

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.02.015

# 计算机辅助液压测试平台的研制\*

许敏影<sup>1</sup>, 陈寅<sup>2</sup>, 谢建伟<sup>2</sup>, 叶丽玲<sup>2</sup>, 袁晓鹏<sup>2</sup>

(1. 浙江省机电设计研究院有限公司 检测所, 浙江 杭州 310002;

2. 浙江华昌液压机械有限公司, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 针对以型式试验为主的液压元件综合试验平台的研制与应用,在严格按照国标设计要求的基础上,通过分析综合国内厂家已有综合试验台的设计经验,主要集中对液压缸负载效率试验台架的结构与刚度进行了设计;利用液压阀与液压缸微小位移量的测量技术与测量数据的实时采集技术,对液压系统的功能模块进行了集成化设计。计算机辅助部分采用VB编程语言,实现了上位机对测试系统的试验进程的控制,以及试验数据的实时采集与保存,判断试验结果是否合格,并最终保存输出完整的液压元件型式测试试验报告。该测试平台已经通过检测,结果显示:针对液压缸、液压阀的型式试验可达到相应的国标要求的测试精度,既满足了企业内部对新型元件的开发与试制要求,同时可为同行业的同类产品提供检测服务与质量认证。

**关键词:** 负载效率; 模块化设计; 计算机辅助测试; 测试精度

中图分类号: TH137.7 文献标志码: B

文章编号: 1001-4551(2015)02-228-06

## Development of computer aided hydraulic test platform

XV Min-ying<sup>1</sup>, CHEN Yin<sup>2</sup>, XIE Jian-wei<sup>2</sup>, YE Li-ling<sup>2</sup>, YUAN Xiao-peng<sup>2</sup>

(1. Institute of Detection, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering Co., Ltd., Hangzhou 310002,

China; 2. Zhejiang HuaChang Hydraulic Machinery Co., Ltd., Lin'an 311300, China)

**Abstract:** Aiming at the development and application of comprehensive experiment platform, which is mainly composed of type test for hydraulic components, according to national standard on the basis of the design requirements and through the analysis of the comprehensive domestic manufacturer for comprehensive test-bed design experience, it mainly focused on the hydraulic cylinder load efficiency test bench structure and rigidity design, tiny displacement measurement technology about hydraulic valve and hydraulic cylinder and real time measurement data collection technology, function modules of integrated design on hydraulic system, computer aided part using VB programming language to realize the upper machine control of the testing system of test process, test data real-time acquisition and preservation, determine whether the test results qualified and ultimately save output full hydraulic element type test report and so on, which will be used for the design and development. The testing results indicate that the test platform for hydraulic cylinder and hydraulic valve has been up to the corresponding national standard test precision, satisfied the enterprise internal requirements for new development and manufacture of components, at the same time can provide testing services for the same industry of similar products and quality certification.

**Key words:** load efficiency; modular design; computer-aided testing; test precision

## 0 引 言

多路阀作为工程机械液压系统的核心元件,对整机的控制性能、可靠性及使用寿命均有着重要的影

响。如何对多路阀的各种性能及质量参数进行准确而综合地考核,对多路阀的研制、国产化技术水平的提高均有着重要的意义<sup>[1]</sup>。而液压缸是工程机械实现机构运动的执行元件<sup>[2]</sup>。在实际使用中液压缸的失效

收稿日期: 2014-11-04

基金项目: 浙江省科技计划资助项目(2012F10009)

作者简介: 许敏影(1985-),女,河北衡水人,主要从事液压系统与元件的仿真设计研发工作。E-mail: xu\_yingdance@126.com

型式表现为内泄漏与外泄漏,导致系统油压动力不足,这均与液压缸的密封及装配工艺有关。因此,针对液压阀与液压缸的性能进行全面的型式试验,是保证其良好特性的必要条件。

本研究通过分析综合国内厂家已有综合试验台的设计经验,主要集中对液压缸负载效率试验台架的结构与刚度进行设计。

## 1 液压测试平台设计

该计算机辅助液压测试平台具有液压油缸、液

压阀(主要是多路换向阀并兼顾其他阀)的性能检测功能。测试平台的设计参照了国内同行业已有检测平台的设计经验,同时结合国际相关测试平台在结构设计与计算机自动化控制方面的使用情况,测试平台的压力、流量等参数通过电控比例进行设定,试验方法按相关产品的国家标准所规定的试验方法进行。

