

战场电磁环境建模与仿真

■ 李修和 等著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

014056729

E869-39
03

内容简介

战场电磁环境建模与仿真

李修和 等著



E869-39
03

国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1741854

0140282520

内 容 简 介

本书围绕战场电磁环境建模与仿真这条主线,区分“理论支撑、方法指导、技术实现和系统实践”四个研究层次,重点阐述了战场电磁环境建模与仿真概念的内涵,提出了战场电磁环境建模与仿真的共性方法和通用技术,实现了对电磁信号环境的定量描述,电磁环境特征表现和影响机理、战场电磁兼容及电磁环境综合效应的建模与仿真,讨论了战场电磁环境效应评估系统的设计、开发与应用。

本书适合于武器装备电磁环境适应性检验和军事训练战场电磁环境建设等领域研究与工程技术人员阅读,也可作为高等院校战场环境学、军事装备学、军事运筹学、武器系统工程和系统仿真等相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

战场电磁环境建模与仿真 / 李修和等著. —北京:
国防工业出版社, 2014. 8
ISBN 978 - 7 - 118 - 09498 - 5

I. ①战... II. ①李... III. ①电子对抗 - 作战模拟 -
系统建模 - 研究②电子对抗 - 作战模拟 - 系统仿真 - 研究
IV. ①E869 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 134200 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 22 字数 439 千字

2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 69.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

编审人员

著 作 者 李修和 刘宏生 沈 阳 薛 磊 徐 英
欧阳志宏 郭 强 丁 锋 李 勇 马 奎
张 帆 桂 树 房朝辉
主 审 刘庆国 单吉锋

序

随着战争形态的演进,战场环境内涵发生了深刻变化,电磁环境已成为影响武器装备效能发挥和部队作战能力生成的核心要素。实践表明,事关如何科学把握战场电磁环境内涵,如何客观描述战场电磁环境特征,如何准确评估电磁环境影响以及如何有效提出应对战场电磁环境策略的问题,已经成为制约复杂电磁环境下军事训练与装备试验的有效开展和深入推进的瓶颈,必须尽快在复杂电磁环境的基础理论、方法指导、关键技术和应用实践等各层面寻求突破。由于电磁环境的无形性、动态性和对抗性,用建模与仿真方法深入研究战场电磁环境的相关问题不失为一种好的研究途径和解决方法。通过认真研读,我深感本书有如下突出特点:

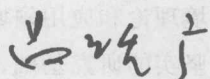
一是紧贴需求,特色鲜明。本书的作者及团队自2007年以来一直承担战场电磁环境理论和应用领域的重大科研任务,长期从事战场电磁环境相关研究工作,具备了坚实的研究基础,积累了丰富的实践经验。凭借作者在战场电磁环境研究领域的专业优势,本书从当前部队在军事训练、装备试验、作战指挥和院校教学等方面的现实需求出发,在梳理整合已有研究成果的基础上,通过积极探索和深入研究,在战场电磁环境建模与仿真的基础理论、模型算法、仿真技术和实践应用等层面提出了研究思路,构建了研究体系,突破了技术瓶颈,必将引领战场电磁环境研究工作向更深层面迈进。

二是覆盖面广,内容丰富。本书研究内容纵贯理论基础、建模方法、仿真技术和系统开发四个层次,涵盖电磁环境信号样式、电磁环境表现特征和影响机理、战场电磁兼容和电磁环境综合效应等内容。重点研究了战场电磁环境跨层建模和分布式虚拟仿真等建模仿真方法,从模型建立、仿真实现和应用分析角度对电磁环境信号样式、表现特征和影响机理、战场电磁兼容和电磁环境综合效应等研究对象分别进行了深入系统研究,并运用柔性仿真技术对战场电磁环境效应评估系统的开发和应用问题进行了系统研究,形成了较为科学、完备的战场电磁环境建模与仿真理论和技术体系。

三是说理透彻,成果实用。在撰写过程中,作者注意瞄准国内外前沿动态,参

考了大量的最新研究成果,强调运用主流的建模与仿真方法技术研究战场电磁环境问题,更加注重理论方法与应用实践的实际结合,把论证分析、技术推理与实践应用紧密结合,其研究成果具备了很高的前沿性、先进性和操作性。

