

# 复杂电磁环境概论

汪连栋 申绪润 韩慧 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 复杂电磁环境概论

汪连栋 申绪润 韩 慧 编著  
曾勇虎 董 俊 郝晓军

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书对复杂电磁环境的基础理论和技术进行了较全面和深入地梳理,从复杂电磁环境产生及存在机理、复杂电磁环境模拟、复杂电磁环境效应及其防护与利用,以及复杂电磁环境的描述、监测与评估等方面,系统地阐述了复杂电磁环境研究相关的基础问题。

本书是复杂电磁环境及其效应研究领域理论和实践经验的总结,适合电子信息系统工程复杂电磁环境效应科研、试验等领域的相关研究与工程技术人员阅读使用,可作为电子信息工程、信息对抗技术、系统仿真等相关专业的教学和研究参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

复杂电磁环境概论/汪连栋等编著. —北京:国防工业出版社,2015. 12  
ISBN 978 - 7 - 118 - 10398 - 4

I. ①复… II. ①汪… III. ①电磁环境 IV. ①X21

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第275063号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本 710 × 1000 1/16 印张 13¼ 字数 258 千字  
2015年12月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 72.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777  
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776  
发行业务:(010)88540717

# 前 言

“复杂电磁环境”指的是在一定的空域、时域、频域和功率域上,多种电磁信号同时存在,对电子信息系统或设备的正常工作产生一定影响的电磁环境。可以认为,复杂电磁环境是由人为和自然的、有意和无意的、对抗和非对抗的多种电磁信号综合形成的一个客观存在的物理环境。上述“复杂电磁环境”的定义基本上给出了复杂电磁环境的基本特点,将其扩展到电磁环境效应研究的各个领域都可以适用。

随着电子信息系统综合化、网络化和一体化的不断发展,以及电磁环境的日益恶化,复杂电磁环境效应问题越来越成为关系国家电子信息技术发展和社会公共安全的重要问题。首先,随着人们使用需求的增加,电子信息系统的规模越来越大、结构越来越复杂、系统间耦合越来越紧密,电磁易损性逐步增加,受到电磁环境的影响也越来越大。同时,各种电磁设备的大量使用,导致电磁环境日趋复杂和恶化,进一步加剧了对电子信息系统正常工作的损害。

对复杂电磁环境的认知、评价和模拟是研究和评估电子信息系统在复杂电磁环境下的性能和应用效能,进而优化电子信息系统设计、应用的基本前提。而这就首先需要增进对复杂电磁环境的共识,加强该领域的研究力度,才能促进电子信息系统复杂电磁环境效应研究的发展。本书作者在多年相关研究与应用工作的基础上,对复杂电磁环境相关理论和技术进行了较全面和深入地梳理,将复杂电磁环境相关基础问题分为复杂电磁环境认知和模拟、复杂电磁环境效应及其防护与利用和复杂电磁环境评估三个方面,形成了对复杂电磁环境研究基础问题的初步认识,通过本书的撰写,希望能够促进该领域的进一步研究。

本书包括7个章节:第1章绪论;第2章电磁波及电磁信号基础;第3章电磁辐射源及其特性;第4章电磁波及电磁信号传播;第5章复杂电磁环境模拟;第6章复杂电磁环境效应及其利用;第7章复杂电磁环境描述、监测和度量。

在本书的撰写过程中,作者得到了其研究团队同仁的大力协助,其中洪丽娜、焦斌、周波、胡明明、郑光勇、耿立飞、许雄、史继辉、王川川、李皓等同志参加了部分章节的研讨;在后期的审稿过程中,电子信息系统复杂电磁环境效应国家重点实验室的各位同事通过广泛的调研与深入的研讨,对编写工作提出了许多建设性的意

见。另外,本书的编写还得到了国防工业出版社的大力支持,在此表示真诚的谢意。同时,本书参考了国内外大量的相关文献和研究成果,对这些作者和研究人员,在此一并表示感谢。

复杂电磁环境相关研究还在向前发展,许多研究工作需要不断地创新与完善。尽管我们在撰写过程中做了很大努力,但囿于认识和水平,书中难免有不当和疏漏之处,敬请读者和各位同仁批评指正。

