

★ 物联网工程技术丛书 ★

新一代无线技术 频谱分配机制与应用

◎ 宋起柱 编著



Internet



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

物联网工程技术丛书

新一代无线技术频谱 分配机制与应用

宋起柱 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书深入探讨了无线电频谱资源的管理理论和分配机制,并进行了相关的应用性分析。全书共7章,首先介绍了无线电频谱资源基本知识,在此基础上,详细阐述了无线电资源的分配理论和管理模式,同时探讨了世界上主流的管理模式,以及我国的管理现状和发展趋势;其次,研究了无线电频谱资源经济价值的表现及现有测评方法,综合分析了无线电频谱的稀缺性、利用率和潜在的经济效益,从而设计出经济价值评估指标,并通过层次分析法建立了无线电频谱的经济价值评估体系;再次,分析了无线电频谱的划分理论,并指明各种类型频谱所适用的管理方式,在此基础上详细介绍了市场化分配方式和非市场化分配方式,并结合案例对这些分配机制进行了应用性说明;最后,对各种无线电频谱的管理分配模式在新一代无线技术中的应用前景进行了分析和展望。

本书可供从事物联网等新一代无线通信技术的管理人员、工程技术人员,以及负责制定新一代无线技术研究、应用与产业发展规划的工作人员阅读,也可供信息技术等相关专业的教师、学生阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

新一代无线技术频谱分配机制与应用 / 宋起柱编著. —北京:电子工业出版社, 2011.12

物联网工程技术丛书

ISBN 978-7-121-14608-4

I. ①新… II. ①宋… III. ①无线电通信—频谱—资源管理 IV. ①F626.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第188420号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚 特约编辑:王曼珠

印 刷:

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:13.25 字数:259千字

印 次:2011年12月第1次印刷

定 价:39.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

随着第三代移动通信技术的应用与普及,全球移动互联网正经历井喷式的发展,并有可能加速催生第四代移动通信技术的试商用进程。中国是全球增长速度最快的移动通信市场。截止到 2011 年 4 月底,移动通信用户数已经突破 9 亿,每百人移动终端普及率已经超过 70%。智能手机和移动互联网业务的引入正在带来新型的泛在化、情景应用,这除了将对产业链的商业模式、业务创新和 ICT 相关部门的规模增长带来很大影响之外,必然对频率需求与分配产生重大影响。

此外,随着经济的飞速发展以及各种无线电新技术、新业务在社会经济和人民生活中的广泛应用,物联网、智慧城市等基于无线频率应用的信息化进程正酝酿着即将到来的一轮增长。由于社会对无线电频谱资源的需求日益增长,无线电频谱已成为一种稀缺资源。单一的基于行政审批的无线电频谱资源管理模式已经不能完全适应当前经济社会发展的需要,基于市场机制进行频谱资源管理正在成为国际上无线电管理发展的主流。

无线电频率是一个国家经济和社会发展的重要资源。目前已经有一些研究成果对频率为一个国家带来的经济和社会效益进行了分析。但这些研究方法主要是从宏观角度出发的,如频率资源投入所诱发的无线应用产业在国家经济中的比重等。我国 2002 年也开始了针对 3.5 GHz 频段地面固定无线接入系统频谱资源使用的招标,经济手段在我国无线电频谱资源管理中也开始发挥作用。然而本书则从资源经济学的全新视角,纳入了更为微观的、定性的研究方法,针对我国移动通信生态系统特征,提出了频率资源有偿使用的可操作性方法。

本书适应无线电频谱资源管理模式市场化发展的需求,对无线电频谱资源的管理理论和分配机制进行了深入分析,并对其相关应用进行了详细探讨。书中首先在介绍无线电频谱资源基本知识的基础上,对无线电资源的分配理论和管理模式进行了详细的阐述,同时探讨了世界上主流的管理模式及我国的管理现状和发展趋势;其次,在对无线电频谱资源经济价值的表现及现有测评方法进行研究的基础上,综合分析了无线电频谱的稀缺性、利用率和潜在的经济效益,从而设计出经济价值评估指标,并通过层次分析法建立无线电频谱的经济价值评估体系;再次,对无线电频谱的划分理论进行了分析,并指明了各种频谱所适用的管理方式。在此基础上,对无线电频谱的市场化分配机制和非市场化分配机制进行了具体探讨,详细介绍了

