



国防科技图书出版基金

电子装备复杂电磁环境 适应性试验与评估

Test and Evaluation on Adaptability of Electronic
Equipment to Complex Electromagnetic Environment

柯宏发 杜红梅 赵继广 张衡 唐晓婧 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

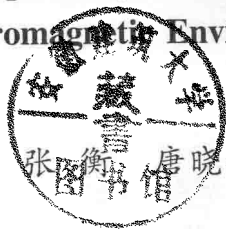


国防科技图书出版基金

电子装备复杂电磁环境 适应性试验与评估

Test and Evaluation on Adaptability of Electronic
Equipment to Complex Electromagnetic Environment

柯宏发 杜红梅 赵继广 张衡 唐晓婧 著



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估 / 柯宏发等著. —北京:国防工业出版社, 2015. 2

ISBN 978 - 7 - 118 - 09232 - 5

I. ①电... II. ①柯... III. ①电子设备 - 电磁环境 - 适应性 - 测试②电子设备 - 电磁环境 - 适应性 - 评估
IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 285089 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 10 字数 271 千字

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 68.00 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

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助

的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员	潘银喜			
副主任委员	吴有生	傅兴男	杨崇新	
秘书长	杨崇新			
副秘书长	邢海鹰	谢晓阳		
委员	才鸿年	马伟明	王小谟	王群书
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	巩水利
	刘泽金	孙秀冬	陆军	芮筱亭
	李言荣	李德仁	李德毅	杨伟
	肖志力	吴宏鑫	张文栋	张信威
	陈良惠	房建成	赵万生	赵凤起
	郭云飞	唐志共	陶西平	韩祖南
	傅惠民	魏炳波		

前 言

在未来战场上,对电磁空间的争夺必将越来越激烈,由此而形成的战场电磁环境也会越来越复杂多变。复杂、密集、动态的战场电磁环境,严重影响和制约了敌我双方的战场感知、指挥控制、武器装备效能发挥及部队的战场生存。军委首长多次强调,“要用信息化战争的观念研究和把握信息化条件下军事训练的特点规律,以复杂电磁环境下训练作为推进军事训练转变的重要切入点和抓手,大力增强部队复杂电磁环境下的作战能力”。电子装备试验是电子装备全寿命管理中的重要环节,因此,深入研究电子装备复杂电磁环境的适应性试验与评估理论和技术,具有重大的理论价值和军事意义。

电子装备试验理论与技术是一门新兴学科,适应中国特色新军事变革的发展,认真总结电子装备试验与评估的实践经验,建立电子装备试验的学科理论体系,是事关武器装备发展的一项前瞻性和战略性的任务。本书作者一直以绵薄之力在电子装备试验理论与技术领域默默耕耘,从多层面、多视角探求电子装备试验与评估的科学本质和运行规律。近 10 年来,本书作者及其研究团队通过不懈努力,先后主持或参加与电子装备试验技术有关的国家社会科学基金、中国博士后科学基金、装备预先研究项目、总装备部试验技术重点研究项目等近 10 项,在电子装备试验灰色系统运用技术、电子装备试验数据的非统计处理理论等方面取得突破,在国内外期刊和会议上发表相关学术论文 70 余篇(其中,被 SCI、EI、ISTP 三大检索机构收录 40 余篇),获得国家发明专利 2 项、国家实用新型专利 1 项,获得军队科技进步二等奖 1 项、三等奖 6 项,总装备部教学成果一等奖和二等奖各 1 项,特别是前期部分研究成果形成了三部学术专著,即《电子信息装备试验灰色系统理论运

用技术》、《电子装备试验与训练最优化技术和方法》和《电子装备试验不确定性信息处理技术》，这三部专著的出版都得到了国防科技图书出版基金的资助。上述这些研究成果为本书的形成奠定了坚实的理论基础。

本书立足于我国电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估实践，吸收有关电子装备试验与评估理论的研究成果，借鉴外军电子装备作战适用性试验与评价的成功做法，全面系统地研究了电子装备复杂电磁环境适应性试验及评估理论与技术等方面的关键问题，特别强调解决电子装备试验复杂电磁环境适应性试验程序、评估程序、评估模型与算法等实际问题。上述研究成果，对于继续深入研究电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估理论和技术，乃至其他武器装备复杂电磁环境适应性试验与评估理论，均具有较大程度的指导意义。