编者  
2015年10月

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 复杂电磁环境相关专业术语 .....	2
1.1.1 复杂电磁环境 .....	2
1.1.2 复杂电磁环境效应 .....	4
1.1.3 复杂电磁环境模拟 .....	6
1.2 国内外研究现状 .....	6
1.2.1 电磁环境研究的历史沿革 .....	6
1.2.2 复杂电磁环境的研究现状及趋势 .....	10
1.3 我国复杂电磁环境效应标准体系的建设 .....	17
1.3.1 基础和要求标准 .....	17
1.3.2 设计和防护标准 .....	19
1.3.3 管理和试验方法标准 .....	19
1.3.4 指南和手册 .....	20
参考文献 .....	21
第 2 章 电磁波及电磁信号基础 .....	22
2.1 电磁波产生机理 .....	22
2.1.1 麦克斯韦方程组 .....	22
2.1.2 波动方程 .....	25
2.2 天线辐射原理 .....	26
2.2.1 天线辐射基本原理 .....	26
2.2.2 天线性能参数 .....	28
2.2.3 电子信息系统常用天线 .....	30
2.3 电磁信号调制原理 .....	32
2.3.1 电磁信号发射和接收 .....	32
2.3.2 信号的调制 .....	32
2.4 电子信息系统电磁辐射原理 .....	36
2.4.1 发射机的谐波及非谐波辐射 .....	36

2.4.2 非天线辐射 .....	37
参考文献 .....	39
<b>第3章 电磁辐射源及其特性 .....</b>	<b>40</b>
3.1 自然辐射源 .....	40
3.1.1 宇宙辐射 .....	40
3.1.2 静电 .....	41
3.1.3 雷电 .....	43
3.2 人为辐射源 .....	46
3.2.1 民用电子设施 .....	46
3.2.2 电子信息装备 .....	47
3.2.3 高空核电磁脉冲 .....	55
3.2.4 高功率微波 .....	58
参考文献 .....	60
<b>第4章 电磁波及电磁信号传播 .....</b>	<b>61</b>
4.1 传播媒质对电磁波及电磁信号的影响机理 .....	62
4.1.1 传播媒质 .....	62
4.1.2 传播媒质的影响 .....	64
4.2 对流层电磁波传播 .....	66
4.2.1 大气对电磁波传播的影响 .....	66
4.2.2 降雨及其对电磁波传播的影响 .....	72
4.2.3 多径效应及其对电磁波传播的影响 .....	75
4.3 电离层电磁波传播 .....	76
4.4 地(海)面电磁波传播 .....	77
4.4.1 地面对电磁传播的影响 .....	78
4.4.2 海面对电磁传播的影响 .....	88
4.5 系统电磁耦合途径及导体内部传导 .....	89
4.5.1 电磁波及电磁信号的耦合 .....	89
4.5.2 传导干扰信号源 .....	90
4.5.3 传导电磁干扰途径 .....	91
参考文献 .....	92
<b>第5章 复杂电磁环境模拟 .....</b>	<b>94</b>
5.1 模拟手段 .....	94
5.1.1 实装及实物模拟器 .....	95

