

冉隆燧 著

运载火箭测试发控工程学

宇航出版社



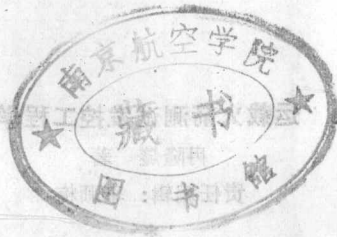
V475
1003

内 容 简 介

本书：内容详实，重点突出，共分三章。第一章为运载火箭测试工程学概论，第二章为运载火箭测试工程学的组成，第三章为运载火箭测试工程学的实施。本书可作为高等院校航空航天工程专业及相关专业的教材，也可供从事运载火箭测试工程工作的工程技术人员参考。

运载火箭测试发控工程学

冉隆燧 著



图书出版发行
南京航空航天大学
静安区江宁路
南京航空航天大学

中航出版社

668561

内 容 简 介

本书是运载火箭测试发控工程方面的一部专著。全书共三篇十六章。主要内容有：运载火箭的总体概念和测试发控工程系统设计基础；测试发控系统工程设计方法（包括：计算机系统开发方法与标准接口，采集通道与控制通道设计，测量误差与仪器精度分析等）；系统、仪器、电路和机械结构的可靠性与抗干扰设计技术（包括：试验数据处理与可靠性评定）。在取材上，偏重于大型运载火箭的测试发控工程设计；偏重于基础理论与工程实践相结合；偏重于设计思想、分析方法、各种专业技术在本工程中的相互联系和作用的论述。

本书可作为新参加本专业的工程技术人员入门教材；又可作为火箭发射指战员的专业培训教材；也可作为大专院校火箭专业和自动化专业师生的专业教学参考书。

运载火箭测试发控工程学

冉隆燧 著

责任编辑：李顺梅

*

宇航出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

中国科学院印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：24.375 字数：624千字

1989年5月第1版第1次印刷 印数：1—3000册

ISBN 7-80034-185-2/V·006 定价：12.00元

132823

评《运载火箭测试发控工程学》

(代序)

随着运载火箭技术的发展,运载火箭的测试发控技术经历了手动测试手动发控、自动检测手动发控、自动检测发控以及以计算机为中心的综合测试发控系统四个阶段,业已成为整个运载火箭技术中的一个重要组成部分。国内外的研制实践表明,它在火箭研制中的地位日益重要,已成为火箭全部地面设备的中枢。

测试发控技术涉及到广泛的技术领域,是多种专业技术的交叉。它与被测对象的工作原理、系统结构有着紧密的关系;它又与测试仪表的技术发展状况密切相关;随着计算机技术的迅速发展,它与计算机的硬软件技术关系更是十分密切;因为要在复杂的环境中可靠地工作,所以它还离不开抗干扰技术和屏蔽技术的支援;随着测试、发射、指挥一体化工作模式的出现,远程通讯技术也开始与它有了联系;此外,它还要得到可靠性技术和人机工程学的支持。正是在这种背景下,作者提出了“运载火箭测试发控工程学”这个问题,认为它应是包括测试发控方法研究,测试发控方案研究、测试发控系统的设计、测试发控软件设计、计算机技术开发、测量技术研究以及电磁兼容设计和可靠性设计在内的一个专门学科。

这方面的专著不多见。作者根据28年来从事测试发控系统研制实践的经验,和近年来给硕士研究生讲课的讲义,写了这本《运载火箭测试发控工程学》。这是个大胆的尝试。

本书以第二篇测试发控系统工程设计为中心展开论述,而这一篇中的第八章模拟量采集通道及接口设计、第九章信号源、测时测频、发射控制等主要通道设计、第十章抗干扰设计原理与方法,又处于核心的地位。

由于电子技术和计算机技术的飞速发展,硬件的更新换代十分快,本书没有过多地介绍具体的电路设计、具体的仪器设计,而是着眼于论述计算机开发技术和各种标准总线与应用。作者用大量篇幅着重介绍了设计思想、分析方法、各种专业技术之间的衔接,尤其是它们在测试发控这门技术上的相互联系。这就把作者多年的经验和今天的技术发展联系起来了。给从事这方面工作而经验尚少的同志提供了如何利用今天的各种新技术来研究测试发控技术,提供从事测试发控工程设计的捷径。

测试发控系统是决定火箭能否发射的最后把关,它是在发射场最终诊断火箭性能的工具,它的可靠工作至关重要。本书以某种测试发控系统作为实例,又以最后六章篇幅介绍了某些常用的可靠性设计方法和测试数据的处理方法。这些方法对保证测试发控系统的可靠工作都是比较实用的,尤其对开始从事这方面工作的同志是很有帮助的。

为了说明测试发控系统的依据,开始的三章介绍了运载火箭的工作原理、系统的结构和工作方式、以及发射的方式,对于从事测试发控系统设计经验不多的同志,在全面考虑问题时,是会有帮助的。作者在深入研究阿里安火箭的测试发控过程、测试发控系统的系统结构的基础上,在四、五两章详细地论述了美国运载火箭测试发控技术发展的历史,在所经历各阶段中

