

基于地磁传感器的弹丸转数测试*

常树茂, 王利, 弓楠

(西安邮电学院, 西安 710061)

摘要:文中详细阐述了利用地磁传感器进行弹丸转数测试的测试原理和测试方法。设计出一种地磁传感器弹丸转数测试系统,并进行了靶场实际弹丸转数测试。文中还提出了基于地磁传感器弹丸转数实际测试中需要注意的问题及解决这些问题的具体方法。

关键词:地磁场;地磁传感器;弹丸转数

中图分类号:TP212.13;TJ410.6 **文献标志码:**A

Projectile Spinning Speed Test Based on Geomagnetic Sensor

CHANG Shumao, WANG Li, GONG Nan

(Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: A method for measuring the projectile spinning speed by geomagnetic sensor was proposed. The projectile spinning speed measurement system was designed and the experiment data were processed. The problems for attention in the projectile spin speed test were presented and the specific solutions to these problems were given.

Keywords: geomagnetic field; geomagnetic field sensor; projectile spinning speed

0 引言

在许多武器的设计过程中,弹丸在弹道飞行中的转数是一个重要参数。多年来,国内外研究者投入了很大的精力从事这方面的研究工作。目前,国内外主要采用太阳方位角传感器法^[1]、纸靶法^[2]、高速摄影法、弹底刻槽法^[3]、地磁传感器法^[4]、调频调幅法^[5]等方法进行弹丸转数的测量。

利用太阳方位角法测得的弹道长。不足是安装要求高、抗过载能力差、测试费用高。弹底刻槽法简单,但不适应弹底壁较薄的弹丸。调频调幅法抗过载能力较强、可靠性较好和测试弹道较长。该方法不足是成本高。地磁传感器法是利用地磁原理进行弹丸转数测量的方法。其特点是测试精度较高、抗过载能力强、测试弹道长且测试成本较低。文中研究了利用地磁传感器测试弹丸转数的原理及测试系统。

1 弹丸转数测试原理

1.1 地磁传感器^[6]

地球本身具有磁性,所以地球和近地空间存在着地磁场。地磁场磁力线的分布情况如图1所示。由于地磁场的存在,且具有方向性,因此对于磁电式敏

感元件,当其随载体——弹丸在近地空间作旋转飞行时,必定使敏感元件中的磁通量发生交替变化,进而产生感应电动势,这就是地磁转数传感器的工作基础。地磁传感器实际上是由一根铁芯上缠绕若干圈线圈——载流

激磁线圈(铁芯由软磁材料制作)所组成。由线圈和铁芯组成的地磁传感器示意图如图2所示。其中,传感器轴与弹丸转轴重合。当线圈随弹丸一起作旋转运

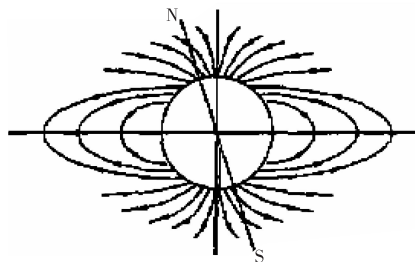


图1 地磁场磁力线分布

动时,线圈将切割地磁磁力线,产生感应电动势^[7]:

$$\xi = -N \frac{d\Phi}{dt} = -NB S \omega \sin \omega t$$

式中: N 为线圈匝数; Φ 为磁通量; B 为地线圈和铁芯磁场的磁感应强度; S 为线圈的截面积; ω 为线圈的旋转角速度。

由上式可以看出,当其它参数一定时,线

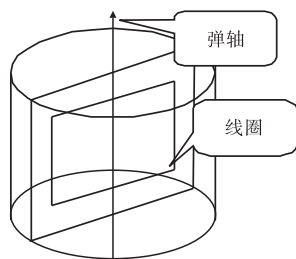


图2 弹体内线圈位置示意图

* 收稿日期:2010-12-02

作者简介:常树茂(1957-),男,河南延津人,教授,研究方向:微波技术与天线,飞行器测试。

圈中的感应电动势 ξ 将是弹丸旋转角速度 ω 的函数,因此感应电动势的周期实际上反映了弹丸的旋转周期,通过对周期计数就可以确定弹丸转数。

由于地磁场十分微弱,考虑到地磁场在近距离内可以近似认为磁感应强度 B 是不变的均匀磁场。当弹丸转数确定时,信号幅值主要与线圈的匝数 N 和截面积 S 有关。因此在条件允许的情况下,通过增加线圈体积和匝数,可以提高传感器的灵敏度。

