

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.05.007

可移动式液压综合测试装置结构设计*

张占杰¹, 王 宁¹, 李世通², 金 波^{2*}, 李宏伟², 方 雄²

(1. 中海油能源发展油田建设工程分公司, 天津 300452;

2. 浙江大学 流体动力与机电系统国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对液压测试装置的可移动性要求,采用了模块化设计方法,把测试装置分为两大模块:动力源及试验模块和辅助油源及控制模块。整套装置通过合理布局,分布于两个密封舱内,可以通过吊装和运输从陆地移动到所需的海上钻井平台。电控系统采用工控机和触摸屏作为上位机,PLC 作为下位机,其中 PLC 采用“主站+从站”的分布式控制方案,实现了电控系统接线的简化。通过 STEP7 软件对 PLC 进行了硬件组态和软件编程,运用 SCADA 软件 WinCC 在工控机和触摸屏上设计了良好的人机界面,最终实现了试验的全自动和半自动两种控制方式。实际使用结果表明,该测试装置可以高效地完成对被试液压元件的测试。

关键词: 液压综合测试装置;可移动式;分布式控制;PLC

中图分类号:TH39;TH21;TP24

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)05-0612-05

Structure design of removable hydraulic synthesis testing equipments

ZHANG Zhan-jie¹, WANG Ning¹, LI Shi-tong², JIN Bo², LI Hong-wei², FANG Xiong²

(1. CNOOC Energy Technology & Services Limited, Tianjin 300452, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at realizing the removal of hydraulic system testing equipments, modular design was implemented. The whole system was divided into two modules: the module of powersource and testing and the module of auxiliary oil source and control. The hydraulic testing system was divided into two sealed cabins through rational distribution and can be moved to the desired offshore drilling platform through lifting and transportation. The controlling system also take distribution as the control strategy. PLC and intelligent instruments were taken as the lower computer and IPCs (industrial personal computer) and monitors constituent for the upper computer. The hardware configuration and software programming of PLC were accomplished through utilizing STEP7. The HMI was configured on the IPC by WinCC. Two control modes of totally automatic control and half automatic control were realized at last. The hydraulic components testing tasks can be realized efficiently through actually using.

Key words: hydraulic synthesis testing equipments; removable; distributed control; PLC

0 引 言

海上平台起重机(简称海上吊机)在采油平台生产过程中起着关键的作用,其出现故障时会给平台造成直接和间接的经济损失,若出现安全事故则后果更加严重。因此,快速、高效、可靠的吊机维保工作就显

得尤为重要。

海上吊机具备机械结构系统、液压系统和电气系统三大主要系统。其中,液压系统是吊机的动力与控制核心。据统计,液压系统的故障发生比例约占总故障的近 50%。吊机液压系统的维修存在着技术要求高、故障排查难、维修周期长等特点,是否拥有高效的

收稿日期:2014-11-07

基金项目:中国海洋石油总公司科技项目(NFYJ2011-01)

作者简介:张占杰(1972-),男,天津人,主要从事海洋平台起重机的设计、制造和维保的技术管理工作。E-mail:zhangzhanjie@163.com

通信联系人:金 波,男,教授,博士生导师。E-mail:bjin@zju.edu.cn

检测手段直接影响着维修的效率。在目前吊机维保工作中,缺乏一套高效的液压试验装置,用以实现液压泵、液压马达以及液压缸等关键部件维修后的检验工作和预防性维修工作并能确保液压泵、液压马达和液压缸在液压系统中可靠运行。

随着液压技术、自动控制理论、微型计算机技术、测量测试技术、数字信息处理、可靠性技术的发展,液压计算机辅助测试(CAT)也向着高速、高效、高精度、智能化、多功能化的方向发展。传统的液压试验台功能较为单一,缺乏综合测试功能,而通过运用CAT技术可以设计出液压系统综合测试装置,实现在一个试验台上完成液压泵、液压马达、液压缸等的相关试验项目^[1-3]。

