

文章编号:1671-251X(2020)04-0104-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020010008

液压支架手动换向阀耐久性试验自动化装置设计

赵锐^{1,2,3}

- (1. 煤炭科学技术研究院有限公司 检测分院, 北京 100013;
2. 国家煤矿支护设备质量监督检验中心, 北京 100013;
3. 煤炭资源开采与环境保护国家重点实验室, 北京 100013)



扫码移动阅读

摘要:针对液压支架手动换向阀耐久性试验存在测试周期长、效率低、无法实现自动测试的问题,设计了一种液压支架手动换向阀耐久性试验自动化装置。该装置基于液压油缸往复运动,结合使用被试手动换向阀手柄推拉专用工装,带动被试手动换向阀手柄左右摆动,达到自动换向目的。同时,利用测控系统软件控制装置启动、换向、采集压力、判断计数等动作,从而实现被试手动换向阀耐久性试验的自动化测试。实际应用结果表明:该装置具有结构简单、加载速度可调、试验效率高的特点,耐久性试验周期由原来的165.6 h缩短至31.2 h。

关键词:液压支架; 液压油缸; 手动换向阀; 耐久性试验; 液压系统; 自动换向

中图分类号:TD355 文献标志码:A

Design of automation device for durability test of manual reversing valve of hydraulic support

ZHAO Rui^{1,2,3}

- (1. Test Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. National Coal
Mine Support Equipment Quality Supervision and Inspection Center, Beijing 100013, China;
3. State Key Laboratory of Coal Mining and Environment Protection, Beijing 100013, China)

Abstract: For problems of long test cycle, low efficiency and unable to realize automatic test in durability test of manual reversing valve of hydraulic support, an automation device for durability test of manual reversing valve of hydraulic support was designed. The device is based on reciprocating movement of hydraulic cylinder, and uses push-pull special tool of the manual reversing valve handle to drive handle of the manual reversing valve to swing from left to right to achieve purpose of automatic reversing. At the same time, software of measurement and control system is used to control actions of starting, reversing, collecting pressure, judging and counting of the device, so as to realize automatic test of durability test of the manual reversing valve. The practical application results show that the device has characteristics of simple structure, adjustable loading speed and high test efficiency, and durability test cycle is shortened from 165.6 h to 31.2 h.

Key words: hydraulic support; hydraulic cylinder; manual reversing valve; durability test; hydraulic system; automatic reversing

0 引言

液压支架是煤矿井下三机配套的重要组成部分

分^[1-2],其依靠立柱、平衡千斤顶、护帮千斤顶等执行
液压油缸动作及相互协作实现安全支撑作用^[3-5]。
这些动作由安装在液压支架主进液压回路上的各组

收稿日期:2020-01-03;修回日期:2020-04-10;责任编辑:张强。

基金项目:中国煤炭科工集团有限公司面上项目(2018-TD-MS002)。

作者简介:赵锐(1982—),男,江苏淮安人,副研究员,硕士,主要研究方向为矿山支护设备检测技术及装备,E-mail:zhaorui_ccri@sohu.com。

引用格式:赵锐. 液压支架手动换向阀耐久性试验自动化装置设计[J]. 工矿自动化,2020,46(4):104-108.

ZHAO Rui. Design of automation device for durability test of manual reversing valve of hydraulic support[J]. Industry and Mine Automation,2020,46(4):104-108.

换向阀改变高压液体流向来实现。液压支架手动换向阀是控制液压支架执行油缸动作的关键部件^[6-7],其工作性能直接影响液压支架支护的可靠性。因此,对液压支架手动换向阀质量的检测检验非常有必要。耐久性试验是标准要求测试的重要检测项目,与手动换向阀井下频繁换向工况最为贴近,对手动换向阀综合性能的评定至关重要。

