

水面舰艇末端防御与近程武器系统发展

张志杰, 吴颢

中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100036

摘要 从水面舰艇末端防御体系层面角度探讨了舰船所面临的主要威胁与防御策略, 分析了近程武器系统在末端防御体系中的作用、发展趋势及应用前景。

关键词 装备体系; 近程武器装备; 激光武器系统

现代战争中, 水面舰艇面临的重大威胁是反舰巡航导弹, 该威胁来自潜艇、水面舰艇、空中飞机, 也可能来自陆地方向。目前, 各国海军普遍认识到仅靠一个平台或武器系统难以应对导弹威胁, 国际公认的有效拦截反舰导弹的原则是分层防御策略, 末端防御是舰艇的最后一道防线。现代海军武器最大的特点是装备的体系性, 随着空中和海上威胁的不断演变, 水面舰艇必须突破单一的防御手段, 构建有效的末端防御体系, 从防御体系的角度将水面舰艇自身的防御能力提升到一个崭新的高度。本研究通过分析近程武器系统在末端防御体系中的作用及发展趋势, 探讨激光武器系统发展路径及未来应用前景。

1 反舰巡航导弹的威胁与防御

现代反舰巡航导弹技术发展迅速, 既能进攻海上目标, 又能打击陆地目标, 型号繁多, 具有以下技

术特征: (1) 采用高速度接近目标; (2) 良好的机动性; (3) 具有抗电子干扰性; (4) 低可探测性^[1]。反舰巡航导弹(ASCM)有亚音速和超音速之分, 亚音速 ASCM 一般采用涡喷发动机或固态火箭发动机技术, 而超音速 ASCM 通常采用冲压发动机技术, 如俄罗斯研制的 SS-N-27(俱乐部)反舰巡航导弹(图 1), 其最大速度达到 2.9 马赫^[2]。反舰巡航导弹一般选择距目标较近处发起攻击, 导致被攻击目标的反应时间急剧缩短。考虑到陆、海杂波的干扰, 拦截反舰巡航导弹的有效距离一般不会超过



图1 俱乐部反舰巡航导弹^[3]

收稿日期: 2020-04-16; 修回日期: 2020-07-28

作者简介: 张志杰, 研究员, 研究方向为舰炮武器系统, 电子信箱: ZZJXT@sohu.com

引用格式: 张志杰, 吴颢. 水面舰艇末端防御与近程武器系统发展[J]. 科技导报, 2020, 38(21): 103-109; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.21.013

20海里,防守方的反应时间仅有1~2 min。以往研究表明,仅靠单一平台或武器系统难以应对反舰巡航导弹的威胁。

有效拦截反舰导弹的原则是多层次拦截,即外层采用区域防空,内层采用点防御,近程武器系统是内层点防御一个典型的解决方案。内层防御尤其是末端防御,面对的是突防反舰导弹。攻守双方距离较近,留给防御方的反应时间极短,因此承担内层防御使命的武器系统必须具备快速反应能力^[4]。当今,国际上对舰艇自防御能力的基本共识是:(1) 每艘军舰应装备导弹防御快速反应系统,武器射程要短;(2) 快速反应系统必须具备全自动自主作战模式。其实,上述思想正是美国海军密集阵近程武器系统的理论基础。换句话说,密集阵系统将舰炮优势与自防御思想巧妙地集于一体,不仅是硬件意义上的综合体,更是体现了先进技战术思想的综合体。所以,该系统一直是全球末端防御领域的首选装备。

2 舰艇末端防御发展现状

根据分层防御策略,美国海上机动编队的对空防御属于区域防空层面,区域防空任务主要由宙斯盾作战系统承担。军舰自身的保护属于内层防御层次,属于自防御能力范畴。承担内层防御的武器系统有两类:一是诸如美国的RAM,以色列Rafael公司的BARAK8等近程导弹武器系统。RAM导弹的拦截范围是1.5~9 km,比近程武器系统(close in weapon system, CIWS)类拦截范围稍大,故其作用类似足球场上的后卫;二是近程武器系统类武器装备,如雷声公司的“密集阵”,泰勒斯公司的“守门员”等近程舰炮反导系统。这些系统拦截深度一般在400 m~3.5 km,具有典型的点防御能力,在防御末端起到类似足球场上守门员的关键作用。在美国海军日臻完备的舰艇防御体系中,末端防御处于最后一道防线。

