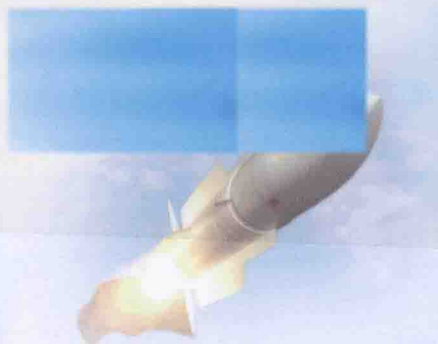


空天力学系列教材



# 导弹结构设计与分析

主编/李道奎  
副主编/周仕明

 科学出版社

空天力学系列教材

# 导弹结构设计与分析

主 编 李道奎

副主编 周仕明



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书较系统地阐述了导弹结构设计与分析的原理和方法, 共由 7 章组成, 可分为两大部分; 第一部分从整体上介绍导弹结构的概念与组成和结构设计的基本概念, 以及导弹的载荷分析和结构分析方法; 第二部分主要介绍导弹弹翼、弹身和弹上机构的结构形式、设计原理和设计方法, 并简要介绍导弹结构材料的分类、选用原则等内容。

本书可作为高等院校飞行器设计专业本科生或研究生的教材, 也可作为从事导弹总体结构设计与分析等工作的工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

导弹结构设计与分析 / 李道奎主编. —北京: 科学出版社, 2019.3

空天力学系列教材

ISBN 978-7-03-060764-5

I. ①导… II. ①李… III. ①导弹结构-教材 IV. ①TJ760.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 043692 号

责任编辑: 潘斯斯 于海云 王晓丽 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 3 月第一次印刷 印张: 12

字数: 300 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

导弹结构是用于构成导弹外形、连接和安装弹上各分系统且能承受各种载荷的整体结构,主要包括弹身、翼面、操纵机构、分离机构、折叠机构等部分。对导弹结构进行合理的载荷分析、结构分析和结构设计,是导弹保持其完整性并完成其功能的重要保证。本书正是从这三个方面出发,既介绍导弹结构在全寿命周期内所受的载荷以及载荷分析方法,也介绍导弹结构的静力学和动力学分析方法,以及导弹各部分结构的结构形式和设计方法,力求让学习本书的人员掌握导弹结构设计的基本方法,初步具有对导弹结构进行分析与设计的能力。

本书是高等院校飞行器设计专业本科或研究生的教材。全书共7章:第1章主要介绍导弹的结构与功用、导弹结构系统的研制过程、导弹结构设计的概念与内容、导弹结构设计的基本要求和原始条件及程序;第2章主要介绍载荷的种类,过载系数、静载荷、动载荷、使用载荷、设计载荷、安全系数等概念或计算方法;第3章主要介绍导弹结构静强度分析、动特性分析与设计、动响应分析与设计、气动弹性问题的基本概念等;第4章和第5章主要介绍弹翼和弹身结构的功用与设计要求、结构形式与传力分析、弹翼及其与弹身的连接设计、弹身舱段及连接的设计等;第6章主要介绍操纵机构与分离机构的功用和组成、设计要求与构造等;第7章主要介绍导弹结构材料的分类、选用原则、常用的金属材料及其性能、复合材料及其应用等。

参加本书编写的有李道奎和周仕明,李道奎任主编。其中李道奎编写第1~6章,周仕明编写第7章,全书由李道奎统稿。在本书编写过程中,得到了国防科技大学许多同志的支持与帮助,特别是帮我录入和校对的老师及研究生,在此一并表示感谢。

本书由雷勇军主审,他对本书提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,本书中难免存在一些不妥之处,恳请读者批评指正。

主编李道奎 E-mail: lidaokui@nudt.edu.cn。

编 者

2018年11月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 导弹的结构与功用	1
1.1.1 导弹的概念与组成	1
1.1.2 弹体结构及其功用	1
1.2 导弹结构系统的研制过程	3
1.2.1 主要研制阶段	3
1.2.2 方案阶段	4
1.2.3 工程研制阶段	4
1.2.4 设计定型和生产定型阶段	5
1.3 导弹结构设计的概念与内容	5
1.3.1 导弹结构设计的概念	5
1.3.2 导弹结构设计的内容	6
1.4 导弹结构设计的基本要求	7
1.4.1 空气动力要求	7
1.4.2 强度、刚度与可靠性要求	8
1.4.3 质量特性要求	8
1.4.4 工艺性要求	8
1.4.5 使用维护要求	8
1.4.6 经济性要求	9
1.4.7 环境适应性等特殊要求	9
1.5 导弹结构设计的原始条件	9
1.6 导弹结构设计的程序	10
1.6.1 结构方案论证	10
1.6.2 结构设计技术要求的提出	11
1.6.3 载荷计算	12
1.6.4 试验件设计	12
1.6.5 强度校核与刚度估算	12
1.6.6 必要的强度、刚度及构造试验	12
1.6.7 生产图纸的绘制和技术文件的编写	13
习题一	13
第 2 章 导弹的载荷分析	15
2.1 作用在导弹上载荷的种类	15
2.1.1 导弹结构的受载情况	15
2.1.2 载荷的性质和分类	16

