

中国电子学会电子技术自修班教材

卫星通信

宋家华 宋法田 编著



航 出 版 社

中国电子学会电子技术自修班教材

卫 星 通 信

宋家华 宋法田 编著

前 言

电子科学技术是一门发展迅速，应用广泛的现代科学技术。目前电子技术已经渗透到国民经济各个部门，以及人民生活的各个方面；电子技术应用的深度和广度，已经成为衡量一个国家现代化的重要标志。

电子科学技术日新月异的发展及其广泛应用，极大地鼓舞了广大青年学习电子技术的热情。为了满足广大青年渴求知识的强烈愿望，更好地普及电子科技知识，我们在全国范围内举办了电子技术自修班。

目前举办的第四期电子技术自修班开设收录机、电视机、录像机、微型电子计算机的原理及应用、微波接力通信、卫星通信和移动通信七个专业。各个专业共同学习的基础课有初级无线电数学、电工基础、低频电路原理、高频电路原理，每个专业各有一门专业课。这些课程的教材是适应学员自修的要求，聘请有关院校的教师和科技人员编写的。在编写过程中他们参考了学会普及部举办培训班使用的教材，总结了以往编写教材的经验，并吸取了已结业三期自修班的教师和近26万学员对教材的意见后，进行了修订，力求使这套教材能适应学员以自学为主的特点，做到通俗易懂，便于接受。

在如此广阔的范围内举办这样的自修班还是第一次，缺乏编写自修教材的经验，虽经修订而不足之处仍然在所难

免。我们恳切希望使用这套教材的学员、辅导教师以及其他读者能够提出宝贵意见，以便今后加以改进。

预祝自修班学员们取得优秀成绩。

中国电子学会普及工作部

1989年10月

《中国电子学会电子技术自修 班教材》编委会

主 编	隋经义		
副主编	王明臣	沈成衡	宁云鹤
编 委	高坦弟	陈 忠	刘学达
	段玉平	左万昌	赵文续
	张道远	李 军	

编 者 的 话

卫星通信是当代科学技术发展的一项重要成果，是一种先进的通信方式。它具有通信容量大、距离远、覆盖面积广、组网灵活、性能稳定可靠等优点。现在，从国际商业通信到全球战略防御，从国民经济的各个部门到群众的业余文化生活，卫星通信在各个领域中都获得了日益广泛的应用。

本书是一本介绍卫星通信专业知识的自修教材。它既可供有志于掌握卫星通信基础知识的广大电子爱好者自学用，也可供卫星通信地球站中未经过专业训练的工作人员作为业务进修的参考书。全书共分六章。第一章介绍了卫星通信系统的概貌和国内、外卫星通信发展的概况。第二章介绍了通信卫星的运行轨道、发射及测控过程，并以我国1988年3月7日发射的改进型实用通信卫星——中国卫星一号为例，介绍了通信转发器的构成、工作原理和主要技术指标。第三章比较系统地介绍了卫星通信技术的有关基础知识，主要内容有：电信号与通信系统的基本概念、卫星通信中电波传播的有关问题、卫星通信线路的载噪比、信号的多路复用、调制与解调方式、多址技术及信道分配方式以及有关卫星通信体制的基本概念等。第四章介绍卫星通信地球站的设备组成、工作原理，站址选择，与总体性能有关的几个技术指标，以及卫星通信地球站中常用微波器件的工作原理和主要性能。第五章介绍目前国内已广泛运用的卫星电视接收站，重点介

绍卫星电视广播的特点和卫星电视接收站的设备组成与工作原理,同时以电视信号为例介绍了卫星通信线路的计算方法。第六章概略地介绍了卫星通信发展的趋势。

针对读者对象的特点,本书尽量避免复杂的数学公式推导,着重讲清物理概念,力求深入浅出,通俗易懂,注重科学性与实用性,并适当地介绍了工作中可能会遇到的一些实际问题的处理方法。

