

航天飞行器设计基础

(苏) B.П.米申 著



航空工业出版社

31608005

V421
01

航天飞行器设计基础

[苏] B. II. 米申 著

纪绍钧 李世松 译

赵建国 邓久富

纪绍钧 校



C0149275

航空工业出版社

1989

内 容 简 介

本书论述了弹道导弹和运载火箭一级运输飞行器设计中的一些问题，介绍了航天飞行器综合设计方法，同时，还强调了使用的有效性，列举了苏联及其他国家航天飞行器设计实例。

本书经苏联高等及中等专业教育部批准为高等学校教科书，它是一本理论结合实际的良好教材，可为我国有关的大专院校师生参考，并可供设计人员、使用人员及高技术研究人员借鉴。

航天飞行器设计基础

[苏] B. П. 米申 著

纪绍钧 李世松 译
赵建国 邓久富

纪绍钧 校

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里14号)

全国各地新华书店经售

北京市通县向阳印刷厂印刷

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

787×1092毫米 1/32 印张：13

印数：1—1000 字数：327.6千字

ISBN 7-80046-156-4/V·028

定价：5.80元

目 录

前言	(1)
引言	(2)
第一章 空间运输飞行器设计概论——设计任务的提出	(5)
第二章 液体火箭的布局与结构受力形式	
2.1 液体火箭的布局	(26)
2.2 液体发动机火箭的结构受力形式	(46)
2.3 弹道导弹与运载火箭的质量-动力比	(60)
第三章 飞行器设计理论基础	(70)
3.1 运载飞行器的基本设计参数	(74)
3.2 飞行器设计中效率标准的选择	(85)
3.3 飞行器基本设计参数、飞行-技术性能和效率标准的相互关系的确定	(91)
3.4 完成飞行器设计任务的方法	(99)
第四章 按照规定的飞行-技术性能确定弹道导弹与运载火箭的基本设计参数	(107)
4.1 根据给定的飞行-技术特性和质量-动力特性选择弹道导弹和运输火箭的基本设计参数	(109)
4.2 根据规定的飞行-技术特性和燃料成分的组合选择弹道导弹和运载火箭的基本设计参数	(121)
4.3 在给定的飞行-技术特性下飞行器基本性能参数的分析	(129)
4.4 根据基本设计参数确定质量-动力特性和体积尺	

	寸特性及原始数据精确化·····	(133)
第五章	多次性使用航天器的设计特点 ·····	(154)
5.1	多次性使用航天器的特点综述及其设计 概念·····	(154)
5.2	多次性使用航天器数量与级比的选择·····	(173)
5.3	发射方法与加速动力装置型别的选择·····	(178)
5.4	级的返回与着陆方法的选择·····	(191)
5.5	推进剂类别和发动机尺寸的选择·····	(204)
5.6	可操纵飞行的安全性保障·····	(211)
5.7	多次性使用航天器布局型式和结构受力型式 选择·····	(217)
第六章	火箭发动机装置性能同弹道导弹和运载火箭 基本设计参数之间的配合 ·····	(226)
6.1	液体火箭发动机特性及弹道导弹与运载火箭动 力装置的特性·····	(227)
6.2	液体火箭推进剂的性能及其对液体火箭发动机 性能的影响·····	(238)
6.3	单台液体火箭发动机特性同火箭组特性的 匹配·····	(242)
6.4	火箭组增压系统特性的确定·····	(252)
6.5	火箭组推进装置的控制与调节·····	(263)
6.6	液体火箭发动机火箭组气动液压系统·····	(269)
6.7	液体火箭发动机火箭组推进装置的可靠性要求 及其保障方法·····	(277)
第七章	控制系统的特性与组成同弹道导弹及运载火 箭设计参数的协调 ·····	(284)
7.1	弹道导弹和运载火箭控制系统的任务和基本要	

