自动控制技术在内锁紧油缸试验中的应用

汪 伟 刘广娟 吕学刚 温江华 王宝宝 高 超
（长治清华机械厂，长治 046012）

摘要：为了提高内锁紧油缸 10000 次循环加载试验效率，通过重新设计试验液压回路，利用单片机控制油缸进行往复循环试验，实现了油缸运动过程中的动作自动转化以及自动计数等功能。试验和应用证明，该试验方案自动化程度高，不仅提高了产品的试验效率，也降低了产品损坏的风险，具有一定的推广价值。

关键词：内锁紧式液压缸；往复循环试验；液压回路；自动控制；温度保护

Application of Automatic Control Technology in Inner-lock Cylinder Test

Wang Wei Liu Guangjuan Lv Xuegang Wen Jianghua Wang Baobao Gao Chao
(Changzhi Qinghua Machinery Factory, Changzhi 046012)

Abstract: In order to improve the efficiency of the inner-lock cylinder's ten thousand times cyclic loading test, through redesigning the hydraulic circuit of experiment and using single-chip microcomputer control oil cylinder reciprocating cycle test, the automatic transformation in the process of the oil cylinder's movement and the automatic counting function are realized. The test and application show that the test scheme's degree of automation is high. The scheme not only improves the test efficiency of the product, but also reduces the risk of product damage, which has a certain popularization value.

Key words: inner-lock cylinder; reciprocating cycle test; hydraulic circuit; automatic control; temperature protection

1 引言

近年来，随着对产品使用可靠性的关注度越来越高，在产品研制阶段特别提出了产品可靠性试验的要求。针对内锁紧油缸带载循环 10000 次试验展开自动化控制技术的研究，结合产品试验要求，设计了自动控制液压系统回路以及自动控制技术方案，将人工控制模式转变为全自动控制模式，节约了人力、设备等资源，提高了产品的试验效率以及试验安全性。

2 产品试验方案介绍

2.1 产品结构简介

内锁紧油缸是利用内锁紧套与缸筒过盈配合使活塞杆可承载轴向力，且活塞杆在缸体全行程范围任意位置处可实现锁紧；在油缸开锁腔通入高压油后，使缸筒材质发生弹性变形将内锁紧套与缸筒过盈配合变为间隙配合，以实现活塞杆直线往复运动的油缸。图 1 为该类油缸的结构简图。

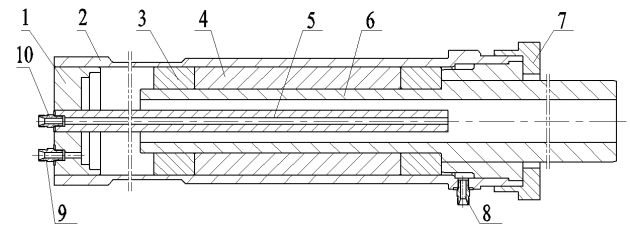

图 1 内锁紧油缸结构简图

1—端盖 2—缸筒 3—活塞 4—锁紧套 5—输油管 6—活塞杆
7—缸盖 8—反腔进油口 9—正腔进油口 10—开锁腔进油口

作者简介：汪伟（1981–），硕士，机械制造专业；研究方向：机械制造设计及工艺。
收稿日期：2015-06-24

2.2 产品试验方案介绍

为了考核内锁紧油缸在常温环境下的使用寿命，确保满足产品可靠性的需要，对两根该种油缸进行循环试验 10000 次，试验过程中每根油缸需带载 35t。按照油缸的运动特点，最初的液压回路设计如图 2 所示。

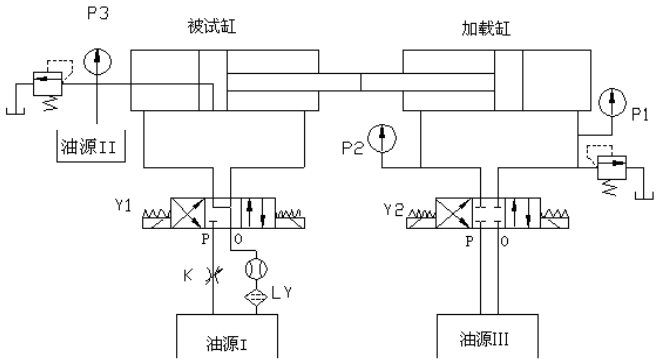

图 2 内锁紧油缸试验原理图

图 2 中共涉及有 3 个油源，被试缸油源（油源 I）、开锁腔油源（油源 II）、加载缸油源（油源 III）。油缸加载往复运动一个循环记为 1 次，而每一个循环需实现的动作流程如图 3 所示。

