

战术导弹飞行力学设计

(上)

张有济 主编

宇航出版社

战术导弹飞行力学设计

(上)

张有济 主 编

宇航出版社



数据加载失败，请稍后重试！

内 容 简 介

本书包括各类战术导弹研究、设计、试验和应用中主要的飞行力学理论和方法,以及为进行飞行力学工作必备的条件,其中包括:导弹运动的数学模型,性能分析方法,弹道设计与计算,弹体动态特性分析,制导(导引)规律,导弹的伺服气动弹性稳定性,飞行力学的试验技术,以及战术导弹飞行力学的一些特殊问题。

本书注重理论联系实际,其重点是战术导弹型号设计中的飞行力学问题。全书分为上、下两册,共16章。上册以基本理论为主,下册以工程应用为主。

本书可以作为从事战术导弹研究、设计、试验和应用单位的飞行力学、自动控制、总体设计以及其它有关专业的工程技术人员的主要参考书和手册使用,也可供航空航天大专院校、军事院校和使用部队有关专业的教师、高年级学生、研究生和部队科研人员参考。

**《战术导弹飞行力学设计》
编辑委员会**

顾问	庄逢甘	陈士橹	宣平	吴瑶华
主编	张有济			
副主编	关世义(常务)	曹柏桢	徐品高	汤善同 姜殿元
编委	袁子怀	周慧钟	邵继法	曾颖超
	李玉林	唐新安	杨涤	郑德斋
编辑部	张鸿雁	高惠英	曹永清	李梅
	张建舟	林茂燕		
责任编辑	林茂燕			

序

《战术导弹飞行力学设计》是一本颇有新意的著作。一般的机械设计实际上也是一种力学设计,不过我们在过去从来没有这样提出这个名词。这里我想强调的是,战术导弹飞行力学设计更有其重要性,因为战术导弹从发射到命中各种运动目标这个全过程就是飞行力学的过程,这个过程的设计就是飞行力学设计。

也许有人觉得飞行力学不是一个先进科学或者叫做高技术科学,这里我想提到 30 年代空气动力学理论的经典著作——*Durand* 主编的 *Aerodynamic Theory* 六卷本,其中的第四卷就是飞行力学。当时的注意力只是飞机,即使是对于飞机,飞机的飞行品质与安全性也和飞行力学有极大的关系。牛顿第二定律是大家都熟悉的,但是应该说牛顿描述的很多非线性运动到目前仍是非线性科学研究的重点。有了近代迅速发展的计算机和仿真设备,我们才有可能得到一些有实用价值的应用成果,但是从理论上讲无论是计算方法还是控制理论还有大量的问题需要去探索。

现代飞行力学是一个交叉性很强的学科,它需要空气动力学、结构动力学、工程控制论、目标识别技术及环境等学科的结合。这本书可读性强,我们要感谢本书作者们辛勤的劳动,它为我们的后来者铺了一块坚实的奠基石;这里要特别感谢主编张有济同志和常务副主编关世义同志,有了他们长期热心的推动,这本书才能早日与读者见面。

庄逢甘

1996 年 4 月

前 言

《战术导弹飞行力学设计》一书编写和出版的目的是:在总结我国近 40 年来战术导弹飞行力学教学、科学研究、工程设计、试验以及导弹作战训练等方面经验的基础上,提供一套既有理论基础,又有实践经验的战术导弹飞行力学专著,为今后的学科和型号发展奠定一定的理论基础。

战术导弹和制导兵器实际上是一种有控的力学系统。这就要求建立一个新的力学分支——有控飞行器的飞行力学,或有控飞行力学,无控仅是有控的特殊情况;与此同时,变质量系统力学、火箭动力学和有控力学系统分析动力学也有了很大的发展。当前,飞行力学已发展成为一门多学科交叉的边缘学科,它同空气动力学、理论力学、弹性力学、工程数学、自动控制、仿真技术、计算机学、武器系统工程学以及军事运筹学等有着密切的联系。

