

微波接力通信技术丛书

微波接力通信工程设计

邮电部设计院编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是在总结国内微波通信工程设计和结合设计面进行的科研工作所取得的成果基础上编写的。书中主要讲述微波接力通信线路设计的基本理论、电波传播、干扰计算以及设计原则、内容、步骤和方法等。书中详细地介绍了微波工程设计的具体实施方法及工程设计所需要的结论、公式、图表及相关资料。基本上概括了各个设计阶段的有关内容。可供从事微波工程设计的技术人员和维护人员参考，亦可供有关专业的科研、施工人员及有关院校的师生参考。

微波接力通信技术丛书
微波接力通信工程设计
邮电部设计院 编
责任编辑：梁素梅

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：850×1168 1/32 1985年2月第一版
印张：16.5 页数：264 1986年2月河北第一次印刷
字数：432千字 插页：3 印数：1—2,000册

统一书号：15045·总3124—无6353

定价：4.40元

前 言

微波接力通信是现代化的通信手段之一，与其它通信方式相比，它具有通信容量大、建设周期短、对自然环境异常变化的适应性强、技术经济综合效益高等特点，因此，世界上许多工业发达的国家，目前仍以微波接力通信作为一种主要的通信手段。

我国发展微波接力通信，已有二十多年的历史，在科研、设计、施工、维护方面都积累了许多宝贵的经验。目前国内邮电系统的微波电路已达一万五千多千米，加上石油、电力、广播等部门的专用通信网，我国微波电路总长已超过两万千米。

本书是在总结国内微波通信工程设计和结合设计而进行的科研工作所取得的成果基础上编写的。全书分十一章，包括微波电路设计的基本理论、电波传播基础、噪声分析、干扰计算和理论分析、无源接力的理论和设计、线路指标及设计方法、微波站防雷、电源设计等内容，对设计各个阶段的具体步骤、方法、工程计算和图表都作了详细的介绍。基本上概括了设计全过程的有关内容，并着重于实用化，对涉及比较深入的理论部分尽量以附录方式出现。

本书可供从事微波工程设计的技术人员和维护人员参考，亦可供有关专业的科研、施工人员及有关院校的师生参考。

参加编写本书的有李为民、郭建华、黄三荣、蔡桂秋和周锦泉同志。朱庆璋同志对全书进行了审校，在此谨表示衷心感谢。书中错误和不当之处恳请读者批评指正。

作者

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，分部件讲述各部分原理、各元器件作用、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。

目 录

第一章 微波接力通信系统概述	(1)
1.1 微波接力通信线路的组成	(1)
1.2 微波接力通信的基带频谱	(2)
1.3 波道的频率配置和极化	(4)
1.3.1 频率配置的考虑原则	(4)
1.3.2 不同极化的运用	(5)
第二章 微波传播的基础知识	(6)
2.1 微波在自由空间里的传播	(6)
2.1.1 自由空间的概念	(6)
2.1.2 自由空间传播损耗	(7)
2.2 微波在大气中的传播	(10)
2.2.1 大气折射率	(10)
2.2.2 M剖面图	(12)
2.2.3 等效地球半径系数K	(13)
2.3 地形对微波传播的影响	(15)
2.3.1 地球凸起高度	(15)
2.3.2 剖面坐标纸	(17)
2.3.3 路径余隙	(19)
2.3.4 电波在平面上的反射	(21)
2.3.5 电波在光滑球面上的反射	(25)
2.3.6 等效地面反射系数	(31)
2.3.7 地面障碍物的绕射	(34)
2.4 衰落及其克服方法	(43)
2.4.1 障碍物阻挡衰落	(43)

