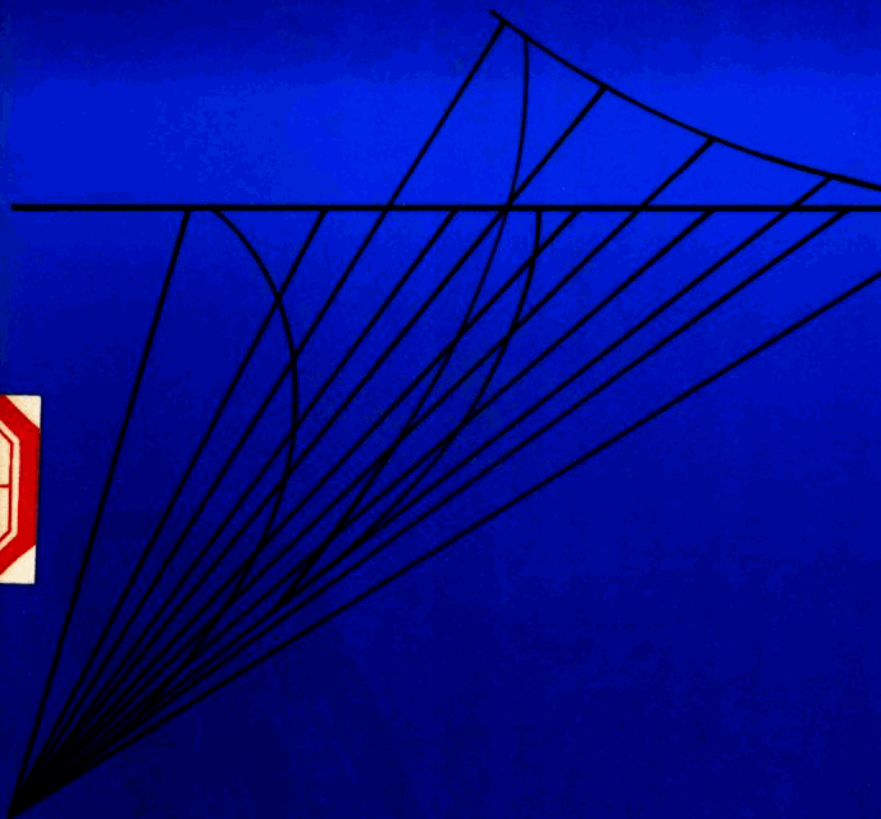


G F G Y G B S

战术导弹导引方法

ZHANSHU DAODAN DAOYIN
FANGFA

程国采 编著



致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金
第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模			
主任委员	黄宁			
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允	曾铎
秘书长	刘琯德			
委员	尤子平	朱森元	朵英贤	刘仁
(按姓氏笔划为序)	何庆芝	何国伟	何新贵	宋家树
	张汝果	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯迁	侯正明	莫梧生	崔尔杰

序 言

战术导弹导引方法是导弹制导系统的核心问题。不同的导引方法将引导导弹按不同的飞行弹道接近目标。导引法的优劣将直接影响到命中目标的精度,所以选择合适的导引法是战术导弹完成战斗任务的基本保证。

本书是在 60 年代我编写的《攻击活动目标导弹飞行原理》^[1]一书的基础上,结合 30 年来战术导弹导引法的发展和本人的科研成果编写而成的。

全书共六章,前三章以 SA-2 导弹为背景,叙述了遥控导引法的运动特性和动态特性,着重研究了在控制系统控制下的回路组成和动态特性。第四、五章介绍了自动瞄准系统的几种典型的导引方法。对比例导引法进行了比较深入的研究,并结合近年来有关的科研资料,介绍了大气层外拦截和反导弹导引法。最后一章概念性地叙述了综合导引弹的弹道联接问题。

随着电子计算机和计算技术的发展,可以在地面或弹上进行比较复杂的计算,因而有可能将最优控制技术、智能控制方法应用到导引法中来。近年来国内外有人将导引法分为古典导引法和现代导引法,把建立在质心运动基础上所实现的三点法、追踪法、平行接近法和比例导引法称为古典制导规律,而把建立在现代控制理论上所推导出来的一些制导规律称之为现代最优制导规律。这种划分方法,我认为是不够确切的。导弹导引法的选择,取决于弹为了完成战斗任务所采用的控制系统、弹上和地面的测控设备、瞄准头和遥控线的组成、弹上能够得到的目标信息。导引法本身只给出弹在接近目标过程中与目标之间的关系,就其运动特性的基本实质来讲有以下几种基本方法,即三点法、导直法、追踪

