



美国声纳 装备及技术

MEIGUO
SHENGNA
ZHUANGBEI JI JISHU

王鲁军 凌青 袁延芝



国防工业出版社
National Defense Industry Press

美国声纳装备及技术

王鲁军 凌青 袁延艺 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

美国声纳装备及技术/王鲁军,凌青,袁延艺编著. —北京:国防工业出版社,2011.11

ISBN 978-7-118-07890-9

I. ①美... II. ①王... ②凌... ③袁... III. ①声纳—装备—研究—美国 IV. ①U666.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 272704 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 13 字数 235 千字

2011 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

声纳装备用于潜艇、水面舰船和反潜飞机等平台,用于对水下目标进行探测、分类、定位和跟踪;还可用于水下通信和导航,保障舰艇和反潜飞机的战术机动和水中武器的使用。到目前为止,声纳仍是已知的唯一能够实现远程水下探测的装备,也是各国海军掌握水下制信息权的重要手段。

近 100 年来美国声纳装备的发展历程充分体现了其对水声装备的重视程度。二战前,美国声纳装备及其技术远远落后于德国。二战后,美国将水声与雷达、原子弹并列为三大发展计划,美国海军利用缴获的部分德国潜艇声纳装备技术资料,通过改进研制和消化吸收,大胆创新,不断发展。为了推动水声装备的技术发展,支持其开展水声试验,美国海军专门对两艘潜艇进行了改装用于声纳试验。

近年来,美国海军非常重视反潜体系的建设,在积极发展反潜兵力的同时,更是大力发展以声纳装备为主的各种反潜探测装备。为提高声纳的性能,美国凭借其雄厚的经济基础,将各种新技术、新工艺和其他科学领域中的最新成果大量用于声纳装备的研制和开发。目前,美国海军声纳装备种类多、规模大、技术先进,代表了世界最高水平,对其他各国海军声纳装备及技术的发展均具有较高的借鉴价值。

本书在编写过程中,参考了大量国内外著作和文献资料,并得到了研究室领导的大力支持,在此仅表示衷心的感谢。由于本书涉及面广,工作量大以及作者水平所限,书中难免会出现各种错误,恳请读者批评指正。

作 者

2011 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1
第 2 章 美国声纳技术发展概况	6
第 1 节 20 世纪 50 年代前发展情况	6
第 2 节 20 世纪 50 年代至 80 年代发展情况	8
第 3 节 20 世纪 90 年代以后发展情况	16
第 3 章 水面舰艇声纳装备	21
第 1 节 舰壳声纳	22
第 2 节 拖曳声纳	33
第 3 节 水面舰艇反潜作战系统	43
第 4 节 现役水面舰艇声纳装备	50
第 4 章 潜艇声纳装备	62
第 1 节 主动搜索声纳	63
第 2 节 被动警戒声纳	75
第 3 节 被动攻击声纳	84
第 4 节 潜艇声纳系统	91
第 5 节 现役潜艇声纳装备	105
第 5 章 航空声纳装备	120
第 1 节 声纳浮标	121
第 2 节 吊放声纳	140
第 3 节 现役航空声纳装备	147
第 6 章 岸基声纳装备	170
第 7 章 美国声纳装备及技术发展趋势	190
参考文献	202

第 1 章 绪 论

无线电波和光波在海水中传播时会产生严重的衰减，因此无法有效传递信息。声波是目前已知的可以在海水介质中远距离传播信息的最有效载体。

人们很早就对声音和它在水中的传播方式产生了兴趣。早在 1490 年，意大利人列昂纳多·达芬奇在摘记中写道：“如果把你的船在水中停下，并把一条长管子的一端放进水里，将另一端贴近你的耳朵，你会听到离你很远的船的声音。”这是人类利用水声探测水下目标的最早记载。

1826 年，瑞典物理学家丹尼尔·克拉顿 (Daniel Colladon) 和法国数学家查尔斯·斯特姆 (Charles Sturm) 合作，他们将一根长管子插入水下，记录了浸入水下的钟发出的声音，见图 1-1。在 1.8°C 的日内瓦湖水中，测得的声音传播速度为 1435m/s ，与现在公认的水中声速只相差 3m/s 。

