

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($1\text{A}^\circ, 1\text{A}^\circ = 10^{-10}\text{m}$)。

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 | | | | | | | |
| 波段 | 无线电波 | | | | | | | | | | | 红外线 | | | 可见光 | 紫外线 | | X射线 | 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 | 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。

1. 有限性

电磁频谱在一定的空间、时间和频段内是有限的，不是取之不尽用之不竭的。电磁频谱虽然还包括红外线、可见光、X射线等，但作为无线电通信所使用的频谱资源，是很有限的。国际电联将3 000 GHz以下的电磁频谱称之为无线电波的频谱。3 000 GHz以上的频谱，由于受不能超过可见光的最大使用范围限制，其开发使用还在研究探索中。目前，国际上只划分出9 kHz~275 GHz的无线电频谱使用范围，而实际上使用的无线电频段通常只在几十吉赫以下。虽然无线电频谱可以重复使用，如可通过在频率、时间、空间、码字上复用来进行重复使用，但就某一个频点或某一段频率来说，在一定的时域和空域上都是有限的。国际电信联盟（ITU）在公约中指出：“各成员国在使用无线电频率时，须牢记无线电频率和静止卫星轨道是有限的自然资源。”

2. 非消耗性

电磁频谱资源同其他自然资源，如地表、水系、矿山、森林一样，属国家所有。但它又不同于其他的自然资源，是一种非常特殊的自然资源，具有非消耗性。也不存在再生或非再生的问题。任何用户只是在一定时间或空间内“占用”频率，用毕之后该频率依然存在。因此，对频谱资源不使用或者使用不当都是一种浪费。

3. 三维性

电磁频谱资源具有时间、空间和频率的三维特性。也可以加上以不同的伪随机码来区分的码域，共四维特性；或者加上其他区分方式的多维特性。因此，怎样根据电磁频谱在时域、频域和空域方面的三维特性或多维特性，按照一维、二维、三维、多维或者其任意的组合，实现频率资源的合理使用，提高频谱的有效利用率，为有限的资源拓展出更大的可用空间，是频谱资源管理和使用研究的重点。

4. 易受污染性

空间电磁信号传播的范围不受任何行政区域限制，既无省界也无国界。无线电波在空中传播易受自然噪声和人为噪声的干扰，如宇宙射线、太阳黑子及各种无线电设备辐射的电磁波。除此之外，许多非无线电设备也辐射电磁波，如高压输电线和工、科、医电子设备，都可能产生干扰，对正常的无线电业务造成影响。对频率使用管理不当，设备就不能正常工作和准确地传递信息。发射设备性能不符合要求，或台（站）布局不合理，也会产生同频干扰、邻频干扰、谐波干扰、互调干扰等，影响其他无线电设备的正常工作。

5. 共享性

电磁频谱资源是一种人类共有的资源，也应该属于全人类共享的自然资源。任何国家、军队或组织都不可能独自占有。但由于其有限性和传播范围不受任何行政区域、国家边界的限制，因此，必须在全球范围内制定电磁频谱管理与使用的统一规则。

电磁频谱资源的以上特性说明，必须对电磁频谱进行统一规划、科学管理使用。否则，随着信息技术的发展和人民生活的改善，使用电磁频谱资源的用户逐年大幅度地增加，如果任何一个国家、部门、地区或个人随意使用无线电频率，都可能对其他国家、部门、个人造成危害。无线电信号就会相互交织、相互干扰，造成任何信息系统都无法正常运行。

1.2 电磁空间与电磁环境

电磁空间就是由电磁波构成的物理空间，它是自然界的有机组成部分。电磁环境是电磁空间的一种表现形式，是存在于给定场所的所有电磁现象的总和。

1.2.1 电磁空间

人类活动空间的利用由陆向海、向空、向太空发展，在人类活动空间一步步地拓展的过程中，电磁活动如影随行，愈演愈烈。电磁空间渗透于陆、海、空、天，对它的制约性越来越强。

电磁空间主要特性为：

(1) 物质性。电磁空间是物质的，它是由各种用频设备发射的电磁波和自然界中辐射的电磁波构成。如可见光，可以用人的肉眼直接感受到。其他电磁波，虽然不可见，但可以通过科学仪器进行观测，并使用频率、波长以及信号强度进行度量。

(2) 无限性。电磁波无处不在，充满整个宇宙空间。宇宙空间的无限性，决定了电磁空间是无限的。

(3) 可利用性。人类可以在电磁空间内进行信息的发射与接收和能量的传递，同时也可使用专门的设备影响局部电磁空间，如在局部空间进行电磁干扰。

电磁空间安全主要指各类电磁应用活动，特别是与国计民生相关的国家重大电磁应用活动能够在国家主权以及国际共享区的电磁空间范围内，不被侦察、不被利用、不受威胁、不受干扰地正常进行，同时国家秘密频谱信息和重要目标信息能够得到可靠的电子防护。电磁空间安全成为国家安全的重要组成部分。

电磁空间安全是一种具有特别内涵，需要采取特别手段加以维护的安全领域，它关系到国家政治稳定和社会安定，关系到国民经济建设的顺利进行，更关系到陆海空天各个战场空间的安全。经济越发展，社会越进步，对电磁空间的依赖程度越高。电磁空间安全形势的发展将对国家和军队建设产生重大影响。新的历史条件下，维护和巩固国家海洋、太空、电磁空间安全，成为国防和军队建设的重要任务。同样，军队信息化程度越高，战争的科技含量越大，对电磁活动的依赖程度也就越强。世界各国都把加快发展电子信息技术、努力提高军队信息化水平，作为基本的战略思想。可以预见，未来战争中争夺信息优势——制电磁权的斗争必然更加激烈，将日渐成为战场新的“制高点”。夺取制电磁权，是夺取制天权、制空权、制海权、制陆权乃至战争主导权的先决条件。

需要指出的是，尽管维护电磁空间安全主要是和平时期的使命任务，但战争时期由于其安全环境会受到严重破坏，无法再用常规的手段和措施来提供安全保障，必须像保卫领空、领海、领土安全一样，以战争手段保护电磁空间安全。电磁空间安全是信息时代提出的一个新课题，是新的安全观的重要内容。