综上所述,本书作者以前瞻眼光和敏锐意识,紧密追踪战场电磁环境发展前沿,综合集成多年来在电磁环境领域理论研究和实践探索的成果,在战场电磁环境研究工作向实践应用领域深入拓展之时,及时推出了这部专著,做了一件非常有意义的事。该书瞄准当前对电磁环境“认识浅、描述难、评估少”等突出问题,从现实需求出发,运用科学先进的研究手段剖析战场电磁环境问题,反映了战场电磁环境建模与仿真领域最新的研究成果,突出解决了战场电磁环境研究领域的热点和难点问题。我相信,它的出版发行,对于深化战场电磁环境认识,丰富相关研究机构战场电磁环境科研手段,推动复杂电磁环境下军事训练、国防建设和装备试验等实践工作深入进行,进一步培养电磁威胁意识,提高武器装备电磁环境适应能力和人员电磁环境应对处置能力,促进信息化武器装备效能发挥和部队体系化作战能力提升,都将起到积极的作用。

中国工程院院士 

前 言

随着电子信息技术在军事领域的广泛应用以及军队信息化建设进程的加快,人为和自然的、敌方和我方的、对抗和非对抗的各种电磁信号充斥于作战空间,作战双方在电磁空间内展开激烈对抗,综合形成了一个复杂密集、动态变幻的战场电磁环境。作为信息化条件下作战环境中最具时代特征的战场要素,战场电磁环境的出现与发展促使作战环境内涵发生了深刻变化。

近年来,我们在从事战场电磁环境研究和实践工作的过程中,深切体会到战场电磁环境的研究作为一个崭新的课题,牵涉面极广,在理论、实践探索的条件和积累上都相对缺乏和不足。战场电磁环境研究的内容横跨电磁学、军事学、信息学、环境学、运筹仿真学、计算机应用和复杂性科学等多个学科领域,贯穿战术、战役和战略各层次,涉及作战指挥、信息对抗、作战实验、军事运筹和军事地理等多领域,渗透作战训练、装备发展和战场建设各个方面,由此决定了对它的研究极具挑战性、创新性、综合性、艰巨性及长期性和长效性,不能期望一蹴而就。从目前情况看,对战场电磁环境进行系统、完全的掌控还尚有难度,“如何科学认识、客观描述和准确评估战场电磁环境”已成为制约战场电磁环境相关实践工作深入进行的瓶颈问题,有许多问题需要回答,急需进一步深化研究。

从系统论和复杂性科学的角度来看,战场电磁环境是由多层次、相互作用的多种要素形成,并具有整体涌现性、非线性、不确定性和共同演化等复杂系统特征的典型复杂系统。采用建模与仿真的方法,开展对战场电磁环境复杂系统的内涵性质、特征机理和综合效应的研究,可以从中剖析出战场电磁环境深层次的规律和特点,以便提出有效的应对之策。

本书在借鉴吸收已有研究成果的基础上,结合近年来我军开展复杂电磁环境实践活动的有益经验,整理、总结并吸收我们及有关单位在电磁环境构建、电磁态势显示、复杂度评估、训练效果评估、训练模拟软件及训练系统研发、国家军用标准制定等方面取得的成果,力争体现特色,反映具有自主创新性的研究成果。全书经历了学术准备、纲目拟定、分工撰写、集中统稿、审定修改等过程,以电磁活动为逻辑起点,围绕战场电磁环境建模仿真这条主线,区分“理论支撑、方法指导、技术实现、系统实践”四个研究层次,包含“电磁环境信号描述、电磁环境表现特征和影响

机理、战场电磁兼容和电磁环境综合效应”四个研究内容逐层逐项展开系统论述和研究。

理论支撑层主要阐述对战场电磁环境建模与仿真基本概念的认识,涉及第1章。界定了战场电磁环境建模与仿真相关的概念,阐述了战场电磁环境建模与仿真的目的意义,分析了战场电磁环境建模与仿真的现状。

