



· 总装部队军事训练“十二五”统编教材 ·

常规兵器 电磁兼容性试验

CHANGGUI BINGQI DIANCI JIANRONGXING SHIYAN

何洋 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

总装部队军事训练“十二五”统编教材

常规兵器 电磁兼容性试验

何 洋 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

常规兵器电磁兼容性试验 / 何洋主编. — 北京 :
国防工业出版社, 2016. 12

ISBN 978 - 7 - 118 - 11061 - 6

I. ①常... II. ①何... III. ①武器 - 电磁兼容
性 - 试验 IV. ①TJ01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 006637 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 880 × 1230 1/32 印张 12½ 字数 372 千字

2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 36.00 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

总装备部军事训练统编教材
编审委员会
(2014)

主任委员 张学宇
副主任委员 王福通 蔡洙虎
委 员 钟方平 张海洋 刘卫东
李恒年 王泽民 姚志军
吴颖霞 汪连栋 单志伟
康建勇 姜国华 真 溱
童 斌
秘 书 石根柱 欧阳黎明

常规兵器电磁兼容性试验

主 编 何 洋

副 主 编 高万峰 冯三任

编写人员 何 洋 高万峰 冯三任

阚 虎 张春喜 张 鹏

刘 雷 陈征祥 王 盼

高 闯 孟祥龙 李 艳

史睿兵

主 审 姚志军

前 言

科学技术的发展、军事思想的变革,正在不断催生出各种新型常规武器装备,原有装备也在不断经历着信息化改造。我军武器装备自动化、数字化、智能化特征越来越明显,高新技术含量越来越高。高新技术的广泛应用,一方面使常规武器系统的作战效能得以大幅度提高,另一方面,也使常规武器系统面临越来越严峻的战场电磁环境的考验。通过有效的电磁兼容性试验方法和手段来检验武器装备的电磁兼容性能是否满足使用要求,以提高装备的电磁兼容性。近些年,由于我国对电磁兼容专业的重视,使其得到了快速发展,并在试验理论和方法上取得了很大突破,也出现了很多对电磁兼容试验理论进行系统阐述和总结的书籍和成果,但针对常规武器装备并且面向工程试验人员的专业书籍较少。因此,有必要形成系统化教程,供广大从事电磁兼容试验人员以及相关电子工程技术人员学习参考。

本书是作者在广泛学习、参考相关文献资料的基础上,对多年实际工作经验的应用技术总结。全书共分为8章。第1章介绍了电磁兼容性、电磁兼容性试验的主要内容和作用意义、常规兵器电磁兼容性试验的现状与发展趋势;第2章介绍了电磁兼容性试验涉及的电磁场、电波传播、电磁干扰与抑制等技术基础;第3章和第4章介绍了电磁兼容性试验的常用设施和设备;第5章详细讲述了常规兵器电磁兼容性试验的主要试验项目、试验方法和试验要点;第6章介绍了电磁环境监测方法和背景电磁干扰消除方法;第7章讲述电磁兼容性试验的测量不确定度,重点介绍了开阔试验场条件下系统级电磁兼容性试验的测量不确定度来源、误差和评定方法;第8章介绍了常规兵器电磁兼容性试验的典型实例,详细叙述了典型故障现象及其原因、解决方案和验证。全书系统完整,专业性强,充分吸收国内外测试前沿技术,具有一定的前

瞻性。

本书由何洋主持编写,姚志军主审。其中第1章由何洋、高闯、冯三任编写,第2章由何洋、王盼、张春喜编写,第3章由张鹏、何洋编写,第4章由陈征祥、阚虎、史睿兵编写,第5章由何洋、张春喜、李艳编写,第6章由何洋、孟祥龙、高闯编写,第7章由高万峰、何洋、张春喜编写,第8章由刘雷、何洋编写。

左少平、张建伟、陈宏伟等领导对本书的编写工作给予了大力支持和指导。张帅、侯习平、高原等同志为本书的出版做了大量工作。刘国权、马威对本书的初稿进行了审校并提出了许多宝贵意见,在此一并致以诚挚的谢意。

本书内容系统、全面,通俗易懂,实用性强,适合从事常规兵器电磁兼容性试验的技术人员和相关研制工程技术人员使用,也可作为有关院校师生的参考书。

由于电磁兼容性试验涉及的技术领域非常广,相关的理论和技术发展迅速,加上作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者和专家多提宝贵意见,批评指正。

