

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2023.06.009

交变配流泵性能测试系统设计

张 傲, 许全周, 钱 爽, 葛 正*

(浙江理工大学 信息科学与工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:为了探究交变配流泵及泵控激振系统的工作特性,课题组依据交变配流泵测试需求,设计了交变配流泵性能测试系统。设计了测试系统总体架构、液压系统和测控系统;根据测试功能任务的时间要求,运用 LabVIEW 语言开发了包含 FPGA、CompactRIO 实时系统和上位计算机的 3 级测控软件。试验结果表明:测试系统能够调节交变配流泵的配流盘、柱塞缸及斜盘等部件的运动状态参数,改变并测量泵控激振系统的交变输出特性。该测试系统为液压元件性能测试以及高频信号采集与处理提供了可行的方案。

关 键 词:交变配流泵;激振系统;LabVIEW;FPGA

中图分类号:TH32;TH137.5

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2023)06-0066-06

Design of Test System for Alternating Flow Distribution Pump

ZHANG Ao, XU Quanzhou, QIAN Shuang, GE Zheng*

(School of Information Science and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to explore the working characteristics of the alternating flow distribution pump and the pump-controlled excitation system, the test requirements of the pump were formulated, and the performance test system for the pump was designed. The overall architecture of the test system, and the hydraulic system and the measurement and control system were designed. According to the time requirement of the test function task, a three-level measurement and control software including FPGA, CompactRIO real-time system and host computer were developed by using LabVIEW language. The test results show that the test system can adjust the motion state parameters of the valve plate, plunger, cylinder, swash plate and other components of the alternating flow distribution pump, and change and measure the alternating output characteristics of the pump and excitation system. The test system provides a feasible scheme for the performance test of hydraulic components and the acquisition of high-frequency signals.

Keywords: alternating flow distribution pump; excitation system; LabVIEW; FPGA (Field Programmable Gate Array)

通过人工手段产生振动并加以利用的方法在工业领域得到了广泛应用。如振动流化床可以提高食品干燥效率,振动输送机有利于实现物料的远距离输送^[1-2]。此外诸多零部件的振动特性测试也依赖于激振激励^[3]。当前,产生振动的主要方式包括机械式、液压式和电动式等类型。其中液压振动系统相对于机械振动系统来说激振频率高、幅值易于调节,相对电动振动系统来说,功率密度高、输出力大,具有得天独厚的优势^[4-8]。

传统的液压振动需设置恒压液压源,再通过液压阀的动作将直流液流转变为交流液流以驱动液压缸往复激振^[9-11]。交变配流泵是课题组提出的液压激振领域的技术,能够通过内置的配流盘连续旋转,直接从泵端输出交变的液流^[12]。采用交变配流泵直接驱动液压缸形成激振,既省去了液压阀简化了激振系统结构,还避免了液压阀处的节流损失,由此提高了激振系统效率。

针对交变配流泵工作特性和需求设计的交变配流

收稿日期:2023-04-13;修回日期:2023-07-17

基金项目:国家自然科学基金项目(51905488);浙江省自然科学基金项目(LTGS23E050002)。

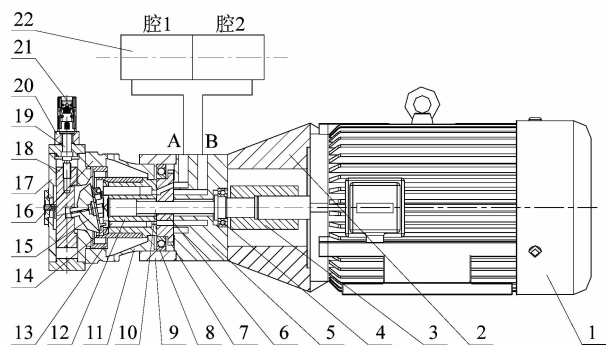
第一作者简介:张傲(1998),男,浙江宁波人,硕士,主要研究方向为电液系统测试技术。通信作者:葛正(1986),男,浙江杭州人,博士,讲师,主要研究方向为机电液集成控制。E-mail:gezheng01@126.com

