

(美) R. J. 尤立克 著

海洋中的声传播

海洋出版社

D64.68

海洋中的声传播

[美]R.J.尤立克 著

陈泽卿 译

杭汝衡 校

海洋出版社

·北京

52

内 容 简 介

本书分十四章，分别阐述了海洋中声传播的研究方法及海洋声学环境，较全面地总结了这一领域的最新研究成果。本书适于水声和海洋物理方面的研究人员、有关大专院校的教师和高年级大学生、研究生阅读、参考。

Sound Propagation in the Sea

Peninsula Pub Lishing, 1982

海洋中的声传播

[美]R.J.尤立克 著

陈泽卿 译

杭汝衡 校

海洋出版社出版 (北京市复兴门大街1号)

印刷: 北京枫叶印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.75

字数: 210千字 印数: 1~500

1990年9月第一版 1990年9月第一次印刷

统一书号: ISBN 7-5027-1123-6/0.28 定价: 7.00元

译者序

海洋中的声传播是相当复杂的，无论在深海或者在浅海，其传播效果不仅取决于海洋的边界条件和各种物理性质，而且受到海洋动力因素及各种海洋环境的制约。第二次世界大战期间，海洋中声传播的理论研究开始受到重视；五十年代以来，由于国防建设、海洋资源开发以及海上交通运输方面的需要，世界各国都致力于声传播方面的研究，使之成为水声学和海洋声学的主要研究课题，并发展到今天令人吃惊的程度。

本书作者原系美国海军军械研究所的物理研究人员，现任美国天主教大学教授，曾几次应邀到我国讲学并进行学术交流。他在美国海军军械研究所专门从事水声物理研究达四十多年之久，先后发表过两百多篇研究论文，出版过三本专著，《工程水声原理》是他出版的第一本著作，着重介绍了水声物理的基本原理及其在工程上的应用，颇受我国水声界同僚们的欢迎。《海洋环境噪声》是他的近作，现已面世。

《海洋中的声传播》是作者本久出版的第二本专著，本书系统地介绍了海洋中声传播的物理过程及研究方法，尤其是“水声学的模拟方法”、“时间相干”和“空间相干”等内容，在一般的理论专著中是很少涉及的，而本书却独立成章详细地作了论述。此外，还给出了许多有价值的公式、图表和各种传播模型，并列出数量相当的附录和参考文献，这对于有兴趣的读者进一步深入了解各种特定课题无疑是很裨益的。

正如作者本人所说的那样，这本书再现了他几十年短暂的生活历程，反映了他的兴趣和学识。完全可以说，本书是作者几十年从事水声物理研究工作的总结，它既反映了美国在这一领域的研究成果，又反映了当前世界上最新的研究课题。把本书介绍到我国，对促进我国海洋中（尤其是深海中）声传播研究的发展，会起到一定的积极作用。

当然，译者的意愿是将一本有益的、十全十美的书奉献给读者，但限于水平，总有美中不足之处，恳望读者指正。

借该书在我国出版之际，谨向校阅译稿的声学所杭汝衡副研究员、审阅译稿的声学所李启虎研究员，以及为该书的出版付出辛劳的李欣同志表示感谢。

译者 陈泽卿

1989年·于儋州

修 订 版 前 言

《海洋中的声传播》这本书是在近几年关于这个课题的讲座所用讲义的基础上，首先由美国国防部尖端技术研究计划局 (Advanced Research Projects Agency of the Department of Defense) 出版。现在作了修订和扩充，使之更加完善。该书附有大量文献，这些文献使得有兴趣的读者能够尽快深入到某一特定课题中去。“水声学的模拟方法”这一章是由Paul Etter执笔增写的。

发表有关海洋中的声传播这一专业课题的论文数量，已经到了令人吃惊的程度，这些论文包括了声呐与水声学最活跃的研究方面，其中包含着大量各种各样的现象和效应。完全可以说，没有一本汇集这个课题的书能够说是完整和全面的。该书也和其他所有的书一样，仅反映了作者本人的兴趣和学识。这样说或许稍有过分。然而，作者所希望的是，本书作为一个出发点，对正在开始进入、或已经工作在这个涉及多方面知识的课题中的人们有所帮助。

作者对美国天主教大学的Frank Andrews博士、美国海军的Henry Cox和V.P.Simmons上校在审阅书稿及安排出版事宜过程中所做的大量工作表示感谢。

