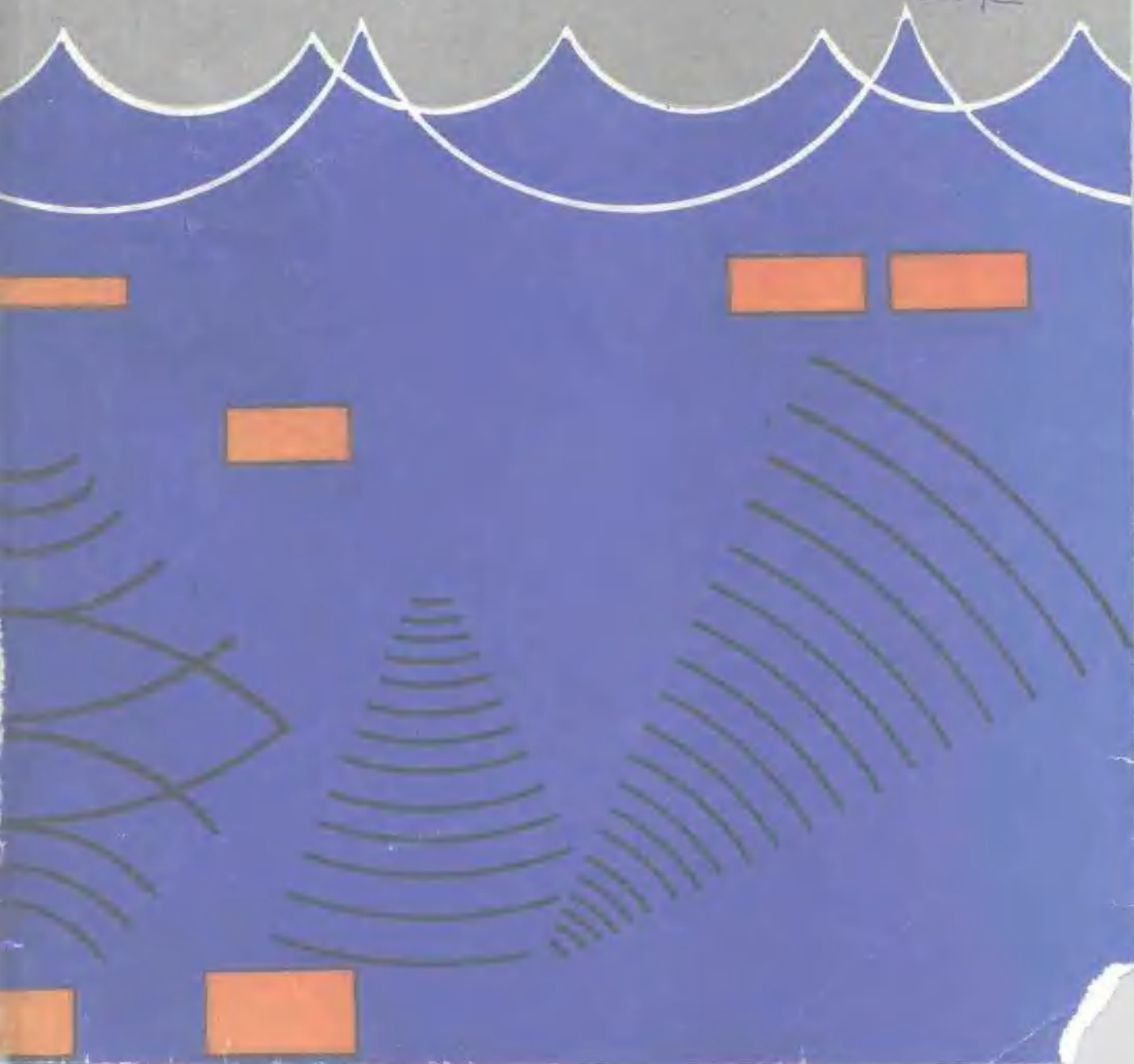


水声 原理

502
李均森



水 声 原 理

〔第三版〕

〔美〕 R. J. 尤立克 著

洪 申 译

哈尔滨船舶工程学院出版社

内 容 简 介

本书系根据美国麦格劳·希尔图书公司出版的《水声原理》译出，原作者为尤立克。

本书在1967年出第一版，1975出第二版，目前的第三版已较原来各版有了许多补充和修正。书的编写方式是从声纳方程出发，逐章叙述了各声纳参数的物理现象和数据，最后再回到声纳方程，用实验数据在设计论证中的应用为例作了总结。

