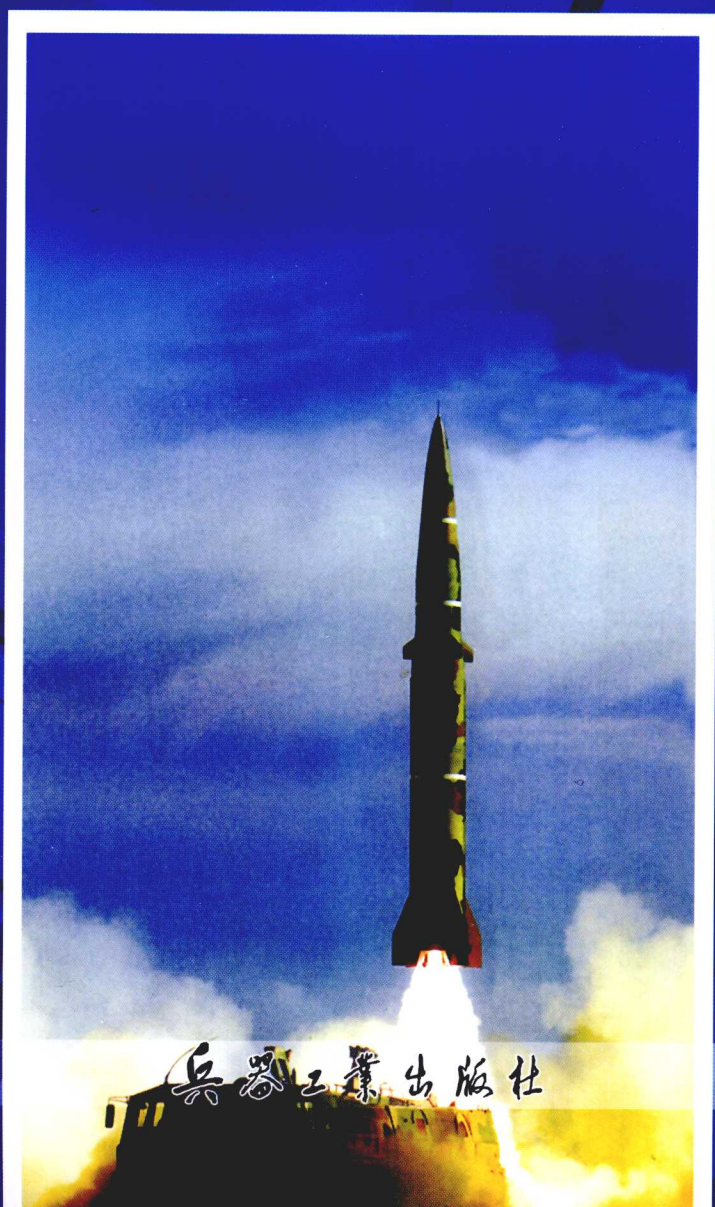


DAODAN ZHIDAO YUANLI

导弹制导原理

袁小虎 胡云安 主编



导弹制导原理

主编 袁小虎 胡云安
编者 吴凌华 帅 鹏

兵器工业出版社

内 容 简 介

制导系统一直都是导弹武器系统最重要、最关键的系统之一。本书比较全面地阐述了导弹控制系统和导引系统的原理与方法。全书共分9章,分别介绍了导弹制导系统基本概念;导引规律;惯性元件及执行装置;受控对象特性及稳定控制回路;遥控制导;雷达寻的制导;光学寻的制导;自主制导;复合制导等内容。除传统的制导方式外,还介绍了近年来引起广泛关注和兴趣的新的导弹控制技术和导引方式。

本书可作为导航、制导与控制,飞行器设计,导弹工程等专业高年级本科生和研究生的教材或参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

导弹制导原理/袁小虎,胡云安主编. —北京:兵器工业出版社, 2009. 10

ISBN 978 - 7 - 80248 - 448 - 1

I. 导… II. ①袁…②胡… III. 导弹制导 IV. TJ765. 3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第189376号

出版发行:兵器工业出版社

发行电话:010-68962596, 68962591

邮 编:100089

社 址:北京市海淀区车道沟10号

经 销:各地新华书店

印 刷:北京宝莲鸿图科技有限公司

版 次:2009年10月第1版第1次印刷

责任编辑:周宜今

封面设计:李尘工作室

责任校对:郭 芳

责任印制:赵春云

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.5

字 数:496千字

定 价:49.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

前 言

制导技术是导弹武器系统发展最快的也是最关键的技术之一。目前,新一代导弹制导武器在导引技术上将广泛采用毫米波、激光或激光成像、电视、红外成像、GPS 以及 SAR 等单一或复合导引技术,在控制技术上将采用直接力控制、倾斜转弯控制、大攻角控制以及主动控制技术。对于从事导航、制导与控制,飞行器设计,导弹工程等专业的学生,导弹控制和导引的基本原理需要熟练掌握,此课程的学习将为他们从事该领域的工作打下必要的基础。

本教材共分9章。第1章介绍导弹制导系统的基本原理,基本概念;第2章介绍导弹制导规律;第3章介绍常用的惯性元件及执行装置;第4章对受控对象——导弹弹体特性进行分析,并介绍自动驾驶仪与稳定控制回路;第5章介绍遥控制导;第6章介绍雷达寻的制导;第7章介绍光学寻的制导;第8章介绍自主式制导;第9章介绍复合制导原理。本教材以导弹制导系统为主,侧重基本原理和基本方法的论述,每个章节都配有典型实例,尽量做到理论和实际相结合。本教材参考学时数为40~60学时。

