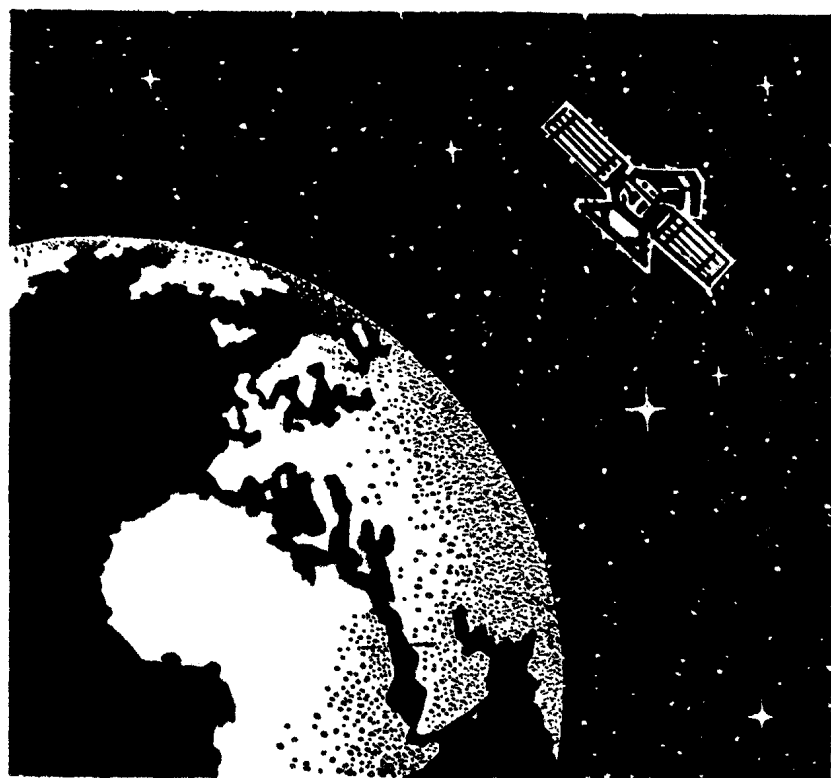


叶后裕 范启岭



内 容 简 介

本书从系统设计的角度讨论了卫星电视接收系统的组成、主要质量指标以及为实现这些要求所采取的技术措施。简要讨论了电视广播卫星和卫星电视信号的特点；深入分析了影响电视接收质量的诸因素；较全面地介绍了国内外广泛使用的卫星电视接收天线系统、高频头和卫星接收机的类型和工作原理；讨论了卫星电视信号的分配系统，以及卫星电视接收站的安装和维修技术。本书的内容密切结合当前卫星电视接收的实际情况。

本书的对象是通信、电子工程、无线电技术等专业的大学生和设计、使用卫星电视接收站的工作人员，也可供对卫星电视接收感兴趣的无线电爱好者阅读。

卫星电视接收技术

叶后裕 范启岭

责任编辑 谭玉瓦

西安电子科技大学出版社出版发行

陕西富平印刷厂印刷

新华书店经销

开本787×1092 1/16 印张12 8/16 字数303千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷 印数1—3000

ISBN 7-5606-0060-3/TN·0023 定价：2.55元

前 言

目前, 卫星电视广播在我国正以惊人的速度发展着。它是迅速提高我国电视覆盖率和改善节目收看质量的切实可行的手段。党和国家对此十分重视, 广大群众也乐于接受, 因此, 全国上下一齐努力, 卫星电视接收站近几年已在全国星罗棋布地建立起来, 今后还将陆续普及到广大的乡镇、企事业单位甚至家庭。

在本书准备付印时, 我们高兴地看到, 我国自己发射的实用同步通信卫星已成功地定点于东经 87.5° 赤道上空, 即将完成由租用国际通信卫星向使用国产卫星进行电视广播的过渡。国产卫星转发器具有更大的等效全向辐射功率, 可以使用较小的卫星电视接收站来接收卫星电视信号, 必将进一步推动小型卫星电视接收站的普及和发展。

本书较系统地讨论了卫星电视接收技术的各个方面。作者试图从小型卫星电视接收站总体设计的角度来论述这些问题。我们认为, 只有站在系统总体的高度上才能清楚地剖析卫星电视接收技术中存在的矛盾, 才能在现有的基础上有所发展, 有所前进。虽然书中也介绍了一些典型电路, 但是, 应该认识到, 服从于总体要求的具体实现方法可以是多种多样的, 这些典型电路无非是给出一些具体实现方法的例子, 我们并不想局限于对这些具体电路的讨论, 更没有仔细讨论这些电路的具体设计问题, 因为对于这些单元电路的设计已经有大量的参考书可以查阅。

本书特别注意介绍卫星电视接收技术进一步发展的动向。在现有的关于卫星电视接收技术的参考书上, 这些问题还很少涉及。但是, 我们相信, 在不久的将来, 这些问题将摆在我们的面前, 我们应该为新一代卫星电视接收站的发展作好准备。

本书是作者长期从事卫星电视接收站研制工作的总结, 我们为完成这些工作曾多次到国外进行考察和实验, 收集到一些第一手资料。因此, 我们在书中提出了一些自己的看法, 尽管这些观点可能还不尽完善, 但是, 我们认为, 如果这种探索能引起争论也是有益的。

本书的论述是以对卫星电视接收质量的要求为线索来展开的。书中第一章着重介绍了电视广播卫星和卫星电视信号的特点, 它为卫星电视接收提供了物质基础。第二章系统地讨论了影响卫星电视接收站质量的主要因素, 明确了卫星电视接收站是宽频带、高增益、低噪声的接收系统, 从而引出了整个系统的组成方案。第三、四、五章分别讨论卫星电视接收站的三个主要组成部分, 即天线及其馈源、高频头和接收机, 它们对卫星电视接收站的质量都有重要的影响, 这三章讨论了解决各自的矛盾的一般方法。最后一章讨论卫星电视接收站安装、使用和维修中可能遇到的实际问题, 对于使用卫星电视接收站的人员, 应该充分了解这一章所提出的问题。实际上, 卫星电视接收质量的好坏, 除了接收站硬件的优劣以外, 正确的安装、使用与维修是一个重要而又常常被人们忽视的问题。

本书是为通信、电子工程、无线电技术等专业的高年级学生写的, 他们期望对这一广泛应用的技术有深入的了解, 并且看到他们以前学过的知识可以如何巧妙地应用于解决实际工程问题。对于从事卫星电视接收站研制和使用的人员, 本书也是一本非常实用的参考书, 它

也许会启发您的灵感，使您的工作做得更好。

本书由叶后裕主笔。范启岭为本书做了大量的资料收集和整理工作，并提供了五、六两章的初稿。叶后裕撰写了前四章，并且，为了保持全书风格的基本一致，对后两章进行了部分改写。在本书撰写过程中，得到本校许多同志的支持和帮助，作者对他们表示衷心的感谢。

