

引用格式:鲜勇,鲁宏捷,李佳庆.国外航空声呐浮标发展综述[J].电光与控制,2019,26(8):67-70. XIAN Y, LU H J, LI J Q. A review on development of foreign aviation sonobuoys[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(8):67-70.

国外航空声呐浮标发展综述

鲜勇¹, 鲁宏捷², 李佳庆³

(1. 驻洛阳地区军事代表室, 河南 洛阳 471000; 2. 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000;
3. 北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 国外航空声呐浮标在近70年的发展历史中,经历了不同的发展阶段和技术路线。对美英俄等国的航空声呐浮标发展历史进行简要介绍和概括,总结其发展规律与经验,并通过对未来水下作战特点分析和国外现代研究样例说明声呐浮标的发展方向。

关键词: 航空声呐浮标; 综述; 发展历史; 发展方向

中图分类号: V243; U666.7 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.08.013

A Review on Development of Foreign Aviation Sonobuoys

XIAN Yong¹, LU Hong-jie², LI Jia-qing³

(1. Military Deputy Office in Luoyang Area, Luoyang 471000, China; 2. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471000, China; 3. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In the past 70 years, foreign aviation sonobuoys have experienced different stages of development and technical routes. This paper briefly introduces and summarizes the development history of aviation sonobuoys in the United States, Britain, Russia and other countries, summarizes their development rules and experience, and predicts the direction of sonobuoy development by analyzing the characteristics of future underwater combat and foreign modern research examples.

Key words: aviation sonobuoys; review; development history; direction of development

0 引言

航空声呐浮标主要装备于固定翼反潜巡逻机、舰载反潜直升机,是一种空投式一次性消耗的水声遥感探测器。它与机载浮标信号接收处理设备组成声呐浮标系统,用于航空反潜探测,具有对水下目标进行搜索、识别、定位、跟踪^[1]的能力,能够保障机载反潜武器的使用或引导其他反潜兵力实施对潜攻击。航空声呐浮标自第二次世界大战期间发明以后,数十年间形成大量装备,迄今为止仍是水下探潜最重要和最有效的手段之一^[2]。本文通过对国外航空声呐浮标发展历史的分析和研究,总结其发展规律与经验,并对其发展方向进行分析和预测。

1 国外航空声呐浮标发展历史

1.1 浮标的诞生及“茱莉”浮标

1942年,美国首先研制出第一型声呐浮标 AN/CRT-

1,并很快投入作战使用。从1942年10月到1945年二战结束,美国海军订购了15万枚浮标和7500套浮标接收机^[3-4]。这一时期的浮标内部电路均采用电子管器件,机上没有信号处理,只是将接收到的无线电信号解调转化为音频之后供声呐员监听,目标的搜索、识别和跟踪完全依赖于声呐员的听觉和经验。

20世纪50年代,核潜艇的出现和新型常规潜艇的建造,对航空反潜提出了更高的要求。美国海军针对前苏联潜艇^[5]发展了大量航空反潜平台,如SP-5B, P-2V, P-3V-1, S-2F, HSS-1N, HSS-2, S-3, P-3等^[4-6]。这个时期浮标的代表是名叫“茱莉(Julie)”的被动全向浮标,主要型号有SSQ-23, SSQ-26, SSQ-39, SSQ-49^[6]。使用这些浮标的声呐浮标系统又称为“茱莉”系统^[4],它既可以使用多枚被动全向浮标形成网格阵列进行探测,又可以引爆小型爆炸声源,产生一个宽带高能量脉冲,然后通过被动全向浮标检测潜艇的回波来进行探测^[6]。

1.2 全向声呐浮标

20世纪60年代是美国声呐浮标大量使用和全面发展的时期^[4]。1960年,被动全向浮标“杰泽贝尔”AN/SSQ-

收稿日期:2019-05-31

修回日期:2019-07-02

作者简介:鲜勇(1974—),男,四川巴中人,硕士,高工,研究方向为航空光电子及声呐浮标产品的质量监督与管理。

28 开始投产,这是一种真正的 LOFAR 浮标,其被动频率为 10 ~ 2500 Hz,这个频率段与美国广布于各大陆架的岸基 SOSUS 系统的低频体制相兼容。1965 年,AN/SSQ-41 开始生产,用于替代“茉莉”系列浮标及 AN/SSQ-28,后续 AN/SSQ-41B 成为 P-3C 标配。