法、有前置量追踪法、平行接近法、比例导引法。至于为了满足某些性能指标要求而引用优化理论得到的一些导引规律,只能看成是对某种导引法的改进。例如潘兴 I 导弹,为了保证以垂直状态命中目标,在比例导引规律中引入了使弹道转弯项改变了比例导引制导规律;爱国者导弹采用 TVM 制导体制,目的在于充分利用在弹上对目标的测量精度高和地面可进行大量计算的优势,以提高命中的精度。这些制导方法是对导引法的改进,并不建立某种导引法的分类,就自动瞄准系统来讲,其基本导引方法仍然是追踪法、有前置量追踪法、平行接近法和比例导引法。

实际上,我们可以将自动瞄准导引法归结为纯追踪法和有前置量追踪法,或者归纳为常值导航参数的比例导引法和变导航参数的比例导引法,而遥控导引法可归纳为三点法和有遥控前置量的导引法。

本书主要研究基本导引规律的运动学和动力学,为战术导弹总体设计和控制系统设计提供理论基础和设计方法。书中对具体导引法虽作了介绍,但并不能看成是导引法一种的分类,更不应把它看成是区别于所谓古典导引法的现代导引法。

本书的出版得到西北工业大学陈士橹教授、哈尔滨工业大学吴瑶华教授和国防科技大学张良起教授的支持和推荐,在此表示感谢。

作者

内 容 简 介

本书对战术导弹几种典型的导引方法如三点法、导直法、半导直法、纯追踪法、有前置量追踪法、平行接近法和比例导引法及其在某些导弹上的实现,进行了全面地、深入地分析与研究,特别是联系导弹控制系统,研究了各种导引法导引的动态特性。本书是作用综合 30 多年来的教学和科研实践编写而成的,选材丰富、内容深入浅出,是战术导弹总体设计和控制系统设计的重要参考书。可供导弹总体设计师、控制系统设计师和有关专业大学本科学生和研究生阅读与参考。

ISBN 7-118-01504-0/V · 119

定价:18.40 元

目 录

第一章 绪论

- § 1.1 战术导弹导引法分类及其特点 (1)
- § 1.2 导弹的空间运动方程的建立 (11)
- § 1.3 倾斜平面上的运动方程 (31)

第二章 遥控导弹的导引运动学

- § 2.1 遥控导弹导引法的选择依据及导引平面的概念 (33)
- § 2.2 遥控导弹按三点法导引时,在倾斜平面上导弹的运动方程 (36)
- § 2.3 按三点法导引时,等速运动弹道法向加速度分析 (43)
- § 2.4 按三点法导引时,等速运动的法向加速度禁区的确定 (51)
- § 2.5 在倾斜平面上,变速运动三点法运动方程及其运动参量变化举例 (55)
- § 2.6 按三点法导引时,变速运动弹道法向加速度分析 (58)
- § 2.7 按三点法导引时,实际法向加速度禁区的确定 (63)
- § 2.8 按三点法导引时,导弹的空间运动方程 (65)
- § 2.9 指令制导系统导引法的研究——全导直法和半导直法 (70)
- § 2.10 按半导直法导引时,在倾斜平面上导弹的变速运动方程 (84)
- § 2.11 杀伤区的基本概念及其边界的近似确定法 (91)

第三章 遥控导弹导引动力学

- § 3.1 在控制系统控制下导弹的运动方程 (98)
- § 3.2 地面引导站结构方块图的组成及其传递特性 (103)
- § 3.3 空间扭转的产生及通道联系 (123)
- § 3.4 弹上控制系统回路的组成 (139)
- § 3.5 弹上控制系统回路的校正 (144)

