

电磁频谱管理技术概述

随着社会信息化进程的加速发展,无线电业务的需求量以几何级数速度增长,电磁频谱资源供需矛盾日益突出,电磁环境越来越复杂,对频谱管理的要求更高,必须切实加强频谱管理,科学规划和分配电磁频率资源和卫星轨道资源,科学管理并合理应用各类用频和非用频设备,保持各用频业务的有序发展,这对保护国家安全和人民生命财产安全,促进社会与经济发展具有重要意义。

1.1 电磁频谱管理基础

熟悉电磁频谱和电磁频谱管理基本概念是科学管理、合理利用电磁频谱资源并做好电磁频谱管理工作的前提和基础。

1.1.1 电磁频谱与卫星轨道资源

1. 电磁频谱

电磁频谱是把电磁波按波长或频率排列起来形成的谱系。电磁频谱按频率或者波长排序,呈条状结构显示。各种电磁波在电磁频谱中占有不同的频率范围,无线电波占有的频率范围称为无线电频谱,其频率范围为 $0\sim 3000\text{GHz}$,如图1-1所示。

从图1-1中可以看出,无线电波分成12个频段或波段,频段和波段一一对应。如长波对应低频,中波对应中频,短波对应高频,米波对应甚高频。分米波、厘米波、毫米波和丝米波,这些波的波长很短,统称为微波。

电磁频谱资源如同土地、矿产、石油一样,既是一种自然资源,又是一种无形的特殊资源,属国家所有。具有如下特性。

(1) 有限资源。从理论上讲电磁频谱资源是无限的,但受科学技术发展水平和电波传播特性的制约,目前能够利用的无线电频谱在 275GHz 以下,主要集中在 $30\sim 40\text{GHz}$ 范围内,而绝大部分用的是 3GHz 以下,频谱资源的使用受到很大限制。

频率	Hz			kHz			MHz			GHz			kGHz			MGHz		
	3	30	300	3	30	300	3	30	300	3	30	300	3	30	300	3	30	300
频段	极低频	超低频	特低频	甚低频	低频	中频	高频	甚高频	特高频	超高频	极高频	至高频						
													红外线				紫外线	X射线
	无线电波												可见光			γ射线		
										微波								
波段	极长波	超长波	特长波	甚长波	长波	中波	短波	米波	分米波	厘米波	毫米波	丝米波						
波长	10 Mm		1 km	100 km	10 km	1 m	100 m	10 m	1 m	100 mm	10 mm	1 mm	100 μm	10 μm	1 μm	100 nm	10 nm	1 nm

图 1-1 电磁频谱业务划分图

(2) 共享共用。电磁频谱资源为人类共同拥有,任何国家或军队都不可能独自占有。在有些文献中,把这一特性概括为电波传播无国界性。

(3) 三域分割。电磁频谱具有空间域、时间域、频率域的特性,可通过区分区域、时间、频率的方法,有序使用频谱资源。

(4) 永不消耗。与矿产、石油等普通自然资源不同,频谱是一种非消耗性资源,其使用不受地域、空域、时域限制,也不受行政区域、国家边界的限制。电磁频谱可反复利用、永不耗竭。

(5) 易受干扰。电波在空中传播易受人为噪声和自然噪声的干扰,如各种电磁频谱设备发射的电磁波。除此之外,许多非电磁频谱设备也辐射电磁波,如高压输电线,工业、科学、医用电子设备,以及宇宙环境噪声,都可能产生干扰,对正常的电磁频谱业务造成影响。

电磁频谱在军事上广泛应用于预警探测、情报侦察、指挥通信、导航定位、电子对抗、武器控制、气象测绘和政治工作作战(舆论战、心理战、法律战)等领域。例如,极长波到中波主要用于对潜艇和地下坑道低速率数据与电报通信,以及广播和中、近距离导航等;短波主要用于飞机、舰艇和远距离通信以及广播、超视距雷达等;超短波和微波主要用于卫星、雷达、导航、遥测、遥控、制导和移动、接力通信等。电磁频谱资源在军事领域具有十分重要的作用。

