

陀螺仪的发展过程,说明人类认识自然是无限的,是逐步深入的;同时也反映事物从简到繁,从繁到简的辩证发展关系。

### 参 考 文 献

[1] 任思聪,惯性导航系统,航空知识, No. 9 (1979), 28.

- [2] [美]哈尔·赫尔曼著,叶锡琳等译,导弹是怎样飞向目标,新时代出版社,(1982),36.
- [3] 林士谔等编著,动力调谐陀螺仪,国防工业出版社:(1983),27.
- [4] [美] R.H. 弗雷泽等著,廖朝佩等译,磁悬浮和电悬浮,国防工业出版社,(1982),101.
- [5] 姜亚南编著,环形激光陀螺,清华大学出版社,(1985),1.

## 物理学与精确制导技术<sup>1)</sup>

陈 心 中 徐 润 君

(中国人民解放军汽车管理学院,蚌埠 233011)

**摘要** 从物理学的观点出发,介绍现代高技术战争中精确制导技术的基本原理,分析目前常用的几种精确制导技术(如微波雷达制导、红外制导、激光制导、惯性制导、电视制导等)在应用过程中显露出来的优缺点,从而论证物理学是精确制导技术的重要理论基础。

**关键词** 物理学,精确制导

精确制导武器是按照特定的基准选择飞行路线,采用高精度制导系统控制和导引弹头对目标进行有效攻击的武器。例如导弹、制导炮弹、制导炸弹、制导鱼雷和制导地雷等武器都属精确制导武器。精确制导武器通常采用非核弹头,用于攻击对方的兵器装备,破坏重要的战略目标和其他军事设施。

精确制导武器具有命中精度高、有自主制导能力、摧毁力大、效费比高等特点,具有较强的全天候作战能力、抗干扰能力和机动作战能力。

在70年代以来爆发的一些局部战争中,精确制导武器显示了超常的作战效能。很多国家都已把精确制导武器列为常规武器的发展重点。

精确制导武器一般由制导系统、战斗部与引爆装置、推进动力装置和伺服控制执行机构等四大部分组成。其中制导系统是实现精确制导的关键部分。

精确制导武器的制导技术很多,但是无论哪一种精确制导武器都是在一定的物理学理论的基础上,通过某种技术手段随时测定它与目

标之间的相对位置和相对运动,根据偏差的大小和运动的状况形成控制信号,控制制导武器的运动轨道,使之最终命中目标。

### 1 微波雷达制导

19世纪以来,物理学家创建的电磁学理论,促成了军用雷达的诞生。随着军事科学技术的不断发展,雷达不仅用于探测军事目标,而且广泛用于武器的精确制导。

微波通常是指分米波和厘米波,相应的频率范围是300—30000MHz。目前用微波雷达捕捉目标信息的技术比较成熟,其特点是作用距离远、全天候能力强,但其制导精度不如光电制导系统和毫米波制导系统。

微波雷达制导方式有:驾束制导、指令制导、主动寻的制导、半主动寻的制导和被动寻的制导等。

#### 1.1 驾束制导

驾束制导系统由指挥站和精确制导武器上

1) 1994年8月25日收到初稿,1994年10月13日收到修改稿。

的控制装置组成。雷达指挥站发现目标后,对目标进行自动跟踪并用雷达波束照射目标,当精确制导武器进入雷达波束后,控制装置自动测出其偏离波束中心的角度和方向,控制精确制导武器沿波束中心飞行,直至命中目标。

为了保证较高的制导精度,雷达波束应当很窄,但波束过窄,精确制导武器又很难进入波束。为此,雷达指挥站通常要发出中心线相重合的两个宽窄不同的雷达波束,以便精确制导武器先进入宽波束,再进入窄波束。

