

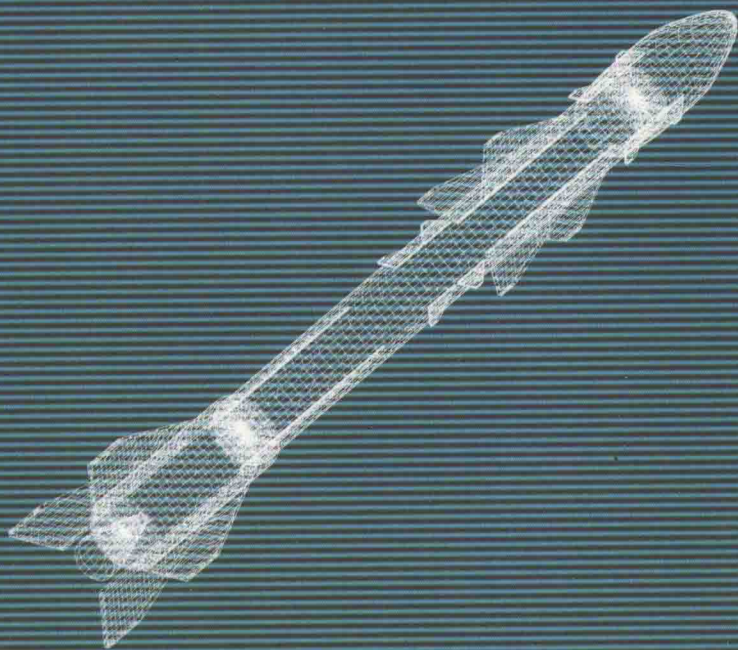
航空宇航科学与技术



国防科工委「十五」规划  
教材

# 导弹总体设计原理

● 谷良贤 温炳恒 编著



西北工业大学出版社

北京航空航天大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·航空宇航科学与技术

# 导弹总体设计原理

谷良贤 温炳恒 编著

西北工业大学出版社

## 内容简介

本书从理论和实践相结合的角度出发,详细介绍导弹总体设计的基本理论、原理和方法。其主要内容包括导弹的研制过程,导弹战术技术要求与分析论证,导弹的质量方程和主要参数的选择,导弹外形设计,导弹的部位安排与质心定位,导弹系统性能分析,导弹总体优化设计。

本书可作为高等院校相关专业本科生、研究生教材,也可供导弹科研、设计、生产和使用部门的工程人员作为技术参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

导弹总体设计原理/谷良贤,温炳恒编著. —西安:西北工业大学出版社,2004. 8

国防科工委“十五”规划教材. 航空宇航科学与技术

ISBN 7-5612-1824-9

I. 导… II. ①谷… ②温… III. 导弹—系统设计—高等学校—教材 IV. TJ760.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 078378 号

## 导弹总体设计原理

谷良贤 温炳恒 编著

责任编辑 李阿盟 雷 军

责任校对 季苏平

西北工业大学出版社出版发行

西安市友谊西路 127 号(710072)

发行部电话:029-88493844

<http://www.nwpup.com>

陕西向阳印务有限公司印制 各地书店经销

开本:787 mm×960 mm 1/16

印张:21 字数:442 千字

2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

印数:1~2 000 册

ISBN 7-5612-1824-9 定价:29.00 元



# 前 言

本书是根据国防科工委“十五”重点教材建设的要求进行编写的。计划学时数为 50 学时。编写本教材的指导思想是:①立足于飞行器设计专业(导弹设计)本科专业课程教学的目的、要求和特点,着重介绍有关导弹总体设计的基本理论、原理和方法,以提高学生分析问题和解决问题的能力;②不同类型的导弹在技术上存在许多共性和特殊性问题,本教材以各类型导弹的共性为主,本着共性与特性相结合的原则,介绍导弹总体设计方法及主要设计内容,覆盖有翼导弹和弹道导弹总体设计的有关问题;③广泛吸收本学科教学和科研成果,力求知识的系统性、完整性和先进性。

全书共分七章,包含内容如下:

- (1)导弹的研制过程和导弹的战术技术要求与分析论证(第 1,2 章);
- (2)导弹主要设计参数的选择、导弹质量方程的建立和质量分析(第 3 章);
- (3)导弹的外形设计和部位安排(第 4,5 章);
- (4)导弹系统性能分析:包括导弹的射击精度、杀伤概率、可靠性和效能分析等(第 6 章);
- (5)导弹总体优化设计(第 7 章)。

另外,弹道设计是导弹总体设计的重要内容,由于此部分内容在导弹飞行力学课程中已经讲授,因此,本教材中不再另立章节。

本书由国防科工委聘请的两位教授主审,他们提出了许多宝贵的意见,在此对他们的辛勤劳动和宝贵意见致以衷心的感谢。在本书编写过程中,参阅了大量兄弟院校的有关教材和国内外有关文献资料,在此一并致谢。

