

卫星通信 手册

原著〔美〕 埃马努尔·夫顿纳基斯

张春森 周宏廷 等译

张世箕 审校

成都电讯工程学院出版社

内 容 提 要

本书根据1984年美国 McGraw-Hill Book Company 出版的 Emanuel Pthenakis著“Manual of satellite communications”一书译出。

本书共14章, 1~4章及附录E阐述了卫星通信的发展, 卫星通信系统的参数及设计准则, 通信卫星轨道、发射以及卫星内各组成部分的设计原理。5~7章介绍通信卫星上的转发器、地面站、地面中继线路以及空间通信接力线路的设计思想。8~12章扼要总结卫星通信系统中直接应用的线性系统与信号、随机过程与噪声、模拟调制与数字通信、编码及纠错、天线与传播等基本理论。13章分析数字基带信号传输中的畸变。14章阐述卫星通信中语音、图象及数据等基带信号的多路传输方式。附录A、B、C、D提供各章中涉及到的基本理论所用的数学工具的摘要, 以帮助读者对基本理论的理解。

本书介绍的是美国的最新技术, 特别适宜从事卫星通信方面的工程技术人员阅读, 对于大专院校有关专业师生亦有参考价值, 也可作为技术培训班的教材。

卫星通信手册

原著 [美] 埃马努尔·夫顿纳基斯

Manual of satellite communications

Emanuel Pthenakis

张椿森 周宏廷等译

张世箕审校

*

成都电讯工程学院出版社出版

四川日报印刷厂印刷

四川省新华书店发行

开本 850×1168 1/32 印张 12.625 字数 311千字

版次 1987年3月第一版 印次 1987年3月第一次印刷

印数 1—5,000册

中国标准书号: ISBN 7—81016—001—X/TN·2

统一书号: 15452·16 定价 3.40元

译者的话

时至今日，卫星通信已在各个领域起着关键性的作用——从全球战略防御一直到奥林匹克运动会的现场广播。对于这种日益显得重要的系统，本书简明扼要而又相当全面地提供了有关的理论和设计的实用知识。本书的主要内容，在序以及目录中已可一目了然，于此不赘。

这里只补充说明一点。本书强调了整体通信服务，自始至终都贯串着端对端通信服务是卫星通信系统应该作的头等重要的考虑，这是卫星通信系统的主要功能，而不仅仅是作为一种空间接力站。因此，本书内容考虑比较全面，不仅限于卫星上的转发器，还包括地面站和地面中继线路；不仅阐述了卫星的轨道运行，也说明了卫星的发射过程；不单只讨论技术问题，也涉及通信质量和代价的估计。本书从介绍卫星通信系统的历史及有关条例开篇，然后阐明评价一个系统各主要部分所依据的判据，解释在设计时可以怎样权衡各种系统参数并从中求得折衷。书中为了节省篇幅并照顾中等水平的读者，避免采用严格的数学方法，但对于重要的原理和关系则仍给出了明确的数学公式，因而并不会有益于问题和结论的严格和准确。本书对于涉及到的一些基本通信理论，如线性系统和信号，随机过程和噪声，模拟调制和数字系统，编码与纠错，天线与传播等也都有所阐述，份量可谓恰到好处。书末还有几个附录，扼要介绍了若干必要的数学工具，如傅里叶变换和傅氏分析、希尔伯特变换和预包络、矢量分析与矩阵等，可补读者的遗忘。

最后，关于原书作者也简单说几句。原书作者埃马努尔·夫

顿纳基斯 (Emanuel Fthenakis)，曾先后在贝尔实验室和通用电气公司太空部（作为工程方面的领导），从事太空技术发展中的先驱工作，1962~1969年间，他创立、组织并领导了飞哥-福特公司的太空部，其后又在美国卫星公司完成了同样的任务。在两个机构中，他都深深卷入了通信卫星的发展工作。他目前是仙童工业公司的高级副总裁，负责空间、通信和电子方面的工作。1982年他因其“在通过卫星进行数字通信方面富有想象力的开拓性工作”而被美国东部会议 (EASCON) 授予“当年名人”称号。同年，被美国总统里根任命为国家安全远距离通信咨询委员会成员。这段时间，他还在马里兰大学任教，对一年级研究生讲授空间和通信技术的课程。这本书就是他在授课的讲稿的基础上写成的，目的在于供给从事卫星通信工作的工程技术人员阅读。