2. 卫星轨道与频率资源

卫星轨道与频率资源是指卫星围绕地球运行所处的空间轨道位置和卫星用频设备使用的频率。

卫星频率是无线电频谱中的一部分,主要使用 V/UHF、L、S、C、X、Ku、K、Ka、EHF 等频段。卫星频率常用频段如表 1-1 所示。

表 1-1 卫星频率常用频段

频段	频率范围	主要应用
V/UHF	100~1000MHz	低轨数据通信、遥测遥控、移动通信
L	1~2GHz	低轨移动通信、导航、气象和侦察
S	2~4GHz	数据中继、测控
C	4~7GHz	固定通信、广播电视
X	7~12GHz	军事通信、资源卫星等
Ku	12~18GHz	固定通信、移动通信、广播电视
K	18~27GHz	固定通信、移动通信
Ka	27~40GHz	固定通信、移动通信、星际链路
EHF	40~60GHz	固定通信、军事通信

卫星轨道按照轨道平面与地球赤道面夹角(即轨道倾角)的不同,分为赤道轨道、极轨道、倾斜轨道(见图 1-2);按照距离地面的高度区分为低轨道、中轨道、高轨道。处于赤道轨道的卫星在距地面 35 786km 时,与地球自转同向运行,对地面保持相对静止,此轨道称为对地静止(同步)卫星轨道;在静止(同步)卫星轨道的两颗卫星使用同一频段时,从地面看其角度至少要间隔 1° ,在 360° 的范围内,共有 360 个轨道位置;如果间隔 2° ,则共有 180 个轨道位置。其他的卫星轨道称为非静止(同步)卫星轨道,轨道位置数量也受到类似限制。因此,卫星轨道资源是十分有限的。

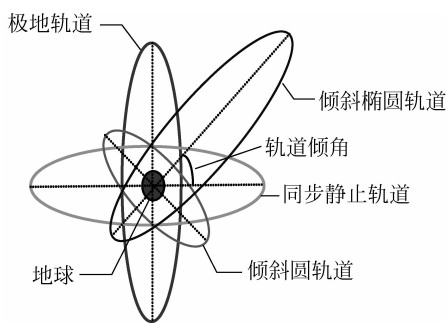


图 1-2 卫星轨道示意图

1.1.2 电磁频谱管理概念与内涵

1. 电磁频谱管理的概念

电磁频谱管理是国家通过专门机关,运用法律、行政、技术、经济等手段,对无线电频谱和卫星轨道/频率资源进行的研究、开发、监督、管理等活动的统称,也称无线电管理。开展的工作主要有无线电频率管理、无线电台站管理、无线电设备管理、卫星轨道和频谱资源的管理等。无线电管理以维护空中无线电电波秩序、提高无线电频谱资源利用效率、查处违法有害干扰为工作重点,目的是避免和消除无线电频率使用过程中的相互干扰,使有限的频率资源和卫星轨道资源得到合理、有效的利用。

频谱管理是有条理地管理使用无线电频谱的全过程。频谱管理的目标是使频谱发挥最大效益而干扰最小,基于相关法律法规的规章和规则,形成一个频谱管理过程的管理和法律基础。信息数据包括所有批准使用频谱的用户的详细资料,并为这种管理过程提供行政和技术方法的准则。分析数据库中的信息有助于频谱管理工作,有助于频谱划分的确定、频率指配和核发执照等。无线电频谱监测为无线电频谱管理工作完整性提供必要的检查、监督和执行措施。频谱管理关于工程技术领域的决策,需要对信息、能力和所涉及的选择进行适当评估,考虑社会、经济和政治因素,最后以工程和技术因素为基础做出决定。因此需要精通有关分析技术并具有基本技术开发方面知识的一个部门,能考虑国家政治和经济因素的政策规划,提出公平的评价。