频谱拍卖、频谱交易和频谱定价三种主要的市场化分配方式，以及命令与控制 and 开放式频谱资源管理这两种非市场化分配方式，并且结合案例对这些分配机制进行了应用性说明；最后，本书对各种无线电频谱的管理分配模式的应用前景进行了分析和展望。

本书对无线电频谱资源管理及分配模式进行了系统的阐述，并通过案例对各种分配模式的应用进行了具体说明，体现了理论分析与实践应用、前瞻性与实效性的有机统一。书中所提出的频谱管理及分配模式，为我国无线电频谱资源管理工作提供了理论依据和进一步研究的基础，所提出的对策和建议可以作为我国无线电管理决策的重要参考，对我国无线电事业的发展及无线电频谱资源管理具有开创性和指导性的意义。

不言而喻，泛在化的网络应用为企业家和应用开发商提供了新的收入来源和商业机会。移动商务的发展，将有利于国家实现“十二五”规划关于转变社会经济发展方式的目标，帮助实现我国出口驱动型经济体系向拉动内需促增长方向转变。同样，通过推动电子政务的发展，为所有市民提供医疗保障、教育和政府管理活动，也将使公共部门受益。与此同时，我们不仅要看到无线频率对信息基础设施的作用，还要看到 IT 技术为中国文化创意产业发展提供了一个有效的舞台，如果能够高效率地利用频率资源，网络基础设施就会得到改善，更多居民能够通过智能终端接入互联网，由此带来的对内容和应用的需求的增长将会使经济社会得到迅猛发展。



北京邮电大学博导、教授

2011 年 5 月 26 日

吕廷杰

前 言

在信息技术迅猛发展的今天,无线电业务已经涵盖了信息社会的各个领域,在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用。无线电频谱作为未来信息时代的必要资源,是信息业务赖以开展的基础。无线电频谱的物理属性决定了其行业应用的广泛性,而无线电频谱的有用性则决定了它是一种重要的经济资源。无线电频谱资源在行业应用中逐步形成的共赢关系商业模式能够带来巨大的经济效益,如果说能源是工业时代的血液,那么无线电频谱资源及其传输介质的应用就如同未来信息时代的神经系统。因此,无线电频谱在世界各国的政治、军事和经济领域都占有重要的战略地位。

随着经济的飞速发展及各种无线电新技术、新业务的广泛应用,社会对无线电频谱资源的需求日益增长。一方面,各种传统无线电业务对此有着很大的需求;另一方面,新兴无线电业务的兴起也大大增加了频谱资源的需求,所有这些使得这一有限的自然资源变得越来越紧张,需求矛盾日益凸显。因此,实现无线电频谱资源的充分利用对于国计民生来说具有非常重要的意义,如何有效规划和分配频谱资源成为各国政府主管部门和无线电业务应用部门必须思考的问题。

在以上背景下,本书通过对无线电分配机制及管理模式的深入分析,以期为我国无线电频谱资源管理指明方向,保证有限频谱资源的合理配置,提高频谱利用效率,从而使频谱资源能够在即将来临的物联网时代发挥最大的作用。

本书深入探讨了无线电频谱资源的管理理论和分配机制,并进行了相关的应用性分析。全书共7章,分为四大部分:第一部分(第1章)介绍了无线电频谱资源的基本知识,包括无线电频谱的属性和特征、具体应用领域及应用现状。第二部分(第2章至第4章)主要阐述了无线电频谱资源的分配理论和管理模式,其中第2章对无线电频谱管理进行初步介绍,同时探讨了世界上主流的管理模式及我国的管理现状和发展趋势;第3章分析频谱资源的经济价值及其评测方法,并应用层次分析法建立了我国频谱资源的价值评估体系;第4章阐述频谱资源的划分理论,指明了各种类型频谱所适用的管理方式,并在整合频谱资源划分模型和管理制度模型的基础上提出了一个新的规划—管理—分配模型。第三部分(第5章和第6章)主要就市场化分配和非市场化分配两类具体的频谱分配机制进行了探讨,其中第5章介绍了频谱拍卖、频谱交易和频谱定价这3种主要的市场化分配方式,并对其在我