本研究根据海上平台特殊的应用环境,运用模块化的设计思想,提出一种可移动式海上平台起重机液压系统测试装置。

1 硬件系统设计

1.1 液压测试系统可移动性设计

该套液压综合测试装置主要应用在海上石油钻井平台,因此,必须使试验装置具有可移动性,以实现从陆地运送到海上石油钻井平台或者在平台之间进行运输。传统的维修测试装置固定于实验室或者车间,不便搬运,目前已有一些可移动的液压试验装置出现,但大都是采用万向轮^[4],其功能都较为单一,不满足该项目对于可移动性的要求。

为了实现该项目对于可移动性的要求,笔者对该套装置的硬件系统进行了模块化设计,把整套测试装置经过合理的功能划分和布局,分布在两个密封舱内:动力源及试验密封舱、辅助油源及控制密封舱,密封舱是特殊定制的集装箱,可以防止在海上船舶运输过程中海水浸入,并具有高度的防海水腐蚀性能。两个密封舱之间油液的交换以及通信通过航空插头来实现,包括电气航空插头、通信航空插头以及液压快速接头,接头拆开时通过密封端盖实现对内部元器件的保护。

动力源及试验模块具体包含柴油机及其调速装置、液压泵试验台架、液压马达试验台架、液压缸试验台架、试验控制加载集成块、试验主液压油箱、辅助输送电机泵组、低压辅助油源电机泵组、监控摄像头、转矩转速仪、测试传感器等。辅助油源及控制模块主要包含:辅助油源系统和电气控制室。其中,辅助油源对油液进行循环过滤、冷却与加热,该系统具体包括试验副液压油箱、辅助输送电机泵组、过滤冷却加热泵组、油冷机组、监控摄像头、测试传感器以及其他附件。电

气控制室对泵、马达以及缸试验进行操作和监控,电气控制室由电气操作台、计算机工作台、视频监控台组成。

该测试装置液压部分模块化设计框图如图1所示。

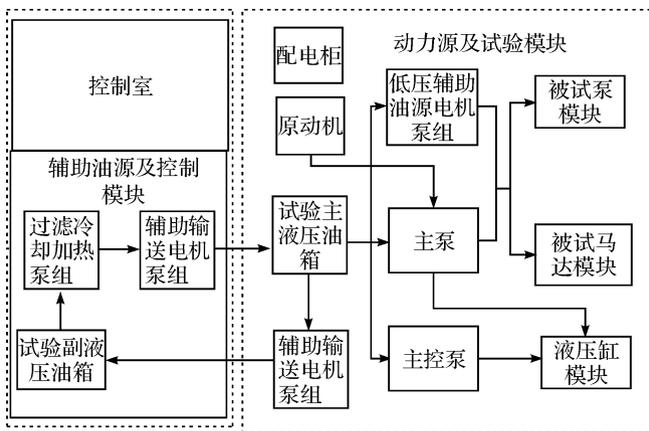


图1 液压测试装置液压部分模块化设计框图

1.2 分布式电控系统硬件设计

液压综合测试装置的电控系统采用“上位机+下位机”的控制策略,上位机由工控机+触摸屏组成,下位机选用PLC作为主控制器。

根据上节对于液压测试系统可移动性的设计,控制室位于辅助油源及控制密封舱内,配电柜位于动力源及试验密封舱内。控制室内包含两个操作台:操作台1和操作台2,操作台1提供了进行手动控制所需的按钮操作台、控制柴油机的远程控制面板以及组态了HMI的触摸屏;操作台2提供了用于安装工控机及其显示器的空间。此外,由于试验操作人员是在操作室内进行试验操作,为了实现对于动力源及试验密封舱以及辅助油源部分运行状态的监测,该电控系统还设计了视频监控系统,该监控系统由网络摄像头、交换机、视频服务器以及监控显示器组成,视频服务器以及监控显示器安装于操作台2上,网络摄像头分别置于两个密封舱内。

