

火炮身管液压自紧的一种智能测试系统

庞伟¹,李强¹,刘杰²,李蒙³

(1. 中北大学机电工程学院,太原 030051; 2. 西北机电工程研究所,陕西 咸阳 712099;
3. 麦格思维特(上海)流体工程有限公司,上海 200131)

摘要:依据传统液压自紧工艺的设计内容,结合虚拟仪器技术及模块化技术在现代工程测试技术中的应用,对火炮身管液压自紧测试系统进行了软硬件测试设备的选型,分析了该测试系统的功能优势、测试准备与实操流程。不仅使整个测试系统变得简洁和易于操控,而且在获取及分析测试数据(即液压自紧工艺参数)时更精准和可信。

关键词:自紧身管; 液压自紧工艺; 测试系统

本文引用格式:庞伟,李强,刘杰,等. 火炮身管液压自紧的一种智能测试系统[J]. 四川兵工学报,2014(12):56-60.

中图分类号:TJ306

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2014)12-0056-05

One Kind of Intelligence Test System for Hydraulic Autofrettaged Gun Tube

PANG Wei¹, LI Qiang¹, LIU Jie², LI Meng³

(1. School of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;
2. Northwest Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Xianyang 712099, Shaanxi, China;
3. Maximator(Shanghai) Fluid Engineering Co. Ltd, Shanghai 200131, China)

Abstract: According to the design content of the traditional hydraulic autofrettaged process, Combined with the application of virtual instrument technology and modular technology in modern engineering test. This paper introduces the selection of software and hardware test equipment for hydraulic autofrettaged gun tube test system, detailed introduces the system functional advantages, test preparation and practical operation process. Not only the whole testing system becomes simple and easy to operate, but also the acquisition and analysis of test data(parameters of hydraulic autofrettaged process is more accurate and credible.

Key words: autofrettaged gun tube; hydraulic autofrettaged process; testing system

Citation format: PANG Wei, LI Qiang, LIU Jie, et al. One Kind of Intelligence Test System for Hydraulic Autofrettaged Gun Tube[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2014(12):56-60.

火炮的发展,尤其是高膛压火炮的发展,对身管的强度和寿命提出了愈来愈高的要求。高初速、高膛压、轻量化是现代新型火炮的发展方向。对火炮威力及机动性提出的高要求,伴随着日益突出的疲劳寿命问题。自紧身管不仅能够大大提高身管的强度,增强身管的耐蚀性与疲劳寿命,还有利于减轻质量,故身管自紧技术在国内外都得到广泛应用。

计算机测试系统与虚拟仪器的应用,大大促进了现代工

程测试技术的发展。虚拟仪器技术就是利用高性能的模块化硬件,结合高效灵活的软件来完成各种测试、测量和自动化的应用。灵活高效的软件能够创建完全自定义的用户界面,模块化的硬件能方便地提供全方位的系统集成,标准的软硬件平台能满足对同步和定时应用的需求^[1]。

火炮身管自紧技术的测试,作为一种研究手段,可以通过严格控制被测对象的主要参数,实现实时监测,并得到直

收稿日期:2014-09-06

基金项目:国家自然科学基金(51175481)。

作者简介:庞伟(1988—),男,硕士,主要从事高射速发射理论技术研究。

观的数据结果,再结合同数学模型的对比,探究未尽了解的原理及结构,进而优化自紧身管结构、改善自紧工艺,进一步提升火炮身管自紧的效果。结合现代工程测试技术的先进成果,借助于虚拟仪器技术,建立一种模块化火炮身管自紧测试系统,将极大的优化火炮身管自紧技术的测试过程。

1 火炮身管自紧技术

身管自紧是通过一定的工艺手段在半精加工炮管内产生有益的预应力——残余应力,借此部分地抵消火炮发射时膛压造成的工作应力,并延迟内膛表面疲劳裂纹的扩展,从而提高火炮身管弹性强度和疲劳寿命。根据自紧过程所采用的不同方法,通常分为液压自紧、机械自紧和爆炸自紧。液压自紧技术在理论、计算方法和试验技术以及液压自紧产品的研制和设计等各方面的研究已比较成熟^[2]。

