

高等学校“十二五”规划教材·国防科技类

防空导弹总体设计原理

FANGKONG DAODAN ZONGTI SHEJI YUANLI

韩晓明 李彦彬 徐超 编著



西北工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材·国防科技类

FANGKONG DAODAN ZONGTI SHEJI YUANLI

防空导弹总体设计原理

韩晓明 李彦彬 徐超 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书系统地介绍了防空导弹总体设计的基本概念与内容、基本原理与方法。主要内容包括防空导弹的研制过程与内容、战术技术要求分析、导弹布局设计、导弹总体设计参数与选择、推进系统设计、引战系统设计、制导系统设计、发射方案设计、能源系统设计和导弹系统性能分析等。

本书可作为指技合训型军队院校导弹总体专业、导弹工程专业本科生的教材,也可供相关导弹类专业或导弹技术管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

防空导弹总体设计原理 / 韩晓明, 李彦彬, 徐超编著. —西安:西北工业大学出版社, 2016.4

ISBN 978-7-5612-4728-0

I. ①防… II. ①韩… ②李… ③徐… III. ①防空导弹—总体设计 IV. ①TJ761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 070664 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpu.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:20.5

字 数:502 千字

版 次:2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价:56.00 元

前 言

防空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,其研制过程涉及许多技术领域和部门,是多种创造性劳动构成的反复实践和认识的过程。导弹总体设计就是各分系统的技术综合,将导弹的各个分系统视为一个有机整体,使整体性能最优、费用最低、研制周期最短。因此,研究导弹总体设计原理与方法具有十分重要的意义。

防空导弹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。

防空导弹总体设计是一门系统工程科学。它是应用物理、数学、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。一方面它是以上述应用学科和基础学科为基础,另一方面它又是一门独立的技术科学学科,有它自身的内在逻辑、规律和方法。在导弹总体设计过程中,应遵循先进性、综合性、高可靠性、经济性等原则,综合权衡气动、结构、动力、质量、控制、弹道等众多相互耦合的学科,将多学科设计优化的思想和方法用于导弹总体设计,以提高其设计效率和质量。

本书是根据军队院校导弹总体专业和导弹工程专业防空导弹总体设计原理课程标准,集国内外最新的研究成果并结合笔者多年的教学、研究体会编写而成的。本书系统地介绍了防空导弹总体设计的基本概念与内容、基本原理与方法、总体设计新技术与发展。内容新颖、系统全面、先进性强,为导弹工程专业和导弹总体专业的教学提供了一本实用的教材,同时,也可供相关导弹类专业或导弹技术管理人员参考。

全书共分 10 章,第 1 章主要介绍防空导弹的组成和功能、总体设计的概念、研制过程和发展状况;第 2 章介绍战术技术要求的基本内容、确定战术技术要求要考虑的目标特征,以及新设计导弹的性能等问题;第 3 章介绍导弹分级与总体布局、导弹气动外形设计、弹上设备的部位安排与质心定位和结构布局设计的要求;第 4 章介绍根据导弹的飞行性能参数,来选择导弹主要设计参数的问题;第 5 章介绍推进系统设计的任务与要求、固体火箭发动机设计、固体火箭冲压发动机设计、液体火箭发动机设计和发动机选择的原则与方法;第 6 章介绍引战系统的设计内容、要求、原则和方法;第 7 章介绍导弹制导系统的功能、分类与组成,设计的基本要求,导引方法的选择,控制方法的选择等内容;第 8 章介绍发射装置设计的内容与要求、陆(海)基发射方式和空基发射方式的特点;第 9 章介绍导弹能源系统的类型与特点、设计要求和导弹上常用能源系统的选择与设计方法;第 10 章介绍与导弹系统性能分析与评价有关的导弹杀伤概

率计算、杀伤区和发射区、导弹的可靠性、维修性、安全性和电磁兼容性、导弹系统的费用效能分析等内容。其中第1~5,7章由韩晓明编写,第6,10章由李彦彬编写,第8,9章由徐超编写,全书由韩晓明统稿。

