

军队“2110工程”资助专著

# 导弹制导与控制原理

Theory of Guidance and Control for Missile

李洪儒 李 辉 李永军 编著  
郭希维 许葆华 张延生



科学出版社

# 导弹制导与控制原理

李洪儒 李 辉 李永军 编著  
郭希维 许葆华 张延生

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书系统阐述了导弹制导与控制的原理和技术。内容包括导弹制导与控制的基本概念和系统组成、目标特性和环境特性,导弹运动方程、传递函数及动态特性分析,导弹常用测量装置与执行机构,导弹控制方法与控制原理,导弹导引规律,自主制导原理,遥控制导原理,寻的制导原理,复合制导原理等。

本书可作为高等院校导弹工程、导航制导与控制等专业本科生和研究生的教材,也可供相关领域的工程技术人员和导弹部队指战员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

导弹制导与控制原理/李洪儒等编著. —北京:科学出版社,2016.6  
ISBN 978-7-03-049132-9

I. ①导… II. ①李… III. ①导弹制导②导弹控制 IV. ①TJ765

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 143236 号

---

责任编辑:余 江 张丽花 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 伟 / 封面设计:速底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张:19

字数:451 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

随着高新技术的迅速发展和新军事变革的不断深入,各种新型导弹大量出现并在现代局部战争中得到广泛应用,对战争形态和进程产生了巨大的影响。导弹之所以能够精确命中目标,制导和控制是其关键。本书对导弹制导与控制原理进行了系统分析和深入阐述。

本书是作者在长期从事导弹装备教学和科研的基础上编写而成的。本书系统全面、内容翔实,在介绍导弹制导与控制基本概念和导弹运动特性的基础上,不仅详细阐述了导弹姿态的空气动力控制方法、推力矢量控制方法、直接力控制方法以及俯仰、偏航、滚转控制原理,而且系统阐述了导弹飞行轨迹的位置导引规律、速度导引规律以及自主制导原理(含方案制导、惯性制导、地图匹配制导、卫星制导、天文制导)、遥控制导原理(含有线指令制导、激光指令制导、无线电指令制导、激光波束制导、雷达波束制导)、寻的制导原理(含红外寻的制导、电视寻的制导、激光寻的制导、微波寻的制导、毫米波寻的制导)和复合制导原理。对于学习和研究导弹制导与控制原理提供了全面系统的专业理论支持。

导弹按照弹体结构和弹道特征可分为有翼式导弹和弹道式导弹,两类导弹的制导控制系统所涉及的部分术语和提法有明显的不同,所采用的制导体制也各不相同。根据教学需要,本书内容需涵盖有翼式导弹和弹道式导弹的各种制导原理。为了便于内容的组织,将各部分有机地融合为一个整体,本书在统一术语和提法、全面阐述各种制导原理等方面做了大量的工作并进行了有益的尝试。

本书共 11 章。主要内容包括:导弹制导与控制的基本概念和系统组成、目标特性和环境特性,导弹运动方程、传递函数及动态特性分析,导弹常用测量装置与执行机构,导弹控制方法与控制原理,导弹导引规律,自主制导原理,遥控制导原理,寻的制导原理,复合制导原理等。

本书由李洪儒教授主持制订框架结构和编写大纲,集体编写完成。第 1 章、第 7 章由李洪儒教授编写;第 2 章、第 4 章、第 5 章以及 9.1 节由李辉副教授编写;第 8 章、第 11 章以及 3.1 节由李永军副教授编写;第 6 章以及 3.3 节、9.2 节、9.3 节、9.5 节由郭希维副教授编写;3.2 节、3.5 节、3.6 节、10.1~10.4 节由许葆华讲师编写;3.4 节、9.4 节、9.6 节、10.5 节、10.6 节由张延生博士编写。

本书参考和引用了许多国内外专家的教材著作和研究成果,对所引用的成果均在参考文献中列出,在此对所有参考和引用文献的作者表示感谢。

本书承装甲兵工程学院常天庆教授和军械工程学院谷宏强教授审阅,提出了许多宝贵意见,在此谨致感谢。本书为军队“2110 工程”建设资助项目,在编写过程中得到了军械工程学院有关领导和工作人员的支持,在此表示感谢。

本书内容广泛,涉及很多方面的专业知识,由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者指正。

作 者

2015 年 11 月

# 目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 导弹制导与控制的概 念	1
1.2 导弹制导与控制系统	2
1.3 目标特性和环境特性	7
1.4 对制导与控制系统的基本要求	12
思考题	13
第 2 章 导弹运动特性分析	14
2.1 常用坐标系及其转换	14
2.2 导弹运动方程组及其简化	21
2.3 导弹扰动运动方程组	28
2.4 导弹传递函数	44
2.5 导弹动态特性分析	47
思考题	59
第 3 章 导弹常用测量装置与执行机构	61
3.1 陀螺仪	61
3.2 加速度计	76
3.3 测角仪	88
3.4 制导雷达	93
3.5 导引头	109
3.6 舵机	114
思考题	122
第 4 章 导弹控制方法	123
4.1 导弹的气动布局	123
4.2 导弹制导与控制的基本原理	128
4.3 导弹控制方法的分类	131
4.4 空气动力控制方法	132
4.5 推力矢量控制方法	138
4.6 直接力控制方法	142
思考题	145
第 5 章 导弹控制原理	146
5.1 导弹控制原理概述	146
5.2 滚转控制原理	149

