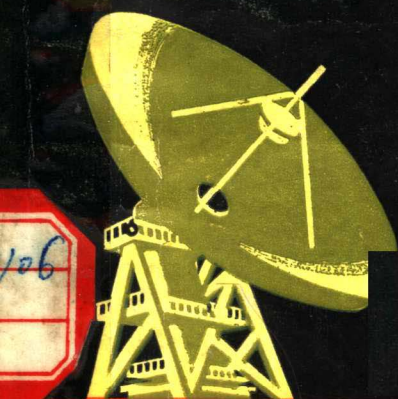


电信技术普及丛书



修订本

卫星通信

王德文 编著 · 人民邮电出版社

电 信 技 术 普 及 丛 书

卫 星 通 信

(修 订 本)

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书通俗地介绍卫星通信的基本知识。说明卫星通信的工作原理和特点，简述通信卫星和地面站的构成及各个部分的作用，例举几种典型的多址联接方式，最后介绍了卫星通信的发展趋势。

本书是1975年出版的《卫星通信》一书的修订本。这次修订，对第三、四、五、六各章作了一定程度的改动，增加了系统可靠性、卫星温控、跟踪与测控、地面站建造与布置、按申请分配-时分多址方式及运载工具等新内容。

卫 星 通 信

(修订本)

王德文 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1980年3月第 二 版
印张： 7 页数：112 1980年3月河北第二次印刷
字数：159 千字 印数：30,001—40,400 册

统一书号：15045·总2040—无611

定价： 0.55 元

出版者的话

为了普及电信技术知识，特别是电信新技术知识，为我国的通信现代化服务，我们组织编写了一套“电信技术普及丛书”，陆续出版。这套丛书的主要读者对象是具有中学文化水平、有一些电信基本知识的工人、管理干部和初级技术人员。在编写中，力求做到内容正确，概念清楚，深入浅出，通俗易懂；使读者读过一书后，能对某种技术的基本原理和主要情况有一个概括的了解，作为进一步学习的入门向导。我们殷切希望广大读者对这套丛书提出意见和建议，帮助我们做好这一工作。

修 订 版 前 言

卫星通信是六十年代开始出现的一门新技术。它利用人造地球卫星作为中继站来转发无线电信号,以实现两个或多个地面站之间的通信。这种通信方式具有通信距离远、传输容量大、性能稳定可靠、可以实现多址联接等优点。它不仅能够传输多路电报和电话,而且能够传输高质量电视、传真和高速数据;不仅适于民用通信,而且也适于军用通信;不仅能用于国际通信,而且也能用于国内通信。因此,在短短的十几年内,卫星通信得到了迅速的发展和广泛的应用。

发展卫星通信,对我国的社会主义建设,对加速实现四个现代化,都有重要的意义。广大电信工人、干部和工程技术人员迫切要求了解和学习卫星通信技术。1975年初版的《卫星通信》这本书,就是为满足上述需要而编写的。它通俗地介绍卫星通信的基本知识。主要内容是:说明卫星通信的工作原理和特点,简述通信卫星和地面站的构成及各个部分的作用,例举几种典型的多址联接方式,并介绍了卫星通信的发展趋向。

这次修订再版,根据读者意见改正了一些错误和不足之处,并对第三、四、五、六各章作了一定程度的改动,增加了系统可靠性、卫星温控、跟踪与测控、地面站建造与布置、按申请分配-时分多址方式及运载工具等新内容。在修订过程中,周代群、沈振金同志曾审阅书稿,提出许多宝贵意见,谨在此表示诚挚的谢意。

王德文

一九七九年五月

目 录

一、卫星通信浅说	(1)
1. 三万六千公里高的中继站	(1)
2. 越洋通信的能手	(4)
3. 特殊的微波中继通信	(11)
4. 卫星通信的过去与现在	(18)
二、卫星通信线路	(24)
1. 怎样用卫星通信线路打电话	(24)
2. 选择什么频率好	(28)
3. 能量到哪里去了	(31)
4. 怎样提高空间转发器的发射功率	(32)
5. 卫星通信的敌人——热噪声	(37)
6. 怎样战胜噪声	(41)
三、通信卫星	(45)
1. 通信卫星是怎样发射的	(45)
(1) 发射卫星所需要的初始速度	(45)
(2) 通信卫星的千里马——运载火箭	(48)
(3) 通信卫星的跟踪与测控	(55)
2. 解剖一个通信卫星	(58)
(1) 通信卫星的平衡器官——轨道控制和姿态 控制系统	(59)
(2) 通信卫星的耳目——天线系统	(69)
(3) 通信卫星的主体——空间转发器系统	(72)
(4) 通信卫星的神经——遥测-指令系统	(76)

