



国之重器出版工程

国防现代化建设

Technology and Application of Multi-platform Cooperative Guidance

多平台协同制导技术及应用

石章松 吴玲 吴中红 等 



中国工信出版集团



电子工业出版社
<http://www.phei.com.cn>



国之重器出版工程

国防现代化建设

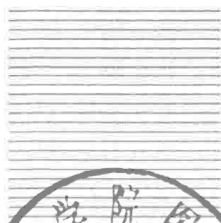


多平台协同制导技术及应用

Technology and Application of Multi-platform Cooperative Guidance

石章松 吴 玲 吴中红
卢发兴 傅 冰 谢 君

著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书从舰空导弹武器系统多平台协同制导的防空反导作战需求入手,阐述协同作战与协同制导的概念和内涵,介绍了多平台协同制导作战中的点迹融合方法、舰空导弹武器系统协同制导总体方案、协同制导单元建模方法、协同制导单元交接方法、协同制导交接指令误差消减方法和编队防空反导多武器协调运用,以及协同制导仿真系统。

本书适合从事指挥控制、舰空导弹武器系统、武器系统对抗仿真,以及相关领域开发的科技人员、高校师生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

多平台协同制导技术及应用 / 石章松等编著. —北京:电子工业出版社, 2019.5

ISBN 978-7-121-29517-1

I. ①多… II. ①石… III. ①导弹制导—控制系统—研究 IV. ①TJ765

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 050904 号

策划编辑: 张正梅

责任编辑: 张正梅 特约编辑: 白天明 等

印 刷: 固安县铭成印刷有限公司

装 订: 固安县铭成印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 720×1 000 1/16 印张: 18.75 字数: 325 千字

版 次: 2019 年 5 月第 1 版

印 次: 2019 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254757。

《国之重器出版工程》

编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

冯长辉	梁志峰	高东升	姜子琨	许科敏
陈 因	郑立新	马向晖	高云虎	金 鑫
李 巍	李 东	高延敏	何 琼	刁石京
谢少锋	闻 库	韩 夏	赵志国	谢远生
赵永红	韩占武	刘 多	尹丽波	赵 波
卢 山	徐惠彬	赵长禄	周 玉	姚 郁
张 炜	聂 宏	付梦印	季仲华	



专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

于 全 中国工程院院士

王少萍 “长江学者奖励计划”特聘教授

王建民 清华大学软件学院院长

王哲荣 中国工程院院士

王 越 中国科学院院士、中国工程院院士

尤肖虎 “长江学者奖励计划”特聘教授

邓宗全 中国工程院院士

甘晓华 中国工程院院士

叶培建 中国科学院院士

朱英富 中国工程院院士

朵英贤 中国工程院院士

邬贺铨 中国工程院院士

刘大响 中国工程院院士

刘怡昕 中国工程院院士

刘韵洁 中国工程院院士

孙逢春 中国工程院院士

苏彦庆 “长江学者奖励计划”特聘教授



- 苏哲子 中国工程院院士
- 李伯虎 中国工程院院士
- 李应红 中国科学院院士
- 李新亚 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
中国机械工业联合会副会长
- 杨德森 中国工程院院士
- 张宏科 北京交通大学下一代互联网互联设备国家
工程实验室主任
- 陆建勋 中国工程院院士
- 陆燕荪 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
原机械工业部副部长
- 陈一坚 中国工程院院士
- 陈懋章 中国工程院院士
- 金东寒 中国工程院院士
- 周立伟 中国工程院院士
- 郑纬民 中国计算机学会原理事长
- 郑建华 中国科学院院士



- 屈贤明** 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任
- 项昌乐** “长江学者奖励计划”特聘教授，中国科协书记处书记，北京理工大学党委副书记、副校长
- 柳百成** 中国工程院院士
- 闻雪友** 中国工程院院士
- 徐德民** 中国工程院院士
- 唐长红** 中国工程院院士
- 黄卫东** “长江学者奖励计划”特聘教授
- 黄先祥** 中国工程院院士
- 黄 维** 中国科学院院士、西北工业大学常务副校长
- 董景辰** 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员
- 焦宗夏** “长江学者奖励计划”特聘教授