5.3	俯仰(偏航)控制原理 .....	156
5.4	特殊用途的姿态控制回路 .....	163
	思考题 .....	165
<b>第6章</b>	<b>滚转导弹制导控制原理</b> .....	<b>166</b>
6.1	滚转导弹的运动方程 .....	166
6.2	滚转导弹制导控制 .....	170
	思考题 .....	176
<b>第7章</b>	<b>导弹导引规律</b> .....	<b>177</b>
7.1	导引规律概述 .....	177
7.2	位置导引规律 .....	179
7.3	速度导引规律 .....	182
	思考题 .....	186
<b>第8章</b>	<b>自主制导原理</b> .....	<b>187</b>
8.1	自主制导概述 .....	187
8.2	方案制导 .....	188
8.3	惯性制导 .....	190
8.4	地图匹配制导 .....	196
8.5	卫星制导 .....	197
8.6	天文制导 .....	202
	思考题 .....	207
<b>第9章</b>	<b>遥控制导原理</b> .....	<b>208</b>
9.1	遥控制导概述 .....	208
9.2	有线指令制导 .....	211
9.3	激光指令制导 .....	213
9.4	无线电指令制导 .....	215
9.5	激光波束制导 .....	225
9.6	雷达波束制导 .....	227
	思考题 .....	235
<b>第10章</b>	<b>寻的制导原理</b> .....	<b>236</b>
10.1	寻的制导概述 .....	236
10.2	红外寻的制导 .....	237
10.3	电视寻的制导 .....	255
10.4	激光寻的制导 .....	263
10.5	微波寻的制导 .....	266
10.6	毫米波寻的制导 .....	281
	思考题 .....	284

第 11 章 复合制导原理 .....	285
11.1 复合制导概述 .....	285
11.2 串联复合制导 .....	287
11.3 并联复合制导 .....	291
思考题 .....	294
参考文献 .....	295

# 第 1 章 绪 论

导弹是一种精确打击武器,它与普通武器的根本区别在于其具有制导与控制系统。导弹制导与控制系统是以导弹为控制对象的自动控制系统,它在保持导弹姿态稳定的前提下,按照预定的导引规律不断地调整和修正导弹飞行路线,导引和控制导弹飞向目标,直至最终命中目标。因此,制导与控制系统是导弹的核心组成部分,在很大程度上决定着导弹的战术技术性能。

## 1.1 导弹制导与控制的概念

### 1.1.1 导弹的基本概念

导弹是指载有战斗部,依靠自身动力装置推进,由制导与控制系统控制飞行并导向目标的武器。导弹之所以成为武器,就是因为载有战斗部,载有普通炸药战斗部的导弹称为常规导弹,载有核战斗部的导弹称为核导弹。

导弹由战斗部、动力装置、制导与控制系统、弹体和弹上电源等组成。战斗部习惯上称为弹头,用于毁伤目标;动力装置也称为推进系统,它是以发动机为主体、为导弹提供飞行动力的装置;制导与控制系统是导引和控制导弹飞向目标的仪器、装置和设备的总称,它一般可分为制导分系统和姿态控制分系统两大部分;弹体是由各舱、段、空气动力翼面等连接组成的、有良好气动外形的壳体,用以安装战斗部、动力装置、制导与控制系统、弹上电源等;弹上电源是供给弹上各部分工作用电的电能装置。

单独的导弹不能完成作战任务,必须有其他设备与其配合,并通过一定的连接方式,构成一个有机的整体,才能完成作战使命,这个整体就称为导弹武器系统。导弹武器系统一般由导弹、发射与发控设备、探测与指挥设备、技术支持与保障设备等组成。

目前,世界各国发展的导弹型号有上千种,为了便于研究和使用的,通常根据其具有的主要特征将它们进行分类。按照发射点和目标位置的不同,可分为面对面导弹、面对空导弹、空对面导弹和空对空导弹;按照射程远近,可分为近程导弹、中程导弹、远程导弹和洲际导弹;按照所攻击的目标,可分为反坦克导弹、反舰导弹、防空导弹等。