本书由谷良贤、温炳恒编著,龚春林参加了第 7 章部分内容的编写工



作。编写覆盖有翼导弹和弹道导弹总体设计的教材在国内尚属首次,由于经验不足,水平有限,书中缺点和错误在所难免,不当之处,请读者批评指正。

编著者

2004年6月于西北工业大学

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b>	
1.1 导弹武器系统 .....	1
1.2 导弹的研制过程 .....	5
1.3 导弹总体设计 .....	8
<b>第 2 章 导弹战术技术要求与分析论证</b>	
2.1 战术技术要求的内容 .....	14
2.2 目标特性分析 .....	16
2.3 导弹性能 .....	19
2.4 战斗部系统分析论证 .....	28
2.5 多级导弹的级数分析论证 .....	44
2.6 推进系统分析论证 .....	50
2.7 制导系统分析论证 .....	63
2.8 导弹的发射方式分析论证 .....	78
<b>第 3 章 导弹主要设计参数的选择</b>	
3.1 概述 .....	85
3.2 导弹质量方程式的建立 .....	89
3.3 导弹燃料质量的一般表达式 .....	98
3.4 导弹相对量运动微分方程式的建立 .....	99
3.5 导弹的主要设计参数 .....	112
3.6 有翼导弹各部分相对质量因数的确定 .....	135
<b>第 4 章 导弹外形设计</b>	
4.1 导弹外形设计的基本要求 .....	140
4.2 气动布局 .....	142
4.3 导弹外形几何参数的选择 .....	173
<b>第 5 章 部位安排与质心定位</b>	
5.1 部位安排的任务和要求 .....	196
5.2 保证稳定性与操纵性的问题 .....	197
5.3 部位安排的其他问题 .....	202
5.4 导弹的三面图与部位安排图 .....	206
5.5 质心位置计算及转动惯量计算 .....	210
5.6 计算机辅助部位安排 .....	212



<b>第 6 章 导弹系统性能分析</b>	
6.1 导弹制导精度分析 .....	217
6.2 防空导弹单发杀伤概率的计算 .....	230
6.3 防空导弹武器系统的杀伤区和发射区 .....	241
6.4 导弹武器系统的可靠性和维修性 .....	247
6.5 导弹武器系统的效能分析 .....	262
<b>第 7 章 导弹总体优化设计</b>	
7.1 概述 .....	279
7.2 优化设计的基础知识 .....	281
7.3 优化算法的选择 .....	288
7.4 优化设计中的一些其他问题 .....	292
7.5 多目标优化 .....	295
7.6 多学科设计优化技术 .....	299
7.7 优化设计实例 .....	309
7.8 CAD 在导弹总体设计中的应用及其发展前景 .....	321
<b>参考文献</b> .....	324

# 第 1 章 概 论

## 1.1 导弹武器系统

导弹是现代战争中的重要武器,是国防现代化的标志,随着战争需要的变化和科学技术的进步而不断发展。从 20 世纪 40 年代到现在,各国发展的导弹种类繁多。如果按气动外形和飞行弹道特征,可把导弹分成有翼导弹和弹道导弹两大类。本节就有翼导弹、弹道导弹和导弹武器系统进行简要介绍。

### 一、有翼导弹

有翼导弹是一种以火箭发动机、吸气式发动机或组合发动机为动力,其机动飞行(包括平衡重力)所需的法向力主要由升力部件的空气动力提供,并装有战斗部系统和制导系统的无人驾驶飞行器。有翼导弹均在大气层内飞行,其弹体外形通常由弹身、弹翼、舵面及安定面等组成。

有翼导弹按其发射平台和攻击目标的位置不同,可分为地地导弹、地(舰)空导弹、空空导弹和空地导弹等。有翼导弹又可分为飞航(巡航)导弹和其他有翼导弹。所谓“飞航(巡航)”是指导弹在升力与重力、推力与阻力大致平衡的条件下,以某一最经济或特定的高度和速度持续飞行的方式。各类反舰导弹、空地导弹、反坦克导弹乃至个别的空空导弹均属此类导弹的范畴。

有翼导弹的最大特点在于所攻击目标的复杂性和作战环境的多变性,这些目标一般具有高速、高机动、几何尺寸小和突防能力强等特点;自然环境(如高度、地形、地物、气象、昼夜等)和人为环境(如干扰、假目标等)的变化都会对导弹系统的工作产生影响。因此,要求有翼导弹具有在多种环境条件下的作战能力、高机动性、快速反应能力和命中精度高等特点。有翼导弹的特点归纳如下:

(1)制导精度高 有翼导弹多数用于攻击点目标,很多有翼导弹主要用于攻击活动点目标。目标体积小(如飞机、坦克、舰(船)等),难于直接命中。这就要求导弹的制导精度必须很高,脱靶距离很小。例如,反坦克导弹,其射程为 3 000~5 000 m,而坦克的最小横向尺寸(高度)约 2.0 m 左右,如果瞄准中心与目标中心重合,则允许导弹的最大横向偏差必须小于 1.0 m,考虑系统误差和散布特性后,允许导弹的横向偏差不能超过 0.5 m;防空导弹,考虑到小型化要求和战斗部的有效杀伤半径,则要求导弹具有很高的制导精度。





(2) 机动能力强 有翼导弹主要用于攻击活动点目标,如飞机、无人驾驶飞行器、各类导弹、舰艇、坦克等。目标本身具有一定的机动能力,有的具有很高的机动性能。因此,导弹必须具有更高的机动性能,才能捕获并跟踪目标,直至最后命中并摧毁目标。这就要求有翼导弹能够提供较大的法向机动过载,并具有良好的动态响应特性。在充分发挥导弹高速度、大攻角潜力的条件下,有翼导弹的空气动力翼面和翼身组合体能够提供较大的法向过载。目前,有翼导弹可提供 $(25\sim 50)g$ 的法向机动过载,较先进的有翼导弹可提供 $(50\sim 70)g$ 的法向机动过载。显然,对于攻击机动能力不高或固定目标的有翼导弹,则无须要求具有很强的机动能力。

(3) 系统组成及结构复杂 由于采用了精确的制导技术,导弹的结构和系统组成都比较复杂。有翼导弹既有导引设备,又有控制设备及探测跟踪设备,弹上一般都具有三个通道的控制系统;而且有翼导弹大都是体积小,内部设备多,结构复杂。

随着空中威胁的不断升级和地面防御系统的飞速发展,有翼导弹的技术水平将会进一步提高。一方面要面对空中目标的机动、隐身、干扰等方面的挑战;另一方面,还要躲避地面防御系统的探测、拦截和施放干扰等手段。自主化、智能化、模块化与标准化是有翼导弹的发展方向。所谓自主化就是“发射后不管”,这有利于解决多目标拦截问题;所谓智能化就是利用导弹各种敏感器的信息和计算机软件,根据最优决策拦截目标,并对目标状态变化做出智能反应。模块化和标准化可以提高导弹的性能,降低成本,缩短研制周期,提高导弹的可靠性和维修性。此外,还有多方面的手段可以改善导弹的性能。推进系统的比冲可望进一步提高,多次起动的脉冲发动机可以合理地利用能量。使用BTT技术和大攻角技术可提高导弹的空气动力效率。采用推力矢量与气动力相结合的复合控制方式可提高导弹的机动能力。主动式和被动式自动寻的制导系统将会明显地提高有翼导弹的技术水平,电子光学复合导引技术能够进一步提高导弹的抗干扰能力。实现制导与引战一体化、采用定向战斗部以提高导弹的毁伤效能。垂直发射不但可以解决有翼导弹全方位作战问题,而且可以不用随动发射系统,并能大幅度地提高火力。可靠性、维修性、电磁兼容性和环境适应性有待于进一步提高。降低有翼导弹全寿命成本也是势在必行。

## 二、弹道导弹

弹道导弹是进攻性导弹武器的一种,它除了有动力飞行并进行制导的主动段弹道外,全部沿着只受地球引力和空气动力作用的近似椭圆弹道飞行。弹道导弹的外形特点是不带弹翼,没有或仅有面积不大的安定面。弹道导弹的弹道包括主动段(动力飞行段)、自由飞行段和再入段。这是典型的弹道导弹的概念。随着导弹技术的发展,有的弹道导弹为了提高突防能力,在飞行过程中,实现轨道平面的改变,还有的弹道导弹为了有效地攻击目标和提高突防能力,弹头在再入段可以实现无动力或动力机动飞行。

按照作战任务,弹道导弹可分为战略弹道导弹和战术弹道导弹。战略弹道导弹通常载核弹头,主要用于打击敌方重要战略目标,它包括远程弹道导弹和潜地导弹等;战术弹道导弹一



般指近程地地弹道导弹,通常载常规弹头亦载核弹头,用于打击敌方战役战术纵深内的目标和部分战略目标。

从20世纪40年代末期直到今天,战略弹道导弹大体经历了四个发展阶段。

第一代战略弹道导弹是20世纪40年代到50年代发展起来的,主要解决了从无到有的问题,其主要技术特点是:

- (1)地面储存和发射,易被发现和摧毁,生存能力低。
- (2)采用低温不可储液体推进剂,发射前加注,因而作战准备时间长。
- (3)携带单弹头,无突防装置,命中精度低,其圆概率偏差值在2~5 km。

这一代弹道导弹的典型型号有:美国的雷神(Thor),丘辟特(Jupiter),宇宙神(Atlas),大力神1(Titan 1);前苏联的SS-4,SS-5,SS-6等。

第二代战略弹道导弹是在20世纪50年代中期到60年代发展起来的,主要是提高了导弹的生存能力和作战能力。它突破了可储液体推进剂的毒性防护、抗腐蚀材料、大型固体推进剂药柱的浇注工艺、耐高温高压容器制造、推力控制、终止、纯惯性制导系统、地下井和潜艇水下发射等关键问题。第二代战略弹道导弹的主要技术特点是:

- (1)从地下井或潜艇水下发射,提高了生存能力。
- (2)采用可储存液体推进剂和固体推进剂,反应时间短。
- (3)弹头增加了突防装置,具有转换打击目标的能力。
- (4)命中精度、威力、可靠性均有所提高。

第二代战略弹道导弹的典型型号有:美国的大力神2(Titan 2),民兵1(Minuteman 1),北极星A-1(Polaris A-1);前苏联的SS-7,SS-8,SS-9,SS-11,SS-N-4,SS-N-5等。

20世纪60年代末至70年代,载多弹头的第三代战略弹道导弹迅速发展。由解决弹头的突防能力问题,转向打击多个硬目标,提高摧毁能力。其主要技术特点是:

- (1)装备集束式或分导式多弹头及金属箔条和诱饵之类的突防装置,突防能力强,摧毁效果好,可打击多个目标。
- (2)导弹地下井加固,提高了生存能力。
- (3)采用遥控快速变换目标系统,提高了作战使用性能。
- (4)命中精度进一步提高。

第三代战略弹道导弹的典型型号有:美国的民兵3(Minuteman 3),北极星A-3(Polaris A-3),海神C-3(Poseidon C-3);前苏联的SS-17,SS-18,SS-19,SS-20,SS-N-18等。

20世纪80年代以后发展的第四代战略弹道导弹,主要是进一步提高生存能力和摧毁能力。由于高命中精度的分导式多弹头对地下井的弹道导弹的威胁日益严重,单纯靠加固技术很难确保导弹的生存及反击能力,因此提出采用机动发射问题。这一代弹道导弹的主要技术特点是:

- (1)机动发射,以多瞄准点方案为依据进行部署,提高了生存能力。



(2) 子弹头个数多,当量大,提高了摧毁力。

(3) 潜地导弹增大了射程。

(4) 命中精度高,其圆概率偏差值达到  $0.1\sim 0.2$  km。

第四代弹道导弹的典型型号有:美国的 Mx, 三叉戟(Trident);前苏联的 SS—24, SS—25, SS—N—20, SS—N—23 等。

战略弹道导弹由于其射程远、威力大、命中精度高、突防能力强,受到各国的高度重视。从美国和俄罗斯战略弹道导弹的发展可以看出,一是型号、种类越来越少,二是命中精度不断提高。今后战略弹道导弹的发展应注意以下几个方面:

(1) 战略弹道导弹武器系统应具有很强的突防能力。

(2) 机动发射方式仍然是提高未来战略弹道导弹生存能力的有效手段。

(3) 尽可能减少战略弹道导弹型号,集中人力、物力和财力搞精品,这对于发展中国家尤为重要。

(4) 提高命中精度,以便实施精确打击。

### 三、导弹武器系统

#### 1. 导弹武器系统的组成

单独的导弹不能完成作战任务,必须有其他系统(设备)与其配合,并通过一定的连接方式,构成一个完整的整体,才能完成赋予这个武器的作战使命,这个整体称为导弹武器系统。由此可见,导弹武器系统是由导弹和其他配套的技术装备和设施组成的、能够独立执行作战任务的系统。

导弹武器系统由导弹系统、火控系统和技术保障设备三大部分组成。大多数导弹武器系统用于探测和跟踪目标的雷达站和其他光电通信联络设备及导弹发射装置,均安装在地面制导站、同一战舰或载机上,而且往往和其他武器系统共用,因此也可以认为,导弹武器系统是由发射平台、导弹和技术保障设备组成的。

#### 2. 导弹武器系统各组成部分的任务

导弹是武器系统的核心,直接体现了导弹系统的性能和威力,是攻击各种目标的武器。它由弹体、推进系统、制导系统、引战系统和电气系统组成。导弹在制导系统和推进系统的作用下在空中飞行,最后导向所攻击的目标;引信引爆战斗部,用以摧毁目标;导弹上的电气系统保证导弹从起飞直至击毁目标的全过程中给导弹上的设备供电,并把各设备有机地连接起来,使它们按程序协同工作。