我们祖先虽然发明了火药和火箭,但作为一项大规模的系统工程,我国的火箭和导弹事业直到 50 年代中期才创建。根据型号发展的需要,各导弹研究院成立了相应的飞行力学专业组或工程组,有关试验靶场(基地)配备了飞行力学专业人员;与此同时,有关大专院校成立了飞行力学教研室,形成了一支力量较强的导弹飞行力学研究队伍。近 40 年来,这支队伍在飞行力学的教学、研究、设计、试验、应用和发展方面为我国的导弹事业作出了重要的贡献,积累了丰富的经验;另一方面,为了促进学科发展和型号研制,加强国内飞行力学界的合作与交流,国防科工委、中国宇航学会、中国航天工业总公司科学技术委员会成立了相应的飞行力学学术组织。实践表明,这些组织的成立大大推动了飞行力学学科,以及飞行力学与相邻学科之间的学术交流和科学研究活动。所有这一切都为本书的编写和出版准备了必要的条件。

该书的编写工作得到航天工业总公司科学技术司、国内战术导弹飞行力学有关组织、航空和航天部门有关研究院及其总体设计部、北京航空航天大学、西北工业大学、北京理工大学、哈尔滨工业大学、海军试验基地和宇航出版社等单位以及国内一批长期从事飞行力学、经验丰富的专家、教授和工程技术人员的大力支持。航天工业总公司第三研究院受委托承担本书的具体编辑和组织工作,在编写过程中付出了艰苦的劳动,发挥了重要的作用。

本书分为上、下两册,共 16 章。上册偏重于理论基础;下册则以工程应用为主。各章编写的作者为:

- 第一章 张有济
- 第二章 周慧钟 肖业伦 关世义 潘幸华
- 第三章 周慧钟 肖业伦
- 第四章 曾颖超
- 第五章 汤善同 李忠应
- 第六章 曾颖超 梁均一

- 第七章 曾颖超 杨其连
第八章 唐硕 陈士橹
第九章 徐品高 古席传 张建舟 杨其连 葛金海 汪丽珍
第十章 汤善同
第十一章 汤善同
第十二章 邵继法 张建舟
第十三章 关世义
第十四章 李玉林 汪丽珍 韩 群 廉建栋 赵明珍 郭智勇
第十五章 袁子怀 钱杏芳
第十六章 关世义 唐新安 李 梅
附 录 周慧钟

应当指出,由于本书涉及面很广,各类战术导弹的研制和使用单位在长期的实践中已经形成各自的习惯和标准。在编写过程中,编委会和作者们曾作过很大的努力,以便尽可能地采用统一的风格。同时,我们认为,适当地反映和照顾各类导弹的特点也是应当的。

最后,我们要特别感谢中国科协副主席、中国科学院院士、著名力学家庄逢甘教授为本书所作的序,以及他多年来对战术导弹飞行力学研究工作的大力支持和指导,同时对陈士橹教授、吴瑶华教授、宣平研究员,以及所有支持、帮助和关心过本书编写和出版的单位和个人表示衷心的感谢!

《战术导弹飞行力学设计》编辑委员会

1996年1月

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 导弹飞行力学研究的内容和方法	(1)
1.2 目标的特性	(4)
1.3 导弹的特性	(6)
第二章 环境特性与数据	(10)
2.1 引言	(10)
2.2 标准大气	(10)
2.3 大气紊流的频谱特性和飞行器的响应特性	(14)
2.4 海浪及其频谱	(35)
2.5 地球模型	(50)
2.6 地形模型	(51)
第三章 飞行力学的名词术语、符号与常用关系式	(58)
3.1 飞行力学常用符号	(58)
3.2 飞行力学中的向量、矩阵法	(64)
3.3 坐标系分类及其定义	(72)
3.4 正交坐标系之间的变换公式	(75)
3.5 四元数的理论及其在飞行力学中的应用	(80)
第四章 导弹的基本运动方程组及其研究方法	(90)
4.1 引言	(90)
4.2 作用在导弹上的力和力矩	(90)
4.3 刚体质心运动和绕质心转动的动力学方程组	(92)
4.4 导弹运动方程组	(96)
4.5 过载与运动的关系	(106)
4.6 导弹在铅垂面内的运动方程组	(109)
4.7 导弹在水平面内的运动方程组	(111)
4.8 导弹作为可控质点的运动方程组	(113)
4.9 在弹体坐标系上质心运动的动力学方程组	(118)
4.10 在地面坐标系上质心运动的动力学方程组	(120)
4.11 在倾斜平面上导弹的运动方程组	(121)
第五章 导弹制导规律	(123)
5.1 引言	(123)
5.2 经典制导规律	(124)