驾束制导的优点是控制装置比较简单,成本低,可以同时制导数枚精确制导武器,并且由于控制装置直接接收雷达波束能量,不易受到干扰。其缺点是在整个攻击过程中,指挥站必须不间断地以雷达波束照射目标,这样指挥站连同载体很容易受到对方攻击;而且这种制导方式缺乏同时对付多个目标的能力。

例如,英国海军的“海参”舰空导弹就是采用驾束制导方式。

## 1.2 指令制导

指令制导系统由制导雷达分别测出目标和导弹的位置和速度,并根据这些数据计算出控制指令,通过无线电遥控指令,纠正导弹的飞行误差,控制导弹飞行,直至击中目标。这种制导方式的作用距离比较远,弹上设备的成本较低,但是易受干扰,而且制导距离越远精度越低,因此有时只作为中段制导用。例如,美国的“爱国者”地空导弹等均属指令制导导弹。

## 1.3 主动寻的制导

主动寻的制导系统是将雷达发射机和接收机全部装在制导武器上,自身发射和接收雷达波,根据由目标反射的回波信号,对目标进行捕获、跟踪和定位。这种制导方式具有“发射后不用管”的特点,并且由于信息的能源就是制导武器上的雷达发射机,所以能够从任何角度向目标攻击,而且愈接近目标,对目标的分辨能力愈强,因而命中精度很高。在精确制导武器的末制导中,微波雷达主动制导方式使用得较多,法国的AM-39“飞鱼”式反舰导弹采用的就是这种制导方式。

## 1.4 半主动寻的制导

半主动寻的制导系统是由设在地面、军舰或飞机上的指挥站,通过照射雷达对着目标发射强电磁波,精确制导武器上的雷达接收机一方面接收目标反射的雷达波,同时还接收指挥站发出的照射信号作为基准信号。经过对两种信号的处理,提取目标的位置和距离等数据,并由电子计算机算出导弹的飞行误差,从而控制飞行弹道。由于照射雷达的发射机功率可以很大,所以主动寻的制导比半主动寻的制导的作用距离远;而且装在精确制导武器上的设备比较简单,制造成本相对较低。但是这种制导方式要求照射雷达始终对准目标,因此只能与一个目标交战,难以对付多目标环境,而且指挥站容易暴露和遭敌方反辐射导弹的打击。俄罗斯的SA-6地空导弹和美国的“麻雀”空空导弹都采用半主动寻的制导方式。

## 1.5 被动寻的制导

微波被动寻的制导系统本身不辐射电磁波,精确制导武器以接收敌方的雷达波作为制导的信息,自动沿着敌方雷达波束飞行而命中目标。这种制导方式常用于反辐射武器,专门攻击敌方的雷达设备。微波被动寻的制导系统的关键部件是高灵敏度宽频带的接收机和宽频带的天线。要求能在很宽的频率范围内工作,以对付各种微波辐射源,同时又要有很高的选择性,能够从收到的不同辐射源传来的合成信号中分选出目标的信号。目前这种接收机的技术已经成熟,并且可以小型化,但是由于天线尺寸有限,对在低频段工作的辐射源定向性比较差,命中精度较低。美国的“百灵鸟”和“哈姆”反辐射导弹就是采用这种制导方式。

## 2 红外制导

1800年,物理学家发现了红外线。物理学的进一步研究表明,红外线的实质是波长在 $0.76\text{—}750\mu\text{m}$ 之间的电磁波。在自然界中,任何温度高于绝对零度的物体都可向外辐射各种波长的红外线。军事目标的动力部分(例如飞

机与火箭的喷管,坦克的发动机,舰船的锅炉及烟囱等)都是很强的红外辐射源。红外线虽然不能被人眼观察到,但根据红外线的光化学效应、光电效应等物理特性,可以通过由氯化钠或锗等材料特制成的透镜或棱镜进行成像和色散,使底片感光或转变成可见图像,并用以制导武器。