火控系统是导弹武器系统的重要组成部分,是发挥导弹作用的关键环节。随着导弹性能的提高、功能的增加和使用范围的扩展,导弹火控系统的功能越来越多,性能越来越先进。火控系统完成对目标信息的获取和显示、数据处理,发射平台参数测量和处理,计算装订射击诸元,射前检查,战术决策和实施导弹发射任务。该系统主要由目标探测和显示系统、数据处理



计算系统、发射平台参数测量处理系统、射前检查设备、发射装置、发射控制系统等构成。

目标探测和显示系统用于测定和显示目标距离、目标方位、目标速度、目标航向等参数。发射平台参数测量系统用于对导弹载体运动参数,如载体速度、载体航向、载体姿态(滚动角、俯仰角)的测量。这个系统一般包括载体惯导平台或陀螺稳定平台、高度表、多普勒雷达等设备。上述所测目标及载体运动参数全部输入到数据处理计算系统——射击指挥仪,解算射击诸元。计算结果由指挥仪向导弹定时机构装定自控飞行时间或自控飞行距离、向导引头装定自导距离(对自控加自导的制导体制而言)、向自动驾驶仪装定射击扇面角,射击指挥仪还向导弹的发射装置传送射击方位角,控制发射架转向所要求的方位。对于机载固定式发射架(或称挂架),射击指挥仪不控制发射装置的方位,只控制导弹的脱钩。对于空地导弹而言,指挥仪需向弹上惯导系统输入载体所测得的各种角度和速度信息,使导弹初始对准目标。

技术保障设备用于完成导弹起吊、运输、储存、维护、检测、供电和技术准备,以保障导弹处于完好的技术状态和战斗待发状态。技术保障设备主要有:测试设备、吊车、运输车、装填车、技术阵地及仓库拖车、电源车、燃料加注车、清洗车、气源车、通信指挥车和其他配套工具。技术保障设备取决于导弹的用途、使用条件和构造特点。导弹的类型不同和发射方式不同,技术保障设备的配置就有较大的差异。

导弹武器系统的组成见图 1.1。

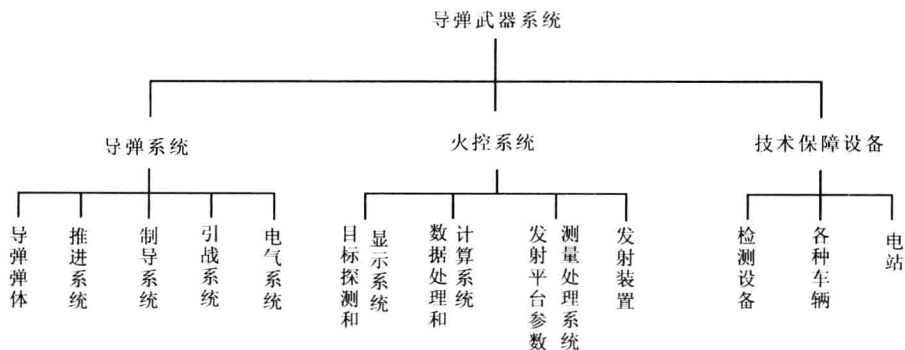


图 1.1 导弹武器系统的组成

导弹武器系统总体,习惯上称做“大总体”,以表示与其他总体的区别。本书中讲授的导弹总体设计,指的是导弹总体,而不是整个武器系统。由图 1.1 可见,导弹系统仅是大总体中的一部分。同样,所谓导弹的研制过程,指的是导弹,而不是整个武器系统。

## 1.2 导弹的研制过程

导弹武器系统的研制工作是一项复杂的系统工程,涉及许多技术领域和部门,从设计方案



的提出到成批生产和投入使用,要经过一个很长的过程。实现总体设计方案需要进行大量的计算和绘图、许多科学研究和试验工作,涉及多个专业技术领域研制工作的组织协调,必须按照研制程序进行科学的管理,以便使整个武器系统能在规定的研制周期内达到预期的研制目标。实践经验表明,这种涉及多种专业的新技术开发,需要投入大量人力、物力和财力,进行长时间研制而且带有技术风险性的武器系统工程,没有统筹全局的组织领导和科学的决策管理是很难获得成功的。因此,按照系统工程管理的原则,遵循科学的研制程序,是组织型号研制工作的一项基本要求,也是搞好武器系统总体设计与试验工作必须遵循的客观规律。