电控系统的下位机PLC是进行试验控制的核心,直接对底层传感器、仪器仪表进行数据采集和控制,同时PLC还需要与按钮操作台、工控机和触摸屏进行通讯。如果PLC的CPU及其信号模块置于动力源及试验密封舱内,虽然PLC与该密封舱内的流量计、温度计、压力传感器等元器件的接线可以方便进行,但是PLC与辅助油源及控制密封舱的电机起动-控制器、接触器、按钮操作台上的按钮、电位计以及工控机和触摸屏的接线将会因为需要穿过两个密封舱而变得复杂;如果反过来把PLC置于辅助油源及控制密封舱同

样会顾此失彼。因此,为了解决由于可移动性带来的这个问题,下位机 PLC 选用 SIEMENS 的 S7-300 系列 PLC,并选用其分布式 I/O ET200M,组成下位机的主站和从站,主站由 CPU 模块、电源模块以及与辅助油源及控制密封舱内被控元器件进行通信的信号模块组成,安装于操作室内的操作台内;从站由 IM153-4 接口模块、电源模块以及与动力源及试验密封舱内被控元器件进行通信的信号模块组成,并置于该密封舱内的配电柜内,主站与从站的通信采用 PROFINET 协议实现,只需一根网线就可以实现两个集装箱之间的数据交换。通过以上方案,就实现了下位机与被控对象之间的合理布局,不仅极大地减少了布线的长度和复杂度,节约了安装空间,还保证了信号传递的质量。

综上所述,分布式电控系统硬件设计的结果如图 2 所示。

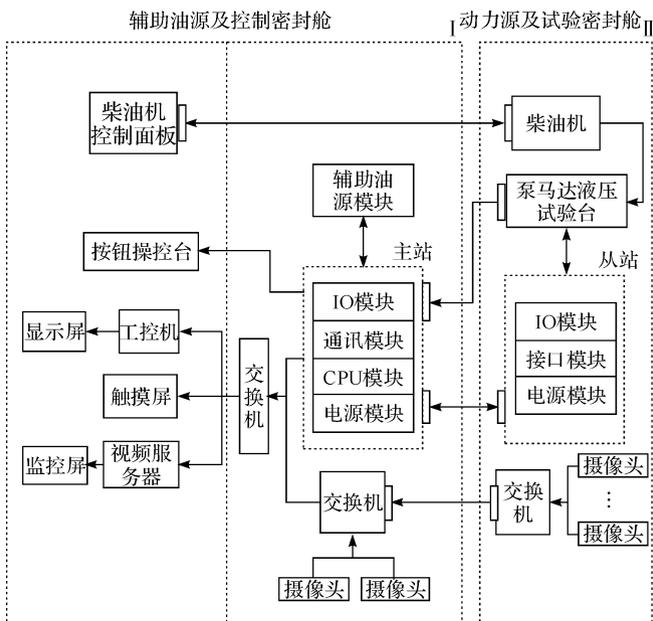


图 2 液压测试装置控制系统硬件部分模块化设计框图

2 软件系统设计

该测试装置的软件系统采用 SIMATIC STEP7 V5.5、WinCC V7.0 以及 WinCC Comfort V12 作为开发平台。其中,SIMATIC STEP7 V5.5 负责下位机西门子 S7-300 各个硬件模块的组态、建立 300 主站与 ET200M 从站之间的通信连接、建立下位机 PLC 与上位机 WinCC 之间的通信连接以及编写 PLC 控制程序。

上位机组态软件 WinCC V7.0 和 WinCC Comfort V12 是 SIMATIC 全集成自动化系统的重要组成部分,能与 S7 系列的 PLC 进行方便地连接以及高效地通讯,缩短了项目开发周期。在该项目中,WinCC V7.0

负责组态人机界面并且建立与下位机 PLC 之间的通信连接,WinCC Comfort V12 负责触摸屏界面的编写以及与工控机和 PLC 的通讯^[5-8]。

2.1 下位机软件设计

根据实际需求,该测试装置需要进行开式定量泵试验、开式变量泵试验、开式马达试验、闭式泵-马达试验以及液压缸试验。其中,定量泵又分为齿轮泵、叶片泵、轴向柱塞泵,变量泵分为叶片泵和轴向柱塞泵,马达分为齿轮马达、叶片马达以及柱塞马达。根据不同的被试泵、被试马达和液压缸,依照各自出厂试验的国家标准,共需进行总计 12 个试验项目,79 个试验子项目。

