

文章编号: 2095-4980(2013)04-0541-07

外军潜艇电子侦察系统技术现状与发展探析

刘 强, 刘向君, 周建平

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266042)

摘 要: 为满足潜艇执行濒海作战任务需要, 应对非声探潜技术带来的威胁, 各国海军大力发展潜艇电子侦察系统。本文通过对外军现役典型潜艇电子侦察系统技术特点的探析, 总结得出现代潜艇电子侦察系统的典型特征。结合电子侦察技术研究现状, 对潜艇雷达侦察系统的发展趋势进行了研究与思考。

关键词: 电子侦察; 电子情报; 潜艇; 外军; 发展趋势

中图分类号: TN818

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201304.0541

Current status and development trend of electronic reconnaissance system for foreign submarine

LIU Qiang, LIU Xiang-jun, ZHOU Jian-ping

(Navy Submarine Academy, Qingdao Shandong 266042, China)

Abstract: Many states navies are developing submarine electronic reconnaissance systems to meet the need of littoral military operation, and to respond the threat of non-acoustic anti-submarine detector. The characteristics of the modern submarine electronic reconnaissance system are summarized by analyzing the technical characteristics of typical active foreign military submarines. In consideration of the research status of electronic reconnaissance technologies, the trends of submarine radar reconnaissance system are researched.

Key words: electronic reconnaissance; electronic intelligence(ELINT); submarine; foreign navy; development trend

近年来, 潜艇的作战任务逐渐由远距离深海作战向濒海浅水区情报搜集、战场监视、侦察, 以及对地支援作战转变。潜艇需要长时间处于或接近潜望深度以获取和传递情报信息。同时, 非声探潜装备的发展对潜艇隐蔽性构成了新的威胁^[1]。面对需求与威胁的双重挑战, 各国海军大力发展潜用电子侦察系统, 力求在保持潜艇隐蔽性的同时, 提高复杂电磁环境下遂行作战任务的能力。

1 概况

目前, 国外潜艇电子侦察装备的主要研制厂商包括: 美国洛克希德·马丁公司MS2事业部(Lockheed Martin MS2), Condor电子系统集团侦察与监视系统公司, 英国BAE公司, 法国泰利斯(Thales)系统公司, 以色列伊尔比特(Elbit)公司、拉斐尔(Rafael)电子系统公司, 瑞典萨博电子防御系统(Saab DFS)公司, 欧洲宇航防务集团(EADS)系统与防御电子系统公司, 日本三菱电气(Mitsubishi Electronic)公司等等。主要产品型号与装备艇型如表1所示。

2 现役典型潜艇电子侦察系统介绍

潜艇电子侦察系统一般兼备雷达告警接收机(Radar Warning Receiver, RWR)、电子支援措施(Electronic Support Measures, ESM)和电子情报侦察(Electronic Intelligence, ELINT)等多种功能, 能够适应严苛的安装条件与水下环境, 具有较高的可靠性。现役典型电子侦察系统介绍如下。

表 1 外军主要潜艇电子战装备
Table1 Main EW equipments for foreign submarine

country	contractor	ESMs	submarine	country	contractor	ESMs	submarine
United States	Lockheed Martin MS2	AN/BLQ-10(V)	Ohio-class SSBN	Europe	EADS	FL 1800U	Type 209 SSK
			Los Angeles-class SSN				Type 212 SSK
			Seawolf-class SSN				Type 214 SSK
			Virginia-class SSN				
			Ohio-class SSGN				
United States	Condor	AR 700 AR 740 AR 900	Collins-class SSK(AU)	Israel	Elbit	Timnex 4CH	Dolphin-class SSK
			Scorpene-class SSK(CL) Type 209 SSK(BR)			Timnex II	
France	Thales Sensors	UAP(3) UAP(4)	Vanguard-class SSBN(BR) Astute-class SSN(GB)	Japan	Mitsubishi Electronic	ZLR-6	Oyashio-class SSK
		DR 2000U DR 3000U DR 4000U	Triumphant-class SSBN Barracuda-class SSN Type 212A SSK(DE) Type 214 SSK(DE) Type A19 SSK(SE) Type A26 SSK(SE)			ZLR-7	Soryu-class SSK
Sweden	Saab EDS	UME-100	Type 209 SSK(ZA)				
		UME-200	Type 214 SSK(KR)				
		UME-150					
		UME-250					

