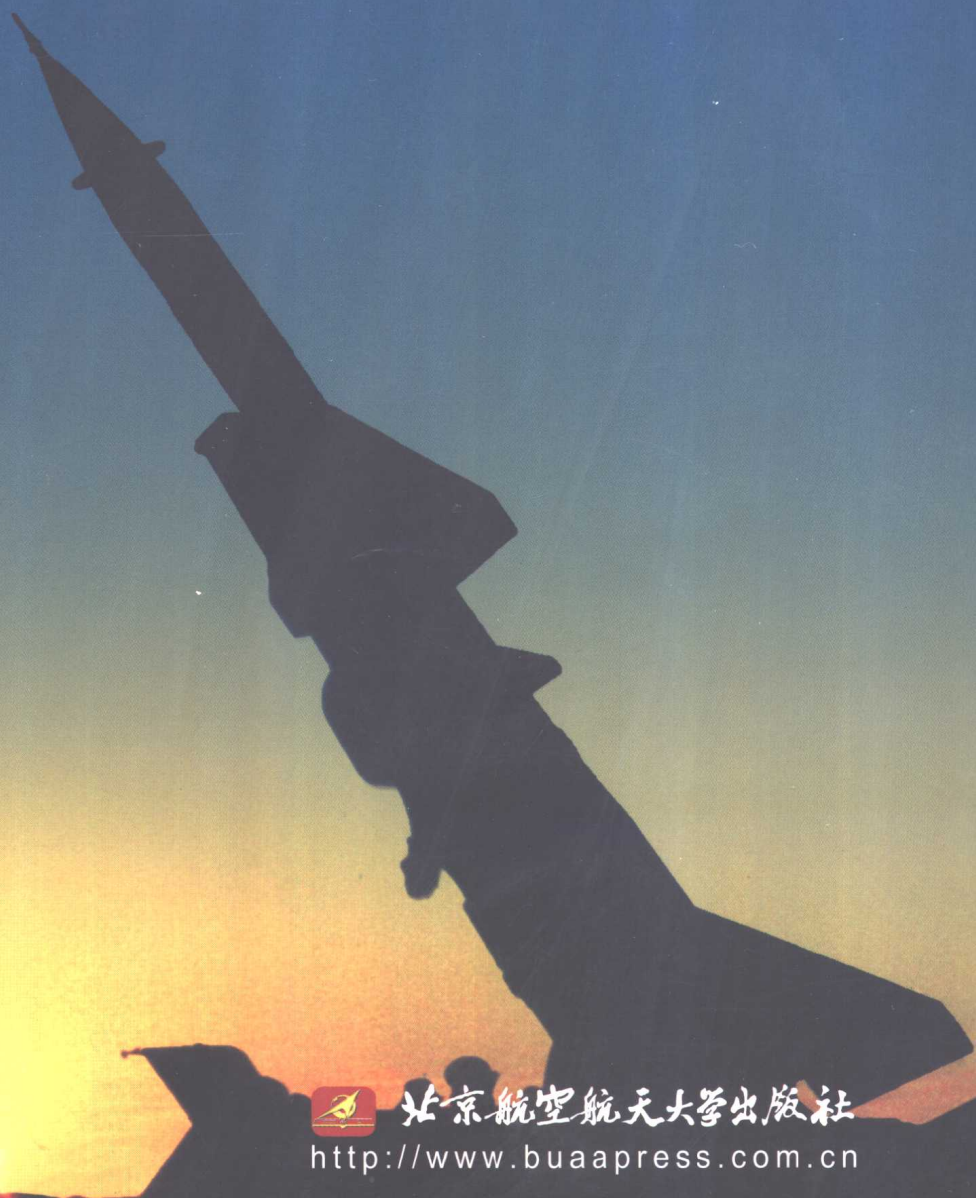


高等学校通用教材

有翼导弹系统分析与设计

过崇伟 郑时镜 郭振华 编著



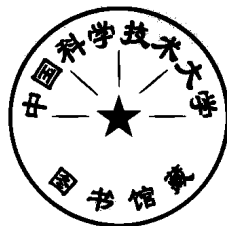
北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

高等学校通用教材

有翼导弹系统分析与设计

过崇伟 郑时镜 郭振华 编著



北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

内 容 简 介

本书运用系统工程的原理及方法,研究导弹早期设计(概念设计、初步设计)阶段中的分析与设计问题。主要研究对象是有翼导弹。内容包括工程系统的研究、分析方法(系统建模、预测、优化和评价技术)、导弹系统的概念设计和战术技术要求的论证、导弹主要参数的预测、外形设计、部位安排、杀伤概率与杀伤区、攻击区、可靠性、维修性、风险以及导弹系统的综合评价与设计等问题。

本书既可作为导弹设计专业本科生的“有翼导弹总体设计”或“有翼导弹系统的分析与设计”课程的教科书,也可作为相关专业的本科生选修课教材、研究生的参考书,也可供有翼导弹科研、设计、生产和使用部门的工程技术人员参阅。

