

微波中继通信

谈德茂编

电力工业出版社

内 容 提 要

本书比较全面地阐述了在微波中继通信系统中, 频分多路-调频电话信号的传输过程和技术质量指标; 主要结合2GHz/120CH微波中继通信设备为典型, 系统地分析和讨论了微波设备各部分的电路组成、工作原理和调整方法; 还比较详细地介绍了常用的微波中继通信专业测量知识。

本书力求深入浅出, 并附有一定的例题。

本书主要供从事微波中继通信工作的人员阅读, 也可供有关专业的师生参考。

微波中继通信

谈德茂 编

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19.25印张 438千字

1982年9月第一版 1982年9月北京第一次印刷

印数 0001—5120册 定价 1.60元

书号15036·4328

目 录

前 言

第一篇 微波中继通信系统

第一章 频分多路-调频制微波中继通信概述	1
第一节 电话通信的基本概念	1
第二节 频分多路电话通信	4
第三节 微波中继通信	7
第四节 微波中继通信系统	11
第五节 2GHz/120~300CH调频制微波中继通信	15
第二章 信号及其传输标准	19
第一节 传输单位	20
第二节 频分多路电话信号	29
第三节 调频信号	35
第三章 噪声及其技术指标	44
第一节 噪声的来源和分类	45
第二节 话路噪声单位	46
第三节 假设参考电路	47
第四节 话路噪声标准	48
第五节 噪声指标分配	49
第四章 热噪声	50
第一节 热噪声的来源及其主要特性	50
第二节 噪声系数和等效输入噪声温度	53
第三节 调频热噪声	59
第四节 调频收信机门限电平	65
第五节 加重技术	66
第六节 其它调频热噪声	70
第七节 空间衰落和衰落储备	70
第五章 失真噪声(一) 非线性失真串噪声	75
第一节 非线性失真和非线性失真串噪声	75
第二节 非线性失真组合波	77
第三节 非线性失真串噪声功率及其信噪比	80
第四节 微分线性	82
第五节 非线性失真信噪比的加重和加权	87
第六章 失真噪声(二) 线性失真串噪声	88
第一节 调频通道线性失真	88

第二节	调频通道线性失真对FDM信号的影响	89
第三节	调频通道线性失真对输出频偏的影响	90
第四节	调频通道线性失真使FDM信号产生线性失真	93
第五节	微分增益失真噪声	94
第六节	微分相位失真噪声	100
第七节	群时延失真噪声	102
第七章	干扰噪声	107
第一节	收信镜像干扰和发信第二边带干扰	107
第二节	越站干扰和站间窜扰	109
第三节	回波失真干扰	110
第二篇 微波中继通信设备		
第八章	微波中继通信设备的组成	113
第一节	概述	113
第二节	主站备用微波设备的组成	114
第三节	其它类型微波设备组成的特点	118
第九章	发信通道	121
第一节	基带信号的并路	121
第二节	预加重网络	124
第三节	发信群频放大器	126
第四节	中频调制器	128
第五节	公务调制器	136
第六节	发信中频放大器	140
第七节	70MHz代振器	145
第八节	发信中频滤波器	146
第九节	发信本振	148
第十节	发信混频器	156
第十一节	发信边带滤波器	160
第十二节	微波功率放大器	163
第十三节	环行器	169
第十四节	定向耦合器	172
第十五节	607KHz导频振荡器	173
第十章	收信通道	174
第一节	收信输入滤波器	175
第二节	收信带阻滤波器	175
第三节	收信本振	175
第四节	收信混频器	176
第五节	前置中频放大器	179
第六节	收信中频滤波器	186
第七节	主中放及自动增益调整	188

第八节	解调器	198
第九节	去加重网络	205
第十节	收信群放	206
第十一节	基带信号的分路	206
第十一章	天线馈线系统	207
第一节	天线	208
第二节	馈线系统	214
第十二章	信号控制系统	218
第一节	信号指示	218
第二节	信号告警	220
第三节	波道倒换	225
第四节	导频和噪声接收放大器	231
第十三章	公务联络系统	232
第一节	公务联络电话的组成	233
第二节	公务联络电话	234
第十四章	电源供给系统	240
第一节	电源开关程序	240
第二节	电源控制	243
第三节	直流稳压器	245
第四节	电源变换器	247
第五节	电源供给系统的调整和技术指标	248
第六节	微波站上电源配置概述	249

第三篇 微波中继通信测试

第十五章	基本测量	251
第一节	噪声系数的测量	251
第二节	话路噪声的测量	256
第三节	中频幅频特性的测量	261
第四节	驻波比的测量	266
第五节	微波功率的测量	270
第六节	微波频率的测量	275
第七节	频偏的测量	277
第八节	微分指标的测量	280
第十六章	系统测试	292
第一节	天线馈线系统的测试	292
第二节	微波设备技术指标的测量	295
第三节	区间环路技术指标的测量	297
第四节	交替法检查故障部位和暂代使用	299
第五节	2GHz/120CH调频制微波中继通信微波测量仪表配置情况	302

第一篇 微波中继通信系统

第一章 频分多路-调频制微波中继通信概述

微波中继通信是无线通信的一种主要方式，具有通信容量大、传输质量高的特点。目前，微波中继通信大多采用频分多路-调频制式。本章首先简单介绍电话通信的基本概念，然后主要讨论频分多路和微波中继等问题。

