电磁溢流阀 13 在加载液压系统中起安全阀作用, 防止模拟负载突变引起的系统高压冲击。



1. 电动机 2. 柴油机 3. 转速转矩传感器 4. 主泵 5. 补油泵 6. 补油溢流阀 7. 补油单向阀 8. 先导比例溢流阀 9. 组合传感器 10. 冲洗阀组 11. 变量马达 12. 齿轮泵 13. 电磁溢流阀 14. 截止阀 15. 过滤器 16. 冷却器 17. 驱动系统油箱 18. 加载系统油箱

图 1 泵控马达变速变排量复合调速液压系统原理图

### 1.2 液压系统调速原理

液压泵 4 的转速是通过调节变频器的控制电压从而改变电机的转速来实现的。

变量泵 4 的参数穿过调节死区后, 其输出流量为

$$q_{vp} = D_p n_p - q_{vlp} = D_p n_p - C_{ip}(p - p_b) - C_{ep} p \quad (1)$$

式中,  $q_{vp}$  和  $q_{vlp}$  分别为泵的输出流量、泵的泄漏流量,  $m^3/min$ ;  $D_p$  为泵的排量,  $m^3/r$ ;  $n_p$  为泵转速, 亦即电动机转速(忽略机械效率),  $r/min$ ;  $C_{ip}$ 、 $C_{ep}$  分别为变量泵的内泄漏系数和外泄漏系数,  $m^3/(min \cdot MPa)$ ;  $p$ 、 $p_b$  分别为液压系统压力和低压油路的补油压力,  $MPa$ 。

根据流量平衡方程, 变量马达 11 的输出流量为

$$D_m n_m = q_{vp} - q_{vlm} - q_{vld} = q_{vp} - C_{im}(p - p_b) - C_{em} p - \frac{V}{\beta_c} \frac{dp}{dt} \quad (2)$$

式中,  $q_{vlm}$ 、 $q_{vld}$  分别为变量马达的泄漏流量、泵和马达间的管路与液压阀的容积损失,  $m^3/min$ ;  $D_m$  为马达的排量,  $m^3/r$ ;  $n_m$  为马达转速,  $r/min$ 。  $C_{im}$ 、 $C_{em}$  分别为变量泵的内泄漏系数和外泄漏系数,  $m^3/(min \cdot MPa)$ ;  $V$  为变量泵、

变量马达、高压油路等组成的腔体容积,  $m^3$ ;  $\beta_c$  为油液弹性模量,  $MPa$ ;  $t$  为时间,  $min$ 。

不计变量马达的机械效率, 由式(1)和式(2)得马达的输出转速为

$$n_m = \frac{D_p n_p - q_{vlp} - q_{vlm} - q_{vld}}{D_m} \quad (3)$$

式(3)中分子的第 2 项至第 4 项为泵和马达的流量损失, 液压系统采用林德 HPV-02 变量柱塞泵和 HVMV-02 变量柱塞马达, 容积效率较高, 在忽略流量损失的情况下, 液压系统执行元件的转速(马达输出转速)可以通过改变驱动电动机转速、液压泵排量或液压马达排量实现复合调速。

### 2 监控平台设计

一个完整的监控系统包括: 传感器、执行元件、信号调理设备、数据多功能卡(或装置)、驱动程序、硬件配置管理软件、应用软件和工控机等<sup>[8-9]</sup>。所设计的监控系统结构如图 2 所示, 监控系统的组成框图见图 3。

