



于永源 潘来星 编

水下千里眼



国防工业出版社

136421

水下千里眼

于永源 潘来星 编

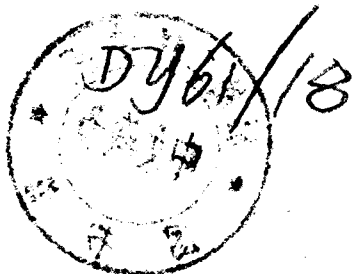


国防工业出版社

内 容 提 要

本书是介绍有关水声技术的一本科普读物。书中介绍了水声技术的发展简史、基本知识、各种声呐的原理及其在国防、开发海洋、渔业中的广泛应用。同时，简要介绍了非声探测技术，以及新型声呐和它的未来。

本书内容丰富，文字生动，插图鲜明，通俗易懂，适合广大工农兵和学生阅读。



水 下 千 里 眼

于水源 潘来星 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 5³/₁₆ 108千字

1981年3月第一版 1981年3月第一次印刷 印数：0,001—3,700册

统一书号：15034·2123 定价：0.41元

编者的话

近年来，从实际工作中我们深深体会到科普工作对科学技术，特别是尖端科学技术的发展有很大的促进作用。但是，解放以来还没有一本专门介绍水声技术的科普读物，这对于水声学这门新兴的尖端技术学科的普及与发展都是不利的。所以我们鼓起勇气在这方面做了一点尝试，编写了这本科普读物《水下千里眼》，以便为开展科普工作贡献点力量。在编写过程中，我们得到了水声界的老前辈、著名科学家汪德昭教授的热情鼓励与支持，许楨镛同志对原稿做了认真地修改，魏中印同志为本书设计了封面和插图，使我们能够顺利地完成这一工作。在此，我们表示衷心感谢。

由于我们水平有限，经验不足，书中一定还存在不少缺点与不足之处，我们诚恳地欢迎广大读者和专家们提出批评指正。

编者

目 录

引 言	1
1 声呐家族	5
声呐史话	6
声呐的兄弟姐妹	12
有趣的生物声呐	21
2 声波游海记	27
声波与海洋	27
海洋传声的奥秘	31
海洋吸声之谜	43
热闹的“龙宫”	45
恼人的混响	50
奇妙的相关	51
“从必然王国到自由王国”	53
3 声呐的身体器官	57
奇特的“宝贝”——声呐换能器	57
声呐的心脏——发射机与接收机	60
声波电眼——声呐指示器	63
声呐的电脑——电子计算机	65
4 声呐的高超本领	68
测距能手	68
巧测舰速	69
定位的高招	71
不动声色的猎手	76
水下的信使	77
5 海洋的卫士	80

军舰的耳目	80
潜艇的中枢神经	87
反潜飞机的“火眼金睛”	90
在海洋深处站岗	95
海上天罗地网	99
6 水声兵器威力大	104
如虎添翼的声学水雷	104
开路先锋	106
长眼睛的鱼雷	111
7 水下斗智	115
智擒“噪声奸细”	116
活捉“声探子”	119
化险为夷的“气幕战”	120
乌贼战术	121
金蝉脱壳	123
将计就计	124
8 声呐的亲朋——非声探测	126
反潜雷达的功绩	126
可靠的探潜手段——磁探器	128
响尾蛇的启示	130
海上夜明珠	132
嗅觉的妙用	132
奇妙的光线——水下激光	133
9 新型声呐放异彩	137
面目一新的全数字式声呐	137
随机应变的智能声呐	139
“小硅片”的神通	141
声呐新花——纤维光学声呐	143
初露锋芒的新苗——参量声呐	146
水下照妖镜	149
未来的展望	155

引 言

你听过“千里眼”和“顺风耳”的故事吗？相传古代有弟兄三人。老大长了一双千里眼，可以目观千里；老二生了一对顺风耳，可以耳听八方；三弟有一双飞毛腿，行走如飞，一日千里。有一次敌人来攻打他们的国家。大哥在千里之外就看到了敌人的兵马正朝他们奔来，于是立刻告诉了老二。二哥用耳朵一听，听到敌人的将军正在商量如何偷袭他们的国都，于是，他又把听到的消息告诉了三弟。老三一看事情紧急，立即迈开飞毛腿，一夜之间奔跑回国都，把这重要军情禀报了国王。国王随即发大兵，在敌人通过的路上设下埋伏。后来，终于大获全胜，敌军全军覆没，三弟兄立了大功。这当然并不是真事，但这个神话却反映了古代人民美妙的幻想。

