

【武器装备】

# 弹道修正弹药现状及关键技术

余勃彪, 严平

(海军工程大学 兵器工程系, 武汉 430033)

**摘要:**分析了弹道修正弹药的原理和国外发展现状,研究了弹道修正弹药的关键技术,飞行弹丸弹道探测、弹丸姿态测量和弹道修正控制技术,对国内弹道修正弹药技术发展提出建议。

**关键词:**弹道修正;弹道探测;姿态测量;修正控制

中图分类号:TJ410.1

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)04-0037-03

## The Actuality of Ammunition for Ballistic Trajectory and Its Key Technology

YU Bo-biao, YAN Ping

(Dept. of Weapon Engineering, Navy University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** The paper analyzed the principle of ammunition for ballistic trajectory the actuality of development in home and abroad, and researched on the key technology of ammunition for ballistic trajectory, detection of flying pill trajectory, pill attitude se measurement, and control technology of trajectory correction. And it made some suggestions for future development of technology in trajectory correction ammunition in home.

**Key words:** trajectory correction; trajectory detection; attitude measurement; correction control

提高命中概率是现代战争对弹药最基本的要求之一,途径可以分为2种:一是提高单发弹药命中精度,一是增加弹药发射数量。前者最典型的是使用导弹,但导弹结构复杂,成本过高,对后勤要求高,大量装备部队不现实;后者的特色是大量使用普通炮弹来提高摧毁目标的效果,存在的问题是需要的普通炮弹数量过大,给后勤运输增加巨大压力,毁伤目标时间过长甚至会贻误战机。为解决这一难题,弹道修正弹药应运而生。

### 1 弹道修正弹药原理

弹道修正弹药就是在弹丸出炮口后的飞行过程中对弹道进行修正,从而提高其命中精度的弹药。一般是对普通炮弹引信加装或改装弹道修正模块,在飞行过程中测量弹丸的一个或几个参数(比如高度、方位、速度矢量等),解算出弹丸实际弹道,通过计算机与预定弹道进行比较,计算出偏差量,产生指令控制弹丸上的修正部件进行动作,从而修正弹丸的弹道,提高命中精度。弹道修正弹药与导弹存在区别:导弹使用连续的弹道控制,随时修正与实际弹道的误差,直至导

弹命中目标,要求能够百发百中;弹道修正弹药只有若干次简单修正动作,使弹丸落在以目标为中心的某一范围内,减小弹着散布,提高命中概率<sup>[1-3]</sup>。

### 2 弹道修正弹药历史与现状

作为军事科技大国,美国最先提出弹道修正弹药的概念,目的是利用成熟的GPS技术,研制出一种低成本、通用型引信,以提高普通弹药的命中精度。在20世纪70年代,美军即提出了一种称之为“末段修正旋转弹(TCSP)”的低成本弹道修正弹药的概念,以填补当时无控70mm火箭和海尔法反坦克导弹之间的空缺。在这之后,弹道修正弹药技术的发展已经经历了3代,使用弹道修正技术的弹药也已有十多种。目前,美国、英国、法国、以色列等国都在进行弹道修正引信的研制。

#### 2.1 美国

最初,美国设想在炮弹弹丸与引信结合部加装GPS转换器,将飞行中弹丸的位置发射回炮兵阵地或设置在火炮上的计算机,从而将射弹实际弹道与预定弹道相比较,以便推算

收稿日期:2011-02-11

作者简介:余勃彪(1979—),男,硕士,讲师,主要从事引信设计与弹药保障研究。

出下一发炮弹的修正量。1992年,陆军研究实验室深化这种技术,研究以不同的方式为远程火炮系统提供自主的GPS导航功能、引信定位功能和战斗识别功能,或者提供用于弹道描述的靶场测量引信。

随后开始的“低成本有能力弹药(LCCM)”技术基础项目,开始积极推进基于GPS的自动修正阻力器式(一维距离修正式)和制导式(距离和方向二维修正式)引信研究工作。两者均要依靠GPS和惯性测量数据,前者通过展开特殊形状的空气动力减速板、后者通过控制可操纵的鸭式舵来实现弹道修正效果。LCCM项目微型化自动试射引信的C/A码模拟式转换器,并将其装入制式引信。后来还生产了P/Y码的转换器,用于发射M107和M549A1式炮弹,以进行实时GPS自动试射演示。

