

应用地磁场的弹体飞行姿态测量方法研究

郭庆伟, 李超旺

(军械工程学院, 石家庄 050003)

摘要: 常规弹药的简易制导化是常规弹药改造的一个重要途径, 是目前研究的热点之一, 可以在低成本下大大提高常规弹药的精度, 弹道修正弹是其中的一个重要发展方向, 而弹体姿态实时测量是其中的一项关键技术。介绍了弹体姿态测量中基于地磁场的姿态测量方法, 将其分为组合姿态测量和单矢量测量, 并对测量方法做出了分析, 阐述了应用地磁场的姿态测量的重要意义。

关键词: 地磁场; 姿态测量; 单矢量

中图分类号: TJ413⁺6 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)04-0106-04

Research on Flying Attitude Measurement Method of Ammunition Based on Geomagnetism

GUO Qing-wei, LI Chao-wang

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Simple control and guide is a very important approach to rebuild traditional ammunition, which is a focus of research presently; it can highly improve the precision of traditional ammunition with low cost; trajectory correction projectile is one special aspect of them and flying attitude measurement of ammunition is the key technology. Flying attitude measurement of ammunition based on geomagnetism was introduced, which was classified by combination attitude measurement and single vector attitude measurement. The methods were analyzed and the significance of the methods was discussed.

Key words: geomagnetism; attitude measurement; single vector

我军的常规传统弹药,特别是火箭弹的数量非常大。因此,在现实基础上如何提高常规弹药的作战效能是目前的一个重要课题^[1]。

简易制导化是常规弹药改造的一个重要途径,可以在低成本下大大提高常规弹药的精度,改善保障难度,提升战斗力。弹道修正弹是一种低成本、高

精度的简易制导常规弹药,是重要研究方向。它打破了传统制导概念,没有稳定的平台、制导系统、动力机等高成本部件,在保留原有功能的基础之上,增加了感知及辨识弹道环境和弹道修正的功能。弹道修正的关键技术包括弹道识别、姿态辨识和机构修正^[2]。弹体飞行姿态参数的获取,不论是对弹丸的设

收稿日期: 2012-03-06

作者简介: 郭庆伟(1988—),男,山东东平人,硕士研究生,主要研究方向为机电设计与评估。

计、弹丸空气动力学的研究,还是对弹体的弹道修正的研究,都是应该首先解决的问题。因此,弹体姿态的实时测量是常规弹药制导化的关键技术。

传统的姿态测量方法应用于常规弹药时大多数都存在很多的条件限制,限制了应用范围。近年来,基于自然矢量——地磁矢量的弹体姿态测量得到了更为广泛的关注。

文中重点对应用地磁场的姿态解算方法进行了研究分析,为下一步的姿态解算模型的建立和解算算法的研究提供了理论依据,并为弹道修正弹的发展提供了技术支撑。

1 应用地磁场的姿态测量方法

1.1 传统姿态测量方法分析

应用于飞行体姿态测量的方法很多,目前常用的传统姿态测量方法主要包括陀螺仪法、太阳方位角传感器法、星光定位法、加速度计法、GPS测量法等^[1]。

传统的姿态测量方法应用于常规弹药时,会面临发射环境恶劣、弹体滚转等难题,因此在选择姿态测量系统时需要考虑一些一般飞行体设计中不存在的问题。与一般飞行体或导弹相比,常规弹药体积较小、空间有限,要求选用的姿态测量传感器的体积不能太大;为了适应弹载的要求,测试系统必须能承受高温、高压、高振动、强冲击等环境条件,而且必须有长效的工作电源,最大地降低功耗。

为更好满足实际应用的需求,提出了一种新的研究思路和方法,即利用地磁场这种天然坐标系为基准场测量弹体的飞行姿态。目前,应用地磁场的姿态测量方法通常可以分为组合姿态测量方法和单矢量姿态测量方法。

1.2 应用地磁场的组合姿态测量方法

地磁场最早应用于姿态测量时一般是作为辅助的测量方法,主要是考虑其无源、零辐射、全天时、全天候、全地域覆盖、体积小、能耗低的优良特性,可与传统测量方法进行优势互补,获得更加准确、实时的姿态数据。因此,应用地磁场的组合姿态测量方法目前研究得比较多。

1.2.1 地磁/陀螺组合姿态测量方法

该方法利用陀螺测定弹体滚转运动角速度,地磁传感器的敏感轴均对准弹体坐标系的三轴方向,陀螺敏感轴对应弹体纵轴,通过姿态方程的解算,实现了实时获取弹体姿态^[4]。固态陀螺性能较低,只能短时保持高精度;在弹体攻角很小的情况下,利用磁强计以及“先验弹道信息”能获得不同噪声、无漂移的姿态,但存在使用域、强磁干扰等问题。将两者组合使用,利用滤波器适当权衡两方面的信息能从精度、稳定性方面提高系统性能。目前,利用地磁传感器、MEMS陀螺进行姿态测量是近年来地磁组合姿态测量研究的热点之一。

