

中國社會主義青年團

團 校 教 材 力 量 前 沿

團 校 教 材 編 寫 組

人 民 郵 電 出 版 社

电信技术普及丛书

微波接力通信

焦其祥 籍义忠 编著

人民邮电出版社

内 容 简 介

微波接力通信是一种大容量的通信，目前在国内外已普遍采用。然而，怎样利用微波进行通信呢？一条完整的微波通信电路主要用些什么设备呢？微波怎样携带着信号在空间传播呢？本书以通俗的语言由浅入深地讲解这些问题；主要介绍微波接力通信的基本概念、简单原理、系统和主要设备，以及微波接力通信的发展；可供从事无线电通信工作的工人、管理干部和有关技术人员阅读。

电信技术普及丛书

微 波 接 力 通 信

焦其祥 籍义忠 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 1982年10月第 一 版
印张：9 4/32 页数：146 1982年10月河北第一次印刷
字数：211 千字 印数：1—6,000 册

统一书号：15045·总2624-无6200

定价：0.77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，能对某项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。

引 言

你也许见过，在某个高层建筑或铁塔的顶端，架设着一个或几个像大锅一样的东西，或者你早就为它的用途而冥思苦想过。假设你能乘坐直升飞机沿着“锅”口对着的正前方驶去，不出五、六十公里，又会看到一个张口相迎的“锅”，并且在同一个地点还有一口“锅”，“锅”口对着另外方向。沿着这个方向继续飞下去，不出五、六十公里又是一个，……。如果沿着所有“锅”口指向飞行，并将飞行路线统统画在祖国地图上，你就会发现，它像人体的神经一样，贯穿在祖国的四面八方，它，就是微波接力通信网。

“欲穷千里目，更上一层楼”。这是唐朝王之涣对登高远望的诗意描写。然而真若欲看千里之遥，当时是没办法的。现在，利用微波接力通信网实现了电视的远距离传送，使你坐在北京四合院的电视机旁，就可收看上海体育馆的篮球比赛，广州游泳池的跳水表演。微波接力电路也是大容量的电话传输电路，单个波道就可以传送600路、960路、甚至多达2700路电话。不仅如此，微波接力通信还可以传送传真图象，快速电报、编码信号等。它对我国国民经济的发展起着越来越大的作用。

我们简单地介绍了微波接力通信网的用途，然而，什么是微波？用微波怎么通信？电视和多路电话为什么要用微波接力传送？……。概括一句话，微波接力通信是怎么回事？本书第一章就先来回答这个问题。如果想进而了解微波通信设备怎样

工作，可继续看第二章。简单的电磁场理论和微波器件工作原理，是了解整个通信电路工作不可缺少的部分，本书第三章为读者提供了这部分内容。^②第四章对微波技术的发展作了简单介绍。微带技术是微波技术的一个新的分支。它使得微波设备的小型化、^③集成化得以实现。

文中若有错误之处，望批评指正。

目 录

引言

第一章 微波接力通信是怎么回事	(1)
第一节 一种新型大容量通信电路.....	(1)
第二节 用微波接力电路传送多路电话.....	(13)
第三节 一条完整的微波通信电路.....	(55)
第四节 通信系统中的噪声.....	(76)
第二章 微波接力通信设备	(107)
第一节 微波收发信机.....	(107)
第二节 电话、电视调制机.....	(147)
第三节 微波联络机.....	(166)
第四节 波道倒换机.....	(173)
第三章 电磁波与奇特的波导元件	(189)
第一节 电磁波.....	(189)
第二节 波导.....	(198)
第三节 波导元件.....	(221)
第四节 天线和馈线.....	(253)
第四章 微波技术的新发展	(263)

第一章 微波接力通信是怎么回事

第一节 一种新型大容量通信电路

一、一般通信电路是怎样构成的？

人们最熟悉的通信是书信联系。从古代信使的骑马送信，到现在的航空信件，已经有很悠久的历史了。随着交通工具的发展，装信的邮袋从马背“迁移”到火车、飞机上，传送时间大大缩短，不能不说是个跃进。但是通信史上的真正革命却是电的应用。大家所熟悉的电话，一经接通，立即可以和对方说话，根本感觉不出信号在传输路途中所耽误的时间。电子通信的迅速，是任何现代交通工具不可比拟的。

电是怎样帮助人们进行通信的呢？为了弄清这个问题，我们还是从“打电话”谈起。

一个最简单的电话电路是用两根导线把两部电话机连接起来，如图1-1a所示。电话机的手机子一端是话筒，一端是听筒。说话时，话筒在声波的作用下产生一个随声音变化的电流，这个电流通过导线传到对方的听筒中，听筒在变化的电流作用下，将声音再显出来，传到收听者的耳朵中。对方的回话也是通过相似的过程传过来的，于是双方就可以交谈了。