1.1 液压自紧的技术原理

液压自紧的主要原理是在身管制造过程中,对半精加工身管内膛施以超过身管初始屈服强度的液压后,身管便从内到外产生塑性变形,压力愈高,弹-塑性界面愈向外表面移动。这种变形的规律是愈靠近内膛壁,塑性变形量愈大,自内向外产生较大的变形梯度。当内压卸除时,由于每一层材料的相对弹性恢复量比相邻外层材料要小,则里层材料便阻碍外层材料弹性恢复行为的发生,这种约束作用最终使身管沿壁厚产生内层受压外层受拉的残余应力分布。内表面的压缩残余应力在火炮发射时可部分地抵消工作应力,从而提高火炮身管的弹性承载能力^[2]。

1.2 液压自紧的工艺设计

身管液压自紧的工艺设计包括身管毛坯的设计、控制截面的选择、工艺参数的计算和液压自紧工艺控制曲线的绘制。

液压自紧的过程中,操作者仅根据身管中内压和自紧工艺控制截面身管外表面应变(或径向位移量)这2个参量来控制工艺过程。为使圆筒自紧后强度达到设计指标要求,在自紧前的技术准备工作中必须首先依据式(1)计算工艺参数并绘制出控制截面的内压—外表面应变关系曲线,以此控制身管的自紧工艺过程

$$p = \frac{1.08\sigma_s}{2} \left(\ln \frac{\varepsilon_{\theta 0} E W^2}{1.08\sigma_s} + 1 - \frac{\varepsilon_{\theta 0} E}{1.08\sigma_s} \right) \quad (1)$$

为更便于计算和使用,在式(1)基础上纳入自紧度(即过应变变量)概念推导出另一种形式的工艺控制曲线关系式:

$$\varepsilon_{\theta 0} = \frac{1.08}{E} \left[x + \frac{1}{W} (1-x) \right]^2 \sigma_s \quad (2)$$

$$p = 0.54 \left\{ 1 - \left[x + (1-x) \frac{1}{W} \right]^2 + 2 \ln \left[x(W-1) + 1 \right] \right\} \sigma_s \quad (3)$$

式中: p 为自紧压力; σ_s 为身管材料屈服极限; $\varepsilon_{\theta 0}$ 为身管外表面切应变; E 为弹性模量; W 为身管内外半径比; x 为自紧度。

至此,利用式(2)、式(3)就可以建立自紧加载过程中工艺参数预示曲线,以综合控制工艺过程中的内压、外表面应

变及自紧度。

图例如图1所示,其中,内压-外表面应变预示线呈曲线形式,自紧度预示线呈直线形式。自紧度预示线,用以指示自紧加压过程中圆筒变形的过应变程度,该线是始于内压-外表面应变关系曲线坐标系之原点并通过上述曲线上某一指定点的射线。

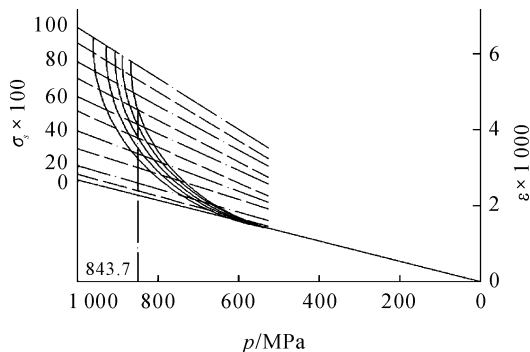
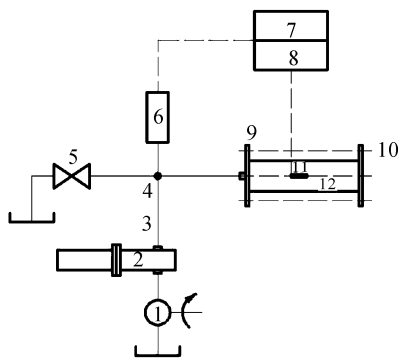


图1 液压自紧工艺控制曲线

自紧工艺的质量是由自紧工艺参量控制范围来控制的,只要实际工艺参量坐标点进入自紧工艺参量控制范围内,身管自紧工艺质量即合格^[3]。

1.3 试验方法与装置

火炮身管自紧技术的试验,其工作内容主要分为2部分:一是身管内膛施以高压实现自紧;二是利用传感器元件对身管进行动态应力测试。传统测试系统装置如图2所示。



1. 低压泵;2. 倍加器;3. 高压管道;4. 四通接头;5. 卸放阀;6. 压力传感器;7、8. 应变仪;9. 夹板;10. 螺栓;11. 应变片;12. 模拟身管

