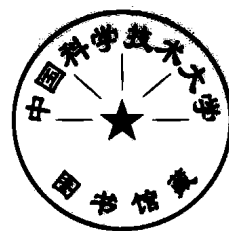




# 有翼导弹引论

武 凌 斯 编



## 内 容 简 介

本书对有关翼导弹武器系统作了简要而又系统的介绍。它侧重叙述导弹各部分的工作原理和组成。主要介绍有关翼导弹的飞行原理、制导系统、战斗部系统、动力装置和弹体构造等。此外，还介绍了导弹总体设计中的一些问题和导弹的一些发展趋势。

本书可作有关院校导弹概论课程的教材，也可供有关的工程技术人员、干部、教师、学生参阅。

## 有翼导弹引论

武波斯 编

国防工业出版社 出版

北京市新闻出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787 × 1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 20<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 177千字

1979年7月第一版 1979年7月第一次印刷 印数：0,001—4,800册

统一书号：15034·1856 定价：2.10元

# 前 言

四个现代化的关键是科学技术的现代化。对于国防现代化，就是用最先进的科学技术来武装国防的各个部门。而发展有翼导弹武器系统是现代化国防的重要项目之一。

要发展和在军事上运用有翼导弹，必须首先了解和掌握它的基本知识。为此，我们编写了“有翼导弹引论”一书，向从事国防各个部门工作的领导干部、科技人员、技术工人、指战员，以及高等院校导弹类专业的学生，比较全面地介绍有翼导弹武器系统的各方面的基本知识。本书对于他们的工作和学习可能是有益的。对于广大爱好航空科学技术的青年来说，不仅可以开阔视野，也可以激发其立志于国防现代化建设的决心。

本书对有翼导弹武器系统的基本知识作了系统的初步的介绍。其内容包括：导弹的发展简史及其分类；导弹的飞行原理（包括空气动力学、导弹飞行力学及导引规律、导弹的攻击区等）；导弹的制导系统（包括各种制导系统的工作原理、特点以及自动调节的基本概念）；导弹的战斗部系统（包括炸药、各种战斗部的工作原理以及引信和保险机构）；导弹上使用的各类发动机的工作原理及特点；导弹弹体构造以及制造工艺问题；导弹的发射装置；导弹总体设计中的若干问题；有翼导弹的现状与发展趋势。最后一章中，还对其它类型的导弹武器也作了简要的介绍。

本书在编写过程中，参考了一些国内外期刊、文献资料、书籍和有关高等学校的各种教材等，对这些就不在书后一一列出了。某些章节经有关专业的同志审阅，在此表示感谢！

有翼导弹武器系综合运用了多学科的基础理论和各种现代应用科学技术。本书在编写中力求全面、系统、通俗易懂，但涉及到的基本知识、技术领域比较广泛，由于我们水平所限，书中必然存在不少缺点和错误，希望读者批评指正。

# 目 录

第一章 绪论	1	八、附面层的概念	23
§1.1 火箭与导弹	1	九、导弹的升力和阻力	24
§1.2 火箭和导弹的发展简史	1	十、空气动力特性的试验	28
§1.3 导弹的分类	3	§2.4 作用在导弹上的力和力矩	29
一、地对地导弹	3	一、常用坐标系	30
二、地对空导弹	4	二、作用在导弹上的力	31
三、空对地导弹	4	三、作用在导弹上的力矩	35
四、空对空导弹	4	§2.5 导弹的运动及其数学描述	40
§1.4 导弹的主要组成部分	4	§2.6 常用的导引规律	43
一、战斗部	5	一、纯追踪法	45
二、发动机	5	二、平行接近法	45
三、制导系统	5	三、比例接近法	46
四、弹体	5	四、三点法	47
§1.5 导弹的研制过程	6	五、矫直系数法	47
一、拟定战术技术要求	6	六、方案飞行	48
二、草图设计	6	§2.7 导弹的机动性、稳定性和操纵性	48
三、技术设计	6	一、机动性	48
四、试制	7	二、稳定性	50
五、靶场飞行试验	7	三、操纵性	51
第二章 飞行原理	8	§2.8 关于“攻击区”的介绍	53
§2.1 空气的物理性质	8	第三章 制导系统	55
一、连续性	8	§3.1 概述	55
二、空气的压强	8	一、制导系统的功用及组成	55
三、空气的粘性	9	二、制导系统的分类	55
四、空气的可压缩性	10	§3.2 自主式制导系统	56
§2.2 大气结构及标准大气	11	一、惯性制导系统	56
一、大气结构	11	二、方案制导系统	68
二、标准大气	18	三、地图匹配制导系统	71
§2.3 气体流动时的基本规律	13	§3.3 遥控式制导系统	73
一、空气的状态参数及状态方程	13	一、波束制导系统	73
二、气体流动的质量方程	15	二、指令制导系统	79
三、伯努利定理	15	三、单脉冲雷达及相控阵雷达	85
四、音速 $\alpha$ 和马赫数 $M$	16	四、电视指令制导系统	88
五、低速气流的特点	17	§3.4 自动寻的式制导系统	90
六、高速气流特性	18	一、红外线自动寻的系统	90
七、激波和膨胀波	20		

