

水声设备作用距离

[苏] B. H. 马特维柯 Ю. Ф. 塔拉休克 著

《水声设备作用距离》翻译组 译

国防工业出版社

水声设备作用距离

〔苏〕B. H. 马特维柯 Ю. Ф. 塔拉休克 著

《水声设备作用距离》翻译组 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统地综合介绍了一些国家有关水声设备作用距离方面的研究成果和实测的海洋水声特性数据、曲线等资料。对水声设备的设计和使用具有一定的参考价值。

全书共分四章:第一章叙述声速场、空间衰减、体积散射等海水介质的水声特性;第二章介绍海面 and 海底的声散射及其对水声设备作用距离的影响;第三章对焦聚因子、异常因子、传播异常、远距离混响异常等参数作了讨论;第四章介绍了水声设备预期作用距离的计算方法,以及使用电子计算机进行计算的情况。

本书可供水声设备设计和使用的专业人员以及有关大专院校师生参考。

ДАЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В. Н. Матвиенко

Ю. Ф. Тарасюк

Издательство

«Судостроение» ленинград 1976

水 声 设 备 作 用 距 离

〔苏〕В. Н. 马特维柯 Ю. Ф. 塔拉休克 著

《水声设备作用距离》翻译组 译

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
上海商务印刷厂排版 国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 1/32 印张 7 1/16 11.1 千字

1981年2月第一版 1981年2月第一次印刷 印数: 0,001—1,400册

统一书号: 15034·2075 定价: 0.75元

译 者 的 话

作用距离是水声设备的主要技术性能指标之一。在现场使用的水声设备其实际作用距离并不仅仅决定于设备本身的技术参数(声源级、空间增益、处理增益、本地噪声等),而是与当时的海洋条件(海况、海水介质的声速梯度、海洋深度、海底底质以及海中生物和其它散射体的存在状况等)有密切关系。这些因素是有时间和空间变化特征的,它们显著地影响声信号在海水介质中的传播,因此同一部水声设备往往会出现在这—海域可以有较远的作用距离,而在另一海域却缩短了;在冬天远而夏天近等现象。这种现象对经常使用水声设备的专业人员来说是很熟悉的,但是如何能定量地预知其变化范围(即作用距离预报)以及如何利用当时的使用条件,确是一个极感兴趣而又远未解决的问题。国内外许多专家和专业工作人员对此做了许多研究,取得了不少成果,并仍在努力探索中。本书作者把过去有关这方面的分散成果,进行了系统综合,作了必要的分析归纳。这对水声设备设计和使用,特别是对水声物理没有机会作深入研究的有关人员来说,是有参考价值的。

原书使用的术语、定义及概念是以1972年苏联国防出版社出版的科技术语词典《Тезаурус》为准。由于我国水声学名词尚不够统一,在译文中基本上以我国1976年国防工业出版社出版的《电子工业技术词典》为根据。对新出现的一些术语,未按字义直译,而是以其涵义酌译的,例如: Ожидаемая

дальность действия 不译作“期望作用距离”，而是译为“预期作用距离”，以免与统计学中的“期望值”相混淆；又如：“Энергетическая дальность действия”译为“理论作用距离”，而不直译成“能量作用距离”。

参加本书译校工作的有邱永德、曾庆春、程鹏飞、徐毓澄、张荣珠同志，全书由张宝昌同志审阅定稿。对原书中明显的错误或不妥之处，我们做了力所能及的订正。由于译校水平所限，错误之处，请读者批评指正。

原 序

作用距离是评价各种用途的水声设备使用效果的主要参数之一。探测及通信用水声设备的实际使用,令人信服地说明在均匀无限介质中没有声线反射,它的理论作用距离不能够全面地反映船用水声设备性能的真实情况。

在海上水声设备的实际作用距离,可能与理论作用距离相差很大。

最初,使用水声设备的专业人员,首先感兴趣的是在什么条件下,实际的作用距离比理论的小很多。这些条件是:在海面表层呈现负声速梯度,存在声速跃变层等。

后来,发现了水声信号远程传播的现象。从此人们又把兴趣转向研究在什么条件下,实际的作用距离远远超过理论距离。这些条件是:水下声道、表面声道、声照射远区等。

研究在实际情况下估计水声设备的预期作用距离的方法及仪器之前,对声波在海水介质中的传播理论及对水声学特别重要的海洋水文特征的实验方法进行了长期的研究。

研究结果建立了一种平行分层的介质模型,其中每一层的声速梯度为一恒定值^[13,62]。本书介绍了在估计水声设备预期作用距离的实际问题中,怎样使用这类模型。可以预料到,在类似模型的范围内,采用射线理论是可以保证计算结果达到所需的精度的。因为它已考虑到了波阵面随距离扩展的特性、空间衰减、体积散射、混响、海底和海面对水声信号的散射,以及某些其它因素。利用这种模型,研究了对于船用水声