为适应自导鱼雷攻潜的需求,同时为了替代“茉莉”系统,主动全向浮标应运而生。单枚主动全向浮标可对潜艇进行测距,多枚主动全向浮标根据三角定位法可实现对潜艇目标的定位。AN/SSQ-15 是第一型主动全向浮标,后续型号有 AN/SSQ-47 和 AN/SSQ-50。到 AN/SSQ-50,主动浮标已经发展为指令激发式。但不管怎样,这一时期航空反潜的主角仍然是被动声呐浮标^[4]。

1.3 定向声呐浮标

在同期发展的舰船声呐领域,定向技术已经较为成熟。由于声呐浮标的体积限制,使得许多改进声呐浮标的努力显得并不成功,比如具有旋转定向水听器的 SSQ-1^[6]。

1967 年,美国海军在 KENDOLL 与 LESLIE 等研制的同振型振速水听器基础上研制出 DIFAR 型声呐浮标,这种浮标不仅能探测潜艇,而且能对潜艇进行测向,其典型代表是美国海军的 AN/SSQ-53 系列^[7]。

首批 AN/SSQ-53 浮标采用 A 尺寸,无线电通道 31 个,定深一档,声学工作频率为 10 ~ 2400 Hz,1969 年定型生产。后来 53A 增加了第 2 个定深以及两种工作时间。53B 于 1984 年开始装备,无线电通道增加到 99 个,定深 3 档,工作时间可选 3 档。同期的 53C 则是一款同性能 G 尺寸浮标。

AN/SSQ-53D 于 1991 年服役并替代 53B,此时的振速传感器自噪声水平明显下降。53D 通过对声学传感器和减震悬挂系统的精心匹配,显著提高了低频灵敏度,工作频带下限达到 5 Hz,声学性能达到顶峰。1997 年,53E 在 53D 的基础上增加 1 只固定浅水深度的全向水听器,定深 4 档,增加 AGC 功能和 CFS 功能。53E 开始采用专用集成电路(ASIC)以降低功耗和成本。2000 年,53F 在 53E 的基础上又增加了 1 只已校准的声压水听器,进一步优化浮标内部设计。为了保持反潜机声处理软件的一致性,避免修改航空软件造成的昂贵代价,53E 和 53F 依然保留了 DIFAR 型浮标与载机一贯的通信模式和信号接口。

DIFAR 型浮标的技术研究和装备实践促生了 DIFAR 浮标家族的繁荣兴盛。1980 年,美国海军批准了两项先进声呐浮标的研究计划: DICASS 和 VLAD 浮标^[4]。这是在 53 系列浮标开始研制并装备后, DIFAR 领域的一次重大改进。

AN/SSQ-62 系列浮标是一种指令控制型主动定向浮标(DICASS),它可以受控地发射主动脉冲,然后利用矢量水听器接收回波,从而同时测定目标的方位和距离。

AN/SSQ-77 系列浮标是一种垂直线列阵被动定向浮标(VLAD),它具有 53 系列的定向功能,只是采用 1 条垂直线列阵替代了 53 系列浮标中的全向水听器,可以使用汇聚区模式或者海底反射模式探测。

1.4 主动增程声呐浮标

冷战结束前后,美国海军已经开始使用 AN/SSQ-110 爆炸声源浮标作为主动声源,与 DIFAR 浮标或 VLAD 浮标一起构成“主动增程(EER)”的多基地探测系统,虽然这比早期的“茉莉”系统有了极大的提高,但由于 DIFAR 类浮标的局限性,更需要研制一种适合的平面阵浮标。

1991 年,美国海军开始使用专门研制的 AN/SSQ-101 型航空布放主动接收(ADAR)声呐浮标来接收主动声源信号,并与 SSQ-110/110A 构成“改进型主动增程(IEER)”系统^[8]。

