

角度控制与 时间控制导引律

张友安 等◎著

Guidance Laws for Impact Angle
and Impact Time Control



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

角度控制与时间控制导引律

张友安 王星亮 刘京茂 马国欣 孙玉梅◎著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍反舰导弹攻击角度与攻击时间控制导引律的设计理论和方法。全书分为7章,综述了攻击角度与攻击时间控制及相关领域的研究情况;针对全方位打击的需求,研究了基于偏置比例导引的攻击角度控制导引律设计方法;针对机动目标,研究了基于滑模控制的考虑导引头视场约束的攻击角度控制导引律设计方法;研究了攻击时间控制导引问题,介绍了攻击时间控制导引律的两种设计方法,并探讨了考虑飞控系统不确定动态特性和导引头视场约束的攻击时间控制导引律设计问题;探讨了同时考虑攻击时间和攻击角度约束的导引律设计问题,研究了带攻击角度约束的攻击时间控制导引律的两种设计方法;介绍了攻击时间协同导引问题,探讨了基于“领弹—被领弹”这一特殊通信网络拓扑的攻击时间协同导引律设计方法;针对通信网络拓扑未知且时变的情况,研究了分布式攻击时间协同导引律设计方法,并探讨了实现导弹攻击时间协同一致关于通信网络连通性的充分条件。

本书可作为高等院校导航、制导与控制专业研究生、高年级本科生的教学参考书,也可供装备技术论证、研制部门的高级工程技术人员阅读参考。

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

角度控制与时间控制导引律 / 张友安等著. —北京: 电子工业出版社, 2017.7

ISBN 978-7-121-31848-1

I. ①角… II. ①张… III. ①反舰导弹—攻击—研究 IV. ①TJ761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 130165 号

责任编辑: 赵 平

特约编辑: 罗树利 赵海军等

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 北京季蜂印刷有限公司

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: 720×1000 1/16 印张: 15 字数: 336 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 49.00 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 zlts@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) 88254750。

前 言

反舰导弹发射距离远、打击精度高、突击威力大、效费比高，被称为水面舰艇的“杀手”。目前世界上已有 20 多个国家和地区具有自行研制反舰导弹的能力，装备反舰导弹的国家和地区已超过 70 个。可以说，反舰导弹已成为现代海战中对舰船实施打击的主要装备。

然而，“有矛必有盾”。伴随着反舰导弹的发展，舰艇的反导防御系统也在不断地发展和升级。现今的大多数军舰都装备有各种反导防御系统。这些反导防御系统又分为软杀伤和硬杀伤两类防御系统。软杀伤防御系统主要指电子战设备，如箔条、一次性射频有源诱饵、红外干扰弹、舰载有源干扰机、激光致盲武器和烟幕等，它们能够干扰或欺骗导弹的制导系统，使其偏离目标而脱靶。硬杀伤防御系统包括反导导弹和近距武器系统等，它们能够摧毁来袭导弹使其永久性失效。防空反导武器装备的典型布局为三层防御结构：中远程 SAM (Ship to Air Missile, 舰空导弹)、中近程 SAM 和近程 RFAG (Rapid-Firing Automatic Gun, 速射炮) (或弹炮结合) 系统。反舰导弹要想突破反导系统的层层防御，总的来说有两种思路，即“以快取胜”和“以量取胜”。以快取胜是指，发展速度更快、性能更高的反舰导弹（如高超声速反舰导弹），以压缩目标舰艇从发现反舰导弹来袭到组织有效抗击的反应时间，降低其抗击效能，从而提高反舰导弹的突防能力。以量取胜是指，从不同位置，利用不同平台，发射多枚反舰导弹，从不同角度同时突防，形成“多对一”的打击态势，使敌方舰艇的防空反导系统在短时间内处于无法应付的饱和状态，从而提高突防成功的概率。目前，受发动机、热防护、目标捕捉与飞行控

