

“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

海军反舰导弹武器 系统分析与总体设计技术

宋贵宝 彭绍雄 马溢清 等 著

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

海军反舰导弹武器 系统分析与总体设计技术

宋贵宝 彭绍雄 马溢清 等 著

兵器工业出版社

内容简介

研制、开发一种反舰导弹武器系统，必须在确保已定的目标要求和约束条件下，运用多学科的理论和方法，合理确定系统方案，并使其效果达到“最优”。本书针对海军反舰导弹研制早期阶段的设计和分析问题，系统阐述反舰导弹作战环境和目标特性、战术技术指标要求和可行性论证、总体设计、弹道设计与仿真、性能和效能分析、总体优化设计等技术和方法。

本书可供从事反舰导弹武器系统研制、试验和使用人员使用，也可作为高等院校导弹类相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

海军反舰导弹武器系统分析与总体设计技术 / 宋贵宝, 彭绍雄, 马溢清著. — 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 978-7-5181-0180-1

I. ①海… II. ①宋… ②彭… ③马… III. ①反舰导弹—系统分析②反舰导弹—总体设计 IV. ①TJ761.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第307117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: 18.75

字 数: 306千字

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

反舰导弹是专门用于攻击舰船的进攻性武器，当初次在战争中使用，就体现了其巨大的威力。经过半个多世纪的发展，反舰导弹已经在海基、空基和岸基等多种平台上得到了广泛应用，包括舰舰导弹、潜舰导弹、空舰导弹和岸舰导弹等，成为现代海战中夺取制海权的重要武器。世界军事强国无不重视反舰导弹的发展，在反舰导弹的研制方面投入越来越大，大多形成了系列化的发展模式。鉴于反舰导弹的威慑，各国也在发展反制反舰导弹的“软”“硬”对抗手段。而反舰导弹借助于多模复合制导、弹载主动干扰等措施来提高其突防能力。反舰导弹与防御技术正是在这种对抗中相互促进，螺旋式上升发展。

本书将反舰导弹总体设计与系统分析技术合为一体。书中主要内容取材于本领域最新研究成果，既有理论方法，也有经验总结。为了加深读者对基本概念的理解，掌握设计原理和分析方法，在适当的地方配有实例分析。本书主要是在目标特性、反舰导弹战术技术指标要求和可行性论证、反舰导弹总体设计技术、反舰导弹弹道设计和仿真、反舰导弹系统效能和抗干扰能力评估方法、反舰导弹总体优化设计方法的应用等方面，体现了作者的最新研究成果。

本书共分7章。第1章绪论，主要介绍反舰导弹及其系统分析、总体设计的基本概念和特点；第2章反舰导弹作战环境和目标特性，主要分析反舰导弹目标的类型、运动特性、可探测性和易损性；第3章反舰导弹战术技术指标要求和可行性论证，主要对反舰导弹战术技术指标可行性和论证的方法、步骤进行分析；第4章反舰导弹总体设计技术，主要论述反舰导弹制导系统设计方法；第5章反舰导弹弹道设计与仿真，主要介绍反舰导弹典型弹道设计和仿真分析方法；第6章反舰导弹武器系统性能和效能分析，主要论述反舰导弹可靠性设计、分配和预测方法，以及系统性能、

效能和抗电子干扰能力的评估方法及其模型建立方法；第7章反舰导弹总体优化设计方法，主要介绍优化设计的方法，并用实例分析优化设计的过程。各章内容既相互独立，又有一定的联系，其中第2、3、6章侧重于分析，第4、5、7章侧重于设计。

本书撰写分工：第1、6章由宋贵宝撰写，第2章由彭绍雄、曾亮撰写，第3章由马溢清、宋贵宝撰写，第4章由蔡春涛、温求迺撰写，第5章由蔡春涛、彭绍雄撰写，第7章由邹强、刘铁撰写，全书由宋贵宝统稿。许诚教授审阅了全书并提出了宝贵意见。李红亮博士、刘济民博士等同志为本书的撰写提供了素材。本书在撰写过程中，有幸得到了海军航空工程学院滕克难教授、中国航天科工集团第三总体设计部潘幸华研究员的悉心指导，作者所在单位领导和同事也给予了大力支持与帮助，在此向他们一并表示感谢。本书引用了大量的参考文献，在此对所有参考文献的原作者表示感谢。