上述例子虽然简单，却构成了一个最基本的电子通信电路。如果采用通信系统中的术语，将各部分名称一般化，就可以引出代表一般电子通信系统的组成模型。讲话者是所要传送

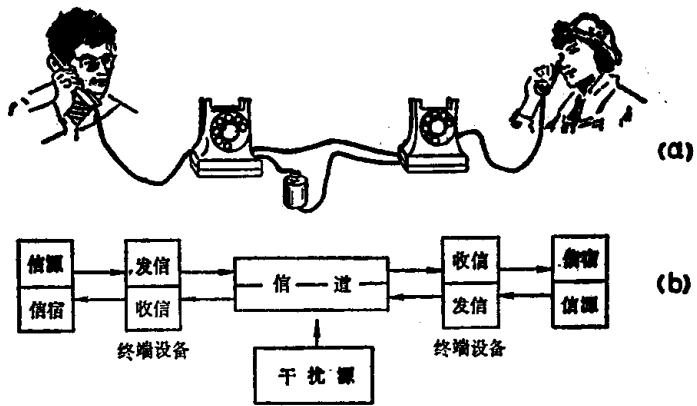


图 1-1

的消息信号的来源，可称之为信源；听者是信息最终的接收者，称为“信宿”；电话机可将声音变为电信号，又能将电信号转变为声音，可称为能发能收的终端设备；传送电信号的导线我们称它为信道。如果再考虑到传输过程中有干扰存在，那么一个完整的双向电子通信系统的基本模型就可以画出来了，如图1-1b所示。

图1-1b的意义已不再局限于两个人打电话了。任何电子通信系统都可以归纳为信源、信宿、发信终端、收信终端和信道五个组成部分。信源可以是文字，图象或许多电话用户。信源不同，它们所利用的信道和终端设备可能差别很大。例如，长途电话的信道，根据用户的多少可以选用架空明线、电缆等，也可以选用不同的无线电收发设备，发射各种波长的电波。前者统称为有线信道，后者称为无线信道。信道选定后，还应配备相应的终端设备，利用这些设备把要传的消息转换为适合于信道传输的电信号；或把信道传输的信号转换为消息。这样，不同的信道和终端设备就构成了各种类型的电子通信系统，例如明线通信，电缆通信、波导通信、光通信、卫星通信、短波

通信，以及我们要介绍的微波接力通信。

二、什么是微波接力通信

1. 接力通信的历史回顾

为了与相距很远的地方迅速联系，利用接力赛跑那样的方式来传递消息或信件，历史上是早已有过的，我国古代的驛站通信就是一个例子。在相距很远的两地之间，沿途设置许多驛站。信使扬鞭飞马把信件送到下一站，然后换人马再往下传送，一站接一站，人马换歇，信传不停。这在没有火车飞机的古代，已经是最快的通信方法了。

十九世纪前半期，欧洲发明了一种信标发报法，从巴黎到土伦沿途425英里的山頂上竖立着120座传送塔。发送员把很大的臂杆摆在一个位置上代表一个特定的信号，接收员用望远镜望见后，将自己的臂杆也摆在相同位置上，传给下一站看，动作最快时大约一分钟可以传送一个信号，这在当时来说已经是很了不起的了。我国古代的烽火台，也是一种接力通信的方式。一路之上筑台若干，当发现敌情时，一台烽燧既作，邻台相继递举，以告全线戍兵作好应战准备。这些简单方法可以说是一种光的接力通信，可惜在技术落后的古代，只能用它们传送几个预先约定好的消息，能力实在太小了。

原始接力通信的方法，在今天已经远远不能满足人们的需要。随着科学的发展，人们研制出用微波进行接力通信的新方式，它既有很高的传输速度，又能携带大量的信息，是一种新型大容量无线电通信方式。

2. 什么是微波

“枫岸纷纷落叶多，洞庭秋水晚来波”。秋风吹动湖面，激起荡漾的微波，清澈碧绿，令人难以忘怀。狂风怒吼，掀起大海万丈波涛，遮天盖日地劈将下来，又使游子惊心动魄。波，人们对它太熟悉了。无论男女老幼，水面起波都是亲眼见过的。但是用于通信中的微波却是另外的一种波，它叫做电磁波，这对于有些人来说就不太熟悉了。实际上电磁波一天到晚地在人们身边飞速流逝着。收音机里的美妙音乐，电视屏幕上的精采表演，飞机与地面的联络，船只遇难的呼救，以及一切无线电通信都是依靠电磁波来传送的。