我们热烈地欢迎对本书提出的评论、批评和建议。读者的一切意见都将得到认真的考虑。

作者

1988年4月

目 录

第一章 电视广播卫星与卫星电视信号

- § 1 卫星电视的发展历史…………… (1)
- § 2 电视广播卫星…………… (5)
 - 2.1 星上转发器及其天线…………… (5)
 - 2.2 姿态控制和轨道控制…………… (8)
 - 2.3 太阳能电池…………… (10)
 - 2.4 同步卫星的发射…………… (12)
- § 3 卫星电视信号…………… (12)
 - 3.1 卫星电视广播频段…………… (13)
 - 3.2 卫星电视信号的调制方式…………… (16)
 - 3.3 卫星电视信号的预加重…………… (23)
 - 3.4 卫星电视信号的能量扩散…………… (26)
- § 4 我国的电视广播卫星计划…………… (26)

第二章 卫星电视接收站的系统分析

- § 1 卫星下行线路的能量计算…………… (29)
 - 1.1 自由空间传播衰减…………… (29)
 - 1.2 大气中的传播损耗…………… (33)
 - 1.3 雨致衰减…………… (34)
 - 1.4 天线指向不精确引起的衰减…………… (37)
 - 1.5 极化引起的衰减…………… (38)
- § 2 接收站输入端的噪声功率…………… (40)
 - 2.1 噪声的来源和噪声功率的计算…………… (40)
 - 2.2 接收站的外部噪声…………… (43)
 - 2.3 接收站的系统噪声和优值…………… (46)
- § 3 接收站输出信噪比与载噪比的关系…………… (48)
 - 3.1 电视图像信号的调频改善度…………… (48)
 - 3.2 调频门限效应…………… (50)
 - 3.3 预加重改善度…………… (53)
 - 3.4 视觉加权系数…………… (54)
 - 3.5 输出信噪比与电视图像质量的关系…………… (57)
- § 4 接收系统的保真度…………… (58)
 - 4.1 微分增益和微分相位…………… (58)
 - 4.2 亮度信号的频率失真…………… (60)

- 4.3 亮度/色度信号的不均匀性…………… (63)
- § 5 伴音信噪比…………… (64)
 - 5.1 伴音副载波的信噪比…………… (64)
 - 5.2 副载波解调后的信噪比…………… (66)
- § 6 接收站系统分析举例…………… (68)
- § 7 卫星电视接收站的组成…………… (72)

第三章 卫星电视接收站的天线系统

- § 1 天线的类型…………… (76)
- § 2 对天线系统的基本要求…………… (79)
 - 2.1 天线增益…………… (79)
 - 2.2 波束宽度和旁瓣…………… (81)
 - 2.3 天线噪声温度…………… (81)
 - 2.4 天线的风荷…………… (82)
- § 3 抛物面天线…………… (83)
 - 3.1 主焦点抛物面天线…………… (83)
 - 3.2 卡塞格伦天线…………… (84)
 - 3.3 反射面修整技术…………… (85)
- § 4 天线的馈源…………… (87)
 - 4.1 圆波导口馈源和单模圆锥喇叭…………… (87)
 - 4.2 波纹圆锥喇叭…………… (89)
 - 4.3 90° 波纹圆口喇叭…………… (90)
- § 5 极化器…………… (91)
 - 5.1 线极化波选择器…………… (91)
 - 5.2 圆极化器…………… (93)
 - 5.3 全极化变换器…………… (96)
- § 6 天线支架…………… (96)

第四章 卫星电视接收站的高频头

- § 1 对高频头的基本要求…………… (100)
- § 2 低噪声放大器…………… (102)
 - 2.1 微波晶体管…………… (102)
 - 2.2 低噪声晶体管放大器…………… (103)
 - 2.3 晶体管放大器的电源…………… (107)
- § 3 频段下变频器…………… (108)
 - 3.1 频段下变频器的频率设计…………… (109)
 - 3.2 本地振荡器…………… (110)

3.3	微波混频器	(113)
3.4	微波带通滤波器	(119)
3.5	低噪声前置中频放大器	(121)
3.6	一个完整的频段下变频器	(123)
§ 4	同轴电缆	(123)

第五章 卫星电视接收机

§ 1	卫星电视接收机的作用与组成	(126)
§ 2	第一中频放大器和滤波器	(127)
2.1	第一中放的作用和要求	(127)
2.2	第一中频滤波器	(128)
§ 3	第二下变频器	(129)
3.1	第二下变频器的频率选择	(129)
3.2	微电路双平衡混频器	(134)
3.3	谐波混频	(135)
3.4	第二本地振荡器	(135)
§ 4	第二中频放大器	(138)
§ 5	限幅器	(141)
§ 6	鉴频器	(143)
6.1	振幅鉴频器	(143)
6.2	移相式鉴频器	(146)
6.3	门限扩展技术	(149)
§ 7	图像处理电路	(154)
7.1	去加重电路	(154)
7.2	去能量扩散电路	(157)
7.3	低通滤波器	(158)
§ 8	伴音解调和处理电路	(160)
8.1	调频制伴音解调和处理电路	(160)
8.2	4相差动相位调制PCM伴音的解调和处理	(161)

第六章 卫星电视接收站的安装与使用

§ 1	站址选择	(164)
1.1	保证开阔的弧线视野	(164)
1.2	检查地面干扰	(166)

§ 2	卫星电视接收站的安装	(167)
2.1	天线支杆和基座的安装	(167)
2.2	抛物面、馈源和LNB的安装	(167)
2.3	对闪电的防护	(168)
§ 3	极轴型天线对卫星弧线的跟踪	(169)
3.1	极轴方位、极轴角和偏角	(169)
3.2	对准卫星弧	(169)
3.3	常见的天线跟踪问题	(170)
3.4	天线跟踪步骤	(171)
§ 4	卫星电视信号的组合与分配	(172)
4.1	卫星共用天线电视系统	(172)
4.2	多路卫星电视接收系统	(174)
§ 5	地面干扰的抑制	(176)
5.1	地面干扰源	(176)
5.2	地面干扰对卫星电视接收系统的影响	(177)
5.3	设备对地面干扰的敏感性	(178)
5.4	带内地面干扰的抑制	(179)
§ 6	卫星电视接收站故障检查的基本方法	(181)
6.1	询问	(182)
6.2	直观检查	(183)
6.3	电压检查	(184)
6.4	专用仪器检查	(186)
§ 7	主要部件故障分析	(187)
7.1	卫星接收机	(187)
7.2	电缆和连接头	(187)
7.3	下变频器	(188)
7.4	低噪声放大器	(188)

附录 六米(标称)卫星电视接收站主要技术要求(暂行)

参考文献

第一章 电视广播卫星与卫星电视信号

§1 卫星电视的发展历史

在现代社会中，电视的作用愈来愈大。电视利用它的图像和声音向观众进行名符其实的“有声有色”的宣传。它及时地报导国内外的重大新闻，宣传党和国家的路线和政策，开阔人们的视野。电视教学使教育从传统的课堂走向社会，为提高全民族的文化素质开拓了一条新路。各种各样的电视专题节目适应了不同年龄、不同爱好的观众日益多样化的要求，大大丰富了人民的精神生活，使优秀的文艺节目和精彩的体育表演迅速地传播到千家万户。电视还向我们传递丰富的信息，包括天气预报、保健知识、市场动态、商品广告等等与人们日常生活密切相关的重要信息。可以说，有史以来，还从来没有一种新闻媒介或文艺形式，象电视这样受到人类普遍的欢迎和重视。

随着电视的日益普及，提出了两个问题。一是要求解决有些地区看不到电视的问题，即如何提高电视的覆盖率；二是在已经能看到电视的地区，怎样满足人们对电视的收看质量和节目的多样性提出的更高要求。