5.3 现代制导规律	(142)
第六章 导弹的动态特性分析	(185)
6.1 引言	(185)
6.2 导弹运动方程线性化	(187)
6.3 纵向和侧向扰动运动	(196)
6.4 扰动运动的特征根和解析解	(209)
6.5 纵向短周期扰动运动的模态	(211)
6.6 侧向扰动运动的模态	(218)
第七章 飞行控制系统	(226)
7.1 引言	(226)
7.2 导弹姿态运动的自动稳定与控制	(227)
7.3 自动导引飞行	(234)
7.4 自动导引的运动学传递函数	(236)
7.5 自动导引扭角计算和分析	(240)
7.6 遥控飞行	(243)
7.7 遥控的运动学传递函数	(246)
7.8 遥控空间扭角的计算和动态分析	(253)
7.9 遥控导引的重力影响和动态误差	(258)
第八章 弹性导弹动态特性分析	(260)
8.1 引言	(260)
8.2 弹性导弹的动力学方程	(262)
8.3 非定常空气动力模型	(276)
8.4 弹性导弹的动态特性分析	(283)
8.5 振动抑制与增稳技术	(301)
附表	(309)

第一章 概 论

1.1 导弹飞行力学研究的内容和方法

1.1.1 导弹飞行力学的定义和研究内容

导弹飞行力学是研究导弹在飞行过程中,在各种力的作用下运动规律的一门科学。导弹是属于无人驾驶的有控飞行器,为了完成飞行任务的要求,就需要按一定控制规律改变飞行器的运动方向和速度。因此,研究导弹作为飞行器的飞行力学是在考虑飞行器的气动特性、控制系统特性、推进系统特性、结构特性和环境特性条件下的运动学和动力学。

研究飞行器的飞行力学,首先研究作用在飞行器上各种力和力矩在运动过程中变化的特性,然后进而研究在这些力和力矩作用下飞行器的运动学特性和动力学特性。

飞行器的运动学和动力学特性按其特点可分为两种类型:

- 1) 飞行器的整体运动,即飞行器质心运动和飞行器绕其质心转动的姿态运动;
- 2) 飞行器局部的物体运动,如操纵面运动,弹性结构变形和振动、贮箱内液体晃动等。这些局部运动的特性对全弹的整体运动也产生影响。

研究导弹运动学、动力学及其有关的热力学,运用环境条件等交链问题为导弹控制系统设计、结构设计、导弹总体以及武器系统总体设计提供数据,这是导弹研制的重要依据。

研究导弹飞行力学需要掌握工程数学、物理、计算方法等基础理论外,还必须掌握空气动力学、自动控制理论、计算机技术、导弹系统总体设计等方面专业知识,这样才能正确的了解飞行过程中各种力的相互作用,精确地建立各项数学模型,并求出有关问题的解。

1.1.2 导弹飞行力学的研究特点

导弹的种类很多,其飞行特性也有很大差异。为了对其研究具有针对性,这里从作战应用的角度,把导弹分为两大类即战略导弹和战术导弹。

战略导弹是用于打击纵深战略目标,射程远,威力大,通常射程大于1000km。战术导弹是用于战场直接支援部队的战斗行动,导弹的尺寸小,机动性能好,射程比较小,通常射程小于1000km。

由于战略导弹和战术导弹作战任务、作战要求和应用的环境有较大的差别,其战术技术指标有很大的不同,导弹在飞行过程中,主要作战应用空域不同带来的飞行力学问题也是不一样的,战术导弹飞行力学的特点有:

- 1) 战术导弹大部分弹道是在大气层内,随高度的剧烈变化,大气参数以及作用在飞行器上的空气动力也有较大的变化,因而对飞行器的性能带来较大影响,这是飞行力学研究十分关心的问题。
- 2) 因为战术导弹是无人驾驶的,因此,必须研究有控系统的飞行力学问题。