频谱管理的职能和工具如图 1-3 所示。

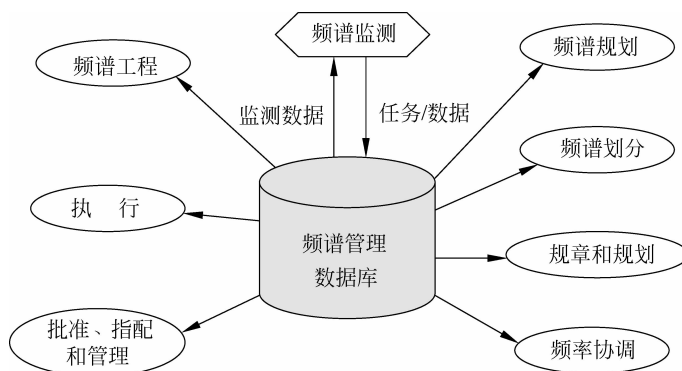


图 1-3 频谱管理的职能和工具

根据管理的范围,频谱管理可以分为国际电磁频谱管理、国家电磁频谱管理、军事电磁频谱管理。国际电磁频谱管理由国际无线电管理机构(即国际电信联盟)协同各会员国家无线电管理机构共同完成,其目的是避免和消除各国之间无线电频率使用中的相互干扰,维护空中电波秩序,使有限的电磁频谱和卫星轨道资源得到合理、有效的利用。国际电磁频谱管理进行电磁频谱管理的法律基础是国际电信联盟的《国际电信公约》《国际电联组织法》《无线电规则》。国家电磁频谱管理由国家无线电管理机构(即工业与信息化产业部无线电管理局),协同各省市无线电管理机构共同完成。本书所指频谱管理主要是国家电磁频谱管理。军事电磁频谱管理是军队领导机关和电磁频谱管理机构制定电磁频谱管理政策、制度,划分、规划、分配、指配频谱和航天器轨道资源,以及对频谱和轨道资源使用情况进行监督、检查、协调、处理等活动的统称。军事电磁频谱管理是一种军事特色鲜明的活动,最终目的是保障科学、合理、有效地利用军用电磁频谱和卫星轨道资源,最大限度地保障国防建设和军事斗争的需求。

2. 频谱管理的内容

电磁频谱管理的内容主要包括频谱资源的划分、规划、分配、指配和卫星轨道资源管理;审批无线电台(站)的设置和使用;监测和监督无线电信号;协调和处理无线电有害干扰;组织国际、国内无线电干扰协调事宜;进行无线电设备的研制、生产、销售和进口

实施管理；实施无线电管制和征用无线电频率及卫星轨道资源等方面。归纳起来主要包括以下几个方面的内容。

1) 频谱资源管理

频谱资源管理是国家将频谱资源进行划分,各业务部门根据划分表对频谱进行的规划、分配、指配以及频率协调管理等活动。

频谱划分是指国家电磁频谱管理机构参照国际电信联盟和国家无线电频谱划分规定,将某个特定的频带列入频谱划分表,规定该频带可以在指定条件下供一种或多种地面或空间无线电业务或射电天文业务使用。频谱划分是频谱规划、分配和指配的依据。

频谱规划是各业务部门根据《中华人民共和国无线电频率划分图》,按照各自的需要,对无线电频谱的某一频段某种业务,制定的频谱使用目标及实施步骤作为频谱分配和频谱指配的依据。频谱规划的目的是科学利用有限的频谱资源、规范无线电业务的频谱使用、提高频谱利用率。

频谱分配是指将无线电频谱或者频道规定由一个或者多个部门,在指定的区域内供地面或者空间无线电业务在指定条件下使用。

频谱指配是指将无线电频谱或者频道批准给无线电台在指定条件下使用。

目前,国际、国家和军队对电磁频谱均有严格的划分和使用要求。在国家频谱划分的框架下,将频谱划分为几百个频段,分给几十种不同业务使用,并以法规形式下发执行。

2) 设备管理

设备管理是针对专门用于发射、接收电磁波的设备以及其他含有发射、接收电磁波装置的设备的用频管理。包括用频设备的使用频率资源、用频技术指标、设置和使用的管理以及辐射电磁波的非用频设备管理。