求·····	(285)
7.2 弹道导弹与运载火箭控制系统的组成和建立原则的选择·····	(299)
7.3 推进剂贮箱同步耗尽系统——弹道导弹和运载火箭控制装置的组成部分·····	(305)
7.4 弹道导弹与运载火箭控制的执行机构及其特性·····	(317)
7.5 航天器现代控制系统的可能性展望·····	(328)
第八章 保证航天器可靠性试验工作大纲 ·····	(333)
8.1 航天器可靠性定量特性与确定特性试验的类别·····	(334)
8.2 保证可靠性的航天器试验工作大纲·····	(345)
8.3 航天器试验工作中可靠性定量鉴定的功用·····	(351)
8.4 按试验工作结果确定实际飞行技术特性·····	(355)
第九章 航天器研制过程的组织、计划和自动化 ·····	(361)
9.1 航天器研制过程的组织·····	(361)
9.2 设计工作的网络规划·····	(367)
9.3 航天器研制过程自动化·····	(372)
附录 ·····	(389)
参考文献 ·····	(402)

前 言

设计在地球范围内长距离和在人造地球卫星轨道上运送各种用途货物的现代自动控制的飞行器是一项复杂的创造性过程。这种飞行器的设计师不仅要掌握设计工作的理论与实践经验，而且还要具备必要的相邻学科的知识，他们应该是专业面广泛的专家。

本书包括了弹道导弹和运载火箭这一类别飞行器设计问题所涉及的广泛领域，并在相当程度上总结了苏联和其他国家所发表的该范围内的文献资料。本书叙述的内容符合飞行器综合设计方法，并结合订货方技术任务书所确定的新研制项目的长期目标和飞行器的维护及实验调试所必需的设各、系统。本书对研制新飞行器的预先论证与制定新飞行器系统的技术任务书问题，只讨论到对了解新结构水平的重要性和对选择保障获得这些水平的技术措施的程度。上述方法证明是正确的，因为，技术任务书的制定是上级机关的任务。而设计局和部门研究院只是直接从事新飞行器系统的研制。

第一章和第二章的著者为 B. П. 米申；第三章、第四章和第七章的著者为 B. П. 米申与 B. K. 别兹韦尔伯；第六章为 B. П. 米申与 B. M. 潘克拉托夫合著；第九章为 B. П. 米申与 Д. H. 谢韦罗维合著；第五章和第八章的著者为 B. K. 别兹韦尔伯。

作者们非常感谢 H. И. 帕尼奇金和 P. A. 菲利波娃在本书编写过程中所给予的帮助。

引 言

设计是研制现代飞行器的最初阶段之一。作为设计直接结果的设计书，应当反映出研制飞行器总的意图和计划，同时还要反映对飞行器的部件、附件及机载设备具体的技术处理。

设计是一项复杂的、有创造性的探索和求解过程，它保证建立满足规定要求的技术目标、总体和系统。

完成设计本身所花的费用在研制飞行器所需费用总额中(含生产准备、样机制造及实验调试所需费用)，相对来讲是不大的。但正确无误的设计能预先决定是否在规定期限内，最低资金总消耗限度内完成飞行器制造的可能性。显然，这是因为设计上出现的原则错误，如不耗费大量的物力和大大延长飞行器的制造期限，就不能在飞行器样机制造过程中加以修正，也不能在实验研究过程中加以修正。但是，现代飞行器的改进速度十分迅速，如样机制造工作拖延，会导致飞行器的老化，而最终则造成徒劳无益的耗费。

飞行器设计方法必须是：当采用这个方法时，在有限的设计工作期限内，要在最大程度上排除设计错误，排除个别部件、附件和系统因缺乏仔细研究而造成的误差，排除对所制造的飞行器、地面维护系统和其他系统的研制目的不一致的现象。无疑地，只有采用具有最大自动化程度，采用高速电子计算技术及模拟技术的飞行器的综合设计方法，才能满足上述要求。为达到已提出的目标，参照苏联国内统一的设计文献系统(ЕСКД)所规定的设计阶段程序和内容方面的