目前,我国对手动换向阀检测装置的研究较少。在用的检测装置是多年前开发的简易测试装置,采用气缸为动力源,通过齿轮、链条传动方式带动固定在手动换向阀手柄上的工装左右运动,达到耐久性试验的目的。由于手动换向阀手柄在换向过程中以手柄固定端为圆心做圆周运动,导致链条轨迹不在一个平面上,经常造成别卡,严重影响试验进度,测试效率低。根据 GB 25974.3—2010《煤矿用液压支架 第3部分:液压控制系统及阀》的要求,液压支架 A 类换向阀耐久性试验次数为 30 000 次,此外,还要进行换向性能、操作力(控制压力、启动电压)测定、压力流量特性、背压安全性、密封性能、强度等试验^[8-9]。根据当前试验能力统计,每个手动换向阀仅耐久性项目试验时间就需 165.6 h,测试周期较长。

国外方面,随着欧美国家能源结构的改革与升级,越来越多的国家减少了煤炭的开采和使用。美国、澳大利亚等国家已将煤炭作为国家战略资源进行保护,限制开采^[10-11]。在此背景下,国外液压支架用阀检测装置研究也较少,鲜有报道。

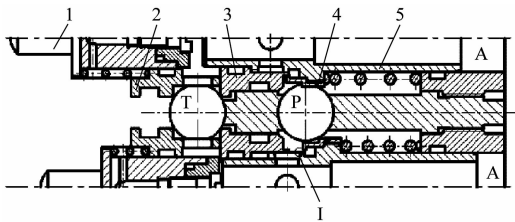
鉴此,本文设计了一种手动换向阀耐久性试验自动化装置。该装置采用液压油缸作为动力,通过其往复运动,结合使用被试手动换向阀手柄推拉专用工装,实现被试换向阀手柄随油缸左右摆动,达到自动换向目的。同时,利用专门开发的测控系统软件采集被试手动换向阀工作口的压力信号,自动判定是否完成了换向,通过逻辑判定后,记为 1 次换向试验,计数器逐次累加,并重复上述操作,直到完成试验规定的次数,从而实现自动测试。

1 手动换向阀结构及试验原理

1.1 手动换向阀结构

液压支架用手动换向阀大多采用插装式结构,采用 2 个两位三通式阀芯集成在 1 片阀体内部,形成三位四通式结构。三通即进液口 P、回液口 T 和工作口 A,通过控制不同的工作口来控制相应的液压缸动作^[12]。图 1 为一种常规型号手动换向阀的其中 1 个两位三通式阀芯结构。图 1 的上半部分对应于操作手柄处于中位,此时工作口 A 与回液口 T 相通;下半部分表示手柄顶杆被压下时,工作口 A

与回液口 T 切断,来自供液系统的高压乳化液经进液口 P,由阀芯上均匀分布的径向小孔流向工作口 A,引导高压液体流向相应的液压缸,产生执行动作。



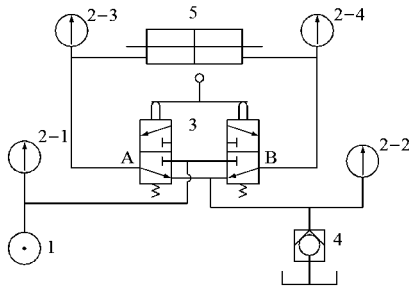
1—操作手柄顶杆;2—阀套;3—阀座;4—压紧螺帽;5—阀芯。

图 1 两位三通式阀芯结构

Fig. 1 Structure of two-position three-way spool

1.2 手动换向阀耐久性试验原理

手动换向阀耐久性试验需要使用油源、定量油缸(容积为 3 L)、压力传感器等,详细试验原理如图 2 所示。



1—油源;2-1—2-4—压力传感器;
3—被试手动换向阀;4—背压阀;5—定量油缸。

图 2 手动换向阀耐久性试验原理

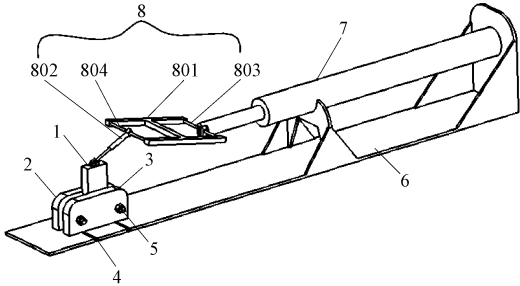
Fig. 2 Durability test principle of manual reversing valve