### 1.1.2 导弹的运动方式

导弹是一种飞行器,它在空中的飞行运动是十分复杂的。在弹体的弹性运动和挠性运动不引起结构不稳定的情况下,可将其在空中的飞行运动近似为刚体运动。在外力和外力矩的作用下,导弹刚体运动可分解为刚体的平移运动(质心运动)和绕质心转动(姿态运动)。

导弹的质心运动是由作用在弹体上的外力引起的,质心运动的轨迹就形成弹道。导弹的飞行弹道在某种意义上就决定了导弹的命中精度。为了提高导弹的命中精度,就要对导弹的质心运动进行导引,使导弹飞向目标。

导弹的姿态运动是由作用在弹体上的外力矩引起的,姿态运动可以形成不同的弹体姿



态。导弹的飞行姿态在某种意义上就决定了导弹飞行的动态稳定性。为了使导弹在飞行过程中稳定,就要对导弹的姿态运动进行控制,从而为导弹命中目标提供基本保证。

### 1.1.3 导弹制导与控制的定义

为了确保导弹稳定飞行,并最终命中目标,就要对导弹进行制导和控制。

导弹制导是指根据导弹的飞行状态和目标信息,按照预定的导引规律,控制导弹的飞行轨迹,并最终命中目标。导弹制导实质上就是对导弹质心运动进行的控制,使导弹飞向目标。由于目标有的在地面,有的在空中;有的静止不动,有的在不断运动,因此就需要不同的制导方式。

导弹控制在这是一个狭义概念,指的是按照一定的控制规律对导弹的运动姿态进行控制,使导弹飞行姿态稳定并具有需要的姿态角。导弹控制实质上就是对导弹绕质心转动进行控制,由于不同种类不同型号的导弹具有不同的气动布局和操纵方式,因此就需要不同的控制方式和控制方法。

## 1.2 导弹制导与控制系统

导弹制导与控制系统是根据制导控制原理,并为了达到导弹战术技术指标要求而设计的应用系统,主要实现导弹制导与控制等功能。

### 1.2.1 导弹制导与控制系统的的功能

#### 1. 弹道导引功能

测量导弹的飞行状态和目标信息,按照预定的导引规律形成导引指令,并送给控制装置执行,从而达到导引导弹按预定弹道或希望弹道飞行并命中目标的目的。

#### 2. 姿态控制功能

姿态控制功能分为两个方面:一方面要测量导弹的姿态信息,计算姿态偏差,按照预定的控制规律形成控制指令,并由操纵装置执行,从而使导弹稳定飞行并具有需要的姿态角;另一方面还要执行(或响应)制导装置送来的导引指令。

### 1.2.2 导弹制导与控制系统的一般组成

导弹制导与控制系统一般由制导控制装置和被控对象——弹体运动两大部分组成,制导控制装置是指用于控制弹体运动的所有仪器设备。制导控制装置是系统的核心,它一般由弹目相对运动测量装置、导引指令形成装置、姿态运动测量装置、姿态控制校正网络、信号综合放大装置、执行机构等组成,如图 1-1 所示。

从不同角度,可以对制导与控制系统的组成进行不同的划分。按照系统前向通道的前后顺序,可将系统划分为导引系统和控制系统。导引系统包含弹目相对运动测量装置、导引指令形成装置等环节,它的功能是测量导弹和目标的运动信息,并据此信息按照设定的导引规律形成导引指令,送给控制系统。控制系统包含姿态运动测量装置、姿态控制校正网络、

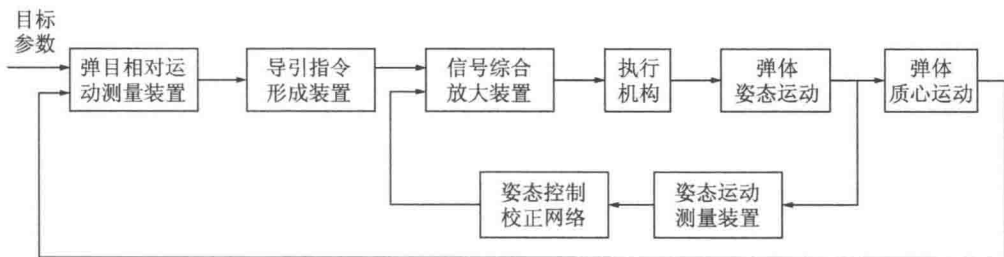


图 1-1 导弹制导与控制系统组成结构图

信号综合放大装置、执行机构等环节,它的功能是测量导弹的姿态角,通过校正网络形成姿态控制指令,将姿态控制指令与导引指令进行综合放大,控制弹体的运动,使导弹稳定并沿某种弹道飞行。

一般情况下,制导与控制系统是一个多回路系统,主要有两个回路:①大回路,主要任务是控制弹体的质心运动,保证导弹的命中精度,因此大回路也叫作制导回路或制导系统;②小回路,主要任务是控制弹体的绕质心转动,保证导弹的姿态稳定,因此小回路也叫作稳定回路或姿态控制系统。由图 1-1 可以看出,制导回路也包含稳定回路,因此有时也可将整个制导与控制系统简称为制导系统。