2.4.2	沉降物引起的衰落	(44)
2.4.3	地面反射衰落 (K型衰落)	(45)
2.4.4	波导型衰落	(53)
2.4.5	大气不均匀体的散射和“反射”	(55)
第三章	微波接力通信系统的干扰计算	(56)
3.1	概述	(56)
3.1.1	微波接力通信系统中的干扰	(56)
3.1.2	干扰对微波线路的影响	(62)
3.2	干扰噪声的计算	(66)
3.2.1	微波接力通信系统间的干扰计算	(66)
3.2.2	卫星通信系统对微波接力通信系统的 干扰计算	(77)
3.2.3	雷达对微波接力通信系统的干扰计算	(80)
3.3	干扰计算的基础数据、指标分配和有关图表	(86)
3.3.1	4吉赫960路微波接力通信系统 (II型机) 干扰噪声部分指标分配	(86)
3.3.2	6吉赫1800路微波接力通信系统干扰噪声 部分指标分配	(87)
3.3.3	卫星通信系统和微波接力通信系统间 的允许干扰指标	(88)
3.3.4	几种FDM—FM系统的主要参数	(88)
3.3.5	4、6吉赫频段干扰计算有关图表	(88)
3.4	附录——干扰噪声的分析	(94)
3.4.1	寄生频偏的一般解析式	(94)
3.4.2	单音干扰的分析	(96)
3.4.3	随机负荷调制时的干扰分析	(101)
3.4.4	干扰降低因子的计算	(107)
第四章	微波接力通信线路的选择	(123)
4.1	线路选择的程序和方法	(123)

4.1.1	计划任务书(或委托任务书)	(123)
4.1.2	图上作业	(124)
4.1.3	站距和余隙的确定	(125)
4.1.4	路径剖面图的制作	(131)
4.1.5	天线高度的选择	(133)
4.1.6	线路转折角的确定	(148)
4.1.7	线路分支角的确定	(148)
4.1.8	越站干扰	(149)
4.1.9	站址的选择	(151)
4.2	线路参数计算	(155)
4.2.1	通信方位角的计算	(155)
4.2.2	站距的计算	(158)
4.2.3	路径垂直角的计算	(158)
4.3	资料的整理	(160)
4.3.1	绘制路由方案图	(161)
4.3.2	绘制路径剖面图	(161)
4.3.3	填写微波工程技术条件一览表	(161)
4.3.4	填写方案比较总表	(161)
第五章	微波通信线路的工程勘测	(163)
5.1	草测	(163)
5.1.1	调查和资料搜集	(163)
5.1.2	站址位置的现场确定	(167)
5.1.3	站址标高的测定	(171)
5.1.4	通信方向的测量	(172)
5.1.5	线路视通情况的测量	(174)
5.1.6	站址的地形测量	(174)
5.1.7	剖面图的修正	(174)
5.1.8	草测资料的整理	(175)
5.2	电气测量	(176)

5.2.1	电测参数的计算	(176)
5.2.2	电测前的准备	(179)
5.2.3	一般测试	(180)
5.2.4	一般测试中的注意事项	(182)
5.2.5	长时间传播测试	(183)
第六章	微波接力通信线路的质量指标	(187)
6.1	假设参考电路	(187)
6.1.1	频分复用电话微波接力系统的假设 参考电路	(187)
6.1.2	电视微波接力系统的假设参考电路	(187)
6.2	线路的质量指标	(188)
6.2.1	频分复用电话假设参考电路的 允许噪声功率	(188)
6.2.2	频分复用电话实际电路的允许噪声功率	(190)
6.2.3	电视电路的杂波指标	(191)
6.3	微波接力线路的噪声特性	(197)
6.3.1	热噪声	(199)
6.3.2	串噪声	(210)
6.3.3	干扰噪声	(217)
6.4	电视传输中的信杂比和传输失真	(220)
6.4.1	电视传输中的杂波	(220)
6.4.2	电视传输中的非线性失真	(229)
6.4.3	电视传输中的线性失真	(231)
6.5	质量指标的估算	(232)
6.5.1	电话通道	(232)
6.5.2	电视通道	(236)
第七章	微波接力通信工程设计文件的编制	(239)
7.1	设计程序	(239)
7.1.1	设计阶段的划分	(239)