液压系统原理图如图1所示。系统主要分为:油源动力单元、液压缸试验操作台与试验台架、液压阀操作台。

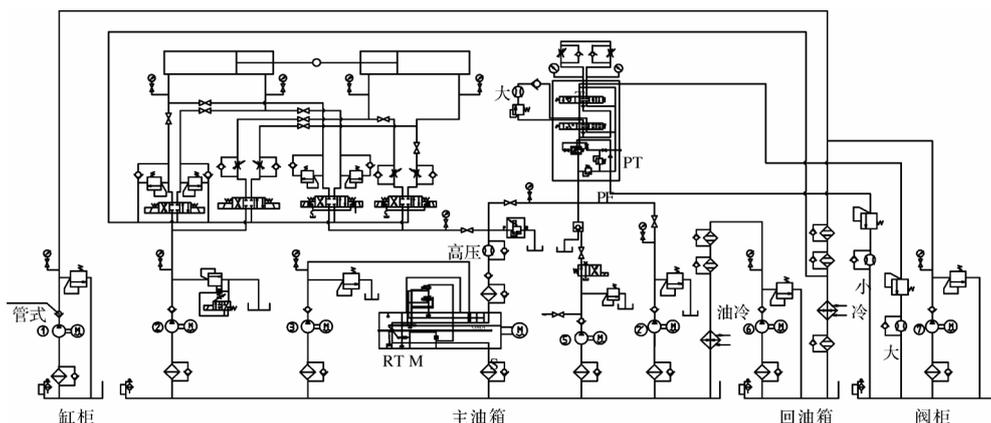


图1 试验台液压系统原理图

### 1.1 油源动力单元设计

在油源动力单元设计上,本研究以节能为系统的设计原则,采用Rexroth的A15VSO轴向柱塞变量泵,该泵使用了带比例电磁铁的电气行程限位器,泵的排量可以实现无级可调,并通过电磁力的方式正比于电流值。控制所需动力来自于工作压力或油口P上的外部控制压力。在无先导信号时,基本设定值为排量最小。随着控制电流的增大,泵的变量机构摆到较高排量,可实现系统流量的连续、自动调节。该试验台控制系统为开环设计,主油泵的设置流量与实际流量在实际检测中存在较小的偏差。

### 1.2 模拟加载单元

多路阀测试所需负载压力通过液压加载装置实现。溢流加载与节流加载为两种常用模拟加载方式。溢流加载采用溢流阀调定压力,给被试阀提供模拟负载,其压力经调压弹簧调定后可保持稳定,因此该种模拟负载方式具有压力调节方便、稳定可靠的特点,可实现单向加载功能;节流加载装置即用节流阀通过调节节流阀口大小,使流量通过时产生一定的压降而实现加载任务,节流加载既可用于流量的调节也可用于压力的调节,其缺点为应用于压力调节时,受通过的流量影响比较大,压力很难稳定在某个模拟值,但可实现双向模拟加载。

该测试系统根据叉车多路阀不同功能,采用了两种模拟加载方式应用在叉车多路阀的不同阀联。

### 1.3 背压单元设计

背压试验中要求多路阀测试时,回油压力可调,微动特性试验中要求测试压力油口与负载口在回油处的流量,但微动特性流量要小于系统回油流量。该测试系统对回油量与微动特性流量进行分开测量,两个油路分别连接量程不同的流量计。回油油路与微动特性油路均通过溢流阀实现背压调节。