具体试验步骤:调节油源 1,以被试手动换向阀 3 的公称流量和公称压力向其供液,定量油缸 5 的容积为 3 L(本试验仅考核换向性能,不需要测试流量参数,选用 3 L 定量油缸),被试手动换向阀 3 换向至工作位 A 口,通过 3 L 液体后,压力传感器 2-3 达到公称压力,证明 A 口性能正常;操作被试手动换向阀 3 返回中间位置并换向至另一工作位 B 口,通过 3 L 液体后,压力传感器 2-4 达到公称压力,证明 B 口性能正常;操作被试手动换向阀 3 返回中间位置。以上过程为 1 次工作循环,进行 15 000 次工作循环,其中 A 类换向阀进行 30 000 次工作循环^[8]。只有通过规定次数的耐久性试验后,其各项性能均正常,才能判定该换向阀的可靠性满足使用要求。

2 装置设计

根据手动换向阀的结构特点,充分考虑其手柄在换向过程中做圆周运动的特点,设计了手动换向阀耐久性试验自动化装置,具体结构如图 3 所示。试验时,先将被试手动换向阀 1 安装在夹紧装置 2

中,并通过调节螺母 5 调整手动换向阀的位置,使之与加载油缸 7 近似在一条直线上。再将手动换向阀手柄推拉专用工装 8 的手柄套筒 802 套在被试手动换向阀 1 的手柄上,完成试验准备工作(根据需要,可在专用工装 8 上增加磁吸式配重)。最后启动加载油缸 7 带动被试手动换向阀在左右 2 个工作口来回切换,并通过专门开发的测控软件采集被试手动换向阀工作口的压力信号进行换向与否的自动判断。



1—被试手动换向阀;2—夹紧装置固定块;3—夹紧装置移动块;
4—夹紧装置移动轨道;5—调节螺母;6—测试支撑架;
7—加载油缸;801—推拉专用工装的边框;
802—推拉专用工装的手柄套筒;803—推拉专用工装尾部连接杆;
804—推拉专用工装端部连接杆。

图 3 手动换向阀耐久性试验自动化装置结构
Fig. 3 Structure of automation device for durability test of manual reversing valve

3 手动换向力矩的计算与校核

根据 GB 25974. 3—2010《煤矿用液压支架第 3 部分:液压控制系统及阀》的要求,手动换向阀的操作力应为 10~130 N,即要求手动换向阀的手柄操作力最大为 130 N。以缸径 $\phi 40\text{ mm}$ 、杆径 $\phi 20\text{ mm}$ 的加载油缸为例,在 5 MPa 供液压力下,加载油缸推力为 6.28 kN,拉力为 4.71 kN,均远大于手动换向阀的操作力矩。因此,正常情况下,加载油缸的换向加载力满足手动换向阀耐久性试验的要求。

为精确计算手动换向阀换向手柄换向所需的换向力矩,对其进行受力分析计算,具体如图 4 所示。

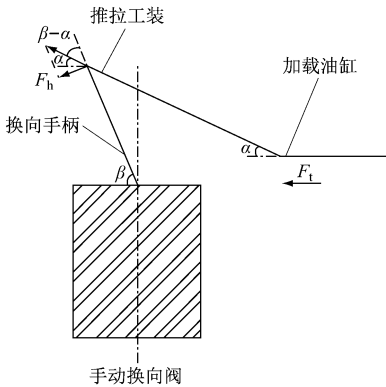


图 4 换向力分析
Fig. 4 Reversing force analysis

手动换向阀的换向力 F_h 为加载油缸的推力 F_L 的分力,它们之间的关系如下:

$$F_h = F_L \cos \alpha \sin(\beta - \alpha) \tag{1}$$

式中: α 为加载油缸加载力与推拉工装的夹角, ($^\circ$); β 为手动换向阀手柄与阀体上表面夹角, ($^\circ$)。

当 α 、 β 夹角相等时,装置处于临界位置,即加载油缸的加载力对被试手动换向阀的换向不起作用,其位置关系如图 5 所示。

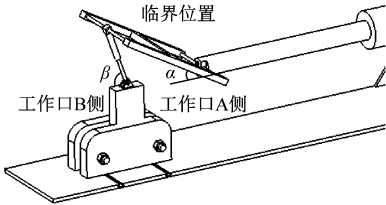
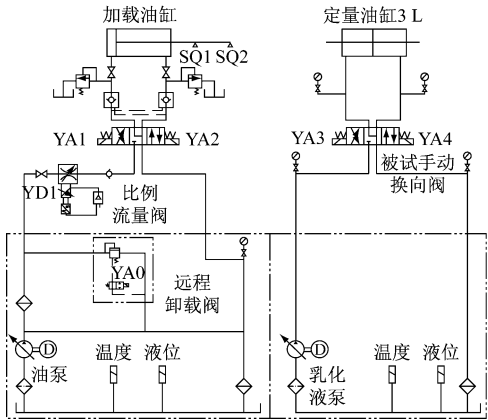