任何国家的电视网都是从中心城市和人口稠密、经济发达的地区开始兴建的，然后逐渐向周围扩展。由于传送电视信号所需的频带比语音信号所需的频带宽得多，地面电视台使用40~960MHz的频段。在此频段内，电波基本上是直线传播。由于地球表面曲率的影响，每个地面电视台的覆盖区一般只包括半径为几十公里的区域。尽管一些电视台努力使安装发射天线的电视塔加高或将天线架在高山顶上，但这些努力对服务区域的改善仍然是有限的。曾有人建议用气球使发射天线升高，这种方法也因遇到不少技术困难而没有成功。因此，比较现实的办法是在各地建立电视台，并采用微波中继线路使这些电视台连成网。但是，要建立覆盖全国的微波中继网需要耗费大量的人力和物力，因为每隔五十公里左右就需要设立一个中继站，对于土地辽阔、地形复杂的国家，需要建立数以万计的中继站并对它们进行日常的管理和维护，显然不是一件轻而易举的事。因此，这种方法只能用于人口稠密、经济发达的地区，这使世界上绝大多数国家都不能达到100%的电视覆盖率。例如，日本用这种办法达到的覆盖率为97%，而我国的覆盖率只有64.7%。为了迅速地完成全国电视的覆盖，利用卫星进行电视广播是一种切实可行的办法。根据亚洲广播联盟的估算，象我国这样的国家利用卫星电视广播可比建设地面广播网节约60%以上的建设投资。

在已经完成电视覆盖的区域，观众并不满足于能凑凑合合地收看，他们对电视收看质量和节目多样性提出了更高的要求。然而，目前的电视收看质量是不能令人满意的。由于电视节目经过多次中继转发，受到中继设备外部和内部噪声的污染，使电视质量逐渐下降。由于山峦和高大建筑物形成了电波阴影区，在此区域内的电视机只能收到大大减弱了的绕射波，这使收看效果甚差。来自附近建筑物的反射波还会与来自电视台的直射波一起进入接收天线，使电视画面出现令人讨厌的重影。所以，近年来，随着大城市高层建筑的迅速增加，电视收看的质量逐渐下降。另外，地面工业干扰（火花放电），也是使电视质量不佳的重要原

因。

由于观众年龄、职业、民族、籍贯、文化水平、爱好等的不同，人们对电视节目的要求各不相同，因此希望有尽量多的电视节目可供选择，即不但能收看当地的电视节目，而且能收看全国各地、甚至国外的节目，还希望同一节目有几种不同语言的伴音和立体声。

为了解决这些问题，国外目前采用由电视中心通过电缆向用户分配节目的有线电视（CATV）系统。这种传送方式虽然能克服高层建筑物的遮挡和反射带来的问题，并且可传送 8~12套电视节目，但是由于需要不断进行放大才能传送给较远的用户，图像质量仍不佳，不能完全解决前面提到的所有问题，且建设投资大，服务区域有限。

卫星电视广播则有可能完全解决上述问题。它的电波居高临下，入射角大，受山峦和建筑物的阻挡小；节目源只经过卫星一次转发就直接送给用户，有利于提高画面质量；用户可以通过选择卫星和频道自由地挑选节目，可以收看的节目数量大大增加（例如，在北美，利用卫星电视目前可以收看一百多套节目）；由于卫星电视采用很高的频率传送信号，可以采用方向性很强的接收天线，这种天线只接收来自卫星方向的电波，不接收高层建筑的反射波及其它地面干扰，因此重影和工业干扰等因素引起的图像质量恶化问题可以得到解决。另外，卫星电视广播的高频率传送，还给今后发展高分辨力电视提供了可能。

卫星电视是由处于赤道上空同步轨道上的静止卫星转发的。这个非常特殊的轨道是英国人克拉克(A.C.Clarke) 1945年10月首先提出的，他论述了用地球同步轨道上三个等距离的卫星建立全球通信系统的可能性（图1-1）。可以看出，一颗卫星几乎可以覆盖半个地球；当每间隔120°设一个卫星时，由于覆盖区有重叠，可以进行全球的卫星中继通信，只是在南北两极附近存在盲区。

在圆形的静止卫星同步轨道上，由于地球自转的速度与卫星绕地球运动的速度相等，旋转方向一致，并且轨道平面与地球自转轴垂直，所以，在地球上看来，卫星好像是静止不动的。

当地球引力和卫星绕地球运行的离心力恰好相等时，则卫星能在圆轨道上稳定运行。若

卫星的质量为 m ，卫星的速度为 v ，卫星到地球表面的距离为 h ，地球的半径为 $R=6378\text{km}$ ，地球表面的重力加速度为 $g=9.8\text{m/s}^2$ ，则在距地球表面 h 处卫星受到的地心引力为 $mg\left(\frac{R}{R+h}\right)^2$ ，卫星绕地球作圆周运动时的离心力为 $m\frac{v^2}{R+h}$ ，因此，卫星沿圆轨道运行的

速度 $v=R\sqrt{\frac{g}{R+h}}$ 。卫星绕地球一周所需的时间，即轨道周期 $T=\frac{2\pi(R+h)}{v}$ 。所以，当卫星的轨道周期与地球自转的周期（23小时56分4秒）相等时，卫星离地球表面的高度 h

$$= \sqrt[3]{\frac{gT^2 R^2}{4\pi^2}} - R = 35786\text{ km}.$$

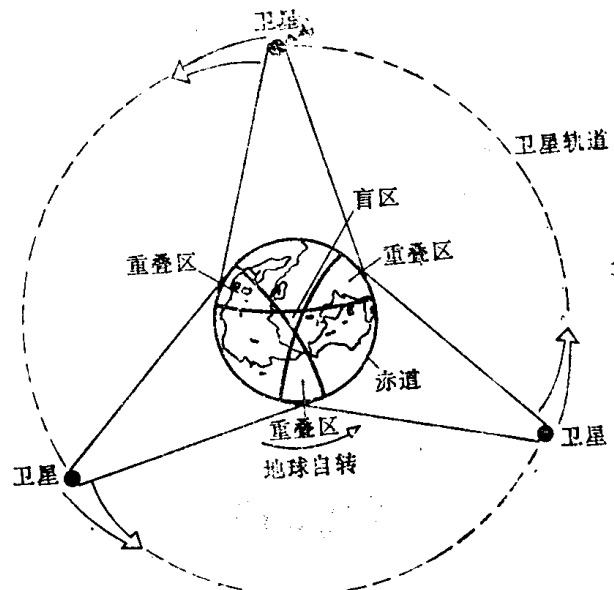


图1-1 静止卫星轨道

实际上，使卫星严格地处于静止轨道上不是一件容易的事。若卫星定点时偏低，卫星的轨道周期就小于地球自转周期，于是卫星就会逐渐向东漂移。相反，要是定点偏高，卫星就会向西漂移。如果静止卫星轨道不是真正的圆形，而是有点椭圆形，轨道的半径在一天当中有时大、有时小，于是卫星在一天中就会有时向东漂移，有时向西漂移。假如静止卫星的轨道平面与地球的赤道平面不重合，卫星在一天当中就会南北漂移。所以，对静止卫星发射技术的要求是相当高的。