本教材由袁小虎讲师、胡云安教授主编,吴凌华、帅鹏等参加编写。在编写过程中,得到周晓东教授、吕俊伟教授、任建存副教授和张公学副教授的指导和帮助,硕士生张鹏、樊利恒在文字录入方面做了一些工作。

作为教材,本书引用了许多国内外专家学者的学术著作与研究成果,对所引用的成果,均在参考文献中列出。在此编者对所有引用文献的专家学者表示感谢并表示崇高敬意。同时,本教材在编写过程中得到海军航空工程学院训练部教务处和控制工程系的大力支持,并提出了很多宝贵意见,编者在此一并向他们表示衷心的感谢。

本教材内容广泛,涉及很多方面的技术知识,由于编者水平有限,缺点和错误难免,请读者批评指正。

编 者
2009年9月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 制导武器与导弹	(1)
1.2 制导系统一般组成	(4)
1.3 导弹控制原理	(4)
1.4 制导系统的分类	(6)
1.5 对制导系统的一般要求	(10)
1.6 制导系统设计依据和工作	(12)
本章小结	(13)
思考题	(14)
第 2 章 制导规律	(15)
2.1 自寻的制导规律	(15)
2.2 遥控制导规律	(20)
2.3 最优制导规律	(23)
本章小结	(28)
思考题	(28)
第 3 章 惯性元件及执行装置	(29)
3.1 陀螺仪	(29)
3.2 加速度计	(41)
3.3 执行装置	(46)
本章小结	(60)
思考题	(60)
第 4 章 受控对象特性及稳定控制回路	(61)
4.1 受控对象特性分析	(61)
4.2 自动驾驶仪与稳定控制回路的基本概念	(84)
4.3 导弹稳定控制回路	(88)
4.4 导弹控制新技术	(106)
本章小结	(115)
思考题	(115)
第 5 章 遥控制导	(116)
5.1 遥控制导设备的观测跟踪装置	(116)
5.2 遥控制导	(129)
5.3 遥控制导回路	(151)
本章小结	(158)

思考题	(158)
第6章 雷达寻的制导	(159)
6.1 雷达导引头的基本工作原理	(159)
6.2 被动式雷达寻的制导系统	(169)
6.3 主动式雷达寻的制导系统	(175)
6.4 半主动式雷达寻的制导系统	(178)
6.5 毫米波导引头	(187)
6.6 雷达寻的制导回路	(191)
6.7 雷达制导的关键技术及发展趋势	(195)
本章小结	(201)
思考题	(201)
第7章 光学寻的制导	(203)
7.1 红外寻的制导	(203)
7.2 激光寻的制导	(244)
7.3 电视寻的制导	(262)
本章小结	(272)
思考题	(272)
第8章 自主制导	(273)
8.1 天文导航	(273)
8.2 惯性导航	(274)
8.3 地图匹配制导	(279)
8.4 GPS 制导	(283)
本章小结	(290)
思考题	(290)
第9章 复合制导	(292)
9.1 复合制导	(292)
9.2 复合寻的制导	(295)
9.3 双模寻的制导的关键技术	(299)
本章小结	(304)
思考题	(304)
参考文献	(305)

第 1 章 概 述

第二次世界大战以后，导弹就开始装备军队，从 20 世纪 50 年代起就在实战中使用了。特别是在一些地区的局部战争中，更是大量地使用。如 1967 年第三次中东战争，1973 年第四次中东战争，1972 年美国侵越战争，1982 年 4 月英阿马岛海战，两伊战争，以及近些年的海湾战争、科索沃战争、阿富汗战争、伊拉克战争中大量使用了导弹。

从中东战场和越南战场的情况来看，交战双方的飞机、坦克和舰艇大多数都是被导弹击毁的。据统计，在第四次中东战争中，埃、叙损失飞机 335 架，被以色列用空空导弹击落的约占 60%；以色列损失飞机 114 架，被埃、叙用地空导弹击落的约占 62%。埃、叙和以的坦克战中，埃、叙损失坦克 1700 辆，以色列损失坦克 800 辆，这些坦克被苏联“赛格”和美国“陶”式反坦克导弹击毁的约占 80%。埃、叙和以在海战中，双方损失舰艇 50 余艘，全部都被反舰导弹击沉的。在越南战场上，美国轰炸越南北方的“B-52”战略轰炸机，有 32 架被越南击落，其中被地空导弹击落的就有 29 架，占总数的 90%。在英阿马岛海战中，双方反舰导弹都击沉、击伤了对方的船只、舰艇。英反舰导弹还击伤了阿“圣菲”号潜艇。阿被击落的飞机近半数是由“响尾蛇”AIM-9L 空空导弹击落的。英“长剑”地空导弹击落了阿 13 架飞机。此外，近些年的局部战争中导弹也同样有着辉煌的战绩，并且发挥了很重要的作用，在这里就不一一阐述了。总而言之，导弹在现代战争中发挥了很重要的作用。

