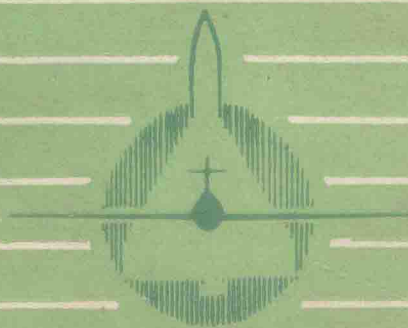


导弹引论

吴文正 主编

周慧钟 于广汇 马成栋 熊春兰 编著



国防工业出版社

航空航天高等院校教材

导 弹 引 论

吴 文 正 主编

周慧钟 于广汇 马成栋 熊春兰 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书对导弹武器系统作了简要而又系统的介绍,着重叙述导弹各部分的工作原理和组成特点。主要介绍导弹的飞行原理、动力装置、制导系统、战斗部系统和发射装置地面设施等。此外,还介绍了各类典型导弹武器系统及其发展趋势。本书内容广泛,叙述条理清楚,文字通俗易懂,附有大量插图,是学习导弹技术基本知识的一本很好的参考书。

本书可作航空航天高等院校导弹和其他专业的导弹概论课程的教材,也可供从事航空航天工程的科技人员、管理干部、工人、部队指战员以及广大爱好航空航天科学技术的青年阅读。

航空航天高等院校教材

导 弹 引 论

吴文正 主编

周慧冲 于广汇 马成栋 熊春兰 编著

*

国防工业出版社出版

(北京市海淀区紫竹院南路23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刷

*

787×1092 1/16 印张17¹/₂ 409千字

1990年4月第一版 1990年4月第一次印刷 印数: 0,001—2,500册

ISBN 7-118-00632-7/TJ·44 定价: 3.50元

前 言

本书是根据航空航天院校教材编委会导弹设计专业小组制定的导弹概论课程大纲编写的。可作为高等院校本科教材；亦可供从事航空航天事业的科技人员、管理干部、部队指战员，以及高等院校各类专业的学生参阅。

火箭技术是当今最复杂，也是发展最迅速的科学技术部门之一，它所取得的每一项成就都凝聚着人类的高度智慧，并且几乎涉及到包括空气动力学、推进技术、自动控制理论、电子技术、电子计算机技术、材料技术以及系统工程理论等所有科学技术的最新进展。本书的内容不仅涉及航空的战术导弹，还讨论了战略导弹和航天飞行技术，比较全面地介绍了导弹技术领域各方面的基本知识，主要包括：导弹的发展简史及其分类；导弹的飞行原理；导弹上使用的各类发动机的工作原理及特点；导弹制导系统；导弹的战斗部系统；导弹的发射装置；最后简要介绍了各类型导弹武器系统。为了帮助读者复习、巩固所学的知识，了解世界各国导弹技术的发展状况，书末附有复习思考题及各国导弹的主要战术技术数据，供参考。

本书是北京航空航天大学导弹设计教研室根据多年来的教学实践经验组织编写的。1978年由我室编写、国防工业出版社出版的《有翼导弹引论》一书是这次编写的主要参考书。本书第一章、第三章由吴文正编写。第二章由周慧钟编写。第四章、第七章由于广汇编写。第五章、第八章由马成栋编写。第六章由熊春兰编写。全书由吴文正主编，统一全书的内容安排及最后定稿。教研室的不少同志也对本书的编写和出版做了不少工作。

编写本书时，参考的书籍、期刊和资料较多。为了避免冗繁，恕不一一在书末参考文献中列出。在此对书中所引用的各项资料的作者，以及在本书出版过程中给予大力支持的同志们，谨致深深的谢意。