本书适合于水声工程设计人员、声纳使用部门和水声科研人员阅读，亦可作为高等院校和中等专业学校参考。

DYB1/3022

Principles of underwater sound

Robert J. Urick

水 声 原 理

洪 申 译

*

哈尔滨船舶工程学院出版社出版

新华书店首都发行所发行

哈尔滨科文印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张22 字数510千字

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数：1—2400册

ISBN 7-81007-069-X/TB·1

定价：3.65元

中译本序言

罗伯特·尤立克编著的《水声原理》是一本中外水声界所熟知的重要参考书。自1967年第一版问世以来，经过两次修改，在1975年、1983年先后出版了第二版和第三版。我们在1972年译出了它的第一版（书名译为：工程水声原理），后来，苏联、日本又译出了它的第二版。现在，我们将第三版译出介绍给我国的水声界读者。

罗伯特·尤立克在二次大战后开始在美国海军从事水声科研工作，至1975年退休的30年期间，总共发表了200余篇论文和报告。他曾经于1982、1984年两次来北京进行学术交流和讲课，受到我国水声工作者的热烈欢迎。

尤立克教授广泛地从事水声传播、混响、散射、噪声、信号起伏和海底声学特性等课题的研究，从水声学方面为声纳的设计和研制提供了物理依据。可以认为，本书是他对水声学研究的全面总结。书中许多章节内容充分体现了他的丰富工作经验，如果不亲身参加大量的实验工作，是得不到如此生动叙述的。

本书的特点是以声纳方程为贯穿全书的主线，在一般原理的描述基础上，着重提供了声纳各参数的实验数据汇编，以便为声纳设计和预报服务。从这一点使我们看到，水声学是一门实验科学，它的理论建立在大量的实验基础上，经过提高后再来指导声纳的实践。然而，从书中还可以看到，水声的实验数据仍然是不足的，许多水声科研阵地急需开拓，许多实验研究更是急需开展的。我国水声工作者的实践也证明了这一点。

新版较之过去的版本，几乎每章都有所增补，补充了一些新近的重要结果。此外还增加了以下几节：米制单位中的参数，声场相干性的测量，声场的水平变化，声传播的相干性，海中的多途径效应，小生物的目标强度，混响的检测阈等。

相信本书中译本的出版，将对我国水声工作者起到很好的参考作用，对我国水声事业的推动和发展会作出应有的贡献。

最后，本书在出版过程中得到了哈尔滨船舶工程学院的帮助，谨此致谢。

汪德昭

1985年1月29日

哈船院
李海珠

第三版前言

第三版的目的,如同第二版一样,在于介绍近年来出现的新的思想、事实与概念。同时还补充了一些有用的较老的材料,我们认为它对于使用本书做为教材是合适的。

关于是否采用米制单位的问题,我们作了仔细的斟酌。虽然今天科学家与工程师已普遍地使用米制单位,但是作战分析家与声纳的设备使用者却不这样,宁肯固执地不用米制而用码为距离的单位——这并不是由于人的天性不愿意改革,而是因为现有设备的距离尺度和面板都是以码和海里定标的。在实际工作中用码的一个好处是,1海里能以较小的误差化成2千码(实际上应是2.025千码),但化成1公里则得到一个不方便的非整数(1.853公里)。当仍保留以码为距离单位时,书中为此专写了一节声纳参数的米制转换。

本书的基本格式仍如前同:在引言一章之后引出声纳方程,在中间各章对隐含于声纳问题中的各种复杂的物理现象做了阐述之后,在书的末尾举例说明了声纳方程在解决实际声纳问题中的应用。

罗伯特·尤立克

(Robert J. Urick)



第一版前言

水声学，作为科学与技术的一个专门分支，在两次世界大战中已做出了它的贡献。虽然它的起源是很早的，但作为一门定量的学科，可以说水声学只有四分之一世纪的历史。在第二次世界大战期间，它以生机勃勃的精确的定量研究开始了它的新纪元。近年来，其文献的增长已达相当的数量，随着人类不断地对海洋的勘探和开发，它的实际应用正在日益扩大。