红外自动寻的制导大多数是被动式的。红外制导武器在发射后利用目标本身的红外辐射进行自动瞄准和跟踪,直至最后命中目标。

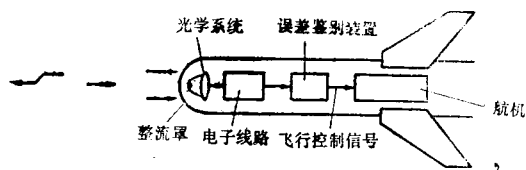


图1 红外制导原理

导弹的红外制导原理如图1所示。来自目标的红外辐射透过弹头前端的整流罩,由光学系统会聚透射到红外探测器上,然后将红外辐射由光信号转换成电信号,再经电子线路和误差鉴别装置,形成作用于舵机的飞行控制信号,使导弹自动瞄准、跟踪和命中目标。这种导弹不受恶劣天气和战场环境的影响,白天黑夜都可以使用,不必由人参与制导。它的缺点是对目标本身的辐射或散射特性有较大的依赖性,需要在背景环境中将目标信息检测出来。

红外成像制导系统是正在发展的新系统,由于它采用多个红外探测元来探测目标的红外辐射,因而可以获得目标的红外图像,其图像与电视图象近似,但却可以在电视难以工作的夜间和低能见度下工作。

例如有一种红外热成像制导的反坦克导弹,在其头部的导引头中,装有与指甲差不多大小的红外列阵探测器,它的功用是探测目标和导弹的相对位置。在导弹发射前,先对战场进行搜索,一旦发现目标,就像照相机那样摄取目标的图像,并贮存到导弹上的微型计算机中,作为基准图像。导弹发射后,红外列阵探测器始终“盯着”目标。在导弹飞行过程中,以大约每

秒25帧的速度连续摄取目标图像,并依次逐帧地把图像送入微型计算机,与基准图像进行比较,如有差异,说明导弹偏离了预定的飞行弹道,计算机随之把这种代表导弹飞行偏差的差异变成电信号,指令导弹舵机动作,把导弹修正到正确的弹道上来。随着导弹越来越接近目标,红外探测器摄取的图像就越来越大。如果由于目标运动或转向使探测器所摄得的图像不能简单地与基准图像进行比较时,还可以靠弹上的计算机软件来判别。这种巧妙的跟踪技术是红外列阵探测、微型计算机与图像处理技术三者的结合,具有像人一样的感觉和思维的能力。

红外制导系统的抗干扰性强,设备简单,重量轻,成本低,由于采用被动探测,无需红外辐射源,所以隐蔽性也较好。而且,导弹越接近目标,来自目标的红外辐射越强,制导精度就越高,大大提高了命中率。

美国的“响尾蛇”、法国的“魔术”等空空导弹和美国的“小樛树”、俄罗斯的“环礁-7”等防空导弹均采用红外自动寻的制导技术。

### 3 激光制导

激光是本世纪60年代物理学界的重大研究成果。古今中外,军事家无一不是科学技术新成果的酷爱者,当然他们也常常是科技新成果的最先受益者。由于激光具有相干性好、单色性好、方向性好和能量高度集中等物理特性,所以激光一开始就倍受军界青睐。激光制导是激光在军事领域中的重要应用项目之一。

半主动式激光制导是目前研制得较为成功的一种激光制导方式,它由地面上的侦察人员用激光指示器(或把激光指示器装在车辆、飞机上)照射目标。装有激光寻的器和控制系统的激光制导炸弹,接收由目标反射回来的特定波长的激光,并透过滤光片由聚焦透镜聚焦到探测器上,经处理后变为控制信号操纵炸弹的飞行方向,从而大大提高投弹的命中率。例如在海湾战争中,美国和法国空军大量使用的“宝石

路” III 型 GBU-24, GBU-27 激光制导炸弹及法国宇航公司研制的 AS-30 激光制导炸弹均采用半主动式激光制导方式。

还有一种更为理想的全主动式激光制导方式,它将激光照射器和目标寻的器都装在导弹上,由激光照射器向目标发射激光,导弹本身的目标寻的器接收目标的反射信号,通过弹上的自身控制系统将导弹引向目标。