(5) 通信卫星的心脏——电源系统	(79)
(6) 通信卫星的热平衡器官——温控系统	(80)
3. 空间转发器的电路设备	(84)
(1) 转发器的输入设备	(85)
(2) 转发器的中频放大设备	(87)
(3) 转发器的本振设备	(88)
(4) 转发器的发射机设备	(93)
4. 通信卫星的可靠性与寿命	(100)
四、地面站	(104)
1. 大型地面站	(104)
(1) 标准地面站	(104)
(2) 地面站的建造	(108)
(3) 地面站设备的布置	(110)
2. 地面站的各个系统	(112)
(1) 奇特的天线系统	(112)
(2) 强大的发射系统	(123)
(3) 灵敏的接收系统	(127)
(4) 多功能的终端系统	(137)
(5) 忠实的通信监控系统	(141)
(6) 可靠的电源系统	(143)
3. 怎样保证地面站的可靠性	(147)
(1) 备份	(147)
(2) 故障显示与自动转换	(147)
(3) 正确的维护	(149)
五、卫星通信线路的多址联接方式	(150)
1. 什么叫多址联接方式	(150)
2. 频分多址方式	(153)
3. 按申请分配-频分多址方式	(156)

4. 减少交调干扰的方法	(162)
(1) 控制各载波中心频率的间隔	(162)
(2) 加能量扩散信号	(164)
(3) 对上行线路载波功率进行控制	(166)
5. 时分多址方式	(166)
6. 空分多址方式	(178)
7. 特殊的多址方式	(180)
(1) 扩展频谱多址方式	(181)
(2) 脉冲地址多址方式	(181)
六、卫星通信的发展趋势	(185)
1. 多功能的通信卫星即将问世	(185)
2. 地面站会总是这样庞大吗	(188)
3. 向更高的频段进军	(192)
(1) 毫米波器件的研制	(193)
(2) 毫米波通信方式的改进	(195)
4. 新技术、新工艺和新器件的采用	(197)
(1) 频率重复利用技术	(197)
(2) 数字频带压缩技术	(199)
(3) 三轴稳定技术	(203)
(4) 新型电源与发动机	(204)
5. 卫星通信的新形式	(207)
(1) 国内与地区性卫星通信方式	(208)
(2) 跟踪与数据中继卫星通信方式	(213)
(3) 卫星间中继通信方式	(215)

一、卫星通信浅说

卫星通信是利用人造卫星作为中继站来转发无线电波，在两个或多个地面站之间所进行的通信。这种通信方式具有通信距离远、传输容量大、可靠性高、灵活性强以及多址联接等优点，是发展国际、国内乃至全球通信的重要方式之一。

1. 三万六千公里高的中继站

提起卫星通信，人们自然就会想到人造地球卫星。今天，在我们地球周围的宇宙空间里，有许许多多的人造卫星在运转，分别担负着不同的任务。例如，有用来进行气象观测的气象卫星；有对飞机或船舶进行导航的导航卫星；有能够勘测地球上的森林、矿藏等地球资源的地球资源卫星；等等。那种专门用来进行无线电通信的卫星叫做通信卫星。目前在通信卫星上一般都装有无线电收-发信机和一些其他的电子设备，因此人们又称这种通信卫星为有源通信卫星。

要进行卫星通信，单有通信卫星是不够的，还必须要有地面站。它是用来向卫星发射无线电波和接收卫星转发来的无线电波的。因此，在地面站中至少要有一套无线电发射机和接收机。通信卫星和两个以上的地面站就构成了人们常说的卫星通信系统。

一个现代的卫星通信系统，从工作原理来看，与一般无线

电通信，尤其与微波中继通信有许多相似的地方，因此是不难理解的。

我们知道，无线电通信是借助于无线电波的传播来传递各种电信号（例如电报、电话信号）的。无线电波有许多重要的物理性质。例如，它能像光线那样，在均匀媒质中按直接传播；在传播过程中遇到比波长大得多的障碍物时，会产生反射现象；并且波长越短，这些特性就越显著。同时，无线电波的传播速度极快，在真空中与光速相同，每秒钟30万公里。卫星通信就是利用无线电波的这些性质来工作的。