### 1.2.3 导弹制导方式

由于导弹对付的目标类型较多、特性各异,因而导弹的制导系统在设计实现中应用了不同的制导方式,这些不同的制导方式可按图 1-2 进行分类。

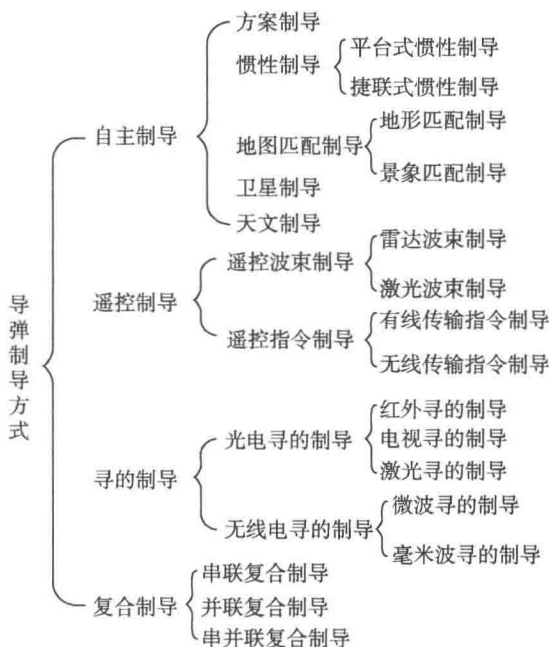


图 1-2 制导方式分类图

## 1. 自主制导

在飞行过程中,不需要从目标或制导站获取信息,完全由弹上设备产生导引指令的制导方式,称为自主制导。

导弹发射前,预先确定了导弹的弹道。导弹发射后,弹上制导系统的敏感元件不断测量实际的参数,如导弹的加速度、导弹的姿态、天体位置、地貌特征等。这些参数在弹上经适当处理,与预定的弹道运动参数进行比较,一旦出现偏差,便产生导引指令使导弹沿标准弹道飞向预定的目标。

为了确定导弹的位置,在导弹上必须安装位置测量系统。常用的测量系统有惯性导航系统、卫星导航系统、天文导航系统等。自主式制导设备是一种由各种不同作用原理的仪器所组成的十分复杂的系统。

采用自主制导方式的导弹,由于和目标及制导站不发生任何联系,故隐蔽性好,不易被干扰。导弹的射程远,制导精度也较高。但导弹一经发射出去,其飞行弹道就不能再变,所以只能攻击固定目标或将导弹引向预定区域。自主制导一般用于弹道导弹、巡航导弹和某些导弹(如地空导弹)的初始飞行段。

## 2. 遥控制导

利用导弹以外的制导站获取导引信息的制导方式,称为遥控制导。这里所说的导引信息,可能是导引指令或导弹的位置信息。根据导引指令在制导系统中形成的位置不同,遥控制导又分为遥控波束制导和遥控指令制导。

遥控波束制导系统中,制导站发出波束(如雷达波束、激光波束等)指示目标的位置,导弹在波束内飞行,弹上的制导设备能感知它偏离波束中心的方向和距离,并产生相应的导引指令,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,由制导站的导引设备同时测量目标、导弹的位置和运动参数,并在制导站形成指令,该指令送至弹上,弹上控制系统操纵导弹飞向目标。

可见,遥控波束制导和遥控指令制导虽然都由导弹以外的制导站导引导弹,但前者制导站的波束指向,只给出导弹的位置信息,至于导引指令,则由飞行在波束中的导弹检测其在波束中的偏差来形成。而遥控指令制导系统的导引指令,则由制导站根据导弹、目标的信息,检测出导弹与给定弹道的位置偏差,并形成导引指令,该指令送往导弹,以操纵导弹飞向目标。不管是哪种遥控制导,都要有制导站,都要从制导站获取导引信息,这就是它与自主制导的主要区别。

遥控制导的制导精度较高,作用距离可以比寻的制导稍远些,弹上制导设备较简单,但其制导精度随导弹与制导站的距离增大而降低,由于它要使用两个以上的信息,因此,容易受外界干扰。

遥控制导多用于地空导弹和一些空空导弹、空地导弹,有些战术巡航导弹也用遥控指令制导来修正航向。

### 3. 寻的制导

利用弹上导引头接收目标辐射或反射的能量而获取导引信息的制导方式,称为寻的制导。

导弹发射后,弹上的制导系统接收来自目标的能量,角度敏感器觉察出导弹接近目标时的方向偏差,弹上计算机依照偏差形成导引指令,使导弹飞向目标。寻的制导与自主制导的区别是导弹与目标间有联系;与遥控制导的区别是大多数情况下没有制导站,即便少数情况(如半主动寻的制导)有制导站,也不从制导站获取导引信息。

