

# 某大型装备电液比例实验台的控制系统设计

任丰兰<sup>1,2</sup>, 仵坤<sup>2</sup>

(1. 常德职业技术学院 机电系, 湖南 常德 415008; 2. 中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:**针对某大型装备电液比例系统的控制复杂、性能难掌握等特点,设计一种基于大型装备的电液比例实验台控制系统。对电液比例实验台的组成和功能进行介绍,对 PLC 可编程控制系统、电气控制系统和 HMI 人机交互系统进行设计,并对实验台的控制系统进行试验。试验结果表明:该控制系统能实现对系统元器件技术指标和参量的检测分析,可对控制系统参数和性能的曲线变化情况进行监测。

**关键词:**电液比例技术;液压系统;实验台;控制系统;性能测试

**中图分类号:**TP273 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)06-0177-05

## Design of Control System for a Large-scale Equipment Electro-hydraulic Proportional Experiment Platform

REN Fenglan<sup>1,2</sup>, WU Kun<sup>2</sup>

(1. Mechanical and Electrical Department, Changde Vocational Technical College, Changde 415008, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** A control system of electro-hydraulic proportional experimental bench is designed with the aim at the characteristics of complex control and difficult performance of electro-hydraulic proportional system of a large equipment. The composition and function of the electro-hydraulic proportional test bench are introduced, the PLC programm control system, electrical control system and HMI human-computer interaction system are designed, and the control system of the experimental bench is tested. The results show that the designed control system can detect and analyze the technical indexes and parameters of system components and monitor the curve changes of parameters and system performance.

**Keywords:** electro-hydraulic proportional technology; hydraulic system; experiment platform; control system; performance testing

## 0 引言

电液比例技术因紧凑集成化、轻量化、响应快、定位准确<sup>[1-2]</sup>等广泛应用于大型装备中。电液比例的控制是液压与气压传动技术、计算机技术、微电子技术、传感器技术、PLC 系统控制技术等的融合<sup>[3-5]</sup>,控制系统复杂,控制对象较多,并且要求各个控制对象之间逻辑严格,故控制系统性能难以检测。如何更好地掌握其控制系统的元器件控制逻辑,检测其控制系统的性能,是电液比例控制系统面临的一个普遍性难题<sup>[6-7]</sup>。为此,本文以锻压机为背景建立一个大型装备的电液比例实验台,通过 PLC 可编程控制系统、电气控制系统、HMI 人机交互系统的设计,进行实验台控制系统的设计。通过所设计的控制系统,可了解液压冲击现象产生的原因及缓冲办法,实现电液比例液压系统中元器件技术指标和参量的检测分析,实现电液比例系统元件的动静态特性测试。这对大型装备电液比例系统控制性能的理解和掌握、控制系统故障的排除、控制

逻辑的掌握、控制性能的提升具有重要的意义。

## 1 某大型装备电液比例实验台的组成及其功能

某大型装备电液比例实验台的控制系统是以锻压机的液压系统为背景所搭建,由比例传动试验工位、冲击试验工位、加载工位、液压泵站及控制系统五部分组成,其液压系统的原理如图 1 所示。它利用液压泵站实现对电液比例试验台的供油,通过控制系统实现对电液比例系统中压力、流量、位移等信号进行监控,通过比例插装阀、冲击试验工位、比例传动试验工位、加载工位实现对电液比例系统液压元器件的动静态特性测试和冲击的缓冲机理及其性能等方面研究,从而提高对电液比例性能的理解和掌握,加快掌握电液比例系统的组成及特性测试,实现对系统元器件技术指标和参量的检测分析,以及对控制系统参数和性能的曲线变化情况进行监测。

