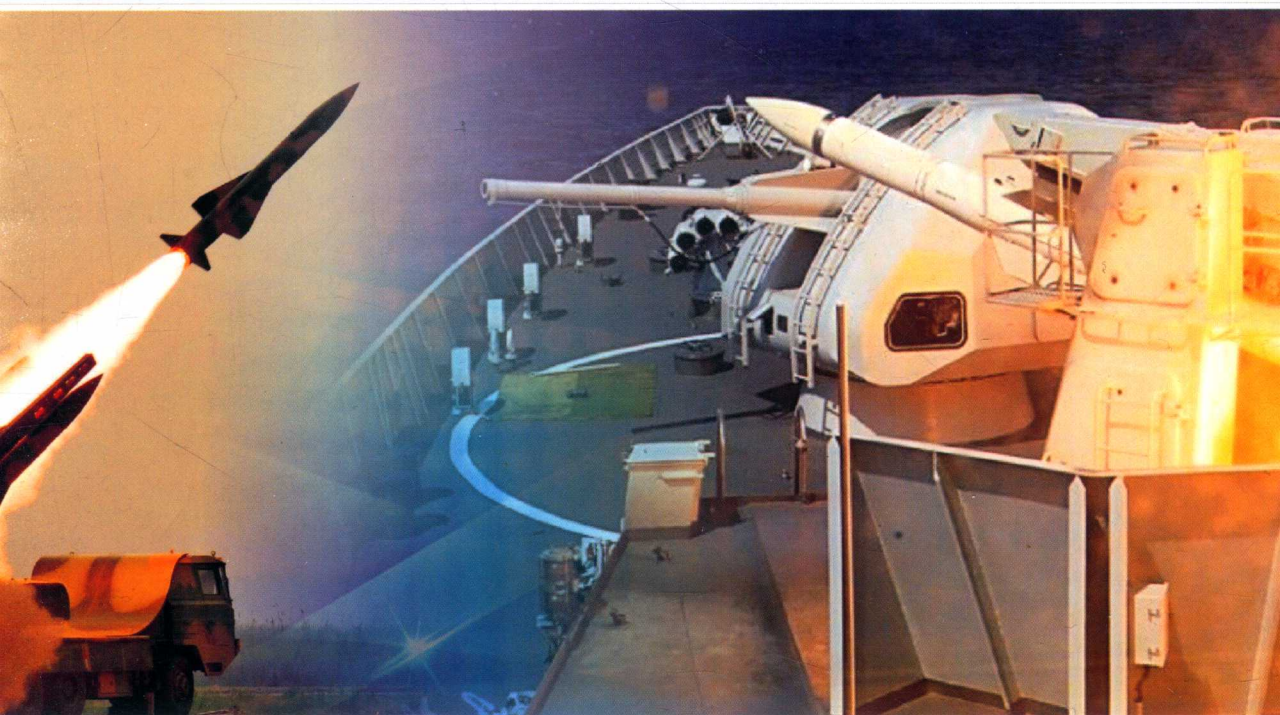


高等学校“十三五”规划教材·国防科技类

导弹总体设计与试验实训教程

龚春林 谷良贤 编著



西北工业大学出版社

DAODAN ZONGTI SHEJI YU SHIYAN SHIXUN JIAOCHENG

导弹总体设计与试验实训教程

龚春林 谷良贤 编著

西北工业大学出版社

西安

【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与试验技术的基本知识、总体设计方法及性能计算方法。其内容包括导弹总体设计的主要内容和方法,导弹系统的研制过程,导弹战术技术要求,导弹的质量方程和主要参数选择,导弹总体方案选择及构形设计,导弹总体性能设计计算,以及导弹系统试验等。

本书可作为高等院校相关专业“卓越工程师”的教材,也可作为从事导弹型号研制的科研人员、管理人员以及使用部门工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

导弹总体设计与试验实训教程/龚春林,谷良贤
编著. —西安:西北工业大学出版社,2017.11
ISBN 978-7-5612-5502-5

I. ①导… II. ①龚… ②谷… III. ①导弹—
总体设计—高等学校—教材 IV. ①TJ760.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 193878 号

策划编辑:季 强

责任编辑:李阿盟

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.nwpup.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:23.375