图书在版编目(CIP)数据

有翼导弹系统分析与设计/过崇伟等编著. —北京:
北京航空航天大学出版社,2002.11

ISBN 7-81077-188-4

I. 有… II. 过… III. ①导弹—系统分析②导弹—设计 IV. TJ760.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 052397 号

有翼导弹系统分析与设计

过崇伟 郑时镜 郭振华 编著

责任编辑 胡 敏

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话 82317024 传真 82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: pressell@publica.bj.cninfo.net

河北省涿州市新华印刷厂印制 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:21 字数:538千字

2002年11月第1版 2002年11月第1次印刷 印数:1500册

ISBN 7-81077-188-4 定价:24.00元

前 言

系统工程(学)是以复杂系统为研究对象,从整体、全局出发,对其进行合理地研发、设计、生产和运用,使其效果达到“最优”的工程技术。

导弹武器系统是一种极为复杂的工程系统。研制、开发一种导弹武器系统,在确保已定的目标要求和约束条件下,必须运用现代系统工程的观点、理论和方法,才能合理地确定系统方案,并使其效果达到“最优”。本书即以此为宗旨,介绍、运用系统工程的原理与方法,研究有翼导弹系统早期设计(概念设计、初步设计)阶段的分析与设计问题。包括以下几个方面。

- 工程系统的研究、分析方法:系统建模、预测技术、优化技术、系统评价和综合设计等(霍尔三维结构的逻辑维);
- 有翼导弹的研制过程(霍尔三维结构的时间维);
- 有翼导弹早期设计阶段的设计问题:主要参数的预测、外形设计、部位安排、可靠性、维修性、可用性、可信性、经济性、能力(杀伤概率等)、风险与效能等(霍尔三维结构的知识维)。

本书的研究对象为有翼导弹(包括面对空、空对空、空对面和面对面导弹)系统,其中以气动力面控制的有翼导弹为主,即主要研究在大气层内飞行、以空气动力为操纵力(法向力)、质心运动的轨迹(弹道)随目标运动而变化的、带有战斗部和动力装置的无人驾驶飞行器。

本书是根据原航天部教育司航天教材编审室审定的教学大纲编写的。计划学时数为60学时。从专业的角度而言,其主要任务可以归纳为两个方面:一是运用系统工程的观点,根据系统目标,形成导弹系统的物理概念和战术技术要求;二是根据形成的导弹系统的物理概念和战技要求,确定导弹的总体方案。其主要内容也可以归纳为两个方面:一是系统工程(学)的基本概念、基本理论和基本方法;二是导弹系统概念设计和初步设计所涉及的专业知识与设计原理。全书共分9章,具体包括以下内容:

1. 系统工程的基本概念、基本理论和基本分析方法(第1章);
2. 导弹系统的概念设计和战术技术要求的分析与论证(第2章);
3. 导弹主要参数的预测、外形设计和部位安排(第3、4、5章);
4. 导弹综合性能(杀伤概率、杀伤区、发射区和攻击区)的计算(第6章);
5. 导弹系统的可靠性、维修性和经济性(第7、8章);
6. 导弹系统的综合设计(第9章)。

各章之后均附有思考题、习题。

“有翼导弹总体设计”或“有翼导弹系统分析与设计”是有翼导弹设计专业本科生必修的主要专业课之一,本书可作为其教科书,亦可作为相关专业本科生选修课的教材和研究生的参考书。有翼导弹系统分析与设计,需要多方面的基础理论和专业知识。根据有翼导弹设计专业本科生的教学计划,学习本课程之前的选修课有:空气动力学、有翼导弹飞行动力学、自动控制原理、导弹概论、导弹制导系统、导弹工程(有翼导弹结构设计原理)、技术经济管理和工艺学等。本教材在内容的选择上,注意到与上述有关课程内容的协调与衔接。

系统工程(学)是综合性很强的工程技术,其应用领域十分广阔。本书的研究对象——导弹系统又是一种极为复杂的大系统,所涉门类繁多;不同类型的导弹系统,在设计中所遇到的问题也不尽相同。目前,这类导弹已从反飞机、反舰艇和反坦克等攻击传统的典型目标发展到反导弹(包括反弹道导弹和反巡航导弹等)和反卫星等攻击导弹和空间目标。有翼导弹系统早期设计阶段所遇到的技术问题十分广泛和复杂,速度范围从亚、跨、超直至高超声速,高度可超过稠密大气层。不言而喻,本书区区数十万字,不可能涉及有翼导弹早期设计阶段可能遇到的所有问题(涉及空气动力学、飞行力学、推进、制导、计算机应用和系统工程等多种专业知识),不可能也无必要对所有可能遇到的问题提出完全肯定的解决办法,只能舍去其中专业性过强的、次要的,选择主要的、基本的问题来加以研究、分析和讨论,以此作为学习有翼导弹系统早期设计阶段的分析与设计知识的入门。有志献身于我们祖国国防现代化事业的青年,只有不断地通过科研、生产实践,总结经验,关心本专业国内外有关技术的发展动向和最新成就,才能成为真正的有翼导弹系统分析与设计的专家。