2.1 AN/BLQ-10(V)潜艇电子侦察系统

为满足潜艇在濒海区域复杂电磁环境中隐蔽侦察、监视、情报搜集任务的需要，提高网络中心战中对地作战的信息支持能力，美军提出先进潜艇战术 ESM 系统(Advanced Submarine Tactical ESM Combat System, ASTECS)的作战需求，由洛克希德·马丁公司 MS2 分部负责研制。2004 年该系统研制成功，型号为 AN/BLQ-10(V)1，装备弗吉尼亚号潜艇(SSN-774)。衍生型号包括(V)2,(V)3 和(V)5 等，以替换洛杉矶级、海狼级、俄亥俄级潜艇上的 WLR-8(V),BRD-7,WLQ-4(V)1 等电子战系统。

AN/BLQ-10(V)是一种综合雷达、通信 ESM 的系统，同时具备威胁告警与情报搜集能力。为实现与作战系统集成、减少设备数量、便于技术插入等目标，该系统采用开放式体系架构，如图 1 所示。主要由天线单元、信号分发单元、通信 ESM 子系统、雷达 ESM 子系统、操作员工作站等 5 部分组成，通过以太网与艇上其他系统连接。

雷达信号天线单元具有高度集成化与模块化的特点，安装于综合ESM桅杆(IETM)和光电桅杆上。通信ESM子系统由多个接收机组成，除传统HF、VHF和UHF频段短波通信信号外，还可侦收蜂窝式无线通信信号。雷达ESM子系统由1对窄带接收机和1部宽带接收机组成。宽带接收机提供100%的截获概率；窄带接收机灵敏度高，测量距离远，可实现对低截获概率(Low Probability of Intercept, LPI)雷达的侦察。系统与潜艇C3IS系统连接在一起，从

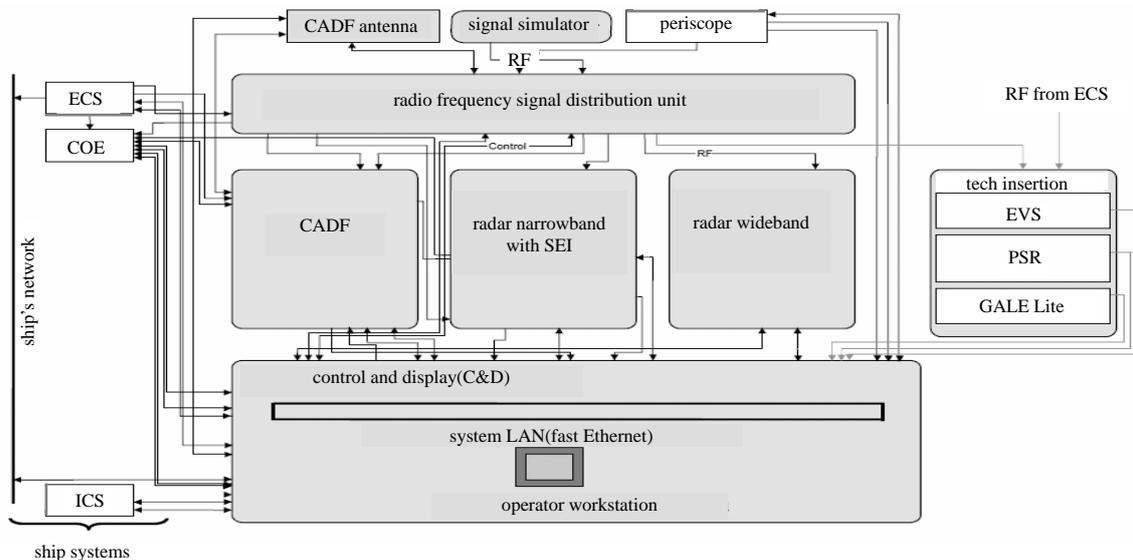


Fig.1 Architecture of BLQ-10(V)
图 1 BLQ-10(V)系统结构

而可以显示海上指挥信息战略/系统数据,修正潜艇的观察情况。

操作员工作站能够显示包括工作任务、信号预警、测向轨迹、截获信号辐射源摘要、通信信息分析、接收机控制、通信发送、合同管理,以及地理位置等多种信息,通过多传感器数据融合与综合电子海图系统构建出完整的战场态势图,从而为潜艇提供一种类似水下监听的对海面的电磁监视能力。