国的应用情况进行了总结；第6章则重点介绍了行政命令与控制这一最重要的非市场化管理手段，并针对开放式频谱的可控管理提出了优化建议。最后，第四部分（第7章）总结了全书内容，同时对书中涉及的各种无线电频谱的管理分配模式在国内外的应用前景进行了分析和展望。

本书是在收集大量国内外资料，综合分析国内外相关研究成果并结合作者最新科研实践的基础上撰写而成的。本书在编写过程中力求理论和实践相结合，加入了充分的案例说明，如全球3G牌照拍卖概况、我国4G牌照拍卖方案的设计及RFID的非市场化分配与管理等，从而增强了本书的可读性和实际应用性。此外，为适应新技术发展要求，本书还介绍了3G、4G和物联网等热点技术的发展及无线电频谱资源在其中的作用，并就新技术应用中的频谱资源管理提出了建议。

本书对无线电频谱管理及分配模式进行了系统的研究，从而为我国无线电管理提供了一定的理论依据，对于我国无线电频谱资源的有效管理和合理配置提出了一些可行的合理化建议。本书也可供相关工作的工程技术人员作为参考之用。

该书选题和内容主要是基于本人博士学习期间的研究成果，并结合了自身从事无线电管理技术的实际工作经验。在博士论文和本书撰写过程中，要特别感谢我的博士生导师吕廷杰教授的悉心指导，以及王琦老师的大力帮助；本书的顺利出版还要特别感谢国家“863”重大专项“射频识别应用中的通信测试技术研究”（课题编号为2006AA04A106）和中央高校基本科研业务费专项资金“基于寡头垄断市场结构的电信资源市场分配机制研究”（课题编号为2009RC1012）的两项课题的资助，在此向863课题组组长、博士生导师、国家无线电监测中心主任刘岩教授和课题组的全体成员的关心和指导表示真诚的感谢。本书中有关频率规则和管理政策部分还得到了国家无线电管理部门谢飞波局长等领导的指导和建议，同时参考了一些专家和学者的著作、学术论文和经验总结等。在此对指导过本人的各位领导、老师和专家一并致以最诚挚的谢意。

由于作者的研究水平有限及时间仓促，书中疏漏和不妥之处在所难免，敬请广大读者和同行专家批评指正。

作者于北京
2011年6月

目 录

第 1 章 引言	(1)
1.1 无线电频谱的基本概念	(2)
1.2 无线电频谱资源的基本属性与特征	(2)
1.2.1 无线电频谱的基本特性	(3)
1.2.2 无线电频谱的物理属性	(4)
1.2.3 无线电频谱的经济属性	(9)
1.3 无线电频谱资源的重要作用	(13)
1.3.1 无线电频谱是推动通信信息产业发展的重要资源	(13)
1.3.2 无线电频谱是推动社会各行业信息化的重要资源	(13)
1.3.3 无线电频谱是推动国民经济发展、保障社会安全的重要资源	(14)
1.3.4 无线电频谱是现代国防建设的重要资源	(15)
1.3.5 无线电频谱资源是国家主权的体现	(15)
1.4 无线电新技术的发展	(16)
1.4.1 第三代移动通信 (3G 技术)	(16)
1.4.2 数字集群通信	(18)
1.4.3 近距离无线通信技术	(20)
1.4.4 WiMAX 技术	(24)
1.4.5 4G 技术	(27)
1.5 无线电频谱的应用	(28)
1.5.1 无线电频谱在铁路运输中的应用	(28)
1.5.2 无线电频谱在气象行业的应用	(31)
1.5.3 无线电频谱在民用航空领域的应用	(33)
小结	(36)
第 2 章 无线电频谱资源管理	(37)
2.1 无线电频谱资源管理概述	(37)
2.1.1 无线电频谱资源管理的概念	(37)
2.1.2 无线电频谱资源管理的目标	(39)
2.1.3 无线电频谱资源管理的重要意义	(39)
2.2 国际无线电频谱管理模式	(42)