2.2	过载系数	17
2.2.1	过载系数的概念与表达形式	17
2.2.2	弹体转动时引起的过载	20
2.2.3	典型情况的过载计算	21
2.3	导弹上的静载荷	30
2.3.1	导弹载荷计算的一般方法	30
2.3.2	导弹的设计情况	32
2.3.3	弹体内力的计算	35
2.4	导弹上的动载荷及载荷的综合设计	38
2.4.1	主要的动力学激励源及激励函数性质	38
2.4.2	动载荷分析	38
2.4.3	载荷的综合设计	39
2.5	使用载荷、设计载荷和安全系数	40
2.5.1	使用载荷	40
2.5.2	设计载荷	40
2.5.3	安全系数	40
	习题二	42
<b>第3章</b>	<b>导弹结构分析</b>	<b>44</b>
3.1	导弹结构的静强度分析	44
3.1.1	强度的概念	44
3.1.2	强度分析的分类	44
3.1.3	强度分析的判别准则	45
3.1.4	结构分析方法	47
3.1.5	结构分析模型	47
3.1.6	强度分析步骤	48
3.2	导弹结构的动特性分析与设计	49
3.2.1	导弹结构动特性的概念	49
3.2.2	结构动力学模型的建立	49
3.2.3	弹体固有特性分析	52
3.2.4	弹体固有特性设计与调整	64
3.3	导弹结构的动响应分析与设计	66
3.3.1	动响应的基本概念	66
3.3.2	动响应分析的基本方法	66
3.3.3	减振措施	68
3.4	导弹的气动弹性问题简介	68
3.4.1	基本概念	68
3.4.2	研究范畴	69
3.4.3	主要研究内容	69
	习题三	70

第 4 章 弹翼结构设计 .....	73
4.1 弹翼的功用与设计的要求 .....	73
4.1.1 弹翼的功用 .....	73
4.1.2 弹翼的设计要求 .....	73
4.2 弹翼的结构形式 .....	74
4.2.1 骨架蒙皮式弹翼 .....	74
4.2.2 整体壁板式弹翼 .....	76
4.2.3 夹层结构式弹翼 .....	78
4.3 弹翼的传力分析 .....	80
4.3.1 传力分析的概念 .....	80
4.3.2 单梁式弹翼的传力分析 .....	81
4.4 骨架蒙皮式弹翼的设计 .....	88
4.4.1 翼梁的设计 .....	88
4.4.2 翼肋的设计 .....	90
4.4.3 桁条的设计 .....	92
4.4.4 蒙皮和屏格尺寸的设计 .....	92
4.4.5 弹翼的校核计算 .....	93
4.5 其他形式弹翼的设计 .....	93
4.5.1 小展弦比整体壁板式弹翼的设计 .....	93
4.5.2 夹层结构式弹翼的设计 .....	96
4.6 弹翼与弹身的连接设计 .....	99
4.6.1 耳片式接头 .....	100
4.6.2 多榫式接头 .....	101
4.6.3 轴式接头 .....	102
4.6.4 插入式接头 .....	102
4.6.5 盘式接头 .....	103
4.6.6 燕尾槽式接头 .....	104
习题四 .....	104
第 5 章 弹身结构设计 .....	107
5.1 弹身的功用与设计的要求 .....	107
5.1.1 弹身的功用 .....	107
5.1.2 弹身的设计要求 .....	107
5.1.3 弹身的受载特点 .....	108
5.2 弹身的结构形式 .....	108
5.2.1 骨架蒙皮式结构 .....	108
5.2.2 整体壁板式结构 .....	110
5.2.3 构架式结构 .....	111
5.3 弹身的传力分析 .....	111
5.3.1 横向集中载荷的传递 .....	112