方法指导层主要提出战场电磁环境建模与仿真的一般共性方法和技术,包括第2、3章。结合战场电磁环境建模原则,分析了战场电磁环境建模方法,并对战场电磁环境建模和仿真进行了验证;梳理了战场电磁环境分布式虚拟仿真的关键技术,设计了战场电磁环境分布式虚拟仿真的系统结构,研究了战场电磁态势视景仿真方法。

技术实现层主要对电磁信号环境描述、电磁环境表现特征和影响机理、战场电磁兼容和电磁环境综合效应进行建模与仿真研究,包括第4~7章。针对不同类型和功能的战场典型电子装备,研究了战场雷达电磁环境数学建模与仿真、战场通信电磁环境数学建模与仿真和战场光电电磁环境数学建模;从战场电磁环境的特征机理入手,研究了战场电磁环境的表现特征建模、复杂本质建模和威胁机理建模;着眼于战场电磁兼容的实际需求,研究了战场电磁兼容预测分析方法和模型;立足于电磁环境效应分析问题,研究了战场电磁环境效应的内涵与外延,建立了典型电子装备电磁环境效应模型以及典型作战行动电磁环境效应模型。

系统实践层主要是对战场电磁环境效应评估系统的设计、开发与应用进行研究,涉及第8章。运用内场仿真系统与外场应用系统信息铰链的方法,对武器装备适应性检验与部队实兵对抗训练评估系统进行一体化设计,实现了基于柔性仿真的战场电磁环境效应评估系统。

本书是作者所在团队在战场电磁环境领域研究成果和实践经验的总结与升华,对于认识、掌控和应用电磁环境及相关问题等均具有一定帮助。本书内容的研究得到了武器装备预研重点基金项目(9140A33020112JB39085)的资助,特表示衷心的感谢。此外,本书援引参考了许多相关文献资料和研究成果,由于篇幅所限,未能一一列出,在此一并致谢。

战场电磁环境本身以及对它的建模仿真研究都还处于动态发展中,限于我们的实践条件、认识水平和研究能力,书中疏漏、不妥甚至错误之处实属难免,恳请读者和各位同仁批评指正。

作者

2014年4月

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 战场电磁环境概述 | 1 |
| 1.1.1 战场电磁环境的概念 | 1 |
| 1.1.2 战场电磁环境的构成要素 | 2 |
| 1.2 战场电磁环境建模与仿真概述 | 10 |
| 1.2.1 战场电磁环境建模与仿真概念 | 10 |
| 1.2.2 战场电磁环境建模与仿真需求 | 11 |
| 1.2.3 战场电磁环境建模与仿真的目的 | 13 |
| 1.2.4 战场电磁环境建模与仿真的现状及发展趋势 | 17 |
| 1.3 本书主要内容及结构安排 | 21 |
| 第 2 章 战场电磁环境建模方法 | 23 |
| 2.1 战场电磁环境建模基础 | 23 |
| 2.1.1 建模原则 | 23 |
| 2.1.2 建模信息源 | 24 |
| 2.1.3 建模途径 | 25 |
| 2.1.4 模型可信性 | 26 |
| 2.2 战场电磁环境跨层次建模方法 | 27 |
| 2.2.1 问题分析 | 27 |
| 2.2.2 相关建模方法 | 30 |
| 2.2.3 跨层次建模方法 | 32 |
| 2.3 战场电磁环境建模与仿真的验证 | 37 |
| 2.3.1 建模与仿真的验证、确认和认定 | 37 |
| 2.3.2 模型验证方案设计 | 39 |
| 2.3.3 战场电磁环境仿真模型的验证、确认和认定 | 44 |
| 第 3 章 战场电磁环境分布式虚拟仿真方法 | 47 |
| 3.1 战场电磁环境分布式虚拟仿真技术 | 47 |

