

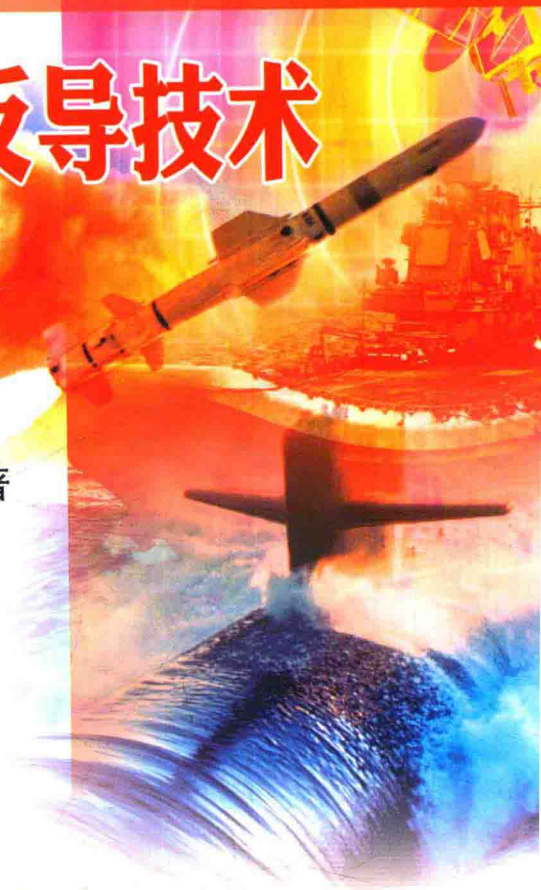
“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代海军兵器技术丛书

舰艇防空反导技术

陈维义 王少蕾 著
谢琦 陈华东

兵器工业出版社



“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代海军兵器技术丛书

舰艇防空反导技术

陈维义 王少蕾 著
谢琦 陈华东

兵器工业出版社

内容简介

本书结合作者多年从事海军武器系统教学科研工作的研究成果,重点介绍了舰艇防空反导相关技术。全书共分7章,分别介绍了舰艇防空反导技术概述和发展状况、信息融合技术、目标识别技术、威胁评估技术、火力分配技术、火力控制技术以及舰艇编队协同防空反导技术等内容。

本书可作为从事舰艇武器系统研究工作的工程技术人员、管理人员的参考用书,也可作为高等院校相关专业高年级本科生、研究生的专业教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

舰艇防空反导技术 / 陈维义等著. — 北京: 兵器工业出版社, 2015. 12

(现代海军兵器技术丛书 / 林春生, 滕克难主编)

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-5181-0162-7

I. ①舰… II. ①陈… III. ①军用船—防御系统—研究 IV. ①U674.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第272743号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟10号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京圣夫亚美印刷有限公司

版 次: 2015年12月第1版第1次印刷

责任编辑: 陈红梅 杨俊晓

封面设计: 正红旗下

责任校对: 郭 芳

责任印制: 王京华

开 本: 710×1000 1/16

印 张: 14.25

字 数: 234千字

定 价: 58.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

现代海军兵器技术丛书

编审委员会

主 任：程锦房

副主任：林春生 滕克难 王德石

委 员（按姓氏笔画排序）：

田福庆 付 强 齐 欢 许 诚 严卫生

李国林 吴茂林 余湖清 张晓晖 张效民

张静远 陈 川 周穗华 郑学合 赵修平

黄俊斌 龚沈光 颜 冰

总主编：林春生 滕克难

丛书序

海军肩负着保卫国家海洋领土完整、海洋运输线安全和国家海洋权益的重大使命，先进的海军兵器是海军履行使命的基本保证。新中国建立以后，伴随着我国海军部队的发展和壮大，海军兵器从无到有，在科学原理、设计理论、制造技术、保障方法等方面得到了全方位的发展。我国海军兵器技术的发展经历了二十世纪五十、六十年代的全面仿制阶段和七十、八十年代的原理模仿与技术创新阶段，从九十年代起，进入了全面自主设计阶段，使得我国海军在役兵器的主体具备了完全的知识产权，海军兵器技术理论也逐步得到发展和完善。特别是最近十几年来，随着国家海洋权益意识的不断提高和海军转型改革的不断深入，海军兵器得到了更加迅速的发展，大量新型高技术兵器已经装备部队或者即将装备部队；不少新装备采用了新概念、新技术、新材料、新能源，海军兵器正朝着智能化、信息化、精确打击的目标发展。

