

试验台推力系统测力机可靠性改进

陈 光

(西安航天动力试验技术研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 论述了试验台 2000kN、600kN 二等标准测力机的技术改造和取得的效果。改造时采用可编程序控制器 (PLC) 作为测力机的控制核心, 配套设计安装了控制柜和驱动程序等。对机械部分也进行了改造, 更换了损坏的设备, 经调试满足试验要求。经近 30 次试验没有出现质量和安全问题, 达到了改造目的, 保证了试验数据的准确和真实, 提高了两台测力机的可靠性。

关键词: 液体火箭发动机; 测力机; 技术改造

中图分类号: V433.9

文献标识码: B

文章编号: (2008) 06-0045-05

Reliability improvement of dynamometer of rocket engine test stand thrust system

Chen Guang

(Xi'an Aerospace Propulsion Test Technique Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: Improvements of the 2000kN and 600kN dynamometers of 1# and 2# test stands were described in the paper. In the improvement, the PLC is used as heart of the dynamometer, the control and the control cabinet and diving programs have been installed. The mechanical part is also improved by the changing of damaged equipments. 30 tests without any quality and safety problems have demonstrated that the improvements are successful and the reliability of the dynamometer has been improved.

Key words: liquid rocket engine; dynamometer; technological improvement

收稿日期: 2008-02-19; 修回日期: 2008-03-20。

作者简介: 陈光 (1977—), 男, 工程师, 研究领域为发动机试验管理。

0 引言

某试车台推力系统用于推力校验、提供标准力源的 2000kN、600kN 二等标准测力机分别是 1966 年和 1971 年生产的,因年代久远,存在着控制部分线路设计缺陷、触点形式落后、电器元件老化等问题,经常造成砝码加卸失灵。尤其是触点形式的原因,在大小砝码混合使用时,失灵现象更为频繁,严重时造成砝码吊架卡死,烧毁电机,损坏设备。由于砝码加卸停车时,没有制动装置,惯性产生的动作,经常将限位开关压坏,在下次运动时,无限位开关,既不可靠,又容易损坏设备(烧毁电机或吊架卡死)。另外,2000kN 二等测力机液压部分,其主油缸工作不平衡影响被控对象的数据可靠性,由于原系统问题,高压油泵出口未加装稳压器,压力输出不稳定,操作控制难以调节,偏差大,影响推力校验数据。因此对现有的 2000kN、600kN 二等标准测力机进行相应改造和维修,以达到发动机试验对标准力测量的要求。在进行 2000kN、600kN 测力机改造时,就以“技术先进、安全可靠、操作简单、维修方便”为主导思想,采用了可编程序控制器(PLC)作为测力机的控制核心,它可以根据输入信号的变化输出相应的信号来控制继电器,进一步控制电机等动力设备,达到控制标准力输出的目的。这样改造之后,测力机的校验精度和可靠性有了本质提高,完全可以满足试车要求,并且在控制和操作上更加方便、快捷,维修简单。

1 控制原理

作为测力机控制部分核心的可编程序控制器是一种数字运算操作的电子系统,专为工业环境下应用设计。它采用可编程存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、记数和算术运算等操作指令,并通过数字式、模拟式输入、输出,控制各种类型的机械。可编程序控制器是一种用来改变控制功能的工业控制计算机,

除了完成各种控制功能外,还有与其他计算机通讯联网功能。因此在改造中采用了日本松下电工 FP1 小型产品。该产品已形成系统化,它集 CPU、I/O 通信等诸多功能模块为一体,具有体积小功能强等特点。

2000kN、600kN 测力机使用的可编程序控制器,在原理上其实是按一定算法进行输入输出变换,并将这个变换予以物理实现。入出变换、物理实现可以说是 PLC 控制的两个基本点。入出变换实际上就是信息处理,而现今信息处理最常用的是计算机处理技术,PLC 也是使用计算机处理技术,并使其更专业化,主要应用于工业现场。至于物理实现,正是它与普通计算机相区别之处,普通计算机大多只考虑信息本身,别的不多考虑,而 PLC 要考虑实际控制需要。物理实现要求 PLC 的输入应当排除干扰信号适应于工业现场。输出应放大到工业控制水平,能为控制系统方便使用,因此要求 I/O 电路专门设计。根据对 PLC 实施控制基本点的分析,PLC 采用典型的计算机结构,主要是由 CPU、ROM、RAM 和专门设计的输入输出接口电路等组成。