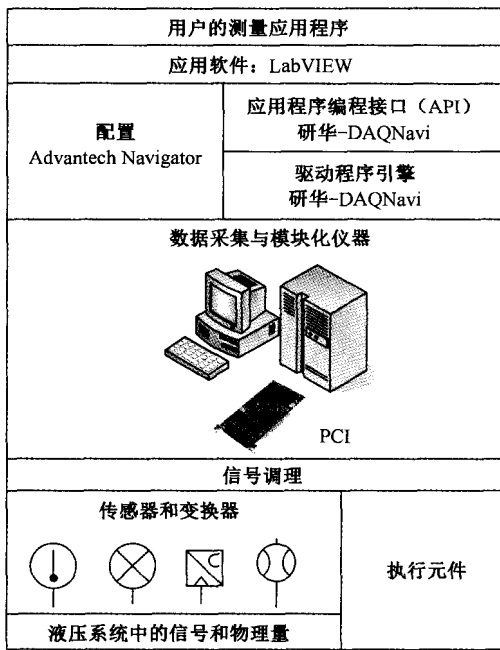


图2 监控系统结构图

(1) 传感器是一种将被测量信息转化为电信号或其他所需输出形式信号的检测装置,所以,在选择传感器时,必须要对被测量信息和测量需求作详细分析,应从测量范围、精度、频响范围等方面并结合实际需求加以选择。泵控马达变转速变排量复合调速液压系统的主要监测信号包括:变量泵输入转速、转矩;变量泵出入口的流量、压力、温度;变量马达输出转速、转矩等。本系统所涉及的传感器,除2个转速转矩分析仪的转速、转矩信号通过RS-232串口通信外,其他7个传感器均输出4~20mA的抗干扰能力强的电流信号。

(2) 本系统的执行元件为:变频器、变量泵、变量马达、驱动系统比例溢流阀和加载系统比例溢流阀,其控制信号为0~10V的电压信号。

(3) 信号调理设备对输入信号和控制信号进行调理,旨在将它们转化成符合采集设备读取要求的信号及执行元件所需的控制信号。本系统中

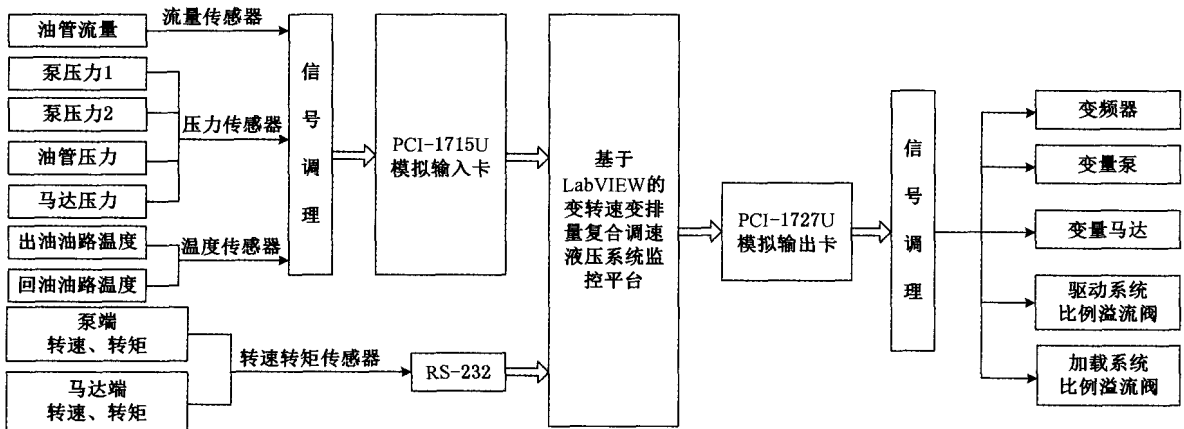


图3 监控系统组成框图

的变频器属于强电磁干扰源,因此对于传感器信号选择加光电隔离模块,在切断干扰的传播途径的同时,也完成对信号的调理。控制部分(如变量泵、变量马达、比例溢流阀等的控制)与相应的放大板配合使用,完成电液比例控制。

(4) 对于数据多功能卡(或装置),主要关心的是模拟量的输入/输出。在模拟量输入板卡选择时,工程中通常会对如下一些参数比较关注:输入模式(单端输入或者差分输入)、输入范围、分辨率、采样速率、精度和噪声等。在模拟量输出板卡选择时,通常关注:输出范围、分辨率等。① 差分输入方式下,每个信号源的两个端子可以有不同的接地参考点(更强调两个端子间的相对值),消除了共模噪声产生的误差,故精度较高。由于测控现场信号源与采集端之间的距离较远(约为4~5m),并且很难保证信号源有公共接地端,所