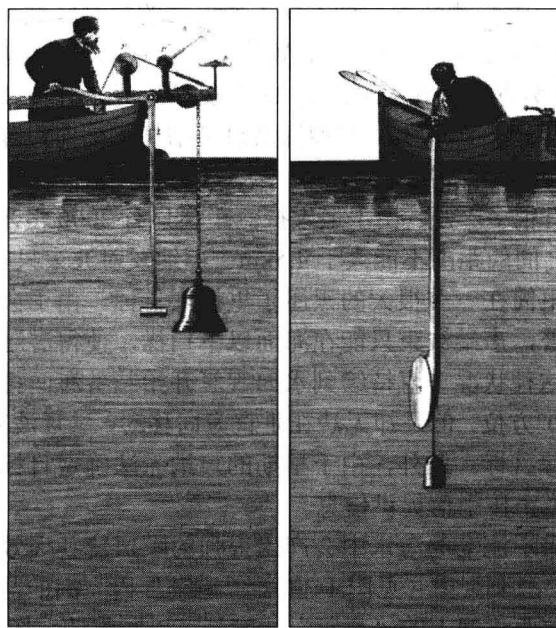


图 1-1 丹尼尔·克拉顿 (右) 和查尔斯·斯特姆 (左) 在日内瓦湖测量声速

渔夫和海员也很早就已经知道声音在水中的传播，并掌握了用回波定位的简单方法。例如，在古代的腓尼基人时期，渔夫在大雾天气里会敲钟发出巨大的响声，通过听回声的方法来估计前面被大雾掩盖住了的陆地的距离。1914年，为潜艇信号公司工作的瑞格纳德·A·泰森德 (Reginald. A. Tessenden) 在美国申请了第一台能工作的回波定位仪的专利。

第一次世界大战后期，反潜成为一个主要研究方向。法国物理学家郎之万 (B.Langeven) 和俄国电气工程师切洛瓦斯基 (C.Chilowsky) 进行了水下目标的探测实验，1916年接收到海底和 200m 以外的一块装甲板的回波。1917年，郎之万研究成功了石英—钢夹心换能器，并使用了真空管放大器，首次将电子学应用于水声技术。1918年，他成功地探测到 1500m 以外的水下潜艇的反射声，首次实现了利用回声探测水下目标。

第二次世界大战中，声纳（早期英国也称为“Asdic”、“潜艇探测器”）成为最伟大的发明之一。声纳的原理早在第一次世界大战时就已经掌握，但是由于缺乏技术可行性，直到1941年11月，才首次安装于英国驱逐舰。这些早期的声纳采用的是“探照灯”工作模式，发射的锥形波束就像手电筒光束。在搜索波束内的目标会将发射换能器发出的脉冲反射回舰艇，通过测量返回声波的时间就可以计算目标的距离。

图1-2是早期反潜探测装置三种不同工作方式的探测区域和能力。最早出现的是“探照灯”，随后出现了“Q”装置，最后出现的是147型探潜设备或称之为“剑”。“Q”装置可以在大潜深的 U 型艇接近时对其连续跟踪，这是早期的“探照灯”方式无法实现的。147型探潜设备增加了横向跟踪大潜深潜艇的能力，可在最后时刻对目标进行校正。

早期的声纳有很多不足。由于最大探测距离只有 2000 多米，为了覆盖搜索区域，舰队舰艇之间的距离不能大于 4.5km。声纳发射波束只有 16° ，这就好像一个人用笔形手电筒在一个很大的黑屋子里搜索目标。由于会受到海面波和噪声的干扰造成虚警，声纳波束只能在海面以下扫描，使得潜艇可以在水面航行而不被探测到，这种状况一直持续到水面舰艇开始装备海面搜索雷达。尽管探照灯可以搜索 360° 方位，但是却无法在垂直方向移动，一旦波束越过目标潜艇，声纳就会丢失跟踪目标。此外，由于早期的声纳无法确定目标深度，因此也无法为设定深水炸弹声压引信提供信息。

由于直接暴露于流动的海水中会产生很强的噪声使其失效，换能器一般置于悬挂于船下的“豆荚”中（见图 1-3）。“豆荚”内充满的盐水使其不会降低效能。安装在护航驱逐舰上的“豆荚”一般是可以回收的。图 1-4 是安装于美国基德级军舰下的声纳换能器豆荚，属于不能回收的早期型号。