参加本书撰写工作的有过崇伟(第1、7、8、9章)、郑时镜(第3、4章)和郭振华(第2、5、6章)。过崇伟主编,文仲辉教授主审。在编撰过程中,我们虽然力求阐述准确、系统、全面,具有工程应用价值,论述文字简炼,辞达其意,深入浅出,通俗易懂,插图从简,但限于我们的水平,必然存在不少错误和缺点,希望读者和专家们批评、指正。本书在编撰过程中,参考了大量国内外文献资料和兄弟院校的有关教材,在此,对原作者深表谢意。文仲辉教授审阅本书后,提出了很多宝贵的意见。根据他的意见,我们对原稿一一作了修改,在此一并致谢。

作者

2002年9月

目 录

第 1 章 系统工程的基本原理	1
1.1 系统和系统工程	1
1.1.1 系统的基本概念、特征及其分类.....	1
1.1.2 系统工程及系统分析	2
1.2 导弹、导弹(武器)系统的定义及其基本组成.....	4
1.2.1 导弹的定义及其分类	4
1.2.2 导弹系统的定义及其组成	5
1.3 工程系统的研究、分析方法.....	7
1.3.1 系统建模	7
1.3.2 预测技术.....	13
1.3.3 优化技术.....	16
1.3.4 系统评价.....	32
1.4 导弹系统的研制过程.....	36
1.4.1 概 述.....	36
1.4.2 导弹系统的研制过程.....	37
第 2 章 导弹系统的概念设计和战术技术要求的论证	43
2.1 概念设计的任务、内容及其工作步骤	43
2.1.1 概念研究.....	43
2.1.2 概念设计阶段系统概念的形成过程.....	44
2.2 战斗技术要求.....	48
2.2.1 战术技术要求的基本概念.....	48
2.2.2 有翼导弹战术技术要求的主要内容.....	48
2.3 典型目标分析.....	50
2.3.1 目标分类.....	50
2.3.2 典型目标的分析.....	50
2.4 战斗部类型的选择.....	52
2.4.1 爆破战斗部的基本特性.....	52
2.4.2 杀伤战斗部的基本特性.....	55
2.4.3 聚能战斗部的基本特性.....	59

2.4.4	战斗部类型的选择	61
2.5	制导系统类型的选择	62
2.5.1	对制导系统的要求	62
2.5.2	攻击固定目标的制导系统	63
2.5.3	攻击活动目标的制导系统	64
2.5.4	采用复合制导的原则和转接问题	65
2.6	动力装置类型的选择	67
2.6.1	几种动力装置的基本特性	67
2.6.2	动力装置类型的选择	70
2.7	发射方式的选择	73
2.7.1	发射装置的战术技术要求	75
2.7.2	陆(海)基发射方式	75
2.7.3	空基发射方式	77
2.7.4	海基发射方式	78
2.8	飞行特性的选择	78
2.8.1	射程 l 或斜距 d	78
2.8.2	飞行速度 v	80
2.8.3	高度 H	81
第3章	导弹主要参数的预测	84
3.1	有翼导弹的主要参数及其预测方法	84
3.1.1	有翼导弹的主要参数	84
3.1.2	主要参数的预测方法	85
3.1.3	设计情况的选择	85
3.2	导弹质量的预测模型	86
3.2.1	导弹的质量方程式	86
3.2.2	导弹第二级推进剂相对质量系数 K_{pr} 的预测模型	87
3.2.3	发动机结构相对质量系数 K_{en} 的预测模型	94
3.2.4	弹体结构相对质量系数 K_s 的预测模型	95
3.3	推力特性的选择	97
3.3.1	拦截状态的选择	97
3.3.2	推力状态的选择	97
3.3.3	速度特性 $v(t)$ 的选择	99
3.3.4	推重比 \bar{F} 的预测	102
3.4	翼载的预测	106
3.4.1	选择翼载时应考虑的一些主要因素	106
3.4.2	计算需用过载的近似方法	109
3.5	助推器主要参数的预测	111
3.5.1	级数的选择	111

3.5.2 助推器主要参数的预测	111
3.6 导弹主要参数的预测步骤与近似估算法	116
3.6.1 导弹主要参数的预测步骤	116
3.6.2 推进剂相对质量系数 K_{pr} 的近似解法	117
3.6.3 几种特殊情况下,推进剂相对质量系数 K_{pr} 的近似计算	121
第4章 导弹的外形设计	125
4.1 外形设计的主要要求	125
4.2 导弹的气动布局	126
4.2.1 翼面沿弹身周向的配置形式及其特点	126
4.2.2 翼面沿弹身纵向的配置形式及其特点	128
4.2.3 助推器的安排形式	138
4.3 外形几何参数的选择和几何尺寸的确定	139
4.3.1 弹翼几何参数的选择	139
4.3.2 舵面和安定面几何参数的选择和尺寸的确定	147
4.3.3 弹身几何参数的选择	152
4.4 单通道控制的自旋式导弹以及 BTT 导弹的外形特点	157
4.4.1 单通道控制的自旋式导弹的外形特点	157
4.4.2 倾斜转弯(BTT)导弹的外形特点	158
第5章 导弹的部位安排与质心定位	162
5.1 导弹部位安排的任务及其基本要求	162
5.2 保证稳定性与操纵效率问题	162
5.2.1 导弹静稳定度的确定	163
5.2.2 放宽静稳定度	170
5.2.3 改变静稳定度的方法	173
5.3 保证弹上设备的工作条件问题	174
5.3.1 战斗部系统	174
5.3.2 弹上制导设备	174
5.3.3 动力装置	176
5.4 保证弹体主要承力结构的协调和减小导弹尺寸、质量问题	178
5.4.1 减小有效载荷及其尺寸	178
5.4.2 提高弹身空间的利用率,增大导弹的密度	179
5.4.3 缩短传力路线	179
5.4.4 综合利用承力构件	179
5.4.5 减少分离面和开口	180
5.4.6 采用整体式结构	180
5.4.7 其他	180
5.5 保证工艺和使用要求问题	181