以选择了差分输入的接线方式。然后,由采集信号数量和输入方式决定采集卡的通道数量。② 输入范围或量程是指数据采集卡能够量化处理的最大、最小输入电信号值。③ 分辨率表明采集板卡对模拟信号的最小可辨识度。通常,输入范围和A/D转换器位数决定了分辨率。④ 采样率,也称采样频率或采样速度,决定了A/D转换的速率。为了避免混叠现象,根据奈奎斯特采样理论,采样频率必须是信号最高频率的2倍以上。而在实际应用中,数据板卡设置的采样率一般为信号最高频率的4倍以上。一般在产品样本中给出的是最大采样率值。根据以上I/O卡的选择原则,本系统选择研华公司的PCI-1715U模拟输入卡和PCI-1727U模拟输出卡。

(5) 软件部分包括驱动程序引擎、编程接口、应用程序及用户的测控应用程序,是用户和实际

系统之间的翻译器。监控系统采用 LabVIEW 图形化编程语言,可以按照工作要求灵活地搭建不同性能的虚拟仪器,使得工作效率大大提高。

(6) 工控机提供了可视化操作平台,它将上述各个部分按照要求搭建成具有监控功能的平台,通过数据模拟采集卡完成数据测量,并根据需要完成控制目标,最终以图表及数据等方式进行显示与存储。

### 3 监控平台软件实现

基于前文所述关于监控平台的设计思路,根据泵控马达变转速变排量复合调速液压系统的监控需要,选择合适的传感器、工控机系统等并合理布置测点,完成了监控平台硬件配置,其后,主要完成监控平台软件程序设计<sup>[10]</sup>。本监控平台软件程序按其功能大致分为数据 I/O、参数设置、数

据计算显示等功能模块。程序采用 LabVIEW2013 图形化编程语言,并在 Windows 7 操作系统下执行。

#### 3.1 数据 I/O

数据 I/O 是整个监测系统的灵魂,其功能的实现如图 4 监控系统程序框图所示,模拟量数据输入通过 DAQNavI 函数库中的 Create Channel、Timing、Read、Clear Task 等 Vi 及多态 Vi 的设置,在 While 循环中实现 7 路信号的连续采集,并由“队列”功能模块保证数据的实时无丢失传输,如图 4a 所示;模拟量数据输出通过 Create Channel、Write、Clear Task 等 Vi 实现,如图 4b 所示。其中,RS-232 串口数据通过 VISA 函数库的端口认证、写入、读取、关闭等 Vi 并在平铺式顺序结构下实现信号提取,具体程序实现见图 4c。