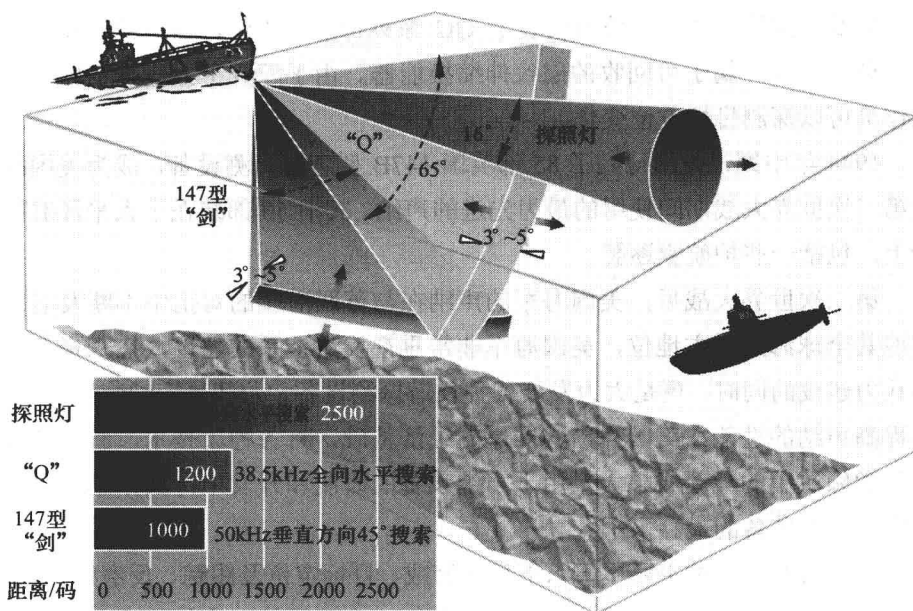


图 1-2 早期三种不同工作方式的反潜探测装置的探测区域和能力

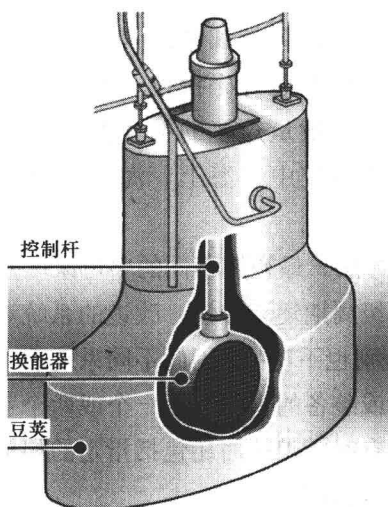


图 1-3 早期“豆荚”换能器结构图

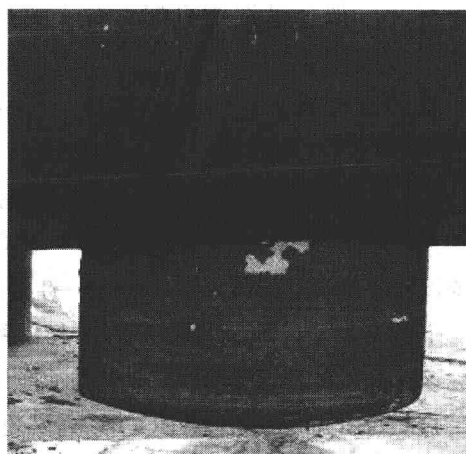


图 1-4 美国基德级军舰下的声纳换能器

① 1 码=0.9144m。

早期美国护航驱逐舰普遍安装了 QC 系列探照灯声纳, 该声纳安装于艏部流线型的罩内, 属于可回收的磁致伸缩换能器。由于配置了方位指示器, 声纳操作员可以探测目标方位变化。

1944 年中期, 美国得到了 85 部英国 147B 型潜艇探测设备, 成为美国战舰在第二次世界大战期间使用的最为先进的声纳。其中 50 部装在了太平洋舰队的船上, 包括一些护航驱逐舰。

第二次世界大战后, 美国海军的声纳在与苏联潜艇的对抗中不断发展。为实现其全球海上霸主地位, 美国海军非常重视反潜体系的建设, 在积极开展反潜兵力建设的同时, 更是大力发展各种反潜探测设备, 尤其是声纳装备的建设。为提高声纳的性能, 美国凭借其雄厚的经济基础, 将各种新技术、新工艺和其他科学领域中的最新成果大量用于声纳设备的研制和开发中, 其声纳研制代表了世界声纳装备的最高水平。