二、雷达自动寻的系统	102	一、涡轮喷气发动机的工作原理	165
三、电视自动寻的式制导系统	107	二、涡轮风扇发动机	167
△ §3.5 自动调节系统的基本概念	110	三、冲压喷气发动机	169
一、开环和闭环控制系统	110	§5.5 火箭-冲压组合发动机	171
二、自动调节系统的分类	111	一、固体火箭-冲压组合发动机	171
三、自动调节系统的性能	112	二、液体燃料冲压组合发动机	173
§3.6 单通道旋转弹的控制原理	113	三、固体燃料冲压组合发动机	173
一、双通道导弹的操纵方法	113	<b>第六章 弹体构造</b>	175
二、单通道旋转弹的操纵原理	115	§6.1 概述	175
<b>第四章 战斗部系统</b>	120	一、弹体的功用及一般要求	175
△ §4.1 概述	120	二、弹体的受力及变形	176
一、炸药的爆炸	120	三、弹体的强度、刚度要求及其试验	177
二、常用的几种烈性炸药和起爆药	121	§6.2 弹翼的构造	179
三、战斗部的分类	121	一、概述	179
§4.2 各种战斗部的工作原理及其典型的结构型式	122	二、弹翼构造的受力构件	179
一、爆破战斗部	122	三、弹翼的构造型式	185
二、聚能破甲战斗部	125	§6.3 弹身的构造	192
三、杀伤战斗部	127	一、概述	192
四、核战斗部	134	二、弹身的构造型式及其受力构件	193
五、战斗部的发展趋势	137	三、弹身上的口盖及加强口框	197
§4.3 引信和保险装置	138	四、弹身舱段的连接	198
一、非触发光学引信	139	五、弹身舱段的密封	202
二、触发引信	142	§6.4 燃料箱的构造	203
三、非触发无线电(雷达)引信	144	一、概述	203
<b>第五章 发动机</b>	146	二、燃料箱的构造	204
§5.1 固体推进剂火箭发动机	146	三、燃料箱的附件	208
一、固体火箭发动机的特点、工作原理	146	§6.5 操纵机构和舵面(操纵面)的构造	211
二、固体火箭发动机的推力	148	一、概述	211
三、固体火箭发动机的主要性能参数	151	二、操纵机构的构造型式	212
四、固体火箭发动机的推进剂及点火药	152	三、舵面的构造特点	220
五、固体火箭发动机的设计问题	155	§6.6 分离机构	222
§5.2 液体推进剂火箭发动机	160	一、纵向分离机构	223
一、液体火箭发动机的工作原理	160	二、横向分离机构	224
二、液体火箭发动机的推进剂	162	§6.7 弹体的构造设计及制造工艺	226
三、液体火箭发动机与固体火箭发动机的比较	163	一、弹体的构造设计	226
§5.3 固液组合火箭发动机	164	二、弹体构造的制造工艺	232
§5.4 空气喷气发动机	165	三、弹体设计与制造工作的新发展	233
		<b>第七章 发射装置</b>	236
		§7.1 导弹的发射方式	236

§7.2 发射装置 .....	236
一、小型地对空导弹单兵发射装置...	236
二、地对空导弹的发射装置 .....	237
三、航空导弹的发射装置 .....	239

## 第八章 有翼导弹总体设计中的

<b>某些问题</b> .....	241
§8.1 拟定战术技术要求 .....	241
一、目标特征 .....	242
二、战斗部的选择 .....	243
三、制导系统的选择 .....	247
四、发动机的选择 .....	250
五、发射装置的选择 .....	252
§8.2 有翼导弹主要设计	
参数的确定 .....	254
一、设计情况的选定 .....	254
二、主要设计参数的确定 .....	256
§8.3 有翼导弹的外形设计 .....	259
一、有翼导弹的空气动力布局 .....	259
二、有翼导弹外形几何参数的确定 .....	261
§8.4 有翼导弹的部位安排 .....	268
一、部位安排的一般原则 .....	268
二、某些设备和部件的特殊要求 .....	269
三、导弹重心位置的确定 .....	270
§8.5 导弹武器系统的试验 .....	271
一、地面试验 .....	272
二、飞行试验 .....	273
§8.6 导弹系统的摧毁概率 .....	274
一、导弹武器系统的摧毁概率 .....	275
二、导弹自身可靠工作的概率 .....	275
三、 $n$ 次独立发射时至少命中	
一次的概率 .....	276

四、 $n$ 次独立发射时命中	
$k$ 次的概率 .....	276
五、单射、齐射时所需的导弹数量 .....	276

## 第九章 各类有翼导弹的介绍及

<b>其发展概况</b> .....	279
§9.1 空对空导弹 .....	279
一、“响尾蛇”空对空导弹 .....	279
二、空对空导弹的发展概况	
及其发展趋势 .....	284
§9.2 地对空导弹 .....	285
一、地对空导弹介绍 .....	285
二、地对空导弹的发展趋势 .....	291
§9.3 空对地导弹 .....	292
一、空对地导弹发展概况 .....	293
二、空对地导弹的发展趋势 .....	295
§9.4 舰对舰导弹 .....	296
一、“冥河”舰对舰导弹 .....	296
二、“捕鲸权”导弹 .....	298
三、舰对舰导弹的发展趋势 .....	299

## 第十章 其它类型导弹 .....

§10.1 巡航导弹 .....	300
§10.2 弹道式导弹 .....	304
一、弹道式导弹的特点 .....	306
二、弹道式导弹飞行的主要参数	
及弹道 .....	310
三、弹道式导弹的发展趋向 .....	315
§10.3 反弹道式导弹 .....	316