在克拉克那个时代，他的想法当然不可能实现。克拉克本人是一位科学幻想作家，人们只能把他的思想作为一种有趣的设想记录在案。

1957年10月4日，苏联成功地发射了世界上第一颗人造地球卫星，开创了人类历史上的航天时代。此后不久，通信卫星就提到议事日程上来了。

1958年12月，美国空军利用“斯科尔”卫星进行了磁带录音传输试验，这是世界上第一次通信卫星试验。1960年8月，美国陆军利用“回声1号”卫星进行了电视和电话的横跨大西洋无源中继试验，它利用卫星的星体反射电磁波。这些试验的成功证明了卫星是转播电视和电话的有力工具，也使人们认识到实用的通信卫星必须采用通信转发器和太阳能电池。

1962年7月，利用美国宇航局发射的“电星1号”有源通信卫星，美、英、法三国联合进行了横跨大西洋的电视、电话、电报和传真传输的试验，为商用卫星通信技术奠定了基础。同年8月，苏联利用“东方3号”和“东方4号”卫星完成了卫星间的通信和宇宙电视传输的试验。1963年11月23日，美国和日本进行第一次横跨太平洋的卫星电视转播试验，在试验开始前大约两小时，发生了美国总统肯尼迪被刺事件，于是这条现场录像的电视新闻就成为试验时转播的第一条新闻，从而使人们更深刻地体会到卫星通信的巨大优越性。

但是，当时运载火箭的推力还不够大，上述卫星都是低轨道卫星，它们以很快的速度沿着椭圆轨道绕地球运行。由于地球自转和卫星运行的周期不同步，卫星在地球上空的位置不断变动，能利用卫星通信的时间每天只有几次，地面上相距很远的两点每次能同时看到卫星的时间最长才20~30分钟。所以，这种移动卫星不宜用作洲际通信。

随着空间技术的发展，不仅火箭运载能力有了提高，而且掌握了静止轨道卫星的发射技术和保持静止位置的控制技术。1963年7月，美国宇航局把“同步2号”通信卫星送入了同步轨道，并进行了美、欧、非三大洲之间的洲际通信试验，从此以后，世界进入了卫星通信的时代。

1964年8月，美国向太平洋上空的静止卫星轨道发射了“同步3号”通信卫星，通过这颗卫星向全世界进行了东京奥林匹克运动会实况的电视转播，通信卫星开始进入实用阶段。同月，世界商用卫星临时组织宣告成立，次年4月发射了“国际通信卫星-I”（IS-I），首先在大西洋地区开始用静止卫星开通商用通信业务。这个临时组织于1973年2月改名为国际通信卫星组织，现已有一百多个国家参加，目前使用的卫星为容量高达12000路双向电话和2路彩色电视的“国际通信卫星-V”。与此同时，苏联也于1965年4月发射了“闪电IA”卫星，开始了包括电视传输在内的国内通信业务。1971年11月，苏联发射了“闪电II型”卫星，除用于国内通信外，还用于东欧国家间国际电视和电话转播，并为此建立了有九个国家参加的国际卫星组织。不过，“闪电”卫星不是静止卫星，而是采用大椭圆轨道，远地点在北极附近，可使处于高纬度的苏联能以较大的仰角在一天中有8~10个小时看到卫星。当然，由于卫星相对地面移动，地面站的天线必须不断地旋转，以跟踪卫星。苏联的第一颗静

止卫星直到1974年3月才送入轨道。

我国的航天技术起步较晚。当苏、美的卫星相继升天时，我们还一无所有。五十年代后期开始，我国在基础薄弱和经费有限的情况下，依靠自己的力量，闯出了一条具有中国特色的发展航天技术的道路。1970年4月24日，我国成功地发射了自己的第一颗卫星，成为继苏、美、法以后，第四个用自己的火箭发射卫星的国家。1984年4月和1986年4月，我国先后发射了两颗静止通信卫星，并成功地进行了国内电话、电视转播和计算机通信试验，表明我国的火箭运载能力和发射技术进入了世界先进行列，我国自己的通信卫星将进入实用阶段。

在通信卫星发展的初期，卫星主要用来作洲际通信和国际通信。也就是说，通过卫星把许多地面站连接起来，进行点到点的通信。当时的卫星电视传输也属于点到点的传输。现在，这种卫星通信业务称为固定卫星业务。这种业务所传递和交换的信息一般不希望为第三者获知。随着通信卫星技术的迅速发展，六十年代后期，人们开始了对以大众为对象的电视广播卫星的研究。广播是点到面的信息传播，它不要求信息保密，而是要使所发出的信息为尽可能多的人接收。所以，许多人认为，这更能发挥卫星系统的优势，即从本质上说，利用卫星系统进行电视广播比用作通信更合适。

电视广播卫星的最终目标是使一般家庭能直接接收。为了达到这一目标，可以分两步走。第一步为集体接收，它允许使用稍大的天线，在接收到卫星转播的节目后，通过地面电视中继站或闭路电视系统向家庭进行转播，也可以在车站、学校等公共场所直接供众多的观众收看。第二步为个体接收，要求卫星上的转发器有足够的功率，以便使用小型天线的家用简易接收设备能直接收看卫星转播的电视节目。

电视广播卫星又称为直播卫星(DBS)。它与用作固定卫星业务(FSS)的通信卫星的主要区别在于发射功率要求较高。后者为了防止对地面通信系统的干扰，应该限制其到达地面的功率密度，所以发射功率一般在10W以下。过去认为，接收这种卫星的信号必须采用 $20\sim 30\text{ m}$ 的大型天线，因而不能用于电视广播的集体接收。但是，七十年代后期，由于地面接收设备中的廉价低噪声放大器取得重大进展，固定卫星业务用的通信卫星现在已广泛地用于供集体接收的电视广播。

当然，真正的直播卫星现在还只是处于试验阶段。这种试验是从1974年5月30日美国发射的“应用技术卫星-6”开始的，这次试验的结果证实了电视广播集体接收的可行性。1976年1月，加拿大在美国的帮助下发射了“通信技术卫星”，首次在12 GHz进行了大功率直播电视试验，其转发器的输出功率高达200W，但寿命只有两年。1976年10月26日苏联发射的“荧屏”卫星是一颗大型静止通信卫星，重约2 t，星上转发器向地面传输信号所用的频率(下行频率)为714 MHz，发射功率200W，它向西伯利亚、北极和远东部分地区大约九百万平方公里的区域传送电视节目，但是只有一个频道。1978年4月8日，日本发射了下行频率为12 GHz的广播实验卫星BSE，它有两个电视频道，每频道的输出功率为100W，利用它进行了卫星广播系统的基本技术、卫星管理技术和系统应用技术等多项试验，证实了在日本本土上实现个体接收的可行性。这个卫星的设计寿命为三年，但由于电源故障，两年就失效了。1984年1月，日本又发射了一个12 GHz电视广播卫星BS-2，首次使用了数字式脉码调制伴音技术，它有三个电视频道，每频道输出功率200W，但在进入轨道后不久就有两个频道先后失效。