制等技术瓶颈的制约，高超声速反舰导弹的发展仍处于探索阶段。因此，对于现代反舰作战来说，运用大量性价比高的高亚声速反舰导弹实施饱和攻击，仍旧是最为有效的手段。

要实现饱和攻击，就要求参与攻击任务的多枚导弹能从不同方向同时到达目标。这就要求导弹制导系统具有控制导弹攻击时间和攻击角度的能力。传统的导引方式（如比例导引），显然不能满足控制导弹攻击角度和攻击时间的需求。因此，有必要研究以饱和攻击为应用背景的反舰导弹攻击时间与攻击角度控制导引方法。

本书主要介绍作者在反舰导弹攻击角度与攻击时间控制导引领域所取得的研究成果，按照循序渐进的思路组织本书的内容。第1章对攻击角度与攻击时间控制导引领域相关的研究情况进行了简要介绍。第2章讨论了攻击角度控制导引问题，首先基于传统的比例导引，设计了一种可实现全方位攻击的攻击角度控制导引律；然后针对机动目标，研究了一种基于滑模控制的考虑导引头视场约束的攻击角度控制导引律设计方法。第3章讨论了攻击时间控制导引问题，首先介绍了基于动态逆控制的攻击时间控制导引律设计方法，然后介绍了基于偏置比例导引的攻击时间控制导引律设计方法。为消除飞控系统不确定动态特性对导引律性能的不利影响，第3章还介绍了一种基于双环控制策略的考虑导引头视场约束的攻击时间控制导引律设计方法。第4、5章讨论了同时控制攻击角度和攻击时间的导引律设计问题。其中，第4章介绍了两阶段控制法，第5章介绍了偏置比例导引法。第6、7章讨论了多导弹攻击时间协同导引问题。攻击时间协同导引需要通信网络作为支撑。第6章针对“领弹—被领弹”这一特殊的通信网络拓扑，研究了基于动态逆控制的攻击时间协同导引律设计方法；为进一步放松对通信网络连通性的需求，第7章研究了基于协同控制理论的分布式攻击时间协同导引律设计方法，这种方法易于推广到考虑导引头视场约束和攻击角度约束的情形。

本书第1、2、5、7章由王星亮和张友安共同编写，第3、4章由张友安、王星亮和刘京茂（山东南山国际飞行有限公司高工）共同编写，第6章由马国欣和孙玉梅（烟台南山学院教授）共同编写。全书由烟台南山学院教授张友安统稿。

本书的部分内容参考和引用了国内外同行专家、学者的最新研究成果，在此特向他（她）们表示由衷的感谢。本书的出版得到了烟台南山学院、海军航空工程学院、海军装备研究院的大力支持，在此一并表示感谢！

本书由国家自然科学基金（项目编号：61273058）资助出版。

由于著者学术水平有限，加之出版时间仓促，书中存在错误与不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 背景、现状与挑战	1
1.1 背景	1
1.1.1 反导的主要手段	2
1.1.2 反舰导弹的突防方法	6
1.2 现状	8
1.2.1 攻击角度控制导引律	8
1.2.2 攻击时间控制导引律	16
1.2.3 攻击时间协同导引律	21
1.3 挑战	26
1.3.1 全方位攻击	26
1.3.2 剩余飞行时间估计	26
1.3.3 导引头视场约束	27
1.3.4 通信网络连通性	28
1.3.5 飞控系统的滞后效应	28
1.4 结构安排	29
参考文献	30
第 2 章 攻击角度控制导引律	41
2.1 基于偏置比例导引的任意指定攻击角度控制导引律	43
2.1.1 问题描述	43
2.1.2 导引律设计	44