国家频谱管理机构按照有关规定,对用频发射和接收设备的科研、采购以及技术革新等所使用的电磁频谱参数进行审批,对用频设备的功率、频率、频段、发射带宽、频率误差、杂散发射、接收机带宽、灵敏度以及带外辐射等技术指标进行审核,防止和避免用频设备、系统间的自扰、互扰,对无线电发射设备进口条件进行规定,从“源头”把住用频关。对非无线电发射设备的电波辐射、设施选址、参数标准的制定、特殊无线电台(站)的防辐射保护都做了规定,确保辐射电磁波的非用频设备应符合有关电磁辐射的标准和管理规定,不得对用频设备的正常工作造成有害干扰。

3) 台站管理

根据《中华人民共和国无线电管理条例》的规定,用频台站管理指电磁频谱管理机构依照有关法规和技术标准,对提出设置用频台站的部署运用进行审批,组织电磁兼容性分析与测试,对竣工的用频台站依据核准的电磁频谱参数进行验收,并依据规定对批准设置的台站进行监督检查的活动。无线电台(站)指为开展无线电业务或者射电天文业务所必需的一个或者多个发信机或者收信机,或者发信机与收信机的组合(包括附属设备)。每个无线电台(站)按其业务是常设或临时运行分类。台站管理主要包括规定设置、使用无线电台(站)的程序、条件、审批权限、军、地无线电台(站)协调原则、选址要求、停用和撤销、监督检查。此外,条例还规定了特殊无线电台(站)办理手续、各种特殊台站的设置规定等内容。

4) 卫星轨道资源管理

航天器使用频率和轨道资源管理,是指对卫星、飞船、空间站等航天器使用的频率及相关轨道资源的规划、协调等管理工作,主要包括航天器使用频率划分、频率和轨道分配、频率指配、技术分析、国际协调、国际频率登记等。申请航天器使用的频率和轨道资源应符合国家和军队频率划分规定,且符合国际电信联盟制定的无线电规则。改变原申报的航天器使用频率和轨道,需要重新进行协调。军队频谱管理主管及机构对军队主管航天器科研、采购的部门提出的航天器使用频率和轨道资源的申请,应当及时组织军内协调,并会同国家无线电管理机构组织国内协调。需要获得国际地位、取得国际保护的航天器,还需进行国际协调;完成国内协调和国际主要协调后,办理相关手续。

5) 涉外频谱管理

用频设备的广泛使用和无线电业务的不断扩展,对无线电频率资源和卫星轨道资源的需求使双边与多边国家(地区)的交流越来越多,参与各种双边或多边的频谱管理活动是维护国家权益的重要内容。涉外频谱管理主要包括涉外设置、使用无线电台(站),携带、运载应当根据审批权限,向国家或者地方无线电管理机构提出申请,批准后方可入境设台。其他国家卫星网络空间电台拟在我国境(界)内提供业务或者使用的,应当完成与我国相关卫星网络空间电台和地面电台的频率协调。外国电台在我国境(界)内使用时,应当遵守中华人民共和国缔结或者参加的国际条约以及中华人民共和国的法律和行政法规。涉及国际电信联盟的事宜处理权限的涉外电台,需要向国际电信联盟报送或者向其他国家主管部门提交无线电台(站)相关资料,由国家无线电管理机构统一办理。

1.1.3 电磁频谱管理的地位作用

电磁频谱管理事关国家电磁空间安全、经济建设大局,对军队信息化建设有重要的促进作用,地位和作用十分重要,主要体现在以下几个方面。

1. 电磁频谱管理是确保电磁空间安全的重要支撑

21世纪是信息社会,电磁空间领域里的角逐日趋激烈,世界各军事强国纷纷把电磁空间作为“第五维战场”,积极采取措施,以抢占这一新的“制高点”。电磁频谱管理发挥确保国家电磁空间安全的关键性作用,其职能覆盖国家的政治、经济、社会、文化等各个领域,已成为维护国家电磁空间安全乃至国家安全的重要支撑。