5.3.2	纵向集中载荷的传递	113
5.3.3	隔框的传力分析	114
5.3.4	弹身开口处传力分析	117
5.4	薄壁结构弹身的设计计算	118
5.4.1	设计计算的基本步骤	118
5.4.2	弹身截面的设计计算	118
5.4.3	框的设计计算	123
5.5	弹身舱段的设计	124
5.5.1	弹身舱段结构布局设计	124
5.5.2	相邻舱段的受力协调问题	125
5.5.3	弹身的开口问题	126
5.5.4	弹身舱段的密封	127
5.5.5	设备的安装	130
5.6	弹身舱段连接的设计	131
5.6.1	连接偏差	131
5.6.2	舱段的主要连接形式	134
	习题五	137
<b>第 6 章</b>	<b>导弹的机构设计</b>	<b>140</b>
6.1	操纵机构的功用与组成	140
6.1.1	操纵机构及其功用	140
6.1.2	操纵机构的组成	140
6.2	操纵机构的设计	141
6.2.1	操纵机构的设计初始条件	142
6.2.2	操纵机构的设计要求	142
6.2.3	操纵机构的外载荷	144
6.2.4	操纵机构的分类与构造	145
6.2.5	操纵机构的设计特点	150
6.3	分离机构的功用与组成	150
6.3.1	分离机构及其功用	150
6.3.2	分离机构的组成	151
6.4	分离机构的设计	152
6.4.1	设计初始条件	152
6.4.2	设计要求	152
6.4.3	分类与构造	153
6.4.4	设计特点	158
	习题六	160
<b>第 7 章</b>	<b>导弹结构材料的选用</b>	<b>163</b>
7.1	导弹结构材料的分类	163

7.2 常见导弹结构材料的性能 .....	163
7.2.1 材料的基本性能 .....	163
7.2.2 比强度与材料性能指数 .....	164
7.2.3 材料的抗疲劳性能 .....	165
7.2.4 材料的断裂韧性 .....	166
7.3 导弹结构材料的选用原则 .....	167
7.4 弹体常用的金属材料 .....	167
7.4.1 铝合金 .....	167
7.4.2 镁合金 .....	168
7.4.3 钛合金 .....	168
7.4.4 高强度合金钢 .....	169
7.5 复合材料及其在导弹中的应用 .....	169
7.5.1 复合材料简介 .....	169
7.5.2 复合材料的基本性能 .....	169
7.5.3 复合材料在导弹中的应用 .....	170
习题七 .....	171
模拟题 .....	173
参考答案 .....	178
参考文献 .....	181

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 导弹的结构与功用

### 1.1.1 导弹的概念与组成

导弹是一种飞行器。飞行器是指任何由人类制造、能飞离地面、在空间飞行并由人来控制的飞行物，按照其飞行的空域，可分为三类：航空器、航天器、火箭和导弹。在大气层内飞行的飞行器称为航空器，如气球、滑翔机、飞艇、飞机、直升机等。它们靠空气的静浮力或空气相对运动产生的空气动力升空飞行。在地球大气以外宇宙空间(太空)中飞行的飞行器称为航天器，如人造地球卫星、载人飞船、空间探测器、航天飞机等。它们在火箭等运载器的推动下获得必要的速度进入太空，然后主要在引力的作用下完成轨道运动。火箭是以火箭发动机为动力的飞行器，可以在大气层内，也可以在大气层外飞行。如我国的长征系列火箭、美国的土星系列运载火箭等。导弹是装有战斗部的可控制的火箭，有主要在大气层外飞行的弹道导弹和装有翼面在大气层内飞行的地空导弹、巡航导弹等。

导弹由多个系统组成，一般包括战斗部系统、电气与控制系统、推进系统、结构系统等。例如，图 1.1 中“萨姆-2”导弹，中间的 Warhead Section 是它的战斗部、前面的 Guidance Section 和后面的 Control Section 是它的电气与控制系统，靠后部的 Propulsion Section 是它的推进系统。导弹结构系统是导弹的整体结构，一般也称为弹体结构，是用于构成并保持导弹外形、在飞行时产生导弹所需的升力、连接和安装各分系统且能承受与传递各种载荷的整体结构。

