

微波传播衰落 及抗衰落技术

高玉龙 编著



微波接力通信技术丛书

人民邮电出版社

73.45593
441
1

微波接力通信技术丛书

微波传播衰落及 抗衰落技术

高玉龙 编著



8610103

10P
D037/30
内 容 提 要

本书介绍微波传播的衰落机理和衰落对微波接力通信的影响，并结合我国情况介绍了几种抗衰落技术。

第一章介绍了视距微波传播中的衰落现象及其对通信的影响，从实用角度出发介绍了微波传播的有关衰落特性。第二、三、四章结合设备和实例介绍了各种抗衰落技术。最后，在第五章中介绍了有关数字微波通信的抗衰落技术。书末还附有常用的数据。

本书供微波接力通信的维护人员以及科研、生产、设计人员参考。

微波接力通信技术丛书
微波传播衰落及抗衰落技术

高玉龙 编著

责任编辑：俞天林

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 1984年 5 月第 一 版
印张：9 16/32 页数：152 1984年 5 月河北第一次印刷
字数：217 千字 印数：1—5,500 册

统一书号：15045·总3004—无6322

定价：1.75 元

出版者的话

几年前，我社曾给微波站的维护人员出版了一套微波设备维护手册，帮助他们了解微波设备的简单原理，学会值机操作和处理简单的障碍，起到了较好的作用。但时隔数年，全国微波电路有了新的发展，微波站维护人员的水平也在不断提高。需要为他们编写切合实际而又较为深入的读物，以便帮助他们进一步提高技术水平，做好维护检修工作。《微波接力通信技术丛书》就是在这个思想指导下组织编写的。

这套丛书准备结合当前使用的微波通信设备，分部件讲述基本原理、各元器件的作用、工作性能、指标以及调整、测试等问题。力求结合实际进一步阐明原理，并能适合当前大部分维护人员的实际水平。

丛书的读者对象主要是微波站的维护人员，也可以供微波设备的研制、生产人员和有关专业的大专院校师生参考。

我们希望广大读者对这套丛书的编辑出版提出要求和建议，帮助我们做好这一工作。

前 言

我国微波接力通信事业近年来有了很大发展，因而一些站、段上出现的因微波传播中的衰落现象造成电路传输质量不稳定的现象，就成为迫切需要解决的问题。若干年前已在某条电路上首次采用了微波合成空间分集接收设备，后来又试验了另外一些抗衰落的技术方案，均取得了减轻衰落影响，提高电路传输质量的实际效果。为了使从事微波接力通信工作的维护人员、科研、生产、设计人员对衰落现象及各种抗衰落技术有较全面、深入的了解，根据笔者多年参加分集接收设备研制和微波电路技术改造工作的经验体会以及所积累的资料，写成了这本书。

本书第一章介绍了微波传播中的衰落现象对通信的影响，并从实用的角度出发介绍微波传播的有关衰落特性，作为阅读以后各章的基础知识。第二章讨论了空间分集系统各种方式的工作原理、组成及应用。并以在微波干线电路上已经采用的FJ-1型微波合成分集接收设备和微波门限开关分集接收设备为例，详细介绍了控制电路的工作原理、主要技术指标的测试、分集改善效果以及采用这些设备在日常维护及工程设计上对一些实际问题的考虑。第三章讨论了频率分集系统的工作原理、分集改善效果等问题。第四章介绍了抗衰落天线的工作原理、衰落改善效果、应用场合等，并对衰落改善度的计算进行了讨论。

目前，国外数字微波接力通信发展十分迅速，正在大量建设数字微波线路。在国内，中小容量的数字微波线路正在不断兴建。随着数据传输和数字程控交换系统的发展，建立大容量

的数字微波线路已势在必行。然而在数字微波接力通信系统中,传播衰落现象的影响不同于模拟系统。因此,相应的抗衰落技术也具有与模拟系统不同的特点。本书第五章专门介绍数字微波接力通信系统中各种抗衰落技术方面的内容,供有关技术人员参考。

本书着重物理概念方面的叙述,力求通俗易懂。在介绍某些工作原理时,适当结合一些必要的数学公式和分析,以加深理解。为了便于各种抗衰落技术的实际应用,书末附有相应的常用计算公式、图表、曲线索引,供读者查阅参考。