本书试从工程师或应用科学家的角度出发，来总结水声学的原理，它是介于理论与声纳技术两方面之间的一本书。用意在于提供一本水声学理论、结果和现象的总结，并给出一些在解决实际问题时可能需用的定量数据。

本书以声纳方程为主导，这是一组便于使用的关系式，它把水声的各个基本因素联系在一起。书的写法是，在引言之后，以通常的方式给出声纳方程，然后分章讨论方程中出现的各量，最后一章是解题，用来说明方程的使用，其中所设的问题有的是取自某些实际的应用。

为使本书能限于一定的篇幅之内，水声的某些方面就要有所忽略。其中的一个课题就是换能阵——电与声之间的互相转换。虽然是讨论了换能器阵，但只对一种声源——水下爆炸——作了较为详细的讨论。对于产生和接收声波的电-声换能器设计，我们感到，它有本身的技术，应当由有关工艺和理论的书籍来写。此外，许多水声的基本理论宜去参阅有关文献，而声纳硬件的工程问题本书也全然未提。因此，虽然本书既不是针对理论工作者的，也不是针对硬件制造者的，但希望它能在这两者之间覆盖一个广阔的中间地带，使设计工程师和应用物理学者对它均感兴趣。本书是在几年来于华盛顿天主教大学、威斯汀豪斯电气公司、马丁公司讲课的基础上写成的。

本书得到我在海军兵器实验室的同事们的多次讨论和有益的指教，特别是声学分部主任 T. F. Johnston 先生，在长时间的写书过程中，始终得到了他的鼓励和赞助。我的学生，作为有接受能力和有品评能力的读者，也给我提供了帮助。

罗伯特·尤立克
(Robert J. Urlick)

本书使用的缩写

缩 写		单 位
A	ampere	安[培]
dB	decibel	分贝
dyn	dyne	达因
fm	fathom	英寻
ft	foot	英尺
ft/s	foot per second	英尺每秒
g	gram	克
Hz	hertz	赫[兹]
h	hour	小时
kHz	kilohertz	千赫
kyd	kiloyard	千码
kn	knots	节
μ Pa	micropascal	微帕
μ s	microsecond	微秒
mi	mile	英里
ms	millisecond	毫秒
nmi	nauticalmile	海里
s	second	秒
V	volt	伏[特]
W	watt	瓦[特]
$W \cdot s/cm^2$	watt·second per square centimefer	瓦·秒每平方厘米
yd	yard	码

目 录

第一章 声 纳

1.1 历史的回顾.....	(1)
1.2 战后的发展.....	(4)
1.3 水声的非军事应用.....	(5)
1.4 水声的军事应用.....	(6)
1.5 基本概念.....	(10)
1.6 微帕参考单位, 分贝.....	(11)
参考文献	(12)

第二章 声纳方程

(14)

2.1 基本考虑.....	(14)
2.2 主动和被动方程.....	(15)
2.3 声纳参数各种组合的名称.....	(17)
2.4 米制单位中的参数.....	(18)
2.5 回声级、噪声级和混响级与距离的关系.....	(18)
2.6 声纳方程的瞬态形式.....	(20)
2.7 方程式一览表.....	(22)
2.8 声纳方程的限制.....	(22)
参考文献	(23)

第三章 换能器阵的特性: 指向性指数.....

(24)

3.1 阵增益.....	(25)
3.2 声场的相干性测量.....	(31)
3.3 接收指向性指数.....	(32)
3.4 指向性指数的限制.....	(33)
3.5 换能器响应.....	(33)
3.6 校准方法.....	(36)
3.7 互易校准.....	(39)
3.8 大型阵的校准.....	(40)
3.9 声束图.....	(41)
3.10 乘积定理与 Mills 交叉.....	(47)
3.11 束控与超指向性.....	(47)
3.12 自适应波束形成.....	(49)
3.13 乘积阵.....	(49)
参考文献	(52)