附表一 空对空导弹主要数据表 .....	318
附表二 地对空导弹主要数据表 .....	319
附表三 空对地导弹主要数据表 .....	321
附表四 舰对舰导弹主要数据表 .....	322

# 第一章 绪 论

## § 1.1 火箭与导弹

作为军事用途的飞行器，有飞机、火箭和导弹。飞机是有人驾驶的飞行器，而火箭和导弹是无人驾驶的飞行器。

火箭是依靠火箭发动机推进的一种飞行器。这种飞行器依据不同的用途而装有各种不同的有效载荷，当它装有战斗部系统时，称之为“火箭武器”，否则它就不被称为火箭武器，而给以其它名称，如探空火箭、卫星运载火箭等。在火箭武器中可以分成可操纵的与不可操纵的，可操纵的称为可控火箭，如弹道式火箭；不可操纵的称为火箭弹或无控火箭。

导弹是一种飞行武器，它可以装置火箭发动机，也可以装置空气喷气发动机（如涡轮喷气发动机、冲压式发动机等）。作为导弹的突出特点是它必须装有利导系统，通过制导系统对导弹进行飞行控制、导向目标。制导系统可以全部安置在导弹上，也可以一部分安置在导弹上，另一部分则安置在指挥站（地面、舰只或飞机上），而从指挥站进行控制。

必须注意，关于“火箭”与“导弹”两个名词，到目前为止，在中外的某些书籍报刊中经常混用，如“洲际火箭”与“洲际导弹”，其实它们所指的就是一个东西。只要大家弄清楚了火箭与导弹的基本含义，对其稍加注意分析，是不难分辨清楚的。

在我们这本书中，有翼导弹指的是“空对空导弹”、“地对空导弹”、“空对地导弹”，以及“巡航导弹”等。有翼导弹都装有翼面（包括舵面、弹翼等），在稠密的大气层中飞行的，并且在整个飞行期间通常要不断地进行控制。由于这类导弹在气动型式上都装有翼面，所以本书定名为“有翼导弹引论”，在内容上主要针对有翼导弹的有关基本知识进行介绍。

## § 1.2 火箭和导弹的发展简史

火箭技术是最年轻的科学技术之一，但是它又有着相当悠久的发展历史，它经历了几个世纪人们不断的辛勤劳动和探索。在它的整个发展过程中是与阶级斗争的最高形式——战争紧密联系着的，而生产力和科学技术的发展水平则是火箭技术发展的基础。

我们伟大领袖毛主席指出：“中国是世界文明发达最早的国家之一”（《中国革命和中国共产党》）。我们中华民族在古代就发明了火药、指南针、造纸法和印刷术，这就是世界历史上著名的中国“四大发明”。

我国是火箭的祖国。根据历史的记载，在公元前数百年以前，我国劳动人民就发现了硝石，并利用它制造燃烧物质中的氧化剂。唐朝初期，公元682年，炼丹家孙思邈在他所著的“丹经”中已有类似于火药成分的配方，后来又发明了火药。到唐朝末年，公元1000年左右，火药就开始用于军事。火箭的发明是与火药的发明分不开的。

宋朝初期，公元969年，冯义升和岳义方两人利用火药制成了世界上第一支火箭——火药火箭。仅仅经过几年，至公元975年，这种火箭作为武器被用于宋灭南唐的战争中。从十一世纪到十三世纪期间，宋军作战时，就经常使用火箭武器了。



十三世纪，宋末、宋与金、元交兵时把火药及火箭传至金、元，而后又将火箭技术先传入阿拉伯国家，后来又传入欧洲

到了明朝（1368~1644年），火箭武器又有了不少改进。公元1450年，戚继光在沿海一带抗敌战斗中，曾制造并使用了多种火箭武器，如飞刀、飞枪及飞箭。为了增大火箭武器的威力，还制造了能装很多支火箭并能进行齐射的“火箭束”，如一次发射10支的叫“火弩流星箭”，一次发射32支的叫“一窝蜂”，一次发射100支的叫“百矢弧箭”或“百虎齐奔箭”，它们较相似于今天的火箭炮。

十三、十四世纪，欧洲也出现了火箭。十七、十八世纪及十九世纪初叶，在俄国、印度和英国，为了军事上的需要，都大力发展了火箭武器。

直到十九世纪中叶，火箭与火炮一直同时使用并互相竞争着。那时，火炮还都是滑膛炮，射程不远，命中率不高，而火箭则使用方便，性能尚好。但到十九世纪末叶，由于冶金工业、机械加工工艺的发展，在火炮上采用以硝化纤维素为基的新型火药，提高膛内压力，在膛中加工出膛线，以及由尾部装弹代替过去的由炮口装弹，从而大大地提高了火炮的性能（射程、密集度和发射率）。相形之下，火箭技术就相对落后了，在军事上的应用逐渐减少，火炮和火箭竞争的结果，火炮占有优势。例如，1905年日俄战争和第一次世界大战中，都很少使用火箭。

在火箭发展处于低潮期间，各国科学家对火箭技术的研究和试验却一直进行着，其中有俄国的学者齐奥尔科夫斯基，美国的哥达德等。齐奥尔科夫斯基在火箭技术方面是有贡献的，他提出利用液体燃料的可能性，并画出了示意图。他还创立了著名的火箭飞行速度公式即齐奥尔科夫斯基公式，并提出了多级火箭的设计思想和星际航行的伟大理想。