1.2 弹丸转数测试系统

测试系统由地磁传感器、信号放大器、模数转换器、数据存储器和弹体环境传感器、系统电源、地面数据读出器和数据处理软件等组成。系统框图如图 3、图 4 所示。

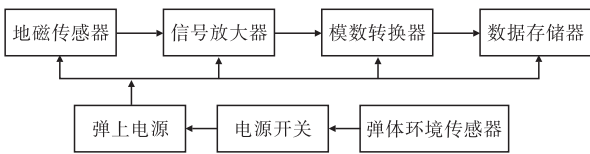


图 3 弹丸转数弹内系统框图

尽管增加地磁传感器线圈体积和匝数可提高其灵敏度,但由于地磁场十分微弱,一般情形下传感器的输出信号幅值仍较低,多为毫伏级。为了能够满足后续电路对信号处理的需要,使用低噪声高增益放大器放大来自地磁传感器的信号。转数信号经放大并滤波后,送入模数转换器。弹内计算机把这一数字信号以一定的采集率存入存储器。

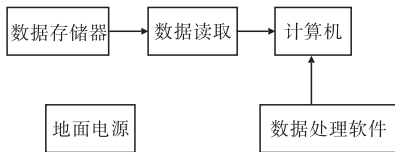


图 4 弹丸转数地面数据读取系统框图

利用弹体从静止到高速运动的加速度,弹体环境传感器使弹上系统电源开关接通,弹内系统开始工作。

弹丸转数地面数据读取系统通过串行接口把存储在弹内存储器上的数据读入计算机。这些原始数据再经过转数处理软件处理,就得到转数曲线和转数数据表。

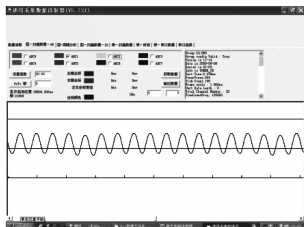


图 5 灌封后的转数测试装置 图 6 转速数据处理软件视窗

1.3 实测数据

图 5 是灌封后的弹内转数测试装置;图 6 是弹丸

转数地面数据读取系统的处理软件视窗图;图 7 是实测弹丸转数的一段原始曲线;图 8 是处理后的弹丸落地前的一段转数曲线。

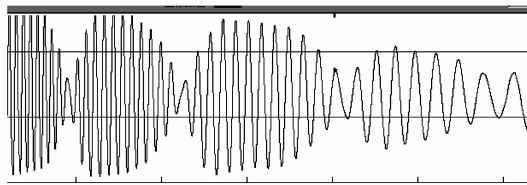


图 7 弹丸转数原始曲线

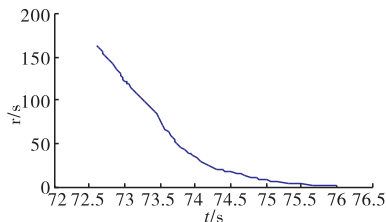


图 8 处理后的弹丸转数曲线

2 实际测试中需要注意的问题

2.1 弹体对转数测试的影响

弹体一般是钢铁材料制成的。这种铁磁性材料在飞行过程中受地磁场的作用将显示出磁性,从而对所处空间的地磁场产生影响。根据电磁场理论^[8],弹体外壳的存在只影响地磁场的强度和方向,几乎不影响弹丸转动过程中的角度变化量,因此对转数测试精度的影响甚小。由于弹体外壳影响信号的幅值,不同的弹体厚度、不同的旋转速度其地磁传感器输出感应电动势的幅值是不同的。测试者必须根据不同弹种设置线圈面积、匝数、放大倍数。对于整个弹道地磁传感器输出感应电动势的幅值起伏很大的情况下,可以考虑多路放大方案(每路不同的放大倍数)。

2.2 小体积弹丸转数测试^[9]

对于小体积弹丸,如果仍使用线圈式地磁传感器,当体积减小到一定程度后,传感器的输出信号幅值将不能被后续电路放大处理。为了解决这一问题,测试者可以选用灵敏度更高的磁敏感元件,如磁通门、霍尔元件等。磁通门和霍尔元件均是弱磁场测量器件,而且它们的共同特点是结构简单、体积小。只要对产品合理的设计和灌封,它们可应用于小体积弹丸上。

2.3 测试弹道的选择

由于弹丸转数是靠传感器的线圈切割地磁场磁力线得到。如果弹丸的飞行轨迹恰好与地磁场磁力线重合,则不论弹丸旋转与否,线圈都不会产生感应电动势,即存在所谓的“盲区”。由于弹丸在飞行时的“进动”现象。其弹道实际上并不是光滑曲线,而是一条螺旋状轨迹,因此弹道与磁力线重合的概率很小。虽然出现盲区的概率很小,测试者还是应避免测试弹