第四章 水下声的产生：发射器的声源级	(56)
4.1 声源级与辐射声功率的关系	(58)
4.2 限制声纳功率的因素	(59)
4.3 声纳中的非线性效应	(63)
4.4 用爆炸作为水下声源	(67)
参考文献.....	(76)
第五章 海洋中的声传播：传播损失，I	(79)
5.1 引言	(79)
5.2 扩展定律	(80)
5.3 海洋中的声吸收	(81)
5.4 海洋中的声速	(88)
5.5 海洋中的声速结构	(92)
5.6 传播理论与声线轨迹	(96)
5.7 海面	(101)
5.8 海底	(106)
参考文献.....	(112)
第六章 海洋中的声传播：传播损失，II	(118)
6.1 混合层声道	(118)
6.2 深海声道	(127)
6.3 焦散线和会聚区	(131)
6.4 中层声道	(135)
6.5 北极海区传播	(135)
6.6 浅海声道	(137)
6.7 声传播起伏	(145)
6.8 水平变化	(151)
6.9 声传播的相干性	(152)
6.10 海洋中的多路径	(153)
6.11 深海的传播路径及其损失：总结	(153)
参考文献.....	(155)
第七章 海洋的噪声背景：环境噪声级	(162)
7.1 深海中的环境噪声源	(162)
7.2 深海噪声谱	(166)
7.3 浅海环境噪声	(169)
7.4 环境噪声的变化性	(171)
7.5 环境噪声的间歇源	(172)
7.6 深度影响	(175)
7.7 幅度分布.....	(178)
7.8 冰面下的噪声.....	(178)

7.9 深海环境噪声的指向性	(180)
7.10 环境噪声的空间相关性	(183)
7.11 小结	(184)
参考文献	(185)
第八章 海洋中的散射:混响	(190)
8.1 混响的种类	(190)
8.2 散射强度	(191)
8.3 等效平面波的混响级	(192)
8.4 体积混响理论	(192)
8.5 界面混响理论	(195)
8.6 目标强度和散射强度	(197)
8.7 由一层体积散射体所产生的界面混响	(197)
8.8 短脉冲的混响级	(198)
8.9 水中的气泡	(199)
8.10 体积混响:深水散射层	(203)
8.11 海面混响	(209)
8.12 海面散射的理论和起因	(212)
8.13 海底混响	(215)
8.14 冰下混响	(221)
8.15 浅海中的混响	(221)
8.16 混响的特征	(222)
8.17 混响的预报	(224)
参考文献	(225)
第九章 声纳目标的反射与散射:目标强度	(231)
9.1 回声是反向散射贡献之和	(232)
9.2 镜反射的几何图	(234)
9.3 小球的目标强度	(236)
9.4 大的光滑实心球体的复杂性	(238)
9.5 简单形状物体的目标强度	(239)
9.6 发-收分置的目标强度	(241)
9.7 目标强度的测量方法	(241)
9.8 潜艇的目标强度	(243)
9.9 水面舰艇的目标强度	(247)
9.10 水雷的目标强度	(247)
9.11 鱼雷的目标强度	(248)
9.12 鱼的目标强度	(248)
9.13 小生物的目标强度	(249)
9.14 回声形成过程	(249)

9.15	目标强度的降低	(251)
9.16	回声特征	(252)
9.17	数值的总结	(255)
	参考文献	(255)
第十章	舰船、潜艇和鱼雷的辐射噪声：辐射噪声级	(258)
10.1	声源级和噪声谱	(258)
10.2	测量方法	(259)
10.3	辐射噪声源	(260)
10.4	辐射噪声源概要	(267)
10.5	总辐射声功率	(268)
10.6	辐射噪声级	(269)
10.7	注意	(274)
	参考文献	(275)
第十一章	舰船、潜艇和鱼雷的自噪声：自噪声级	(277)
11.1	自噪声的测量和换算	(277)
11.2	自噪声的来源和传输路径	(279)
11.3	流噪声	(281)
11.4	流噪声的降低	(285)
11.5	导流罩	(286)
11.6	电缆 - 悬挂和坐底水听器的自噪声	(289)
11.7	拖曳声纳的自噪声	(289)
11.8	自噪声级	(290)
	参考文献	(293)
第十二章	噪声和混响背景上的信号检测：检测阈	(295)
12.1	检测阈的定义	(295)
12.2	阈的概念	(297)
12.3	检测所需要的输入信噪比	(299)
12.4	对 ROC 曲线的修正	(301)
12.5	检测阈估计	(305)
12.6	持续时间和带宽的影响	(306)
12.7	计算举例	(307)
12.8	混响背景下的检测阈	(308)
12.9	一览表	(309)
12.10	听觉检测	(310)
	参考文献	(314)
第十三章	声纳系统的设计和预报	(318)
13.1	声纳设计	(318)

