

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.06.005

智能往复密封件摩擦力检测装置的研制

张庆孟¹, 何鞍晓², 史家顺^{1*}

(1. 东北大学 机械工程及自动化学院, 辽宁 沈阳 110819; 2. 辽宁省安全科学研究院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要:针对高压、多循环次数条件下的液压往复密封件的摩擦力自动检测问题,基于往复密封件的启动摩擦力及动摩擦力的检测原理设计了检测系统,并对检测装置的控制系统进行了硬件配置、PLC 软件设计、人机界面设计,最终得到了基于 PLC 及组态王的往复密封件摩擦力检测装置,利用该检测装置对 25 MPa、循环往复 1 000 次条件下的 O 形圈密封件进行了摩擦力检测试验。研究表明,此检测装置能够实现高压复杂工况下的往复密封件的启动摩擦力及动摩擦力检测,能在人机界面上实现试验操作过程及检测过程,检测精度能达到 0.65 N,检测过程稳定可靠、自动化程度高、人机互动性强。

关键词:往复运动密封件;摩擦力;PLC 及组态王;检测装置

中图分类号:TH117;TP23

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)06-0577-05

Intelligent friction detecting device of reciprocating seals

ZHANG Qing-meng¹, HE An-xiao², SHI Jia-shun¹

(1. College of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Safety Science Institute of Liaoning Province, Shenyang 110004, China)

Abstract: Aiming at the problem of automatic detection of the friction of hydraulic reciprocating seals under the condition of high pressure and multi-cycle times, based on the detection principle of the starting friction and the dynamic friction of the reciprocating seals, a detecting system was designed, and the hardware configuration, PLC software design and man-machine interface design of the control system of the detecting device were done, the friction detecting device of reciprocating seals was eventually obtained based on PLC and kingview. The friction test of O-ring seals under the pressure of 25 MPa and recurring 1 000 times was done by the detecting device. The results indicate that the detecting device can detect the dynamic and starting friction of reciprocating seals under the complex condition of high pressure and achieve the test operation process and detection process in the man-machine interface, realize the detection accuracy of 0.65 N, the detection process is stable and reliable a high degree of automation and human-computer interaction.

Key words: reciprocating seals; friction; PLC and kingview; detecting device

0 引言

密封件在液压或气动设备中应用十分广泛,其性能的好坏直接影响设备的相关工作性能及安全性能;密封件的摩擦力是评定密封件性能好坏的重要因素,在动密封情况下,密封件的摩擦力过大,可能导致密封件损坏,或者产生大量的摩擦热,密封件加速老化,密封件的使用寿命减少,同时减小了摩擦副中运动件的运动灵敏性;所以对密封件摩擦力的检测对于提高设备的工作性能及安全性能具有非常重要的意义。

在国外,BELFORT 等^[1]研发了一种能在往复动密封中测量多种密封圈摩擦力的试验装置,检测了双向唇形密封圈在气动密封中的摩擦力;RAPARELLI 等^[2]研发了在气动密封工况下测量实心密封圈的单向摩擦力的装置,并研究了 Y 形圈在高压工况下的挤出现象;SHANKAR BHAUMIK^[3]研发了一种轴用密封圈与孔用密封圈性能检测装置,可在低压工况下检测密封圈的摩擦力及泄漏量,采用了 PLC 控制系统,自动化程度较高。

在国内,吴琼等^[4]通过检测 O 形圈的摩擦力分析了密封圈在启动过程中的动态特性。迪力夏提·艾海

收稿日期:2016-10-30

作者简介:张庆孟(1991-),男,河南濮阳人,硕士研究生,主要从事自动化检测方面的研究. E-mail:317877590@qq.com

通信联系人:史家顺,男,副教授,硕士生导师. E-mail: jshshi@mail.neu.edu.cn

等^[5]设计了 Y 型气动密封圈的摩擦力检测试验台,分析了气缸工况对摩擦力的影响规律。

以上对密封件摩擦力的检测条件多集中在在气动密封、低压、少循环次数等工况下,对于液体密封、高压、多循环次数工况下的密封件摩擦力检测较少,检测装置的自动化及人机交互程度不高^[6-9]。液体密封比气体密封的污染可能性大,安全性低,提高密封件摩擦力检测装置的自动化及人机交互程度也是一种必然的趋势^[10-13];因此,有必要设计一类智能密封件液压往复运动摩擦力检测装置,检测密封件在高压,多往复循环次数条件下的摩擦力。