泵性能测试系统,能够对交变配流泵各部件的运动参数进行调节,测量泵以及被驱动对象的运动特性,从而为交变配流泵的性能研究提供参考。

1 交变配流泵的结构原理与测试需求

1.1 交变配流泵的结构和工作原理

如图 1 所示,交变配流泵的主体采用斜盘式柱塞泵结构。柱塞泵中的配流盘设计为图 2 所示的结构,油口模块设计为图 3 所示的结构。配流盘与柱塞缸体的接触面开设有 2 条截面为弧形的配流通道 I 和 II,并沿着配流盘轴向方向过渡到另一侧,形成半径不同的 2 道弧形油槽,分别与油口模块的 2 个出油通道 A 和 B 相连通。配流盘的外周设置外齿轮结构,能够通过旋转电机驱动其连续旋转。



1—主电机;2—钟罩;3—联轴器;4—驱动轴轴承;5—油口模块;6—旋转配流盘;7—配流主动齿轮;8—配流盘轴承;9—配流盘罩壳;10—缸体驱动轴;11—配流伺服电机;12—柱塞缸体;13—缸体轴承;14—柱塞;15—斜盘;16—泵壳;17—变量组件;18—变量柱塞;19—丝杆;20—变量塞盖;21—变量伺服电机;22—液压缸。

图 1 交变配流泵结构

Figure 1 Structure of alternating flow distribution pump

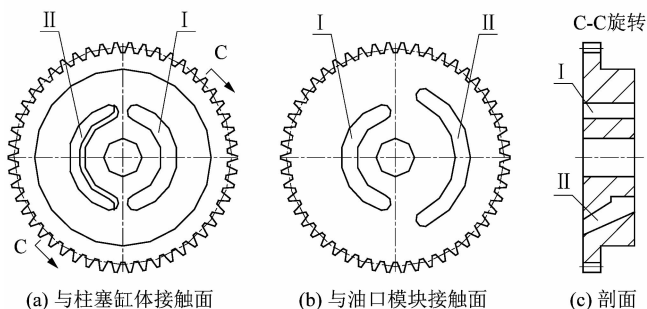


图 2 旋转配流盘结构

Figure 2 Structure of rotating valve plate

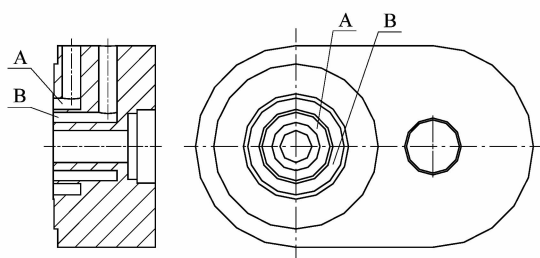


图 3 油口模块结构

Figure 3 Structure of oil port module

当柱塞泵的缸体由主电机驱动连续旋转时,柱塞会沿轴线往复运动抽取或释放油液。若配流盘也同时连续旋转,则会让配流通道 I 和 II 交替地同柱塞缸体的抽油区和放油区接触。由于配流通道 I 和 II 分别同油口模块的 2 个油口通道 A 和 B 相连通,因此会在泵的出口口上产生方向交替变化的液流。将从泵产生的方向交变的液流分别通过油口通道 A 和 B 导向缸的 2 腔,使得液压缸连续循环往复形成激振运动。

1.2 交变配流泵的性能测试需求

分析交变配流泵的工作原理可知,交变配流泵的配流盘转速、斜盘倾角、柱塞缸体转速、配流盘和缸体的相对角度关系等部件运动参数会对输出液流的流量,液压激振缸的幅值以及频率等状态产生复杂的耦合传递关系。为深入揭示交变配流泵的本质,其性能测试平台应当能够在同一时间标度下做到:

- 1) 调节并记录配流盘的旋转角度和转速;
- 2) 调节并记录斜盘的倾角;
- 3) 调节并记录缸体的旋转角度和转速;
- 4) 记录交变配流泵出口油路的压力和流量;
- 5) 记录液压缸的位移。

主要参数的测量范围和控制精度如表 1 所示。

2 交变配流泵性能测试系统的设计

2.1 总体方案设计

交变配流泵性能测试系统包括液压系统和测控系统等部分,其总体设计如图 4 所示。

交变配流泵由课题组自主设计完成,其缸体有 7 个柱塞,排量为 10 mL/r。泵的柱塞缸体由 1 台功率为 4 kW 的 YVP-112M-4 型变频调速电机驱动,斜盘由 1 台功率为 400 W 的 CX0604ES 型伺服电机驱动,配流盘由 1 台功率为 2 kW 的 EX1320ES 型伺服电机驱

表 1 主要参数的测量范围和控制精度需求

Table 1 Requirements for measurement range and control accuracy of main parameters