第一节 电话通信的基本概念

一、电信

通信，就是互相传递信息的意思。被传递的信息，可以是语声，也可以是文字、图象，还可以是数据。

电信，就是利用电磁系统传递信息的过程。在电信技术中，信息通过电磁系统转换成相应的电磁信号，然后利用线路进行传输。通常，把由信息转换成的电磁信号简称为信号。

电信号，就是由信息转换成的、用来表达或携带信息的电量（电流或电压）。下面举例来说明。

在电话通信中，发信端的发信者利用送话器将待传递的语声转换成相应的音频电流，通过线路传输到受信端，受信者利用受话器将接收到的音频电流还原出相应的语声。在这个过程中，语声是电话通信中所传递的信息，音频电流是电话通信中的电信号。

在电视通信中，发信端的发信者利用摄像机将待传递的图象转换成相应的视频电流，通过线路传输到受信端，受信者利用显象机将接收到的视频电流还原出相应的图象。在这个过程中，图象是电视通信中所传递的信息，视频电流是电视通信中的电信号。

用来传输信息的工具或手段称为通信方式。在电信技术中，通常把通信者双方之间是否用实在的传输线相连接，划分为有线通信和无线通信两大类。

电信的概念，可概括如图1-1所示的一般模型。图中：

发信者和受信者：可以是人（如电话），也可以是机器（如电报）；

发信设备：将待传信息转换成相应的电信号；

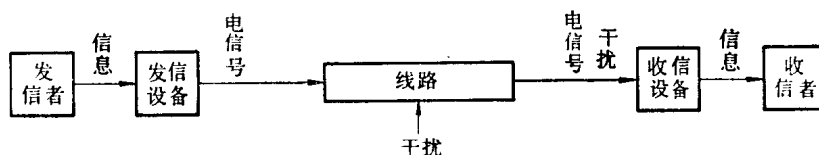


图 1-1 电信的一般模型

线路：电信号的传输通路。它可以是有线的（如音频电话），也可以是无线的（如短波电台）。线路上一般还含有干扰；

收信设备：将接收到的电信号还原出发信者所传的信息；

通信系统：从发信设备、线路到接收设备之间的所有组成部分的通称。

图1-1是一种最简单的单向通信。欲构成双向通信，还应增设一套同样的通信设备，其信号传输方向与上图相反。

应该指出，将信息转换成电信号通过线路传输时，必须使信息和电信号之间保持“相应”的关系，才能使待传信息不失去原意或真相。目前，实现这种“相应”关系的方法大体上有两种：模拟和编码。下面以电话通信为例作说明。

发信者将语声通过送话器转换成音频电流，它们之间的“相应”关系是：音频电流随着语声的变化规律而变化，即音频电流的变化模拟着语声的变化，这类电信号称为模拟信号。传输模拟信号的通信方法称为模拟通信。另一种则是在发信者将语声通过送话器转换成音频电流后，还需利用编码装置将音频电流经取样、量化和编码等适当处理，使之成为一系列的数字码组。数字码组与语声之间的“相应”关系是：数字码组的组合随着语声的变化规律而变化，即不同的数字码组反映着不同语声的变化，这类电信号称为数字信号。传输数字信号的通信方法称为数字通信，也叫编码通信。

二、电话信号

（一）语声

声音是由物体的振动产生的。同理，人们的声带振动也会发出声音。声带振动发出的声音，经过声道，在咽、喉、唇、舌和口腔、鼻腔等器官的作用下，形成了不同结构的语声，如A、B、C、D等等。

语言研究表明，人们发出的各种语声的频谱是非常宽广的，理论上为 $0 \sim \infty$ 。但是，从语声的能量看，语声中低频分量占有能量多，高频分量占有能量少，若忽略2500Hz以上的高频分量，被损失掉的语声能量甚微。从语声的质量看，其清晰度主要是由200~6000Hz左右的频率分量所决定，若忽略200Hz以下和6000Hz以上的频率分量，对语声清晰度几乎没有影响。

人们的听觉器官，由于生理上的原因，并不是对所有的声音都能感觉，通常只能听见15~20000Hz范围内的声音，称为可闻声，其中对800~1000Hz左右的声音感觉最为灵敏。对于15Hz以下的声音（次声）和20000Hz~ 10^9 Hz的声音（超声）都感觉不出来。因此，若按人们的听觉为准，语声的频带可选取15~20000Hz。

由于通信电路都具有一定的频率特性，若选取的语声频带越宽，则要求通信电路的通频带也越宽，这是很不经济的。

在电话通信中，对语声质量的要求，只要使收信端受话人能听懂发信端发话人的语声就足够满意了。因此，不必选取15~20000Hz这么宽的语声频带。综合考虑语声能量（主要集中在2500Hz以下）、语声质量（主要集中在200~6000Hz）和人们的听觉（15~20000Hz特别是800~1000Hz左右）等因素，对于一般的电话传输系统，通常选取两种语声基本频带：一种是300~2700Hz，另一种是300~3400Hz。前者常用于音频电话、电力线载波电

话等，后者常用于多路电话。

(二) 电-声互相转换

在电话通信中，待传递的信息是人们的语音，而在通信电路中传输的是电信号，这就需要具有电-声互相转换的器件。在发信端，应具有声-电转换器；在收信端，应具有电-声转换器。现分述如下：

1. 送话器

送话器是在发信端把语音转换成电信号的器件。以炭精送话器为例，基本结构如图1-2所示。

送话器声-电转换的原理是：发话人的语音作用于振动膜片1（振动膜片的弯曲度正比于声压），振动膜片1带动前电极2位移（前电极位移正比于膜片弯曲度），前电极位移使炭精粉3时紧时松，使炭精电阻时小时大，导致送话器外电路的电流即音频电流相应地时大时小，从而实现了送话器在声-电转换过程中电信号与语音的“相应”关系。同时，语音的频率越高，振动膜片的振动频率越高，炭精电阻的变化频率越高，从而导致音频电流的频率越高，反之亦然。这说明电信号与语音的频率是相同的。在多路电话通信中，因语音的基本频带选为 $300\sim 3400\text{Hz}$ ，故音频电流的频率也是 $300\sim 3400\text{Hz}$ 。