5.5.1	工艺性问题	181
5.5.2	使用维修问题	182
5.6	质心定位和转动惯量的计算	183
5.6.1	质心定位	183
5.6.2	质量和质心的计算	185
5.6.3	转动惯量的计算	186
5.7	导弹的三面图和部位安排图	187
第6章	杀伤概率、杀伤区与攻击区	192
6.1	战斗部的杀伤区及其与引信启动区的配合	192
6.1.1	战斗部的动态杀伤区	192
6.1.2	引信与战斗部的配合	195
6.2	制导误差——系统误差与随机误差	203
6.2.1	几种弹道术语	203
6.2.2	误差的分类	204
6.2.3	误差的散布规律	206
6.2.4	制导误差的确定方法	209
6.3	单发导弹攻击单个目标时的杀伤概率以及连续发射时的杀伤概率的计算	211
6.3.1	单发导弹攻击单个目标时杀伤概率的一般表达式	211
6.3.2	单发导弹攻击单个目标时的杀伤概率的计算	212
6.3.3	连续发射 n 发导弹攻击单个目标时的杀伤概率	214
6.3.4	杀伤目标的数学期望	214
6.4	地空导弹的杀伤区与发射区	215
6.4.1	杀伤区与发射区	215
6.4.2	限制杀伤区远界的主要因素	217
6.4.3	限制近界的主要因素	219
6.4.4	限制高界的主要因素	221
6.4.5	限制低界的主要因素	222
6.4.6	限制杀伤区最大高低角(侧界)和最大航路角的因素	222
6.5	空空导弹的攻击区	223
6.5.1	概 述	223
6.5.2	限制远边界的主要因素	224
6.5.3	限制近边界的主要因素	227
6.5.4	限制侧边界的主要因素	229
第7章	导弹系统的可靠性与维修性	236
7.1	概 述	236
7.2	可靠性与维修性的基本概念及其量化指标	237
7.2.1	可靠性的基本概念及其量化指标	237

7.2.2	维修性的基本概念及其量化指标	243
7.3	可靠性的数学模型、预测与分配	246
7.3.1	不维修系统可靠性模型的建立	247
7.3.2	可维修系统的可用度	253
7.3.3	可靠性的预测方法	258
7.3.4	可靠性分配	261
7.4	可靠性与维修性的设计准则	263
7.4.1	可靠性设计准则	263
7.4.2	维修性设计准则	266
7.5	早期设计阶段的可靠性与维修性工作	267
第 8 章	导弹系统的经济性	271
8.1	寿命期费用的定义及其构成	271
8.1.1	研究和发 展费用 RDC	272
8.1.2	生产费用 PC	273
8.1.3	使用和保障费用 OSC	274
8.2	寿命期费用的估算方法和资金的时间价值	275
8.2.1	参数分析法	275
8.2.2	类比分析法	279
8.2.3	类推分析法	280
8.2.4	专家调查法	281
8.2.5	工程估算法	281
8.3	导弹生产费用的联系方程	288
8.3.1	装有液体火箭发动机的弹体、发动机和推进剂的生产费用	289
8.3.2	装有固体火箭发动机的弹体、发动机和推进剂的生产费用	290
8.3.3	装有涡轮喷气发动机的弹体、发动机和燃料的生产费用	291
8.4	按费用设计(DTC)概述	291
8.4.1	按费用进行设计的基本原则及其要点	292
8.4.2	确定 DTC 指标的原则与方法	292
第 9 章	导弹系统的综合设计	296
9.1	综合设计的基本概念、方法和步骤	296
9.1.1	概 述	296
9.1.2	综合评价方法	297
9.1.3	综合评价的步骤	300
9.2	风险分析	302
9.2.1	概 述	302
9.2.2	风险的定义和分类	304
9.2.3	风险的确认、评估和消除	305

9.3	效能/费用(或费用/效能)分析与效能量度	311
9.3.1	效能/费用分析.....	311
9.3.2	系统的效能量度	312
9.4	可靠性和维修性的综合设计	317
9.4.1	技术方面	318
9.4.2	经济方面	318
9.5	早期设计阶段的综合设计	320
9.5.1	概 述	320
9.5.2	早期设计阶段综合权衡的主要内容	320