严格规则是十分重要的。

运输飞行器的设计是综合了弹道导弹和运载火箭设计研究规律性的一门学科。根据有效载荷的用途和发送地点的不同，运输飞行器可分为以下类型：

将装药弹头送至地球大气层范围内的弹道导弹；

将航天飞行器、航天飞船、航天站以及助推器送入近地球轨道，必要时可将其回收至地面的运载火箭；

使航天飞行器、航天飞船和航天站完成由低近地轨道转换至高地轨道或星际飞行轨道的助推火箭。

本书研究了前两类运输飞行器，并将弹道导弹这类运输飞行器又细分为中程弹道导弹和洲际弹道导弹。本书对航程不足1000公里的弹道导弹不作论证。

近年来，在运载火箭中又发展了多次使用的运载火箭。它们的特点是可多次全部或部分地利用其所包含的各级。

就以上所研究的各类飞行器而言，它们的特点是具有非常高的运动速度。这种速度在航空运输、水路运输和其他方式的运输中都是无法达到的。洲际弹道导弹相对于地面的运动速度达到26000公里/小时；运载火箭的运动速度达到29000公里/小时；而当转换到星际航行轨道时，其速度可达40000公里/小时或更快。这些运输飞行器的高速运行可保证在总共几十分钟的时间内穿越洲际间的距离。洲际弹道导弹和中程弹道导弹用于国防，而运载火箭则在国民经济和科学研究中发挥着重要作用。

苏联党和政府无论过去或现在都以极大的关注发展着自己的导弹和宇宙火箭技术。

在战后的年代里，尽管在国民经济恢复时期遇到了由于希特勒德国的侵犯而造成的极大困难，但苏联还是制造了带

核弹头的洲际弹道导弹。这些洲际弹道导弹的研制工作，是由科学院院士С.П.科罗廖夫和И.В.库尔卡托夫领导的。1957年8月，苏联在世界上首次发射了洲际弹道导弹。从此，它安全地保卫着社会主义国家人民的和平劳动。

社会主义社会必然要利用这些科技成果造福于人类。1957年10月4日，苏联又在世界上第一次将人造地球卫星送上了轨道。

苏联的载人宇宙航行计划，在人类整个历史进程中的一系列卓越成就中占有特殊的地位。

1961年4月12日，苏联公民Ю.А.加加林第一次在世界上完成了载人宇宙飞行。在以后的年代里，则以苏联宇航员完成的一系列杰出飞行而著称于世。

为着适应国民经济和科学研究的需要，近10年来苏联有效地利用了“礼炮”-“联盟”-“进步”号的轨道联合体。由于能定期地向轨道联合体提供生命保障设施、用以保持必要轨道高度的燃料以及更换用来进行科学研究的各种装置，得以使苏联宇航员有可能在轨道上完成大量工作和长时间的飞行。

根据国际宇航合作计划，一些兄弟社会主义国家在宇宙空间的开发方面同苏联顺利地进行了合作。

苏联遵循不同社会制度国家间的和平共处原则，时刻地从国际合作的目的出发和平利用外层空间。

开发宇宙的一系列庞大计划，是以苏联同美国、法国、印度和其他一些国家的共同合作来实现的。

第一章 空间运输飞行器设计概论

——设计任务的提出

由许多工业部门参加研制的现代空间运输飞行器是一种复杂的技术装备。这些飞行器的研制，无论是弹道导弹还是运载火箭，首先要求通过设计研制和实验调试使导弹本身、大功率而经济的火箭发动机、全自动飞行控制系统，以及保障飞行器运行的地面设施达到所要求的可靠性（结构质量最小）。

由此可见，作为设计对象的运输飞行器是复杂的火箭综合体，它由运载火箭本身、有效载荷、地面设施和运输保障部门、火箭发射前的安装与准备，以及发射设施和发射指挥信息保障系统等构成。为了正常使用运输飞行器，必须使各种设施和各个部门的基本数据相互协调一致。之所以如此，是因为导弹的设计和重新研制及其地面装配保障、起动前的检查和实施发射，都要求做到同步配套的缘故。