本书在编写过程中曾参阅了国内外相关文献资料,在此谨对其作者表示衷心的感谢!由于水平有限,错误与不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2016年1月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 作为设计对象的防空导弹	1
1.2 防空导弹的研制过程	5
1.3 防空导弹总体设计	12
1.4 防空导弹的发展状况	21
第 2 章 战术技术要求分析	27
2.1 战术技术要求的内容	27
2.2 目标特征	29
2.3 导弹性能	35
第 3 章 导弹布局设计	42
3.1 导弹分级与总体布局	42
3.2 导弹气动外形设计	47
3.3 弹上设备的部位安排与质心定位	77
3.4 其他结构布局设计要求	88
第 4 章 导弹总体设计参数与选择	99
4.1 主要设计参数	99
4.2 导弹起飞质量设计模型	105
4.3 导弹主级推进剂相对质量系数的计算	109
4.4 导弹主要参数对推进剂相对质量系数的影响	117
4.5 导弹速度规律和推重比的选择与确定	119
4.6 翼载的确定	126
4.7 助推器主要参数的确定	130
4.8 导弹其他部分相对质量系数的确定	134
第 5 章 推进系统设计	138
5.1 推进系统设计的任务与要求	138
5.2 固体火箭发动机设计	142
5.3 固体火箭冲压发动机设计	168
5.4 液体火箭发动机设计	175
5.5 发动机的选择	191

第 6 章 引战系统设计	194
6.1 引战系统设计的要求	194
6.2 引信方案	199
6.3 战斗部方案	202
6.4 引战配合技术	213
第 7 章 制导系统设计	217
7.1 制导系统的功能和组成	217
7.2 制导系统的分类	218
7.3 制导系统设计的基本要求	227
7.4 导引规律的选择	229
7.5 控制方法的选择	233
第 8 章 发射方案设计	241
8.1 发射方案设计的内容与要求	241
8.2 陆(海)基发射方式	246
8.3 空基发射方式	254
第 9 章 能源系统设计	256
9.1 能源系统的类型与特点	256
9.2 能源系统的设计依据与要求	257
9.3 电源系统的选择与设计	258
9.4 气源系统的选择与设计	264
9.5 液压系统的选择与设计	267
第 10 章 导弹系统性能分析	270
10.1 单发导弹杀伤概率计算	270
10.2 导弹的杀伤区和发射区	284
10.3 导弹的可靠性、维修性、安全性和电磁兼容性	296
10.4 导弹的费用效能分析	307
参考文献	322

第 1 章 绪 论

防空导弹是指用来拦截空中目标的武器,包括地空导弹和舰空导弹(这两者统称为面空导弹)、空空导弹。本章主要介绍作为设计对象的防空导弹的基本概念、研制过程,导弹总体设计的基本内容以及防空导弹的发展概况。

1.1 作为设计对象的防空导弹

导弹总体设计在导弹所有设计工作中占最重要的地位并起决定性作用。总体设计是将战术技术要求转化为武器的第一个也是最重要的一个步骤,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,而且会为弹上各系统、各设备、各组件以及零部件设计创造良好的条件。因此,首先必须熟悉作为设计对象的导弹在导弹武器系统中的地位、导弹的分类与特点、导弹的组成与功能。

1.1.1 导弹武器系统

导弹武器系统是基本作战单位,一般由作战装备(包括导弹、发控设备、制导设备、电源和运输车辆等)和支援装备(包括导弹的运输和装填设备、作战装备的检测维修设备以及必要的能源设备等)组成。导弹武器系统具有两种功能:作战功能(指发现、跟踪和识别目标;导弹按照规定的航迹和精度要求飞行到目标区;有效地摧毁目标)和维护功能(指在规定的寿命期内具有保证系统正常工作的能力)。

1. 导弹武器系统的组成

导弹武器系统由导弹、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以及导弹发射装置,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,如图 1-1 所示。

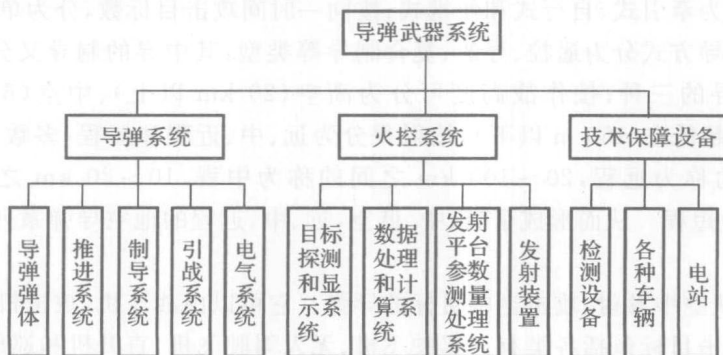


图 1-1 导弹武器系统组成

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、引战系统和能源系统组成。

火控系统是导弹系统的重要组成部分,完成对目标信息的获取、显示和数据处理,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、数据处理和计算系统、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、方位、速度、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(滚转角、俯仰角)的测量。数据处理计算系统包括射击指挥仪、解算射击诸元。

