

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.09.013

火箭发射装置闭锁力自动检测装置研究

陈国虎, 陈祥龙, 应跃明, 刘志仙
(杭州航海仪器有限公司, 浙江 杭州 310024)

摘要: 闭锁力直接影响发射装置的发射扰动及武器出管姿态, 精确测量和校准闭锁力对提高火箭发射装置的发射精度具有重要意义。针对传统闭锁力检测装置检测误差大、检测范围有限、检测效率较低的问题, 对闭锁力检测装置检测原理、控制原理、传动方式、工作载荷、关键部件有限元仿真等方面进行了研究, 研制了一种全自动闭锁力检测装置, 采用单旋往复丝杆实现了动力传输, 由 TMS320F2812 为核心处理器的驱动电路控制, 通过 S 型压力传感器实时检测了闭锁力, 实现了全自动连续、大检测范围、精确测试结果输出功能。新型闭锁力检测装置已经完成样机制造, 并且应用于新型发射装置的闭锁力检测试验中。研究结果表明, 该新型检测装置可有效提高发射装置闭锁力检测精度、扩大检测范围、提高检测效率。

关键词: 火箭发射装置; 闭锁力; 自动检测

中图分类号: TH122; TU857

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)09-1210-04

Automatic detecting device for locking force of rocket launcher

CHEN Guo-hu, CHEN Xiang-long, YING Yue-ming, LIU Zhi-xian
(Hangzhou Navigation Instrument Corporation, Hangzhou 310024, China)

Abstract: The accuracy measurement for locking force, which directly affects the launching disturbance and missile's motion attitude of rocket launcher, would be significant for improving the launch precision. Aiming at the problem of large error, limited detecting range, and poor efficiency caused by traditional detecting devices, an automatic detecting device for locking force was introduced here, based on the study of a series aspects, such as the detection and control principle, power transmission way, working load, and the finite element simulation on critical components. In this device, the power transmission was realized with single-rotating reciprocating lead screw, and the locking force can be detected in real time by "S" shape pressure sensors controlled by drive circuit, which took chip TMS320F2812 as the core processor. So, a wide range of continuous automatic detecting and accurate output were realized. This device was used to detect the locking force of a new launch equipment. The results indicate that it can effectively improve the detecting accuracy of locking force, expand the detecting scope, and improve the detecting efficiency.

Key words: rocket launcher; locking force; automatic detecting

0 引 言

火箭式武器具有无后座力、使用灵活、火力迅猛的优点, 发射时利用发射管或发射轨道完成对火箭式武器的初始导向, 采用自带发动机推进弹体, 实现对目标的作战任务。为提高火箭武器的速度, 减少出口下沉量及初始扰动, 需要对火箭弹设置闭锁力^[1], 当发射瞬间火箭推力达到该力时, 火箭武器出管。闭锁力的大小直接影响火箭发射的初始状态, 进而影响发射的

密集度, 因此, 对火箭发射装置闭锁力的准确检测、有效校准影响到火箭武器的作战效能, 提高闭锁力的监控是提高武器精度的关键因素之一。

传统闭锁力检测装置通常采用与弹簧称相类似的工作原理, 模拟火箭弹由被检测制止器固定于发射管中, 通过手轮对弹簧施加压力, 当压力达到制止器闭锁力临界值时, 制止器解脱瞬间, 弹簧示数表示被测制止器的闭锁力大小。由于检测时, 制止器在瞬间产生动作, 由人眼判定瞬态值产生较大测量误差; 采用手轮操

作,每次检测施加力的大小、加载速度状态难以统一,检测一致性较差,人工检测效率较低;再者,通过手轮力实现闭锁力检测的测量范围有限,一般为 2 450 N ~ 3 920 N。传统闭锁力检测装置已无法适应闭锁力要求较高的新型火箭武器。

本研究旨在从自动检测方面讨论如何使闭锁力检测装置具有高精度,高灵活性的同时具有较广的检测范围,同时可进行连续自动检测。笔者针对该目标设计一种全自动检测装置,介绍机械和控制原理,进行仿真分析,最后制作样机以验证设计的合理性。

1 基本工作原理

闭锁力检测装置主要由控制系统及测试结果输出模块、再装填模块、闭锁力调整模块、运动模拟模块、伺服模块、动力模块、校准模块、框架模块等组成。控制系统控制伺服模块驱动动力模块,对由模拟火箭弹及发射管组成的运动模块加载“发射力”,闭锁力由 S 型传感器传递至控制系统及结果输出模块,并实时显示闭锁力的加载曲线,检测结果反馈至闭锁力调整模块,经校准后,对模拟火箭弹进行再次自动装填,进入下一周期的检测工作,直到被检测制止器的闭锁力满足指标要求。