本书第一、二、三章由宋家华同志编写,第四、五、六章由宋法田同志编写。南京通信工程学院关肇华教授指导了本书的编写并担任全书的主审。陈久治副教授参加审阅了全稿并提出了宝贵的意见。

由于编者水平有限,时间比较仓促,书中难免还存在一些缺点和错误,希望广大读者批评指正。

编者 1989年6月

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 卫星通信发展概况	(1)
一、卫星通信的基本概念	(1)
二、国外卫星通信的发展	(6)
三、卫星通信在我国的发展	(7)
第二节 卫星通信系统简介	(9)
一、卫星通信系统的组成	(9)
二、卫星通信的工作过程	(13)
三、卫星通信的业务种类	(16)
四、卫星通信的特点	(17)
五、卫星通信系统的实例	(18)
思考题	(22)
附 录 微波频段的划分	(22)
第二章 通信卫星	(24)
第一节 卫星的轨道	(24)
一、地球卫星运动的基本规律	(24)
二、圆轨道	(27)
三、卫星轨道的分类	(28)
四、静止轨道	(29)
五、卫星的摄动	(30)
六、静止卫星的星蚀及日凌中断	(31)

第二节 通信卫星的覆盖区·····	(33)
一、全球波束覆盖区的几何关系·····	(33)
二、通信方位角、仰角及星、站之间距离·····	(36)
第三节 通信卫星的组成·····	(42)
一、通信转发器·····	(42)
二、接收机的组成及指标·····	(44)
三、天线系统·····	(46)
四、卫星公用舱·····	(48)
第四节 静止卫星的发射·····	(52)
一、运载火箭·····	(52)
二、静止通信卫星的发射过程·····	(53)
思考题·····	(56)
第三章 卫星通信技术基础·····	(57)
第一节 电信号与通信系统·····	(57)
一、信息、消息与信号·····	(57)
二、模拟信号与数字信号·····	(58)
三、语音信号的编码方式·····	(59)
四、通信系统的基本模型·····	(66)
第二节 卫星通信的电波传播·····	(69)
一、工作频段的选择·····	(69)
二、大气的影响·····	(71)
三、降雨的影响·····	(74)
四、电离层的影响·····	(76)
五、自由空间传播损耗·····	(78)
六、电波传播的特点·····	(81)
第三节 载波与噪声功率比(C/N)·····	(81)
一、载波功率·····	(82)

二、噪声功率·····	(85)
三、载波与噪声功率比(C/N)·····	(97)
第四节 多路复用方式·····	(100)
一、频分多路复用(FDM) ·····	(101)
二、时分多路复用(TDM) ·····	(114)
第五节 调制与解调·····	(120)
一、概述·····	(120)
二、模拟制中的频率调制与解调·····	(121)
三、数字相位调制与解调·····	(129)
第六节 多址联接方式·····	(135)
一、频分多址(FDMA) ·····	(136)
二、时分多址(TDMA) ·····	(139)
三、码分多址(CDMA) ·····	(144)
四、空分多址(SDMA)·····	(146)
五、几种多址方式的比较·····	(147)
第七节 信道分配方式·····	(147)
一、信道的预分配方式·····	(149)
二、信道的按需分配方式·····	(152)
第八节 几种常用的卫星通信体制·····	(155)
一、卫星通信体制的基本概念·····	(155)
二、FDM/FM/FDMA/PA ·····	(156)
三、SCPC ·····	(158)
四、PCM/TDM/PSK/TDMA/PA(DA) ·····	(159)
思考题·····	(160)
第四章 卫星通信地球站·····	(162)
第一节 概述·····	(162)
一、地球站设备的组成·····	(162)