第四章 自动瞄准导弹的导引运动学

§ 4.1	自动瞄准导引法的选择标准及运动方程	(155)
§ 4.2	纯追踪法理想弹道运动特性	(159)
§ 4.3	常前置角追踪法理想弹道的运动特性	(179)
§ 4.4	比例导航法理想弹道运动特性	(205)
§ 4.5	平行接近法理想弹道运动特性	(228)
§ 4.6	各种导引法实现方法简介	(234)
§ 4.7	自动瞄准导弹的空间运动	(241)
§ 4.8	空间比例导引法的研究	(251)
§ 4.9	自动瞄准导弹脱靶量的产生及其计算方法	(267)
§ 4.10	反导弹导弹导引法中预测命中点的计算	(280)
§ 4.11	预测命中点的近似确定方法	(290)
§ 4.12	预测命中点概念的推广——近似确定 R_m^* 、 e_m^* 、 β_m^*	(293)
§ 4.13	现状导引法及其特性	(301)
§ 4.14	大气层外拦截目标的导引法研究	(306)
第五章 自动瞄准导弹导引动力学		
§ 5.1	自动瞄准导弹控制系统结构方块图的组成	(325)
§ 5.2	比例导引法系统结构图的组成及其控制特性	(335)
§ 5.3	三通道结构方块图及系统控制下的运动方程	(338)
§ 5.4	再入机动导弹落速控制方法及三通道控制回路的组成	(341)
§ 5.5	自动瞄准系统动态特性的近似研究	(351)
第六章 综合制导若干问题		
§ 6.1	引言	(366)
§ 6.2	遥控向自动瞄准过渡时的若干问题	(367)
§ 6.3	遥控转自动瞄准的弹道联接问题	(378)
§ 6.4	平滑过渡问题	(383)
参考文献		(390)

第一章 绪 论

§ 1.1 战术导弹导引法分类及其特点

战术导弹通常是指攻击各种运动目标的导弹和攻击固定目标的近程导弹。战术导弹导引法要解决的问题与远程弹道导弹制导方法要解决的问题不同,其区别在于:

(1) 远程弹道导弹通常采用威力大的核弹头,其杀伤半径较大,而战术导弹通常采用常规弹头,杀伤半径小,要求命中精度高。

(2) 远程弹道导弹往往不进行全程控制,制导的目的是如何根据目标坐标选择关机方程使落点偏差最小,而战术导弹则是全程控制的,根据所测得的弹和目标的信息进行导引,以拦截目标。

(3) 远程弹道导弹射程远,微小的干扰因素会引起较大的落点偏差,故对地球形状、旋转、引力、气象因素的影响,都要严格细致地加以考虑,而战术导弹射程小,可以将地球看成是不旋转的圆球,甚至可当成平面来考虑。

(4) 远程弹道导弹大部分弹道在稠密大气层外,往往采用燃气舵或旋转发动机来控制,而战术导弹除高空拦截和反卫星导弹外,都在大气层内运动,通常采用空气舵来控制。

(5) 远程弹道导弹控制和测量仪表均安装在弹上,往往采用全惯性制导,而战术导弹有可能所有仪表都安装在弹上(如自动瞄准弹),但也有可能分别地安装在弹上和弹外(地面、舰艇上、飞机或卫星上如遥控弹)。

(6) 远程弹道导弹攻击已知的地面固定目标,其弹道基本上在射面内或射面附近,而战术导弹的弹道取决于目标运动规律和发射点的位置,往往是空间运动。

由于上述的种种区别,故远程弹道导弹和战术导弹所研究的问题及解决问题的方法都是不一样的。战术导弹导引法要研究的问题是:

(1)把目标和导弹看成是两个质点,来研究导引法的选择及导引法的自身特点——导引运动学。

(2)把目标和导弹看成是刚体,来研究在控制系统控制下的运动特性和动态特性——导引动力学。

按控制测量仪表的组成及其安装方式,导弹控制系统可分为四大类。

1.1.1 自主控制系统

具有自主控制系统的导弹制导系统的仪表均安装在弹上,发射后不利用外部信息,进行全程惯性制导,如远程弹道导弹。战术导弹除攻击固定目标的近程弹道导弹外,都不采用全自主控制,其导引法与远程弹道导弹制导方法相类似^[1],本书不进行介绍。

1.1.2 遥控

遥控亦称远距离控制,这种控制系统的控制部件分为两部分,一部分在弹上,一部分在弹体之外的引导站内,其示意方块图如图1.1所示。引导站测量、产生和发射控制弹的指令信号,而弹上控制系统则接收由引导站发射来的指令信号,通过自动驾驶仪控制

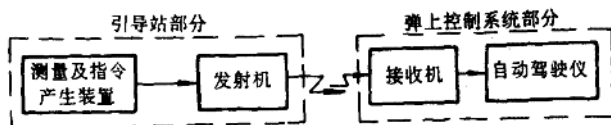


图 1.1 遥控制导系统示意图

导弹以消除误差,引导站可以在地面、舰上、飞机和人造卫星上,如果是空中目标,则以此分为地空导弹、舰空导弹和空空导弹,如果是地面和海上目标,则分为地地导弹、舰地导弹、空地导弹、地舰导