图 5 试验装置临界位置
Fig. 5 Critical position of the test device

为了解决该问题,在图 3 所示的专用工装 8 上施加磁吸式配重,依靠磁吸式配重的重力完成换向,根据受力分析,经计算得到重块的最大质量为 36.7 kg。由于手动换向阀的操作力矩一般不超过 30 N,所以,现场重块质量设置为 8 kg,试验过程非常顺畅。

4 装置液压系统设计

装置的液压系统分为油液系统和乳化液系统。油液系统主要用于加载油缸推拉手动换向阀手柄,乳化液系统提供被试手动换向阀耐久性测试所需的压力和流量。油液回路设置了比例流量阀,可无级调整加载油缸的加载速度,以适应不同公称流量手动换向阀的试验要求。液压系统原理如图 6 所示。



SQ1, SQ 2—加载油缸行程开关;YA0—远程卸载阀电磁铁;
YA1, YA2—加载油缸换向阀电磁铁;
YA3, YA4—被试手动换向阀电磁铁;YD1—比例流量阀电磁铁。

图 6 液压系统原理

Fig. 6 Principle of hydraulic system

5 装置测控系统设计

装置测控系统软件采用基于以太网的 Visual

Basic 测控软件编程,通过集成在测控柜上的计算机控制加载、试验启动、换向等动作,即由计算机发出动作指令模拟信号传输至执行阀组,控制液压油缸往复动作,带动被试手动换向阀的手柄左右摆动,以实现换向。通过采集定量油缸两端压力传感器(2-3、2-4)的试验压力信号,经 AD 转换后,由计算机判断是否完成一次换向试验,并实时在计算机上显示测试数据曲线及被试手动换向阀的型号、公称流量、公称压力、试验次数等关键参数,利用组态软件建立人机交互系统,如图 7 所示。利用测控软件进行测试控制,先进行试验参数设置,再通过压力传感器采集被试手动换向阀工作口的压力信号进行比较判定,逻辑判定通过后,试验次数计数累加并进行循环。测试工作流程如图 8 所示。图 8 中的

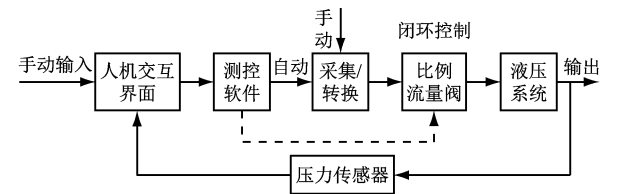


图 7 人机交互系统

Fig. 7 Human-computer interaction system

DMA 为直接存储器存取(Direct Memory Access)。

6 装置应用

液压支架手动换向阀耐久性试验自动化装置于 2019 年 1 月完成样机试制,并进行安装、调试、试运行。对 FHS80/31.5、FHS125/31.5、FHS250/31.5、FHSA500/31.5Z 等不同公称流量的手动换向阀样品进行了测试,测试界面如图 9 所示。测试结果表明,该装置耐久性试验过程平稳、流畅。由耐久性试验曲线可知,平均每次循环试验时间约为 3.8 s,以 A 类手动换向阀 30 000 次耐久性试验次数计算,可得试验时长为 31.2 h,试验效率有了很大提高。