为什么导弹有这么好的作战效果？总结起来，无非就是因为它们和非制导武器相此，具有射程远、威力大、命中准确度高突出优点。前面两项可通过改进发动机和战斗部得到改善和加强，而命中准确度高与导弹具有制导系统有较大关系，并且它也是导弹区别于普通武器的关键。制导系统的基本任务是确定导弹与目标的相对位置，操纵导弹飞行，在一定准确度下，引导导弹沿预定的弹道飞向目标。导弹命中目标的概率主要取决于制导系统的工作，所以制导系统在整个导弹系统中占有极重要的地位。本书主要是介绍导弹的制导系统。

本章主要介绍制导武器与导弹的概念、制导系统的组成、导弹控制一般原理、制导系统分类以及对制导系统的要求等内容。最后部分简要介绍导弹制导系统设计依据和工作，这部分内容对从事导弹武器研制和生产的科研人员有参考作用。

1.1 制导武器与导弹

1.1.1 制导武器和精确制导武器概念

制导武器就是按照特定的基准选择航行路线，控制和导引对目标进行攻击的武器。或者说，制导武器就是一种无人驾驶的制导战斗飞行器或陆上、水中兵器。而精确制导武器是指命中精度（概率）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。这里，

“精确”是一个相对概念。目前并没有统一的认识，比较一致的看法是，直接命中概率高于50%的制导武器才称得上精确制导武器。而直接命中的概念是指制导武器对射程内的点目标，如坦克、装甲车、飞机、舰艇、雷达、桥梁、电站、油库、指挥中心等的射击圆概率误差（又叫圆估算误差）CEP（Circular Error Probable）小于该武器弹头的杀伤半径。显然，CEP 越小，武器的命中精度越高。表 1-1 给出了几种典型制导武器的圆概率误差 CEP 值。

表 1-1 几种典型制导武器的圆概率误差

名称、代号	国别	最大射程/km	CEP/m
V-2 火箭	德国	320	5000
SS-1C “飞毛腿-B” 地地战术导弹	苏联	300	300~400
LGM-30G “民兵Ⅲ” 地地洲际弹道导弹	美国	13000	185~225
BGM-109C “战斧” 对陆攻击巡航导弹	美国	1300	9
AGM-84E “斯拉姆” 空地导弹	美国	110	≤10
M712 “铜斑蛇-2” 型末制导炮弹	美国	4~20	1

表 1-1 中，BGM-109C “战斧” 对陆攻击巡航导弹的 CEP 值为 9m，意指若发射 100 枚此类导弹，则至少 50 枚落入以目标为中心，半径为 9m 的圆域内。所以“战斧” 巡航导弹称其为精确制导武器。又如对于 V-2 火箭、“飞毛腿-A” 导弹等，其直接命中概率低于 50%，故它们是制导武器，而并非精确制导武器。

精确制导武器主要包括导弹、精确制导弹药和制导鱼雷等。精确制导弹药又可分为（末）制导弹药和末敏弹药两类。导弹是类别最多，研制、生产和装备使用数量最大的一类精确制导武器。

1.1.2 导弹分类及主要组成

1.1.2.1 导弹分类

目前，世界各国发展的导弹型号有上千种，为了便于研究、设计、生产和使用，通常将它们进行分类。导弹分类的方法虽然很多，但每一种分类方法都应概括地反映出它们的主要特征。此外，导弹处在迅速发展之中，新的型号还不断出现，因而目前的分类还会有所变化和发展。

通常，导弹可按其作战使命、攻击目标、发射点和目标位置、射程、飞行方式、战斗部类型、弹道形式、外形特征及制导方式等进行多种分类。

导弹按作战使命可分为战略导弹和战术导弹两类。两者又可分为战略进攻型导弹、战略防御型导弹和战术进攻型导弹、战术防御型导弹。

导弹按攻击目标分为反坦克导弹、反舰导弹、反雷达（反辐射）导弹、反飞机导弹、反卫星导弹、反导弹导弹等。

导弹按发射点和目标位置可分为面对面、面对空、空对面、空对空导弹。面对面导弹包括地地、岸舰、舰舰、潜地、潜舰、潜潜导弹等；面对空导弹包括地空、舰空、潜空导弹等；空对面导弹有空地、空舰、空潜导弹等。除此还有具有天基作战平台的反卫星导弹、卫星反导弹导弹、天基拦截器等。

导弹按射程可分为近距导弹（< 100km）、近程导弹（100 ~ 1000km）、中程导弹

(1000~3000km)、远程导弹(3000~8000km)和洲际导弹(>8000km)。

另外,按弹道特征可分为飞航式导弹和弹道导弹。按制导方式可分为主动、被动、半主动寻的导弹,遥控指令制导导弹及双模(多模)复合寻的导弹等。

1.1.2.2 基本组成

导弹作为武器可以认为由四个主要部分组成:动力装置、战斗部系统、制导系统和弹体。

1. 动力装置

动力装置是以发动机为主体的,为导弹提供飞行动力的装置。也可把这个组成部分称为推进分系统。它保证导弹获得需要的射程和速度。

导弹上的发动机都是喷气式发动机,有火箭发动机(固体和液体火箭发动机)、空气喷气发动机(涡轮喷气和冲压喷气发动机)以及组合型发动机(固—液组合和火箭—冲压组合发动机)。

