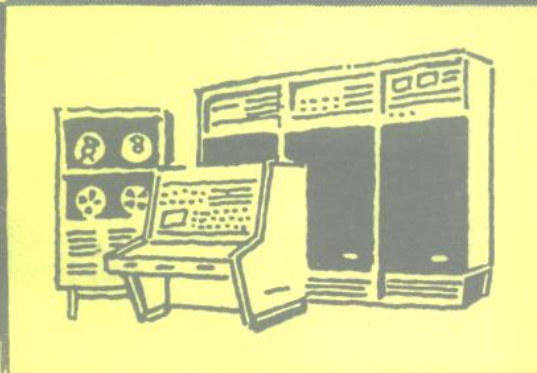
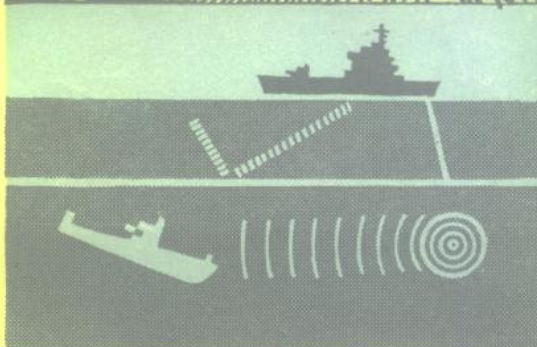


新技术普及丛书



声纳和水下观测

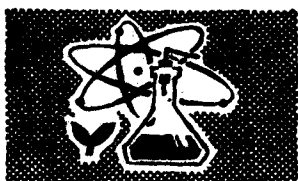
陈克棠 胡嘉忠 编写

上海科学技术出版社

TB566
C45

134369

新技术普及丛书



声纳和水下观测

陈克棠 胡嘉忠 编写



上海科学技术出版社

000264

1-1111 1-1111

DY61/14



陈克荣、胡嘉申 编写

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 5 字数 107,000

1981年1月第1版 1981年1月第1次印刷

印数 1-3,600

书号: 15119·2135 定价: (科三) 0.43元

目 录

写在前面.....	1
一 声纳史话.....	4
从达·芬奇的笔记谈起	4
声纳与反潜	7
战后突飞猛进	12
二 声纳的“信使”——声波.....	16
在物体的振动中诞生	16
声音为啥变小了	20
声束是怎样形成的	22
每秒钟跑 1500 米	26
“下午效应”之谜	29
海洋里的声道	32
碰到目标以后	36
声纳的“敌人”	38
三 声纳的工作原理.....	42
声纳的基本结构	42
声纳发射机	44
声纳换能器	48
换能器传动装置	54
声纳接收机	58
声纳指示器	61
四 声纳的基本任务.....	68
测量目标的方向	68

测量目标的距离	72
测量目标的速度和航向	75
识别目标的性质	78
五 声纳技术的发展	83
怎样才能“看”得更远	83
怎样才能“看”得更快	87
被动声纳创新功	91
声纳小型化的途径	94
用电脑武装起来	98
海豚“声纳”的启示	100
六 声纳在军事上的应用	105
舰艇反潜的水下耳目	105
天兵天将威力大	111
不知疲倦的海洋卫兵	115
自动寻的,百发百中	119
水下电报和电话	123
使水雷无藏身之地	127
七 声纳在经济建设中的应用	132
快速测深的能手	132
“水声大扫帚”	135
为船舶导航	138
鱼群往哪里躲藏	143
在海底石油开发中大显身手	147
结束语	152

写在前面

你见过雷达吧？看，那正在呼呼旋转的铁家伙就是雷达的天线，它有时候坐镇于雄伟的建筑物之上，有时候矗立于巍峨的群山之巅，有时候高踞于威武的军舰之顶，钻天拂云，十分壮观而引人注目。雷达是国防的“眼睛”，利用它能够及时发现敌人的飞机、导弹，提高炮弹的命中率等等；在民用方面，雷达则是探测风云雷雨、预报气象以及配合人造卫星进行远距离通讯的有力工具。关于这些，人们是比较熟悉的。然而，你是否知道，在深邃莫测的茫茫大海之中，如何探测鱼群的踪迹，如何发现敌人的潜艇、鱼雷和水雷呢？或者问，常用的水下观测工具是什么呢？