激光制导武器的出现,改变了现代空袭战术的模式,对预定目标只需小编队的轰炸机的突击,无需大编队的轰炸机反复多次进入,也有效地减少了空袭中平民的伤亡。海湾战争初期,面对多国部队的空袭,伊拉克首都巴格达街头居民经商、娱乐一如战前,这与多国部队广泛使用精确制导的激光炸弹有关。

但是,激光制导受天气和战场条件的影响较大,在大雪、浓雾情况下,激光每输送 1km,要损失 55% 的能量,从而降低了作战效果;另外,激光光束狭窄,因而搜索能力差,用激光照射时容易暴露己方的目标。使用烟幕遮蔽等手段,也可以大大减弱激光制导炸弹的效能。在越南战争期间,越南北方就通过施放烟幕并辅以喷水遮蔽等办法,有效地保护了河内发电厂。为此,激光制导也常与其他制导手段配合使用。例如,激光制导可以与电视制导配合使用,即首先由目标指示机上的驾驶员通过电视摄像机瞄准目标后,发射激光束,以便载弹机很快搜索目标,点火发射,导弹发射后,装在导弹头部的激光制导装置可以根据接收到的激光回波,对导弹进行末端制导。

目前,有一些反坦克导弹是利用激光进行光纤制导的,其功能远远优于金属导线制导的导弹。光纤制导小巧玲珑,既可传送窄频指令信号,又可传送宽频视频信号,装在导弹头部的微型摄像装置和各类传感器,可将目标及战场景象通过双向光纤传输线传送到控制系统的显示器上,使射手对战场情况一览无遗,信号由计算机处理后再通过光纤向导弹发出击毁目标的指令。因此,光纤制导的导弹无需人的视力瞄准而可自动寻的,复杂的电子控制系统可以从

弹上移到地面,从而降低导弹的研制成本,也降低了对发射阵地的要求,发射人员还可借助于地形和烟幕等隐蔽自己,从而提高战场人员的生存能力。光纤制导的指令是在光纤中传递的,对方无法干涉,也无法探测,即使光纤浸入水中,制导系统也能照常工作。

#### 4 惯性制导

第二次世界大战期间,第一种实用的惯性制导设备出现在德国的 V-2 火箭上。目前,惯性制导系统已广泛应用于弹道式导弹和大多数空间技术工程中。

从物理学的观点来看,惯性制导的基本原理是根据物体的惯性来确定导弹的飞行弹道,以达到制导的目的。现代惯性制导系统主要由结构精密的陀螺和几个加速度计组成。导航陀螺的主要功能是在导弹上建立一个相对惯性坐标系不变的稳定平台,以便随时测量出导弹绕重心的角运动,并将加速度计同任何旋转运动隔离开来。加速度计的主要功能是测量导弹在飞行中所产生的俯仰、偏航和滚动各方向的加速度。飞行器上的模拟计算机或数字计算机的主要功能是将导弹的运动信息进行综合、计算,并向导弹的姿态控制系统和推进系统发出指令,以实现运载器的惯性制导。

加速度计用作惯性制导系统的信息源,它是弹道导弹惯性精密制导系统最重要的元件之一,要求测量误差小于 1/50000。

图 2 为加速度计的构造原理示意图。滑块通过弹簧与底座相连。在敏感轴方向上,滑块可相对于底座运动。当导弹作匀速运动时,滑块两边的弹簧弹力相等,滑块相对于底座静止。当导弹加速运动时,滑块相对于底座产生位移,滑块两边弹簧的长度亦发生改变(图 3)。根据胡克定律和牛顿运动定律,弹簧形变越大,弹力越大,加速度越大,则由滑块相对于底座的位移可以判断导弹的加速度(即滑块的加速度与位移的大小成正比)。