2000kN、600kN 二等标准测力机的输入部分采用光电编码器进行脉冲计数,控制砝码托盘升降,利用每加一级砝码,托盘走一定距离,再利用电机升、降、进行组合达到加卸砝码的要求,进一步来控制输出的标准力值。加卸荷通过选择开关进行选择。加卸完成后数码管显示载荷值,这样就达到了控制标准力值输出的目的。

2 2000kN 测力机改造

对测力机的机械和控制部分进行了改造。

2.1 机械部分

在对 2000kN 测力机进行改造时,借鉴以前出现的问题和现象,采取了以下针对性措施:

- (1) 油路系统增加油过滤器,保证油路清洁;
- (2) 更换过滤器滤油芯,齿轮泵接头及密封垫,使原齿轮泵满足使用要求,考虑到原齿轮泵噪音小,无任何损坏,因此没有更换;
- (3) 维修高压油泵,调整了油泵的放气螺栓,

对油路系统泵阀及所有管接头重新拆卸加密封垫,解决了油路及连接点的漏油问题;

(4) 对油路泵阀及所有管接头加密封垫,重新拆装,解决系统漏油问题;

(5) 分别对 500kN、2000kN 砝码部分增加油盒及挡油环,防止测力活塞的油落到砝码上;

(6) 更换了所有老化、变硬的回油塑料管,并加了管卡子;

经过上述改造工作后,2000kN 测力机的工作状况良好,能满足试车对推力校验和标准测量的要求。

2.2 控制部分

在进行 2000kN 测力机控制部分改造时,考虑到现用电器元件和设备均已老化,线路绝缘下降等,决定对控制线路进行全部维护,并采用了可程序控制器作为控制的核心部分,同时在电气控制方面,拆除了原控制系统配电盘、控制面板及控制滑架,重新配线安装 2000kN 测力机的操作系统配电盘及控制面板,组装了光电编码器、差动变压器及各种安全保护装置

2.3 操作使用方法

(1) 测力机使用三相交流四线制 380V 电源;

(2) 测力机设有总电源开关(在主机右上侧),旋钮位置指向 0 时为断开,指向 1 时为接通状态。接通后预热 3~5 分钟即可正常工作;

(3) 在操作上采用面板操作,这样作到了集中操作,不宜出错;

(4) 在操作时,先选择量程,选中者该指示灯发亮(本机分两套砝码 2000kN 和 500kN 两档。工作时只能选择其一)。2000kN 档工作时面板蓝色按钮灯亮。2000kN 档大砝码每个重 200kN,共 8 个。小砝码每个 50kN,共 8 个。连接砝码的吊挂为 50kN,所以大砝码+小砝码+吊挂为 $200\text{kN} \times 8 + 50\text{kN} \times 8 + \text{吊挂} = 1600\text{kN} + 400\text{kN} + 50\text{kN} = 2050\text{kN}$ 。而 500kN 档工作时,该档指示灯亮,为 500kN。大砝码每个 50kN,共 8 个。小砝码每个 10kN,共 9 个。连接砝码吊挂为 10kN,总值为 $400\text{kN} + 90\text{kN} + 10\text{kN} = 500\text{kN}$;

(5) 在控制面板上安装了复零灯和复位灯,这两个按钮是为了在试验开始或结束时,测力机

的电气部分和机械部分都处于归零状态。选择量程后,所有停止开关为亮(红色)状态,特别是复零灯在操作面板上方,也应处于导通,即亮的状态,如不亮需要按住此按钮直到灯亮为止,即复零完成。每次实验开始或结束,复零灯都应处于灯亮状态。这样才能保证砝码处于零位状态。

复零灯亮后,还要再按复位键一下,确保测力机的机械部分处于归零状态;

(6) 按使用范围选好量程后,这时可按试验要求选择加卸砝码个数,即相应的牛顿值。本机可按所选值进行单个加卸。在连续加卸控制时,达到设定力值后,测力机自动停机。每次加卸结束后载荷显示即为加卸完成后的力值;