目前，用来进行水下观测的设备是很多的，比如水下摄影机、水下电视机、磁异常探测仪、气体分析仪、红外设备等等。这些设备虽然各有长处，可是却存在着一个共同的缺点：观测距离比较近，有的十几米，有的几十米、几百米，一般都不超过一公里。如果要求较大的观测距离该怎么办呢？那就得使用一种名叫“声纳”的设备了，这是迄今为止人们最常用的一种水下观测工具。

和雷达一样，声纳(Sonar)这个词也是英语缩拼字的音译(也有译作声呐或声拿的)，原意是“声导航和定位”。不过，目前都已把它理解为探测设备，而且，其含义也已经大大超出了声导航和定位的范围。一般认为，声纳就是利用声波在水下的传播特性，通过电声转换和信号处理，完成水下目标探测、

进行水下通讯或遥测、遥控的设备。

有人喜欢把声纳称作“水下雷达”，这是有道理的。因为无论在结构上或工作原理上，声纳和雷达都很相似；其间的主要差别在于：前者是借助声波进行工作的，观测的是水里的东西；后者是利用电磁波工作的，观测的是空气中的目标。

那末，为什么人们爱用声波而不爱用电磁波进行水下观测呢？这里面的道理十分简单：因为海水是电的良导体，电磁波在水下传播过程中将很快地以热的形式耗散掉，而声波则不然。在声频范围内，海水对于这两种波的吸收量值相差几百倍甚至上千倍。比如，使用发射功率达到兆瓦（一百万瓦）、频率为几千赫芝的大型电台，也只能同水下几十米处的潜艇通讯联系；而一、二公斤重的炸药在海洋中某一深度上爆炸后，远隔一万多公里以外还可能接收到爆炸声呢！利用声波传递信息的声纳，真不愧为水里的“千里眼”和“顺风耳”！

声纳的用途是十分广泛的。在军事上，声纳被视为舰艇的“水下耳目”，可以用来搜索敌方的舰艇、鱼雷和水雷，完成测向、测距、测速、识别、跟踪等任务，以便实施攻击或者规避。据统计，在第二次世界大战中，被击沉的潜艇里头有60%左右是利用声纳一类水声设备发现的。在民用方面，声纳真可谓前途无量了。你看：把它装在船只上，就能迅速知道船底离开海底的距离是多少，在什么地方有暗礁；把它装在渔船上，就可以“看”到哪里有鱼群，何处该撒网；如果让潜水员带上它的话，他们相互之间，或者同船上、岸上通讯联系就方便多了。此外，利用声纳还能寻找海底的沉船遗物，研究海底地质，勘探海底石油，测量波浪高度，等等。总之，声纳作为一种有效的工具，已被广泛应用于水下观测活动之中。

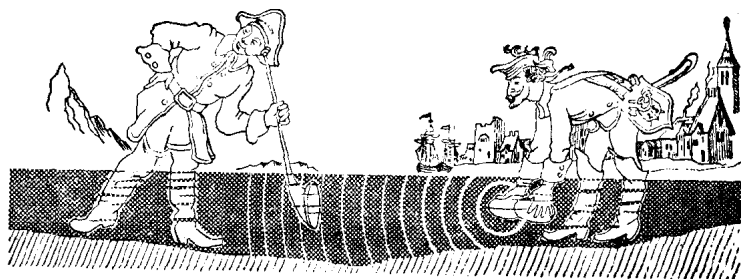
在我国，声纳技术是从1958年发展起来的。迄今为止，

我国已拥有一支相当规模的声纳研制队伍，搞出了不少声纳设备，有力地促进了国防建设和国民经济建设。可以相信，在党中央的领导下，在我国人民奔向四个现代化、赶超世界先进水平的新的征途中，声纳技术必将发挥其应有的作用。

