

导弹与航天丛书

卫星工程系列

通信卫星有效载荷技术

宇航出版社

通信卫星有效载荷技术

主 编 陈道明

副主编 李力田 汪一飞

主编助理 杜树新

作 者 陈道明 汪一飞 李力田 董维芳
樊郁云 陈淑凤 庄渭臣 崔骏业
熊鸿富 向廷华 何贤泽 吴须大
赵明峰 高宏胜 李 弦 陈志远
郭文嘉 宋剑鸣 李本华 赵仁杰
杜庆竹

责任编辑 李之聪

宇航出版社

内 容 简 介

《通信卫星有效载荷技术》是卫星有效载荷技术领域的一本专著。

全书共 11 章,内容包括:概论,有效载荷系统分析与设计,转发器分系统,微波接收机,功率放大器,转发器多工器,转发器控制部件,天线分系统,反射面天线和喇叭天线,馈源和成形波束网络,有效载荷系统测试。

本书内容丰富,其中很多是从研究和工程实践中归纳、综合、提炼并经过飞行验证的研究成果,具有较强的工程实用性,可作为从事卫星有效载荷技术设计、研究、试验的工程技术人员参考书,也可作为高等院校相关专业的教学参考书。

卫星工程系列

通信卫星有效载荷技术

主 编:陈道明

副 主 编:李力田 汪一飞

主编助理:杜树新

责任编辑:李之聪

*

宇航出版社出版发行

北京市和平里滨河路 1 号 邮政编码(100013)

发行部地址:北京市阜成路 8 号(100830)

各地新华书店经销

北京科技印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:11.125 字数:297 千字

2001 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1~1200 册

ISBN 7-80144-416-7/V·044 定价:35.00 元

草
彈
不
抗
天
从
一
書

張
文
華

《导弹与航天丛书》 编辑工作委员会

名誉主任 宋 健 鲍克明

主 任 刘纪原

副 主 任 任新民 孙家栋

委 员 屠守锷 黄纬禄 梁守槃 陈怀瑾
王 卫 权振世 谢昌年 赵厚君
曹中俄 张新侠 高本辉

办 公 室 宋兆武 史宗田 任长卿 孙淑艳

《卫星工程》 系列编辑委员会

主 任 孙家栋

副 主 任 戚发轫 杨嘉墀 屠善澄
徐福祥 侯深渊(常务副主任)

委 员 林华宝 李祖洪 马兴瑞 邹广瑞
陈宜元 范本尧 朱毅麟 马世俊
李旺奎 黄本诚 陆道中 高慎斌
王金堂 魏钟铨

办 公 室 陆道中 杨树仁 宋惠兰 居自强
樊 涛

总 序

导弹与航天技术,是现代科学技术中发展最快的高新技术之一,导弹武器的出现,使军事思想和作战方式发生了重大变革:航天技术,把人类活动的领域扩展到太空,使人类认识自然和利用外层空间的能力发生了质的飞跃。

导弹与航天技术是一项复杂的系统工程,它应用了现代科学技术众多领域的最新成就,是科学技术与国家基础工业紧密结合的产物,是一个国家科学技术水平和工业水平的重要标志。

中国人民经过30年的努力,依靠自己的力量,勇于开拓,坚韧不拔,在经济和科学技术比较落后的条件下,走出了自己发展导弹和航天技术的道路,造就了一支能打硬仗的技术队伍,建立了具有相当规模和水平的导弹和航天工业体系,形成了遍布全国的科研、生产协作网。这是党中央独立自主、自力更生方针的伟大胜利,是全国各地区、各部门大力协同,组织社会主义大协作的丰硕成果。

30年来,我国已有多种型号经历了研究、设计、生产、试验、装备、使用的全过程,装备了各种射程的战略和战术弹道导弹、各种类型的防空导弹和飞航导弹,用多种运载火箭发射了不同轨道和用途的人造卫星,这些都是我国导弹和航天工业的物质成果。这些重大成果对增强我国的国防实力,促进经济发展,带动科学进步,发挥了重要的作用。

我们不仅取得了丰硕的物质成果,而且积累了宝贵的实践经验,为了发展中国的导弹和航天事业,多少人投入毕生的精力,贡献了宝贵的智慧,付出了辛勤的劳动,备尝了失败的苦痛和成功的

欢欣. 这些付出高昂代价取得的实际经验, 难以只从书本上学来, 也不能从外国买来, 只能靠自己在实践中总结, 为了加速我国导弹和航天事业的发展, 需要全面、系统地归纳以往研制过程中建立和应用的设计理论, 总结其工程经验, 用以指导今后的研制实践, 并传授给导弹和航天事业一代又一代新生力量, 使他们能在较高的起点上开始工作. 为此, 我们组织多年来从事导弹、人造卫星和运载火箭研制工作的专家和工程技术人员, 编著了这套《导弹与航天丛书》, 它以工程应用为主, 力求体现工程的系统性、完整性和实用性, 是我国导弹和航天技术队伍 30 年心血凝聚的精神成果, 是多种专业技术工作者通力合作的产物.