前言

本书从舰空导弹武器系统多平台协同制导的防空反导作战需求入手，阐述了协同作战与协同制导的概念、内涵及研究现状，介绍了多平台协同制导作战中的点迹融合方法、舰空导弹武器系统协同制导总体方案、协同制导单元协同作战方案建模、协同制导单元制导交接方法、协同制导交接指令误差消减方法和编队防空反导多武器协调运用，以及协同制导仿真系统。

本书对于搞好多平台协同制导系统体系的顶层设计、多平台超视距协同制导系统的构建、指挥手段的运用和作战效能的提升都具有重要的参考价值，适合从事指挥控制、舰空导弹武器系统、武器系统对抗仿真，以及相关领域开发的科技人员、高校师生使用。

本书是在作者团队多年研究成果基础之上，经过进一步的总结和加工而完成的，张丕旭、肖文凯、余戎潼等多名博士、硕士研究生参与了其中的研究工作。全书共 8 章，第 1、3、8 章由石章松负责撰写，第 2 章由吴中红负责撰写，第 7 章由吴玲负责撰写，第 4 章由卢发兴负责撰写，第 5 章由傅冰负责撰写，第 6 章由谢君负责撰写。林华对本书做了大量的审校工作，并提出了宝贵意见。



在撰写过程中，作者得到单位各级领导及机关业务部门的关心和支持，电子工业出版社为本书的出版提供了许多便利条件，在此表示衷心的感谢。

受作者学术水平限制，书中难免存在一些疏漏和不足之处，敬请读者批评、指正。

作 者

2019年4月



目 录

第 1 章 绪论	001
1.1 协同作战与协同制导的概念及内涵	004
1.1.1 防空导弹武器体系	004
1.1.2 协同作战	009
1.1.3 协同制导	015
1.1.4 协同制导关键技术	017
1.2 国内外研究现状	018
1.3 本书主要内容	023
第 2 章 基于多假设的点迹融合方法	025
2.1 引言	025
2.2 多假设算法	026
2.2.1 基于假设的 MHT 算法	026
2.2.2 基于航迹的 MHT 算法	028
2.3 基于多假设的航迹起始算法	031
2.3.1 航迹起始波门	031
2.3.2 多假设算法航迹起始过程	033
2.3.3 改进的交互多模型滤波器	034
2.3.4 杂波环境下多假设航迹起始仿真	042
2.4 基于多假设树的点迹融合航迹关联算法	049



2.4.1	多假设树的构建	049
2.4.2	基于匈牙利法的多假设树管理	053
2.4.3	仿真计算	057
2.5	本章小结	059
第3章	舰空导弹武器系统协同制导总体方案	060
3.1	引言	060
3.2	协同制导方案	061
3.2.1	协同制导方案设计	061
3.2.2	功能描述	064
3.2.3	模块组成	066
3.2.4	舰空导弹协同制导与指控、多平台协同作战之间的关系	070
3.3	协同制导指挥方式	073
3.3.1	舰空导弹武器系统作战指挥层次	073
3.3.2	舰空导弹武器系统完成本舰区域防空任务的指挥关系	074
3.3.3	主要功能界面	078
3.3.4	舰空导弹协同制导的指挥方式及逻辑结构	079
3.4	协同制导指挥流程	081
3.4.1	舰空导弹协同制导的总体流程	081
3.4.2	舰空导弹武器系统完成本舰区域防空任务的指挥过程	082
3.4.3	舰空导弹协同制导的指挥流程	086
3.5	本章小结	094
第4章	协同制导单元协同作战方案建模	095
4.1	引言	095
4.2	CEP 形成问题	096
4.3	CEP 分层决策框架	096
4.4	舰空导弹协同制导作战空域建模及计算分析	098
4.4.1	协同制导作战空域研究假设	099
4.4.2	基于单平台的舰空导弹武器系统作战空域	099
4.4.3	基于协同制导作战的杀伤区	101
4.4.4	基于协同制导作战的发射区	106
4.4.5	实例计算与分析	111