本研究将参考 ISO7986-1997《往复式油液设备用密封件性能评定的标准实验方法》,研制一台智能往复密封件摩擦力检测装置,利用该装置在改变密封压力、相对往复运动速度等试验参数的情况下测量密封件摩擦力;利用 PLC 与组态王设计控制系统实现自动化测试及人机交互;最后利用该摩擦力检测装置对高压、多往复循环次数条件下的橡胶 O 形圈密封件的摩擦力进行检测。

1 密封件摩擦性能检测原理

1.1 检测系统的设计

在该系统的往复密封摩擦力检测机构中,密封件和运动杆组成摩擦副。为了克服密封件在高压工况下的运动阻力及实现运动杆长时间连续的循环往复运动,该检测装置利用无偏置曲柄滑块机构实现旋转运动到往复直线运动的转化,把拉压力传感器置于运动杆与滑台之间,滑台带动运动杆相对于密封件进行往复直线运动,从而实现密封件的往复密封;此时若不考虑运动杆的惯性力,拉压力传感器的测得力等于密封件的摩擦力。最后笔者利用温度传感器测量试验环境温度,利用变频器实现往复运动调速,利用接近开关实现运动次数计数及平均速度检测。

针对检测装置的液压系统,为了实现密封管路封闭及高压密封,笔者利用电磁换向阀封闭管路及使用蓄能器实现液压管路液压油的增压及保压。

检测系统原理图如图 1 所示。

1.2 检测参数的计算

在运动杆启动过程中,密封件的静摩擦力不断增大直至达到启动摩擦力,运动杆运动后,密封件的摩擦力减小。当运动杆低速运动时,容易检测密封件在整个行程中的动摩擦力;当运动杆高速运动时,检测密封件在行程中某点处的摩擦力比较容易。因此该检测系

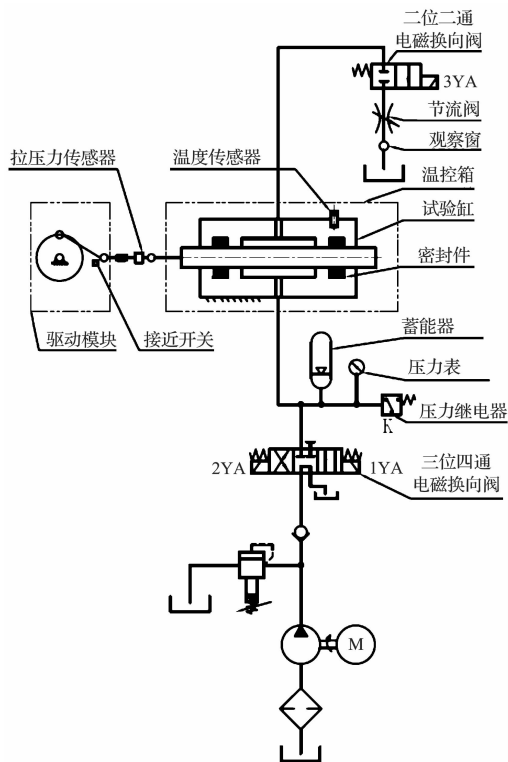


图 1 检测系统原理图

统的检测参数为密封件的静摩擦力、全行程动摩擦力、定点动摩擦力。

因为运动杆的往复驱动机构为曲柄滑块机构,在高速往复循环运动中,拉压力传感器测得力包括密封件的动摩擦力与运动杆的惯性力。而运动杆低速运动过程中,运动杆的惯性力极小可忽略,对摩擦力检测基本没有影响,在运动杆被手动启动过程中,密封件的静摩擦力与拉压力传感器测得力相等。因曲柄匀速转动,检测系统检测密封件的行程固定点处的动摩擦力,此时运动杆的惯性力为定值。设轴伸出端方向为正,即正行程方向,反之为负行程方向,以此界定力与加速度的符号,参考曲柄连杆机构的加速度公式,计算动静态摩擦力的公式如下式所示:

$$\begin{cases} f_j = -f_c \\ f_q = -f_c \\ f_d = f_g - f_c \\ f_g = mw^2R\left(\cos\alpha + \frac{R\cos 2\alpha}{L}\right) \end{cases} \quad (1)$$

式中: f_j —密封件的启动摩擦力, f_q —密封件的全行程动摩擦力, f_d —密封件的定点动摩擦力, f_c —拉压力传感器测得力, f_g —运动杆的惯性力, w —曲柄转速, R —曲柄半径, L —连杆长度, m —运动杆质量, α —连杆中心线与运动方向夹角。