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。

1.1.2 防空导弹分类与特点

现代防空导弹有多种分类方法,每种分类方法均反映了导弹某一方面的特点,给导弹总体设计带来了相应的战术技术要求。

根据作战用途,可分为要地防空导弹、野战防空导弹和舰艇防空导弹;根据作战空域,可分为中高空、中低空、低空和超低空防空导弹,根据当前技术水平,防空导弹一般覆盖两个主要空域,兼顾其他空域;根据发射点和目标的位置,可分为地空导弹、空空导弹和舰空导弹;根据攻击目标类型,可分为反飞机导弹和反导导弹等;根据制导方式,可分为驾束制导、指令制导、自动寻的制导和复合制导导弹等。

1. 地空导弹

地空导弹是从地面发射,攻击并摧毁空中活动目标(飞机、弹道导弹等)的制导武器,它在大气层内飞行,一般都带有翼面,属于有翼导弹。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,由气动翼面提供机动飞行所需的法向力、装有战斗部系统和制导系统的无人驾驶飞行器。

地空导弹的分类方法很多,各国对地空导弹武器分类方法和标准不尽相同。主要有,按作战用途,分为要地防空和野战防空两种;按地面机动性,分为固定式、半固定式和机动式3种,其中,机动式又分为牵引式、自行式和便携式;按同一时间攻击目标数,分为单目标通道和多目标通道两种;按制导方式分为遥控、寻的、复合制导等类型,其中寻的制导又分为主动寻的、半主动寻的和被动寻的三种;按作战高度可分为高空(20 km 以上)、中空(6~20 km)、低空(150 m~6 km)、超低空(150 m 以下);按射程分为远、中、近程和短程,多数国家把最大射程在100 km 以上的称为远程,20~100 km 之间的称为中程,10~20 km 之间的称为近程,10 km 以内的称为短程。从而形成了高、中、低空,远、中、近程的地空导弹系列。

2. 空空导弹

空空导弹是从空中发射、攻击空中目标的导弹。它可以由战斗机、攻击机、轰炸机、直升机等携带和发射,攻击目标包括各类有人驾驶飞机、无人驾驶飞机、直升机和巡航导弹等。

空空导弹有多种分类方法,通常根据作战使用和采用的导引方式来分类。

(1) 根据作战使用,可以分为近距格斗空空导弹、中距拦射空空导弹和远程空空导弹。

近距格斗空空导弹:主要用于空战中的近距格斗,它的发射距离一般在 300 m~20 km 之间,通常不追求远射程,更加关注导弹的机动、快速响应和大离轴发射、尺寸质量以及抗干扰能力等性能。近距格斗空空导弹一般采用红外制导体制。

中距拦射空空导弹:最大发射距离一般在 20~100 km 之间,它更关注导弹的发射距离、全天候使用、多目标攻击、抗干扰等性能。中距拦射导弹通常采用复合制导体制来扩大发射距离,其中制导采用惯性制导加数据链修正,末制导一般采用主动雷达制导。

远程空空导弹:最大发射距离通常应达到 100 km 以上,采用复合制导体制,动力装置目前多采用固体火箭冲压发动机。

(2) 根据导引方式,可以分为红外型空空导弹、雷达型空空导弹和多模制导空空导弹。

红外型空空导弹:采用红外导引系统,具有制导精度高、系统简单、质量和尺寸小、发射后不管等优点,其主要缺点是不具备全天候使用能力,迎头发射距离近。

雷达型空空导弹:采用雷达导引系统,具有发射距离远、全天候工作能力强等优点。根据导引头工作方式又可以分为主动雷达型、半主动雷达型、被动雷达型以及驾束制导型空空导弹。

多模制导空空导弹:采用多模导引系统,目前常用的多模制导方式有红外成像/主动雷达多模制导、主/被动雷达多模制导以及多波段红外成像制导等。多模制导可以充分发挥各频段或各制导体制的优势,互相弥补对方的不足,提高导弹的探测能力和抗干扰能力,极大地提高导弹的作战效能。

