



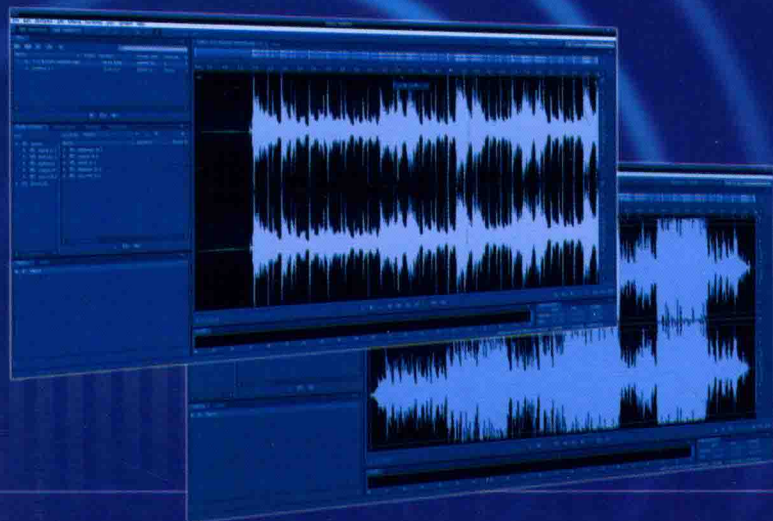
通信与导航系列规划教材

频谱管理与监测

(第2版)

Spectrum Management and Monitoring
Second Edition

◎ 翁木云 吕庆晋 谢绍斌 刘正锋 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

通信与导航系列规划教材

频谱管理与监测

(第2版)

Spectrum Management and Monitoring
Second Edition

翁木云 吕庆晋 谢绍斌 刘正锋 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

为了适应电磁频谱管理(无线电管理)的快速发展,本书在第一版的基础上进行了大面积的更新和修订。在频谱管理方面强化法律法规依据,在频谱监测方面既强调系统性、理论性又强调工程应用的实践性。全书共12章,全面介绍了频谱管理和频谱监测的基本理论知识和工程实践知识。详细阐述频谱管理的机构、法规,管理的内容、过程和方法,频谱监测测向定位的基本原理、系统设备组成分类,以及频谱监测和频谱检测的主要参数的测试原理、方法和要求。

本书可作为无线电频谱管理、无线电监测、电子对抗、通信工程、频谱工程等相关专业或方向的高年级本科生和研究生教材,也可作为从事与频谱管理与监测有关的管理人员和工程技术人员的参考书或案头常备手册。

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

频谱管理与监测/翁木云等编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2017.1

通信与导航系列规划教材

ISBN 978-7-121-30441-5

I. ①频… II. ①翁… III. ①电磁波—频谱—无线电管理—高等学校—教材 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第284584号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn)

印 刷:三河市良远印务有限公司

装 订:三河市良远印务有限公司

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:787×1092 1/16 印张:22.5 字数:576千字

版 次:2009年1月第1版

2017年1月第2版

印 次:2017年1月第1次印刷

印 数:2500册 定价:58.00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)88254888,88258888。

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。

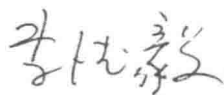
本书咨询联系方式:(010)88254467。

《通信与导航系列规划教材》总序

互联网和全球卫星导航系统被称为是二十世纪人类的两个最伟大发明，这两大发明的交互作用与应用构成了这套丛书出版的时代背景。近年来，移动互联网、云计算、大数据、物联网、机器人不断丰富着这个时代背景，呈现出缤纷多彩的人类数字化生活。例如，基于位置的服务集成卫星定位、通信、地理信息、惯性导航、信息服务等技术，把恰当的信息在恰当的时刻、以恰当的粒度（信息详细程度）和恰当的媒体形态（文字、图形、语音、视频等）、送到恰当的地点、送给恰当的人。这样一来通信和导航就成为通用技术基础，更加凸显了这套丛书出版的意义。

由空军工程大学信息与导航学院组织编写的 14 部专业教材，涉及导航、密码学、通信、天线与电波传播、频谱管理、通信工程设计、数据链、增强现实原理与应用等，有些教材在教学中已经广泛采用，历经数次修订完善，更趋成熟；还有一些教材汇集了学院近年来的科研成果，有较强的针对性，内容新颖。这套丛书既适合各类专业技术人员进行专题学习，也可作为高校教材或参考用书。希望丛书的出版，有助于国内相关领域学科发展，为信息技术人才培养做出贡献。

