



中等专业学校教学用书

超短波中继通信技术

編著者： 张 应 中 温 启 荣

审校者： 重庆邮电学院超短波中继
通信技术教材选编组

人 民 邮 电 出 版 社

中等专业学校教学用书

超短波中继通信技术

编著者：张应中 温启荣

审校者：重庆邮电学院超短波中继通信
技术教材选编组



人民邮电出版社

内 容 提 要

本书共十章，包括三大部分：第一部分讲超短波中继通信的概念、波导、谐振腔及超短波电子管的基本知识；第二部分讲超短波中继通信收发信设备；第三部分讲超短波天线、电波传播和电路的质量指标与测试。

本书适用于邮电中等专业学校无线电专业作为教学用书，也可作为特高频及微波站维护人员的参考书。

超短波中继通信技术

編著者 张 应 中 温 启 荣

审校者 重庆邮电学院超短波中继通信技术教材选編組

出版者 人 民 邮 电 出 版 社

北 京 西 四 六 条 13 号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八号)

印刷者 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者 新 华 书 店

开本 850×1168 1/32

1963 年 7 月北京第一次印刷

印张 12 8/32 页數 196 插圖 3

1963 年 7 月北京第一次印刷

印字數 328,000 字

印數 1—2 700 册

統一書号：K 15045·总1352—无357

定 价：(9) 1.90 元

序 言

近十余年来，超短波中继通信发展极为迅速。为了使无线电专业的学生能够更好地掌握超短波中继通信的基本知識，以适应实际工作的需要，有必要对超短波中继通信技术作較有系統和較全面的讲授。本书就是为此目的而編写的。

全书共分十章，主要包括三大部分。第一部分讲超短波中继通信的概念、波导和諧振腔以及超短波电子管等基础知識。第二部分讲超短波中继通信收发信設備。发信方面着重讲超短波发生器、頻率調制和脉冲調制。收信方面着重讲机內噪音、混頻器、寬頻帶中頻放大器及解調器，并介紹一些典型机。第三部分是超短波天綫、电波传播及超短波中继电路的质量指标和測試等。为了使內容相互衔接、便于讲授起見，对后两部分的章节做了适当的安排，例如天綫和电波传播是列在收发信設備之前讲述的。

自动頻率微調系統是超短波中继通信設備的一个重要組成部分，但它的基本原理已在无线电接收設備一課中讲授，本书只就它的具体电路在第九章中結合設備作比較詳細的說明。

本书着重于物理概念的敘述，所有公式的推导力求簡明，尽可能使初学者易于接受，并尽可能与其他中专課程如无线电基础、收信設備、发信設備等相衔接，而又避免有重复。为了使学生对中继通信技术能够有較系統、全面的認識，书中对参加中继电路方面工作的中专毕业学生所必須掌握的特高頻和微波的技术知識，和可能遇到的一些实际問題，均按教学大綱要求的課时作了适当安排，使內容的敘述尽可能詳細而又不失去系統性。本书可供中专四年制 126 課时讲授之用。如将本书用作为三年制教材，則凡在本书章节上标註有“*”符号的均可酌量刪节或完全不讲，其余即作为三年制88課时讲授內容。

本书由重庆邮电学院超短波中继通信技术教材审校小組审校。

参加审校的先后有金祖祺、郑吉申、江纳科、赵祖锡、孙仁琦、冯丙昌、朱宏岳、陈善榆、金维高、纵兆彬、张继棠等同志。

参加本书绘图等工作的有重庆邮电学院绘图教研室的教师等。

由于超短波中继通信是一门新技术，有关参考书籍还比较缺乏，编者理论水平和工作经验有限，因此本书内容难免有不够妥善甚至错误之处，希望读者，特别是使用本书的教师和同学，多多提出宝贵意见，以便以后修改和提高。