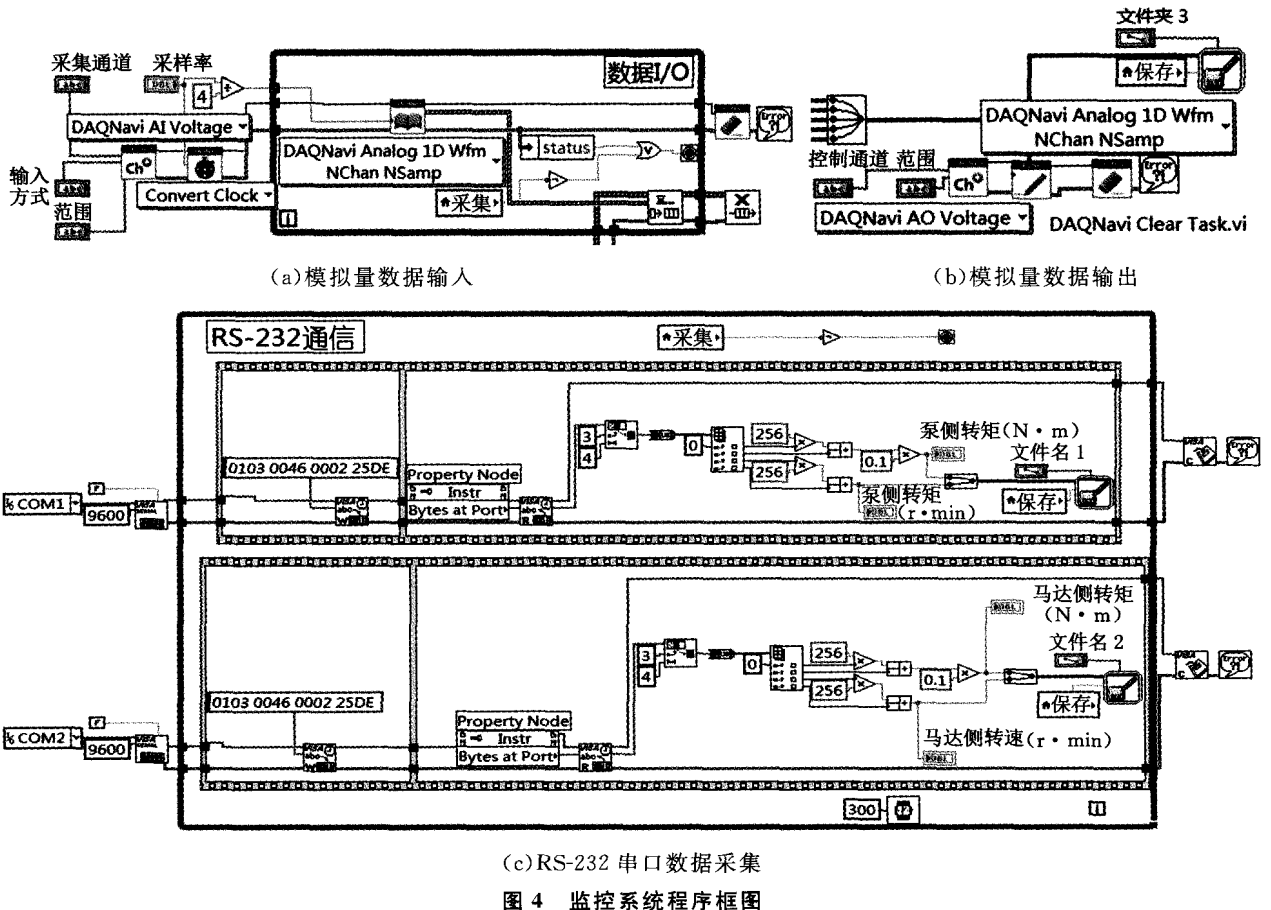


图 4 监控系统程序框图

#### 3.2 参数设置

参数设置包括了 I/O 通道的选择、接线方式、范围、标定转换等,详见图 5 的前面板参数设置区。

#### 3.3 数据计算显示

数据计算显示主要包括流量、压力、温度的原始信号波形控件显示,及标尺转换后传至仪表中的显示,如图 5 中原始波形显示区及传感器显示

区所示。另外,RS-232 串口数据如图 5 中转矩转速传感器显示区所示。

监控平台运行结果表明:该平台对模拟量数据及串口数据进行统一采集、处理及保存,并通过改变电动机转速、泵和马达排量实现了泵控马达液压系统的无级调速,同时,完成了基于电液比例溢流阀的工况模拟加载。