字 数:574 千字

版 次:2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

定 价:56.00 元

前 言

“卓越工程师教育培养计划”以“学习专业知识、提高动手能力、增强工程实践能力、提高综合素质、培养创新精神和创新能力”为教学目标,通过工程训练教学,促进理论和实际的结合,并实现由知识向能力的转化,培育学生的创新思维能力。根据这一教学目标,笔者在现有教材建设基础上,针对行业工程实践人才的培养需求,编写这部面向飞行器设计工程的“卓越工程师”使用的导弹总体设计教材。

本书在编写内容上注重理论和实践相结合的原则,在着重介绍“卓越工程师”必须掌握的必要知识技能的基础上,增加型号总体性能参数设计计算的工程方法以及为验证设计而必须进行的总体试验设计及实施方法,以便于“卓越工程师”不仅掌握导弹的基本理论和知识,而且对工程方法和型号试验技术及知识等有一个全面、系统的了解和掌握。在编写过程中,力求阐述准确,内容系统、全面,文字简练,深入浅出。

本书由龚春林、谷良贤编写。全书共分6章,包含内容如下:

- (1)导弹总体设计的内容及方法和导弹系统的研制过程(第1章);
- (2)导弹战术技术指标内容及目标特性,导弹质量分析和总体主要参数选择(第2章);
- (3)导弹分系统方案选择和分系统设计要求(第3章);
- (4)导弹外形设计和部位安排(第4章);
- (5)总体性能参数设计计算,包括飞行性能参数计算,气动特性计算,固体火箭发动机性能计算,弹道设计计算,载荷设计计算,以及杀伤区及攻击区的概念,导弹制导精度计算和分析,杀伤概率计算(第5章);
- (6)导弹系统试验(第6章)。

在本书编写过程中,参考了大量的国内相关设计书籍和兄弟院校的有关教材,在此对原作者深表谢意。

限于水平,书中会存在疏漏和不尽完善之处,恳请广大读者和专家批评指正。

编著者

2017年6月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 导弹总体设计的主要依据及特点	1
1.2 导弹总体设计的内容和方法	4
1.3 导弹系统研制过程及技术状态的管理	8
1.4 总体设计输出的主要文件	13
思考题	14
第 2 章 导弹战术技术要求及主要参数设计	15
2.1 概述	15
2.2 战术技术要求分析	16
2.3 导弹性能	24
2.4 导弹主要参数及其预测方法	31
2.5 导弹质量方程式的建立	36
2.6 导弹燃料质量的一般表达式	42
2.7 导弹相对量运动微分方程式	43
2.8 导弹的主要设计参数	49
思考题与习题	59
第 3 章 导弹分系统方案选择及设计要求	61
3.1 推进系统方案选择和要求	61
3.2 引战系统方案选择和要求	93
3.3 制导控制系统方案选择和要求	117
3.4 总体结构方案选择和要求	165
3.5 弹上能源方案选择和要求	180
思考题与习题	198
第 4 章 导弹构形设计	200
4.1 概述	200
4.2 导弹外形设计	203
4.3 部位安排与质心定位	244
思考题与习题	266

第 5 章 总体设计计算	268
5.1 飞行性能参数计算	268
5.2 气动特性计算	273
5.3 固体火箭发动机计算模型	291
5.4 弹道设计计算模型	294
5.5 载荷设计计算	301
5.6 作战空域和攻击区	313
5.7 制导精度计算和分析	322
5.8 杀伤概率计算	328
思考题与习题	336
第 6 章 导弹系统试验	338
6.1 概述	338
6.2 试验的分类与要求	338
6.3 地面试验	341
6.4 动态环境模拟试验	350
6.5 武器系统试验	352
6.6 系统仿真试验	355
6.7 飞行试验	362
思考题与习题	367
参考文献	368

第 1 章 概 论

1.1 导弹总体设计的主要依据及特点

总体一词来源于系统工程学的一个概念,指的是系统作为一个整体的全局。导弹总体设计就是以导弹系统为对象,进行的分析论证、研究设计和技术协调与综合集成工作,是导弹本身各分系统的技术综合。

导弹系统作为一个复杂的高技术工程系统,其作战使用性能不仅与本身各分系统的技术状态有关,也与作战指挥、制导控制、信息传输等整个武器系统性能有关,而且还要受到实际作战条件以及操作使用时人和环境的影响,这些复杂因素在系统设计时都必须加以考虑,这就需要从总体上进行综合研究的工作。导弹总体设计就是在大的武器系统的约束条件下,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。总体设计与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。