弹、舰舰导弹和空舰导弹。

遥控系统按其结构和导引法的特点,可分为波束制导和指令制导两种。

一、波束制导

波束制导系统亦称驾束制导系统,即在导弹的飞行过程中保证导弹在引导站的雷达天线波束的轴线上,如图 1.2 所示。在无误差(理想情况)情况下,引导站、导弹和目标保持在同一直线上,称之为三点法。

二、指令制导

指令制导系统是由引导站测量目标和导弹的坐标,根据导引法组成控制指令信号,经过发射机将控制信号发射到导弹上去,引导导弹按给定的导引法接近目标,如图 1.3 所示。

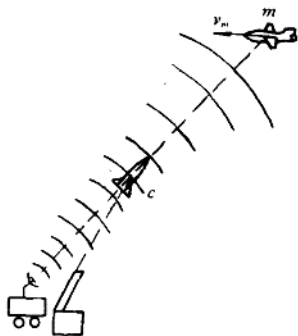


图 1.2 波束制导示意图

按照指令制导系统控制的导弹,由于组成指令的方法不同,则导弹将沿不同的弹道接近目标。从原则上讲,指令制导系统所能实

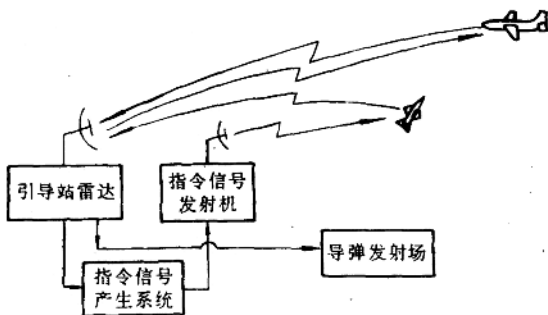


图 1.3 指令制导系统示意图

现的导引法是很多的,但目前常用的导引法有以下几种。

1. 三点法 在理想情况下与波束制导实现的三点法是完全相同的,不同的是此时控制弹的误差信号是由引导站根据目标和导弹的坐标而组成的,如图 1.4 所示,其线偏差

$$h_c = D_c(\epsilon_m - \epsilon_c) \quad (1.1)$$

在理想情况下,导弹准确的保持在引导站和目标的联线上,误差为零。

三点法的弹道,可用作图法作出,如图 1.5 所示。设目标平直等速飞行,将目标航迹按 $v_m \Delta t$ 分成很多段,并分别与引导站相联,然后以 $v_c \Delta t$ 长为半径,顺次作弧与各连线分别交于 c_1, c_2, c_3, \dots 用平滑曲线将 c_1, c_2, c_3, \dots 联起来,即得按三点法导引时的理想弹道。

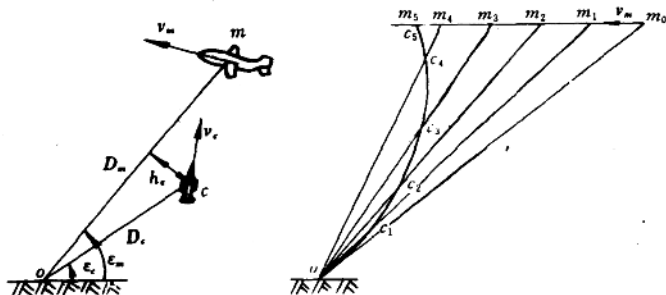


图 1.4 三点法线偏差示意图

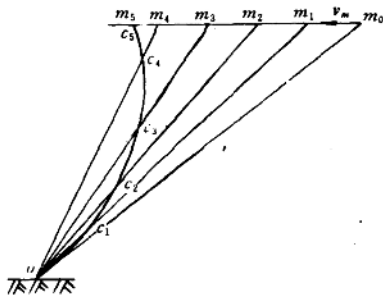


图 1.5 三点法弹道图

2. 全导直法 由图 1.5 可以看出,按三点法导引时,弹道比较弯曲,特别是在与目标遭遇点附近弹道弯曲大,这意味着弹道法向加速度大,如果要想使导弹按三点法理想弹道运动,就必须产生较大的控制力。因此,常常希望能选择出一种导引法,使理想弹道法向加速度小一些,当然最理想的情况是直线接近目标。以垂直平面为例,如图 1.6 所示,设 ϵ_c 为导弹的高低角,要想使导弹直线接近目标,必须在飞行过程保持