3. 舰空导弹

舰空导弹是从舰艇发射、攻击空中目标的导弹。是海上防空系统的一个重要组成部分,主要用于出海作战舰艇及其编队的空中防护,是舰艇完成海上作战任务的一种必要保障。

按作战使用,可分为舰艇编队防空导弹和单舰艇防空导弹;按射高,可分为高空舰空导弹、中空舰空导弹、低空舰空导弹;按射程,可分为远程舰空导弹、中程舰空导弹、近程舰空导弹。

远程舰空导弹(作战高度为 10 m~24 km,最大作用距离为 25~150 km),主要拦截中高空、中远程各种飞机目标,兼顾对低空目标的拦截,能有效地对 100 km 以内的空域实施控制,属于区域防空型武器(制空型武器)。

中程舰空导弹(作战高度为 10 m~15 km,最大作用距离为 45 km):主要拦截中低空、中近程各种飞机目标,兼顾对超低空飞机、反舰导弹目标的拦截,属于中程区域防空型武器(主战型武器)。

近程舰空导弹(最大作用距离为 10 km、作战高度为 5 m~5 km):主要拦截中低空、超低空、近程飞机和掠海反舰导弹目标,兼顾对中空目标的拦截,属于点防空型武器。

末段防御舰空导弹(最大作用距离为 8 km、作战高度为 5 m~3 km):主要拦截超低空来袭的反舰导弹目标,兼顾对低空目标的拦截,属于自卫型武器。

总之,由于防空导弹所攻击的目标比较复杂(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),作战使用环境比较严酷(自然环境和人为环境),因此,要求防空导弹应具有下述特点。

(1) 反应时间快:由于目标飞行速度高和搜索跟踪系统的作用距离有限,所以要求防空导弹从接到发射准备命令到发动机点火的准备时间尽量短。

(2)高加速性:由于拦截高速目标和保证杀伤区近界作战的需要,所以要求防空导弹具有高加速性。目前防空导弹最大加速度可达 $50\sim 100g$ 。

(3)高机动性:防空导弹主要用于攻击活动的点目标,目标本身的机动能力在不断提高,这就要求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,防空导弹的空气动力翼面和翼身组合体应能够提供较大的法向过载。目前,防空导弹的最大法向机动过载在 $25\sim 50g$ 的范围,先进的防空导弹可提供 $50\sim 70g$ 的法向机动过载。

(4)制导精度高:防空导弹所攻击的活动目标体积小,难于直接命中。导弹战斗部的质量只有几千克到几十千克,有效杀伤半径有限,为保证对目标的有效摧毁,要求防空导弹具有较高的制导精度。

(5)引战配合好:由于防空导弹需要攻击多种类型的目标,目标几何尺寸变化范围较大,同时导弹和目标的遭遇速度变化大,这就决定了导弹末段弹目交会的条件范围非常宽。而另一方面,防空导弹战斗部的杀伤范围有限,这就要求引信和战斗部具有良好的配合效率,从而才能获得理想的杀伤效果。

(6)具有反突防能力:考虑到空中目标具有越来越强的干扰能力和采用隐身技术,防空导弹必须具有一定的反突防能力。尤其是寻的系统、引信和遥控应答机等设计必须考虑这一因素。

(7)环境适应能力强:防空导弹的工作环境恶劣,其承受的环境条件包括自然环境(温度、湿度、雨、雪、风、盐、雾、霉菌等)和诱发环境(发射振动、飞行振动、加速度、电磁环境条件等),导弹应能适应以上各种环境条件。

(8)抗干扰能力强:在防空导弹技术不断发展的同时,世界各国针对光学制导和雷达制导的防空导弹,发展了各种诱饵弹、电子干扰机、箔条干扰弹、拖曳式诱饵、红外/微波复合诱饵等各种干扰手段。因此,防空导弹要在日益复杂的干扰环境中有效发挥作用,必须具有较强的抗干扰能力。

(9)具有机动作战能力:考虑到防空任务的多变性,尤其是野战防空的需要,防空导弹必须具有一定的机动作战能力。

1.1.3 防空导弹的组成和功能

防空导弹通常由弹体系统、推进系统、制导系统、引战系统和能源系统组成。

弹体系统由弹身和翼面等组成,它将导弹各个部分有机地构成一个整体。弹身由各个舱段组成,用来容纳仪器设备,同时还能提供一定的升力;弹翼是产生升力的结构部件;舵面的功能是按照制导系统的指令操纵导弹飞行。弹体系统通常应具有良好的气动外形以实现阻力小、机动性强的要求,具有合理的部位安排以满足使用维护要求,具有足够的强度和刚度以满足各种飞行状态下的承力要求。