2. 受话器

受话器是在收信端把音频电流转换成语音的器件，基本结构如图1-3所示。

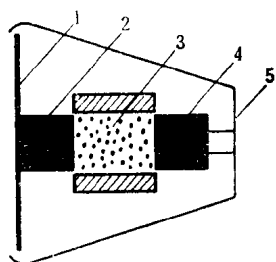


图 1-2 炭精送话器的基本结构

1—振动膜片；2—前电极；3—炭精粉；
4—后电极；5—外壳

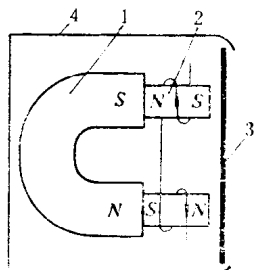


图 1-3 受话器的基本结构

1—永久磁铁；2—铁芯线圈；3—振动
膜片；4—外壳

受话器电-声转换的原理是：当铁芯线圈2中无音频电流通过时，振动膜片3在永久磁铁1的作用下略向内弯；当铁芯线圈中通过音频电流正半周时，铁芯线圈产生的磁场方向与永久磁铁的磁场方向一致，吸力加强，使振动膜片更向内弯；当铁芯线圈中通过音频电流负半周时，线圈产生的磁场方向与永久磁铁的磁场方向相反，吸力削弱，使振动膜片稍为平直。分析表明，音频电流越大，线圈产生的磁场力越大，使振动膜片的相对弯曲度越大，膜片的振动幅度越大，还原出来的语音越大，从而实现了受话器在电-声转换过程中语音与电信号的“相应”关系。同时，音频电流的频率越高，铁芯线圈产生的磁场变化频率越高，使振动膜片的振动频率越高，从而导致语音频率越高，反之亦然。这说明语音与电信号的频率也是相同的。由于铁芯线圈中通过的音频电流频率为 $300\sim 3400\text{Hz}$ ，所以受话器还原出来的语音基本频带也是 $300\sim 3400\text{Hz}$ 。

图1-4示出了最简单的单路单向电话通信系统。欲构成双向电话，还需设置一套同样

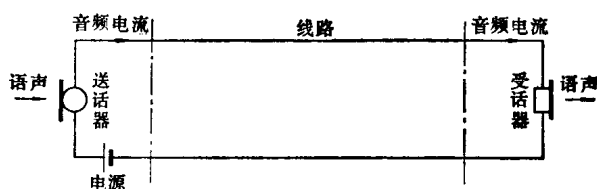


图 1-4 单路单向电话通信系统

的通信设备，其信号传输方向与图1-4相反。

第二节 频分多路电话通信

一、多路电话通信

上述电话通信系统，在一条线路上只能同时传输一个电话通路（一个电话通路简称为一个话路）。若有100个话路需同时通话，就需架设100条线路。显然，这种通信系统的线路利用率太低了，很不经济。在实际工程中，常常利用一条公共线路同时传输若干个话路，这种在一条公共线路上同时传输两个或更多个话路，即多路电话复用一条线路的通信方式，称为多路电话通信。

实现多路电话通信，如果简单地把各用户的信号混合在一起，复用线路，这是不行的。因为各用户的语音基本频带都选取300~3400Hz，各用户的音频电流也都是300~3400Hz，通过公共线路传输到受信端后，必然使各用户的语音互相干扰，无法分开。以三个单向话路为例，如图1-5所示。受信端用户1'将同时收听到发信端1、2、3的语音。同样，受信端用户2'和3'也将同时收听到发信端用户1、2、3的语音。结果，各个话路互相干扰，谁的语音也听不清。

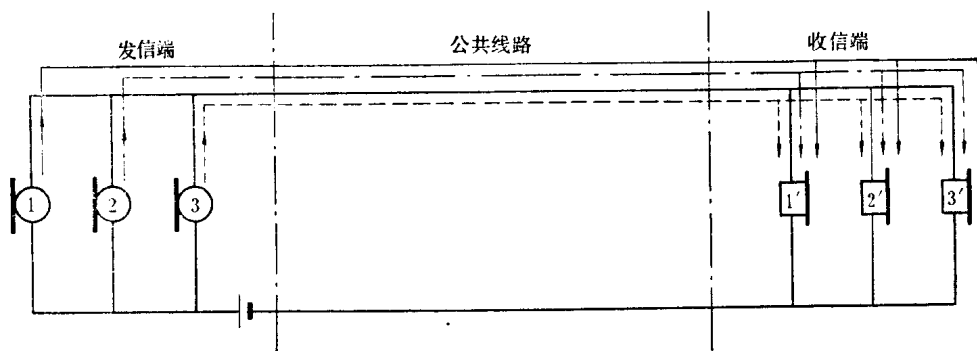


图 1-5 三个单向话路简单连接

实现多路电话通信，必须首先对各用户信号进行“分割”，然后复用线路。其“分割”方法，目前主要有频分多路和时分多路两种。所谓频分多路，就是利用频率分割原理，把各用户信号的基本频带进行迁移，成为不同频带位置的多路信号，然后复用线路，实现多路通信。所谓时分多路，就是利用时间分割原理，把各用户信号进行数字化编码，然后按一定规律的时隙轮流复用线路，实现多路通信。下面进一步介绍频分多路电话通信