运输飞行器的用途及其任务决定了对其研制的要求和设计工作所需的组成部分和范围。用弹道导弹作为例子，我们来研究它是如何根据基本用途——摧毁地面目标而提出的。

摧毁可能出现的目标取决于许多因素，其中主要有：

——目标的大小和防御程度；

——装药的破坏威力和导弹命中目标的准确度；

——从发出命令瞬间摧毁目标（弹道导弹、各种飞机和其他活动目标）的时间；

——反导弹防御设施的对抗。

为了摧毁成组目标而制造弹道导弹时，必须考虑下面这样一些因素，如：

——可能出现的目标数量；

——弹道导弹的必需数量(导弹的战备储量应在国家经济条件允许范围之内)；

——当潜在的敌人或其他方面发动先发制人的进攻时，弹道导弹的生存能力。

据此，可对用于摧毁地面目标的弹道导弹的研制提出下列基本要求：

1. 确保在规定的射程内，把战斗部发射到目标区域；
2. 用一个分导式弹头摧毁一定数量的目标；
3. 把既定质量的有效载荷发射到目标，并确保达到规定的命中率。众所周知，对具体目标的命中率取决于装药的威力、命中准确度与目标的防御程度(图1.1)；

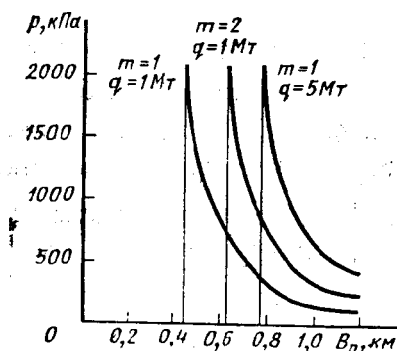


图 1.1 所需的防御程度 p 与概率圆周误差 B_n 、装药威力 q 和 m (命中率 $p=0.9$) 的相互关系

4. 保证必要的可靠性，它是由在实战条件下能完成的发射成功率来衡量的，并同时考虑能在发射场上进行正常的定期维护工作，在发射设施受到核导弹打击时能保持完好，能成功地完成主动段和弹头分离段的飞行，以及能突破敌方可能的拦击；

5. 最大程度地实现起动前和发射过程的全部工作和过程的自动化和机械化；

6. 要在使用过程中进行改进改型，以便改善导弹的飞行技术性能，并在物资器材和时间消耗最小情况下延长其服役期；

7. 弹道导弹和维护系统的制造必须建立在国产原材料、冶金工业及其他工业部门的基础上。

弹道导弹是作战导弹综合体的基础。作战导弹综合系统包括最小所需的弹道导弹和能够在导弹整个服役期的规定的气候条件下和遭到核导弹突袭时，保持导弹处于最佳发射状态和安全贮存的地面设备、设施和支援系统。