定位及水声通信设备以及用来收集海水介质资料的适用情况。

为了进行探测目标及发送通讯信号,需要算出水声设备的预期作用距离。

从概率的观点,可用正确检测概率(在规定的虚警或漏报概率条件下)来评价完成检测目标(信号)任务的质量。因此,在本书中将水声设备的作用距离理解为在正确检测目标(信号)概率等于给定值时的最大作用距离。在国外文献^[19,24]中,该值取 0.5。

用多次连续检测目标(序贯检测),确定作用距离时,建议要考虑累积概率^[11]。

本书第一章描述了海水介质的水声特性:声速场、空间衰减、体积散射。海洋噪声虽是海水介质的非常重要的水声特性,但本书未做介绍,因为 A. B. 弗鲁杜耶夫(A. B. Фрудуев)在其新出版的专著《海洋声学》中已做了详细的叙述。

本章主要着重点是分析声速场沿深度变化的数据,它决定着声线在垂直面内的折射特性。另外给出了近年来声速场的直接测量结果,特别是声速场的微结构。

从 1972~1974 年发表的材料可以看出,当表层(大约 1~10 米)的声速梯度很大($5\sim 15\text{ 秒}^{-1}$)时,可以使水声信号传播条件有明显的改变,但是在这种条件下将介质模型视为具有恒定声速梯度的平行层是成功的,借此可以用声线法估计水声设备的预期作用距离。

大多数水声工程人员以及从事造船的专业人员对于测量声速的仪器设备是不太熟悉的,因为相对地说,这些仪器设备的研制还为时不久^[48,52,59],而它的说明书仅在很窄的专业范围内发行。有鉴于此,作者尽力详尽地介绍了船用测量声速

的仪器及方法,并指出这个技术领域的主要发展方向。

考虑到声波在海洋中的空间衰减系数、吸收系数与频率及其它因素的关系,仍是继续研究的课题,读者所关心的是那些在实践中经过充分验证的系数。从文中引用的文献中可以找到近年来测量到的十分有用的结果。

对主动式水声设备的设计人员来说,了解不同海域、不同季节时的体积散射强度及变化范围是特别重要的。因为计算混响干扰的期望值时,必须用到反向体积散射系数。

第二章介绍了海面 and 海底的声散射问题。水声设备的作用距离出乎预料的减小,这可能与反向散射的增加有关。水声工程人员对此问题感兴趣的主要是两个方面的:有多少能量向反方向散射回到了水声发射器;又有多少能量由于散射没有到达远离水声发射器的水声接收器。

解答第一个问题对主动式水声观测设备的专业人员特别重要;而回答第二个问题,则对估计被动式水声设备作用距离很有用。

本章还讨论了海面 and 海底的声反射系数和吸收系数与掠射角、频率的关系,并且考虑了深海和浅海不同海域的特点。反射及吸收的性质与海底底质表面层的声速有关。知道此层声速后,可以更精确地获得所选定的介质模型中最底层的垂直声速梯度值。这一底质表层的厚度通常最厚,声线穿过此层的距离也最长,因此,按给定的数据,可以提高估计水声设备预期作用距离的质量。

在第二章的末尾,介绍了测量海底底质声速的仪器和设备,这些仪器设备目前仅在科学研究船上使用。

第三章给出了水声信号的焦聚因子、异常因子、传播异常、远距离混响异常以及其它参数的计算公式。为此所需的

原始数据,可从第一、二章中找到。

对选择放置声源、接收器的深度来说,传播异常是海洋局部地区的主要水声特性。看来传播异常是综合了所有的主要水声特性的一个重要因子。这些主要特征包括有:在该局部区域内声线的折射,以及由于与边界条件相互作用而产生的反射和散射。