今天，由于有了现代化的电子技术，这种幻想已变成了现实。电磁波每秒可传播 30 万公里，现代雷达可在千里之遥发现敌人的空中目标，并指引导弹加以摧毁。通讯卫星可以在一瞬间把情报传送到全球各个角落，并把优美动人的音乐、电视和广播节目送到千家万户。无线电信号可以遥控宇宙飞船，遨游太空，并把探测到的宇宙奥秘发回地面。侦察卫星的遥感设备可在宇宙空间清晰地拍摄街道的行人，侦测各种军事设施如探知地下的导弹发射井等和战略部署，其侦察本领远远超过了神话传奇。

然而，电磁波也不是万能的。在辽阔的海洋之中，电磁

波就大为逊色了。我们知道，海洋是一个巨大的导体，电磁波在水中很快就会被吸收，传播距离很短。因此在神秘的海洋世界中要进行探测、通讯、跟踪、导航就不能靠电磁波了。同样，各种光波如可见光、红外光和紫外光等在水中的衰减也极大（它们本质上也是一种电磁波）。幸而，科学家们为我们提供了一种很有用的手段，那就是声波（见图1）。

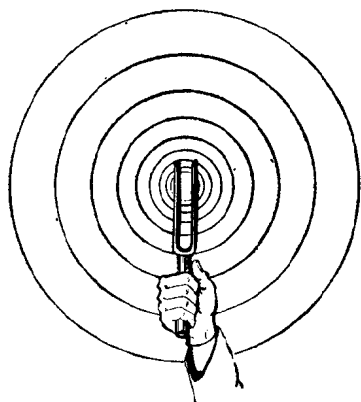


图1 声波

提起声波，人们并不陌生。我们每日每时无不生活在声音的世界之中。有美妙的乐声和歌声，也有令人生厌的噪声。它们都是由振动的物体发出的。但是声波并不都是可以听到的。通常人耳所能感受的只是每秒大约振动20~20000次的声波，也叫可听声。超过这个范围的叫做超声，低于这个范围的叫做次声。超声和次声都是通常人耳听不到的声音。声波的频率（即每秒振动的次数）范围很广，由每秒 10^{-4} ~ 10^{12} 次。而它的用途则更广。声波可以用来通讯，可以构成动人的语言和音乐来表达我们的思想与感情。但这并不是唯

一的用途。原来声波和电磁波一样是一种非常重要的探测手段。特别是在液体和固体中更有其独到之处。例如利用超声波可以迅速探出物体内部的缺陷和身体内部的病变。在钢铁中声波的速度可达5千米/秒，因此超声波是无损检测的重要手段。极高频率的声波可以深入到物质的微观结构，是研究物质内部构造的有效手段。利用次声可以探测核爆炸和地震。极低频率的声波可以深入地层之下，探知地下的构造和矿产资源。

声波最重要的应用领域之一就是海洋，在这里它几乎完全取代了电磁波的地位，而成为一个举足轻重的角色。以声学技术为基础而发展起来的声呐是水下探测、通讯、导航、定位的有效手段（图2）。

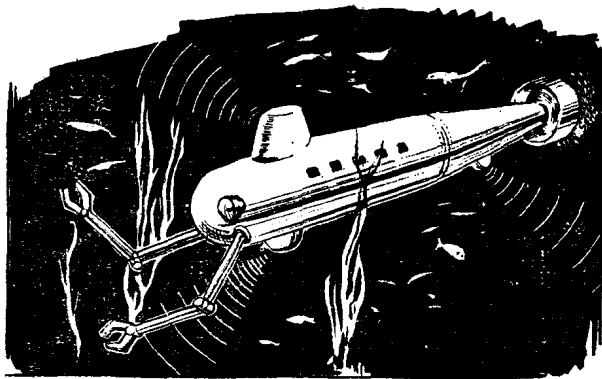
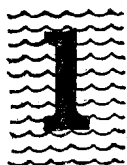