中国工程院院士：



《通信与导航系列规划教材》编委会

主 编 尹玉富 吴耀光

副主编 管 桦 甘忠辉 高利平 魏 军

编 委 赵 罡 徐 有 吴德伟 黄国策 曹祥玉 达新宇

张晓燕 杜思深 吕 娜 翁木云 段艳丽 刘 霞

张景伟 李 强 魏 伟 王 辉 朱 蒙 罗 玺

张 婧 郑光威 鲁 炜 李金良 李 凡 封同安

黄 涛 刘振霞 王兴亮 陈树新 程 建 严 红

第2版前言

自本书第一版出版以来,电磁频谱(无线电)管理与监测发展迅猛,新制定或更新了不少管理方面的法规制度和技术标准。监测技术和设备也发展很快,不断推陈出新,用频系统和设备更是飞速发展。用频需求增长迅速,供需矛盾更加尖锐,干扰影响日益严重。为了更好地满足广大读者的需求,我们在第一版的基础上,结合多年的教学科研实际,参考频谱管理与技术方面的最新资料,对书中主要内容进行了全面的更新和修订。

本书第2版共12章,主体可分为频谱管理和频谱监测两大部分,其中第1~5章为频谱管理部分,第6~12章为频谱监测部分。具体如下:第1章介绍电磁频谱、电磁空间、电磁环境、电磁管理等基本概念,以及国内外电磁管理的发展情况。第2章介绍各波段电磁波的传播特性和场强计算;第3章介绍国际电信联盟、国家无线电管理机构的组织结构及主要职责,以及有关频谱管理的国际、国内法规与技术标准;第4章介绍无线电频率的划分、规划、分配、指配与卫星轨道资源管理;第5章介绍无线电台站的设置、使用与资料,以及无线电设备的型号核准等;第6章介绍频谱监测常用参数的概念和计算方法;第7章介绍噪声以及各种无线电干扰产生与消除的基本原理;第8章介绍无线电监测的基本内容、系统设备组成分类,以及干扰分级、干扰查处原则程序与干扰分析判断方法;第9章介绍无线电测向系统的组成分类,以及各种测向技术体制与无线电定位原理;第10章介绍频谱监测中所涉及的主要参数的测量原理、方法和设备要求;第11章介绍频谱检测中所涉及的主要参数的测量方法和步骤;第12章简要介绍各种调制信号及其频谱特性,方便于频谱监测时对信号的分析识别。另外,附录A为频谱管理的常用术语与定义;附录B为国际保护频率,包括遇险和安全通信频率、(卫星)标准频率和时间信号业务频段。

本书可作为频谱管理、无线电监测、电子对抗、通信工程、频谱工程等相关专业或方向的高年级本科生和研究生教材,也可作为从事与频谱管理与监测有关的管理人员和工程技术人员的参考书或案头常备手册。

本书由翁木云主编,其中第1、3、4、9、11章、习题、附录A由翁木云修订,第2、5、12章、附录B由吕庆晋修订,第6、7章由谢绍斌修订,第8、10章由刘正锋修订。全书由翁木云统稿。

本书在编写和修订过程中得到了空军工程大学信息与导航学院和空军电磁频谱管理中心的领导和同事们的支持和帮助,特别是得到了黄国策、郭建新两位教授的热情帮助和指导,沈国勤、李昊成、臧帆、王锋、黄清艳、狄闵珉、刘芸江等同志提供了宝贵的资料和修改意见,书中还引用了其他作者的一些研究内容和研究成果,在此表示衷心的感谢。

频谱管理与监测发展非常迅速,由于编著者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请各位读者和同行批评指正。

编著者

2016年10月

第 1 版前言

随着社会信息化进程的加快,各种通信、广播、电视、雷达、导航、遥测遥控、射电天文等无线电业务的需求迅速增长,电磁环境越来越复杂,电磁频谱供需矛盾日益尖锐。电磁频谱资源与水、土地、矿藏等资源一样,是人类共享的有限自然资源,也是关系国民经济和社会可持续发展的重要战略资源。合理、有效、经济地使用电磁频谱资源,保障各种用频业务的正常开展,维护空中电波秩序,直接关系到国家的政治、经济、军事和文化发展。因此,为了适应国家和军队对电磁频谱管理(也称无线电管理)实践的需要,强化电磁频谱意识,普及电磁频谱知识,提高电磁频谱管理与监测水平,我们编著了这本书。