当前，随着信息化建设的推进，大量用频装备不断研制和运用，继陆、海、空、天四维空间后，电磁空间逐步发展成第五维空间。为有效利用电磁空间，我们必须加强电磁空间应用研究，高度重视电磁空间安全。一是加强电磁空间的控制能力。针对电磁空间和频谱资源竞争激烈的现状，利用一切手段维护我国电磁空间的安全。重视新技术的研究和运用，提高对电磁空间的使用与控制能力。二是提高电磁空间中的防护能力。针对自然界、电磁污染、电磁泄漏和电子侦察与攻击对电磁空间影响的特点、规律，综合运用各种手段，采取战术和技术措施，提高在电磁空间中的防护能力。

空间和环境互为依存,有着内在的联系。电磁空间是电磁环境的依托,关注电磁空间安全,必然要研究电磁环境问题。

1.2.2 电磁环境

电磁环境,由自然电磁环境和人为电磁环境构成。它反映的是具体事物与周边的一种电磁关系;体现的是电子系统或装备在执行规定任务时,可能遇到的各种电磁辐射强度在不同频率、时间、空间范围内的分布状况。电磁环境无处不在,它像空气一样存在于一切事物的周围,甚至比空气所覆盖、渗透的范围还要广,在深海、在太空也存在电磁现象,人类生活已离不开电磁环境。

在电磁环境中,产生电磁波的各种辐射源、传输电磁波的各种媒介和接收电磁波的各种设备,组合在一起,构成了电磁环境的物理系统。电磁环境具有广泛性、复杂性、可控性和对抗性的特征。

复杂电磁环境是指“电磁辐射源种类多、辐射强度差别大、信号分布密集、信号形式多样,能对作战行动、武器装备运用产生严重威胁和影响的电磁环境”。

复杂电磁环境通常涵盖敌方因素、我方因素、民用因素及自然环境因素,主要由自然电磁辐射、我方电子设备辐射、民用电子设备辐射和敌方电磁干扰四个方面的电磁辐射构成。其中,自然电磁辐射是基础,我方和民用电子设备辐射是主体,敌方电磁干扰是重要组成因素。

1. 自然电磁辐射

自然电磁辐射是生成复杂电磁环境的背景条件,它是自然界自发的电磁辐射。自然电磁辐射是指来自于自然界的辐射源产生的电磁辐射。主要包括静电、雷电以及电子噪声、地磁场、宇宙射线、太阳黑子活动等其他自然电磁辐射。不同的地区和季节,其自然电磁干扰是不同的。自然电磁干扰对无线电设备通常不会造成严重影响。但严重的电离层闪烁、骚动和地磁暴等自然现象,可在短时间内对短波通信、卫星通信、卫星导航系统产生一定的影响。

1) 静电

静电是自然环境中最普遍的电磁辐射源。特别是在干燥地区,物体所带的静电可能会达数千伏,静电的潜在危害无处不在,且不容易消除。它不仅对人体有危害,它对电子设备也会产生不良影响。静电放电过程的不同突出表现为:电流波形在时间特性上差异很大,而且幅度也会在1~200 A 范围内变化。静电放电时产生的瞬间能量很大,频率很高(有时高达5 GHz),电子设备对静电放电的响应很难预测。静电放电产生的热效应瞬时可引起易燃易爆气体或物品等燃烧爆炸;可以使微电子器件、电磁敏感电路过热,造成局部热损伤,电路性能变坏或失效,如:可使半导体器件熔断损坏。静电放电引起的射频干扰,对信息化设备造成电噪声、电磁干扰,使其产生误动作或功能失效,也可以形成累积效应,埋下潜在的危害,使电路或设备的可靠性降低。静电放电时的高电位、强电场,引起的强电流可产生强磁场,也可能干扰电子设备的正常工作。

设备漏电,尤其是不会对人造成触电伤害的微弱漏电虽然不属于静电放电现象,但其性能却与静电放电类似。大多数情况下人们几乎感觉不到设备漏电,但由于其普遍性(任何电器设备多少总有些漏电)和高内阻的特点,产生幅度接近于电源电压(100~400 V)、时间很短的尖峰电脉冲,仍足以对静电敏感器件造成电气过载(EOS)损害。所以,一般将设备漏电也纳入静电防护体系中考虑。

2) 雷电

雷电是自然界中最为强烈的一种瞬间电磁辐射，它的能量非常大，不仅会伤害人，而且会破坏电子设备。雷电发生在从对流层以下大气层范围直至地表之下的整个空间范围内，雷电对电磁环境的影响是全方位的。大气中雷电辐射借助导体的放电会产生巨大的雷电流，雷电流具有以下几个特点：冲击电流非常大，其电流高达几万至几十万安；持续时间短，一般雷击分为3个阶段，即先导放电、主放电和余光放电，整个过程一般不会超过60s；雷电流变化梯度大，有的可达10kA/s；冲击电压高，强大的电流产生交变磁场，其感应电压可高达上亿伏。

雷电对电子信息系统和武器系统的影响分为直击雷与电磁脉冲的两种损害。直击雷是带电的云层与大地上某一点之间发生迅猛的放电现象。直击雷产生的雷电辐射对电子设备的影响主要表现在：雷电流在闪电中直接进入金属管道或导线，并沿导线传送到电子设备中，由于形成的电流非常强，很容易烧毁电子设备。通常，电子设备在使用时要考虑地形影响和采取避雷措施。

与直击雷造成的损害相比，电磁脉冲所引起的新技术设备的损坏可能会更严重。无论是闪电在空间的先导通道或回击通道中产生的迅变电磁场，还是闪电通过避雷系统以后所产生的迅变电磁场，都会在空间一定范围内产生电磁作用。它可以是电磁感应作用，也可以是脉冲电磁辐射。它在三维空间范围内将对一切电子设备发生作用，既可以对闭合的金属回路产生感应电流，也可以在不闭合的导体回路内产生感应电动势，且由于其迅变时间极短，感应电压会很高。现代电子信息系统和武器装备都大量采用微电子技术，在现代超大规模集成电路（VLSI）中，数十万元件集成在一块小小的芯片上。它的能耗极小、灵敏度极高、体积很小，使得电磁脉冲足以对它发生作用，甚至毁坏它。当雷电电磁场脉冲强度超过0.07高斯时就会引起微机失效；当雷电电磁场脉冲强度超过2.4高斯时，集成电路将发生永久性损坏。电子信息系统大量采用VLSI，使得系统被损坏的概率极大增加。