这本小册子主要是参考国内外有关资料而编成的。在编写过程中，得到了中国科学院声学研究所及其东海研究站的有关领导的热情支持和帮助。向大威、裘辛方等同志对本书的初稿提出了不少宝贵意见。张叔英同志审阅了本书的修改稿。顾伟龙同志为本书精心绘制了插图。在此一并表示衷心的感谢。

由于编写者水平有限，因此本书的缺点、错误在所难免，敬请读者指正。

一 声纳史话



声纳是怎么发明的？这是一个饶有趣味的问题；不但如此，了解一点声纳的发展历史，对于认识现代声纳、展望未来声纳也会有不少帮助。那末，从哪里谈起呢？

从达·芬奇的笔记谈起

远在公元 1490 年，一个名叫达·芬奇的意大利著名艺术家和工程师，曾在他的笔记中这样写道：

“如果使船停航，将一根长管的闭口端插入水中、而将开口端放在耳旁，便能听到远处的航船。”

这就表明，人们在好几百年以前，就已经认识到可以利用声波来探测水下物体了。而达·芬奇所描述的听测管，即是现代被动声纳——一种本身不发射声波、专门听测水下目标发出的声信号的声纳——的雏型。

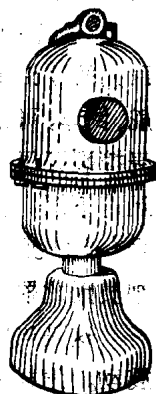
可是，达·芬奇听测管的性能是不理想的：既不能测定水

下物体的方位,灵敏度又很低。

到了十九世纪后叶,电话的发明为声纳提供了一种高灵敏度的水下声波接收器——碳粒微音器。

水声的第一次实际应用,可以追溯到二十世纪初。那时候,随着航海事业的发展,出现了吨位较大的远航船只。原有的灯标和声报警器(例如汽雾号、电雾号、雾钟、雾炮等)导航系统就不适应了,特别在下雨、降雪、刮风或浓雾弥漫的恶劣气候条件下。于是,世界上第一种水下导航系统应运而生。

这种导航系统是由水下导航钟和碳粒微音器等设备组成的(图1-1)。巨型的水下导航钟连同雾号一起,被设置于沿海灯塔附近或灯标船上;钟内充有压缩空气,能驱动气锤敲钟,从而在水中自动发出声信号。碳粒微音器安装在航船船头两侧下方紧贴船板内壁的水密罩内;它们把接收到的钟声信号转换成电信号,并且分别通过导线送到舱室里电话接收机的两个听筒中。听测者则可依据从两个听筒听到的钟声信号



水下导航钟

图1-1 第一种水声导航系统

的强弱，大致判断船只相对于灯标的方位。如果进而测出同时从灯标处发出的雾号声与水下导航钟声到达的时间之差，那末，船只与灯标究竟相距多远也可以确定了。这种导航系统的作用距离一般可达16公里左右。

到1912年为止，世界上总共设置了135个水下导航钟，大约有900多艘船只装置了接收器。

但是，这种导航方法以及后来发明的无线电导航法，都只能测定船只在航道中的相对位置，回避一些已经查知的暗礁、险滩，而对于其他潜伏在水中的不发声的障碍物（比如冰山，它往往只有十分之一露出海面，绝大部分藏在水下），船舶都成了“睁眼瞎”。因此，一起起悲剧就不可避免地发生了。

1912年4月14日，在加拿大纽芬兰岛南部的洋面上，航行着一艘四万多吨级的英国新邮轮“巨人号”。在“巨人号”前面不远处还有一艘通讯船。这艘通讯船曾向“巨人号”报告，现在它们正在经过一个浮动冰山区。然而，“巨人号”的报务员因忙于拍发阔老们的私人电报，竟没有收到这一报告。