$$\dot{\epsilon}_c = 0 \quad (1.2)$$

如果能够组成控制指令,使导弹在整个飞行过程中保证 $\dot{\epsilon}_c = 0$,则

称为理想的全导直法。由于在发射瞬间无法预知目标的运动规律,目前采用的全导直法只保证在遭遇点 $\dot{\epsilon}_{cK}=0$ 。

全导直法与三点法不同,它有一个遥控前置角 γ_{Tc} ,故其线偏差

$$\begin{aligned} h_c &= D_c [(\epsilon_c - \epsilon_m) - \gamma_{Tc}] \\ &= -D_c [(\epsilon_m - \epsilon_c) + \gamma_{Tc}] \end{aligned} \quad (1.3)$$

满足式(1.2)的全导直法称为理想全导直法,有时亦称全前置量法。在此情况下,导弹在飞行过程中,以直线接近目标。如果不满足式(1.2)的条件而满足 $\dot{\epsilon}_{cK}=0$,称为实际全导直法,或简称之为全导直法。在此情况下,弹道近似为直线。

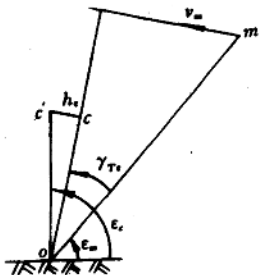


图 1.6 全导直法示意图

3. 半导直法 当采用一部雷达同时测量目标和导弹的坐标时,遥控前置角 γ_{Tc} 不宜过大,有时取其一半来产生信号,即

$$h_c = -D_c \left[(\epsilon_m - \epsilon_c) + \frac{\gamma_{Tc}}{2} \right] \quad (1.4)$$

称为半导直法,至于为什么取遥控前置角的一半,下章将详细讨论。

1.1.3 自动瞄准

自动瞄准系统亦称寻的系统,同遥控系统不同,所有控制系统的仪器均安装在弹体内,但又不同于自主控制系统。自动瞄准系统是根据目标发射或反射的能量来工作的。如果利用目标发射的红外线来工作,则称为红外线自动瞄准系统;如果是利用目标反射的电磁波来工作的,则称为雷达自动瞄准系统。

在自动瞄准系统中,测量和产生误差信号的装置称为瞄准头,以一个光学瞄准头为例,如图 1.7 所示。目标发射来的光线(或红外线)经过透镜聚焦在调整盘上,调整盘将信号加以调制,经过光电转换变成自动驾驶仪输入信号。透镜光轴称为瞄准头轴(或瞄准轴),如果瞄准头轴通过目标,则不产生误差信号;如果瞄准头轴不

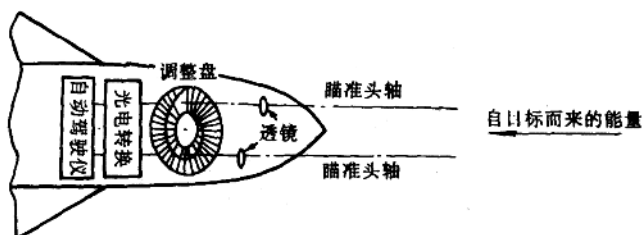


图 1.7 红外线瞄准头示意图

通过目标则根据偏差大小,产生误差信号,此误差信号与某些测量装置产生的信号一起按瞄准法组成控制信号,控制导弹去消除误差。目前经常采用的瞄准法,归纳起来有以下几种。

一、追踪法

在理想情况下,导弹在飞行过程中速度方向永远指向前置点(或目标),如图 1.8 所示。弹的速度矢量 v 与目标线夹角 γ 称为自动瞄准前置角。如果 v 指向目标,则 $\gamma=0$,称为纯追踪法。如果 $\gamma \neq 0$,则为有前置角追踪法, γ 可以为常数或变量,通常取为常数。

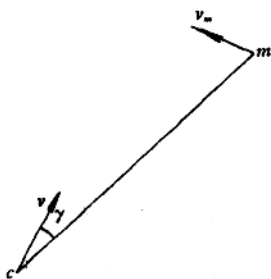


图 1.8 追踪法示意图

二、直接瞄准法

在理想情况下,导弹在飞行过程中其纵轴永远指向目标。直接瞄准法与追踪法之间相差一总攻角 α ,故从飞行原理的观点来讲,可将其看成是具有前置角 $\gamma=\alpha$ 的追踪法。