本书有关微波线路深衰落对照片传真及报纸传真传输质量影响的样片、样版等资料,是由西安市长途电信局、陕西日报社以及成都市电信局等单位提供的。有关微波衰落信号传播测试的一部分记录曲线样品,以及分集接收设备和测试波形照片以及相关资料,是由邮电部第四研究所提供的。在编写计算机辅助设计程序以及上机计算过程中,邵俊泉、陈文豫、余国瑾等同志给予了不少帮助。杨国俊、刘致权、杨书岭同志对本书提出了一些宝贵意见和建议,对这些同志们谨致以衷心的感谢。

由于理论水平和实践经验有限,书中难免存在一些错误和缺点,恳请广大读者批评指正。

编著者

一九八四年三月

目 录

第一章 微波传播的衰落特性	(1)
第一节 微波衰落现象及其对通信的影响.....	(1)
第二节 衰落的分类及起因.....	(15)
第三节 衰落的统计特性.....	(27)
第四节 深衰落概率的估算.....	(36)
第五节 衰落信号之间的相关性.....	(40)
第六节 抗衰落技术简介.....	(52)
第二章 空间分集	(58)
第一节 概述.....	(58)
第二节 微波合成空间分集接收系统.....	(67)
第三节 系统各部分的结构及原理.....	(69)
第四节 分集系统基本工作原理.....	(82)
第五节 FJ-1型分集控制架.....	(85)
第六节 FJ-1型分集控制架的调整与维护.....	(109)
第七节 分集系统的技术指标及测试.....	(116)
第八节 空间分集对微波接力线路传输质量的改善	(126)
第九节 微波合成分集接收的两种控制方式.....	(138)
第十节 微波合成空间分集发送系统.....	(142)
第十一节 空间分集系统的工程设计.....	(144)
第十二节 微波开关分集系统.....	(167)
第十三节 微波门限开关分集接收设备.....	(170)
第十四节 中频合成分集接收系统.....	(195)
第十五节 中频开关分集接收系统.....	(205)

第十六节 基带分集接收系统.....	(208)
第三章 频率分集	(216)
第一节 频率分集系统.....	(216)
第二节 频率分集的改善效果.....	(220)
第三节 频率分集与空间分集的比较.....	(223)
第四节 波道备用倒换与分集接收.....	(226)
第五节 波道备用倒换系统改善度的计算.....	(228)
第四章 抗衰落天线	(233)
第一节 最佳口面天线.....	(233)
第二节 防反射天线阵.....	(241)
第三节 抗衰落天线改善度的计算.....	(252)
第五章 数字微波接力系统中的抗衰落技术	(256)
第一节 数字微波接力通信系统中信号传输的特点	(256)
第二节 数字系统中的微波传播.....	(258)
第三节 数字微波系统中的分集技术.....	(266)
第四节 数字微波系统中其它抗衰落技术.....	(272)
第五节 抗衰落技术的应用.....	(274)
附录1. 4GHz 瑞利衰落概率 P_R 表.....	(276)
附录2. 反射路由分集天线高差、接收信号电平计算 程序及运行结果.....	(280)
附录3. 一阶贝塞尔函数 $(J_1(x))$ 表.....	(289)
附录4. 常用计算公式、图表、曲线索引.....	(291)
参考资料.....	(292)

第一章 微波传播的衰落特性

第一节 微波衰落现象及其

对通信的影响

一、微波衰落现象

在微波频段，由于频率很高，电波沿地面传播时衰减很大，遇到障碍物时绕射能力很弱。射向高空电离层时，由于穿透力强而不能反射。所以这一频段主要采用视距内的直射空间波作为电波传播的方式。

视距微波传播的媒质是地面上低空大气层。当随着时间（季节和昼夜）的变化，大气的温度、湿度和压力发生变化时，引起电波传播条件发生变化，于是微波接收信号场强随之发生起伏变化，这种现象叫做电波传播的衰落现象。衰落持续时间有长有短。持续时间短的可以从几个毫秒至几秒钟，称为快衰落。持续时间长的从几分钟至数小时，称为慢衰落。当衰落发生时，接收信号场强值低于正常值的称为下衰落；高于正常值的称为上衰落。这里所说的正常值是指不考虑大气和地面影响时所接收的微波信号的场强值，通常称为自由空间场强值或自由空间电平值。