虽然在撰写本书时作出了不懈的努力，但由于作者知识水平、能力及经验的限制，错误在所难免，诚请相关领域专家和读者批评指正。

作者

2015年11月于烟台

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 反舰导弹系统的组成、分类及其特点	1
1.1.1 反舰导弹的组成和分类	1
1.1.2 反舰导弹的主要特点	4
1.2 反舰导弹的研制过程	6
1.3 反舰导弹系统分析与总体设计	8
1.3.1 反舰导弹系统分析与总体设计的概念	8
1.3.2 反舰导弹系统分析与总体设计的任务	13
1.3.3 反舰导弹系统分析与总体设计的内容	13
1.3.4 反舰导弹系统分析与总体设计的步骤	15
1.3.5 反舰导弹系统分析与总体设计原则和注意事项	20
1.4 反舰导弹的发展与展望	22
1.4.1 反舰导弹发展史	22
1.4.2 反舰导弹发展展望	24
第2章 反舰导弹作战环境和目标特性	25
2.1 反舰导弹作战环境	25
2.1.1 反舰导弹发射可能遇到的环境条件	25
2.1.2 自然环境因素组合	31
2.1.3 感应环境因素组合	34
2.1.4 环境分析	34
2.2 自然环境对反舰导弹的影响	39
2.2.1 环境影响的一般类型	39
2.2.2 环境对反舰导弹飞行的影响	42

2.2.3	环境对反舰导弹制导的影响	43
2.2.4	环境对反舰导弹保管、贮存和运输的影响	44
2.3	复杂电磁环境对反舰导弹的影响	45
2.3.1	复杂电磁环境影响的概念与研究内容	46
2.3.2	反舰导弹武器系统的电磁环境效应	47
2.3.3	电磁环境效应对反舰导弹作战使用的具体影响	50
2.4	目标特性	52
2.4.1	目标的辐射特性	53
2.4.2	目标的反射特性	57
2.4.3	目标的易损性	61
2.5	目标的识别与测定	62
2.5.1	目标的识别	62
2.5.2	目标的测定	62
第3章	反舰导弹战术技术要求和可行性论证	69
3.1	反舰导弹战术技术要求的意义和内容	69
3.2	需求分析论证	70
3.3	作战使用性能要求论证	71
3.4	战术技术指标论证	74
3.5	武器系统总体方案论证	77
3.6	试验方案论证	78
3.7	作战效能评估	79
3.8	需把握的主要问题	81
第4章	反舰导弹总体设计技术	82
4.1	飞行控制系统方案设计	82
4.1.1	弹体特性分析	82
4.1.2	舵机特性分析	86
4.1.3	俯仰通道飞行控制系统设计	87
4.1.4	飞行控制系统稳定性分析	92
4.1.5	三回路飞行控制系统特性分析	94
4.2	先进雷达导引头对制导系统设计的约束分析	103
4.2.1	捷联雷达导引头隔离度寄生回路建模	103

4.2.2	隔离度寄生回路性能分析	105
4.2.3	隔离度对末制导系统性能影响分析	113
4.2.4	隔离度对比例导引制导回路稳定性影响分析	115
4.2.5	隔离度对制导精度影响分析	117
4.3	制导系统总体设计流程	127
第5章	反舰导弹弹道设计与仿真	130
5.1	反舰导弹弹道设计	130
5.1.1	弹道方案描述	130
5.1.2	纵向弹道设计	132
5.1.3	侧向弹道设计	144
5.2	全弹道仿真	147
5.2.1	仿真模型	147
5.2.2	仿真条件	148
5.2.3	仿真结果	148
5.3	命中精度分析	151
5.3.1	仿真模型	151
5.3.2	干扰极限拉偏仿真与分析	153
5.3.3	随机拉偏仿真与分析	163
第6章	反舰导弹武器系统性能和效能分析	168
6.1	反舰导弹可靠性	168
6.1.1	反舰导弹可靠性的特征量及其数学描述	168
6.1.2	反舰导弹可靠性设计方法	172
6.1.3	反舰导弹可靠性指标的分配和预测	178
6.1.4	反舰导弹系统可靠性评定	194
6.2	反舰导弹武器系统效能分析	198
6.2.1	反舰导弹武器系统效能的概念	198
6.2.2	反舰导弹武器系统效能的度量	198
6.2.3	反舰导弹武器系统效能分析方法	199
6.2.4	反舰导弹武器系统效能模型	201
6.2.5	反舰导弹武器系统效能计算案例分析	226
6.3	反舰导弹武器系统抗电子干扰能力评估方法	228