二、地球站的主要技术指标·····	(166)
三、地球站的分类·····	(169)
四、地球站的站址选择·····	(170)
第二节 地球站中常用的微波器件·····	(176)
一、常用的微波无源器件·····	(176)
二、速调管放大器·····	(214)
三、行波管放大器·····	(227)
四、参量放大器·····	(239)
五、微波场效应管放大器·····	(245)
第三节 天线馈线分系统·····	(250)
一、概述·····	(250)
二、卡塞格伦天线·····	(253)
三、双工器·····	(256)
四、极化变换器·····	(258)
第四节 接收分系统·····	(260)
一、接收设备的基本任务与技术要求·····	(260)
二、设备的组成和工作原理·····	(262)
三、常温参量放大器·····	(265)
四、下变频器·····	(271)
五、接收设备的主要技术指标·····	(275)
第五节 发射分系统·····	(276)
一、发射设备的主要功能和要求·····	(277)
二、发射设备的组成和工作原理·····	(278)
三、发射设备的主要技术指标·····	(283)
第六节 信道终端分系统·····	(283)
一、模拟制信道终端(发端)设备·····	(284)
二、数字制终端设备·····	(294)

第七节 伺服跟踪设备·····	(305)
一、伺服跟踪设备的作用·····	(305)
二、天线驱动装置·····	(306)
三、天线的自动跟踪·····	(315)
第八节 电源设备·····	(320)
一、应急电源设备·····	(320)
二、交流不间断电源设备·····	(321)
第九节 地球站的可靠性·····	(324)
一、可靠性的概念与对地球站可靠性的要求·····	(324)
二、保证地球站高可靠性的措施·····	(324)
思考题·····	(327)
第五章 卫星电视接收站·····	(328)
第一节 卫星电视接收站的组成·····	(328)
第二节 电视接收站的主要部件·····	(331)
一、天线·····	(331)
二、低噪声放大器·····	(332)
第三节 卫星电视接收站的主要性能指标·····	(333)
一、电视图象信噪比及主观评价·····	(333)
二、伴音信噪比·····	(336)
第四节 接收机的载噪比与接收站的G/T值·····	(337)
一、接收机载噪比的计算·····	(337)
二、门限电平与门限余量·····	(338)
三、系统计算实例·····	(338)
第五节 怎样对准所要接收电视的卫星·····	(342)
思考题·····	(349)
第六章 卫星通信的发展趋势·····	(350)
第一节 工作频段的扩展·····	(350)

第二节 地球站的未来.....	(351)
一、天线及馈源系统.....	(352)
二、低噪声放大器.....	(352)
第三节 通信卫星的多功能化.....	(353)
第四节 采用新技术与新体制.....	(354)
一、频率重复利用技术.....	(355)
二、传输技术.....	(355)
三、基带处理和信源编码.....	(356)
四、新业务.....	(356)
参考书目.....	(357)

第一章 概 论

第一节 卫星通信发展概况

人类社会正由工业社会逐步向信息社会过渡，而任何信息的传输都需要依靠通信。卫星通信是为了满足社会进步对通信日益增长的需要而迅速发展起来的一种先进的通信方式。

一、卫星通信的基本概念

1. 什么是卫星通信

卫星通信，简单地说，就是地球上（包括地面、水面和低层大气中）的无线电通信站之间利用人造卫星作中继站而进行的通信。

图1-1是一种简单的卫星通信系统示意图。它只用一颗通信卫星，卫星天线的波束覆盖全部通信站所在的地域，各通信站天线均指向卫星。这样各站都能通过卫星转发来进行相互之间的通信。例如，A站要与B站进行通信，首先A站把信号发射给卫星，卫星把接收到的信号进行放大和频率变换后再转发给B站。这样B站就能收到A站发来的信号。用同样的方法，A站也可收到B站发来的信号。卫星通信地球站（简称地球站）包括固定站和移动站（车载站、船载站及机载站）。