到了二十世纪三十年代，由于液体火箭推进剂及新型固体火箭推进剂、高温材料和电子技术等取得了新的成就，这就给火箭武器恢复了新的活力。二十世纪四十年代初，第二次世界大战末，德国法西斯积极从事火箭技术的研究，并附设规模较大的生产基地，在那里制造出一系列的火箭，如飞航式导弹——V-1和弹道式导弹——V-2，这两种导弹武器曾在战斗中使用过。另外还试制了“莱茵女儿”、“瀑布”等防空导弹，但由于法西斯侵略者的迅速灭亡，这种导弹没有完全研制定型。

到了二十世纪五十年代以后，科学技术有了飞跃的发展，特别是空气动力学、结构力学、喷气推进技术、微型固体电子技术、高速电子计算机技术、自动控制技术、冶金材料学、物理学、化学、原子能技术、红外技术、激光技术、工艺制造技术的蓬勃发展，它们为火箭技术的发展准备了物质条件，使火箭技术进入了一个新的发展时期，相继出现了各种类型的有翼导弹、洲际弹道式导弹、人造卫星和宇宙飞船。目前导弹武器已成为现代战争中最新的强大的武器，是国防现代化的重要标志之一，世界各国都投入了大量的人力和物力从事导弹武器的研制工作。

我国虽然是火箭的发源地，但在旧中国由于受反动阶级的长期统治，使得这项技术长期得不到发展。解放后，在伟大领袖毛主席和中国共产党的英明领导下，我国人民思想解放，奋发图强，用较短的时间使导弹技术取得了飞跃的发展。1964年10月16日我国成功地爆炸了第一颗原子弹，1966年10月27日实现了导弹核武器飞行试验。1967年6月17日又爆炸了第一颗氢弹。从爆炸第一颗原子弹后，只用了五年半的时间，于1970年

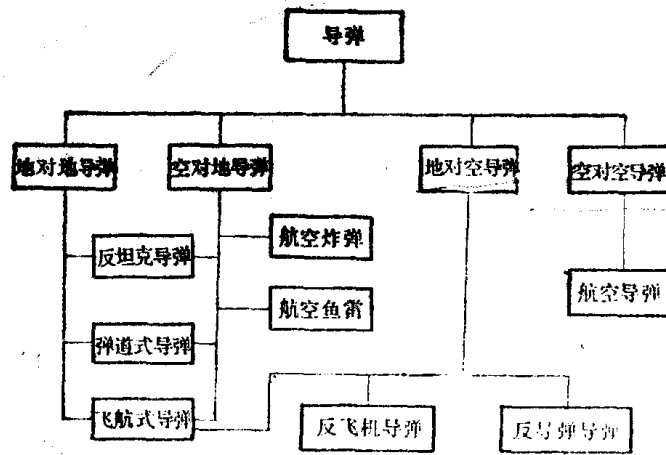
4月24日我国成功地发射了第一颗人造地球卫星。我们在导弹核武器方面每取得一项成功，都是对超级大国的核垄断一次沉重的打击。为了要消灭核武器，我们还必须加速发展导弹核武器。

以华主席为首的党中央，一举粉碎了“四人帮”，全国人民意气风发地紧跟英明领袖华主席进行新的长征，努力攀登世界科学技术的高峰，用较短的时间使导弹技术赶上世界先进水平。

### § 1.3 导弹的分类

目前各国研制的导弹，种类繁多，为了便于研究分析，就需要根据它们的特点进行分类。通常是按发射地点和目标的位置或按飞行航迹的特性以及由此而定的导弹结构特性来进行分类的，这两种分类法，简单明确的说明了各类导弹的功用及其主要特点，其相互关系可用表 1.1 来表示。

表 1.1



#### 一、地对地导弹

地对地导弹是由地面发射攻击地面目标的导弹。这里的“地面”是指陆地表面、水面及地下、水下某一深度。根据这类导弹的任务及其结构上的特点，它们又可分为弹道式导弹、飞航式导弹（巡航导弹）以及反坦克导弹。

弹道式导弹 它在开始一小部分弹道上是用火箭发动机推进外，其余弹道部分是按照自由抛物体的规律几乎完全靠惯性飞行。前面一小部分弹道称为主动段。其余部分弹道称为被动段。弹道式导弹的飞行一般只在主动段进行控制。

根据射程的不同，弹道式导弹可以分为近程（如射程为 100~1000 公里）、中程（如射程为 1000~1000 公里）、远程（如射程为 4000~8000 公里）和洲际（如射程为 8000~10000 公里）弹道式导弹。

飞航式导弹 它是有翼导弹，其外形与飞机差不多。它的飞行航迹大部分为水平飞行，并且在大气层内飞行。飞航式导弹多采用空气喷气发动机。所以，为了从发射装置上发射，需要采用固体火箭发动机作为助推器。

反坦克导弹 它是有翼导弹。这种导弹是用来摧毁坦克、装甲车辆以及加固的掩体、反坦克导弹可从地面、自行运输车或直升飞机上发射

## 二、地对空导弹

地对空导弹也称为防空导弹，它是有翼导弹。地对空导弹是从地面或海面发射攻击空中目标的导弹，以保卫工业城市、政治中心、军事基地、海港以及大型军舰等。

地对空导弹根据其所攻击目标的类型不同又可以分为两种：一种是攻击在大气层中飞行的各种类型的飞机和飞航式导弹，称之为反飞机导弹；另一种是打击速度很高、在大气层之外飞来的弹道式导弹，称之为反弹道式导弹（简称为反导弹导弹或反导弹）。