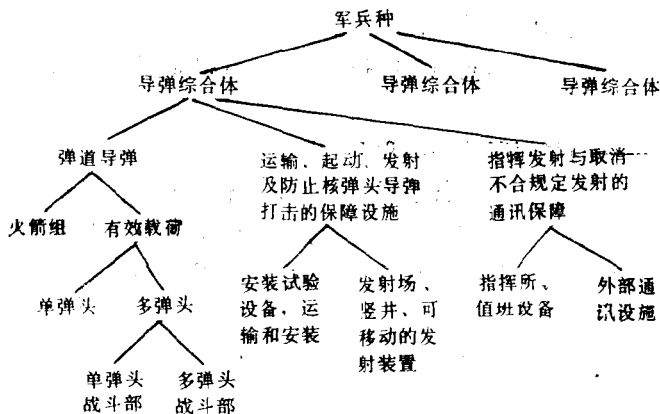


图 1.2 主要军兵种及以弹道导弹为基础的作战导弹综合体的构成

按照所采用的不同的防御敌方突袭的方法、弹道导弹的推进剂组分、保证高精度的命中方法，导弹综合系统可分为：

——使用固体或液体推进剂弹道导弹的、带有单弹头或分导弹头的竖井式导弹综合体；

——移动式导弹综合体。

按达到高精度命中率的方法，各种导弹综合体的特征还可分为：自主式(采用机载制导仪器)或者组合式(用其他手段补充机载测量数据的组合方法)。

除防止敌方核袭击而采取的保障弹道导弹安全存放的手段、使用的发动机、推进剂和控制系统之外，导弹综合系统的组成还包括：

——长时间使用的情况下，能够保障弹道导弹群处于最佳战斗准备状态的手段和设备；

——能源保障；

——维护人员的生命保障手段；

——实施定期维修的手段和仪器设备；

——重新瞄准手段；

——弹道导弹起动前准备和发射过程的操作手段和设备；

——与指挥所的外部联系手段。

在各军兵种中装备不同的导弹综合体(图1.2)。图1.3—1.10示出了在不同类型的弹道导弹综合体中使用的弹道导弹、发射场和其他组成部分。更为详细的主要性能数据列在附录1的表1中。

虽然弹道导弹综合体的方案可能有很多，但实际上结构设计方面的基本方案却很少。例如，移动式或固定式发射的陆基和海基的弹道导弹的分弹头分导原理是一样的。在选择

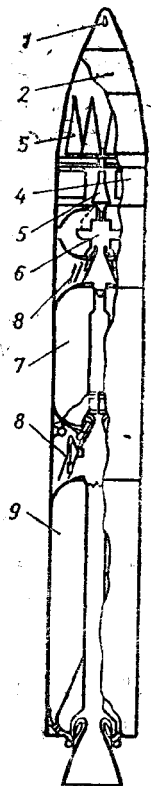


图 1.3 “MX”导弹

1——牵出头部整流罩用的
固体火箭发动机；2——头
部整流罩；3——战斗部（10
个弹头）；4——弹头分导部；
5——弹头分导部发动机；
6——第三级加速固体火箭发
动机；7——第二级加速固体
火箭发动机；8——可折叠式
喷口；9——第一级加速固体
火箭发动机

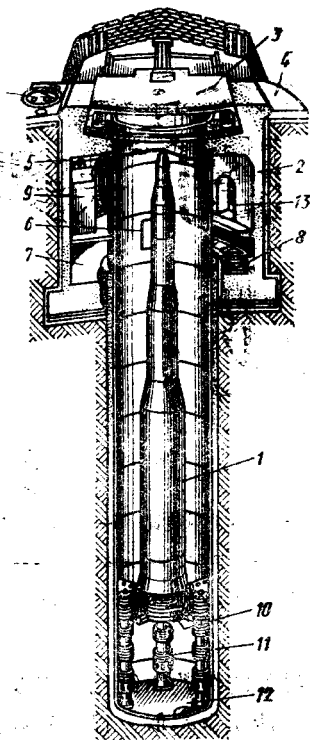


图 1.4 竖井中的“民兵”三级弹道导弹

1——弹道导弹；2——竖井设施；3
——活动盖；4——地面设施；5
——电动机械传动装置；6——设备
舱口；7——设备减震平台；8——电
源及空气调节器；9——控制设备；
10——减震系统支撑环架；11——弹
性元件；12——沉淀槽；13——压缩
机

