

V448.
1013

V448
1013-1

多模复合寻的制导技术

刘隆和 编著



一九九九年一月十五日



30778770

国防工业出版社

· 北京 ·

778770

图书在版编目(CIP)数据

多模复合寻的制导技术/刘隆和编著. —北京:国防工业出版社, 1998. 4

ISBN 7-118-01871-6

I. 多… II. 刘… III. 制导, 复合-技术 IV. V448.134

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01123 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 8 $\frac{7}{8}$ 228 千字

1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 15.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

随着科学技术的发展,人类战争的形式也在不断地发展变化。这里我引用钱学森同志的一段话:“从人类历史的过程看,最初出现的战争是徒手战争,然后有了冶炼技术,才出现了冷兵器战争。继之,是由于火炸药的发明,才出现了热兵器战争。科学技术的进一步发展,又导致内燃机的制造和其它机械兵器的制造,于是战争又进而演化为机械化战争。到了本世纪 50 年代,更因核技术和火箭技术的发展,出现了远程核武器。远程核武器的巨大破坏力,再加上现在高度发展的信息技术和电子计算机技术,就形成现阶段和即将到来的 21 世纪的战争形式:在核威慑下的信息化战争。”在核威慑下的信息化战争中使用的兵器,统称为高技术兵器。

现代已进入高技术兵器时代。高技术兵器包括:精确制导武器、高度电子化武器、人工智能武器、聚能武器、隐身武器和天基兵器等。武器装备的自动化和智能化是装备发展的主要趋势。

智能化武器中最为突出的是精确制导武器。精确制导武器从单一制导的初级阶段逐步发展到现在,具有一定智能、推理、理解、判断、学习和图像识别等功能的较高级的阶段,主要依靠多模复合寻的制导技术。

多模复合寻的制导是一种新型制导技术,该项技术自 20 世纪 80 年代以来,已经得到迅速发展,预计它将成为 21 世纪精确制导技术的佼佼者。

多模复合寻的制导的形式,依不同的应用需求,采用不同的组合方式。以红外寻的为主要“搭档”的各种双模导引头已经投入使用。光学双色导引头发展最快,目前已广泛应用在便携式地/空导弹。

在各种复合形式中,主/被动复合形式是最佳复合方式,因为这种组合在性能上能更好的发挥其各自的优点,达到模式性能的互补。

普遍认为,在未来智能制导中毫米波与红外成像复合是最好的技术途径,它可以大大提高精确制导武器的智能水平和作战能力。

随着光电技术、微电子技术和超大规模集成技术的发展,复合寻的制导将向更多模式的复合形式发展。目前,日本已着手研制21世纪中程面/空导弹用的微波/毫米波/红外三模寻的装置,这是发展趋势的例证。

为了推动多模复合寻的技术的发展,提高制导系统的智能水平,缩短武器装备智能化的进程,作者汇集了多年研究成果写成此书。

本书共分八章。第一章精确制导技术,叙述了精确制导武器的定义、技术范围和发展方向;第二章多模复合寻的制导的发展与应用,叙述了多模复合寻的制导的发展过程,发展现状和典型装备;第三章多模复合寻的制导的信号合成,论述了多模寻的复合的原则、信号合成的方法和性能分析;第四章相位干涉仪寻的制导,叙述了相位干涉仪测角原理、角模糊的解决方法、旋转解测角模糊、相位测量的误差分析、相位干涉仪的介质天线、典型应用系统和应用前景分析;第五章红外点源寻的制导,叙述了红外点源导引头的组成及工作原理、作用距离、红外光学系统、红外探测器、信号检测和角搜捕、角跟踪系统;第六章红外成像寻的制导,叙述了红外成像系统的组成及工作原理、主要技术指标、总体设计、视频信号处理器、红外凝视阵列系统、红外成像的仿真和发展方向;第七章毫米波寻的制导,叙述了毫米波的传播特性、工作特点、制导体制、主要技术指标、典型系统举例和毫米波成像寻的;第八章双模复合寻的制导系统,介绍了三种复合寻的制导系统实例:雷达/红外双模复合、毫米波主/被动双模复合和多模选择复合等。