张应中

温启荣

1962年8月

目 录

序 言

第一章 概 論

§ 1-1 一般概念	1
§ 1-2 超短波通信	3

第二章 超短波中继通信多路传输系统的工作原理

§ 2-1 概述	7
§ 2-2 按频率划分通路的工作原理	7
§ 2-3 按时间划分通路的工作原理	14

第三章 波导及波导元件

§ 3-1 超短波段所采用的传输线	19
§ 3-2 波导概念	25
§ 3-3 电磁波的基本概念	27
§ 3-4 规则波导内的电磁波波型及波的传播	28
§ 3-5 波导中电磁波的分类——场的模式	34
§ 3-6 波导内的传播速度和波长	40
§ 3-7 波导壁的表面电流分布——波导中的损耗	47
§ 3-8 波导的设计	52
§ 3-9 阻抗的概念	55
§ 3-10 波导的主要工作状态	60
§ 3-11 阻抗的匹配	61
§ 3-12 波导的激励或与其他电路的耦合	65
§ 3-13 波导元件	67
(一) 膜片、销钉、调整螺丝	68
(二) 波导的连接——抗流凸缘	70
(三) 短路活塞	73
(四) 衰减器	76
(五) T形接头	81
(六) 定向耦合器	84

(七) 滤波器	86
---------------	----

第四章 空腔谐振器

§ 4-1 空腔谐振器基本原理	88
§ 4-2 空腔谐振器的参数	90
§ 4-3 空腔谐振器内的波型及电磁场分布	92
§ 4-4 空腔谐振器的类型	94
(一) 四分之一波长同轴谐振腔	95
(二) 半波长同轴谐振腔	97
(三) 电容负载同轴谐振腔	97
(四) 角柱形谐振腔	100
(五) 圆柱形谐振腔	101
(六) 环形谐振腔	103

第五章 超高频电子管

§ 5-1 概述	105
§ 5-2 管内电感及电容的影响	106
§ 5-3 电子渡越时间的影响	108
§ 5-4 在超高频工作时电子管所引入的损耗及其减少的方法	114
§ 5-5 用于超高频的普通电子管的型式和结构	115
§ 5-6 灯塔管的结构和原理	116
§ 5-7 速度调制管的工作原理	121
§ 5-8 双腔速调管的结构	123
§ 5-9 反射式速调管	125
§ 5-10 磁控管的工作原理	131
§ 5-11 多腔磁控管的结构和基本原理	133
§ 5-12 行波管	139
§ 5-13 返波管	143

第六章 微波天线

§ 6-1 一般概念	143
§ 6-2 抛物面天线	144
§ 6-3 喇叭天线	150
§ 6-4 喇叭抛物面天线	155
§ 6-5 喇叭反射镜天线(又叫潜望镜天线)	157

§ 6-6* 裂縫天綫	160
§ 6-7* 透鏡天綫和介质天綫	164
§ 6-8 饋綫	167

第七章 超短波传播

§ 7-1 概述	168
§ 7-2 波在自由空間的传播	169
§ 7-3 当地面可以視為平面时的反射公式及其推导	172
§ 7-4 球形地面上的传播	177
§ 7-5 大气折射現象对超短波传播的影响	180
§ 7-6 超短波的超远距离传播	183
§ 7-7 超短波段接收的稳定性; 衰落	186
§ 7-8 超短波在对流层内的衰减	188
§ 7-9 超短波在城市中的传播	189

第八章* 超短波中继通信收发信設備

一、发信設備

§ 8-1* 概述	191
§ 8-2* 米波发生器	192
§ 8-3* 分米波发生器	197
§ 8-4* 调制器	215
(一) 頻率调制	215
(二) 脉冲调制原理及其綫路	223

二、接收設備

§ 8-5* 超短波中继通信接收机的特点	243
§ 8-6 接收机的噪声及其灵敏度	244
§ 8-7* 輸入电路	254
§ 8-8* 混頻器	257
§ 8-9* 寬頻带中頻放大器	265
§ 8-10* 限幅器, 調頻信号及脉冲調制信号的解調	284

第九章 超短波中继通信常用的收发信机

§ 9-1 調頻制收发信机	301
§ 9-2 脉冲調制收发信机	308

§ 9-3 几种常用的中继通信设备简介	309
(一) 频率调制复用中继通信设备	309
(二)* 时间复用中继通信设备	334

第十章* 电路的质量指标及测试

§ 10-1* 电话电路的基本特性	344
§ 10-2 中继电路的高频通路对话路的主要电气特性的影响	349
§ 10-3 一般规定的质量指标及建议的参数	354
§ 10-4 微波范围的基本测量	363
(一) 概述	363
(二) 驻波的测量	364
(三) 微波功率的测量	368
(四) 微波频率的测量	373
§ 10-5* 频率复用中继线路质量测试	375