第 1 章 系统工程的基本原理

1.1 系统和系统工程

目前,“系统”和“系统工程”的概念,在社会生活(包括军事、经济、生产、科研和生态环境等方面)中,已为人们广泛地应用,而且越来越受到人们的普遍关注。

1.1.1 系统的基本概念、特征及其分类

1. 系统的基本概念与特征

系统可定义为:由相互关联、相互作用、相互制约的诸多部分或要素组成的,具有特定功能的有机整体。上述定义的系统,其功能可以各不相同,组成可以千差万别,规模可能相差十分悬殊,但都应具有以下特征,即共同属性。

(1) 目的性:系统应具有明确的或预期的目标。系统的目标可能是单一的,也可能是多方面的。多个目标又可有主、次之分。系统的各个组成部分集成为一个整体,共同完成预定的或预期的特定任务。具有相同组成部分的系统,可具有不同的功能,完成不同的目标。这是因为各个组成部分之间的联系可以是不同的。没有明确目标的系统,其效能就无从谈起。

(2) 集合性:系统必须由两个或两个以上的部分或要素(部件、元件、单元和环节等)组成。一个部分或要素不能成为系统。

(3) 相关性:组成系统的部分或要素必须是相互关联、相互作用和相互制约的。在一定条件下,通过物质的、能量的或信息的传递,影响系统预定的或预期的功能或目标。

(4) 有序性:系统是部分或要素的集合。其内部结构通常表现为一种多层次结构或多级递阶结构。一个系统可以包含许多子系统(分系统),子系统又可以由一些更小的部分——亚子系统组成,而亚子系统又可以由一些更小的部分组成。这些多层次或多级递阶结构之间相互关联、相互作用和相互制约,从而组成一个有机的整体。

(5) 适应性:在系统周围存在着各种外界因素或事物。如果这些外界因素或事物的属性、状态及其变化对系统功能具有影响和作用时,他们就成为系统的环境。系统的存在及其运行也会对周围环境发生影响。两者之间相互作用和相互影响,就有可能使系统失去其部分或全部功能。当系统受到环境的影响和作用而其功能和性质不发生根本变化时,则认为该系统具有环境的适应性。系统必须具有环境的适应性,即在周围环境的影响和作用下,保持或恢复其固有功能的能力。

(6) 预决性:在时间、空间或数量上,系统的内部和外部因素通常具有随机性。预决性表现在一定条件下,系统应能通过数学的、统计的和预测的方法,确定无序到有序的演化规律,从而使系统产生有序的结构。

2. 系统的分类

为便于分析、研究由诸多部分组成的系统,可按不同的标准和需要对其进行分类。

(1) 按系统的构成可分为自然系统与人造系统。前者由自然物构成;而后者则是人工制造的。

(2) 按系统的内在规律可分为物理的和非物理的系统。后者包括社会系统和经济系统等。

(3) 按系统与其环境的关系可分为开放系统和封闭系统。前者与环境具有物质、能量或信息的交换;后者与其所处的环境是隔绝的。封闭系统的概念只是相对的,严格地说,不存在绝对的封闭系统。

(4) 按系统的状态与时间的关系可分为静态系统和动态系统。前者的状态参数与时间无关;而后者则与时间有关。静态系统的概念也是相对的,没有绝对的静态系统。

(5) 按系统是否存在不确定因素可分为确定性系统和不确定性系统。

(6) 按系统的规模可分为简单(小)系统和复杂(大)系统。

除上述几种分类外,还可以按其他标准与需要进行分类。属于工程系统(以大型工程项目为研究对象)的导弹(武器)系统,通常是人造的、物理的、开放的、动态的、不确定性的复杂系统。

1.1.2 系统工程及系统分析

1. 系统工程的定义及其三维结构

系统工程(学)是以复杂系统为研究对象,从整体出发,合理地开发、设计、实施和运用,并使其效果达到“最优”的工程技术。它根据整体(总体)的功能要求,综合运用运筹学(包括线性规划、非线性规划、动态规划、图论、网络理论、决策论、博弈论和排队论等)、控制论、信息论、经济学以及管理科学,以电子计算机为工具,对系统的结构、要素、信息和反馈等进行分析,通过最优规划、最优设计、最优管理和最优控制,从而使系统达到整体功能最优的目的。系统工程所研究的对象——系统千差万别,其功能要求,即目标也不尽相同,因此,系统工程(学)难于提出在任何情况下均普遍适用的工作内容、方法与步骤。1969年,由美国学者 A. D. 霍尔提出的三维结构,至今仍普遍认为展示、概括了系统工程一般的工作内容、方法和步骤。其要点可概括为如下:

时间维

系统工程从规划到更新、废弃,可分为:规划、计划、开发、制造、安装、运行和更新等7个阶段。

逻辑维

系统工程的每个阶段要经历7个步骤。① 明确问题。② 确定目标及其评价标准。③ 系统综合,包括拟定可行方案、建立模型。④ 进行系统分析,包括对各种可行方案的性能、特点,对预定任务可能实现的程序和优劣次序作出评价。⑤ 优化方案。⑥ 作出决策。⑦ 实施计划等。