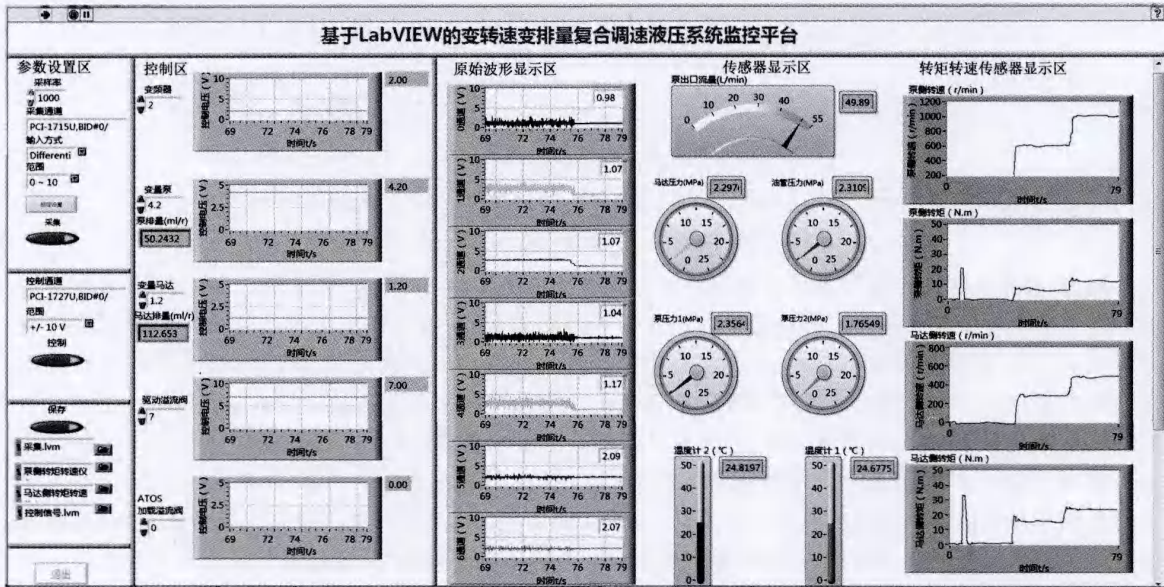


图5 监控平台前面板

#### 4 结语

本文介绍了泵控马达变转速变排量复合容积调速液压系统,根据泵控马达变转速变排量复合调速液压系统的工作原理,从数据测控系统设计角度提出了其监控平台的解决方案。

该监控平台已经应用于泵控马达变转速变排量复合调速液压系统的在线实时监控中,系统运行稳定可靠,各参数测量准确,符合系统实际要求,可靠性和可扩展性良好。在以后的实际应用中,只需根据所测传感器参数的要求略加修改,增减模拟通道,即可应用于其地工业生产参数的实时监测上。

怎样选择液压系统的调速控制策略,使系统在满足工程要求的情况下,响应快、节能且高效的课题尚有待深入研究。

#### 参考文献:

[1] Huang Jiahai, Yan Zheng, Quan Long, et al. Characteristics of Delivery Pressure in the Axial Piston Pump with Combination of Variable Displacement and Variable Speed[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I—Journal of Systems and Control Engineering, 2015, 229(7): 599-613.

[2] 白国长,王占林.变频调速-变量泵复合调节液压系统仿真研究[J].系统仿真学报, 2006, 18(2): 424-426.

Bai Guochang, Wang Zhanlin. Simulation and Study of Composite Hydraulic System with Frequency

Control and Variable Pump [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 424-426.

[3] Tasner T, Les K, Tic V, et al. Energy Efficiency of Different Electrohydraulic Drives[C]//In: Murrenhoff H ed. Proceedings of the 9th International Fluid Power Conference. Aachen, 2014, 3: 14-25.

[4] 张红娟,权龙,李斌.注塑机电液控制系统能量效率对比研究[J].机械工程学报, 2012, 48(8): 180-187.

Zhang Hongjuan, Quan Long, Li Bin. Comparative Study on Energy Efficiency of the Electro-hydraulic Control System in Injection Molding Machine [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(8): 180-187.

[5] 谷立臣,刘沛津,陈江城.基于电参量信息融合的液压系统状态识别技术[J].机械工程学报, 2011, 47(24): 141-150.

Gu Lichen, Liu Peijin, Chen Jiangcheng. State Recognition Technique of Hydraulic System Based on Electrical Parameters Information Fusion [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2011, 47(24): 141-150.

[6] 王晓真,谷立臣,刘沛津.基于电信号分析的液压系统运行状态实时监测技术[J].机械科学与技术, 2013, 32(7): 1041-1045.

Wang Xiaozhen, Gu Lichen, Liu Peijin. Real-time Monitoring Technology of Hydraulic System Running State Based on Electrical Signal Analysis [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2013, 32(7): 1041-1045.

[7] 郑德帅,谷立臣,贾永峰,等.基于 AMESim 的电液负载模拟系统[J].机械设计与研究, 2013, 29(2): 97-100.