最后,我要特别感谢海军航空工程学院领导和“通信与电子系

统”学科点的同志们对撰写此书的支持；向本书引用的参考文献的各位作者表示诚挚的谢意，感谢他们的劳动丰富了该书内容。

由于时间仓促，错漏及不妥之处难免，恳请同行专家及广大读者予以指正。

刘 隆 和

于烟台海军航空工程学院

1997 年 2 月

目 录

第一章 精确制导技术

1.1 精确制导武器的概念	1
1.2 精确制导武器的制导技术	3
1.2.1 遥控制导技术	3
1.2.2 地图匹配制导	4
1.2.3 寻的制导	5
1.3 未来战争对精确制导武器的要求	8
1.3.1 高精度	8
1.3.2 自动寻的能力	9
1.3.3 强抗干扰能力	9
1.3.4 轻小型化	10
1.4 精确制导技术的发展	10
1.4.1 探测技术	10
1.4.2 惯性敏感技术	13
1.4.3 智能化信息处理技术	14
1.4.4 高精度的控制技术	15
参考文献	15

第二章 多模复合寻的制导的发展与应用

2.1 反舰导弹寻的制导的发展	17
2.2 防空导弹寻的制导的发展	18
2.3 多模复合寻的制导的现状	19
2.4 旋转弹体(RAM)导弹	25
2.5 防空压制导弹(ADSM)	26

2.6 SIAM 舰/空导弹	28
参考文献	30

第三章 多模复合寻的制导的信号合成

3.1 单一模式寻的性能比较	31
3.2 多模寻的复合原则	32
3.3 多模复合寻的制导的信号合成	36
3.3.1 同控式多模导引头的信息融合	37
3.3.2 转换式多模寻的制导指令形成	40
3.4 复合寻的制导的性能分析	42
3.4.1 复合寻的制导探测器的结构及性能	43
3.4.2 复合寻的制导检测性能及抗干扰性能	45
3.5 模糊推理的多模复合导引头数据融合模型	51
3.5.1 模糊推理方法	52
3.5.2 多模复合导引头数据融合模型	53
参考文献	57

第四章 相位干涉仪寻的制导

4.1 相位干涉仪寻的制导概述	59
4.1.1 相位干涉仪的制导功能	59
4.1.2 相位干涉仪寻的制导的特点	60
4.1.3 相位干涉仪设计中的关键技术	64
4.1.4 相位干涉仪制导的工程应用	66
4.2 相位干涉仪的测角原理	67
4.2.1 角度测量	67
4.2.2 角度模糊	68
4.2.3 角速度的测量	69
4.3 角模糊的解决方法	71
4.3.1 多基线法	72
4.3.2 多频率法	73
4.3.3 章动天线法	74
4.3.4 利用特殊方向图技术	75

4.4	旋转式相位干涉仪克服测角模糊	76
4.4.1	基本原理	76
4.4.2	内环电路	78
4.4.3	目标在三维空间任意方向	83
4.5	相位干涉仪的宽频带含义	85
4.6	相位干涉仪相位测量的误差分析	87
4.6.1	多途径误差	87
4.6.2	极化误差	88
4.6.3	相位测量误差	89
4.7	相位干涉仪的介质天线	89
4.7.1	介质天线的辐射场	91
4.7.2	介质天线的方向图	93
4.7.3	实验模型	96
4.8	相位干涉仪的应用前景	97
4.8.1	在导弹上的应用前景	98
4.8.2	被动相位干涉仪在地面、舰面防空探测系统中的应用 前景	99
4.8.3	在前沿阵地组建全被动探测系统	101
4.9	比幅/相位干涉仪导引头	101
4.9.1	基本组成与工作原理	101
4.9.2	相位干涉支路	102
4.9.3	比幅支路	105
4.9.4	测角模糊的解	106
参考文献		108

第五章 红外点源寻的制导

5.1	红外点源导引头的组成及其工作原理	111
5.2	红外点源导引头的作用距离	113
5.2.1	探测器噪声限点源目标作用距离方程	114
5.2.2	背景噪声限点源目标作用距离方程	120
5.3	红外光学系统	122
5.3.1	红外光学系统的基本组成与功用	122

5.3.2	红外光学系统的性能	123
5.3.3	像点质量	125
5.3.4	典型红外光学系统举例	127
5.4	红外探测器	130
5.4.1	红外探测器的种类	130
5.4.2	红外探测器的特性参数	132
5.4.3	红外探测器的性能背景限	136
5.5	信号检测	138
5.5.1	红外导引头的探测概率和虚警概率	138
5.5.2	偏置及低噪声放大器	140
5.5.3	信号动态范围及其控制	142
5.5.4	基准信号与鉴相电路	144
5.6	角搜捕与角跟踪系统	146
5.6.1	角搜捕系统的基本工作原理	146
5.6.2	角搜捕系统的技术指标	148
5.6.3	红外角跟踪系统	149
5.6.4	红外角跟踪系统的数学模型	151
	参考文献	153