当滑台运动到接近开关感应点时,接近开关接通,

检测系统检测密封件此时的定点摩擦力,因此时 $\alpha \approx -\pi$,定点摩擦力计算公式如下式所示:

$$f_d = \frac{mw^2(R^2 - RL)}{L} - f_c \tag{2}$$

式中: f_d —密封件的定点动摩力, f_c —拉压力传感器测得力, w —曲柄转速, R —曲柄半径, L —连杆长度。

1.3 试验流程

密封件摩擦力检测试验流程图如图 2 所示。

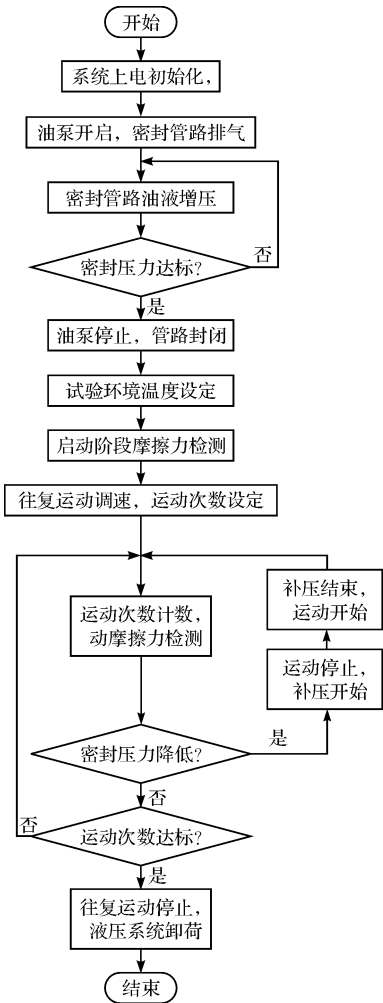


图2 密封件摩擦力检测试验流程图

该密封件摩擦力检测装置的试验流程主要分为:液压系统密封管路排气增压及保压、试验系统外部环境检测调整、密封件摩擦力检测,前两个阶段为密封件摩擦力检测试验的准备阶段。动摩擦力检测分为低速时的全行程动摩擦力检测、高速时的定点动摩擦力检测。

2 试验装置控制系统

试验装置控制系统原理图如图 3 所示。

本研究采用西门子 PLC 接受检测系统中的开关量及模拟量信号,利用开关量信号控制检测系统中开

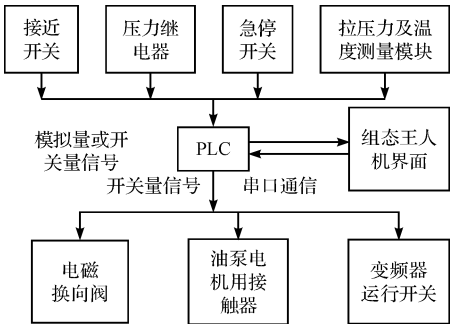


图3 试验系统控制原理图

关量元件启停;利用组态王及 PLC 组成上下位机,方便试验装置操作,实时显示试验参数变化情况,采集记录试验参数数据,最终使试验装置拥有一定的人机交互功能^[13-14]。

2.1 硬件系统设计

本研究根据控制系统原理图及试验需求,相关元器件选用轮辐式拉压力传感器 TF04,压力变送器 TB01;全螺纹式温度传感器 WZP-J,温度变送器 SBWD;三线制电感式接近开关 E3ZG-D62,变频器 VFD022M46A;其中 TF04 传感器与 TB01 变送器量程为-800 kg~800 kg,输出电流 4 mA~20 mA;WZP-J 传感器与 SBWD 温度变送器量程为-50℃~250℃,输出电流 4 mA~20 mA;传感器与对应的变送器结合可直接与 PLC 模拟量模块相连接。

控制器件 PLC 选用了 S7-200 系列中的继电器输出型的 CPU224,EM235 模拟量混合模块;CPU224 有 14 输入/10 输出,EM235 模块有 4 路模拟量输入/1 路模拟量输出。

本研究根据变送器输出的电流参数,对 EM235 模块进行参数配置;EM235 模块 DIP 开关设置为 ON/OFF/OFF/OFF/OFF/ON,使 EM235 模块的模拟量输入量程为 0~20 mA。

PLC 输入输出分配情况如表 1 所示。

表1 控制系统输入/输出端口安排

输入元件	输入地址	输出元件	输出地址
接近开关	I0.0	电磁换向阀 Y1	Q0.0
压力继电器	I0.1	电磁换向阀 Y2	Q0.1
急停开关	I0.2	电磁换向阀 Y3	Q0.2
拉压力传感器	AIW0	油泵用接触器	Q0.3
温度传感器	AIW2	变频器运转	Q0.4