有的导弹如地(舰)对空导弹和反坦克导弹用两台或单台双推力发动机。一台作起飞时助推用的发动机,使导弹从发射装置上迅速起飞和加速,称为助推器;另一台作主要发动机,使导弹维持一定的速度飞行以便能追击飞机或坦克,称为续航发动机。远程导弹、洲际导弹,它们的飞行速度要求在火箭发动机熄火时达到数千米/秒,因而要用多级火箭,每级火箭要一台或几台火箭发动机。

2. 战斗部系统

它的任务是摧毁目标。主要由战斗部、引信和保险装置三部分组成。

战斗部:由于导弹所攻击的目标性质和类型不同,相应地有各种毁伤作用和不同结构类型的战斗部,如爆破战斗部、杀伤战斗部、聚能破甲战斗部、化学战斗部、生物战剂战斗部以及核战斗部等。

引信与保险装置:战斗部的引爆时间、地点与条件都应有严格规定。引信就是保证这一要求实现的装置。引信又分触发引信与非触发引信两大类,在体积、重量与可靠性上有十分严格的要求。

保险装置则是保证在技术保障维护操作中,战斗部不会爆炸。

3. 制导系统

前面有所阐述。这一系统实际上是导弹导引系统和控制系统的综合。详细分类后续章节还要讲述,此处就从略了。

4. 弹体

弹体即导弹的主体,是由各舱、段、空气动力翼面、弹上机构及一些零组件联接组成的、有良好气动力外形的壳体。弹体又分为弹身、弹翼和舵面几部分。

弹身:它容纳战斗部、制导设备、动力系统并联接翼与舵面形成一整体。

弹翼:或提供升力以克服重力,使导弹作水平飞行;或提供作曲线飞行所需的法向力。

舵面:它是用来操纵导弹并使其作稳定飞行的必要部分。一般装有升降舵、方向舵和副翼。可控制导弹作俯仰、偏航和滚动动作。

空气动力翼面包括有产生升力的弹翼、产生操纵力的舵面及保证导弹稳定飞行的安定面(尾翼)。对弹道式导弹由于弹道大部分在大气层外飞行,主动段只作程序转向飞行,因此没有弹翼或根本没有空气动力翼面。

1.2 制导系统一般组成

制导系统是导弹的核心和关键部分，在很大程度上决定着导弹的战术技术性能，特别是制导精度。

导弹制导系统包括由探测系统，控制指令形成，到操纵导弹飞行的所有设备，也就是通常所说的飞行控制系统。这些设备的作用是使导弹保持在理想弹道附近飞行。如图 1-1 所示。

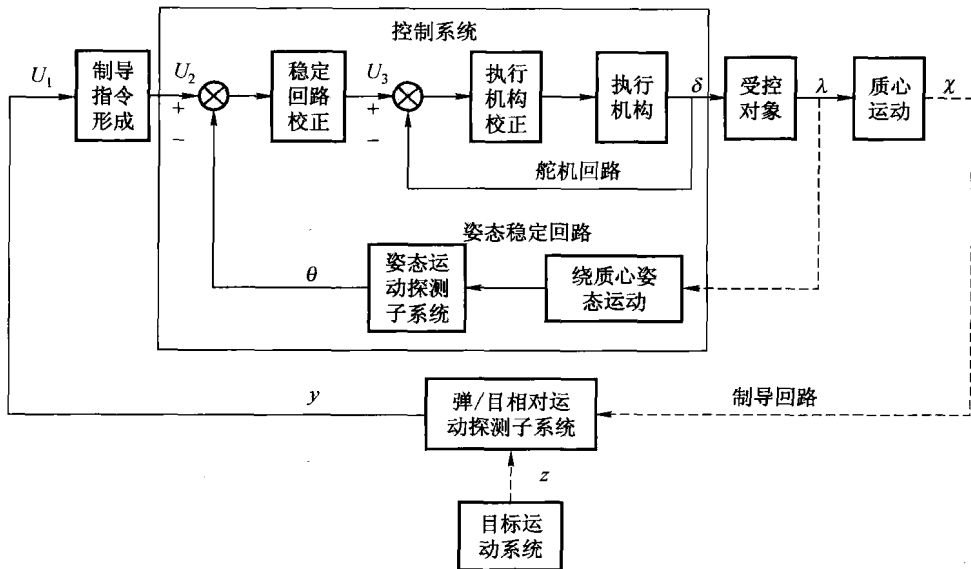


图 1-1 导弹制导系统的一般组成

制导系统分为导引系统和控制系统两部分。

导引系统用来测定或探测导弹相对目标或发射点的位置，按要求的弹道形成导引指令，并把导引指令送给控制系统。导引系统通常由导弹、目标位置和运动敏感器（或观测器）及导引指令形成装置等组成。

控制系统直接操纵导弹，要迅速而准确地执行引导系统发出的引导指令，控制导弹飞向目标。控制系统的另一项重要任务是保证导弹在每一飞行段稳定地飞行，所以也常称为稳定回路。控制系统通常由导弹姿态敏感元件、操纵面位置敏感元件、计算机（或综合比较放大器）、作动装置和操纵面等组成。