(7) 定值(拨码开关)选择砝码个数表示相对应的 kN 值大于载荷显示值时可加荷,设定值小于载荷显示值时可卸荷,设定值小于载荷显示值时表示加荷完成。此时既不能加荷也不能卸荷,只能重新设定再进行加卸载荷;

(8) 砝码加卸完成后,也可以先启动高压泵,待系统压力稳定后,启动测力油缸,启动主油缸后进行加卸载荷试验。

2.4 注意事项

按照上述操作方法即可以对测力机进行操作,但在操作时有一些注意事项,必须引起注意,具体事项如下:

(1) 2000kN 测力机大、小砝码可同时加卸,但不能同时一加一卸,以免相互干涉引起显示出错误;

(2) 当出现临时断电时,待恢复供电后可继续试验;

(3) 当系统出现故障或其他原因造成失误时,可按复零键直至灯亮,表示复零正常,此时按复位键,机器全部复位后,可重新进行工作;

(4) 在试验中严禁按复零键、复位键。该二键只有试验开始前或试验结束后,按复零使砝码处于起始位置,复位是给所有寄存器、计数器等复位,为下次试验做准备;

(5) 2000kN 大砝码之间间距为 16mm,小砝码间距为 17mm,而 500kN 大砝码、小砝码间距均为 17mm。砝码间距每半年检查一次,如间距

变化超过 1mm，要进行调整以保证整机精度。

2.5 日常维护

虽然 PLC 设计已使维护和故障减少到最小程

度，但还是应该进行经常性维护。若定期维护，则可以大大减少系统故障的次数和程度，便于维修和使用。维护内容见表 1。

表 1 PLC 维护内容列表
Tab.1 PLC maintenance items

项目	检 查 要 点	注 意 事 项
电源电压	测量 PLC 端子处的电压,检查电源情况	AC 型:85V AC-265V AC DC 型:20.4V DC-26.4V DC
环境检查	环境温度(如控制柜内温度)环境湿度 (如控制柜内湿度)有无污染物及灰尘	环境温度:0~55℃ 环境湿度:30%~85% RH 无结露
I/O 电源电压	测量输入输出端子上的工作电压	
安装情况	各单元是否安装牢固、所有螺钉是否拧紧、 接线和端子是否完好	
电池	电池是否定期更换	

2.6 电池更换

(1) 电池寿命：在 25℃环境温度运行中，电池寿命大约为 3 年。当电池电压降低时，特殊内部继电器，且“ERR”灯亮。在检测到“电池错误”后，一个月内要更换电池；

(2) 更换电池步骤：先给 PLC 充电 1min 以上，然后在 3min 之内要更换完电池，具体操作步骤如下：切断电源→打开存储单元盖板→拨下电池插，并将其向上拉，直到拉开电池盖→接触导线取下电池→安装新电池并将导线连到 PLC 插座上→盖上电池盖和存储单元盖→接通 PLC 电源。

3 600kN 测力机改造

主要对测力机的机械和控制部分进行改造。

3.1 机械部分

在对 600kN 测力机进行改造时，借鉴以前出现的问题和现象，采取了以下针对性措施：

(1) 原副油箱从主机机座下面移出，并重新连接油管，新接油管与原油源的管路连接自然、完美，相关接头无漏油现象；

(2) 增加一台新的控制柜，与原机相配显得美观、大方，操作舒适、方便；

(3) 更换过滤器滤芯，齿轮泵接头及密封垫，使原齿轮泵满足使用要求，考虑到原齿轮泵噪音小，无任何损坏，因此没有更换；

(4) 对控制阀本着先维修、后更换的原则，对原控制阀更换了阀芯，对流量调节部分进行了维修和调整，达到了预期效果，控制稳定；

(5) 维修了高压油泵，调整了油泵的放气螺栓，对油路系统的泵阀及所有管接头重新拆卸加密封垫，解决了油路及连接点的漏油问题；

(6) 砝码上端新加了油盒，防止油落到砝码上，原回油的塑料管已老化、变硬，换了新型 PVC 软管；

(7) 大小砝码重新清洗，调整砝码间距离，大砝码之间距离为 13mm，小砝码 15mm。

经上述改造后 600kN 测力机工作状况良好，能满足试车对推力校验和标准测量的要求。

3.2 控制部分

改造内容与 2000kN 测力机的相同。

3.3 操作使用方法

(1) 测力机使用三相交流四线制 380V 电源；

(2) 测力机设有总电源开关（在主机右上侧）

旋钮位置指向 0 时为断开, 指向 1 时为接通状态。接通后预热 3~5min 即可正常工作;

