

· 战场环境仿真与试验鉴定技术专著之一 ·

反舰导弹战场电磁环境 仿真及试验鉴定技术

隋起胜 袁健全 等著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

战场环境仿真与试验鉴定技术专著之一

反舰导弹战场电磁环境 仿真及试验鉴定技术

隋起胜 袁健全 等著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书介绍了反舰导弹在复杂电磁干扰环境下仿真试验及试验鉴定相关技术,全书共12章,内容包括海战场电磁干扰因素及量化表征、动态海面舰船目标电磁散射特性模型、海战场单一电磁干扰样式仿真模型及实现、海战场组合电磁干扰样式仿真模型及实现、海战场电磁环境下内场试验、海战场电磁环境下外场试验、研制试验鉴定、作战试验鉴定、反舰导弹性能鉴定和评估等内容。

本书可作为从事反舰导弹武器装备研制、试验和使用的工程技术人员和部队官兵参考用书,掌握有关复杂电磁环境下反舰导弹的仿真试验及试验鉴定基本方法。

图书在版编目(CIP)数据

反舰导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术/隋起胜等著.

—北京:国防工业出版社,2015.5

ISBN 978-7-118-10091-4

I. ①反… II. ①隋… III. ①反舰导弹—战场—电磁环境—仿真 ②反舰导弹—战场—电磁环境—试验—鉴定 IV. ①TJ761.1
②E927

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第062125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 17¼ 字数 246千字

2015年5月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 65.00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

写作组：

组 长：隋起胜

副组长：袁健全 毛嘉艺 杨忠东

成 员：陈红伟 倪 虹 甘荣兵 王 超

李 晴 符晓亚 杨俊岭 耿国桐

程 鲤

审校组：

组 长：王长青

副组长：孟 建

成 员：裴虎城 路军杰 池庆玺 王 健 韩京梅

栗 琳 华 云



起胜同志请我为其书《反舰导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术》作序，我答应下来。客观地讲，我对书中所涉专业内容少有研究、知之不多。之所以答应，一方面是因为反舰导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定很具有代表性，是对精导武器、信息装备等为代表和强对抗为重要特征的现代高新技术武器试验鉴定有关问题的一次有益尝试；另一方面是因为我本人对这个方向颇感兴趣，愿意将其作为一次学习的机会。

随着发展，现代武器系统越来越精密，面临的电磁环境越来越复杂、对抗性越来越强，影响武器性能的因素越来越多，从而武器装备外场试验的难度和试验结果的不确定性越来越大，试验结果的未来适用性越来越差。当前，以精导武器、信息装备等为代表和强对抗为重要特征的现代高新技术武器试验鉴定存在诸多难题。我认为主要有：一是我们强调贴近实战试验考核，但我们将所面临的实战和实战环境，包括强强之间的电磁对抗环境，将是什么样我们并不清楚，也很难搞清楚，如何贴近实战试验考核是我们必须面对的首要难题。二是影响当今高新技术武器的因素远多于常规武器装备，但因其价格一般都很昂贵，能进行的试验次数远远小于常规武器，而且即使再多外场试验，也只能检验和验证一些关键点，无法连成线和面，难以据此做出全面、准确的评价，而多次重复试验将造成在经济、时间、精力等方面不堪重负，不是一种有效、可持续的发展道路，如何通过少量外场试验实现对武器装备的试验鉴定考核是必须研究解决的一个关键问题。三是当今世界科技和武器装备技术快速发展，使武器装备性能及将所处的对抗环境也快速变化，尤其是电子信息技术的飞速发展及在武器装备和军队建设中的应用，使电磁对抗技术和手段处于不断变化提高中，