本书强调系统性、理论性和工程应用的实践性,全面介绍了频谱管理和频谱监测的基本理论知识和工程实践知识,详细描述了频谱管理的内容、过程、方法和手段,以及频谱监测、检测、测量所涉及的主要参数的测试原理、方法和要求。

本书共 13 章,分为频谱管理和频谱监测两部分。其中频谱管理部分共 5 章(第 1~5 章),包括电磁频谱管理的基本概念,各波段电磁波的传播特性及场强计算,国际、国家及军队电磁频谱管理机构,无线电频率的划分、规划、分配、指配与卫星轨道管理,以及用频台站设备管理。频谱监测部分共 8 章(第 6~13 章),包括频谱监测常用参数的概念及计算,噪声与各种无线电干扰,无线电监测的基本概念,无线电测向系统的组成及各种测向技术体制,无线电定位原理和卫星定位,频谱监测中所涉及的主要参数的测量方法和要求,无线电设备(特别是发射机)的参数检测方法和过程,以及各种调制信号及其频谱特性。

本书可作为电磁频谱管理、无线电监测、频谱工程、通信侦查、电子对抗、通信工程及相关专业或方向的高年级本科生和研究生(包括工程硕士)的教材,也可作为从事与电磁频谱管理与监测有关的工程技术人员和管理人员的参考书或案头常备的查询手册。

本书由翁木云主持编写,其中第 1、2、6、8、9、11 章、习题、附录 A 由翁木云编写,第 3、4 章、附录 B、附录 C 由张其星编写,第 5、10 章由谢绍斌编写,第 7 章由刘芸江编写,第 12 章由刘正锋编写,第 13 章由计同钟编写。全书由翁木云统稿。

本书由国家无线电监测中心李明高工担任主审,他在百忙之中审阅了本书的主要内容和提纲,并提出了一些中肯的意见和建议,特此致谢。

本书的出版得到了空军工程大学电讯工程学院许多同志的支持和帮助,特别是得到了黄国策、达新宇两位教授的热情帮助和指导,吕庆晋提供了许多宝贵资料,书中还引用了其他作者的一些内容和研究成果,在此表示衷心的感谢。

频谱管理与监测发展非常迅速,由于编著者水平有限,书中难免有错误和失之偏颇之处,敬请各位读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 电磁频谱及其特性	1
1.1.1 电磁频谱	1
1.1.2 电磁频谱划分	2
1.1.3 电磁频谱特性	3
1.2 电磁空间与电磁环境	5
1.2.1 电磁空间	5
1.2.2 电磁环境	6
1.3 电磁频谱管理基本概念	9
1.3.1 电磁频谱管理的定义和特点	9
1.3.2 电磁频谱管理的主要内容	10
1.3.3 电磁频谱管理的地位和作用	11
1.4 电磁频谱管理发展历史	12
1.4.1 国外电磁频谱管理及其发展	12
1.4.2 我国电磁频谱管理发展历史	15
第2章 电波传播	18
2.1 地球大气层和电离层	18
2.1.1 大气层	18
2.1.2 电离层	19
2.2 电波传播方式	24
2.2.1 地波（地表面波）传播	24
2.2.2 天波传播	25
2.2.3 视距传播	26
2.2.4 散射传播	26
2.2.5 波导电波传播	26
2.2.6 各波段电波传播特性及代表性业务表	27
2.3 自由空间传播	29
2.3.1 自由空间传播时的场强及接收功率	29
2.3.2 自由空间传播损耗	30
2.4 地波传播及场强计算	30
2.4.1 地球表面的特性	31
2.4.2 地波沿平面地面传播时场强的计算	32
2.4.3 地波沿球形地面传播时场强的计算	33
2.4.4 地下和水下传播	36