因此，要注意电子设备的防雷击问题，特别是在经常有雷雨天气的地区。

3) 其他自然电磁辐射

自然电磁辐射源的种类非常多，除了上述静电、雷电之外，主要还有电子噪声、地磁场（大地表面的磁场、大地磁层、大地表面的电场、大地内部的电场、大气中的电流电场）、宇宙射线、太阳黑子活动等。

电子噪声主要来自设备内部的元器件，是决定接收机噪声系数的重要因素。常见的电子噪声源包括热噪声、散弹噪声、分配噪声、1/f噪声和天线噪声等。热噪声具有极宽的频谱，能量随温度而变化，温度越低，噪声越小。绝对温度为零度时，热噪声为零。散弹噪声出现于遵循泊松统计分布的任何粒子流过程中，是一种频率范围很宽的噪声。分配噪声是由于电子器件各电极之间电流分配的随机起伏而造成的。1/f噪声是晶体管在低频段产生的一种噪声，其功率与频率成反比关系。天线周围的介质微粒处于热运动状态时，它产生的电磁波被天线接收后又辐射出去，当天线处于热平衡状态时，产生的热噪声即天线噪声。

众所周知，在地球表面存在着地磁场，它是一种自然场。只要拿一枚小小的磁针就能观察到它的存在。根据观测已知：地磁场的场强分布基本上是轴对称的，磁轴和地轴不重合，它们之间偏移的一个角度，称为磁偏角。磁极的位置是在缓慢周期性变化的，就现时而言，南极位于南极洲地区，北极位于北美洲，磁极处的场强最强，地磁赤道处的场强大约只有磁极处的一半。地磁场主要是由地心深处的物质所决定的，在地球表面，地磁场存在局部异常和微小变化，对电磁波的远距离传播起到特别重要的作用。

宇宙射线主要来自太阳辐射和银河系辐射。太阳辐射能量频谱主要集中在 30 MHz 以下,对地球上短波以下的无线电通信影响较大,在太阳黑子剧烈活动期的辐射强度比静止期大 60 dB。银河系辐射频谱对 200 MHz 以下频段内的无线电影响比较明显,它们会使航天飞行器发生一些随机失效和异常现象,还可能造成通信和遥测中断。

由太阳飞出的带电粒子引起磁场的改变就是地球上的磁暴。另一个突发性的太阳辐射变化现象是太阳耀斑。太阳耀斑是出现在色球层中太阳黑子附近的一种爆发,常常引起电波吸收和 E 层电离度的增加。1981 年 5 月南京紫金山天文台观察到两次奇异的双带太阳耀斑,曾导致全球无线电通信中断两小时。

2. 民用电磁辐射

民用电子设备主要包括民用通信、导航、广播、电视、民航、交通等系统的用频设备,以及辐射电磁波的工、科、医等设备,用频多集中在 3 MHz~3 GHz 频段,还有一部分卫星设备工作在相应的 C、Ku 波段等卫星频段,其地面站主要分布在人口密集的城镇地区。这些都是在现实生活中无意的人为的电磁辐射,比如交流高压线路、医疗磁共振、氩弧电焊机、射频电热器、转换开关、微波炉、电动机、电视机、计算机等,都会产生一些电磁辐射。它们虽构成了电磁环境,但一般不会对用频设备产生太大的影响,在它们发生故障时,也可能造成电磁干扰。平时,民用电子设备的辐射应处于可控范围之内;战时,由于用频武器装备随作战地域、作战任务进程的变化而动态变化,民用电子设备与武器装备的用频矛盾将会突出显现,需要通过征用部分民用频谱资源和关闭部分民用台站以满足作战的需要。

3. 敌方电磁辐射

电子对抗装备作为电子战的主要武器,具有发射功率大、干扰频段宽、干扰样式多等特点。为争夺战场的制电磁权,敌方必将在战场上投入大规模的电子战部队,使用空中和地面干扰装备对我通信导航、预警探测、指挥控制等系统实施大范围、高强度电磁干扰,势必造成战场电磁环境急剧恶化,大面积提高作战地域电子干扰信号的密度,会影响到主战武器装备效能的有效发挥。

电磁干扰按作用性质可以分为欺骗性干扰和压制性干扰。欺骗性干扰又称迷惑性干扰,它通过模拟敌方的通信信号来欺骗敌方,使其做出错误的判断和决策。压制性通信干扰就是人为地发射干扰电磁波,使敌方的通信接收设备难以或完全不能正常接收通信信息。

通信干扰按同时干扰信道的数目可分为:瞄准式干扰和拦阻式干扰。按干扰机所在的平台分类,有便携式、车载式、机载式、舰载式、摆放式、投掷式干扰机等。

美国生产和装备部队使用的电子干扰设备有 290 多种型号,干扰频率范围达 0.5~20 GHz,干扰功率达上百千瓦,脉冲峰值功率可达兆瓦级以上。无源干扰的箔条厚度仅 0.000 8 mm,镀铝玻璃纤维直径为 0.025 mm,下降速度约在每秒 0.35~2 m 之间。目前国际上通信干扰装备从针对潜艇通信的超长波到卫星通信的 Ka 波段的各种干扰装备应有尽有,连续波等效干扰辐射功率从几瓦到数百千瓦,干扰距离甚至达到数千千米。各种电子对抗装备在全频域的范围內可对各种军用电子设备构成有威胁的电磁环境。

美军的“网络中心协同目标瞄准(NCCT)”系统能在数秒内高精度地定位敌方辐射源。美军在 EA-6B 电子战飞机上充分采用了软硬一体化的设计,装有多个主动和自卫电子干扰系统,可对雷达和通信辐射源实施电子压制和欺骗,同时还可装载 AGM-88 哈姆高速反辐射导弹,具备进行反辐射攻击的“硬杀伤”能力。

