

机载红外探潜系统综述

王建华¹, 赵浩淞²

(1. 北京军代局, 北京 100042; 2. 华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要: 潜艇不仅对水面舰船是一种重大威胁, 即使对远隔千里之外的地面目标也是一种重大威胁。为了对付潜入海下的潜艇, 反潜技术是军方十分关注的一项对抗措施。通过对比传统探潜方式和红外探潜方式, 分析了传统探潜方式的不足及红外探潜的优势, 介绍了先进红外探潜系统装备现状, 提出了红外探潜系统的发展趋势。

关键词: 潜艇; 红外; 装备现状; 发展趋势

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.06.001

Survey of airborne infrared system for submarine detection

WANG Jian-hua¹, ZHAO Hao-song²

(1. Beijing Martial Delegate Agency, Beijing 100042, China;

2. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: The submarine is a major threat to surface ships and the ground target thousands of miles far. In order to deal with the submarine dived beneath the ocean, anti-submarine technology is a countermeasure that military concerned about. In this paper, by comparing with the traditional detection methods and infrared detection methods, the shortcomings of traditional detection method and the advantages of infrared detection are analyzed, the advanced infrared anti-submarine equipment status is introduced, the development trend of infrared anti-submarine system is proposed.

Key words: submarine; infrared; equip status; development trend

1 引言

潜艇具有无可比拟的隐蔽性和机动性, 给水面舰艇的活动和海上运输线造成极大威胁。环视中国周边, 从东北亚直到东南亚、南亚这一广大地区似乎正在成为世界上潜艇数量最密集的区域, 而且其中不乏具有当今世界一流技术水平的潜艇装备和兵力, 这已经成为当前中国的海洋安全面临的重要课题^[1-2]。红外探测技术具有速度快、精度高、昼夜全天候工作、被动工作、隐蔽性好、实时成像、分辨率高、不受电磁干扰等特点, 结合航空搜潜速度快、机动性强、搜索效率高、不易被潜艇攻击的优势, 开发高性能机载红外探潜系统, 实现夜间和能见度恶劣的情况下远距离搜索、监视等功能, 是未来高科技海战的需要。

2 传统机载反潜方式

传统机载反潜探测设备有雷达、声呐浮标、红外探测仪、磁异探测仪等。对潜作战首要任务是发现对方潜艇, 但是潜艇具有良好的水下隐蔽性, 现代核潜艇下潜深度也较大。机载搜索雷达只能用来搜索与跟踪露出海面的潜艇潜望镜或通气管, 以及水面航行状态的潜艇。但是对潜行状态的潜艇束手无策, 目前较常用的探测潜行状态潜艇的方法有声呐探测、异磁探测。

海水的传声能力却比在空气中强得多, 声呐技术应运而生。声呐机发出一束束不同频率的声音信

作者简介: 王建华(1979-), 男, 工程师, 主要研究方向为红外探测技术。

收稿日期: 2013-01-02

号,再用特殊设备接收反射信号加以分析,这样就如同安上了蝙蝠的耳朵,周围的情况也就一目了然。声呐可以探测到深水中潜艇的自噪声,从而发现目标。

由于海水为非磁化物质,磁场在水中是透明的,因此磁力仪能探测水下的潜艇。磁异探测技术是目前已经得到广泛应用,具有分类能力好、定位精度高、执行时间短、不受浅海复杂环境影响等优点^[3]。典型装备有美国的 AN/ASQ-208 氦光泵磁力仪、加拿大的 AN/ASQ-504 铯光泵磁力仪和法国第三代全数字化 MAD MK-3 探测仪。

3 机载红外探潜系统的优势

随着潜艇下潜深度的增大以及隐身技术的不断发展,未来海战需要新型探潜设备,以弥补原有探测技术的不足。传统的探潜设备存在固有缺陷,具体如下:

(1) 声呐探测机动性差,难以进行灵活、迅速的大面积搜索;其次,主动声呐容易暴露己方位置,而被动声呐只有在敌方潜艇发出较大噪声时才能进行探测、识别;再者,随着现代潜艇各种声技术的应用,潜艇自噪声得到了大幅度的降低,声呐的探潜能力已被大大削弱。使用减振筏座技术、消声瓦技术可降噪 50~60 dB。据测算,潜艇噪声每降低 20 dB,敌方被动声呐探测距离降低 50%^[4-5]。美国海军潜艇的自噪声在 90 dB 左右,几乎接近海洋背景噪声,这表明,单纯的利用声学探测潜艇已经不能满足现代反潜作战的需求。

(2) 磁异常探测不能进行远距离潜艇探测,且受本底磁噪声和水文气象条件的影响较大。现有各种磁探仪如磁饱和式、质子旋进式、光泵式、电子双共振式等均存在灵敏度低、探测距离近等不足,并且在现代战争中大功率的电磁压制会使磁探仪束手无策。低碳钢技术可以减小潜艇的磁性特征,减小磁探测器的有效探测距离,钛合金技术降低了潜艇的磁性同时提高了强度,使潜艇的工作深度大幅提升。磁探仪受技术本身局限,已很难在性能上取得重大突破。

从隐身技术未来的发展趋势看,吸声材料、低磁材料在潜艇构造的应用将大大削弱声呐、异磁探潜能力^[6]。发展新型探潜设备目前受到了诸多国家的重视。随着红外技术的发展,红外探测为探潜系统提供了新思路。红外探潜系统不仅能被动、全天候昼夜工作,还具有可靠、高效、快速响应、实时成像、优质显示、抗干扰能力强、隐蔽性能好的特点,不

仅可独立完成搜索探测功能,也可通过外部引导信息与其他设备完成联动工作,如可与头盔联动,完成与飞行员的联动,还可与机载雷达、声呐配合使用,实现雷达、声呐、红外的综合探测功能,使得红外探测技术更加显示出它在高新探测技术领域的重要性。

4 国外先进机载红外探潜设备

岸基固定翼反潜巡逻机起飞重量大、航程远、留空时间长,能携带多种反潜探测设备和大量反潜武器,一直是航空反潜战的主力^[7-9]。在反潜巡逻机领域,美国海军的 P-3C“猎户座”反潜巡逻机独占鳌头,能与之媲美的是欧洲的“大西洋”反潜巡逻机、英国历经十余年推出的新型“猎迷”MRA4 反潜巡逻机,其他典型机型还包括俄罗斯的伊尔-38“山楂花”、图-142M“熊”、A-40“信天翁”反潜巡逻机和美国的 S-3“北欧海盗”反潜机。波音公司研制的 P-8A“海神”在搜索、攻击能力上均要优于 P-3C,目前已经研制完毕并试飞成功。

雷声公司为 P-3C 配备的 AN/AAS-36(如图 1 所示)系统基于美国防部通用典型技术的一个独立的传感器系统。其红外系统使用碲镉汞探测器包括一个典型红外接收器、电源模块、伺服控制系统、实时图像显示系统。系统其他的特征包括:自动的光学温度补偿,平台稳定指向,双视场,内部测试功能等^[10-11]。表 1 为 AN/AAS-36 部分性能参数。



图 1 P-3C“猎户座”及其红外探测器 AN/AAS-36

表 1 AN/AAS-36 性能参数

性能	参数
红外波段	8~12 μm
探测器	180 元碲镉汞线列探测器
覆盖范围	俯仰: -82~16°; 方位: ±200°
红外视场	小视场: 5°×6.7°; 大视场: 15°×20°
温度分辨率	0.1 K
MTBF	300 h
重量	136.3 kg
装备机种	P-3C“猎户座”
现状	已装备