测控系统的特点、解决了的技术问题，并从介绍计算机网络检测发控系统结构出发，论述了测试发控技术发展的前景，对开阔从事这个专业工作的同志的思路会有所启发。

由于作者是在多年实践经验的基础上并研究阅读了大量的专门资料撰写本书的，所以本书总结的经验并不单纯是作者本人的经验。由于作者避免了只是介绍过去的测控系统的仪表、电路是怎样具体设计的这种简单方式的写法，而是着重从各种专业技术之间的联系上介绍自己的经验，这就使这些经验不因今天技术的发展而带上历史的痕迹和局限性。

对于从事测试发控技术的设计人员，对于大专院校火箭控制专业和自动化工程专业的师生，对于使用部队，本书都是一本有实用价值的著作。

目前国内外这方面专著不多，此书对我国运载火箭测试发控技术的发展将会是有用的。

黄纬祿

(研究员)

沈家楠

(研究员)

王汝龙

(研究员)

1988年4月21日

作者注：黄纬祿——国际宇航科学院院士，中国航天工业部科技委副主任。

沈家楠——中国宇航学会，空间控制专业委员会副主任。

王汝龙——中国宇航学会，空间能源专业委员会委员。

前 言

本书是作者多年来在《运载火箭“综合测试与发射控制”(简称“测试发控”)工程》研究设计工作方面的经验总结,是作者部分研究报告和论文的系统性整理。大部分内容,已在70年代写成“专题技术讲义”,作为新参加本专业研制工作的同志们学习的材料。后来,于1984年下半年,综合写成“运载火箭测试发控工程学”讲义,作为培养本专业硕士研究生的教材。最终定稿时,考虑到学习本专业人员(硕士研究生,新参加本工作的同志及火箭发射指战员等)的各种情况,又补充了若干基础理论,并涉及了较为广泛的专业技术。由于篇幅所限,只能写入诸学员共同需要的部分(讲课60学时,辅导课40学时)。当对不同类型的学员授课时,将另附“补充讲义和习题”。多年来,作者从培养新同志和繁荣中国航天技术的目的出发,致力于测试发控工程技术的专业化和系统化工作。在老专家和同志们的支持下,作者于1987年初开始按《宇航学报》论文和《航天丛书》的编写原则,修订本讲义,以便公开出版。

运载火箭(或“载人航天飞机”)的“测试发控工程”,主要是指运载火箭在各系统综合试验,工厂总装测试,地面热试车试验,靶场发射试验等大型试验中,所采用的最佳试验方法和测试发控系统设计的总称。它是整个运载火箭工程中的一个重要组成部分。它已形成一个专门的技术领域,并具有独特的技术内容和重要作用。

主要技术内容有:

1. 运载火箭及其各系统的设计,必须同地面综合测试与发射控制设计统一协调进行。因此,掌握运载火箭的基本原理与系统结构,是测试发控系统设计的系统基础。

2. 运载火箭的任务和发射过程,是测试发控工程总体设计的依据。各种卫星和航天器的发射方式,发射环境条件以及发射地点等因素,是测试发控系统设计的依据。测试发控系统是火箭全部地面设备的中枢。

3. 运载火箭测试发控方法的研究,是形成可靠而精炼的“测试发控系统结构”的基本因素。“系统可靠性与有效性设计”、“电磁兼容设计”、“计算机系统开发技术”、“测试发控专用通道与接口设计”等,均是研制“测试发控系统”不可缺一的技术。

所以,一个优秀的火箭测试发控工程师,必须具备火箭系统总体概念、计算机系统设计、可靠性(电磁兼容)设计、测量技术、程控数字化仪表技术、电路设计、机械结构设计等较全面的基础理论和设计技术。还应具备系统组织、试验技巧、数据分析等方面的技能。

根据国内外运载火箭工程的研究实践证明,测试发控工程的作用,在整个运载火箭的研制过程中的地位,将越来越突出。具体表现在:

1. 从某种意义上讲,它是决定火箭发射成功与否的最后把关。因为它是火箭专家和系统工程师们,在发射场最终诊断火箭性能的工具。如果能诊断出故障隐患,予以排除,发射将成功;如果火箭的故障隐患未查出,便点火发射,必将造成惨痛的后果。随着测试发控系统“第五

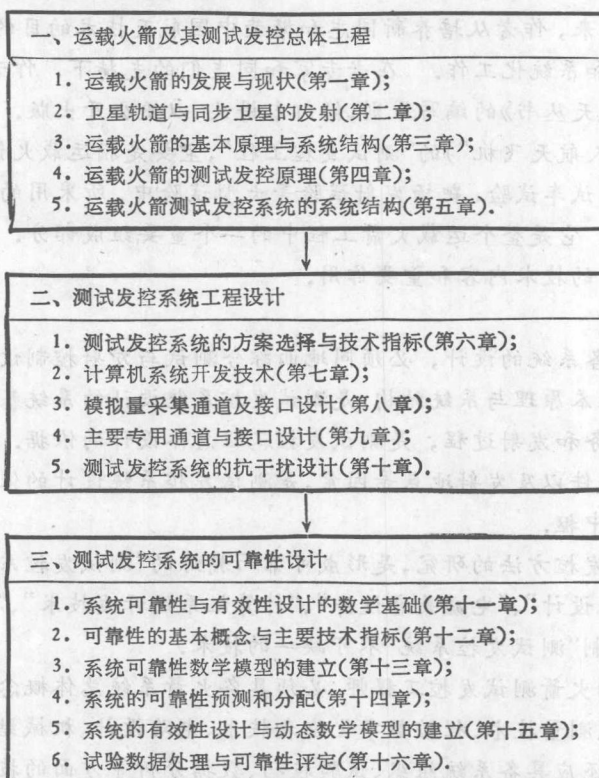
“代计算机”技术的应用,将代替火箭专家们进行复杂的分析和推理工作,并给出火箭能否发射成功的结论。