限于编者的水平和经验，在本书编写过程中，虽力求全面、系统，内容符合教学大纲要求，文字力求通俗易懂，但导弹武器系统涉及到的基础理论和现代应用科学技术领域相当广泛，书中必然存在不少谬误和不当之处，恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 火箭与导弹	1
§ 1-2 火箭与导弹的发展简史	1
§ 1-3 导弹的分类	4
§ 1-4 导弹的主要组成部分	6
§ 1-5 导弹的研制过程	7
第二章 飞行原理	10
§ 2-1 大气的物理性质	10
§ 2-2 大气结构及标准大气	12
§ 2-3 气体流动时的基本规律	14
§ 2-4 作用在导弹上的空气动力	24
§ 2-5 变质量物体的动量方程及导弹的理想速度	27
§ 2-6 作用在导弹上的力和力矩	30
§ 2-7 导弹运动方程	36
§ 2-8 操纵导弹飞行的一般知识	39
§ 2-9 弹道式导弹的弹道	41
§ 2-10 常用导引规律	46
§ 2-11 导弹的机动性、过载、稳定性及操纵性	52
第三章 动力装置	57
§ 3-1 动力装置的组成和分类	57
§ 3-2 火箭发动机的性能参数	58
§ 3-3 液体火箭发动机	65
§ 3-4 固体火箭发动机	73
§ 3-5 固-液组合火箭发动机	91
§ 3-6 空气喷气发动机	93
§ 3-7 火箭-冲压组合发动机	99
§ 3-8 各类发动机性能比较	102
第四章 制导系统	104
§ 4-1 概述	104
§ 4-2 自主式制导系统	106
§ 4-3 遥控式制导系统	118
§ 4-4 自动寻的式制导系统	133
§ 4-5 单通道旋转弹的控制原理	151
第五章 战斗部系统	157
§ 5-1 概述	157
§ 5-2 各种战斗部的工作原理及其典型的结构型式	160
§ 5-3 引信与保险装置	179

IV

第六章 发射装置及地面设施	187
§ 6-1 概述	187
§ 6-2 战略导弹的发射设备	192
§ 6-3 战术导弹的发射设备	201
§ 6-4 导弹发射中的问题	218
第七章 各类战术导弹及其发展概况	219
§ 7-1 地对空导弹	219
§ 7-2 空对空导弹	231
§ 7-3 空对地导弹	238
§ 7-4 舰对舰导弹	242
第八章 弹道式导弹	245
§ 8-1 弹道式导弹的分类和V-2 导弹的概况	245
§ 8-2 弹道式导弹的基本构造原理	248
§ 8-3 多弹头及弹头的防护措施	255
§ 8-4 弹道式导弹的结构特点	259
附录 I 复习思考题	264
附录 II 各类导弹主要数据表	268
参考文献	275

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。就一般而言，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 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，它装有战斗部系统时，称之为“火箭武器”，否则就不称它为火箭武器，而是给它以其他的名称，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，其飞行过程由制导系统控制，如弹道式火箭；不可操纵的则称为火箭弹或无控火箭。

导弹 导弹是一种飞行武器，它既可以装置火箭发动机，也可装置空气喷气发动机（如涡轮喷气发动机、冲压发动机等）。导弹本身主要由制导系统、战斗部系统、发动机系统和弹体系统等四个部分组成，其中最突出的特点是它必须装有制导系统，通过制导系统对飞行过程进行控制，最后将它导向目标。制导系统可以全部安装在导弹上，也可以一部分安置在导弹上，另一部分安置在指挥站（地面、舰只或飞机上），而从指挥站进行控制。

火箭发动机和空气喷气发动机 它们都是直接产生推力的喷气推进动力装置。这类发动机以很高的速度向后喷射出工质，由此获得反作用推力，使飞行器向前飞行。它们既是产生动力的发动机，又是将动力转化为推进作用的推进器。空气喷气发动机自带燃料，燃料所需要的氧则取自空气。火箭发动机则自带燃料和氧化剂，可不依靠空气，在大气层外工作，成为宇宙航行的主要动力装置。

导弹系统 导弹是导弹系统的一个组成部分，导弹系统包括导弹、地面设备、发射装置、发射设施、通讯线路和指挥系统等。同一类型的各导弹系统合在一起构成该类导弹的导弹武器系统。