1.1 机械原理

为满足上述功能要求,闭锁力自动检测装置的研制关键为动力模块,该模块既能对模拟系统产生足够的闭锁力,同时可完成自动装填功能,并且符合模拟弹的运行行程要求。模拟火箭弹在进行模拟发射、装填时均产生较大的力,为保证该力的平稳可靠,闭锁力自动检测装置采用单旋往复丝杆的方式实现动力模块对运动模拟模块的推进和回拉作用,其工作原理如图 1 所示。闭锁力自动检测装置依次执行 4 种工作状态,起始状态如图 1(a) 所示,弹簧处于自由状态,弹尾翼处于装填状态;临界状态如图 1(b) 所示,弹簧压缩至制止器打开的临界值;缓冲状态如图 1(c) 所示,制止器打开,闭锁力释放,弹簧力释放,模拟弹移动与固定在回拉杆 l 上的缓冲装置相碰撞缓冲减速;完成装填状态如图 1(d) 所示,回拉杆回拉模拟弹至模拟弹装填完毕。最终完成对被测试制止器闭锁力的检测,在上述 4 种状态的运行中,丝杆始终向同一方向运行,推进及换向过程线速度恒定,确保运行平稳,以提高检测精度。

1.2 控制及检测原理

该控制系统主要由控制系统、接口电路及采集板、驱动模块组成。控制系统由上位机与下位机组成,上位机采用 PC 机,下位机采用 TMS320F2812 为处理器

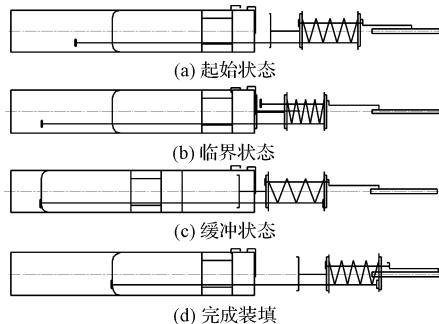


图 1 闭锁力自动检测装置工作原理简图

的驱动电路控制单元,两者通过网口连接,以 UDP 协议为通信协议,C++ 为开发编程语言设计^[2-3]。闭锁力检测信号采用 S 型压力传感器采集,信号经放大后,经由下位机 A/D^[4-6] 转换后(原理图如图 2 所示),在上位机显示器^[7-8] 上显示。检测结果由上位机连接打印机输出。

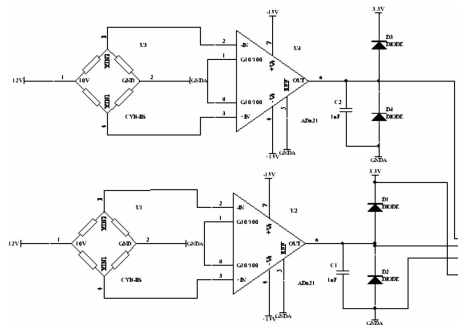


图 2 闭锁力检测原理图

2 设计与分析

闭锁力检测装置指标要求测试范围为:2 940 N ~ 5 880 N,轴向行进速度不小于 140 mm/s,选用电机功率 5.5 kW,变速比 1:10。作为末级执行机构,单旋往复丝杆将电机动力最终转化为对模拟火箭弹的推动力,同时为再装填回拉模拟火箭弹系统提供动力,其工作的稳定性和可靠性决定了闭锁力检测装置的最终性能,因此单旋往复丝杆为闭锁力检测装置的设计关键。本研究采用梯形螺纹,根据常规丝杆设计公式并保留足够余量,初步确定丝杆的参数。单旋往复丝杆由于机械形态的改变,区别于传统丝杆传动,其强度与刚度状态发生了较大的改变,本研究利用上述方法确定的设计参数作为初值,以理论计算确定丝杆的总体受力情况,作为边界条件,采用 creo simulate 有限元分析丝杆在工作过程的应力与位移情况,进行强度与刚度的校核。考虑功能扩展以及检测余量,丝杆最大轴向承受力按 9 800 N 设计。本研究对单旋往复丝杆进行受力情况分析,受力分析图如图 3 所示,丝杆将 $F_{\text{总}}$ 作为

对动力发生模块的推动力由固定端的轴向推力轴承提供,在丝杆运行过程中受到与丝杆接触的滑块(螺母)对丝杆的正压力 N 和摩擦力 f ,在滑块的丝杆的接触点建立坐标系 $oxyz$, ox 轴沿传动切线方向, oy 沿轴向方向, oz 指向丝杆旋转中心。以丝杆为受力研究对象,滑块对丝杆的正压力垂直于接触面指向丝杆凸沿,根据力的分解原理可将正压力 N 分解为指向轴心的分力 N_{zx} 和与 oxy 同处一平面的有效分力 N_{yx} 。根据丝杆机械性能,由 N 、 N_{zx} 、 N_{yx} 构成的平面与 ozy 平面夹角为螺纹上升角 β , N_{yx} 与 N 之间的关系与螺纹齿形角 α 相关。