2002年,美国海军水面战中心的戴尔根分部开始“制导一体化引信(GIF)”技术演示项目,精度要求为圆概率误差小于10m,预计单价为3500美元。由于技术难度原因,美国陆军于2003年下半年开始为一种被称作XM1156式精确制导组件(PGK)的低成本弹道修正引信研究项目投资。PGK项目分为3个阶段。第1阶段,美陆军要求达到小于50m的圆概率误差,引信嵌入弹体的最大深度为124.7mm,具有触发和近炸模式,最大过载为15000g,低速初始生产型应于2008年底服役。第2阶段,要求圆概率误差降至30m以下,嵌入弹体的深度为56.1mm(含炸药),具有触发、近炸、延时和空炸(可以通过GPS、测高仪或电子定时途径实现)模式,最大过载亦为15000g,2008—2009财年进行系统设计与研制,2011财年末形成初始作战能力。第3阶段PGK应达到10m圆概率误差,过载限制应达20000g,以便也能使用M119式105mm火炮发射,2010—2011财年进行系统设计与研制,2012财年开始生产。

北美BAE系统公司在PGK研制中处于领先地位,其研制的弹道引信与GIF一样,以M782多功能炮兵引信为基础,加装了3个空气动力修正机构,在整体式GPS的控制下工作。初始弹道的距离修正利用微调阻力减速板来实现,在弹道中段通过展开4个旋转减速板进行方向修正,末段距离修正则通过展开2片主减速板的实现。其技术方案不对射弹进行连续不断的制导,只是在3个不同时刻分别减慢转速或造成阻力,所以既不需要惯性测量装置,也不需要传动装置,其效费比要好于其他二维修正引信方案<sup>[4]</sup>。

## 2.2 英国

英国皇家军械公司、国防评估与研究署(DERA)等联合组建“斯塔尔”(STAR,智能弹道炮弹)小组,目的是要研制一种一维弹道修正引信。最终,STAR小组研制成一种包含GPS接收机电子部件和阻力减速板的距离修正模块,并将其装入M549式炮弹,于1999年8月在美国尤马靶场成功地进行了射击试验(发射过载达14000g)。

## 2.3 法国

法国开展了2种不同的弹道修正引信方案的可行性研究,但两者采用了相同结构的减速装置。第1种称作“桑普拉斯”(SAMPRASS,意即“地面火炮精度改进系统”),是基于GPS的一维距离修正系统,采用的不是自主工作方式,因为引信所接收到的GPS数据必须转发给地面计算机,然后由计算机指示引信在弹道适当的位置展开阻力减速板。第2种

称作“斯帕西多”(SPACIDO,即“采用多普勒测速仪提高精度的系统”),是一种非GPS方案,依靠的是一种地面多普勒雷达,利用炮口初速测定雷达沿着射弹飞行轨迹(最远5000m)测量射弹的速度变化,然后炮口初速测定雷达解算出阻力减速板展开的最佳时机,并向射弹发送信号。

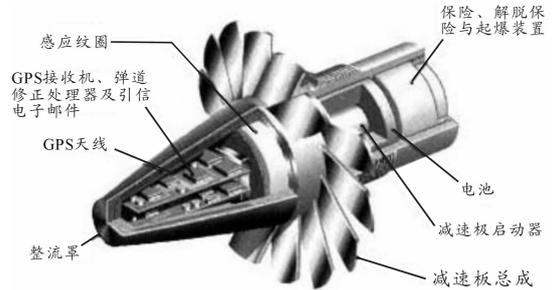


图1 “斯塔尔”(STAR)弹道修正引信

## 2.4 以色列

目前,正有2家公司展开弹道修正引信研制的竞争。以色列飞机工业公司的MLM分公司设计的是紧凑型射击修正系统(CFAS),现已发展为二维修正引信。该引信包括1个带4个鸭式舵的GPS/惯性导航模块,最终目标是使圆概率误差达到20m或更小,抗过载性能要高于20000g。军事工业公司(IMI)研制的是“弹道修正炮弹”(CTAP),它实质上是一种二维弹道修正引信。该装置以IMI公司的“纯心”模块为基础,包括处理器、惯性测量装置和GPS接收机。另外,IMI公司还在为CTAP的七自由度制导系统开发新的飞行控制与导航算法。该制导系统将装入一个长药室引信中,其前部将进行减旋处理。引信由IMI公司自行设计,具有触发、近炸和延时功能。预计2011年以后进行首批射击试验,所要达到的目标是圆概率误差小于30m。