推进系统为导弹飞行提供动力,使导弹获得所需要的飞行速度和射程。它由发动机及其他相关部件和设备组成。目前防空导弹上使用的发动机都是喷气发动机,喷气发动机一般可分为火箭发动机、空气喷气发动机和组合发动机。

制导系统是用来控制导弹飞向目标的一种设备和装置。它包括导引系统和控制系统两部分。导引系统通过探测或测量装置获取导弹相对理论弹道或目标的运动偏差,按照预定设计

好的导引规律形成控制指令,并将控制指令送给控制系统。控制系统根据导引指令,操纵导弹飞向目标,控制系统的另一功能是保持导弹飞行姿态的稳定。

引战系统由引信、战斗部和安全执行机构组成,其功能是导弹飞行至目标附近或碰撞目标后,对目标进行探测识别并按照预定要求引爆战斗部毁伤目标。引信的作用是适时引爆战斗部,使战斗部对目标造成最大程度的杀伤,常用的引信有近炸引信和触发引信;战斗部是导弹的有效载荷,是直接用来摧毁目标的部件,其威力大小直接决定了对目标的毁伤程度,防空导弹常用的战斗部形式有破片式、离散杆式、连续杆式等。安全执行机构用于导弹在地面勤务操作中、导弹发射后飞行一定的安全距离内,确保导弹战斗部不会引爆,而在导弹飞离一定的时间和距离后,确保导弹能够可靠地解除保险,根据引信的引爆信号引爆战斗部。

能源系统是指导弹系统工作时所需要的各种能源,主要有电源、气源和液压源等。电源有各种电池,主要用于给发射机、接收机、弹载计算机、电动舵机、陀螺和加速度计、电路板、引战系统等供电;气源有各种介质的高压气和燃气,主要用于气动舵机、导引头气动角跟踪系统的驱动以及红外探测器的制冷等;液压源主要用于液压舵机的驱动等。

1.2 防空导弹的研制过程

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。因此,遵循科学的研制程序,是组织型号研制工作的基本要求,也是做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,各型号也略有区别,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、方案设计、初样研制、试样研制、设计定型、生产定型。其中,方案设计、初样研制、试样研制又统称为工程研制阶段,如图 1-2 所示。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的,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。

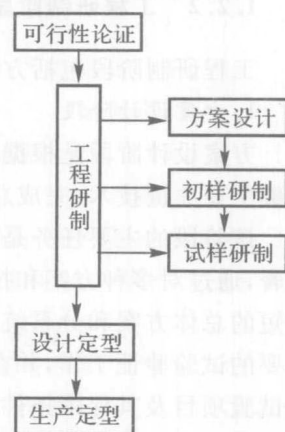


图 1-2 导弹的研制过程

1.2.1 可行性论证阶段

在开始进行正式设计之前,订货部门与研制部门共同拟定导弹设计的战术技术要求,作为研制导弹的依据。

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,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、战斗部形式和质量、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《导弹研制可行性报告》。其主要包括以下内容。

- (1)任务来源;
- (2)导弹的用途;
- (3)导弹的主要性能指标:目标特性、作战空域、发射方式、制导体制、导引精度、战斗部类型及杀伤半径、杀伤概率、抗干扰能力、作战反应时间、导弹外形尺寸、起飞质量、最大速度、最大过载、使用环境、可靠性及可维护性等;
- (4)几种方案设想和可供选择的技术途径;
- (5)必须采用的新技术、新器件、新材料、新工艺;
- (6)必须解决的关键技术、必需的技术保障措施;
- (7)研制周期及生产成本估算;
- (8)提出《导弹研制任务书》。

1.2.2 工程研制阶段

工程研制阶段包括方案设计阶段、初样研制阶段和试样研制阶段。

1. 方案设计阶段

方案设计阶段是根据批准和下达的型号战术技术指标要求,确定导弹武器系统总体方案,突破主要关键技术、完成总体及各分系统设计的阶段。该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分析比较,优选出战术性能好、使用方便、成本低、研制周期短的总体方案和分系统方案,提出总体及分系统的主要技术指标,完成主要关键技术研究 and 必要的试验验证工作,并在此基础上完成总体及各分系统原理样机的设计工作。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;此外还需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,编制经费使用计划。