2.2.1	独立、集中式管理模式	(43)
2.2.2	独立、分权式管理模式	(45)
2.2.3	从属管理模式	(46)
2.2.4	多极化的管理模式	(46)
2.2.5	区域无线电管理模式——香港模式	(47)
2.2.6	不同管理模式的综合分析	(49)
2.3	我国无线电频谱资源管理	(49)
2.3.1	我国无线电事业发展状况	(49)
2.3.2	我国无线电频谱资源管理的发展历程	(51)
2.3.3	我国无线电频谱管理的发展趋势	(54)
	小结	(55)
第3章	无线电频谱的经济价值评估	(56)
3.1	无线电频谱资源经济价值表现	(56)
3.2	无线电频谱资源价值评价方法	(57)
3.2.1	国外无线电频谱资源经济价值测评	(57)
3.2.2	我国无线电频谱资源经济价值测评	(62)
	小结	(69)
第4章	无线电频谱资源分配理论及管理模式	(70)
4.1	频谱资源的私有产权与公共物品模型	(70)
4.1.1	频谱管理的私有产权模型	(70)
4.1.2	频谱管理的公共物品模型	(72)
4.2	频谱资源的划分和管理制度的理论	(72)
4.2.1	频谱资源划分的理论	(73)
4.2.2	频谱资源管理制度的理论	(76)
4.3	频谱资源划分的模型与频谱资源管理制度的模型	(79)
4.3.1	频谱资源划分的模型	(79)
4.3.2	频谱资源管理制度的模型	(82)
	小结	(85)
第5章	无线电频谱资源的市场化	(87)
5.1	简介	(87)
5.2	频谱拍卖	(88)
5.2.1	频谱拍卖中的“赢者诅咒”与卖家收益均衡	(92)
5.2.2	频谱拍卖中的买家共谋与卖家策略	(106)
5.2.3	我国发展频谱拍卖的建议	(123)

5.3	频谱交易	(124)
5.3.1	初始频谱分配与频谱交易关系	(124)
5.3.2	频谱交易影响因素研究	(127)
5.3.3	我国发展频谱交易的建议	(137)
5.4	频谱定价	(138)
5.4.1	无线电频谱定价的意义	(138)
5.4.2	无线电频谱定价的方法	(140)
5.5	中国频谱市场分配机制总结与应用性分析	(149)
5.5.1	我国无线电频谱资源市场分配模式总结	(149)
5.5.2	无线电频谱资源市场分配机制的应用性分析	(153)
	小结	(168)
第 6 章	无线电频谱的非市场化分配体系	(170)
6.1	无线电频谱的非市场化管理介绍	(170)
6.2	命令与控制模式	(171)
6.2.1	命令与控制模式的分配方式	(171)
6.2.2	命令与控制模式的分配原则	(171)
6.2.3	命令与控制模式的收费原则	(172)
6.3	开放式频谱资源管理	(173)
6.3.1	开放式频谱资源	(173)
6.3.2	动态频谱接入	(174)
6.3.3	开放式频谱的可控管理与优化管理建议	(175)
6.4	非市场化管理模式应用分析——RFID	(176)
6.4.1	RFID 简介	(176)
6.4.2	RFID 应用	(180)
6.4.3	RFID 的非市场化分配与管理	(183)
	小结	(186)
第 7 章	总结与应用展望	(187)
7.1	总结	(187)
7.2	应用展望	(188)
7.2.1	物联网的发展与无线电频谱资源管理	(188)
7.2.2	无线电频谱资源分配模式的应用前景	(190)
附录 A	部分命题证明	(193)
	参考文献	(197)

第 1 章

引 言

在信息技术迅猛发展的今天，无线电业务涵盖了信息社会的各个领域，在国民经济和社会发展中具有重要的地位和作用。而频谱则是无线电业务赖以开展的基础，不同的无线电业务工作在不同的频段，所以无线电频谱资源同土地、森林、矿产和水一样，是一种宝贵的自然资源。