6.3.1	反舰导弹武器系统面临的电子干扰环境	228
6.3.2	反舰导弹武器系统抗电子干扰能力评估准则	229
6.3.3	反舰导弹武器系统抗电子干扰能力评估指示体系	230
6.3.4	反舰导弹武器系统抗电子干扰能力评估模型	234
第7章 反舰导弹总体优化设计方法		249
7.1	优化设计概述	249
7.1.1	优化设计的基本概念	249
7.1.2	优化设计的常用方法	250
7.1.3	优化设计的一般过程	252
7.1.4	优化设计在反舰导弹设计中的应用	254
7.2	优化设计的几个具体问题	255
7.2.1	反舰导弹总体参数优化设计	255
7.2.2	反舰导弹/发动机一体化设计	256
7.2.3	气动外形/隐身一体化设计	258
7.2.4	总体与控制系统一体化设计	259
7.3	多目标优化方法	259
7.3.1	基本数学模型	259
7.3.2	多目标函数的等值线图形	260
7.3.3	工程求解的一般方法	261
7.3.4	多目标交互规划方法在导弹总体设计中的应用	265
7.4	优化设计实践的一般准则和要求	267
7.4.1	设计变量的选择原则	267
7.4.2	优化的收敛准则	267
7.4.3	优化结果的检查	268
7.4.4	参数分析	268
7.4.5	优化方法的选择与程序调试	270
7.5	优化设计举例——吸气式高超声速巡航导弹总体优化设计	270
7.5.1	乘波构型优化设计	270
7.5.2	乘波外形导弹弹道优化设计	275
参考文献		282
索引		285

第1章 绪 论

反舰导弹武器系统是指反舰导弹和完成导弹维护(训练)、准备、探测与瞄准目标、导弹发射和导引导弹完成摧毁目标的战斗任务,以及评定导弹攻击效果的各种设施、设备和分系统,能够独立执行反舰作战任务的武器系统。反舰导弹武器系统担负海军部队精确打击敌方各类型水面舰艇(含航母及其编队),封锁海峡、指定海域和航道等作战使命,执行对敌海上力量进行适时、精确、有效的打击任务。

反舰导弹是用于攻击水面舰船的各种导弹的总称,是对海作战的主要武器,通常包括舰舰导弹、潜舰导弹、空舰导弹和岸舰导弹。其按射程可分为近程、中程和远程反舰导弹。近程反舰导弹主要装备在直升机、导弹快艇上,用于近海防御作战。中程和远程反舰导弹,可装备于多种载体,主要用于对航母、驱逐舰、护卫舰、补给船、登陆舰等大中型目标实施攻击。与其他反舰武器相比,反舰导弹具有射程远、可掠海飞行、命中概率高、威力大等特点,是现代海战中的一种重要武器。

1.1 反舰导弹系统的组成、分类及其特点

1.1.1 反舰导弹的组成和分类

1. 反舰导弹的组成

反舰导弹是一种飞行武器,它既可装置火箭发动机,也可装置空气喷气发动机(如涡轮喷气发动机、涡扇喷气发动机、冲压发动机等)。反舰导弹本身主要由弹体、战斗部、制导、推进和电气五个分系统组成。由于反舰导弹本身是一个复杂的系统,为了从系统的观点出发研究问题,通常把上述五个分系统组成的反舰导弹称为反舰导弹系统。图1-1所示为

法国“飞鱼”反舰导弹组成结构示意图。

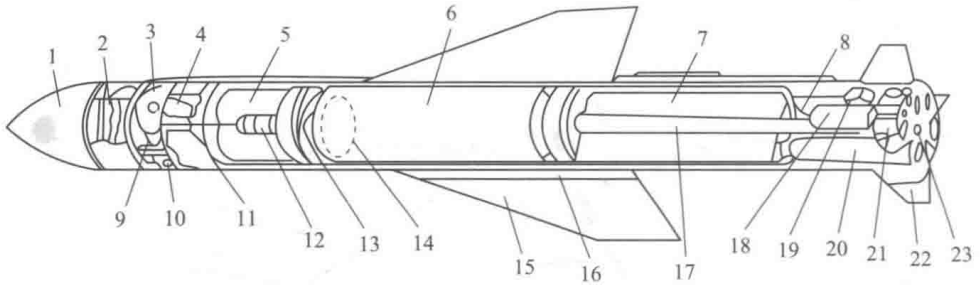


图 1-1 “飞鱼(Exocet)”反舰导弹组成结构示意图

- 1—主动雷达导引头；2—制导计算机；3—高度表；4—垂直陀螺；5—战斗部；
6—主发动机；7—助推器；8—热电池；9—航向陀螺；10—高度表发射天线；
11—高度表接收天线；12—引爆装置；13—保险机构和引火装置；14—自毁断裂索；15—弹翼；16—发动机点火机构；17—主发动机的长喷管；18—变流机；
19—自毁控制设备；20—助推器喷管；21—舵机；22—尾翼；23—自毁监控陀螺