2. 电磁频谱管理是保持社会发展稳定的重要因素

新的历史时期,我国频谱管理工作通过对无线电频谱资源的规划和管理、用频台站的管理、空中电波秩序的维护以及无线电发射设备的管理,以规范化和制度化的法律、经济、技术、行政等手段,保证公众通信、广播电视、卫星通信、公共安全专业通信正常等无线电通信业务正常开展,维护空中电波秩序,保障党政机关各类无线电业务安全,维护我国使用无线电频谱资源/卫星轨道资源的权益。尤其面临重大活动和应急突发事件时,频谱管理机构通过采取各种措施和手段,保证各用频业务和台站正常运转,为保持安全稳定的社

会局面发挥了巨大作用,为社会发展与稳定保驾护航。

3. 电磁频谱管理是国民经济建设健康发展的重要保证

当前社会,各种无线电新技术层出不穷,这些技术直接成为经济发展新的增长点,或间接促进经济的发展。通过频谱资源的配置管理,频谱管理在无线电通信行业中发挥着政策导向、技术监管、行业引导等功能。一方面,通过科学规划频谱资源,引导各种无线电用频新技术产业的健康发展,如3G、LTE、物联网等新兴产业,直接有力促进了经济建设的发展;另一方面,通过对现有各种用频业务、用频台站加强监督检查,排除各种无线电干扰,充分发挥“空中卫士”的作用,保证用频秩序的稳定,为国民的经济发展大局营造良好的局面。

4. 电磁频谱管理是军队信息化建设的重要基础

国家在制定信息化发展战略时,明确将“一缆一谱”作为建设发展的重点。“缆”指光缆,“谱”指电磁频谱。对军队而言,频谱资源极为重要,它是武器装备形成战斗能力的重要依托。从军事信息系统、信息化主战武器系统到信息化支撑环境建设,都离不开频谱和频谱管理这个基础。目前世界各国武器装备费用中,电子系统费用所占比例越来越大,有的高达50%以上。我军的各类武器装备,除传统轻武器外,任何一类武器装备都离不开频率。频谱资源管不好,武器装备效能就不能发挥。现在我军正处于向信息化转变的过程中,各种用频装备和系统的作用越来越突出,使频谱管理的重要性更加凸显。

1.1.4 电磁频谱管理的手段

频谱管理手段是从行为方式角度说的电磁频谱管理方法,有行政、技术、法律、经济、协作5种。这几种手段有时有交叉,但都在法律的框架下。其中行政手段、协调手段是核心,技术手段是基础(特别是在频谱规划、干扰协调、频谱地域协调等方面),经济手段是保障。

1. 行政手段

无线电管理的行政手段是指政府无线电管理机构凭借政权力量,依靠从上到下的组织制定和颁布政策、指令、计划的方法,实现国家对无线电管理工作的领导、组织和管理的目的,具有控制、制约、调整、协调执行的集中统一,实现国家、社会所期望达到的无线电管理目标的功能。行政手段主要有以下4种表现方式。

1) 行政命令手段

行政命令手段是指凭借国家政权的权威和权力,主要通过发布命令、指示等形式,根据管理权限,直接调节和控制下级或无线电用户的活动,带有强制性。

2) 行政引导手段

行政引导手段是指上级对下级或无线电用户的活动的控制,不采取命令的方式,而是采取指明方向加以引导,进行说服规劝的方法。这种引导手段在一定条件下将取代行政

命令手段,并日益显示其在行政手段中的重要性。它也包括对行业自律组织的引导。

3) 行政信息手段

行政信息手段的主要特征是上级对于下级或无线电用户的活动,存在需要加以调控的必要,但既不采用行政命令的方式,也不采取说服、引导的方式,而是通过各种信息渠道和工具,提示下级或无线电用户在无线电活动中应按照上级意图进行抉择,从而达到宏观调控的某种目标,这种方式将突破行政手段纵向联系的典型行政手段运用方式,而向横向联系方面发展。