### 1.4 辅助供油方案设计

因多路阀的操纵方式有手动式、机液式、电液先导式,因此换向控制方式有手动、先导控制油等方式来驱动多路阀主阀芯换向。先导油可直接从主油路引出,不需额外泵源,但因流量大小差异且存在主系统压力随负载变化较大等弊端,先导式多路阀要求先导控制油流量和压力稳定,才能保证滑阀准确定位和复位。该测试系统中,通过采用单独泵辅助供油系统,为多路阀换向提供稳定油源,保证了多路阀换向操作的重复性,为其相关性能测试结果的一致性和有效性提供了保证。

### 1.5 电气控制方式设计

测试平台将液压系统作为被试缸或阀的测试的动力源,并通过对变量柱塞泵、比例溢流阀等进行控制和

调节,从而得到试验所需的压力与流量,再结合数据采集及处理单元,完成对试验数据的自动采集、存储及实时显示。测控系统是除液压系统外另一重要组成部分,承担了对系统的动力单元、电液换向阀等的控制,同时完成多路阀与液压缸测试过程中试验数据的处理,兼顾系统的安全性(关键状态的监控)等。

## 2 计算机控制操作系统

计算机控制操作系统登录界面如图 2 所示。其中,进入测试区为测试系统的主要工作界面。



图 2 计算机操作系统登录界面

设置区如图 3 所示。其主要功能为设置信号采集端口与光栅尺接入端口等,当硬件信号接口无变动时该操作界面均不予改变;点击退出图框,将关闭测试系统。



图 3 设置区端口选择

测试区主界面如图 4 所示,包括几大板块:采集数据、项目选择、数据选择、测试泵选择、缸试验控制、阀试验操作、开启监控画面和监控画面展开区域、参数设置、保存与退出。

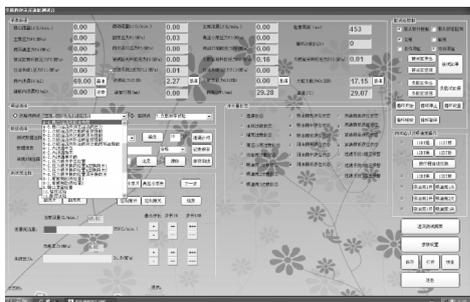


图 4 测试区主界面

其中,“采集数据”包括了工控机对液压控制系统的压力、流量、位移、力、温度等信号的 A(D)/D(A) 转换,对其进行实时显示,方便操作人员对数据的监控。“项目选择”包括多路阀测试与缸测试两项,每项所属下拉菜单包含了型式试验所有测试项目,进行项目选择后可按照试验要求设置“测试泵选择”内的主泵与控制泵的运行参数设定,还可对“数据选择”内的测试数据选择以及监控画面内对 XY 轴所表示的数值进行设置等。“缸试验控制”与“阀试验以及吸油泵控制”均对各自不同的测试过程进行控制和调整。

该操作面上的参数设置与主页面“设置”功能不同,参数设置界面如图 5 所示。研究者可对液压系统内的传感器信号采集的基准进行置位与复位设置,以保证程序执行所测数据的准确性。



图 5 参数设置界面

以多路阀稳态试验为例,试验曲线的拟合原理为:“项目选择”选取多路阀测试下拉菜单内的“稳态试验”,“测试泵选择”选取主泵开,其流量可根据电脑设定按照规定步长增大到设定值,随着流量不断增大到 120% 公称流量过程中,点击“记录”后可保存不同流量下的压力损失值,计算机通过内部所设拟合曲线将记录数据点连接绘制出所得试验曲线。

## 3 油缸型式试验测试

总试验台液压油缸型式测试系统考虑测试不同种类和缸径的油缸时,均可保持测试的高效与高精度,且在节能基础上配置了两套泵源系统,系统主泵最大流量 175 ml/r,辅泵为流量为 45 ml/r 的定量泵。该系统与国标要求油缸测试系统相比较,负载缸与被试缸采用一套泵源,简化了系统管路设计,节省了设备投资。