参加本书翻译的有张世箕（序和第12章）；张椿森（第1、2、3、4、11章）；周宏廷（第5、14章）；王永康（第6、7、8章）；郑家祥（第9、13章）；曾廷英（第10章和附录）。全书由张世箕教授审校。杨国雄教授对译稿提出了宝贵意见，谨表衷心感谢。

由于译者水平有限，译稿中的错误或不妥之处，请读者指正。

译者

1986年9月于成都

序

一个良好而可靠的卫星通信系统的设计，对于设计者提出了非同小可的挑战。可资用的信号功率很弱，通带有限，非线性工作，相邻信道紧靠，价格高昂，重量有严格限制，不能接近进行维修，这些只不过是所遇到的技术问题中的一部分。来源于政府条例和国家主义利益的一些约束，更进一步使系统设计者的任务复杂化。不过，幸而革新精神克服了这些复杂的因素，终于达成以有竞争力的价格把太空通信时代带给了办公室、计算机房、或用户的电视机。

工程师们，尤其是新毕业的大学生们，在致力于使他们的一般学术训练来适应卫星通信这个新领域时，发觉必须学习一些额外的专门化课程。本书的材料，其基础是我在为一年级研究生课程中讲授这样一门课所用的讲稿。课程是为一些工程师而准备的，他们在卫星通信工业中刚刚开始其生涯，因而在这一领域内只有少许或毫无实际经验。在对这些听众讲课时，我发现有必要加进某些网络基本原理和通信理论的材料，这些都是在卫星通信系统的设计中广泛应用到的。由于已经有好些卓越的参考书专门论述这些材料所包含的各基础方面的一个或多个论题，所以我并不企图以严格的数学严谨性来处理这些论题。此外，由于一个学期中要涉及的论题之多姿多样，所以在某些情况中阐述的深度也应有所限制。

由于我参加了好几个专门从事卫星通信的技术组织，所以这份讲义可以改编来给一群人数广大得多的实习职业工程师之用这一点就变得很显然了。许多同事都鼓励我出版这份讲义，结果就

写成了这本书。下面对本书内容逐章作一简介。

第一章总结了1962~1982年期间卫星通信系统的发展。着重点是在于一些美国系统以及通过卫星来作商业通信的演变过程，其中还包括若干条例性的方面。第二章的本质是描述性的，并使读者熟悉一个完整系统各关键要素（包括成本方面的要素）的术语及其功能。这一章中还阐述了卫星通信的某些独特的特性。

第三章是关于卫星的轨道和某些典型的发射顺序，目的是使读者熟悉各种轨道参数的术语和基本关系。航天器，被看作一个设计来携带一个通信转发站的平台，则包含在第四章中，这一章的主要目的，仍然是使读者熟悉术语，以及影响平台主要功能（即是装载一台长命通信转发器）的各种关键参数。

第五章讨论通信转发器，并对双口网络理论中所用术语下定义，这有助于对转发器低噪声前端部分作出表征。既然噪声是个关键问题，所以也包括了关于噪声源的基本阐述。最后，讨论了功率放大器的非线性特性，其中包括互调问题的初步说明。同样的处理办法也用于第六章，这一章讨论通信地面站。

第七章展示了空间接力线路方程。

第八~十二章审视了可直接用于卫星通信的一些通信系统理论基础。附录B、C和D则扼要地给出这几章所用的一些数学工具。

第十三章的意图是想更好地理解一些事关重大的传输质量降级。

最后，第十四章讲述话音、图象和数据信道等的特性。这一章处理基带信号，以及用来设计卫星通信网络的一些技术。

通过卫星进行通信的这个领域仍在发展之中。在这方面，新技术和新应用都是强大的推动力。此外，每天都冒出另外一些先进的通信概念，这对于在经济方面的不断改善产生了压力。因此，还有很大的必要继续革新和改进；同时，在卫星通信领域工

作的工程师也大有用武之地。

许多同事和伙伴在准备这本书时曾惠予协助。他们的贡献,从在某些理论基础上的协助,直到对素材的建议和劝告,提供插图,以及校阅稿件。

对于一切有所贡献的诸位难以提名道姓一一致谢,不过对于他们所给我的帮助我还是要在这一表示衷心的感谢。特别是要感谢我在仙童空间和电子公司以及美国卫星联合公司的同事们,他们作出了物质上的贡献,促成了本书的创作。我也感谢玛利·肖在组织、生产和校对稿件方面的珍贵协助。