美国海军的声纳主要用于水下目标警戒、目标定位及跟踪、反潜射击指挥、水声通信、探测与规避水雷、水中目标识别、水下导航、声纳侦察与水声对抗等。一艘中型反潜水面舰艇通常要装 5 部左右的声纳, 大型反潜水面舰艇则要装 10 部声纳; 一艘弹道导弹核潜艇通常要装 10 部左右的声纳, 而攻击型核潜艇装备的声纳则多于 15 部。反潜直升机通常装备一部吊放声纳和多枚声纳浮标, 一架反潜巡逻机配有数十枚声纳浮标并装有磁探仪、红外探测仪等非声探潜设备。此外, 美国还在海底配置了数量众多的被动监听声纳基阵, 具备远程水下预警探测能力。形成了覆盖空中、海上、海底的立体式探潜体系。

美国装备和系统的不同型号有两种标识方法。最初用不同的字母来区别, 如 SQS-53A、SQS-53C 等。近年来, 装备升级周期逐渐加快, 改进的系统对原系统仅作了增减、修改, 与早期的型号相比差别也不明显, 因此不同系统用 (V) 加一个数字表示, 如 SQQ-89 (V) 15。系统或装备的一部分用一个或两个字母来标识, 如 CP 表示计算机, TB 表示拖体。有时标识后面还包括指定的相关系统, TB-16/BQQ 表示各种 BQQ 系列潜艇声纳的拖体。

美国电子装备的命名一般前面固定以 “AN/” 开头, 后面用 3 个字母表示。第一个表示装备的平台, 第二个表示装备的类型, 第三个表示装备的功能。与声纳装备相关的字母定义如表 1-1 和表 1-2 所列。

表 1-1 与声纳装备相关的美国电子装备的命名规则

第一个字母（安装平台）	第二个字母（装备类型）	第三个字母（装备功能）
A: 航空装备, 如航行器、直升机、气象气球、卫星 B: 水下装备, 主要是潜艇 S: 水面平台（有些舰载装备也用于陆上） W: 用于舰艇和潜艇的水面或水下装备	L: 对抗装备（主要是雷达和无线电） Q: 最初用于特殊装备, 现主要用于声纳和水声装备	A: 辅助装备, 如放大器或信号指示器, 雷达平面位置显示器等 C: 通信 N: 导航 Q: 特定的或综合的装备（主要是雷达和电子对抗装备） R: 无线电接收和其他被动探测装备 S: 搜索、探雷、距离和方位 X: 分辨

表 1-2 声纳装备相关的命名示例

标 识	说 明	示 例
AQA-	航空声纳接收器辅助设备	AQA-3: ARR-52 的显示器
AQS-	航空专用声纳系统	AQS-14: 直升机吊放声纳
BLQ-	潜艇声纳对抗装备	BLQ-3: 声纳干扰系统
BQC-	潜艇声纳通信装备	BQC-1: 声纳通信装备
BQQ-	潜艇声纳对抗	BQQ-2: 被动潜艇火控系统
BQR-	潜艇声纳接收设备	BQR-15: 拖曳声纳接收阵
BQS-	潜艇专用声纳系统	BQS-4: 主/被动声纳
SQN-	舰载声纳导航系统	SQN-1: 声纳等深扫描仪
SQQ-	舰载声纳专用系统	SQQ-41: 杰泽贝尔反潜系统
SQR-	舰载声纳接收设备	SQR-19: 拖曳声纳接收阵
SQS-	舰载声纳测距系统	SQS-26: 舰载声纳
SSQ-	舰载专用装备	SSQ-2: 声纳浮标
WLR-	水面/潜艇—水面对抗接收系统	WLR-9: 侦察声纳

第2章 美国声纳技术发展概况

第1节 20世纪50年代前发展情况

第二次世界大战爆发前，美国海军已经在船只上装备了可以接收到潜艇螺旋桨声音或几千米外潜艇壳体回声的声纳设备。但是，对声波在海水中的传播规律了解仍然很少。声纳操作员在使用中发现，声纳设备的探测距离随季节和一天的“早、中、晚”都会发生变化，美国“塞姆斯”号（Semmes, AG-24）在30年代是声纳测试船（见图2-1），该船在关塔那摩海湾的演习中发现，声纳的性能在下午会持续恶化，有时甚至无法收到回波，极大限制了声纳设备的使用，这种现象被称之为“下午效应”。