第一章 概 論

§ 1-1 一般概念

超短波是米波、分米波、厘米波、毫米波的总称。目前，习惯上又把米波叫做“特高频”，把分米波、厘米波、毫米波叫做“微波”。

按频谱划分，各波段的频率及波段范围如下表所示。

米	波	30—300	兆赫	10—1	米
分	米	波	300—3000	兆赫	100—10
厘	米	波	3000—30000	兆赫	10—1
毫	米	波	30000—300000	兆赫	10—1
					毫米

超短波有许多不同于长波和短波的特点，它有和光波类似的传播特性，而且波长愈短愈显著。例如：超短波的传播通常被限于视线范围内，并能被障碍物反射或吸收，也可以用特殊形状的反射体集聚成束向一定方向辐射，以及容易穿过天空的电离层等。超短波中继通信、电视转播、雷达测位、导航及导弹与火箭和人造卫星的制导、观测，都需利用超短波这些特性。

利用超短波的特性还建立了无线电天文学、无线电气象学。目前超短波已被广泛地应用在物理、化学、电子学的各个方面。

由于超短波，尤其是微波的频率极高，无论在产生振荡或进行放大时都要求用不同于长、中、短波段所用的元件。因为频率愈高，电流在导体中传导时“集肤效应”愈显著，例如当频率为 1 兆赫时，铜的集肤深度为 0.066 厘米；而当频率高达 1000 兆赫时，则仅为 0.001 厘米。因此随着频率的增高，导线上的电流愈集中在极薄的表面一层，导线对高频的电阻相应地增大。

由于超短波的波长极短，导体的长度与波长相比已显得很长，

高频电流通过时导体的辐射能量随之增大，波长愈短辐射能量的损耗愈严重，由辐射所引起的回路间的相互影响也就更加不可忽略。

在超短波波段，随着频率的增高、介质损耗也增大。

由于集肤效应所产生的热损耗以及辐射损耗、介质损耗的增加，使谐振回路的品质因数降低；同时由于频率高，谐振回路所需的电感和电容太小，因此在构成超短波谐振回路时，我们已不能采用在短波段中所常见的电容和电感等那些具有集中参数的元件，而需用具有分布参数的谐振线或谐振腔来代替。能量的传播在微波波段也不宜再用普通的传输线，而需改用同轴电缆和波导。

为了把微波的能量集中地向预定方向辐射，我们需要采用各种新型的天线，如：抛物面天线、喇叭天线、介质天线、裂缝天线等等。

在电子管方面，同样由于当频率很高时，一般电子管的接线电阻及分布电感和电容以及极间电容都太大，引起不少损耗，并构成复杂的谐振回路，同时电子在极间的飞越时间也太长（与微波一周相比），影响电子管的放大作用。因此在超短波段，我们需要有特殊结构的花生管、橡皮管等超小型管和灯塔管，以及把电子飞越时间加以利用的磁控管、速调管、行波管等等。

上面提到的谐振腔、波导、各式新型微波天线以及微波电子管等，都是以完全新颖的理论为基础所制成的微波元件。

由于超短波一般只限于在视线距离内传播，因此超短波通信需要采用相当高的天线，一般说天线架得愈高，传播距离可以愈远。

近代超短波中继通信被广泛采用的主要原因是由于它具有下列一些优点：

1. 超短波波段的频段很宽，在10米到1厘米的波段中，它的频带宽有29970兆赫，几乎等于长波、中波、中短波、短波各频段宽度总和的1000倍，因此它可以容纳数量极多的无线电台而不致互相干扰。

2. 超短波收发信设备的通频带可以做得很宽，而没有特殊因

难。这样利用一套设备便可以作很多路的通信，例如可以制成特高频 4 路、12 路、24 路，微波 24 路、60 路、120 路、240 路、600 路和 1860 路等类型的通信设备。设备路数多的可以用来传送多路电话及交换电视节目，如果几套设备并列运用，则通路数还可以更多。