美军能实施随队干扰的电子战飞机 EA-18G，是美军新一代最重要的电子战武器之一。其对射频信号的无源探测距离可达 482.8 km，超过了 F-22 的 ALQ-94，可在 217.26 km 的距离对敌辐射源进行精确定位，精度足以引导反辐射导弹。

美军海军专用的信号情报收集平台 EP-3E 飞机，已经服役三十多年，经历了多次改进。美海军计划在 EP-3E 电子侦察飞机功能的基础上发展 EP-X，EP-X 将具有精确的定位和目标截获能力，同时还可能具有网络攻击和高功率微波武器的能力。

4. 我方军用电磁辐射

我方军用电磁辐射是由作战区域内我陆军、海军、空军、火箭军、战略支援部队等的电子设备工作辐射产生的。涉及情报侦察、预警探测、指挥通信、导航定位、武器制导以及电子对抗等武器装备数百种。在现代战场上，电磁辐射源相当密集，所形成的电磁环境就特别复杂。例如，一个部署在地域面积 50 km×60 km 范围内的部队单位，通信电台的数量可达 3 000 部。且其中很多通信电台的部署还是不均匀的，许多地域的电台密度可达每平方千米几十部。电磁辐射源数量直接决定了信号密度的大小。例如，在机载雷达对抗侦察中，如果侦察天线受到 100 部雷达的照射，每部雷达的脉冲重复频率平均为 1 kHz，那么，信号密度可达每秒 10 万个脉冲。

另外，我军电子对抗装备覆盖短波、超短波、微波和卫星等频段，可对敌通信、导航、预警探测、指挥控制等系统实施多波次的瞄准式、阻塞式或跟踪式干扰。参战部队向前推进过程中，因军用电磁装备用频重叠比较严重、可用频率显得严重不足，会造成部分武器装备作战效能下降。作战地区由于用频装备部署密集和大功率电子设备强电磁辐射产生的多次谐波干扰，极易使近距离部署的同频或异频大功率用频装备之间相互产生影响。此外，我方电子对抗装备在压制敌方用频装备的同时，也可能对我军同频段用频装备产生一定影响，需在在作战中集中管控、协调运用。

1.3 电磁频谱管理基本概念

1.3.1 电磁频谱管理的定义和特点

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，对电磁频谱和卫星轨道资源的研究、开发、使用所实施的，以实现公平合理、经济有效利用电磁频谱和卫星轨道资源的行为和活动，也称无线电管理。也就是由各级电磁频谱管理（无线电管理）机构，运用各种手段，对无线电业务的频率使用，无线电设备的研制、生产、进口与销售，无线电台站的设置与使用，非无线电设备的无线电波辐射等与电磁频谱和卫星轨道资源的使用有关的事务实施的管理。目的是避免和消除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。在复杂的电磁环境下电磁频谱管理尤显重要。

电磁频谱管理的特点如下：

(1) 电磁频谱管理是一种行政行为，是由国家所授权的政府机关、相关部门或军事指挥机构来实施的活动；

(2) 电磁频谱管理的对象是研究、开发、使用电磁频谱和卫星轨道资源的各种行为活动；

(3) 电磁频谱管理的最终目的是维护空中电波秩序，以及保证合理、有效地利用电磁频谱

和卫星轨道资源；

(4) 电磁频谱管理工作必须综合运用法律、行政、经济和技术的手段，以保证其最终目的的实现。

1.3.2 电磁频谱管理的主要内容

电磁频谱管理的主要内容包括：频率的划分、规划、分配和指配；对无线电设备的研制、生产、销售和进口实施管理；审批无线电台（站）的布局规划和台（站）地址；监测和监督检查无线电信号；协调和处理无线电有害干扰；依法实施无线电检测和无线电管制；制定或拟订电磁频谱管理的方针、政策、行政法规和技术标准；参加电磁频谱管理方面的双边和多边国际活动等。其中重点内容如下：

(1) 频率管理。无线电频率是一种有限的、非再生的、可重复使用的自然资源，具有重要的使用价值，其所有权、支配权属于国家。为充分发挥其效能，维护无线电波的秩序，保证各种无线电业务的正常开展，必须由电磁频谱管理机构对无线电频率进行划分、规划、分配和指配。

(2) 设备管理。电磁频谱管理机构对研制、生产、销售和进口的无线电设备进行管理，是为了规范设备使用的频率以及电磁兼容技术指标，保证各类无线电设备的正常使用。

(3) 无线电台（站）管理。为了避免无线电台（站）间的有害干扰，设置无线电台（站）必须遵循无线电台（站）设置原则，符合设台条件，办理设台审批手续；使用无线电台（站）必须办理使用审批手续，并严格按电磁频谱管理有关规定使用。

(4) 无线电监测与干扰查处。无线电监测包括对各种无线电业务台（站）的发射参数（频率、场强、谐波、杂散发射、信号带宽、调制度等）进行监测，对非法无线电台（站）和干扰源进行测向和定位。无线电监测可为合理、有效地指配频率与消除各种有害干扰提供技术依据。

(5) 无线电检测。无线电检测是依据有关法规和规定以及国家的有关技术标准，对生产、销售、进口的无线电设备质量实施的一种监督活动。在电磁频谱管理工作的干扰协调中，大多数的干扰来自设备本身。必须加强对无线电设备的检测工作，保证其技术指标符合相关规定要求，以减小使用时的相互干扰。工、科、医领域的非无线电设备也易对无线电业务产生有害干扰，必要时也要对其进行检测。

(6) 无线电管制。为了维护国家安全和社会公共利益，保障国家重大任务、处置重大突发事件等需要，国家可以实施无线电管制。管制时机通常包括军队作战，军事演习，尖端武器试验，飞船、卫星、导弹发射等军事活动，也包括和平时期的重要科学、商业、政治和社会活动等。

(7) 非无线电设备的电磁辐射管理。对辐射无线电波的非无线电设备的选址定点、有害干扰实施的管理。辐射无线电波的非无线电设备指工业、科学、医疗等电器设备以及各种电气器械和装置。包括电气化运输系统、高压电力线等。非无线电设备的电波辐射管理的内容包括：测试对正常无线电业务产生有害干扰的非无线电设备的辐射频率范围、辐射功率等指标，审查、协调可能影响正常无线电业务的非无线电工程设施的选址定点，查找并按规定处理非无线电设备对正常无线电业务造成的有害干扰。