导弹武器系统研制目的是实现使用方提出的战术技术指标要求,为此,研制前就要组织总设计师系统和行政指挥系统,建立责任制,制定研制程序和阶段计划,建立质量可靠性管理系统、标准化管理系统、经济管理系统,各司其职,密切配合,确保研制质量和合理使用研制经费。

为了能清楚地说明导弹设计这一复杂的技术过程,可把它分为若干阶段。研制阶段的划分,各国不一,但完成的技术工作内容大体上是一致的。一般来说,导弹武器系统的研制过程,大致划分为以下几个阶段:可行性论证、方案论证、初样阶段、试样阶段、设计定型、生产定型。其中,方案论证、初样阶段、试样阶段又统称为工程研制阶段。另外,在上述研制过程的首尾,还分别有战术技术指标要求的拟定和武器系统试用两个阶段,这两个阶段的工作都是以使用方为主,但研制方都有一些相应的工作,可视为研制过程的前提和继续。

### 1. 可行性论证阶段

可行性论证是对使用方提出的战术技术要求作综合分析,论证技术上、经济上和研制周期上的可行性,这一阶段的依据是使用方根据未来作战使用需求提出的“型号战术技术要求”,它一般包括:作战使命、有效射程、导弹质量和轮廓尺寸、飞行速度、作战空域、命中概率(或命中精度)、发射条件等,除此以外,有关制导方式、动力装置类型、战斗部类型和质量、导弹几何尺寸、可靠性指标、使用环境、研制周期和费用等,则应根据前述的技术要求,经论证、协商后决定。

可行性论证阶段的主要任务是,根据使用方提出的战术技术要求,充分考虑预先研究成果、国家现有的技术与工业水平、经济条件、资源条件和继承性等因素,逐条分析战术技术要求在技术上、经济上和周期上实现的可能性,提出武器系统总体方案设想、可供选择的主要技术途径、可能达到的指标及必须进行的支撑性预研工作,研制周期、经费估算的建议。

该阶段结束的主要标志是,完成编写《导弹系统研制总要求》和《研制任务书》的草稿。

### 2. 方案阶段

方案阶段自批准和下达型号战术技术指标要求开始,是对武器系统进行全面论证、模样研制和方案性试验的阶段,是型号研制的决策阶段。

该阶段的主要任务是,根据批准的型号战术技术指标要求,对型号研制做出全面的规划和部署,通过对多种方案和技术途径的论证比较,优选出性能好、使用方便、成本低、研制周期短的总体方案和分系统技术指标,并提出对分系统的初步技术要求;统筹规划大型试验项目及其保障条件,制定飞行试验的批次状态和分系统对接试验的技术状态和要求;制定型号质量与可



靠性工作大纲、标准化大纲,及其他技术管理保障措施;确定研制程序和研制周期;概算研制经费。方案阶段有时根据总体方案的要求,需要分系统进行模样设计、试制和试验,以验证方案的可行性。

方案阶段结束的标志是涉及总体方案的技术关键基本解决,技术方案得到验证,总体和分系统的主要性能参数已初步选定,保障条件已基本落实,完成并上报《武器系统研制方案报告》,提出型号初样技术状态。

### 3. 初样阶段

武器系统总体方案确定之后,各分系统即进入按总体提出的研制任务书开展技术设计、研制初(步)样(机)的阶段。

初样阶段是型号研制的工程实施阶段。该阶段主要任务是,用工程样机(初样)对设计、工艺方案进行实态验证,进一步协调技术参数和安装尺寸,完善设计方案,为飞行试验样机(试样)研制提供较准确的技术依据。在这一阶段,各分系统进行初样设计、单机生产、单机试验和分系统的初样综合试验,以及发动机的全面试车。总体进行初步设计,装出模样弹,进行总体初样试验,包括气动、静力、分离、全弹振动、全弹初样综合匹配试验等。完成总体和分系统的协调,拟定试样技术状态。

初样阶段结束的标志是完成初样实物,确定试样技术状态,总体向分系统提出试样设计任务书,提出飞行试验方案,上报初样研制报告。

### 4. 试样阶段

试样阶段是通过飞行试验检查样机的研制工作,全面检验武器系统性能的阶段。

该阶段主要任务是,在修改初样设计和生产的基础上研制试样,进行飞行试验,全面鉴定武器系统的设计和制造工艺。主要工作是进行总体和分系统试样设计,进行模样弹、自控弹、自导弹等试样试制,完成各种状态试样的地面试验和飞行试验。地面试验一般有系统仿真和模拟试验、弹上系统地面联试、全弹强迫振动试验、火控系统联试和精度试验、武器系统对接试验及全弹环境试验等。