知识维

包括为完成各个阶段和各个步骤所需要的各种知识、技术和技能。系统工程不同学科的应用领域(工程、社会、经济、农业、企业、科学技术、管理、军事、生态环境、人才开发、运输、能源和区域规划系统工程等)的理论基础,除了共同性的基础之外,还有各自的专业知识。工程系统的专业基础是工程设计,对于不同对象的设计规律也有所不同。霍尔三维结构(系统工程形态图)为系统工程提供了一种广泛采用的方法论,集中体现了系统工程方法的总体化、综

合化、最优化、程序化和标准化等特点。

2. 系统分析

从霍尔三维结构中可以看出:系统分析是系统工程逻辑维中的一个步骤,是应用建模、仿真等技术,以系统的功能要求为中心,对系统的各个部分进行定量的和定性的分析,为选择最优的系统方案提供依据,有目的、有步骤地分析和研究的过程。有时将系统工程的工作步骤分为系统分析、系统设计和系统实施三个阶段。从广义上理解,系统分析可作为系统工程的同义语。系统分析的基本内容,即基本要素是:建立、分析与研究系统的目标、可行方案、模型、效果、费用、评价准则和结果与建议等七个方面。

(1) 在进行系统分析时,其工作步骤大体如下所列。

- ① 确定所建系统的目标与功能要求。
- ② 进行充分的调查研究,收集资料,充分了解系统环境和约束条件。
- ③ 提出可行方案,建立系统模型,确定影响系统功能的主要因素及其相互关系。
- ④ 进行仿真实验,确定达到预期目标的程度(效果)和费用,按评价准则进行优化。
- ⑤ 将计算、实验和分析的结果同预定的任务或目标进行比较和评价,确定最优方案并提出建议。

(2) 上述这些步骤是相互关联的,需要不断地反复进行。系统分析应遵循的基本原则如下。

- ① 在对系统的各种可行方案进行研究、分析、比较时,应以系统的目的或目标为中心。
- ② 应从系统总体最优出发,考虑系统分析中所要解决的各种问题。有时,有些子系统从局部看是合理的、经济的、甚至是先进的,但从系统总体看是不合理的、不经济的。在这种情况下,这种子系统方案是不可取的。相反,在某些情况下,从子系统方面看是不合理的、不经济的,但组成系统后,从总体上看是合理的、经济的。这种子系统方案则仍是可取的。总之,应从系统总体的全局出发,来考虑与分析问题。

③ 系统分析常采用定量分析与定性分析相结合的方法。要求定量分析是系统工程的特点之一。因此,在进行系统分析时,应该尽可能地将各种因素进行量化。但在工程实践中,有许多因素目前还难于量化。因此,在系统分析时,又不能完全避免采用定性分析的方法,需要利用分析者和决策者的直觉和经验进行综合判断。但是,不论是定量分析还是定性分析,都要确定一定的准则或标准,作为共同的量度参与评定。

④ 系统分析不应拘泥于细节,应以系统目的或目标为中心,抓住主要矛盾,并致力于提出解决主要矛盾的方法和措施。

⑤ 应具有相关与制约的观点。由诸多部分组成的系统,是相互关联、相互作用和相互制约的。它不仅受内部因素的影响,而且也受外部条件(环境)的制约。对导弹(武器)系统,不仅受诸多子系统的技术基础、研制经验与水平和试验条件等的影响,而且还受到许多外部条件如作战环境,使用部队的战术、技术水平,攻击的目标类别和敌方可能采取的对策等的影响。在系统分析时,必须将内部条件和外部条件的相关与制约关系、当前与长远的目标结合起来综合考虑,既要考虑长远的目标和发展前景,又要立足于当前的技术水平和现实可能性。

(3) 系统设计就是在系统分析的基础上,设计出能满足预定目标的系统的过程。工程系统的设计过程,一般包括三个阶段。

① 第一阶段:研究系统的目的、要求和所需“资源”,并将其转化为系统的基本功能要求,形成初步的概念和方案。对所形成的、能满足任务目的或目标的可行方案,从性能、费用和进

度等方面进行分析、对比和权衡,判断可能存在的风险,并提出减小风险的技术措施,从而筛选出最优和次优(准优)的可行方案,提出子系统的基本功能要求和着手制订相应的工程实施计划。这个阶段,称之为概念设计(概念研究)阶段。

② 第二阶段:按评价准则和其他特定任务的目的或目标,对第一阶段所形成的概念和方案(以最优和次优的为主)进行进一步的评估、分析;验证前一阶段提出的基本功能要求是否恰当;选择适宜的设计方法,寻求满足系统要求的最佳的技术途径和技术配置(实际的综合硬件和软件),确定系统的总体方案和主要技术性能参数;制造全系统或分系统的工程样机等。这个阶段,被称为初步设计(也称总体设计或草图设计)阶段。它是寻求、完成工程系统总体方案和总体技术途径的设计阶段。

③ 第三阶段:将前一阶段所确定的最优或最优和次优两个系统及其分系统方案进行详细的技术设计,对关键项目进行试验,测定与评估其性能是否满足设计要求或预期的目标。其中包括可靠性、生产工艺性、使用维修性、经济性和风险等。这个阶段,被称为技术设计(详细设计)阶段。