总体设计是一个从已知条件出发创造新产品的过程,是将研制总要求转化为总体方案和各分系统研制要求的设计过程。总体设计在导弹系统所有设计工作中占有极为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,而且还能在一定程度上降低对分系统的技术要求。反之,即使各系统、各设备、各组件和零部件设计水平很高,低劣的总体设计也会导致导弹作战性能低,或者使用维护性能差,或者成本高昂,甚至导致导弹研制工作的失败。

1.1.1 导弹总体设计的主要依据

导弹总体设计工作的基本依据是使用方提出的战术技术指标要求,该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与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。

总体设计主要依据有以下几点:

- 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。

1.1.2 导弹总体设计工作的特点

导弹总体设计工作具有系统工程方法论的研究特点,国内外学者都有精辟的论述,但比较典型的符合导弹研制特点的首推美国学者 A. D 霍尔的见解。

霍尔提出用一种系统工程三维结构图形式,表示系统工程任务多维性的特点(见图1-1)。

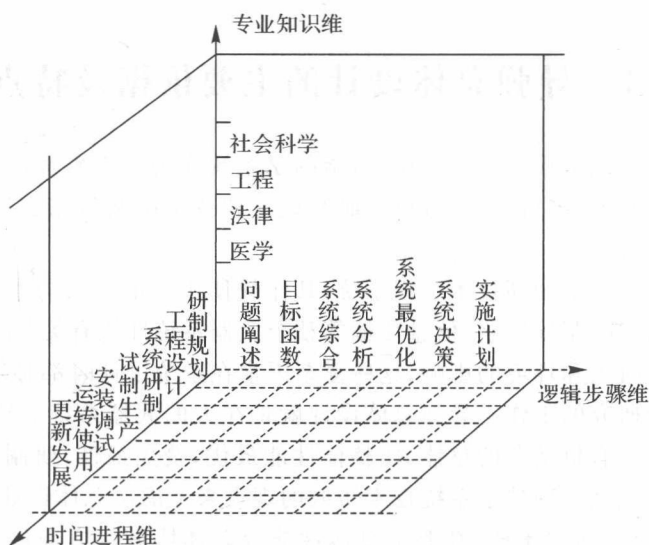


图 1-1 系统工程三维结构图

图 1-1 表示了系统工程任务多维性的特点。从导弹系统的研制过程来看,时间进程维表示导弹型号的研制过程可以分为若干个研制阶段,前一阶段是后一阶段的基础,后一阶段是前一阶段的继续,每一阶段工作的优劣都影响系统资源的投入和系统的使用价值;逻辑步骤维反映导弹研制过程具有严格的逻辑步骤,它把每个阶段按若干个逻辑程序展开;专业知识维反映导弹系统是各种知识或条件的综合运用。

上述三维形式的系统工程实体结构的互连关系,要求综合多方面的专业知识,在工程研制的各个阶段中,进行反复迭代式的系统分解与综合分析,以求得总体性能最佳的决策。通过研究分析与工程实践,导弹总体设计工作具有如下主要特点:

(1) 系统的层次结构决定了不同层面总体设计工作的相互关系,导弹武器系统总体工作属于最上层,建立在导弹系统、搜索跟踪制导系统、发射控制系统、指挥控制系统及支援维修系统等各系统总体工作基础上,着重于武器系统全局的研究,不仅要全武器系统战术性能要求出发进行总体设计,还要把全系统的研制过程作为一个整体规划研究,提出最好的实现研制全局目标的措施。导弹系统总体工作建立在导引系统、控制系统、推进系统、引战系统、能源系统等各系统总体工作的基础上,着重于系统间相互耦合作用及协调关系的研究,从谋求整体效能最高为出发点去指导、协调各系统/分系统的总体工作,以求导弹系统总体目标的实现。

(2) 多学科、多专业相结合的系统综合研究是导弹系统总体设计的一个显著特点。导弹系统设计涉及气动、弹道、控制、结构、雷达、光电探测、发射控制、计算机、通信系统和系统设计与