| | | |
|------------|----------------------------|------------|
| 3.1.1 | 概念内涵 | 47 |
| 3.1.2 | 分布式虚拟仿真技术 | 49 |
| 3.1.3 | 虚拟可视化技术 | 51 |
| 3.1.4 | 战场电磁态势感知技术 | 51 |
| 3.2 | 战场电磁环境分布式虚拟仿真系统结构 | 52 |
| 3.2.1 | 分布交互仿真高层体系结构 | 52 |
| 3.2.2 | 战场电磁环境分布式仿真联邦设计与开发 | 56 |
| 3.3 | 战场电磁态势视景仿真 | 65 |
| 3.3.1 | 战场电磁环境视景仿真需求分析 | 65 |
| 3.3.2 | 战场电磁环境视景仿真联邦成员组成 | 73 |
| 3.3.3 | 作战实体态势实现方法 | 73 |
| 3.3.4 | 环境特征态势实现方法 | 82 |
| 3.3.5 | 电子装备效应态势实现方法 | 83 |
| 第4章 | 战场典型电子装备电磁环境数学建模与仿真 | 91 |
| 4.1 | 战场雷达电磁环境数学建模与仿真 | 91 |
| 4.1.1 | 雷达信号建模与仿真 | 92 |
| 4.1.2 | 雷达干扰信号建模与仿真 | 98 |
| 4.1.3 | 杂波信号建模与仿真 | 118 |
| 4.2 | 战场通信电磁环境数学建模与仿真 | 123 |
| 4.2.1 | 通信信号数学建模与仿真 | 124 |
| 4.2.2 | 通信干扰信号数学建模与仿真 | 145 |
| 4.3 | 战场光电电磁环境数学建模 | 155 |
| 4.3.1 | 光电目标信号数学建模 | 156 |
| 4.3.2 | 光电干扰信号数学建模 | 164 |
| 4.3.3 | 光电背景信号数学建模 | 168 |
| 第5章 | 战场电磁环境特征机理建模 | 170 |
| 5.1 | 战场电磁环境表征建模 | 171 |
| 5.1.1 | 电磁环境外在特征分析 | 171 |
| 5.1.2 | 空域特征分析与建模 | 172 |
| 5.1.3 | 时域特征分析与建模 | 174 |
| 5.1.4 | 频域特征分析与建模 | 177 |
| 5.1.5 | 能域特征分析与建模 | 180 |

| | | |
|------------|---------------------|------------|
| 5.2 | 战场电磁环境复杂性特征建模 | 182 |
| 5.2.1 | 战场电磁环境复杂性特征分析 | 182 |
| 5.2.2 | 战场电磁环境复杂性评估建模 | 186 |
| 5.3 | 战场电磁环境威胁机理建模 | 191 |
| 5.3.1 | 电磁环境威胁机理分析 | 191 |
| 5.3.2 | 电磁环境相关性建模 | 192 |
| 5.3.3 | 电磁环境威胁性评估建模 | 195 |
| 第6章 | 战场电磁兼容预测分析建模 | 197 |
| 6.1 | 战场电磁兼容预测分析内涵 | 198 |
| 6.1.1 | 战场电磁兼容的概念 | 198 |
| 6.1.2 | 战场电磁兼容预测分析内容 | 201 |
| 6.2 | 战场电磁兼容预测分析方法 | 202 |
| 6.2.1 | 战场电磁兼容方程建立 | 203 |
| 6.2.2 | 战场电磁兼容预测参数分析 | 204 |
| 6.2.3 | 电磁干扰预测方法 | 207 |
| 6.2.4 | 战场电磁兼容评估指标 | 209 |
| 6.3 | 战场电磁兼容预测分析模型 | 212 |
| 6.3.1 | 电磁干扰辐射源模型 | 213 |
| 6.3.2 | 传输耦合途径模型 | 217 |
| 6.3.3 | 敏感设备模型 | 232 |
| 第7章 | 战场电磁环境综合效应建模 | 239 |
| 7.1 | 电磁环境效应分析 | 239 |
| 7.1.1 | 电磁环境效应内涵 | 241 |
| 7.1.2 | 典型装备电磁环境效应分析 | 244 |
| 7.1.3 | 典型作战行动电磁环境效应分析 | 249 |
| 7.2 | 电子装备电磁环境效应建模 | 259 |
| 7.2.1 | 通信装备电磁环境效应模型 | 259 |
| 7.2.2 | 雷达装备电磁环境效应模型 | 262 |
| 7.2.3 | 光电装备电磁环境效应模型 | 268 |
| 7.2.4 | 电子对抗装备电磁环境效应模型 | 273 |
| 7.3 | 典型作战行动电磁环境效应建模 | 286 |
| 7.3.1 | 侦察预警行动电磁环境效应模型 | 286 |