的基本原理。

二、频分多路电话通信

频分多路的基本原理是：把各用户信号的基本频带进行迁移，按频率高低分割，使它们各自占据不同的频率位置，依次排列，互不重叠窜扰。这里，仅以12个话路为例，说明频带迁移的过程和结果，如图1-6 (a) 和 (b) 所示。

每个用户信号的基本频带都为 $300\sim 3400\text{Hz}$ 。为了防止各用户信号在频带迁移过程中，因传输电路频率特性失真而产生重叠窜扰，应使各相邻用户信号的基本频带之间留有

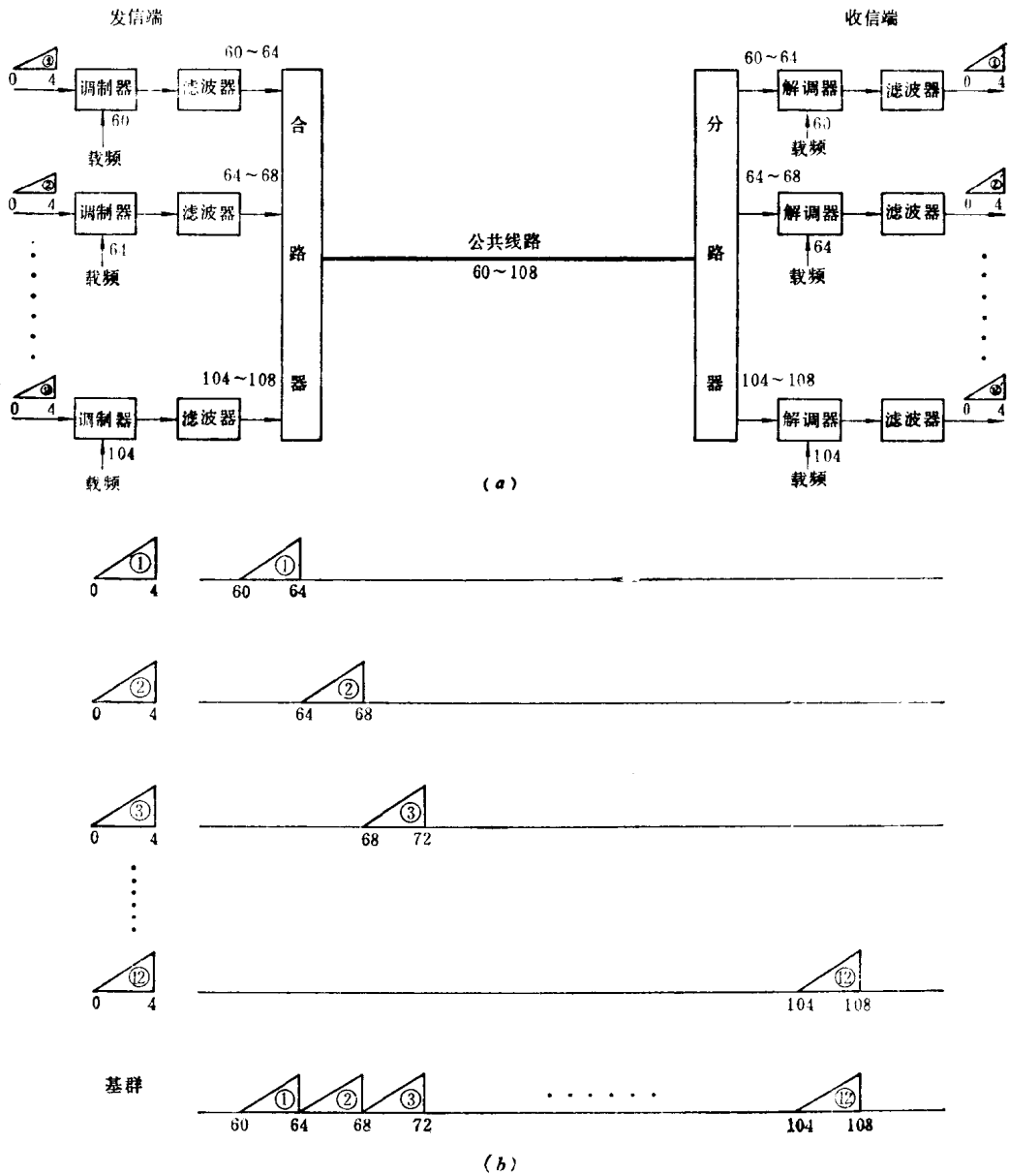


图 1-6 频分制12路电话通信
(a)基本组成；(b)频带迁移
图中：频率单位为KHz。

900Hz的空隙。因此，每个用户信号的基本频带占4KHz。图1-6(a)中即代表一个

用户信号的基本频带。

在发信端，为了对12个用户信号的基本频带进行频带迁移，需设置12个载频，可分别选取为60、64、68……104KHz，相邻间隔4KHz。各用户信号的基本频带分别通过各自的调制器（频带上迁移器），在各自的载频作用下，使输出的基本频带保持不变，仅在频率坐标轴的位置上发生了迁移：第1路占据60~64KHz，第2路占据64~68KHz，第3路占据68~72KHz，……第12路占据104~108KHz。频带迁移的结果，使12个用户信号在60~108KHz频率范围内，按频率高低依次排列，互不窜扰。此后，就可以通过合路器复用线路，向收信端传输。

在收信端，为了将发信端12个用户的信号分别输送给各自对应的用户，需首先利用分路器将各自对应的信号从迁移频带中选出来，如第1'路选60~64KHz，第2'路选64~68KHz，第3'路选68~72KHz，……第12'路选104~108KHz。然后分别通过各自的解调器（频带下迁移器），在各自的载频作用下，输出各自的音频电流。最后通过受话器还原出各自对应的发信端用户的语音。