随着海军大批高新技术兵器装备部队，以及兵器学科理论的发展与完善，迫切需要一套全面反映海军兵器学科基础理论、设计制造技术、保障方法的丛书，一方面方便广大海军官兵系统掌握现代海军兵器的基础理论、技术原理和使用维护方法，以便科学合理地运用兵器、充分发挥高新技术兵器的作战效能；另一方面，对海军兵器学科理论的发展做一个比较全面系统的归纳和总结，以促进海军兵器学科理论和技术方法的创新。为此，我们组织编撰了《现代海军兵器技术丛书》。该丛书以相关专业教学、科研人员近十几年来来的学术积累为基础，同时广泛收集国内相关技术领域的代表性研究成果，着重论述新兴技术对海军装备的影响，结合海军装备技术

发展热点，全面阐述海军兵器的新理论、新技术、新发展；丛书内容涉及舰炮、鱼雷与反潜武器、水雷与反水雷、导弹等多种海军兵器；丛书编撰注重学科理论和技术原理的阐述，同时兼顾内容的系统性，力争使丛书兼备较高的学术水平和较好的实用性。

本丛书可供海军兵器论证、设计、制造、使用和维护领域的技术人员和管理人员阅读参考，也可用作相关高等院校专业师生的教学参考书。

《现代海军兵器技术丛书》编委会

2015 年 2 月

前 言

现代海战中,水面舰艇防空体系面临的空中威胁主要来自反舰导弹、精确制导炮弹,以及包括无人机在内的各种作战飞机。因此,如何合理而有效地利用舰艇所属的资源来对抗来自空天的威胁,最大限度地发挥其作战效能,快速而科学地决策,以及实现作战指挥自动化,是舰艇防空反导作战指挥的核心问题,也是摆在各国海军面前的一大难题。当今世界各国对水面舰艇的安全对策形成了共识,即构成包含远程、中程和近程防御武器系统的由远及近、由外层至内层的防御网。

本书主要对涉及防空反导作战流程中的目标探测信息融合、目标识别、威胁评估、火力分配、武器控制以及舰艇编队协同防空反导等方面的关键问题进行了研究。本书共分为7章。第1章介绍了舰艇防空反导技术的概念、内涵以及发展概况等。第2章对信息融合技术进行了探讨,并着重介绍了目标图像的模糊辨识、图像的配准和图像的超分辨率重建等内容。第3章介绍了目标识别模型及识别方法,并对基于聚类分析的目标识别方法和基于支持向量机分类器的目标识别方法进行了研究。第4章主要介绍了防空威胁评估模型、常用的威胁估计方法和基于核主成分分析TOPSIS法的威胁评估方法。第5章通过对舰艇防空作战武器目标分配的含义进行阐述,研究了火力分配原则、火力分配建模、约束条件等;设计了MPGA算法和改进的DE算法两种方法求解WTA问题。第6章主要介绍了舰载防空反导武器系统火控原理,从舰空导弹火控原理、舰炮火控原理、弹炮结合火控原理以及舰艇编队协同火控原理等方面做了阐述。第7章主要介绍了舰艇编队协同防空反导技术,从编队协同防空反导流程、协同防空反导模型以及编队防空反导目标分配等方面做了阐述。

全书由陈维义总体策划,陈维义、王少蕾统稿。第1、3、4、5章由陈维义、王少蕾撰写;第2章由陈维义、谢琦撰写;第6章由陈维义撰

写；第7章由陈华东撰写。在本书的撰写过程中，得到了海军工程大学兵器工程系程锦房、陈建辉、吴茂林、王德石、朱国富等同志的鼓励、帮助和大力支持。同时，书中参考和引用了许多专家、学者的著作和论文。在此，向他们一并表示衷心的感谢！