**基金项目:**湖南省自然科学基金资助项目(2020JJ7001)

**第一作者简介:**任丰兰(1976—),男,湖南永州人,副教授,从事液压与气压技术方面的教学和科研工作,fenglanren@163.com。

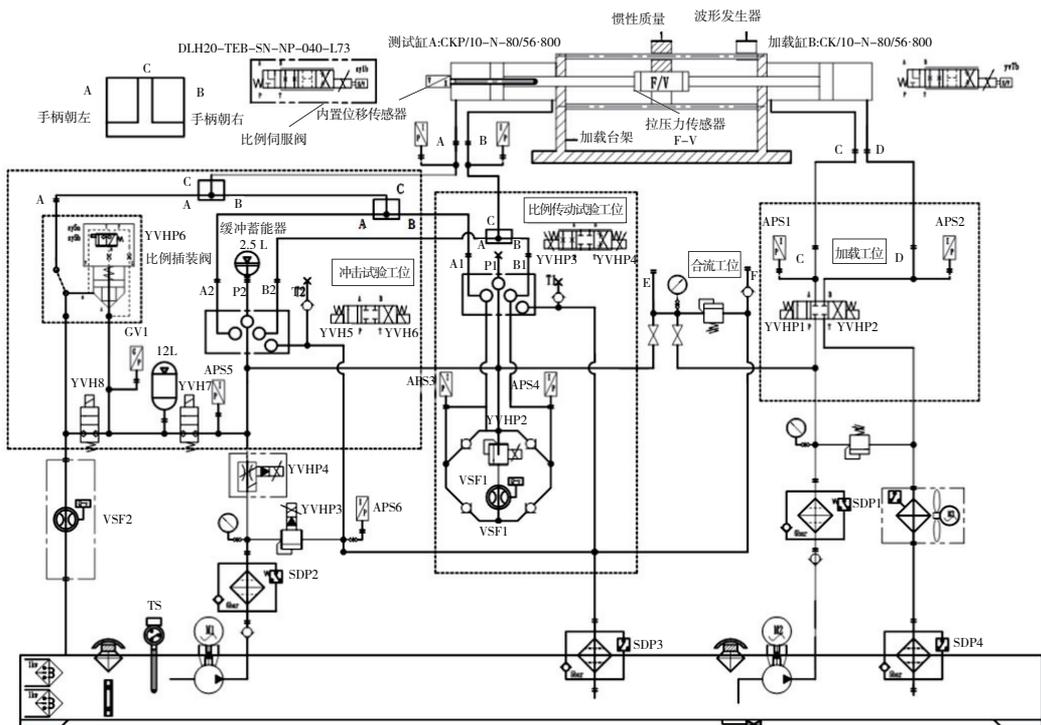


图 1 某大型电液比例实验台液压原理图

## 2 某大型装备电液比例实验台的控制系统设计

某大型装备电液比例实验台控制系统主要由 PLC 可编程控制系统、电气控制系统、HMI 人机交互系统三部分组成。对电液系统中的流量、压力、位移等信号采集后送到 PC 机中,PC 机根据所给的信息进行处理。运用 PLC 可编程控制系统实现对各种阀、电机等的控制,最终实现对系统的精确控制,控制原理如图 2 所示。