3. 在超短波波段，基本上没有无线电及工业等外界干扰。实际上当频率高于 120 兆赫时，干扰可看作只有接收机内电子管和回路的噪音。此外超短波的传播基本上不随气候季节和昼夜而变化，因此通信质量高而稳定。

4. 由于频率高，可以在合理的尺寸下做出增益高、方向性强的天线，于是可以大大地减少超短波通信的功率，并因此可以增强保密性。

§ 1-2 超短波通信

超短波通信一般采用下面几种形式：

1. 点与点间的通信。两点间的距离一般在 50 公里左右，视地形和天线的高度而定。在有利条件下，有时通信距离可达 100—150 公里，或更远些。点与点间的超短波通信除了采用多路复用设备外，其它和一般短波无线电通信的方式相同。

2. 中继通信。由于超短波传播限于“视距范围”，因此长距离的通信只好采用中继方式（又叫接力）。一条长距离的超短波多路中继通信线路是由彼此相隔约等于视距距离的一连串超短波收发信中间站（图 1-1）所组成的。

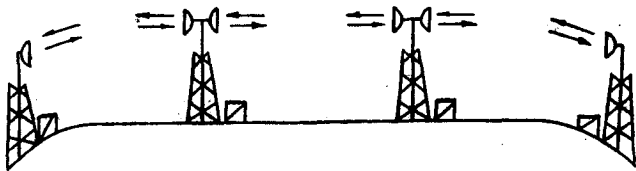


图 1-1 超短波中继电路组成示意图

这种线路中每一个中间站(以后称为中继站)接收前一站的信号加以放大,把传输损耗加以补偿,再把它送到后一站去。

超短波中继通信线路,按其技术可能性(通路的数目、通信距离、通信质量等)来说,并不比长途平衡电缆电路差,甚至也不比同轴电缆电路差。不仅如此,它在某些方面比起电缆通信电路还具有更多的优点。例如建设超短波中继通信线路所需的有色金属(用于制造设备)比电缆线路(用于制造电缆)的要少得多。建设费用也比较建造同样长度和同样通信容量的电缆线路小。在山高水险的地区,超短波中继线路比较容易建立,而在这种地区敷设电缆则很困难。但比之地下电缆它也存在如下一些缺点:

(1) 电源供应比较困难,不能象电缆线路那样可以利用导线直接作远距离供电,而能省去每一中继站的电源设备;

(2) 维护技术力量要求较高;

(3) 比之电缆线路,保密性还是较低。

然而比较起来优点还是主要的,因此超短波中继线路将在多路长途通信中广泛应用。

现代多路超短波中继线路是由许多相当复杂的设备组成的,这些设备的主要部份包括:

(1) 多路终端复用设备,

(2) 超短波接收和发射设备,

(3) 天线和馈线系统,

(4) 电源设备,

(5) 辅助设备(业务通信设备、自动控制设备、信号装置和监查测量设备等等)。

图 1-2 所示是甲乙两地间超短波中继线路的示意图。

电话信号由甲地的电话局引到甲地超短波终端站内的终端复用设备中。复用设备的发送部分将 N 路电话信号变为复合的总信号,然后送入超短波发射机中去调制高频振荡,再将已调的高频振荡电波送到发射天线发射出去。第一个中继站接收天线收到发来的电波