在反飞机导弹中，按其攻击目标的高度不同又可分为中高空（如射高为10~30公里）、低空（如射高为3~10公里）和超低空（如射高在3公里以下）地对空导弹。

## 三、空对地导弹

空对地导弹是从飞机或直升飞机上发射，用于对付地面或海上目标。根据导弹的任务和设备上的特点又可分成机载反坦克导弹、机载飞航式导弹、空中发射的弹道式导弹、航空炸弹和航空鱼雷等。

机载反坦克导弹是有翼导弹。它与地面发射的反坦克导弹相类似，所不同的只是它从直升飞机上发射。

机载飞航式导弹与地面发射的飞航式导弹相类似，所不同的只是它从飞机或直升飞机上发射。

空中发射的弹道式导弹是从飞机上发射的一种弹道式导弹。这种导弹在重入大气层的弹道末段如要进行制导，这就决定了这种导弹在结构上的某些特点，即在导弹上安装翼面。

航空炸弹与飞航式导弹所不同的是它不装发动机，因此只有在从飞机上投放以后的下滑飞行过程中进行制导。

航空鱼雷与航空炸弹相类型，它是攻击水面上的舰艇和水下的潜艇。航空鱼雷的飞行航迹可以从飞机上发射后在空中飞行直接攻击目标，也可以在目标附近进入水中再攻击目标。如果航空鱼雷需要在空中飞行较远的距离，则要安装发动机。

## 四、空对空导弹

它是从飞机上发射攻击空中目标的有翼导弹，也称为航空反飞机导弹或航空导弹。

空对空导弹根据其攻击能力的不同，又可分为尾部攻击和全向攻击两类。尾部攻击是指导弹只能从目标后方的一定区域内对目标进行攻击，而全向攻击是指导弹既可以从目标后方攻击，又可以从前方攻击。根据射程的不同，空对空导弹又可以分为近距离格斗的和远程攻击的。

以上分类中所用的“地”是指地球表面，它包括陆地表面和海面。也有用“地”只表示陆地表面的，以便和海面区别开来，因而就有：海对海、海对地、空对海、海对空等各类导弹的名称。另外也有将“海”用“舰”（水面）和“潜”（水下）来代替的，这里“舰”是指军舰，“潜”是指潜艇，因而就出现：舰对舰、舰对地、岸对舰、舰对潜、潜对地、空对潜等类导弹的名称。

## § 1.4 导弹的主要组成部分

从上面的导弹分类中可以看出导弹的类型很多，其特点又不相同。作为武器，它们都具有四个主要组成部分，即：战斗部、发动机、制导系统和弹体。

### 一、战斗部

它是摧毁目标的直接执行者。为了使战斗部有最好的战斗效果，对于不同情况的目标有不同的要求，相应的出现有不同类型的战斗部。这部分的详细介绍见本书第四章。

### 二、发动机

它是使导弹产生运动的动力来源。导弹上使用的发动机有火箭发动机（固体的、液体的）、空气喷气发动机（涡轮喷气发动机、冲压喷气发动机）和火箭-冲压组合发动机。其中液体火箭发动机、空气喷气发动机和火箭-冲压组合发动机还要有一系列保证发动机正常工作的系统，如供油系统（燃料输送系统）、发动机架和各种附件等，它们与发动机一起总称为动力装置。这部分的详细介绍见本书第五章。

在二级导弹（如二级地对空导弹）上，其发动机有主发动机（续航发动机）和助推器（加速器或起飞发动机）。助推器是用来使导弹在发射后不久，即在很短的时间内就获得较大的速度，保证导弹正常飞行，并使导弹在续航段能很快的攻击目标。一般它是采用固体火箭发动机，用完后即被抛掉。主发动机是使导弹能在比较长的时间内继续飞行，它是导弹的主要动力，所以也称它为续航发动机。

### 三、制导系统

它可理解为导弹的控制系统和导引系统的综合，其任务是导引导弹准确地击毁预定的目标。制导系统可以全部装在导弹上，如自动寻的式制导系统。有的制导系统，其控制系统装在导弹上，其导引系统装在地面（或空中的飞机）的指挥站内，如地对空导弹上采用的遥控式制导系统。

对有翼导弹而言，制导系统是必不可少的，尤为重要是它的准确度和可靠性，在导弹武器系统中占据着十分重要的地位。这部分的详细介绍见本书第三章。

### 四、弹体

飞机有机体，导弹有弹体，它的任务是将组成导弹的各个部分牢靠地连接成一整体，并使导弹形成一个良好的气动力外形。有翼导弹的弹体包括有弹身、弹翼和舵面等部分。

1. 弹身 它的功用是安装战斗部、控制设备、燃料及动力装置等。并将弹翼、舵面等部件连接成一个整体。当采用固体火箭发动机和受力式整体燃料箱时，它们本身也是弹身的一部分。

2. 弹翼 它的功用与导弹的类型有关。对于飞航式导弹，则主要产生升力，用以克服重力，维持导弹在大气层中作水平飞行。对于反飞机导弹、空对地导弹、反导弹导弹等来说，则主要是产生法向力，用来操纵导弹作曲线飞行（机动飞行）