2. 一个性能优良的测试发控系统,要做到操作简便,人员减少,操作者技术水平无需多高。整个测试发控过程做到完全自动化:试验数据的充分及完善处理;多屏显示与列表打印;故障自寻与故障排除等。为提高火箭质量,缩短发射时间带来突出的效果。

3. 现代计算机通信和计算机网络技术应用于测试发控系统,将使运载火箭的测试、发控、指挥“三位一体化”的面目为之一新,为实现系统高度人工智能化奠定了基础。“火箭高可靠发射专家系统”即可实现。

4. 目前,通过测试发控系统已基本获得了每发火箭从工厂到发射场的全部性能数据和寿命数据,包括每发火箭飞行试验的遥测结果。这为运载火箭改进设计,进一步提高性能,提供了充分依据。

“运载火箭测试发控工程学”是包括火箭测试发控方案、测试发控方法研究,测试发控系统设计,测试发控软件设计,以及可靠性设计,电磁兼容设计,计算机系统开发技术,测量技术在内的一个专门学科。涉及到广泛的技术领域,各技术之间的关系可由下图表示。本书也将按这一技术结构图以三篇十六章进行论述。



“运载火箭测试发控工程”技术结构图

本书在取材上,遵循如下原则:

1. 着重于论述发射大型空间站或高轨道同步卫星的运载火箭,而不论述中小型运载火箭。因为,前者的系统结构和发射技术都是比较复杂的,也是目前国际商用火箭的佼佼者。因此,

它的“测试发控工程”更具有代表性。

2. 着重于基础理论与工程设计方法的结合, 故称“工程学”。在每个基础理论和设计原理论述之后, 都伴有简短的实例。其中, 尤以可靠性设计特别重要。因为, 一个性能很好, 水平很先进的系统, 若没有高可靠的指标, 这个系统也是无用的。可靠性设计涉及到设计工作的各个阶段和领域, 数学问题也比较深。所以, 本书用了较多的篇幅。又由于大型运载火箭的复杂性, 其内外干扰不但功率大, 而且频谱宽。因此, 在部件、整机和系统的各个设计阶段都必须实施“电磁兼容设计”, 否则将会导致系统在实验现场无法工作, 并难以用修补的办法挽回。所以, “电磁兼容设计”是仅次于“可靠性设计”的第二大关键。

3. 着重于论述计算机系统开发技术和各种标准总线的原理与应用。而不过多地论述具体的电路设计和仪器设计。因为集成电路和电子元器件的发展很快, 计算机和仪器硬件体制几乎每五年左右一次更新。这方面的设计知识, 读者可从许多专著和公司产品说明书中找到。

本书内容, 尽管是以运载火箭为对象来论述测试与发控工程设计原理, 但系统分析方法和设计技巧, 对于“现代大型生产自动化系统”的设计, 也是实用的。本书不但可为新参加本专业研制工作的技术人员作为入门教材, 也可供大专院校火箭或自动化专业的师生, 发射场与火箭部队的指战员, 以及从事“工业自动化”设计的技术人员作为专业学习的参考书。

在本书写作过程中, 得到了老一辈专家: 黄纬禄、沈家楠、王汝龙三位研究员的帮助, 他们在百忙中审阅了书稿, 提出了许多宝贵的修改意见, 在此深表敬意! 我所教育组的同志, 第二炮兵工程学院的胡书海副主任及许化龙副教授在本书的编写和出版中给予了支持和帮助, 张长樱同学和冉启欢同学为本书提供和编写了新内容第 8.2.2 和 8.2.3 节; “江门计算机三厂”和“第二炮兵工程学院”为使本书早日出版给予了赞助; 作者在此一并表示感谢。最后, 特别要感谢本书各篇所列参考文献的作者们! 作者引用了他们的基础理论或讲授方法。