图2 水下声波导航

提到声呐，许多人会感到有些生疏；但提起雷达，熟悉的人就很多了。简单说来，声呐也就是水下的雷达。所不同的是用声波代替了电磁波。如果把雷达比做“千里眼”，那么声呐

就是“水下千里眼”。同电磁波相比，声波在水中衰减很小，它可以传得很远；特别是在深海中，它可以横贯大洋，传播距离甚至可以达到上万公里。真不愧是“水下千里眼”！

自从潜艇出世以后，声呐就成了反潜探测的重要工具；特别是核潜艇的出现，使声呐的作用更加突出。因此它是关系国防安全的重要科技领域，由此也就产生了一个重要的尖端技术学科——水声学。近年来，随着海洋开发事业的发展，声呐又进入了关系国计民生的又一个重要领域——海洋研究与开发。在我们向四个现代化的进军中，水声技术是一个重要的方面军。可惜的是，今天在我国除了直接从事这方面工作的同志以外，了解这门学科的人还不多，在此我们愿意把这门有趣的新学科介绍给读者，特别是有志于四个现代化的青少年朋友。希望有更多的青年朋友能把火热的青春献给祖国的水声事业，用奔放的热情和辛勤的汗水浇灌出祖国的科学之花，结出丰硕的技术之果。



声呐家族

现代声呐是水下探测、定位、导航、通讯、测量与控制的最主要的工具。声呐是利用声波在水中的传播来传递信号。尽管它的工作方式千变万化，但是最基本的方式不外主动与被动两种。主动式声呐可以自己发射声波，当声波遇到目标后，就会发生反射，然后再由声呐接收目标的回波，从而探知目标的位置及速度等，故也叫回声定位声呐。被动式声呐没有声波发射设备，而是单纯靠接收水下目标发出的声音来探知其存在的，所以也叫噪声测向或噪声测距声呐。见图3。

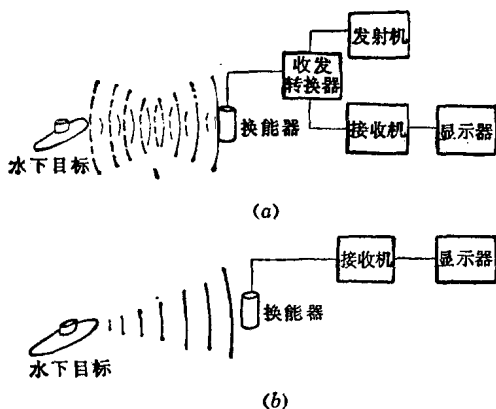


图3 声呐的原理

(a)主动式声呐；(b)被动式声呐。

声呐的出现为人类征服海洋提供了崭新的技术手段。它就象神话中的“避水珠”一样，靠了它的帮助人们就可以乘上

探海艇直捣水晶宫了。所以它是我们征服海洋的法宝。下面就来谈谈它的来笼去脉。

声 呐 史 话

你也许会问：声呐的名字是怎么来的呢？原来“声呐”这个名称和“雷达”一样，都是由英文翻译过来的，在英文中“声呐”是“声学导航与定位”的简称。后来就变成了水下声波导航与定位设备的名称了。当然，今天的声呐的功用远不止导航与定位，几乎一切水下的声学仪器和设备都可以称为声呐。

说到此处，你可能又会发问：声呐是怎么出现的呢？还是让我们从头说起吧。

俗话说：“瓜儿离不开秧。”声呐的发展自然也离不开声学的发展。我们知道，声学是一个古老而又年轻的学科。它有悠久的历史 and 最新的进展。在很久以前，人们就已对于声学现象有了很深入的了解。例如在我国古代就有许多声学方面的发明创造。我国的许多古乐器，像古钟、焦尾琴、编钟等都有极优良的声学特性(见图4)。我国的回音壁和“鱼洗”

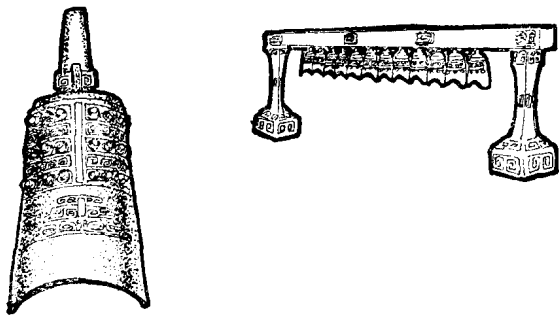


图4 编钟

更是深受世界声学家惊叹的声学杰作。到过北京天坛的人都会对回音壁、三音石和环丘的奇妙的声学现象留下深刻的印象。这说明当时的设计师已对声波的反射现象有了非常深入的研究。汉朝制成的“鱼洗”也是我国杰出的声学文物（见图5）。一个带有双耳的铜盆，盆底面上雕刻着几条鱼，盛满清水后，用手摩擦双耳，即可铮铮作响，同时水面生出片片鱼鳞状波纹。更令人惊奇的是在每条鱼的嘴部会喷出一个个细珠般的水柱。这是由于铜盆的振动而引起水的谐振的结果。这说明我国古代对于声与振动在水中的传播已有了相当的了解。