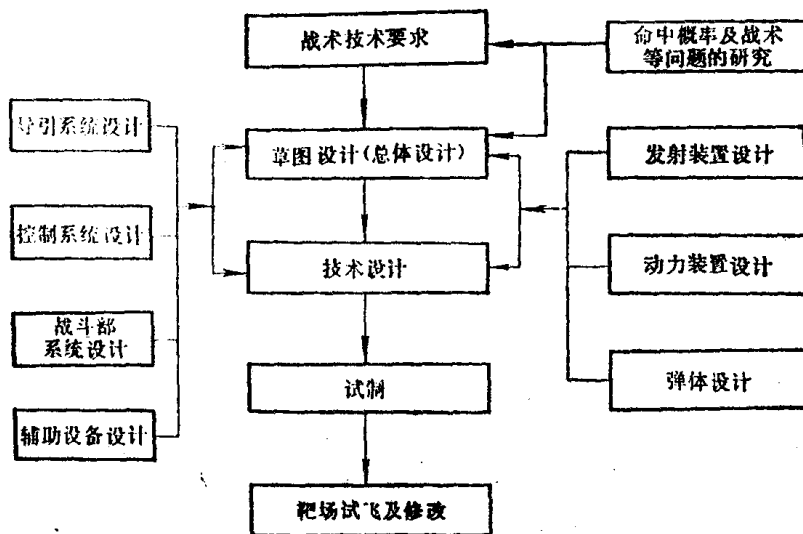
3. 舵面 它是用来操纵导弹和使导弹稳定飞行所必须的部分。对于“X”和“+”型气动型的反飞机导弹，其舵面根据控制系统给出的信号，在舵机和操纵机构的推动下绕舵轴偏转一定角度，舵面上产生升力，此升力使导弹绕其重心转动，从而改变了导弹的飞行姿态，使导弹作俯仰或偏航方向飞行。

对于速度不高的飞航式导弹，它装有升降舵、方向舵和副翼。用以操纵导弹作俯仰、航向和滚转动作。

## § 1.5 导弹的研制过程

导弹的研制包括进行科学研究和试制两个方面。要能解决试制中提出的关键问题和发展新型的具有先进水平的导弹武器系统，必须进行大量的、深入的科学研究工作。

研制导弹的几个主要阶段如下表所示：



### 一、拟定战术技术要求

战术技术要求是进行导弹研制工作最根本的原始依据，是战术要求、技术经济要求、使用维护等要求的总和。

战术要求是指导弹能有效地完成预定的战斗任务方面的要求，包括：导弹的类别；目标的特征；发射点的条件和特征；战斗部的威力；命中概率；导弹的飞行性能（射程、射高、飞行速度）等。

技术经济要求包括：导弹的极限尺寸和重量；所用材料的限制；弹体分离面的选取；制导系统的种类；发动机的型别；生产和使用的经济性等。

使用维护要求包括：部件的互换性；现场安装迅速性；运输方便；维护方便；操作安全；贮存期限等。

### 二、草图设计(总体设计)

整个导弹武器系统的草图设计，是按表中所示的几个方面同时进行的，包括：导引系统、控制系统、战斗部、辅助设备、动力装置、弹体（包括总体布局、部件构造的初步设计、飞行性能计算等）、导弹命中概率的估计及使用战术等问题的研究。

上述各项工作的进行必须互相紧密地配合、协同工作，才能设计出比较合理的方案来。

### 三、技术设计

技术设计是在草图设计的基础上进行的，它所包括的工作项目与草图设计相同，但比草图设计的工作要深入得多。在技术设计中，需要进行一系列的试验，如：模型的风洞试验，控制系统的模拟试验，发动机热试车，弹体的强度试验和振动试验，整个导弹的地面试验等。

最后要作出空气动力学、飞行力学、强度等的全套计算，并绘制出供生产用的全套

图纸。

#### 四、试制

根据技术设计所提供的生产图纸，在试制工厂进行生产试制，生产出一批供飞行试验用的导弹样品。

#### 五、靶场飞行试验

为了保证导弹达到战术要求，必须保证它的各个组成部分工作都很可靠。因为导弹是一次使用的，一经发射出去后，便很难查明发生事故的原因。因此，除了大量进行各种地面试验外，还必须进行靶场飞行试验。为了进行飞行试验，需要一小批导弹。飞行试验大纲应这样地拟订，以便在试验的每一阶段能检验导弹的一定部件或一组部件，而且每个下一阶段的试验应在上一阶段试验得到满意的结果后才开始。每一试验阶段试验样品的数目，取决于实现试验大纲规定的项目时所产生的故障、缺陷。无论如何飞行试验的数量应保证能获得预定要求的试验数据。

下面以地对空导弹为例，说明飞行试验的大致步骤和内容：

1. **动力装置试验** 主要是试验动力装置在飞行中的工作情况和导弹的发射情况。因此，弹内不装战斗部和制导系统，舵面固定不动。

2. **控制系统试验** 不装导引系统和战斗部，以一定的程序以指令方式输送控制信号至俯仰和偏航通道，主要是检验导弹的稳定性、操纵性、动态特性，通过导弹的性能指标来鉴定控制系统的品质。