2.2 UAP 潜艇电子侦察系统

UAP 是英国皇家海军的标准潜艇电子侦察系统,目前在役的有 2 种型号:装备前卫级 SSBN 的 UAP(3)和专为机敏级 SSN 设计的 UAP(4)。

UAP 采用了著名的“萨迪(Sadie)”系列电子侦察系统处理器。该处理器是原英国雷卡(Racal)雷达防御系统公司(现 Thales 公司)研制的一种信号处理能力很强的处理器,能够对频率捷变雷达进行跟踪,适应高密度电磁信号环境,降低电磁传播多径效应的影响。

UAP 的操作员工作站除提供情报与态势显示功能外,还装备随艇模拟训练器,能够进行复杂条件下的战场电磁环境仿真,对操作员进行模拟训练,提高操作员情报分析能力。

最新型的 UAP(4)采用隐身设计的 AZE 天线,安装在不穿透固壳的 Thales 综合光电桅杆上,能够减小桅杆天线的暴露面积,提高潜艇的自身隐蔽性,如图 2 所示。

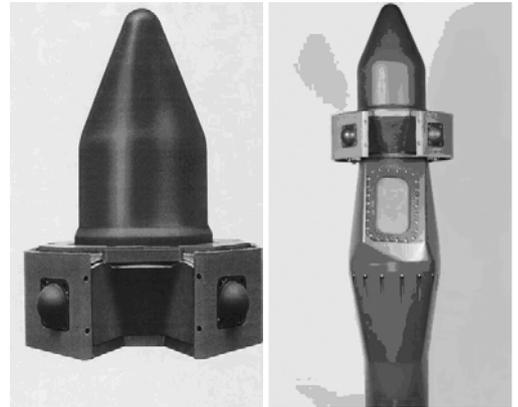


Fig.2 AZE antenna and Thales optoelectronic mast
图 2 AZE 天线与 Thales 光电桅杆

2.3 DR3000U 潜艇电子侦察系统

DR3000U 是法国目前最主要的电子侦察系统,可搭载飞机、水面舰艇和潜艇等多种平台。DR3000U 为潜用型,法国海军代号为 ARUR13,由 DR4000(ARUR11)发展而来,具有威胁雷达探测、测向、识别与目标指示等功能,可用于战场态势监视和电子情报收集。

DR3000U 灵敏度高(约 68 dBm),动态范围大(约 60 dB),可在 1 mpps 的密集电磁脉冲环境下工作,频率覆盖 C-J 波段(0.5 GHz~20 GHz),可扩展至 K 波段(40 GHz),测向精确度约为 3°,采用瞬时测频体制和基于专家系统的辐射源识别算法,雷达辐射源数据库可存储约 200 种平台、4 000 个特征模板。由于采用了特殊的信号处理算法,DR3000U 对于未知信号具有较高的检测概率,在未识别辐射源时也能确保潜艇的快速反应。

DR3000U 采用模块化设计,基本系统由天线、截获与处理单元和显控台组成,通过增减模块可满足不同类型潜艇的安装要求。为了适应不同型号的潜艇作战系统,DR3000U 采用标准化的总线接口降低系统集成难度,同时可使用任意多功能显控台实现人机交互。

2.4 UME-150/250 潜艇电子侦察系统

UME-150/250 是瑞典萨博电子防御系统公司研制的最新潜艇电子侦察系统。其中 UME-150 是一种小型、高性能战术 ESM 系统,采用比幅测向体制,同时具有一定的 ELINT 能力。UME-250 则具有全并行 ELINT 分析与干涉仪测向功能。

UME-150/250 系统主要包括雷达威胁告警接收天线(RWRA)、ESM 天线(ESMA)、ELINT 天线(ETA)、信号(ETA)分发单元(SDU/ETA-SDU)、电子战控制器(EWC)和数字分析接收机(DRx)等模块。