上述频分多路电话通信，由于利用载波频率进行频带迁移，所以也叫载波电话通信。这种通信设备，俗称为载波机。

欲构成更多话路的电话通信，如60、120、300、600、960、1800路等等，能否按照上述构成12路载波机的方法，把发信端各用户信号的基本频带依次一个一个地向更高频率方向增加呢？比如用60个载频构成60路载波机，用960个载频构成960路载波机等等。从理论分析是可以的，但是，话路越多，需用的载频越多，使用的载频发生器、调制器、解调器、滤波器等器件的规范越多，这样就不利于制造。同时，话路越多，需用的载频越高，频率

漂移的影响越严重。所以，实际上不予采用上述方案。为了使产品系列化、标准化，简化生产流程，降低产品成本，提高设备质量，已经采用标准系列。以12路载波机的构成方案作为基本单元，称为一个基群；以5个基群构成一个60路超群（12路×5=60路）。由这两个标准系列再构成更多话路的多路电话通信设备。

载波机输送到线路上去的信号叫群路信号，所占据的频率范围叫群路频带，俗称线路频谱。有关载波机的线路频谱如表1-1所列。

表 1-1 载波机常用的线路频谱

载波机容量 (路)	线路频谱 (KHz)	占有带宽 (KHz)
12	60~108	48
24	12~108	96
60	60~300 312~552	240
120	60~552	492
300	60~1300	1240
600	60~2540	2480
960	60~4028 60~4148	3968 4088

由表1-1可见，话路越多，所占据的线路频谱越宽。因一般传输线的频率特性受到限制，故可传输的话路较少。欲传输更多（几百上千）的话路，目前主要有两种方法：一是采用特制的传输线，如同轴电缆；二是采用无线通信，如微波中继通信。

第三节 微波中继通信

微波中继通信是无线通信的一种方式。

进行无线通信，发信端需把待传信息转换成无线电信号，依靠无线电波在空间传播。收信端需把无线电信号还原出发信端所传信息。因此，在介绍微波中继通信前，应首先了解无线电波及其特性。

一、无线电波和频段划分

无线电波是一种频率较低、波长较长的电磁波。

电磁波是这样产生的：交变的磁场在其附近产生交变电场，交变的电场在其附近产生交变磁场，交变的磁场又在其附近产生交变电场……如此周而复始，两者互为因果，互相支持，并绞连在一起，在空间以波的形式向远处传播。电磁波在空间的传播速度约等于光速（ $3 \times 10^{10} \text{cm/s}$ ）。

电磁波频谱中除无线电波外，还有红外线、可见光、紫外线、 λ 射线等等，不过它们的频率比无线电波更高而已。

在无线电技术中，通常用频率（或波长）作为无线电波最有表征意义的参量。这是因为频率（或波长）相差很远的无线电波，往往具有很不相同的性质，如传播方式，中长波沿地面传播，绕射能力较强，而微波却只能在大气对流层中直线传播，绕射能力很弱。因此，便把无线电波按频率（或波长）来命名，如表1-2所列。表中某一频率（或波长）范围内的无线电波，都具有大致相同的性质。某一频率（或波长）范围内的无线电波称为某个频段（或波段）。

一般说来，各个频段的无线电波都可以用作无线通信。从表1-2可知，所谓微波，一般是指频率为 $300\text{MHz} \sim 300\text{GHz}$ （或波长为 $1\text{m} \sim 1\text{mm}$ ）范围内的无线电波。“微”，就是该无线电波的波长相对于周围物体的几何尺寸很短小的意思。

微波通信，就是利用微波频段的无线电波传递信息的一种无线通信方式。 2GHz 微波中继通信，就是指微波收发信机的工作频率在 2GHz 左右（或波长在 15cm 左右），属于微波频段的分米波。

表 1-2 无线电波频段划分

频段名称		频率范围	波长范围
长波		$30 \sim 300\text{KHz}$	$1000 \sim 10000\text{m}$
中波		$300 \sim 3000\text{KHz}$	$100 \sim 1000\text{m}$
短波		$3 \sim 30\text{MHz}$	$10 \sim 100\text{m}$
超短波		$30 \sim 300\text{MHz}$	$1 \sim 10\text{m}$
微波	分米波	$300 \sim 3000\text{MHz}$	$1 \sim 10\text{dm}$
	厘米波	$3 \sim 30\text{GHz}$	$1 \sim 10\text{cm}$
	毫米波	$30 \sim 300\text{GHz}$	$1 \sim 10\text{mm}$

二、无线电波的主要特性

（1）物质属性。无线电波是一种客观存在的物质，它是由交变的电场和磁场所组成，具有一定的能量和质量。

（2）矢量特性。无线电波中的电场和磁场，不仅具有数量大小，而且具有一定的方向，两者永远互相垂直，如图1-7所示。

（3）传播特性。无线电波的传播方向，用右手螺旋定则确定：伸展右手，手背紧贴于

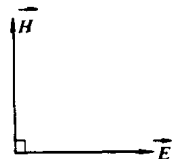


图 1-7 电场和磁场互相垂直
 $\vec{E}$ —电场矢量； $\vec{H}$ —磁场矢量

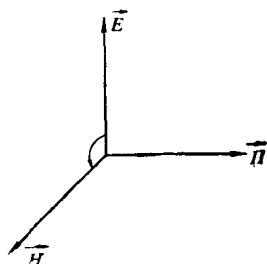


图 1-8 无线电波能量的传播方向
 $\vec{E}$ —电场矢量； $\vec{H}$ —磁场矢量； $\vec{H}$ —传播矢量

电场矢量 $\vec{E}$ ，四指指向 $\vec{E}$ 方向，并由 $\vec{E}$ 绕 90° 止于磁场矢量 $\vec{H}$ ，这时大拇指所指示的方向就是无线电波能量的传播方向，用 $\vec{H}$ 表示，如图 1-8 所示。