随着社会经济的飞速发展及各种无线电新技术、新业务的广泛应用，社会对无线电频谱资源的需求日益增长，无线电频谱已成为一种稀缺资源。一方面，各种传统的无线电业务，如第二代移动通信业务、广播电视业务、对讲调度业务等，依然对无线电频谱资源有着很大的需求；另一方面，各种新兴无线电业务，如第三代移动通信、宽带无线接入等，也大大增加了频谱资源的需求。所有这些都使无线电频谱这一有限的自然资源变得越来越紧张。

如何将有限的无线电频谱资源充分利用，对于国计民生来讲有着十分重要的意义。无线电频谱在一个国家的政治、军事和经济领域都占有重要的战略地位：首先，无线电频谱涉及国家主权和国家利益；其次，它涉及国家的安全，既包括国家内部的安全，也包括国防安全；第三，它涉及人民群众的生命财产安全，在交通运输、生产调度和抢险救灾方面显得尤为突出；第四，它已成为经济建设和社会发展的不可缺少的重要资源，是现代社会特别是信息社会得以发展的重要基础性资源。正是由于无线电频谱资源具有如此重要的战略作用和地位，因而它成为各国政府高度重视的自然资源。如果说能源是工业时代的血液，那么无线电频谱资源和其传输介质的应用正成为未来信息时代的神经系统。因此针对无线电频谱资源的管理、分配、价值评估理论及相关应用研究也就变得重要且必要。在充分认识频谱资源价值的基础上，我们既需要有效地管理频谱资源，为不同的业务、用户分配可用的频率资源，又需要科学地体现无线电频率资源的使用效率，达到社会效益和经济效益的最大化。

1.1 无线电频谱的基本概念

具体来说, 频谱来源于对光的研究, 白色光是由红色到紫色各种不同颜色的光组成的, 不同颜色的光对应一定的频率范围, 这个频率范围就构成了不同颜色光的频谱。而当电子通过导线行进时, 在其周围空间存在着电场和磁场, 交变的电磁场能够脱离其产生的波源向远方传播, 这种以相同的频率向周围空间辐射传播的交变电磁场就称为电磁波, 电磁波在空中以 $300\,000\text{ km/s}$ 的光速传播, 电磁频谱如图 1-1 所示。

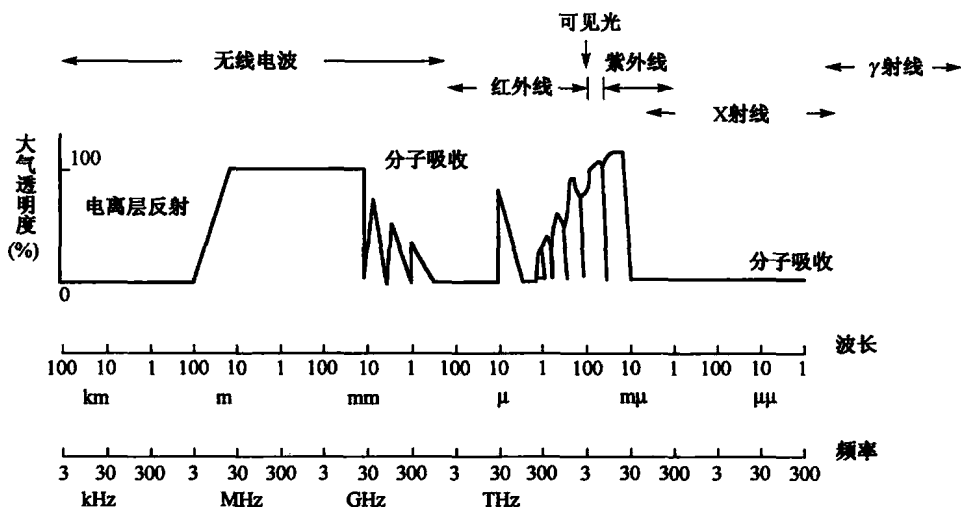


图 1-1 电磁频谱

电磁频谱可以从可见光向两个方向扩展, 比可见光更高频率的电磁波包括紫外线、X 射线及宇宙射线, 比可见光更低频率的电磁波包括红外线和无线电波。电磁频谱中 3000 GHz 以下的部分称为无线电频谱。无线电频谱可用来进行声音和图像广播、气象预报、导航、无线通信、灾害报警、报时等业务, 其应用十分广泛。