### 3.1 试验台架

液压缸试验加载台架为被测试液压缸的检测提供了加载平台。试验台架在对液压缸实际运行负载

的模拟方面,具有较强的通用性,可对动载荷、静载荷以及交变载荷进行模拟试验。加载台架的结构强度设计方面,需要确保试验台的稳定性,可承受较大的力或力矩,框架设计保持了大型机床床身的设计原型,具有较强的强度和刚度。针对液压缸装夹方式的设计方面,本研究采用了对顶缸的加载形式,根据不同试验要求和以往设计经验,液压缸装夹采用了螺栓连接和销连接。

### 3.2 负载效率试验

负载效率试验需要将被试缸与加载系统连接在一起为其提供外负载。本研究通过计算机设定比例溢流阀进行系统压力的加载,以液压缸无杆腔负载效率计算为例,使被试缸在规定的压力下匀速运动,压力传感器记录下被试缸无杆腔的压力值,负载力由力传感器记录,计算机根据负载效率公式: $\eta = F/PA \times 100\%$ ,计算出实时负载效率,计算机自动绘制出负载效率曲线。

试验操作方法如图6所示。首先本研究将力传感器安装在被试缸和负载液压缸两活塞杆的头部,使被试液压缸保持匀速运动对顶负载液压缸,计算机内根据被试液压缸设置好缸径,可根据预先设置好的负载效率公式可计算出不同负载压力下的负载效率,计算机根据各计算点绘制出效率曲线。该试验项目的操作难点在于对“被试液压缸保持匀速运动对顶负载液压缸”状态的控制,可在后续试验实践中找到较好的控制方式。

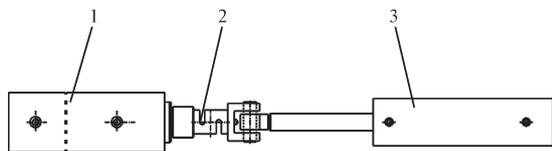


图6 油缸拉压传感器试验原理图

1—被试缸;2—拉压力传感器;3—负载缸

液压缸负载效率试验曲线如图7所示。

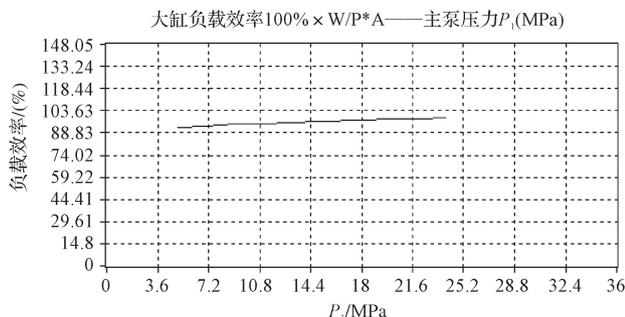


图7 液压缸负载效率试验曲线

由图7可知,液压缸负载效率随着负载增加逐渐增大,该现象是因高压下被试缸的密封特性较低压更为有效。

### 3.3 液压缸内泄漏试验

试验原理图如图8所示,本研究在油缸内泄漏测试环节采用光栅尺监测活塞微小位移量,通过数据采集与程序计算得出油缸内泄漏量,输出数据并保存。

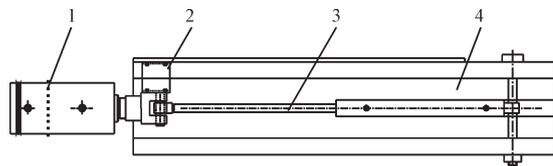


图8 液压缸内泄漏试验原理图

1—被试缸;2—光栅尺;3—负载缸;4—台架

以油缸无杆腔内泄漏量为例,其试验原理为:

$$q = \frac{\pi D^2 S}{4} \quad (1)$$

在设计好的专用台架上,本研究锁死被试油缸无杆腔,用负载缸加载至规定压力,通过光栅尺测定出活塞位移,按式(1)换算成体积即泄漏量。当测试被试缸的有杆腔时,计算式(1)内的  $D^2$  改为  $(D^2 - d^2)$  即可。经测试某缸径  $D = 100$  mm 的液压缸,其内泄漏量为  $0.2$  ml/min,满足 JB/T10205-2000 的要求。