表1.1列出在一些微波站段已做的一部分电波传播测试所提供的衰落概况。

从上面衰落概况表中，我们可以看出衰落发生的一般规

微波衰落概况表

表 1.1

站 段	路由情况	季节衰落变化情况	昼夜衰落变化情况	衰落深度、 次数及持 续 时 间
602~603	42.3公里 55/55米 平原	8月份衰落最严重 7月份1%电平 -13dB 8月份1%电平 -19dB 9月份1%电平 -16.5dB	白天电平变化小, 传播稳定、雨、晴、 无风的傍晚至日出 衰落频繁且深度 大。	8月份最深 衰落为 -40dB占测 试时间的 0.04% (约 16.7分)
22~31	123公里 636/2434米 复杂山区	8月份衰落最严重 7月份1%电平 -10.4dB 8月份1%电平 -12dB 9月份1%电平 -9.8dB	晴朗的夜晚及早晨 经常出现深衰落, 电平变化范围在 +10dB~-30dB 间	最深衰落 -30dB 持续时间 30秒
175~181	64公里 220/100米 湖泊地区	8月份1%衰落 -23.5dB 1%~99%衰落 范围 25.5dB	晴天的清晨、傍晚 及午夜多出现深衰 落,以快变化的K 型衰落及混合型衰 落为主	最深衰落达 到-42dB
173~191	63.5公里 527/402米 山区及平 原各半, 当 $K = \frac{4}{8}$ 时有17米 阻挡	5月份1%衰落 -17.5dB 6月份1%衰落 -20.5dB 8月份1%衰落 -19.5dB	午夜衰落较深,主 要为绕射型K型衰 落。偶尔也同时伴 有波导型衰落。	最深衰落达 -45dB占 8月份的 0.002%约 45秒
153~154	90.3公里 860/473米 复杂山区	8月份1%衰落 -11.1dB 1%~99%衰落范围 17.4dB	清晨早8~10点钟 午夜1~3点钟经常 发生深衰落	最深衰落达 -36dB

55~56	60公里 77/145米 湖泊地区	秋季实验 10月份 1%衰落 -26dB	阴雨天、雾天电平 稳定低于自由空间 3~7dB 晴天白天 电平接近自由空间 电平、晚上清晨衰 落深常达 -25dB ~-30dB	最深衰落超 过 -30dB
106~107	75.7公里 180/250米 平地	11月份、12月份 1%衰落 -13dB 多风、电波传播大多稳 定	在雨后、晴天、无 风的夜晚或清晨出 现深衰落	最深衰落为 -44dB 衰 落深度低于 -35dB 持 续24秒
A~B	45公里 150/105米 海面	6月份1%衰落 -20dB 7月份1%衰落 -23.3dB 8月份1%衰落 -23.6dB 1月份1%衰落 -16.2dB 夏季深衰落频繁持续时 间短、冬季电平稳定、 偶有慢衰落	夏季午夜凌晨至早 上9点、以及雨后 台风后期以慢变化 的K型衰落为主、中 午至下午多出现快 而深的混合型衰落	最深衰落为 -45dB 6~ 8月份衰落 深度 -40dB 250次平均 持续时间 3.5秒