因此,我们只要安装一定的电器装置,使滑

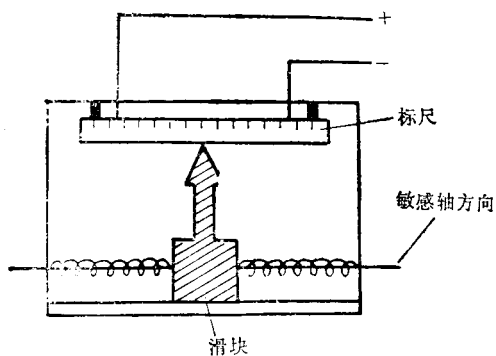


图2 加速度计

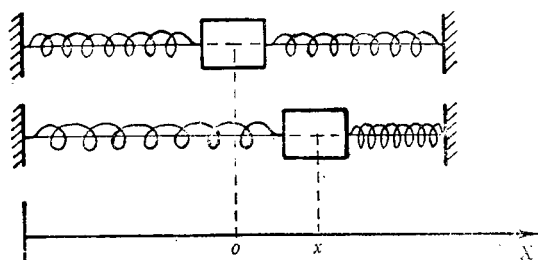


图3 滑块两边的弹簧

块的位移可以控制电信号的强弱，并将电信号输送给导弹的有关系统，以改变导弹的速度或运行姿态。

惯性制导的优点在于其全部工作均在弹上进行，不受外界干扰，不受距离限制，可全天候工作，可同时发射若干枚导弹。因此，美国和俄罗斯的地地中程导弹、地地洲际导弹和潜地导弹几乎全都装有惯性制导系统。惯性制导还克服了雷达制导受区域限制的缺点。例如当导弹飞行至地平线以下时，雷达跟踪站就不能起到无线电制导的作用，而惯性制导却不受此限制。

不难看出，物理学的基本原理在现代军事科学技术的发展中起着十分重要的作用，显示出新的活力。看上去非常神秘的导弹中的精密惯性制导系统，却应用了牛顿运动定律和胡克定律这样最基本的物理学原理。

当然，惯性制导系统也有误差较大、精度不高不足之处，尤其是积累误差随着射程的增加而增加。

## 5 其他制导方法

### 5.1 电视制导

本世纪40年代以来，物理学的发展促进了电视技术的不断完善，并很快被应用于军事领域。

电视制导是利用电视摄像机捕获、识别、定位、跟踪直至摧毁目标的。由于电视的分辨率高，能提供清晰的目标图像，便于鉴别真假目标，制导精度很高。但因为电视制导是利用目标反射可见光信息进行制导的，所以在烟、雾、尘等能见度差的情况下，作战效能下降，夜间不能使用。

电视制导的方式有三种：

#### 5.1.1 电视寻的制导

把电视摄像机装在精确制导武器的弹体头部，由弹上的电视摄像机和跟踪电视自动寻的和跟踪目标。

#### 5.1.2 电视遥控制导

精确制导武器上装有微波传输设备，精确制导武器上的电视摄像机摄取的目标及背景图像用微波传送给制导站，由制导站形成指令再发送回精确制导武器，导引精确制导武器命中目标。这种制导方式可以使制导站对攻击情况一目了然，在多目标情况下便于操作人员选择最重要的目标进行攻击。缺点是受能见度的影响大，而且由于采用微波发送信号，易受电磁干扰。美国的“秃鹰”空地导弹就采用了这种制导方式。

#### 5.1.3 电视跟踪指令制导

外部电视摄像机捕获、跟踪目标，由无线电指令导引精确制导武器飞向目标。

### 5.2 地图匹配制导

地图匹配制导系统通常用作修正远程惯性制导的导弹在中段和末段制导中的误差。其方法是：把选定的飞行路线中段和末段下方的若干地区的地面特征图，预先贮存在弹上，当飞行到这些地区时，将导弹探测器现场实测到的地面图像同预先贮存的地面图像作相关对照，检