近程武器系统概念起源于1960年,当时美国海军希望获得一种在各种情况下能有效应对和突破海麻雀点防御导弹系统的突防导弹的火炮系统。

直到1969年,美国政府才与通用动力公司签定合同,1977年完成研发,1980年开始服役。近程武器系统使用高射速舰炮拦截反舰导弹,典型的技术线路是:(1) 采用小口径旋转炮技术,如6个管旋转,1个管击发,炮管布局时呈向内倾斜姿态以保证射击精度;(2) 传感器一般安装于炮塔上,即所谓综合体结构。该类型武器射速较高,一般不低于3000发/分钟(图2)。



图2 美国海军密集阵近程武器系统^[5]

雷声公司生产的MK15 PHALANX(密集阵)近程防御武器系统,采用6管20 mm加特林炮,其最新型号Block 1B射速已达4500发/分钟,拦截目标除反舰导弹外,也具备打击发起群狼式攻击的FI-AC(快速攻击艇)的能力。Block 1B较之Block 1A有两大改进:一是通过IR提高跟踪能力,增强对具有机动飞行能力的来袭导弹的跟踪精度;二是新增对海模式,使系统具备打击海上高速机动目标和空中慢速目标。密集阵近程武器系统已走过近40年的历程,产量接近1000套,足迹遍布全球主要地区和国家,该装备被业界视为近程武器领域的风向标。

高射速流派的近程武器系统中,较为知名的还有俄罗斯的AK-630(采用非综合体结构,有14个国家的海军采购),荷兰THALES公司的“守门员”

(共生产 63 套, 主要用户在欧洲、中东和东亚韩国) 等(表 1)。

表 1 世界上主要近程武器系统比较

近程武器系统	服役年份	武器	炮弹	装弹数/发	发射速率/(发·分钟 ⁻¹)	炮口初速/(m·s ⁻¹)	有效/平轨迹射程/m
俄罗斯 AK-630M1-2	1983	30 mm (1.18 英寸) 6 管式 GSh-6-30 (AO-18) 加特林机炮	30 mm×165 mm AO-18	4000	10000	900	4000
美国密集阵近程防御武器系统	1980	20 mm (0.79 英寸) 6 管式 M61 火神式机炮	20 mm×102 mm NATO	1550	4500	1100	3600
荷兰守门员近程防御武器系统	1980	30 mm (1.18 英寸) 7 管式 GAU-8 复仇者机炮	30 mm×173 mm NATO	1190	4200	1109	2000

末端防御层面另一个需要引起关注的装备是著名的 SeaRAM 反导防御系统, 该系统于 2016 年 1 月 11 日在美国海军对空武器试验场发射一枚拦截弹成功击落一枚来袭导弹。在此之前, 即 2015 年 7 月, 美国海军滨海战斗舰第 4 艘舰 (LCS4“科罗纳多”号) 装备的 SeaRAM 反导防御系统也曾发射一枚拦截弹成功击落目标(图 3)。这 2 次拦截试验有一点区别是第一次发射的拦截导弹是 RAM I 型, 而 2016 年发射的拦截弹是 RAM II 型弹。据资料介绍 RAM II 型弹为超音速、快速反应、发射后不管导弹, 自动双模式制导方式。拦截目标包括反舰巡航导弹、直升机、飞机类/机载威胁、水面快艇(主要包括 FIAC 类威胁)。采用近程导弹武器系统拦截突防导弹正在引起业界关注。



图 3 美海军 SeaRAM 反导防御系统^[6]

近几年, 新造水面舰艇自防御体系中, 近程导弹的比例在增加, 近程武器系统类的作用出现弱化的倾向, 对此, 业界存在较多争论。笔者认为美国海军研制的舰艇自防御系统(SSDS)已经回答了这

个问题。前面提到, 航母和两栖战舰是编队核心, 外围有宙斯盾系统担负区域防空之责, 内层防御归己舰负责。SSDS 核心思想是: 将航母和两栖舰上现有的独立传感器和武器系统综合集成, 旨在形成针对来袭反舰导弹的快速反应能力, 这种快速反应能力是通过加速探测到交战的作战流程来获取的。这里武器系统不仅包括“海麻雀”“拉姆”“密集阵”等硬杀伤武器, 也包括主被动诱饵等软武器。当发现目标时, 首先由主被动诱饵进行干扰, 接着用“海麻雀”或“拉姆”导弹进行拦截, 最后采用“密集阵”作为最后一道防线。由于采用计算机自动控制, 从而缩短了从探测、识别、跟踪到交战的作战流程时间。