注：此栏第一项为站距，第二项斜线上方的值为该微波接力段前一站的天线标高；斜线下方的值为后一站的天线标高。

律：

(1) 跨越水面（湖泊，海洋）、平原的线路比跨越山区的线路衰落严重。

(2) 夏秋季节比冬春季节衰落频繁，衰落深度大。传播衰落最严重的月份随气候区而不同，只有经过长期观测才能确定。

(3) 晴天白天接收信号场强一般比夜间稳定，尤其是从上午九点钟至下午五点钟左右，接收信号通常是稳定的。

(4) 晴天早上五点钟至九点钟左右，晚上七点到九点前后

以及午夜至凌晨三点钟左右经常出现深衰落。

(5)阴雨天、雾天及刮风的天气，接收信号电平比较稳定，但略低于自由空间接收电平。雨过天晴及雾散时常出现快速深衰落。

以上微波传播衰落发生的一般规律是指10吉赫以下频段而言的。当微波频段高于10吉赫时，即使在大气层中传播，也必须考虑雨、雪、雾、大气等对微波的吸收、散射等效应而出现的衰耗。降雨时电波传播处于稳定状态，不产生衰落，但衰耗增加，接收信号电平将降低。此时从正常接收信号电平减去降雨衰耗量，除应满足电路可用电平外还要有一定的余量。否则必须采取相应的技术措施，使之满足这一要求。

二、衰落对微波通信的影响

接收信号衰落对视距微波接力通信的影响可以从两方面来评价。

(一)直观影响

所谓直观影响，就是指值机人员和用户凭视觉和听觉能够直接感受到的影响。在调频制微波接力线路上，当发生深衰落时接收信号变弱，信噪比下降，总噪声增大。衰落对通信的影响视传输业务信号的种类亦有所不同。

(1)电话信号：表现为线路终端话路通话噪声增大，以致听不清对方讲话，严重时甚至使通话中断。

(2)广播信号：深衰落发生时，使传输的广播信号背景噪声增大，严重时甚至使广播中断。

(3)电视信号：表现为图象雪花噪声增大，色度信号下降，图象颜色从彩色变为黑白，清晰度下降。伴音信号噪声增

大，模糊不清。衰落严重时首先图象中断，然后伴音中断。

(4)电报信号：表现为收报端接收的报文变字率增加，严重时甚至漏掉一部分报文。

(5)传真信号：对于深而慢的衰落，则表现为图片背景噪声增大，图片模糊不清。对于深而快的衰落，则表现为一幅清晰的图片中出现一条模糊不清的麻点。严重时甚至使传输中断。