2.5	天波传播及场强计算	39
2.5.1	电波在电离层中的传播	39
2.5.2	短波天波传播	42
2.5.3	中、长波天波场强计算	47
2.5.4	短波天波场强计算	48
2.6	视距传播及计算	49
2.6.1	视线距离	49
2.6.2	地形地貌对微波传播的影响	51
2.6.3	低空大气层对微波传播的影响	54
2.7	对流层散射的传播损耗计算	58
2.8	常用传播模型	59
2.8.1	传播模型的选择	60
2.8.2	奥村-哈塔 (Okumura-Hata) 模型	60
第3章	电磁频谱管理机构及法规标准	62
3.1	国际电信联盟	62
3.1.1	国际电信联盟成立发展	62
3.1.2	国际电信联盟组织结构	63
3.1.3	国际电联的宗旨与职能	64
3.1.4	国际频率登记	65
3.2	国家无线电管理机构	66
3.2.1	组织结构	66
3.2.2	主要职责	67
3.3	国际法规及建议	69
3.3.1	《无线电规则》	69
3.3.2	ITU-R 建议	70
3.4	国家法规制度	71
3.4.1	《中华人民共和国无线电管理条例》	72
3.4.2	《中华人民共和国无线电频率划分规定》	72
3.4.3	《中华人民共和国无线电管制规定》	73
3.4.4	《业余无线电台管理办法》	74
3.5	技术标准	79
第4章	频率管理	82
4.1	频率划分	82
4.1.1	无线电业务	83
4.1.2	国际频率划分	86
4.1.3	我国频率划分	88
4.2	频率规划	91
4.2.1	频率规划的原则	91

4.2.2	频率规划的程序	92
4.2.3	频率规划的分类	93
4.2.4	频率规划的内容	94
4.3	频率分配	97
4.4	频率指配	100
4.4.1	频率指配方法	100
4.4.2	频率指配工作程序	104
4.4.3	频率指配的权限和要求	104
4.5	卫星轨道/频率资源管理	105
4.5.1	卫星轨道/频率资源管理的内容	105
4.5.2	国际电联的卫星网路运行规定	107
4.5.3	我国设置卫星网络空间电台管理规定	108
4.5.4	卫星网络空间电台执照	111
第5章	无线电台站设备管理	113
5.1	台站设置管理	113
5.1.1	台站设置审批权限	113
5.1.2	台站设置管理程序	114
5.1.3	电台执照	115
5.1.4	电磁兼容分析	116
5.2	台站使用管理	118
5.2.1	使用管理的主要内容	118
5.2.2	使用管理方法	119
5.2.3	使用管理要求	120
5.3	台站资料管理	121
5.3.1	数据库的作用	121
5.3.2	数据库的内容	121
5.3.3	资料管理的方法和要求	122
5.4	无线电设备管理	123
5.4.1	管理方法	123
5.4.2	型号核准	124
5.4.3	辐射电磁波的非无线电设备管理	127
第6章	常用参数的概念和计算	128
6.1	电磁波属性	128
6.2	分贝(dB)单位	129
6.3	增益 G (或衰减 L)	132
6.4	天线增益	132
6.5	天线因子	134
6.6	功率与功率密度	135

6.7	噪声系数与灵敏度	136
第7章	噪声与干扰	139
7.1	无线电干扰的概念	139
7.2	噪声	139
7.2.1	噪声的分类与特性	139
7.2.2	人为噪声	140
7.3	同频干扰	142
7.4	邻道干扰	142
7.5	互调干扰	144
7.5.1	互调干扰的基本概念及分类	144
7.5.2	发射机的互调干扰	145
7.5.3	接收机的互调干扰	149
7.5.4	无三阶互调的频道组	150
7.6	阻塞干扰	153
7.7	带外干扰	155
第8章	无线电监测与干扰查处	157
8.1	监测的概念、目的和作用	157
8.2	监测的基本内容	158
8.3	监测系统设备	160
8.4	干扰查处	168
8.5	干扰分析判别	170
第9章	无线电测向定位	174
9.1	概述	174
9.1.1	相关概念	174
9.1.2	无线电测向的主要用途	176
9.1.3	无线电测向技术起源与发展	178
9.2	测向设备的组成与分类	181
9.2.1	测向设备的组成	181
9.2.2	测向设备的分类	182
9.2.3	测向机的主要性能指标	184
9.3	无线电测向技术体制	187
9.3.1	比幅测向法	187
9.3.2	沃特森-瓦特(含角度计和交叉环)测向法	192
9.3.3	乌兰韦伯测向法	195
9.3.4	干涉仪测向法	197
9.3.5	相关干涉仪测向法	201
9.3.6	多普勒测向法	203