图2-1 美国“塞姆斯”号（Semmes, AG-24）

1937年，美国伍兹霍尔海洋研究所（WHOI）和麻省理工学院（MIT）的阿瑟斯坦·斯比尔霍斯（Athelstan Spilhaus）发明了称为BT的温深测量仪（Bathithermograph）。BT是一种外形像鱼雷的小型装置，内部装有温度探测器和可以探测出水压变化的器件（见图2-2）。BT从船外放入水中后，会在沉

入水中的过程中记录压力和温度的变化，利用压力值与深度值成正比的关系，就可以将深度和温度关联起来。



图 2-2 阿瑟斯坦·斯比尔霍斯发明的温深测量仪

BT 最初被斯比尔霍斯用于研究海洋的基本原理，如温度和深度对海洋生物的影响以及洋流的结构等。而库拉伯斯·艾瑟林（Columbus Iselin）却利用 BT 发现了所谓“下午效应”的秘密。BT 的读数表明，下午的早些时候太阳将 5m~9m 深的海水表层照热，使其比下层海水温度高出 $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。在表层以下，海水随深度增加迅速变冷，声速会随温度增加而增加，因此，声纳发出的信号会迅速穿过暖层，然后当它们接触到下面的冷层时则会变慢。同时，声波在穿越两种性能不同的海水层时还会发生折射现象，使得声音从传播较快的区域转向声波速度较慢的区域，造成声音的“盲区”，这样声纳信号就无法探测到正好位于暖水层和冷水层分界线以下的潜艇（见图 2-3）。

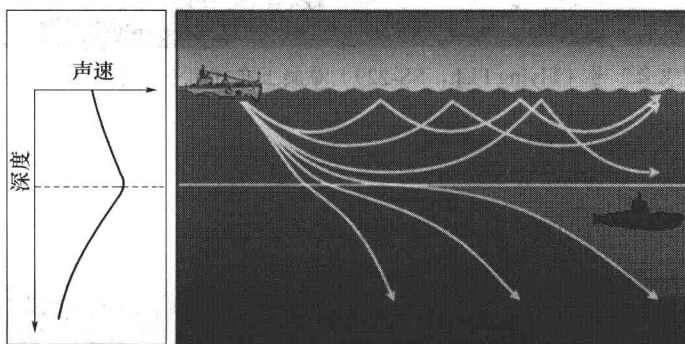


图 2-3 潜艇利用声线折射规避示意图

艾瑟林的发现将 BT 的应用带入了一个全新而又更加有意义的领域，艾瑟林意识到声音影区及 BT 对潜艇战的重要意义。装有 BT 的潜艇可以用它测定相对水面舰声纳的影区位置，这样就可以尽量不被敌舰声纳发现。同样，对于猎潜舰艇而言，也可以利用 BT 来预报声线的折射，并调整其声纳发射方向来搜索规避的潜艇。

第二次世界大战中，BT 几乎成了所有美国海军潜艇和反潜舰船的标准装

备。大量海军军官前往伍兹霍尔海洋研究所学习 BT 的使用方法，而专家们则前往各海军基地培训即将参战的官兵。根据要求，艇员要把他们所有的 BT 记录送到伍兹霍尔海洋研究所或加州大学在诺马角（Point Loma）的作战研究分校，由他们整理成图表后发给各舰队。1946 年，美国海军创立了海军研究局，成为早期海洋声学研究的机构。

第二次世界大战末期，声纳的基本原理开始逐渐被认知。美国意识到，如果要提高声纳装备性能，必须首先在海洋物理等基础研究方面取得突破。位于圣迭戈的海军海上系统中心（NOSC）和位于新伦敦的海军水下系统中心（NUSC，最初为海军水声研究所）是美国海军两个主要的声纳装备研究机构。为了支持其大力开展水声方面的研究，美国海军将“三棱鲈”号（Baya, SS-318）潜艇（见图 2-5）和“飞鱼”号（Flyingfish, SS-229）潜艇（见图 2-4）分别分配给上述两家单位，供其改装开展新型声纳试验。