5.36km 且 $D_T(\varphi_{\max}) \approx 9\text{km}$, 利用式(11) 计算得攻击机进入目标概率 $P_{\text{ing,t}} = 0.67$; 当干扰功率谱密度增大到等于 $2.5 \times 10^3 \text{W/MHz}$ 时, $P_{\text{ing,t}} = 0.28$; 当其继续增大大约为 $3.5 \times 10^3 \text{W/MHz}$ 时, $P_{\text{ing,t}} \approx 0$ 。

5 结束语

文中以机载雷达发现目标时处于机载武器可攻击区域的可能性大小为攻击机进入目标概率。通过算例对模型中的主要因素进行了分析验证, 为评估攻击机对地攻击的作战效能提供了一种新思路。文中为便于计算, 仅考虑干扰机部署在攻击机来袭方向的情况, 干扰机任意方向部署时进入目标概率模型及其计算方法, 有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 邹德玉. 空军战术学教程第二分册(上)[M]. 北京: 空军指挥学院, 1999.
- [2] 黄俊, 武哲. 作战飞机的空-地攻击效能评估[J]. 航空

学报, 1999, 20(1): 69-71.

- [3] 艾剑良. 攻击机作战效能评估的顶层数学模型[J]. 飞行力学, 1999, 17(2): 19-24.
- [4] 穆富岭, 周经伦, 周忠宝, 等. 攻击机首次进入目标概率研究[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(2): 297-299.
- [5] 杨雪, 魏自明, 陈循. 攻击机首攻概率模型[J]. 火力与指挥控制, 2004, 29(3): 24-26.
- [6] 徐浩军, 魏贤智, 华玉光, 等. 作战航空综合体及其效能[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [7] 杜克新, 朱元清, 王志斌, 等. 地对空雷达干扰在要地防空中的作战运用研究[J]. 现代雷达, 2009, 31(2): 8-11.
- [8] 邵国培. 电子对抗作战效能分析[M]. 北京: 解放军出版社, 1998.
- [9] 崔晓宝. 航空兵战术定量分析的理论与方法[M]. 北京: 蓝天出版社, 2009.
- [10] 朱宝鏊, 朱荣昌, 熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 北京: 航空工业出版社, 2006.
- [11] 汪志强, 范国星. 飞机盘旋转弯机动研究[J]. 飞行力学, 2010, 28(2): 24-26.

(上接第 201 页)

道为南北方向, 这是因为即使不出现盲区, 地磁传感器输出幅值也很小, 不利于测试。所以一般应选择弹道方向为偏东西方向。

2.4 振荡器的选择

弹内计时精度是决定转数精度的一个重要因素。时间精度是由弹内计算机的振荡频率精度决定。一般计算机使用晶振作为振荡器, 振荡频率精度很高, 完全满足弹丸转数测试。但一般转数测试中弹丸的过载都很大(大于 5000g), 普通晶振由于抗过载能力小无法使用。现在市场上已有可抗 15000g 过载的晶振, 这样对于小于 15000g 过载的弹丸转数测试, 可以使用高过载晶振来保证时间精度。对于大于 15000g 的过载, 一般使用 RC 振荡器, 经校准后其测试精度一般可以达到 3%。

3 结束语

文中详细阐述了利用地磁传感器测试弹丸转数的工作原理, 并给出了弹丸转数实际测试曲线。还提出了基于地磁传感器弹丸转数实际测试中需要注意

的问题, 给出了解决这些问题的方法。

参考文献:

- [1] 黄峥, 李科杰, 金连宝. 火炮弹丸捷联式地磁-太阳方位姿态测量模型研究. 兵工学报, 2001, 22(1): 19-22.
- [2] 黄涛. 弹丸转速的传感器测量方法[J]. 弹箭与制导学报, 2002, 22(4): 69-70.
- [3] 刘涛. 轻武器弹丸转速测试技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2005.
- [4] 王广龙, 祖静. 地磁场传感器及其在飞行体姿态测量中的应用研究[J]. 北京理工大学学报, 1999, 19(3): 361-364.
- [5] 孙发鱼, 李科杰. 利用无线电引信测量长路径弹丸转速的应用研究[J]. 北京理工大学学报, 2001, 21(2): 243-246.
- [6] 马铁华. 地磁场传感器测自旋弹飞行姿态[J]. 测试技术学报, 1988(2): 305-307.
- [7] 徐文耀. 地磁学[M]. 北京: 地震出版社, 2003.
- [8] 马信山. 电磁场基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [9] 赵捍东, 张亚, 陈宏伟. 用地磁感应转数传感器实现引信定距方法的研究[J]. 探测与控制学报, 2002, 24(1): 57-60.