3. **导引系统试验** 不装战斗部、引信，主要检验导弹对导引系统指令的反应及导引的准确度。

4. **自动寻的头试验** 如果导弹采用自动寻的进行末制导，则还要向靶机进行发射，检查导弹的命中准确度。

5. **引信试验** 检查引信的工作情况。战斗部用代制品代替，以便在非直接命中的情况下，尚能保存靶机。

6. **战斗部及整个系统的试验** 对靶机发射，以确定战斗效应及命中概率。

7. **导弹定型试验** 对使用部门表演战斗效果。

在通过上述的各种试验后，即可提交成批生产，并用以武装部队。由试制到成批生产，以及到部队使用，一般还要进行一段时间的试验和改进工作。

## 第二章 飞行原理

当有翼导弹在空气中运动时，在导弹上就会产生空气动力和力矩，而这些气动力和力矩会直接影响导弹的结构及控制系统的设计；会直接影响导弹的性能和作战时的杀伤效果。要设计、制造出性能良好和工作可靠的导弹来，就必须了解有翼导弹与空气之间的相互作用，以及空气动力和力矩是如何产生的。为了这个目的，在这一章里首先要介绍一下气体流动的基本规律和物理现象。

在这一章里还要介绍一下作用在导弹上的力和力矩；导弹作为一个刚体在空中运动时，它所应遵循的基本规律及数学上的描述方法；有翼导弹上常用的导引方法以及关于操纵性、稳定性、机动性的概念。这些内容对评定导弹性能都是必须了解的。

### § 2.1 空气的物理性质

#### 一、连续性

空气和其它物质一样，它是由分子构成的。在标准状态下（即在气体温度为摄氏 15 度、一个大气压的海平面上），每一立方毫米的空间里含有  $2.7 \times 10^{16}$  个分子，空气分子之间的平均距离有多大就不难想象了。当导弹在空气中飞行时，由于导弹的尺寸比气体分子的自由行程（即气体分子在两次碰撞之间走过的平均距离）要大的多，对比之下，在研究空气与导弹相对运动时，就可以把气体分子之间的距离忽略不计，而把气体看成是连续介质，这种假设叫做连续性假说。

连续性假设非常有用，因为它使我们能够把描述气体运动的各个基本量，在一般情况下都可以看作是某些变量的连续函数。这样就可以利用连续函数的数学工具来进行研究。

连续性假设只有到了分子平均自由行程和导弹的尺寸可以相比拟时，才不适用。通常在大气中，随着海拔高度的增加，空气的密度越来越稀薄，也就是说空气分子的自由行程越来越大。在地球表面上空气分子的自由行程是很小的，约为  $6 \times 10^{-8}$  厘米。在 120~150 公里高度上，空气分子的自由行程大约与导弹的尺寸相同。在 200 公里的高度上，空气分子的自由行程就有好几公里。因此，在超过 200 公里高空的情况下飞行时，导弹可能飞行了比较长的一段路程，而没有和任何一个空气分子相撞。这时空气也就不能再被认为是连续介质了。解决这种高空飞行的问题，必须建立其它的空气动力学理论（如稀薄空气动力学）。而有翼导弹的飞行高度一般不会超过 30~40 公里，所以可以认为都是在稠密大气层内飞行的，也就是说，气体的连续性假说是完全适用的。

在我们这一章里讨论空气特性问题时，都是利用了连续性假设的。

#### 二、空气的压强

空气的压强是指物体的单位面积上，所承受的空气的垂直作用力的大小。空气压力是怎样产生的？这是因为空气分子数目很多，不规则运动的速度又很大，所以这些空气分子是连续不断地撞击物体的表面。这种连续不断的撞击作用，即表现为空气施加于物体表面

的压力。又由于在每一团空气中，空气分子都是向四面八方作不规则运动的，故空气压力也是向四面八方作用的。

在静止的大气中，不论那一处的空气，都没有沿垂直方向的运动。这表明任何一处的空气，所受到的垂直方向的力都是平衡的。就是说，静止大气中每一处的气压(如图2.1.1中的 $p$ 和 $p_H$ )，都与该处上空的大气柱的重量(如图2.1.1中的 $G$ 和 $G_H$ )应当平衡。因此，从数量上来说，所谓大气压强也就是物体的单位面积上所承受的大气柱的重量。

在工程上，是以每平方米或每平方厘米面积上承受多少压力，作为压强的单位，即〔公斤/米<sup>2</sup>〕或〔公斤/厘米<sup>2</sup>〕。一个标准大气压强等于10330公斤/米<sup>2</sup>〔或1.033公斤/厘米<sup>2</sup>〕。通常近似地认为它等于1公斤/厘米<sup>2</sup>。在工程技术上，把压强为1公斤/厘米<sup>2</sup>叫做一个标准工程大气压。

气压的大小，还可以用水银柱的高度来表示。当气温为15℃时，在海平面的一个大气压，相当于760毫米水银柱高。

### 三、空气的粘性

空气的粘性是它在流动中的一种物理性质。在静止的空气中，和其它流体一样，粘性是体现不出来的。我们要判断胶水粘不粘，总是用手指头蘸一点，再用两个指头捻一捻(这实际上等于使胶水流动起来)，就是这个道理。

流体的粘性基本上是由于它的分子之间的相互作用引起的。任何破坏已有均衡状态的动作，都要通过粘性受到流体的抵抗。压力和温度对粘性都有影响，但温度的影响要大得多。空气的粘性随温度的升高而增大。这是它的分子运动速度增大的结果。