23点40分，两名前桅桅楼上的了望员突然发现：一座巨大的冰山出现在离船不远的正前方！值班长迅即命令左满舵、倒车；可是已经来不及了。冰山的尖棱角使水线以下的船壳撞裂开了一个大口子。无情的海水哗哗地涌进船舱，船身迅速下沉。待到两艘邮轮闻讯后赶到出事地点救援时，“巨人号”业已沉入海底两小时了。结果仅仅救起705人，1503名乘员因此罹难。

这是当时世界上最大的一起海难事件，引起了全球性的震动。怎样才能避免类似事故的发生呢？许多科学家都在思索着。

五天之后，有个叫做理查森的英国人提出了用空气声进

行回声定位的建议。一个月以后，他又提出了相仿的水声回声定位方案，这便是世界上第一个主动声纳方案。所谓主动声纳，就是一种自己向水中发射声波，并根据水中物体的回波来达到各种探测目的(比如定位)的水声设备。可惜的是，理查森并没有能实现他的方案，因为当时还不会制造能在水下朝着既定方向发射声波的设备。

1913年，美国人费森登研制出了一种新式的动圈型振动器(见图1-2)。这种振动器在水中既能定向发射声波又能接收声波，其结构与现在常用的动圈型扬声器或麦克风相似。这样，不久就探测到了2海里(1海里=1.852公里)以外的冰山。费森登的振动器本来是为水下声通信研制的，接上电键后，即可按照莫尔斯电报码发讯和收讯。据称被装在第一次世界大战时期的美国潜艇上，使潜艇在水下能够互相发讯联系。它的改进型振动器一直使用到1950年。

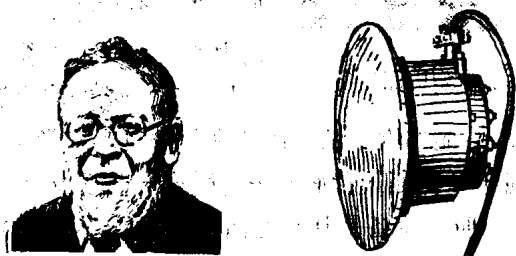


图1-2 费森登和他设计的振动器

声纳与反潜

历史反复证明：“需要”是创造发明之母。促使声纳技术迅速发展的，正是水下反潜战的迫切需要。

1914年7月，第一次世界大战爆发。在战争期间，德国

展开了“无限制潜艇战”，利用新发明的 U 型潜艇，击沉了协约国的大量军舰和商船。比如有一艘 U 型潜艇仅在 75 分钟

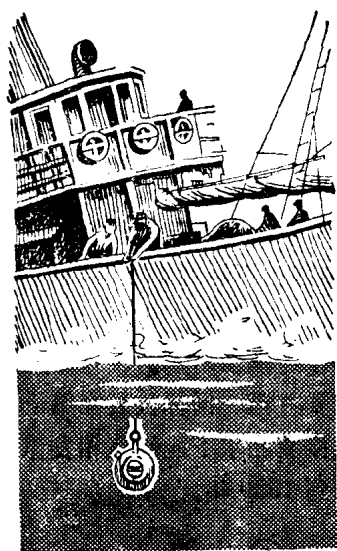


图 1-3 漂流型听测设备

内，便用鱼雷击沉了 3 艘装甲巡洋舰。探测水下潜艇的任务迫在眉睫！协约国立即投入许多人力和物力，进行探测方法和设备的研究。磁学的、光学的、热学的方法都试过了，效果不理想。实践证明，最有效的是声学方法。于是，各种声纳系统竞相问世。

图 1-3 是美国人格雷设计，后来经过英国人改进的“漂流型”听测设备。这种设备的形状象一个“鼓”。“鼓”的正面中心装有一个碳粒微音器；“鼓”的背面是一块金属板；中

间是空腔。它能够收到从正面传来的潜艇螺旋桨产生的噪声，但是对于从侧面或背面传来的噪声却几乎没有反应。也就是说，这种听测设备是具有方向性的，可以大致确定敌方潜艇的方向。