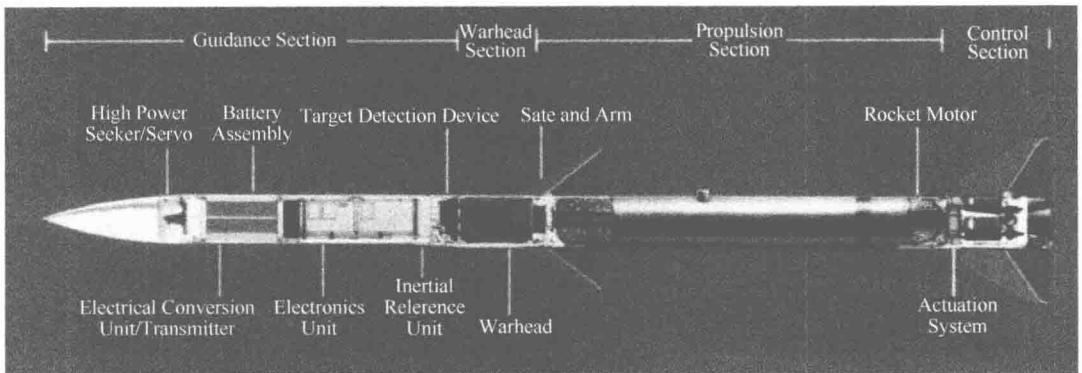


图 1.1 “萨姆-2”导弹组成示意图

### 1.1.2 弹体结构及其功用

弹体结构的重量一般占导弹起飞重量的 16%~20%，是导弹的重要组成部分，其设计的好坏将直接影响导弹的技战术性能与经济性。弹体结构主要包括弹身、翼面、操纵机构、分离机构、折叠机构等部分，翼面根据其功能，又可分为弹翼、操纵面、稳定面等。

## 1. 弹身

为了制造和装配的方便，弹身通常由多个舱段组成。一般包括导引舱、仪器舱、战斗部舱、燃料舱、发动机舱等，如图 1.2 中的 1、3、4、5、7、8、10、11、13 等均属于弹身。弹身为弹上各种仪器设备提供装载条件，为各空气动力面和助推器提供连接与固定的条件。

## 2. 弹翼

弹翼一般由屏格蒙皮、翼梁、桁条、翼肋组成，如图 1.2 中的 2、6 均属于弹翼。其主要功能是利用空气动力学原理产生导弹飞行时所需的升力和横向控制力。

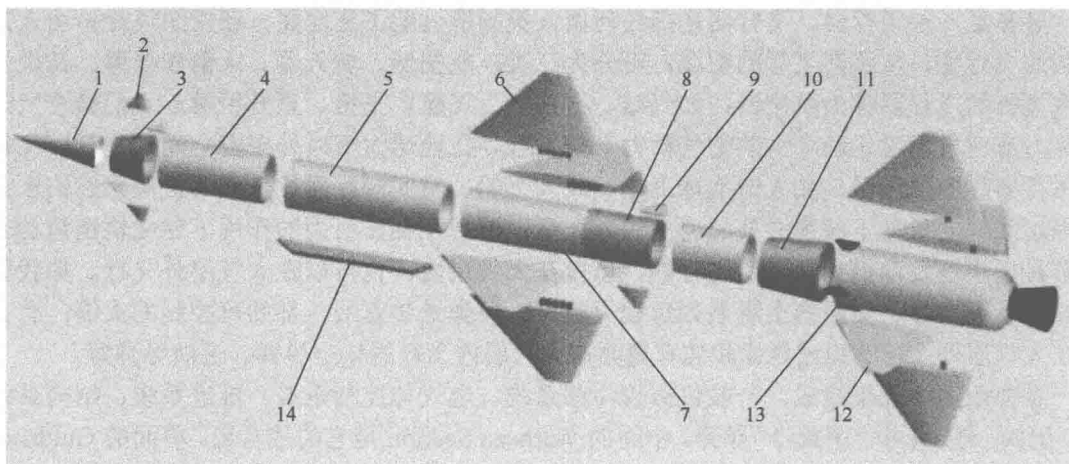


图 1.2 “萨姆-2”导弹弹体分解图

1-一舱；2-前翼；3-二甲舱；4-二乙舱；5-三舱；6-弹翼；7-四甲舱；8-四乙舱；  
9-操纵面；10-五舱；11-六舱；12-稳定面；13-固体助推器；14-整流罩

## 3. 操纵面与稳定面

操纵面是可以操纵的空气动力面，如图 1.2 中的 9，稳定面是安装在尾部的固定空气动力面，如图 1.2 中的 12，它们的结构形式与弹翼类似，主要用于产生相对于导弹重心的控制力矩，改变或维持导弹的飞行方位角和姿态角。

## 4. 操纵机构、分离机构与折叠机构

操纵机构、分离机构与折叠机构在图 1.2 中并未画出，一般在弹身内。操纵机构将控制伺服机构传来的能量传递给操纵面，使操纵面作相应的偏转，以产生相对于导弹重心的操纵力矩。分离机构在导弹飞行过程中，使需要与弹体分离的部分，如头部、助推器、尾段等适时地、可靠地分离。折叠机构可实现折叠式翼面的可靠折叠与恢复。如图 1.3 中“尾刺”导弹的前舵折叠机构。