5.1.2	半实物模拟系统 .....	96
5.1.3	全数字仿真模拟系统 .....	101
5.2	模拟基础设施 .....	102
5.2.1	室外试验场 .....	102
5.2.2	暗室 .....	104
5.2.3	数字仿真中心 .....	106
5.3	复杂电磁环境模拟技术体系 .....	107
5.3.1	技术体系结构 .....	107
5.3.2	复杂电磁环境模拟关键技术 .....	109
5.4	典型半实物混合模拟系统 .....	112
5.4.1	基于监测数据回放的半实物综合模拟体系架构 .....	113
5.4.2	主控分系统设计 .....	114
5.4.3	基于监测数据回放的背景电磁环境模拟分系统设计 .....	114
5.4.4	综合模拟系统工作流程 .....	119
	参考文献 .....	120
<b>第6章</b>	<b>复杂电磁环境效应及其利用 .....</b>	<b>121</b>
6.1	能量效应 .....	121
6.1.1	电磁能量对电子设备元器件的效应 .....	121
6.1.2	电磁能量对易燃易爆物的效应 .....	126
6.1.3	电磁能量对生物的效应 .....	128
6.2	信息效应 .....	131
6.2.1	信息效应产生机理分析 .....	131
6.2.2	信息效应主要表现形式 .....	135
6.3	管控效应 .....	141
6.3.1	管控效应产生原理 .....	141
6.3.2	管控效应产生的条件 .....	144
6.4	电磁环境效应的防护与利用技术 .....	146
6.4.1	电磁环境效应的防护 .....	146
6.4.2	电磁环境效应的利用 .....	153
	参考文献 .....	158
<b>第7章</b>	<b>复杂电磁环境描述、监测和度量 .....</b>	<b>160</b>
7.1	电磁信号环境认知概念模型 .....	161
7.1.1	基本的“六域”模型 .....	161



7.1.2	概念模型的分层结构 .....	162
7.1.3	概念模型的内涵 .....	164
7.2	复杂电磁环境描述 .....	167
7.2.1	实体环境描述 .....	169
7.2.2	信号环境描述 .....	171
7.3	复杂电磁环境监测 .....	175
7.3.1	电磁环境监测基本要素及流程 .....	175
7.3.2	复杂电磁环境监测方法 .....	178
7.3.3	复杂电磁环境监测系统构建 .....	183
7.4	复杂电磁环境度量 .....	188
7.4.1	电磁环境度量需求和问题 .....	189
7.4.2	复杂电磁环境度量现有标准 .....	190
7.4.3	其他复杂电磁环境度量方法 .....	191
	参考文献 .....	203

# 第1章 绪 论

1993年,美国人 Gordan R. Sullivan(戈登·R·沙利文)曾经指出:“现今我们生活的时代是一个充满变革的时代,充满戏剧性和彻底性的变革——政策方面、思想方面,以及技术方面。我们必须适应这种变革,并且我们必须在变革的条件下成长壮大。”这反映了美国对正在兴起的现代信息化技术变革的某种深刻认识和忧患意识。

随着信息化变革的迅猛发展,我们所处的环境已逐渐演变为“陆、海、空、天、电磁”五维一体的立体多维空间环境。在这个立体多维的环境中,各种电子信息系统及其释放的高密度、高强度、多频谱的电磁波,这些电磁设备的辐射和自然界产生的电磁波等构成了日益复杂的电磁环境,它具有电磁场实时改变、频谱无限宽广、能量密度不均、信号样式多样,以及携带信息复杂等特点。而且随着现代社会信息化程度的不断提高,电磁环境对电子信息系统的影响日益严重,而这种影响随着各种电子信息设备的广泛应用,以及人们在日常工作和生活中对电子信息设备依赖程度的日益提高而变得越来越具有危害性。因为电子信息设备的工作效能是以可靠地获取和传输信息、有效地提供各种信息服务为基础的,复杂电磁环境可能使得电子信息设备的信息获取渠道不畅,信息传输变得困难,使雷达设备由“千里眼”变成“近视眼”,使通信系统由“顺风耳”变成“聋子”,大大地增加了获取信息的难度,从而大大降低了相关电子信息系统的应用效能。

因此,在信息化水平高度发达的现代社会,各种通信系统(如移动通信、微波通信、卫星通信、因特网无线接入和传输系统等)、卫星和无线电导航系统、广播电视系统、特殊行业通信系统(如防汛指挥无线通信系统、公安武警调度系统、交通调度系统、铁路调度系统、电力调度系统等)、便携式近程无线通信器材、物联网等电子信息系统的广泛使用,在便利各行各业的同时,也使得各类电子信息系统面临电磁环境的严重影响。

由于电磁环境及其效应对人民生活、社会公共安全以及国防建设的影响日益严重,在电磁学领域对电磁环境研究需求越来越迫切,导致复杂电磁环境研究受到前所未有的广泛关注。针对复杂电磁环境及其影响开展深入研究,对于建立信息化条件下新的电磁环境意识和观念、积极寻求应对复杂电磁环境对电子信息系统影响的解决方案,进一步确立信息化社会信息获取和利用的先手优势,具有决定性的意义。同时,开展复杂电磁环境及其效应的研究对于维护人民生活和公共安全