(8) 电磁频谱管理法规和技术标准。电磁频谱管理法规是为规范、调整无线电领域各种关系和行为而制定的法律和规定，电磁频谱管理技术标准是为满足电磁兼容要求而对无线电设备提出的技术要求。管理法规是依法管理的准则，技术标准是依法管理的依据，制定电磁频谱管

理法规和技术标准是电磁频谱管理机构的重要任务。

(9) 无线电涉外管理。无线电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)的交流日趋增多,参与各种双边与多边电磁频谱管理活动、维护国家权益是各级电磁频谱管理机构的一项经常性工作。

电磁频谱管理系统示意图如图 1.2 所示。

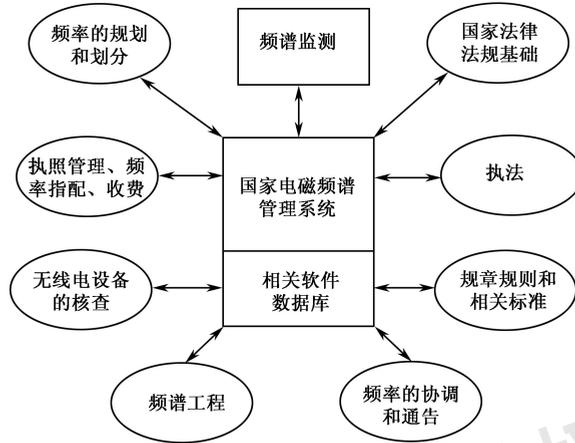


图 1.2 电磁频谱管理系统示意图

1.3.3 电磁频谱管理的地位和作用

科学技术的飞速发展和应用,使电子信息技术设备广泛地渗透到社会生活各个领域,如航空通信、移动通信频谱的有序使用与管理就与每个人密切相关,如果管理使用不好将直接影响到每个人的工作生活,在抢险、救灾、抗震中其作用已非常明显。特别是军事上,战场上各种武器装备,各种作战手段和指挥控制都离不开电磁频谱。从侦察、监视到预警,从通信、指挥到控制,从情报处理到作战决策,都离不开电子信息技术设备;武器系统的先进程度主要取决于其电子信息系统是不是先进,从而引发了新的军事技术革命如国防信息化、信息化战争、数字化部队等。正由于电子信息技术设备被广泛应用于作战的各个领域,因此,敌我双方争夺电磁频谱使用权和控制权的斗争将异常激烈,为现代作战开辟了一个崭新的战场——电磁战场,并贯穿于战争的全过程。因此,电磁频谱管理是确保电磁空间安全有序的重要支撑,在军事上是信息化战争制胜的重要因素。

现代战争中电子系统高度密集,敌我双方的电子干扰、电子侦察、电子防御、高性能的通信导航装备、雷达定位等高科技电子产品充满整个战场,如果不进行战场电磁频谱管理,那么军队对战场频谱资源就不可能有清楚的了解,就不可能科学规划、分配、指配频率,就不能实现频率的协调和组织形式的多变,就丧失了最基本的电子防御能力,这样敌方不仅很容易实施干扰,使我方电子系统致聋、致盲、致哑,并遭受敌人的反辐射打击,而且我方各电子系统间甚至系统内由于频率使用也可能发生碰撞而相互产生有害干扰,致使系统失灵,结果完全丧失战场制电磁权,导致战争失败。

这一点在海湾战争中得到了充分体现,见表 1.4。因此,在海湾战争中,美军“进攻首先就瞄准伊拉克的频谱使用,伊拉克的雷达和通信”(摘自 1996 年 7 月 16 日美军国防部长助理就美军频谱管理的讲话),结果伊军被美军摧毁的第一个目标就是防空雷达站,被美军发射的

第一枚巡航导弹击中的就是通信大楼。夺得电磁频谱控制权是美军以微小代价取得战争胜利的重要原因之一。

表 1.4 海湾战争的四个阶段

| 阶段序号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 起止时间 | 1990.8.07~1991.1.16 | 1991.1.17~1991.1.19 | 1991.1.20~1991.2.24 | 1991.2.24~1991.2.27 |
| 主要作战行动 | 以电子侦察为主的情报战 | 电子干扰与反辐射摧毁 | 电子干扰与反辐射摧毁 | 地面部队进攻 |
| | 以海空运输为主的兵力展开 | 在三个方向上实施战略空袭 | 分散空袭各战术目标 | 海空军及电子战协同进攻 |
| 作战行动特征 | 电子与兵力准备 | C ³ I 对抗 | 电子掩护战术空袭 | 五维作战 |
| 作战行动目的 | 为火力突击做准备 | 夺取制电磁权 | 夺取制空权 | 夺取胜利 |

而由于电磁频谱管理的不善，在军事上产生的严重后果及惨痛教训也不胜枚举。

1967 年 7 月 29 日上午，越战期间，美军“福莱斯特”号航空母舰的舰载 F-4“幽灵（鬼怪）”式战机，受该舰雷达波束照射干扰，飞机悬挂的“祖尼”空地火箭被意外点火发射，击中舰上 1 架 A-4“天鹰”式攻击机的副油箱，导致一系列爆炸，造成 134 人丧生、64 人重伤、27 架飞机损毁。

1982 年 5 月 4 日，英阿马岛战争中，英军谢菲尔德号驱逐舰担负航母群攻击阿军某机场时的警戒任务。没想到却被阿军一架单座单发“超级军旗”战机（法国产）发射一枚“飞鱼”反舰导弹击中，配有先进雷达警戒系统、造价达两亿美元的谢菲尔德号驱逐舰竟来不及反应就被击沉，英军伤亡失踪 78 人。事后的调查分析表明，谢菲尔德号驱逐舰被击沉的主要原因是该舰研制之初，忽视了舰载雷达警戒系统与舰载卫星通信系统的电磁兼容性，两个系统同时工作时相互干扰，导致舰载卫星通信系统工作时雷达无法及时发现来袭导弹。