流体在管道内流动时，粘性起着阻滞作用，使它不能畅通。物体在流体中运动时，如果无动力来维持这运动，不久就会停止。粘性会使得紧靠物体的一薄层流体附着于它的表面上，这层流体又通过粘性带动相邻的另一层流体。这样下去，全部流体的各层之间都要出现相对滑动。这种滑动又要引起各层流体之间的剪力(也就是在相邻两层流体的分界面上并和这个面相切的力，它在这个面的上下成对出现，大小相等，方向相反，好像剪切一样，所以叫剪力)，就和两个物体平面相对滑动时产生摩擦力一样。因此，要想维持物体的运动，需要不断克服它表面上的这种剪力，这就需要消耗一定的动力。动力的消耗最终也表现为热的形式，在这一点上是和固体摩擦一样的，而这种剪力就成了阻力的重要组成部分。在空气动力学中，为了便于某一类问题的研究，时常引进一种假想的没有粘性的流体，称为理想流体。理想流体虽然实际上并不存在，但是利用这个假设可以使主要矛盾更加突出出来，便于抓住一些最本质的问题来进行研究。

空气的粘性，主要是由于空气分子作不规则运动的结果。为了便于说明这个问题，设想把流动着的空气划分为若干层，取出其中相邻的两层空气来研究(如图2-1-2所示)

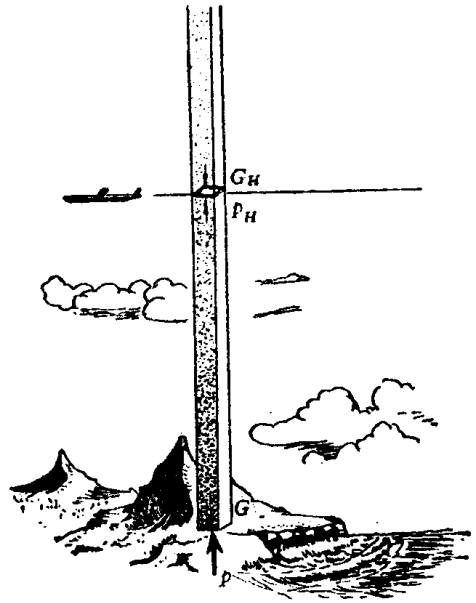


图2.1.1 气压示意图



气加速。同样，当上层流得慢的空气分子进入下层，也会使下层空气减速。所以说，空气分子的不规则运动，就是造成空气粘性的主要原因。

两流速不同的相邻空气层相互牵扯的作用力，叫做空气的粘性力，或称空气的内摩擦力。空气流过物体所产生的摩擦阻力，就与空气粘性力的大小有关。

空气粘性力的大小，取决于三个方面：

1. 各空气层之间的速度差和距离 如果空气层之间的距离一定，而速度差大时，则空气分子由于作不规则运动，而从这一层落进另一层时，所产生的作用力就大，因此粘性力也就大。

如果空气层之间的速度差一定，而距离相隔较远时，则相互牵扯现象减弱，因此粘性力就较小。

各空气层之间的速度差和距离对粘性力的影响，可用速度梯度来综合表示。速度梯度是某两层空气之间的速度差  $\Delta V$  与其距离  $\Delta y$  的比值（见图 2.1.3）。速度梯度大，表示各空气层之间的速度差大，或距离小，因此粘性力大；反之，速度梯度小，则粘性力小。

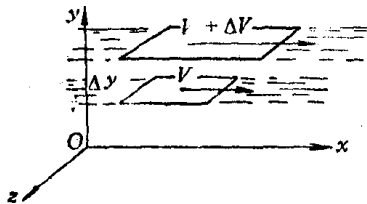


图2.1.3 速度梯度

2. 空气温度 如果空气温度高，则空气分子不规则运动的速度就大，在同一时间内，各空气层之间互相交换的空气分子数就多，因此产生的粘性力也大。

3. 接触面积 如果空气层之间的接触面积大，则互相交换的空气分子数就多，因此产生的粘性力也大。

归纳以上三点，可写出计算粘性力的公式为

$$F = \mu \frac{\Delta V}{\Delta y} S$$

式中  $F$ ——空气粘性力(公斤)；

$\frac{\Delta V}{\Delta y}$ ——两相邻流动空气层的速度梯度(1/秒)；

$S$ ——两相邻流动空气层的接触面积(米<sup>2</sup>)；

$\mu$ ——空气的粘性系数(公斤·秒/米<sup>2</sup>)，其大小与气温有关。气温高，空气的粘性系数就大，粘性力也大。例如：气温等于 15°C 时，空气的粘性系数为  $1.82 \times 10^{-6}$  公斤·秒/米<sup>2</sup>；气温等于 0°C 时，空气的粘性系数为  $1.745 \times 10^{-6}$  公斤·秒/米<sup>2</sup>。

#### 四、空气的可压缩性

空气是可压缩的，这一点在日常生活中经常遇到。如我们给自行车的内胎充气，就是一种压缩空气的过程。所谓可压缩性，就是指其压强改变时密度和体积改变的性质。

物质的不同状态反映出的可压缩性也不同。液体几乎是不会改变体积的，而气体则很容易改变体积。压强增大，体积就缩小。因此，空气本身是可压缩的介质。但是倘若压强的变化不大，则密度的变化可以略去不计。在这种情况下，可把空气看作是不可压缩的流体。可是当压强的变化大时，密度的变化也会相应增大，这时就需要考虑可压缩性。

当空气流过导弹表面时，压强会发生变化，因此其密度也会随着发生变化。但是，如

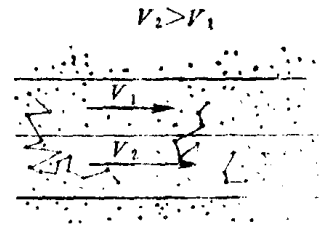


图2.1.2 两流速不同的相邻空气层