免受复杂电磁环境的影响也具有重大的现实意义。

本书将分析复杂电磁环境研究的国内外现状和发展趋势,从电磁波及电磁信号基础理论出发,介绍电磁环境中存在的各种电磁辐射源特性及相关传播特性,在此基础上对复杂电磁环境效应研究涉及的复杂电磁环境模拟技术、复杂电磁环境效应及利用技术,以及复杂电磁环境认知理论中的复杂电磁环境描述、监测和度量等内容进行详细的阐述。

## 1.1 复杂电磁环境相关专业术语

### 1.1.1 复杂电磁环境

复杂电磁环境的概念是随着对电磁环境及其效应的研究逐步演变而来的。不同的组织在不同的时期对电磁环境有着不同的定义,如国际电子技术委员会(IEC)中的国际无线电干扰特别委员会(CISPR)将电磁环境定义为:“一个设备、分系统或系统在完成其规定任务时可能遇到的辐射或传导电磁发射电平在不同频段内功率与时间的分布。”美国在1976年将电磁环境定义为:“电子发射体工作的地方。”20世纪80年代又重新定义为:“电子系统或平台在预定工作环境中执行任务时,可能遇到的在各种频率范围内电磁辐射或传导辐射的功率和时间的分布状况。”即使是中国的不同组织和机构,关于电磁环境也有不同的定义,全国科学技术名词审定委员会在船舶工程领域等同采用了IEC关于电磁环境的定义,而国家标准中将电磁环境定义为:“存在于给定场所的所有电磁现象的总和。”以上不同组织的定义虽然在字面上各有不同,但是其核心思想是一样的。首先是将电磁环境限定于某一区域内,“系统或平台”等电子信息设备的工作地点,或是某个“给定的场所”,其次是在这个给定的区域内所有的电磁现象。

随着电子信息技术在生产生活各个领域的广泛应用,空间环境中的电子信息设备日益增多,其辐射的电磁场形成了瞬息万变的电磁环境,而且日益复杂,对置于其中的电子信息设备能够产生难以预料的影响。“复杂电磁环境”概念最早出现在一些特殊的领域,成为各国关注和研究的热点问题。之后,随着信息技术的发展和各种电子设备的普及应用,电磁辐射源数量迅速增长,民用领域也逐渐开始关注“复杂电磁环境”研究。

复杂电磁环境作为客观存在的物理现象,如果对工作于电磁环境中的电子信息设备或系统产生影响,必须具备三个因素:电磁辐射源、传播途径和敏感对象,上述三个方面被称为电磁环境效应的三要素。下面对上述三类因素进行简单的分类。

#### 1. 电磁辐射源

电磁环境中的辐射源种类繁多,有人为和自然的、有意和无意的、对抗和非对

抗的多种电磁辐射源,这些辐射源所辐射出的电磁场综合形成了一个信号密度密集、频谱占有度、时间使用率、功率分布率等电磁特性全部或部分超过正常使用情况的电磁环境。图 1-1 给出了一般电磁环境中的主要辐射源。