若电场矢量 $\vec{E}$ 和磁场矢量 $\vec{H}$ 位于同一平面，这种无线电波称为平面波，用符号 “TEM” 表示。

(4) 时空特性。无线电波在传播过程中，电场、磁场的大小和方向都随时间和地点而变化：以正弦变化的无线电波为例，在同一瞬间不同地点，其大小和方向随地点 s 的变化如图 1-9(a) 所示。在同一地点不同瞬间，其大小和方向随时间 t 的变化如图 1-9(b) 所示。

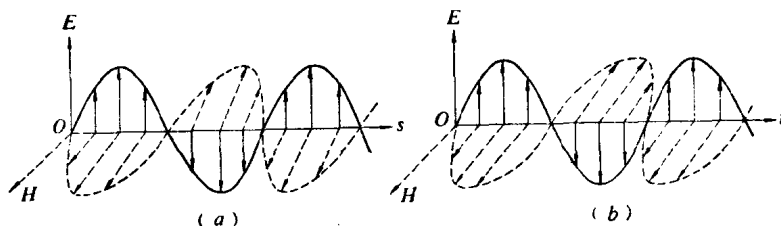


图 1-9 无线电波的时空特性
(a) 空间特性；(b) 时间特性

(5) 极化特性。无线电波在传播过程中，电场和磁场在同一地点随时间 t 的变化具有某种规律的特性，称为无线电波的极化特性，并规定电场矢量 $\vec{E}$ 的方向为极化方向。当电场 $\vec{E}$ 的矢量端点随时间 t 变化的轨迹位于一条直线上时，这种极化叫线极化，如图 1-10(a) 所示。当电场 $\vec{E}$ 的矢量端点随时间变化的轨迹为一个圆或椭圆时，分别叫圆极化或椭圆极化，如图 1-10(b) 所示。在线极化中，若电场矢量 $\vec{E}$ 和地面垂直叫垂直极化，若电场矢量 $\vec{E}$ 和地面平行叫水平极化，如图 1-10(c) 所示。在微波天线系统，常采用垂直极化和水平极化这两种线极化无线电波，以减小收发信之间的干扰。

(6) 边界特性。理想金属表面的电场分布：只有垂直分量 $\vec{E}_\perp$ ，没有水平分量 $\vec{E}_\parallel$ ，如图 1-11(a) 所示。理想金属表面的磁场分布：只有水平分量 $\vec{H}_\parallel$ ，没有垂直分量 $\vec{H}_\perp$ ，如图 1-11(b) 所示。

三、地面远距微波通信需要“中继”

微波是一种波长很短的无线电波，它除了具有无线电波的一般特性外，还具有其本身的特性，其中最主要的是具有类似光的传播特性。微波在自由空间只能像光波一样沿直线传播，绕射能力很弱；在传播过程中遇到不均匀介质时，将产生折射和反射现象。

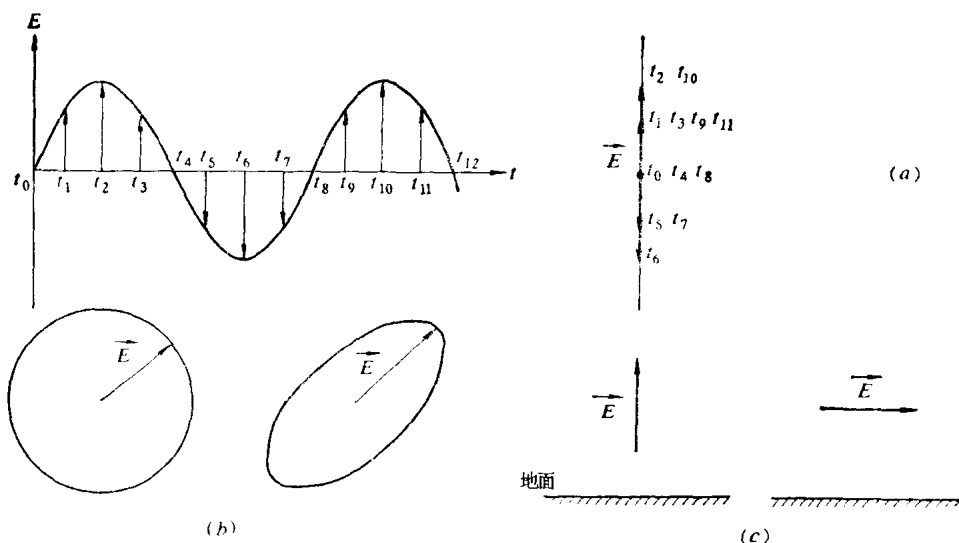


图 1-10 无线电波的极化特性
(a)线极化; (b)圆极化和椭圆极化; (c)垂直极化和水平极化

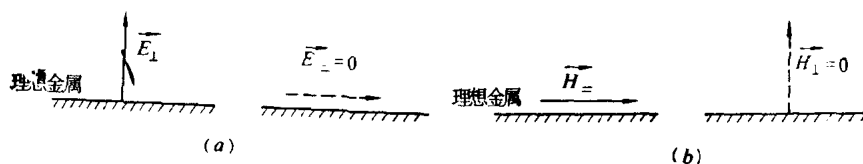


图 1-11 无线电波的边界特性
(a)电场分布; (b)磁场分布

地面上进行远距离微波通信需要采用“中继”方式，这是因为：

(1) 地球是个椭球体，地面是个椭球面。地面上某点发出的沿直线传播的微波射束，经过一定地段后，就会离开地平线而逐渐射向远空。因此，在地平线以远的地点自然就接收不到微波信号了。欲实现地面上A、B两地间的远距离微波通信，必须采用“接力”方式，如图1-12所示。