2.1.3	稳定性分析	46
2.1.4	仿真验证	51
2.2	基于滑模控制的考虑导引头视场约束的攻击角度控制导引律	52
2.2.1	问题描述	52
2.2.2	导引律设计	54
2.2.3	稳定性分析	58
2.2.4	仿真验证	61
2.3	本章小结	67
	参考文献	67
第 3 章	攻击时间控制导引律	71
3.1	攻击时间控制导引律: 动态逆控制方法	72
3.1.1	问题描述	72
3.1.2	攻击时间控制的动态逆导引律设计	74
3.1.3	参数取值方法	76
3.1.4	仿真分析	77
3.2	考虑导引头视场约束的攻击时间控制导引律: 偏置比例导引法	79
3.2.1	问题描述	79
3.2.2	导引律设计	79
3.2.3	稳定性分析	82
3.2.4	仿真验证	86
3.3	考虑飞控系统不确定动态特性和导引头视场约束的攻击时间 控制导引律	92
3.3.1	问题描述	93
3.3.2	导引律设计	93
3.3.3	稳定性分析	99
3.3.4	仿真分析	106
3.4	本章小结	111
	参考文献	112

第4章 带攻击角度约束的攻击时间控制导引律：两阶段控制法	116
4.1 平面内带攻击角度约束的攻击时间控制导引律	117
4.1.1 问题描述与两阶段控制策略	117
4.1.2 第一阶段：时间精控与角度粗控	119
4.1.3 第二阶段：攻击角度精确控制	123
4.1.4 攻击时间与攻击角度的指定	125
4.1.5 仿真分析	126
4.2 三维空间内带攻击角度约束的攻击时间控制导引律	128
4.2.1 问题描述与两阶段控制策略	128
4.2.2 第一阶段：时间精控与角度粗控	130
4.2.3 第二阶段：攻击角度精确控制	133
4.2.4 仿真分析	135
4.3 本章小结	137
参考文献	137
第5章 带攻击角度约束的攻击时间控制导引律：偏置比例导引法	139
5.1 问题描述	140
5.2 BPN-IACG 剩余飞行时间估计	141
5.3 导引律设计	150
5.4 稳定性分析	154
5.5 仿真验证	158
5.6 本章小结	165
参考文献	165
第6章 多导弹攻击时间协同导引律：“领弹—被领弹”方法	166
6.1 领弹控制下的多导弹攻击时间协同控制设计模型	167
6.2 非线性动态逆控制器设计	171
6.2.1 慢动力学子系统动态逆控制设计	172
6.2.2 快动力学子系统动态逆控制设计	173
6.2.3 参数的取值方法	175
6.3 导弹速度不相同情况下的推广	175

6.4	领弹的选取	177
6.5	仿真结果与分析	177
6.5.1	领弹的初始前置角大于 0 的情况	177
6.5.2	领弹的初始前置角小于 0 的情况	180
6.5.3	参数取不同值时的情况	182
6.5.4	各枚导弹速度不同时的情况	183
6.6	本章小结	184
	参考文献	184
第 7 章	多导弹分布式攻击时间协同导引律	185
7.1	问题描述及预备知识	186
7.1.1	问题描述	186
7.1.2	预备知识	187
7.2	不带攻击角度约束的多导弹分布式攻击时间协同导引律	188
7.2.1	导引律设计	189
7.2.2	稳定性分析	193
7.2.3	仿真分析	198
7.3	带攻击角度约束的多导弹分布式攻击时间协同导引律	206
7.3.1	导引律设计	206
7.3.2	稳定性分析	211
7.3.3	仿真分析	216
7.4	本章小结	227
	参考文献	228
	主要符号表	230

第 1 章

背景、现状与挑战

反导防御系统的不断发展，使得反舰导弹突防面临十分严峻的挑战，反舰导弹要想突破层层防御系统击中目标变得越来越困难。这使得饱和攻击战术重新受到重视。而实现饱和攻击战术的关键技术之一就是攻击角度与攻击时间控制导引技术。本章首先阐述反导的主要手段和突防的主要方法，然后综述国内外攻击角度与攻击时间控制导引问题的研究现状，最后给出攻击角度与攻击时间控制导引所面临的主要挑战。