导引系统可以全部安装在弹上，也可以装在弹上及弹外制导站（地面、舰船、飞机甚至卫星）上，而控制系统必须全部安装在弹上。

1.3 导弹控制原理

导弹之所以能够准确地命中目标，是由于制导系统能按照一定的引导规律对导弹实施控制。控制导弹的飞行，根本点是改变导弹飞行方向，改变飞行方向的方法就是产生与导弹飞

行速度矢量垂直的控制力。如，在大气层中飞行的导弹主要受发动机推力 P 、空气动力 R 和导弹重力 G 作用。这三种力的合力就是导弹上受到的总作用力。导弹受到的作用力可分解为平行导弹飞行方向的切向力和垂直于导弹飞行方向的法向力，切向力只能改变导弹飞行速度的大小，法向力才能改变导弹飞行方向，法向力为零时，导弹作直线运动。导弹的法向力，由推力、空气动力和导弹重力决定，导弹的重力一般不能随意改变，因此要改变导弹的控制力，只有改变导弹的推力或空气动力。对于在大气层内飞行的导弹，可由改变空气动力获得控制，有翼导弹一般用改变空气动力的方法来改变控制力。对于在大气层中或大气层外飞行的导弹，都可以用改变推力的方法获得控制。无翼导弹主要是用改变推力的办法来改变控制力，因无翼导弹在稀薄大气层内飞行时，弹体产生的空气动力很小。

下面以改变导弹空气动力的方法为例说明导弹飞行控制原理。

导弹所受的空气动力可沿速度坐标系分解成升力、侧力和阻力，其中升力和侧力是垂直于飞行速度方向的；升力在导弹纵对称平面内，侧力在导弹侧平面内。所以，利用空气动力来改变控制力，是通过改变升力和侧力来实现的。由于导弹的气动外形不同，改变升力和侧力的方法也略有不同，现以轴对称导弹为例来说明。

这类导弹具有两对弹翼和舵面，在纵对称面和侧对称面内都能产生较大的空气动力。如果要使导弹在纵对称平面内向上或向下改变飞行方向，就需改变导弹的攻角 α ，攻角改变以后，导弹的升力就随之改变。

作用在导弹纵对称平面内的受力如图 1-2 所示。各力在弹道法线方向上的投影可表示为

$$F_y = Y + P \sin \alpha - G \cos \theta$$

式中 θ ——弹道倾角；

Y ——升力。

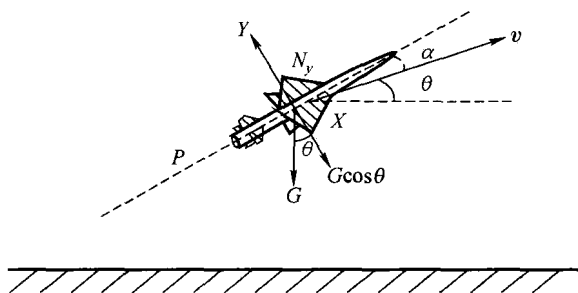


图 1-2 轴对称导弹在纵对称平面内的控制力

导弹所受的可改变的法向力为

$$N_y = Y + P \sin \alpha$$

由牛顿第二定律和圆周运动可得如下关系式

$$F_y = ma$$

即

$$N_y - G\cos\theta = m \frac{v^2}{\rho}$$

式中 v ——导弹的飞行速度；

m ——导弹的质量；

ρ ——弹道的曲率半径。

而曲率半径又可表示成

$$\rho = \frac{dS}{d\theta} = \frac{dS/dt}{d\theta/dt} = \frac{v}{\dot{\theta}}$$

式中, S 为导弹运动轨迹, 则有

$$N_y - G\cos\theta = mv \dot{\theta}$$

即

$$\dot{\theta} = \frac{N_y - G\cos\theta}{mv}$$

由此看出, 要使导弹在纵对称平面内向上或向下改变飞行方向, 就需要利用操纵元件产生操纵力矩使导弹绕质心转动, 来改变导弹的攻角。攻角改变后, 导弹的法向力 N_y 也随之改变。而且, 当导弹的飞行速度一定时, 法向力 N_y 越大, 弹道倾角 θ 的变化率就越大, 也就是说, 导弹在纵对称平面内的飞行方向改变得就越快。

同理, 导弹在侧平面内的可改变的侧向力为

$$N_z = Z + P\sin\beta$$

由此可见, 要使导弹在侧平面内向左或向右改变飞行方向, 就需要通过操作元件改变侧滑角 β , 使侧力 Z 发生变化, 从而改变侧向控制力。

显然, 要使导弹在任意平面内改变飞行方向, 就需要同时改变攻角和侧滑角, 使升力和侧力同时发生变化。此时, 导弹的法向力 N_n 就是 N_y 和 N_z 的合力。

1.4 制导系统的分类

如果将制导系统作用原理作为分类基础, 以在什么样的信息基础上产生制导信息, 利用什么样的物理现象确定目标和导弹的坐标作为分类依据, 那么就可以按下述广泛采用的制导系统进行分类: ①自寻的制导系统; ②遥控制导系统; ③自主制导系统; ④复合制导系统。

1.4.1 自寻的制导系统

自动导引系统也称为自寻的制导系统, 是利用目标辐射或反射的能量制导导弹去攻击目标。

由弹上导引头感受目标辐射或反射的能量 (如无线电波、红外线、激光、可见光、声音等), 测量目标、导弹相对运动参数, 并形成相应的引导指令控制导弹飞行, 使导弹飞向

目标的制导系统，称为自寻的系统。

为了使自寻的系统正常工作，首先必须能准确地从目标背景中发现目标，为此要求目标本身的物理特性与其背景或周围其他物体的特性必须有所不同，即要求它具有对背景足够的能量对比性。