数字分析接收机(DRx)为多通道宽带数字接收机,可提供 500 MHz 的瞬时带宽覆盖,能工作在 LPI 模式以实现低截获概率雷达信号的侦察。EWC 通过以太网与艇上其他系统互联,操作员可在任意一台多功能控制台上对设备进行操作。

UME-150/250 的软硬件设计均采用积木式(Building Blocks)架构,实现不同平台、不同类型装备的模块共用,并可根据需要灵活配置功能模块,从而减少研制与维护成本,降低技术风险。

2.5 AR-900S 潜艇电子侦察系统

AR-900S 是美国 Condor 电子系统集团侦察与监视系统公司(原 Argo 系统公司)研制的潜用电子侦察系统,提供 2 GHz~18 GHz(2 GHz~6GHz 和 6 GHz~18GHz 两个子波段)的全频带覆盖。该系统主要由 3 部分组成:组合天线单元、接收处理单元和操作员工作站。

组合天线包括1个宽带全向天线和1部宽开式单脉冲测向天线阵列,测向精确度为 3.5° (低波段)、 2° (高波段)和 1° (干涉仪)。天线采用隐身设计,可降低雷达散射面积。

接收处理单元由2个数字瞬时测频接收机(Digital Instantaneous Frequency Measurement, DIFM)、1个单脉冲测向接收机和信号处理器组成。该信号处理器可对DIFM接收的每个射频脉冲或连续波信号进行数字化高分辨率测频,能够处理10 mpps密度的信号,可处理的信号类型包括常规脉冲序列、捷变频、重频(2~32位置)/频率/相位/幅度参差、重频抖动、连续波、调频连续波、脉冲压缩以及脉冲多普勒等。该系统以并行方式处理所有的信号参数,通过将信号参数与信号库中存储的模板匹配来识别辐射源及其平台,收到高威胁信号后自动向操作员告警。辐射源数据库可存储10 000个辐射模式,作为500部雷达及其平台的识别基础。

操作员工作站包括多个计算机,1个集成跟踪摸球的键盘,1个高分辨率平板彩色显示器,1个可移动磁盘。显示器提供表格和图形化的战术及分析情报信息。该系统可配装单独的操控台,也可集成至作战管理系统多功能控制台。

2.6 FL1800U型潜艇电子侦察系统

FL1800U是由EADS Cassidian分公司研制的系列全自动、模块化ESM/ECM系统,是德国海军的标准装备之一。其中,FL1800U为潜用型,频率覆盖2 GHz~18 GHz,具有自动测向、分析和辐射源识别功能,主要由USK800/4侦收与测向传感器和显示操控台组成。

USK800/4传感器结构紧凑,元件集成化水平高,能够方便地安装到潜望镜或光电桅杆顶部。顶部为测向和(或)瞬时测频接收机,下面为螺旋天线组成的测向天线阵。此外,根据用户需要,该传感器还可与GPS导航、通信电子模块等组合成一个单元,减少了桅杆的数量,同步实现光电侦察和电子侦察,有利于数据融合。

显示操控台主要用于情报分析、辐射源识别以及数据和态势显示,并能将显示数据传递给作战系统。系统数据库存储有已知威胁、友方辐射源参数,能够自动对截获的威胁信号告警。当发现辐射源工作模式变化,火控雷达或制导雷达由搜索转入跟踪模式时,该系统的显著特点是“快照”模式,能够快速保存侦收的数据并在天线降下之后进行回放。减少了天线出水暴露时间,有利于保持潜艇自身的隐蔽性。

3 发展趋势

通过对外军典型潜艇电子侦察装备技术特点的分析得出,现代潜艇电子侦察装备主要具有以下典型特征:

1) 采用开放式/积木式架构和货架商品,各部件采用模块化设计,降低研制与维护成本,便于性能升级和功能扩展,并能根据平台和需求实现灵活配置。

2) 单一桅杆集成GPS、AIS、通信、ESM、红外、光电等天线和传感器,降低了相互干扰。舷外多功能传感器通过光纤与舱室设备连接,在实现高速数据传输的同时降低传输损耗。桅杆采用低红外特征与低雷达散射截面设计,传感器“快照”模式减少天线暴露时间,提高了潜艇的隐蔽性^[2]。