9.3.7	时差测向法	206
9.3.8	空间谱估计测向法	208
9.4	无线电定位	214
9.4.1	一点定位原理	215
9.4.2	交叉定位原理	216
9.4.3	动态定位原理	221
9.4.4	到达时间差(TDOA)定位	222
9.4.5	其他无源定位方法简介	227
第10章	频谱参数监测	229
10.1	测量原理	229
10.1.1	时域和频域测量	229
10.1.2	幅度和相位域(矢量)测量	231
10.1.3	FFT分析	231
10.2	频率测量	234
10.2.1	传统频率测量方法	235
10.2.2	基于DSP的频率测量方法	241
10.2.3	频率测量的精度	244
10.2.4	用于频率测量的信号发生器	246
10.3	场强和功率密度测量	247
10.3.1	电磁场场强	247
10.3.2	场强或功率密度的测量设备	248
10.3.3	测量的频率范围和天线	249
10.3.4	测量场地的选择	250
10.3.5	测量室和设备	252
10.3.6	测量方法	254
10.3.7	测量精度	258
10.3.8	测量设备和天线的校准	259
10.3.9	测量结果的评估、处理及文件编制	261
10.4	带宽测量	262
10.4.1	带宽定义	263
10.4.2	带宽测量方法	264
10.4.3	带宽测量的条件	268
10.4.4	对带宽测量设备的要求	270
10.5	调制测量	271
10.5.1	幅度调制的远距离测量	271
10.5.2	角度调制的远距离测量	273
10.5.3	数字调制的监测	275
10.5.4	扩频信号的测量	275
10.6	频谱占有度测量	278

10.6.1	频谱占用度测量目的	278
10.6.2	频谱占用度测量技术	278
10.6.3	频谱占用度监测接收机	279
10.6.4	30 MHz 以下频段的测量	279
10.6.5	30 MHz 以上频段的测量	280
10.6.6	频段占用度的测量	282
10.6.7	占用度数据的显示和分析	283
第 11 章	频谱参数检测	285
11.1	概述	285
11.1.1	检测的分类	285
11.1.2	检测的主要内容	285
11.1.3	检测的一般步骤	286
11.2	检测要求	287
11.3	检测的主要频谱参数	288
11.4	主要频谱参数的检测方法	290
11.4.1	测量方式	290
11.4.2	发射频率范围	291
11.4.3	发射频率容限	291
11.4.4	功率测量	292
11.4.5	发射带宽测量	294
11.4.6	邻道功率测量	294
11.4.7	带外域发射功率测量	299
11.4.8	杂散发射功率测量	299
11.4.9	接收机邻道抑制测量	301
11.4.10	接收机互调响应抑制	301
11.4.11	接收机杂散响应抑制	302
11.4.12	接收机传导杂散发射功率	303
11.5	测量中的不确定度分析	303
11.5.1	名词术语	303
11.5.2	涉及到的基本理论	304
11.5.3	功率测量中的不确定度分析实例	306
11.5.4	传导杂散发射测量的不确定度	308
11.5.5	频率测量的不确定度	309
第 12 章	典型调制信号及其频谱	310
12.1	模拟调制	310
12.1.1	幅度调制 (AM)	310
12.1.2	角度调制 FM 和 PM	312
12.1.3	其他模拟调制	314

12.2 数字调制315

12.2.1 幅移键控 (ASK)317

12.2.2 频移键控 (FSK)317

12.2.3 相移键控 (PSK)318

12.2.4 正交幅度调制 (QAM)319

12.2.5 编码正交频分复用 (COFDM)320

12.2.6 数字电视320

12.2.7 数字音频广播 (DAB)321

12.3 扩频调制322

12.3.1 直扩 DSSS322

12.3.2 跳频 FHSS323

习题326

附录 A 频谱管理的术语与定义331

附录 B 保护频率和频段341

参考文献343

第1章 绪 论

社会信息化进程的发展,促进了世界范围内无线电业务需求的迅速增长;反过来,无线电技术又成为信息产业发展的重要先导技术和推动力量。各种通信、广播、电视、雷达、导航、遥测、遥控、射电天文等用频业务的应用遍及国防、公共安全、工业和商业等领域,业务量增长非常迅速。无线电业务的迅猛发展对频谱资源的需求与日俱增,电磁频谱供需日益紧张和电磁环境日益复杂的矛盾越来越尖锐,对电磁频谱的管理提出了巨大的挑战,也提出了更新更高的要求。无线电频率和卫星轨道是人类共享的有限自然资源,它与水、土地、矿藏等资源一样,是关系国民经济和社会可持续发展的重要战略资源,具有稀缺性,归国家所有。