1.1 背景

反舰导弹，是指从空中、水面、水下或岸基平台发射，用于攻击敌水面舰船的导弹，包括舰对舰、岸对舰、空对舰和潜对舰导弹等。

早在 20 世纪 50 年代，苏联就首先成功研制了反舰导弹。1967 年第三次中东战争，埃及用 3 枚苏制的 $\Pi-15$ 反舰导弹（西方人称之为“冥河”导弹）一举击沉了以色列 2500 吨的驱逐舰艾拉特号。这一事件展示了反舰导弹的巨大威力，大

大推动了反舰导弹的发展。第三次中东战争以后,以色列专门发展了一种灵活机动的近程亚声速反舰导弹——伽伯列。于是,在第四次中东战争中发生了前所未有的小型导弹快艇之间的对抗。以色列人使用伽伯列反舰导弹,在几天内击沉了 9 艘苏制导弹快艇,而“冥河”导弹对于以色列的小型导弹快艇却表现得无能为力(按战术技术指标,该导弹只能用来打击 3000 吨以上的大、中型水面舰艇)。第四次中东战争开创了小型导弹快艇对局的海战新格局。1982 年发生了英国与阿根廷之间的马岛战争。阿根廷空军使用一枚法制空射飞鱼反舰导弹(单价约为 20 万美元),采用掠海飞行,一举击沉了英国 4100 吨的驱逐舰谢菲尔德号(造价约为 2 亿美元),取得了小艇打大舰的又一次辉煌胜利,再次验证了反舰导弹巨大的威力和极高的效费比^[1]。据不完全统计,从 1967 年到 1982 年的 5 次海战中,共击沉各类舰船 48 艘,其中 28 艘是被反舰导弹击中的。可以说,反舰导弹是水面舰艇的“克星”^[2]。目前,世界上的反舰导弹已经有 80 多种型号,而装备反舰导弹的国家和地区已经超过 70 个,具有自行研制反舰导弹能力的国家和地区已有 20 多个。

然而,“有矛必有盾”。随着反舰导弹在突防能力等作战方面日趋成熟,针对反舰导弹的防御系统也在逐步发展。反舰导弹和反导系统就如“矛”和“盾”,相依相克、相互促进而又此消彼长,不断交替向前发展。

1.1.1 反导的主要手段

现有的舰艇、编队反导手段主要分为“软抗击”和“硬抗击”^[3]。

1. “软抗击”反导武器系统

1973 年,以色列使用大量金属箔条和雷达干扰物,使埃及、叙利亚的 50 余枚“冥河”导弹无一命中,导致了世界海军对软抗击反导武器系统的开发热。1982 年,英国海军同样用箔条技术成功对抗“飞鱼”反舰导弹,将软抗击反导武器系统的开发推向了高潮。

舰载软抗击反导武器一般称为电子对抗和干扰武器,通常可分为舰载有源干扰系统和舰载舷外干扰系统(又分为舷外无源干扰和舷外有源干扰)两大类。舰载软抗击反导武器系统通过截获、分析海战场上的各种电磁信号,识别来自敌反

舰导弹末制导系统的电磁信息,从而运用电子对抗资源来破坏反舰导弹对舰艇的捕获和跟踪,致使反舰导弹攻击失效,提高舰艇安全。由于现代反舰导弹的制导系统和信号形式复杂多样,软抗击反导武器系统必须根据反舰导弹不同的制导方式,有的放矢,选用相应的对抗技术和对抗方法,才能提高作战效能^[4]。

1) 舷外无源干扰技术及武器系统

舷外无源干扰武器主要包括箔条干扰弹、红外诱饵弹和雷达假目标,其作用原理是:利用物理等方法形成电磁或红外辐射特征与载舰相似、外形结构与载舰相近、雷达或红外反射面积与载舰相当或更大的假目标;或者利用载舰对电磁波或红外线的反射、散射和吸收作用,扰乱电磁波的传播,改变载舰的雷达或红外散射特性,以干扰方式、迷惑方式或欺骗方式引诱来袭反舰导弹的制导系统,使反舰导弹偏离靶舰。