3) 组合多种类型接收机模块,如瞬时测频接收机、自动扫描超外差接收机、多通道并行接收机、数字接收机等等,以满足灵敏度、动态范围和处理速度等不同需求。

4) 综合雷达ESM与通信ESM,特别是具有对蜂窝式电话信号的侦测能力,为病毒防治/攻击及其他辅助作战提供支持。

5) 良好的人机接口,包括:通过配置自动任务(如告警/记录),减轻操作员工作负担;通过数据融合与综合电子海图显示器提供直观的态势、情报与数据显示;灵活的辐射源分析控制,如选择脉间或脉内分析^[3]等等。

除了上述特征以外,根据当前电子侦察技术的学术与实验研究热点,潜艇电子侦察装备的发展方向将包括以下几方面。

3.1 不断扩展的传感器平台

将ESM传感器集成至潜望镜和光电桅杆是目前外军潜艇电子侦察装备的一个典型特征。通过将小型化的ESM传感器、可见光/红外成像传感器、激光测距仪、卫星导航天线、通信天线等多种设备集成安装至桅杆顶部,可同步完成多种观察通信任务。代表型的装备主要包括:美国BVS-1/1(V)型光电桅杆,俄罗斯PARUS-98E型潜望镜与光电桅杆系统,英国Thales光电桅杆,德国SERO400型潜望镜系统等。

在此基础上,将ESM与电子成像传感器集成至其他平台的研究也应运而生,并逐渐趋于实用。2004年10月19~21日,在美国夏威夷举行的水下防务技术会议上,科尔摩根公司提出了多种衍生系统以提高潜艇获取水上目

标目视信息与雷达信息的能力。除潜望镜和光电桅杆外,在通气管、光纤系留浮标、潜艇无人机、无人潜水器潜望镜等平台上安装小型成像组件和ESM传感器。美国2004年9月公布的一项专利描述了将电子成像和雷达预警集成至通气管;英国、俄罗斯等国已在潜艇围壳上加装了电视成像传感器;2003年和2004年,美国和瑞典分别公开光电浮标专利,在伪装成浮冰或海面漂浮物的浮标内安装传感器,通过系留光纤将数据发送至潜艇;科尔摩根公司研制的潜艇无人机安装在桅杆内,一次可安装4架,携带多种传感器,并通过桅杆接收天线向潜艇发送侦收数据。

德国HDW公司研制了一种与浮标结合的天线系统。这种天线既可与潜望镜固定连接使用(潜望深度),也可用250 m长的电缆射向水面系留使用(潜望深度以下,4节航速航行),还可作为独立的发射装置使用(功率1 W,工作时间48 h),此时电缆与潜艇断开连接。浮标上装备的天线可用于超高频卫星通信或瞄准线通信链通信,接收GPS信号,发送应急位置指示器无线电信标信号,接收ESM/ELINT系统信号。

以色列Rafael系统公司研制的Helsea浮标电缆阵天线,使潜艇具备了水下远距离探测水面和空中目标的能力。该浮标直径76 mm,长度1 m,可利用任何标准的潜艇弹射器发射。浮标将收集的信号放大,通过1 000 m以上的细电缆发送给潜艇。潜艇上的信号处理终端分析这些信号,将其与数据库中存储的信号比较,识别并显示辐射源及平台类型。

利用多种平台上的综合传感器,扩展了潜艇的探测范围,减小了天线升出水面时的雷达反射面积,缩短了潜艇在危险深度的暴露时间,对于提高隐蔽性,保证潜艇执行侦察任务时的安全性具有重要意义。

3.2 基于非合作式双基地雷达的被动成像侦察

非合作式双基地雷达技术是指利用广播、电视和卫星等机会辐射源,或者己方甚至敌方的非合作雷达来探测目标,接收机与发射机之间没有专门的物理链路用于时间与频率同步处理的雷达技术。该技术的原理是以外辐射源直达电磁波为参考,对目标反射信号能量进行分析,实现目标检测、定位与跟踪^[4]。由于潜艇离海岸较远,可利用的民用辐射信号较少,因此潜艇更倾向于使用敌方非合作雷达信号来实现对敌方战场的隐蔽监视。