R.J.尤立克

1982年1月

目 录

第一章 历史的回顾与研究方法	(1)
早期的成就	(1)
第二次世界大战时期的成就	(3)
战后的成就	(5)
声传播的一些有待研究的问题	(6)
研究的方法	(7)
传播试验数据的检出	(8)
参考文献	(10)
第二章 一些基础理论	(12)
引 言	(12)
物理的基本方程	(12)
波动方程的导出	(14)
求解法	(15)
波动理论	(16)
射线理论	(18)
波动理论与射线理论的比较	(22)
计算机模型	(23)
参考文献	(26)
第三章 水声学的模拟方法	(27)
引 言	(27)
传播损失模型	(29)
射线模型	(30)
波动模型	(31)
噪声模型	(33)

主动声呐/混响模型	(35)
基本资料	(36)
模型的评价和证实	(37)
参考文献	(41)
第四章 海洋中的声速	(50)
历史的导言	(50)
牛顿方程	(51)
测量方法	(52)
海水中的声速	(56)
压力关系	(59)
声速剖面	(59)
声线轨迹	(61)
对精确值的要求	(63)
参考文献	(65)
第五章 衰减与吸收	(68)
引 言	(68)
理 论	(68)
历史的概述	(69)
频率关系	(70)
测量方法	(79)
声衰减随频率、温度和压力而变化的 函数关系	(79)
参考文献	(86)
第六章 表面声道	(89)
引 言	(89)
形成过程	(90)
声道形成条件	(91)

大气中的无线电波导	(92)
射线理论模型	(92)
波动理论模型	(94)
由海面散射引起的泄漏	(96)
由绕射引起的泄漏	(97)
内 波	(97)
泄漏系数的量级	(99)
传播损失的预报	(100)
附 录	(104)
参考文献	(109)
第七章 深海声道	(111)
引 言	(111)
深海声道中的传播损失	(113)
衰减系数	(116)
信号包络	(116)
海底地形效应	(122)
沿路径变声速剖面的影响	(122)
信号扩展和深海声道内的距离计算	(125)
非折射的路径	(127)
浅置声源和接收器之间的传播损失	(127)
特殊情况	(128)
附 录	(128)
参考文献	(136)
第八章 焦散线与会聚区	(139)
引 言	(139)
一般的焦散线	(140)
会聚增益	(140)

深海声道内的焦散	(141)
靠近海面的声源	(142)
改变声源深度的影响	(144)
会聚的条件	(146)
会聚区的距离效应	(148)
现场研究的结果	(149)
参考文献	(152)
第九章 浅海声道	(154)
引 言	(154)
什么叫浅海	(154)
海上声传播试验	(155)
高频的测量	(157)
低频测量的一个例子	(158)
模型研究	(160)
理 论	(160)
浅海中短脉冲声波的色散与畸变	(165)
近似方法	(167)
与实际相比较	(170)
季节效应及其他	(171)
快速的声场测量技术	(172)
附 录	(175)
参考文献	(177)
第十章 海面的反射和散射	(181)
引 言	(181)
反射与散射	(182)
实验证明	(185)
海面反射的干涉 (洛埃德镜效应)	(185)

随机海面	(187)
频率效应	(190)
海底损失 (前向散射)	(193)
散射强度 (后向散射)	(195)
气泡层	(198)
后向散射的物理过程	(198)
参考文献	(199)
第十一章 海底的反射和散射	(203)
引 言	(203)
海底反射与散射的比较	(203)
反射模型	(205)
沉积声学	(208)
测量反射损失	(212)
预报问题	(213)
其他效应	(216)
后向散射	(217)
侧向散射	(219)
附 录	(219)
参考文献	(231)
第十二章 时间相干 (起伏)	(237)
引 言	(237)
起伏的原因	(238)
起伏的测量	(239)
短距离声呐脉冲信号之间的起伏	(242)
温度微结构数据	(247)
海面反射的起伏	(248)
起伏的时间尺度	(250)

声源和接收器运动的效应	(253)
浅 海	(255)
固定声源和固定接收器	(255)
信号起伏统计	(255)
环境噪声起伏统计	(259)
参考文献	(261)
第十三章 空间相干 (相关)	(265)
引 言	(265)
相干的类型	(266)
单频和有限带宽信号的相干	(268)
各向同性噪声的相干	(269)
限幅和真实相关系数之间的关系曲线	(271)
随机介质中的空间相干	(273)
现场观测	(275)
与理论的比较	(283)
数据归纳	(284)
参考文献	(286)
第十四章 海洋中声波的多途传播	(288)
引 言	(288)
深水-浅声源和浅接收器	(288)
深水-深声源和深接收器	(291)
浅 海	(294)
多途效应	(297)
参考文献	(299)