具有红外辐射（热辐射）源的目标很多，如军舰、飞机、坦克、冶金工厂，在大气层中高速飞行的导弹的头部也具有足够大的热辐射。用目标辐射的红外线使导弹飞向目标的自寻的系统称为红外自寻的系统。这种系统的作用距离取决于目标辐射（或反射）面的面积和温度、接收装置的灵敏度和气象条件。

有些目标与周围背景不同，它能辐射本身固有的光线，或是反射太阳、月亮的或人工照明的光线。利用可见光的自寻的制导系统，其作用距离取决于目标与背景的对比特性、昼夜时间和气候条件。

有些目标是强大的声源，如从飞机喷气发动机或电动机以及军舰的工作机械等发出的声音，利用接收声波原理构成的自寻的系统称为声学自寻的系统。这种系统的缺点是，当其被用在射击空中目标的导弹上时，因为声波的传播速度慢，使导弹不会命中空中目标，而是导向目标后面的某一点。此外，高速飞行的导弹本身产生的噪声，会对系统的工作造成干扰。声学自寻的系统多用于水下自寻的水雷。

雷达自寻的系统是广泛应用的自寻的系统；因为很多军事上的重要目标本身就是电磁能的辐射源，如雷达站、无线电干扰站、导航站等。

有时为了研究上的方便，根据导弹所利用能量的能源所在位置的不同，自寻的制导系统可分成主动式、半主动式和被动式三种（见图1-3）。

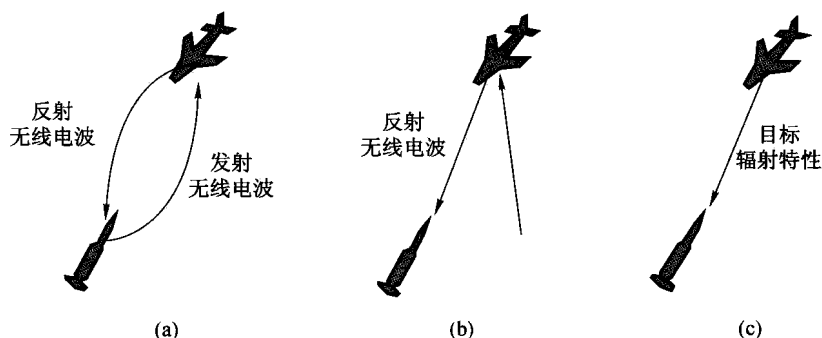


图 1-3 自寻的制导系统分类

(a) 主动寻的；(b) 半主动寻的；(c) 被动寻的

1. 主动式

照射目标的能源在导弹上，对目标辐射能量，同时由导引头接收目标反射回来的能量的寻的制导方式，如图1-3(a)所示。采用主动寻的制导的导弹，当弹上的主动导引头截获目标并转入正常跟踪后，就可以完全独立地工作，不需要导弹以外的任何信息。

随着能量发射装置的功率增大，系统作用距离也增大，但同时弹上设备的体积和重量也增大，所以弹上不可能有功率很大的发射装置。因而主动式寻的系统作用的距离不能增大很多，已实际应用的典型的主动式寻的系统是雷达寻的系统。

2. 半主动式

照射目标的能源不在导弹上，弹上只有接收装置，能量发射装置设在导弹以外的制导站或其他位置，如图 1-3 (b) 所示。因此它的功率可以很大，半主动式寻的制导系统的作用距离比主动式要大。

3. 被动式

目标本身就是辐射能源，不需要发射装置，由弹上导引头直接感受目标辐射的能量，导引头将以目标的特定物理特性作为跟踪的信息源，如图 1-3 (c) 所示。被动式自寻的系统的作用距离不大，典型的被动式自寻的系统是红外自寻的系统。

自寻的系统的制导设备全部在弹上，具有发射后不管的特点，可攻击高速目标，制导精度较高。但由于它靠来自目标辐射或反射的能量来测定导弹的飞行偏差，作用距离有限，抗干扰能力差。一般用于空对空、地对空、空对地导弹和某些弹道导弹，用于巡航导弹的末飞行段，以提高末段制导精度。有关这部分内容的详细论述在本书第 6 章和第 7 章。

1.4.2 遥控制导系统

由导弹以外的制导站向导弹发出引导信息的制导系统，称为遥控制导系统。根据引导指令在制导系统中形成的部位不同，遥控制导又分为波束制导（见图 1-4）和遥控指令制导（见图 1-5）。

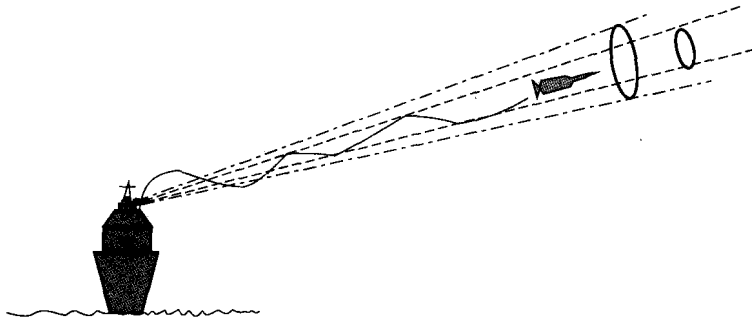


图 1-4 波束制导系统

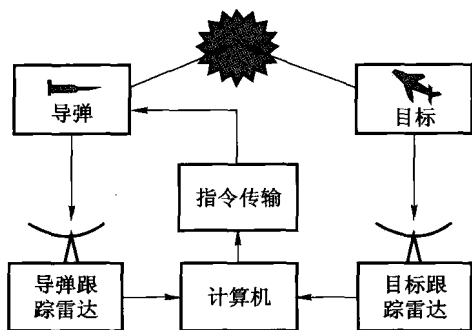


图 1-5 遥控指令制导

波束制导系统中，制导站发出波束（无线电波束、激光波束），导弹在波束内飞行，弹上的制导设备感受它偏离波束中心的方向和距离，并产生相应的引导指令，操纵导弹飞向目标。在多数波束制导系统中，制导站发出的波束应始终跟踪目标。