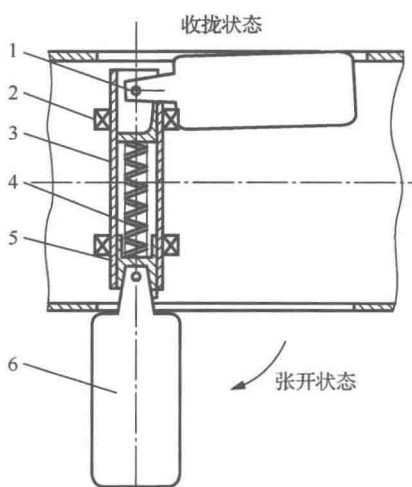


图 1.3 “尾刺”导弹前舵折叠机构

1-轴销；2-轴承；3-空心轴；4-弹簧；5-锁紧滑块；6-前舵

## 1.2 导弹结构系统的研制过程

### 1.2.1 主要研制阶段

导弹的研制是一个从确定要求开始，直到交付适合发射和使用的导弹产品的过程。导弹的研制过程一般分为论证阶段、方案阶段、工程研制阶段、设计定型阶段和生产定型阶段，导弹结构系统作为导弹的主要分系统，参与各个研制阶段，如图 1.4 所示。

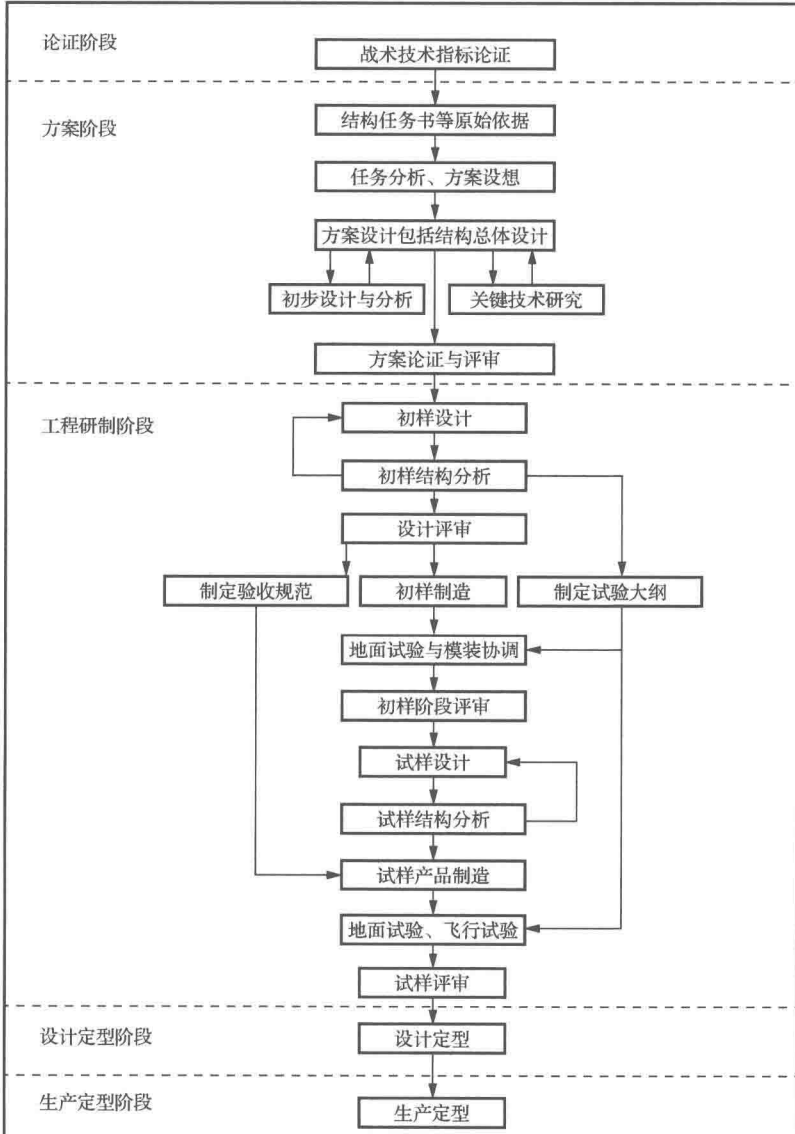


图 1.4 导弹结构的研制过程

因为论证阶段的主要工作是进行导弹战术技术指标的论证，所以论证工作由使用部门组织进行。设计定型、生产定型阶段的主要工作是进行定型鉴定试验、全面评定导弹性能指标、进行设计定型和生产定型。这三个阶段与导弹的具体研制工作联系不大，所以导弹

结构系统的研制，主要是在方案阶段和工程研制阶段进行的。

## 1.2.2 方案阶段

方案阶段的主要工作是根据总体设计下达的结构设计任务书，首先，进行导弹全结构的总体方案设计，完成各部段结构方案设计、部段之间的受力协调以及仪器设备、电缆、管路的安装铺设方案的设计。然后，在进行分析、比较，并确认关键技术可行后，选择出最佳设计方案和试验验证项目。最后，提出方案论证报告和原理样机，原理样机往往是三维模型，通过评审之后，方可进入工程研制阶段。