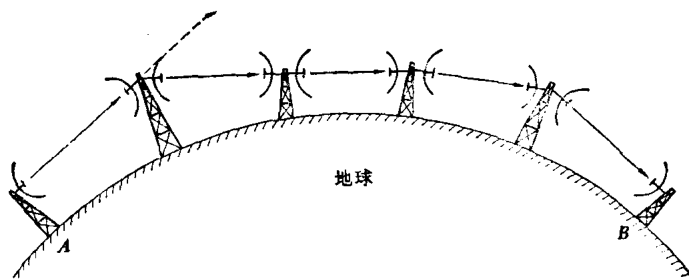


图 1-12 微波通信的中继方式

(2) 无线电波在空间传播过程中，能量要受到损耗。频率越高，衰减越大。微波射束的能量，经过一定地段损耗后，将大为减少。因此，欲实现地面上A、B两地间的远距离微波通信，也必须采用“接力”方式，逐段收放大，终达远距离收信端。

上述的“接力”就是“中继”。微波中继通信也叫微波接力通信。例如，为了实现北

京至上海之间的微波通信，必须在北京和上海之间设置若干个中间接力站，每个中间接力站把上一站发来的微波信号接收下来，作放大等处理后，转发到下一站，如此一站接续一站，最终到达上海（或北京）收信端。

必须说明，微波中继通信并不是微波通信的唯一方式。微波还可以利用大气对流层不均匀气团的散射作用，使一部分微波波束返回地面，实现远距离两地通信，一次跨越通信距离可达数百公里，这种通信方式叫微波散射通信。此外，还可利用距地面高度为36000公里的同步人造地球卫星作为微波通信的中间接力站，一上一下可跨越通信距离上万公里，这种通信方式叫卫星通信。近几年来，还有利用波导传输毫米波的波导通信，利用光导纤维传输微米波的激光通信。

四、微波中继通信的特点

四十年代前，无线通信的主要方式是短波通信。微波中继通信出现后，显示出更大更多的优越性。微波中继通信与短波通信相比，具有下列特点：

（1）微波频段占有频带很宽，可以容纳更多的无线电设备工作。由表1-2可知，全部长、中、短波频段的总频带占有不到30MHz，而微波仅厘米波的频带就占有 27×10^3 MHz，几乎是前者的 10^3 倍。占有频带越宽，可容纳同时工作的无线电设备越多。

（2）微波收发信机的通频带很宽，可以容纳更多的话路工作。在相同的相对通频带条件下，载频越高，绝对通频带越宽。设相对通频带为10%，当载频为2000KHz时，绝对通频带为200KHz；当载频为2000MHz时，绝对通频带为200MHz。后者为前者的 10^3 倍。前已述及，话路越多，占据的频带越宽。所以，微波收发信机载频高，绝对通频带宽，可容纳同时工作的话路数多。

（3）在微波频段，受工业、天电和宇宙等外部干扰的影响很小，可使微波通信的传输质量大大提高。

（4）微波（12GHz以下）受风雨冰雪等恶劣气象条件的影响较小，可使微波通信的稳定度大大提高。

（5）微波频段采用高增益定向天线，可降低发信机的输出功率，使发信机结构简化。

（6）微波射束在视距范围内直线、定向传播，保密性较高。

综上所述，微波中继通信与短波通信相比，具有通信容量大、传输质量高这两个显著特点。因此，目前微波中继通信已成为无线通信的一种主要方式。

在微波中继通信发展的同时，电缆通信也获得了广泛应用。微波中继通信与同等容量的电缆通信相比，其通信质量相当，而且具有初期投资少、建设速度快、节约大量有色金属、便于翻山过水和机动灵活等特点，但保密性和日常维护不及电缆通信优越。因此，这两种通信方式各具特点，互存并用。

微波中继通信是在第二次世界大战后期开始应用的一种新兴通信技术。仅三十余年，发展速度迅猛，应用极广，不仅限于国内通信，而且还应用于国际通信；不仅限于邮电业务通信，而且还应用于广播、电视以及国防、水电、石化、交通等工交系统。我国在五十年代开始研制并使用微波中继通信，目前邮电部门已发展到数十万公里，初步形成一个独立的微波通信网，其它部门和系统的专用微波电路亦达数十万公里。

第四节 微波中继通信系统

一、微波中继通信系统的组成

组成一条微波中继通信电路，除了电路两个终端的微波站外，还有一定数量的中间转接站，如图1-13所示。

调频制微波中继通信系统，各微波站按照功能不同，通常划分为以下几种站型：

终端站。它是指位于微波电路两个终端的微波站，其基本功能是：在发信通道，由载波机将各用户的信号通过调制进行频带上迁移，汇合成群路信号，由微波机进行上变频，使之成为微波信号，通过天线向对方站发射出去；在收信通道，由天线接收对方站发射来的微波信号，由微波机进行下变频，成为群路信号，由载波机通过解调进行频带下迁移，分支出各用户的信号。简言之，终端站只对一个方向收发，全上全下话路，如图1-14所示。