图1.1是微波线路上传送的传真照片，因微波信号出现慢而深的衰落，使照片模糊不清的实例。

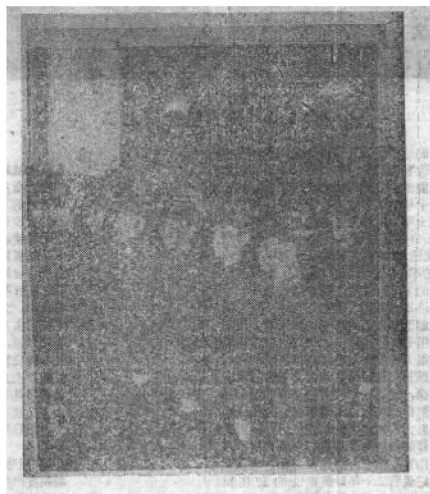


图 1.1 传真照片例之一

图1.2是微波传送的传真照片，因微波信号深衰落而造成瞬时噪声剧增，而呈现一窄条麻点的实例。

图1.3是微波传送的人民日报传真版，因微波信号出现极其深的衰落，而引起瞬时中断的实例。中断时间大约三十秒钟。

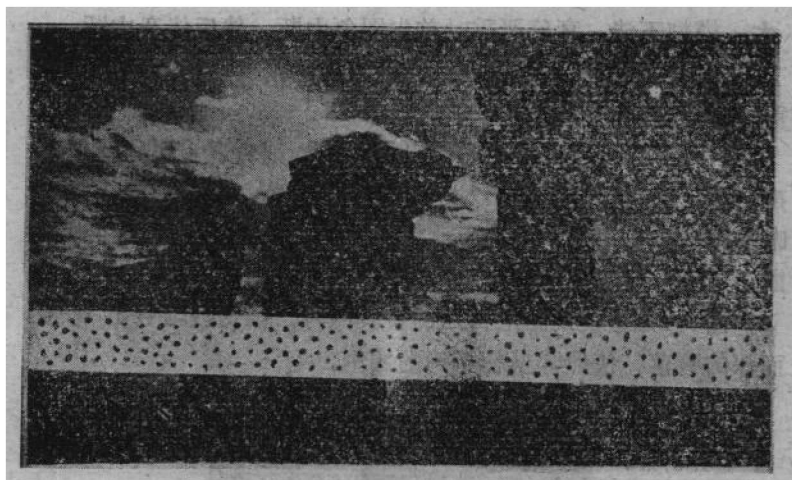


图 1.2 传真照片例之二

管理体制和各方面的经济结构进行合理的调整,在这十年间,要在继续改善人民生活的同时,由国家适当筹集资金来进行能源、交通等重点建设。做好这一切工作,就能为后十年的经济建设打好基础,积蓄力量,创造条件。后十年就能够以较高的速度发展,进入一个新的经济振兴时期。在这二十年中,都要牢牢地抓住农业、能源和交通、教育和科学这几个基本环节,促进消费品生产的较快增长,带动整个工业和其他各项生产建设事业的发展,保障人民生活的改善。

在社会主义经济建设方面,固然还有许多新的问题,例如在经济体制改革方面的各项具体问题,还需要我们继续探索。但是,应该承认,十二大报告所提出的经济纲领在很大程度上反映了我国经济的客观规律的纲领。这个纲领既使我们不敢重复过去脱离实际、盲目冒进的错误,也防止了在需要解决的问题和需要克服的困难面前徘徊观望、踌躇不前。这是一个需要我们进行巨大努力才能实现的纲领,但也是可能实现的纲领。以这样的纲领来保障我们今后坚定不移地执行党和国家的工作重心摆在经济建设方面,将使我们的步伐地达到本世纪最后二十年经济建设的宏伟目标。

第二,正确地处理了经济与政治的关系。普遍地提出了在建设现代化的物质文明的同时,一定要建设高度的社会主义精神文明,并且着重指出了社会主义的物质文明和精神文明的建设都必须有社会主义政治的保证和支持。

在社会主义建设中如何正确地处理经济与政治的关系,或者说,经济工作和思想政治工作的关系,是一个很重要的问题。由于没有正确地处理好这种关系,我们过去是吃了不少亏的。

“文化大革命”提出了政治压倒一切,政治冲击

高度和战略高度论述了建设社会主义社会中物质文明建设的不可缺少的基础。如“的进步和人们物质生活的改善”的建设就成为空谈。但是,不是随着物质文明的发达,社会就会发展起来,也不是只有有了才能有高度的精神文明。我同时,为建设高度的精神文明“社会主义精神文明对物质文明推动作用,而且保证它的正确决不能只顾物质文明的建设而让共产主义思想为核心的社会主义必须具备的一个重要特征。食主义就不可能建设起来,即会走上邪路。这是总结历史经验。

命,按照马克思列宁主义理论,影制度产生的同社会主义不相认为剥削阶级少数人所专有掌握。列宁在十月革命后常革命的任务。他十分重视用共十分重视以扫除文盲起文化出,社会主义必须吸取和改造文化发展中一切有价值的革命的含义搞得十分混乱,“文化化”,而列宁所说的文化革命当现在用建设社会主义精神文明的思想建设和在共产主义思这里当然包括了马克思列宁主

图 1.3 报纸传真瞬间断例

(二)对电路传输质量指标的影响

下面以电话传输为例说明衰落对微波线路传输质量指标的影响。衡量频分复用调频电话无线电接力系统传输质量的主要指标有噪声指标和可用性指标。其中噪声指标属于性能指标,它是针对噪声而言的,因此又称为噪声性能。可用性指标(过去曾称“可靠性”指标)部分地受微波电路传播中断的影响,也就是受衰落所引起的过度噪声的影响,可见系统的传输质量归根到底取决于噪声指标。受电波衰落影响的噪声主要有热噪声和多径传播失真噪声。

通常,一条微波接力线路的噪声功率被近似地认为是各接力段的噪声功率的叠加。因此,对于一条长距离的微波通信线路,必须有一个合理的电路噪声指标。指标过高将使系统造价昂贵,指标偏低又会影响话路通信质量。

1. 假设参考电路

图1.4为CCIR(国际无线电咨询委员会)规定的60路以上话路容量的假设参考电路。该电路长度为2500公里,对每一传输方向,该电路应包括:3组话路调制解调器;6组群频调制解调器;9组超群调制解调器。全电路相应地分为9个等长度的均匀调制解调段。