7.1.2	设计分工	(240)
7.2	设计文件的内容和要求	(241)
7.2.1	初步设计	(241)
7.2.2	施工图设计	(250)
7.3	波道频率和极化的配置	(258)
7.3.1	频段的选择	(258)
7.3.2	波道频率的划分	(258)
7.3.3	频率和极化配置的考虑	(259)
7.4	通信系统的组织	(267)
7.4.1	通道安排	(267)
7.4.2	微波站的设备系统图	(271)
7.4.3	电视的传输	(272)
7.5	微波站的平面布置	(281)
7.5.1	总平面及生产房屋的布置	(281)
7.5.2	天线和铁塔的布置	(285)
7.6	微波站的建筑要求	(287)
7.6.1	建筑形式	(287)
7.6.2	工艺要求	(287)
7.6.3	对微波天线支持物的要求	(287)
7.6.4	辅助工程	(290)
7.7	概算	(290)
第八章	无源接力站	(294)
8.1	无源反射板	(294)
8.1.1	反射板场地的选择	(294)
8.1.2	反射板主要指标的计算	(295)
8.1.3	反射板的工艺要求	(315)
8.1.4	反射板的施工	(318)
8.2	绕射网	(325)
8.2.1	绕射网场地的选择	(327)

8.2.2	绕射网板面尺寸的确定及其要求	(327)
8.2.3	设置在刃形障碍上的绕射网的绕射增益和 绕射衰减	(330)
8.2.4	具有绕射网的接力段的噪声指标	(333)
8.3	附录	(336)
8.3.1	反射板的近场区附加衰耗	(336)
8.3.2	反射板的方向性函数	(340)
8.3.3	反射板的增益	(344)
8.3.4	设置在刃形障碍上的绕射网的绕射 增益和绕射衰减	(348)
第九章	微波站的电源系统设计	(357)
9.1	微波站电源系统的组成	(357)
9.2	微波站的电源系统设计	(362)
9.2.1	微波站电源系统设计的要求	(362)
9.2.2	电源系统的设计程序	(365)
9.3	各设计阶段的主要图纸	(399)
9.3.1	初步设计阶段的图纸	(399)
9.3.2	土建设计工艺要求配合阶段的图纸	(399)
9.3.3	施工图设计阶段的图纸	(401)
9.3.4	电源系统设计中需考虑的一些具体问题	(402)
第十章	微波站防雷接地系统的设计	(432)
10.1	微波站雷击损害的原因	(432)
10.2	雷电的侵入途径及其损害	(435)
10.3	防雷接地系统的设计	(443)
10.3.1	保护措施	(443)
10.3.2	接地电阻的估算方法	(454)
10.3.3	防雷接地器材的选择	(462)
10.3.4	施工要求	(463)
10.4	附录——避雷针的保护范围	(464)

第十一章 设备简介	(467)
11.1 天线.....	(467)
11.1.1 天线增益.....	(467)
11.1.2 天线方向性.....	(468)
11.1.3 常用天线型谱.....	(469)
11.2 馈线.....	(469)
11.2.1 同轴电缆.....	(470)
11.2.2 波导管.....	(471)
11.3 微波设备.....	(475)
11.3.1 2 吉赫300路电话/电视微波接力通信系统.....	(475)
11.3.2 4 吉赫600路电话/黑白电视微波接力通信系 统.....	(482)
11.3.3 4 吉赫960路电话/彩色电视微波接力通信系 统(I 型).....	(488)
11.3.4 4 吉赫960路电话/彩色电视微波接力通信系 统(II 型).....	(492)
11.3.5 6 吉赫 1800 路电话/彩色电视微波接力通信 系统.....	(504)
11.3.6 8 吉赫300路微波接力通信系统.....	(504)

第一章 微波接力通信系统概述

微波接力通信具有通信容量大、传输质量高、投资较少、建设速度快等优点，可以高质量地传送多路电话、电视、传真、电报数据、宽频带广播等多种业务。

微波是指波长为1米至1厘米或频率为300兆赫至30吉赫范围内的电磁波。微波接力通信具有下述特点：

一、长、中、短波段的频带宽度总共不超过30兆赫，而微波波段的频带宽度达29700兆赫，这差不多为前者的1000倍。因此，在微波波段可容纳大量波道，每一波道可以同时传送几十、几百，甚至几千路电话。