ADAR 浮标采用了 5 臂扩展水平基阵,孔径 5 m,阵元数量 40。ADAR 浮标虽然可以作为被动定向浮标使用,但主要用于双基地或多基地探测的接收阵,使低频主动探测与大基阵测向定位技术较好地融合起来,避免了主动探测的混响干扰和被动探测的性能下降问题。与 DIFAR 浮标家族不同的是,ADAR 浮标采用了新型的数字通信链路,解决浮标水下信息与载机之间的无线电传输问题^[9-10]。

为进一步提升多基地探测能力,美国海军又研制了 AN/SSQ-125 型航空布放低频声源浮标(ADLFP),与 ADAR 浮标构成“先进型主动增程(AEER)”系统。SSQ-125 采用多个压电陶瓷换能器构成线列发射阵,基频 950 Hz,声源级 213 dB。

1.5 北约及俄式声呐浮标

以英国为代表的其他北约国家在声呐浮标的研制和装备上,基本紧紧跟随着美国的步伐,但在 20 世纪 90 年代以后,又发展出了自己的特色,诞生了符合北约标准的数字通信浮标,比如英国 Ultra Electronic 公司的 LOFAR 浮标 SSQ-906, HIDAR 浮标 SSQ-955, CAMBS 浮标 SSQ-963, ALFEA 浮标 SSQ-926 和 BARRA 浮标 SSQ-981E 等,这些浮标采用北约数据协议标准,大部分可以兼容数字和模拟两种调制发射模式,通过设置可以选择在数字模式或者模拟模式下工作,数字模式下具有高动态范围、良好线性度、灵活工作参数设置等技术特点,适用于复杂探测环境。

前苏联和俄罗斯的航空声呐浮标水平一直落后于

欧美,在反潜机上仅发展了被动全向浮标、被动定向浮标、主动全向浮标和爆炸声源^[11-12],没有采用与西方国家一样的标准规格和尺寸,除了被动全向浮标和爆炸声源重量较轻体积较小外,被动定向浮标属于中型浮标,主动全向浮标可算作巨型浮标,不能把它们应用于所有的航空反潜平台,即使大型的反潜巡逻机也是以装备使用被动全向浮标为主。

1.6 声呐浮标发展历程概括

从上述发展过程可以看出,国外的声呐浮标总体上经历了四代。

第一代声呐浮标是从二战到1960年期间的声呐浮标及系统,典型代表是“茱莉”系统,其特点是中高频宽带探测,通过曲线或能量告警判决目标,难以探测多目标,不能抑制干扰,定位目标需要飞机机动在不同位置上投掷爆炸声源浮标,探测和计算十分困难。

第二代声呐浮标是1960年以后出现的LOFAR浮标和主动全向浮标,特别是1965年FFT技术出现以后,被动全向探测技术发展到了极致,开始出现低频探测和频谱分析,以线谱检测来判决和识别目标,可以使用LOFIX, HYFIX, Doppler-CPA等被动定位方式粗略定位目标,或者采用CODAR对浮标进行粗略测向,但定位和测向精度较低,区分多目标能力也很弱。

第三代声呐浮标是DIFAR浮标家族,从时、频域探测发展到可以同时时在时、频、空域探测,且指向性增益提高了探测距离,测向和定位精度提高,能较好地地区分多目标或抑制干扰。

第四代声呐浮标是ADAR浮标及其主动增程系统,这种多基地探测方式使主被动探测的优势结合起来,更大的基阵孔径进一步提高了探测距离,更优化的波束形成进一步提高了测向和定位精度,收发分置避免了主动探测的混响干扰又使潜艇规避困难,可以提供全景探测结果,同时跟踪多目标。

不同阶段的声呐浮标系统对比见表1。

表1 不同阶段的声呐浮标系统对比表

Table 1 Sonobuoy systems at different stages

代差	第一代	第二代	第三代	第四代
典型浮标	被动全向 小型爆炸声源	LOFAR 主动全向	DIFAR, VLAD DICASS	ADAR ADLFP
探测频率	中高频	低频(被动) 中频(主动)	低频(被动) 中频(主动)	低频
处理方式	平方检波	频谱分析	方位频率分析	多波束分析
指向性	无	无	有	有
定位能力	困难	粗略、困难	精确	精确
多目标能力	无	弱	较强	强
数字化进程	无	信号处理	浮标内部电路	通信链路
人机交互	低级、简单	高级、复杂	高级、复杂	初步智能
主要作战对象	噪声潜艇	低噪声潜艇	低噪声潜艇	安静型潜艇