图2 传统测试系统装置示意

虚拟仪器技术与模块化技术在工程测试技术中的广泛应用,使得集多种功能于一体的测试设备应运而生。相比传统的测试系统,在硬件方面进行了模块化组合,提高了测试准备的效率,削弱了因硬件联接引起的不稳定因素;在软件方面更是提升了数据采集的精准度,丰富了数据后处理的功能,使得分析结果更趋精准和充实。

2 测试系统组成

2.1 液压自紧加压系统

液压自紧加压系统选用麦格思维特(上海)流体工程有

限公司定制的液体增压系统(空压机、增压站),该系统由2部分组成,一是模块化增压系统,二是电气操控系统,如图3所示。

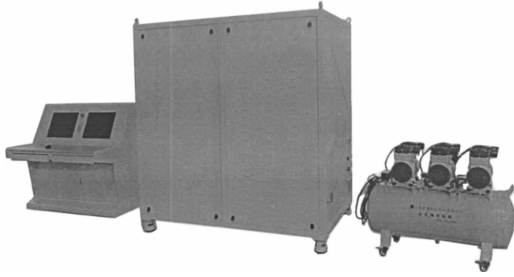


图3 液体增压系统

该设备主要参数如表1。

表1 设备主要参数

增压站最高输出压力/bar	8 000
增压站驱动气压力/MPa	0.6 ~ 0.8
空压机参数	220 V, 50 Hz, 3.27 kW
空压机最高输出压力/MPa	0.8
强化用介质	甘油—乙二醇混合液
强化用介质配比	4:6
驱动泵站安全阀调定压力/MPa	24

该液压自紧加压系统,相对传统加压系统,通过增添新型设备,改善液压回路,以模块化的方式,对增压系统进行了整合,提升了系统增压的稳定性与安全性。在电气操控系统的配合下,系统可以记录生成时间-压力曲线,实现电脑自动控制。

2.1.1 系统原理

系统原理如图4所示。

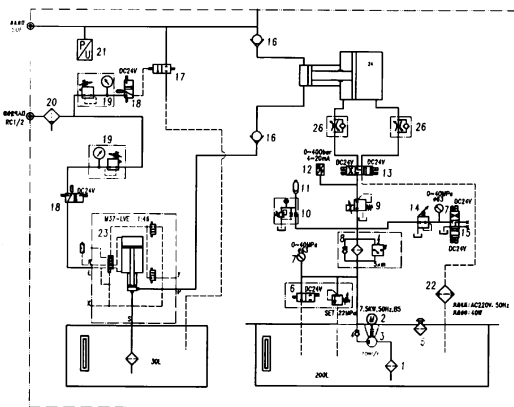


图4 液压系统原理

2.1.2 人机界面交互

该设备属于全自动操作控制系统,接通电源后,开启主电源开关,系统上电,冷却风扇自动开启,PLC和上位机均上电运行。上位机自动进入到主界面,如图5所示。



图5 自动操控主界面

1) 模块介绍

登陆系统:用于输入用户名和口令,激活各功能界面。

基本参数:用于查看相应测试模式基本参数的设定。

历史数据:用于查看测试历史测试数据。

参数设置:用于选择测试模式,并对相应模式进行参数设置。

测试报告:用于显示打印测试报告。

传感器校准:用于压力传感器校准。

退出系统:用于退出自动操控系统。

2) 参数设置

该自动操控系统设置了静压测试,爆破测试,疲劳测试3种加压模式,以静压测试为例,其参数设置界面如图6所示。



图6 静压参数设置界面

设定保压阶数:设定保压阶数,系统就能按照设定参数升压响应阶数。

设定压力、保压时间:设定相应阶数下压的力及保压时间。

升压速度:设定每秒所升压力。

允许压降:设定允许压降值。

保压:选择保压,即系统在工作保压时实际传感器压力小于当前设定允许压降,系统会自动补压到当前设定压力。

2.1.3 运行与报告

在参数模块设置完成后,下一步便进入了加压测试阶段,在静压测试界面会显示压力-时间曲线及系统所设定、读取工件的各种信息(如设定阶数、当前升压阶数、当前设定压力、传感器实际压力等),如图7所示。