现在的试验结果如何才能尽可能多地适应未来战争环境是必须研究考虑的一个重要问题。

为了使我们的试验和试验鉴定结果更加科学合理、更加贴近实际、更加节约高效、更多地适应未来实战要求，我们必须大力加强基础研究和模拟仿真研究工作，在知其然知其所以然上下功夫，不断提高我们的科学理解力和认知力，而且特别需要在工作中不断强化这一意识、加强有关工作。我认为，数字模拟仿真、内场实验（含半实物仿真）、外场试验是试验鉴定的三个支柱，过去外场试验是试验鉴定的主要甚至是唯一支柱，也可以说是最粗的一个支柱，但随着武器装备系统和环境越来越复杂、对抗性越来越强、科技含量尤其信息技术的含量越来越高，三个支柱中的另外两根将会变得越来越粗，即数字模拟仿真和内场实验在试验鉴定中的地位和作用将越来越重要，数字模拟仿真在未来很可能会起主要作用，而外场试验将会退居于主要起验证作用的地位。与试验和实验相比，尤其与外场试验相比，数字模拟仿真可以更加深入研究揭示其物理机理和规律，其中很多将是在试验和实验中很难观测到的；通过数字模拟平台建设，可以实现知识和经验的有效继承和积累，避免成果流失；可以以较低的代价和消耗，进行多次、重复的数字实验甚至数字试验；“他”具有深入、高效、代价低和可持续发展的优点。这是计算机技术发展的结果，但“他”要求对有关物理问题更加深入准确的理解，建立科学合理的物理数学模型，需要通过内场实验和外场试验不断积累数据、修正模型。当前无论外场试验、内场实验还是数字模拟仿真都对试验科研工作提出了更高的要求，关键是如何符合实际和高效可行的问题，不断使试验环境条件设置和模拟仿真物理数学模型逼近“真”是从事武器装备科研试验鉴定工作同志们需要不断研究、探索的永恒课题，也是一个难题。可以说，现代高新技术武器的有效试验鉴定是对 21 世纪武器装备试验鉴定科研工作者和领导者的一个严峻挑战。

当前，为了使外场试验环境和条件设置更科学合理，能够真正抓住产生影响的重点因素、剔除非相关因素；为了使内场实验获得更多科学有效有用的结果、发挥更大的作用；为了使数字模拟仿真技术快速发展，顺应科技发展趋势；确保装备鉴定的有效性，提高试验和实验的效率，需要克服和避免在试验鉴定外场试验环境条件设置“形似

而神不似”的现象，需要克服和避免试验鉴定工作中“重硬轻软、重有形轻无形”的问题，需要克服和避免形式主义、官僚主义以及科研工作、技术决策日趋行政化、口号化的问题；为了顺应时代发展，我们必须转变观念和工作方式，高度重视和加强有关基础研究，强化学术技术民主。

《反舰导弹战场电磁环境仿真及试验鉴定技术》一书针对海战场电磁环境仿真这一试验鉴定领域的难题，分析了海战场电磁环境的构成因素，探索了环境对导弹末段飞行的影响机理，初步给出了环境的量化表征方法、数学模型、仿真实现途径及海况对舰艇目标散射特性的耦合影响等。围绕战场环境下试验鉴定这个问题，阐述了内外场试验与仿真模拟相结合的试验鉴定模式及反舰导弹战场环境适应性评估方法。我相信，这部著作的出版，将对我国武器装备试验鉴定技术发展起到一定的积极推动作用。

让我们共同努力去改变用机械化时代的理念、思维、方法和技术进行信息化时代的武器装备试验鉴定的现状，努力去，且必须去改变之。

刘国治
2015年5月25日



随着干扰和抗干扰技术的发展，反舰导弹战场电磁环境下试验鉴定的需求愈加迫切。因为任何导弹，不经过有效的战场电磁环境下的试验鉴定，就不知道在干扰对抗条件下是否可以满足作战需求。

要有效地开展反舰导弹战场电磁环境下试验鉴定，必须从基础理论入手，搞清楚海战场电磁环境的本质、特点、干扰机理、表征方法和数学模型。只有弄清这些基础理论问题才能构建逼真的战场电磁环境仿真系统，才能建立起与导弹技术发展相适应的试验鉴定模式，才能以创新的试验方法和评估方法，完成海战场电磁环境下反舰导弹试验鉴定任务。

关于海战场电磁环境的本质特点，有许多不同的观点和认识。书中第1章提出应从多元视角去认识电磁环境，认为海战场电磁环境是由导弹、目标、人为干扰及自然背景动态情况下构成的电磁空间。这些要素相互影响、相互作用，形成了动态变化、形态多样、干扰机理各不相同的海战场特有电磁环境。这一观点贯穿全书，涉及大多数章节。用多元的观点描述海战场电磁环境，不仅符合现实战场，也符合未来战场；不仅有利于海战场电磁环境下的试验鉴定，也有利于反舰导弹抗干扰技术发展。

能否量化表征海战场电磁环境，能否用数学公式给出形式化描述，这是又一个重要理论问题。书中基于多元的观点去分析海战场电磁环境，得出三点结论：一是对导弹干扰的强度，不仅取决于干扰因素本身，也取决于目标回波的强弱。二是无论电磁环境多么复杂，对导弹的干扰无非是两类，一类是压制式干扰，就是干扰信号能量远高于目标回波；另一类是欺骗式干扰，就是信号能量大体相当，干扰信号在形式和特征上接近目标回波，使导弹误将干扰当目标。三是可以用干