上述三个设计阶段是相互关联的,不能截然分开,通常,需要经过反复迭代、穿插进行才能最后完成。对于每个设计阶段,最后都必须通过评审作出评价。一般统计结果表明,概念设计阶段结束时,大约耗费了寿命期费用的3%左右,但已决定了该系统70%的寿命期费用。因为这时系统结构的基本框架已经确定下来了。在初步设计和技术设计阶段结束时,一般约耗费了寿命期费用的10%~15%,但这过程已决定了该系统寿命期费用的90%以上。因为这时已确定了该系统的生产过程、要求和规模,从而决定了相应的生产费用。可见,前两个设计阶段的工作及其决策是非常重要的。一个工程系统的优劣,甚至成败和前景,主要取决于前两个设计阶段的决策。

(4) 系统设计的基本方法有两种:

① 归纳法。在收集和统计已有的与在研的同类系统的设计、制造和运用资料的基础上进行分析研究,根据所设计系统的目的或目标及其功能要求进行评选,然后对少数几个相近的系统作出相应的修正,得到能满足系统目标及其功能要求的系统方案。通过优化,最后得到最优和次优的系统方案。

② 演绎法。应用通用的规则与原理、设计人员的知识与经验,选择能符合系统目标及其功能要求的元素及其组合形式,通过评价和优化,从而创造出能符合功能要求的新系统。

这两种基本方法,在工程实践中通常是并用的。

1.2 导弹、导弹(武器)系统的定义及其基本组成

1.2.1 导弹的定义及其分类

1. 导弹的定义及其特点

导弹是装有战斗部和动力装置的可制导的无人驾驶飞行器。它通常由战斗部(含引信)、动力装置、弹上制导设备(含能源)和弹体等组成。其任务是将战斗部导向目标或其附近,加以引爆并杀伤目标。它是在第二次世界大战末期开始发展起来的新式武器。第二次世界大战后,世界各国,特别是军事强国都十分重视导弹武器的发展,投入了大量的人力、物力与财力。

半个多世纪以来,导弹技术得到了迅猛的发展。因其攻击距离远,准确度高,威力大,它已日益成为现代战争的重要手段与工具。20世纪70年代以来的第四次中东战争、马岛战争和海湾战争等都足以证明这一点。它现已成为国防现代化的主要标志之一。

2. 导弹的分类

(1) 按结构和飞行(弹道)特点进行分类,导弹可分为弹道导弹和有翼导弹(非弹道导弹)两大类。前者主要在稠密大气层以外飞行,除可控的主动段和再入段外,其质心运动的轨迹是只受地球引力(重力)作用的椭圆形空间曲线。现代的弹道导弹不仅没有弹翼,而且没有或仅有面积不大的安定面,采用推力矢量控制;后者主要在稠密大气层内飞行,一般利用弹翼和(或)弹身所产生的空气动力实现其质心运动的控制。

(2) 按发射点和目标的位置进行分类,有翼导弹可分为地(面)对地(面)、地(面)对空、空对地(面)和空对空导弹等。

1.2.2 导弹系统的定义及其组成

导弹系统是导弹以及用于完成发射准备、瞄准、发射和制导等任务的地面设备的总称。其中包括为完成导弹射前准备的对接、起重、装卸、运输、加注、装填(导弹)、洗涤、标定、检测和能源供应等勤务保障设备以及有关的工程设施等。导弹系统的俗义是弹(导弹)、站(制导站)和架(发射装置)的总称,导弹系统的核心是导弹。

导弹武器系统则是由若干个导弹系统与协调、控制各导弹系统作战的情报、通信、指挥和火力控制系统(C³I系统)所组成的大系统。它是导弹及其维护、协调作战、射前准备与发射和制导导弹共同完成作战任务的各种设备的总称。导弹系统是导弹武器系统的主要组成部分。

图1-1是一种半主动雷达寻的制导的地空导弹武器系统的示意图。由图1-1可以看到,该导弹武器系统由导弹及其地面设备所组成。其中,地面设备包括连续波和脉冲目标搜索雷达1、2,大功率目标照射雷达3,测距雷达4,信息与控制中心5(分装于两辆机动车内,用来完成火控数据处理和作战通信,进行目标自动探测、敌我识别、威胁判断、自动分配目标并控制导弹的发射等任务),三联装发射装置6,电源车7,运输装填车8和测试台9等组成,其他地面勤务保障设备,在图1-1中未示出。

导弹武器系统的组成取决于导弹的类型及其构造特点。导弹的类型、构造(包括制导系统和动力装置的类别及其构成特点)和发射方式不同,导弹武器系统的构成可有很大的差别,但通常具有以下功能:储存导弹并在使用前进行启封、对接、装填和测试,运送导弹到发射阵地并将导弹安装到发射装置上;探测目标并进行初始瞄准;进行射前准备与控制发射;制导导弹使其与目标交会;引爆战斗部并确定其攻击效果;进行通信指挥;提供各种能源等。