点击预充可以先将工件内的空气排出干净,系统测试完毕,点击显示结果,即可弹出本次测试的测试报告,报告包含本次测试的各种信息,如图8所示。



图7 静压测试界面

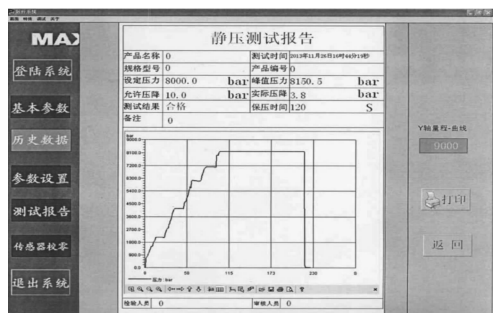


图8 静压测试报告界面

2.2 身管应力动态测试系统

火炮身管自紧技术的试验应力分析,广泛使用应变片电测法,即将身管应变这一机械量转变为电量,以实现身管应力的动态测试。该法具有灵敏度高、精度高、稳定性好、用途广泛及使用方便等特点。

2.2.1 应变片的选择

金属丝电阻应变片属于电阻应变式传感器,其工作原理即是基于应变片发生机械变形时,其电阻值发生变化^[4]。故在身管自紧技术试验应力分析中,常采用金属丝电阻应变片作为传感器。

该试验系统选用市售标准阻值为(120 ± 0.5)Ω,灵敏度 S_g 在2.0左右的金属丝电阻应变片。

2.2.2 应变仪的选择

应变仪是将应变片输出的电量转变为应变读数的装置。身管自紧过程中,测试点处应力变化是一个微弱且缓慢的动态过程。

本测试系统选用的应变仪为北京东方所 INV1861A 型应变调理器,属8通道动态应变测试设备。该设备机内含电源转换、桥压供给、信号放大、低通滤波、预平衡、程序控制、电压输出等单元,可以完成将微弱的应变信号进行放大、处理后为后续分析、记录设备提供合格的电压信号的任务。

2.2.3 应变片的布置

通常情况下,身管自紧毛坯呈阶梯状圆筒结构,沿轴向各段圆筒的长短及内外直径比均不尽相同。在选择好液压自紧工艺主控制截面后,为确保测试数据的完整可靠,增设一个辅助控制截面。

主控制截面取自紧身管总长1/2外表面处,测试点数为3,沿圆周120°均布,应变片均为切向片。为提高电桥灵敏度

并使温度影响得到补偿,需另外再设置一片温度补偿片,与切向应变片接成相邻半桥。

电阻应变片是通过粘贴在弹性元件上工作的,故粘合剂的选择、粘合前试件表面的加工清理、粘合方法和粘后处理都需要做好。

应变片与调理器之间应采用多芯屏蔽电缆或双绞线进行连接并使之尽量缩短,同时所有连线应采用同一类型且保持其长度相等;在固定应变片与调理器之间的连线时,可将它们捆扎在一起保持相同走向并应远离电磁干扰源。

2.2.4 数据采集与信号处理

测试系统同时选用北京东方所 INV3060S 型24位网络式同步采集仪,及其配套的智能数据采集与信号处理软件(简称DASP)实现数据采集与信号处理。

1) 功能介绍

DASP是一套运行在多操作系统平台上的多通道信号采集和实时分析软件,具有多类型视窗的多模块功能高度集成特性,同时操作便捷。

DASP为平台软件,信号的采集和基本分析都在此软件中进行。软件除具有示波采样、时域分析、自谱分析、编辑滤波和倍频程分析等基本功能模块以及数据浏览、结果输出外,其工程版还具有概率分析、自相关、互相关、X-Y图、互谱、传递函数、幅域统计等功能。

2) 模块介绍

DASP运行后,将会出现程序主界面,如图9所示。其中第一个按钮为“DASP工程版”,点击可以进入DASP平台软件,如图10所示,点击其他按钮,可以进入相应的软件功能模块。