扰信号和目标回波的能量之比来描述压制干扰，称为压制比；而用于干扰信号和目标的回波相似程度描述欺骗干扰，称为相似度。借助压制比和相似度这两个概念，从时、空、频等域上逐一分析海战场已有的人为干扰技术，与目标相比较，研究干扰机理和规律，就会得出海战场电磁环境量化表征方法和用于试验鉴定的数学模型。第2章和第3章阐述了干扰机理、量化表征和数学模型。

有了清晰的海战场电磁环境概念，有了量化表征方法和数学模型，就为海战场电磁环境仿真奠定了基础。为了使仿真系统更逼真，高精度地重现战场电磁环境，第4章介绍了舰船目标和海面电磁散射模型。第5章和第6章分析了海战场电磁干扰样式与电磁环境的对应关系，通过数学模型将电磁环境形式化，阐述了面向电磁干扰样式的仿真模型和仿真方法。

海战场电磁环境下试验鉴定仅有高精度的仿真是不够的，还应充分利用外场试验优势，由内外场联合完成试验鉴定任务。第7章、第8章和第9章阐述了内外场试验相互借鉴、相互补充、相互验证，联合进行试验鉴定的新模式。新模式有三个显著特点：一是增加了内场仿真试验手段，由内外场联合完成导弹试验鉴定任务；二是无论内场试验还是外场试验，都是面向作战环境，严格地说是面向未来作战可能出现的典型战场环境；三是在试验鉴定目标上，不仅考核导弹的各类技术指标，而且要评估导弹的战场电磁环境适应性。

评估反舰导弹战场电磁环境适应性，也就是评估抗干扰性能，是一项难度很大的课题。理论上，采用遍历的方法，将战场可能出现的干扰情况逐一试验，最终会得到正确的结论。但在真实战场上，干扰样式多、组合种类多、战术变化多，将每种情况逐一试验是不现实的。书中第10章、第11章和第12章阐述了反舰导弹抗干扰性能量化评估的新方法。就是以研制试验鉴定和作战试验鉴定获得的大量数据为基础，依据现有技术预测导弹可能面对的作战环境，从单一干扰样式开始，获得每个干扰样式环境下导弹抗干扰程度或命中概率。在此基础上，选取典型的可能组合干扰样式进行试验，获得更多的数据。合理使用单一干扰和组合干扰试验数据，就会得到反舰导弹战场电磁环境适应性和对目标的命中率。

本书在写作过程中，得到了王长青研究员、裴虎城研究员、路军

杰研究员、顾杰研究员、韩峰高工、陈勇高工、赵耀东工程师、汤广富工程师、陈士举高工、周国杰高工、吴武华高工、胡仕友研究员、谷海洋高工和张宁工程师等多位专家学者和同事的热心帮助，他们的大力支持对于本书的顺利撰写和出版至关重要，借此机会，一并表示衷心的感谢。

作者还要感谢相关审稿专家，他们为本书的进一步完善提出了诸多中肯建议。

限于作者的认知和写作水平，书中难免存在疏漏和不当之处，恳请读者批评指正。

作 者

2015年5月5日



第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 导弹和目标	1
1.2.1 反舰导弹	1
1.2.2 海面目标	3
1.3 海战场电磁环境	3
1.4 海战场电磁环境的量化表征和数学模型	4
1.5 电磁干扰样式	5
1.6 海战场电磁环境仿真的基本方法	5
1.7 海战场电磁环境仿真系统的作用	6
1.8 海战场电磁环境仿真系统的可信性分析	7
1.9 海战场电磁环境下试验鉴定任务、模式和类型	8
1.9.1 主要任务	8
1.9.2 试验鉴定模式	9
1.9.3 试验鉴定类型	9
1.10 内外场试验任务区分	10
1.10.1 内场试验	10
1.10.2 外场试验	10
1.11 反舰导弹战场电磁环境下的性能量化评估	11
1.11.1 什么是量化评估	11
1.11.2 目标 RCS 的测量计算	12
1.11.3 从单一干扰到组合干扰环境下的评估方法	12
第2章 海战场电磁干扰因素	14
2.1 概述	14