| | | |
|-------------|---------------------------------------|------------|
| 7.3.2 | 指挥控制行动电磁环境效应模型 | 289 |
| 7.3.3 | 火力打击行动电磁环境效应模型 | 292 |
| 7.3.4 | 生存防护行动电磁环境效应模型 | 294 |
| 第8章 | 基于柔性仿真的战场电磁环境效应评估系统开发与应用 | 297 |
| 8.1 | 总体设计思想 | 297 |
| 8.2 | 总体设计要求 | 298 |
| 8.3 | 系统功能设计 | 299 |
| 8.3.1 | 框架结构 | 299 |
| 8.3.2 | 信息处理流程 | 299 |
| 8.3.3 | 接口设计 | 299 |
| 8.4 | 系统软件设计 | 303 |
| 8.4.1 | 柔性仿真方法 | 303 |
| 8.4.2 | 基于柔性仿真技术的系统设计 | 305 |
| 8.4.3 | 系统功能模块设计 | 309 |
| 8.5 | 系统应用分析 | 319 |
| 8.5.1 | 装备效应评估应用 | 319 |
| 8.5.2 | 行动效应评估应用 | 321 |
| 8.5.3 | 电磁态势评估应用 | 325 |
| 8.5.4 | 战场电磁兼容评估应用 | 330 |
| 8.5.5 | 网上对抗模拟训练应用 | 333 |
| 参考文献 | | 335 |

第1章 绪 论

随着信息技术的迅猛发展及其在军事领域的广泛应用,电磁环境已成为信息化战场的核心环境要素,成为未来信息化条件下作战必须考虑的因素之一。伴随军事训练和装备试验等实践工作的深入推进,战场电磁环境研究正在应用层面向深层次拓展,如何科学把握战场电磁环境内涵,如何客观描述战场电磁环境特征,如何准确评估电磁环境影响等现实问题,事关复杂电磁环境下军事训练和装备试验的有效开展和深入推进,必须尽快在基础理论、方法技术和应用实践等各层面寻求突破。由于电磁环境的无形性、动态性和对抗性,用建模与仿真方法深入研究战场电磁环境的相关问题不失为一种好的研究途径和解决方法。

1.1 战场电磁环境概述

1.1.1 战场电磁环境的概念

战场电磁环境是一定的战场空间内对作战有影响的电磁环境。战场电磁环境与电磁环境的定义是一致的,所不同的是战场电磁环境定义的区域是战场空间,以军事电磁活动为主要构成,同时强调了对作战活动的影响性。所以:首先,它是一种电磁环境;其次,它局限在战场范围内,而且是对作战行动有影响的。不满足上述条件的电磁环境就不能称为战场电磁环境。它是一定战场空间内,包括自然电磁辐射和军用、民用电子装备所产生的电磁辐射在内的,对武器装备使用和部队作战行动有重要影响的各种电磁现象的总和。

战场电磁环境是电磁环境的一种,是电磁环境在战场上的表现。战场电磁环境研究的是在一定的战场空间中的电磁环境。具体地说,它是特定战场时空范围内的各种类型电磁辐射源、电磁波传播介质、电磁波接收设备和对电磁波敏感设备,通过电磁波的辐射、传导和接收,形成的相互作用和影响的特殊战场环境。这个空间依据作战区域在地理空间中的分布和大小而不同,如可区分为陆上、海上、水下、空中、太空战场电磁环境等。

战场电磁环境是现代战场环境的重要组成部分。战场环境是以作战活动为主体的外部世界,是战场及其周围对作战活动和作战效果有影响的各种因素与条件的通称。在人类几千年的战争史里,战场环境主要包括地形、气象、水文等自然环境,以及人口、民族、交通、建筑、工农业生产、社会等人文环境,和国防工程、作战物资储备等战场的情况,作战考虑的环境因素当然也离不开这些。当今人类进行战