3) 通常战术导弹都带有较大的空气动力面,气动载荷较大,气动引起的加热效应,结构弹性变形与控制回路的耦合,即所谓伺服气动(热)弹性稳定性是必须考虑的因素。

4) 导弹在攻击机动目标时要求其自身具有较大的机动能力,特别是在接近目标时,可能出现大攻角飞行,非线性和交叉耦合(运动、惯性、控制系统、气动力)给研究设计工作带来较大困难。

5) 为了减少对高速目标的脱靶量,战术导弹(特别是空空导弹和地空导弹)的制导规律(导引规律)研究有着特别重要意义,其描述方式多种多样,方法复杂。

6) 为了保证飞行器能够精确命中目标,飞行器常使用复合制导,即在不同的飞行阶段采用不同的控制和制导规律。制导方法变化和系统的参数变化,对控制系统设计带来很大影响。如何处理好这个问题,提高制导精度既是控制系统设计的重要问题,也是飞行力学设计需要考虑的重要问题。

7) 战术导弹的发射平台和战场环境十分复杂,它可以从地面、地下、水面、水下、空中发射,也可以车载、舰载和机载等,因而带来许多与此有关的飞行力学课题。

1.1.3 战术导弹飞行力学研究方法

研究战术导弹飞行力学的一般方法是理论与试验相结合的方法,先应用现有的知识,将研究的导弹状态和过程用数学模型的形式加以表达,可以是代数方程、微分方程或统计数学方程。方程的数量决定于所研究系统的复杂程度以及要求的精确程度。要研究的问题愈复杂和要求愈精确,则所列的方程组就愈复杂,这些方程组的解也就愈困难。一般来说,要十分完整和精确地用数学方程来描述研究大系统的过程是办不到的。通常都带有一定程度的简化处理,以满足实际设计工作的需要为准。但是这样一种简化与实际有出入,有时采用地面试验数据,或飞行试验数据加以修正。为了验证数学模型的真实性和准确的置信度,需要进行计算机仿真、地面试验和飞行试验,用试验数据或统计模型进行比较。

飞行力学的研究方法主要是用数学仿真、(缩比模型的)物理仿真(风洞试验、自由飞)、半实物仿真、最后是(全实物)飞行试验;从飞行试验所取得数据对飞行力学的模型进行验证和校正,最后给定导弹的数学模型。该模型是确定导弹飞行弹道、火控系统数学模型、靶场试验基准弹道结果分析和作战使用的杀伤区、安全发射区、危险区的主要原始依据。

为了描述飞行器(导弹)的空间运动,建立数学方程时需要考虑:

1) 飞行器通常是变质量物体(在飞行过程中推进剂消耗),需要列出质量随时间变化的关系方程;

2) 空气动力系数随着飞行高度、飞行马赫数变化的关系方程;

3) 为了便于对飞行器的飞行过程进行连续分析,并考虑在各不同阶段对不同飞行参数分析的方便,需要定义多种坐标系,对已建立的地面坐标系($Axyz$)、弹道坐标系($o x_2 y_2 z_2$)、弹体坐标系($o x_1 y_1 z_1$)和速度坐标系($o X_v Y_v Z_v$)等坐标关系可通过矩阵进行变换,建立飞行器质心运动方程和绕质心转动的六自由度运动方程。

4) 飞行器作为控制对象,它在空间运动要考虑目标和飞行器运动之间的关系,采用一定的制导规律方程,并按这个规律对飞行器进行操纵。为了保证控制过程具有一定准确性,也应给出反馈信号方程。

综上所述,可以知道飞行器的空间运动方程组大致是由刚体空间六自由度运动方程、几何关系方程、变质量方程、制导方程和控制方程等方程组成,每种飞行器还可以根据不同飞行状

态和研究不同参数要求,建立补充方程,使建立起来的方程中的未知参数与建立的方程数相等,在给定参数的初始条件后,用数值积分法求解方程组,求得各参数值及其变化规律,对部分参数可建立模型进行寻优和确定其边界值,为设计提供依据。