多年来, 作者忙于工程设计与试验活动, 理论修养和写作时间有限, 书中错误与不妥之处在所难免, 敬请专家和同学们批评指正。万分感谢。

作者: 冉隆燧

1984 年 11 月 26 日初稿于北京

1987 年 12 月 30 日修定于北京

目 录

第一 篇

运载火箭及其测试发控总体工程引论

第一章 运载火箭的发展与现状	1
1.1 运载火箭的发展初期	1
1.2 中国的运载火箭	2
1.3 美国的运载火箭与航天飞机	6
1.4 苏联的运载火箭	11
1.5 西欧的运载火箭	16
1.6 日本的运载火箭	16
第二章 卫星轨道与同步卫星的发射	20
2.1 人造卫星的轨道与轨道参数	20
2.2 卫星运动微分方程	25
2.3 能量守恒和面积速度守恒定律	26
2.4 卫星的椭圆轨道方程	30
2.5 卫星在轨道上转角与时间的关系	32
2.6 同步卫星的轨道高度与速度	33
2.7 同步卫星发射的最优轨道	36
2.8 国际通信卫星IV的发射方法	40
第三章 运载火箭的基本原理与系统结构	44
3.1 火箭发动机的推力	44
3.2 火箭飞行的理想速度与多级火箭	47
3.3 运载火箭的总体指标	49
3.4 箭体结构及其分离方案	52
3.5 动力系统	60
3.6 控制系统	66
3.7 遥测系统	69
3.8 安全自毁系统	71
3.9 本章结束语	72
第四章 运载火箭的测试发控原理	73
4.1 控制系统的单元测试	73
4.2 制导系统测试	80
4.3 稳定系统测试	85
4.4 电源配电系统测试	88
4.5 控制系统总检查测试	89

4.6 动力系统测试	90	5.3 第二代测试发控系统结构	101
4.7 “阿里安”运载火箭的发射控制过程	91	5.4 第三代测试发控系统结构	103
第五章 运载火箭测试发控系统的系统结构	96	5.5 “阿里安”火箭测试发控系统结构	108
5.1 运载火箭测试发控系统的发展	96	5.6 分布式计算机网络测试发控系统 结构	109
5.2 第一代测试发控系统结构	100		

第 二 篇

测试发控系统工程设计

第六章 测试发控系统的方案选择与技术 指标	121	方案	176
6.1 确定总体方案的因素	121	8.3 A/D 转换器的设计	183
6.2 测试发控系统的地面布置	122	8.4 交流测量与 AC/DC 转换器的误差分 析	198
6.3 中央处理机的选择及技术指标	123	第九章 主要专用通道与接口设计	212
6.4 数据采集子系统的方案选择与技术指 标	127	9.1 信号源通道与接口设计	212
6.5 地面电源的方案选择与技术指标	129	9.2 测时测频通道与接口设计	213
6.6 发射控制组合的方案选择与功能	129	9.3 发射控制线路与自动发控接口设计	220
6.7 显示方案与技术指标	130	9.4 通道与接口的检查程序举例	226
第七章 计算机系统开发技术	131	9.5 本章结束语	228
7.1 中央处理机的硬件组成与指令系 统	131	第十章 测试发控系统的抗干扰设计	229
7.2 中断系统的设计原理	138	10.1 设计中可引用的标准资料介绍	229
7.3 中断过程与主中断程序	142	10.2 抗干扰设计的电路模型与计算方 法	232
7.4 CAMAC 计算机系统标准接口	153	10.3 减小干扰的设计方法	240
7.5 STD 微机标准总线	164	10.4 按信号特征分类来布局系统	241
第八章 模拟量采集通道及接口设计	173	10.5 积分式 A/D 转换器抗常态干扰的计 算方法	243
8.1 引言	173	10.6 共态干扰的抑制方法	245
8.2 模拟量采集通道及其接口的常用			

第 三 篇

测试发控系统的可靠性设计

第十一章 系统可靠性与有效性设计的数学 基础	254	要技术指标	281
11.1 集合与集合运算的有效性	254	12.6 有效度 (Availability)	284
11.2 随机现象、随机事件及其概率	257	第十三章 系统可靠性数学模型的建立	288
11.3 随机变量	261	13.1 建立系统可靠性数学模型的一般 方法	288
第十二章 可靠性的基本概念与主要技术指 标	272	13.2 测试发控系统的可靠性数学模型	292
12.1 可靠性定义及其数量化的必要性	272	第十四章 系统的可靠性预测和分配	295
12.2 可靠性与累积失效分布函数	273	14.1 系统可靠性预测	295
12.3 失效率函数	275	14.2 系统可靠性分配	308
12.4 可靠性寿命特征	279	第十五章 系统的有效性设计与动态数学模 型的建立	315
12.5 维修性 (Maintainability) 及其主		15.1 引言	315

15.2	测试发控系统的有效性设计	315	16.3	性能参数的安全系数与可靠性计 算	350
15.3	研究可维修性系统的数学方法—— 马尔科夫过程	319	16.4	产品可靠性评定的极大似然法点估 计	354
15.4	建立测试发控系统动态数学模型的 途径	323	16.5	产品可靠性评定的区间估计	358
15.5	单部件的可维修系统	324	16.6	运载火箭的射前可靠度下限评 估	369
15.6	可维修的串联系统	330	附录 A	标准正态分布表	373
15.7	可维修的并联系统	335	附录 B	χ^2 分布表	375
15.8	测试发控系统的动态数学模型	341	附录 C	t 分布表	377
第十六章	试验数据处理与可靠性评定	343	附录 D	Γ 函数表	378
16.1	引言	343			
16.2	试验数据的基本统计处理	343			