寻的制导可使导弹攻击高速目标,制导精度较高,而且不需要制导站,能发射后不管;但由于它靠来自目标的能量来检测导弹的飞行偏差,因此,作用距离有限,且易受外界的干扰。

寻的制导一般用于地空导弹、空空导弹、空地导弹和某些弹道导弹、巡航导弹的飞行末段制导,以提高命中精度。

### 4. 复合制导

以上三种制导方式各有其优缺点,如表 1-1 所示。当要求较高时,根据目标特性和要完成的任务,可把三种制导方式以不同的方法组合起来,取长补短,进一步提高制导系统的性能。例如,导弹飞行初段用自主制导,将其导引到要求的区域;中段用遥控指令制导,从而较精确地把导弹导引到目标附近;末段用寻的制导。这不仅增大了制导系统的作用距离,更重要的是提高了制导精度。当然,还可采用自主制导+寻的制导、遥控制导+寻的制导等组合制导方式。

表 1-1 三种制导方式的简要比较

类型	作用距离	制导精度	制导设备	抗干扰能力
自主制导	可以很远	较高	在弹上	极强
遥控制导	较远	高,随距离降低	分装在制导站内和弹上	较差
寻的制导	小于遥控制导	高,随接近目标升高	在弹上	较差

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衔接起来。

目前,复合制导已获得广泛应用,如地空导弹、空地导弹、地地导弹等。随着微电子器件的发展,复合制导的应用将越来越广泛。

#### 1.2.4 导弹控制方式

为了提高毁伤效果,对导弹进行控制的最终目标是使导弹命中目标时质心与目标足够接近,有时还要求有相当的弹着角。为完成这一任务需要对导弹的质心运动与姿态运动同时进行控制,但目前大部分导弹是通过姿态的控制间接实现质心控制的。导弹姿态运动有三个自由度,即俯仰、偏航和滚转,因此控制也存在三个通道。如果以控制通道的选择作为分类原则,则控制方式可以分为三类,即单通道控制、双通道控制和三通道控制。

## 1. 单通道控制

一些小型导弹,弹体直径小,在导弹以较大的角速度绕纵轴旋转的情况下,可用一个控制通道控制导弹在空间的运动,这种控制方式称为单通道控制。采用单通道控制方式的导弹可采用“一”字舵面、继电器式舵机,一般利用尾喷管斜置和尾翼斜置产生自旋,利用弹体自旋使一对舵面在弹体旋转中不停地按一定规律从一个极限位置向另一个极限位置交替偏转,其综合效果产生的控制力,使导弹沿标准弹道飞行。

在单通道控制方式中,弹体的自旋转是必要的,如果导弹不绕其纵轴旋转,则一个通道只能控制导弹在某一平面内的运动,而不能控制其空间运动。

单通道控制方式的优点是,由于只有一套执行机构,弹上设备较少,结构简单,质量轻,可靠性高,但由于仅用一对舵面控制导弹在空间的运动,对制导系统来说,有不少特殊问题需要考虑。

## 2. 双通道控制

通常制导与控制系统需要对导弹实施横向机动控制,故可将其分解为在互相垂直的俯仰和偏航两个通道内进行的控制,对于滚转通道仅由稳定系统对其进行稳定,而不需要进行控制,这种控制方式称为双通道控制方式。

双通道控制方式制导与控制系统组成如图 1-3 所示。其工作原理是:观测跟踪装置测量出导弹和目标在测量坐标系的运动参数,按导引规律分别形成俯仰和偏航两个通道的控制指令,这部分工作一般包括导引规律计算、动态误差和重力误差补偿计算及滤波校正等内容。导弹控制系统将两个通道的控制信号传送到执行机构的舵面上(十字型或×字型),控制导弹向减少误差的方向运动。