箔条干扰是水面舰艇对付反舰导弹制式导引头使用最广泛的一种软杀伤电子对抗和诱惑技术。现代箔条弹一般装填尺寸为预定威胁雷达波长一半的镀铝玻璃偶极子或箔条,一旦被照亮,就会和雷达发射机的射频形成谐振,产生虚假的雷达回波;数百万个这样的偶极子产生的箔条云会形成一个雷达反射面积与舰艇相当的假目标,从而对来袭导弹起到迷惑、诱惑、欺骗等干扰作用。比较典型的箔条干扰武器有美国的箔条射频诱惑弹“箔条星”和“超级箔条星”、远程舷外箔条弹“洛洛克”和“超级洛洛克”,英国的 Mk214 型射频干扰弹和 Mk216 型远程射频干扰弹等。

红外诱饵也是舷外无源干扰的重要技术之一。早期的红外诱饵弹比较简单,其作用仅限于模拟舰艇的“热点”部位,如发动机和排气系统等。现代红外诱饵弹在空中爆炸后产生多波段的混合热烟雾、辉光粒子和气态辐射等,可模拟舰艇的壳体、烟囱和排气羽烟的红外散射特征,其辐射强度、反散面积和持续时间已达到几可乱真的程度。这类红外诱饵弹一般采用多弹间隔投射方式,以便使形成的红外假目标“质心”逐渐移离载舰,最终以干扰和引诱方式将来袭的红外制导反舰导弹“引离”靶舰。比较典型的有美国的子母弹型红外诱饵弹“EX252”、红外假目标弹“超级引离式红外诱惑弹”,德国的红外诱饵子母弹“巨人”,法国的“达盖”舷外无源干扰系统的 C 型近程红外诱饵弹、远程假目标无源干扰系统“萨盖”等。

近年来,为了对付最先进的多模制导反舰导弹,一些国家的海军又研发了不同型号的红外诱饵/射频干扰复合式舷外干扰弹,如美国的“双子座”、“超级双子座”箔条/红外复合干扰弹,俄罗斯的 SOM50 红外/激光复合干扰弹、SK50 红外/射频/激光多模干扰弹,英国的“塔洛斯”箔条/红外双模干扰弹等。

雷达假目标又称雷达诱饵或雷达陷阱,一般由角反射器或龙伯透镜组成。作为舷外无源干扰手段之一,雷达假目标通常采用船拖漂浮式。即用一条足够长的缆绳将其拖在舰艇后面,依靠其比舰艇还要大的雷达反射面积,引诱来袭导弹的末制导雷达误入“歧途”。如以色列的新一代宽带跳频反雷达假目标 WIZARD“维扎德”。

2) 舷外有源干扰技术及武器系统

舷外有源干扰系统的主要特点是能够主动发射电磁波,用主动施放的干扰能量形成假目标雷达截面,用主动的电子手段俘获来袭导弹的雷达导引头,欺骗或引诱其偏离攻击航路而导致脱靶,能够对付最先进的雷达制导反舰导弹。舷外有源干扰武器主要可分为投放式干扰型、自由飞行式干扰型和拖放式干扰型。

投放式干扰装置是目前舷外有源干扰系统中使用最广泛的一类,包括水上漂浮型、空中悬停型和降落伞助降型。这类干扰装置一般由接收机、行波管发射机、发射/接收天线、电子控制器、数字式处理器和电源等部分组成,由舰载发射装置发射,到达指定位置后,自载的电子设备即适时接收或转发来袭导弹末制导雷达的发射信号,随之对其进行大功率干扰或发出经选定的干扰信号,最终达到欺骗、诱惑来袭导弹并使之偏离目标的目的。比较典型的投放式干扰武器系统有美国的 LURES“卢尔”有源电子诱饵弹、英国的 SIREN 有源干扰系统等。