达·芬奇的空气听测管也得到了应用，不过，那时候在另一只耳朵与海水的另一点之间也设置了一根长管，以便根据声波到达两耳的时间差和强度差，测定水下噪声目标的方向。图 1-4 便是当时安装在潜艇上的这类听测设备。当然，也可以把它倒过来安装在水面舰艇的船底或船舷上，如图 1-5 所示。在工作时，该听测器是可以转动的。当听测器对准敌方舰艇

时，舰艇发出的噪声必定同时到达两个大若网球的空心橡皮球（两橡皮球间距接近 1.5 米），通过空气管和听筒传入耳朵。那末，敌方舰艇到底在前面还是后面呢？有经验的听测者只要再将听测器向左或向右旋转 90° ，就能迅速地找到答案了。

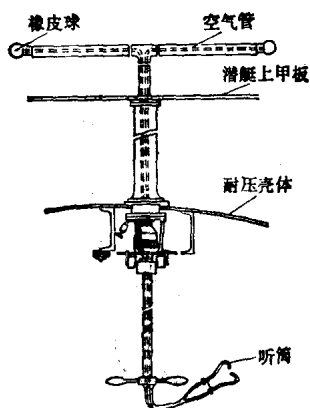


图 1-4 安装在潜艇上的
SC 型声接收器

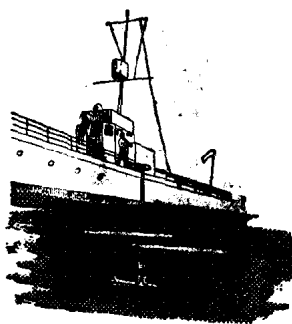


图 1-5 安装在水面舰艇
上的 SC 型声接收器

另一种在达·芬奇空气管的基础上发展起来的听测设备，是将 24 根空气管分成两组，每组 12 根，均排列成一个直线阵，分别安装在船底的左右侧，依靠特殊的补偿器进行转向。这种设备对于噪声目标的定向精度比较高。

在法国，著名物理学家郎之万（图 1-6 左）和年轻的俄国电气工程师希洛夫斯基合作，利用静电型发射器和一个放在凹曲面焦点处的碳粒微音器进行多次实验，终于在 1916 年接收到了海底回波，以及放在 200 米以外的一块装甲板的回波。

其后，郎之万转向研究石英的压电效应，成功地研制出了

石英-钢夹心型超声换能器*(图 1-6 右)。郎之万换能器的工作频率较高,具有较强的方向性。它的改进型一直使用到现在。此外,郎之万在实验中还利用了刚刚问世的真空管放大器,这或许是电子技术在水声中的首次应用了。这样,在 1918 年第一次接收到了水下潜艇的回波,探测距离有时可达 1500 米。

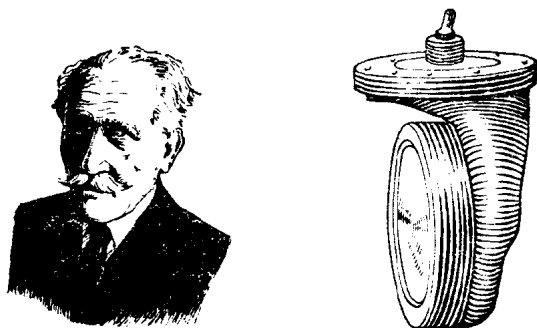


图 1-6 郎之万和他设计的换能器

第一次世界大战结束后不久,用于船舶导航的新型设备——回声测深仪诞生了。实际上,它是人们在研制探潜回声定位系统的过程中所得到的副产品。此后,由于电子技术的发展,水声换能器性能的改善,特别是对于声波在海水中传播规律的深入了解,使声纳技术不断地向前迈进。

第二次世界大战的爆发,开创了声纳发展的新时期。从那时候开始,一系列新型的主、被动声纳纷纷问世。参战各国的舰艇都相继装备了能够适用于作战的声纳。图 1-7 和图 1-8 即为大战期间装备在美国舰艇上的两种声纳设备。苏联制造的“火星”型被动声纳和“塔米尔”型主动声纳,在伟大的