飞行试验包括模样弹、自控弹、自导弹、战斗弹等阶段的飞行试验,各阶段是否截然分开,得根据导弹的继承性和技术上的成熟程度决定。模样弹主要考核导弹的稳定性、弹道特性、射入散布、发动机性能、弹体部分结构及两级间的分离特性等;自控弹主要考核导弹自动驾驶仪的飞行控制特性,通过飞行试验协调技术参数,完善设计方案;自导弹主要考核大回路闭合后的导弹工作性能。

试样阶段结束的标志是完成研制性飞行试验,并达到飞行试验大纲的要求,编写飞行试验结果分析报告,提出型号设计定型技术状态,提出定型申请报告。

### 5. 设计定型阶段

定型阶段是使用方对型号的设计实施鉴定和验收,全面检验武器系统战术技术指标和维护使用性能的阶段。



该阶段的主要任务是,完成型号定型的地面试验和靶场飞行试验,根据飞行试验和各种鉴定性结果,全面检验导弹的性能指标,按照原批准的任务书评定武器系统的战术技术性能。研制单位的主要工作是参与地面试验和飞行试验、试验结果分析、整理定型设计技术资料,提出型号定型申请报告。

定型阶段完成的标志是,分别按定型试验大纲要求完成飞行试验,提出型号设计定型报告及型号研制总结报告。

#### 6. 生产定型阶段

通过设计定型之后,武器系统即可转入批量生产并装备部队阶段。导弹工程研制阶段主要是解决设计问题,一般其生产工艺和工装还不够完善,因此,生产定型阶段的初期,应先经过小批量的试生产,完善、稳定生产工艺,解决工程研制阶段遗留的技术问题,待产品的生产质量稳定之后,通过生产(工艺)定型,才能转入大批量生产。

该阶段的主要任务是对产品的批量生产条件进行全面考核,以确认其符合批量生产的标准,稳定质量,提高可靠性。

需要提及的是,导弹武器系统的研制程序并不是一成不变的,视战术技术要求情况,阶段的划分可增可减。设计师系统应仔细研究使用方提出的战术技术要求,在武器系统研制前,应详细制定研制程序,周密制定工作计划,作为总体和分系统设计共同遵循的指南。

## 1.3 导弹总体设计

导弹武器系统是一个非常复杂的工程大系统,总体设计就是导弹本身各分系统的技术综合,必须将导弹的各个分系统视为一个有机结合的整体,使整体性能最优,费用最低,研制周期最短。对每个分系统的技术要求首先从实现整个系统技术协调的观点来考虑。总体设计对各分系统之间的矛盾、分系统与全系统之间的矛盾,都要从总体性能及总体协调两方面的需要来选择解决方案,然后留给分系统研制单位或总体设计部门去实施。总体设计体现的科学方法就是系统工程。

导弹总体设计是一门系统工程科学。它是应用物理、数学、喷气推进技术、空气动力学、飞行力学、结构力学、材料学、控制理论、电子学、优化理论以及其他应用学科和基础学科处理和解决导弹总体设计问题的一门综合性科学。它一方面以上述应用学科和基础学科为基础,同时又是一门独立的技术学科,有其自身内在的逻辑、规律和方法。

总体设计是一个从已知条件出发创造新产品的过程,是将战术技术要求转化为武器的最重要的步骤。总体设计在导弹武器系统所有设计、研制工作中占最重要的地位并起决定性作用。高质量的总体设计不但会带来令人满意的导弹作战性能、使用维护性能和经济效益,而且会为各系统、各设备、各组件以及零部件设计创造良好的条件。



## 一、导弹总体设计的主要依据

总体设计的依据随任务来源的不同而异。国家规划中(或下达)的型号,其总体设计的依据是国家批准的导弹武器系统研制总要求和军方签订的型号研制合同。未列入规划但军方急需的型号,其总体设计的依据则为总体设计部与军方商定的协议文件。对于自筹资金研制的型号,总体设计的依据视型号的情况,可能是研制单位的发展规划,或与用户签订的合同,或自身根据市场需求所提出的战术技术要求。

总体设计依据主要包括:

- (1) 战术技术指标;
- (2) 完成研制的时间节点和定型时间;
- (3) 研制经费额度。

## 二、导弹总体设计的特点和设计思想

导弹是一个由多种新技术、多个分系统、多种设备构成的复杂系统,其研制过程是由研究、设计、试制、试验等多种创造性劳动构成的反复实践和认识的过程。在其总体设计过程中,应遵循先进性、综合性、高可靠性、经济性等原则。