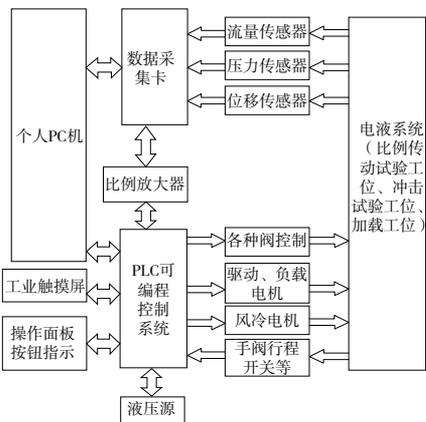


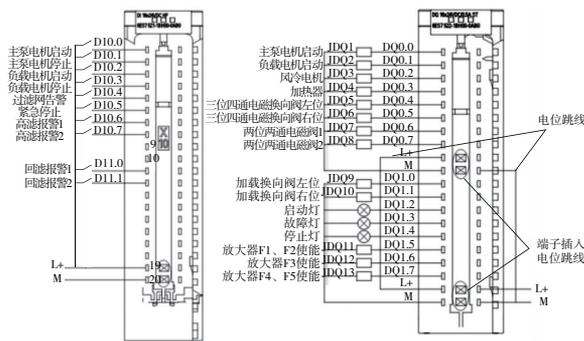
图 2 某大型装备电液比例实验台的控制原理图

### 2.1 PLC 可编程控制系统的设计

为了保证系统按照设计的控制逻辑工作,选择 SIMATIC S7-1500 的 PLC 作为控制核心。S7-1500 的 PLC 模块硬件与上位机的通信通过 PROFINET 网络进行

连接,通过 TIA 博途软件进行硬件组态配置后,通过 I/O 接口模块去控制泵、电机、阀等元件的工作。所设计的数字量信号输入或输出模块接线图如图 3 所示,模拟量信号输入或输出模块接线图如图 4 所示。其 PLC 程序由主程序、功能块子程序、通信程序等部分组成。其系统的功能实现主要由功能块的子程序运行,功能块的程序主要由 6 个,其控制功能为:

- 1) 试验台液压系统的启动、停止、故障以及互锁功能的控制;
- 2) 液压缸所受的力、速度、位移的开、闭环的控制;
- 3) 液压系统液压冲击、卸荷冲击压力的控制;
- 4) 液压系统各元件承受的压力、流量的控制;
- 5) 模拟量输入控制子程序实现速度给定、力、位移、流量等传感器信号的预处理;
- 6) 模拟量输出控制子程序实现速度输出、力、位移、流量等传感器信号输出信号的预处理。



(a) DI模块接线图 (b) DQ模块接线图

图 3 数字量模块地址定义接线图

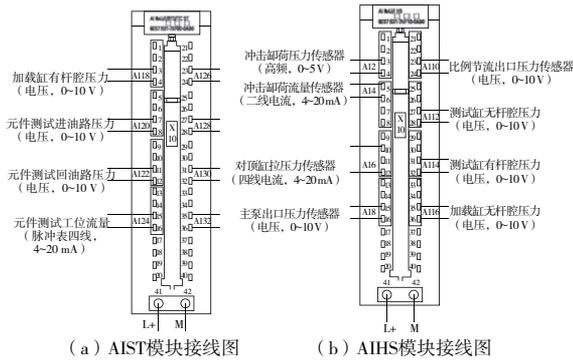


图4 模拟量模块地址接线图

### 2.2 电气控制系统的设计

电气控制系统的作用是保证电液系统可靠的运行<sup>[8]</sup>,其电气控制原理如图5所示。控制系统通过AC 380 V 供电,以S7-1500 PLC 可编程控制系统核心,实现电机、阀等的精确控制。