方案设计阶段结束的标志是涉及总体方案的主要关键技术已经突破,技术方案的原理得到验证,总体和分系统的主要技术指标已经确定,导弹系统原理样机的设计工作已经完成、型号研制工作保障条件已基本落实,并完成《导弹研制总体方案设计报告》和《分系统方案设计报告》,提出型号初样技术状态。

2. 初样研制阶段

武器系统总体及分系统方案设计评审通过之后,各分系统即按总体部门提出的研制任务书开展详细技术设计、研制初步样机。

初样阶段的主要任务是,解决所有关键技术问题,完成各分系统的初样研制,用工程样机

(初样)对总体设计、工艺方案进行实态验证,进一步协调技术参数和安装尺寸,完善总体及各分系统设计方案,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,以及发动机的地面试验。总体进行工程设计与加工,研制初样弹(模样弹或地面试验弹),进行总体初样弹试验,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技术指标协调,拟定试样技术状态。

初样研制阶段的试验工作主要是地面试验,该阶段结束的标志是完成所有关键技术,完成初样弹的研制及相关试验,确定试样技术状态,总体部门向分系统提出试样设计任务书,提出飞行试验方案,完成《初样研制报告》。

3. 试样阶段

试样研制阶段是通过试样机的飞行试验,全面检验与验证导弹武器系统性能的阶段。

该阶段主要任务是在修改初样弹设计和生产工艺的基础上研制试样弹(一般为遥测试验弹),进行飞行试验,全面鉴定武器系统的设计和制造工艺。该阶段主要工作是进行总体和分系统试样的设计与加工,进行各种遥测试验弹(模样弹、自控弹、自导弹)等试制,完成各种状态试样弹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、导弹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、自导弹和战斗弹等阶段的飞行试验,并通过遥测和弹道外测获取试验数据。各弹种飞行试验是否都要进行,应根据导弹型号的继承性和技术上的成熟程度来决定。模样弹主要考核导弹的运动稳定性、弹道特性、射入散布、发动机性能、弹体结构及级间的分离特性等;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,完善控制系统设计参数;自导弹主要考核制导大回路闭合后的导弹飞行性能;战斗弹则主要用于对战斗部性能进行试验验证。

试样研制阶段结束的标志是完成研制性飞行试验,试验结果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和设计定型申请报告。

试样阶段也可按模型遥测弹研制、独立回路遥测弹研制、闭合回路遥测弹研制、战斗(遥测)弹研制等阶段进行划分。

(1)模型遥测弹研制阶段。模型遥测弹一般由弹体系统、推进系统和遥测系统组成,主要考核导弹的飞行稳定性、速度特性、弹道特性、发射问题及发射动力学特性、发动机性能和弹体结构等。对于二级导弹要研究级间分离特性;对于筒式发射导弹要检验筒-弹动态协调特性和发动机燃气流影响问题。

在此要编写《模型遥测弹飞行试验大纲》,提出《独立回路遥测弹设计任务书》及《模型遥测弹研制报告》。

(2)独立回路遥测弹研制阶段。独立回路遥测弹可分为开环独立回路遥测弹和闭环独立回路遥测弹。

开环独立回路遥测弹由弹体系统、推进系统、稳定控制系统部分设备、能源系统、程序装置和遥测系统等组成。研制目的是通过飞行试验,检验导弹的空气动力特性和弹体运动特性。利用飞行试验所获得的遥测数据和外弹道测量数据,通过参数辨识,可以获得更接近实际的导弹气动数据和弹体运动模型。

闭环独立回路遥测弹主要是考核导弹自动驾驶仪综合体的稳定控制特性,要求稳定控制系统(自动驾驶仪)要全部参加工作。

在此要编写《独立回路遥测弹飞行试验大纲》和《独立回路遥测弹研制报告》,提出《闭合回路遥测弹设计任务书》。

(3) 闭合回路遥测弹研制阶段。闭合回路遥测弹由弹体系统、推进系统、稳定控制系统、制导控制系统、能源系统和遥测系统等组成。研制目的是检验导弹在制导控制系统工作条件下的工作性能。闭合回路遥测弹飞行试验一般也是全武器系统的闭合回路试验。其目的是全面检查武器系统的发射控制、制导控制系统的性能和制导精度。