目标参数	旋转角度/(°)		转速/(r·min ⁻¹)		斜盘倾角/(°)	油压/MPa	液压缸 位移/mm	流量/ (L·min ⁻¹)
	配流盘	柱塞缸	配流盘	柱塞缸				
测量范围	0.0~360.0	0.0~360.0	0~3 000	0~1 500	0.0~15.0	0.0~10.0	0.0~150.0	0.0~15.0
测量精度	±0.1	±0.1	±1	±1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1

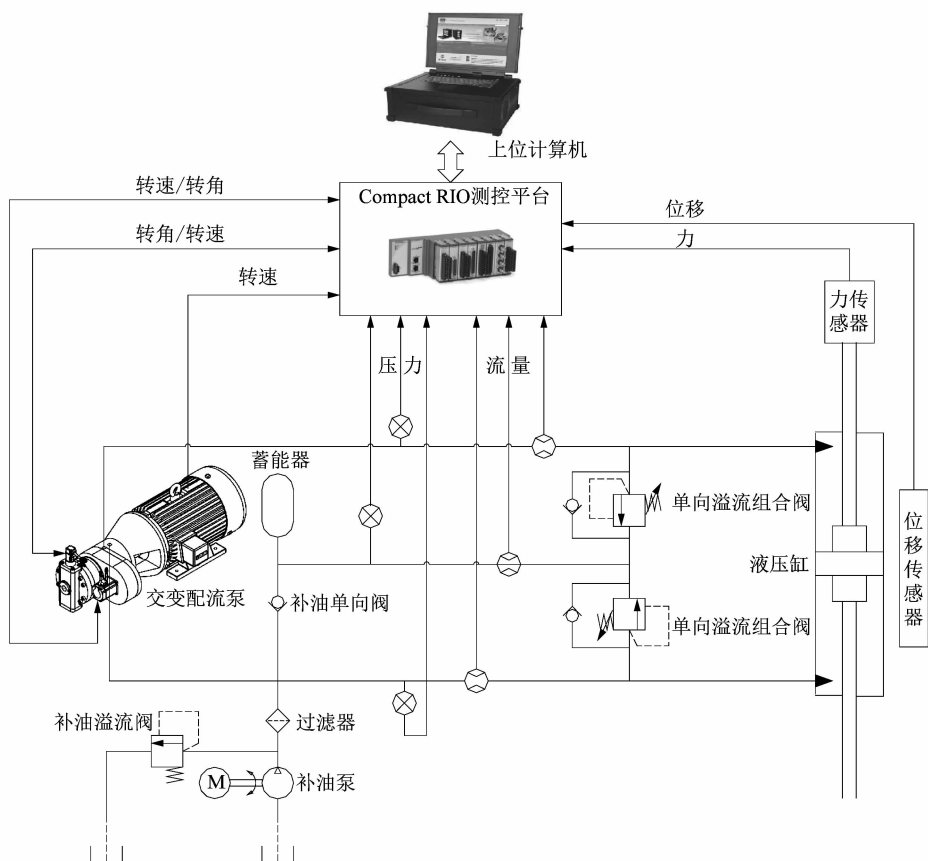


图 4 交变配流泵性能测试系统总体设计方案

Figure 4 Overall design scheme of test system for alternating flow distribution pump

动。这 3 台电机均内置高分辨率旋转编码器,满足角度和转速测量的需求。

液压系统在泵的 2 个出口油路分别设置 DC10P-1-10B 型单向溢流组合阀,用以限制最高压力。以 VP12 型叶片泵驱动的补油泵系统用于减少闭式液压回路的吸空现象。泵的进出油支路和补油支路均设置压力传感器和流量传感器,以监测压力和流量的实时变化。液压缸采用行程为 150 mm 的 HOB-50 × 150-LB 型液压缸,其上设置位移传感器和力传感器以监测液压缸力学状态。

测控系统以 NI Compact RIO 控制器作为核心,能

够满足微秒级信号采样需求。控制器采集各路传感器信号,通过变频器控制主电机转速,通过伺服驱动器控制斜盘和配流盘伺服电机,从而改变斜盘倾角或旋转配流盘转速。控制器通过 Ethernet 同计算机通信,实现信息传递和存储。