飞行力学研究通常有两种方式:一种是结合具体型号研制进行;另一种是专题研究。

在结合型号研制过程进行飞行力学研究时,应根据型号不同的研制阶段需要解决的问题和可能提供的数据准确度建立不同的飞行力学数学模型,并采用不同的分析方法。

第一阶段 型号可行性论证阶段是型号开展研制前必不可少的一步,是对拟研制的型号从技术上、经济上和时间上进行综合论证。这是根据初步的战术技术指标,提出型号方案设想和可供选择的技术途径。提出的型号方案设想必需满足主要战术技术指标。防空型号和反坦克弹型号的主要战术技术指标有对付目标主要特性,作战空域、反应时间,杀伤概率、导弹的外形尺寸和质量等。海防型号的主要战术技术指标主要是有效射程、巡航速度、平飞高度、导弹的外形尺寸、质量和杀伤概率等。根据型号的主要战术技术指标要求,选择型号的技术途径,确定型号方案和分系统要求,方案是否满足飞行特性的要求,需要在选择方案时进行不同方案的弹道计算与分析。此时外形和布局都是较粗略的,空气动力数据也是采用较简单的方法计算的,或采用经验数据,飞行器看作可控制的质点来研究其运动,以适应能迅速进行多方案对比,选择较优的方案,从而对初步战术技术指标提出更完善的要求。

第二阶段 方案设计阶段是根据经过论证的战术技术指标和型号研制任务书,进行详细的方案设计。通过对多种技术途径进行充分比较和必要的模样试验,确定各分系统的技术方案和技术指标,这一阶段进行导弹性能计算、分析、所采用的飞行器外形、结构、气动参数都比可行性论证阶段所用数据更具体、准确。在导弹特性计算时,要按质点系刚体来考虑,导弹的运动要考虑制导、控制方程等复杂因素,导弹的性能即飞行力学的主要问题,在这一阶段都应作出初步的分析与评定。

第三阶段 技术设计阶段,本阶段又可分为独立回路(自控)弹研制阶段和闭合回路(自导)弹研制阶段。独立回路(自控)弹研制阶段是对全弹和各个分系统进行详细的技术设计,进一步协调技术参数、完善设计参数。为了完善技术设计,进行导弹的“初样”制造,通过地面各种试验,如结构的强度试验,动力装置的地面试车,控制系统的仿真试验,最后完成独立回路(自控)弹的飞行试验,考核导弹的气动外形、结构强度、动力装置和自动驾驶仪的性能,进一步完善各系统的技术参数。在这一阶段中飞行力学工作都必须按照技术设计的要求,使用各系统技术设计后提供更真实的数据,进行各种计算,并充分利用系统仿真提供的数据和飞行试验提供的数据,完善有关的数学模型。

闭合回路(自导)弹研制阶段是在上一阶段基础上增加目标跟踪、导引系统功能。同时,系统研制由简到繁,每次飞行试验考核重点明确,增加试验成功概率。通过这阶段试验,武器系统引信与战斗部配合效率、导弹的杀伤概率、武器系统可靠性和作战、使用、维护性能都得到试验校验。这时飞行力学所有分析计算中导弹按真实弹体特性进行考虑,同时所有数学模型通过地面和飞行试验的考验,逐步趋于完善。

第四阶段 是设计定型和飞行鉴定试验阶段。本阶段的试验是针对武器系统能否满足作战使用的战术技术要求,为作战使用提供依据性数据。通过本阶段飞行试验数据的修正,使飞行力学的数学模型既有理论依据,又有试验数据修正,使其成为更符合实际情况,置信度很高、更完善的数学模型。在此阶段,通常可以通过导弹的全弹道数学仿真(统计打靶)来进一步确定

导弹的命中精度。

导弹飞行力学另一种研究方法是专题研究,它以导弹某一飞行过程的飞行状态作为研究对象,采用某些典型的结构方案,对某一种状态的飞行特性从理论上和计算方法上进行比较仔细的研究,而这种状态是过去研制所没有研究过的,缺少必要的分析方法和数据。因此,需要开展新的研究,建立数学模型,确定其边界条件,进行计算和仿真,得出结论,为以后的型号设计提供技术储备。

1.1.4 战术导弹飞行力学研究发展方向

随着科学技术的发展,军事装备的性能不断提高,对战术导弹性能提出了许多新的要求。当前战术导弹主要是提高飞行速度,增大有效作战射程,小型化、高机动,隐形性能好,突防能力强,精确制导和发射后自动寻的等要求,因而也给飞行力学研究提出了许多新的研究课题:

超低空、掠海、掠地飞行有很好的突防能力,是战术导弹发展的重要方向,但是区域的不稳定气流,海面的风场和导弹的击水、撞地等,这是超低空飞行中一个重要问题;

垂直发射具有全方位较好的机动能力,能快速接近目标,但全方位的机动,最优制导方法有待进一步发展完善;

在目标进一步提高其飞行速度和机动能力的情况下,战术导弹飞行速度提高又受到一定限制,对拦截高速、高机动能力的最优制导规律,是随着目标不同速度和不同方式的机动而需不断进行深入研究;

为了提高战术导弹突防能力和提高对目标的命中精度,对战术导弹进攻时的飞行航迹研究是随着对方反突防措施的提高而需不断完善战术导弹飞行性能,需要作战使用人员与飞行力学工作者密切的配合研究。

当然,在导弹的动态特性,建模与仿真技术,试验方法与参数辨识,稳定特性与控制方法,导弹的伺服气动(热)弹性特性及其控制等方面也有大量问题需要飞行力学工作者进行新的研究。同时,随着计算机、飞行仿真和自动控制技术的发展,应当大力开展飞行力学的相关课题研究,建立战术导弹飞行力学的数据库、知识库和专家系统,建立完善的导弹计算机辅助设计系统,这也是今后飞行力学研究的重要方向。

1.2 目标的特性

飞行力学研究与目标的特性有关。因此,这里扼要地讨论一下有关目标的特性问题。

1.2.1 目标的分类

战术导弹攻击的目标可分为三类,即空中目标、地面目标和海上目标。

空中目标包括飞机和导弹两大类。飞机种类很多,作为战争中需要对付的主要对象是战略轰炸机、战斗歼击机、侦察机、电子战飞机和预警机等。导弹主要是战术地地导弹、空地导弹、反舰导弹和巡航导弹。

地面目标可分为固定目标和机动目标二类。固定目标如交通枢纽、重要桥梁、指挥通讯中心、军事装备仓库、输水工程、发电设施等。地面机动目标如各种坦克、装甲车辆。

海面目标主要是指各种类型的舰船。

飞行力学研究最关心的问题是目标的运动特性,因为目标的运动特性直接影响到导弹的运动特性,而目标的红外、电、磁特性将影响导弹对目标的截获和制导。因此,在这里只作概念

性的叙述。

1.2.2 飞机的特性

飞机的种类很多,大多按其不同的作战应用要求来设计和分类。防空导弹主要对付的是战略轰炸机、歼击轰炸机、战斗轰炸机、侦察机和电子战干扰机等,这些飞机也各有自己的飞行特点。限于篇幅,只对影响战术导弹飞行性能要求的最主要的飞机特性作综合性的叙述。

对地(舰)空导弹作战性能有重大影响的是飞机的飞行速度特性、高度特性和机动特性,其飞行速度随不同的飞行高度而变化,机动能力与飞行马赫数有关,这几方面的关系可以用飞行包络图表示。飞行包络由最小速度线、升限线、 Ma 数限制线和速压限制线组成。

飞机的最大飞行速度受发动机的推力限制,飞机最小飞行速度和升限由飞机的升力必须等于重力,推力必需等于阻力的基本关系所决定,飞机的动压大小由飞机的飞行速度和高度所决定,受飞机结构强度所限制,低空大气密度大,阻力大,在飞机推力不变情况下,最小飞行速度就小。最小飞行速度随飞行高度而增高,因为只有这样才能维持升力等于重力。升限是随着飞行速度的增加而逐渐增加,达到最大速度后由于阻力增加升限逐渐降低。

一般来说,战略轰炸机最大飞行 Ma 数在0.75至2.0之间,小 Ma 数值对应着早期飞机的飞行速度,大 Ma 数值是近年来飞机的性能。升限在13200m至18000m左右,过载值在1.4至4之间。

歼击轰炸机最大飞行速度 Ma 数在0.95至2.5之间,升限在12500m至20000m之间,最大可使用过载在5至9之间。

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,飞机升限可达到24000m至25000m,最大飞行 Ma 数可达3.2,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100m或更低的高度飞行。