第六章 红外成像寻的制导

6.1	概述	154
6.1.1	红外成像导引技术的特点	154
6.1.2	红外成像导引技术的发展	155
6.2	红外成像导引头的组成及工作原理	156
6.2.1	实时红外成像器	156
6.2.2	视频信号处理器	159
6.3	红外成像器的主要技术参数	160
6.3.1	作用距离	160
6.3.2	其它主要技术参数	164
6.4	红外成像器的总体设计	168
6.4.1	设计的基本原则	168
6.4.2	目标参数分析	171

6.4.3	对目标可分辨性能的判据	172
6.4.4	红外成像器的扫描方式	175
6.5	红外图像的视频信号处理器	179
6.5.1	信号的预处理	179
6.5.2	目标的识别	184
6.5.3	目标的跟踪	188
6.5.4	视频信号处理器的硬件设计	192
6.6	中波红外凝视阵列系统	196
6.6.1	焦平面阵列探测器	197
6.6.2	光谱通带的选择	197
6.6.3	光学系统的选择	197
6.6.4	焦平面阵列控制电路	198
6.6.5	补偿电路	198
6.7	红外成像器的发展方向	199
6.7.1	红外成像器现状	199
6.7.2	未来的应用使命和性能要求	199
6.7.3	新成像器设计方案的构想	200
6.8	红外成像的仿真	202
6.8.1	红外成像仿真系统的主要技术指标	203
6.8.2	红外目标/背景图像的仿真	204
6.8.3	红外成像仿真技术发展动态	209
	参考文献	211

第七章 毫米波寻的制导

7.1	毫米波的传播特性	213
7.2	毫米波寻的制导的特点	215
7.2.1	毫米波寻的制导的工作特点	215
7.2.2	毫米波寻的制导的潜在抗干扰能力	217
7.3	毫米波寻的制导体制	220
7.4	毫米波寻的制导雷达的典型技术参数和性能	222
7.4.1	工作波长的选择	223
7.4.2	脉冲宽度的选择	223

7.4.3	发射功率的选择	224
7.4.4	寻的制导雷达的精度	227
7.4.5	典型技术参数	229
7.5	毫米波主动寻的制导雷达的典型举例	230
7.5.1	寻的制导雷达的体制选择	230
7.5.2	毫米波主动寻的制导雷达的典型组成	331
7.5.3	抗干扰性能分析	234
7.5.4	最大作用距离的估算	236
7.6	毫米波成像制导	239
7.6.1	毫米波辐射计成像的基本工作原理	239
7.6.2	辐射计成像系统组成及技术指标	243
7.6.3	数字图像处理	244
7.7	毫米波复合近程探测系统	245
7.7.1	双频主/被动复合探测系统的组成	245
7.7.2	双频主/被动复合探测系统的分析	246
	参考文献	249

第八章 双模复合寻的制导系统

8.1	雷达/红外双模复合导引头	250
8.2	毫米波主/被动双模复合寻的制导	256
8.2.1	主动寻的系统	256
8.2.2	被动寻的系统	258
8.2.3	毫米波主/被动双模复合寻的制导的反隐身功能	261
8.3	多模选择复合制导系统	262
8.3.1	天线系统	262
8.3.2	组成及工作原理	263
8.4	多模复合寻的转换逻辑	265
8.4.1	并联方式	266
8.4.2	串联方式	268
8.4.3	多模复合合成控制	269
	参考文献	270

第一章 精确制导技术

1.1 精确制导武器的概念

所谓精确制导武器是指命中精度很高的导弹、制导炮弹、制导炸弹、制导鱼雷等制导武器的总称。而且主要是指非核弹头的高精度战役、战术制导武器。“精确”是相对的概念,是指这些武器对射程内的点目标如坦克、装甲车、飞机、舰艇、雷达、桥梁、指挥中心等有很高的直接命中概率。多数人认为,直接命中概率高于 50% 的制导武器才称为精确制导武器。