电磁波是利用电能和磁能在空间的相互转换而进行传播的波。中学物理中做过这样的实验，当一根导线中有直流电流流过时，在它的周围就会产生使磁针转动的磁场。如果电流的方向是交替变换的，那么，产生的磁场也是交变的，这是电能变为磁能的例子。另一个实验是：当一个闭合线圈里的磁力线发生变化时，线圈里就会产生感应的变化电流，这是磁能变为电能的例子。这种电与磁之间的相互转换，实际上不只局限在导线与其周围空间之间发生，当变化的频率较高时，由导线（这时可称为天线）中的交变电流在其周围产生交变的磁场，磁场的变化又会在它的邻近空间产生交变的电场，接下去，电场的变化又在它邻近的空间产生交变的磁场……，如图 1-2 所示的那样，电与磁一圈套一圈，相互支持，相互转换，向四方散去。如果我们站在传播途中的一点上，能够观察到这种传播的话，就会看到电场或磁场一会儿强，一会儿弱，一会儿正，一会儿负，忽高忽低地变化，此起彼伏，向前行进。

如果能把空间的电波或磁波在某一时刻的情形拍照下来的

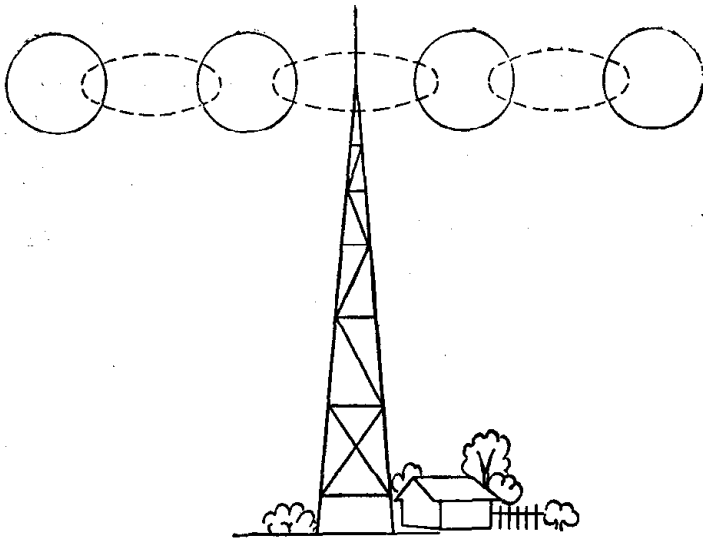


图 1-2 电磁波辐射示意图

话，我们会看到，其中最简单的波型是沿传播方向按正弦曲线起伏变化的，如图1-3所示。这种波叫做正弦波，它是电磁波

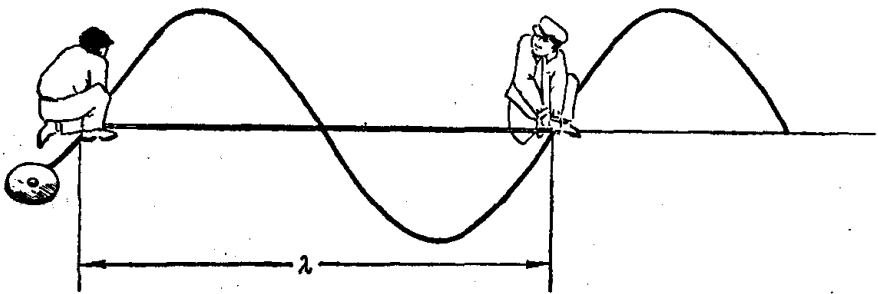


图 1-3 正弦波

的最基本的波型。正弦波变化一个周期在空间传播的距离，称为“波长”，通常用字母“ λ ”来表示。根据波长的长短，电磁波可以分为长波、中波、短波和微波等；微波就是波长大约为1米至0.1厘米范围内的电磁波。电磁波的变化也常用“频率”（记为 f ）来描述，频率就是波在一秒内变化的周期数，