各个试验子项目都有各自的试验步骤,本研究根据不同的试验步骤编写不同的试验流程和试验程序。S7-300 所采用的编程语言包括梯形图(LAD)、语句表(STL)和功能块图(FBD)。其中,梯形图与继电器电路图相似,具有直观易懂的特点,适合数字量逻辑控制,而且调试方便,易于查错和修改,也便于工程操作人员的掌握。因此,该系统采用梯形图作为 PLC 的编程语言。STEP7 中有 3 种程序设计思想:线性化编程、模块化编程和结构化编程。

由于该测试装置需要根据不同的选择进行不同的试验项目,下位机 PLC 程序的编写采用模块化编程。首先,本研究通过启动组织块 OB100 对 S7-300 进行暖启动,暖启动时过程映像和不保持的定时器、计数器以及标志存储位被清除,然后程序从循环处理主程序 OB1 开始循环处理。OB1 根据不同的试验要求,调用不同的功能 FC,不同的功能 FC 则根据不同的试验项目调用不同的功能块 FB。这样可以提高下位机 CPU 的利用率并便于程序的调试和修改。

整个下位机 PLC 的梯形图程序模块化编程示意图如图 3 所示。

2.2 上位机软件设计

本研究将 WinCC 安装于工控机上。作为组态软件中的优秀代表,WinCC 功能强大,采用了类似资源浏览器的窗口结构,易于进行人机界面的组态。在 WinCC 中创建项目之后,首先需要组态变量。变量分为外部变量和内部变量。其中,内部变量的使用不受限制,但是外部变量的使用需要购买授权。因此,本研究根据上位机控制的 PLC 的变量个数来确定需要购买的 WinCC 外部变量的点数。根据试验步骤和试验要求并考虑要一定的余量,该项目共购买外部变量授权 512 个。内部变量的建立比较简单,而对于外部变

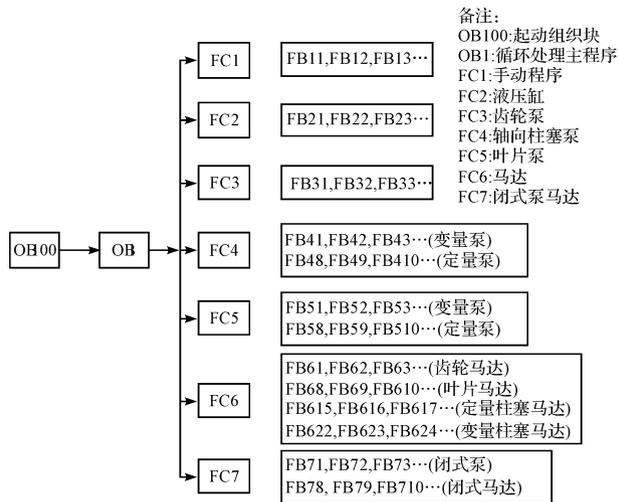


图3 PLC 梯形图模块化编程示意图

量的建立必须先要安装通讯驱动程序并建立逻辑连接。本研究在 WinCCExplorer 的导航窗口中选择“选择添加新的通讯驱动程序”。对于 S7-300 系列的 PLC, WinCC 提供了 SIMATIC S7 Protocol Suite。该通讯驱动程序支持多种网络协议和类型,包括 Industrial Ethernet、MPI、PROFIBUS、Slot PLC、Soft PLC、TCP/IP 等通道单元。由于工业以太网具有低成本、高时效、高扩展性和高智能的特点,上位机 WinCC 采用 TCP/IP 通道单元。右击导航窗口中的“TCP/TP”,选择“新驱动程序连接(N)”,单击建立新驱动程序连接,就可以在新驱动程序连接中建立外部变量了。由于该系统需要进行多达 12 个试验项目,79 个试验子项目的试验,所需的 WinCC 外部变量也多达 300 多个。故为了变量查看和修改的方便,本研究对不同的项目建立各自的变量组,在各自的变量组中建立各试验需要的外部变量^[9-13]。