舰艇防空反导技术涉及众多学科领域，本书没有一味追求大而全，而是结合作者近几年从事的教学和科研工作进行有重点的研究，加之本书作者学识和水平有限，书中难免会有不妥和错误之处，敬请广大读者批评指正，并给予谅解。

作者

2015年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 舰艇防空反导概述	1
1.1.1 舰艇防空反导的概念	1
1.1.2 舰艇防空反导的基本内涵	2
1.1.3 舰艇防空反导的地位与作用	3
1.1.4 舰艇防空反导作战的特点	4
1.1.5 舰艇防空反导作战过程	5
1.2 作战对象特点	5
1.2.1 空袭目标特性	6
1.2.2 典型空袭目标	6
1.3 舰艇防空反导技术的发展概况	10
1.3.1 舰艇防空体系概况	10
1.3.2 舰艇防空反导关键技术及研究概况	13
1.3.3 舰艇防空反导的发展趋势	26
第2章 舰艇防空反导信息融合技术	30
2.1 信息融合技术概述	30
2.1.1 信息融合的概念	30
2.1.2 信息融合的分类	30
2.1.3 信息融合的理论基础	31
2.2 目标跟踪融合	31
2.3 图像融合	32
2.4 图像的模糊辨识	33
2.4.1 模糊函数的物理来源及其数学模型	33
2.4.2 成像系统模糊函数的辨识	36

2.4.3 应用案例分析	39
2.5 图像配准	41
2.5.1 图像配准的基本概念与方法	41
2.5.2 基于多分辨率的图像配准	45
2.5.3 应用案例分析	51
2.6 图像的超分辨率重建	52
2.6.1 图像的超分辨率重建模型及误差因素分析	52
2.6.2 超分辨率重建的自适应正则化方法	54
2.6.3 应用案例分析	56
第3章 舰艇防空反导目标识别技术	58
3.1 目标类型的划分及特征指标的确定	58
3.1.1 空袭目标的类型划分	58
3.1.2 空袭目标类型的识别因素	58
3.2 目标识别方法及理论基础	59
3.2.1 聚类分析法	59
3.2.2 主成分分析法	59
3.2.3 粒子群优化算法	60
3.2.4 支持向量机分类器原理	61
3.2.5 神经网络分类器	65
3.3 基于聚类分析的目标识别	65
3.3.1 基于粒子群K均值聚类的目标识别模型	65
3.3.2 算例仿真分析	66
3.4 基于支持向量机分类器的目标识别	70
3.4.1 基于支持向量机分类器的目标识别模型	70
3.4.2 算例仿真分析	71
第4章 舰艇防空反导威胁评估技术	81
4.1 威胁评估的相关概念	81
4.2 威胁评估的基本要求	82
4.3 常用的威胁评估方法	82
4.4 基于核主成分分析 TOPSIS 法的威胁评估	88
4.4.1 威胁评估量化指标	88

4.4.2 算法理论基础	91
4.4.3 KPCA-TOPSIS 法实现	94
4.4.4 仿真实例分析	96
第5章 舰艇防空反导武器目标分配技术	98
5.1 WTA 的基本原则	98
5.2 WTA 问题的数学描述	99
5.3 求解多平台多武器 WTA 决策问题编码	100
5.4 多种群并行遗传算法求解 WTA 问题	103
5.4.1 算法理论	103
5.4.2 算法设计	107
5.4.3 仿真分析	109
5.5 混沌策略的自适应差分进化算法求解 WTA 问题	116
5.5.1 算法理论	116
5.5.2 算法设计	120
5.5.3 仿真分析	123
第6章 舰艇防空反导武器火力控制技术	132
6.1 火力控制技术概述	132
6.2 舰空导弹火力控制技术	133
6.2.1 舰空导弹火控系统的技术特点	133
6.2.2 舰空导弹火控系统的工作方式	133
6.2.3 舰空导弹射击原理	134
6.2.4 舰空导弹射击条件假设	134
6.2.5 舰空导弹解命中问题	135
6.3 近程防空反导舰炮火力控制技术	146
6.3.1 输入输出坐标变换	147
6.3.2 目标运动参数	150
6.3.3 机动目标检测	155
6.3.4 解命中计算	158
6.3.5 射击校正	160
6.4 舰载弹炮结合近程防空武器火力控制技术	166
6.4.1 舰载弹炮结合武器的射击指挥过程	166