精确制导武器这一术语起源于 20 世纪 70 年代,主要由于当时爆发了几次局部战争,在几次战争中,精确制导武器发挥了巨大作用。1972 年,美国在越南战争中大量使用激光和电视制导炸弹,炸毁了约 80% 的被攻击目标,同无制导的普通炸弹相比战斗效能提高了几十倍。1977 年第四次中东战争中,以色列空军发射 58 枚美制电视制导“小牛”空对地导弹,击毁了埃及 52 辆坦克,而埃及使用苏制“AT-3”反坦克导弹,同样也取得辉煌战果。以色列用一个坦克旅向埃及的桥头堡进攻时,最初 3 分钟里就有 85 辆坦克受损。1991 年的海湾战争中,精确制导武器更是大显身手,充当了战场的主角。多国部队使用了大约 20 种精确制导武器:“战斧”巡航导弹、“爱国者”防空导弹、“斯拉姆”空/地导弹、“哈姆”反辐射导弹、“海尔法”反坦克导弹、“响尾蛇”和“麻雀”空/空导弹和激光制导炸弹等。由于上述精确制导武器的赫赫战绩,使精确制导武器的概念逐渐扩大,精确制导武器这一术语逐步被人们接受,现在已被世界各国公认。很多国家都明确地把精确制导武器列为重点发展

的常规武器,并投入了大量人力、物力和财力。

精确制导武器的特点:

(1)命中精度高

精确制导武器的基本特征是命中精度高。直接命中目标的概率高于 50%,这就要求对点目标的圆概率误差在 0.9m 以内,对普通地域目标的圆概率误差在 3m 以内。为达到这么高的命中精度,射程远的精确制导武器多采用复合制导方式,即在飞行初始段和中段使用成本低、精度不高的制导系统,在飞行的末端采用高精度的寻的末制导系统。所以说,精确制导武器的高精度是末制导保证的,有人认为:没有末段制导的武器不可能是精确制导武器。

(2)作战效能高

一枚数万美元的反坦克导弹可以击毁几百万美元一辆的坦克;一枚百万美元的防空导弹可以击落几千万美元一架的飞机;20 万美元一枚的“飞鱼”反舰导弹曾击沉价值 20 亿美元的“谢菲尔德号”驱逐舰。所以,尽管精确制导武器的技术复杂,单发武器的成本高,但作战的效能更高。例如,美国空军在使用普通炸弹轰炸越南清河大桥时,出动近 600 架次飞机,投弹数千吨,损失飞机 18 架,未能炸毁。改用激光制导炸弹后,仅出动几架 F-4 飞机就炸毁了该桥,飞机无一损伤。据国外统计,完成同一轰炸任务,精确制导武器的效费比约为常规炸弹的 25~30 倍。

(3)大量应用微电子技术和光电技术

精确制导武器的核心是制导系统,制导系统的关键技术是微电子技术和光电技术。精确制导武器从发射到命中目标全过程是由制导系统控制的。制导系统大量应用的是微波、毫米波、红外、电视等技术进行对目标的搜索、捕捉、识别和跟踪。目前,随着电子对抗技术的发展,精确制导武器的作战环境是高度激烈对抗,要求精确制导武器要能抗击任何干扰手段,完成这一使命也要靠微电子技术和光电技术。所以,各国都非常重视精确制导武器的技术先进性,特别是制导精度和电子对抗技术的先进性。其关键技术是探测技术和高速信号处理技术。这些技术的基础是光电器件、信号高

速处理和弹载计算机技术等。

微电子技术和计算机技术的发展,使制导系统向微型化、智能化方向发展。仅 37kg 重的地形匹配系统就能使巡航导弹的精度提高到 30m 的圆概率误差,加之具有很强的突防能力,该武器已成为一种有效的进攻性武器。

1.2 精确制导武器的制导技术

精确制导武器是通过弹上探测和制导系统,随时测定它与目标间的相对位置和相对运动,根据偏差的大小和运动状态形成控制信号,控制制导武器的运动轨道,使之最终命中目标的。所以制导系统是精确制导武器的核心。

现在精确制导武器上运用的制导技术有以下几种。

1.2.1 遥控制导技术

遥控制导是以设在精确制导武器外部的制导站完成目标和导弹的相对位置与相对运动的测定,然后引导制导武器飞向目标。遥控制导分为指令制导和驾束制导两类。

(1) 指令制导

制导站根据制导武器在飞行中的误差计算出控制指令,将指令通过有线或无线的形式传输到制导武器上,控制制导武器的飞行轨迹,直至命中目标。指令制导又有有线指令制导与无线指令制导之分。