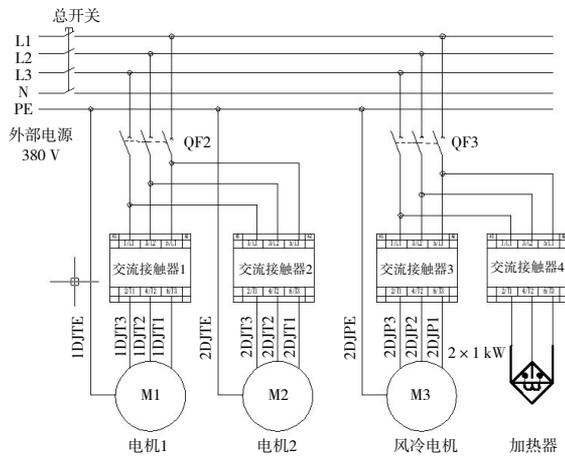


图5 电气控制原理图

### 2.3 HMI 人机交互系统的设计

HMI 人机交互系统主要是通过设计的界面方便试验台的冲击试验工位、比例传动试验工位、加载工位3个工位的操作和控制的显示,使控制系统操作简单、方便。为了使控制系统更直观,设计时把3个工位的控制设计成4个模块:液压缸控制模块、卸荷冲击模块、液压冲击模块、液压性能测试模块。通过比较,选用西门子TP1500的391.16 mm(15.4英寸)触摸屏作为操作面板,使用TIA博途的WinCC工程组态软件行组态,用于显示设备的运行情况,具体包括液压缸的位移、速度、拉压力、主泵和辅助泵的压力及相关的曲线等显示功能,实现对试验台的主泵出口压力、对顶缸的拉压力,比例调节出口压力、冲击卸荷压力等各个控制对象的状态以及参数的实时监控,进而实现对电液比例系统液压元件的动静态特性测试、实现对冲击的缓冲机理及其性能等方面研究,其控制界面如图6所示。

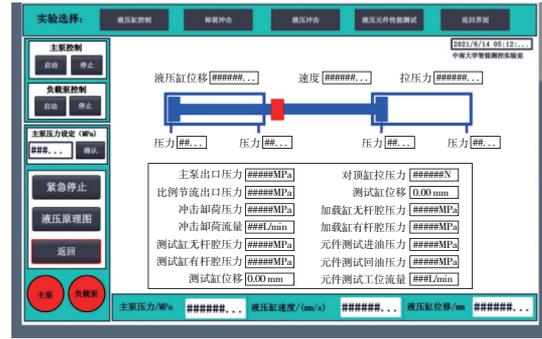


图6 控制系统的参数监测界面

## 3 某大型装备电液比例实验台的控制系统试验

控制系统的目的是实现冲击试验工位、比例传动试验工位、加载工位3个工位的控制,3个工位对应4个模块的控制。液压缸控制模块是在加载、比例传动试验工位试验时通过液压缸的流量、位移、速度、力的检测<sup>[9-10]</sup>,实现液压缸的位置控制、速度控制和模拟负载力控制。卸荷冲击和液压冲击的目的是在冲击试验工位中通过流量和压力的变化,模拟并测试由液压缸状态变化所产生的压力波动、测试不同参数对液压冲击大小的影响。液压元件的性能测试主要测试的是比例溢流阀和比例换向阀在不同的主泵压力下,其入口压力、出口压力及其流量的变化对其的影响,以此测试液压元件的动静态特性。共进行了两种试验,一是以液压元件的性能测试为例,进行电液比例系统中元件的性能测试试验;二是对电液控制系统的各个参数实时监测试验。

### 3.1 液压元件的性能测试试验

液压元件的性能测试原理如图7所示。试验中只对比例换向阀进行了测试,正弦信号是让液压元件收到不同变荷载的冲击,实现动态性能的测试。试验时进行两组测试,第一组是在主泵压力设定为3 MPa的情况下,正弦信号分别为 $T=10\text{ s}$ 、 $T=50\text{ s}$ 的测试,结果如图8所示;第二组是在主泵压力为5 MPa的情况下,正弦信号分别为 $T=10\text{ s}$ 、 $T=50\text{ s}$ 的测试,试验结果如图9所示。在相同的主泵压力下,输入的时间不同,产生的变荷载的大小变化也不同。