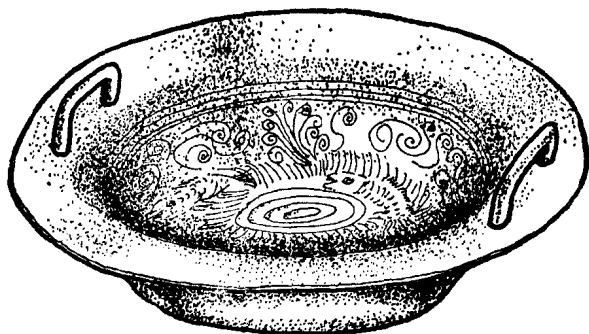


图5 鱼洗

由于水中的声音很难透过空气与水的界面传到空气中去，所以对水下声传播的研究要困难得多。因此水声学的发展与其它声学相比要晚得多。但在航海和打鱼的长期实践中，人们很早以前就开始注意到水中的声现象了。有文字可查的最早的水下声波的实际考察可追溯到1490年，也就是哥伦布发现美洲大陆的前二年。当时有个叫达·芬奇的意大利

工程师在一本札记中记下了一个有趣的现象：“如果使船停航，将一个长管的一端插入水中，用耳朵贴在管的开口端，就可以听到远处的航船声。”这种用长管收听水下声音的方法可以说是被动声呐的雏型。尽管这种方法是极原始的，但直到第一次世界大战还在使用。不过这时已经不是用一根管，而是用两根管。这样可以利用双耳听觉效应大致辨别目标的方向。

水声学的第一次测量是在1827年，瑞士物理学家丹尼尔·科拉顿和法国数学家查理斯·斯特姆两人合作在瑞士的日内瓦湖中测量了声波在水中的传播速度，他们利用水下钟声与闪光的时间差极精确地测定了水下声速。

水声学的发展离不开换能器。1840年科学家焦耳发现了一种有趣的现象，即有些物质在磁场的作用下会产生伸缩振动；反过来在这些材料产生形变时也会引起磁场的变化，这就叫做磁致伸缩效应。1880年，也就是40年之后，皮埃尔·居里等人又发现了压电效应。也就是某些材料在电场作用下会产生形变；反过来，当这些材料受到声振动作用时，又会产生电场。这种奇特的现象，为声电能量的转换开辟了一条宽广的道路，至今这两种原理仍然是水声换能器的主要工作方式。在此基础上贝尔制成了第一个电声装置，也就是今天普遍应用的电话。伴随电话而出现的话筒，也叫碳粒传声器，同时也充当了最早的水声换能器。

直至二十世纪初叶才出现了水声的第一个实际应用，这就是为船舶导航的潜水钟。在灯塔上安装潜水钟和雾号，通过测定钟声和雾号声的时间差可以在雾天确定船只与灯塔间的距离。但这毕竟还是十分原始的方法，与现代水声技术是迥

然不同的。

现代声呐研究的真正开端是在 1912 年。这一年发生了震动世界的“巨人”号触冰山事件。“巨人”号是英国的一艘高级客轮，在赴美途中不幸与冰山相撞而沉没了。这一惨剧引起了全世界的注意。在靠近极区的海洋中漂浮着大量的冰块，有些露出水面的部分很小，在远处难以发现，为了避免同类事故的发生，于是很多科学家开始研究利用水下声波定位的问题。不久，就有一位叫做理查森的科学家提出了第一个水下目标定位的方案。后来，又有一位叫做费森顿的美国科学家设计成功了动圈式换能器，可在水下进行声波的发射和接收。到 1914 年已能探测到 2 海里（1 海里 \approx 1.852 公里）以外的冰山。这就是水下回声仪的雏型（见图 6）。