让我们以图1.1为例来说明卫星通信的工作原理。

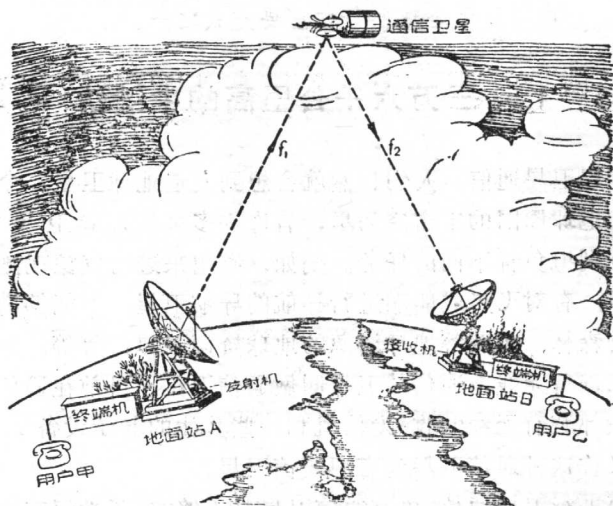


图 1.1 最简单的卫星通信系统示意图

这是一个最简单的卫星通信系统。假如地面站A要把某个用户的电话信号通过卫星传输到地面站B去。为此，地面站A可以用电话信号对一个频率很高（例如微波频率）的载波 f_1 进

行调制，然后把这个载波朝着卫星的方向发射出去。由于载波频率很高，加上地面站瞄准了卫星，所以发射的载波能够差不多按直线从地面站 A 经过宇宙空间传播到通信卫星。但是载波在传播过程中受到了大量的衰减，结果到达卫星时强度已经变得很弱。为了保证地面站 B 所需的接收信号电平，就用卫星把这个载波先接收下来，再经过频率变换变成载波 f_2 ，然后通过卫星发射机的功率放大器将 f_2 放大到一定电平，最后由卫星天线转发到地面站 B 。地面站 B 将接收到的载波 f_2 解调，就可以取出用户发来的电话信号。由此看来，通信卫星就好像一个设在天上的中继站，把地面站 A 发来的电波接收过来，再转发给地面站 B 。

在目前的国际卫星通信中，绝大多数采用的是静止卫星。所以叫做静止卫星，并不是说它真是静止不动的，而是因为这种卫星正好在赤道上空，距地面约有 36000 公里高，这时它绕地球一周的时间刚好等于地球自转一周的时间（24 小时）。因此，当我们从地球上去看它时，就真像是静止不动的一样。

图 1.2 是静止卫星与地球相对位置的示意图。从图中看出，假如我们能够站在静止卫星上来看地球，那么所看到的地球表面竟比整个地球表面积的二分之一还要大，其最大跨度（从 A 点到 B 点的弧长）达 18000 多公里。这说明只要在地球赤道上

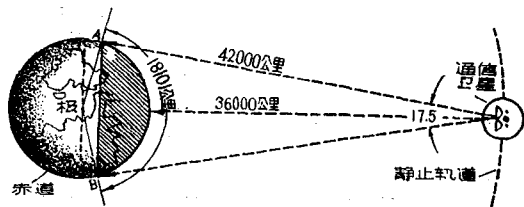


图 1.2 静止卫星与地球相对位置的示意图

空等间隔地放上三颗静止卫星，就足以实现全球范围的通信了，如图1.3所示那样。

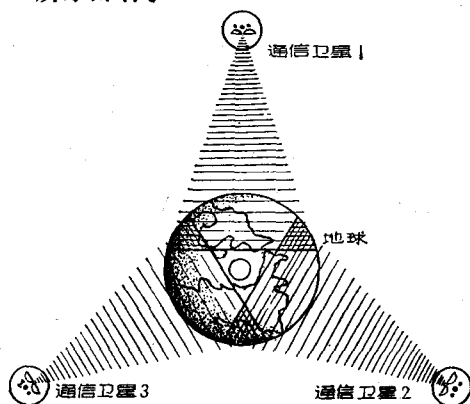


图 1.3 由三颗静止卫星就可以组成全球通信系统

2. 越洋通信的能手

前一节我们介绍了卫星通信是怎么回事。现在可能有人会问，为什么要发展卫星通信呢？要回答这个问题，需要先回顾一下越洋通信的发展历史。

在我们的地球上，分布着好几个大面积的海洋。早期的无线电通信首先遇到的障碍就是这种海洋的限制。因为要建立跨越这些大洋的通信线路，必须使通信距离达到一万公里以上。因此，人们在探索超远距离无线电通信方式的过程中，差不多总是和建立有效的越洋通信线路联系在一起的。

在无线电通信中，首先突破辽阔海域限制的是长波通信。早在1901年，就开始了横跨大西洋的长波电报通信。因为长波的波长很长（10000米~1000米），差不多可以与地球上最大物