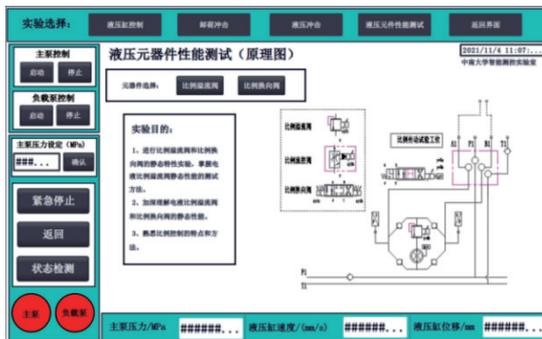


图7 液压元件性能测试原理图



图 8 主泵压力为 3 MPa 比例换向阀的性能测试试验图



图 9 主泵压力为 5 MPa 比例换向阀的性能测试试验图

### 3.2 控制系统的实时参数监测试验

在控制系统的实时参数监测试验中,做了一组对比试

验,即在主泵压力为 5 MPa 时,只开启主泵和主泵、负载泵同时开启时,各个参数的监测图如图 10 所示。

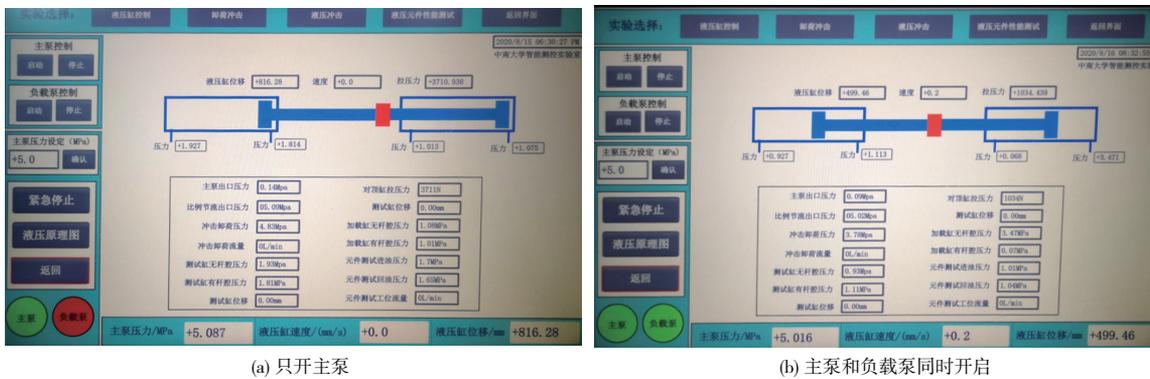


图 10 控制系统的实时参数监测

由上述两种试验可以看出,在液压元件的性能测试试验中,比例换向阀在主泵压力为 3 MPa 和 5 MPa 时,其入口压力、出口压力是不同的,被控输出口(流量)相对一定幅值的控制输入电信号阶跃变化的响应曲线也不同;在控制系统的实时参数监测中,只开主泵和主泵、负载泵都开的情况下,其主泵出口压力、对顶缸的拉压力、比例调节出口压力、冲击卸荷压力等参数也在发生变化,从而实现各个控制对象的状态以及参数实时的监控。

## 4 结语

某大型的电液比例实验台控制系统以 S7-1500 PLC 控制器为核心,通过 PROFINET 网络与上位机进行通信连接及 I/O 接口模块控制泵、电机、阀等元件的正常工作,能对电液系统中的各个参数进行实时监测,对元件和控制系统的性能进行测试和分析。相对于电液比例系统复杂、

性能检测等特点来说,某大型装备电液比例试验台的控制系统不仅可以再现电液系统的逻辑思维,实现对控制技术性能模拟,还可以对系统元器件技术指标和参量进行检测分析,这对大型装备电液比例控制系统的研发、逻辑思维掌握、故障的排除和性能的提高有着重要的作用。

#### 参考文献:

- [1] 赵怡麟. 电液比例位置控制系统的设计与研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2020.
- [2] 谢鲲,杨成东. 电液比例阀综合性能试验台的研制[J]. 机床与液压,2017,45(22):172-175.
- [3] 朱平平. 基于模糊PID的核环境机器人电液比例位置控制系统设计研究[D]. 衡阳:南华大学,2020.
- [4] 武利友,黄勋,刘苗苗. 基于LabVIEW的电液比例控制液压试验台的设计[J]. 机床与液压,2018,46(14):68-71.
- [5] 刘丽贞,赵治月,周鹏远,等. 基于自抗扰控制的电液比例位

置同步控制仿真研究[J]. 机床与液压,2021,49(10):146-150.