4) 行政咨询服务手段

行政咨询服务手段是指上、下级之间或无线电管理机构与无线电用户之间,就无线电管理活动的某些疑难问题提供咨询服务,如提出可行性论证的建议,对重大项目提出关键性的修改补充意见,从而提高其科学性、可行性和完善程度,达到行政执行的预期目的。

2. 技术手段

电磁频谱管理需要技术手段作支撑。电磁频谱管理的技术手段包括频谱工程技术、无线电监测技术、频谱资源配置技术 3 个方面的技术。频谱工程技术主要包括电波传播模型、无线电干扰分析、电磁兼容分析技术、计算机仿真技术、频谱台站数据库等,通过频谱工程技术的研究和应用,进行系统间的兼容分析,可以为无线电频谱规划和台站审批提供可靠的技术依据。无线电监测技术主要包括监测技术、测向定位技术、短波频率探测技术及用频设备检测技术,通过无线电监测,可以查处无线电干扰和不明无线电信号,保护信息社会无所不在的无线电业务的正常开展,并可以为无线电频率指配提供可靠的技术依据。通过对无线电设备和非无线电设备无线电辐射的检测,可以防止无线电设备和其他可能辐射无线电波的非无线电设备因质量问题而伴生有害的无线电辐射,从而自源头封堵一部分无线电干扰,有效保护电磁环境。频谱资源配置技术主要包括频率规划技术、频率分配指配技术、频谱共享技术、频率高效利用技术等。通过这些频率资源配置技术,可以使频率资源高效科学地开发利用,提高频率利用的效率,更好地发挥频率资源的效益。由此可见,频谱管理的各种技术手段在频谱管理中发挥极其重要的基础作用。

3. 法律手段

法律手段是指国家行政机关在行政管理领域内,依照法定职权和程序,把国家法律、法规实施到具体的行政活动中,以达到有效而合理的管理目的。电磁频谱管理法规体系是规范、调整军事系统在无线电管理领域各种行为和关系而制定的法规的有序集合,是各级频谱管理机构实施电磁频谱管理的基本依据。当前我国国家层面的电磁频谱管理法律依据主要有《中华人民共和国宪法》《中华人民共和国刑法》《中华人民共和国物权法》《中华人民共和国无线电管理条例》。其中,《中华人民共和国无线电管理条例》是一部专门规范我国各行业、各系统电磁频谱管理工作的法规性文件,是无线电管理的最高行政法规,属国家法律范畴,对全国的无线电管理工作具有普遍的约束力,同时也是我国各行业、各系统制定本行业、本系统无线电管理法规、规章、制度以及实施无线电管理的基本依据和规范。现在有关部门正在努力推进《电波法》的立法进程。

4. 经济手段

经济手段是指政府经济行政部门按经济运行规律的要求管理下属经济组织及其活动的一种方法。从根本上说,是利用各部门及其活动的经济利害关系制约相互间的活动的行政执行行为。它是通过利益诱导进行间接管理的办法。在社会主义市场经济条件下,就是要通过市场机制引导企业和其他经济组织,使它们的活动大体上符合整个宏观经济发展的目标。

电磁频谱管理的经济手段是电磁频谱管理的一项重要手段,包括无线电管理费征收、无线电自然资源分配的市场化方式、无线电产业的调控作用等具体措施。

5. 协作手段

无线电管理的协作手段是指无线电管理机构依据正确的政策、原则和工作计划,运用恰当的方式方法(如谈判、公文、通信、交流)协调国际关系,理顺本国行政区之间和部门间的利益关系,及时排除各种障碍,维护国家无线电主权和行政区无线电利益,促进各利益主体在无线电应用和管理方面的合作,促进各种无线电业务正常运行。在无线电管理过程中,由于国家之间、省(地)级行政区之间以及同一行政区部门之间的无线电利益差异,导致相互之间的矛盾和冲突等。如果不能及时排除这些矛盾和冲突,理顺各个方面的关系,无线电管理机构的协调运转和计划目标的顺利实现就不可能。因此,无线电管理的协作手段十分重要。协作主要包含以下4个方面:国际协作、行政区际协作、军地协作、部门协作。