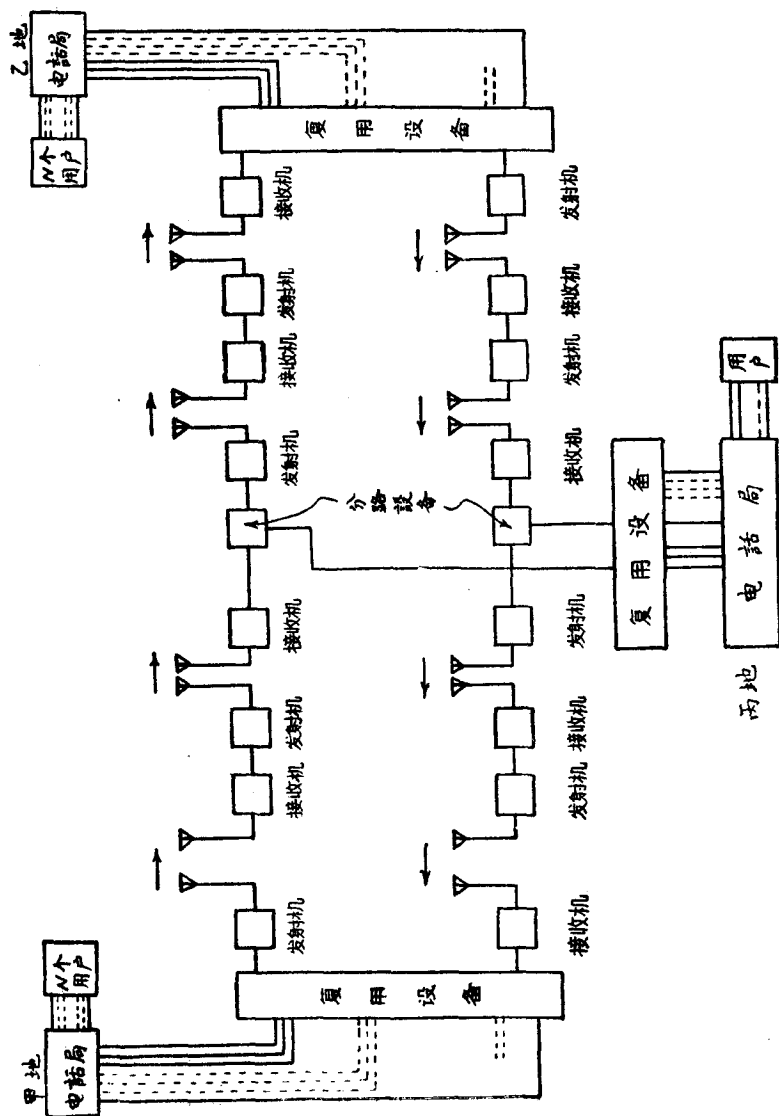


图 1-2

后，在接收机中进行放大和处理，把要转发的信号送到本站的发射机去重新调制高频振荡，再通过发射天线发射到下一个中继站。这样继续下去，最后到达乙地终端站，从这里的接收机中得出的信号送入复用设备的接收支路，把各路的电路分开，然后送到乙地电话局。

由乙地到甲地的电话传输也是这样进行的，即经过乙站复用设备的发送支路及发射机、各中继站的反方向的接收—发射设备、甲站的接收机及复用设备的接收支路，最后到甲地的电话局。

如果甲地和丙地要建立通信，部分话路应当在丙地分出去，因此在这里除了接收及发射设备外，还设置有分路设备和相应的复用设备，以便从接收到的总信号中，取出所需的信号送到丙地电话局去。利用分路设备还可以将由丙站复用设备来的复合话路信号象乙站来的信号一样地发向甲站，也可以象甲站来的信号一样地发向乙站。

为了提高通信容量，在一条线路上可以并用好几个“高频波道”。各个“高频波道”各由一连串的收发信设备组成，各用一套不同的频率，但可以共用一副天线，如图 1-3 所示。图中“ ϕ ”为分割出各波道

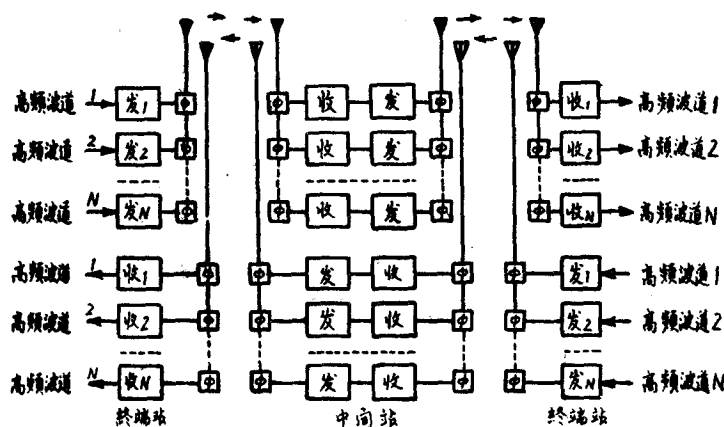


图 1-3

来的滤波器。

3. 对流层或电离层散射通信

利用对流层或电离层的散射，可以进行超视线的远距离直达或更远距离的散射中继通信。但由于散射的场强很弱，要用大功率的发射机、高增益的天线和高灵敏度的接收机。利用对流层的散射，站与站间通信的距离可达 160—600 公里；利用电离层散射的，站与站间通信距离可达 1000—3000 公里。