1982 年 6 月 9 日，第 5 次中东战争中，以色列空军对驻守在贝卡谷地的叙利亚防空部队先进行电子欺骗，引诱叙军发射“萨姆”导弹，同时派出预警机，接收叙军雷达和导弹的发射频率参数。作战中，以空军利用截获的叙军频谱参数，仅 6 分钟就将叙军的 19 个“萨姆”防空导弹阵地彻底摧毁。

在未来高科技条件下的局部战争中，电磁频谱管理问题是每一个作战部队都无法避免的问题。打赢高科技条件下的局部战争，如果没有电磁频谱管理部门的参与，以科学的手段管理、使用战场上的电磁频谱，保证战场上各武器装备、通信设施的有效使用，作战部队的战斗力将受到大大影响，可以毫不夸张地说：电磁频谱管理是现代高技术战斗力的基本保障手段，是保证战争胜利的“杀手锏”之一。

因此，电磁频谱是国家不可或缺的战略资源，事关国家信息化建设、国防电磁空间安全和军队打赢信息化战争的军事战略目标的实现，其地位和作用十分重要。

1.4 电磁频谱管理发展历史

1.4.1 国外电磁频谱管理及其发展

世界各国的电磁频谱管理首先和重点都是军事电磁频谱管理，世界上一些军事强国普遍认为，电磁频谱是唯一能支持机动作战、分散作战和高强度作战的重要媒体。外军评论认为：“频谱是一种无形的战斗力，并且是可与火力机械动力相提并论的新型战斗力。”甚至预言：“21

世纪将是频谱战的时代”；“战时频率资源如同弹药、油料一样重要，是作战的必需物资基础”。各国的电磁频谱管理均以军事电磁频谱管理为重点。美军的电磁频谱管理是以军事行动需求为指导的，现代战争是陆、海、空、天、电磁五维一体的联合作战。战场处在广阔的电磁环境之中，无线电频率已经成为影响战争全局的不可或缺的重要战略、战术资源和力量。

以美军为代表的外国军队普遍认为：“频谱是军队作战电子体系中的关键因素”，“频率和子弹一样重要”；“电磁频谱是军事活动不可或缺的资源，对军队来说，电磁频谱资源的不足就意味着军队总体作战效能的降低，军队有效执行任务的能力将受到巨大的影响，丧失频谱就如失去其他资源一样，代价是巨大的”。因此，外军高度重视电磁频谱管理。

1. 美军频谱管理体制

美军从统帅部到野战师都设有专门的频谱管理机构，从国防部、联合参谋部到各军兵种，建立了一整套完整的联合战役频谱管理体系，形成了成熟的管理机制。其机构的设置按照由上至下可分为三级，分别为：国防部级，联合司令部、军种司令部级，军、师（及师以下）级。

国防部频谱管理机构主要由军事通信电子委员会、联合频率小组、网络与信息综合助理国防部长办公室、其他国防频谱机构组成。目前，美军频谱管理的高层领导机构是参谋长联席会议、军事通信电子委员会和联合频谱管理小组。在参谋长联席会议的领导下，通信电子委员会和联合频谱管理小组负责陆、海、空军的频谱分配、调整、检查和使用，而隶属于联合频谱管理小组的联合频谱中心则负责频谱规划和业务研究，为高层领导机构的频谱管理提供技术支持。

联合司令部、军种司令部频谱管理机构。主要组成有：联合频率管理办公室、联合频谱管理分队和军种频谱管理机构（包括空军频谱管理办公室、陆军频谱管理办公室、海军和海军陆战队频谱中心）。各主要作战方向均设有战区频谱管理机构，战区频谱管理机构与国家频谱管理机构平行，如果在频谱使用过程中发生冲突，战区频谱管理机构可以直接与国家频谱管理机构协调解决。按照美军的频谱管理规程，在由两个军种以上组成的所有海外司令部中，其频谱管理由各军种组成的最高联合指挥部负责，参谋长联席会议给予指导。此外，参谋长联席会议主席和负责通信电子的助理国防部长还对国防部电磁兼容中心、陆军和空军的频谱管理中心等给予直接的政策指导，从而保证了对无线电频率的协调管理。

军、师（及师以下）单位频谱管理机构。美军在军这一级别设立通信旅，由旅长统一领导频谱管理军官和军无线电系统军官；在师这一级别设立通信营，由营长作为师的通信军官负责师范围内的战场频谱管理。

2. 俄军频谱管理体制

近年来，俄军坚持把加强无线电管理作为建设信息化部队的重要任务，把提高电磁频谱管理能力作为实施信息作战的关键环节。目前，俄军从国防部、武装力量总参谋部到诸军兵种都设有相应级别的无线电频谱管理机构，并赋予各级指挥官相应的无线电管理职能，形成了一套较为完善的无线电管理体制。

总参谋部下设通信兵主任局，局长最高军衔为上将，对俄军无线电进行归口管理，并负责无线电管理工作。各军兵种总司令部和司令部都设有通信兵局，各军区、舰队司令部也设有通信局。俄军军团均编有定额的通信部队：陆军军区编有独立通信旅，集团军编有独立通信团，摩步（坦克）师编有独立通信营；空军集团军和空防集团军均编有独立通信团；海军舰队也编有独立通信团。各级通信兵主任均为该级部门无线电管理的主要领导。

俄军军种总司令部和独立兵种司令部在总参谋部的指导下，负责对本军、兵种电磁频谱的使用进行总体管理与控制。俄《国防部条例》明确规定：国防部根据国防需要规定使用无线电频谱的程序，协调其他联邦执行权力机关保障国防需要使用无线电频谱的活动。根据《总参谋部条例》，在国防部领导下，俄武装力量总参谋部为国防需要制定无线电频谱的使用计划，组织武装力量的通信。以军团的无线电管理为例，俄军军团司令和参谋长对军团无线电管理进行全面领导，而直接指挥则由通信兵主任（无线电技术保障主任）实施。通信兵主任与司令部各部（处）、各兵种司令、各专业兵主任、主管后勤装备的副司令及其司令部保持经常的协同运作。军队无线电频谱管理由武装力量通信兵主任局全面负责。