综上所述, 水面舰艇末端防御主流装备呈以下特点: (1) 近程武器系统是现代水面舰艇防空反导体系的重要组成部分, 承担舰艇自身防御任务; (2) 近程武器系统能有效弥补导弹等防空武器的拦截死区, 其综合体结构优势和基于密集弹幕所形成的有效拦截屏障是构成末端自防御能力的关键, 也是舰艇自防御体系的最后一道屏障; (3) 新一代近程导弹武器系统(如“拉姆”“海拉姆”导弹系统)与近程舰炮武器系统共同构成了现代水面舰艇末端防御体系, 使得己舰生存概率进一步提升。

可以看出, 对内层防御任务进行合理配置, 采用优势互补的技战术策略, 多型近程与末端武器装备协同作战, 将是未来末端防御的发展趋势。

3 末端防御与激光武器发展

至今,近程武器系统装备已生产近千套,口碑一直良好,下一步何去何从,业界一直在探索。近程武器系统下一步发展将呈现如下2个方向:

1) 对现有装备产品升级改进。密集阵最初作为拦截掠海高速反舰导弹的最后一道防线,几经改进,最新型号为MK15 Block 1B。该型增强了对海能力,可以交火海上小型移动目标。2015年秋季,雷声公司获得价值4.617亿美元的合同,用于改造升级、检修美国海军现役全部MK15 CIWS,并将部分装备升级至MK15 CIWS 1B标准。另据该公司报道,MK15 1B型在反导能力方面主要提升了EO组件的角跟踪能力,抗多路径效应和RF波导现象的性能。美国海军视MK15 CIWS 1B为自防御体系中的主战装备,未来将继续在水面舰艇反导防御体系中承担点防御任务。

2) 另辟蹊径,探索开发激光炮武器系统。美国海军曾在20世纪90年代对化学激光武器上舰开展了可行性研究,研究结果表明:一座兆瓦级的氟化氙激光器所占的体积与重量仅仅适合于安装在伯克级驱逐舰或以上平台。理论上,激光武器作为定向能类的新概念武器,有诸多传统兵器无法比拟的优势:(1) 无需弹道计算;(2) 无后座力;(3) 操作简便,机动灵活,激光武器可以通过转动反射镜快速变换射击方向,在短时间内能拦截多个来袭目标;(4) 硬件重复使用,弹药库巨大,使用成本低。美国激光武器技术一直处于世界领先水平,也是全球的风向标。实际上,其主要的防务公司(如波音、洛克希德·马丁、雷声公司)一直在推动以激光武器为代表的定向能武器的发展。学者认为,经过近半个世纪的探索,定向能武器即将进入实战的关键节点上。2014年美国对国土安全顾问所作的一项调查表明,有1/5的顾问相信未来10年定向能武器技术会走向成熟。

当前,在激光武器技术领域,自由电子激光器与固态激光器形成并存的态势,固态激光器有后来者居上的势头。固态激光器近年来发展迅速,其输出功率水平不断提高,2009年诺思罗普格鲁曼公

司的固态激光器功率首次达到105 kW(采用7个15 kW的“斯拉伯”激光器组合而成)。在光纤激光器的研制方面,美国IPG公司将光纤激光器功率在2009年做到了50 kW。在自由电子激光器领域,2009年美国海军委托波音公司开展100 kW自由电子激光器的初步设计和后续兆瓦级的技术研发工作。按照当时计划,在100 kW舰载自由电子激光武器演示样机系统取得成功,进而研制兆瓦级自由电子激光器的工作,设想2020年完成(也有资料报道2025年后完成)。以激光武器为代表的新概念武器技术的探索已走过40多年的历程,国际一流的防务公司几乎都介入到定向能武器技术的开发中,小功率的激光武器将会首先进入装备。

4 新型末端防御装备发展策略与途径

4.1 积极融入防御体系

密集阵近程武器系统服役已近50年,之所以成为水面舰艇自防御领域的常青树,其自身必然有其独特的优势,主要体现在:(1) 先进的综合体架构(a self-contained package)。self-contained其本意是独立的,配套齐全的,独门独户的。因此,密集阵系统在全球海军首创了先进的三位一体、综合体系统结构,形成集搜索、探测、威胁评估、跟踪、交战、击毁效果评判等七大功能于一体的具有自主交战能力的作战单元,切合了内层防御的作战需求^[7]。(2) 快速有效的自主反应与交战能力。基于其先进的三位一体系统配置,具备独立完成拦截突防导弹使命任务。这种独特的综合体结构除了带来作战功能的自主性与完备性,另一大优势是便于克服视差效应的影响实现闭环射击校正,从而改善系统的射击精度,这一点较好地体现了系统工程的设计思想。