埃马努尔·夫顿纳基斯

目 录

第一章 通信卫星发展的头二十年 (1962—1982)

- 1-1 原始系统..... (1)
- 1-2 美国国内第二代通信能力..... (5)
- 1-3 早期的国际系统、地区系统和外国系统..... (10)
- 1-4 美国在法律和条例方面的演变..... (12)
- 1-5 卫星服务授权的管制..... (15)

第二章 系统的描述、部署和成本

- 2-1 空间段和发射的考虑..... (20)
- 2-2 地面段..... (25)
- 2-3 特有的优点和问题..... (27)
- 2-4 系统和设备的经济考虑..... (30)

第三章 卫星轨道、发射顺序与进入站位

- 3-1 卫星轨道..... (35)
- 3-2 发射顺序..... (42)
- 3-3 站位保持: 轨道几何学..... (46)

第四章 通信卫星

- 4-1 稳定..... (51)
- 4-2 电源..... (71)
- 4-3 第二级推进器..... (76)
- 4-4 卫星天线..... (77)
- 4-5 遥测、跟踪与指令..... (79)
- 4-6 卫星系统: 总的考虑..... (81)

第五章 星载通信系统

5 - 1	关于通信频率和带宽的考虑.....	(86)
5 - 2	极化和频率复用.....	(87)
5 - 3	转发器和中继站的信道划分.....	(89)
5 - 4	功率放大器和非线性.....	(91)
5 - 5	接收机及噪声的考虑.....	(97)
5 - 6	性能准则.....	(110)

第六章 地面站和地面通信线路

6 - 1	天线.....	(113)
6 - 2	低噪声接收机：系统噪声温度.....	(116)
6 - 3	凌日中断.....	(122)
6 - 4	大功率放大器.....	(122)
6 - 5	地面站支持系统和电子设备.....	(123)
6 - 6	地面中继线路和分配系统.....	(123)
6 - 7	传输系统中的信号和噪声电平.....	(125)

第七章 空间通信中继线路

7 - 1	空间中继线路的几何结构.....	(127)
7 - 2	卫星轨道位置.....	(130)
7 - 3	卫星上行中继线路.....	(130)
7 - 4	卫星下行中继线路.....	(132)
7 - 5	总的空间中继线路.....	(133)
7 - 6	一般中继方程.....	(135)
7 - 7	干扰源.....	(135)

第八章 线性系统和信号：基本原理概述

8 - 1	双口网络.....	(141)
8 - 2	窄带信号.....	(150)
8 - 3	带通系统.....	(155)
8 - 4	信号的相关：能量和功率密度.....	(161)

第九章 随机过程与噪声

9-1	随机过程.....	(167)
9-2	窄带噪声.....	(178)
9-3	噪声的表示法.....	(185)
第十章 模拟调制		
10-1	定义.....	(194)
10-2	调幅.....	(195)
10-3	角调制.....	(205)
第十一章 数字通信		
11-1	取样原理.....	(224)
11-2	脉冲幅度调制.....	(230)
11-3	脉冲编码调制.....	(232)
11-4	脉冲时间调制.....	(238)
11-5	δ 调制.....	(239)
11-6	数字信号传输.....	(239)
11-7	数字信号的检测.....	(243)
11-8	检测过程中的统计判决.....	(251)
11-9	数字信号传输中的相干检测.....	(258)
11-10	数字信号传输中的非相干检测.....	(263)
11-11	数字系统的性能.....	(263)
第十二章 编码和前向纠错		
12-1	理论信道容量.....	(268)
12-2	编码概念.....	(270)
12-3	有纠错的通信信道.....	(271)
12-4	分组码.....	(281)
12-5	循环码.....	(287)
12-6	最小汉明距离: 汉明码.....	(291)
12-7	卷积码.....	(293)
12-8	基本线性开关电路.....	(294)

12-9	译码技术和纠错码的性能.....	(296)
------	------------------	-------

第十三章 数字基带信号传输

13-1	非线性.....	(306)
13-2	码间干扰.....	(314)