1.2 电磁频谱管理技术类别

电磁频谱管理技术是指在进行电磁频谱管理的过程中涉及的各种技术的统称,并不专指某一项技术。电磁频谱管理技术在进行频谱管理的过程中起着基础和支撑的作用,虽然在电磁频谱管理中仅作为一种管理手段存在,但频谱管理技术却贯穿在频谱管理的全过程,从频谱划分到频谱分配、指配,从台站申请设台到后期的监督检查,从用频设备的研制、生产到使用保养,频谱管理技术在方方面面都得到了体现。频谱管理本身是一种行政管理,但行政管理必须依靠频谱管理涉及的各种相关技术作为支撑。由此可见,频谱管理技术在频谱管理中发挥极其重要的基础作用。下面对电磁频谱管理的各种技术进行介绍。

1.2.1 频谱工程技术

频谱工程技术主要包括电波传播模型、无线电干扰分析、电磁兼容分析技术、计算机辅助技术、频谱台站数据库,频谱工程技术的核心是电磁兼容分析技术,其应用目的是最大限度减少干扰,满足各种无线电业务对频率的需求和提高频谱资源利用的

能力。

假如要确定“北斗”导航定位系统与移动通信系统是否兼容,首先要掌握“北斗”导航定位系统与移动通信系统各自的系统组成,包括各自的发射机特性与接收机特性、各自信号的频谱特性,要知道基本的电波传播理论知识,根据传播环境的条件选择合适的电波传播模型,然后进行干扰的分析和计算,并通过计算机仿真技术进行仿真验证,而分析计算的过程中不可避免地会涉及频谱台站数据库,最终确定二者之间能否兼容。

从这个例子可以看出,频谱工程技术以电磁兼容分析技术为核心,涉及信号的频谱特征、发射机和接收机模型、电波传播理论与电波传播模型、无线电干扰计算、电磁兼容分析、计算机辅助技术、频谱台站数据库等诸多技术。由于发射机和接收机模型在各种通信原理的书籍中已进行深入分析,频谱台站数据库仅仅是数据库的应用,因此本书不予讨论。

1. 电波传播理论

电波传播链路的相关分析是进行干扰计算及电磁兼容性能评估的基础,而电波传播链路分析的基础又是电波传播理论,通常情况下往往会忽略各种因素的影响,只考虑无线电波在自由空间传播情况,即自由空间传播理论。现实中电波的传播并非在理想的自由空间进行,而是在某一种媒质或几种媒质中传播。不同的媒质对于无线电波的影响不相同,甚至影响很大,因此媒质对电波传播的损耗是不可忽略的。通常根据传播媒质的不同,将电波传播分为地面波传播、天波传播和视距传播。

1) 地面波传播

如图 1-4 所示,电波沿着地球表面传播的方式为地面波传播。此种方式要求天线的最大辐射方向沿着地面,采用垂直极化,工作的频率多位于超长、长、中和短波波段,地面对电波的传播有强烈的影响。这种传播方式的优点是传播的信号质量好,但是频率越高,地面对电波的吸收越严重。

2) 天波传播

如图 1-5 所示,发射天线向高空辐射的电波在电离层内经过连续折射而返回地面到达接收点的传播方式称为天波传播。尽管中波、短波都可以采用这种传播方式,但是仍然以短波为主。它的优点是能以较小的功率进行可达数千千米的远距离传播。天波传播的规律与电离层密切相关,由于电离层具有随机变化的特点,因此天波信号的衰落现象也比较严重。



图 1-4 地面波传播

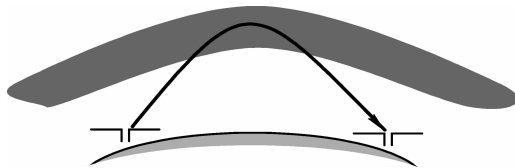


图 1-5 天波传播