### 1. 技术先进性

导弹总体设计是一个探索性、开拓性的创造过程。一枚先进的导弹武器,取决于新技术的采用和系统的合理综合。因此,导弹总体战术技术性能必须是先进的,总体设计应综合体现现代科学技术的发展,即把先进的技术应用于导弹总体设计之中。但是新技术的应用并非越多越好、越新越好。在满足系统战术技术性能要求的前提下,总体设计既要大胆采用新技术,又要充分考虑武器系统的继承性和标准化程度。一个成功的总体设计在于把在一定时间内可以掌握的新技术与经过实践证明有效的成熟技术巧妙地结合起来,形成性能先进、生产可行、使用可靠、费用合理的武器。一般情况下,一个新研制型号其继承部分仍应占 60%~70%。在关键部位所采用的新技术必须是经过预先研究取得成果并证明是可行的。在列入型号方案后,也还要经过一段应用于型号的研究攻关才能转入工程研制。片面追求新技术可能导致系统不可靠、效费比低、研制周期长等不良后果。

为了在研制中能有效、可靠地使用先进技术,应不断地向新的技术领域探索,在中、长期发展战略研究的指导下,及时安排新的预先研究课题,作为新产品设计的储备。

为了提高总体设计的效率和质量,需要采用现代设计方法和手段。计算机技术和优化设计理论的迅速发展为各个专业领域计算机辅助设计、生产、测试、仿真等创造了条件,可高效地进行多种方案的比较与优化,提高研制工作的自动化程度。

### 2. 综合性

导弹武器系统是一个庞大而复杂的工程系统,综合应用多项专业技术领域的成果,各组成





部分之间相互配合,形成了整个系统的综合性能。由于导弹本身是由大量零部件组成的,要协调一致,精确地互相配合工作是非常困难的,而且构成导弹各系统的各专业学科之间相互作用,使得导弹各部分之间相互影响极为复杂,因此就形成了导弹设计中特有的“界面”问题。在总体设计中必须充分考虑各个专业技术之间和各个分系统之间的交叉耦合影响,妥善处理这些问题。例如,弹上振动、冲击、过载等环境的测定及对弹上设备(尤其是电子设备和精密仪器)的影响,弹上天线及天线罩在高速飞行中产生高温情况下的机械和电气性能及其对导弹稳定飞行和制导的影响,导弹结构弹性振动对控制系统设计的影响,发动机喷焰对光和射频信号传播的影响,以及地(舰)面和弹上诸系统的电磁兼容性等。要处理好这些技术问题,只有按系统工程的观点和方法进行总体综合设计才可解决。

在总体设计中往往出现一些相互矛盾的要求,但当某一环节影响到整个武器系统的作战性能时,就需要通过精心设计,进行某些折中和取舍,使作战使用性能最好。例如陆基机动导弹,为了满足机动性要求,对导弹的尺寸、质量要进行限制,这就影响了导弹的射程和威力,但提高了生存能力;防空导弹武器系统为了扩大有效作战空域,要求相应增加装备数量、单元质量,这就减小了机动性和隐蔽性,从而降低了生存能力。这些矛盾需要采用新技术和综合协调,在总体设计中妥善解决。

### 3. 高可靠性

导弹是一次性使用的高度自动化武器,系统的构成复杂,所处的环境严酷,包含数千个、数万个以至十万个元器件、焊点、接点,其中任何一个失效都有可能造成整个系统失效,导致战斗失利。因此,可靠性工程对导弹的研制具有十分重要的意义,为实现高可靠度,必须在设计、生产、试验各个环节采取措施。

导弹设计好坏对导弹的可靠性至关重要。一旦设计确定以后导弹的固有可靠性也就随之确定了。因此,在总体设计一开始就要把可靠性作为一项设计指标进行分配,总体和分系统都要进行可靠性设计。在总体设计中,要进行可靠性设计,简化系统,尽量采用成熟适用的技术,改善工作环境;要采用冗余容错等技术,督促各分系统采取提高可靠性的各种措施。在总体试验设计中要把可靠性试验作为一项主要内容,从元器件、部、组件,单机,分系统,总体,逐项按程序进行试验、评定和验收。

与可靠相关联的还有系统的可维修性,总体设计中从一开始就要建立合理的维修体制,对各个系统提出维修检测要求。对导弹本身讲,为方便使用也要求提高其可靠性,使部队在规定寿命周期内不必进行检测和维修,至少做到间隔 $1\sim 2$  a进行一次自动检测,剔除不合格导弹。对地面设备则广泛采用内装式测试设备,以快速确定故障部位,合理配齐备件,快速更换损坏的部、组件,排除故障,提高设备的可用性。

### 4. 经济性

总体设计要根据武器系统可能装备的数量适时考虑其可生产性,总体设计要便于投入批量生产,降低成本。衡量武器系统经济性的综合指标是其全寿命周期内的效费比。武器系统