2.2 软件系统设计

2.2.1 PLC 编程

PLC 编程主要实现 PLC 程序控制试验操作流程及试验参数信号的采集和计算。

(1) PLC 程序介绍

该控制系统的 PLC 程序包括主程序 MAIN, 子程序 SBR_1、SBR_2 及中断程序 INT_0。

主程序 MAIN 主要作用是实现检测系统的主要操作流程, 条件性的调用子程序 SBR_1、SBR_2 及中断程序 INT_0。

子程序 SBR_1 主要作用是进行摩擦力的检测及计算, 试验环境温度的检测。

子程序 SBR_2 主要作用是进行往复运动次数计数及平均速度计算。

中断程序 INT_0 实现接近开关接通时计算机采集密封件定点动摩擦力。

(2) 检测参数计算方法

根据模拟量模块接收的变送器输出电流为 4 mA ~ 20 mA, 可得出模拟量转化的数字量信号为 6 400 ~ 32 000。而拉压力测量模块的量程范围值为 16 00 kg, 曲柄半径为 50 mm, 连杆长度为 270 mm。

则根据线性量程转换原理, PLC 程序可采用的测力值及摩擦力计算公式如下式所示:

$$\begin{cases} X_1 = 10.0 \times \frac{X_2}{16.0 - 1\ 200.0} \\ X_3 = -0.04mw^2 - X_1 \end{cases} \quad (3)$$

式中: X_1 —测力值, X_2 —力信号值, X_3 —定点摩擦力, w —曲柄高速转速, m —运动杆质量。

温度值的计算方法也采用线性转换原理, 平均速度是往复行程与接近开关两次接通的时间差的比值。

2.2.2 组态王人机界面设计

组态王人机界面包括检测系统操作界面和试验参数显示及记录界面。

检测系统操作界面主要作用是显示操作流程并控制试验装置的操作过程, 对试验装置进行手动调节。该人机界面在试验时的运行情况如图 4 所示。



图 4 检测系统操作界面运行图

试验参数显示及记录界面主要是在试验过程中对试验参数的数值变化情况进行实时显示、记录, 功能模块主要包括摩擦力检测模块、辅助试验参数检测模块, 试验参数历史数据报表查询及保存模块。其中历史数据报表查询及保存模块可把需要的试验参数数据按时间间隔 1 s 查询到并保存成 '.xls' 格式的文件, 该人机界面在试验时的运行情况如图 5 所示。



图 5 试验参数显示及记录界面运行图

3 基于 O 形圈的密封件摩擦力检测试验

本研究利用设计搭建的智能往复密封件摩擦力检测装置对高压、多循环次数条件下的 O 形圈往复密封件进行摩擦力检测试验, 来验证该检测装置的可行性。

3.1 试验规格参数

试件 O 形圈型号为 24 mm × 3.55 mm, 密封圈压缩率为 18%; 运动杆质量为 1.2 kg, 运动杆表面镀铬, 镀层厚度磨后不低于 0.08 mm, 运动杆与 O 形圈接触区的表面粗糙度为 Ra0.2; 液压系统密封压力为 25 MPa; 试验温度为 24 °C; 运动杆高速运动时平均速度为 170 mm/s, 曲柄半径为 50 mm, 连杆长度为 270 mm。检测装置的摩擦力检测精度为 0.65 N。

3.2 检测试验

本研究按照组态王检测系统操作界面所示的操作流程操作试验装置, 进入试验参数显示及记录界面观察及记录试验参数数据; 检测 O 形圈密封组合在启动阶段的摩擦力, 运动杆低速运动时的全行程动摩擦力, 高速运动时的定点动摩擦力。检测结束时, 点击参数查询按钮, 在摩擦力检测参数的每一个时间段内按时间间隔 1 s 查询所需试验参数, 试验参数数据出现在历史数据报表中; 之后点击参数保存按钮把试验数据保存成 '.xls' 格式的文件。

3.3 试验结果及分析

启动阶段密封件摩擦力及全行程动摩擦力部分试验数据如表 2 所示。

表 2 启动阶段 O 形圈密封件摩擦力检测数据

时间/s	静摩擦力/N	全行程动摩擦力/N
1	0.0	97.8
2	45.3	92.3
3	56.2	86.2
4	62.3	83.3
5	69.8	-82.6
6	74.3	-86.3
7	89.4	-88.6
8	95.2	-93.2
9	102.3	89.6
10	119.7	83.2
11	134.2	82.1
12	143.7	83.6
13	152.6	-84.7
14	157.6	-81.6
15	145.3	-86.7