为了对付制导雷达开机时间短、电磁辐射隐蔽性好、抗干扰能力强的反舰导弹,近年来又出现了智能化程度更高的自由飞行式舷外有源干扰系统。这种装置常被称为飞行雷达假目标,通常由小型固体火箭助推,在螺旋桨作用下稳定飞行。这种干扰装置的作用原理是:飞行器有两根天线,其中一根用于接收来袭导弹末制导雷达的发射信号,另一根将信号放大后再发射出去,通过这种转发方式对导弹进行欺骗干扰,使之最终偏航脱靶。如美国研制的带有折叠翼的小型无人飞行器的雷达假目标。

舷外有源干扰系统还有一种拖曳式,是由载舰拖带的、装在小艇上的电子干扰系统,可利用多部接收天线探测雷达的发射信号,用调整发射机频率的方法发出诱饵信号,对来袭导弹进行调频干扰和欺骗干扰。这种干扰武器系统的缺点是体积较大、不便运载,且可能在导弹的首次攻击中被毁。

2. “硬抗击”反导武器系统

不同于“软抗击”反导武器系统,“硬抗击”反导武器系统是指以舰空导弹结合舰炮形成的分层拦截系统。这类武器系统强调在反应时间、空域和射程上形成无缝衔接,以形成多层纵深防御。目前国外的硬抗击防空反导武器装备,典型的布局就是用三个层次的防空导弹和舰炮来拦截,即中远程舰空导弹、中近程舰空导弹和近程速射炮或弹炮结合系统。

1) 中远程舰空导弹反导武器系统

中远程舰空导弹反导武器系统最著名的要数美国的“宙斯盾”战斗系统和俄罗斯的“里夫”远程舰空导弹系统。

“宙斯盾”战斗系统是美国海军现役最重要的整合式水面舰艇作战系统。20世纪60年代末,美国海军认识到自己在各种环境中的反应时间、火力等方面不足以应付苏联大量反舰导弹的对水面作战系统的饱和攻击。为此,美国海军提出一个“先进水面导弹系统”的提案,经过发展就成为“宙斯盾”战斗系统。它的特点是反应速度快、抗干扰性强、反击能力强、可靠性强,可以有效地防御从四面八方发动攻击的导弹,构成了美国海军舰队的坚固盾牌。美国海军装备的“宙斯盾”导弹防御系统配备的导弹武器为“标准”-3 Block1A 和 Block2A 导弹。

“里夫”远程舰空导弹的垂发系统可以说是目前世界上最大的水面舰艇垂发系统。里夫导弹系统已经在苏联/俄罗斯海军中服役超过20年,证明能高效地提供防御空中目标能力,配备在所有的1980年以后建造的苏联/俄罗斯巡洋舰上。最新的里夫-M舰空型导弹系统是S-300PMU-1舰载型,导弹改为48N6E,发动机推力更大,射程远达120km。一套里夫-M舰载防空系统包括1部目标搜索雷达、1部导弹制导雷达和8个发射单元(64枚导弹)。里夫-M舰载防空系统配套的火控雷达是相控阵体制的30N6E型目标截获雷达,有较强的抗干扰能力,能同时引导12枚导弹拦截120°扇面内的6个空中目标。

2) 中近程舰空导弹反导武器系统

中近程舰空导弹反导武器系统最著名的要数美国的“海麻雀”导弹武器系统和俄罗斯的“施基利”导弹武器系统。

“海麻雀”舰空导弹是一种全天候近程、低空舰载防空导弹武器系统，主要用于对付低空飞机、直升机及反舰导弹，1969 年开始装备。“海麻雀”导弹经过改进后，具备命中精度高、反应时间短、抗干扰能力强、适用范围广、全天候、全方位、多目标攻击等优点。

“施基利”导弹武器系统是一种全天候多通道的舰载中程防空导弹武器系统，可以担负舰艇和编队的防空作战任务，主要拦截目标是轰炸机、歼击轰炸机、攻击机、直升机和各类反舰导弹。和其他中程舰空导弹武器系统相比较，“施基利”系统突破了传统的搜索、跟踪、照射均需专用雷达的导弹作战模式，直接利用 MP-710 三坐标搜索雷达的目标信息，取消跟踪指导雷达，形成了新的搜索、照射的导弹作战模式。这样既简化了系统结构，又增加了拦截目标的火力通道数。