三、平行接近法

在理想情况下,导弹在飞行过程中目标线的方向在空间不变,即目标线在导弹接近目标过程中平行移动,如图 1.9 所示,故称为平行接近法。由图 1.9 可知,按理想的平行接近法瞄准时

$$v \sin \gamma = v_m \sin \alpha \quad (1.5)$$

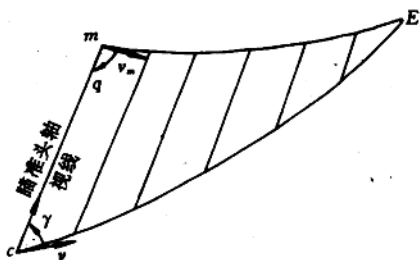


图 1.9 平行接近法示意图

式中 q 为目标航向角。从飞行原理的观点来看,平行接近法相当于具有可变前置角

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{v_m}{v} \sin q\right) \quad (1.6)$$

的追踪法。

四、比例导航法

比例导航法的实质在于抑制视线的旋转,如图 1.10 所示。视线旋转率为 ξ ,比例导航法即是控制弹的速度 v 的方向变化,使其与视线旋转率成比例,即

$$\frac{d\theta}{dt} = N \frac{d\xi}{dt} \quad (1.7)$$

式中 θ —— v 对水平线的倾斜角;

ξ ——视线与水平线夹角;

N ——导航参数,可以为常数或变量。

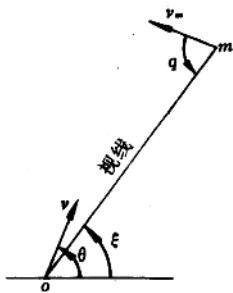


图 1.10 比例导航法示意图

以上是按照传统的方法将瞄准法分为四种。实际上,也可把所有瞄准法化为具有变前置角的追踪法或变导航参数的比例导航法。

随着计算技术的发展,为了提高命中精度,还有各式各样实现自动瞄准的方法。

1. TVM (Target Via Missile) 制导 TVM 制导可以看成是

半主动式自动瞄准,它采用地面雷达照射目标方式,但组成控制指令则是由地面完成的,导引头只是一个目标信息中继装置,导引头接收到目标的原始信息后并不处理提取需要的目标运动参数,而是使这些信息经由导弹传到地面信息处理中心再提取目标运动参数。然后根据所选择的瞄准法组成控制指令发射到弹上去控制弹的运动,故有人将 TVM 制导称之为经导弹制导,美国爱国者导弹即采用此种制导方式,其命中目标的精度较高。如果由导弹向地面传输信息或由地面向导弹上传递指令的通道一旦被破坏,则不再能进行控制。从瞄准法的观点来看, TVM 制导不提供新的导引法分类。

2. 图象匹配制导系统 图象匹配制导系统通常用于对固定目标的攻击,利用目标及其周围的地形、地貌、来进行定位的系统称为图象匹配系统,例如美国的潘兴 I 就是利用末制导图象匹配系统来提高命中精度的。

图象匹配有地形匹配(一维线匹配)和地图匹配(二维面匹配)两种方案,图 1.11 示出了两种匹配方法的原理。图 1.11(a)示出了飞行区域内的地形图及其划分成 $(M \times N)$ 个网格的数字化地形图。图象中每象元(网格)中的高度值,用该网格区域的平均高度 y_{ij} 来表示,数字化地形图就可以用 $(M \times N)$ 阶的矩阵 Y 来表示。即

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1N} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{M1} & y_{M2} & \cdots & y_{MN} \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

在实际飞行中,实时地用高度轮廓计(由雷达高度表及气压高度表等构成)测得高度序列,如 x_1, x_2, x_3, x_4 , 把它组成高度轮廓矢量 $X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$, 并设定它为实时图。把获得的实时图 X , 在预存的数字地形图 Y 中逐个位置进行对照,找出 Y 图中与矢量 X 最相似的部分区域来,则这个区域的地理位置,就是飞行器在录取高度轮廓矢量 X 时的实际地理位置,这就是地形匹配。

如果预存的是一幅以地物灰度(或散射、辐射强度)大小表达