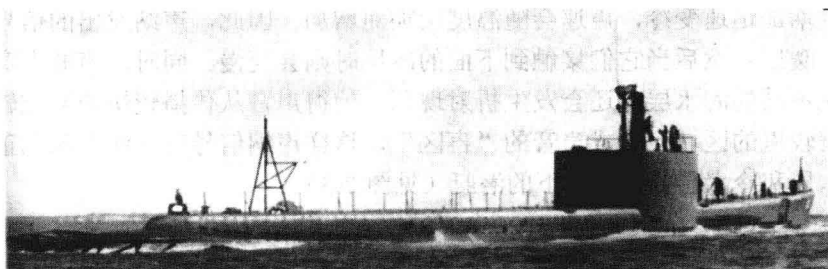


图 2-4 “飞鱼”号（Flying Fish, SS-229）潜艇上有可用于试验声纳装备的指挥台

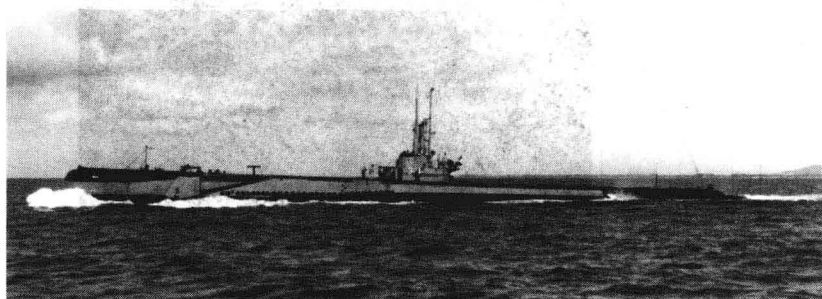


图 2-5 在旧金山完成大修后的“三棱鲈”号（Baya, SS-318）潜艇

第 2 节 20 世纪 50 年代至 80 年代发展情况

影响声音在水下传播距离的因素很多。正如特定波长的光会被大气中的颗粒反射、散射和吸收一样，海水颗粒也会对特定频率的声音产生类似的效应，

海水中的镁硫酸盐和硼酸等化学成分会使某些频率的声音衰减。研究人员还发现，波长较长的低频声音大都可以穿过小颗粒，一般不会因吸收或散射而衰减，可以传播较远的距离。因此，如果要探测较远的距离，就必须采用较低的频率，并使用大尺寸的基阵获得更高的阵增益。同时，需要改进信号处理方法，以便能够检测出淹没在海洋噪声中的微弱目标信号。

海洋中一般都存在一个表面混合层（等温层），该层内的温度和声速是恒定的，声音在里面直线传播，等温层下的声速则随深度发生变化。大西洋夏季时等温层深度约为 100m，冬季约为 200m。第二次世界大战前，潜艇通常在等温层内活动，但二战期间潜艇就已经知道隐藏在等温层下面了。

任何声音都能分解成不同的频率成分，随机噪声信号在各种频率上强度大致相当，而一艘潜艇的噪声具有特定的频谱，并对应特定的物理特征。例如，通气管状态航行潜艇的发动机会产生一个对应于燃烧率很强的频率成分。如果将具有不同信号强度的频率绘制成一个频谱图，就会在特定的频率处出现窄的尖峰脉冲信号（线谱）。潜艇壳体的噪声以及艇内管系中的流噪声则会产生平坦的背景噪声。1950 年，伍兹霍尔海洋研究所的科学家发现，噪声的低频成分能在海水中传输很长的距离，而且很多情况下会长时间产生相同的频谱。

为了从背景噪声中分离出有规律的目标特性参数，被动声纳将接收到的信号通过一系列滤波器输出不同的频率。输出设备与方位—时间记录仪类似，是一台经过改装的化学记录仪（见图 2-6）。记录针沿水平方向移动，在信号中发现一个频率后就记录下该频率点。每条水平线对应于一段时间间隔内的频谱图，而下一条则对应于下一个采样信号。为了找到目标，声纳员需要对几分钟之内的输出进行分析，搜索掩盖在噪声中的稳定的垂直线谱。