3) 近程速射炮或弹炮结合系统

防空导弹由于技术局限，受到最小射程的限制，导弹在离开发射架后需加速到一定速度才能发挥作用，存在 2km 左右的射击死区。同时，防空导弹还存在低角跟踪性能差、容易受电子干扰等缺点。而近程反导舰炮武器系统具有反应快、射速高、火力密度大等特点，可以有效弥补防空导弹的射击死区，是水面舰艇对空防御的最后一道安全屏障。国外近程反导舰炮武器系统发展到现在，大体经历了两代。在第一代舰载近程反导舰炮武器系统中，典型的是美国的密集阵系统、荷兰的守门员系统和瑞士的海上卫士系统。第二代舰载近程反导舰炮武器系统主要是为有效抗击超声速、高机动的新型反舰导弹而研发的，目前只有俄罗斯的卡什坦弹炮结合武器系统已于 1988 年服役，其他如德国的迈达斯系统、瑞士的万发系统均处于研制阶段^[5]。

1.1.2 反舰导弹的突防方法

随着舰艇反导拦截武器的发展，由区域防御、近程防御、内层（末端）防御等系统组成的软硬结合的多层防御体系，使反舰导弹突防能力和打击效果大打折

扣。反舰导弹要想突破这种多层防御系统,总的来说有两种思路,即“以快取胜”和“以量取胜”。

所谓“以快取胜”,是指压缩目标舰艇从发现反舰导弹来袭到组织有效抗击的反应时间,降低其抗击效能,从而提高反舰导弹的突防能力。这主要是通过运用新型的突防技术、提高反舰导弹的性能来实现的。国外反舰导弹采用的突防技术通常可以概括为“快、低、准、隐、动”^[6]。

(1) 以“快”攻之。所谓“快”,即采用超声速技术,缩短导弹突防时间,减少防御系统对反舰导弹的打击频率,提高突防概率。要实现导弹的超声速飞行,其关键在于动力装置。然而,超声速飞行的不足之处是红外辐射特别强,极易被红外探测器发现。

(2) 以“低”攻之。所谓“低”,即降低飞行高度。舰载防御系统的作战空域在不同高度上边界是不同的,对导弹的杀伤概率也不相同。导弹从不同高度进入防御范围时的突防概率也不同,高度越低,突防概率越大。当导弹掠海飞行,高度降低到一定程度时,舰载防御武器将无力拦截,导弹的突防概率将达到最大。

(3) 以“准”攻之。所谓“准”,就是准确之意,即采用精确制导技术。如远程反舰导弹中段采用捷联 INS+GPS 修正,以提高中段制导精度,从而推迟末段制导开机时间,增大突防概率。末制导一般采用双模(雷达/红外、GPS/红外等)复合制导,这是提高制导精度的有效办法。

(4) 以“隐”攻之。所谓“隐”,即隐身技术。采用隐身技术的反舰导弹,在突防过程中被发现的概率降低,从而缩短了舰艇的防御时间,达到隐蔽攻击,可取得出其不意的作战效果。目前具有隐身能力的反舰导弹有美国的“战斧”多任务导弹 Block4、法国的“飞鱼”反舰导弹、日本的 ASM-1/2 隐身反舰导弹等。

(5) 以“动”攻之。所谓“动”,即机动弹道技术。为了避免被对方探测和舰载武器的拦截,新一代反舰导弹普遍采用机动弹道模式。目前主要有三种模式:一是以超低空水平弹道接近,末段再次降低高度水平飞行直至击中目标;二是末段先水平飞行至目标数千米处,然后在垂直平面内迅速爬升,到一定高度后以接近 90° 的角度从天顶俯冲攻击;三是空舰导弹从载机发射后迅速下降,以超低空飞行,然后爬升到一定高度并在此高度作水平“之”字形机动飞行,搜索目标,