(1)弹体。弹体即导弹的主体，是由各舱段、空气动力面、弹上机构和一些零部件连接而成的。弹体是外力的主要承受者，它的功能是使导弹的各部分组成一个整体，并使导弹形成良好的气动外形。

空气动力面包括产生推力的弹翼、产生操纵力的舵面及保证稳定飞行的安定面(尾翼)。由于弹道式导弹的弹道大部分在大气层外，主动段只需按程序转向飞行，因此其没有弹翼或根本没有空气动力面。

各舱段连接成的主体称为弹身，它的功用是安装战斗部、制导设备、动力装置及电气设备等，并将弹翼、舵面等部件连成一个整体。当采用固体火箭发动机、受力式整体推进剂贮箱时，它们本身就是弹身的一部分。弹身是导弹的最主要的受力和承力部件。对超声速导弹，弹身也起着产生空气动力的作用。

(2)战斗部系统。战斗部系统是反舰导弹的有效载荷，是反舰导弹的核心，也是导弹和其他飞行器的主要区别之一，是用来摧毁目标，完成战斗任务的。对于弹道导弹，由于战斗部系统一般安装在导弹的头部，所以通常又称为弹头。

战斗部系统包括引信装置和战斗部两大部分，因此战斗部系统也称引信战斗部系统，简称引战系统。引信的功用就是保证战斗部在最恰当的时间和地点爆炸，要求引信有高度的可靠性和准确性。

战斗部是导弹的关键火工品部件，通常由起爆器、导爆管、助爆器和主装药构成典型的爆炸链，靠主装药爆炸产生爆炸威力，对目标造成毁伤。为了使战斗部具有最好的战斗效果，对于不同的目标，相应地出现了各种类型的战斗部，如爆破战斗部、杀伤战斗部、聚能战斗部、化学战斗部以及核战斗部等。

(3)制导系统。反舰导弹的制导系统是控制和导引导弹飞向目标的仪器、装置和设备的总称。为了能够将导弹导向目标并保证高的命中精度，一方面，要不断地测量导弹和目标运动参数(如导弹运动方位、导弹和目标的相对距离及目标的运动参数等)，以便向导弹发出控制指令；另一方面，还要保证导弹稳定地飞行，并操纵导弹改变飞行姿态，控制导弹按要求的方向和弹道飞向目标。前一任务由导引系统完成，后一任务则由控制系统完成。制导系统就是导弹导引系统和控制系统的综合，是反舰导弹的“大脑”。

制导系统可以完全装在弹上，也可以通过“人在回路”的形式，通过操作手观察、锁定、跟踪目标，导引导弹飞向目标。

(4)推进系统。推进系统，亦称为动力装置，是为反舰导弹发射(起飞)和飞行提供推动力的系统，也是反舰导弹运动的动力源，是反舰导弹的“心脏”。反舰导弹上的动力装置种类很多，但都是直接产生推力的喷气推进动力装置。目前常用的有火箭发动机(固体、液体)、空气喷气发动机(涡轮喷气、涡扇喷气、冲压喷气发动机)和火箭冲压发动机及其他组合式发动机。

在两级导弹上，其发动机有主发动机(亦称续航发动机)和助推器(或称加速器或起飞发动机)。助推器是用来使导弹在发射后很快获得较大速度，使导弹进入续航段飞行时能够迅速攻击目标。助推器一般采用固体火箭发动机。主发动机使导弹能在较长的时间内续航飞行，是导弹主要的动力源。法国“飞鱼(MM38)”导弹就是采用固体火箭助推器和固体火箭发动机，俄罗斯的“马斯基特”导弹则是采用固体火箭助推器和液体冲压组合发动机。一些远程反舰导弹或特殊要求的反舰导弹要采用多级发动机，如俄罗斯的“克拉布”导弹采用的是“固体火箭助推器+涡轮喷气巡航发动机+固体火箭突防发动机”三级动力装置。