电磁频谱管理又称无线电管理,其主要任务就是合理规划和分配无线电频率资源和卫星轨道资源,科学管理各类无线电台站,为各类无线电业务的正常开展保驾护航。做好电磁频谱管理工作,对保障国家安全和人民生命财产安全,以及推动科学研究,促进社会与经济进步都具有重要意义。

要对电磁频谱进行科学、合理的管理,首先需要了解电磁频谱的基本特性。

1.1 电磁频谱及其特性

1.1.1 电磁频谱

由电磁感应原理可知,交变的电场产生磁场,交变的磁场产生电场,变化的电场和磁场之间相互联系、相互依存、相互转化。以场能的形式存在于空间的电场能和磁场能按一定的周期不断进行转化,形成具有一定能量的电磁场。这种在空间或媒质中以波动形式传播的随时间变化的电磁场,就称为电磁波。以光的形式传播的称为光波,以射线形式传播的称为粒子射线,它们的传播方式与电磁波相似,是一类特殊的电磁波。

电磁波包括的范围很广,可以从零频率到无穷大。为了对各种电磁波有全面的了解,人们按照波长或频率的顺序把电磁波排列起来所形成的谱系,就是电磁频谱。

电磁波的属性主要包括幅度、频率(或波长)、相位、传播速度以及极化方式等。

电磁波的电场或磁场随时间变化,具有周期性。电磁波在单位时间内重复变化的次数,称为电磁波频率,一般用 f 表示,单位为 Hz (赫),常用单位还有 kHz (千赫)、MHz (兆赫)和 GHz (吉赫)。

电磁波在单个周期内传播的距离(行程)称为波长,一般用 λ 表示,单位是 m (米),常用的单位还有 cm (厘米)、mm (毫米)、 μm (微米)、nm (纳米)。电磁波的波长可以长至上万千米,也可以短至数埃($\text{\AA}$, $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$)。

电磁波在单位时间内传播的距离称为电磁波的传播速度,一般用 v 表示,单位是 m/s (米/秒)。电磁波在自由空间中的传播速度是恒定的,为光速 $3 \times 10^8\text{ m/s}$,即每秒 30 万千米。电磁波的频率 f 、波长 λ 与速度 v 的关系如下:

$$f = v / \lambda \quad (1-1)$$

1.1.2 电磁频谱划分

为了使用方便，按照其不同的属性及传播特性将电磁频谱划分为不同的波段，依频率增加的顺序依次为：无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线和 γ （伽马）射线。如图 1.1 和表 1.1 所示。频率在 3 000 GHz 以下的电磁波称为无线电波，也可简称为电波，国际电联目前对无线电波已划分到 275 GHz。不同波段的电磁波具有不同的属性，如可见光波用人的眼睛可以感觉到，而无线电波人眼是看不见的。

频率	Hz			kHz			MHz			GHz			THz			PHz		
	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						
	无线电波												红外线			可见光		紫外线
																		X射线
													微波					γ 射线
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	100	10	1	100	10	1	100	10	1	100	10	1	100	10	1	100	10	1
	Mm			km			m			mm			μ m			nm		

图 1.1 电磁频谱的波段划分

表 1.1 电磁波各波段的频率范围

波段名称	频率范围/GHz	波长范围/ μ m
无线电波	0~3 000	≥ 100
红外线波	$300\sim 4\times 10^5$	0.75~1 000
可见光波	$3.84\times 10^5\sim 7.69\times 10^5$	0.39~0.78
紫外线波	$7.69\times 10^5\sim 3\times 10^8$	$10^{-3}\sim 0.39$
X射线	$3\times 10^8\sim 5\times 10^{10}$	$6\times 10^{-6}\sim 10^{-3}$
γ 射线	约 10^9 以上	约 3×10^{-4} 以下