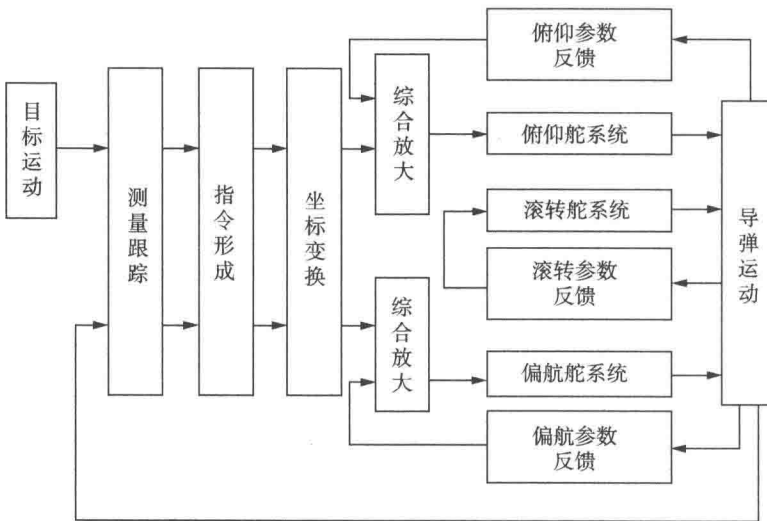


图 1-3 双通道控制方式制导与控制系统原理图

双通道控制方式中的滚转回路分为滚转角位置稳定和滚转角速度稳定两类。在遥控指令制导中,控制指令在制导站形成,为保证在测量坐标中形成的误差信号正确地转换到控制(执行)坐标系中形成控制指令,一般采用滚转角位置稳定。若弹上有姿态测量装置,且控制指令在弹上形成,则可以采用滚转角速度稳定。在主动式寻的制导方式中,测量坐标系与控制坐标系的关系是确定的,控制指令的形成对滚转角位置没有要求。

### 3. 三通道控制

制导与控制系统对导弹实施控制时,对俯仰、偏航和滚转三个通道都进行控制的方式,称为三通道控制方式,如垂直发射导弹的控制等。

三通道控制方式制导与控制系统组成如图 1-4 所示。其工作原理是:观测跟踪装置测量出导弹和目标的运动参数,然后形成三个控制通道的控制指令,包括姿态控制的参量计算及相应的坐标转换、导引规律计算、误差补偿计算及控制指令形成等,所形成的三个通道的控制指令与三个通道的某些状态量的反馈信号综合,送给执行机构,控制导弹飞向目标。

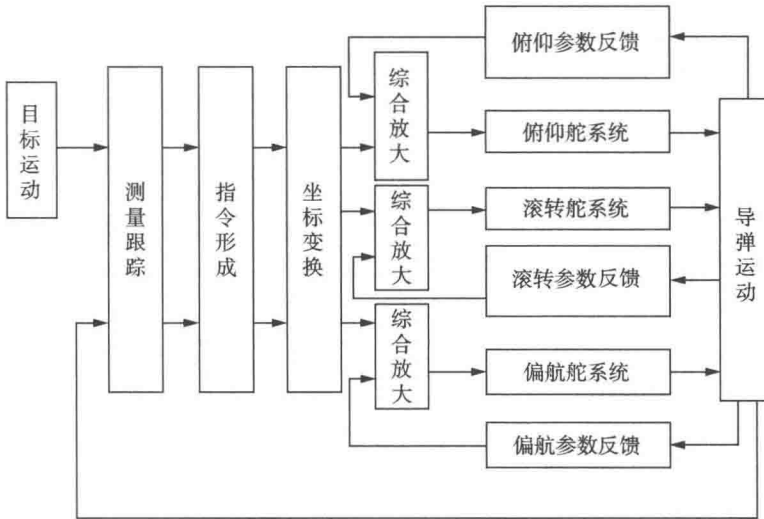


图 1-4 三通道控制方式制导与控制系统原理图

## 1.3 目标特性和环境特性

导弹精确打击的目标往往具有各种不同的特性,对制导与控制系统性能的要求也各不相同;同时,导弹飞行所处的环境以及目标运动所处的环境对制导与控制特性也有着很大影响。因此,本节对导弹打击目标的特性和有关环境的特性进行研究。

### 1.3.1 目标特性

对制导控制影响较大的目标特性主要有运动特性、红外辐射特性、雷达散射特性等。为

了便于研究,首先介绍一下目标的分类。

## 1. 目标分类

按导弹所攻击目标的位置可分为三类,即空中目标、地面目标和海面目标。

空中目标包括飞机和导弹两大类。其中飞机主要包括轰炸机、歼击机、侦察机、电子战飞机和预警机等;导弹主要是地地导弹、巡航导弹、空地导弹和反舰导弹等。

地面目标可分为固定目标和机动目标两类。固定目标如交通枢纽、指挥通信中心、军事装备仓库、飞机场等。机动目标主要为各种坦克和装甲车辆。

海面目标主要是指各类型的舰船。

## 2. 目标的运动特性

### 1) 空中目标的运动特性

导弹攻击的空中目标有飞机和导弹,这里主要介绍飞机的运动特性。

一般情况下,轰炸机的最大飞行速度在  $0.75\sim 2.0Ma$ ,升限在  $13\sim 18\text{km}$ ,过载值在  $1.4\sim 4g$ 。歼击机最大飞行速度在  $0.95\sim 2.5Ma$ ,升限在  $12.5\sim 20\text{km}$ ,最大可用过载在  $5\sim 9g$ 。战略侦察机的飞行高度通常都在歼击机飞行范围之外的空域活动,升限可达到  $24\sim 25\text{km}$ ,最大飞行速度可达到  $3.2Ma$ ,而低空侦察机则为了低空或超低空突防,利用地形跟踪技术,可在  $100\text{m}$  或更低的高度飞行。