1.7 声呐浮标发展规律和经验

回顾国外尤其是美国海军声呐浮标的发展历史,总结出以下两点可供借鉴。

1) 声呐浮标是在与潜艇不断增强声隐身特性的对抗中不断发展的,战术使命和需求的牵引是其根本动力,声呐领域技术不断进步的成果是其主要助力。声呐浮标对不同时期潜艇搜索发现、测距测向、跟踪定位的需求,以及声呐传感器技术和信号处理技术,主导着声呐浮标经历了从被动到主动、从高频到低频、从全向到定向、从单阵元到多阵元、从单基地到多基地、从模拟到数字的发展过程,也影响着声呐浮标系统在航空反潜中的地位。可以看出,这一动因仍将发挥作用,声呐浮标技术的发展仍将持续。

2) 国外声呐浮标的研制和装备以实用为目标,坚持系列化、标准化,分阶段分步骤,逐步提高浮标的综合性能,同时极其注意研制成本和生产成本控制。这一螺旋步进的发展方式使声呐这一门复杂的科学技术在装备研制和使用的实践中充分积淀,技术成熟度和工程化程度极高。

2 航空声呐浮标未来发展分析预测

2.1 航空搜潜面临的挑战

随着潜艇向隐身化、长航时、大潜深、高攻击方向发展,以及新概念潜艇的出现^[13],未来水下作战方式向无人水下集群方向发展^[14],其对航空反潜作战的影响如下。

1) 传统潜艇隐身能力的增强使得声呐的探测距离下降;2) 潜艇长续航、大潜深能力的增强,加大了深远海探测的难度;3) 高航速的潜艇使得航空反潜的快速灵活优势相对减弱,跟踪时间变短;4) 除传统潜艇外,UUV也成为反潜作战的对象^[15];5) 水下目标的仿生设计,使其可与海洋环境融为一体,无人设备尺寸更小;6) 通信技术的发展,使得无人装备及潜艇之间的通信更易实现,水下平台态势感知能力不断提高,更容易躲避探测;7) 低成本的无人潜艇没有人员伤亡的后顾之忧,敢于同反潜机对抗。

从战术层面来说,驱潜作战将更多地被拒潜作战代替,从“大海捞针”式的传统反潜作战模式向水下区域态势透明的反潜作战方式转变。通过在大范围布防水下监控网络,航空反潜可以快速应召,“定点清除”。

2.2 航空声呐浮标发展方向

要对付未来水下目标的“隐、快、多、小”,航空反潜声呐有两个发展方向:1) 使航空平台成为灵活放水水下监视网络的运输平台,通过向作战海域布设水下监视系统,使对敌方水下目标探测、跟踪和打击的机会达到

最大,一般通过大型运输机来完成,长航时的无人机可以充当水下监视网络的跨界面通信节点;2) 提高传感器携带和快速布设能力,通过部署小型化传感器^[16],以及通用的、可重构的有人和无人载荷任务系统来增加作战灵活性。

第 1 个发展方向包含 3 个概念:长航时自组网灵活部署锚系浮标,快速布设技术,以及分布式处理及通信技术。美军海网计划中的自主式分布传感器(DADS)系统是这个发展方向的示例。自主式分布传感器是一种高机动、较廉价、可快速布设的水下监视系统,它随海上编队一起行动,使美军有能力在潜在敌国的沿海建立水下信息探测网络,有效对付这些国家的安静型柴电潜艇和水雷的威胁^[17]。

第 2 个发展方向主要应对饱和性、高强度、多波次进攻的战场态势,此种情况下,希望声呐浮标是接近“弹药无限”的,各类航空平台都可以携带,以密集的可消耗性探测器材在拒潜区域内保持空、时覆盖,同时减少出动准备时间。