在建立完外部变量之后就可以进行过程画面的组态。该任务的完成主要依赖于 WinCC 中的图形编辑器。基于操作方便及界面美观、简洁的原则,本研究根据试验项目和试验步骤,对过程画面进行组态。在画面组态中,系统通过连接之前建立的外部变量实现画面中的按钮或控件与 PLC 的连接。画面之间的切换通过创立直接连接或者借助于脚本语言来进行动态化。此外,还需要对试验中的重要过程数据进行归档。通过 WinCC 中的“变量记录”组件来实现该功能。根据试验的不同所要归档的数据也不同,可以采用不同的事件来启动和停止过程值归档。在进行完过程值归档之后,需要根据不同的要求对所归档的数值进行输出,该试验采用趋势图进行归档数值的显示。

在工业控制系统中,安全是重中之重的考虑因素,

通过报警系统,可以通知操作员在试验过程中发生的故障和错误消息,用于及早警告临界状态并避免停机或缩短停机时间。因此还需要组态报警。在 WinCC 中报警记录编辑器被用于组态报警。报警记录器分为两个组件:组态系统和运行系统。最后,笔者通过 WinCC 自带的报表编辑器组态了报表系统并通过打印机来输出报表。液压缸试验的人机界面如图 4 所示。

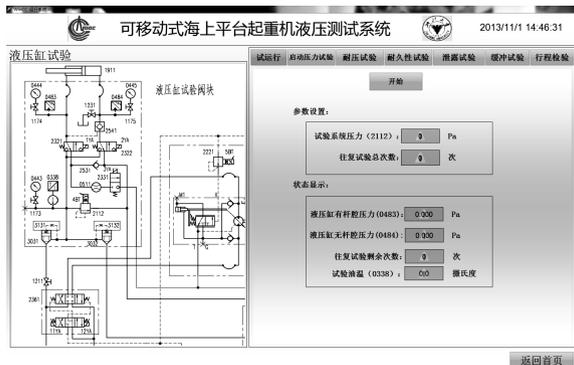


图4 液压缸试验人机界面

3 测试装置使用分析

该液压综合测试装置最终实现了在两个密封舱内的布局和功能实现,两个密封舱均为长、宽、高是 5 000 × 2 600 × 2 438 的定制集装箱,每个集装箱的重量均不超过 7 t,无论从尺寸还是重量上均满足对装置吊装和运输的要求,能够实现从陆地到海上平台以及海上平台之间的方便运输。

整套液压综合测试装置如图 5 所示。



图5 液压综合测试装置密封舱实物图

本研究运用该液压综合测试装置对额定转速为 1 000 r/min,额定压力 20 MPa,排量 160 ml/r,最低许用转速 500 r/min 的定量柱塞泵进行了出厂试验,分别包括跑合试验、排量试验、容积效率试验、总效率试验、超载性能试验以及外泄漏检查,其中排量试验的试验报告如图 6 所示。