第十四章 通信网与系统

14-1	多路复用.....	(322)
14-2	卫星的多址方式.....	(326)
14-3	频分多址.....	(327)
14-4	单路单载波.....	(333)
14-5	时分多址.....	(334)
14-6	码分多址.....	(338)
14-7	可变地址按需分配.....	(339)
14-8	多址技术的比较.....	(339)
14-9	多路话音.....	(342)
14-10	FM-FDMA电视信道.....	(345)
14-11	数字数据信道.....	(346)

附录

A	太阳相对于一个地球-卫星飞行体的视在运动.....	(351)
B	傅氏分析概要.....	(359)
C	希尔伯特变换.....	(372)
D	场、矢量及矩阵表示法.....	(376)
E	1962年到1982年以来所部署的主要系统的特性.....	(384)

第一章 通信卫星发展的头二十年

(1962—1982)

在1960年到1980年这二十年中，全球卫星通信能力，已惊人地发展成为各种运行通信网的一个主要部分。同时，管理通信工业的法令和条例也被革新，以适应这种新的技术能力。

1-1 原始系统

美国为了发展卫星通信能力所作的最早的一系列重大努力应回溯到五十年代末期。当时，美国国防部着手进行许多计划，例如“发射信使”计划（Project Courier），该计划最终导致初始防御通信卫星计划（IDCSP）。IDCSP卫星由美国空军发射并于1966年投入使用。美国国防通信局（DCA）曾把这个系统用于战略通信。1982年研制了第三代国防卫星通信系统（DSCS-Ⅲ），并已投入使用。

与此同时，美国国家航空和宇宙航行局（NASA）也着手进行若干实验卫星计划，例如，中继（Relay）与同步通信卫星（Syncom）成为第一个运行的商业通信卫星。晨鸟（Early-Bird）则是国际商业通信卫星组织（Intelsat）于1965年发射的，紧接着又于1966年发射了国际通信卫星Ⅱ（IntelsatⅡ），利用这个系统提供横跨大洋的国际通信。国际商业通信卫星组织，是一个包括美、英、法、德等许多西方国家的财团，该组织1982年又研制出了它的第五代通信卫星并投入使用。

大约在同一时期，苏联也有几个通信卫星投入使用，闪电（Molniya）卫星就是在1965年发射并投入使用的。

虽然国际商业通信卫星组织提供了商用的卫星通信服务，然而财团的所有成员都是由政府控制的实体，所以并不代表真正的商业竞争冒险。美国在自由市场压力下运行并以冒险的资金作为经费的第一个商业卫星通信系统是在1974年投入使用的。联邦通信委员会（FCC）1971年接受了美国国内各种卫星通信系统的申请。根据联邦通信委员会所采取的有限“开放天空”政策，1974年有三个国内通信行业在几个月之内相继开始工作：美国卫星公司——仙童工业公司的一个分支；美国无线电公司（RCA）的子公司美国通信公司（Americom）；西部联合电报公司。起初，这三个经营者都使用12个转发器，并靠自旋稳定的卫星西星Ⅰ和西星Ⅱ（WestarⅠ和Ⅱ）作为它们的空间通信段。前一年，加拿大曾购买了美国制造并发射的安尼克卫星（Anik），并通过签订的特殊协议把安尼克卫星内的转发器租给美国国内通信业使用。1976年美国RCA通信公司发射了具有24个转发器的三轴稳定的通信卫星Ⅰ（SatcomⅠ），这就是后来发射的一系列同类卫星中的第一个。美国电话电报公司（AT&T）以及通用电话与电子公司（GTE）共用一个空间通信段，即通信卫星Ⅰ和Ⅱ（ComsatⅠ和Ⅱ），这也是1976年发射的。美国国内第六个通信公司是卫星商务系统公司（SBS），这是由IBM公司、Comsat公司以及Aetna保险公司合股创建的，该公司于1981年发射了第一个卫星，发射不久即开始服务。最后，美国卫星公司获得了西星-Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ的通信空间段所有权的20%。表1-1列出了美国国内六个通信业公司。

直到SBS的通信空间段发射之前，除了某些实验性系统之外，所有商业系统都工作在C波段（4GHz/6GHz）。SBS开辟了K_u频段（11GHz/14GHz）并使之运行。Westar、Coms-