美军 2017 年 11 月在反潜训练中验证反潜无人机 MQ-9,其设想是无人机可携带 60 枚 G 尺寸小型化 HI-DAR 浮标和 ALFEA 浮标。2018 年 7 月,以色列航宇工业公司推出用于“苍鹭”无人机的反潜战设备,其中的声呐浮标据报道是“小型、轻质的创新型声呐浮体,可在高海况下发射并接收声信号”。另有资料表明,美国 SeaLandAire 技术公司利用 3D 打印技术正在研究的微型浮标,仅是 A 尺寸浮标的 1/16 大小,可以在任何符合 MJU-10 标准的发射器上进行投放。

缩减浮标类型是多平台使用、减少出动准备时间、简化使用方案最合适的手段,而小型化和减重是为了满足多平台使用和多装载的需求^[18]。在类型缩减后最有可能保留的接收阵浮标是被动定向浮标,单独使用可以进行被动探测,配合小型化主动声源浮标可以构成多基地探测模式。

传统的声呐浮标投放高度为 50 ~ 3000 m,为保证落点精确,反潜机往往要降低投放高度。但低空投放会导致飞机飞行速度降低,易于受到反侦察、规避甚至攻击,且雷达光电视野小,存在机体疲劳、燃油经济性差、机组人员舒适性不高等问题。未来“高空反潜战”^[18-19]需要实现声呐浮标在高空高速条件下的精确投放。目前美军 P-8A 已取消低空的磁异探测,飞行高度一般在 4500 m 以上。美军正在现有浮标和系统上进行改进,以较低的成本实现浮标高空精准投放。

参 考 文 献

- [1] 孙明太. 航空反潜战术[M]. 北京:军事科学出版社, 2003.
- [2] 徐钧. 国外航空声呐发展概述[J]. 声学与电子工程, 2010(1):50-53.
- [3] HOLLER R A. The evolution of the sonobuoy from World War II to the cold war[EB/OL]. [2019-05-31]. http://www.navairdevcen.org/PDF/THE_EVOLUTION_OF_THE_SONOBUOY.pdf.
- [4] 王鲁军,凌青,袁延艺. 美国声纳装备及技术[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
- [5] 诺尔曼·弗雷德曼. 声呐技术回顾[J]. 胡延芬,译. 海陆空天惯性世界,2009(4):59-67.
- [6] 王祖典. 航空反潜声探设备[J]. 电光与控制,2006,13(3):1-4.
- [7] 周宏坤. 航空声呐浮标用矢量水听器及其悬挂技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2016.
- [8] 尹晓东,刘清宇,徐江. 国外航空声学探潜装备研究进展[J]. 舰船科学技术,2008,30(6):172-175.
- [9] 凌国民,王泽民. 声呐浮标技术及其发展方向[J]. 声学与电子工程,2007(3):1-5.
- [10] 张颜岭,饶炜. 北约海军声呐浮标使用现状与发展趋势[J]. 声学与电子工程,2011(3):46-48.
- [11] 高智. 大洋上空的熊——俄罗斯图-142 反潜机(上)[J]. 海阔天空,2008(2):78-82.
- [12] 高智. 大洋上空的熊——俄罗斯图-142 反潜机(下)[J]. 海阔天空,2008(3):69-77.
- [13] 高吉. 英国皇家海军披露未来概念潜艇[N]. 中国航空报,2017-09-12(A08).
- [14] 钱东,赵江,杨芸. 军用 UUV 发展方向与趋势(上)——美军用无人系统发展规划分析解读[J]. 水下无人系统学报,2017,25(1):1-30.
- [15] 李经. 水下无人作战系统装备现状及发展趋势[J]. 舰船科学技术,2017,39(1):1-5.
- [16] 周云松. 美国反潜战中的传感器[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术,2002(9):35-41.
- [17] 赵辉,陆军. 美军水下网络中心战体系与发展[J]. 飞航导弹,2011(3):37-42.
- [18] 欧阳绍修. 信息化条件下反潜巡逻机平台及武器装备发展趋势分析[J]. 航空科学技术,2012(5):1-4.
- [19] 陈黎,杨新军. 新一代海上巡逻机发展综述[J]. 航空科学技术,2014,25(2):1-5.