§ 1-2 火箭与导弹的发展简史

火箭技术是最年轻的科学技术之一，但是它又有相当悠久的发展历史，它经历了多个世纪人们不断的辛勤劳动和探索。火箭技术的辉煌成就是人类智慧和当今科学技术的结晶。

我国是世界文明发达最早的国家之一，火药是世界历史上著名的中国“四大发明”之一。有了火药，这就为火箭的发明准备了必要的技术条件。

根据我国的史书记载，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。至迟在唐朝（公元 618~907 年）初年，我国就已发明了黑火药。唐初的医学家兼炼丹家孙思邈所著的《丹经内伏硫磺法》已经载有黑火药的配方、特性和制作方法。到了宋朝（公元 960~1279 年），应用黑火药，制成各种火箭，火

药开始用于军事目的。

宋太祖开宝二年（公元 969 年），冯继昇和岳义方两人利用黑火药制成了世界上第一支火箭——火药火箭。

宋真宗咸平三年（公元 1000 年），唐福向朝廷献火箭武器。图 1-1 就是这种火箭的图形。



图1-1 明天启元年(公元1621年)，茅元仪著《武备志》上所画的火箭

宋高宗绍兴三十一年（公元 1161 年），金人欲渡扬子江，宋人防守中就发射了火箭武器“霹雳炮”，这种炮点火升空，降落水中仍继续跳动。

到了明朝（公元 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斗争中，曾制造并使用了多种火箭武器，如飞刀、飞枪和飞箭。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”，它们跟今天的火箭炮类似。

还有一些记载都充分证明中国是火箭的发源地。火箭西传，是 13 世纪元兵西征，经阿拉伯人传入欧洲的。后来又传入了印度，19 世纪初期，印度在抵抗英军的侵略战争中使用了火箭，并使英国人也开始注意应用火箭于战争。19 世纪的欧洲，最著名的火箭应用是 1867 年英军进攻丹麦的哥本哈根，一共发射了约四万发火箭，取得了战争的胜利。以后在丹麦、俄国等欧洲国家都相继应用火箭从事军事目的。

从我国古代开始，到 19 世纪欧洲的火箭应用于战争，所用的火箭推进剂都是黑火药，能量不高，技术都比较原始。直到 19 世纪中叶，火箭与火炮一直都同时使用，互相竞争。那时火炮还都是滑膛炮，射程不远，命中率也不高，而火箭则使用方便，性能与火炮不相上下。但到 19 世纪末叶，由于冶金技术、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，提高了膛压，在膛中加工出膛线，以及由尾部装弹代替了过去的炮口装弹，从而大大提高了火炮的主要性能——射程、密集度、发射率。相形之下，火箭技术就相对落后了，它在军事上的应用逐渐减少，几乎被火炮所取代。竞争的结果，火炮占了优势。例如在 1905 年日俄战争和第一次世界大战中，都很少见到使用火箭。

在火箭发展处于低潮时期，各国科学家对火箭技术研究的热情一直没有消退，其中最突出的是俄国人齐奥尔科夫斯基，美国人哥达德等。齐奥尔科夫斯基首次提出了利用液体推进剂的可能性，画出了工作原理图，创立了火箭理想飞行速度公式——齐奥尔科夫斯基公式；提出了利用多级火箭进行航天飞行的伟大理想，为今天火箭技术的发展奠定了理论基础。

到了 20 世纪 30 年代，由于液体火箭推进剂及新型固体推进剂——硝化甘油无烟火药的发明，以及材料技术、电子技术的进展，给火箭技术的发展注入了新的活力。无烟火药的发明，不仅使枪炮得到了新的能源，提高了性能，火箭也开始了新的发展阶段。当时的苏联、德国等都采用无烟的双基推进剂，研制了大量的各种近程野战火箭弹。著名的喀秋莎火箭就是这个时期苏联火箭的典型代表，在第二次世界大战中发挥了相当大的作用。在德国，到第二次世界大战结束的前夕，已经研制了几种多级固体火箭作为远

射程的武器，但是没来得及使用自身就遭到了覆灭。迄今，双基推进剂的固体火箭发动机仍然广泛地用于各种近程武器和其他推进系统上。在此期间，德国人还研制了采用液体火箭发动机的火箭武器，如弹道式导弹“V-2”，并在战争中投入了实际使用。另外还设计了“莱茵女儿”、“瀑布”等防空导弹。这些导弹的出现是火箭技术进入一个新的发展阶段的标志。