作者

2014年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电磁兼容性	1
1.1.1 电磁兼容性的含义	1
1.1.2 电磁兼容性试验	3
1.1.3 国家军用标准	3
1.2 电磁兼容性试验的主要内容及作用意义	5
1.2.1 主要内容	5
1.2.2 作用意义	7
1.3 常规兵器电磁兼容性试验现状与发展趋势	8
1.3.1 现状	9
1.3.2 发展趋势	10
第 2 章 技术基础	12
2.1 电磁场	12
2.1.1 谐变电磁场	12
2.1.2 平面波	16
2.1.3 波导	20
2.2 电波传播	26
2.2.1 电磁波谱	26
2.2.2 电波传播的主要方式	28
2.2.3 自由空间电波传播	31
2.2.4 电波传播的菲涅尔区	32
2.3 电磁干扰与抑制	35
2.3.1 电磁干扰	35
2.3.2 电磁干扰源	36

2.3.3	电磁干扰传播	42
2.3.4	电磁敏感性	53
2.3.5	电磁干扰抑制	58
第3章	电磁兼容性试验设施	67
3.1	开阔试验场地	67
3.1.1	原理与结构	68
3.1.2	评估方法	71
3.1.3	归一化场地衰减测试	74
3.1.4	场均匀性测试	76
3.2	电磁屏蔽室	77
3.2.1	原理与结构	78
3.2.2	屏蔽效能测试	81
3.3	电波暗室	82
3.3.1	原理与结构	82
3.3.2	吸波材料	90
3.3.3	电压驻波比测量	98
3.4	横电磁波室	101
3.4.1	横电磁波暗室	102
3.4.2	吉赫兹横电磁波室	104
3.5	混响室	107
3.5.1	原理与结构	107
3.5.2	主要特征和参数	109
3.5.3	校准	111
3.5.4	测试	116
3.5.5	应用	118
第4章	电磁兼容性测量设备	120
4.1	天线	120
4.1.1	基本原理	121
4.1.2	基本参数	121
4.1.3	常用设备	128
4.1.4	使用要点	133

4.2 测量接收机	133
4.2.1 基本原理	134
4.2.2 基本参数	136
4.2.3 常用设备	138
4.2.4 使用要点	138
4.3 频谱分析仪	139
4.3.1 基本原理	139
4.3.2 基本参数	143
4.3.3 常用设备	145
4.3.4 使用要点	146
4.4 信号发生器	147
4.4.1 基本原理	148
4.4.2 基本参数	149
4.4.3 常用设备	151
4.4.4 使用要点	151
4.5 功率放大器	152
4.5.1 基本原理	152
4.5.2 基本参数	153
4.5.3 常用设备	154
4.5.4 使用要点	155
4.6 示波器	156
4.6.1 基本原理	156
4.6.2 基本参数	159
4.6.3 常用设备	161
4.6.4 使用要点	162
4.7 辅助测量设备	163
4.7.1 人工电源网络	163
4.7.2 电流探头	164
4.7.3 电场探头	164
4.7.4 功率吸收钳	165
4.7.5 尖峰信号产生器	166

4.7.6	涌浪模拟器	166
4.7.7	电快速瞬变脉冲模拟器	167
4.7.8	静电放电模拟器	167
4.7.9	功率定向耦合器	168
第5章	电磁兼容性试验方法	169
5.1	设备和分系统电磁兼容性试验	170
5.1.1	试验项目与适用性	170
5.1.2	试验方法	173
5.1.3	对国军标的剪裁	174
5.2	系统自兼容性试验	177
5.2.1	试验要求	177
5.2.2	试验方法	177
5.2.3	试验要点	178
5.3	电源线瞬变试验	181
5.3.1	试验要求	181
5.3.2	试验方法	181
5.3.3	试验要点	184
5.4	安全裕度试验	184
5.4.1	试验要求	184
5.4.2	试验方法	185
5.4.3	试验要点	188
5.5	外部射频电磁环境试验	190
5.5.1	试验要求	190
5.5.2	试验方法	195
5.5.3	试验要点	196
5.6	雷电试验	198
5.6.1	试验要求	199
5.6.2	试验方法	201
5.6.3	试验要点	204
5.7	电磁脉冲试验	205
5.7.1	试验要求	205