目前，除上述国家以外，欧洲国家、澳大利亚和广大第三世界国家都在积极发展自己的

电视直播卫星。

我国有十亿人口，山区占全国面积的70%，缺乏完备的地面传输手段，因此应充分发挥直播卫星的潜力。我国四化建设的成功有赖于教育的普及和全民科学文化水平的提高。发展广播电视教育是提高全民文化素质的重要手段。广播电视教育具有教学水平高、经济和见效快的优点，因为它可以选择最好的讲课教师，不需要对学校设备进行额外的投资。尤其是它不需要象正规普通学校那样配备大量的教师，而这些教师不是短期内能培养出来的。通常，广播电视教育所需的费用只相当于正规教育的10%左右。所以，利用卫星实现全国的广播电视教育覆盖，会对我国带来深刻的社会、文化和经济影响。因此，国家决定：在我国自己的实用广播卫星进入轨道以前，先租用印度洋上空的“国际通信卫星-V”的三个频道，传送中央电视台(CCTV)的两套节目和1986年10月1日正式开播的中国教育电视(CETV)节目。与此相适应，全国各地星罗棋布的卫星电视接收站有了飞速的发展，到1987年底，全国已建起三千多个接收站。同时，我国正在积极地研制自己的实用广播卫星。为了叙述方便，我国的电视广播卫星计划放到本章最后一节介绍。我们相信，在最近几年，我国的卫星电视广播会有更快的发展。

§ 2 电视广播卫星

电视广播卫星由星体、转发器及其接收-发射天线、太阳能电源系统、姿态控制与轨道控制系统、遥测与遥控系统等组成。星体是整个卫星的骨架。转发器及其天线是电视广播卫星的核心。转发器接收地面发来的电视信号，将其变频并放大到足够的功率，然后转发回地面。因此，转发器中必须有大功率发射管。转发器的接收天线用来接收地面信号，发射天线则向地面覆盖区转发信号，所以，发射天线的方向图应根据地面服务区的形状来确定。太阳能电源系统保证转发器和其它电子设备长期稳定的工作，它必须有足够的容量。由于在轨道上运行的卫星要受到宇宙环境的作用力和转矩的影响，它的轨道会产生漂移(摄动)，姿态会受到扰动，为了使卫星在赤道上空相对于地球表面静止，并对地球保持正确的姿态，卫星要有高精度的姿态控制与轨道控制系统。遥测与遥控系统用于地面控制站对卫星工作情况进行监测和操纵。

星体的外形与卫星的姿态稳定方式有密切的关系。电视广播卫星目前常采用自旋稳定方式或三轴稳定方式。自旋稳定方式利用陀螺原理，使卫星相对自旋轴旋转。这种卫星的星体一般做成圆柱形，以保证轴对称。三轴稳定方式利用喷气的反作用或飞轮等对卫星的X、Y、Z三个轴加以控制。它适用于大型卫星，星体通常为四面柱体或八面柱体。图1-2示出了自旋稳定卫星和三轴稳定卫星的典型结构。

2.1 星上转发器及其天线

目前，星上转发器大多采用直接变换方式，它将接收到的地面中心站向卫星传送的上行频率信号经过变频器直接变换为下行频率。与过去曾采用过的先将接收信号变为中频，再经过上变频器变换为下行频率的中频变换方式相比，直接变换方式具有寄生信号少，频率稳定度好，所需部件较少的优点。

图1-3示出了一种广播电视卫星转发器的组成方框图。为了保证系统的可靠性，转发器

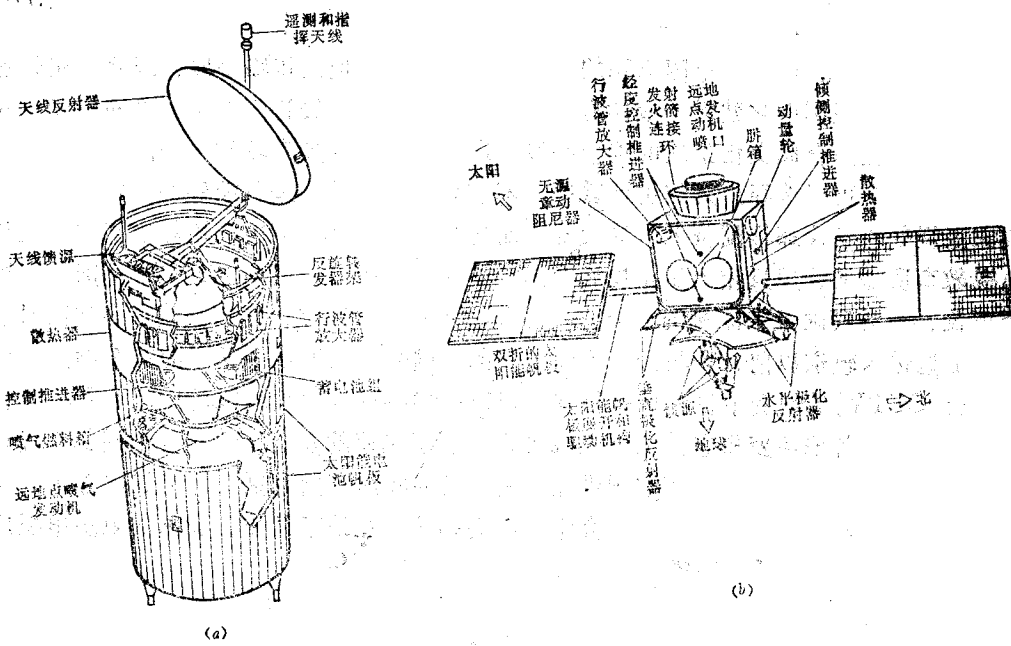


图 1-2 自旋稳定卫星 (a) 和三轴稳定卫星 (b)

接收通道和发射通道都有热备分，接收部分用一备一，发射部分用二备一，由切换开关按照指令信号进行切换。

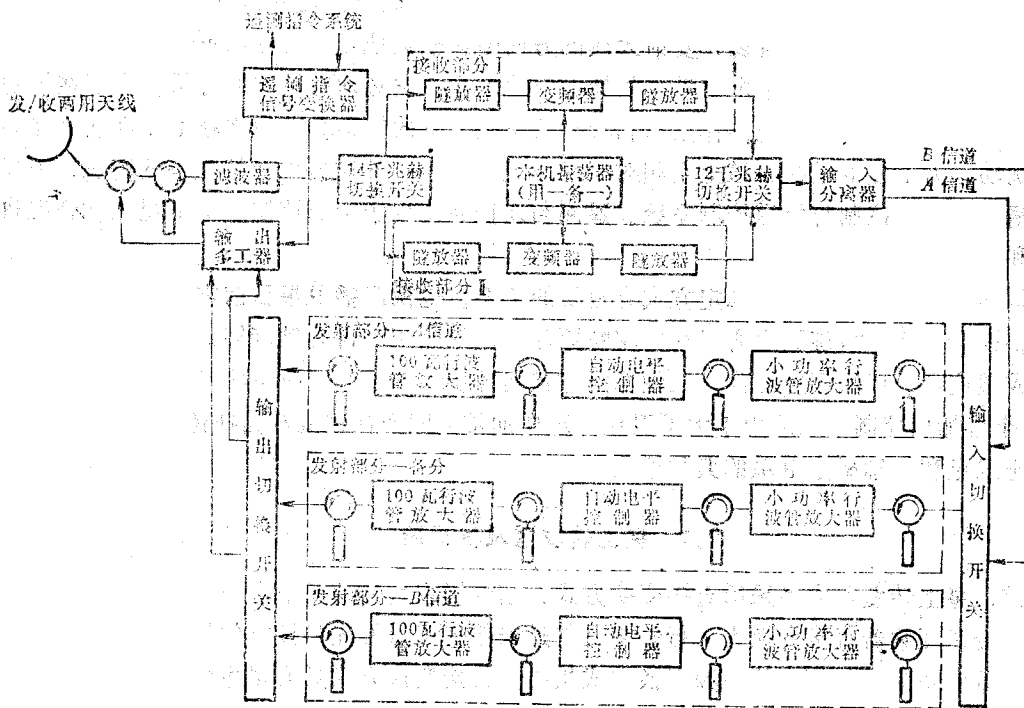


图 1-3 直接变换式转发器方框图

由于电视广播信号的收发以及遥测指令信号的收发都共用一副天线，须有分离电路分离这些信号。分离电路由四端环行器和滤波器组成，其中环行器用于收发隔离，滤波器用来分离电视广播信号与遥测指令信号。