到了20世纪50年代，科学技术有了飞跃发展，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、工艺制造技术的蓬勃发展，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。

首先，由于固体双基药在能量方面的限制，从50年代开始，火箭技术出现了以液体火箭发动机为主的迅速发展时期。五六十年代的中、远程导弹、人造卫星的运载火箭，一直到航天飞船、登月飞行器和航天飞机，其主要发动机都是液体火箭发动机。

接着，固体推进剂的研究有了新的突破，出现了复合推进剂，它可以广泛地选择能量高而性能比较全面的氧化剂和燃烧剂，以得到更高的比冲。而贴壁浇注，内孔燃烧的装药和强度高、重量轻的壳体的采用，使固体火箭发动机向大尺寸、长时间工作方向发展，极大地提高了固体火箭发动机的性能，扩大了它的应用范围。到目前为止，固体火箭发动机已用于各种近程、远程导弹，发射人造卫星的“全固体”运载火箭也已出现。

导弹技术目前已经有相当高的水平，但在现代科学技术发展的推动下，为了更好地满足现代战争的更高要求，将来还会有更大的发展。

我们的祖国是固体火箭的发源地，是火药技术的故乡。但是长期以来封建社会的桎梏，百余年来帝国主义的侵略，使我国解放前在经济和科学技术方面长期得不到发展，处于十分落后的状态，不可能有现代火箭技术的发展。只有在解放以后，随着国民经济和科学技术的发展，党和政府对发展航空、航天事业给予很大的关注和支持，投入了大量的人力和物力，经过几十年的努力，主要依靠自力更生，团结协作、艰苦奋斗，我国的火箭事业已经有了相当的规模和基础，取得了一个又一个令世界瞩目的成就。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，经过五年多时间，于1970年4月24日成功地发射了第一颗人造地球卫星。现在我国是世界上少数几个能自己发射和回收人造卫星的国家之一。我国的远程导弹已经飞越了辽阔的太平洋水域。潜艇水下发射中程导弹的成功，静止卫星、一箭多星（一枚运载火箭发射多颗卫星）方面的技术成就标志着我国火箭技术正在向全新的技术领域发展。通讯卫星发射成功表明我国的火箭运载技术的实际应用水平又达到了新的高度。但是同当代最先进的火箭技术相比，我们在很多方面还存在着不少的差距。我们还是发展中的社会主义国家，还有不少问题——发展农业、工业，提高人民生活水平要优先解决，目前还不可能有更多的资金用来发展与火箭技术密切相关的各高科技领域。但是，我们相信，在党和政府的关注和支持下，随着国民经济和科学技术的发展，我国的火箭技术一定会得到更大的发展，为国防现代化作出更多的贡献。

§ 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分类。通常可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。这两种分类方法，简单明确的说明了各类导弹的功用及其主要特点，其相互关系可用图 1-2 来表示。

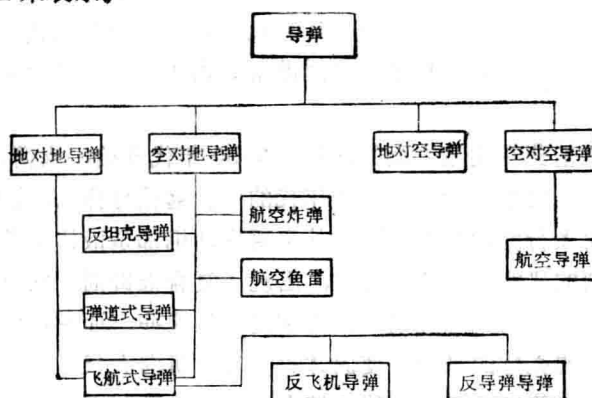


图1-2 导弹的分类

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 如图 1-3 所示。导弹除开始的一小部分弹道是用火箭发动机外，其余弹道都是按照自由抛物体的规律几乎完全靠惯性飞行。导弹的飞行弹道见图 1-4 中曲线 1 所示，其中 OA 段称主动段，其余部分，即 ABC 段称为被动段。弹道式导弹一般只对主动段进行制导。根据射程的不同，弹道式导弹可分为近程（如射程为 $100 \sim 1000\text{km}$ ）、中程（如射程为 $1000 \sim 4000\text{km}$ ）、远程（如射程为 $4000 \sim 8000\text{km}$ ）和洲际