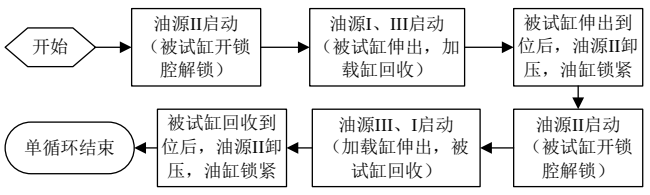

图 3 内锁紧油缸单循环试验流程

3 自动控制试验方案设计

3.1 液压回路设计

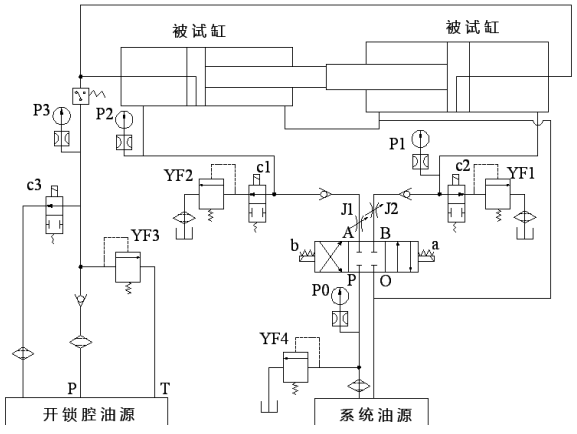

图 4 新液压回路原理图

结合内锁紧油缸试验要求以及油缸运行单循环流程，考虑将两根内锁紧油缸同时进行循环加载试验，其功能的实现主要依靠控制油路上电磁换向阀的通断。油缸间加载力的实现主要靠连接在两个试验油缸正腔油路上的溢流阀调节[1]，按照该思路对图 2 中液压回路重新设计，新液压回路原理图如图 4 所示。

新设计的液压原理图与原液压原理图相比最大的区别为，将系统油源数量由 3 个减少为 2 个，同时将原系统中加载缸换成了产品被试缸，即两个油缸同时进行试验，由此节省了 1 倍的试验时间。按照图 4 的原理，油缸每一个工作循环动作实现方案如下。

a. 启动开锁腔油源，调节 YF3（即被试缸开锁腔压力 P3）为开锁压力要求值，电磁换向阀 c3 断电（阀口关闭），油缸开锁油路开锁。

b. 启动系统油源，调节节流阀 J1 流量为试验要求值，控制三位四通电磁换向阀至右位（电磁阀 a 通电），调节系统压力 YF4 为试验要求值，二位二通阀 c1 断电（阀口关闭），将被试缸 2 正腔压力 YF1 设定为试验要求压力，以满足试验要求的 35t 加载力，二位二通阀 c2 通电（阀口打开状态），使被试缸 1 活塞杆缓慢伸出，推动被试缸 2 回收。

c. 被试缸 1 伸出到位后，开锁腔油路上电磁换向阀 c3 通电（阀口打开），使被试缸开锁腔卸压。

d. 当被试缸 1 回收时，电磁换向阀 c3 再次断电（阀口关闭），油缸开锁油路开锁。调节节流阀 J2 流量为试验要求值，控制三位四通电磁换向阀至左位（电磁阀 b 通电），系统压力 YF4 保持不变，二位二通阀 c1 通电（阀口打开状态），调节被试缸 1 正腔压力 YF2 为试验要求压力，以满足试验要求的 35t 加载力，二位二通阀 c2 断电（阀口关闭状态），使被试缸 2 活塞杆缓慢伸出，推动被试缸 1 回收。

e. 被试缸 1 回收到位后，开锁腔油路上电磁换向阀 c3 通电（阀口打开），使被试缸开锁腔卸压。

f. 按照 a～e 步骤进行下一个往复运动。

3.2 自动控制系统设计

3.2.1 自动控制要求

按照液压系统原理及试验流程要求，对油缸 10000 次可靠性试验进行全自动控制系统设计。为了实现动作的全自动控制，结合液压系统功能原理，对自动控制系统提出了以下控制要求。