地面发射的上行电视广播信号经过上行频率切换开关进入接收部分的工作通道。收到的上行信号可含有多路电视信号（图 1-3 中包含两路电视），这些信号经宽带前置放大后直接变频，得到减去本振频率的下行信号，经下行频率放大器和切换开关送到输入分离器。此分离器实际上是滤波器组，它分离出各频道电视信号，经输入切换开关分别送到各发射信道。每一发射信道由小功率行波管放大器、自动电平控制器和末级行波管放大器组成。自动电平控制器利用PIN二极管衰减器来控制末级行波管的输入电平，使其保持恒定，补偿因上行线路传播条件变化引起的转发器输入电平变化，以保证转发器输出电平稳定。各发射信道放大的信号经输出切换开关送到输出多工器，该多工器将各频道的下行电视信号与遥测信号合并，再经环行器送到天线，向地面发射。

为了由发射天线的方向图来确定它的服务区，或者反过来，由规定的服务区求转发器发射天线的方向图，应研究如图 1-4 所示的球坐标系。其中 S 是卫星所处的静止轨道上的位置， P 是地球的北极， O 是地心， N 是地球表面上的某接收点。由图可以看出，由卫星照射到 N 点的射线 SN 仅由 α 和 β 角决定。其中 α 是 SOP 平面与 SAN 平面之间的夹角，即处于赤道平面上的直线 SO 与 SA 的夹角； β 是由卫星 S 到 N 点的直线与赤道平面的夹角，即直线 SN 与 SA 的夹角； NA 是过 N 点到赤道平面的垂线。显然， $\angle SOA$ 等于 N 点所处的经度与卫星在赤道平面上所处的经度之差 $\Delta\lambda$ ， $\angle NOA$ 等于 N 点所处的纬度 φ 。因此， α 和 β 角可由下式求得：

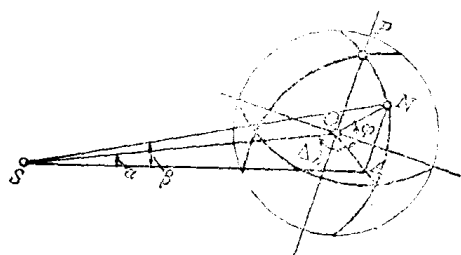


图 1-4 确定转发器天线方向性的球坐标系

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arcsin \frac{R \cos \varphi \sin \Delta \lambda}{l} \\ \beta &= \arcsin \frac{R \sin \varphi}{l} \end{aligned} \right\} (1.1)$$

其中 R 是地球的半径； l 是 SA 线的长度，对 $\triangle SOA$ 使用余弦定理可求得

$l = \sqrt{r^2 + R^2 \cos^2 \varphi - 2Rr \cos \varphi \cos \Delta \lambda}$ ； r 是静止轨道卫星到地球中心的距离，若卫星离地球表面的高度为 h ，则 $r = R + h$ 。

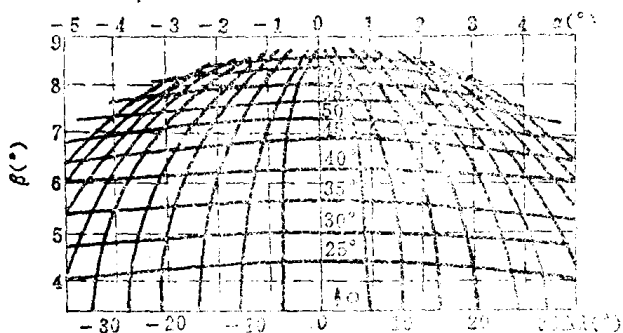


图 1-5 在 α - β 坐标系中的地理坐标

利用 (1.1) 式可以算出不同经纬度的地点所对应的 α 、 β 角。如果将这些经纬度标在 α - β 坐标系中，如图 1-5 所示，然后将服务区的边界也标在这个图上，就可以根据服务区所要求的 α 和 β 值确定转发器发射天线的波束指向和对天线方向图的要求。

发射天线的方向图既可以是笔形的（其横截面为圆形），也可以根据覆盖区的形状来

成形。由于绝大多数国家的国土具有不规则的形状,为了有效地利用卫星转发器功率,许多卫星都采用成形波束。这种方向图可以利用很多偏焦的馈源喇叭来实现。例如,我国目前租用来转发电视节目的“国际通信卫星-V”,采用了直径为2.44m的抛物面天线和85个喇叭馈源,以形成复杂形状的“半球/区域波束”,使位于印度洋上空(东经66°)的卫星着重覆盖中国、印度、印度尼西亚等国。图1-6示出了它的发射功率图(又称卫星轨迹图)。这种图反映了星上转发器的发射功率、天线的波束指向及方向图特性。图中的EIRP是等效全向辐射功率(Effective Isotropic Radiated Power)的简写,它定义为

$$EIRP = P_t L_t^{-1} G_t(\alpha, \beta) \quad (1.2)$$

其中 P_t 是星上转发器的输出功率, L_t^{-1} 是由转发器到发射馈源的馈线损耗, $G_t(\alpha, \beta)$ 是发射天线的增益。EIRP通常以dBW为单位(0 dBW=1W)。