2.2 测控软件设计

测控系统要实现编码器信号采集、伺服电机的高频控制脉冲信号输出、传感器信号采集与调理及数据存储等功能。这些功能所需的时间周期各不相同。CompactRIO 控制器内部具有 FPGA 和实时计算机系统 2 层平台。如图 5 所示,测控软件的设计是根据

CompactRIO 控制器的架构分别在上位计算机、CompactRIO 中的实时系统和 FPGA 当中编写了 3 套独立软件,分别实现具有不同时间周期要求的任务。测控软件系统 3 级程序均运用 LabVIEW 语言编程实现。

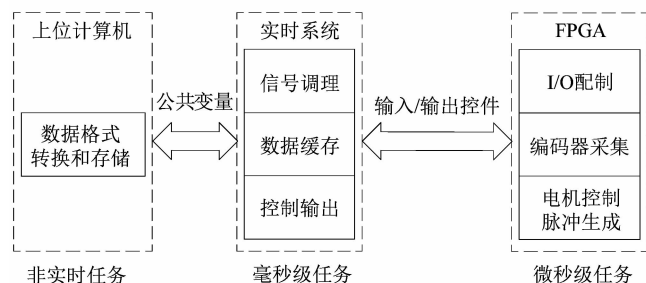


图 5 测控系统软件架构

Figure 5 Software architecture of measurement and control system

工作于 FPGA 上的软件用于实现微秒级的任务,包括对主控制器的 I/O 进行数据读取,同时在硬件层面实现编码器高频信号的采集与换算,以及面向伺服电机的高频脉冲生成与实时角度控制。以上功能模块分别设置独立循环并配置微秒级定时器,以支持独立运行。程序编制完成后,通过对 FPGA 逻辑模块的烧录,形成定制化的采样硬件电路。运行于 FPGA 上的软件的工作流程如图 6 所示。

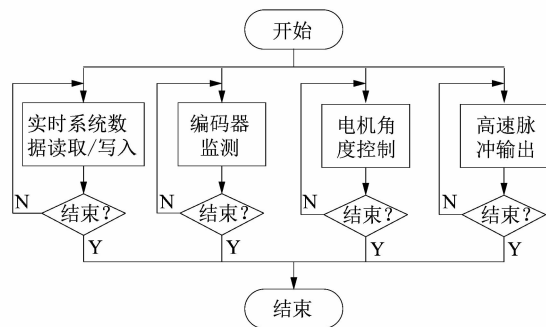


图 6 FPGA 软件的工作流程

Figure 6 Workflow of FPGA software

工作于实时系统中的软件用于实现毫秒级的任务,具体就是从 FPGA 中获取数据,以及低频信号调理、数据缓存等功能。运行时,实时系统软件通过读取/写入控件同 FPGA 进行数据交互。数据处理以独立循环同 FPGA 交互循环并行的方式运行,并将所获

得的试验数据通过队列方式暂存在主控制器的缓存区中。试验结束时,队列数据转存到公共变量,以供上位计算机读取。实时系统软件的工作流程如图 7 所示。

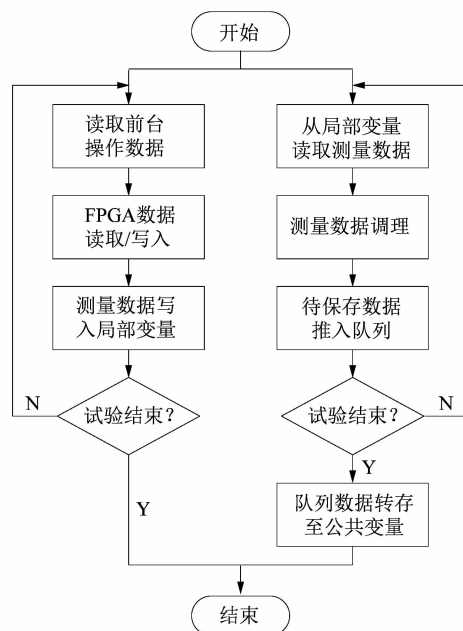


图 7 实时系统软件的工作流程

Figure 7 Workflow of real-time system software

如图 8 所示,运行于计算机中的软件实现非实时任务,也就是当试验结束时通过公共变量一次性从 CompactRIO 主控制器的缓存区中将所需数据读取过来,然后存储到硬盘的 Excel 文件中,便于后续处理。