1.2 无线电频谱资源的基本属性与特征

目前各国关于无线电频谱的定义有如下几种:

“无线电频谱是指国际电信联盟规定之内的, 可以用于无线电电子设备或者高

频设备操作的无线电频率组合。”^①

“无线电频谱是指适合无线电通信用的频率范围。”^②

“电磁场产生的波在空间以不同的频率传播(电磁场变化的速率或次数被定义为频率,其单位为赫兹,即每秒次数),这些频率的集合统称为电磁频谱。从 3 kHz 到 3000 GHz 的频率又称为无线电频谱。”^③

“无线电频谱是无线电波的全部频率范围,是电磁频谱中 3000 GHz 以下的部分。”^④

虽然各国对无线电频谱中频率起止范围还有不同的规定,但对于无线电频谱的定义有一点是一致的,即无线电频谱是无线电频率的组合。

下面让我们来深入了解无线电频谱资源的属性与特性。无线电频谱的物理属性决定了其传播及收发的方式,进而决定了其应用模式;无线电频谱的经济属性决定了其在行业中的应用,无线电频谱资源与行业间逐步形成共赢关系的商业模式,从而能够产生巨大的经济效益。

1.2.1 无线电频谱的基本特性

所有的无线电业务都离不开无线电频率,就像车辆必须行驶在道路上。无线电波是自然界存在的一种电磁波,是一种物质,是一种各国可均等获得的看不见、摸不着的自然资源,它具有以下六种特性:

第一,有限性。尽管使用无线电频谱可以根据时间、空间、频率和编码四种方式进行频率的复用,但就某一频段和频率来讲,在一定的区域、一定的时间和一定的条件下使用频率是有限的。

第二,排他性。无线电频谱资源与其他资源具有共同的属性,即排他性,在一定的时间、地区和频域内,一旦被使用,其他设备是不能再使用的。

第三,复用性。虽然无线电频谱具有排他性,但在一定的时间、地区、频域和编码条件下,无线电频率是可以重复使用和利用的,即不同无线电业务和设备可以频率复用和共用。

第四,非耗竭性。无线电频谱资源不同于矿产、森林等资源,它是可以被人类利用的,但不会被消耗掉。

第五,固有的传播特性。无线电波按照一定的规律传播,不受行政地域的限制,传播既无省界也无国界。

① 引自《俄罗斯联邦通信法》(2003)。

② 引自《新加坡无线电通信条例》(2002)。

③ 引自 1997 年的美国国会预算办公室《关于 FCC 拍卖和未来无线电频谱管理的报告》。

④ 引自《中国军事通信百科全书无线电管理分册》(2005)。

第六，易污染性。如果无线电频率使用不当，就会受到其他无线电台、自然噪声和人为噪声的干扰而无法正常工作，或者干扰其他无线电台站，使其不能正常工作。

1.2.2 无线电频谱的物理属性

无线电波定义为频率在 3000 GHz 以下，不用人工波导而在空间传播的电磁波。作为传输载体的无线电波都具有一定的频率和波长，即位于无线电频谱中的一定位置，并占据一定的宽度。以下将从无线电波的传播及波段划分两个维度，说明无线电频谱的物理属性。

1.2.2.1 无线电波的传播

1. 无线电波的传播方式

发射天线或自然源辐射的无线电波，通过介质或受到介质分界面的影响，而到达接收天线的过程，称为无线电波传播。

根据何种介质或何种介质分界面对电波传播产生的主要影响，可将通常遇到的电波传播方式分为：

- 地波传播(电波传播主要受地球表面影响)。
- 对流层电波传播(电波传播主要受对流层影响)。
- 电离层电波传播(电波传播主要受电离层影响)。
- 地—电离层波导电波传播(电波传播主要受电离层下缘和地面的影响，此外还有埋地天线、地壳中电波传播、火箭喷焰、再入等离子体鞘套和核爆炸等影响)。