2003年8月,美海军正式宣布计划建造一种大型岸基巡逻机P-8,它能携带各种作战载荷,执行包括巡逻、侦察搜集、战场管理和运输在内的多种任务,在搜索、攻击能力上超过P-3C。图2所示为P-8及其红外探测器。P-8的光电探测系统采用诺斯罗普·格鲁门公司的光-电/红外传感器MX20。该系统可以提供大动态的实时图像和目标信息,并且在图像及跟做算法上做了改进,借鉴了F-35的光学孔径系统及吊舱瞄准系统,采用平衡技术,有自动探测、单点跟踪、区域跟踪模式,能稳定扫描覆盖方位360°。其他的系统特性包括:精准定位;自动目标排序;图像增强、均匀化处理、特征增强;带宽减小技术。系统用640×512或1024×1024碲镉汞探测器,另配有可见光摄像机,其部分参数如表2所示。



图2 P-8“海神”及其光电探测器MX20HD

表2 MX20性能参数

性能	参数
覆盖范围	360°(方位)
探测器规格	640×512或1024×1024
红外口径	279 mm
红外视场	0.24°~18.2°(四档)
整体尺寸	538 mm×528 mm×650 mm
装备机种	P-8“海神”
现状	生产

典型的机载红外探潜设备还有ThAAHIS和IR-18。机载高光谱ThAAHIS由美国STI研制,主要用于近海域水下目标的探测和识别。ThAAHIS采用256×256碲镉汞凝视探测器,光谱响应范围7.60~11.33 μm,瞬时视场0.8 mrad。IR-18热成像系统由英国Barr公司和Stroud公司研制生产,可以安装在固定翼或直升机、坦克上,其主要性能包括:光谱响应范围8~13 μm,瞬时视场1.73 mrad,最小可分辨温差0.17 K,帧频25 Hz。

5 机载红外反潜系统发展趋势

5.1 目标的选择

潜艇自身是一个很大的红外热源,温度可比周

围海水的温度高0.05℃以上,现在的红外探测系统,探测能力可达0.01℃数量级,使得用红外探测仪探测潜艇成为可能。但是,在水下活动的潜艇,由于水分子对红外辐射的吸收,导致其本身所发出的红外辐射很难被处于水面上的红外热成像系统探测到。

潜艇在水下的一切活动,都需要消耗能量,所有消耗的能量最终都转化为热能的形式,并不可避免地要耗散到周围的环境也就是海水中,使潜艇周围的海水温度升高。潜艇热尾流排出后因其密度比周围水密度小受浮力作用上升,随着对流到达海面,并维持一小段时间^[12-14]。热尾流温差信号强度的衰减在初始段比较快,随着高度的浮升在很长一段距离内,热信号的减弱极其缓慢,所以即使上升几十米,热尾流仍可有0.1℃数量级的温差信号。在逐渐浮升过程中,其宽度也在不停地扩展,只是扩展的速度逐渐减慢,到了一定的高度和一定的时间后就基本不作变化了,普通潜艇热尾流在水面的热轨迹信号宽度都可以达到十几米到几十米^[15-17]。

核潜艇航行时为了冷却核动力装置,总是要放出大量的温热尾流。一台190 kW反应堆为动力的核潜艇每秒钟释放入海洋的热能多达 1.8828×10^8 J,在速度为5 kn时,它排出的热能能使其身后的水温升高约0.2℃^[18-19]。潜艇的航行深度往往较大,自身的辐射能量被周围海水吸收较多,不易探测,而潜艇尾流会上升到海面,在海面呈长条状的面热源分布,造成较大区域的海水温差。因此,探测潜艇尾流的可行性要高于探测潜艇本身。

5.2 目标特性的分析

海水的性质在各种情况下的不同,导致热尾流在水面的热轨迹就会呈现不同的形状,理论上会呈现至少两种形状:一种是热尾流几乎不受任何抑制的浮升形成水面大面积温差信号,成像显示则是连续的长长的热轨迹;一种是热尾流浮升受抑制情况下形成的不连续的热轨迹。

在实际的海洋环境中,流体密度的垂向分布多是非线性的,形成的尾流形状大多不连续,并且形状不规则。国内对于不同型号潜艇在不同海域形成尾流的特性少有分析,可借鉴数据较少,因此基本不能将探测到的尾流数据进行深层次挖掘,难以获得更多的数据。因此有必要通过实地的数据采集和模拟实验,得出热尾流的浮升特性、分布