图9 DASP程序主界面



图10 DASP工程版平台界面

DASP工程版平台界面分为3部分,即菜单栏、工具条及采集仪连接状态栏。其中菜单栏下各子菜单项在工具条中

均有相应按钮。主要介绍如下模块的功能:

数据浏览:可以浏览 DASP 采样数据的名称和对应的采样参数、说明等信息,并可对采样参数进行更改。

结果浏览:可以浏览 DASP 各种分析模块保存的分析结果文件名称,可以直接调出各结果。

示波采样:可以打开“信号示波和采样”窗口,进行信号的示波和各种采样操作。

时域分析:可以选择要进行分析的数据,然后打开“时域波形分析”窗口,进行各种时域波形分析。

自谱分析:可以选择要进行分析的数据,然后打开“FFT 自谱分析”窗口,进行各种自谱分析操作。

3) 示波采样

示波采样的第一步,是进行采样设置。包括基本参数、通道参数、开始条件、结束条件等,如图 11 所示。

其中,基本参数中采样频率的设置应不低于信号的频率,而高于分析频率的信号必须通过抗混叠滤波器进行滤波;通道参数中,因传感器选择为金属丝电阻应变片,故各通道工程单位应设置为“mV”、输入耦合方式设置为“电压 DC”,还应输入各传感器标定值;开始与结束条件选择自由触发与手动结束即可。采样设置完毕后即可开始采样,采样图例如图 12 所示。



图 11 采样设置界面

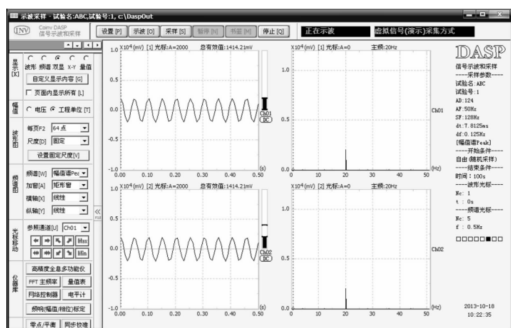


图 12 采样界面

进行时域波形后处理分析。通过观察试验实际自紧工艺参数坐标点落入理论自紧工艺参量控制范围的情况,检验身管自紧工艺质量是否合格。

3 系统操作

尽管该身管液压自紧测试系统在本研究被分为液压自紧加压与身管应力动态测试 2 大系统,但各系统在整个测试操作过程中是有次序的。具体操作流程为:试件安装→液压自紧加压系统联接→身管应力动态测试系统联接→测试系统调零→数据采集开始→加压预充→加压自紧→停泵保压→卸除压力→采样结束^[5]。

4 结束语

随着国内外对火炮身管自紧技术的广泛重视,以及现代工程测试技术的快速发展,如今的身管自紧测试系统已日趋模块化与智能化。硬件方面,传统设备以模块化的方式进行了功能整合,以及电气控制的引入,极大地提升了硬件系统的稳定性和安全性;而软件的发展更是日新月异,高度集成的数据采集与强大的后处理功能以及智能化的人机交互模式,越发为人们所青睐。

将身管自紧测试系统的工作内容归类,根据各测试分系统,选择最优的软硬件测试设备,结合传统的测试理论,对身管液压自紧工艺实施过程进行实时测试与监控,不仅使整个测试系统变得简洁和易于操控,而且在获取及分析测试数据,即液压自紧工艺参数(内膛压力、身管外表面切向应变)时,更精准和可信。

参考文献:

- [1] 熊诗波,黄长艺. 机械工程测试技术基础[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [2] 才鸿年,张玉斌. 火炮身管自紧技术[M]. 北京:兵器工业出版社,1997:1-2,184,189-190.
- [3] 赵伟,钱学梅,姜宝华,等. 基于虚拟仪器技术的火炮身管自紧实时测试系统[J]. 兵器材料科学与工程,2006(2):62-65.
- [4] 余新波,胡新宇,赵勇. 传感器与自动检测技术[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [5] 崔晓慧,蔡永涛. 身管液压自紧加工[J]. 一重技术,2007(6):56-57.

(责任编辑 杨继森)

4) 数据分析

试验结束后,通过时域分析,即可对所采集的试验数据