2. 无线电波的传播特性

由发射天线直接射到接收点的电波称为直射波；发射天线发出的指向地面的电波，被地面反射而到达接收点的电波称为反射波。显然，接收点的信号应该是直射波和反射波的合成。电波的合成不会像“ $1+1=2$ ”那样简单地代数相加，合成结果会随着直射波和反射波间的波程差的不同而不同。波程差为半个波长的奇数倍时，直射波和反射波信号相加，合成为最大；波程差为一个波长的倍数时，直射波和反射波信号相减，合成为最小。可见，地面反射的存在，使得信号强度的空间分布变得相当复杂。

实际测量指出：在一定的距离 R_1 之内，信号强度随距离或天线高度的增加都会

发生变化；在一定的距离 R_i 之外，随距离的增加或天线高度的减少，信号强度将单调下降。理论计算给出了 R_i 和天线高度 HT 与 HR 的关系式：

$$R_i = (4 \times HT \times HR) / L, L \text{ 是波长, } R_i \text{ 必须小于极限直视距离 } R_{\max}$$

其中，HT 为发射天线的高度，HR 为接收天线的高度。

① 电波的多径传播

在超短波和微波波段，电波在传播过程中还会遇到障碍物(例如楼房、高大建筑物或山丘等)对电波产生反射。因此，到达接收天线的还有多种反射波(从广义上讲，地面反射波也应包括在内)，这种现象称为多径传播。

由于多径传播，使得信号场强的空间分布变得相当复杂，波动很大，有的地方信号场强增强，有的地方信号场强减弱；也由于多径传播的影响，还会使电波的极化方向发生变化。另外，不同的障碍物对电波的反射能力也不同。例如：钢筋混凝土建筑物对超短波、微波的反射能力比砖墙强。应尽量克服多径传播效应的负面影响，这也正是在通信质量要求较高的通信网中，常常采用空间分集技术或极化分集技术的缘由。

② 电波的绕射传播

在传播途径中遇到大障碍物时，电波会绕过障碍物向前传播，这种现象称为电波的绕射。超短波、微波的频率较高，波长短，绕射能力弱，在高大建筑物后面信号强度小，形成所谓的“阴影区”。信号质量受到影响的程度，不仅与建筑物的高度有关，与接收天线和建筑物之间的距离有关，还与频率有关。例如有一个建筑物，其高度为 10 m，在建筑物后面距离 200 m 处，接收的信号质量几乎不受影响，但在 100 m 处，接收信号场强比无建筑物时明显减弱。注意，如上所述，减弱程度还与信号频率有关，对于 216~223 MHz 的射频信号，接收信号场强比无建筑物时低 16 dB，对于 670 MHz 的射频信号，接收信号场强比无建筑物时低 20 dB。如果建筑物高度增加到 50 m，则在距建筑物 1000 m 以内，接收信号的场强都将受到影响而减弱。也就是说，频率越高，建筑物越高，接收天线与建筑物越近，信号强度与通信质量受影响程度越大；相反，频率越低，建筑物越矮，接收天线与建筑物越远，信号强度与通信质量受影响程度越小。

因此，选择基站场地及架设天线时，一定要考虑到绕射传播可能产生的各种不利影响，注意到对绕射传播产生影响的各种因素。

③ 无线电波的产生与发射

产生无线电波必须先产生高频电磁振荡，就是产生“载波”，然后把欲传递的信息加上去，这个过程称为“调制”。之后，还需经过功率放大，配置适当的馈线、天线，才能形成载息无线电波，从而向空中发射出去。

例如，无线电广播所传递的信息是语言和音乐，就是声音信号，是频率自数十赫至数千赫的机械振动。因此，首先必须把这种机械振动转换为相应的低频电振动（音频信号），话筒就起着这一作用。但是，上述的低频范围所对应的波长大约从十几公里到几千公里，要制造出能辐射这种波长的电磁波的天线，是不可能的。因此无线电通信就采用高频电磁波传递信号，由它将低频信号携带到空间去。