需要说明的是，方案论证时必须考虑方案对结构技术要求的满足程度，技术继承性、经济性、可靠性，以及是否积极地采用新材料、新工艺、新技术等因素。

## 1.2.3 工程研制阶段

工程研制阶段由初样阶段和试样阶段组成。

### 1. 初样阶段

初样阶段的主要任务是设计出符合外载荷条件、使用要求及系统安装协调要求的初样产品，并进行生产和试验，最终提交设计文件。在初样设计阶段，主要进行以下 10 项工作。

- (1) 在导弹内进行各项装载的安排。
- (2) 进行结构布局设计，即选择结构形式和布置主要受力构件，初步选择分离面。
- (3) 确定分离面，以及相应的连接形式和连接点位置。
- (4) 确定结构开口的数量、大小及其位置。
- (5) 完成结构协调工作。
- (6) 初步确定主要受力元件的剖面形状与尺寸。
- (7) 提供图纸及技术文件。
- (8) 在初样设计的同时，应进行结构分析和强度校核，根据计算结果验证设计，必要时修改设计。一般还应进行功能特性分析，制定结构试验大纲（规范）。
- (9) 设计评审通过后，制定结构验收规范，然后进行初样产品生产与试验。试验内容主要有静力和动力试验、导弹整体振动试验、分离试验、联合试车和模装协调，根据试验结果验证设计，必要时修改设计。
- (10) 最终提交初样设计报告，评审通过后，转入试样阶段。

显然，结构设计工作的主要内容是在初样阶段完成的。一般来说，后续阶段主要是进行一些适应性修改。

### 2. 试样阶段

试样阶段是根据总体设计要求和初样确定的技术状态，对初样结构原则上不作大的改动，只进行适应性修改设计；同时，更新计算模型，进行结构分析和强度校核，以验证或修改试样设计；然后给出全套试样图纸和设计文件，提供给工厂进行试样产品生产制造；最后，将试样产品用于地面试验及飞行试验考核。

由于试样阶段主要是考核导弹整个结构总体方案的正确性，检验是否满足战术技术指标要求。因此，如果预定次数的飞行试验成功，则最终提交试样设计报告，通过评审后，

转入设计定型阶段。

### 1.2.4 设计定型和生产定型阶段

最后，简要介绍设计定型和生产定型阶段的工作。生产定型即工艺定型。

在这两个阶段的主要工作是定型鉴定试验、设计定型和工艺定型。采用的导弹结构为试样状态产品，并且原则上不作变动，主要是进行定型性的大型地面试验和定型飞行试验考核。定型期间，结构设计的工作主要是使图纸和技术文件更加完整地反映出实际结构情况，以及从图纸到文件内容更符合标准化要求。

总之，定型设计是使弹体结构稳定在一个切实可行的状态，方便工厂顺利地进行批量生产。

## 1.3 导弹结构设计的概念与内容

### 1.3.1 导弹结构设计的概念

所谓“设计”是将导弹系统对结构和机构提出的设计任务与要求转化为可实施的全部“技术文件”的创造性工作过程。技术文件主要包括全套图纸、设计报告、计算报告、试验报告和各种说明书等。具体地说，导弹结构设计是根据设计的原始条件，构思和拟定出满足各项基本设计要求的结构方案，确定全部零部件的材料、形状与尺寸，并对其进行分析与试验，最终提供全套可供生产的图纸和相应技术文件的全过程。这一过程是反复修改，不断追求完美，体现设计者创造性的过程。

需要说明的是：在方案论证与工程研制阶段，在对结构进行设计的同时，也需要对结构进行分析。因为设计的结果是得到主要包括结构设计图的全部“技术文件”，设计是否合理需要通过分析来验证。

所谓“结构分析”主要指结构静、动力分析，包括两个方面的内容：一是分析结构力学特征，包括刚度、模态、临界载荷等；二是计算已知载荷下的结构响应，包括应力、应变、加速度等。“结构分析”为“设计”提供定量的依据，同时又对设计的结果进行验证。

在导弹结构与机构研制中，设计和分析是两个密切相关的工作，往往要经过从设计到分析，再从分析到设计的多次迭代(图 1.5)，才能得到最终的设计结果。因此，广义地说，分析也可以认为是设计工作的一个部分，并且有时为了叙述方便，把设计与分析合称为设计。但由于分析工作的专业性、复杂性和重要性，一般与设计工作分开进行。