遥控指令制导系统中，由制导站的引导设备同时测量目标、导弹的位置和其他运动参数，并在制导站形成引导指令，该指令通过无线电波或传输线传送至弹上，弹上控制系统操纵导弹飞向

目标。早期的无线电指令制导系统往往使用两部雷达分别对目标和导弹进行跟踪测量，目前

多用一部雷达同时跟踪测量目标和导弹的运动,这样不仅可以简化地面设备,而且由于采用了相对坐标体制,大大提高了测量精度,减小了制导误差。

波束制导和遥控指令制导虽然都由导弹以外的制导站引导导弹,但波束制导中制导站的波束指向,只给出导弹的方位信息,而引导指令则由在波束中飞行的导弹感受其在波束中的位置偏差来形成。弹上的敏感装置不断地测量导弹偏离波束中心的大小与方向,并据此形成引导指令,使导弹保持在波束中心飞行。而遥控指令制导系统中的引导指令,是由制导站根据导弹、目标的位置和运动参数来形成的。

与自寻的制导系统相比,遥控制导系统在导弹发射后,制导站必须对目标(指令制导中还包括导弹)进行观测,并不断向导弹发出引导信息;而自寻的制导系统中导弹发射后,只由弹上制导设备对目标进行观测、跟踪,并形成引导指令。因此,遥控制导设备分布在弹上和制导站上,而自寻的系统的制导设备基本都装在导弹上。

遥控制导系统的制导精度较高,作用距离可以比自寻的系统稍远些,弹上制导设备简单。但其制导精度随导弹与制导站的距离增大而降低,且易受外界干扰。

遥控制导系统多用于地对空导弹和一些空对空、空对地导弹,有些战术巡航导弹也用遥控指令制导来修正其航向。早期的反坦克导弹多采用有线遥控指令制导。这部分内容在本书第5章进行论述。

1.4.3 自主制导系统

导弹的自主制导,是根据发射点和目标的位置,事先拟定好一条弹道,制导中依靠导弹内部的制导设备测出导弹相对于预定弹道的飞行偏差,形成控制信号,使导弹飞向目标。按控制信号生成方法的不同,自主制导可分为天文导航、惯性制导、地图匹配制导、GPS制导等。这部分内容在本书第8章详细讲述。

1.4.3.1 天文导航

天文导航是根据导弹、地球、星体三者之间的运动关系,来确定导弹的运动参量,将导弹引向目标的一种制导技术。导弹天文导航系统一般有两种,一种是由光电六分仪或无线电六分仪,跟踪一种星体,引导导弹飞向目标。另一种是用两部光电六分仪或无线电六分仪,分别观测两个星体,根据两个星体等高圈的交点,确定导弹的位置,引导导弹飞向目标。

1.4.3.2 惯性制导

惯性导航系统是一个自主式的空间基准保持系统。所谓惯性制导是指利用弹上惯性元件,测量导弹相对于惯性空间的运动参数,并在给定运动的初始条件下,由制导计算机计算出导弹的速度、位置及姿态等参数,形成控制信号,引导导弹完成预定飞行任务的一种自主制导系统。它由惯性测量装置、控制显示装置、状态选择装置、导航计算机和电源等组成。惯性测量装置包括三个加速度计和三个陀螺仪。前者用来测量运动体的三个质心移动运动的加速度,后者用来测量运动体的三个绕质心转动的角速度。对测出的加速度进行两次积分,可算出运动体在所选择的导航参考坐标系的位置,对角速度进行积分可算出运动体的姿态角。

1.4.3.3 地图匹配制导

地图匹配制导是利用地图信息进行制导的一种制导方式。地图匹配制导一般有地形匹配制导与景像匹配区域相关器制导两种。地形匹配制导利用的是地形信息,也叫地形等高线匹

配制导；景像匹配区域相关器制导利用的是景像信息，简称为景像匹配制导。它们的基本原理相同，都是利用弹上计算机预存的地形图或景像图，与导弹飞行到预定位置时携带的传感器测出的地形图或景像图进行相关处理，确定出导弹当前位置偏离预定位置的偏差，形成制导指令，将导弹引向预定区域或目标。

1.4.4 复合制导

当对制导系统要求较高时，如导弹必须击中很远的目标或者必须增加远距离的目标命中率，可把上述几种制导方式以不同的方式组合起来，以进一步提高制导系统的性能。例如，在导弹飞行初始段用自主制导，将导弹引导到要求的区域，中段采用遥控指令制导，比较精确地把导弹引导到目标附近，末段采用自寻的制导，这不仅增大了制导系统的作用距离，而且提高了制导精度。