6.4.2	舰载弹炮结合武器的杀伤区和毁伤概率	167
6.4.3	舰载弹炮结合武器的火力分配模型	168
6.4.4	舰载弹炮结合武器的火力控制系统	172
6.5	舰艇编队协同火力控制技术	173
6.5.1	协同火控系统概述	173
6.5.2	协同火控系统的关键技术	179
6.5.3	典型协同火控系统防空作战工作过程	182
第7章	舰艇编队协同防空反导技术	187
7.1	舰艇编队协同防空反导概述	187
7.1.1	舰艇编队协同防空反导流程	187
7.1.2	舰艇编队协同防空反导的优势	191
7.1.3	舰艇编队协同防空反导作战面临的技术挑战	192
7.2	舰艇编队协同防空反导模型	192
7.2.1	舰艇编队协同防空反导模型概述	193
7.2.2	舰艇编队协同防空反导系统的 IDEF 模型	194
7.2.3	舰艇编队协同防空反导系统的 Petri 网模型	195
7.3	舰艇编队协同防空反导的武器目标分配	198
7.3.1	舰艇编队协同防空反导武器目标分配概述	198
7.3.2	舰艇编队协同防空反导武器目标分配的复杂性	199
7.3.3	舰艇编队协同防空反导问题描述	200
7.3.4	舰艇编队协同防空反导武器目标分配的基本模式	201
7.3.5	基于合同机制的舰艇编队协同防空反导武器目标分配 ...	204
参考文献		210
索引		216

第1章 绪论

1.1 舰艇防空反导概述

1.1.1 舰艇防空反导的概念

防空的概念由来已久，传统意义上的防空主要指对航空空间目标(如作战飞机、巡航导弹)的防备、抗击和反击行动。2011年版《军语》对防空的定义是：“防备、抗击、反击空袭之敌的行动。包括建立防空侦察预警配系，周密部署防空力量，进行疏散隐蔽、防护和伪装，打击、拦截空中来袭之敌，消除空袭后果等。按规模，分为战略防空、战役防空和战术防空；按任务和形式，分为要地防空和野战防空”^[1]。这说明，只要是对空袭之敌的防备、抗击和反击行动都属防空的范畴。

反导的概念则伴随着弹道导弹在战场上的应用而产生。传统意义上的反导，主要指对弹道导弹的拦截。2011年版《军语》没有专门定义反导，而定义了反导作战，是指：“使用反导弹武器拦截来袭导弹或使其失效的作战行动，主要包括战略反导、区域反导、战术反导等”^[1]。相对于空中进攻作战，防空反导作战具有“被动性”，更需要做周密而充分的筹划和准备。

从上述概念可以看出，防空与反导作战是两个互相联系而又互有区别的概念。对于防空反导，目前我军还没有统一的认识。在一些文献中对防空反导的概念，主要有两种观点：一是认为防空与防空反导没有本质区别，只是一种事物在不同阶段的两种概念；二是认为防空是大概念，反导从属于防空，把防空反导中的反导狭义理解为反弹道导弹，从而在表明防空大概念的前提下，突出对弹道导弹的防御。但要看到，这两种观点都存

在天然缺陷,就是把防空和反导分开认识,未从整体上系统把握防空反导的概念。有人认为,“防空反导”不是“防空”与“反导”两个词汇的简单叠加,而是对“防空”与“反导”两个概念的扬弃和升华。防空反导理应是一个不可分割的完整概念,凸显了当前空天防御的内涵和本质。

本书舰艇防空反导概念指的是:防备、抗击、拦截航空器和导弹等兵器对水面舰艇目标进行袭击的作战行动。这里的导弹主要指各类弹道导弹、巡航导弹、反舰导弹、制导炸弹等空中目标。