表 1-1 美国国内卫星通信商行

运行日期	经营者	通信空间段	频率
1974	美国卫星公司	Westar-I, II, III	C波段
1974	西方联合电报公司		
1974	RCA-Americom	Satcom(1976) I, II, III, R, IV	C波段
1976	AT & T	Comstar D-1, D-2, D-3, D-4	C波段
1976	GTE		
1981	SBS	SBS F-1, F-2	Ku波段

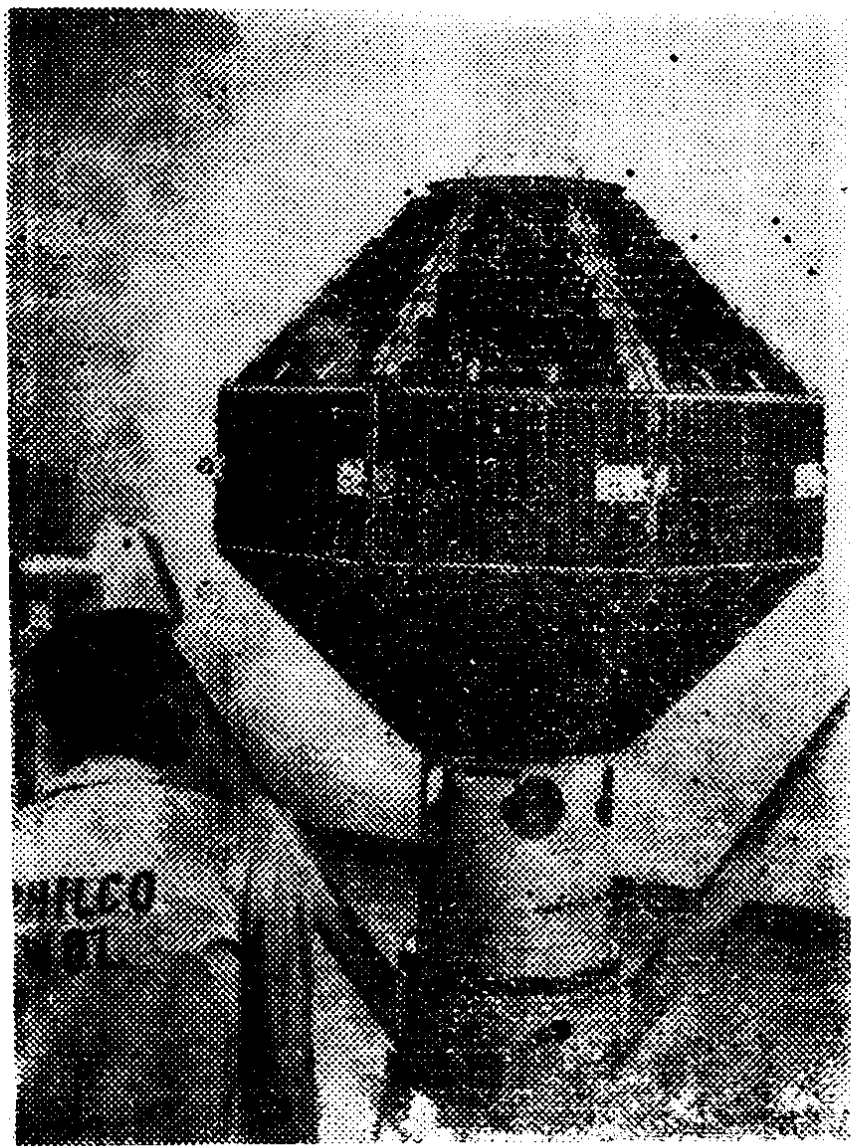


图 1-1 初始防御通信卫星计划 (IDCSP) 的单个航天器

lar和SBS卫星是自旋稳定的，而Satcom则是三轴稳定并带有可展开的太阳能电池阵列的航天器。除了Comstar卫星用大力神-人马座火箭（Atlas-Centaur）作为发射火箭以外，所有航天器均用雷神-三角火箭（Thor-Delta）来发射。

最早的六家卫星通信行中的每一家公司，在1978年，它们的原始系统所耗费的资金及发射成本均达2~6亿美元。其中包括空间段和地面段的费用。估计六家通信行耗资总计为20亿美元左右。图1-1至图1-3给出了上述若干卫星的照片。