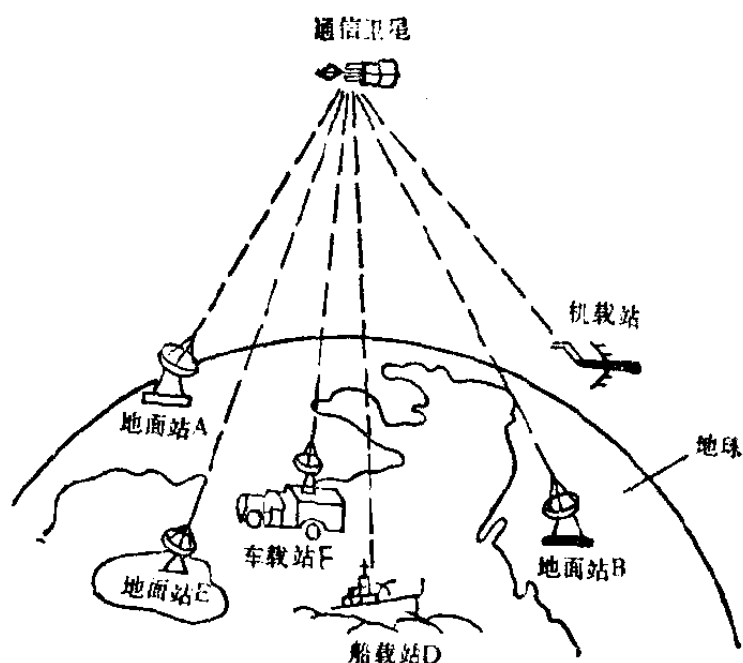


图1-1 卫星通信示意图

2. 卫星通信是微波接力通信的一种特殊形式

大家知道,微波是指波长为100厘米至1毫米的无线电波,它是沿直线传播的,即只在两点之间“看得见”的范围(视距)内才能用微波通信。显然,这种通信方式的最大通信距离会受到地球曲率的限制(图1-2a)。

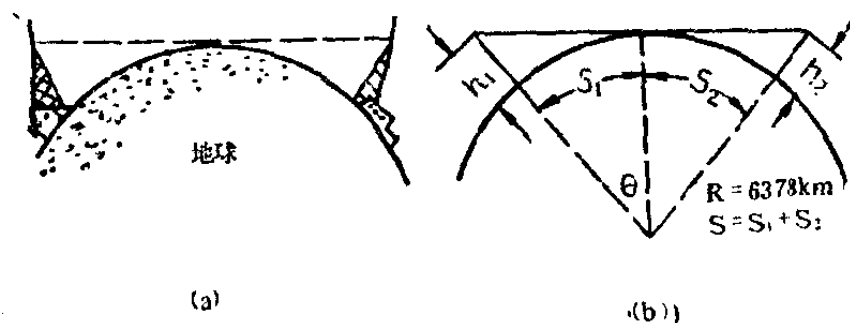


图1-2 地球曲率对微波视距通信的影响

如果将架设天线的铁塔升高,就可以使“视距”增大。在理想化的情况下,当两个微波通信站的天线高度各为 h_1 、 h_2 时,最大(极限)的通信距离 S 可按图1-2b求得,即

$$S \approx 3.57 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1-1)$$

式中，S的单位是公里(km)， h_1 、 h_2 的单位是米(m)。

为了建立初步的数量概念，我们假定通信双方的天线高度相等，即 $h_1 = h_2 = h$ ，这时通信距离S与天线高度h的平方根成正比，利用(1-1)式可计算出天线高度与通信距离间的关系如表1-1所示。

表1-1

天线高度h(米)	25	50	75	100	125	150	196.2
通信距离S(公里)	35.7	50.5	61.8	71.4	79.8	87.4	100

由表可知，天线高度为50米时，通信双方的通信距离可达50.5公里；如果要求通信距离增大到100公里，则天线高度应为196.2米。微波天线高度的增加虽然可以增加通信距离，但它往往受到经济、技术等条件的限制。一般微波通信天线铁塔的高度都在50~60米左右。因此，使用这种天线的“视距”通信距离约为50公里。