3. 美军频谱管理系统的发展

世界各国（特别是发达国家）军队十分重视战场频谱管理系统建设。从 20 世纪 70 年代开始，世界各国（特别是发达国家）军队开始下大力加强战场频谱管理系统建设，其中主要有美国、苏联、法国和以色列等国家军队。而美军从 20 世纪 30 年代初开始，就已涉足战场频谱管理方面的理论研究，80 年代中期形成了较为成熟的战场频谱管理系统。美军现在部署在海外的近百个武器系统（包括在韩国的“爱国者”导弹、在欧洲的“捕食者”无人飞行器和遍及全球的许多主要监测飞机和卫星）与所驻国电子系统经常发生频率冲突，有的部分丧失效能，有的甚至全部丧失效能。为此，美军已把战场电磁频谱管理纳入参谋长联席会议管理渠道，并且开发了一系列战场电磁频谱管理系统。据报导，中国台湾“国防部”的极度机密计划中，就有一项是频谱管理计划。

美国作为世界第一军事和科技大国，在战场频谱管理系统的研究、开发与使用方面一直走在世界前列。美军战场频谱管理系统的发展大致经历了 5 个阶段。

20 世纪 80 年代以前，战场频谱管理处于初级发展阶段。由于当时的无线电频谱并不十分紧张，战场频谱管理的重点是提高通信装备的抗干扰能力，保障通信装备在战场上充分发挥作用。初期的战场频谱管理系统实际上只是跳频或自适应通信装置，功能单一，仅用于自身使用频率的管理，其代表性产品是“频率管理组”（Frequency Management Group）。

80 年代中期，战场频谱管理系统的发展进入了第二阶段。与第一阶段相比，系统的特点是自成一体，能够对战场的短波频率进行实时探测。代表性的系统是 AN/TRQ 系列产品。该系列产品有实时探测短波（HF）频率、预报最佳频率的功能，但不能进行频率指配，只适用于集团军以下战术单位。

90 年代初期，美军的战场频谱管理系统研究进入了第三阶段。开发了不同种类、功能较为齐全、适用频谱范围广的战场频谱管理系统，初步解决了联合作战中的频率指配问题，提高了战场频谱管理水平，增强了部队的作战能力。其代表是 RBECS（Revised Battlefield Electronic CEOI System）系统。RBECS 系统能够自动完成联合通信电子作业指令（JCEOI），包括陆军的通信作业指令（SOI）、海军陆战队的电子作业指令（CEOI）、海军的作战任务通信指令（OPTASKCOM）和空军的空中任务命令（ATO）等。过去，电子作业指令（通信呼号-频率分配表）靠手工制作后分发给部队使用。随着联合作战电子装备的大量使用，美军发现传统的制作方式已无法适应需要，尤其是制作周期过长，有时在战争结束时，电子作业指令还没有全部制作出来。在海湾战争中，美军使用 RBECS 系统，大为节省了电子作业指令的制作时间，提高了效率。但第三阶段的各种战场频谱管理系统还存在着互不兼容等问题。

90 年代后期，美军进入战场频谱管理系统研究的第四阶段，重点解决各种频谱管理系统

互不兼容问题。美军开发的战场频谱管理系统最多，如短波频率管理系统（AN/TRQ-35v，AN/TRQ-42），该系统发射、接收 Chirp 信号进行电离层信道探测，辅以干扰监测系统测量干扰频谱，从而确定短波优质频率。基于 Chirp 信号探测的这种短波频率管理系统，实质上是一种频率自适应通信系统。这种系统用于远离国土的海外战场，特别是深入敌区的远距离应急通信，是行之有效的。但这种系统也是有一定缺陷的。首先，由于发射 Chirp 信号，不仅更加增大战场电磁污染，而且要增加设备。其次，Chirp 信号探测只适于天波，仅仅基于这种探测确定的频率不适于地波传播情况下的短波系统。再如自动化战术频率工程系统（ATFES），该系统为车载式，用于陆军战场频率规划和管理，装备于战区和军团等层次，其中包括 20 余种软件和数字地图，可以进行电波传播和电磁兼容性评估，频率分配和指配。改进型战场电子作业指令系统（RBECS）实际上是一种频率指配联络文件生成系统，指令包括呼号、呼叫字、指配频率和后缀，其中的指配频率经过电磁兼容性分析，呼号、呼叫字和后缀使指令安全、保密。此系统在海湾战争中得到了应用，保证了多国部队多军兵种的联合作战。其他的系统还有自动化频谱规划工程与协调系统（ASPECTS）、联合频谱管理系统（JSMS）等。美军这些战场频谱管理系统都是针对个别方面的特殊要求开发的，这在战场上应用是有缺陷的。现在的作战部队也不能逃避这种缺陷所带来的不良后果。

为了获得 21 世纪频谱优势，美军先后制定了一系列频谱管理标准和计划。美军先是制定了《2010 年联合频谱构想》，提出了 21 世纪频谱管理指导方针。近期又出台了电磁频谱管理计划，明确了美军对频谱资源的需求和美国国防部电磁频谱管理的目标。《21 世纪联合频谱使用和管理》、《电磁频谱联合行动》（2012 年）等频谱管理原则，对提高频谱规划、系统采购、模拟仿真、操作支持和信息系统的功能提出了具体规划标准，为计划、协调和控制频谱资源提供了理论支持。开发了自动化战场频谱管理系统，如 SPECTRUM XXI 系统、联合自动化通信电子作业指令系统（JACS）、全球电磁频谱信息系统（GEMISIS）等。其中频谱 SPECTRUM XXI 系统是美国国防部使用的一种标准的自动化频谱管理工具，用来支援作战计划的制定及无线电频谱的近实时管理，重点是分配兼容频率和完成频谱工程任务，其下一步的发展是全球电磁频谱信息系统（GEMISIS）。