第一篇

运载火箭及其测试 发控总体工程引论

第一章 运载火箭的发展与现状*

运载火箭(包括“航天飞机”)技术是当代航天技术的核心。航天技术还包括人造卫星、航天发射场、地面测控网和卫星通信地面站等大型系统。运载火箭技术是现代科学技术中发展最快的尖端技术之一,是一个国家技术水平的重要标志,也是一个国家国防力量的标志。运载火箭技术的发展,使人类认识自然、改造人类的物质精神生活产生了一个质的飞跃。

1.1 运载火箭的发展初期^{[1][2]}

中国是世界四大文明古国之一,四大发明(指南针、造纸、印刷术、火药)对世界文明产生了深远的影响。“中国人不仅是火箭的发明者,而且也是首先企图利用固体火箭将人载到空中去的幻想者。”^[1]在宋朝(公元 960~1279),我国就制造了用火药推进的世界上最早的火箭。在明朝(公元 1268~1644),我国还发明了一种叫“一窝蜂”火箭(见图 1.1)^[2],一次能发射 32 支火箭,杀伤力较大。明朝还发明了用于水战的武器叫“火龙出水”(见图 1.2),有龙身、龙头和龙尾。龙体内装有神机火箭数枚,龙体外四周装有 4 个火药筒。发射时,先点燃龙体外的 4 个火药筒,推进“火龙”飞行,继而点燃龙体内数枚火箭再度加速。通过多级火箭联用和“两级”火箭

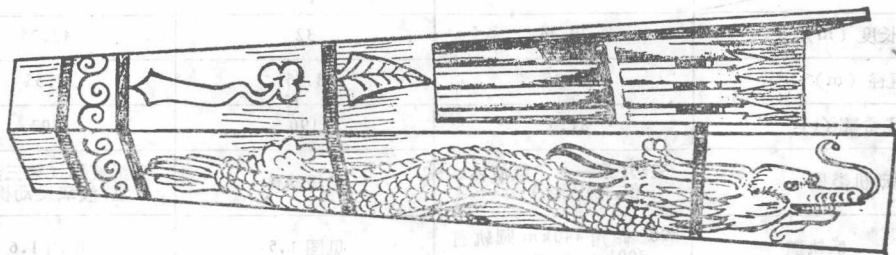


图 1.1 中国古代火箭“一窝蜂”

* 作者注:火箭的发展与现状,取材于 1986 年以前各国公开发表的资料。

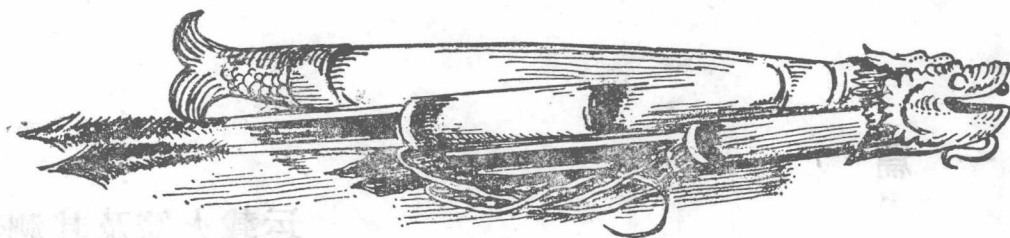


图 1.2 中国古代火箭“火龙出水”

接力，火箭在水面上飞行数里远。我国古代的这种“多级”火箭是世界上最早的多级火箭。在载人火箭试验方面，我国也是最早的。据传，明朝（14 世纪末），有位称万户的学者，用几十支火箭捆绑在椅子后面，自己坐在椅子上，手拿 2 个大风筝，叫人把火箭点燃，使自己飞上天去。万户的试验虽然失败了，但他表现出了惊人的胆略和非凡的预见。为了纪念这位世界上载人火箭飞行的先驱，苏联科学家把月球背面的一个环形山命名为“万户火山口”。13 世纪之后，随着商船的往来和蒙古族的西征，火药火箭技术才逐步传入欧洲，并对后来的西方文明与进步产生了深远的影响。

在 30 年代，德国的火箭技术从原理研究转入工程设计。1942 年 10 月，德国发射成功世界上第一枚弹道式导弹（即 V-2 导弹，射程 260km）。第二次世界大战后，德国战败。美国、苏联从纳粹德国获得了大量的导弹技术资料、实物、设备和一批工程技术人员，很快建立起自己的导弹火箭工程研究、设计部门与制造单位。

1.2 中国的运载火箭^{[2][3]}

新中国的诞生，社会主义制度的建立，为我国科学技术的发展开辟了广阔的道路。在探空火箭、液体燃料火箭、固体燃料火箭、航天运载火箭方面，都取得了举世瞩目的成就。中国已正式宣布“长征一号（CZ-1）”、“长征二号（CZ-2）”和“长征三号（CZ-3）”运载火箭承接国际卫星发射服务，并公布了火箭的性能和基本情况。“长征系列”运载火箭的主要性能和参数如表

表 1.1 长征系列运载火箭主要性能参数表

长征系列		CZ-1	CZ-2	CZ-3
特性				
总长度（m）		29.46	32	43.25
直径（m）		2.25	3.35	3.35
起飞质量（t）		81.5	190	202
发动机类型		三级（第一、二级液体、第三级固体）	二级液体	三级液体（第三级为液氢/液氧发动机）
运载能力	低轨道	70° 倾角 440km 圆轨道 300kg	见图 1.5	见图 1.6
	同步轨道			见图 1.7
投入工作时间(年)		1970	1974	1984