a. 控制时序要求

初始所有电磁阀全部处于断电状态，启动系统油源及开锁腔油源，开锁腔油源启动后，延时 4s，电磁

换向阀 a、c2 同时通电，油缸伸出，伸出到位后，触发伸出到位行程开关，系统收到行程开关“伸”到位信号后，电磁换向阀 a、c2 立即同时断电，延时 1s 后，b、c1 同时通电，油缸回收，回收到位后，触发回收到位行程开关，系统收到行程开关“收”到位信号后，电磁换向阀 b、c1 立即同时断电，延时 1s 后，电磁换向阀 c3 通电，开锁油源卸压，延时 4s 后，电磁换向阀 c3 断电；如此完成一个动作的往复，进入下一循环。

b. 计数控制要求

系统运行过程中需要自动计数，并能实现累计计数，中间断电后不清零，每一个循环计数一次。计数信号由触发行程开关获取。

c. 温度控制要求

系统运行过程中，需要对油源温度监控，利用温度传感器，当油源温度达到 60℃时，系统报警，待循环完该往复运动动作后，人工断电使系统停止工作，油温降低后，按照顺序重新启动系统继续运行。

d. 压力保护要求

内锁紧油缸在动作过程中开锁压力必须稳定和可靠，满足开锁压力不低于试验要求值，当开锁压力低于试验要求值时，系统必须停止工作，即油缸主油路卸压。

3.2.2　自动控制系统方案设计

根据以上控制要求，选择制定合理的控制方案，确定需要控制的变量类别和数量，并综合考虑功能性、可靠性、经济性等指标，选择适宜的核心控制器件，合理选择外围元器件并进行接口设计，最终完成硬件电路的原理设计。具体的设计方案如下。

a. 总体设计方案

油缸可靠性试验自动化控制部分采取模块化设计方案，即液压控制部分设计液压控制台，自动控制部分设计集成电路板，二者的结合可由图 5 描述。

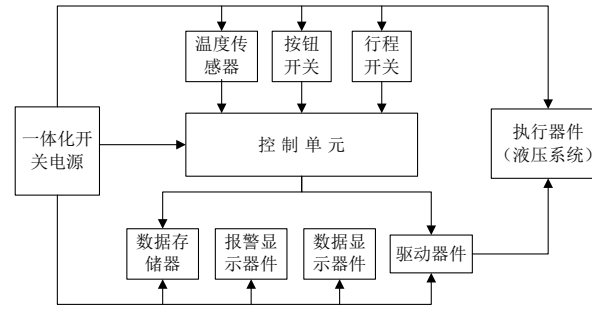

图 5　自动控制方案总体框图

b. 控制系统硬件设计方案

控制系统硬件采用 ATMEL 公司的单片机 AT89S52，芯片内集成了通用 8 位中央处理器[2, 3]，整个外部执行液压系统上各电磁阀的通断电功能，通过控制系统对继电器的控制来实现，另外在单片机与继电器间增加了光电耦合器进行隔离，继电器利用普通晶体管驱动，并通过发光二极管对当前工作状态进行显示。其中主电路板的电路原理图如图 6 所示。