如果需要通信的距离远远超过50公里，达到数百、数千乃至上万公里时，怎么办呢？人们从接力赛跑中得到启发，在两个远距离通信站之间，每隔四五十公里架设一个接力站中转。这些中间接力站的任务是将前一站送来的信号传送给下一站，这样一程又一程地接续下去。图1-3所示是利用微波接力实现远距离通信的示意图。

当然，如果通信距离远达1万8千公里，则需架设大约360个微波接力站，其代价是很高的，而且，经过多次转接，通信质量要受到影响。另外，在某些场合下即使通信距离不是很远，例如从海南岛到西沙群岛，但要在海洋上建中继站也是相当困难的。因此，单靠增加接力站数目，并不能解决

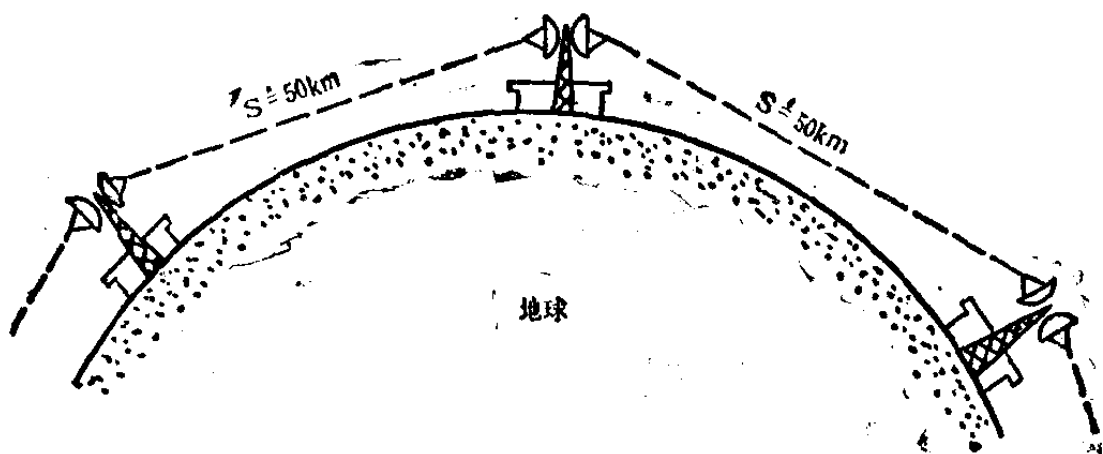


图1-3 利用微波接力实现远距离通信

全部问题。它促使人们去探索、寻求新的通信方式，这就是一种特殊形式的微波接力通信——卫星通信。

对于图1-4a所示只有一个中继站的微波接力通信来说，提高通信距离的有效途径是增加中继站的架设高度。A、B两站之间的最大通信距离 $\widehat{AB}$ 可通过图1-4b所示几何关系求得，即

$$\widehat{AB} = R \cdot \theta_2 = R \cdot \left(2 \cos^{-1} \frac{R}{R+h} \right) (\text{km}) \quad (1-2)$$

式中：R = 6378km为地球半径； θ_2 为 $\widehat{AB}$ 所对应的圆心角(弧度)；h为中继站天线到地面的高度(m)。

〔例〕 h = 35800km, $\theta_2 = 2.838 \text{ rad}$, 代入上式可求得

$$\widehat{AB} = 6378 \times 2.838 = 18100.764 \text{ km}$$

上例说明，设想将中继站架到离地球表面约36000公里的高度上，则在地面上相距18000公里左右的两个微波通信站(它们的天线高度可以很低)，只需通过一次转接便可进行通信。

当然，设想用普通的铁塔将中继站架这么高是不切实际的。但是，随着科学技术的发展，人们终于解决了将中继站安装在对地静止卫星上(其定义见第二章)这一难题，从而开