第一章 历史的回顾与研究方法

早期的成就

在水介质内关于声速的研究，可以说是水声学最早的定量研究。1827年，Colladon和Sturm在日内瓦湖测量了声波在水中的传播速度^[1]，所获得的结果惊奇地接近现代的测量值。许多年之后，出于用声发射方法测距和测深的需要，有人在海里较为精确地测定了声速值。1923年，Stephenson在长岛海峡测定了炸弹爆炸声在水下已知距离的两个水听器之间的传播时间^[2]。大约在同一时候，Heck 和 Service 测量了声脉冲自海底反射回来的渡越时间^[3]，并根据绳索测量所获得的深度，确定了声脉冲的传播速度。这几次测量确定了其后许多年间人们所使用的海水中的声速值。

一般地说来，关于声传播的最初的理论研究和实地观测，是由德国科学家于第一次世界大战期间完成的。1919年发表了一篇题为“海水平温层对水下声信号作用距离的影响”的论文^[4]，从当时的水下测量结果出发，导出了温度、盐度和压力对声速的影响，并得到了当这些量存在梯度时的射线方程。这篇论文还论述到，正如人们所能预料到的那样，声波的传播距离夏季要比冬季短，这是因为夏季的声线向下折射而冬季的声线向上折射的缘故；这种预估已被第一

次世界大战之前测得的结果所证实，测量是在分散得很开的六个浅海区域内花了一年多的时间才完成的。1919年德国科学家发表的这篇论文已遥遥领先于当时它所处的时代。并成为本世纪早期德国物理学研究高度发展的标志。

二十年代战后的那几年，因战事而造成百业萧条，除了前面提到的回声测深所需要海水声速之外，人们似乎并不关心海水中的声传播问题，而那些年美国 and 英国则致力于发展硬件——尤其是回声测距的声发射器和接收器。然而，直到二十世纪三十年代初期，积累了足够多的海上试验结果表明，最新发展的声呐设备探测到的距离变化很大，无论是在不同的海区测量，还是在同一海区、在一天内不同时刻测量的结果均是如此。对作用距离的这种不稳定性，不应该把责任归咎于设备或观测者，而应从海洋本身去了解。在实际工作中，通常采用连续观测方法来确定作用距离产生易变性的原因，并为声呐设计和性能预报提供基本数据。一个连续观测的计划由美国海军研究所的科学家和工程师组成的小组于1934年首先实施，他们把驱逐舰“SEMMES”号当作回声测深仪的载体，而把潜水艇“S-20”号作为目标，从长岛开始直至关塔那摩、古巴，以及与大西洋和太平洋邻近的巴拿马运河，由多次声传播测量了发射频率为17—30千赫时各海区的“声吸收系数”^{*}，并获得了潜水艇的“反射系数”^{**}的量级。E. B. Stephenson 的几篇论文发表于1935年至1939年^[6-7]。

在这一时期，一种难以理解且变化莫测的现象引起大家

* “吸收系数”是一个不够准确的名词，它是经球面扩展修正后拟合于传播数据的直线斜率。吸收系数既包括折射效应，又包括吸收效应。

** 相当于目前常用的术语——“目标强度”。

的严重关注，就是在无风和有太阳的下午，回声测距所观测到的距离有规律地减少，后来“午后效应”这个术语才为人们所周知。最初，认为是生物的原因，怀疑是由于光合作用产生气泡或声呐员午饭后懒散所致。因为较为粗略的温度数据表明，上层海水温度结构没有什么变化。1937年，有人将多个敏感的温度计间隔很近地固定在钢丝绳上，测得有太阳时接近海面的水温较暖，这已足够引起声线向下弯曲，导致浅置声源发出的声波向下传播。一些早已观测到的午后效应的例子是由 R.L.Steinberger 获得的^[8]，他证明了温度负梯度与传播变差之间的关系，如图 1.1 所示。测定微小温度负梯度是十分重要的，这导致发展了一种非电的机械式温深仪（见图 1.2），它可以在熏黑了的玻璃面上绘出温度与深度的关系曲线。1941 年第二次世界大战的爆发，美国所有的驱逐舰和巡洋舰都安装了这种温深仪，使它们能在不同的时间和地点测定其本身所需要的水温条件，测量已超过几百英尺*水深。