全书共8章。第1章系统介绍了电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估的基本概念，以及开展电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估研究的实际需求和国内外现状，提出了本书的研究框架。第2章研究了战场电磁环境的演变过程与影响，对未来战场电磁环境的构成进行了分析。第3章研究了电子装备复杂电磁环境适应性试验中电磁环境的构建问题，包括构建原则和设置方法，并介绍了美军的电磁环境设置方法。第4章就影响装备性能的电磁环境效应与影响途径、复杂电磁环境对电子装备性能的影响效应、基于信号方式的电磁环境影响、基于干扰的最恶电磁环境等问题进行了研究。第5章研究适应性评估指标体系问题，提出了雷达及雷达侦察装备、通信及通信侦察装备、光电侦察告警装备、导航定位装备、敌我识别器、雷达网和通信网的复杂电磁环境适应性评价指标体系。第6章对电子装备复杂电磁环境适应性试验程序问题进行了研究，主要内容包括试验程序的目的与用途、试验系统组成、试验程序的具体内容、试验总体设计、试验资源类型、试验数据的管理以及适应性试验的各个阶段等。第7章对电子装备复杂电磁环境适应性评估程序问题进行了研究，主要内容包括评估程序的目的与用途等、评估程序的具体内容、复杂电磁环境的分类与描述、定性

试验数据的量化处理模型、适应性综合评估模型与分析以及适应性评估的各个阶段等。第8章给出了某型号超短波通信电台的复杂电磁环境适应性试验与评估实例,深入研究了其正交试验设计、评估指标体系及评估结果分析等问题。

本书的研究工作,先后得到试验技术研究等多个研究项目和“2110工程”、“总装备部重点特色学科”等建设项目以及总装备部“1153”人才资助工程的资助,在此表示衷心的感谢!感谢总装备部武器装备论证研究中心李立伟研究员、北京跟踪与通信技术研究所在陈永光研究员、63880部队装备部吴金亮部长的帮助!本书主要根据作者参加的相关研究项目和多年研究成果,经过进一步组织与加工而完成,感谢相关研究项目课题组成员辛勤的劳动和提供的许多帮助;63888部队李红领工程师提供了部分研究成果,一些材料参考了有关单位或个人发表的论文和书籍,在此一并深表谢意。

电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估技术是一个极有难度的研究项目,国内外没有相关的理论专著借鉴,本书内容尚处于研究和探索中,还有许多问题有待于进一步探索修正。加之作者学识水平有限,虽多方讨论和几经改稿,书中错误、缺点和短见之处在所难免,恳请读者和专家不吝赐教。

柯宏发

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 复杂电磁环境适应性试验与评估的基本概念	1
1.1.1 电子装备试验与评估的概念	1
1.1.2 复杂电磁环境的概念与特征	3
1.1.3 复杂电磁环境适应性的概念	8
1.1.4 复杂电磁环境适应性试验与评估的概念	8
1.2 复杂电磁环境适应性试验与评估研究需求	9
1.2.1 基于信息系统的体系作战能力的形成需求	10
1.2.2 现役电子装备的作战使用要求	11
1.2.3 现役装备性能改进提高的必然要求	12
1.2.4 新装备研制建设的迫切需要	12
1.3 复杂电磁环境适应性试验与评估研究现状	14
1.3.1 国外研究现状	14
1.3.2 国内研究现状	24
1.3.3 本书研究框架	26
第 2 章 战场电磁环境的演变与构成分析	29
2.1 战场电磁环境的演变过程	29
2.1.1 第二次世界大战前的战场电磁环境	29
2.1.2 第二次世界大战期间的战场电磁环境	30
2.1.3 第二次世界大战后至海湾战争前的战场	