有线指令制导:它的指令是靠导线传输给导弹的。主要用于射程为几公里的反坦克导弹,它依靠射手目视观测发现目标并进行定位,在能见度好、地形平坦、射手操作熟练的情况下,有很高的命中精度。现代的有线指令制导多是“光纤制导”,用光纤传输指令,由装在导弹上的电视摄像机获取目标的图像,目标的图像送到制导站,制导站形成控制指令再经光纤送回导弹。这种导弹可攻击制导站直视达不到的山坡和障碍物后面的目标。

无线指令制导:它的指令是靠无线方式(如雷达波方式)传输给导弹的。它由制导雷达分别测出目标和导弹的相对位置和速度,并经计算形成控制指令,然后用天线发送出无线电遥控指令,纠正导弹的飞行,直到命中目标。这种制导方式的作用距离远,弹上设备少。但它的缺点是易受外界干扰,且有制导距离越远,制导精度越低的缺陷,故一般只作为中段制导使用。

无线指令制导的另一种形式是电视遥控制导。它是导弹头部装有电视摄像机,它将目标和背景的图像通过发射机用微波发送给制导站,由制导站形成指令再发给导弹,引导导弹击中目标。这种制导方式的优点是在多目标情况下,操作人员可以选择最重要的目标进行攻击;其缺点是,指令容易受电子干扰,且图像的质量受能见度的影响较大。

(2) 驾束制导

驾束制导系统是由指挥站和精确制导武器上的制导控制装置组成的。指挥站发现目标后,通过雷达波束或激光波束照射目标,当导弹发射后飞入波束,导弹的控制装置自动测出它偏离波束轴线的角度和方向,控制导弹沿波束轴线方向飞行,由于天线轴线始终对准目标,故能引导导弹命中目标。

为使制导精度高,波束应很窄,波束窄导弹又难以进入,为解决此矛盾,指挥站通常要发出宽窄不同的两个照射波束,两波束轴线重合。宽波束用来进行粗制导,窄波束用来瞄准目标。

驾束制导的优点是可以同时制导数枚导弹,且由于控制装置直接接收波束能量,不易受干扰。其缺点是攻击过程中,指挥站必须始终照射目标,因此指挥站容易受到敌方的攻击。这种制导方式尚缺乏同时攻击多目标的能力。

1.2.2 地图匹配制导

地图匹配制导也叫地形匹配制导,它是利用图形识别技术完成导弹制导的。其基本原理是利用飞行路线中的若干地区的地面特征图,预先存储于弹上,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储存的地面图像作相关对照,比较两者的差别,根据地图对应的误差计算出导弹的飞行误差,再由弹上计算机算出控制指令,修正导弹的航向使之沿预定的航线飞向目标。

存储在弹上的地面图像是由侦察卫星或其它飞行器预先测定的,经过计算机处理成数字信息后存储在弹上计算机中。

地形地貌的特征图像因照射能量不同而不同。有可见光电视摄像匹配制导、微波雷达图像匹配制导、激光雷达图像匹配制导和红外成像匹配制导之分。

地图匹配制导的制导精度与射程无关,即使导弹的射程几千公里,也能达到较高的精度,目前已经做到圆概率误差小于 30m,今后随着摄取图像质量的提高和弹上计算机内存和运算速度的提高,误差将越来越小。

地图匹配制导要求弹上计算机有庞大的内存,能存储庞大的数字序列。所以,导弹一般不采用全航程地图匹配制导,而是全程的若干点上用地图匹配制导方法校正惯性制导的误差,或者用地形匹配方法进行末制导。实际系统是惯性制导加地图匹配制导系统。

1.2.3 寻的制导

寻的制导是指导弹能够自主地搜索、捕捉、识别、跟踪目标的制导。它主要用于精确制导武器上。由于寻的装置都装在精确制导武器的头部,故又取名“导引头”。

寻的制导根据目标信息的物理特性不同,分为微波寻的制导、红外寻的制导、电视寻的制导和毫米波寻的制导等。根据目标信息的来源不同,又可分为主动式、半主动式和被动式寻的制导方式。

一、微波寻的制导

微波寻的制导装置主要工作在三公分以上频段,一般是 $\lambda = 3\text{cm}$ 、 2cm 两个波段上。

微波主动式寻的制导装置全部在弹上,工作时发射机向目标