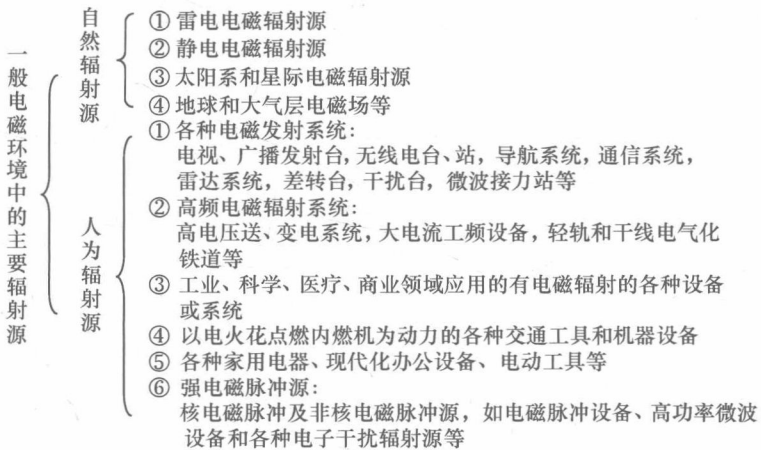


图 1-1 主要电磁辐射源

## 2. 传播途径

传播途径是指辐射源所辐射的电磁能量耦合进入电子信息设备的方式,主要有辐射和传导两种。其中,辐射传播指辐射源所辐射的电磁能量通过辐射的方式到达电子信息设备,经电子信息设备的天线耦合或者由电子信息设备的内外连接线经场线耦合进入电子信息设备内部的方式。传导传播主要指辐射源所辐射的电磁能量通过辐射源与电子信息设备与外界之间的连接线进入电子信息设备的方式,传播途径示意图如图 1-2 所示。

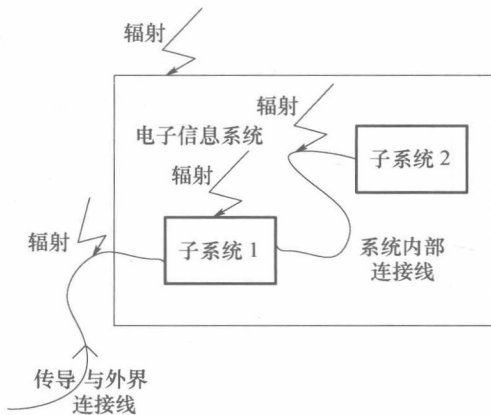


图 1-2 传播途径示意图

辐射传播的传播过程就是电磁场与传播路径中的不同媒质相互作用的过程。电磁波从辐射源辐射出来以后,如何传播、如何分布均取决于传播路径中的媒质,在电磁场的激励下,媒质产生极化、磁化等各种效应,这些效应同时又反作用于电磁场,因此,电磁波的传播特性即与其本身的特征,如场的极化、频率有关,又与媒质的特性,如电参数(如电导率、磁导率、介电常数)等有关。

电磁波的频谱范围非常宽,从几十赫兹到 3000GHz 左右(波长从几十兆米到 0.1mm),电磁波频率决定了其传播方式,电磁波的传播方式主要有天波传播、地波传播、视距传播等。短波频率以下主要以地波方式传播;短波主要以天波方式传播;微波频率以上的主要通过视距的方式传播。

### 3. 敏感对象

复杂电磁环境的敏感对象主要是各种电子信息系统,包括各类用频和非用频系统。用频系统是指通过天线接收电磁信号工作的系统,如雷达、电台等;非用频系统是指没有天线,但是内部的电子系统通过传输电磁信号或电子信息进行工作的系统,如计算机、电子设备等。另外,复杂电磁环境对电子信息系统的影响还体现在对人员的影响上,电磁环境的场效应、热效应等物理效应对操作人员的生理和心理的影响,会导致对电子信息系统的操作及运用规律的改变,这里不作为讨论重点。图 1-3 给出了复杂电磁环境中的敏感对象。