- [6] 毛尾,纪朱珂,韦海利,等. 电液比例伺服系统模糊PID复合控制应用研究[J]. 液压与气动,2019(1):95-99.
- [7] 罗艳蕾,杜黎,周山旭,等. 基于模糊PID的冲裁机电液比例位置控制系统仿真研究[J]. 机床与液压,2021,49(22):160-163.
- [8] 于保军,于文函,李健,等. 一种驾驶室翻转液压缸试验台的控制系统设计[J]. 液压与气动,2018(5):98-101.
- [9] 王浩坤. 多缸液压伺服控制系统设计及实验研究[J]. 微型电脑应用,2021,37(6):139-142.
- [10] 张翔,周燕飞,夏天,等. 通用型液压马达实验台的分析与设计[J]. 机械制造与自动化,2020,49(1):56-59,106.

收稿日期:2022-04-22

(上接第176页)

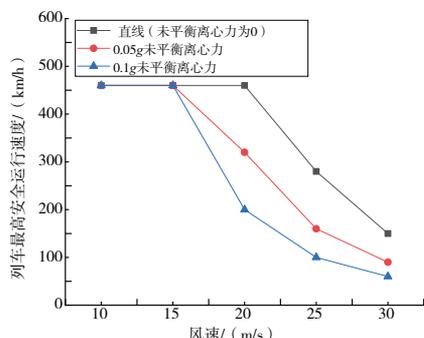


图20 不同线路及侧风风速下列车最高安全运行速度

## 4 结语

本文通过对我国某时速400km的中国标准化动车组进行侧风安全性计算分析,得出不同侧风风速下高速列车的最高安全运行速度,该项研究表明:

1)从各安全性指标来看,轮轴横向力、轮轨垂向力和脱轨系数这3个指标过于宽松,不适宜作为侧风安全性的评价指标,轮重减载率和倾覆系数的最高安全风速较小,相对比较保守,所以在进行侧风安全性评价时,结合采用轮重减载率和倾覆系数作为评价指标较为适宜;

2)侧风风速越高,列车受到的气动载荷越大,列车的最高安全运行速度越低,车辆的运行速度越高,其允许的最高安全风速越低;

3)在风速一定的情况下,随着未平衡离心力的增加,车辆允许的最高安全运行速度降低。因此在车辆通过强风区时,建议车辆采取限速、停运等措施来保证安全。

#### 参考文献:

- [1] 罗仁,石怀龙. 高速列车系统动力学[M]. 成都:西南交通大学出版社,2019.
- [2] 胥红敏,张鹏,郭湛. 大风作用下高速列车运行安全性研究综述[J]. 中国铁路,2019(5):17-26.
- [3] 毛冉成,曾京. 高速列车抗侧风倾覆稳定性研究[J]. 铁道车辆,2019,57(8):1-5,51.
- [4] 宋琛. 横风下高速列车曲线通过的安全性[J]. 大连交通大学学报,2018,39(2):29-34.
- [5] SUZUKI M. Aerodynamic characteristics of train/vehicles under cross winds[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,2003,91(1/2):209-218.
- [6] 王璐雷,徐宇工,毛军. 强侧风对高速列车运行安全性的影响及其控制[J]. 内燃机车,2004(10):5-8,19.
- [7] 田红旗,高广军. 270 km·h<sup>-1</sup>高速列车气动性能研究[J]. 中国铁道科学,2003,24(2):14-18.
- [8] 公衍军,杨东晓. 基于Simpack的车辆侧风安全性仿真计算方法[J]. 机械,2016,43(2):56-59.
- [9] 彭伟恺,罗仁,胡俊波,等. 不同侧风模型下的高速列车安全性研究[J]. 铁道车辆,2015,53(9):5-10.
- [10] 任尊松. 强侧风对高速列车运行安全性研究[R]. 北京:北京交通大学,2005.
- [11] 杨婧. 侧风下高速列车运行安全性分析[J]. 机械工程与自动化,2016(5):19-20,24.

收稿日期:2022-07-14