飞机的结构质量随着新材料性能的提高和发动机性能提高,质量进一步减小,结构强度的增加,为飞机速度的提高,承受过载能力的提高,使其机动性进一步提高,这方面的记载已有不少文章可供参考。

1.2.3 坦克特性

坦克是未来战争中重要的武器。随着军事装备的不断发展,坦克在进攻性和防护性都有很大的提高,在几何尺寸上它力争结构紧凑,外部尺寸小,质心低,这样可以减少中弹概率,有较高的运动速度,运动稳定性也好,坦克按其尺寸和质量可以分为轻型、中型和重型。轻型坦克质量在20~30t,长度4~5m;中型坦克质量在30~50t,长度5~7m;质量超过55t,长度超过7m,属于重型的范围。

坦克的运动特性:一般在公路运动速度50~100km/h,越野速度达40~80km/h,目前坦克的加速度性能都较好,在6~14s内就能将速度从0加速到32km/h,在制动和转向机动性上可以边走边停,可快可慢和迅速转向等机动能力。

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,(对远程和空射型反坦克导弹除外),因此比较多的是利用红外或可见光探测和制导。由于坦克有很多热源,主要是发动机的排气管,长时间运动部件也可能由于摩擦产生较高的温度,排气管的温度可达450℃~600℃,而其减振器,主动轮,诱导轮,轴承等运动部件,在长时间运动时也可达到150℃~250℃。这样一些热源是很容易为红外探测器所探测出来的。

1.2.4 海上特性

海面舰船种类繁多,小的如各种快艇,中等的像驱逐舰、巡洋舰,大的如航空母舰,它们尺寸差别很大,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;而大型舰只长几百米,宽几十米,高几十米,几何尺寸很大,差别也很大。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。大中型水面舰只速度为 30~80km/h,快艇速度为 60~120km/h,气垫船速度可超过 150km/h。这样的速度相对于岸舰导弹,或舰舰导弹,空舰导弹的速度来说是很小的。

海面舰船的雷达散射截面(RCS)因其几何尺寸大,结构造成许多角反射体,且都具有良好的电性能,因此,舰船的雷达散射截面都比较大,可考虑用下列经验公式求雷达散射截面积:

$$\sigma = 52 f^{\frac{1}{2}} D^{\frac{3}{2}}$$

式中 σ ——雷达散射截面积(m^2)

f ——雷达频率(MHz)

D ——舰船的排水量(kt)

由于舰船的雷达散射截面很大,探测或寻的雷达比较容易从海面杂波中分辨出来。未来的水面舰船将采用隐形技术,因而其 RCS 将显著减小。

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,舰船主烟囱温度可达 400℃,辐射出波长在 3~5 μm 范围内的波长,而一般船体温度在 20℃~60℃ 而幅波波长在 8~12 μm 波长范围内。这二个波段正好是红外辐射传输的大气窗口,可为反舰导弹攻击船只,进行红外制导提供了很好的条件。

1.3 导弹的特性

导弹技术是随着科学技术的发展、军事对抗的需要而不断发展的。因此,导弹的战术技术,作战使用性能是不断变化的,90 年代的导弹性能,远比 50 年代的导弹性能有了巨大提高,而在导弹的品种方面都有很大增长,总的来说,新一代的导弹性能有下列提高:

1) 体积小、速度高、射程远,这是由于弹上电子设备小型化,推进剂比能量提高,发动机工作效率的提高以及质量轻强度高新型材料日益发展而使得性能的不断提

2) 武器系统作战准备时间短,作战过程自动化程度高,提高了武器系统的生存能力和作战效率;

3) 突防能力提高,具有多种突防手段,采用加固或回避技术,超低空或掠海、掠地飞行,机动变轨等技术;

4) 具有抗电、磁干扰能力,适应在复杂的电磁环境中作战。

战术导弹按其作战使用不同也可分为两大类。

防御类型,如防空导弹、舰空导弹和反导弹导弹等,要求它们的性能,特别是在飞行速度、机动能力和制导精度上都应比所对付的目标要高,才能保证有足够的命中概率击毁进犯目标。

进攻类型,如地地弹道式导弹,巡航导弹、反辐射弹、空空导弹和空地导弹等,它们利用在其速度快,突发性强,不易为对方拦截,达到有效打击效果。