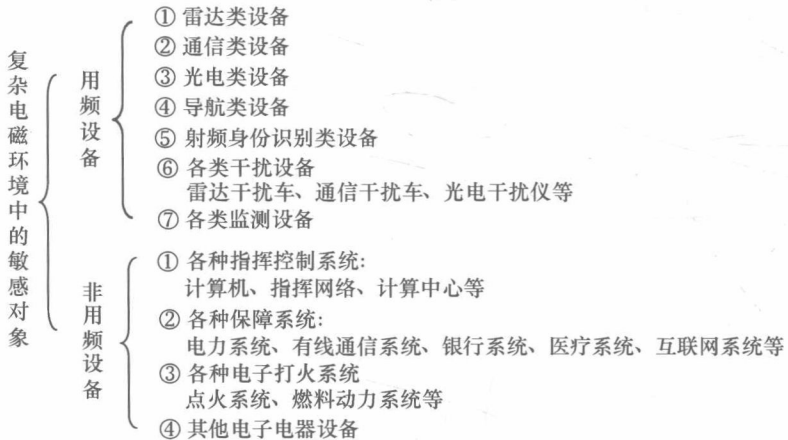


图 1-3 复杂电磁环境中的敏感对象

## 1.1.2 复杂电磁环境效应

“效应”一词在一定的条件下可理解为:由某种动因或原因所产生的一种特定的科学现象,因此,复杂电磁环境效应可以简单地定义为复杂电磁环境对处于其中的人员、设备、系统等作用对象所造成的各种影响。复杂电磁环境效应所包含的学

科内容是随着电磁环境的变化不断演进的,目前,除了包括电子对抗、电磁兼容、电磁干扰、电磁易损性、电磁脉冲效应等所有的电磁学科外,随着信息对抗技术的发展与应用,信息科学、复杂性科学、非线性科学、系统科学等学科也纳入了复杂电磁环境效应研究的学科内容。

在我国相关国家标准的电磁环境术语中对电磁环境效应的定义是:构成电磁环境的电磁辐射源通过电磁场或电磁波对装备或生物体的作用效果。复杂电磁环境效应产生影响的物理基础主要来源于以下几个方面。

### 1. 电磁场直接作用

电磁场直接作用通常发生在电子信息系统的微电子器件或电子电路上,强电场可使 MOS 场效应器件的栅氧化层击穿或金属化线间介质击穿,干扰电子设备的正常工作;强磁场使电磁能量可直接耦合到系统内部,造成电路失效,而且可形成潜在性损伤,对许多测试仪器和敏感电路的可靠性造成影响,甚至使局部部件永久损坏。

例如,超大功率辐射源产生的强电场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;强电磁脉冲及其浪涌效应对信息化设备造成硬损伤或软损伤,既可以造成器件或电路的性能参数劣化或完全失效,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。

### 2. 能量转化作用

能量转化作用是指在接触电子信息系统和生物体的过程中,电磁能量转化为热能、动能等形式进行电磁危害、干扰或损伤的作用。能量转化作用通常在能量的直接作用后发生,与直接的电磁作用通常很难完全分离,但是,在某些不发生电磁能量直接作用的情况下也会发生。

举例来说,如高功率电磁脉冲产生的热效应一般是在纳秒(ns)或微秒( $\mu\text{s}$ )量级完成的,是一种绝热过程,瞬时可引起易燃、易爆气体或电火工品爆炸;可使系统中的微电子器件、电磁敏感电路过热,造成局部热损伤,电路性能变坏或失效,甚至导致库存物资燃烧爆炸;还可使得电磁环境中的生物产生烧伤等病变。

### 3. 信号和信息作用

信号和信息作用是指电磁场或电磁信号进入电子信息系统,通过信号处理环节、数据处理环节、信息处理环节、信息传递环节、信息利用与控制等环节影响电子、电器系统内部传递的信号、数据及信息的稳定性和可信度,导致电子信息系统的性能和工作效能降低。

信号和信息作用是以能量为载体的,但是可以独立于能量作用单独存在。例如,欺骗干扰要获得干扰效果,干扰信号的能量必须大于接收机的灵敏度才能进入接收机及后续的信号处理环节,并在指挥控制系统的参与下形成信息效应及控制效应。

前两种物理基础导致一般的电磁环境效应,在第三种物理基础上形成的电磁环境效应是复杂电磁环境特有的效应。对于前两种效应来说,主要还是能量效应。随着电子信息技术的发展,电磁场作为各种信息的载体出现,当信息进入电子信息系统的信息链路中时,对电子信息系统产生欺骗、干扰、破坏,甚至管控的结果,主要是“软损伤”效果。目前,随着各类电子信息系统应用越来越广泛和有意争夺制电磁权的活动越来越激烈,信息效应已经越来越引起人们的重视,在信息效应的防护与应用方面的研究日趋广泛深入。