争的自然环境没有太大的变化,气象、水文也没有大的改变,但一个无形的电磁环境从电磁空间的电磁现象与人、装备的相互影响中显现出来,并居于与传统战场环境因素同等重要且日趋突出的地位。

战场电磁环境是战场所有电磁能量共同作用形成的复合体。按划分角度不同,可分为人为的和自然的,有意的和无意的,军用的和民用的,敌方的和己方的,对抗的和非对抗的因素。这其中,来自人为的、有意的、军用的、敌方的、对抗性的因素,如通信、雷达、精确制导、电子对抗等,是占主导地位的因素,也是战场电磁环境区别于其他电磁环境的基本特征。它对作战活动的影响是主要的,难以控制和适应的,而且往往与其他军事行动有紧密的联系,并贯穿于作战行动的全过程,需要指挥员予以重点关注,采取管控、协同、攻防等综合措施最大限度地降低这些因素所造成的电磁环境影响程度。

战场电磁环境强调对军事行动的影响。由于电磁波已经成为当代战场信息的重要媒介和最佳载体,联合作战、体系对抗、精确打击所依赖的信息获取、传递、控制、干扰等,绝大部分要通过电磁波这个媒介完成,战场电磁环境也就无时不在地影响制约着侦察预警、目标判别火力打击、效果评估各个环节的作战效果。电磁环境事实上已经上升为信息化战场上最复杂的环境要素,成为从根本上决定和影响其他战场环境要素发挥作用的关键。可以说,未来作战对战场环境的适应与否,集中体现在对电磁环境的适应上。不具备复杂的战场电磁环境下作战的能力,将难以赢得胜利。

1.1.2 战场电磁环境的构成要素

对任何事物的认识,不仅要知道它的定义和内涵,还要知道其结构和构成要素,这是适应并加以利用的基础,对战场电磁环境也不例外。目前,对战场电磁环境构成要素的划分方法包括两种,即按形成机理划分和按军事应用划分。

1.1.2.1 按形成机理划分

分析战场电磁环境的性质和形成机理,可以认为战场电磁环境主要由自然电磁辐射、人为电磁辐射和辐射传播因素三个部分组成。人为电磁辐射是由人为使用电气设备向空间辐射电磁能量的电磁辐射,与人为电磁环境相对应,自然电磁辐射是非人为因素产生的电磁辐射。自然电磁辐射和人为电磁辐射反映战场电磁环境的形成条件,也是控制战场电磁环境的内因。人为电磁辐射是战场电磁环境的主体,包括各种电磁应用活动形成的有意电磁辐射以及无意电磁辐射,一般情况下,人为电磁辐射比自然电磁辐射对电磁环境的影响更为严重。人为电磁辐射中,有意电磁辐射又是战场电磁环境的核心影响因素,对战场电磁环境的形成和发展起着决定作用。辐射传播因素反映电磁辐射传播属性的变化,对人为电磁辐射和自然电磁辐射都会发生作用,从而改变电磁环境的形态,它是控制战场电磁环境的外因。可以将复杂电磁环境的构成概括如图 1-1 所示。从形成机理的角度看,自

然电磁辐射、民用电磁辐射、军用电磁辐射和辐射传播因素是必须重点考虑的战场电磁环境因素。

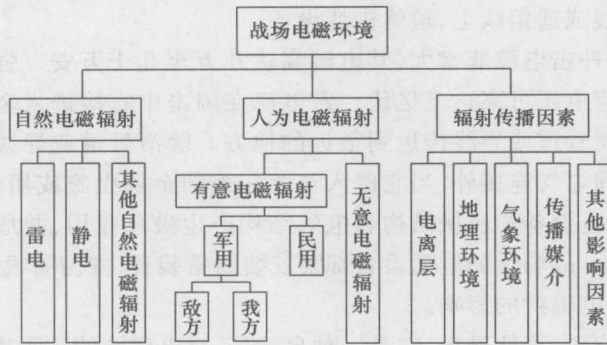


图 1-1 战场电磁环境构成示意图

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,包括静电、雷电、地磁场、太阳黑子活动、宇宙射线等产生的电磁辐射。在电子信息装备研制、发展和使用的初期,自然电磁辐射因素对装备影响并不会引起人们的十分关注。随着信息技术的发展,电子信息装备的灵敏度越来越高,自然电磁环境对电子信息装备的制约和影响也越来越明显。这些自然电磁辐射对电磁环境的影响通常是短时突发的,难以准确预见,对武器装备的影响效果往往是巨大的,对短波通信的干扰特别严重,有些影响甚至是毁灭性的,所以需要设备操作人员特别关注。