作为一项系统工程, 要求参加导弹和航天工程研制工作的各类技术人员, 不仅精通自己的专业, 而且充分理解相关专业的要求和特点, 在统一的总体目标下, 相互协调、密切配合地进行工作, 因此, 本《丛书》也是导弹和航天技术队伍各专业间以及和其他有关人员间进行技术交流的读物.

本《丛书》按液体弹道导弹与运载火箭(I)、固体弹道导弹(II)、防空导弹(III)、飞航导弹(IV)、卫星工程(V)等 5 个系列编排. 各系列共用的固体推进技术(VI)和空气动力学(VII)两种专业编为专著, 其他共用专业则纳入一个系列, 并供其他系列选用.

本《丛书》的各级编委会、各卷册的主编、副主编及各章节的作者是一个庞大的科学技术人员群体, 为了编写好这部大型丛书, 编著人员在组织和技术工作上都付出了巨大劳动. 期望这套《丛书》能帮助人们加深对于导弹和航天技术的了解, 能促进中国的导弹和航天事业向更高的目标迈进.

《导弹与航天丛书》

编辑工作委员会

1987 年 8 月

《导弹与航天丛书》

卫星工程系列

序 言

卫星工程系列丛书是《导弹与航天丛书》的一个系列。

我国坚持自力更生、艰苦奋斗的方针，在人造卫星的研制工作中取得了举世瞩目的成就。1970年4月24日，中国第一颗人造地球卫星——“东方红一号”发射成功，卫星运行正常，跨入了空间大国的行列。至今，我国成功地研制和发射了30颗不同类型的人造卫星，其中包括当代最重要的三类应用卫星：高轨道的静止通信卫星、低轨道的返回式卫星和中轨道的遥感卫星。这些卫星应用于国民经济、国防建设、文化教育和科学研究的很多部门，取得了显著的社会和经济效益。

我国在研制人造卫星的工作中，开展了创造性的科研活动，积累了丰富的实践经验，形成了学科门类齐全的卫星工程知识体系。我们组织众多的工程技术专家编写本系列丛书的目的，在于将这些实践经验和理论知识进一步系统化和理论化，并适当地吸收国外先进的科学技术成果，使其形成一套航天技术专著，用于指导今后的卫星研制工作。本系列丛书共有19种技术专著，包括卫星工程概论、卫星分系统技术和专业技术，以及探空火箭设计，共计29分册。

本系列丛书的内容以人造卫星的研制技术为主，着重论述卫星工程技术方面的问题，并简要论及了许多相关学科的问题，使其具有完整性、系统性。某些分册涉及到载人飞船、空间站等其他类

航天器的工程技术问题,其中论述内容较多的两册,书名冠以航天器.本系列各种分册在内容上具有相对的独立性和系统性.

编纂卫星工程系列丛书尚无经验可循,我们的工作首次尝试,由于编著人员的知识水平和实践经验有限,书中不当之处在所难免,欢迎广大读者批评指正.

本系列丛书的编纂工作,得到很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持,在此致以衷心的感谢.

《导弹与航天丛书》

卫星工程系列编辑委员会

1991年6月

前 言

《通信卫星有效载荷技术》是《导弹与航天丛书》卫星工程系列中关于通信卫星的星载通信系统,即通信卫星有效载荷的技术专著。它是中国空间技术研究院西安空间无线电技术研究所多位长期从事通信卫星研制工作的专家对30多年工程实践的经验总结。通信卫星的有效载荷通常按其物理和工程特点分为天线和转发器两大部分。本书对系统和这两个分系统分别进行了论述。书中较全面地论述了它们及其各主要组成部分的功能、原理、设计原则和工程实现诸方面,以期能对今后的相关领域工作做出借鉴和参考。所以,本书适合于从事卫星通信、通信卫星、特别是通信卫星有效载荷工作的工程技术、研究人员阅读,也可作为高等院校有关专业学生、研究生的学习参考。