1.1 所示,外形如图 1.3 所示^[3]。从表和图可见,用这一系列运载火箭可以把各种重型人造卫星送入近地轨道、地球同步轨道和太阳同步轨道。运载能力曲线如图 1.4 所示。

长征一号运载火箭是为发射我国第一颗人造卫星“东方红一号”而研制的。它是一枚三级火箭,一、二级采用液体燃料火箭发动机,三级采用固体燃料火箭发动机。起飞质量 81.5t,起飞推力 1020.24kN,箭长 29.46m,最大直径 2.25m。控制系统采用全惯性捷联全补偿方案,

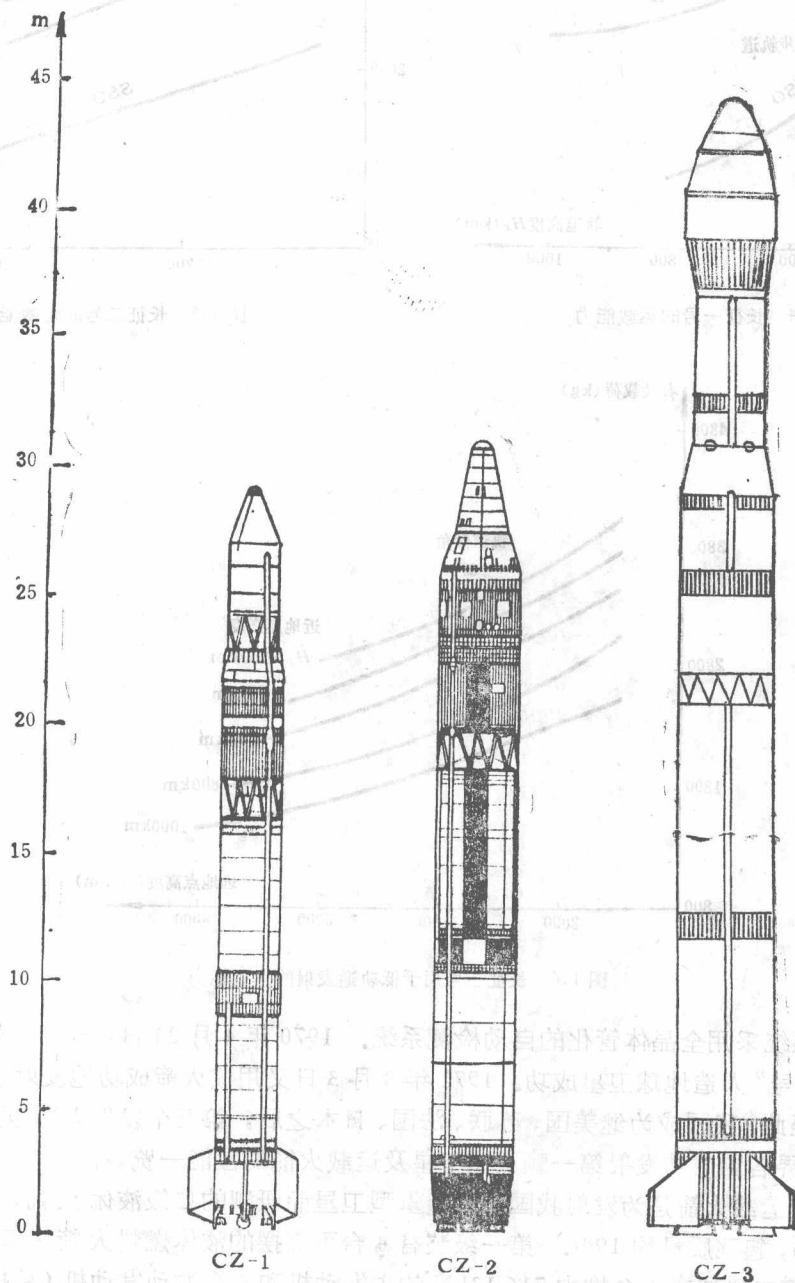


图 1.3 长征系列运载火箭外形图

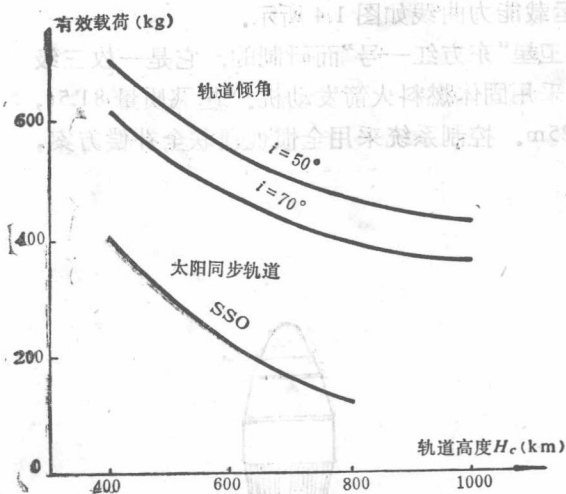


图 1.4 长征一号的运载能力

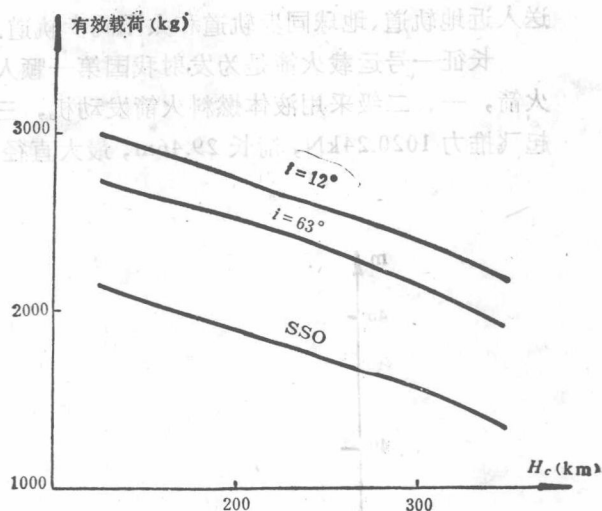


图 1.5 长征二号的运载能力