二、天电、工业干扰以及太阳黑子的变化，对微波通信影响极微，可以不予计及。

三、微波具有与光波相似的沿直线传播的特性，由于地球曲率的影响，传播距离不能很远。同时微波在对流层中传播，还会由于地面反射以及对流层气象参数的变化而产生衰落。为了获得比较稳定的传播特性，相邻两站之间的距离也不宜过长，一般选择在50公里左右，以接力通信的方式，实现远距离通信。

四、由于微波波长很短，可以制成尺寸较小而方向性很强的天线，因而大大节省了发信功率。同时，由于天线的方向性很强，干扰和失密的现象也大为减轻。

1.1 微波接力通信线路的组成

微波接力通信线路由线路两端的终端站和线路中间的许多接力站组成。根据电路的转接和上下话路的特点，微波站大体可分成四

种站型，即终端站、主站、分路站和中间站。

终端站：它将载波机送来的基带信号或电视台送来的视频与伴音信号调制到微波频率上，并发射出去，同时从收到的微波信号解调出基带信号，送往载波机，或解调出视频与伴音信号送往电视台。

主站：当分出或加入话路，分出或加入电视，或在进行电路转接时，基带信号需要经过超群调制和解调的接力站，称为主站。我们也常把需要进行电路转接的主站称为枢纽站。

分路站：当分出或加入部分话路，或在进行电路转接时，基带信号不需要经过超群调制和解调，而用分路机直接分出某一超群并解调出话路或相反的接力站，称为分路站。

中间站：微波接力通信线路中，将上一站发来的微波信号加以移频、放大等处理后转发至下一站的微波站，称为中间站。中间站一般进行中频转接，不解调出基带信号。

上述四种站型，是以转接方式来划分的。如果从维护方式来划分，有人值守的微波站称为有人站，无人值守的微波站称为无人站；进行波道倒换操作的微波站称为倒换站，在两倒换站之间不进行波道倒换操作的微波站称为非倒换站。通常终端站、主站或分路站是有人站，也是倒换站；中间站是无人站，也是非倒换站。

1.2 微波接力通信的基带频谱

在一个信道上交织或同时传输两个或更多消息的传输方式，称为多路复用。微波通信系统有频分复用和时分复用两种。利用频率分割的原理，把不同频带的多路信号，用一个共同通路传输的方式，称为频分复用。对于大容量微波通信系统，采用下述的复用制度：

一、基群：又称12路群，其频谱为60—108千赫。

二、超群：又称60路群，由5个基群经变频后组成，其频谱为

312—552千赫。

三、主群：又称300路群，由5个超群经变频后组成，其频谱为812—2044千赫。

标准群的信号频谱，还不是微波电路中传输的群路信号频谱。为了得到群路信号频谱，还需将标准群信号再变频。表(1-1)所列的就是不同系统中传输的群路信号频谱。

表 1-1

系 统 容 量 (话 路 数)	群路信号频谱 (千 赫)
24	12—108
60	12—252
	60—300
120	12—552
	60—552
300	60—1300
	64—1296
600	60—2540
	64—2650
960	60—4028
1800	312—8204
	316—8204
2700	312—12388
	316—12 88

1.3 波道的频率配置和极化

1.3.1 频率配置的考虑原则

微波接力通信线路设计中的一个重要问题是正确选择微波设备的收、发信频率，尽可能消除各种可能的干扰。频率配置的原则如下：

一、为了避免发射的信号为本站的收信机收到，同站收、发信必须采用不同频率。

二、多个波道同时工作时，相邻波道的频率必须有足够的间隔，以免互相干扰。

三、在给定的频段范围内，整个频谱的安排必须紧凑，最经济的使用给定频段。

四、对于外差式收信机，除收信频率区外，还有多个干扰灵敏区，其他信号对这些灵敏区的干扰应当最小。

微波接力通信系统有二频制和四频制两种制式。所谓二频制，

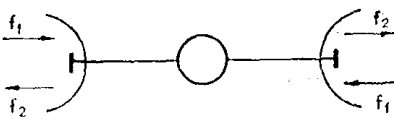


图 1-1 二频制

就是每个双向波道只使用两个频率，即同站两个方向的收、发各用一个频率，如图1-1所示。

由于二频制频带利用率高，在多波道线路中一般采用二频制。二频制的缺点是接力站一个方向的收信机可能收到来自另一个方向的信号。为了克服这一缺点，要求天线具有很高的反向防卫度。