图1-3 弹道式导弹

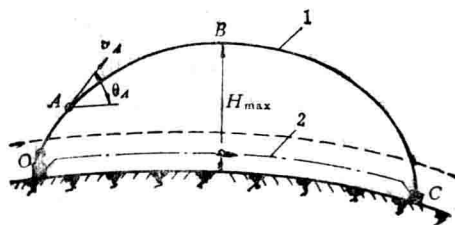


图1-4 导弹的飞行弹道

1—弹道式导弹弹道；2—飞航式导弹弹道。

(如射程为 8000~10000km) 弹道式导弹。

飞航式导弹 如图 1-5 所示。它是有翼导弹，其外形跟飞机差不多。它的飞行航迹大部分为水平飞行，并且在大气层内飞行（见图 1-4 曲线 2 所示）。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助推器。

反坦克导弹 它也是有翼导弹。这种导弹用于摧毁坦克、装甲车辆和加固的掩体。它可以从地面、自动运输车或直升机上发射。

二、地对空导弹（图1-6）

地对空导弹也称防空导弹，它也是有翼导弹。地对空导弹是从地面或海面（舰上）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、海港及大型舰艇等。

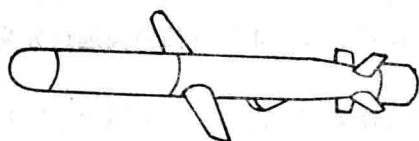


图1-5 飞航式导弹

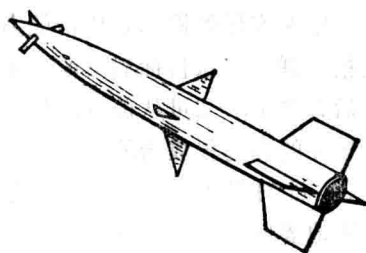


图1-6 地对空导弹

地对空导弹根据所攻击目标的类型又可分为两类：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（简称反导弹或反导弹）。

在反飞机导弹中，按其攻击目标的高度不同可分为中高空（如射高为 10~30km）、低空（如射高 3~10km）和超低空（如射高在 3km 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类似，所不同的是它从飞机或直升飞机上发射，见图 1-7 所示。



图1-7 空对地导弹

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，导弹上应安装翼面。

航空炸弹 它与飞航式导弹所不同的是它不装发动机，因此只有从飞机上投放后下

滑过程中进行制导。

航空鱼雷 它与航空炸弹相类似，用以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。如果攻击目标距离较远，应考虑安装发动机。

四、空对空导弹

空对空导弹（图 1-8）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。

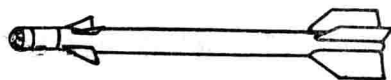


图1-8 空对空导弹

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。全向攻击是指导弹既可以从目标后方攻击，又可从前方或侧面攻击。空对空导弹还可以按攻击目标的距离远近分为近距格斗的和远程攻击的。

以上分类中所用的“地”是指地球表面，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，这样就有海对地、海对海、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，因而就出了舰对舰、舰对地、岸对舰、舰对潜、潜对地、空对潜等导弹名称。

§ 1-4 导弹的主要组成部分

从上面导弹分类的叙述中可以看到，导弹的类型很多，且各有不同的特点。作为武器，导弹一般都包括战斗部、发动机、制导系统及弹体四个主要组成部分。

一、战 斗 部

它是摧毁目标的直接执行者。为了使战斗部具有最好的战斗效果，对于不同条件下的目标，为摧毁它，就有不同的要求，相应地出现了各种不同类型的战斗部，如爆破战斗部、杀伤战斗部、聚能战斗部以及核战斗部等。

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-冲压发动机。其中液体火箭发动机、空气喷气发动机等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，它们与发动机一起统称动力装置。

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就能很快获得较大的速度，在导弹进入续航段飞行时能够迅速攻击目标。它一般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较长的时间内继续飞行，是导弹上的主要动力源，所