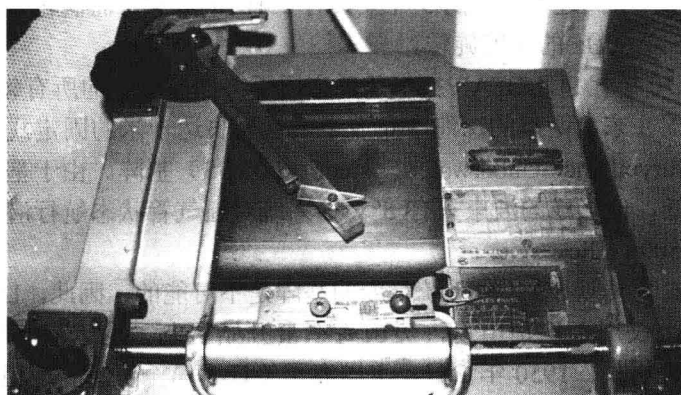


图 2-6 CAN-55134-B 化学记录仪

目标越安静，那么综合分析以确定是否存在一条稳定线谱所需的时间就越长。后来这些滤波器被数字分析仪所取代，谱图则能显示在 CRT 屏幕上。由于每艘潜艇都有自己的特征频谱，因此这种分析方法不仅能用于探测潜艇，而且还成为一种识别潜艇的有效手段。这种分析方法称为 LOFAR（低频分析和测距），其输出被称为 LOFAGRAM（洛法谱图）或“谱图”（见图 2-7）。由于 LOFAR 依据特定频谱线进行探测，因此也常称作窄带分析。LOFAR 方法已经成为现代水声信号处理的常用方法之一，在雷达和声纳中得到广泛使用。

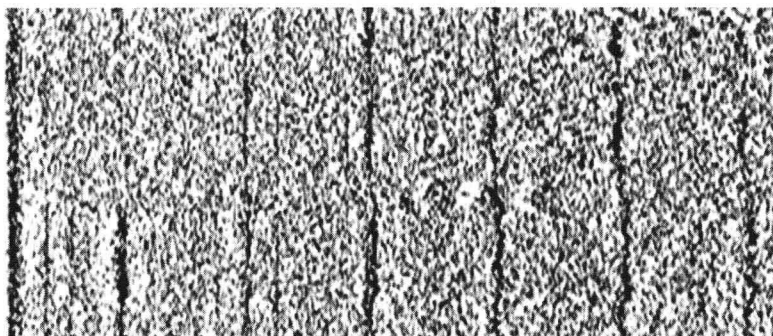


图 2-7 典型洛法谱图（横坐标为频率，纵坐标为时间）

潜艇噪声在较高频率上被探测到后，其机械噪声可以通过 LOFAR 方法检测出来，而其由其螺旋桨调制的有规律的低频信号则可以通过一种称作 DEMON（解调噪声）的解调方法来分离，得到比 LOFAR 分析频率更低的信号。例如，一个以 300r/min（高速）旋转的 5 叶桨具有 25Hz 的叶频，而涡轮发电机通常以数倍于 50Hz 或 60Hz 的速度旋转。

20 世纪 50 年代起，LOFAR 技术几乎应用于美国反潜战的所有领域。从 1956 年开始，美国在东西两岸的深海中布放了一系列长达千米的固定式水声监视系统（Sound Surveillance Underwater System, SOSUS）基阵。由于基阵很大，其工作频率很低，但形成的波束只有 5°。该系统对通气管状态航行潜艇的设计探测距离可达 500n mile。

让潜艇安装类似 SOSUS 系统长度的基阵是不可能的，因此，LOFAR 技术最初在潜艇上仅用于识别用途，美国海军最开始研制了用于潜艇目标识别的 BQQ-3 频谱分析仪。1950 年 9 月，美国海军签订了第一份潜艇应用 LOFAR 的合同。1962 年 11 月，开始对研制 BQQ-3 频谱分析仪进行作战评估。BQQ-3 频谱分析仪有 21 个水听器，其中艏部有 15 个，在舯部和艉部各有 3 个。BQQ-3

频谱分析仪有 4 个通道，主 LOFAR 通道工作频段为 10Hz~120Hz，仅使用专用的水听器，另外 3 个通道则可以使用艏部水听器或使用一个 BQR-7 波束，包括一个 65Hz~175Hz 的 LOFAR 通道，一个 0~40Hz 解调噪声（叶频）通道（根据背景噪声情况，在 125Hz~300Hz 或 270Hz~600Hz 频带内解调）以及一个自噪音监测通道（125Hz~300Hz 宽段噪声）。

由于核潜艇的多数动力设备必须连续运转，即使在很低航速下也会产生连续的清晰线谱，因此核潜艇最容易受到 LOFAR 探测的威胁，这也是美国在“长尾鲨”号核潜艇设计中实施核潜艇降噪计划的直接原因。