4.5 基于先期毁伤概率的协同制导 WTA 模型	114
4.5.1 WTA 模型描述	114
4.5.2 先期毁伤概率的确定	115
4.5.3 仿真计算	116
4.6 基于制导交接满意度的协同制导武器分配模型	118
4.7 分布式协同决策方法在 CEP 求解中的应用探讨	119
4.7.1 合同网模型	120
4.7.2 合同网协同制导 Agent 结构	121
4.7.3 合同网 Agent 通信语言	122
4.7.4 多平台协同制导任务分配框架设计	124
4.7.5 多平台协同制导任务分配流程	124
4.7.6 基于合同网的协同制导任务分配流程分析	125
4.8 本章小结	129
第 5 章 协同制导单元制导交接方法	130
5.1 引言	130
5.2 制导交接内涵	130
5.2.1 交接制导指令产生方式	132
5.2.2 指令形成与传输	136
5.3 制导交接方式选择	137
5.4 制导交接空域和时机分析	138
5.5 制导交接导弹指示方法	139
5.5.1 导弹指示信息分析	140
5.5.2 相关坐标系及变换公式	142
5.5.3 导弹指示信息的求解	146
5.6 制导交接环节的导弹截获效率	151
5.6.1 导弹落入概率分析和计算	151
5.6.2 雷达搜索区域的确定	152
5.7 本章小结	154
第 6 章 协同制导交接指令误差消减方法	155
6.1 引言	155
6.2 导弹位置指令参数误差估计方法	156



6.2.1	问题描述	156
6.2.2	基于最小二乘法的导弹位置指令误差估计方法	160
6.2.3	基于地心坐标系的导弹位置指令误差估计方法	163
6.3	目标指令参数误差估计方法	170
6.3.1	问题描述	170
6.3.2	基于 MLR 的目标指令参数的误差估计方法	173
6.4	本章小结	185
第 7 章	编队防空反导多武器协调运用	187
7.1	引言	187
7.2	舰艇软硬武器约束条件分析与建模	187
7.2.1	战斗动作时序关系	188
7.2.2	技术能力约束条件分析	190
7.2.3	空域资源约束条件分析	197
7.2.4	武器资源约束条件分析	207
7.3	对目标全航路拦截多种软硬武器实时调度方法	209
7.3.1	基本思路	209
7.3.2	目标威胁评估模型	212
7.3.3	武器射效评估模型	215
7.3.4	实例仿真与分析	215
7.4	多种软硬武器协同作战使用兼容性判断与协调	217
7.4.1	硬武器之间火力兼容性判断	217
7.4.2	多种软硬武器协同作战使用兼容性协调技术	220
7.5	基于效能的舰艇软硬武器协同指挥与控制仿真评估	230
7.5.1	武器调度仿真系统设计	230
7.5.2	仿真系统运行实现	232
7.5.3	仿真实例	232
7.6	本章小结	233
第 8 章	协同制导仿真系统	234
8.1	引言	234
8.2	协同制导仿真系统总体设计	234
8.2.1	系统结构	234



8.2.2 系统功能	236
8.2.3 系统流程	245
8.3 协同制导单元仿真设计	248
8.3.1 总体设计	248
8.3.2 详细设计	251
8.4 仿真运行结果	266
8.5 效能评估指标	270
8.5.1 协同制导作战效能的评估指标层次关系分析	270
8.5.2 舰空导弹中末制导交班成功概率主要影响因素	271
8.5.3 舰空导弹中末制导交班成功概率评估指标体系	273
8.6 本章小结	274
参考文献	275
后记	283



第1章

绪 论

现代海战中，水面舰艇面临的一个主要威胁就是反舰导弹。反舰导弹具有射程远、速度快、精度高、隐身性能好、抗干扰能力强等特点，而且在战术上可以采用低空、超低空突防，在多层次、多方向上同时对舰艇发起饱和攻击，对水面舰艇造成极大威胁。在这种情况下，如果水面舰艇无法保证自身安全，就难以完成海军赋予的使命和任务，因此，如何对反舰导弹进行拦截已成为水面舰艇迫切需要解决的现实问题。