在其中可以观察到 O 形圈密封件的启动摩擦力为 157.6 N,全行程动摩擦力循环变化。

定点动摩擦力部分数据如表 3 所示。

表 3 O 形圈密封件的摩擦力检测试验数据

高速运动 次数	定点动 摩擦力/N	高速运动 次数	定点动 摩擦力/N
1	73.6	9	74.3
2	76.2	10	74.6
3	73.4	11	73.2
4	73.6	12	73.3
5	74.3	13	74.4
6	74.6	14	73.6
7	72.4	15	74.2
8	76.6	16	74.6

可以发现前期定点动摩擦力变化微小;整个密封件摩擦力检测过程稳定。O 形圈密封件摩擦力检测试验过程基本在人机界面上得到实现,证明在高压复杂工况下该检测装置能对 O 形圈密封件摩擦力进行稳定检测,且检测装置自动化程度高,可人机互动;进而可知,可利用该装置对其他密封件摩擦力进行自动检测。

4 结束语

本研究设计的智能往复密封件摩擦力检测装置能

对高压、多循环往复条件下的密封件的启动摩擦力、低速时的动摩擦力、高速时的动摩擦力进行较精确的实时检测,检测精度可达 0.65 N,检测过程稳定可靠;该检测试验装置自动化程度高,试验装置的操作过程及试验参数检测记录过程均可在组态王人机界面上实现,且操作过程及检测记录过程均了实现自动化。

该检测装置对高压复杂工况等恶劣工况下的密封件摩擦力检测提供了很好的技术支持,对在整个密封件使用寿命内的密封件摩擦性能测试技术的研究也具有一定的实际意义。

参考文献(References):

[1] BELFORTE G, BERTETTO A M, MAZZA L. Test rig for friction force measurements in pneumatic components and seals [J]. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology**, 2013, 227 (1): 43-59.

[2] BELFORTE G, MAZZA L, VISCONTE C. Non contact wear measurement on pneumatic seals [J]. **Tribology International**, 2012, 48 (4): 73-77.

[3] BHAUMIK S, KUMARASWAMY A, GURUPRASA S. Design & development of test rig for investigation of contact mechanics phenomena in reciprocating hydraulic seals [J]. **Procedia Engineering**, 2013, 64 (9): 835-843.

[4] 吴 琼,索双富,廖传军,等. 丁腈橡胶 O 形圈往复密封性能实验研究[J]. **润滑与密封**, 2012, 37 (2): 29-33.

[5] 迪力夏提·艾海提,索双富,吴长贵. Y 形气动密封圈摩擦力的试验研究[J]. **润滑与密封**, 2016, 41 (2): 53-58.

[6] 吴长贵,索双富,黄 乐,等. 航空作动器 VL 密封圈唇口接触压力分析[J]. **液压气动与密封**, 2015 (7): 18-21.

[7] 朱启惠,白少先. 氟橡胶 O 形圈低压气体密封微动摩擦特性试验[J]. **摩擦学学报**, 2015, 35 (5): 646-650.

[8] 马春红,白少先,康 盼. 氟橡胶 O 型圈低压气体密封黏滞摩擦特性实验[J]. **摩擦学学报**, 2014, 34 (2): 160-164.

[9] 宋 佳,贾光政,易华荣,等. 液压控制密封试验台设计[J]. **液压与气动**, 2012 (9): 1-3.

[10] 高世一,史家顺,原所先. PLC 和组态王在 O 形密封圈耐久性能检测控制系统中的应用[J]. **机电工程**, 2004, 22 (8): 1-4.

[11] 王爱军. 杆密封件高温高压试验台设计[J]. **液压气动与密封**, 2014 (9): 6-7.

[12] 窦志伟,史家顺,孙忠志,等. 密封圈功能考核试验系统的设计与应用[J]. **飞机设计**, 2007 (1): 73-77.

[13] 余跃杭,吕文阁. 密封件机器视觉检测系统开发[J]. **机电工程技术**, 2015, 44 (5): 64-65, 131.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:
张庆孟,何鞍晓,史家顺. 智能往复密封件摩擦力检测装置的研制[J]. 机电工程, 2017, 34 (6): 577 - 581.
ZHANG Qing-meng, HE An-xiao, SHI Jia-shun. Intelligent friction detecting device of reciprocating seals [J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2017, 34 (6): 577 - 581.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>