软件系统等方面的技术,这就需要对可能的各种技术途径、系统布局、设备配置方案等进行多学科综合设计研究,形成导弹系统的总体方案;有关导弹系统的效费比、可靠性、维修性、可用性等作战使用性能的研究设计工作还要涉及现代军事运筹学、系统科学,以至经济管理等方面的专门知识和方法。导弹系统总体设计要求的知识面和多学科综合研究的程度远较一般专业研究为广。

(3)大量的分析综合及反复循环迭代式系统研究设计是总体设计的又一特点。总体设计是一个多次反复迭代、逐渐逼近的过程,在每个研制阶段,都需要依据工作进展情况对系统和分系统之间的参数性能进行综合权衡,通过“掌握信息—明确问题—制订目标—系统综合—系统分析—最佳方案选择—决策并制订行动计划—组织技术协调或者调整工作部署”这样的逻辑步骤,把型号总体工作与各系统的实际研制工作联系起来,推动系统研制工作前进。

(4)导弹总体设计工作具有“软科学”研究工作的特点。不仅是所采用的工作方法,在收集数据、建立数学模型基础上,进行系统综合与分析、仿真计算与试验、方案比较与最优化,特别是其研究成果与工作内容的主要服务对象是在于为领导决策、组织实施提供依据和建议,都很类似通常的软科学研究工作。有关系统试验的设计与组织,对试验结果的分析,并据此检验修正理论研究模型和系统设计,也是导弹总体设计工作非常重要的内容。

(5)导弹系统总体工作本身就是一项系统工程。型号研制工作的实践表明,总体工作不仅是技术上正确决策所需要的,也是型号研制工作有目标的科学化组织管理的基础。按照系统工程方法进行的型号总体工作体现了技术与管理的结合。

1.1.3 导弹总体设计工作的作用

导弹总体设计工作担负着武器系统总体技术方案分析、研究和设计以及对研制工作全局的组织管理进行运筹谋划的任务。在整个型号研制中发挥着4个方面的重要作用:

(1)技术工作的“龙头”作用。导弹总体设计工作负责提出总体方案,制订对各系统、分系统的研制技术要求,规定全系统共同遵循的工作规范等,这些工作不仅从技术上统率全局,也影响到研制工作的全局安排,决定整个研制工作的方向和进程,是型号研制工作的龙头。

(2)两总决策的“参谋”作用。导弹总体设计工作从系统整体效能和全局利益出发进行系统综合与分析研究,在多方案的比较和优选研究中提出各种可供选择的建议,成为型号总指挥、总设计师决策不可或缺的技术参谋。

(3)技术协调的“核心”作用。型号研制技术上的综合性和多样性,工作上的矛盾错综复杂,系统与分系统间的状态参数、接口等出现不协调是经常发生的,只有通过总体工作权衡利弊、折中平衡的研究,才能找到最有利于系统全局的解决办法。系统、分系统间的技术协调必须有这样一个核心,才能避免各行其是,以便形成有机的整体。

(4)组织管理的“保障”作用。导弹总体设计工作在系统总体方案研究的基础上,不仅要进行系统综合性能最优化设计,也要从技术性能、质量可靠性、成本经费需求和研制周期各因素相互影响的关系中运筹研制工作全局的组织管理方案。总体工作提出的任务分解和 workflows 图将成为计划实施组织管理工作的技术基础与技术保障。

1.2 导弹总体设计的内容和方法

1.2.1 导弹总体设计的主要内容

导弹总体设计的内容很广泛,概括起来有几个方面:选择和确定总体方案及性能参数;对分系统提出设计要求并进行技术协调;开展导弹可靠性、维修性、电磁兼容性和环境适应性等专业工程方面相关的设计工作;制订导弹研制过程各个阶段的总体试验计划和试验大纲,并组织实施相关试验;对导弹系统总体性能及作战效能进行预测评估。

导弹型号研制过程一般分为可行性论证阶段、方案阶段、工程研制阶段和定型阶段四个阶段。工程研制阶段又分为初样阶段和试样阶段两个子阶段,定型阶段又分为设计定型和生产定型两个子阶段。导弹总体设计在几个不同的研制阶段也各有侧重点。导弹总体设计在各个研制阶段的主要内容如下:

1. 可行性论证阶段的主要内容

(1)战术技术指标论证:根据未来作战需求,参考国外发展的同类型导弹的相关技术指标,配合使用方进行导弹运用研究,对导弹的作战性能进行初步分析,就指标的合理性及指标之间匹配性提出分析意见。