20 世纪 60 年代的声纳装备已经充分利用了当时水声技术的全部成果，尽管信号处理能力有了很大的提高，但基础的水声物理研究仍然进展缓慢。由于采用 LOFAR 方法探测通气管状态航行的潜艇非常有效，人们感觉到似乎已经找到了解决远距离被动反潜问题的方法。但是，英国人在 1956 年发现，给潜艇发动机安装降噪机座后，可以大大降低潜艇在通气管状态航行时被 LOFAR 探测到的距离。60 年代中期，有迹象表明苏联可能也紧随美国人之后进行了潜艇降噪研究，美国开始感到前所未有的危机。此时，美国海军开始对超远程主动探测方法产生兴趣。

1963 年，“红鳍”号（Grouper, SS-214）潜艇在指挥台围壳后面安装了大型“罗拉德”（Lorad）远距离探测系统，并在右舷同时装了线列阵水听器。后来又把平板阵装到左舷，该基阵就能在水平和垂直方向形成波束（见图 2-8）。1964 年 1 月，“三棱鲂”号（Baya, SS-318）潜艇也完成了改装，在舰桥围壳前的延伸部分安装了一个 4.3kHz 的换能器，并在艏部装备了第二套线列接收基阵（见图 2-9）。

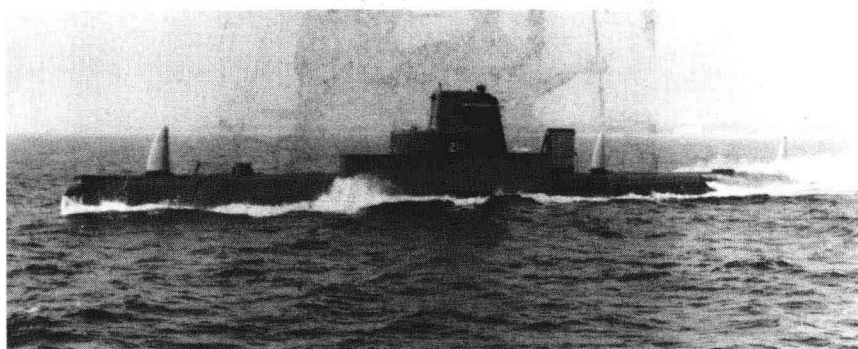


图 2-8 在指挥台围壳后面安装了大型“罗拉德”（Lorad）远距离探测系统的“红鳍”号（Grouper, SS-214）潜艇

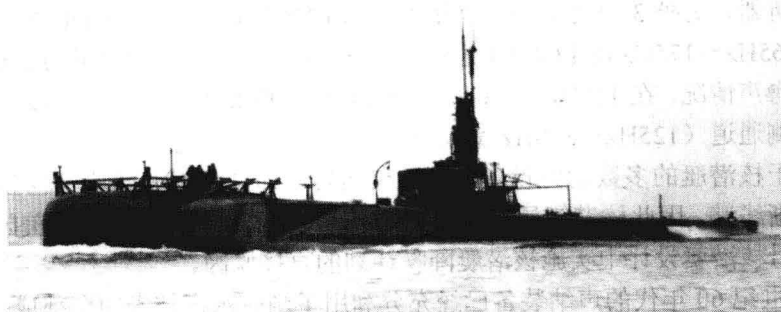


图 2-9 1964 年 1 月完成改装的“三棱鲈”号 (Baya, SS-318) 潜艇

声音传播速度在水下 600m~1200m 之间的深度比其他深度的速度都要低，这一水层像一个通道一样可以保持声道内产生的声音的能量，使声波传播很远。事实上，海洋里的鲸鱼很早就知道了这个秘密，座头鲸就会经常游到这一深度，发出声音与几公里以外的同伴进行远距离交流。1943 年，哥伦比亚大学的玛瑞斯·伊文 (Maurice Ewing) 和沃泽尔 (J.L. Worzel) (见图 2-10) 发现了这一深海声音通道，并称之为 SOFAR 通道。1948 年，伊文等人发表了大西洋水下声道声线图 (见图 2-11)。事实上，伍兹霍尔海洋研究所的科学家早在 1941 年



图 2-10 1968 年玛瑞斯·伊文 (右) 与沃泽尔 (左)

在深海钻井船的甲板上拿着沉积物取样