第二次世界大战时期的成就

早在第二次世界大战以前，美国国防研究委员会（NDRC）的成立，已成为物理学家和声学家进入水声学领域的一个主要推动力。当时许多人的注意力受到传播现象的吸引，而现在我们所了解的大量工作定量数据均来源于美国国防研究委员会第六分部的工作。战争后期，这些工作已由各个分部分别总结在《技术报告摘要》（STR）中。第六分

*1英尺 = 30.48 厘米 = 0.3048 米。

由于本书出版于1982年，多用英制单位，译出时又很难与“国标”统一，望见谅。——译者注

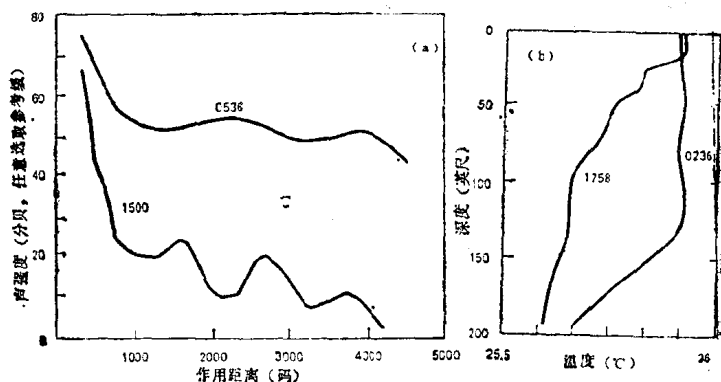


图1.1 一种神秘的午后效应,于1937年由 R.L.Steinberger 观测到。

(a) 在早晨(05:36)和下午(15:00), 24千赫连续声信号的强度与作用距离的关系曲线; (b) 在早晨(02:36)和下午(17:58)观测到的温度剖面。这些观测资料清楚地表明, 温度负梯度引起的声折射, 是形成午后效应的原因所在

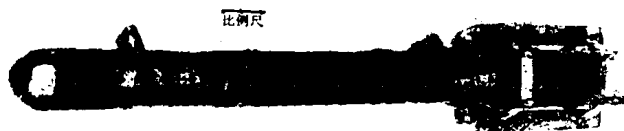


图1.2 机械式自动海水测温仪。这种仪器由行驶在海面上的船只投放到水中并回收。在一块小玻璃片上可绘出温度与深度的关系曲线。在尾部的线圈是波尔登(Bourdon)管, 它充满的二甲苯, 用来指示温度, 而弹簧-波纹管装置指示深度或压力

部的报告以潜艇战为题, 发表在《技术报告摘要》的第23卷上。其中一个分册的书名为《海洋中的声学物理》, 事实上, 这是当时被人们知道并熟悉的有关声传播的一个详细摘要^[9]。它包括下列各章: “深海声传播”、“浅海声传播”、“声强度起伏”和“水下爆炸声源”, 并分别由著名的声学家来执笔撰写。这些战争时期所从事的研究工作, 在

今天仍然保留着关于高频（15~30千赫）传播方面有价值的资料来源，它所涉及的传播距离超过了当时所感兴趣的较短距离（约6000码*）。

战后的成就

自战争爆发的那些年起，人们已经看到了声传播知识的巨大发展，这些年来，声呐持续不断地向低频和远程发展。在近三十年间，声传播研究有了许多引人注目的突破，可列出以下十个方面：

1) 在频率为5~100千赫的范围内，海水中声附加衰减机制的发现。

2) 在多数深海区域，为在该区域使用海底反射声呐，测量了海底损失。

3) 对深海声道、表面声道中的传播特性和传播损失的解释。

4) 对北极（即在冰覆盖层之下）声传播性质的认识。

5) 波阵面相干性和稳定性的测量。

6) 频率在1千赫以下的声附加衰减的发现，并通过由存在于海水中的少数成分来对其作出解释。

7) 深海会聚区现象的发现，以及对它的认识。

8) 通过使用电子数字计算机，很容易画出声线图，以及实现波动理论预报。

9) 测量出最精确的海水声速值，使射击控制距离预报尽可能精确。

10) 总而言之，深海声传播已超过了原先考虑的距离及

* 1码 = 0.914米。