体的尺寸相比，所以一般的高山、大洋都阻挡不住它。它能顺利地绕过这些障碍物，传播到很远的距离之外去，并且传播性能也很稳定。这就是长波通信能够最早用于越洋通信的原因。

但是有辐射就有吸收，有传播就有衰减，这是无线电波传播过程中既对立又统一的两个方面。由于长波主要是靠地波沿地球表面传播，而地球不是一个理想导体，所以当地波传播时，就在地球表面产生感应电流，而将一部分能量消耗在地球表面的电阻中了。这就是大地对电波的吸收作用。这样，电波强度就随传播距离的增加而迅速衰减。要使通信距离足够远，必须用很大的发射功率来弥补这种损失。为了要用长波进行远距离通信，往往要建造功率达数百、甚至数千千瓦的无线电发射机和巨大的发射天线，并且要把这些天线悬挂在高达数百米的天线塔上。例如，要建立一条横跨大西洋的长波通信线路，竟要千方百计地把发射天线悬挂在固定于两座山顶的大铁索上，并要使天线的最高点距地面四百多米以上才行(如图1.4所示)。

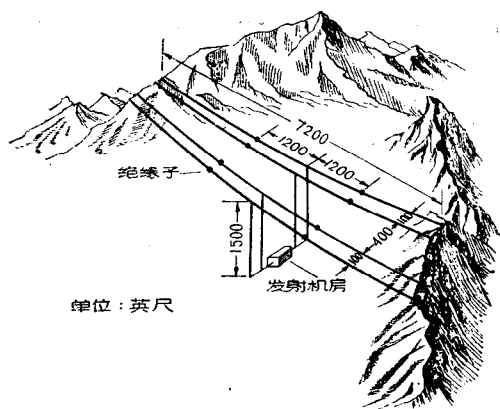


图 1.4 长波越洋通信所用的庞大的发射天线

另外，长波还太“拥挤”了。我们知道，每一个无线电台并不是只占用一个波长或频率，而是占用一个频带。为了不失真地传送信号，通常要求信号的最高频率不得大于载波频率的十分之一。对于电话信号，最高频率为3.4千赫，所以一个载波频率为40千赫的长波电台，仅仅能不失真地传送一路电话。如果要传送音乐节目(音乐节目的最高频率常在15千赫以上)，就会产生严重失真，当然更不用说传输电视了。因此，长波越洋通信当时只用于电报通信和气象预报。现在已基本上被淘汰了。

短波通信是直到现在还使用的越洋通信方式之一。短波的波长为100~10米。早些时候，人们认为短波是无法用于远距离通信的一个频段，而把它丢给业余无线电爱好者使用。然而业余爱好者们却用自制的简单小功率发射机在短波上实现了数千甚至数万公里的通信，使人们感到万分惊奇。这究竟是什么呢？原来这是电离层所起的作用。电离层是地球上空电离了的空气层，它能够反射短波的天波。被电离层反射下来的天波又可以被地面反射上去。这样，短波的传播方式就很像在地面和电离层之间“跳跃”。经过这样多次跳跃，可以传播得很远。由于这时电波和电离层以及地面接触的时间都很短，因此电波能量被吸收的机会就少。作为越洋通信方式来说，不再需要建立长波通信那种大功率的发射机和那样大的发射天线。此外还可以看出，短波段比长波段可以容纳较多的话路。

但是短波通信比较严重的缺点是从远处电台接收到的信号强度经常强烈地变化，如果不采取措施，那么短波电台的可听度将从极响到几乎完全无声之间不断变化。这种情况在我们用收音机收听短波电台节目时都有所体会。这种现象就是短波传播的衰落现象，是由于从不同路径反射的电波相互加强或削弱而造成的，通常称为多径效应。另外电离层位置的任何变化或

骚动，都会使短波通信受到影响。像昼夜的更替、季节的变迁以及气象现象的变化（如雷电、降雨）等都会使电离层发生变化。当发生磁暴、极光或核爆炸时，短波通信甚至会中断。

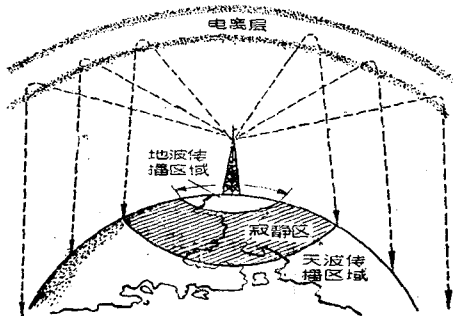


图 1.5 短波通信寂静区的产生

短波通信的另一个缺点是有寂静区。寂静区是短波的地波传播不到而天波也反射不到的地方（见图1.5）。当我们要联系的用户恰恰处于寂静区时，通信就无法进行了。

尽管采用某些特殊措施，例如对电离层位置进行预测，采用分集接收以及不断更换工作波长和发射仰角等方法，可以在一定程度上克服上述缺点，然而短波通信仍然很难保证有稳定的全天通信。加上目前短波段也相当“拥挤”，并且不能传送电视和其他宽带信号，所以短波越洋通信远远不能满足人们的需要。