1.1.2 舰艇防空反导的基本内涵

根据上述概念,本书认为舰艇防空反导的基本内涵至少应包括以下内容:

(1)核心是实现防空反导一体化。将传统的防空作战体系升级为能够兼容反导是信息化条件下对防空作战的基本要求。防空反导一体化既表现为侦察预警、指挥控制、拦截打击等作战功能的一体化,又表现为反航空器和导弹目标作战系统的一体化。实现防空反导一体化,不仅仅要在武器装备、体制编制建设等方面实现一体化,在作战理论、作战方式方法,以及防空与反导、体系与要素、指挥与行动等方面都要实现高度的有机融合。

(2)目的是提升舰艇防空体系作战能力。提高基于信息系统的体系作战能力是舰艇防空建设的根本方向。舰艇防空反导作战是一种涵盖陆、海、空、天、电、网一体的全维作战样式,要求作战理论的前沿性、作战体系的完备性、武器装备的先进性、抗击手段的综合性等,表现出真正意义上的体系作战特性。通过研究舰艇防空反导作战理论,发展舰艇防空反导技术,使舰艇防空作战体系更加完备,体系作战能力更加提升。

(3)要求是适应联合作战。联合作战是信息化条件下主要作战样式。舰艇防空反导作战是联合作战的重要组成部分,只有与其他军兵种在信息获取、作战指挥、作战协同等方面高度融合,才能顺利实施。舰艇防空反导作战应按照联合作战的基本要求,围绕信息、指挥、火力等作战要素,在统一的作战意图下,保持与其他军兵种互联互通和协调一致,这样才能发挥综合效能。

1.1.3 舰艇防空反导的地位与作用

舰艇防空反导作战主要是指承担海上防空反导作战和参加国土联合防空反导作战。

(1) 国家防空反导体系的重要支撑。国家防空反导作战,是陆、海、空军和第二炮兵及人民防空等多种力量参加,在多维空间、战场展开的抗、反、防一体化的作战行动。舰艇防空反导作战作为国家防空反导作战的重要组成部分,在支撑国家防空反导体系中起着不可或缺的重要作用。一是多维空间需要多维力量。舰艇的防空反导作战,主要作战对象是来自低空和中低空的空中威胁,属于末端防空,在这个作战空间的防空反导作战,恰恰是国家防空反导体系相对薄弱的区域,而舰艇防空反导力量则起到了补充和充填“盲区”的作用。二是多维战场需要多维行动。构成国家防空反导体系的各种力量,在各自的战场空间行动,形成了国家防空反导体系的整体行动,从而产生综合效应。在空中力量相对薄弱的情况下,舰艇防空力量是整个国家防空反导体系中以海制空的骨干,一方面肩负着对空抗击的重要任务,另一方面还要掩护其他军兵种的防空安全,其作战行动影响和制约其他军种的作战行动,并为其他军种的作战行动提供有力支持。三是基于系统需要集成支持。国家防空反导体系是多要素构成的应对国家空天安全威胁的“大系统”,系统建设投入大、周期长、涉及面广、技术含量高,需要各子系统功能完备、相互兼容,要素齐全、融合匹配、行动有序。舰艇防空反导系统作为“大系统”的重要组成部分,只有要素高度集成,其功能才能更加完备,才能更好地融入“大系统”中,与其他军种达到“强强”联合的目的,使国家防空反导“大系统”实现“无缝”链接。

(2) 海战场空防行动的骨干力量。近期局部战争表明,海战场不仅有飞机类目标来袭,也有导弹类目标来袭。我周边国家和地区也装备有战役战术导弹武器系统,这将严重威胁我舰艇攻防作战过程中主要作战部署的防空安全。未来海战场舰艇的防空反导作战,不但要应对来自低空和超低空的空袭目标威胁,而且要应对来自空天的安全威胁;不仅要保证战术纵深内的空域安全,还要保证战役纵深内重要目标的防空安全。舰艇防空反导作战力量已成为支撑海战场空防行动的主体。