静电是自然环境中最普遍的电磁现象。在干燥地区,几乎人人身上都携带着数千伏的静电。静电带来的潜在危害无处不在,不容易消除。静电放电的特点是高电位、强电场,引起的强电流可产生强磁场,干扰电子设备的正常工作。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。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。

雷电是云层携带的静电放电现象,属于突发电磁辐射。地球上平均每秒发生 100 次左右的雷击放电,每次雷电都会产生一连串强烈的干扰脉冲,其电磁波借助电离层的传输可传播到很远的地方。距雷暴地区数千千米之外,尽管看不见闪电,却有严重的电磁辐射。雷电包括雷鸣和闪电两种现象。闪电的形状最常见的是线状,还有球状、片状和带状。线状闪电是一种蜿蜒曲折、枝叉纵横的巨型电气火花,长达数百米至数千米,是闪电中最强烈的一种,可以同时击落在不同的地方,对电磁设备威胁最大。球状闪电常从门窗、烟囱,甚至缝隙中钻到房屋内,有时能沿着导线滑行并使之燃烧。雷击通常分为直击雷和感应雷。直击雷放电过程中会产生

强大的静电感应和磁场感应,最终在附近金属物体或引线中产生瞬间尖峰冲击电流而破坏设备。感应雷主要是透过电阻性或电感性两种方式耦合到电子设备的电源线、控制信号线或通信线上,最终击坏设备。

雷电产生的冲击电流非常大,其电流高达几万至几十万安。强大的电流产生交变磁场,其感应电压可高达上亿伏。雷电流在闪击中直接进入金属管道或导线时,可以沿着金属管道或导线传送到很远的地方。除沿管道或导线产生电或热效应,破坏其机械和电气连接外,当它侵入与此相连的金属设施或用电设备时,还会对金属设施或用电设备的机械结构和电气结构产生破坏作用,并危及有关操作和使用人员的安全。战场上的电磁设备都要安装防雷装置,并需要很好的接地措施,就是为了规避雷电辐射的影响。

在地球表面存在着地磁场,它是一种自然场,对电磁波的远距离传播有特别重要的影响作用,属于持续电磁辐射。宇宙射线主要来自太阳辐射和银河系无线电辐射。它们可能破坏地面无线电通信、雷达、长途电信、输电网,甚至干扰宇宙飞船的电子设备。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,曾导致全球无线电短波通信中断2h。1989年,太阳磁暴曾造成加拿大魁北克省水电系统崩溃。

2) 民用电磁辐射

战场范围内的各种民用电磁设备产生的电磁波,构成了人为电磁辐射的一部分,称为民用电磁辐射。民用电磁辐射包括:作战地域或附近民用雷达系统、电视和广播发射系统、移动电话系统;民航、交通等部门的用频设备;以及辐射电磁波的工业、科学实验、医疗等设备运行时产生的电磁辐射。民用电磁辐射在整体上呈现相对稳定的状态,它的分布情况与社会进步程度、经济发达程度、人口密集程度相关联。民用电磁辐射作为战场电磁环境的重要组成,也是战场电磁环境侦测、管理和控制的重要内容。

民用无线电发射设备是主要的民用电磁辐射源,它一般产生大功率的电磁辐射,并且传播区域广泛,是战场电磁环境中影响很大的构成要素,在人口众多、经济发达地区更为明显。作为现代文明标志的广播电视、多种多样的通信工具、用途广泛的民用雷达、远程导航仪器等先进电子设备,其发射机发射的电磁波,对于相关的接收设备来说是传送信息的重要载体,但对于其他电子仪器和设备来说是无用而有害的干扰源。民用辐射源中,广播电视发射塔、短波发射台、手机基站等各类通信系统发射设备,用于公路交通、内河及海洋航运、空中交通管制,以及气象观测、灾害监测、资源调查、环境监视、海洋研究、地形测绘等种类繁多的民用雷达,对作战地域的电磁环境影响最大。