高频振荡器产生等幅的正弦波振荡，这个正弦波振荡是连续的。

在调制器中，音频信号控制高频振荡信号的某一参数，或幅度，或频率，或初始相位，来实现调制的目的。

高频载波的幅度被调制，称为调幅；当频率被调制时，称为调频；如果调制的是初始相位，则称为调相。这种经过调制的高频载波称为已调振荡或已调波，载波频率称为载频或射频。

发射机主要技术参数如下：

- 载波频率 f_0 ：如浙江广播电台 810 kHz、交通之声 89.7 MHz 等。
- 调制方式：AM, FM, PM, SSB(单边带)等。
- 发射功率：发射功率越大，传播距离越远。

1.2.2.2 无线电频谱的波段划分

根据无线电波传播及使用的特点，国际上将其划分为 12 个频段，而通常的无线电通信只使用其中的第 4 个到第 12 个频段。无线电频谱和波段的划分如表 1-1 所示。

表 1-1 无线电频谱和波段划分

序号	频段名称	频段范围 (含上限)	波段名称	波长范围 (含上限)	用途
1	极低频(ELF)	3~30 Hz	极长波	$10^5 \sim 10^4$ km	潜艇通信或直接转换成声音
2	超低频(SLF)	30~300 Hz	超长波	$10^4 \sim 10^3$ km	直接转换成声音或交流输电系统(50~60 Hz)
3	特低频(ULF)	300~3000 Hz	特长波	$10^3 \sim 10^2$ km	矿场通信或直接转换成声音
4	甚低频(VLF)	3~30 kHz	甚长波	$10^2 \sim 10^1$ km	直接转换成声音、超声、地球物理学研究
5	低频(LF)	30~300 kHz	长波	10~1 km	国际广播、全向信标
6	中频(MF)	300~3000 kHz	中波	1000~100 m	调幅(AM)广播、全向信标、海事及航空通信
7	高频(HF)	3~30 MHz	短波	100~10 m	短波、民用电台

(续表)

序号	频段名称	频段范围 (含上限)	波段名称		波长范围 (含上限)	用途
8	甚高频(VHF)	30~300 MHz	超短波		10~1 m	调频(FM)广播、电视广播、航空通信
9	特高频(UHF)	300~3000 MHz	分米波	微波	10~1 dm	电视广播、无线电话通信、无线网络、微波炉
10	超高频(SHF)	3~30 GHz	厘米波		10~1 cm	无线网络、雷达、人造卫星接收
11	极高频(EHF)	30~300 GHz	毫米波		10~1 mm	射电天文学、遥感、人体扫描安检仪
12	至高频	300~3000 GHz	丝米波		100~10 丝米	

按照无线电波的波长划分,各个波段的传播特点如下。

1. 超低频与特低频电波传播

频率从 30 Hz 到 300 Hz(波长从 10 000 km 到 1000 km)的无线电波称为超低频无线电波,又称为超长波。频率从 300 Hz 到 3000 Hz(波长从 1000 km 到 100 km)的无线电波称为特低频无线电波,又称音频无线电波。

这两个频段的主要特点是:由于频率低,在海水中的衰减比其他频段都小,故透入海水最深,但是天线很大,设备很昂贵。音频电波可用于水下核潜艇的指挥通信;利用雷电辐射的音频电波,可以研究电离层与外层空间的结构。

2. 甚低频电波传播

频率从 3 kHz 到 30 kHz(波长从 100 km 到 10 km)的无线电波称为甚低频无线电波或甚长波。

此频段的优点是:

- 传播衰减小,作用距离远甚至达到全球;
- 传播相位较稳定,且有良好的可预测性;
- 受电离层扰动的影响小,传播情况稳定;
- 透入海水能力较强。

此频段的缺点是:

- 因频率低,数据率比较低,通常约每分钟 15~60 字节;
- 大气噪声干扰大;
- 需要较大的发射天线,设备较贵。