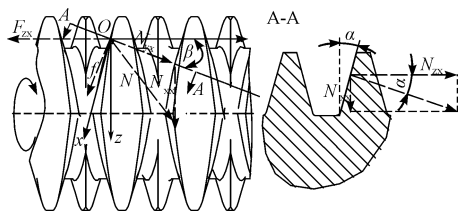


图 3 单旋往复丝杆受力分析图

丝杆在运行过程中产生的摩擦力 f 大小为 $N\mu$, 方向始终与运行方向相反。根据上述分析,依据牛顿定理建立力学模型:

由轴向合力平衡: $\sum F_{oy} = 0$, 得:

$$N_{yx} \cos\beta - f \sin\beta - F_{zx} = 0 \quad (1)$$

$$N_{yx} = N \cos\alpha \quad (2)$$

$$f = N\mu \quad (3)$$

式中: N —滑块对丝杆的正压力, N ; N_{yx} — N 的有效分力, N ; F_{zx} —丝杆的轴向推力, N ; f —摩擦力, N ; μ —滑动摩擦系数; α —丝杆齿形角, rad; β —丝杆上升角, rad。

由式(1~3)推导可得:

$$N = \frac{F_{zx}}{\cos\alpha \cos\beta - \mu \sin\beta} \quad (4)$$

$$N_{YX} = \frac{F_{zx} \cos\alpha}{\cos\alpha \cos\beta - \mu \sin\beta} \quad (5)$$

当 $F_{zx} = 9\ 800\text{ N}$, $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 6.86^\circ$, $\mu = 0.15$ 时, 计算得 $N = 10\ 408\text{ N}$, $f = 1\ 561\text{ N}$ 。在 creo 中建立丝杆实体三维模型,按以下条件:①材料的确定:丝杆材料选用为 40Cr,调质 HB285;②载荷确定:丝杆以理论分析载荷正压力为 10 408 N,摩擦力为 1 561 N,作用区域为实际丝杆与滑块啮合运动时的接触区域;③约束确定:丝杆实际工作时两侧为推力轴承与圆锥滚子轴承组合支撑,按两端限定轴向运动和径向运动方式约束;④单元格的生成:采用实体(Solid)生成单元网格,采用前处理模块自动生成方法,以丝杆的三维立体模型为基础进行。本研究采用在 creo simulate 中执行静力

(static)学分析^[9],分析结果如图 4、图 5 所示。

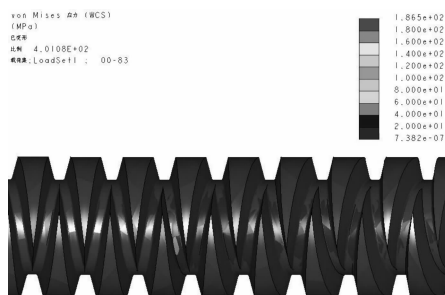


图 4 丝杆应力分析

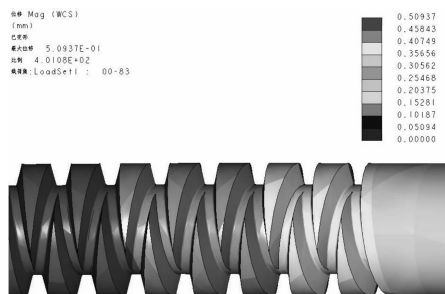


图 5 丝杆位移情况

由结果云图的可以得出:丝杆最大应力为 186.5 Mpa,丝杆承载时最大变形为 0.5 mm。40Cr 抗拉强度不小于 980 MPa,分析结果满足许用拉应力 $[\sigma_p] \leq \sigma_b / (3 \sim 5)$ ^[10] 要求,符合设计要求,最大位移 0.5 mm 处于丝杆中部位置,可通过丝杆两侧设置导杆的方式克服。在静态分析基础上执行模态分析,结果显示丝杆的 4 个模态为 50.86 Hz, 51.45 Hz, 160.85 Hz, 162.66 Hz。闭锁力自动检测装置工作时丝杆运行周期为 5 round/s,其工作频率远离共振点,避免产生共振情况。

闭锁力及自动点火检测装置控制系统主要进行接口与采集板设计、电机驱动模块设计、检测次数检测模块设计以及上位机的软件设计实现。本研究依据上述思路,采用 creo 进行建模设计,完成机械模型设计。

3 试验及结果分析

闭锁力自动检测装置设计全过程由 creo 软件实现,采用自上而下^[11]的设计方法,首先在装配体工作模式中建立 .skel.prt 骨架^[12]零件,总体控制各主要零部件的重要尺寸,以及相互之间的装配接口关系。进行细化时,采用“复制几何”以及“参照”的方式从骨架零件中提取^[13]主要参照基准、曲面等关系,必要时由参照的曲面采用曲面加厚命令直接生成零件本身,实现总体骨架与各子组件、零件的相互关系控制。完成