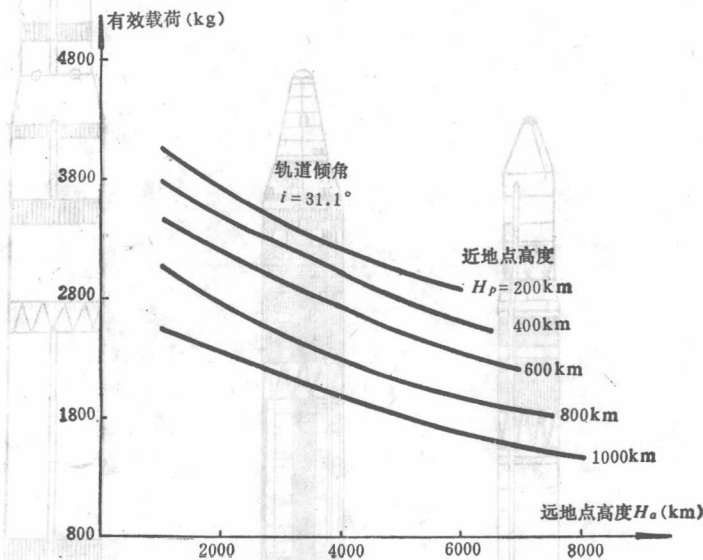


图 1.6 长征三号用于低轨道发射的运载能力

火箭的测试系统采用全晶体管化的自动检测系统。1970年4月24日，长征一号火箭首次发射“东方红一号”人造地球卫星成功。1971年3月3日又用该火箭成功地发射了“实践一号”科学卫星。至此，我国成为继美国、苏联、法国、日本之后，第五个发射人造卫星的国家。表 1.2 示出了世界各国成功发射第一颗人造卫星及运载火箭的性能一览表。

长征二号运载火箭是为发射我国低轨道重型卫星而研制的二级液体火箭，全长 32m，最大直径 3.35m，起飞质量约 190t。第一级装有 4 台可摇摆的液体燃料火箭发动机，总推力 2746.8kN。第二级装有 1 台推力 716.13kN 的主发动机和 4 台游动发动机（总推力 46.1kN），其中 4 台游动发动机作为二级火箭姿态控制用。控制系统采用全惯性平台计算机方案。火箭