在此要编写《闭合回路遥测弹飞行试验大纲》和《闭合回路遥测弹研制报告》,提出《战斗弹(遥测)设计任务书》。

(4) 战斗(遥测)弹研制阶段。战斗弹是防空导弹的最终设计状态。其研制目的是全面检查所研制导弹的战术技术性能,尤其是要通过对实体靶标射击检查引战配合效率、战斗部杀伤目标能力和导弹杀伤效率。

为了确切判断导弹飞行情况下可能出现的故障部位以及研究弹上各系统工作情况,经常使用战斗遥测弹,即在弹上装小型化遥测系统。近年来由于超小型化遥测系统的发展,某些新研制的防空导弹具有遥测接口,在批量生产抽检试验和部队训练打靶时,在技术阵地可以装上遥测系统,将战斗弹改装成战斗遥测弹,以获得导弹飞行时的弹上各系统的遥测数据。

在此要编写《战斗弹飞行试验大纲》《战斗弹研制报告》和《导弹技术说明书》。

1.2.3 设计定型阶段

设计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试验结果,全面检验导弹的性能指标,按照原批准的型号研制任务书评定导弹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,对试验结果进行分析,并整理定型设计技术资料,提出型号定型申请报告。

设计定型具体的内容包括弹上各系统、导弹地面试验、靶场飞行试验、导弹作战使用和维护性能鉴定和定型、设计文件资料定型等。

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以及型号研制总结报告。

1.2.4 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,生产阶段的初期,应先经过小批量的试生产,充实完善工艺装备和专用设备,解决工程研制阶段遗留的工艺技术问题,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。特别是要从提高可靠性、提高劳动生产率和降低成本出发进一步改进生产工艺,建立健全质量控制保证体系和各种规章制度。

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、可靠性高。

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,要视战术技术要求情况,阶段的划分可增可减。

1.2.5 导弹试验

在导弹研制过程中,导弹试验分为地面试验和飞行试验两类。

1. 地面试验

地面试验的目的就是在地面试验室、试验站或试验场内,在模拟的条件下,对组成导弹的部、组件和分系统,直到全系统,进行性能试验(包括可靠性增长、环境适应性与长期储存等)。通过试验来评定参试产品的性能参数与特性,来达到检验设计方案与工艺质量是否满足总体设计要求。为此,要求试验条件尽可能模拟逼真,参试产品尽可能满足设计要求,测试设备落实、测试方法可靠易行。主要的地面试验可分为如下几类。

(1)风洞试验。风洞试验是利用风洞环境获得被试对象气动特性而采取的一种试验方法,通常是在风洞模拟飞行速度与风洞雷诺数条件下,测量出部件与全弹的空气动力学特性,通过对实际飞行雷诺数的转换,来确定被试导弹的空气动力外形与气动特性的。

(2)力学环境试验。力学环境试验是指导弹在发射、飞行、装填、运输等过程中,所经受的振动、冲击、加速度、跌落、颠簸等环境条件,在地面模拟环境下所进行的试验,其主要试验有振动试验、冲击试验、加速度试验、跌落试验等。

(3)自然环境试验。自然环境试验是检验导弹及其弹上设备对自然环境的适应能力,通常地空导弹的自然环境条件包括风、雨、雪、低气压、温度、湿热、盐雾、霉菌、浸渍等,具体要求可参见相应的国、军标。

(4)电磁环境试验。防空导弹是在复杂的内部和外部电磁环境下工作的,为此,要求导弹系统能适应这种工作环境并能正常工作。电磁环境试验就是模拟导弹系统工作所处的电磁环境,对导弹进行的电磁兼容性试验,检验导弹系统抗电磁干扰的能力。为达到上述要求,在研制工作初期,就要制订出电磁兼容性准则与电磁兼容性大纲。在研制工作各个阶段,规定电磁兼容性任务与具体要求。

(5)弹体结构静力试验与结构模态试验。弹体结构静力试验是在使用载荷条件下,通过应力与变形的测量结果,来分析结构的受力特性,检验弹体结构是否满足强度和刚度的设计要求的。除了在使用载荷下进行静力试验外,还继续加载到结构破坏,通过结构安全余量的测试,来改进弹体结构的设计。