(5)电气系统。弹上电气系统是导弹的重要组成部分，它是供给弹上

各分系统工作用电的能量装置。弹上的制导设备、发动机、助推器、战斗部的引信等各种设备，在起动过程和工作过程都离不开电源，所以电气系统的功用可以概括为：

1) 将弹上各用电设备连成一整体，保证在地面测试和导弹飞行中适时可靠地向各设备供电；

2) 把弹上各设备与地面检查发射设备联系起来，实现弹上设备的检查和导弹发射。

电气系统由电源(电池组)、配电和变电装置、接触器、继电器、开关、传送电路等组成。

2. 反舰导弹的分类

当今世界上反舰导弹的型号众多，而且新研制的导弹不断地出现。为了分析研究和使用的方便，需要将反舰导弹进行分类。反舰导弹的分类方法很多，一般是按照导弹的不同特征分类。反舰导弹常用的分类如图 1-2 所示。

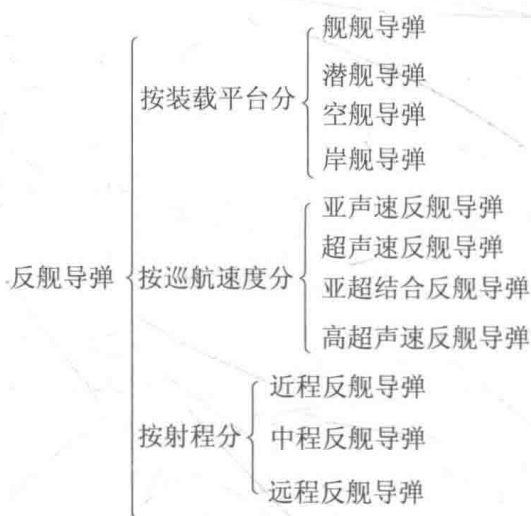


图 1-2 反舰导弹分类

1.1.2 反舰导弹的主要特点

(1) 反舰导弹的主发动机类型因射程而异。近程反舰导弹主发动机多采用液体、固体火箭发动机；中、远程反舰导弹几乎都采用空气喷气(涡轮喷气、涡扇等)发动机；超声速反舰导弹多采用冲压发动机。

(2)反舰导弹制导方式多样化。反舰导弹的制导一般分为中段制导和末段制导。中段制导通常采用惯导或自动驾驶仪；末段制导由寻的头与中段制导相配合，将导弹引向目标。

在飞行高度上采用无线电高度表控制，许多反舰导弹具有掠海飞行（一般飞行高度10~50m，末段2~7m）的能力。

反舰导弹的寻的头以雷达寻的头最多，另外还有红外、红外成像、电视和激光寻的头等。目前雷达寻的头的特点：采用脉冲多普勒、脉冲压缩或相控阵体制，采用中大规模集成电路元件以及采用电子扫描方式；为提高抗干扰能力，采用脉间跳频、频率捷变或先进计算机逻辑电路等。红外寻的制导适用于港湾和海岛附近作战。电视和激光制导主要用于空舰导弹，导引精度高，但缺乏全天候作战能力。

复合末制导是抗干扰的有效方法，当一种方式受到干扰时就转换成另一种方式。复合末制导可给导弹战斗使用提供灵活性，给敌方制造干扰带来困难，提高导弹的突防能力。目前通常采用的复合末制导方式有：主动雷达+被动雷达，主动雷达+红外，被动雷达+红外等。

(3)战斗部威力大。反舰导弹战斗部威力大，其威力与战斗部类型、装药量和炸药类型及命中部位有关。

反舰导弹的战斗部有半穿甲型、聚能穿甲型和爆破型。北约诸国大都采用半穿甲型战斗部，其质量为100~230kg，装药比为30%~35%，依靠其动能穿入舰体一定深度后爆破。可利用4/5~5/6能量，其破坏效果比相同质量的爆破型战斗部高三倍。俄罗斯通常采用聚能穿甲型，其质量为500~1000kg，装药比为70%，爆后约有40%的能量连同高温金属流集中于特定的方向，能穿透较厚装甲板，但横向破坏小。爆破型战斗部用于攻击很薄的导弹快艇之类目标，装药比为50%~70%，爆后以冲击波和金属破片破坏舰体、武备和杀伤人员。

(4)具有多种突防措施。目前，反舰导弹的突防措施主要有：

1)隐蔽发射，用潜艇水下或飞机超低空突防的发射方法，或以地物隐蔽，导弹发射后爬升越障转弯飞行攻击。

2)掠海飞行，导弹飞行时略高于水面（波峰），使敌舰不易发现或来不及组织拦截。或采用天顶（70°~90°）攻击方式，使敌舰不易拦截。

3)采用隐身结构和材料，减小导弹的雷达反射面积，缩短敌舰发现