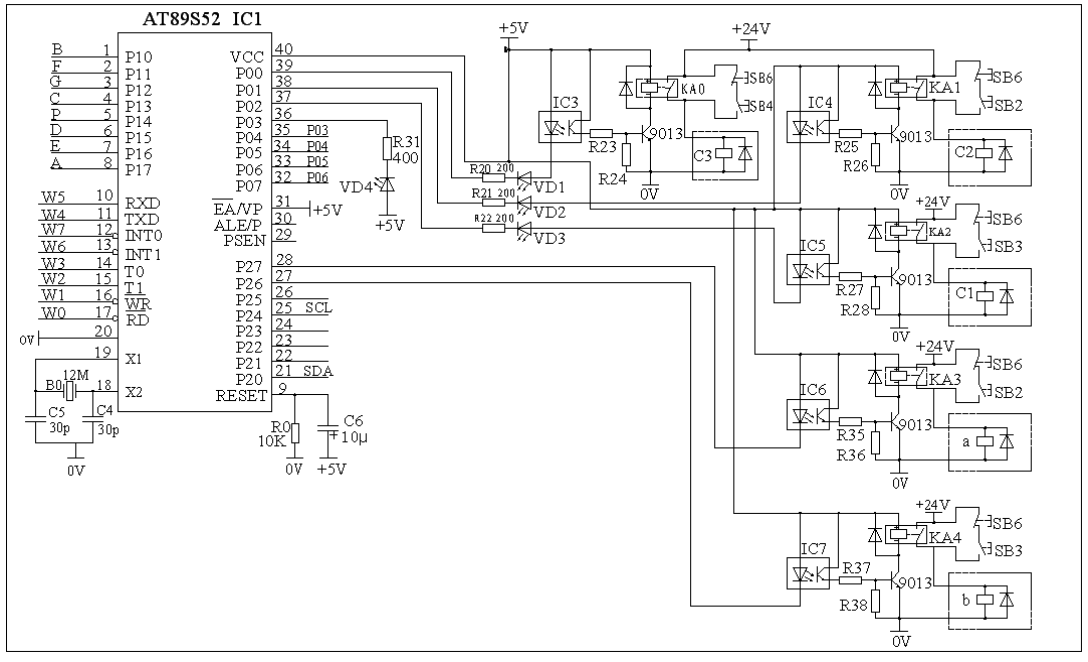

图 6　控制电路原理图

c. 自动工作流程实现方案

系统采集位置传感器、油温、压力继电器等外部信号，并通过编写控制软件实现对试验流程的自动控制，减少了人工操作对试验效率和可靠性的影响，并可根据不同的控制需要进行更改和升级，提高控制的智能化水平。该套系统自动控制主程序流程图如图 7 所示。

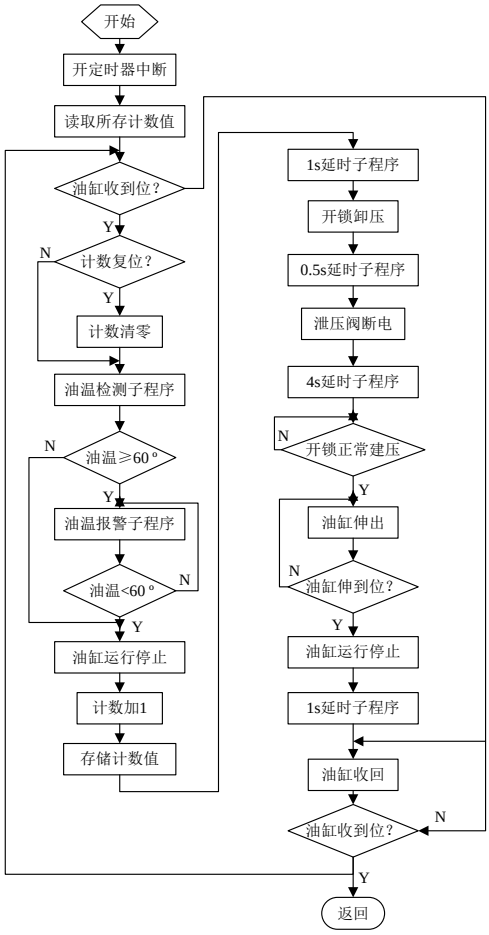

图 7 自动控制流程图

d. 自动计数实现方案

针对此项试验，由于试验次数较多（10000），因此该自动控制系统运行过程中需要自动计数。计数控制方案采取了触发行程开关进行数据采集，并通过单片机进行计数及数据存储，试验过程实现累计计数，系统断电后不清零。为保证数据在系统失电后不丢失，系统采用了存储器 AT24C02 作为存储器件，该器件为 I2C 总线器件，可以连接多个控制器件到总线。

e. 温度控制方案

按照试验要求，系统油源工作过程中温度不能超过 60℃，油温过高容易对油缸及系统中各密封圈寿命及密封性能产生影响。为了实现试验过程中油温的实时检测，系统采用可编程的数字式温度传感器 DS18B20 进行油温测量，其测温范围为-55～125℃，可以直接将模拟量温度值转换为数字信号，不需要 A/D 转换，电路简单，非常适合温度检测[4]。由单总线与单片机输入端口相连，单片机将输入的温度值数字信号处理后由数码管显示当前油温，并由程序完成对相应电磁阀的控制[5]。