(3) 在操作上采用面板集中操作。本机接通电源后, 所有灯为亮 (红色) 状态, 特别是复零灯在操作台右上方也应处于导通 (灯亮 0 状态)。如不亮要按住该按钮直到灯亮为复零完成。每次试验开始或结束, 复零灯都应处于亮的状态。这样才能保证砝码处于零位状态;

(4) 本机大砝码每个 50kN, 共 10 个。小砝码每个 10kN, 共 9 个。连接砝码的吊挂为 10kN, 总重为 $500\text{kN}+90\text{kN}+10\text{kN}=600\text{kN}$, 这样可按试验要求选择加卸砝码个数即相应的牛顿值;

(5) 按使用范围选好量程后, 可按试验要求选择加卸砝码个数, 即相应的牛顿值。可按所选值进行单个加卸。在连续加卸控制时, 达到设定力值后, 测力机自动停机。每次加卸结束后载荷显示即为加卸完成后的力值;

(6) 设定值 (拨码开关) 选择砝码个数表示相对应的 kN 值大于载荷显示值时可加荷, 设定值小于载荷显示值时可卸荷, 设定值小于载荷显示值时表示加荷完成。此时既不能加荷也不能卸荷, 只能重新设定再进行加卸载荷;

(7) 砝码加卸完成后, 也可以先启动高压泵, 待系统压力稳定后, 启动测力油缸, 启动主油缸后进行加卸载荷试验。

3.4 注意事项

按照上述操作方法即可对 600kN 测力机进行操作, 但在操作时有以下注意事项:

(1) 600kN 测力机的间距为 13mm, 小砝码间距为 15mm。砝码间距每半年检查一次, 如间距超过 1mm, 要进行调整, 以保证整机控制精度。

(2) 其它注意事项与 2000kN 的相同。

3.5 日常维护

虽然 PLC 的设计已使维护和故障减少到最小程度, 但还是应该进行经常性维护。

(1) 维护: 维护的主要内容有检查电源电压、周围环境温度和湿度, 以及输入输出端子的工

作电压是否正常, 电池是否定期更换。

(2) 电池更换: 600kN 测力机中的 PLC 电池使用寿命和更换步骤和 2000kN 的一致。

4 改造效果及应用情况

2 台测力机的机械部分在外观检查时无漏油现象, 供油系统运转平稳, 控制系统运行试验达到所要求的各项技术要求, 并经多次推力校验, 数据正常, 表明 2 台测力机技术改造后达到技术改造目的, 提高了测力机和工作可靠性, 满足了测力机的质量和试验要求。

试验台 2000kN 和 600kN 二等标准测力机经过改造之后, 经过近 30 次各种型号的试验, 没发生一起质量和安全事故, 完全满足发动机试验对推力校验和标准力测量的要求, 达到了改造前的目的。

5 结束语

目前国内外许多使用测力机的厂家都不同程度地采纳了把 PLC 即可编程序控制器作为测力机的控制核心这一观点, 并且大量在生产、试验等方面应用, 效果良好。但在发动机试验标准力测量系统中采用 PLC 技术还是第一回, 并取得了很好效果, 有利于今后在发动机试验系统上推广应用, 这会在很大程度上提高现有试验系统的精度和可靠性, 进一步满足发动机试验的要求。

参考文献:

- [1] 周少武. 大型可编程序控制器系统设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 施永. PLC 操作技能 [M]. 北京: 中国劳动保障出版社, 2006.
- [3] 贺哲荣, 石帅军. 流行 PLC 实用程序及设计 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.

(编辑: 王建喜)