## 3 弹道修正弹药关键技术

弹道修正过程主要包括3个方面:弹道探测、弹丸姿态测量和弹道修正控制。对弹道的探测技术使用包括全球定位系统(GPS)、惯性导航系统(INS)、火控雷达(FCS)等在内的弹道探测手段<sup>[5]</sup>;对弹丸姿态测量技术包括陀螺仪技术、磁感应技术和加速度计技术;而弹道修正控制技术主要包括脉冲发动机技术和空气阻力技术。

### 3.1 弹道探测技术<sup>[6]</sup>

#### 3.1.1 GPS

美国全球定位系统(GPS)能随时、随地、连续地提供物体三位位置、三位速度和时间信息。利用这一点,弹丸发射后弹载GPS接收机通过天线接受全球定位系统(GPS)发送的信息,确定自身位置数据,弹载微处理器利用这些数据计算弹丸实际弹道。随着导航与微电子技术的发展,GPS接收机的小型化程度不断提高,加固技术也使GPS器件能够承受火炮发射时所产生的高达15000g的加速过载。存在的问题是GPS信号的抗干扰能力弱。并且精度更高的P码美军并不对外公开,在军事应用方面国内应更多的立足于不断成熟的“北斗”导航技术,防止出现关键技术受制于人的

危险。

### 3.1.2 INS<sup>[7]</sup>

惯性导航系统(INS)通过惯性测量装置测出物体的运动参数,形成指令进行导航。所有导航设备均安装在运动物体上,以自主方式工作,不与外界发生联系,技术成熟,导航信息连续,抗干扰性强,隐蔽性好。基于 MEMS 技术的惯性传感器具有体积小、质量轻、成本低、抗冲击能力强、可靠性高等特点,可用于弹药来实现导航与制导。缺点是定位误差随时间积累,必须初始化且初始化时需要其他设备提供位置信息。

### 3.1.3 FCS

利用地面(舰载)火控雷达 FCS 探测和计算弹丸位置与速度,通过计算软件解算弹丸实际落点。对雷达及火控系统要求较高,目前的相控阵雷达能够满足所需指标。不足是整个控制过程必须使用雷达来形成闭环,涉及弹药、火炮、雷达、火控,系统复杂,造价昂贵;长时间对弹丸弹道的探测会泄露雷达信息,容易暴露己舰或我方炮兵阵地位置信息。目前的发展方向是利用雷达进行弹道初始段修正,即火控雷达系统测量弹道初始阶段飞行弹丸的速度与位置,由此计算实际弹道与预定弹道的偏差,形成控制指令后发送给弹丸。弹载接受装置接受发送的指令,控制修正部件在准确的时间和位置进行合适的控制动作,修正弹丸弹道<sup>[8-10]</sup>。这一方法降低了雷达信息的更多泄露,但会造成弹丸命中精度的扩大。

## 3.2 弹丸姿态测量技术

### 3.2.1 陀螺仪技术

陀螺仪是能感测旋转状态的装置,已成为现代兵器惯性制导系统的核心部件,被广泛应用于飞机、船舶、导弹、运载火箭和航天器等领域。美国海军首先研制成功陀螺导航仪。近年来,随着光电技术的迅猛发展,集光、机、电一体化的光电惯性陀螺及利用光电技术加工的新型惯性陀螺(如激光陀螺、光纤陀螺、半球谐振陀螺、石英音叉陀螺等),正不断地发展并广泛应用于军事领域。利用绕铅直和水平轴转动的 2 个陀螺仪即可得到弹丸飞行时的俯仰角、偏航角和侧滚角,从而确定弹丸飞行姿态。