工业、科学、医用射频设备是有意产生无线电电磁能量,并对其加以利用而不希望向外辐射的设备,包括工业加热用的射频振荡器、射频电弧焊、医疗微波设备、超声波发生器以及家用微波炉等。这些设备通常功率比较大,虽然没有发射天线,但由于电磁防护设计简单,大量的泄漏产生的电磁干扰特别严重。

电力、交通、工业设施的工作也会产生一定的电磁辐射。高压电力系统包括架空高压送电线路与高压设备,其电磁辐射源主要来自导线或其他金属配件表面对空气的电晕放电,其放电脉冲具有很宽的频谱。电牵引系统包括电气化铁路、轻轨铁道、城市有轨与无轨电车等,其中直流电气铁道在 20 ~ 40 kHz 频带内有很大的干扰影响。汽车、摩托车、拖拉机等机动车辆的发动机点火系统是很强的宽带干扰源,在 10 ~ 100 MHz 频率范围内具有很大的干扰场强,例如,马路两旁的居民家中电视机屏幕上经常可以接收到汽车、摩托车驶过的干扰信号。工业机器中的各种机床,如车床、铣床、冲床和钻床等,它们的主驱动电动机及其控制调速系统功率较大,启停频繁,继电器和电机整流子电刷间的开合既向电网中发射传导干扰,同时也向周围空间散发高频辐射干扰。

家用电器、电动工具与照明器具等是一类品种繁多、干扰源特性复杂的装置或设备。这类电器的功率虽不大,但在启动、转换、停止的瞬间产生电磁干扰。如电冰箱、洗衣机由于频繁开关动作而产生的“喀咧”声干扰,电钻、电动剃须刀等带有换向器的电动机旋转时,由电刷与换向器间的火花形成的电磁干扰源设备。

以传真机、计算机及其外围设备为代表的信息技术设备,大多执行高速运算、数据交换、数据传送、数据输出的任务,这类设备内部的干扰源主要有开关电源、时钟振荡器及频率变换器。开关电源与时钟振荡器所产生的电磁干扰主要是窄带干扰;而脉冲信号(特别是重复频率较低时)则是频谱很宽的宽带干扰源。计算机及其外部设备中的时钟振荡器、开关电源、数字脉冲电路、高速数据总线、频率变换器等都是高频干扰源。计算机输入、输出设备,如绘图仪、磁盘驱动器、键盘按键、显示器等都会产生电磁辐射,这种辐射信号还可能将计算机正在处理的机要信息泄露出去。

3) 军用电磁辐射

战场范围内的各种军用电磁设备产生的电磁波,构成了人为电磁辐射的一部分,称为军用电磁辐射。军用电磁辐射是战场电磁环境的核心组成部分,对战场电磁态势的变化发展起决定性作用,因而也是指挥员重点关注的战场环境要素。军用电磁辐射具有平战不一致的显著特点,平时受到严格管理,活动规律明显;战时不确定因素大大增加,处于激烈的对抗和高度的动态变化之中。通常情况下,对于军用电磁辐射,人们更加关注其战场电磁辐射源。战场电磁辐射源是形成战场电磁环境的有形依托,辐射源数量直接决定了信号密度的大小。随着信息技术在军事领域的广泛应用,现代战场上各种雷达、通信、导航、敌我识别等电磁辐射装备的种类越来越多,数量越来越庞大,部署范围越来越广,电磁辐射的功率越来越强,占用电磁频谱越来越宽,信号密度越来越大,在时域、空域、频域分布重叠交叉,加上电子对抗的强针对性和高效能等因素,由此而形成的军用电磁辐射使战场的电磁环境变得十分复杂。无论是敌方还是己方,使用频繁的电磁辐射源主要是雷达、通信电台、光电设备、电子干扰装备和高能电磁武器等。

(1) 雷达是战场电磁环境中产生大功率脉冲信号的定向辐射源。目前军用雷