13.2 声纳预报.....	(318)
13.3 最佳声纳频率.....	(319)
13.4 声纳方程的应用.....	(321)
13.5 结 语.....	(325)
参考文献.....	(326)
索引.....	(327)

第一章 声 纳

在人们所熟知的各种辐射形式中，以声波在海水中的传播为最佳。在混浊和含盐的海水中，无论光波或电磁波的衰减都远较声波的衰减为大。

由于声波相对地说来容易传播，因此，在利用和开发海洋事业中，人们广泛地利用水声。水声的应用构成了声纳的工程科学，而以这种或那种形式利用水声的系统叫做声纳系统。

若声音是有目的地从系统中的发射器产生的，则称这些声纳系统、设备或部件是主动的。声波由发射器发出后，经过海水传播到目标，然后以声纳回波的形式返回到水听器上，水听器将声能再转换成电能。水听器输出的电信号经过放大器和各种处理，最后馈至控制或显示系统，从而完成声纳的使命。因此，主动声纳是用来对目标进行回声定位的。

被动或听测声纳则是利用目标辐射的声音（通常就目标本身来说是无意识的）。这时在海水中只是单程传播，而系统的核心部件是用来听测目标声音的水听器。通讯、遥测和控制等应用则采用声纳系统的综合形式，这种声纳系统在声学通讯信道两端都有发射器和水听器。

1.1 历史的回顾

虽然声纳的“新时代”可以追溯到四分之一世纪之前的第二次世界大战初期，然而声纳的起源却是很早的。最早提到声音不仅存在于空气之中，而且也存在于海水之中的文献是芬奇的一本笔记。列昂纳多·芬奇是一个多才多艺的造型工程师，在1490年，也就是哥伦布发现美洲大陆的前二年，他写道：“如果使船停航，将长管的一端插入水中，而将管的另一开口放在耳朵旁，则能听到远处的航船”^[1]。虽然这种被动声纳的雏型具有极其简单的优点，但它毕竟不能提供方位指示，并且由于空气和水的声学特性不匹配，因此也是不灵敏的。然而，这种在海水和听测者之间用了一根长管的听音方法一直到第一次世界大战还广为采用。那时，在另一只耳朵和海水中的另一点之间又加了一根长管，这样就能测得方向，而目标的方位也能确定了。

水声的第一次定量测量，大约是在1827年进行的。那时，瑞士物理学家 Daniel Collaton 和法国数学家 Charles Sturm 合作，在瑞士日内瓦湖测声速。他们通过测定闪光和水下钟响之间的时间间隔，将声速测到一个惊人的精度。

其后，在十九世纪，由于几位著名物理学家都对“换能”现象感兴趣，他们在水声事业中被间接地联系在一起了。所谓“换能”就是电声之间的互相转换^[2]。人们公认雅克和皮埃尔·居里在1880年发现了压电效应。压电效应是某些晶体的特性，当压缩某种晶体时，则在某一对晶面上会出现电荷。在此以前，其它的一些物理学家对这个课题也有所

涉猎。库仑曾推测过加压产生电的可能性；而伦琴曾著文叙述在应力作用下各晶面上将出现电荷。磁致伸缩是与压电效应相对应的另一种换能过程，也就是磁场会使某些物质发生形变。约在1840年就发现：当线圈中电流发生变化时，或线圈中的电流受到马蹄形磁铁扰动时就会发生响声，这就是最早的磁致伸缩演示实验。19世纪40年代，焦耳定量地测定了磁致伸缩引起的长度变化，因此，一般地就认为他是磁致伸缩现象的发现者了。

这些研究工作，以及19世纪40年代到50年代间进行的一些其它研究，奠定了发明电话的基础。电话的发明使贝耳在1876年获得了一个长期来有争论的专利权。电子管放大器发明之前，在十九世纪，作为声纳基石的另一个发明，要算碳粒微音器了。碳粒微音器是最早，但仍然是最灵敏的水听器。