以也称为续航发动机。

三、制导系统

导弹的制导系统是导引和控制它飞行目标的仪器、装置和设备的总称。为了能够将导弹导向目标,一方面需要不断测量导弹和目标的情况,以便向导弹发出控制指令;另一方面还要保证导弹稳定地飞行,并操纵导弹改变飞行姿态,控制导弹按所要求的方向和轨迹飞向目标。由导引系统完成前一方面的任务,而由控制系统完成后一方面的任务。制导系统就是导弹导引系统和控制系统的综合。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(或空中的飞机上)的指挥站内,如地对空导弹上采用的遥控式制导系统。制导系统的类型很多,其工作原理也是多种多样,我们将在第四章作详细介绍。

四、弹体

弹体的任务是将组成导弹的各部分组合成一个整体,并使导弹形成一良好的气动外形。导弹的弹体包括弹身、弹翼(对有翼导弹)和舵面等部分。

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

2. 弹翼 它的功用是产生升力或法向力,维持导弹作水平飞行(对飞航式导弹)或操纵导弹作曲线飞行。

3. 舵面 它是用来操纵导弹和使导弹作稳定飞行所必须的空气动力面。对于“+”和“X”型式的反飞机导弹,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,舵面产生升力,在升力作用下,导弹绕重心转动,从而改变导弹飞行姿态,使导弹作俯仰或偏航方向飞行。

飞航式导弹装有升降舵、方向舵和副翼,用以操纵导弹作俯仰、航向及滚转运动。

§ 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图 1-9 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数据,它是战术要求、技术经济要求、使用维护要求的总和。

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;弹体分离面的选择;制导系统的种类;发动机的型别;生产和使用的经济性等。

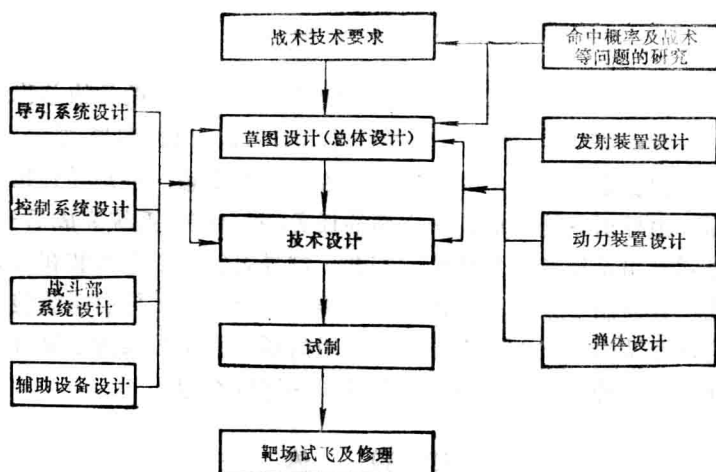


图1-9 导弹研制的主要阶段

使用维护要求包括：部件的互换性；现场安装的快速性；运输方便；维护简单；操作安全及满足一定的贮存期限等。

二、草图设计（概念性设计）

整个导弹武器系统的草图设计，是按图1-9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。

上述各项工作都要互相紧密地配合、协同工作，才能设计出比较合理的总体方案。

三、技术设计（详细设计）

技术设计是在草图设计基础上进行的，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，还要进行一系列试验，如模型的风洞试验；控制系统的模拟试验；发动机热试验；弹体部件的强度试验、振动试验以及整弹的地面试验等。

最后要作出空气动力学、飞行力学、强度等的全套计算，并绘制出供生产样机用的全套图纸及生产技术文件。

四、试制样机

根据技术设计所提供的部件、零构件生产图纸，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机。

五、靶场飞行试验

为了保证导弹满足战术要求，必须保证导弹各组成部分工作都很可靠。因为导弹是一次性使用的，一旦发射出去，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，需要试制出一小批导弹样机。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某部件或一组部件，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。每一试验阶段试件样件的数目，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。

试验大纲的大致步骤和内容如下：

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，弹内可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，以一定的程序按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头进行末制导，则还要向靶机进行发射，检验导弹的命中精度。