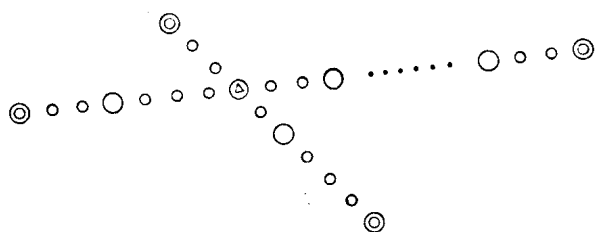


图 1-13 微波中继通信电路结构示意图

◎终端站；○主站；◐中继站；⊕枢纽站

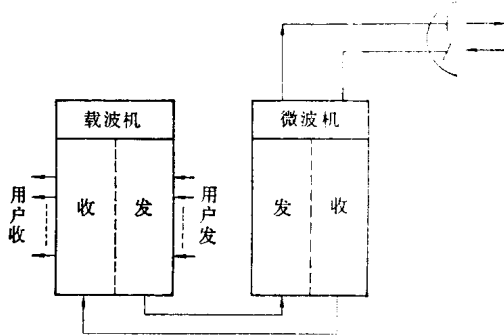


图 1-14 终端站结构示意图

中继站。广义地说，微波电路上除了两个终端站以外，所有的中间转接站都属中继站。但通常所说的中继站，它具有如下的功能：既可接收A向站发射来的微波信号，经过放大等处理后，向B向站转发出去，又可接收B向站发射来的微波信号，经过放大等处理后，向A向站转发出去。简言之，中继站对两个方向收发，不上下话路，纯属中间转接，如图1-15所示。

主站。它是指具有如下功能的微波站：接收A向站（和B向站）发射来的微波信号，通过微波机进行下变频，通过载波机进行频带下迁移，从中分支出一部分话路（如一个基群，下12个话路），并可插入一部分新的话路（如一个基群，上12个话路），再通过载波机进行频带上迁移，通过微波机进行上变频，经由天线向B向站（和A向站）转发出去。简言之，主站对两个方向收发，上下部分话路，如图1-16所示。

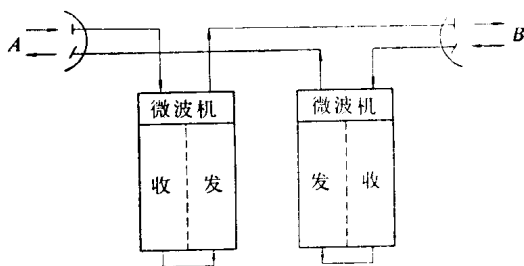


图 1-15 中继站结构示意图

枢纽站。如图1-13中符号⊕所示，当构成微波中继通信网时，两条以上的微波电路在

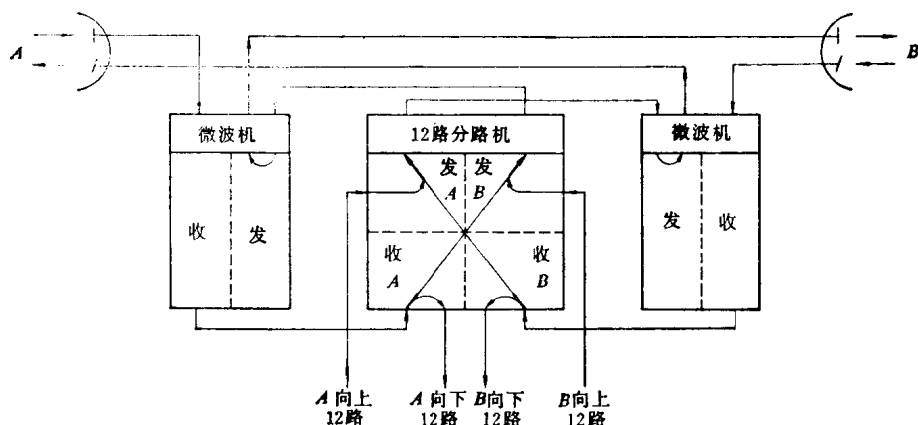


图 1-16 主站结构示意图

适当的微波站上交叉，该微波站具有枢纽功能，亦即具有三个方向以上收发的微波站称为枢纽站。

在微波中继通信系统中，把相邻的两个微波站之间那段线路叫作中继段，把相邻的两个主站之间或主站与终端站之间或主站与上下话路枢纽站之间那段线路叫作调制段。

二、波道设置

为了增加微波电路的通信容量，各微波站可以使用若干套微波通信设备同时工作。每一套微波收发信机采用不同的微波频率。这样，每一套微波收发信机构成了一条独立的微波通道，称为一个波道。通常，一条微波电路上可设置 6、8、12 套微波收发信机同时工作，即构成 6、8、12 个波道，使一条微波电路的通信容量增大 6、8、12 倍。

参考国际无线电咨询委员会 (CCIR) 建议 382-2, 2GHz/120~300CH 调频制微波中继通信系统，在 1900~2300MHz 频段内，可设置 6 个波道 (I~VI)，其中：I、V 和 II、VI 分别设为电话波道；III 和 IV 分别设为电视波道。目前使用 I 波道作电话主用波道，V 波道作电话备用波道。

三、频率分配

在一条微波电路上有若干个波道同时工作，必须适当地分配各个波道的微波频率。频率分配的基本原则是：在给定微波频段内，尽可能多安排波道数量，以增加通信容量；尽可能减小各波道间的干扰，以提高通信质量；尽可能有利于通信设备标准化、系列化生产，以提高工艺、降低成本。

(一) 一个波道的频率分配

目前，一个波道的频率分配，大多采用二频制方案，即微波电路的一个双向波道上，共使用两个不同的微波收发频率，图 1-17 示出了 I 波道共使用 f_1 和 f_2 这两个微波频率。

一个波道的频率分配方案，除二频制外，尚有四频制，即微波电路一个双向波道上共使用 4 个微波频率。

(二) 多波道频率分配

2GHz 系统选用的微波频段为 1900~2300MHz，频宽 400MHz，中心频率为 2101MHz，