1.2.2 地磁/加速度计组合测量方法

地磁/加速度计组合测量也是目前研究、应用较多的一种地磁姿态测量方法。测量单元利用磁阻传感器敏感地磁场沿机体坐标系分量,加速度计敏感载体的俯仰角和横滚角进行工作。采用加速度计、磁阻传感器和单片机的多自由度测姿装置及其算法可实现实时测量运动物体姿态。

随着高精度加速度计的不断问世,滤波技术、组合导航技术的发展,利用地磁传感器与微机械加速度计来组成低成本的弹体姿态测量系统研究具有重要意义和广阔的应用前景。

1.2.3 地磁/GPS组合姿态测量方法

地磁/GPS组合姿态测量方法主要是通过与弹体捷联安装的磁阻传感器测量旋转角等参数,结合GPS装置探测获取的弹道参数来实时地解算弹体姿态。这种方法充分利用了GPS的技术优势(精度高、实时性好等),又结合了地磁测姿的抗干扰性,但是GPS受到美国的技术限制,导致了其应用的局限性。

早在2001年,德国和瑞士开始联合研制用于提高火箭命中精度的增强型弹道修正(CORECT)模块。CORECT模块集成有GPS接收机和磁阻传感器,依据卫星导航数据,弹载计算机计算火箭弹偏离方案弹道的偏移量。同时,磁阻传感器测量地磁场,计算弹体的旋转角度。通过加装CORECT模块,火箭弹的命中精度得到了很大的提高。

地磁/GPS组合测量方法发展较早,也是目前世界各国发展弹道修正弹的一个重要的研究方向,国内现在也有许多科研机构进行了此方法的研究,并

且取得了一定的研究成果,但尚未有具体的实际应用的例子。

1.3 应用地磁场的单矢量姿态测量方法

近年来,地磁场逐渐得到研究人员的重视。其中,基于地磁场的单矢量姿态测量方法是研究热点之一。基于地磁场的单矢量的姿态测量方法主要指只应用地磁传感器来测量并确定弹体的姿态参数,实现低成本、高精度的实时、精确的弹体姿态测量。

1.3.1 磁感线圈法测量姿态角

该方法的原理主要是应用法拉第电磁感应定律,即线圈切割地磁场磁力线产生感应电动势。安装两个夹角为 θ 的平面线圈(线圈平面沿弹体纵轴),弹体旋转时,磁感线圈切割地磁场磁力线,磁通量发生变化而产生感应电动势^[5]。根据磁感线圈初始相位,当弹体偏离基线时,其感应电动势的大小和方向发生周期性变化,从而得到姿态信息相关的测量信息,测量电路记录下每一时刻的感应电动势值,通过解算得到弹体的飞行姿态角。

本方法研究起步较早,已经有很多有效解算模型,并且开展了试验研究。在满足一定的试验条件下,能取得令人满意的测量精度。

1.3.2 零点交叉法测量偏航角

零点交叉法测量偏航角是美国的Thomas Harkins, David Hepner于1991年最早提出的^[6]。该方法是将一组与弹轴呈不同倾角的磁传感器共同安装在旋转弹丸上。当弹体在空间飞行时,传感器输出信号的幅值将随地磁场周期性地变化。其中在与地磁场正交的位置上,传感器输出信号为零,即所谓的零交叉点。通过对两个磁传感器的零交叉点进行判别和运算,就可以确定弹体飞行过程中相对于地磁场的方位角。

国外已经在这方面进行了一些研究和实践工作,美国陆军研究所(ARL)开展的一项利用磁传感器测量旋转弹丸飞行方向角的项目,称作“MAGSONDE”。目前,ARL已经完成了相关的原理试验和验证研究,并探讨了该系统的应用领域。

1.3.3 极值比值测量法

极值比值测量法^[7]是在零点交叉法的基础之上发展而来的,提出利用两个磁传感器组合测量姿态的方法将磁传感器组合中的一个与弹轴成锐角安

装,利用两磁传感器输出的极值信息,采用极值比值的方法确定姿态,无需知道地磁场强度且解算过程中只需要标量运算,与Thomas Harkins, David Hepner提出的零交叉法相比,姿态角信息多且是单值的。

1.3.4 基准角法测量滚转角

在所测量的姿态角中,滚转角是比较重要的一个参量。它关系到姿态调整的动作执行控制,从而直接影响弹体的姿态修正的好坏,因此,准确测量滚转角是非常重要的。滚转角的测量涉及的一个重要问题就是起始角度的问题,特别是旋转弹丸在飞行过程中,滚转角不断变化,表现在数值上就是电动势值的周期变化(随着飞行时间的增加,周期不断变化)。目前,应用较多的就是通过角度的分解,将滚转角分解为基准角和辅助角:基准角通过先验信息获得,辅助角利用地磁传感器的测量信息求得,即可得即时滚转角。

通过基准角法对滚转角进行测量,可以跳过复杂的姿态方程,转而通过一种巧妙的转化关系成为一个简单的几何关系。系统简单、方法易行,在没有过高精度要求的前提下可以应用于姿态测试。