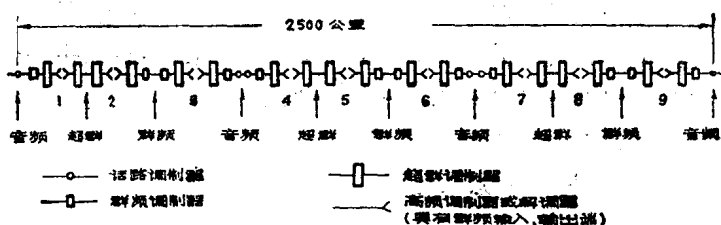


图 1.4 60路以上容量的假设参考电路

上述假设参考电路中，微波线路全长为2500公里，共分9个调制、解调段，54个均匀长度的接力段，每段平均站距46.3公里。然而，它只是一种假想标准电路，仅做为设计人员考虑设备体制及电路设计的依据。

2. 假设参考电路与实际电路的噪声指标建议

在CCIR第393-3号建议中，对2500公里微波假设参考电路的噪声指标做了规定，即任一话路中在相对零电平点的噪声功率考虑衰落时不应超过下列数值：

(1) 任何月份的20%以上时间噪声计加权一分钟平均功率7500微微瓦；

(2) 任何月份的0.1%以上时间，噪声计加权一分钟平均功率47500微微瓦；

(3) 任何月份的0.01%以上时间，不加权（5毫秒积分时间）噪声功率为1000000微微瓦。

应当指出，上述指标仅适用于具有适当路由余隙的视距微波接力系统，并假定系统是在满负荷条件下使用的。另外，上述规定值未包括频分多路复用设备所产生的2500微微瓦加权噪声功率。

由于各种原因，实际电路与假设参考电路总存在一定的差异。这种差异在于实际电路结构上的不同，诸如：调制段数目、电路总长度、各类调制与解调次数等。因此，CCIR第395-2号建议规定，任何月份20%以上时间在任一话路相对零电平点上噪声计加权一分钟平均功率不应超过下列值：

(1) $50 \text{公里} \leq L \leq 840 \text{公里}$

$3L + 200$ (微微瓦)

(2) $840 \text{公里} \leq L \leq 1670 \text{公里}$

$3L + 400$ (微微瓦)

(3) $1670 \text{公里} \leq L \leq 2500 \text{公里}$

$3L + 600$ (微微瓦)

CCIR第395-2号建议又规定,任何月份任一话路相对零电平点上噪声计加权一分钟平均功率为47500微微瓦的时间率(概率)不应超过下列值:

(1) $50 \text{公里} \leq L \leq 280 \text{公里}$

$(280/2500) \times 0.1\%$

(2) $280 \text{公里} \leq L \leq 2500 \text{公里}$

$(L/2500) \times 0.1\%$

式中: L (公里) 为实际电路的总长度。

如果实际电路与假设参考电路差别不很大时,则仍可采用393-3号建议中所规定的噪声指标。

3. 噪声指标对话路质量的影响

假设参考电路噪声指标第一项中,一分钟加权平均噪声功率为7500微微瓦,加上载波设备的2500微微瓦,共10000微微瓦。即全程2500公里的微波电路,其一分钟平均噪声电平加权值为 -50dBm 。根据日常话务人员的值机经验及感觉表明,当话路噪声电平在 -50dBm ,即噪声功率达10000微微瓦时,通话感觉噪声极小,话音非常清晰。当话路噪声电平在 -40dBm ,即噪声功率达到100000微微瓦时,通话稍感有噪声,轻声讲话时仍可听清,不影响通话。但当话路噪声电平一旦达到 -30dBm ,即噪声功率达到1000000微微瓦时,话路噪声大,须大声或重复讲话方能听清,严重影响通话。由此可见,话路噪声电平的高低对通话质量具有显著的影响。

在噪声指标规定的第二项中,加权一分钟噪声平均功率为47500微微瓦,加上载波设备的2500微微瓦,共计50000微微瓦的噪声功率,此时话路噪声电平达 -43dBm 。话路质量尚好。