1998年10月英国《防务系统日刊》电子版报道,美国洛克希德·马丁公司研制成功“沉默哨兵”新型监视系统。这是一种真正达到实用化的基于电视和FM广播的非合作式双基地雷达系统^[5]。据称该公司还在研制一种比“沉默哨兵”更为保密的系统,既能收集敌方雷达发射的信号,还能收集敌方雷达观察目标返回的信号,从而确定对方雷达正在观察什么。

1999~2002年间美军进行了被动监视雷达(Passive Surveillance Radar, PSR)的海上测试,并于2004年完成了与AN/BLQ-10(V)的系统集成。该系统利用非合作雷达辐射源实现对作战海区的目标探测与跟踪。

2005~2006年欧洲EMRS-DTS技术交流会上,英国Roke Manor公司的Weedon及Fisher连续2年汇报了关于“ESM与无源隐蔽雷达(Passive Concealment Radar, PCR)联合”的年度研究报告,实验系统利用非合作辐射源包括“值更夫”空中管制雷达和“施主”舰载导航雷达。通过仿真建模和外场实验分析了利用现有ESM系统实现PCR功能的可能性。

Thales公司生产的TRITON非协同工作的双站雷达系统,这种雷达通过提供被动导出的主平台周围的图像来增强ESM系统。

TRITON雷达系统利用非协同工作的施主雷达的传输信号,例如战区内其他平台上的导航雷达的信号。该雷达系统产生雷达型平面位置显示器图形,可以在实时或快拍方式下工作。自动搜索算法能识别出最佳施主雷达的传输信号。它使用专用的或平台上的ESM系统使用的全向天线接收,然后由极高性能的窄带接收机分离出被拦截的施主雷达的传输信号,赋予参变特征后再用施主雷达直向和反向路径照射之间的时差进行处理,从而产生双站雷达图像。

3.3 基于军事气象海洋学的电子战辅助决策

军事气象海洋学是研究大气与海洋环境特征及其对军事行动作用与影响的学科。它通过测量、遥感与数据同化技术,获取海洋气象水文资料,研究气象与海洋条件特征和演变规律对军事活动和武器装备的影响,为拟制作战计划、装备使用决策提供科学依据。

美国海军气象与海洋学司令部负责为各海军部队提供气象与海洋预报,以及业务化服务产品,如综合折射效应预测系统、舰载直升机声距预测系统、音响传感器作用距离预测等电磁与声学预报。

军事气象海洋学在潜艇电子侦察方面的应用主要体现在对反潜兵力探测弱点评估与电子战辅助决策方面。美国海军研究生院(Naval Postgraduate School, NPS)正在进行的领海防御研究项目(MDP-RG),其研究重点之一便是

“ESM 弱点研究(ESM Vulnerability Study, EVS)”。为研究气象因素对射频电磁信号传播的影响, NPS 在加州圣克莱门特岛附近进行了试验, 他们将测量仪器固定在船只和探空气球上, 测量气压、温度、湿度、风速以及海面温度, 绘制了从海面到大气边界层的折射率剖面图。2004 年 7 月, NPS 在蒙特雷市举办“威胁与弱点评估”学术会议, 发表了名为《大气与海面对雷达与红外传感器性能影响估计》的论文, 通过在多个场地对低雷达散射截面(Radar Cross Section, RCS)和温度对比度目标的探测试验, 提出了濒海区电磁传播损耗随大气与海面条件变化的预测模型。目前, AN/BLQ-10(V)潜艇战术 ESM 系统可通过技术插入, 嵌入 EVS 模块, 可根据战场气象海洋环境数据和潜艇自身天线暴露面积, 分析敌方反潜探测系统弱点, 为潜艇执行监视任务提供最佳位置建议。

3.4 基于军事信息网格的情报与态势共享

由于平台的隐身性, 潜艇可进入或抵近敌方防空作用距离范围内实施隐蔽侦察。电子侦察设备作为一种重要的侦察、监视设备, 是潜艇获取电磁情报的主要技术手段。然而单个传感器的能力是有限的, 只能在一定的时间内对一定的区域实施侦察监视。若能将各个传感器联为一体, 建立全方位、全频谱、全时段的多维侦察监视预警体系, 就能弥补单个传感器侦察监视能力的不足, 对敌实施实时的全时空侦察监视。