在电磁频谱中，具有某个具体值的电磁波频率，被称为频率点或频点。由电磁频谱中的两个频率点限定的一段频谱称为频带或频段。起限定作用的这两个频率点称为上限频率和下限频率。两端界限频率之差的绝对值称为频带宽度，简称带宽。通常用预定的字母或数字代码来标明特定的无线电频带，称为频道。通信系统中信源与信宿之间的传输通道或路径，称为信道。无线电信号传输速率与该无线电业务所占用的带宽成正比。

《中华人民共和国无线电频率划分规定》把 3 000 GHz 以下的电磁频谱（无线电波）按十倍方式划分为 14 个频带（有时也划分为 12 个频带，不包括-1 和 0 频带），其频带序号、频带名称、频率范围以及波段名称、波长范围规定如表 1.2 所示。常用的字母代码所表示的业务频段如表 1.3 所示。

表 1.2 无线电频带与波段的命名

序号	频带名称	频率范围	波段名称	波长范围
-1	至低频（TLF）	0.03~0.3 Hz	至长波或千兆米波	10000~1000 Mm

(续表)

序号	频带名称	频率范围	波段名称		波长范围
0	至低频 (TLF)	0.3~3 Hz	至长波或百米米波		1000~100 Mm
1	极低频 (ELF)	3~30 Hz	极长波		100~10 Mm
2	超低频 (SLF)	30~300 Hz	超长波		10~1 Mm
3	特低频 (ULF)	300~3000 Hz	特长波		1000~100 km
4	甚低频 (VLF)	3~30 kHz	甚长波		100~10 km
5	低频 (LF)	30~300 kHz	长波		10~1 km
6	中频 (MF)	300~3000 kHz	中波		1000~100 m
7	高频 (HF)	3~30 MHz	短波		100~10 m
8	甚高频 (VHF)	30~300 MHz	米波 (超短波)		10~1 m
9	特高频 (UHF)	300~3000 MHz	微波	分米波	10~1 dm
10	超高频 (SHF)	3~30 GHz		厘米波	10~1 cm
11	极高频 (EHF)	30~300 GHz		毫米波	10~1 mm
12	至高频 (THF)	300~3000 GHz		丝米波或亚毫米波	1~0.1 mm

注：频率范围均含上限，不含下限；波长范围含下限，不含上限。

表 1.3 常用的字母代码所表示的业务频段对应表

字母 代码	雷 达		空间无线电 (卫星) 通信	
	频段/GHz	举 例	标称频段	举 例
L	1~2	1.215~1.4 GHz	1.5 GHz 频段	1.525~1.710 GHz
S	2~4	2.3~2.5 GHz 2.7~3.4 GHz	2.5 GHz 频段	2.5~2.690 GHz
C	4~8	5.25~5.85 GHz	4/6 GHz 频段	3.4~4.2 GHz, 4.5~4.8 GHz, 5.85~7.075 GHz
X	8~12	8.5~10.5 GHz		
Ku	12~18	13.4~14.0 GHz 15.3~17.3 GHz	11/14 GHz 频段 12/14 GHz 频段	10.7~13.25 GHz, 14.0~14.5 GHz
K	18~27	24.05~24.25 GHz	20 GHz 频段	17.7~20.2 GHz
Ka	27~40	33.4~36.0 GHz	30 GHz 频段	27.5~30.0 GHz
V	40~75	46~56 GHz	40 GHz 频段	37.5~42.5 GHz, 47.2~50.2 GHz

注：(1) 对于空间无线电通信，K 和 Ka 频段一般只用字母代码 Ka 表示；

(2) “u” 表示不吸收 (unabsorbed) 或在 K 以下 (under K)，“a” 表示吸收 (absorption) 或在 K 以上 (above K)。

在《中华人民共和国无线电频率划分规定》中，对于频率单位的表达方式规定为：3 000 Hz 以下 (包括 3 000 Hz) 以 Hz (赫) 表示；3 kHz 以上至 3 000 kHz (包括 3 000 kHz) 以 kHz (千赫) 表示；3 MHz 以上至 3 000 MHz (包括 3 000 MHz) 以 MHz (兆赫) 表示；3 GHz 以上至 3 000 GHz (包括 3 000 GHz) 以 GHz (吉赫) 表示。

1.1.3 电磁频谱特性

电磁频谱是一种有限的自然资源，与其他自然资源相比有许多不同的特性。正确认识和把握这些特性，对于频谱资源的科学管理和有效利用有着非常重要的作用。