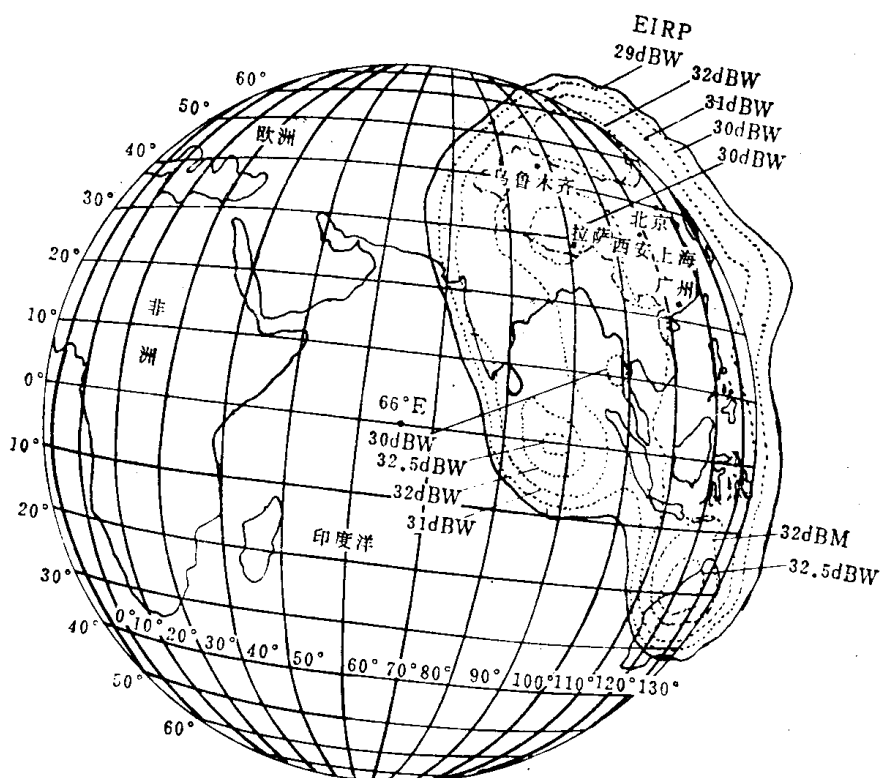


图1-6 “国际通信卫星-V”(位于东经66°)的发射功率图

卫星发射功率图是计算卫星电视地面接收站能量关系的重要资料。它实际上是星上相同EIRP方向(即发射天线方向图的等增益方向)在地球上的投影。如果转发器的发射功率、馈线损耗、天线的波束指向及方向图特性已经确定,就可以利用(1.1)和(1.2)式或图1-5和(1.2)式求出卫星的发射功率图。需要注意,图中标出的EIRP数值是卫星向地面点发射的等效功率,不是地球上所能接收到的功率。

2.2 姿态控制和轨道控制

电视广播卫星要求它的定向天线指向地球上的指定工作区,并使太阳充分地照射到太阳能电池帆板上。卫星的姿态控制系统用来控制卫星的姿态和指向,使星上发射天线对服务区

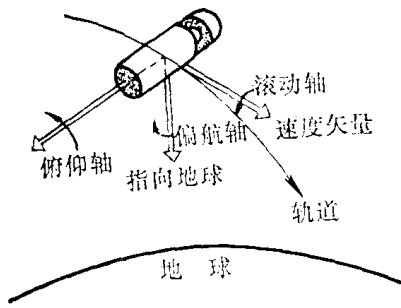


图 1-7 卫星姿态的三轴坐标系

的指向误差不超过允许的范围。

卫星姿态用图 1-7 所示的三轴坐标系表示。其中包括位于轨道平面内、与卫星在轨道上运动的速度方向一致的滚动轴和垂直于滚动轴的俯仰轴，指向地球、垂直于滚动轴和俯仰轴的偏航轴。此时，卫星相当于一架在轨道上飞行的飞机，绕着滚动轴的运动与飞机副翼的作用相仿，使星体倾侧；绕着俯仰轴的运动与飞机升降舵的作用相仿，使星体上下俯仰；绕着偏航轴的运动与飞机方向舵的作用相仿，使星体左右偏转。卫星的姿态控制实际上就是控制卫星的这三个坐标轴。

在静止卫星轨道上，有许多因素使卫星受到转矩而引起卫星姿态发生变化。其中最主要的因素有：①重力场梯度产生的力矩。由于星体各部分受到的重力反比于该点与地球重心的距离的平方，星体上离地最近点和离地最远点之间存在着重力场梯度，这种干扰力矩总是沿着一个方向作用在卫星上，所以这种作用会逐渐积累。②太阳光辐射压力产生的扭矩。卫星上的太阳能电池帆板越大，它的影响越严重。它随太阳季节性变化。③卫星剩余磁性跟地磁场相互作用产生的力矩。由于地磁场的变化具有随机性，这种干扰力矩会随机变化。

要进行姿态控制，必须测量卫星的姿态；要测量姿态，就必须建立基准。目前常用的测量卫星姿态的传感器有以太阳作基准的太阳光传感器、以地球为基准的红外地平仪（地球传感器）、以星球特别是北极星为基准的恒星传感器、测量地面站向卫星发射的电波极化面的射频传感器等。

通常使用两种控制力矩来进行姿态控制。一种是利用陀螺的定轴性原理，使星体自旋或装上惯性飞轮，利用其角动量，使卫星的自旋轴或飞轮轴相对于空间的方向保持不变。角动量越大，抵抗外部干扰力以维持卫星姿态稳定的能力就越大。通过改变飞轮的转速可以产生克服外部干扰力所需的反作用力。第二种控制力矩是利用反作用控制原理，从星体内部向外喷射质量，产生保持卫星姿态的控制力矩，常用喷气反作用控制。在一个卫星上，这两种控制方法常常结合起来使用。

在如图 1-2(a) 所示的自旋稳定卫星中，星体本身绕自旋轴自旋。为了使高增益天线的波束总是指向地球，天线与星体自旋部分应有相同的旋转速度和相反的旋转方向（消旋）。可以使发射机与星体一起自旋，天线消旋，天线与发射机通过射频旋转关节联结；也可以使发射机与天线一起消旋，装在自旋部分的电源通过汇流环向发射机供电。这种卫星在自旋时能获得较大的角动量。当外部干扰力使卫星姿态发生变化时，控制系统根据传感器来的信号启动喷气反作用系统，产生抵消干扰力的反作用力，使卫星回到原来的正常姿态。图 1-2 (a) 中的控制推进器就是用来产生喷气反作用力的，喷气燃料箱则装有供它使用的燃料。这种自旋稳定方法比较简单，但稳定精度不太高，它的天线指向精度大约是 $0.1^{\circ} \sim 0.4^{\circ}$ 。另外，在这种卫星中，由于星体自旋，不便安装对太阳定向的帆板，太阳能电池只能贴在星体外壁上，仅有大约三分之一的朝阳面能受到阳光的照射，并且不能保证太阳光垂直照射，因此它的太阳能电源的发电能力受到限制。

如果星体不旋转，而让太阳能电池帆板朝着太阳展开，帆板的面积就可全部利用，还可以通过增大帆板面积，使发电能力大大增加。这就要采用图 1-2(b) 所示的三轴稳定卫星。

它采用了一个动量轮，利用高速自旋飞轮的轴向在惯性空间保持恒定的性质保持偏航轴的方向。其它两个轴则由俯仰控制推进器和滚动控制推进器进行喷气控制，阱箱用于向推进器提供燃料。另外，还可利用无源章动阻尼器来消除章动。这种方法的偏航控制精度不高，只能达到 $0.3^{\circ}\sim 0.5^{\circ}$ ，滚动和俯仰控制精度能达到 $0.1^{\circ}\sim 0.2^{\circ}$ 。为了提高姿态控制精度，可以在三个轴上各装一个小型反作用飞轮，利用改变飞轮转速产生的反作用力来控制卫星姿态。这种方法的控制精度非常高，可优于 0.1° 。在三轴稳定卫星中，通过太阳能帆板驱动机构，可使帆板的感光面始终对准太阳。