舰空导弹武器系统是完成舰艇对空防御作战的主要武器。由于现代反舰导弹通常会在末段采用机动航路和超声速飞行等作战方式，使舰空导弹武器系统对其远程跟踪困难、反应时间短。而处于视距外的巡航段，反舰导弹一般采取亚声速飞行，航路相对稳定，对这类目标，舰空导弹武器系统可以实现快速稳定跟踪，命中概率高，可以对视距外的巡航反舰导弹实施有效拦截，同时，通过制导平台的变换，还能有效对抗反辐射导弹的攻击。因此，新型舰空导弹武器系统采用多平台协同制导的方式，实现视距外防空反导，是新型舰空导弹武器系统发展的主要方向。

然而，具有协同制导作战能力的新型舰空导弹武器系统是一个复杂的舰载武器系统，涉及诸多环节，接收到的信息纷繁复杂。传统防空作战模式下，编队各作战平台虽然可进行一定范围的信息共享，但主要依靠自身的传感器和武器进行作战，每个平台的作战能力很大程度上受到平台自身资源（传感器、指挥控制和武器）的限制，现行的探测、发射和制导共平台体制已不能满足远程防空导弹目标跟踪和制导的需求。



随着信息技术和网络技术的发展，海上编队平台间可以通过多平台协同作战系统共享火控级战场态势，使指挥决策和武器控制的协同进一步增强，为新型舰空导弹进行超视距协同制导提供了技术基础。这样，如何在复杂的海战场，综合利用舰艇编队内部作战资源，发挥新型舰空导弹武器系统的协同制导作战能力，达到有效拦截超视距反舰导弹的目的，已成为新型舰空导弹武器系统亟待解决的一个难题。

舰空导弹超视距协同制导作战的目的是在共享火控级战场态势数据的基础上，充分利用和发挥网络化信息组网所带来的信息共享质量和共享程度，最大限度地提高舰空导弹超视距协同制导作战的整体效能。舰空导弹协同制导作战强调集中编队内各种作战资源，发挥整体作战优势，实施作战平台之间的协同作战，主要关注于编队范围内舰空导弹的协同问题，具体体现在对编队作战资源的指挥控制及管理，涉及诸多关键技术，包括协同方案总体技术、协同指挥辅助决策技术、指令误差消减处理技术、协同制导效能评估等。