### 1.1.3 复杂电磁环境模拟

复杂电磁环境模拟在复杂电磁环境认知的基础上,基于一定的模拟设施和模拟系统,通过各种模拟技术的综合利用,实现复杂电磁环境的生成和再现。在针对具体被试设备模拟复杂电磁环境时,必须针对该被试设备具体的应用背景,综合考虑复杂电磁环境的时、空、频、能等综合特性,才能模拟不同规模的、贴近实际的、典型背景下的复杂电磁环境。总的来说,复杂电磁环境模拟具有逼真性、动态性和安全性的要求。

由于电子信息设备研制、试验与评估的需要,复杂电磁环境模拟常被称为复杂电磁环境构建,根据不同的任务需求模拟各种类型的电磁环境。复杂电磁环境是信息化时代的重要特征之一,因此开展复杂电磁环境下的电子信息系统试验、鉴定与评估具有重大意义。复杂电磁环境模拟的对象是指特定区域内用频设备产生的电磁信号所构成的各类电磁信号环境,主要包括通信环境、雷达环境、光电环境、电子对抗环境、网络电磁环境等。

复杂电磁环境模拟以电磁环境要素模拟为前提,电磁环境要素指的是电磁环境中对电磁环境本身及电子信息系统的性能和应用效能有影响的、具有典型属性特征的、相对独立的元素。我国相关国家标准中将复杂电磁环境要素定义为对构成复杂电磁环境的各种因素的一种描述。这些因素包括各种特殊用频设备的辐射、常用电子设备的辐射以及自然电磁辐射,辐射源之间因为信息交互关系形成辐射信号之间的关联关系,以及辐射在空间的电磁波和采取注入方式进入电子信息系统接收前端的电磁信号经历的传播过程。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 电磁环境研究的历史沿革

早在两千多年前,人们就发现了电现象和磁现象,而真正认识和应用电磁的历史严格来说仅有一百多年。电磁现象是大自然最重要的现象之一,也是最早被关

心和研究的物理现象,最重要的标志是 1865 年,英国物理学家麦克斯韦创立了统一的电磁理论,预言了电磁波的存在。

1881 年,西维赛德撰写的一篇《论干扰》的文章拉开了人们关于电磁环境影响研究的序幕,之后 1887 年,德国柏林电气协会成立了包括赫姆霍兹、西门子等成员在内的全国干扰问题研究会。1888 年,海因里希·鲁道夫·赫兹在实验室制造并测得电磁波,指出了各种打火系统向空间发射电磁骚扰,从此开始了对电磁干扰及电磁环境问题的研究。1900 年,马可尼为其“调谐式无线电报”取得了发明专利,但是那时候的无线电接收机和天线非常粗糙,很容易受到外部射频和自身干扰源产生的电磁环境的干扰。因此到了 1920 年左右,在各种杂志上出现了多种关于无线电干扰的技术文章。此后,由于设计技术的提高,此类电磁环境的问题得到了解决。

但是到了 1930 年左右,随着电磁技术在电动机、电力设备、电气化铁路更加广泛的应用,由各种电器设备产生的电磁环境带来的电磁干扰问题,以及电磁环境效应问题迅速成为研究的关注热点,其中电磁干扰问题作为电磁环境效应的一个主要问题被广泛研究,并且引起了当时多个工业先进国家的重视。20 世纪 20 年代后成立了很多相应的国际组织,包括国际电信联盟(International Telecommunication Union,ITU)、国际电工委员会(IEC)及其下属的国际无线电干扰特别委员会(International Special Committee on Radio Interference,CISPR)等。1934 年,CISPR 在巴黎举行了第一次正式会议,从此开始了对电磁环境干扰及其效应控制技术的世界性的有组织的研究。1946 年,CISPR 在伦敦召开了会议,并在此之后的一系列会议中形成了各种文件,讨论了测量技术及电磁环境发射的极限值。很多欧洲国家采用了 CISPR 建议的电磁环境限值的不同版本。现行电磁环境相关的国际标准组织如下。