全书分11章,第一章对卫星通信和通信卫星等方面的背景知识作了概括的介绍;第二章讨论整个有效载荷的系统问题及系统中各部分共同的问题;第三至七章和第八至十章分别论述转发器和天线两个分系统,先全面介绍分系统及其测试,然后分章逐个介绍该分系统中的各主要部分;第十一章回过来介绍系统的测试。读者可根据自己工作或感兴趣的具体领域进行阅读。

在编写过程中,曾维民、张伟、梁书泉、周宇昌、蔺焕英、蔡菁等同志给予了大力支持和帮助,马永源同志曾对前期的编写工作做了重要的贡献;同时,在整个审稿工作中,国内一些通信技术的专家给予了宝贵的指导;对此谨向他们表示衷心的感谢。

由于本书编写时期在内容阶段上跨越较大,加上编著者水平和能力有限,错误和不足在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第一章 概论	陈道明 汪一飞
1.1 卫星通信的概念与系统组成	(1)
1.2 地位与作用	(6)
1.2.1 卫星通信的地位	(6)
1.2.2 卫星通信的作用与影响	(7)
1.3 特点与应用	(8)
1.3.1 卫星通信的特点	(8)
1.3.2 卫星通信的应用	(9)
1.4 简史与展望	(12)
1.4.1 卫星通信简史	(12)
1.4.2 卫星通信发展展望	(18)
第二章 有效载荷系统分析与设计	李力田 董维芳
2.1 概述	(24)
2.2 有效载荷的性能参数	(26)
2.2.1 与通信容量有关的参数	(27)
2.2.2 与通信质量有关的参数	(32)
2.2.3 寿命、可靠性和空间环境	(37)
2.2.4 电磁兼容性	(38)
2.2.5 操作控制与状态监视要求	(41)
2.2.6 与卫星平台的接口要求	(41)
2.3 有效载荷的系统设计原则	(45)
2.3.1 一般原则	(45)
2.3.2 主要设计步骤和方法	(46)
2.3.3 产品保障	(63)

第三章 转发器分系统 李力田 樊郁云 陈淑凤等

3.1 概述	(66)
3.1.1 转发器的作用	(66)
3.1.2 转发器的分类	(67)
3.1.3 转发器的组成	(69)
3.2 转发器设计的基本原则	(75)
3.3 转发器的主要技术性能与要求	(76)
3.4 转发器的接口关系	(85)
3.4.1 转发器分系统内部接口	(85)
3.4.2 转发器分系统外部接口	(86)
3.5 转发器的测试	(89)
3.5.1 测试项目	(89)
3.5.2 测试设施和设备	(89)
3.5.3 测试方法要点	(91)

第四章 微波接收机 崔骏业

4.1 星载微波接收机发展概况	(95)
4.2 微波接收机组成和性能要求	(99)
4.2.1 微波接收机组成	(99)
4.2.2 微波接收机的性能要求	(100)
4.3 低噪声放大和高增益放大	(103)
4.3.1 FET 参数及放大器性能的基本关系 ..	(103)
4.3.2 增益温度补偿	(106)
4.4 变频	(106)
4.4.1 混频器的非线性器件	(106)
4.4.2 混频器分析	(108)
4.5 本振	(109)
4.5.1 倍频链型微波源	(109)
4.5.2 锁相倍频本振	(111)
4.6 星载实用微波接收机	(111)

第五章 功率放大器 熊鸿富 何贤泽 向廷华

5.1 概述	(115)
5.2 行波管功率放大器	(116)

5.2.1	行波管	(116)
5.2.2	行波管放大器电源	(123)
5.3	固态功率放大器	(133)
5.3.1	晶体管放大器	(135)
5.3.2	固态放大器电源	(152)
第六章 转发器多工器		吴须大
6.1	概述	(161)
6.2	输入多工器	(162)
6.2.1	多腔多耦合结构滤波器的综合	(163)
6.2.2	多腔多耦合结构滤波器耦合矩阵的计算机优化	(167)
6.2.3	外均衡通道滤波器	(168)
6.2.4	自均衡通道滤波器	(171)
6.3	输出多工器	(173)
6.3.1	波导多工器的概述	(174)
6.3.2	模匹配法在波导多工器设计中的应用	(176)
6.3.3	波导多工器优化设计	(181)
6.3.4	中国C频段10通道邻接型波导多工器实例介绍	(184)
6.3.5	谐波滤波器	(186)
第七章 转发器控制部件		高宏胜 赵明峰 李 弦
7.1	概述	(190)
7.2	步进增益调节	(191)
7.2.1	步进增益调节的作用	(191)
7.2.2	步进增益调节的分类	(192)
7.2.3	步进增益调节的原理	(193)
7.2.4	步进增益调节的功能	(195)
7.3	开关	(195)
7.3.1	机械同轴开关	(196)
7.3.2	机械波导开关	(196)
7.3.3	开关网络	(197)