5.7.2	试验方法	206
5.7.3	试验要点	210
5.8	静电放电试验	210
5.8.1	试验要求	211
5.8.2	试验方法	211
5.8.3	试验要点	213
5.9	电磁辐射危害试验	215
5.9.1	对人员的危害	215
5.9.2	对军械的危害	219
5.10	搭接与接地试验	225
5.10.1	试验要求	226
5.10.2	试验方法	226
5.10.3	试验要点	231
5.11	电磁信息泄露试验	233
5.11.1	试验要求	233
5.11.2	试验方法	234
5.11.3	试验要点	235
5.12	屏蔽效能试验	236
5.12.1	试验要求	237
5.12.2	测试方法	237
5.12.3	试验要点	241
5.13	天线隔离度试验	242
5.13.1	试验要求	243
5.13.2	试验方法	243
5.13.3	试验要点	246
第6章	电磁环境监测	248
6.1	电磁环境监测	248
6.1.1	基本内容	248
6.1.2	频谱监测设备	249
6.1.3	无线电测向与定位方法	253
6.2	电磁背景干扰消除	259

6.2.1	环境电平抵消方法	260
6.2.2	盲源分离算法	264
6.3	电磁环境态势分析显示	269
6.3.1	分析	269
6.3.2	显示	275
第7章	电磁兼容性测量不确定度评定	280
7.1	测量不确定度	280
7.1.1	基本误差理论及不足	281
7.1.2	测量不确定度概念及表示方法	283
7.1.3	测量不确定度来源和分类	285
7.1.4	不确定度与误差的关系	289
7.1.5	电磁兼容性测量不确定度	291
7.2	测量不确定度评定方法	296
7.2.1	一般程序	297
7.2.2	不确定度分量评定	301
7.2.3	合成标准不确定度评定	307
7.2.4	扩展不确定度评定	308
7.2.5	不确定度分量分布及其判定	310
7.2.6	各不确定度分量相关性分析	314
7.2.7	异常值问题	315
7.3	开阔场电磁兼容性试验测量不确定度评定	317
7.3.1	电磁兼容性自动测试系统	317
7.3.2	开阔场测量不确定度关键因素分析	321
7.3.3	典型电磁兼容性试验测量不确定度评定	336
第8章	典型案例	358
8.1	设备和分系统电磁兼容性试验	358
8.1.1	试验方案	358
8.1.2	典型故障分析	362
8.2	系统电磁兼容性试验	365
8.2.1	试验方案	365
8.2.2	火炮随动系统失控故障分析	370

8.2.3	电源车发电机组电磁兼容性问题	377
8.2.4	通信系统受扰分析及解决途径	380
参考文献		384

第1章 绪论

常规兵器是以化学能及其转化的动能毁伤目标,限于战役战术目的,组成战斗结构单元的武器,是除核、化学、生物、航天等武器以外武器的统称。

随着我军武器装备的跨越式发展,常规武器系统信息化程度越来越高,装备所面临的内外部电磁环境越来越复杂,这对常规武器装备的电磁兼容性提出了严峻挑战。历次重大军事演习和部队训练结果表明,装备电磁兼容性能的好坏已成为制约装备作战效能发挥的关键因素之一。因此,必须大力加强常规武器装备电磁兼容性试验技术的研究,对武器装备的电磁兼容性做出正确的评估,促使武器装备电磁兼容性能不断发展和完善。

1.1 电磁兼容性

电磁兼容(Electromagnetic Compatibility, EMC)是一门独立的学科,其核心内容是研究和消除电磁干扰,使电子设备或系统与其他设备联系在一起工作时,不至于由于电磁干扰而使设备或系统的工作性能降低。随着电磁能量的广泛利用,各种电磁干扰问题日益突出,为了保障电子设备或系统的正常工作,必须研究、分析、预测电磁干扰,限制干扰强度,探索抑制干扰的有效技术手段,提高抗干扰能力,并进行合理的设计等,以使共同环境中的系统和设备能执行各自的正常功能。这种对电磁干扰进行分析、设计和验证测试的学科领域就是电磁兼容。