最后,第四章叙述了确定船用水声设备预期作用距离的方法。这种方法主要是依据声速垂直分布的数据来进行的。

文中特别重视现代电子模拟计算机,它可以在短时间内(0.1~1秒)计算描绘大量声线(达50~100条),目前已实际用于估计水声设备的预期作用距离。本章最后介绍了数字电子计算机计算水声信号异常传播的程序,它能提高水声设备作用距离的计算精度及缩短计算时间。这种问题的求解,包含着对水声设备工作条件的基本因素的分析。同时设备的技术参数也应严格地给定。将解算的结果与在海上实际获得的作用距离数据相比较,据此可以进一步完善介质模型、计算方法及计算设备。

目 录

第一章 海水介质的水声特性	1
§ 1 声速	1
§ 2 声速测量	18
§ 3 空间衰减	38
§ 4 体积散射	51
第二章 海表面和海底的水声特性	63
§ 5 海表面的特性	63
§ 6 海底的特性	75
§ 7 底质中的声速	92
§ 8 底质中声速的测量	97
第三章 水声传播模型	112
§ 9 水声设备作用距离的特性	112
§ 10 焦聚因子	118
§ 11 传播异常	131
§ 12 混响异常	152
第四章 船用水声设备作用距离的计算	164
§ 13 水声设备作用距离的近似估算法	164
§ 14 声线轨迹绘制仪	178
§ 15 用数字电子计算机计算水声设备的作用距离	192
结束语	200
附录	202
参考文献	212

第一章 海水介质的水声特性

§1 声 速

声波传播的速度(声速)是海水介质的一个极其重要的水声特性,它影响着水声设备的使用效果,因为在空间各点上声速值 c 的变化会使波前产生失真并使信号传播的特性发生变化。

随着探测水下目标的水声设备和水声通讯站在船上的应用而建立起来了一个概念,即它们的主要技术参数—作用距离是随海区、季节和昼夜不同而发生很大的变化。

在海洋学中出现的新领域——海洋声学的范围内,对上述这一现象的研究表明,声速值随深度的变化是引起船用水声设备在水平方向的作用距离变化的主要原因。

同时还得出结论,水声设备换能器^①的下沉深度或被测目标相对于具有各种声速垂梯度值的水层位置的变化会引起水声信号传播条件的变化,因而会相应地影响船用水声设备的作用距离。随着船用水声设备作用距离的增加和对其工作精度要求的提高,都需要研究沿垂直方向和水平方向的声速场的空-时变化情况。

本节将简要地叙述对估算船用水声设备作用距离起重要作用的声速场的主要特性。

海水中的声速与温度、盐度和静水压力有关。各水文站

① 原文直译为“天线”,按我国惯译为“换能器”,泛指发射和接收换能器。下同。——译注

收集到的资料,即在标准水层中测得的温度、盐度和深度值,是声速场在海洋中有关空-时变化的主要资料来源。

使用的相应仪器和方法记载于“海洋水文工作者手册”一书中^[49]。声速的计算步骤列于海水声速的计算表内^[9, 46, 50]。

据 1970 年报导,美国国家海洋资料记录中心收集了 363752 个水文站的测量结果。所有的数据都记录在磁带上,并可通过检索程序再再现出来。为了取得预定使用水声设备的海域内的与声速场有关的资料,可以把储存对计算有用的数据的磁带范围中各点的位置自动地确定出来。检索程序就可把水声信号在最近一个月或一个季度里的沿拟定路径传播的资料打印出来。