## 4 多路阀型式试验测试

综合国内已有多路阀的出厂试验系统的优化设计方案,通过在油路快速切换环节增设双向加载单元或液控单向阀组实现油路切换,可有效避免频繁换接阀口测试油管<sup>[3-6]</sup>。与传统液压元件出厂测试系统的功能相比,在集成原有设计基础上,该试验台增加了对液压阀的耐久性、微动特性以及瞬态试验的检测。其中,瞬态试验要求阶跃加载阀能够快速动作,在被试阀口处产生满足瞬态条件的压力梯度,通过压力传感器、记录仪记录被试阀8进口处的压力变化过程。而微动特性试验由3项试验项目组成: $P \rightarrow T$  压力微动特性、 $P \rightarrow A(B)$  流量微动特性、 $A(B) \rightarrow T$  流量微动特性。测试期间本研究将通过滑阀阀芯由中立位置缓慢移动到各换向位置,测出随行程变化所测油口的压力与流量的相应值。笔者在多路阀泄漏量测试中采用称重测量法检测泄漏量。

### 4.1 稳态试验内泄漏测量设计

多路换向阀内泄漏测试装置采用单点式称重传感器,具有过载保护设置,且可进行角差修正,防护等级达到 IP66。当被试阀的滑阀阀芯处于中立位置时,A、B油口进油,溢流阀加压至公称压力,除T油口外其余油口堵住,由T口测量泄漏量,通过称重传感器将泄漏油液的重量转换成电信号,再转换成内泄漏量,显示在工控显示器上。检测过程不存在人为操作,可改

善传统内泄漏测量采用量杯人为读数带来的不必要误差。该内泄漏测量设备为多路阀全部试验项目泄漏量测量提供测试方法与测试结果。

以多路阀稳态试验中立位置的内泄漏试验为例, 设定好流量后开机, 系统压力由零逐渐增大到公称压力, 期间记录试验数据采集点, 计算机自动拟合出的内泄漏曲线如图9所示。

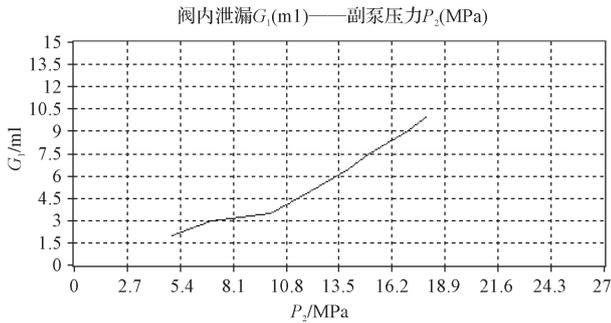


图9 稳态试验中立位置内泄漏量曲线

根据 JB/T8729.1-1998 对多路阀中立位置内泄漏量指标要求, 口径 20 mm 公称压力 20 MPa 下的泄漏量最大值应在 125 ml/min 范围内, 图 8 中, 曲线采集数据点在 18 MPa 压力下阀内泄漏量约为 10.5 ml/min, 所试阀满足 JB 要求。

### 4.2 瞬态试验

设定主泵流量后, 开机启动外控泵将液控单向阀打开, 主泵压力油通过液控单向阀流回油箱, 未进入多路阀负载端; 随后操作二位四通换向阀换向到右工位, 液控单向阀控制端接油箱, 此时液控单向阀瞬间关闭, 主泵压力油瞬间加压至多路阀负载端, 后关闭主泵供油, 可通过压力传感器读取被试阀进口处的压力  $P_1$  变化过程, 绘制出安全阀瞬间响应曲线。该项试验可用来判断多路阀中的主安全阀的稳压特性。