(2)技术可行性分析:设想总体方案和可能采取的技术途径并计算总体参数,通过计算分析提出导弹分系统及主要配套产品的初步要求,综合总体论证结果和分系统论证结果,提出可能达到的指标、主要技术途径和支撑性预研课题。此外还要对研制经费进行分析。当论证总体方案时,要充分考虑到预先研究取得的成果及国内具备的技术基础和条件,同时也要考虑研制进度和研制经费等因素,从技术、经济、研制周期,以及必须解决的技术关键和保障条件等方面综合分析论证其实现的可行性。

2. 方案设计阶段的主要内容

在型号研制的方案阶段,主要进行导弹总体方案设计。

(1)方案选择和确定:首先选择和确定导弹气动外形,总体参数,包括导弹的级数、推力参数、速度特性、质量参数等,对导弹总体性能进行初步研究;确定制导体制、引战体制、分离方案、发射方式等,通过计算和分析后提出分系统要求。方案论证和方案设计时,一般应进行多方案比较,对各种可能方案进行技术、费用、进度、风险的综合权衡,最终确定主要方案。

(2)参数计算和指标分配:根据使用方提出的战术技术指标要求初步确定总体方案及总体设计参数,通过设计及分析计算确定和分配分系统初样设计所需的技术参数和技术指标,这些设计分析与计算包括总体主要性能参数设计计算、气动设计与计算、弹道设计与计算、导弹固有特性计算、载荷计算、稳定性分析和计算、制导方案设计和精度指标分配、可靠性预测和指标分配等。

(3)分系统研制要求:提出制导系统、控制系统、推进系统、引战系统、电气系统、遥测系统等分系统的初样设计要求,即研制任务书。通过研制任务书来统一和协调各分系统的初样设计,保证最终达到导弹总体性能指标。

(4)进行局部方案原理性试验。对某些新技术、新材料、新方案等影响全局的关键项目进

行原理性试验和半实物仿真试验。

3. 初样阶段的主要内容

在型号研制初样阶段,主要基于初样产品试验进行又一轮总体设计,为分系统初样研制提供依据。初样阶段是总体和分系统通过试验改进设计的过程。

(1)初样样机研制:根据研制任务书要求,研制全弹的初样样机,考核各分系统工作协调性、全弹强度刚度、结构尺寸、公差协调性以及工艺协调性。

(2)初样总体试验:主要进行内场相关的总体试验,包括导弹结构静力试验和模态试验、全弹功能振动试验、弹上设备地面联试、导弹综合热试车、火箭橇试验、程控弹发射试验、机载系留试验等,考核总体设计的有效性和技术指标是否达到了设计要求。

(3)提出分系统试样设计要求:根据初样样机总体试验结果,经过协调、分析和计算后提出分系统试样阶段研制任务书。

4. 试样阶段的主要内容

试样阶段主要基于试样产品试验进行改进设计,为分系统试样研制提供依据。其主要研制内容包括试验样机研制、试样总体试验,试样对接与协调试验、各种大型地面试验、可靠性鉴定和验收试验、全弹试车、飞行试验等。

(1)试样样机研制:根据研制任务书要求,研制全弹的试样样机,进一步考核各分系统工作协调性、全弹结构尺寸、公差协调性以及工艺协调性。

(2)对接与协调试验:主要包括在总装厂进行的导弹模拟测试以及机械、电气的协调试验;在试车台和靶场对导弹、火控系统、地面设备和试验设备实行按试车和发射要求的操作,目的是检查试验对象的状态、性能、参数和线路是否正确;检验导弹与地面设备、导弹与火控系统以及导弹各分系统之间的协调性。

(3)地面试车:在试车台上进行点火试验,借以考核导弹各分系统在发动机比较真实工作条件下的适应性、协调性和可靠性,并测量振动、冲击等环境参数。

(4)飞行试验:在实际飞行条件下进行各种试验。飞行试验包括研制性飞行试验和鉴定性飞行试验,通过研制性飞行试验验证导弹总体设计方案和各分系统设计方案是否正确,导弹各系统对实际飞行环境是否适应,系统间是否协调。鉴定性飞行试验目的是鉴定导弹的各项技术指标,最后确定导弹定型状态。飞行试验的弹道可以是常规弹道,也可以是按照试验目的和首、末区情况选用特殊形式的弹道。导弹飞行试验以遥测和外测为测量和观察手段,根据发射前的测试数据和飞行中所获取的各种参数评定试验。飞行试验结果分析分为性能评定和故障分析两类。