大约在二十世纪初，出现了水声的第一个实际应用。这就是用于船舶在沿海导航的潜水钟，在灯塔船上安装潜水钟和雾号，测定出钟声和与之同时由雾号发出的号声之间的时间差，就能测定船舶与灯塔船间的距离。这个系统推动了潜艇信号公司的创立（现为Raytheon Mfg公司的一部分），该公司是美国声纳设备最早的制造商。但这种方法始终没有被广泛采用，后来就被无线电导航，特别是无线电测向方法代替了。

第一次世界大战前另一个成就是第一个水下目标回声定位方案的诞生。1912年客轮“巨人（音译为铁坦尼克）”号和冰山相撞后的第五天，L.F. Richardson向英国专利局提出用空气声进行回声定位的专利申请¹²。一个月以后又提出了与其相仿的水声回声定位方案的专利申请。他的这些想法包括了当时的一些新的想法，即采用了频率为数千赫的指向性发射器和一个选频接收机。由于进行回声定位船舶的运动产生多普勒效应，因此，接收机要相对发射频率偏调来补偿多普勒频移。遗憾的是，Richardson在当时根本未实现他的建议。与此同时，在美国R.A. Fessenden设计和制造了一种新型的动圈换能器，这种动圈换能器既能用作水下发信号，又能用来回声定位。到1914年已能探到2英里外的冰山。Fessenden“振荡体”的工作频率在500赫到1000赫附近，据称装在第一次世界大战时的美国潜艇上¹³，这就使潜艇在下潜状态能相互发信。直到现在，这种换能器还在研究工作中当作强正弦信号源使用。

1914年第一次世界大战爆发，它促进了一系列军用声纳的发展。在法国，年轻的俄国电气工程师康斯坦丁·基洛夫斯基和著名的物理学家保尔·郎之万合作，他们利用电容（静电）发射器和一只放在凹镜面焦点的碳粒微音器进行实验。尽管由于发射器采用了高电压而有漏电和击穿的缺点，但到了1916年他们就能收到海底回波，以及200米以外的一块装甲板的回波。其后在1917年郎之万转向压电效应的研究，并用石英-钢的夹心换能器来代替电容发射器。他同时还利用了一种刚研制成的真空管放大器，恐怕这可以算是电子学第一次在水声中的应用了。在1918年，人们第一次收到了潜艇的回波，有时甚至可远至1500米。与此同时，在英国的一个由R.W. Boyle领导的小组也在研究石英发射器。“asdic”这个名字也就产生了，这是指当时高度保密的实验*。水声回声定位尚未在对付德国U型潜艇威协方面做出了贡献，第一次世界大战就结束了。

* 按照A.B. Wood的见解¹⁴，“asdic”一词系“anti-submarine division-ics”的缩写，这是当时进行反潜工作的一个小组的名称，后缀和英语中物理学（physics）、声学（acoustics）等词中的ics的意义一样。很多年后，英国人一般就认为这个词是指回声定位和回声定位声纳系统。——原注

与此同时，芬奇的空气管也被广泛地用在被动听测中，并且改成了双管，这样就能利用观察者具有双耳定向感觉这一特点。定名为MV的设备有一对线阵，每一个线阵由12根空气管组成¹⁶⁾，这对线阵安装在船底的左右舷侧，它的转向是靠特殊的补偿器进行的。这种设备在对噪声目标进行定向时有惊人的精度；一个未经训练的观察者能对一个远处的目标定到二分之一度的精度。其时的另一个成就是一种叫做“鳗”的系统¹⁵⁾。“鳗”是一个由12个水听器组成的可弯曲的漂浮于水下的线阵，它能很方便地装到任何一种船上，也能在船尾拖曳使它远离嘈杂的船舶。在第一次世界大战中，大约总共有三千多条战舰装有不同型号的听测设备。如果二三条舰一起同时交叉定向，则完全可以确定出被测潜艇的位置。