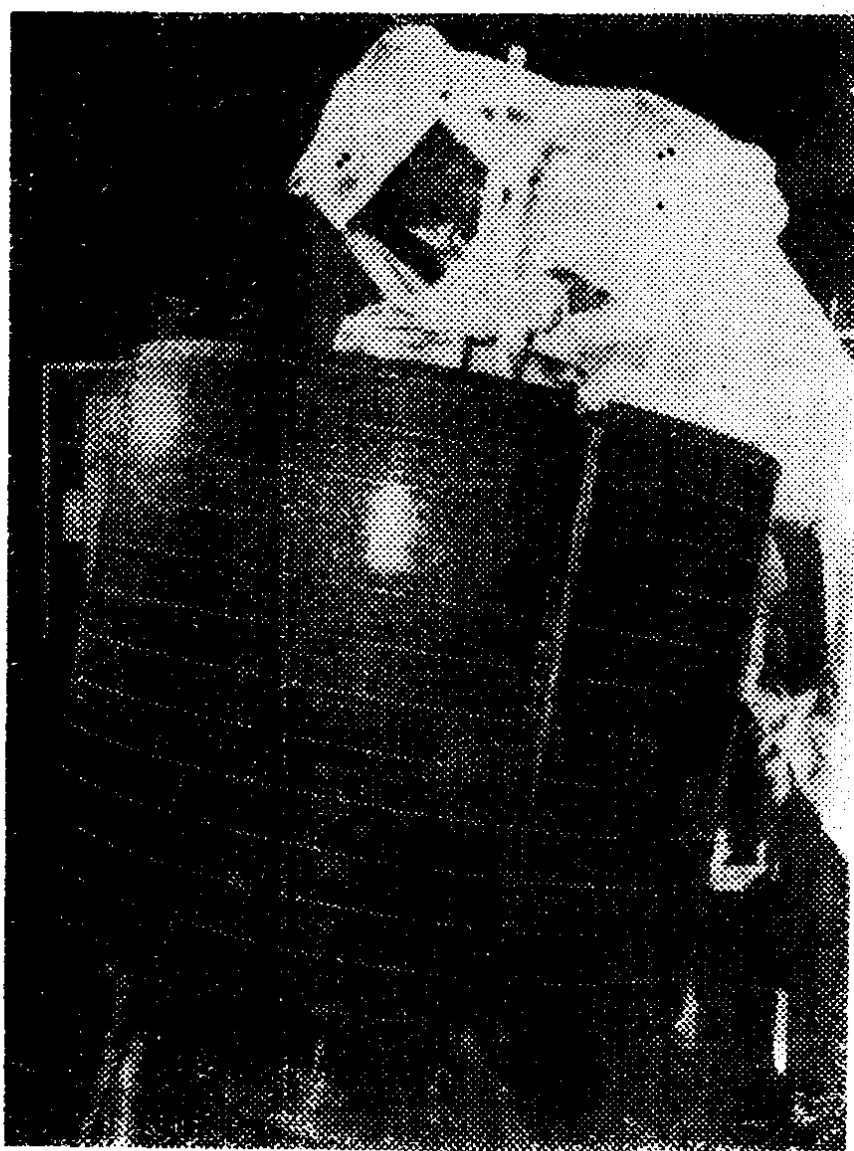


图 1-2 卫星

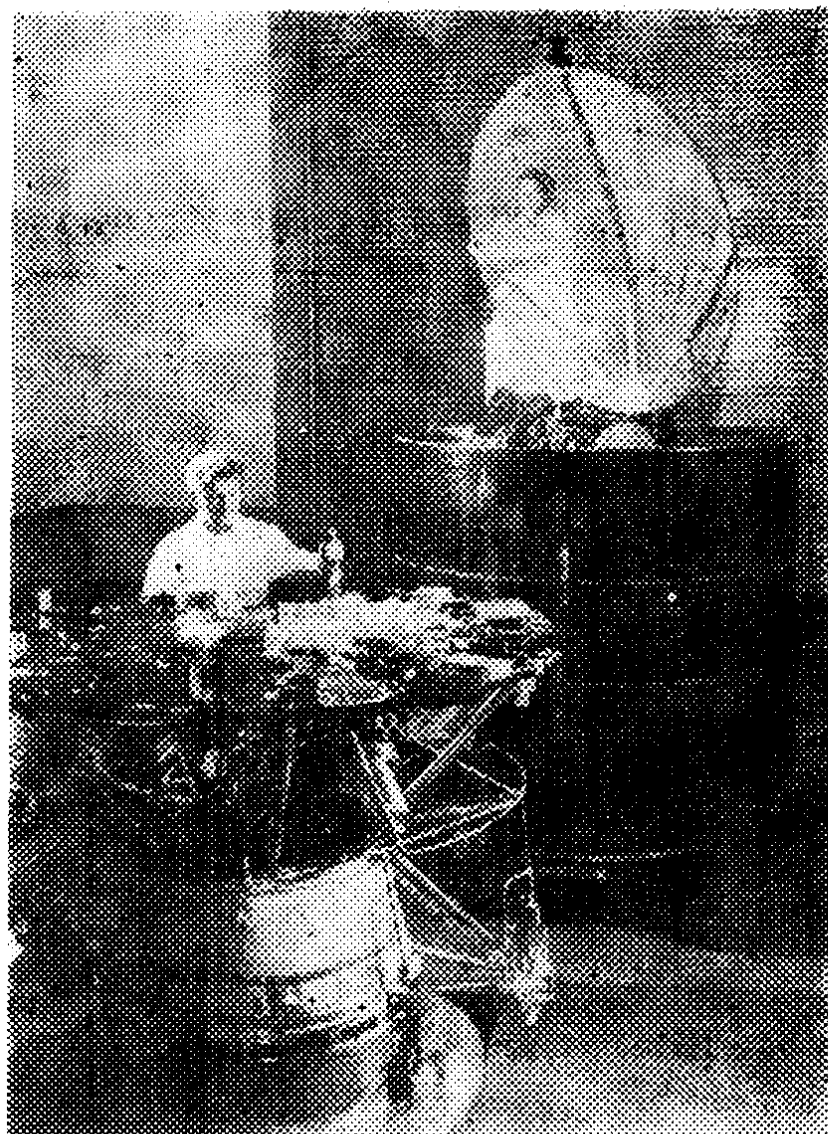


图 1-3 西星-Ⅰ与西星-Ⅱ卫星中的电子与推进部分

1-2 美国国内第二代通信能力

1980—1982年间，联邦通信委员会的档案中已存有许多新系统或者扩展现有系统的许多申请书。表1-2列出了所提出的这些系统的项目，指出了其所有者以及大致的发射年份。表中的两家新成员是休斯飞机公司及南太平洋通信公司（SPCC）。（几年前南太平洋通信公司仍然以地面通信业的面目进行营业）。除了SBS卫星以外，其余各通信空间段都体现了航天器结构的新设计

方案，采用了至少24个转发器，某些还同时使用 C波段和 Ku 波段。

表 1-2 美国国内通信空间段第二代规划

卫 星 系 统	经 营 者	开始 年份	频 率
银河 (Galaxy) H-1 H-2 H-3	休斯 (Hughes) (新)	1982	C波段
天网 (Spacenet) I, II, III	南太平洋通信公司 (SPCC) (新)	1983	C波段 Ku波段
新西星 (Advanced Westar) F-1, F-2, F-3, F-4 (TDRSS)	空间通信 (Spacecom) (新) 美国卫星公司 (American Satellite) 西方联合电报公司 (Wes- tern Union)	1983	C波段 Ku波段
G-星 (G-Star) I, II	GTE (新)	1984	Ku波段
远星 (Telstar) 3-A, 3-B, 3-C	AT & T (新)	1983	C波段
美国卫星 I, II (American Satellite)	美国卫星公司 (新) (American Satellite)	1985	C波段 Ku波段
西星 (Westar) N, V, VI	西方电报联合公司 (Wes- tern Union) (新) 美国卫星公司 (American Satellite)	1982	C波段
卫星商业系统 (SBS) III, IV	卫星商业系统公司 (SBS)	1982	Ku波段

如果不包括跟踪及数据中继卫星系统 (TDRSS) 的新西星通信空间段，1981年内按表1-2 所列新提出的在美国国内通信添加的空间段的总费用将约为15亿美元，其中还未包括为新成员服务所建立的附加地面段的设施。在原来的设计中，TDRSS/新西星空间段由四个在轨道上的航天器及两个在地面上的航天器组成，并确定专门为美国政府服务与专门为国内商业服务的比例约