### 2) 地面目标的运动特性

导弹攻击的地面运动目标包括坦克和装甲车等,这里主要介绍坦克的运动特性。

一般情况下,坦克在公路上的运动速度为  $50\sim 100\text{km/h}$ ,越野速度达  $40\sim 80\text{km/h}$ ,目前坦克的加速度性能都较好,在  $6\sim 14\text{s}$  内就能将速度从  $0\text{km/h}$  加速到  $32\text{km/h}$ ,具有制动和转向机动性能。

### 3) 海面目标的运动特性

海面舰船种类很多,小的如各种快艇,中等的如护卫舰、驱逐舰,大的如航空母舰,其尺寸差别很大。快艇一般有几十米长,几米宽;中型舰船有一百多米长,十几米宽,一二十米高;而大型舰船长几百米,宽几十米,高几十米,几何尺寸很大。它们的运动特性常与其几何尺寸成反比,这主要受推进系统的影响。大中型水面舰船速度为  $30\sim 80\text{km/h}$ ,快艇速度为  $60\sim 120\text{km/h}$ ,气垫船速度可超过  $150\text{km/h}$ 。

## 3. 目标的红外辐射特性

辐射是一种能量传播方式,它指辐射源经不同介质沿直线向外发散能量。红外辐射又称热辐射,是红外波长电磁能的辐射。

红外辐射是一种不可见光,其波长长于红色光波,比无线电波波长短。红外辐射的波长为  $0.76\sim 1000\mu\text{m}$ ,在红外技术领域里,把红外光谱划分为四个波段:近红外波段( $0.76\sim 3\mu\text{m}$ );中红外波段( $3\sim 6\mu\text{m}$ );远红外波段( $6\sim 15\mu\text{m}$ );超远红外波段( $15\sim 1000\mu\text{m}$ )。运用最广泛的是波长为  $0.76\sim 6\mu\text{m}$  范围的红外辐射,即在近红外波段和中红外波段。

飞机的红外辐射包括 3 个方面:发动机尾喷管口辐射、发动机排出的燃气流辐射和气动

加热辐射。发动机尾喷管口红外辐射波长为  $1\sim 5\mu\text{m}$ ；燃气流辐射的能量最大，如“米格-23”飞机，仅燃气流辐射就给迎头探测距离的贡献为  $6\text{m}$ ，给侧向探测距离的贡献为  $8\sim 9\text{km}$ ；气动加热是高速目标蒙皮因气流黏性和空气压缩升温引起的，如目标在  $10\sim 20\text{km}$  高空，速度为  $2.5\text{Ma}$  时，蒙皮温度可达  $180^\circ\text{C}$  ( $453\text{K}$ )，其红外辐射波长约为  $6\mu\text{m}$ 。

由于坦克贴着地面运动，在起伏地形上，很难在地面使用雷达进行探测和跟踪，因此比较多的是利用红外和可见光探测和制导。由于坦克有很多热源，主要是发动机的排气管（温度可达  $450\sim 600^\circ\text{C}$ ）以及长时间运动部件（由于摩擦产生较高的温度，如减震器、主动轮、诱导轮和轴承等运动部件，在长时间运动时温度也可以达到  $150\sim 250^\circ\text{C}$ ）。这样一些热源是很容易被红外探测器所探测出来的。

舰船的红外辐射特性取决于动力装置的类型、结构布局、舰船的性能和气象条件。舰船的主烟囱温度可达  $400^\circ\text{C}$ ，辐射出波长在  $3\sim 5\mu\text{m}$  的红外波，而一般船体温度在  $20\sim 60^\circ\text{C}$ ，辐射波长在  $8\sim 12\mu\text{m}$ 。这两个波段正好是红外辐射传输的大气窗口，可为红外制导反舰导弹攻击舰船提供良好的条件。

#### 4. 目标的雷达散射特性

很多制导控制系统的探测装置采用雷达，用目标反射到天线的电磁波测定目标的运动参数。目标反射电磁波的能力用有效反射面积（简称有效面积）表示。目标有效面积由雷达方程定义，其单位用  $\text{m}^2$  表示。有效面积的大小，主要由雷达工作波长和目标的方向、尺寸、外形、材料特性和表面状态等因素决定。重型轰炸机、战略弹道导弹、大型军舰等目标的有效面积在  $10\sim 100\text{m}^2$ 。小型飞机、战术弹道导弹、巡航导弹及坦克、小型舰船等有效面积在  $0.1\sim 10\text{m}^2$ 。目标的有效面积对雷达工作影响很大，目标有效面积越小，雷达发现目标的距离越小，对目标跟踪也越困难。