7.3.4	开关矩阵	(198)
7.4	遥测遥控数据预处理	(198)
7.4.1	遥测远置单元	(199)
7.4.2	遥控远置单元	(201)
7.4.3	转发器地面检测设备	(202)
第八章 天线分系统 郭文嘉 陈志远 宋剑鸣等		
8.1	概述	(204)
8.2	通信卫星上通信天线的分类	(205)
8.3	通信卫星上通信天线的基本特性和要求	(207)
8.3.1	对指定服务区的覆盖特性	(207)
8.3.2	极化特性	(208)
8.3.3	极化鉴别(极化隔离)	(209)
8.3.4	天线波束指向精度	(210)
8.4	卫星和服务区的几何关系	(210)
8.5	卫星姿态控制误差对波束覆盖的影响	(214)
8.6	设计方法和过程	(216)
8.7	天线系统的测量、调整和校准	(218)
第九章 反射面天线和喇叭天线 陈志远 郭文嘉		
9.1	概述	(222)
9.2	反射面天线	(222)
9.2.1	抛物面天线的几何参数关系	(222)
9.2.2	抛物反射面和口径面天线的分析方法	(224)
9.2.3	偏置反射器分析	(230)
9.3	喇叭天线	(249)
9.3.1	矩形口径喇叭	(250)
9.3.2	圆口径喇叭	(254)
9.3.3	低交叉极化覆球波束喇叭	(258)
9.3.4	圆锥波纹喇叭	(263)
9.4	赋形波束(成形波束)天线	(268)

第十章 馈源和成形波束网络	郭文嘉 陈志远等
10.1 概述	(271)
10.2 馈源	(271)
10.2.1 基模角锥喇叭和圆锥喇叭馈源	(272)
10.2.2 波纹喇叭馈源	(273)
10.3 馈线部件	(274)
10.3.1 圆极化器	(274)
10.3.2 多信道旋转关节	(281)
10.3.3 收发双工器	(284)
10.3.4 正交模耦合器(OMT)	(285)
10.3.5 奇偶合成器	(287)
10.3.6 矩形同轴线微波部件和波束形成网络	(289)
10.4 东方红二号和东方红二号甲卫星天线馈 电系统	(291)
10.5 东方红三号卫星通信天线介绍	(297)
第十一章 有效载荷系统测试	李力田 李本华
11.1 概述	(305)
11.2 系统地面电测试	(307)
11.2.1 测试配置	(308)
11.2.2 测试原理	(309)
11.2.3 测试内容和方法	(312)
11.2.4 测试误差	(315)
11.3 在轨测试	(317)
11.3.1 在轨测试的目的	(317)
11.3.2 测试项目的确定	(320)
11.3.3 测试设备	(323)
11.3.4 测量方法	(327)
11.3.5 有效载荷测试与卫星测控的配合	(331)

第一章

概 论

陈道明 汪一飞

如果以 1960 年 8 月发射的“回声一号”卫星实现了电话和电视中继,作为卫星通信纪元开始的话,这一人类新通信手段发展至今,已经历了 40 年.目前有 200 多颗通信卫星、近三四千台转发器在轨工作.卫星通信已使世界通信发生了巨大的变革.

在此期间,卫星通信从试验性阶段迅速转入成熟实用和商业化阶段,其业务方面则从民用到军用,从传电视、电话到传送数据和综合业务数字网业务,从固定通信到移动通信,从模拟通信到数字通信迅速发展.卫星通信的发展对社会进步产生了巨大的影响;卫星通信使整个世界变成了一个“地球村”.卫星通信可以向世界各地提供种类繁多的通信业务,在异常情况下(如发生自然灾害或战争情况下)更显出其巨大的优越性.目前卫星通信已深入到人们的日常生活,并成为人类活动不可缺少的部分.特别是在当今的信息社会,卫星通信面临着更大的发展机遇和挑战,它已成为综合国力的一个标志.

1.1 卫星通信的概念与系统组成

(1) 卫星通信的概念

卫星通信是在地球上,包括地面、水面和大气层中的无线电通