安全阀压力特性曲线如图 10 所示。

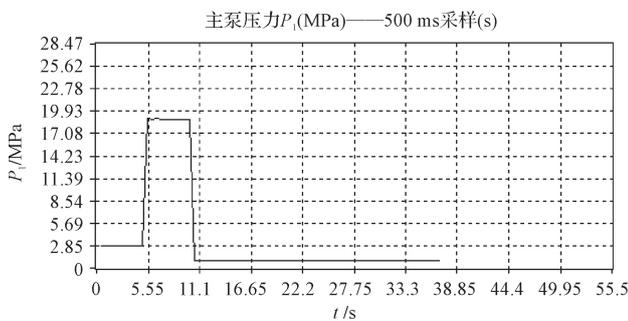


图10 安全阀压力特性曲线

由试验曲线可知, 所测主安全阀的瞬态恢复时间约为 0.2 s, 开启压力达到 18 MPa, 满足了 JB 对公称压力为 20 MPa 下的安全阀性能参数要求。

### 4.3 微动特性试验设计

多路换向阀微动特性试验台如图 11 所示。本研究在多路阀耐久性测试台架基础上, 于油缸与被试阀之间安装微调机构, 便可进行微动特性试验的操作。该微调机构可以以微小增量移动滑阀阀杆, 其原理为将若干微小螺距转换为直线行程作为输出量, 通过油缸端部的位移传感器测量增量大小, 以此来缓慢移动滑阀阀芯的操纵工况, 分别得出滑阀行程与压力 (流量) 的微动特性曲线。其中, 微动特性位移通过油缸安装的内置式微脉冲位移传感器测量并显示在工况计算机中, 实现实验数据的自动采集<sup>[7]</sup>。

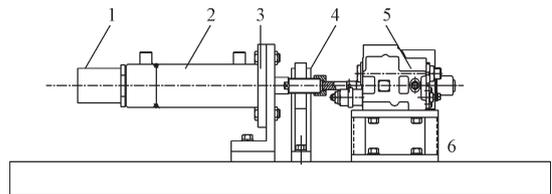


图11 多路换向阀微动特性试验台

1—位移传感器; 2—油缸; 3—油缸固定架; 4—微调机构; 5—试验阀; 6—阀固定架

本研究以  $P \rightarrow T$  压力微动特性为例, 设定主泵流量后开机, 利用位移传感器读取阀杆移动行程, 用压力传感器测出随行程变化时主泵压力  $P_1$  相应的压力值, 所试阀阀芯行程为 8.1 mm, 试验全程负载口 AB 均处于堵死状态。

$P-T$  压力微动特性试验曲线如图 12 所示。

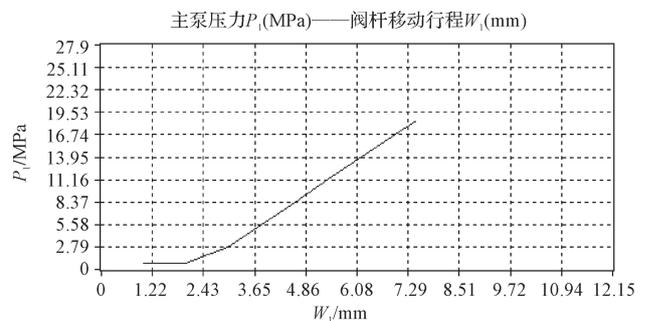


图12  $P-T$  压力微动特性试验曲线

由图 12 试验曲线可知, 主泵压力随着  $P \rightarrow T$  开启位移由全开至全闭的过程, 呈逐渐增加趋势。根据流体 (下转第 250 页)

#### 本文引用格式:

许敏影, 陈 寅, 谢建伟, 等. 计算机辅助液压测试平台的研制[J]. 机电工程, 2015, 32(2): 228-232, 250.

XV Min-ying, CHEN Yin, XIE Jian-wei, et al. Development of computer aided hydraulic test platform[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(2): 228-232, 250.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>