目标在运动中由于自身摆动、旋转等原因，雷达接收到的目标反射波强度和目标反射中心随机变化。前者称为目标回波的振幅起伏，后者称为目标的角闪烁。

多数目标的几何形状是复杂的，金属表面各部分都是电波的散射源。目标运动时，其姿态变化不定，如大气湍流引起飞机摆动，海浪引起军舰摇摆等，使目标表面电磁波散射源相对于雷达天线口的距离、角度都连续不规则地变化，因而雷达接收目标回波的强度随机地变化，这便是目标回波的振幅起伏。

多数地面、海上和空中目标都是多元散射体，空间任一点的散射振幅由各单元反射波进行相位叠加来决定。每个散射单元的散射波波前虽然是球形的，但对多散射元的目标，由于雷达与目标间的相对运动和飞机发动机转子旋转引起的目标形状变化等，其合成散射波波前出现畸变。这样，瞬时观察到的视在“目标”方向（即散射波波前的法线方向），一般不再是目标范围内的某一不变位置，于是出现了角闪烁。角闪烁通常用目标实际中心到“雷达视在中心”的距离表示。该距离可能跑出目标轮廓以外很远。

### 1.3.2 环境特性

环境是导弹和目标相互作用的场所，这里我们主要研究电磁环境和空气动力环境的有关特性。



## 1. 电磁环境特性

制导装置工作的电磁环境包括:电磁能的传播衰减、地物和背景杂波、多路径效应等。

### 1) 电磁能的传播衰减

对用目标的电磁能取得制导信息的制导装置,由于要经过中间介质,因此会使电磁能衰减,严重时会使传播成为不可能。

粗略地讲,电磁能的传播衰减是由传播介质的吸收和散射引起的。如大气中水蒸气、二氧化碳、氧及臭氧等会对电磁能吸收,大气中的云、雾、雨、雪、尘埃、细菌及水汽凝聚成的水滴——霾等小微粒,对电磁能不仅吸收,而且还散射。

研究证明,在光电波段,大气的吸收在某些频段最小,相对来说是传播较好的频段(即比较清晰的频段),这些频段称为大气窗口。可见光和红外线的大气窗口位于  $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ ,  $3\sim 5\mu\text{m}$  和  $8\sim 14\mu\text{m}$  处。毫米波的大气窗口大约位于  $8.5\text{mm}$ ,  $3.2\text{mm}$ ,  $2.1\text{mm}$ ,  $1.4\text{mm}$  处。

### 2) 地物和背景杂波

(1) 地物杂波。指地面、树林、海面等对电磁波漫反射造成的杂乱电波,简称为地物杂波。它的振幅和相位都是随机变化的。通常把地物杂波当成高斯白噪声,它的谱密度很宽,能够干扰各种频段的雷达,强杂波能湮没低空或地面目标的回波信号,使制导装置无法对目标进行探测。因此,利用雷达引导导弹攻击低空和地面目标的制导装置,必须解决这个问题。

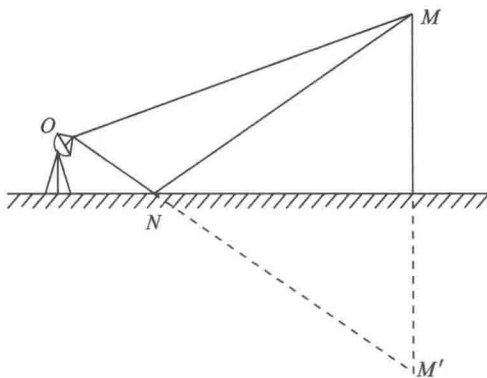


图 1-5 多路径效应

(2) 背景杂波。包括背景散射杂波和背景辐射杂波两个方面。背景散射杂波是指空中目标区域内的云、雨等对电磁波漫反射造成的杂乱电波。同地物杂波一样,背景散射杂波会对雷达制导装置产生较大的影响。背景辐射杂波是指地物、阳光、云层、大气等的热辐射,是形成目标红外背景的主要来源。因此,红外制导装置必须解决如何从背景辐射杂波中提取目标的问题。

### 3) 多路径效应

多路径效应是地球导电表面对电波镜像反射产生的目标回波,如图 1-5 所示。

雷达天线辐射的电磁波,可能经过多条路径到达目标。设天线辐射的电磁波经两条路径  $OM$  和  $ONM$  到达目标  $M$ 。其中,  $ONM$  路径是由地面反射引起的。当目标天线较远时,如果目标高度很低,可认为  $OM\approx ONM$ 。这样,直达雷达的目标回波和其他路径产生的回波,在时间上很难区分,使雷达不能精确测定目标距离,并使其距离分辨率下降,影响制导装置的性能。当多路径效应严重时,可能导致无法正确探测目标,破坏了制导装置的工作。

此外,用无线电雷达跟踪目标时,由于受地(海)面影响,垂直平面内的雷达天线的方向图分裂成花瓣状,也必导致跟踪误差增大。