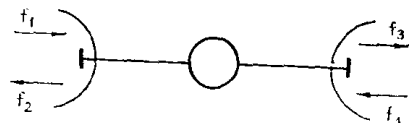


图 1-2 四频制

所谓四频制，就是一个双向波道使用四个频率，即同站两个方向的收、发各用两个频率，如图1-2所示。四频制的频带利用率低，因此在多波道线路中一般都不

采用。

不论二频制还是四频制，在接力线路的路由选择不当时，都可能产生越站干扰，如图1-3所示。

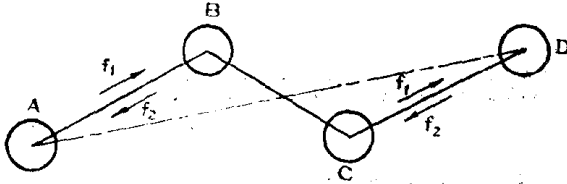


图 1-3 越站干扰

根据频率配置的原则，并考虑到在国际电路上进行射频转接的可能性，国际无线电咨询委员会推荐了一系列不同频段、不同话路容量的频率配置方案。目前，邮电部门生产的各种微波设备，其频率的配置大都是采用国际无线电咨询委员会提出的方案（具体的频率配置详见第十一章）。

1.3.2 不同极化的运用

为了使更多的波道能够共用一副天线和减轻系统内的干扰，微波天线大多采用双极化。通常使用的是互相垂直的两种线极化，即水平极化和垂直极化。

在馈线系统中，水平极化波和垂直极化波之间的隔离度，主要靠馈线系统中的极化分离器来实现。实验证明极化分离器的交叉极化隔离度通常可达二十分贝以上。当来波与收信天线的最大接收方向重合时，天线的隔离作用最大。可是，当来波偏离收信天线的最大接收方向时，天线的极化隔离作用将随之减小，到了一定的角度后，隔离作用等于零，如图3-16至图3-18所示。天线的这种随来波角度而变化的隔离特性，在考虑和计算越站干扰和分支干扰等时，是需要注意的。

第二章 微波传播的基础知识

2.1 微波在自由空间里的传播

2.1.1 自由空间的概念

所谓自由空间是指充满着理想介质的无限空间。在这个空间里电波不受阻挡、反射、折射、绕射、散射和吸收。介质的相对介电常数 ϵ_r 和相对导磁率 μ_r 都等于1，因此，自由空间可视为近似于真空的理想空间。

在微波传播研究和通信工程设计中，为了简化电波传播的计算，总是首先把微波在大气中的传播看作是在自由空间里的传播，然后再考虑地形和大气对微波的阻挡、反射、折射、绕射、散射和吸收等的影响，最后把二者结合起来。实践证明，利用这一方法所得到的结果其精度足以满足工程设计的要 求。

微波和其他频段的电波一样，波的辐射是依靠天线。当波源为各向同性天线时，在离天线足够远的地方以天线为中心的球面波上任意点的电场强度或磁场强度的幅度和相位都相同，单位面积上的功率（即能流密度）也都是是一样的。如果我们只研究有限面积内的电磁场，那末，随着与辐射源距离的增大，这个有限面积内的波就越来越接近平面波。在实际的微波接力通信线路中，接力段的站距一般都超过10公里，均满足远区场的条件，因此可以把实际上是球面波的传播问题近似当作平面波来研究，这不但便于分析问题，而且大大简化了计算。

设各向同性天线的辐射功率为 P_r ，则距辐射源 d 处的电场强度有效值 E 为：

• • •