现代战争显然不是某一两种武器之间的对抗,而越来越表现为作战力量综合集成的体系对抗。各种作战平台、各种作战力量、各种作战空间、各种作战要素在信息网络系统的支持下,组成一个完整的作战体系,展开体系与体系的较量。离开整个体系的完整性、有序性与稳定性,任何先进武器都难

以单独发挥其应有的作战效能。因此,末端防御装备为谋求进一步发展,必须积极融入防御体系。

4.2 借鉴国际同行成功的装备开发策略

4.2.1 雷声公司内层防御系列产品发展策略

作为密集阵的系统集成商——美国雷声公司,从密集阵近程系统诞生以来,在水面舰艇近程/末端反导领域的探索脚步始终没有停止。该公司另一个成功的近程武器系统装备是RAM近程导弹武器系统。该系统是美、德两国合作的成果。由于具有重量轻、反应快、全天候、反射后不管等优势,再加上防御范围的前伸,该系统在全球受到广泛关注,除美国海军采购外,其他国家,如埃及、德国、希腊、韩国、土耳其、沙特等国均装备该系统。RAM当前最新版本为BLOCK 2(RIM-116C),主要改进了拦截高机动ASCM的对抗能力。公开资料显示其最大的拦截纵深为6.2海里(11.5 km),2014年已具备初始作战能力(IOC)。毫无疑问,RAM系统已成为继密集阵之后,又一个令世界各国关注的标志性点防御反导武器系统。其在全球影响力的迅速扩大,对末端反导领域作战样式与防御手段建设将产生深远的影响,值得关注。

该公司在内层防御领域,继RAM之后又推出了己舰自防御系统(SSDS)和SEARAM近程反导系统。前面提到,SEARAM近程武器系统主要利用MK15密集阵BLOCK 2型的高分辨率Ku波段搜跟雷达和热成像仪,加之RIM-116A导弹构成近程导弹综合体。实际上,SEARAM系统从物理结构上看是将密集阵综合体上原20 mm转管炮换上11联装RIM-116A导弹(即RAM导弹)集成而成。该系统的主要的技术特点是:(1)简化或绕开了作战系统的集成;(2)扩大了拦截范围(相对于20 mm火炮);(3)反应时间缩短(主要得益于采用了密集阵上高速率传感器技术)。

己舰自防御系统是典型的水面舰艇内层防御系统,从本质上讲是一个典型的作战管理系统(CMS)。如果一艘军舰的大脑是舰员,作战管理系统可以说是一艘军舰的神经系统,它将军舰上完全不同的作战要素连在一起,将武器、雷达、光电与声纳传感器、ESM和自防御能力、通信等系统融合形

成所谓的C2——指挥与控制,最终向指挥官呈现己舰周边范围内的一幅综合态势图像。因此,己舰自防御系统最大优势是在C2层面上加速了火力分配过程,为操作人员提供交战建议显示页面,如果处于自动工作模式,则可以自动实施软硬武器的开火^[8]。

在新概念武器领域,尤其是激光武器开发方面,雷声公司的技术路径值得关注。该公司在其发布的正式资料中表明:光速武器在实现杀伤方面面临诸多挑战和机遇,从工程领域涉及到非常复杂的光电传感器、跟踪算法、目标自动识别,并认为自己在定向能领域处于领先地位。目前该公司与政府试验室开展合作,主要合作方向为5个领域。(1)任务分析领域:主要涉及目标识别、交战模式与毁伤机理研究;(2)杀伤力研究:主要开展定向能对目标及其相关材料的作用效果研究;(3)激光与射频领域:主要研究高能激光束产生;(4)光束控制领域:研发光束引导技术;(5)武器系统:研发系统集成技术。

2007年,雷声公司将IPG公司的光纤激光器与密集阵系统进行综合集成,形成激光密集阵系统。新系统保留了原“密集阵”近程防御系统的雷达、光电、炮架和随动系统,仅用激光束定向器替换原先的6管20 mm火炮及共担系统。该激光器的输出功率资料报道为50 kW,波长为1.07 μm ,光速定向器的口径为600 mm,原密集阵的搜索与跟踪雷达及光电传感器用于发现和跟踪无人机等目标。随动系统带动激光束定向器对目标进行粗跟踪,光速定向器对目标进行精确跟踪,直至激光摧毁目标。美国海军设想将光纤激光集成在现有制式装备密集阵上,旨在对付无人机、红外制导导弹、小型水面舰艇等目标,根据交战距离实施软杀伤或硬杀伤。有资料报道美国海军力争将激光输出功率提高到100 kW。