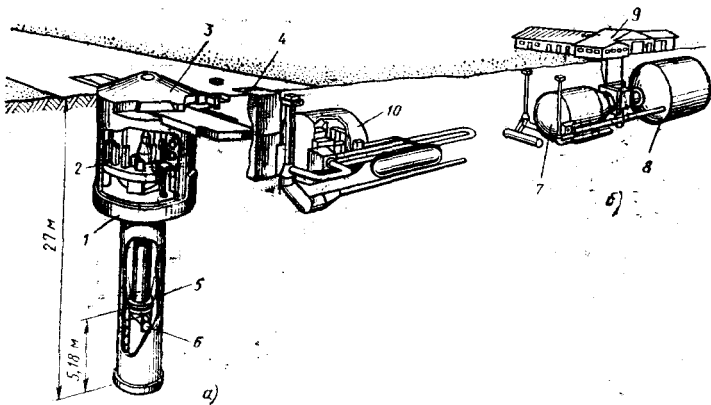


图 1.5 “民兵”导弹综合体发射场

a——竖井发射装置；6——指挥所；1——柱头；2——起动前的操作控制设备；3——保护盖；4——舱口；5——弹道导弹；6——弹道导弹减震系统；7——地下设施；8——弹道导弹发射控制台；9——地面辅助设备；10——地下燃料库

弹道导弹的级数和级比，以及发动机推力和其他主要设计参数时，情况也类似。以上这些结构设计问题，实际上并不取决于发射场的类型和运输控制方法等。

本书是把带有分导弹头的自主制导的陆基液体弹道导弹作为弹道导弹综合体的典型范例来进行研究的。之所以选择液体推进剂作为弹道导弹综合体的典型范例，是因为它在运载火箭上有广泛的应用，其主要用途是作为运输飞行器把有效载荷发射到人造地球卫星轨道上去。对这一类飞行器的主要要求是经济性(以最小的消耗完成运输计划)，运送货流能力大、可靠，载人发射时确保机组安全。研制运载火箭时所要求的数量指标是：

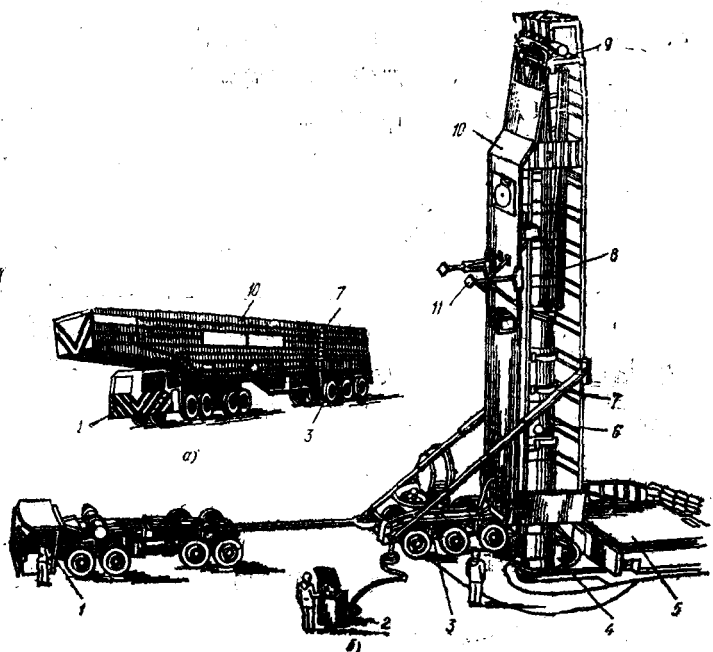


图 1.6 导弹综合体的设备——“民兵”运输安全车

α ——运输状态时的总体图；6——往竖井内安装“民兵”导弹；1——车；2——控制台；3——拖车；4——竖井；5——保护盖；6——弹道导轨；7——集装箱起重液压千斤顶；8——滑车组系统；9——弹道导弹升降传动装置；10——集装箱；11——集装箱支撑架

1. 根据不同的近地点和远地点高度，以及轨道倾角发射人造地球卫星轨道上的有效载荷的质量；

2. 入轨高度范围，以及考虑具体地理条件的发射方位角；

3. 入轨准确度，是以高度、旋转周期和轨道倾角的偏