由图 6 可以看出,该测试装置能够顺利的完成试验任务,出具试验报告。

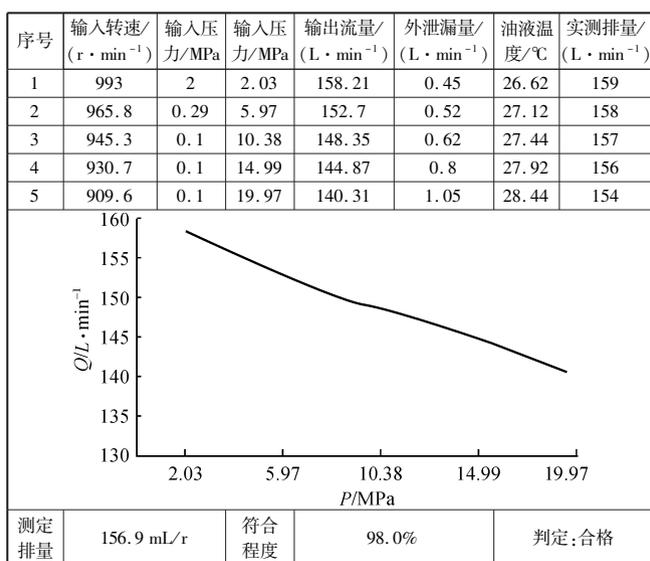


图 6 定量柱塞泵排量试验报告图

4 结束语

本研究运用模块化的设计思想,经过合理的设计,实现了实际应用对于液压测试装置可移动性的要求,并实现了在一套测试装置上进行液压泵、液压马达和液压缸 3 种主要液压元件的测试功能。

笔者通过采用工控机和触摸屏作为上位机,运用分布式的设计思想,PLC 主站和从站作为下位机,分布于两个密封舱内,采用 Profinet 作为上下位机通信协议,利用 WinCC 组态软件编写了良好的人机界面,使得整套设备实现了自动和手动两种操作方式,提高了测试的效率和精度,经过对试验装置的实际使用,证明该试验装置可以高效地完成对被试液压元件的测试任务。

考虑到该套设备是应用于海上吊机,按照传统的液压元件试验方法,采用固定式液压试验系统,需把被试元件运回陆地进行试验,如果往返时间按 14 天/次,海洋平台吊机总数按 200 台,每台吊机液压系统故障

率 0.3 次/年计算,可节约试验等待时间约 840 天,极大地提高了生产检验效率,减少了因吊机故障造成的经济损失。

参考文献 (References):

- [1] 王益群,王燕山,姜万录. 液压 CAT 技术的发展现状与展望[J]. 机床与液压,2001(2):10-11.
- [2] 吴海峰,曾良才,王巧云,等. 液压缸(马达)试验台及 CAT 系统研制[J]. 武汉科技大学学报:自然科学版,2003,26(3):279-281.
- [3] 黄琳,金波,沈海阔. 基于虚拟仪器的液压试验台 CAT 系统设计[J]. 液压与气动,2005(4):16-18.
- [4] 杨发虎. 液压试验台[P]. 中国:01220628642.2,2012-11-13.
- [5] 夏链,马超,韩江,等. 基于现场总线的柔性制造系统信息实时控制[J]. 机电工程,2010,27(7):6-8.
- [6] 苏昆哲. 深入浅出西门子 WinCC V6[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [7] 陈海霞,柴瑞娟,任庆海,等. 西门子 S7-300/400 PLC 编程技术及工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2012.
- [8] FERRARI P, FLAMMINI A, VITTURI S. Performance analysis of PROFINET networks[J]. **Computer Standards & Interfaces**,2006,28(4):369-385.
- [9] 江灏,王庆丰. 液压综合试验平台的 PLC 实时测控系统[J]. 机床与液压,2007,35(1):182-184.
- [10] 李辉. 多功能液压试验台的开发和研究[D]. 武汉:华中科技大学机械科学与工程学院,2006.
- [11] 徐先懂,于明清. 基于 VB 的计算机与 PLC 通信在液压综合测试系统中应用[J]. 机电工程,2004,21(5):5-8.
- [12] 刘霜,李兴根. 新重三相步进电机细分驱动器设计[J]. 轻工机械,2013,31(4):60-63.
- [13] 申立琴,马彩文,田新锋. 西门子 PLC 控制大量步进电机的应用研究[J]. 机电工程,2008,25(5):9-12.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

张占杰,王宁,李世通,等. 可移动式液压综合测试装置结构设计[J]. 机电工程,2015,32(5):612-616.

ZHANG Zhan-jie, WANG Ning, LI Shi-tong, et al. Structure design of removable hydraulic synthesis testing equipments[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(5):612-616.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>