其他国家和军队也十分重视并积极开发战场频谱管理系统，用以提高战场频谱管理的水平和作战能力。例如以色列的 ACMS 系统及 IRIS 系统、德国的 FARCOS 系统、英国的 SD 系统、加拿大的 FPT 系统等，而法国的综合战术通信频谱管理系统（Alcatel 101）可以完成对视距无线电接力线路和单信道网的频率分配、发布与管理。但是这些系统也是为了适应部分需求而开发的，系统的标准化程度低，没有综合考虑所有部队的频谱需求，不能进行全频段的频谱规划和管理，不适应多军兵种联合作战中频谱管理的需要。外军的战场频谱管理系统正向标准化、专业化、全频段、多业务、适合于联合作战的方向发展。

1.4.2 我国电磁频谱管理发展历史

我国的电磁频谱管理是伴随着军事无线电通信业务的发展而发展起来的。

1. 无线电管理起步

军队无线电业务始于 1931 年的无线电通信队，由一部半电台起家发展成为军事通信的主要手段。在管理体制上，无线电业务从一开始就自成体系，一部电台即为一个分队，由各级司令部首长直接领导。抗日战争时期，设立集中台的办法，将收、发信机分别集中配置，解决电

台功率大而相互干扰的矛盾。解放战争时期，为适应大兵团作战需要，对无线电通信联络做了调整，除设置固定通信基地外，各战略区、二级军区以上机关也普遍设有通信部门和无线电大（中）队，团以上部队设有无线电中队或无线电分队。

新中国成立初期，无线电台数量很少，没有统一的电磁频谱管理机构。由军队通信兵建立的全国短波电台机要通信网承担着党政军系统的通信任务，无线电台主要集中在军队。1951年4月，中共中央、政务院、中央军委在北京召开无线电控制和管理会议，决定成立天空控制组，对无线电台实现军事管制，进行全国性的电台登记。1951年4月，军委通信部为入朝参战的志愿军空军规定了地空通信专用频率。1954年空军开始换装超短波多波道对空台和塔台后，对频段和波道的使用进行了划分。

2. 中央无线电管理委员会成立

1959年1月3日，中央广播事业局、邮电部和解放军通信兵部联合发布了《划分大中城市无线电收发信区域和选择电台场地暂行规定》。这是中华人民共和国颁布的第一部法规性的无线电管理文件。1962年7月，中共中央决定成立中央无线电管理委员会（简称中央无委）和各中央局无线电管理委员会（简称中央局无委）。中央无委在中共中央、国务院的直接领导下，统一管理全国无线电频率的划分和使用，审定固定无线电台的建设和布局，负责战时通信保密和对广播电台的无线电管制。中央无委办事机构设在中国人民解放军通信兵部。无线电管理实现“少设严管”的方针。1965年7月14日，中央无线电管理委员会颁布试行《无线电频率使用管理规定》，制定了“无线电频率划分表”。1966年文化大革命开始后，各级无委的工作陷入瘫痪状态。1967年9月23日，毛泽东主席签发了《关于取缔私设电台、广播电台、报话机的命令》，在全国范围内清查、取缔私设电台。

3. 国家无线电管理委员会成立

1971年5月，国务院、中央军委及省、区、市无线电管理委员会恢复成立。国务院、中央军委无线电管理委员会称为全国无线电管理委员会，办公室设在中国人民解放军通信兵部；各大军区成立无委，由各大军区党委领导；各省、市、自治区恢复无委，由省、市、自治区党委和省军区党委领导，以军队为主，办公室设在军队通信部门。1984年4月，全国无线电管理委员会改称国家无线电管理委员会（简称国家无委），办公室设在总参谋部通信部。省级无委办事机构由军队通信部门转到政府办公厅，实行军地联合办公。同年7月，国家无线电监测计算总站成立，无线电管理技术手段的建设走向正规。

4. 中国人民解放军无线电管理委员会成立

1986年11月，国务院、中央军委决定调整无线电管理体制，按照统一领导、分工管理的原则，国家无委办事机构由军队转到政府。1987年，改设到邮电部的国家无委办事机构开始对外办公，承办国家无委的日常工作，并具体负责党政民系统的无线电管理工作；同年中国人民解放军无线电管理委员会（简称全军无委）正式成立，办公室设在总参通信部，负责军事系统的无线电管理工作。1993年9月11日，国务院、中央军委联合颁布《中华人民共和国无线电管理条例》，无线电管理进入了依法管理的新阶段。无线电管理的指导方针调整为“科学管理、促进发展”，以保证科学合理地使用频谱资源。全军无委与国家无委共同制定了《军地无线电管理协调规定》，明确了军地协调的原则、内容和方法；组织拟制了一系列军用电磁频谱管理技术标准。

1994年12月，总参谋部颁发了《中国人民解放军无线电管理条例》，明确了军队电磁频谱管理的原则、方针，规定了军队各级无线电管理机构的职责以及军队无线电管理的内容、程序和方法。1996年11月，总参谋部颁发了《中国人民解放军驻香港部队无线电管理暂行规定》。

5. 国家无线电办公室转到信息产业部又转到工业和信息化部

1998年，国务院机构改革后，国家无委及其办公室的行政职能，由信息产业部无线电管理局（国家无线电办公室）承担。全军无委与国家无委建立必要的协调议事机制，涉及军地双方有关无线电管理的重大事项，由信息产业部、总参谋部联合上报国务院、中央军委决定。2008年根据十一届全国人大一次会议批准的国务院机构方案，原信息产业部的职责整合划入工业和信息化部。无线电管理局（国家无线电办公室）整体划归工业和信息化部主管。

6. 中国人民解放军电磁频谱管理委员会成立

2005年5月9日，中央军委颁布命令将中国人民解放军无线电管理委员会改称为中国人民解放军电磁频谱管理委员会（简称全军频管委），其办事机构改称为中国人民解放军电磁频谱管理委员会办公室（简称全军频管办）。军兵种、军区无线电管理机构都相应的改称为电磁频谱管理机构。2007年7月，总参谋部颁发新的《中国人民解放军电磁频谱管理条例》。

随着武器装备信息化水平大幅提高和军队建设转型，军事领域对电磁频谱使用的范围、规模、数量迅速扩大，原有的无线电管理条例难以适应新形势下电磁频谱管理的内涵和要求，传统的无线电管理必须向更大范围的电磁频谱管理拓展。