或者说波在一秒钟内传播的距离与波长相比所得的倍数，单位是“赫”（记为 Hz ）。电磁波每秒传播的距离就是它的传播速度，在自由空间内，无论电磁波波长是多少，它们的传播速度都接近光速，大约为每秒30万公里（ 3×10^8 米/秒），所以频率 f 与波长 λ 的关系可以写为：

$$f = \frac{3 \times 10^8 \text{米}}{\lambda \text{米}} \text{ (赫)}$$

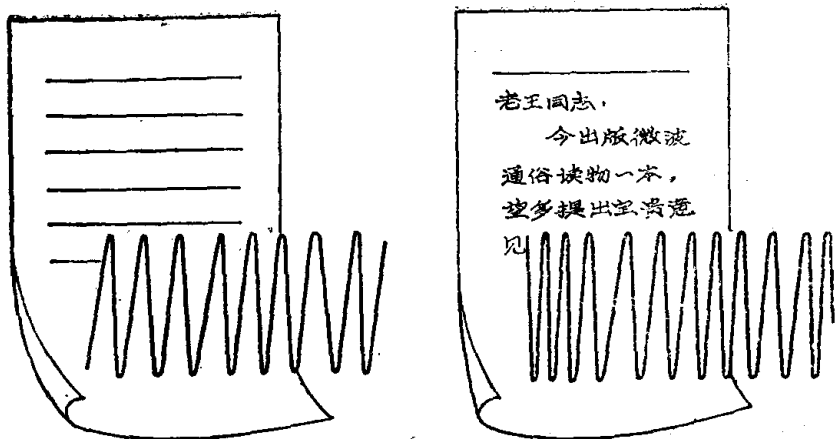
由此可以算出微波的频率范围是0.3千兆赫至300千兆赫。1兆赫 $= 10^6$ 赫。

3. 怎样利用微波进行通信

用书信通信时，寄信人应把事情写在信纸上，对方通过信纸上的文字来了解所谈之事。若把一张没写字的白信纸邮寄出去，收信人看到后除感觉奇怪外，什么消息也得不到。因此，书信通信的目的在于传送信纸上用文字记载的消息内容，至于信纸，不过仅仅是为记载消息所用的工具而已。

微波可以从一个地方发射，经过空间迅速地传到另一个地方。但是如图1-4a所示，一个规则的正弦波只相当于一张空白信纸，对方收到它后，除知道双方联系没有中断外，是不会得到更多消息的。通信的目的在于传递语言、新闻、数据或图象等信息，因此要想利用微波来通信，除首先把信源的信息变为电信号外，还应把它们载入到微波信号上。送到收信端后，再从微波信号上取出来，最后由电话机或电视机重现出语言或图象。这个“载入”和“取出来”的工作是分别由信道发收终端设备来完成的。

所谓把信息载入微波信号中，就是使微波波形随着信息的变化而产生某种变化。在微波接力通信系统中，载入信息的微



(a) 无载运信息波形

(b) 载运信息波形

图 1-4 微波信号波形

波波形如图1-4b所示。由图可以看出，波形发生了疏密变化，不再是规则的正弦波了。微波波形的忽疏忽密，是随着信息变化的，接收端就是根据这种疏密变化再将信息恢复出来。

由此可见，若利用微波来传送语言信息，不仅需要把声音等变为电信号，还需要把这些代表声音的电信号载入微波中，在收信端必须先将它们从微波信号中取出来，然后才能通过电话机把声音再现出来。承担以上任务的是收、发终端设备，显然，微波通信所需要的终端设备远远比图1-1a所示复杂得多。

4. 为什么要发展微波通信

在微波通信问世以前，人们早已使用了长波、短波和架空明线等各种电路来进行远距离通信了，那么为什么还要发展微波接力通信呢？关于这个问题，如果不了解点电话信号和电视信号的特点是很难说清楚的。

(1) 电话信号和电视信号的特点

语言是很复杂的声音信号，人们在说话时声音有大有小，而且语调也不同。通过电话机把话语变为电信号时，信号幅度随声音大小而变化，信号频率随语调不同而不同。据统计人的话音频率一般在80赫至8000赫范围以内。实验证明，在通话时，如果能传送300—3400赫范围内的语言信号，就足以听懂对方说话内容。因此，人们就把300—3400赫的语言信号规定为一路电话的“话音频谱”。通常还要考虑一些富余量，故在电路中规定一路电话占用的频带宽度为4千赫。

把许多用户的电话合并在一起进行多路电话传输时，多路信号的频谱宽度是随着话路数的增多成正比增加的。例如12路信号的频谱为36~84千赫或92~140千赫，频谱宽度为48千赫；60路信号的频谱为12~252千赫，频宽是240千赫；960路信号的频谱为60~4028千赫，频宽是3968千赫。因此，路数不同的信号具有不同的频谱，话路数越多，频谱越宽，这就是多路信号的重要特点。