f. 控制软件

系统控制软件采用汇编语言编写，整个功能实现控制程序主要由主程序、延时子程序、数码显示子程序、定时器中断子程序、温度检测子程序、数据存储子程序及报警子程序几大部分组成。由于液压系统对油温反应敏感，所以系统软件会定时采集油温，当油温超出范围时中断油缸运行并发出报警信号。为保证开锁正常，系统会定时采集压力继电器信号，当开锁压力不满足时油缸停止动作并显示错误代码。

4 试验方案应用

图 8 液压试验台

图 9 自动控制系统操作控制台

根据以上内锁紧油缸带载循环试验方案，设计了液压试验台以及自动控制系统操作控制台，如图 8、图 9 所示。并按照试验要求完成了两根内锁紧油缸 10000 次带载循环试验，通过试验验证，上述方案运行稳定、可靠，其主要的优点有以下三个方面。

a. 资源的充分利用

采用自动控制方案后，人员操作由 3 位缩减为 1 位，其余所有动作及记录均由程序完成。并且该操作人员只负责程序启动工作和试验过程观察，无需其他操作，大大降低了人工操作的强度。另外，试验油源也由 3 个减少为 2 个，实现了人力资源与生产资源的充分利用。

b. 提高产品试验效率

若采用原人工试验方案，油缸运行一个循环净时间约 135s，按照一个工作日 8h 进行计算，油缸循环试验净天数为 47d；采用自动控制方案后，油缸运行一个循环净时间约 64.5s，油缸循环试验净天数为 22d，将试验效率提高了 2 倍以上。

c. 降低了试验出现差错概率

原来的试验方案人员较多，试验操作内容繁琐，各压力流量指标每一个往复均由人工操作完成，出现人为操作失误的概率较高，给产品带来较大的风险。采用自动控制方案后，人员操作风险大大降低，提高了试验的可靠性。

5 结束语

自动化控制在机械行业早已广泛使用，但对于一些传统的企业，在液压试验方面仍然采用人工控制模式。为了实现人工控制到自动控制的模式转变，从产品的试验要求入手，对试验液压原理进行了重新设计，并自主设计了自动控制系统，完成了产品规定试验。本文的研究成果可以完全推广应用到其他类似产品试验中，所积累的系统设计经验可供其他产品借鉴。

参考文献

1 成大先. 机械设计手册[M]. 北京：化学工业出版社，2002

2 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，1990

3 王幸之. 单片机应用系统抗干扰技术[M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2000

4 周云波. 由 DS18B20 单线数字温度计构成的单线多点温度测量系统[J]. 电子技术应用，1996(2)：15～20

5 贾振国. DS18B20 及其高精度温度测量的实现[J]. 电子技术应用，2000(1)：18～20

****

（上接第 26 页）

意使整个系统达到热平衡状态，避免开机后温度逐步上升导致机床床身、主轴、丝杠等各环节元器件尺寸发生变化而影响加工精度。精加工零件 Φ800mm 尺寸前，机床应该连续开机数小时并维持正常运转。

2.5.3 采用增量方式进刀

由于各环节的误差以及变形影响，零件加工尺寸与数控程序理论点位并不完全一致，所以从前几刀开始，就应逐步测量对应尺寸的真实值，摸清两者之间对应关系，通过增量进刀将零件加工至最终尺寸。

3 结束语

以某典型的弱刚性框环零件加工为例，从工艺方案设计、装夹方法设计、微切削力控制、温度平衡控制等多个方面深入剖析，通过逐一控制影响零件加工质量的主要环节，成功加工出符合设计图纸要求的合格产品，验证了整套方案的正确性和工艺方法的可行性。满足该零件后续生产需要，同时也积累了宝贵经验，对于此类零件加工具有普遍借鉴和参考意义。

参考文献

1 GB/T 25745—2010. 铸造铝合金热处理[S]. 北京：中国标准出版社，2011

2 艾兴. 高速切削加工技术[M]. 北京：国防工业出版社，2003

3 陆明炯. 实用机械工程材料手册[M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，2004