复合制导在转换制导方式过程中，各种制导设备的工作必须协调过渡，使导弹的弹道能够平滑地衔接起来。

根据导弹在整个飞行过程中，或在不同飞行段上制导方法的组合方式不同，复合制导可分为串联复合制导、并联复合制导和串并联复合制导三种。串联复合制导就是在导弹飞行弹道的不同段上，采用不同的制导方法。并联复合制导就是在导弹的整个飞行过程中，或者在弹道的某一段上，同时采用几种制导方式。串并联复合制导就是在导弹的飞行过程中，既有串联又有并联的复合制导方式。这部分内容在本书第9章详细讲述。

1.5 对制导系统的一般要求

为了完成导弹的制导任务，对导弹制导系统有很多要求，最基本的要求是制导准确度、对目标的鉴别力、可靠性和维修性以及抗干扰能力等几个方面。

1.5.1 制导准确度

制导准确度是对制导系统的最基本也是最重要的要求。制导准确度通常用导弹的脱靶量表示。所谓脱靶量，是指导弹在制导过程中与目标间的最短距离。

从误差性质看，造成导弹脱靶量的误差分为两种，一种是系统误差，另一种是随机误差。系统误差在所有导弹攻击目标过程中是固定不变的，因此，系统误差为脱靶量的常值分量；随机误差分量是一个随机量，其平均值等于零。为了做到导弹能够首发命中目标，普遍提出导弹脱靶量小于允许值的要求。

允许值取决于很多因素，主要取决于给出的命中概率、导弹战斗部的重量和性质、目标的类型及其防御能力。目前，战术导弹的脱靶量可以达到几米，有的甚至可与目标相碰，战略导弹由于其战斗部威力大，目前的脱靶量可达到几十米或上百米。

1.5.2 作战反应时间

作战反应时间，指从发现目标起到第一枚导弹起飞为止的一段时间，一般来说应由防御的指挥、控制、通信系统和制导系统的性能决定。但对攻击活动目标的战术导弹，则主要由制导系统决定。当导弹系统的搜索探测设备对目标识别和进行威胁判定后，立即计算目标诸

元并选定应射击的目标。制导系统便对被指定的目标进行跟踪，并转动发射设备、捕获目标、计算发射数据、执行发射操作等。制导系统执行上述操作所需要的时间称为作战反应时间。随着科学技术的发展，目标速度越来越快，由于难以实现在远距离上对低空目标的搜索、探测，因此制导系统的反应时间必须尽量短。

1.5.3 对目标的鉴别力

如果要使导弹去攻击相邻几个目标中的某一个指定目标，导弹制导系统就必须具有较高的距离鉴别力和角度鉴别力。距离鉴别力是制导系统对同一方位上，不同距离的两个目标的分辨能力，一般用能够分辨出的两个目标间的最短距离 Δr 表示；角度鉴别力是制导系统对同一距离上不同方位的两个目标的分辨能力，一般用能够分辨出的两个目标与控制点连线间的最小夹角 $\Delta\varphi$ 表示（见图 1-6）。

如果导弹的制导系统是基于接受目标本身辐射或者反射的信号进行控制的，那么鉴别力较高的制导系统就能从相邻的几个目标中分辨出指定的目标；如果制导系统对目标的鉴别力较低，就可能出现下面的情况：

(1) 当某一目标辐射或反射信号的强度远大于指定目标辐射或反射信号的强度时，制导系统便不能把导弹引向指定的目标，而是引向信号较强的目标。

(2) 当目标群中多个目标辐射或反射信号的强度相差不大时，制导系统便不能把导弹引向指定目标，因而导弹摧毁指定目标的概率将显著降低。

制导系统对目标的鉴别力，主要与其传感器的测量精度决定，要提高制导系统对目标的鉴别力，必须采用高分辨能力的目标传感器。

1.5.4 抗干扰能力

抗干扰能力是指在遭到敌方袭击、电子对抗、反导对抗和受到内部、外部干扰时，制导系统保持其正常工作的能力。对多数战术导弹而言，要求具有很强的抗干扰能力。

不同的制导系统受干扰的情况各不相同，对雷达遥控系统而言，它容易受到电子干扰，特别是敌方施放的各种干扰，对制导系统的正常工作影响很大。为提高制导系统的抗干扰能力，一是要不断地采用新技术，使制导系统对干扰不敏感；二是在使用过程中加强制导系统工作的隐蔽性、突然性，使敌方不易察觉制导系统是否在工作；三是制导系统可以采用多种工作模式，一种模式被干扰，立即转换到另一种模式制导。

对战略导弹而言，它的生存能力很重要。为提高生存能力，战略导弹可以在井下或水下发射、机动发射。

1.5.5 可靠性和可维修性

可靠性是指产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的能力。制导系统的可靠性，可以看作是在给定使用和维护条件下，制导系统各种设备能保持其参数不超过给定范

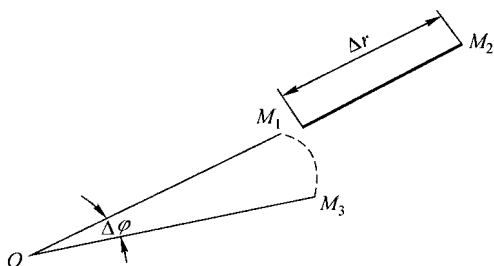


图 1-6 制导系统的目标分辨率