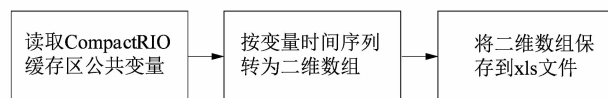


图 8 上位计算机软件的工作流程

Figure 8 Workflow of host computer software

3 系统测试

3.1 测试系统制作

最终完成的测试系统如图 9 所示。试验台主体采用箱体结构,交变配流泵、主电机、油箱和补油系统放置在箱体内。主要液压器件如缸、阀及各类传感器放置在台面上。另置电气箱安装测控系统所需的计算机主机、控制器、驱动器、变频器和其他电气部件。

3.2 测试结果与分析

首先让斜盘驱动电机改变斜盘倾角。继而设定配



(a) 试验台主体



(b) 测控系统

图9 交变配流泵性能测试系统

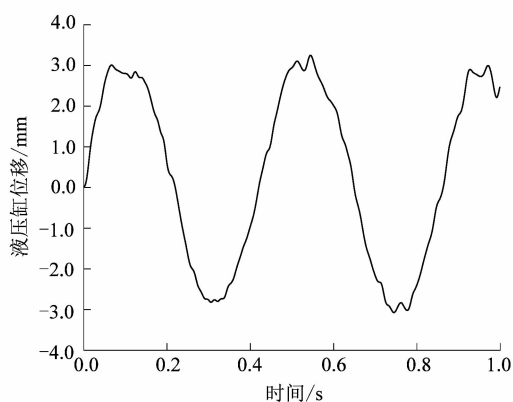
Figure 9 Test system for alternating flow distribution pump

流盘和柱塞缸转速,令交变配流泵连续工作,记录液压缸的位移数据。交变配流泵控液压缸位移曲线如图10所示。

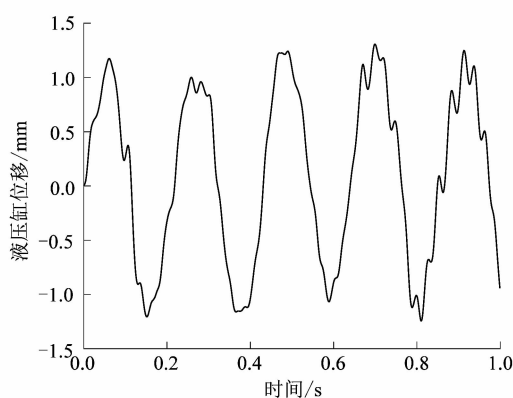
分析试验数据可知,当缸体和配流盘旋转时,交变配流泵能够输出交变液流以驱动液压缸循环往复形成激振运动,证明对交变配流泵工作原理的分析正确有效。液压缸的振荡频率同配流盘的转速正相关,而振幅同配流盘转速、缸体转速以及斜盘倾角都有关系,其内在联系待进一步研究。综合来看,测试系统能够正确驱动交变配流泵的运动,并良好记录激振系统的运动特性,满足对交变激振泵及泵控液压缸激振系统的性能测试需求。

4 结论

通过对交变配流泵结构原理的分析,课题组制定了交变配流泵以及泵控液压缸激振系统的测试需求,形成了交变配流泵性能测试系统的设计方案。该方案既可以对交变配流泵本身的输出压力流量特性进行测试,也可以通过交变配流泵控液压缸的运动来分析激振系统的动态特性。



(a) 柱塞缸转速1 400 r/min且配流盘转速140 r/min时



(b) 柱塞缸转速1 400 r/min且配流盘转速280 r/min时

图10 交变配流泵控液压缸位移曲线

Figure 10 Displacement curve of hydraulic cylinder controlled by alternating flow distribution pump

测控系统以 CompactRIO 控制器为核心,其软件系统采用依据时间要求的功能部署设计。通过开发 FPGA、实时系统和上位机软件程序,实现对交变配流泵部件运动状态的有效控制,以及对液压缸运动信号的高频采集和数据处理。

试验表明交变配流泵能够输出方向交替变化的液流以支持液压缸循环往复运动。该测试系统能够满足对交变配流泵及泵控激振系统的测试在时间和测量精度方面的需求,该研究为液压元件测试以及高频信号采集与处理提供了借鉴。

参考文献:

- [1] 贺斌,赵春雨,韩彦龙,等. 双质体自同步振动输送机的物料运动分析[J]. 东北大学学报(自然科学版),2016,37(6):828-833.
- [2] 李宇. 双层振动流化床的设计与特性分析[D]. 武汉:武汉轻工大学,2019:3-4.

(下转第75页)