图 6 利用声波探测冰山

第一次世界大战是现代军用声呐研究的开端。由于德国首先使用了潜艇，在海上给协约国造成了巨大的威胁。1915~1916 年期间，德军仅以 1 艘半潜艇的代价每月击沉 20 万吨以上的协约国舰船。虽然当时的潜艇排水量只有几百吨，但平均每艘潜艇在其被击沉之前可以击沉 13 万吨舰船。1917 年 2 月德军展开了大规模的“无限制潜艇战”，不断袭击协约国的海上运输线。一月之间就击沉协约国舰船 444 艘，共约

90万吨。由于海上补给极端困难，迫使英国的舰队全部困在基地，因为它们只有供8周用的油料。第一次大战充分显示了潜艇的威力，因此尽快地找到一条对付潜艇的出路就成了当务之急。于是英、美、法等国先后花了极大的力量开展水声反潜探测的研究。

当时的英国受害最深，所以首先成立了反潜战研究委员会。1915年第一部水听器装在协约国的军舰上，可用于收听潜艇的螺旋桨噪声。但是这部水听器十分简陋，既不能测距，也不能进行精确的定向，充其量只能起到一点小小的心理作用。与此同时，法国著名科学家朗之万也开展了反潜探测的研究工作。1918年终于成功地制成了石英钢板夹心结构的压电式声呐换能器，并利用了当时刚刚问世的电子管放大器进行信号放大。这大概是电子学在水声技术中的第一个应用。这种新型声呐在1.5公里远的距离上收到了潜艇的回波。于是世界上第一部军用声呐终于问世了。与此同时美、英等国也取得了不同的进展。但是由于第一次世界大战已进入尾声，这些设备都未能实际应用。不过朗之万所做的换能器的原理，至今仍在广泛应用着。也就是今天常见的盖板换能器，也叫朗之万换能器。

第一次世界大战之后，科学家们并没有使自己的研究放松下来。战争的惨痛教训仍然使人记忆犹新。1925年正式制成了航海用的“回声仪”，不久磁致伸缩换能器也研制成功。并且利用人工合成的酒石酸钾钠和磷酸二氢铵代替了昂贵的天然石英，解决了压电式换能器的推广问题。随着电子学的发展，水声信号的检测和显示也逐步得到了解决。到了1935年已有几种较为适用的声呐出现。随着战争威胁迫在眉睫，

到 1938 年声呐设备已开始批量生产。

第一次世界大战德国共损失了 178 艘潜艇，但是直至战争的最后一年，每艘潜艇在被击沉之前仍然可以击沉 45000 吨舰船。所以总的看来，德国的潜艇战仍然没有受到重大的打击。第二次大战开始时，德国的潜艇十分放肆，有时竟然在白昼浮出水面攻击商船。当时英国已有几十部声呐装备了军舰（见图 7），提高了反潜能力，曾使德国潜艇遭受到巨

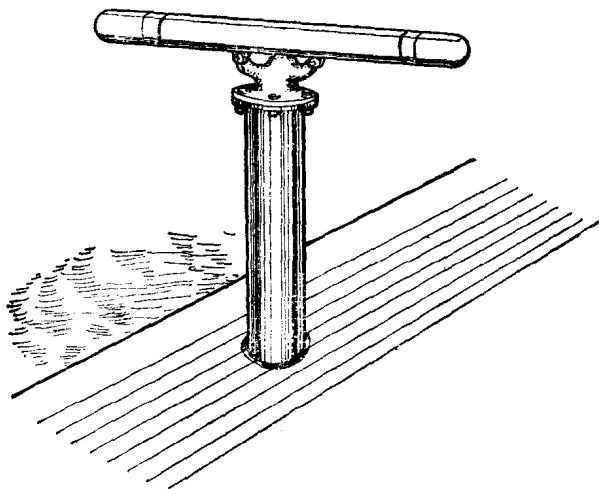


图 7 二次大战中典型的潜舰声呐

大的损失。据粗略统计，战争期间盟军击沉的德、日、意潜艇也达到了 911 艘，其中德国 733 艘、意大利 79 艘、日本 99 艘。这当中有很大一部分是靠声呐探测目标攻击成功的。在战争期间声呐技术有了迅速的发展，发挥了重大作用，同时对于海洋声传播特性的研究也有了很大的进展。由于战争的促进，声自导鱼雷和声学水雷也相继出现并取得了很多战