闭锁力自动检测装置三维模型各零部件的建模后,由 creo 直接生成机械工程图,进入试制试验环节。闭锁力自动检测装置实物图如图 6 所示。本研究对闭锁力自动检测装置进行试验验证,其达到的主要性能指标(摘录)如表 1 所示。



图 6 闭锁力自动检测装置外形图

表 1 闭锁力自动检测装置主要性能指标(摘录)

序号	功能	性能指标
1	闭锁力检测	闭锁力的检测范围:2 940 N ~ 5 880 N, 精度: ± 100 N
2	测试结果输出	在线打印输出闭锁力检测结果
3	快速再装功能	再装填时间 < 30 s
4	接口检测	自动检测点火系统与火箭弹的点火具的接口情况

闭锁力检测装置试验过程中运行界面如图 7 所示。闭锁力的检测情况实时显示在运行界面上,闭锁力的检测范围小于 1 000 N ~ 5 880 N;测试次数可以根据测试需要自动设定,当达到测试次数要求时,自动停止,界面自动显示测试结果和测试误差范围。达到精确校准制止器的闭锁力目的。

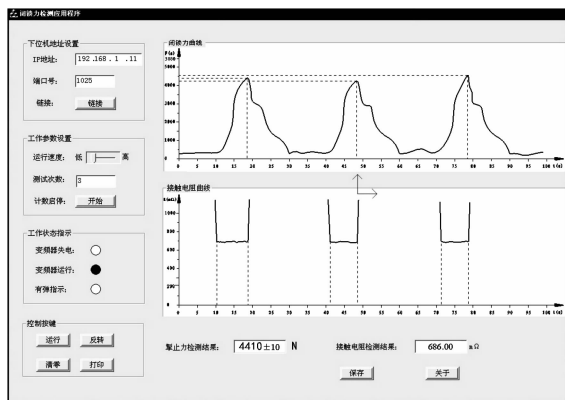


图 7 闭锁力自动检测装置运行界面

4 结束语

本研究在完成闭锁力自动检测装置的设计、试制、试验后,对某火箭发射装置制止器进行了调试检测,各项性能指标均达到设计要求,解决了传统闭锁力检测装置误差大、检测范围有限、工作效率较低的问题,同时通过对闭锁力曲线的分析,可建立闭锁力调整机构与闭锁力变化的对应关系,为进一步研究和改进火箭发射装置制止器结构奠定了基础。

参考文献(References):

- [1] 姜勇,扬全,乐贵高,等.某火箭炮闭锁挡弹器结构设计及仿真分析[J].弹箭与制导学报,2011,31(5):119-122.
- [2] Texas Instruments. TMS320 F281x optimizing C/C++ compiler user's Guide[Z]. Texas Instruments,2012.
- [3] FINK P K, LUSTH J C. Expert system and diagnostic expertise in the mechanical and electrical[J]. IEEE Trans. on SMC,1987,17(3):340-349.
- [4] 魏萍,韩波,李平.基于 S3C44BOX 的航姿测量系统的设计与实现[J].机电工程,2006,23(4):17-20.
- [5] 陆天舒,毛征,郑利萍.基于图像拼接的全景目标检测技术[J].兵工自动化,2014(2):7-10.
- [6] 朱健,姚斌,林祖文,等.五轴数控可转位刀片磨床在线检测系统开发[J].机械,2014(4):68-71.
- [7] 李厚福,项占琴.顶杆自动检测系统设计[J].机电工程,2006,23(2):12-15.
- [8] 伍峰,邱建军,谢超.某型飞机刹车系统故障分析与设计改进[J].液压气动与密封,2014(7):1-3.
- [9] 安荣.大型客车紧急制动强度分析[J].机电工程,2007,24(6):83-85.
- [10] 成大先.机械设计手册[M].北京:化工工业出版社,2007.
- [11] 朱长顺,李萍萍,罗石,等.面向对象的可视化减速器结构设计专家系统[J].机械设计与制造,2007(4):68-70.
- [12] 张勇波,穆斌,钟金金.基于 Top-Down 的汽车电子产品协同设计[J].机电工程技术,2009,18(8):32-34.
- [13] 绍雷.Pro/ENGINEER 中制造特征提取技术的研究和实现[J].机电工程,2003,20(3):7-9.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

陈国虎,陈祥龙,应跃明,等.火箭发射装置闭锁力自动检测装置研究[J].机电工程,2015,32(9):1210-1213.

CHEN Guo-hu, CHEN Xiang-long, YING Yue-ming, et al. Automatic detecting device for locking force of rocket launcher[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(9):1210-1213.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>