特点,为红外探测潜艇提供比较科学的水面热轨迹情况的依据。

5.3 偏振特性的应用

目前常用的红外探测系统测量的是物体辐射的强度,而偏振测的是物体辐射在不同偏振方向上的对比度,所以它能够将辐射强度相同而偏振性不同的物体区别开来。

水体体现出较强的偏振特性,其偏振度一般在8%~10%。金属材料目标的红外偏振度在2%~7%。实际上,两物体偏振度值差别达到1%,成偏振图像后我们就能够很好地分辨出两物体之间的差异^[20-21]。偏振技术的发展为红外探潜提供了一个新的思路。

5.4 系统性能的优化

5.4.1 光学系统

由于目标本身能量较小,为减少能量在系统内部的损失,先进的光学材料必不可少。红外探潜系统往往要求口径较大,焦距长,系统色差明显,单纯采用透射式结构形式具有一定的局限性,目前反射式系统在加工、装调、检测中尚存在困难。但由于反射式光学系统本身具有透波率高、光谱适应性强、不受材料限制等优势,将随着加工、装调、检测技术的成熟,应用于红外探潜系统中。

5.4.2 红外探测器

不论是潜艇本身还是热尾流,在海面上表现出的都是极小的温差。探测这一极小差异,红外热成像系统必须具有极高的温差探测能力才可以做到,这就需要焦平面列阵探测器具有极高的灵敏度。红外探测器目前正在发展的可称为第四代,随着材料和工艺的不断发展和探测器的探测率、灵敏度越来越高。除了探测器自身的工艺、材料等因素,积分时间、 F 数等可调参数的变化也可以在一定范围内提高系统的性能。

由于反潜机要求对大范围海域进行搜索,现有的探测器规模较小,难以实现大范围覆盖,随着大面阵探测器的出现,红外探潜系统可以提高红外系统的覆盖范围并提供更高的分辨率,可以解决大视场与高分辨率的矛盾。

5.4.3 信号处理

信号处理的主要任务是开发降低虚警率的处理算法及实现算法的体系结构。而算法方案是基于空间、时间、光谱及多传感融合处理的多个鉴别方案的

组合。在强杂波背景下,远距离探测低能量目标,面临巨大的挑战,意味着此时的目标在像面上的灰度与背景差别不明显,角位移很小。由于距离远,威胁目标信号被衰减至很弱,淹没在噪声和杂波中,对实际存在的威胁目标探测不到,而另一方面,由于噪声和杂波的存在,产生信号被检测出当成实际上不存在的威胁目标。这两种情况都是随机发生的,信号处理难度很大,因此需要更有效的目标检测算法或者将已有算法进行改良。将粒子群算法、智能仿生算法应用到反潜搜索算法优化,提供了这方面的思路^[22]。

6 结束语

由于反潜战的日趋复杂化和未来作战近海化的发展趋向,在军事需求的牵引和相关技术发展的推动下,红外技术已占据相当重要的战略地位。红外技术作为一种探测潜艇的一种新的手段,在一定的应用领域内具有其他系统不能比拟的优越性,同时也带动了相关技术的发展。在实际应用中,红外技术和其他探潜技术相结合将在探潜中具有更大的优势和获得更为广阔的应用空间。

参考文献:

- [1] Tian Ying. The importance of developing air antisubmarine force to Chinese navy[J]. Shipborne Weapons, 2008, 3:44-53. (in Chinese)
天鹰. 航空反潜对当前中国海军的重要意义[J]. 舰载武器, 2008, 3:44-53.
- [2] 梁志城. 现代反潜装备[M]. 北京:海潮出版社, 1995.
- [3] 张海波, 杨金成. 现代潜艇技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2002.
- [4] Cui Guoheng, Yu Dexin. Status quo of non-acoustics anti-submarine detecting technology and its countermeasures [J]. Fire Control & Command Control, 2007, 32(12): 10-13. (in Chinese)
崔国恒, 于德新. 非声探潜技术现状及其对抗措施[J]. 火力与指挥控制, 2007, 32(12): 10-13.
- [5] Li Chunjun, Peng Hanguo, Liu Jun. [J]. Science & Technology for Development, 2012, (6): 105-107. (in Chinese)
李春军, 彭汉国, 刘军. 潜艇隐身技术的发展方向探析[J]. 科技促进发展(应用版), 2012, (6): 105-107.
- [6] Guo Yan, Wang Jiang-an. Analysis of development of optical-electric detection in the field of submarine detection [J]. Ship Science and Technology, 2002, 24(4): 42-45. (in Chinese)

- 国妍,王江安. 光电探测在探潜方面的发展分析[J]. 舰船科学技术,2002,24(4):42-45.
- [7] Lemon SG. IEEE J. ocean. engineer. ,2004,29(2):365.
- [8] Wang Zudian. Airborne anti-submarine warfare and their weapons[J]. Aero Weaponry,2007,1:6-9. (in Chinese)
王祖典. 航空反潜战与反潜武器[J]. 航空兵器,2007,1:6-9.
- [9] Jinenez J M, Allen J J. Preliminary velocity measurements in the wake of a submarine model[C]// 4th International Symposium on Partical Image Vecocity,2001,9:1-5.
- [10] Dawson H C. Anti-submarine warfare: still an essential warfare art, ADA26356 [R]. Pennsylvania: Naval Operation Centre,1993.
- [11] Gething M. Jane's electro-optic systems[R]. Jane's Information Group,2009-2010.
- [12] 是兆雄. 美国的反潜预警系统[J]. 系统工程与电子技术,1989,(6):69-73.
- [13] Lu Xiping, Shen Zhenkang. Analysis of IR imaging system used in anti-submarine detection [J]. Infrared and Laser Engineering,2002,31(3):217-219. (in Chinese)
鲁新平,沈振康. 红外热成像系统应用于反潜探测的分析[J]. 红外与激光工程,2002,31(3):217-219.
- [14] Zhang Xiaohuai, Chen Xuan, Yang Li. The analysis and calculation of infrared signature of thermal wake of submarines[J]. Laser & Infrared,2007,37(10):1054-1057. (in Chinese)
张晓怀,陈翾,杨立. 潜艇热尾流红外特征分析与计算[J]. 激光与红外,2007,37(10):1054-1057.
- [15] Zhang J Q, Fang X P. Infrared physics[M]. Xi'an: Xidian University Press,2004,6:4-6. (in Chinese)
张建奇,方小平. 红外物理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004,6:4-6.
- [16] Wang Jiangan, Guo Yan, Gu Jiannong. The theoretial and study of thermal wake in the infrared detection of submarines[J]. Laser & Infrared,2002,32(3):159-162. (in Chinese)
王江安,国妍,顾建农. 红外探潜热尾流的理论与实验研究[J]. 激光与红外,2002,32(3):159-162.
- [17] Braybrook R. The watch over water[J]. ARMADA International,1,2003,(6):18-24.
- [18] Ketter T N. Anit-submarine warfare in the 21st century, ADA27660 [R]. Pennsylvania: Naval Operation Centre,2004.
- [19] 于龙. 红外成像仪用于探潜技术的研究[J]. 红外,2004,(4):31-35.
- [20] Marion Bonnier and Olivier Eiff Experimental Investigation of the Collapse of a Turbulent Wake in a Stably Stratified fluid[J]. Physics of Fluids,2002,14(2):791-801.
- [21] Liao Y B. Polarization optics[M]. Beijing: Science Press,2003. (in Chinese)
廖延彪. 偏振光学[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [22] Sun Xiangjun, Zhao Siqiang, Yan Zongrui. Antisubmarine search research on the optimization of particle swarm[J]. Microelectronics & Computer,2008,25(10):91-93. (in Chinese)
孙向军,赵斯强,严宗睿. 基于粒子群优化的反潜搜索研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(10):91-93.