5. 定型阶段的主要任务

在定型阶段总体主要工作包括定型鉴定试验、技术指标评定和编制设计定型文件等。

(1)定型鉴定试验:制订导弹定型鉴定试验计划并进行试验,定型鉴定试验包括性能试验、环境试验、可靠性试验、飞行试验等。

(2)技术指标评定:根据鉴定试验结果对导弹最终达到的战术技术指标进行评估,给出是否设计定型的建议。

(3)设计定型文件:根据国家定型委员会的相关规定和要求,准备导弹设计定型需要的所有技术文件。

综上所述,导弹总体设计就是利用导弹技术知识和系统工程的理论与方法,把各分系统和各组部件严密组织协调起来,使之成为一个有机整体,经过综合协调、折中权衡、反复迭代和试验,最终完成导弹研制的一个创造性过程。在一定程度上讲,导弹总体设计工作是全部设计工作中最重要和具有决定性作用的一环。正是通过总体设计,战术技术要求才能得到细化、分解,与导弹相关技术指标一一对应,最终形成导弹的总体方案并提出各分系统的设计要求。

1.2.2 导弹总体设计的程序

导弹总体设计是将研制总要求转化为总体方案和各分系统研制要求的设计过程,需要多次设计迭代,并需要多专业协同设计。在总体设计过程中,作为输入的研制总要求可以有一次或几次对个别指标的调整。研制总要求是需求牵引和技术推动的结果。

总体设计分为初步设计和方案设计两个阶段。初步设计从分析研制总要求开始,通过系统设计形成总体方案构思,初步设计主要完成导弹气动外形、结构布局和推进系统设计,重点关注导弹作为飞行器的性能。首先提出对气动外形、结构布局的初步要求,接下来进行气动设计,确定导弹的气动外形,给出初步的气动特性。同时进行结构布局设计,给出导弹的质量、质心和各分系统的结构安排。在气动设计和结构布局设计的基础上进行推进系统方案设计,确定动力装置的参数,主要包括推进剂质量、推力曲线,形成总体设计初步方案。然后进行导弹总体性能计算,对导弹的主要性能(如射程、速度、机动能力、飞行时间)进行评估。初步设计的计算工作通过初步设计仿真软件完成。如果导弹主要性能不满足要求,就需要重新确定参数并进行新一轮迭代设计。

初步设计完成后,转入方案设计。在初步设计的基础上,进行导弹导引系统、控制系统、引战系统的方案设计,计算制导精度和杀伤概率,还要完成结构设计和防、隔热设计,进行导弹强度计算、隔热特性计算、气弹稳定性分析,进行全弹电气接口设计 and 专业工程设计。对各分系统的功能进行划分,在方案设计的基础上形成研制任务书作为分系统设计的依据。方案设计也是一个设计迭代过程,对每次设计形成的方案都要对照研制总要求进行全面评估。方案设计大量的计算工作通过详细设计仿真软件完成。

总体设计应是多方案设计,对每个可能的方案进行探索、对比、优化,最终形成一个满足研制总要求的总体方案。总体设计的程序如图 1-2 所示。

1.2.3 导弹总体设计的方法

导弹总体设计方法的早期发展是和飞机总体设计方法密切相关的。当 20 世纪 40 年代开始设计第一代导弹时,飞机总体设计经过摹拟法、统计法已经发展到分析法阶段。当时的惯量计算、气动计算、操纵性和稳定性计算以及飞行性能计算等方法已经相当成熟。早期的导弹设计方法正是以这些方法为基础,逐步形成一套独立的设计理论的。因此,导弹总体设计的传统方法属于分析法。在 20 世纪六七十年代,由于系统工程理论的发展,导弹总体设计方法进入了系统工程法的设计阶段。所谓系统工程法就是用系统工程的理论和方法进行导弹总体设计。