2 测量方法研究分析

传统的姿态测量方法虽然起步早、研究成熟,并且在现实中得到广泛应用,特别是陀螺、加速度计、GPS在飞行器上大量应用,但是将其应用在常规弹药的改造中还存在很多问题,除了其自身的固有缺陷外还存在很多限制,如应用环境、能耗、体积和质量等。

应用地磁场进行姿态测量,具有很多独特的优势:地磁场是地球系统的基本物理场,具有全天时、全天候、全地域的特征;地磁场资源无成本存在,可以减小测量系统的成本;不发送任何信号和接收外界电磁信号,因而难以被侦测和干扰,具有很强的隐蔽性。这些优点满足了弹药对测量技术的要求,可以在分析地磁场特点的基础上,进行基于测量地磁场的弹体姿态测量技术的研究。

应用地磁场的组合姿态测量发展早、研究成熟,但是往往需要考虑多传感器的数据融合,不同测量方法之间的相容性或干扰特性,且系统设计涉及因

素较为广泛。在此背景下,基于单矢量(地磁场)的单点实时姿态测量具有很好的特性,它既可充分地利用地磁场的各种优势,又可以避免组合姿态测量中的复杂因素,具有良好的应用前景。因此,如何充分利用各种方法的优点获得适合弹药特性的测量系统是接下来的重要研究内容。

3 结语

目前,姿态测量的方法很多,基于地磁的姿态测量方法具有其它方法无法比拟的优势。考虑应用于常规弹药的弹道修正,采用单地磁矢量的姿态测量方法具有很大的现实意义和研究价值。只有精确、实时地获取姿态参数,才能进行准确、高效的弹道修正控制。因此,对应用地磁场的姿态测量方法的研究具有非常大的军事应用价值。

参考文献:

- [1] 葛贤坤,胡瑜. 地磁精确制导技术及其应用研究[J]. 空军装备研究,2009,3(2):11—14.
- [2] 余勃彪,严平. 弹道修正弹药现状及关键技术[J]. 四川兵工学报,2011(4):37—39.
- [3] TITTERTON D, WESTON J. Strapdown Inertial Navigation Technology[R]. AIAA,2005.
- [4] 雷芳,王华,焦国太,等. 弹道修正弹药的姿态测量技术研究[J]. 火箭与制导学报,2009,29(4):123—132.
- [5] 王广龙,祖静,张文栋. 地磁场传感器及其在飞行体姿态测量中的应用[J]. 北京理工大学学报,1999,19(3):361—364.
- [6] THOMAS Harkins, DAVID Hepner. Magsonde (Patent Pending): A Device for Making Angular Measurements on Spinning Projectiles Using Magnetic Sensors[C]//Proceedings of SPIE. US:SPIE,2000:60—67.
- [7] 李珂,卜雄洙. 基于两磁传感器极值比值的弹体横滚姿态测量[J]. 探测与控制学报,2009,31(4):49—54.

(上接第100页)

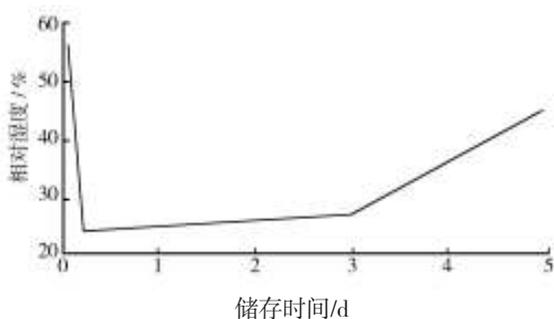


图3 玻璃钢筒内湿度变化曲线

Fig.3 Humidity curve of glass fiber reinforced plastic barrel

筒内最初几年的相对湿度约25%,经测试其发射药全挥发分为3.1,靶试符合战技指标。

4 结论

经过长期的试验研究认为:非金属药筒的形变、透湿性,可以通过采用玻璃钢包装及内加吸湿剂得

到较好解决。

由于非金属药筒具有能提高坦克的作战性能,节省铜、钢材,相信它在弹药这个家族中,一定会有较大的应用空间。

参考文献:

- [1] 马云华. 新型可燃药筒[J]. 现代兵器,1987(6):46—48.
- [2] 中国航天科技集团公司第四研究院43研究所. 复合材料发射筒:中国,87359240[P]. 2001-01-05.
- [3] 张豪侠. 国外近期坦克炮弹装药技术[J]. 火炸药,1980(1/2):39—40.
- [4] 孔宪章. 可燃药筒涂层的改进方法[J]. 包装工程,1982(1):32—33.
- [5] 潘忠政,姚恺,安振涛,等. 温度环境对弹药储存影响性分析与研究[J]. 2008(4):59—62
- [6] 赵东华,张怀智,郭胜强,等. 基于灰色模型的某型号制导弹药贮存寿命预测[J]. 2011,8(6):28—30
- [7] 黄裕龙,杨登云. 某火箭弹发动机装药外挥对初速的影响[J]. 火炸药学报,2001(2):52—53.