物理

查两者的差别,根据地图对应的误差计算出导弹的飞行误差,再由弹上的计算机算出控制指令,修正导弹的航向,使之沿着预定的航线飞向目标。

存贮在弹上的地面图像是由侦察卫星或其他飞行器预先测定的,经过计算机处理成数字信息后贮存在弹上的计算机中。由于同一地域对于可见光、微波、红外、激光所表现的地面特征并不相同,从而可构成反映各种特性的地图,实现各种地图匹配制导,例如微波雷达图像匹配制导、可见光电视摄像匹配制导、激光雷达图像匹配制导、红外成像匹配制导等。

地图匹配制导的制导精度与射程无关,即使射程达几千公里,也可达到较高的精度。

### 5.3 毫米波制导

毫米波指波长为 10—1mm 的电磁波,对应频率为 3—300kHz,它介于微波和红外波段之间,同时兼有两个波段的特性,是高性能制导系统比较理想的频段。毫米波制导既避免了电视、红外制导系统全天候能力差的弱点,又比微波制导精度高,抗干扰性强,并且由于毫米波制导系统的天线和其他元器件的尺寸小、重量轻,所以特别适于在弹体尺寸小的精确制导武器上使用,甚至可以装在制导炮弹的弹头上。

毫米波主动寻的制导和半主动寻的制导的原理与微波的相应制导方式类同。然而,毫米波被动寻的制导系统常用的是一种称为毫米波对比寻的制导方式,其原理是:任何处于绝对温度零度以上的物体,因分子和原子内部的热运动,不仅要向外辐射红外能量,还要辐射微弱的毫米波能量。毫米波对比寻的装置利用一个高灵敏度的接收机(又称毫米波辐射计)来测量毫米波辐射能量,然后由寻的装置中的计算机完成对目标和背景的对比识别,将目标同背景区分开来,从而对目标进行定位。由于目标辐射的毫米波能量微弱,这种对比寻的制导方式只能在距目标很近时才能使用,所以一般要同

其他制导系统配合使用。

近年来毫米波寻的制导技术进展很快。例如,美国的“黄蜂”空地导弹采用了毫米波主动寻的与被动寻的复合制导系统,美国的“萨达姆”制导炮弹的弹头上采用了毫米波被动寻的制导装置。随着毫米波元器件自动化生产问题的解决和目标识别技术的成熟,毫米波寻的制导将会被广泛地运用。

综上所述,每一种制导方式都有缺点,如能取长补短,则能趋利而避害,所以远程的精确制导武器一般都要用两种以上的制导方式构成复合制导系统。这样不仅提高了制导精度,而且增强了抗干扰的能力。复合制导的形式很多,例如法国的“飞鱼”反舰导弹,发射后先按惯性制导作超低空掠海飞行,在接近目标时才转为雷达主动寻的制导;又如前苏联的“SA-4”防空导弹,发射后先用作用距离较远的指令制导,飞行末段用精度比较高的半主动雷达寻的制导;还有美国的“战斧”巡航导弹,在整个飞行过程中都用惯性制导,中段用地图匹配制导来修正惯性制导的误差。

复合制导系统一般结构比较复杂,体积大,成本高,而且因元器件多有时反而降低了系统的可靠性。可以相信,经过军事科学家的不懈努力,复合制导系统将不断朝着小型化、低成本、高可靠性的方向发展,并获得愈来愈广泛的应用。

### 参 考 文 献

- [1] 冯毅、朱幼文,现代电子国防技术与战略,军事译文出版社,(1987).
- [2] J. B. Marion, Physics in The Modern World, Academic Press, (1981).
- [3] 程守洵,普通物理学,高等教育出版社,(1985).
- [4] 陈心中、徐润君,军事中的物理学,国防大学出版社,(1992).
- [5] 兵器知识编辑部,兵器知识精华本,兵器知识杂志社,(1993).