采用系统工程法进行导弹总体设计的内容包括命题、技术预测、建立数学模型、建立优化模型、选择优化方法和进行优化、优化结果分析和决策。

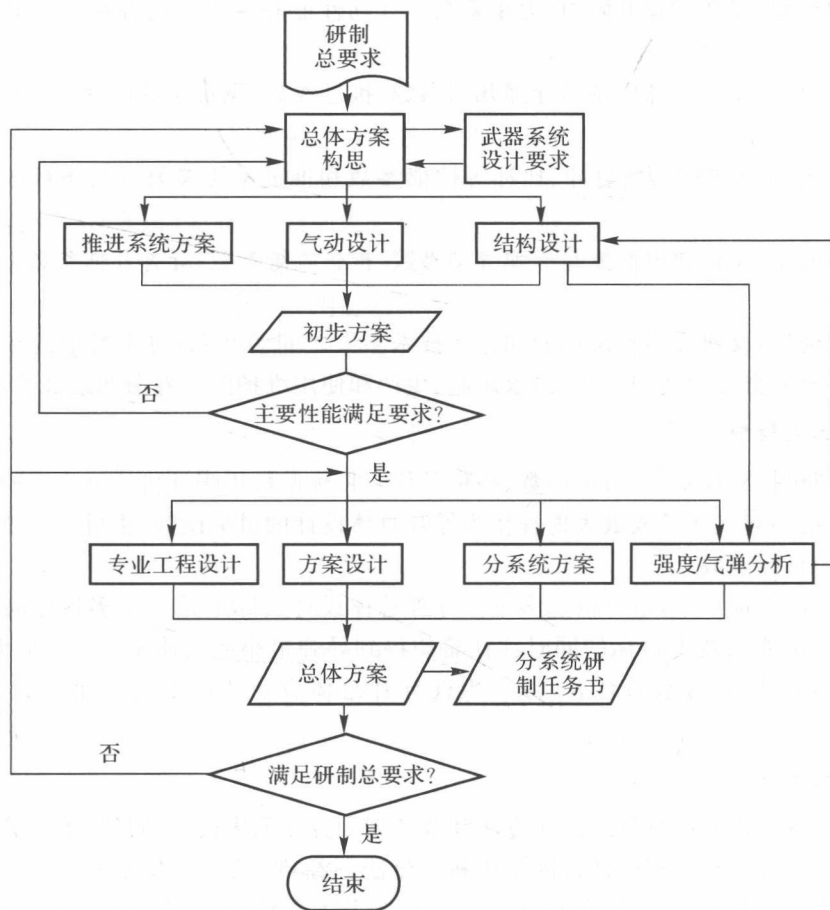


图 1-2 总体设计程序

1. 命题

命题就是确定导弹总体设计应解决的主要问题,如战斗部威力与制导精度、飞行弹道与制导规律、推进系统及其参数、机动力和控制力产生方案、导弹空气动力外形和几何参数、导弹级数、导弹稳定控制系统、弹上制导控制系统、弹上能源方案、导弹可靠性等。

2. 技术预测

新研制的导弹从可行性论证到投入使用往往需要 5~10 年,甚至更长的时间。建立在可行性论证阶段技术水平的导弹方案经过 10 年的研制和生产到投入使用时就可能成为技术相当落后的导弹。为避免这种情况发生,在可行性论证阶段就应考虑采用一定数量的远景技术。在工程研制阶段,对于某些远景技术也可以采取“预埋法”。一旦这些技术成熟,即可应用,提高导弹的性能,又不引起总体方案的大幅度变化,为此必须对技术发展进行科学预测。例如,对推进系统的比冲 I_s 、结构材料比强度 σ/ρ 、能源的比能量 W/m 和比功率 P/m 等进行预测,预测周期一般为 10 年。

3. 建立数学模型

采用模块化思想建立反映导弹性能和各种参数之间关系的数学模型。内容主要如下:

(1)气动模型,反映导弹升阻力、力矩系数等气动性能和导弹几何参数以及导弹运动参数之间的联系;

(2)质量模型,反映导弹质量与导弹几何参数、推进参数、飞行参数以及弹上设备参数等之间的联系;

(3)推进模型,反映推力、总冲、比冲等性能参数和推进系统参数以及飞行参数等之间的联系;

(4)弹道模型,反映弹道性能与导弹气动参数、推进系统参数、导弹几何参数以及质量参数之间的联系;