电磁环境	32
2.1.4 海湾战争后的战场电磁环境	33
2.2 战场电磁环境的演变特征	36
2.3 战场电磁环境特点分析	39
2.4 未来战场复杂电磁环境构成分析	41
2.4.1 自然电磁环境	41
2.4.2 民用电磁环境	42
2.4.3 己方用频装备的自扰互扰电磁环境	43
2.4.4 敌方目标信号电磁环境	43
2.4.5 敌方干扰威胁电磁环境	44
第3章 适应性试验中复杂电磁环境的构建	47
3.1 复杂电磁环境的构建原则	47
3.1.1 合理确定构建对象	47
3.1.2 合理确定构建要素	48
3.1.3 合理考虑战技因素	48
3.1.4 基于等效的参数设计	49
3.2 外军复杂电磁环境构建方法	49
3.2.1 利用真实电子装备	49
3.2.2 利用模拟器	50
3.2.3 利用计算机模拟技术	51
3.2.4 建立假想敌部队	53
3.3 适应性试验中电磁环境的构建要求	54
3.3.1 构建的环境对象要求	54
3.3.2 构建环境的战术功能要求	56
3.3.3 构建环境的数据要求	57
3.4 适应性试验中电磁环境的构建方法	57
3.4.1 实体装备	57

3.4.2	信号模拟器或数学仿真	58
3.4.3	实体装备与信号模拟器的组合	58
3.4.4	假想敌部队	59
3.5	复杂电磁环境构建装备的等效模拟	59*
3.5.1	实体装备的等效模拟思路	59
3.5.2	雷达及雷达对抗装备的等效模拟	60
3.5.3	通信及通信对抗装备的等效模拟	61
3.5.4	飞行航线的等效模拟	63
第4章	电子装备复杂电磁环境效应分析	65
4.1	电子装备的电磁环境效应	65
4.1.1	电磁环境效应的定义	65
4.1.2	电磁能量的热效应	66
4.1.3	强电场效应	66
4.1.4	电磁干扰效应	66
4.1.5	磁效应	68
4.1.6	电磁辐射场和浪涌效应	68
4.2	复杂电磁环境对电子装备影响途径	68
4.2.1	电磁耦合的方式	68
4.2.2	电磁干扰途径	69
4.3	基于效果的复杂电磁环境影响分析	72
4.3.1	提升战场感知难度	72
4.3.2	降低情报侦察与传输能力	73
4.3.3	制约指挥控制效率	74
4.3.4	增加作战保障难度	75
4.3.5	影响装备作战效能的发挥	76
4.4	基于信号方式的电磁环境影响仿真分析	77
4.4.1	宽带环境信号的影响仿真分析	77

4.4.2	CW 环境信号的影响仿真分析	80
4.4.3	窄带环境信号的影响仿真分析	82
4.5	基于干扰的最恶电磁环境分析	84
4.5.1	基于非人为干扰的电磁环境分析	84
4.5.2	基于人为干扰产生的电磁环境分析	98
4.6	影响装备性能的电磁环境因素主次关系定量分析	127
4.6.1	GM(1,n)模型及模型精度	128
4.6.2	GM(1,n)优化模型	130
4.6.3	信号侦察概率的影响因素建模分析	130
第5章	复杂电磁环境适应性评估指标体系分析	136
5.1	与电磁环境有关的性能参数	136
5.1.1	与电磁环境有关的系统参数	136
5.1.2	与电磁环境有关的性能指标	136
5.2	适应性评估指标体系与描述	138
5.2.1	适应性评估指标体系	138
5.2.2	适应性评估指标的数学描述	141
5.2.3	适应性评估指标的可视化表达	144
5.3	雷达及雷达侦察装备的适应性评估指标体系	146
5.3.1	雷达的适应性评估指标体系	147
5.3.2	雷达侦察装备的适应性评估指标体系	149
5.3.3	组网雷达的适应性评估指标体系	152
5.4	通信及通信侦察装备的适应性评估指标体系	156
5.4.1	通信装备的适应性评估指标体系	156
5.4.2	通信侦察装备的适应性评估指标体系	158
5.4.3	通信网的适应性评估指标体系	163
5.5	光电侦察告警装备的适应性评估指标体系	167
5.6	导航定位装备的适应性评估指标体系	168