### 3.2.2 磁感应技术

在弹丸上安装磁感应线圈装置,利用地球磁场的微弱变化来确定弹丸的飞行姿态。当弹丸的飞行姿态发生变化时,磁感应线圈中的磁场强度也会相应发生变化,将这一变化放大,进行变换和解算,就能得到弹丸瞬时状态。

### 3.2.3 加速度计技术

加速度计是捷联惯性系统的敏感部件,利用其对加速度的敏感性感知弹丸飞行姿态。缺点是存在误差积累,需要初始标定,对射程较远、飞行时间较长弹丸导航精度差。

## 3.3 弹道修正控制技术

### 3.3.1 脉冲发动机技术

主要用于尾翼稳定或旋转速度较低的弹丸,进行末端修正。它在弹丸质心附近对称布置若干个小型的脉冲发动机,利用脉冲冲量对弹丸施加力矩,从而修正弹丸弹道。它在弹道末端能进行 1 至 3 次脉冲控制,可以对弹丸进行二维修正<sup>[11-12]</sup>。目前美国、俄罗斯、瑞典在脉冲控制技术方面已形成成熟方案,研制出的弹药已能进入实战部署,国内还处于

起步阶段。

### 3.3.2 空气阻力技术

空气阻力技术包括 2 种。一是使用阻力器。它在引信与弹丸结合部装配阻力机构,根据控制指令在弹道的特定位置张开阻力器,增大弹丸与空气的受力面积,从而增加弹丸与空气之间的阻力,达到修正射程的目的。它属于一维弹道修正引信(1-DCCF),只在射程上对弹道进行修正。工作方式可概括为“打近不打远”:开始发射时,火炮身管被抬高到大于所要求射角的位置,从而确保射程超过目标的距离,为弹道修正留下余地。在射弹升弧段的某个点(如弹道最高点),弹载 GPS 接收机接收精确的定位数据,并根据当前弹道计算射弹可能的弹着点。引信内的微处理器将炮弹可能的弹着点与原定的目标点进行比较,根据比较的结果来确定需要修正(缩短)射程的程度。射弹在飞行中利用 GPS 装置,确定打开阻力器的精确时刻,然后借助机械设备或爆炸装置迅速实现开启。阻力器使弹丸的飞行速度降低,致使炮弹以受控飞行的方式落达预期的目标区。

另一种空气阻力技术称为鸭舵<sup>[13-15]</sup>。鸭舵安装在引信与弹丸结合部,利用改变弹丸气动受力情况来修正弹道。鸭舵分为升降舵、方向舵和差动舵,分别控制弹丸的俯仰、方位和稳定,能对弹丸实现二维修正。它原理简单,技术成熟,控制方便,是未来主要发展方向,但微型化是目前面临的最大困难。

## 4 结束语

国外已在一维弹道修正技术上取得突破,正在二维及多维方向攻关。国内技术研发应在自主技术基础上开发弹道修正弹药,立足于军事科技发展实际,侧重于“北斗”导航、惯性导航、空气阻力技术,适当考虑火控雷达测量控制等系统复杂、费用昂贵技术。总之,弹道修正弹药成本较低,精度较高,符合弹药发展精确性和经济性要求,是常规弹药发展的一个主要方向。

## 参考文献:

- [1] 洪元军,雷雅茹. 国外弹道修正引信发展现状研究[J]. 探测与控制学报,2001,23(4):1-5.
- [2] 邱荣剑,陶杰武,王明亮. 弹道修正弹综述[J]. 国防技术基础,2009(8):45-48.
- [3] 施坤林,黄峥,马宝华. 国外引信技术发展趋势分析与加速发展我国引信技术的必要性[J]. 探测与控制学报,2005,27(3):1-5.
- [4] 兵器工业信息中心. 美陆军加大对弹道修正弹药项目的投资力度[EB/OL]. [2001-08-24]. <http://jczs.sina.com>.
- [5] 虎晓伟. 弹道修正技术反导应用[J]. 火力与指挥控制,2004,29(5):41-43.
- [6] 高敏,张强. 弹道修正弹实际弹道探测技术综述[J]. 弹道学报,2003(1):91-96.
- [7] 祝彬. MEMS 惯性制导系统的发展[J]. 中国航天,2010,1:36-39.