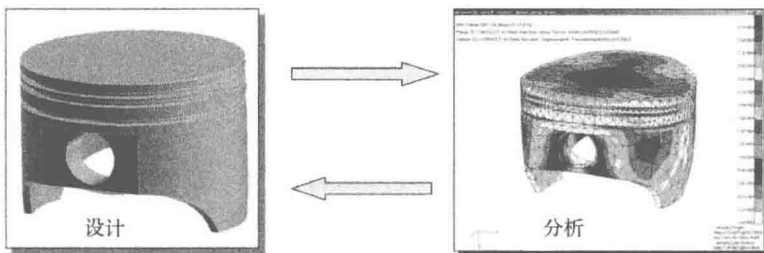


图 1.5 结构设计与分析的关系示意图

## 1.3.2 导弹结构设计的内容

### 1. 按照设计过程的特性

导弹结构设计的内容，从设计过程的特性来看，主要分为方案设计阶段的内容和工程研制阶段的内容。

在方案设计阶段，设计工作主要体现在三个方面：首先，充分了解与分析设计任务书和总体设计资料等原始条件，包括结构的受力情况、使用条件、生产条件、结构的外形尺寸和各种协调关系等，在充分调查研究的基础上提出结构设计方案；然后，完成结构的总体设计，如全结构的结构布局与结构形式选择，传力路线的设计与受力构件的布置，分离面选择与设计，结构的热设计和协调设计等；最后，进行结构方案设计的论证与评审。

在工程研制阶段，设计工作也主要体现在三个方面：首先，进行零、部件的详细设计，绘出设计的工程图样；然后，进行结构分析与强度、刚度校核，主要内容有结构静力分析(包括热分析)、结构动力分析，在分析和计算过程中，应该进行必要的试验；最后，完成全套可供生产的工程图和相应的技术文件。

### 2. 按照设计工作的特性

导弹结构设计的内容，从设计工作的特性来看，主要包括以下六个方面。

#### 1) 导弹结构布局设计

- (1) 进行结构内各组成部分或设备的部位安排，保证它们位置合理、协调、工作环境好。
- (2) 进行结构分离面的选择，并确定各分离面的连接形式。
- (3) 确定结构的受力和传力方案。
- (4) 确定各组成部分的尺寸与形状等。

需要说明的是：分离面分为设计分离面和工艺分离面。设计分离面是由于结构设计、使用维护和安全等方面的需要而设置的分离面，如级间分离面、舱段间分离面、翼身之间的分离面等。它们通常是可拆卸的。工艺分离面是为了加工、装配需要，提高结构工艺性而设置的分离面。它们通常是不可拆卸的。

#### 2) 结构形式的选择和受力构件的布置

由于导弹要承受各种情况下的外载荷作用，所以导弹结构必须既要有良好的承力性能，满足强度、刚度等要求，又要尽可能轻巧、结构质量轻，这样就需要寻求合理的结构形式。

由于导弹的种类、用途、工作性能的不同，新材料、新工艺也不断涌现，导弹的结构形式是多种多样的，一般有骨架蒙皮结构(薄壁结构)、整体结构、夹层结构、杆系结构等。需要根据实际情况选择合理的结构形式。

在结构形式确定后，应对结构的受力构件进行布置，使结构传力路线最短。

#### 3) 导弹结构材料的选用

导弹使用的材料种类很多，按其性质分为金属材料、复合材料和非金属材料，其中应用最广泛的有铝合金、镁合金、钛合金、复合材料及各种特殊材料。材料的选择是一个需要综合考虑的问题。

#### 4) 导弹结构的强度、刚度设计与试验

结构强度、刚度是结构承受外载荷作用的能力，即抵抗断裂破坏、失稳、不容许变形(或

位移)的能力。此项工作内容涉及静强度(包括热强度)、动强度、静刚度、动刚度等方面的分析与计算。

按照导弹的研制阶段可分为设计计算和校核计算两种。设计计算是对方案和初步设计进行快速合理的强度、刚度估算,为合理选择结构形式、材料种类、工艺方法等提供依据。校核计算的目的是对已设计好的结构整体和全部零、部、组件进行详细的定量精确计算,以检验设计的正确性。

导弹的强度、刚度除了要进行理论计算,还必须通过各种地面试验来验证。例如,导弹结构强度试验就包括轴压试验、弯曲剪切试验、外压试验、振动试验、冲击试验等。

#### 5) 接口设计

接口是指零、部、组件之间,分系统中各设备之间,以及分系统之间的连接关系。机械连接称为机械接口,电气连接称为电气接口。接口设计涉及大量的协调工作,牵扯面广、工作量大,贯彻在导弹研制过程的始终。