5. 引信试验。检验引信工作的情况。战斗部用代制品，以便在非直接命中情况下能保存靶机。

6. 战斗部及整个系统的试验。对靶机发射，以确定战斗部效应及命中率。

7. 导弹定型试验。对使用部门表演战斗效果。

根据样机试验结果，少不了要进行更改设计，并依据更改设计，试制新的导弹及各分系统的样机，生产出第二批试验用导弹样机，作第二次试验并为批生产作准备。在全部试验和设计阶段圆满完成后才能转入批生产。最后向部队交付批生产导弹系统，装备部队使用。整个从设计到装备部队的全过程大概要五年时间。

第二章 飞行原理

导弹在空中是怎样运动的,这是飞行原理所要回答的主要问题。为了解答这个问题,必须了解如下几方面的问题:

1. 外界环境的特性,这里主要是指包围着地球表面的大气层的物理特性;
2. 作用在导弹上的气动力及力矩特性;
3. 反作用原理在导弹上的应用;
4. 按照怎样的飞行轨迹将导弹引导至目标。

§ 2-1 大气的物理性质

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 15°C 、 101325Pa (1atm) 的海平面上),每 1mm^3 的空间里含有 2.7×10^{18} 个分子。当导弹在这种空气介质中飞行时,由于导弹的外形尺寸远远大于气体分子的自由行程,故在研究导弹和这种气体之间的相对运动时,完全可以忽略气体分子之间的距离,而把气体看成是连续介质。这也就是通常所指的连续性假说。

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。在地球表面空气分子的自由行程很小,大约为 $6 \times 10^{-6}\text{cm}$ 。在 $120 \sim 150\text{km}$ 高度上,空气分子的自由行程大约与导弹的尺寸相同。在 200km 的高度上,空气分子的自由行程有好几公里。在此情况下,空气就不能再被看成是连续介质。

当导弹在 40km 以下飞行时,可以认为都是在稠密大气层内飞行,这时气体的连续性假说是完全适用的。

二、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都与该处上空的大气柱的重量平衡。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。

压强的法定计量单位为 Pa (帕斯卡)。在工程单位制中曾用过 kgf/m^2 (千克力/米²)、 N/m^2 (牛顿/米²)、 atm (标准大气压)、 mmHg (毫米汞柱)等,现已取消。

三、粘 性

空气的粘性是其在流动时表现出来的一种物理性质。在静止的空气中，和其它流体一样，粘性是体现不出来的。

这里我们介绍一个能突出表现空气粘性的实验。假设有一股直匀气流（气流是直线的，速度是均一的 v ），在气流里顺着气流放置一块无限薄的平板，如图 2-1 所示。用尺寸十分小的测量风速的仪器去测量平板附近沿平板的法线方向上气流速度的分布情况。结果速度的分布就像图 2-1 所画的样子。气流在没有流到平板以前原是均一的，一流到平板上，直接贴着板面的那层气流，其速度降为零了；沿法线往外走，气流速度逐渐由零一点点变大起来，要到离平板相当远的地方，流速才和原来的 v 没有显著的差别。

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，取出其中相邻的两流动空气层来研究（如图 2-2 所示）。从图中看出，当下层流得快的空气分子由于做不规则运动而侵入上层时，就会促使上层空气加速。同样上层流得慢的空气分子进入下层，也使下层空气减速。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。

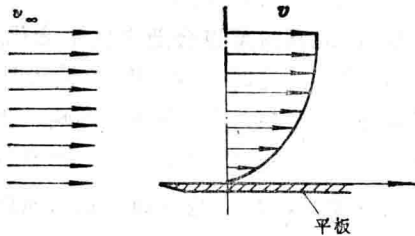


图2-1 空气粘性实验示意图

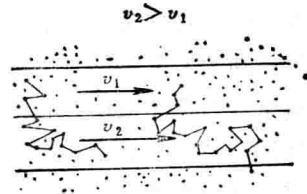


图2-2 两流速不同的相邻空气层

流速不同的两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 Δv 与其距离对粘性力的影响，综合起来可以用速度梯度表示。速度梯度是指某两层空气之间的速度差 Δv 与其距离 Δy 的比值。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。

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。