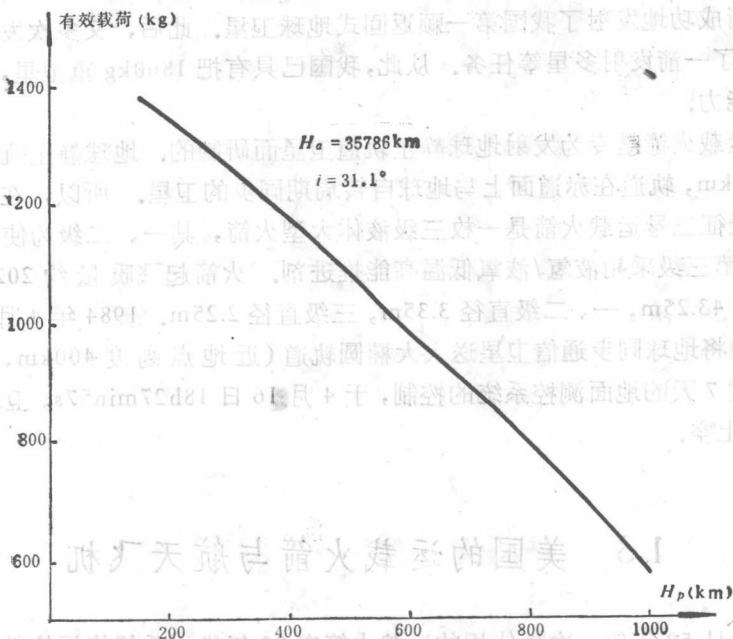


图 1.7 长征三号用于同步转移轨道发射的运载能力

表 1.2 各国发射成功的第一颗卫星及其运载火箭

序 号		1	2	3	4	5	6	7
国 别		苏联	美国	法国	日本	中国	英国	印度
运 载 火 箭	名 称	卫星号	丘辟特 C	钻石 A	兰达 4S	长征一号	黑箭	卫星运载火箭-3 (SLV-3)
	级 数	2	4	3	4	3	3	4
	发动机形式	二级液体	一级液体 三级固体	一级液体 二级固体	四级固体	二级液体 一级固体	二级液体 一级固体	四级固体
	主要参数							
	起飞质量 (t)	267.0	28.5	18.4	9.4	81.5	18.2	17.0
	起飞推力 (kN)	3904	369	274	354	1020	223	542
	总长 (m)	29.17	21.72	18.91	16.86	29.16	13.03	22.8
	最大直径 (m)	10.30 (含翼)	1.78	1.10	0.73	2.25	2.00	1.00
第一颗人造卫星	名 称	人造地球卫星一号	探险者一号	试验卫星 A-1	大隅号	东方红一号	普罗斯帕罗	罗希尼 RS-1
	发射日期(年、月、日)	1957.10.1	1958.2.1	1965.11.26	1970.2.11	1970.4.21	1971.10.28	1980.7.18
	卫星质量 (kg)	83.6	8.2	42.0	9.4	173.0	65.8	40.0
	轨道参数							
	近地点 (km)	228	360	526	339	439	547	300
	远地点 (km)	947	2531	1808	5138	2384	1582	900
	倾角 (°)	65.1	33.4	34.2	31.07	68.5	82.06	45

的地面测试系统采用全晶体管化程控数字仪表的自动检测系统方案。1975年11月26日,长征二号运载火箭成功地发射了我国第一颗返回式地球卫星。此后,又多次发射了返回式地球卫星,并曾实现了一箭发射多星等任务。从此,我国已具有把1800kg重卫星,送入数百公里的高椭圆轨道的能力。

长征三号运载火箭是专为发射地球静止轨道卫星而研制的。地球静止轨道卫星,是距地面高度约36000km,轨道在赤道面上与地球自转周期同步的卫星。所以,在地面观察卫星好象是静止的。长征三号运载火箭是一枚三级液体大型火箭,其一、二级为使用常规推进剂的大型液体火箭,第三级采用液氢/液氧低温高能推进剂。火箭起飞质量约202t,起飞推力为2746.8kN,全长43.25m,一、二级直径3.35m,三级直径2.25m。1984年4月8日,长征三号运载火箭准确地将地球同步通信卫星送入大椭圆轨道(近地点高度400km,远地点高度约36000km),经过7天的地面测控系统的控制,于4月16日18h27min57s,卫星准确地定点于东经125°赤道上空。

1.3 美国的运载火箭与航天飞机

美国正处于从50年代一次性使用的运载火箭向80年代可重复使用的航天飞机和空间运载系统过渡的时期。但由于1986年初,“挑战者号”航天飞机机毁人亡的重大事故,推迟了航天飞机的研制进程,不得不将常规的运载火箭,如“宇宙神/半人马座”、“雷神/德尔它”、“侦察兵”和“大力神”等运载火箭继续改进、生产、使用。所以,美国在发展航天飞机的同时,还在发展常规的运载火箭。

美国常用的几种运载火箭性能如表1.3所示。几种运载火箭外形图如图1.8所示。

“宇宙神”是美国1958年发射第一颗人造卫星的运载火箭。1962年2月,用“宇宙神D”发射了水星座舱,使美国第一个进入载人空间试验。同年,计划用“宇宙神G”(一级半的液氧/煤油为推进剂的“宇宙神”与液氢/液氧为推进剂的“半人马座”结合)计划发射2.3t重的地球同步转移轨道卫星,但是到1964年4月才首次发射,因“半人马座”级故障而失败。“宇宙神G”经加长一级(2m),增加推进剂量,用于发射“国际通信卫星5A”同步卫星。至1985年底的统计,“宇宙神/半人马座”共飞行65次,其中10次失败(有6次为“半人马座”级故障造成的)。今后计划还要继续使用这种火箭。从1974年开始,美国空军将改进“宇宙神”导弹,用于发射低轨道气象卫星。“宇宙神F”已发射完,还有12枚“宇宙神E”要在1989年内发射。从1982年起又制造了“宇宙神H”,它基本上用E型火箭加上F型导弹仪器。H型使用两种不同的固体推进剂上面级,以发射海军的导航卫星和国家海洋局的气象卫星。通用动力公司研制了“宇宙神K”(将G型一级加长2.6m,采用惯性制导,选用固体上面级),从而使同步转移轨道有效载荷由1.28t增加到1.45t。

“大力神”也是美国最早研制的运载火箭。1955年开始研制“大力神I”导弹,1962年首次发射成功,并列入双子座载人飞行计划。1962年研制“大力神III”大型空间运载火箭系统。“大力神IIIB”为“IIIA”的改型,为三级、无线电制导、捆绑大型固体助推器并采用过渡级作为液体火箭的第三级,用以发射同步轨道卫星。“IIIE”型为三级火箭,采用惯性制导,有固体助推器和“半人马座”低温第三级,已在1974~1977年间发射了7颗星际探测器。1977年,马