但是人们并没有因此而停止对越洋无线电通信提出更高的要求。随着国际交往的日益频繁，人们不仅要求有能够传输大容量多路电报和电话的越洋通信线路，而且还要求能在这些线路上传输电视和高速数据等高质量信号，这些信号通常占据很宽的频谱（几兆赫到几十兆赫），很明显，这是长波及短波通信线路根本无法胜任的。因此，直到十年前，这种跨越大洋的多路电话和电视的传输就只能靠海底电缆线路来完成。然而敷设这种深海海底电缆线路的费用很高，同时由于要设置很多增

音机，因而对增音机的可靠性等提出了极高的要求。此外还经常会受到地理上和其他方面的种种限制。

然而也有一种通信方式，能够同时传输多路电话和电视等宽带信号，但是却无法越过大洋的障碍，这就是人们熟知的微波中继通信。

微波的波长在1米至1毫米左右。所以称它为微波，不只是因为它是波长很短的无线电波，还因为它的波长与地球上许多物体的尺寸相比都要小得多的缘故。微波是光波的“邻居”，因此它的许多特性与光波更加相似。微波不能像长波那样靠地波传播，因为这时大地的吸收作用比长波大得多。它也不能像短波那样靠电离层对天波的反射来传播，因为这时微波能够毫不费力地穿透电离层而跑到宇宙空间，再也不返回地面了。微波只能像光线一样按直线传播。这样一来，地球上的许多物体都会成为它的障碍，因为它几乎没有多少绕射能力，就连地球表面的弧度也成了微波传播的拦路虎，更不用说越过大洋了（见图1.6）。通常为了使微波传播得远一些，就尽量把发射天线架得高高的，即使这样，由于地球表面弧度的影响，一个

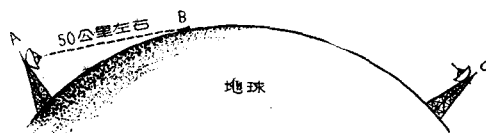


图 1.6 由于地球表面弧度的影响，微波只能在视距范围内传播

40米高的天线也只能保证微波传播50多公里的视距范围(图1.6中的B点)。只要接收天线一消失在地平线以后(如C点的地方)，

所接收的信号强度便急剧下降。为了增加通信距离，采用了微波中继通信方式。

微波中继通信又叫微波接力通信，是人们根据接力赛跑的道理来增加微波通信距离的一种方法。其实这种方法很早就

有线通信中应用了。在远距离的有线电报和电话通信线路中，为了保证必要的接收信号电平，在线路上经过一定距离后，要设置电报帮电机和电话增音机，以便增强已经衰减了的信号。利用微波进行远距离通信，也可以这样做。在直线可见范围内，用一个电台先把信号接收下来，加以放大，然后在通信线路的方向上重新发射出去，这就叫做转发。这个转发信号传播一段距离后，还可以再次转发，如同接力赛跑一样，把微波信号从一站传递给下一站，直到到达接收终端站为止，如图 1.7 所示那样。

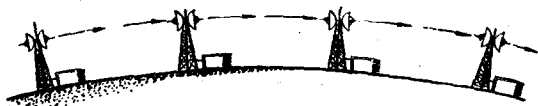


图 1.7 微波中继通信像接力赛跑一样把信号从一站传递给下一站

微波中继通信具有许多优点，例如传输容量大（目前可同时传输几千路甚至上万路电话或几套电视节目），所需发射功率小，比短波通信保密性强、稳定以及比海底电缆架设方便等。所以这种通信线路广泛地用来传输国内的多路电报、电话、传真和电视等业务，像我国从首都北京到各大城市间的电视转播，就是采用的这种线路。

尽管微波中继通信是一种比较先进的通信方式，但是还不够理想。这主要是因为它的通信距离是受天线高度和中继站数目严格限制的。由于在通信线路上每隔50公里左右就要设一个中继站，所以随着通信距离的增加，所需要的中继站的数目也就大大增加。而每一个中继站通常至少要有一套接收-发信设备，有的还要有调制-解调设备和监视控制设备等。所有这些不仅要耗费大量的人力、物力和财力，而且还会引起信号延迟、