美军“联合构想 2020”中提出的全球信息栅格(Global Information Grid, GIG)是未来夺取信息优势与决策优势的关键。GIG 是一种全球性互连, 提供端到端无缝连接的信息功能体, 能够根据作战人员、决策人员和支持人员的要求收集、加工、分发和处理信息, 综合集成了计算机通信网、传感器网和武器平台。其中传感器网格由包括设在卫星、飞行器、舰艇、潜艇, 地面及水下的所有传感器及操作软件组成^[6]。GIG 以通用作战图(Common Operational Picture, COP)的形式实现传感器感知数据与知识的共享, 从而提高战斗力。

美军 AN/BLQ-10(V)潜艇战术 ESM 系统可通过 GALE-Lite(Generic Area Limitation Environment Lite)模块实现与 GIG 的连接。该模块可实现与全球联合指挥与控制系统(Global Command and Control System Joint, GCCS-J)之间的双向数据传输^[7]。一方面, 操作员可从 GALE-LITE 向 GCCS-J 发送侦察情报; 另一方面, GALE-LITE 也可从 GCCS-J 接收 COP, 以提高侦察系统战术数据的分析处理能力。

军事信息网格技术的发展为军队实现全球信息共享提供了可能。潜艇雷达电子侦察设备作为一种重要的传感器, 在军事信息网络的支持下, 将更能发挥抵近侦察的优势。

4 结论

为满足潜艇作战任务需要, 适应复杂电磁环境, 外军潜艇电子侦察设备普遍采用了开放式系统架构以实现系统的灵活配置, 集成 ESM 天线至综合光电桅杆以减少天线暴露, 利用干涉仪、组合宽/窄带接收机、特定辐射源识别等技术不断提高对复杂信号的侦收、测量和信息处理能力^[8]。此外, 在扩展潜艇 ESM 传感器平台、被动侦察成像、电子战辅助决策, 以及战场情报与态势共享等方面, 潜艇电子侦察设备已显示出广阔的发展空间, 这将进一步提高潜艇的隐蔽侦察能力, 对潜艇的作战使用产生深远影响。借鉴外军潜艇电子侦察装备的技术特点, 探析其未来的发展方向, 对于我海军潜艇电子侦察装备建设, 以及赢得未来海战场主动权都具有重大意义。

参考文献:

- [1] 赵扩敏, 王永生, 刘占友. 潜艇ESM系统发展探析[J]. 舰船电子对抗, 2008,31(2):15-19. (ZHAO Kuomin, WANG Yongsheng, LIU Zhanyou. Development analysis of submarine ESM system[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2008,31(2): 15-19.)
- [2] 陆炳哲, 聂辉. 从潜艇潜望镜到潜艇成像系统的新概念[J]. 舰船电子工程, 2005,25(1):20-24. (LU Bingzhe, NIE Hui. New concept from submarine periscope to submarine imaging systems[J]. Ship Electronic Engineering, 2005,25(1):20-24.)
- [3] 洪先成, 张国毅, 李冬梅, 等. 多特征融合的雷达信号脉内调制识别[J]. 信息与电子工程, 2011,9(5):31-26. (HONG Xiancheng, ZHANG Guoyi, LI Dongmei, et al. Fusion of characters for intra-pulse modulation recognition of radar signal[J]. Information and Electronic Engineering, 2011,9(5):31-36.)
- [4] 宋杰, 何友, 蔡复青, 等. 基于非合作雷达辐射源的无源雷达技术综述[J]. 系统工程与电子技术, 2009,31(9):2151-2180. (SONG Jie, HE You, CAI fuqing, et al. Overview of passive radar technology based on non-cooperative radar illuminator[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2009,31(9):2151-2180.)
- [5] 胡晋东. 简易无源定位雷达技术[J]. 信息与电子工程, 2011,9(2):40-45. (HU Jindong. Technology on portable passive locating radar[J]. Information and Electronic Engineering, 2011,9(2):40-45.)