不言而喻,导弹武器是系统,具有系统的共同属性。

目的性:在一定的杀伤区纵深内杀伤目标。

集合性:导弹武器结构复杂,由诸多单元(零件、构件、部件、成件、元器件等)组成。

相关性:导弹武器的各个组成部分都直接或间接的相互关联、相互作用和相互制约,在一定的条件下,各自完成预期的功能。

有序性:导弹(武器)系统组成部分的结构是一种多层次结构。以半主动雷达寻的制导的固体导弹为例,其子系统(一级子系统)可划分为:战斗部系统、弹上制导设备、动力装置和弹体。各子系统又可分别划分为下一个层次的亚子系统(二级子系统),如表1-1所列。

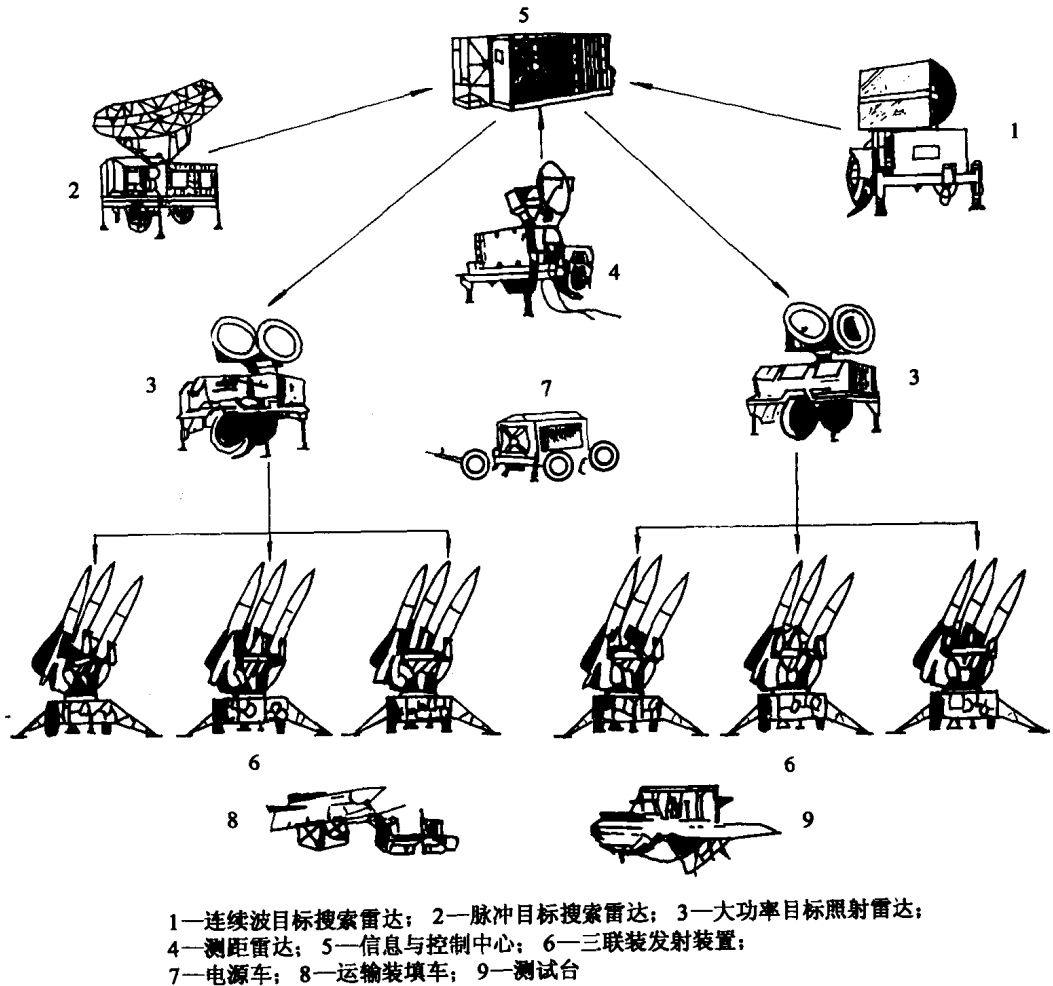


图 1-1 一种地空导弹武器系统的示意图

表 1-1 半主动雷达寻的制导固体导弹的子系统 and 亚子系统

系统名称	子系统名称	亚子系统名称
导 弹	战斗部系统	战斗部、引信和保险装置
	弹上制导设备	导引头、自动驾驶仪(伺服机构除外)、伺服机构能源系统等
	动力装置	燃烧室、药柱、喷管、点火装置等
	弹体	弹身、弹翼、舵面(对鸭式或正常式)、操纵机构等

表 1-1 中的亚子系统,可向下划分为更低层次的子系统(三级子系统、四级子系统、……)。

适应性:当系统环境发生变化时,在一定条件下,导弹(武器)系统具有保持或恢复其固有功能的能力。

预决性:该系统在一定条件下,可通过数学的、统计的和预测的方法确定系统内部和外部的随机因素,如作用于导弹的干扰、导弹的散布和杀伤目标的概率等。

本教材的研究对象为有翼导弹系统。为寻求有翼导弹系统整体功能“最优”,必须应用系统工程(学)的基本理论与方法;另外,由于研究对象——有翼导弹系统的特殊性,还必须具有