1.1.1 电磁兼容性的含义

电磁兼容是指设备、分系统、系统在共同的电磁环境中能够一起执

行各自功能的一种共存的工作状态,在这种状态下,它们不会因内部或彼此间存在的电磁干扰而影响正常工作。

电磁兼容性是指电子、电气设备或系统在预期的电磁环境中,按设计要求正常工作的能力。它是电子、电气设备或系统的一种重要技术性能。

设备或系统的电磁兼容性包括两部分要求:一方面是指设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰(包括传导干扰和辐射干扰)不能超过一定的限值,即它不会产生使处于同一电磁环境中的其他设备或系统出现超过规定限值的电磁干扰;另一方面是指设备或系统对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度(包括传导抗扰度和辐射抗扰度),并且有一定的安全裕度,即它不会因受到处于同一电磁环境中的其他设备或系统发射的电磁干扰而产生不允许的工作性能降低,如图 1-1 所示。

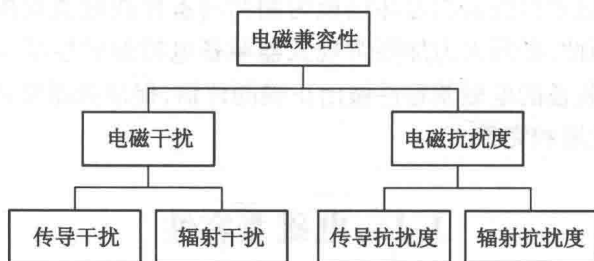


图 1-1 EMC 结构图

由于电磁干扰包括系统内部干扰和系统之间干扰,因此系统内的电磁兼容性和系统间的电磁兼容性是不同的。前者指的是给定系统内部的各分系统、设备及部件相互之间的电磁兼容性,系统内电磁兼容性主要取决于系统本身的设计、制造、工艺;后者指的是给定系统与其工作的电磁环境中的其他系统之间的电磁兼容性,系统间电磁兼容性主要取决于各系统对外的信号端口(如天线、电缆)之间是否相互干扰,这种干扰与各系统的工作参数(如频率、方向图、功率等)、工作方式等密切相关。

电磁兼容性是抗干扰概念的扩展和延伸。从最初的设法防止射频频段内的电磁噪声、电磁干扰,到防止和对抗各种电磁干扰,人们在认

识上进一步产生了质的飞跃。把主动采取措施抑制电磁干扰贯穿于设备或系统的设计、研制和使用的整个过程中,这样才能保证设备或系统实现电磁兼容性。

应该指出,在技术发展的早期阶段,保证设备兼容主要是靠改进个别电路和结构的方案,以及使用频率的计划分配。但现在,采用个别的局部措施已远远不够。从整体上说,兼容性问题具有明显的系统性特点。在电子、电气设备寿命期的所有阶段,都必须考虑电磁兼容性问题。如果因忽视电磁兼容性而使设备的兼容性遭到破坏,此时若要保证电子、电气设备的电磁兼容性,则需要付出更昂贵的代价,且得不到满意的效果。

1.1.2 电磁兼容性试验

电磁兼容性试验是指按照相应标准,对产品、设备、系统内部或系统之间的电磁兼容性指标进行的测试,涉及测试方法、测试仪器设备和测试场所等内容。

电磁兼容性试验的目的就是要找出干扰源的干扰特性和被干扰对象的抗干扰能力,主要从系统或设备的电磁干扰发射和电磁敏感度两个方面进行测试,以判定其电磁兼容性能。电磁兼容性的参数测量是一项十分困难的工作,因为电磁干扰有时是随机的、多变的,其时域波形不太规则,频谱也比较复杂,同时电磁干扰与电路结构、工艺、布局等诸多因素相关,电路分析中的许多分布参数不容忽视,而且测试条件要求比较苛刻,需要在专门的实验室中进行测试,且测量设备要求稳定性好、灵敏度高、频谱宽、动态范围大,使得所需的测量仪器和设备不仅昂贵而且十分复杂。为了避免对电磁兼容性参数数据的异义性,在电磁兼容性标准或规范中,不仅规定了所使用仪器设备的具体指标要求,同时还规定了测试方案的组成和环境要求,这是其他标准或规范中所少见的。

1.1.3 国家军用标准

电磁兼容性标准或规范是电磁兼容性设计和试验的主要依据,其目的是控制电子系统或设备的电磁辐射强度和对电磁干扰的抑制