通过对多平台超视距协同制导关键技术的研究，可最大限度地提升舰空导弹武器系统的作战效能，使编队防空体系形成以下作战能力。

1. 对超低空巡航导弹等目标的低空中继制导和低空拦截能力

舰艇编队中某舰艇的传感器无法连续探测到超低空掠海攻击导弹，可依靠其他舰艇和预警机实施联合探测并通过多平台协同防空信息系统中段制导，实施拦截，如图 1.1 所示。

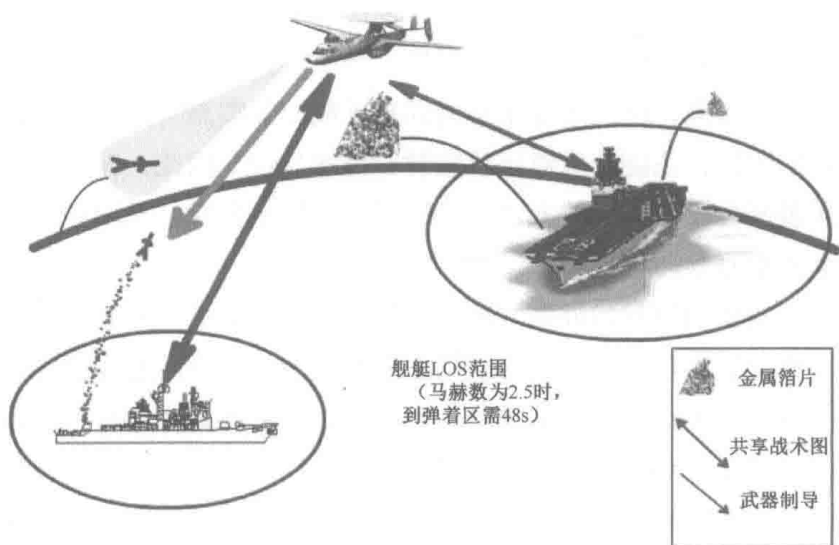


图 1.1 对超低空掠海攻击导弹的防御



2. 超视距拦截远程导弹及高性能飞机的作战能力

战区防空系统遇到远程超视距巡航导弹或高性能飞机时, 由于地球曲率或地表障碍物的影响, 战区中的海面/地面传感器无法连续探测到来袭导弹, 可依靠机载中继制导, 实施多层次拦截作战, 如图 1.2 所示。

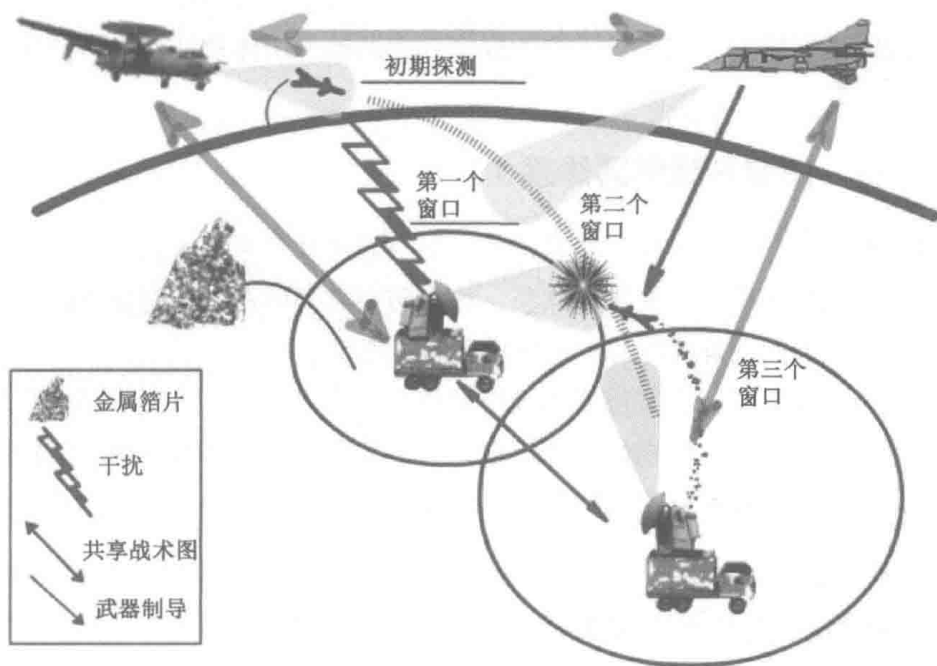


图 1.2 对远程超视距巡航导弹的防御

3. 强有力的抗干扰作战能力

面对复杂的电子对抗环境, 制导雷达与发射平台固定匹配作战, 不利于对隐身目标的探测, 也不利于对抗反辐射导弹。对于抗干扰, 虽然可以通过多个火力单元组网, 完成对自卫干扰目标的坐标测定, 但制导雷达的探测区和防空导弹的火力区得不到最佳的配合, 对支援干扰也没有对抗能力。所以舰空导弹体系不得不从以发射平台(火力单元)为中心的防空作战, 转向以网络为中心的多平台协同制导防空作战。

在海上编队协同作战条件下, 针对现行探测、发射和制导共平台的体制不能满足舰艇编队中远程防空导弹目标跟踪和制导的需求, 超视距协同制导是解决中远程舰空导弹发现、跟踪、发射和制导问题的有效途径。舰空导弹协同制导作战使分布于不同作战平台的各型舰空导弹武器, 借助于一体化指挥信息系统, 整合成火力打击网络, 加大作战纵深, 提高有效拦截目标次数, 做到早发现、早预警、早打击, 极大地扩大了编队对空防御范围和提高作战主动性与灵活性。