(3) 联合防空反导作战体系的重要组成。联合防空已经成为未来防空

反导作战的主要方式。空中力量具有到达距离远、攻击精度高、反应速度快、机动性能强等优势,是军事强国在战争行动中首先使用的力量,联合空袭成为首选。多年来,美军一直倡导“空地一体战”,并以此作为指导进行了多场局部战争,获得了极大的成功。近年来,美军又提出了“空海一体战”理论,目的是凭借其超强的空、海军力量,实现由单一的空中优势和海上优势转变为海空联合优势,进而获得战争的绝对优势。无论是“空地一体战”还是“空海一体战”都强调的是联合作战,其中,特种作战、远程空袭作战和空天一体作战的作用将进一步增强。对此,未来我国防空反导必须紧紧围绕作战任务,针对空中主要威胁,统一筹划各军兵种的防空力量,实施联合防空,合理确定作战编组,把优势兵力、兵器集中于主要作战方向和重点地区,构建打防结合、分区域而有重点的联合防空反导作战体系:精心计划组织作战,科学设计作战行动,明确各作战阶段的重心、关键行动和各种作战力量之间的协同方法;依托指挥信息系统,实时掌握战场情况,精确调控作战行动,达成各种作战力量、作战行动和战场空间的紧密配合、整体联动,最大限度地发挥体系作战效能。舰艇防空反导作战力量作为联合防空反导作战力量的重要组成部分,必须融入并能够融入联合防空反导作战体系,在舰艇作战空域内担负起末端防空反导的骨干作用,与其他防空反导力量形成“无缝”衔接,从而达到联合防空的优势效果。

1.1.4 舰艇防空反导作战的特点

舰艇防空反导作战的特点主要表现在以下几个方面:

- (1)海上防空反导作战的地位作用空前突出。
- (2)海上防空反导作战的时间节奏明显加快。
- (3)海上防空反导作战的信息对抗异常激烈。
- (4)海上防空反导作战的指挥控制复杂艰巨。
- (5)海战场环境更加复杂。现代海战环境日益复杂,包括海战场自然环境(地理、气象、天候、水文等)、电磁环境高度复杂,防空作战具有突发性、作战多维性和强对抗性。
- (6)海上防空反导作战决策的动态性。舰艇攻防双方等都处于运动和变化状态,攻防双方态势也时刻变化,防空作战呈动态性。

1.1.5 舰艇防空反导作战过程

防空反导作战过程本质上都是一个信息获取(观察)、信息处理(融合、决策)和信息使用(兵力行动)的循环过程。美军通常采用 OODA (Observation - Orientation - Decision - Action) 模型来分析作战过程。OODA 模型如图 1-1 所示。

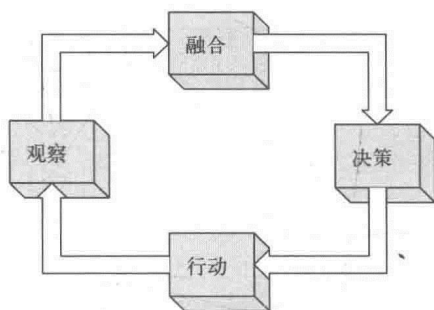


图 1-1 OODA 模型

观察的目的在于及时发现可疑威胁,它是感知战场态势的基础;融合是指对各种信息进行综合处理,能否建立统一的空情态势与情报的共享能力密切相关;决策是指指挥员根据战场态势,结合经验并借助数据库和计算机辅助决策系统进行作战决断;行动是指执行上级命令,进行防空作战;观察兵力行动的效果和态势的变化,开始新一轮循环。

根据 OODA 模型,作战过程可分为预警探测、信息融合、威胁判断、武器使用四个环节。

1.2 作战对象特点

对敌情进行正确的分析和判断,是对我方兵力进行合理部署并打赢现代海战的前提条件。只有正确、全面地掌握和准确地分析敌情,才能恰当地应付各种复杂局面,作出正确的作战决策和实施正确的指挥,从而掌握战争的主动权。敌情通常包括敌方可能来袭的兵力类别、数量、战术技术特性以及敌空袭时的重点突击目标、可能的主攻方向等^[2]。

由于舰艇的防御范围大、层次多,近距离攻击难度很大。为了获得最