第二章 超短波中继通信多路 传输系统的工作原理

§ 2-1 概 述

超短波中继线路是一条容许许多信息同时通过的通路。为了用这通路进行多路电话通信，在发送端就必须把各路信号构成一个总合信号，并使它们不互相串扰；而在接收端则必须把总合信号分为单独的电话信号。多路信号的复合和分开是靠终端复用设备来完成的。在超短波中继线路上，不象在有电线路上那样直接将总合信号接到线路上传送，而是用这总合信号作为调制信号送至发信机去调制高频振荡。

目前超短波中继通信线路，按其复用方式的不同分为：按“频率划分通路”及按“时间划分通路”的两种不同的工作制度。

下两节就上述两种复用系统的工作原理作简要说明。

§ 2-2 按频率划分通路的工作原理

按频率划分通路的工作制原理图如图 2-1 所示。在发送端，用户线路 $K_1, K_2 \cdots K_N$ 上传来的音频，分别进入通路调制器 $M_1, M_2 \cdots M_N$ ，对从载频振荡器 $\Gamma_1, \Gamma_2 \cdots \Gamma_N$ 所产生的不同载频 $f_1, f_2 \cdots f_N$ 分别进行调制。用 $\Phi_1, \Phi_2 \cdots \Phi_N$ 滤波器限制每一话路中

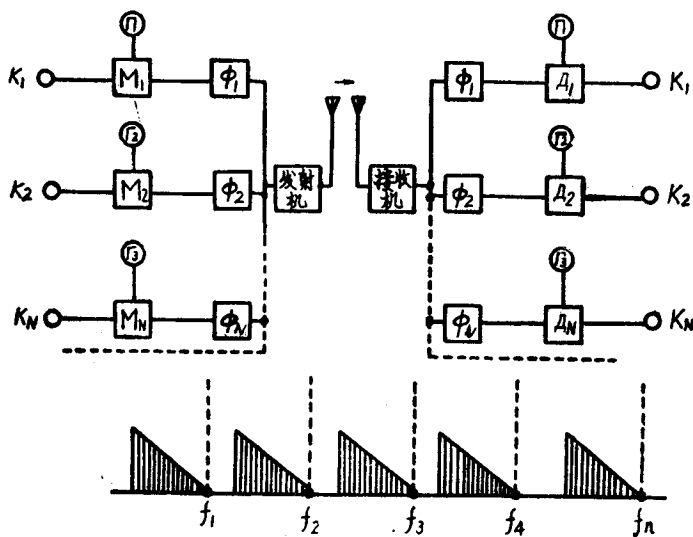


图 2-1 频率划分通路工作制原理图

已调波所占的频带，把它们输出相加就得到各路频率互不干扰的总合信号。将此总合信号送入发射机去调制高频载波，然后发射出去。在接收端由接收机把解调后出来的总合信号送到滤波器 Φ_1 、 $\Phi_2 \cdots \Phi_N$ ，每一滤波器只通过相应的各路所需的频带，然后分别送到反调制器 A_1 、 $A_2 \cdots A_N$ 中。在反调制器的输出端便分别获得在电路 K_1 、 $K_2 \cdots K_N$ 上传送的信息。

在上述简图中具有两级调制，即对每一个电路的副载波（即 f_1 、 $f_2 \cdots f_N$ ）进行调制和对发射机的高频载波进行调制。根据每级所用的调制方法（调幅、调频或调相）的不同，可以建立各种不同的多路传输制式，不过调频或调相后的已调波所占的频带过宽，故在现代的频率复用制中，个别电路上的调制都采用单边带调幅法，即把调制器输出端的副载频电流和一个边带电流加以抑制，这样各个不同副载频的作用只是将各路的音频频带向较高的频带方向搬移，使它们所占的频带不互相干扰，构成一个总合信号的频