2.2	海战场电磁干扰环境构成要素	14
2.3	箔条干扰	15
2.3.1	箔条干扰装置	15
2.3.2	箔条干扰原理	17
2.4	角反射器干扰	20
2.4.1	角反射器干扰装置	20
2.4.2	角反射器干扰原理	22
2.5	舷外有源干扰	23
2.5.1	舷外有源干扰装置	23
2.5.2	舷外有源干扰原理	25
2.6	舰载有源干扰	27
2.6.1	舰载有源干扰装置	27
2.6.2	舰载有源干扰原理	29
2.7	干扰新技术	33
第3章	海战场电磁干扰因素的量化表征	35
3.1	概述	35
3.2	箔条干扰	35
3.2.1	质心式箔条干扰	36
3.2.2	冲淡式箔条干扰	40
3.3	角反射器干扰	42
3.3.1	质心式角反射器干扰	43
3.3.2	冲淡式角反射器干扰	45
3.4	舷外有源干扰	47
3.4.1	舷外有源压制干扰	48
3.4.2	舷外有源欺骗干扰	50
3.5	舰载有源干扰	54
3.5.1	舰载有源压制干扰	55
3.5.2	舰载有源欺骗干扰	56
3.6	组合干扰	58
3.6.1	组合干扰的使用方法	58
3.6.2	组合干扰分析	59
3.6.3	组合干扰的表征方法	63

第4章 动态海面舰船目标电磁散射特性模型	64
4.1 概述	64
4.2 舰船目标电磁散射特性模型	65
4.2.1 舰船目标的几何建模	65
4.2.2 舰船目标电磁散射计算	66
4.3 雷达目标特性数据表征与处理	70
4.3.1 雷达目标特性数据表征	70
4.3.2 雷达目标特性数据处理	74
4.4 海杂波特异性模型	76
4.4.1 海况分级	76
4.4.2 动态海面散射系数模型	77
4.5 舰船与海面复合散射模型	81
4.5.1 舰船与目标多径散射模型	82
4.5.2 目标运动对复合特性的影响	83
4.6 海面舰船目标电磁计算与仿真实例	86
4.6.1 目标几何建模与网格生成	86
4.6.2 电磁散射特性计算	87
4.6.3 电磁散射特性的数据处理	90
4.6.4 电磁散射特性在仿真系统中的应用	91
第5章 海战场单一电磁干扰样式仿真模型及实现	95
5.1 箔条干扰动态电磁环境及仿真模型	95
5.1.1 箔条干扰战术使用特点	95
5.1.2 箔条干扰仿真模型	98
5.1.3 箔条干扰仿真实现方法	100
5.2 角反射器干扰动态电磁环境及仿真模型	107
5.2.1 角反射器干扰战术使用特点	107
5.2.2 角反射器干扰仿真模型	111
5.2.3 角反射器干扰仿真实现方法	112
5.3 舷外有源干扰动态电磁仿真模型	118
5.3.1 舷外有源干扰战术使用特点	118
5.3.2 舷外有源干扰仿真模型	121
5.3.3 舷外有源干扰仿真实现方法	123

5.4	舰载有源干扰动态电磁环境及仿真模型	131
5.4.1	舰载有源干扰战术使用特点	131
5.4.2	舰载有源干扰仿真模型	133
5.4.3	舰载有源干扰仿真实现方法	135
第6章	海战场组合电磁干扰样式仿真模型及实现	141
6.1	概述	141
6.2	箔条干扰或角反射器干扰与舰载有源欺骗干扰组合	141
6.2.1	组合干扰机理	141
6.2.2	仿真实现方法	144
6.3	箔条干扰或角反射器干扰与舷外有源欺骗干扰组合	149
6.3.1	组合干扰机理	149
6.3.2	仿真实现方法	150
6.4	箔条干扰或角反射器干扰与舰载有源压制干扰的组合	156
6.4.1	组合干扰机理	156
6.4.2	仿真实现方法	158
6.5	箔条干扰或角反射器干扰与舷外有源压制干扰组合	163
6.5.1	组合干扰机理	163
6.5.2	仿真实现方法	165
6.6	舰载有源压制干扰与舷外有源欺骗干扰组合	170
6.6.1	组合干扰机理	170
6.6.2	仿真实现方法	171
6.7	舰载有源欺骗干扰与舷外有源欺骗干扰组合	171
6.7.1	组合干扰机理	171
6.7.2	仿真实现方法	172
6.8	舰载有源干扰、舷外有源干扰与箔条干扰或角 反射器干扰的组合	173
6.8.1	组合干扰机理	173
6.8.2	仿真实现方法	174
第7章	海战场电磁环境内场半实物仿真架构	183
7.1	概述	183
7.2	仿真系统总体架构	184
7.3	仿真系统各组成部分架构	185