### 1. 国际电信联盟(International Telecommunication Union,ITU)

ITU 是联合国的一个专门机构,在电波传播等领域公布了大量国际标准,并被广泛应用。其宗旨是:维持和扩大国际合作,以改进和合理地使用电信资源;促进新技术的发展和运用,扩大技术设施的用途,以提高电信业务的效率;促进电信业务在全球普遍使用,协调各国行动。

国际无线电咨询委员会(CCIR)是 ITU 的一个下属机构,其职责是研究与无线电通信有关的技术和运营问题。承担的主要研究工作是:频谱利用和监测、空间探测和射电天文、电波传播、卫星通信等。

### 2. 国际电工委员会(International Electrotechnical Commission,IEC)

IEC 是世界上成立最早的非政府性国际电工标准化机构,是联合国经社理事会(ECOSOC)的甲级咨询组织。承担研究工作的主要是:电磁兼容咨询委员会(ACEC)、无线电干扰特别委员会(CISPR)、电磁兼容技术委员会(TC77)。

### 3. 国际无线电科学联盟(International Union of Radio Science,URSI)

URSI 是国际科学联合会(ISCU)的组成机构,有 10 个委员会,其中 E 委员会



是电磁环境与干扰委员会,进行天然和人为噪声源的基础研究,把电磁环境作为一个整体,研究电磁环境对通信系统的影响。与 ITU 建立了联合机构 URSI - ITU,研究的重点是电磁干扰与电磁频谱的利用。

4. 美国电气电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)

IEEE 是全美规模最大的专业学会。

5. 美国国家标准学会(American National Standards Institute, ANSI)

ANSI 是非营利性质的民间标准化团体,是美国国家标准化中心。

6. 欧洲电信标准化协会(Institute of European Telecommunication Standard, ETSI)

ETSI 于 1988 年由欧共体委员会批准建立的非营利性的电信标准化组织。

7. 欧洲电工技术标准化委员会(CENELEC)

CENELEC 成立于 1973 年,是得到欧共体认可的,在电工领域按照欧共体 83/189/EEC 指令开展标准化活动的非营利组织。

美国自 1945 年开始,颁布了一系列电磁兼容方面的军用标准和设计规范,并不断地加以充实和完善,使得电磁兼容技术进入新的阶段。20 世纪 60 年代以来,现代科学技术向高频、高速、高灵敏度、高安装密度、高集成度、高可靠性方向发展,其应用范围越来越广,渗透到了社会的每一个角落。大规模集成电路的出现把人类带入信息时代,近年来信息高速公路和高速计算机技术成为人类社会生产和生活水平的主导技术,同时也由于航空工业、航天工业、造船工业以及其他国家安全工业的需要,使得电磁环境效应研究获得空前的大发展。美国在 20 世纪 60 年代建立了 MIL - STD - 461,并予以实施且保证“信息活动的成功”,从此以后,逐步建立起了包含基础标准、要求标准、设计和防护标准、测量/验证方法标准、管理标准以及指南和手册在内的电磁环境效应标准体系。1999 年,美国颁布新的行业标准 MIL - STD - 461E《电磁干扰和敏感度控制要求》,随后在 2007 年又颁布了其修订版 MIL - STD - 461F。该系列标准对于美国在复杂电磁环境下电子信息设备的电磁环境效应研究的组织实施提出了设计思路和工程应用指南。

1991 年的美国政府报告(AD - A243367)中强调集成化后勤保障工作应十分重视电子信息系统的电磁环境效应,并明确指出在现代电子工业和后勤保障中应考虑电磁环境效应有 14 种,包括静电放电(ESD)、电磁兼容性(EMC)、电磁敏感性(EMS)、电磁辐射危害、雷电(Lightning)效应、电子对抗(ECM)、干扰/阻断、电磁干扰(EMI)、电磁易损性(EMV)、电磁脉冲(EMP)、射频能的威胁、电子战(EW)、高能微波(HPM)和元件间的干扰。

1997 年 3 月,美国发布了行业标准 MIL - STD - 464《系统电磁环境效应的要求》,该标准替代了美国 MIL - STD - 1818A《系统电磁效应要求》(1993. 10)、MIL - E - 6051D《系统电磁兼容性要求》(1967. 9)、MIL - B - 5087B《航空航天系统的电