4.2.2 启示

1) 武器装备要形成系列化。武器装备系列化发展是提升装备作战能力和保障能力的一项关键举措,也是确保产品市场竞争力的长远之策。密集阵近程武器系统,拉姆近程导弹武器系统,海拉姆

导弹系统以及己舰自防御系统已在水面舰艇内层防空反导领域已形成系列装备产品,加之正在开发的基于密集阵系统的激光武器反导系统,该系列防御装备对水面舰艇的自防御形成了全覆盖,可以说其市场战略和产品开发策略极其成功,其经验值得研究与借鉴。

就末端防御领域而言,走系列化发展之路,一要具备对该领域深度分析和准确预测的专业化水准;二是要有该领域系统级产品系列发展规划,这一点对于形成系列产品装备发展至关重要。同时也要看到,多样化,系列化装备之间是一种相互配合的合作关系,不是替代关系,更不是竞争关系。

2) 以“横向”为重点,从“横、纵”两维寻求思路突破。长期以来,中国装备体系的现状是“纵强横弱”。造成这种格局的主要原因一是技术基础薄弱;二是管理体制造成了仅从“纵向”这一维角度去研究装备发展的惯性思维模式。

正是由于长期的“纵向”推进模式,造成了整个装备体系中信息难以横向流动的尴尬局面,体系优势无法形成,严重阻碍了装备体系整体发展的步伐;纵观以美国海军为代表的世界军事强国的变革模式,均是以综合电子信息系统(C4ISR)为切入点,通过信息系统的一体化带动并实现武器装备的一体化,从而消除“信息孤立”和“纵强横弱”格局。以“己舰自防御系统为例,美国海军认为己舰自防御系统的本质是一个典型的CMS系统——作战管理系统。但从传统观点看,通常认为己舰自防御系统是一个软结合的弹炮结合系统,即RAM近程导弹系统和密集阵近程反导舰炮系统的传统的系统集成,没有充分认识到它并非传统概念层面上的一个弹炮结合系统,本质上已上升到作战管理系统层面。只有站在全舰防御的思维高度,才能产生己舰自防御系统这种大思路,从而将末端防御由单

一武器组成的近程防御武器系统发展到有多种武器装备构成的一体化的己舰自防御系统。这种转变是在继承现有武器装备的基础之上,基于对水面舰艇所面临威胁的深度分析,体现了一种新的系统集成思路 and 高度,也是思维模式的突破,

5 结论

现代海军装备最大的特点是系统性,这是由于海基装备与陆基装备搭载平台不同所致;单一装备几乎在舰载环境发挥不了有效作用。随着空中和海上威胁的不断演变,未来这些威胁必将影响水面舰船的作战策略;因此水面舰艇必须不断改进防御手段,尤其是构建坚固的末端防御体系,从而将水面舰艇自身的防御能力提升到一个崭新的高度。

参考文献 (References)

- [1] Stefan N. ERGM versus missiles[J]. Naval force, 2011(6): 31-36.
- [2] 李明权. 俄罗斯新一代反舰导弹系统之“俱乐部”[J]. 现代军事, 2001(4): 27-28.
- [3] 维基百科. 3M-54[EB/OL]. [2019-09-18]. <https://zh.wikipedia.org/wiki/3M-54>.
- [4] Norman F. How much defence is enough?[J]. Naval Forces, 2012(4): 14-19.
- [5] 维基百科. 密集阵近程防御武器系统[EB/OL]. [2019-09-23]. <https://zh.wikipedia.org/wiki/>.
- [6] SeaRAM anti-ship missile defense system[EB/OL]. [2019-09-23]. <https://www.raytheon.com/capabilities/products/searam>.
- [7] 张志杰. 从装备体系发展角度研究舰炮武器装备发展问题[C]//水面兵器学会第四届第二次学术交流论文集. 北京: 兵器工业出版社, 2017.
- [8] Max B. Block II rolling airframe missile defeats incoming target in US navy test[J]. Naval Forces, 2016(3): 34-35.

Development of surface warship terminal defense system and new concept weapon system

ZHANG Zhijie, WU Si

System Engineering Research Institute, China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100036, China

Abstract Main threats to warships and its defense strategies are discussed from the perspective of modern ship self-defense system. This paper deeply analyzes the role and development trend of close-in weapon system (CIWS) in terminal defense system and comprehensively discusses the development path and future application prospect of new concept weapon system. It also explores how CIWS equipment actively integrates into terminal defense system to further establish the idea of large-scale system development, so as to expand the development direction and seek new solutions.

Keywords weapon equipment system; CIWS equipment; laser weapon system ●



(责任编辑 徐丽娇)