5.7	敌我识别器的适应性评估指标体系	171
第6章	电子装备复杂电磁环境适应性试验程序	174
6.1	概述	174
6.1.1	原则	174
6.1.2	内容	175
6.1.3	用途	176
6.1.4	目的	176
6.1.5	范围	177
6.2	试验系统组成	177
6.3	试验程序	179
6.3.1	明确复杂电磁环境适应性试验目的	180
6.3.2	复杂电磁环境适应性试验前分析	181
6.3.3	复杂电磁环境适应性预测	183
6.3.4	复杂电磁环境适应性试验	184
6.3.5	复杂电磁环境适应性比较	186
6.3.6	可接受风险的决策	188
6.3.7	报告与使用建议	189
6.3.8	改进	190
6.4	试验总体设计	191
6.4.1	试验总体设计的前期技术准备	191
6.4.2	试验总体设计的直接技术准备	192
6.4.3	试验任务的组织实施	193
6.4.4	试验任务的指挥与管理	195
6.4.5	试验任务的总结	195
6.5	试验资源类型	196
6.5.1	指挥控制设备	197
6.5.2	配试设备(作战对象模拟装备)	197

6.5.3	电磁环境生成装备	197
6.5.4	数字建模与计算机仿真	198
6.5.5	试验阵地系统	199
6.5.6	综合保障装备	200
6.5.7	试验数据信息管理系统	200
6.6	适应性数据的管理	201
6.6.1	适应性数据类型	201
6.6.2	数据管理程序	201
6.6.3	数据管理与分析计划	203
6.6.4	试验数据的保密	204
6.7	试验的各个阶段	205
6.7.1	研制厂所进行的演示验证试验	205
6.7.2	试验基地进行的设计定型试验	206
6.7.3	部队进行的作战试验	206
第7章	电子装备复杂电磁环境适应性评估程序	207
7.1	概述	207
7.1.1	原则	207
7.1.2	内容	208
7.1.3	用途	208
7.1.4	目的	208
7.1.5	范围	209
7.2	适应性评估程序	210
7.2.1	评估目标	210
7.2.2	复杂电磁环境的分类与量化描述	212
7.2.3	评估指标体系及需求轨迹	213
7.2.4	收集评估数据	214
7.2.5	适应性分析与评估	215

7.2.6	适应性评估判断	218
7.2.7	复杂电磁环境适应性综合评估	219
7.2.8	复杂电磁环境适应性评估报告	220
7.3	复杂电磁环境的分类与描述	221
7.3.1	电磁环境信号的分类	221
7.3.2	复杂电磁环境的涌现特征	222
7.3.3	电磁环境信号的功率密度	224
7.3.4	基于噪声的复杂电磁环境描述	226
7.4	定性试验数据的量化处理模型	229
7.4.1	基于灰色白化函数的转换方法	229
7.4.2	基于模糊数学的转换方法	232
7.4.3	基于云模型的转换方法	233
7.5	适应性综合评估模型与分析	236
7.5.1	联系数的基本运算	236
7.5.2	综合评估模型	238
7.5.3	评估结果的可视化表达	240
7.5.4	基于熵的评估不确定性表示	240
7.5.5	基于集对同势的评估结论分析	241
7.5.6	基于集对分析的适应性比较	244
7.6	适应性评估的各个阶段	245
7.6.1	研制厂所进行的适应性评估	246
7.6.2	试验基地进行的适应性评估	247
7.6.3	试验部队进行的适应性评估	247
7.6.4	作战部队进行的适应性评估	247
第8章	通信电台复杂电磁环境适应性试验与评估实例	248
8.1	通信电台的复杂电磁环境适应性试验	248
8.1.1	基本战术想定	248

8.1.2	试验模式与设计	249
8.1.3	正交试验结果的分析	254
8.2	通信电台的复杂电磁环境适应性评估指标体系	257
8.2.1	与电磁环境有关的通信电台性能参数	257
8.2.2	通信电台的适应性评估指标体系	257
8.2.3	通信电台适应性评估数据的录取	258
8.3	通信电台的复杂电磁环境构建与描述	259
8.3.1	基于通信信号的复杂电磁环境分析	259
8.3.2	内外场电磁环境的构建	263
8.4	通信电台的复杂电磁环境适应性评估结果与分析	264
8.4.1	民用电视信号对通信电台信号的影响分析	264
8.4.2	基于联系数的试验结果表示	269
8.4.3	正交试验的数据分析	273
8.4.4	适应性评估结果	279
	参考文献	286