7.3.1	微波暗室	185
7.3.2	射频目标及干扰模拟系统	187
7.3.3	飞行运动模拟系统	194
7.3.4	计算机控制系统	195
7.3.5	校准系统	196
第8章	海战场电磁环境下内场试验	198
8.1	内场试验概述	198
8.1.1	内场试验基本条件	198
8.1.2	内场试验种类	198
8.1.3	抗干扰的判据	199
8.2	内场试验样式	199
8.2.1	试验样式的定义	199
8.2.2	弹道的选择	200
8.2.3	内场试验对目标 RCS 的表征需求	200
8.2.4	干扰强度的表示	201
8.2.5	RCS 的取值	202
8.3	内场试验流程	203
8.4	验证性试验	204
8.4.1	试验环境的设置	204
8.4.2	试验参数的复核和计算	204
8.5	鉴定性试验	204
8.5.1	试验样式的设计	204
8.5.2	试验参数的确定和计算	205
8.5.3	鉴定性试验流程	205
8.6	评估性试验	206
8.6.1	试验样式的设计	206
8.6.2	试验参数的计算	206
8.6.3	评估性试验流程	207
8.7	内场作战试验	208
8.7.1	试验样式的确定	208
8.7.2	试验过程	210
8.7.3	试验结果分析和鉴定	210

8.8	试验数据的存储	211
第9章	海战场电磁环境下外场试验	212
9.1	概述	212
9.1.1	主要特点	213
9.1.2	外场试验主要类型	213
9.1.3	外场试验任务变化	214
9.1.4	外场试验前提条件	214
9.1.5	外场试验阶段划分	214
9.1.6	外场试验流程	215
9.2	总体设计	216
9.3	弹道参数计算	216
9.4	外场试验样式及试验参数计算	216
9.5	靶标的设计	217
9.6	干扰模拟设备的研制	218
9.7	单一干扰环境的设置	218
9.7.1	箔条干扰的参数计算和设置	218
9.7.2	角反射器干扰的参数计算和设置	219
9.7.3	舷外有源干扰的参数计算和设置	219
9.7.4	舰载有源压制干扰的参数计算和设置	219
9.7.5	舰载有源欺骗干扰的参数计算和设置	219
9.8	组合干扰环境的设置	220
9.8.1	组合干扰设备的布局	220
9.8.2	组合干扰的参数计算	220
9.9	试验数据的获取	221
9.10	外场试验数据处理	221
第10章	研制试验鉴定	222
10.1	研制试验鉴定内涵	222
10.2	研制试验鉴定的地位与作用	222
10.3	研制试验鉴定的主要类型	224
10.3.1	导引头单机内场抗干扰试验	224
10.3.2	导引头单机外场抗干扰试验	225
10.3.3	制导控制系统内场抗干扰试验	227

10.3.4	导弹抗干扰飞行试验	228
10.4	研制试验鉴定的主要内容	229
10.4.1	方案阶段	229
10.4.2	工程研制阶段	229
10.4.3	设计定型阶段	234
第 11 章	作战试验鉴定	235
11.1	作战试验鉴定的内涵	235
11.2	美军作战试验鉴定的发展	236
11.2.1	基本概念	236
11.2.2	组织管理	237
11.2.3	试验类型	238
11.2.4	主要特点	239
11.2.5	试验案例	241
11.3	作战试验鉴定的地位与作用	243
11.4	作战试验鉴定的主要类型	244
11.4.1	论证评估	244
11.4.2	作战评估	245
11.4.3	定型作战试验鉴定	245
11.4.4	在役作战试验鉴定	246
11.5	反舰导弹作战试验鉴定内容与流程	246
11.5.1	反舰导弹作战试验鉴定内容	246
11.5.2	反舰导弹作战试验鉴定流程	247
第 12 章	反舰导弹性能鉴定和评估	251
12.1	概述	251
12.1.1	性能鉴定的内涵	251
12.1.2	性能评估的内涵	251
12.1.3	鉴定和评估的前提条件	251
12.2	数据分析和审核	252
12.2.1	数据的可用性判定	252
12.2.2	建立数据关联	252
12.3	性能指标的鉴定评估准则	253
12.3.1	定量化准则	253