结构模态试验的目的旨在弄清结构的振动模态参数(模态频率、阻尼系数和广义质量等),从而为解决弹体结构与控制系统所遇到的振动问题提供依据。

(6)发动机地面试车、全弹热试车和半弹试车。发动机地面试车是在地面环境或在模拟空中工作条件下进行热试车,通过试验参数测量,来检验发动机的设计正确性和测定发动机推力、压力、总冲、比冲、工作时间等设计参数以及发动机工作时的振动、冲击、温度等环境参数。

全弹热试车是将被试导弹固定在地面试车台上进行的试车,它要求参试导弹的状态与真实导弹基本一致。热试车的目的是在发动机工作状态下,全面检验推进系统的设计性能,弹上各设备的环境适应性与相互协调性以及启动程序等。

半弹试车是介于发动机地面试车与全弹热试车之间的一种中间状态试验,其目的是检验

部分与发动机密切相关设备的协调性能,如尾舱内设备工作性能、发动机与安全引爆装置协调以及环境参数等。

(7)战斗部地面静态爆炸试验。战斗部地面静态爆炸试验就是在地面静止的条件下启爆战斗部,用来检验战斗部的设计方案及协调性能,并通过测量分析,来确定战斗部破片的飞散速度、飞散角或聚焦半径、破片数,以及对不同距离、不同目标的杀伤机理与杀伤能力。同时检验引爆系统与安全引爆装置的协调性能。

战斗部实际杀伤效率,是指基于静态爆破试验参数,并考虑到与目标的动态交会条件下,在引信战斗部配合下对目标的实际杀伤效率,它将在地面仿真试验与打靶试验中确定。

(8)导弹电气匹配试验。弹上设备电气性能的协调性与兼容性直接影响导弹设计的成败。弹上设备电气性能匹配试验,是为了检验导弹电气系统设计正确性和弹上设备相互间的协调工作及电磁兼容性。被试导弹可以是模型弹、独立回路弹,也可以是闭合回路弹与最后的战斗部。通过匹配试验来修改弹上电气系统、设备的电气参数以及接口设计。为此,对每一种重要的导弹状态,一定要安排电气性能匹配试验。

(9)遥控线地面静态对接试验。为了检验导弹与地面制导站遥控线的匹配性能(包括地址码、频率的对接和遥控指令对接等),在导弹遥控应答机与地面制导站进行校飞试验前,还要进行地面静态对接试验。试验时遥控应答机放置在离制导站一定距离的标校塔上。

(10)引信地面静态试验。引信地面静态试验是在试验室内模拟引信与目标的交会过程,以此来测定引信对目标的启动特性。如对红外近炸引信,将引信置于转台上,在一定距离放置一绝对黑体(模拟目标热源),通过调节距离与转动角速度,模拟空中交会过程,来测定引信的灵敏度及启动曲线等性能。

(11)遥测系统与电气系统的匹配试验。防空导弹在飞行试验阶段,为了测量导弹运动参数及弹上设备的参数,往往在导弹上装有遥测系统(包括遥测传感器)。在导弹装上遥测系统后,如电磁兼容性不好,往往会对弹上系统产生干扰,严重的会引起弹上控制系统失稳、发散。为此,在导弹研制中,还必须对弹上系统进行匹配试验,以验证两个系统工作性能和电磁兼容性是否满足要求。

(12)运输试验。运输试验是为了检验导弹经过公路、铁路运输后的稳定工作能力及测定在运输过程的振动参数等。对于铁路运输试验,通常要测试车速、稳定拐弯半径、上下坡道、典型刹车、规定路程等。对于公路运输试验,基本要求与铁路运输试验相同,但运输路程与路面等级质量要求有所不同。

2. 飞行试验

飞行试验的目的是在真实飞行条件下检验导弹系统的协调工作性能及作战使用性能,为此要求飞行试验条件尽可能与真实使用条件一致,产品试验状态满足设计要求,试验批次、状态尽可能压缩,对靶场测量设备要求尽可能通用化、标准化。

飞行试验是防空导弹研制阶段中的重要环节,试验状态多、周期长、费用高,是最终鉴定导弹武器系统性能的主要依据。因此在确保全面检验性能指标的前提下,应尽量减少飞行试验状态与飞行试验次数。

飞行试验一般有两种分类方法:按研制阶段性质划分和按参试装备的组成状态划分。

(1)按研制阶段性质,可分为研制性飞行试验、设计定型飞行试验和生产性批抽检飞行试验三类。