- sis on the Key Technologies in Automotive Pre-crash Safety System[J]. Automotive Engineering, 2009,31(12): 1145-1148.
- [4] Schoeneburg R, Baumann K H, Fehring M. The Efficiency of PRE-SAFE Systems in Pre-braked Frontal Collision Situations[C]//The 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). Washington, D.C., 2011:11-0207.
- [5] Infantes E, Schaub S, Kramer S, et al. Evaluation of Occupant Protection during the Crash Phase Considering Pre-crash Safety Systems-results from the Ec-funded Project Assess[C]//The 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). Seoul, 2013:13-0419.
- [6] 姚远, 罗道, 张金换. 碰撞预判系统中可逆预紧安全带控制参数探究[C]//第十四届中国汽车安全技术国际研讨会. 重庆, 2011:281-285.
- [7] Östh J, Ólafsdóttir J M, Davidsson J, et al. Driver Kinematic and Muscle Responses in Braking Events with Standard and Reversible Pre-tensioned Restraints: Validation Data for Human Models[J]. Stapp Car Crash Journal, 2013,57:1-41.
- [8] Ito D, Ejima S, Kitajima S, et al. Occupant Kinematic Behavior and Effects of a Motorized Seatbelt on Occupant Restraint of Human Volunteers during Low Speed Frontal Impact; Mini-sled Tests with Mass Production Car Seat[C]//Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Injury Conference. Gothenburg, 2013: IRC-13-100.
- [9] Good C A, Viano D C, Ronsky J L. Biomechanics of Volunteers Subject to Loading by a Motorized Shoulder Belt Tensioner[J]. Spine, 2008, 33(8): 225-235.
- [10] Sander U, Mroz K, Boström O, et al. The Effect of Pre-pretensioning in Multiple Impact Crashes [C]//The 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV). Stuttgart, 2009: 98-03333.
- [11] Adam T, Untaroiu C D. Identification of Occupant Posture Using a Bayesian Classification Methodology to Reduce the Risk of Injury in a Collision[J]. Transportation Research Part C, 2011, 19(6): 1078-1094.
- [12] Zhang L, Chen L, Vertiz A. Survey of Front Passenger Posture Usage in Passenger Vehicles[J]. SAE Technical Paper, 2004-01-0845.
- [13] Fujita K, Fujinami H, Moriizumi K, et al. Development of Pre-crash Safety System[C]//The 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Proceedings. Nagoya, 2003:544-W.
- [14] 赵福全, 吴成明, 潘之杰, 等. 中国汽车安全技术的现状与展望[J]. 汽车安全与节能学报, 2011, 2(2):111-121.
- Zhao Fuquan, Wu Chengming, Pan Zhijie, et al. Status and Propect of Automotive Safety Technology in China[J]. Automotive Safety and Energy, 2011,2(2): 111-121.
- [15] Kent R W, Purtsezev S V, Pilkey W D. Limiting Performance Analysis of a Seat Belt System with Slack[J]. International Journal of Impact Engineering, 2007,34(8):1382-1395.
- (编辑 王昱玥)
- 
- 作者简介:曹立波,男,1964年生。湖南大学机械与运载工程学院教授、博士研究生导师。主要研究方向为汽车车身设计及碰撞安全。欧阳志高,男,1986年生。湖南大学机械与运载工程学院博士研究生。贾嵩涛,男,1989年生。湖南大学机械与运载工程学院硕士研究生。徐哲,女,1990年生。湖南大学机械与运载工程学院硕士研究生。张冠军,男,1980年生。湖南大学机械与运载工程学院讲师。
- ~~~~~
- (上接第 2229 页)
- Zheng Deshuai, Gu Lichen, Jia Yongfeng, et al. Research on Electro-hydraulic Load Simulation Based on AMESim Software[J].Machine Design and Research, 2013,29(2):97-100.
- [8] 杨旭,龚国芳,杨华勇,等.盾构管片拼装试验台监控系统设计[J].工程设计学报,2013,20(6):534-538.
- Yang Xu, Gong Guofang, Yang Huayong, et al. Design of Monitoring and Control System for a Segment Assembly Test Bed of Shield Machine [J]. Chinese Journal of Engineering Design,2013,20(6): 534-538.
- [9] 刘金刚,祝建仁,旷水章,等.基于 Labview 的挖掘机多路阀综合测试系统开发[J].机械科学与技术, 2014,33(9): 1368-1372.
- Liu Jingang, Zhu Jianren, Kuang Shuizhang, et al. Development on Integrated Test System of Excavator Multi-way Valve Based on Labview [J].Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering,2014,33(9): 1368-1372.
- [10] 孙建伟.基于工控机的液压动力系统测控试验平台开发[D].西安:长安大学,2012.
- (编辑 卢湘帆)
- 
- 作者简介:田晴晴,女,1989年生。西安建筑科技大学机电学院博士研究生。主要研究方向为机电液一体化设计。发表论文 2 篇。谷立臣,男,1956年生。西安建筑科技大学机电学院教授、博士研究生导师。