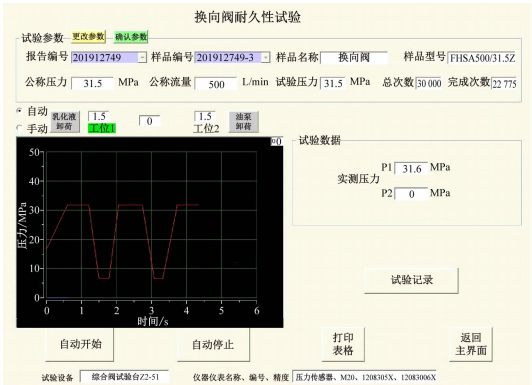


图 9 测试界面

Fig. 9 Test interface

7 结语

液压支架手动换向阀耐久性试验自动化装置以加载油缸的往复运动方式实现被试手动换向阀的换向,结合配套开发的液压系统、测控系统软件控制装置启动、换向、采集压力、判断计数等动作,进而实现被试手动换向阀耐久性试验的自动化。该装置具有结构简单、加载速度可调、试验效率高的特点,解决了手动换向阀耐久性试验周期长和效率低的问题,试验周期由原来的 165.6 h 缩短至 31.2 h。

参考文献(References):

[1] 王国法,庞义辉,任怀伟,等.煤炭安全高效综采理论、技术与装备的创新和实践[J].煤炭学报,2018,43(4):903-913.
WANG Guofa, PANG Yihui, REN Huaiwei, et al. Coal safe and efficient mining theory, technology and equipment innovation practice[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(4): 903-913.

[2] 王国法. 液压支架技术体系研究与实践[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1903-1908.
WANG Guofa. Study and practices on technical system of hydraulic powered supports[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1903-1908.

图 8 测试工作流程

Fig. 8 Test work flow

[3] 曹连民,孙士娇,张震,等. 液压支架平衡千斤顶控制回路优化设计[J]. 工矿自动化,2018,44(2):13-17.
CAO Lianmin, SUN Shijiao, ZHANG Zhen, et al. Optimal design of balance jack control loop of hydraulic support[J]. Industry and Mine Automation, 2018,44(2):13-17.

[4] 郭继圣. 综采工作面巷道超前液压支架选型设计及展望[J]. 煤炭科学技术,2016,44(11):30-35.
GUO Jisheng. Selection design and outlook on advanced hydraulic powered support of gateway in fully-mechanized coal mining face[J]. Coal Science and Technology,2016,44(11):30-35.

[5] 马利平,廉自生. 掩护式支架平衡千斤顶液压回路分析[J]. 机械工程与自动化,2010(5):10-13.
MA Liping, LIAN Zisheng. Analysis on hydraulic circuit of the balance ram in the shield support [J]. Mechanical Engineering and Automation, 2010(5): 10-13.

[6] 王国法. 工作面支护与液压支架技术理论体系[J]. 煤炭学报,2014,39(8):1593-1601.
WANG Guofa. Theory system of working face support system and hydraulic roof support technology [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1593-1601.

[7] 姚灵灵,贺乃宝,高倩,等. 液压支架前连杆疲劳寿命预测方法[J]. 工矿自动化,2015,41(10):46-48.
YAO Lingling, HE Naibao, GAO Qian, et al. Prediction method of fatigue life for front connecting rod of hydraulic support [J]. Industry and Mine Automation,2015,41(10):46-48.

[8] GB 25974. 3—2010 煤矿用液压支架 第 3 部分:液压控制系统及阀[S].
GB 25974. 3—2010 Powered support for coal mines-Part 3:The hydraulic control system and valves [S].

[9] EN 1804-3—2004 Machines for underground mines-safety requirements for hydraulic powered roof supports-Part3: The hydraulic control system and valves[S].

[10] 袁亮. 煤炭精准开采科学构想[J]. 煤炭学报,2017, 42(1):1-7.
YUAN Liang. Scientific conception of precision coal mining [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(1):1-7.

[11] 袁亮. 我国深部煤与瓦斯共采战略思考[J]. 煤炭学报,2016,41(1):1-6.
YUAN Liang. Strategic thinking of simultaneous exploitation of coal and gas in deep mining[J]. Journal of China Coal Society,2016,41(1):1-6.

[12] 赵忠辉. 液压支架用方向阀特性试验技术及装置研究 [J]. 液压与气动,2015(11):59-62.
ZHAO Zhonghui. Characteristic test technology and equipment of direction valve used by hydraulic powered support [J]. Chinese Hydraulics & Pneumatics,2015(11):59-62.