#### 6) 导弹各使用维护口盖的布局和设计

对于导弹的使用维护口盖,根据它的安装位置和是否传力分为受力式口盖和非受力式口盖,口盖的设计和布局是否合理,关系到导弹使用、维护、维修是否方便。

## 1.4 导弹结构设计的基本要求

导弹结构设计要综合考虑各种因素,弹体各部分的功用不同,设计的技术要求也不尽相同,但共同的目标是要保证导弹有最好的性能。因此,导弹结构设计也必须遵守一些共同的基本技术要求,主要包括空气动力要求,强度、刚度与可靠性要求,质量特性要求,工艺性要求,使用维护要求,经济性要求,以及环境适应性等特殊要求。

### 1.4.1 空气动力要求

空气动力要求是一种“前提性”的基本要求。它要求设计出的结构必须具有良好的气动特性,以便于保证导弹具有良好的气动升力和阻力特性,以及良好的操纵性和稳定性。空气动力要求的内容主要包括两个方面。

#### 1. 尽量减小实际外形相对理论外形的误差

(1) 弹身外形准确度要求:弹身的直径、长度偏差要求和外形椭圆度要求,头部外形对理论外形曲线的误差要求,对不同舱段的同轴度要求和舱段端面垂直度要求等。

(2) 翼面外形准确度要求,翼面相对弹身角度要求。例如,翼面实际外形相对理论外形的偏差要求,各翼面安装角偏差要求,折叠翼的折叠和展开到位的准确度要求等。

(3) 确定外形的水平测量点布置及其位置偏差要求。

#### 2. 保证外形的表面质量

保证外形的表面质量要求主要包括舱段的表面粗糙度、对接阶差、表面波纹度和局部凹陷等方面的要求,以及对表面突出物的外形要求等。其中,表面突出物的外形要求对高超声速导弹尤为重要。

### 1.4.2 强度、刚度与可靠性要求

这是导弹结构设计的基本要求之一。对导弹结构来说,保证可靠性最主要的是保证结构在整个使用寿命周期内,具有足够的强度和刚度来承受各种载荷,使结构既不破坏或失效,也不产生不允许的变形。

具体地说,除了要求结构在静力、动力、热三方面的设计载荷作用下不破坏,不产生超过设计要求的变形和残余变形,还要求结构满足各项结构动力学性能要求(如固有频率与主振型、结构阻尼、颤振边界等)。

### 1.4.3 质量特性要求

导弹的质量特性必须满足总体设计规定的指标。这是结构设计的基本要求之一,也是结构设计的主要要求之一。导弹的质量特性主要包括质量大小、质心位置、转动惯量等与导弹质量有关的参数的特性。质量特性要求也体现在以下三个方面。

(1)质量大小要求。所设计的结构质量尽量轻量化,不超过总体规定的数值范围。

(2)质心位置要求。应在弹体坐标系中满足质心位置及其偏差要求。

(3)转动惯量要求。所设计的结构在相应的坐标系中应满足转动惯量大小及其偏差要求。有的导弹还有惯性积大小的要求。

### 1.4.4 工艺性要求

导弹结构工艺性是结构设计的基本要求之一。所谓的结构工艺性是指被设计的产品所具有的“在一定产量和生产条件下,经综合权衡,能以尽可能低的成本和短的周期制造出来,并能符合必需的使用性能和质量”的那些构造特性。

工艺性要求主要体现在两个方面:一方面是制造工艺要求,如要求设计的零件便于加工、使用的夹具少而简单;另一方面是装配工艺要求,如要求结构便于装配、使用的装配工艺装备少而简单。

改善结构工艺性往往会与结构的质量要求发生矛盾。为了改善结构工艺性而导致过多地增加结构质量的方案,一般是不可取的,但也要根据实际情况来定。假如设计的主要目标是提高导弹性能,那么即便由此而致使结构工艺性变差,工艺上要想方设法实现设计要求;相反,假如设计的主要目标是降低成本,那么甚至可以用增加质量来改善结构工艺性。总之,工艺性与质量之间矛盾的解决,需要根据设计的主要目标具体分析。如果设计的工艺性考虑不周,那么工艺难以保证产品加工质量。例如,结构的开敞性不好,会影响铆接质量和焊接质量;设计焊接接头时,如果对焊件的厚度比、材料的可焊性等考虑不周,必然难以保证工艺质量。

### 1.4.5 使用维护要求

使用维护要求是一种前提性的基本要求。导弹在服役期间不仅要妥善储存,各部分及内部重要的设备、系统,还须分别按周期进行检查、维护和修理,应使维护、作战反应时间满足总体设计要求。因此,导弹结构是否便于使用维护是衡量结构设计好坏的重要标志之一。具体设计要求如下。