图象和语言完全是两回事，两者转换为电信号的过程也截然不同。电话是把声压的起伏变为电流的大小传送出去的，电视是把图象分解为许多亮度不同的“小点”，然后再把每个“小点”的亮度变为电流的大小逐个传送出去的。与电影放映相类似，电视每秒至少要传送25帧画面，观众收看时才不产生闪动感觉。另外，一帧画面分解的“小点”数越多，图象越清晰。但是“点”数越多，图象信号变化就越快，它的频率就越高。根据我国电视标准，每帧有50万多个“小点”，相应的信号最高频率大约为6兆赫。它的最低频率几乎接近零频，所以电视图象信号的频谱约为：0—6兆赫。它的频谱宽度比960路多路信号的频谱还要宽。频谱占用很宽的频带，这就是电视信号的重要特点。

由以上介绍我们了解到，当传送几百路电话或一路电视时，信号所占用的频带宽达几兆赫以上，这样的信号并不是任何信道都可以传输的。那么，各种信道或者说各种通信电路的能力究竟受什么条件限制呢？下边我们就来回答这个问题。

(2) 通信电路的容量

各种各样的通信电路正如大小不同的桥梁一样，各自都有一定的容量限度。西湖的九曲桥上不能过坦克车，这是游览过的人都相信的。究其原因，一是桥面太窄，二是支承力不够。可见桥面尺寸和支承力大小是决定桥容量的主要因素。在通信电路中，决定通信容量的主要因素是信道频带宽度和电路的噪声大小。信道频带宽度就是一个信道所能传送信号的频率范围，它是决定某种信号能否利用这个信道传输的首要条件。多路信号的频谱宽度是与话路数成正比增加的，通话路数越多，所要求的信道频带应越宽。

信道的频带宽度，在有线通信中主要决定于信道本身的结构和中间增音设备的带宽。其中明线通信的信道最窄，它的工作频带是0—150千赫；对称电缆工作频带为12—252千赫；中同轴电缆为0.3—12兆赫。信道频带最宽的则是光导纤维通信。无线通信的频带宽度主要受到终端设备的限制。例如微波通信电路，就其微波频带而言是相当宽的，约为0.3千兆赫—300千兆赫，实际的工作频带受到终端设备频率特性的限制，但因中心工作频率很高，设备的绝对频带宽度可以做得很宽，例如工作在4000兆赫上的微波电路，单波道的频带宽度可达40兆赫。具有宽阔的频带是微波通信电路的显著特点。因为具有这样可贵的特点，所以它一经问世，就引起人们的足够重视。但是，人们是经过长期的实践奋斗，才驱使微波成为长途大容量通信的工具。其中重要的一点就是克服微波直线传播的缺点。

5. 微波的直线传播和接力传输

如果说日光浴就是受某种电磁波照射，可能使某些人感到奇怪，然而，实际上日光就是一种波长更短的电磁波，如果把各种波和光波按照波长的长短排列起来，就会有如图 1-5 所示

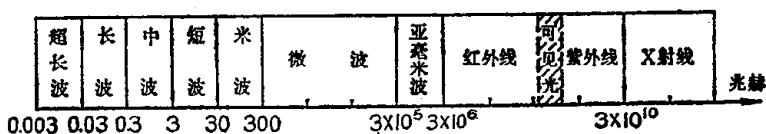


图 1-5 各种电磁波的波长

的顺序。可以看到，微波紧靠在红外线的下边，它是可见光的“近邻”。因为波长相近，微波有许多特点与光相似。从太阳发出的光可以通过宇宙空间，穿过地球上空的电离层，照射到地面上。同样，地球上发射的微波也能穿透电离层飞向宇宙空间，从而为宇宙通信开辟了通途。但是，众所周知，日光是沿直线传播的，如果在光经过的途中放置一物体，根据光学原理只要物体的尺寸大于光波的波长，光就不能绕射过去，它或者被反射或者被吸收。微波的传播也是直线式的，在地面上它不仅容易被高山峻岭阻挡，甚至一间房子，一棵树木也会使它难以逾越。更不幸的是地球球面的弯曲成为更大的障碍。直线式传播的微波，正像图1-6所示的那样，仅仅在发射台附近沿地面传播一定距离，而后便离开地球射向天空。如果接收点较远，例如图1-6中的B点，便什么也接收不到了。实际上微波在地面上传播的有效距离仅仅在“视线”范围以内，即使把双方天线架设在高达四十多米的铁塔上，传播距离也只有五十来公里。

如何使微波传得更远，这成为能否用它作通信工具的关键，最后人们采用“接力传输”的方法解决了这个难题。微波