(5)经济模型,反映导弹经济性能和导弹技术参数之间的联系;对于复杂的导弹武器系统来说,还应当研究全寿命费用,即应追求研制、生产和使用维护的全寿命的最低消耗。

4. 建立优化模型

优化模型包括设计变量、目标函数、约束条件。目标函数用来评价导弹方案的优劣和完善程度,可以用最小起飞质量或最大射程作为导弹总体设计的目标函数,也可以用效费比作为导弹总体设计的目标函数。

目标函数可以选一个,也可以选多个。导弹总体设计实际上是一个多目标问题。系统设计师在保证既定战术技术指标的同时往往希望得到导弹最小起飞质量 $m_{0\min}$ 、最低成本 $C_{\min}$ 、满意的速度特性 V 和过载特性 n_y 等。因此导弹总体设计实质上是一个多目标折中优化问题。

5. 选择优化方法

飞行器参数优化方法可分为经典方法和数学规划方法两大类。当目标函数具有明显数学表达式时,可使用微分法、拉格朗日因子法和变分法等经典方法,一般称之为间接法。如果目标函数表达式过于复杂,甚至没有明显的表达式,则用直接法求解,即用数学规划方法求解。

6. 优化结果分析和决策

在优化设计中,首先要对目标函数的多峰性做出判断。如果发现所得的极值为局部最优值,则应继续调优寻找全局最优值。其次要进行参数分析,研究参数的灵敏度,这对研究实际问题很有意义。必须指出:在命题、建模、技术预测和建立目标函数过程中综合了各应用学科的科学规律和设计师系统丰富的实践经验,同时也伴有主观认识因素。因此必须对优化结果进行客观的、全面的和辩证的分析,才能做出正确的决策。

1.3 导弹系统研制过程及技术状态的管理

1.3.1 导弹系统研制过程

导弹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,也是搞好系统总体设计与试验工作必须遵循的客观规律。

导弹系统研制组织管理包括两个并行的过程,即工程技术过程和对工程技术控制的过程。具体进行组织管理的是型号行政指挥系统和技术指挥系统。导弹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系统研制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。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、战斗部型式和质量、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,经论证协商后确定。

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,提出导弹系统总体方案设想、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《导弹系统研制总要求》和《研制任务书》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,是对导弹系统进行方案设计、关键技术攻关、原理性样机研制和试验阶段,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,制订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;制订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,需要分系统进行原理性样机设计、试制和试验,以验证方案的可行性。

总体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《导弹系统研制方案报告》,提出型号初样技术状态。

3. 初样阶段

导弹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,全面检验导弹武器性能的阶段。

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,全面鉴定导弹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导弹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以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,应详细制订研制程序,周密制订工作计划,作为总体和分系统设计共同遵循的指南。

1.3.2 研制过程中技术状态的管理

导弹系统研制过程是一个逐步把作战使用要求转化为技术要求的过程,首先是系统要求,其次是分系统要求,然后是、组件要求,最后是元器件、成件、原材料要求。研制过程的管理控制就是围绕这一主线进行的,既要控制技术要求的正确形成,又要控制技术要求的正确变动。其基本思路是,依据时效性、试验、经费和周期的影响从宏观到微观、从粗到细、从松到严,按基线、分阶段逐步控制。

1.3.2.1 各研制阶段基线

所谓技术状态是指在技术文件中规定并且在产品中达到的功能特性及物理特性。所谓基线,即某一阶段形成或确定的技术状态。

1. 可行性论证阶段(L)

确认作战使用要求,形成系统要求(功能基线)。

2. 方案阶段(F)

确认系统要求,形成分系统要求(分配基线)。

3. 初样阶段(C)

确认分系统要求,形成部、组件要求。

4. 试样阶段(S)

确认部、组件要求,形成产品基线。

5. 设计定型阶段(D)

确认产品基线,形成小批量生产能力。

1.3.2.2 技术状态管理

对技术状态的管理是导弹系统研制过程中的一项重要工作。在导弹系统的研制过程中主要通过下述活动实施对技术状态的管理:

1. 技术状态标识

确定研制产品的技术状态基线并对相应的技术文件选择标识符号。

(1) 技术状态的确定。

1) 型号产品研制阶段的划分,由型号总体提出研制阶段划分意见(研制程序),形成技术报告报型号总设计师批准;

2) 按型号配套表,将具有独立功能需要单独进行管理的硬件(含导弹及地面设备)、软件及其集合体作为技术状态项目,并形成文件,报上一级设计师批准确定;