第一次世界大战结束不久，在1919年德国发表了关于水声的第一篇论文¹⁶⁾。该文从理论上描述了由于海水中弱温度梯度和盐度梯度引起的声线弯曲。并且认识到它在确定声的传播距离时的重要性。由此可以预计冬季的传播距离比夏季为远。并且还用传播距离的实验证实了这一预计。他们在六个浅海区，其中两个是美国的东海岸浅海区（可能是在1917年美国参战之前做的）做了各季节的传播实验。这篇论文的内容大大超出了当时的水平，但竟有60年之久未被公认。该文说明在本世纪之初德国物理学家已对水声有了卓越的贡献。

第一次世界大战后和平年代，水声在实际中的应用虽然缓慢但仍稳步地进展着。不久就研制出航行船只的回声测深方法。大约在1925年，潜艇信号公司就将他们的设备定名为“测深仪”(fathometer)，并在美国和英国有商品供应。美国海军研究实验室H.C. Hayes领导着一些人在寻求各种对潜艇进行回声定位的实用方法。通过采用磁致伸缩发射器产生所需的声功率，从而解决了回声定位中寻求合适发射器的问题。同时，也开始利用合成晶体酒石酸钾钠代替难得的天然石英。在两次大战的间隙，由于电子学的发展使水声学有了很大的进步。电子学的发展使声纳信息经放大、处理并显示给观察者成为可能。

当不用助听设备时，超出人耳听觉频率范围的频段叫超声频。在听测和回声定位中，采用超声频能使一个不太大的发射器和水听器有更好的指向性。在这段时间内，又有一系列小的但是很重要的声纳部件出现了。特别是英国研制的在回声定位声纳中使用的距离记录器，它能使距离的记录保存下来。流线型的导流罩使装在运动船上的换能器避免了嘈杂的环境干扰，这种嘈杂环境是由船舶运动的水流产生的。1935年研制出了几种较为适用的声纳。随着第二次世界大战的迫近，到1938年，声纳开始在美国批量生产。在大战初期，大批美国舰艇都装上了水声听测设备和回声定位设备。水面舰艇的标准回声定位声纳系统是QC型。操作者靠手轮作方位搜索，而用耳机或扬声器作回音监听。如果有回波，则距离由旋转着的指示灯作闪光指示，或者用距离记录器来指示。潜艇则装有JP型听测装置，它包含一个可旋转的水平直线型水听器、一个放大器、一个可调带通滤波器和一副耳机。该装置及其备件的价格竟达5000美元。靠这些初始的声纳装置，在反德国U型潜艇的大西洋战役中起了作用，并取得了最后胜利。

但从科学的角度上来讲，在第一次大战和第二次大战之间，最大的成就是对海中变化多端的声传播机理的认识。在二十年代末和三十年代初，船用回声定位设备在性能上

都有一种神秘的不可靠性，也就是说，在早晨往往能得到良好的回波，可是一到下午回波就变差或者根本就收不到。直到弄清楚了回波一到下午就确实变弱，而声纳员是不该受抱怨的事实后，这时人们才开始在海水介质的传播特性上寻找原由。只有靠特殊的温度测量装置，才能使人们明显地看到很小的温度梯度就会使声音向海底折射，从而使目标处于影区。这是在此之前未曾想到过的。E.B. Stephenson 称这种现象叫“下午效应”。为了测量海面以下几百英尺范围内的温度梯度，A.F. Spilhaus 于 1937 年首先研制成了温度深度仪，第二次世界大战开始时几乎每一条参与反潜的海军舰只都装有这种设备。在这个时期，人们对海水的声吸收也了解的比较透彻，并在 20~30 千赫这个感兴趣的超声频段内，将吸收系数测到相当高的精度。战时的这些成就以及其它一些业绩均在 Klein 的文章中有过叙述¹⁷⁾。

如同第一次世界大战一样，在第二次世界大战期间，大西洋两岸热衷于水声事业。在美国，国防研究委员会 (NDRC) 组织了大批科学家在水声各个课题内展开研究工作*。现在美国的一些概念以及一些实际应用，都是在这个时期开始酝酿起来的。例如水声制导鱼雷、现代音响水雷和扫描声纳都是战时的产物。发射器和水听器的快速校准法也开始被人们采用。并且对影响声纳性能的各种参数也有所了解，这些参数现已被总结到声纳方程中去了。诸如目标强度、各类舰只在不同航速下和不同频率上的噪声输出，海洋中的混响，以及人耳对水下声音的识别等，都是第二次大战期间人们对这些因素初步认识。回顾一下，就其开端而言，我们现有水声方面的丰富知识几乎可以追溯到战时的种种发现。