* 用于水下接收或发射声波的设备分别叫做水听器 and 发射器,统称水声换能器。详见第三章。

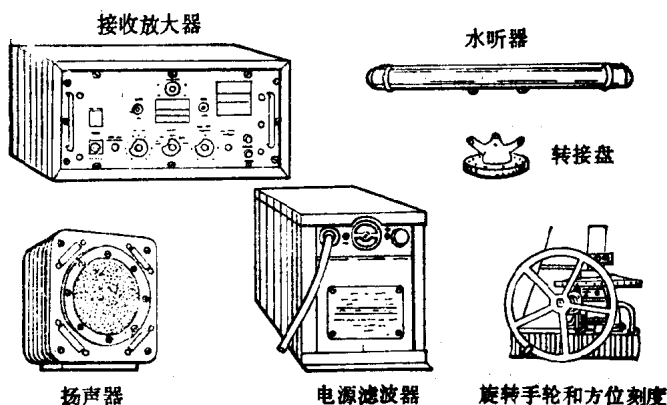


图 1-7 潜艇用的 JP 型听测设备

反法西斯战争中曾经发挥了巨大威力。

当时，在水面舰艇上装备的主动声纳常用耳机或扬声器来收听回波信号，并且配有距离指示器，能够同时测出目标的方位和距离。在潜艇上装备的被动声纳多用耳机收听目标发出的噪声信号，只能测出目标的方位。声纳的换能器，都是采用机械的方法使之旋转，从而实现水平方向上的搜索的。而声纳的电路部分，则广泛应用了当时电子技术的新成果，形成了一套较完整的系统，并且在战争进入尾声时，出现了采用电子示波管显示目标信

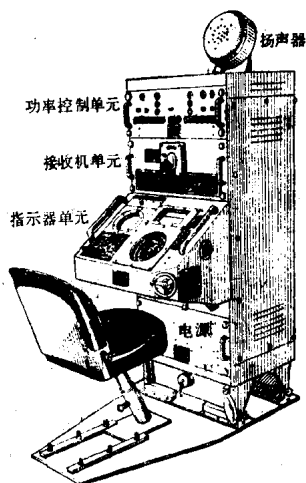


图 1-8 回声测距、听测和水下通讯兼用的 QGB 型声纳

号的新型声纳。

1945 年,英国潜艇“冒险者”号首创记录:它在水下完全依据声纳探测到的信息,对于同样处于水下的德国潜艇发动了攻击。此后,作为水下观测的重要耳目,声纳的地位日益巩固。

战后突飞猛进

第二次世界大战以后,声纳技术的发展十分迅速。其原因主要是,一则由于五十年代出现了载有导弹武器的核动力潜艇,对声纳的性能提出了更高的要求;二则战后电子技术的飞跃发展,为声纳的发展在技术上准备了条件。

核潜艇的最大潜航速度一般为每小时 25 海里左右(也有超过 30 海里的),比柴油动力潜艇快好几倍;平均下潜深度可达 450 米左右,也超过柴油动力潜艇好多;续航力为 12~20 万海里,可以连续两、三个月在水下进行环球航行,这更是使柴油动力潜艇“望洋兴叹”的;而且,还能在水下发射远程导弹,攻击敌方的舰艇或陆上设施。这就要求大大增加声纳的探测距离和搜索速度,有效地提高声纳工作的可靠性和连续性。

为了提高探测距离,现代主动声纳系统中普遍采用了大功率、低频率发射以及各种信号处理技术。被动声纳系统也趋向于采用低频率工作。降低声纳工作频率的好处是,在低频范围内目标舰艇的辐射噪声较大,而且海水对于低频声波的吸收较小,这就有助于增加探测距离。

工作频率低和发射功率大,导致了换能器尺寸的增加。此时,假若再用机械方法旋转换能器就很不方便了。利用现代