为了保证服务区能良好地接收来自卫星的信号，并避免对邻近区域产生干扰，除保持卫星的姿态外，还要求对卫星在轨道上的位置漂移进行控制。实际上，同步卫星对地静止是有条件的，有许多因素会使它产生相对于地球的运动。卫星的静止轨道是在假定地球为理想球体和卫星只受地球重力场作用的条件下导出的，事实上，地球不是理想的球体，太阳和月球对卫星的引力也不能忽略，卫星还要受到太阳光的辐射压力，这些都会使卫星的轨道稍稍发生改变。从地球上看来，静止卫星在轨道上的漂移路线是“8”字形，在东西方向上，一个月约漂移 1° ，南北方向一年约漂移 1° 。为了使这种漂移限制在允许范围内，必须对卫星的漂移进行控制。目前绝大多数卫星都采用以阱为燃料的喷气反作用系统进行轨道修正。它们通常与控制卫星姿态的喷气反作用系统共用推进器。卫星保持其轨道位置的能力用定点精度表示。对定点精度的要求越高，就需要对轨道进行频繁的校正，所需的燃料也就越多。目前大多数卫星的定点精度可优于 $\pm 0.1^{\circ}$ 。

2.3 太阳能电源

卫星电源系统是关系卫星成败的重要问题。广播电视卫星必须有大功率电源，才能保证转发器产生足够的输出功率，并使其它电子设备正常地工作。尽管目前空间技术有了巨大的发展，但是长寿命、高可靠的大功率电源尚未完全解决，电源故障依然占卫星总故障的很大一个比例。

目前，太阳能电源是最合适的卫星电源。太阳能是取之不尽、用之不竭的能源，适宜于需要长时间工作的广播电视卫星使用。太阳能电池利用半导体的光电转换特性，直接将太阳能转变为电能。为了用有限的太阳能电池面积获得足够的功率，需要尽量提高太阳能电池的转换效率。目前，一般都采用硅PN结作太阳能电池，它大约有10%的转换效率。为了提高光照面的利用率，要求各电池之间的间隙尽量小，并尽可能使用单片面积大的电池。

当太阳光直射到光电池表面时，每平方米硅太阳能电池大约能产生150W功率。当然，太阳光斜射时，其输出功率会降低。因此，太阳能电池的输出会随季节变化。在春分和秋分时，太阳垂直照射到赤道上空的太阳能电池上，电池的输出功率最大；在冬至和夏至时，太阳分别照射到南、北回归线，这时，太阳对光电池的斜射角为 23.5° ，太阳能电池输出最小。图1-8示出了太阳能电池输出电流随时间变化的曲线。可以看出，太阳能电池的输出除随季节变化外，还有明显的老化现象。

当太阳、月球和地球依次排列在一条直线上时（图1-9a），太阳被月球挡住，这就是日蚀；当太阳、地球和卫星处于一条直线时（图1-9b），卫星进入地球的阴影区，就出现与月蚀类似的卫星蚀。在出现上述两种情况时，太阳光都不能照射到太阳能电池上，因此，光电池不能发电。由于地球绕太阳旋转的轨道面同月球绕地球旋转的轨道面之间有平均 5.9°

的倾角，所以，出现日蚀的次数很少。但是，静止卫星的轨道位于赤道平面内，在每年春分和秋分前后的一段时间内都会出现卫星蚀。一年之内有90天发生卫星蚀，其中52天（3月8日

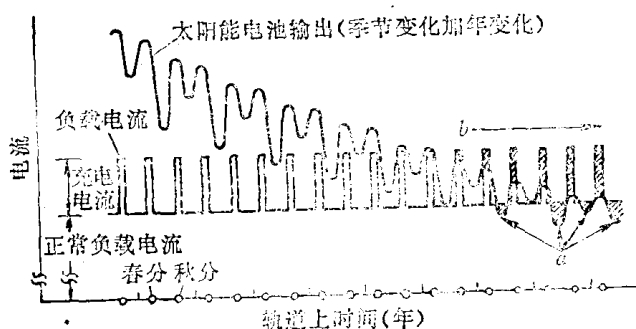


图 1-8 太阳能电池输出电流与负载电流的关系

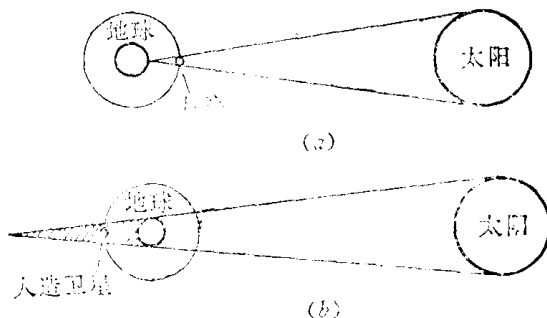


图 1-9 日蚀 (a) 和卫星蚀 (b)

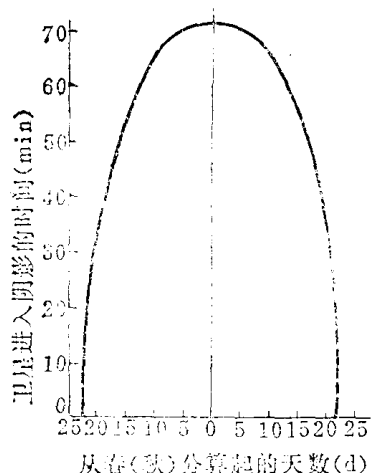


图 1-10 春分和秋分前后卫星蚀的持续时间

到4月3日以及9月9日到10月6日)的卫星蚀持续时间大于1小时。在春分和秋分这两天，卫星蚀的时间最长，持续时间达72分钟。图 1-10 示出了春分和秋分前后卫星蚀持续时间的变化曲线。

当卫星进入阴影区，太阳能电池不能发电时，应由卫星上的蓄电池供电。星上使用的蓄电池通常是镉镍电池。由于卫星重量的限制，这种电池一般只够供给保持卫星正常运行所需的电能，不能供应星上转发器所需的大功率，所以，大功率的广播电视卫星在此时应停止广播。

对星下点而言，卫星蚀持续时间的中点是当地真实太阳时间的午夜24:00，在秋分那一天，真实太阳时与平均太阳时(当地时间)相差7分钟，开始出现卫星蚀的时间比卫星

蚀持续时间的中点早36分钟，因此，在当地平均太阳时的午夜之前43分钟，即23:17，开始出现卫星蚀。为了避免在晚上收看率最高的时间发生卫星蚀，卫星的位置最好移到服务区中心点经度以西。由于地球上经度相差 1° 所对应的时差为4分钟，所以，卫星位置每西移 1° ，能使卫星蚀开始出现的时刻推迟4分钟。卫星位置西移 30° ，就可使卫星蚀的开始时刻推迟到当地平均太阳时01:17以后，从而保证全年在午夜1点以前可进行正常的电视广播。

虽然在春分和秋分前后，由于卫星蚀，每天有不超过72分钟的一段时间太阳能电池不能发电，要用蓄电池供电，但是，过了这段时间，由于阳光直射太阳能电池帆板，电池的输出功率比较大，因此，太阳能电池除可提供卫星所需的正常负载电流外，还能对镉镍蓄电池进行充电。所以，太阳能电池的负载电流不是恒定值。图 1-8 示出了电池负载电流随时间变化的曲线。由图可以看出，由于光电池的老化，在图中“a”所指的期间，不能保证正常的负载电流，在“b”以后，卫星蚀期间不能提供要求的负载电流。所以，“b”点应认为是太阳能电池寿命的结束点。

太阳能电池可以在低温下工作，但在高温下输出功率将大大下降。自旋稳定卫星的太阳能电池贴在卫星的侧面，卫星自旋使太阳能电池轮流受太阳照射，所以，它的表面温度不