有一些独特的成就是德国人做的。Alberich 发展了一种不反声的潜艇覆被材料。它是一层穿了孔的橡皮，这层橡皮贴在潜艇的外壳上，外面再贴上一层薄的硬橡皮，使海水和空气隔开。这种表面覆被物只在有限深度和有限频带内有效，并且在工作情况下，和艇外壳不能长期地粘在一起。另一项改进是用于水面舰上听测用的“平铺阵”。这种阵因德文 grüppen-hört-gerät 或“听测阵设备”而定名为 GHG¹⁸⁾，它安装在巡洋舰“欧根王子”号上，并取得了使用的成功。

根据 Batchelder 的说法¹⁹⁾，“声纳”这个名字是在战争后期仿照当时颇具魅力的“雷达”一词而来的，它利用了英语“声导航和回声定位 (Sound navigation and ranging)”的首字母缩写后被人们广为采用 (中文则是音译——译注)。

水声学现在已是科学与工程中的一个成熟的分支，有着广泛的文献和成功的历史，这些在本书中只是扼要地提到。关心它的历史的读者可以从二次大战结束后的一些有关声纳历史的文章中得到参考¹¹⁰⁻¹⁴⁾。

1.2 战后的发展

可以看到在二次大战后的年代里，无论在军事或非军事目的方面，水声的应用都有了显著地进展。在军事方面，主动声纳体积与功率都有了很大的增加，并且工作频率较之二次大战期间降低了数个倍频程。结果是，现时的主动声纳的作用距离较之战时大

* 在大战末期，国防研究委员会中从事水声工作的部门将所得的研究结果综述成为二十二份报告，即所谓国防研究委员会第六处技术总结报告 (NDRC Division 6 Summary Technical Reports)。——原注

为增加。同样，被动声纳已经越来越趋于低频，以便利用潜艇噪声低频谱中的音调或线谱分量这些有利的条件。

为了利用深海海底安静的环境和在低频时良好的传播条件，由多个水听器构成的被动声纳阵已被安装在大洋的海床上。然而，与此同时作为被动声纳的目标，潜艇也变得更为寂静，成为较之从前更难于探测的目标。在时间与空间两方面对复杂信号的处理的发展（数字计算机的出现使之成为可能），使我们能利用更多的信息，以期声纳能完成人们所提出的任何功能。最后，声在海洋中传播的研究，导致了声传播路径的利用，这一点在早期是不曾料到的。例如深海传播中的会聚区的发现，以及近年来它在高优质因数声纳的开发应用。

1.3 水声的非军事应用

战后期间以至今日，水声的和平利用正在不断发展，人们最初只用于测深，而现在已广泛地应用于如表 1.1 所示的各种目的。其中大多数的声纳设备可做为商品，不同厂家可能以不同的型号生产。事实上已经出现了频谱的密集现象。已经有人注意到频率标准化的问题^[16]。如果不按照联邦通信委员会的规定执行，近海的频率密集现象会引起干涉现象；可以期望，将会有更多类型的声纳设备被人们用来开发海洋资源。

表 1.1 声纳的非军事应用

功 能		说 明
测	常规测深仪	向下发送短脉冲，并测量海底回波的到达时间
	底层剖面仪	为了穿入海底，采用低频大功率的脉冲声源
深	旁视声纳	该类旁视声纳用来在垂直于船的航迹方向上绘制海底地图
多普勒测速仪		使用一对倾斜向下的指向性换能器，由海底回波中的多普勒频移可以得到相对于海底的航速。另一方法是利用分裂式换能器两个声束的海底回波间的延时相关 ^[16]
鱼 探 仪		用于发现鱼群的前视主动声纳
助渔设备		用于计数、诱鱼，或尾随某单条鱼
助潜设备		潜水员用于水下定位的手提式小型声纳
定 标	信 标	不断地发射声信号
	应答器	仅在适当地询问时才发射
通讯与遥测		代替导线的连接，使用声束来传递信息
控 制		声-主动释放装置；水下油井的井口流量控制
杂 项		声学流量计、波高传感器