然而,虽有几乎 40 万个水文观察点,但是仅仅覆盖了大

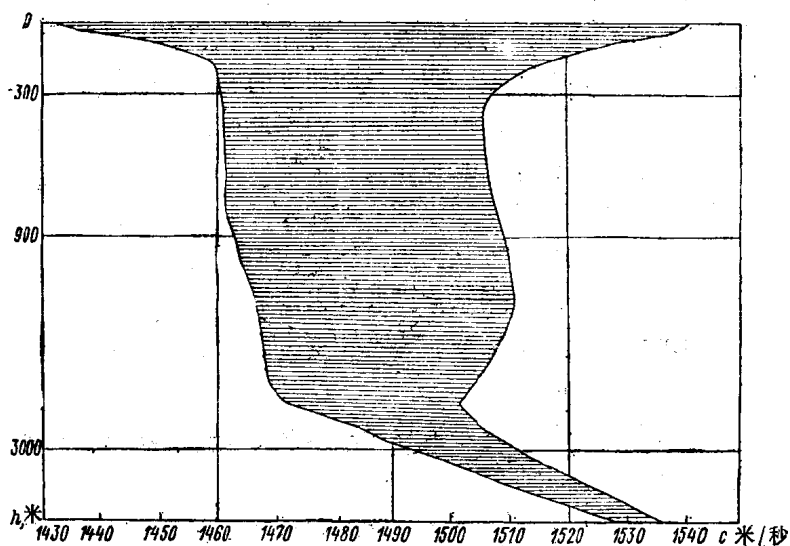


图 1 世界大洋中的声速变化情况
阴影线表示的是声速值 c 可能变化的范围。

洋面积的一小部分,并且还远非是所有季度、月份和日期的资料。这种情况在讨论美国 1970~1980 年水文研究计划的有关文献[17]中曾特别指出过。

关于世界大洋中声速场变化总的概念可从图 1 得到。图上示出了从海面到 4000 米深度的声速垂直分布的边界曲线。从图中可以看出,在大深度处,声速值 c 基本上是单调地增加的:在 2000 米深度上每增加 10 米,声速值 c 的增量约为 0.172 米/秒;在 4000 米深度上每增加 10 米,声速值 c 的增量为 0.182 米/秒。

研究太平洋声速场的 В. П. 谢夫佐夫(В. П. Шевцов)和 П. П. 甘松(П. П. Гансон)^[74]指出:在大于 2000 米的深度上,声速场具有相当大的空间均匀性。例如,在太平洋北部的 2000 米深度上 c 值的均方根偏差为 1.1 米/秒,而在 3000 米

表 1 太平洋中大深度的声速垂直分布

深 度 千米	平均声速(米/秒)		平均梯度(米/秒/千米)		梯度变化率(%)	
	A	B	A	B	A	B
2.0	1491.0	1492.1	15.2	14.4	1.3	1.4
2.5	1498.6	1499.3	16.2	15.8	1.1	1.2
3.0	1506.7	1507.2	16.8	16.6	1.0	1.0
3.5	1515.1	1515.5	17.4	17.2	0.9	0.9
4.0	1523.8	1524.1	17.9	17.8	0.8	0.8
4.5	1532.8	1533.0	18.3	18.1	0.7	0.6
5.0	1541.9	1542.0	18.7	18.7	0.9	0.9
5.5	1551.3	1551.3	18.9	18.9	0.8	0.8
6.0	1560.7	1560.7	19.2	19.2	0.7	0.7
7.0	1579.9	1579.9	19.4	19.4	0.6	0.6
8.0	1599.3	1599.3	19.5	19.5	0.5	0.5
9.0	1618.8	1618.8	—	—	—	—

注: A—北纬 20° 以北; B—北纬 20°~南纬 40°。

深度上则为 0.8 米/秒。在其它区域, 此值不超过 0.4~0.5 米/秒。现根据 500 个水文站的整理结果, 将声速场的特征平均值列于表 1^[14]。

世界大洋中声速的平均值约等于 1500 米/秒, 在大洋表面声速变化的可能范围约在 1435~1540 米/秒, 而在大深度处(7000 米)则为 1570~1580 米/秒。因此, 直接测量海中声速的仪器的工作范围应是在 1400~1600 米/秒之间^[17]。

在没有这种测量仪器的船上, 海洋图集和其它专用的参考资料就是声速垂直分布信息的主要依据了。这些资料在船上或岸上都用来预估水声信号传播的条件。

大西洋北部的声速图集^[87] 就是这类参考资料的一种^[87], 它汇集了约 30000 个水文站的数据。测量的结果是在 1 度见方 (110×110 公里²) 的面积内于标准水层的诸点上按一年四季(每季平均 90 个昼夜)来进行整理的。

光滑的声速垂直分布函数是将折线族求平均得出的。图集中既给出了这些曲线族, 也给出了代表这些曲线族的包络线。后者示于图 2 中。图 2 中所标注的海区编号是以图集^[87] 的编号为依据的。图中所示的四种不同情况更清楚地表明在大西洋北部声速场的空间(在同一个季节中, 在同纬度相邻区域的和南北纬度相反的区域之间的)、时间(在同一个区域内, 相反的季节中)和空-时(在南北纬度相反的区域, 相反的季节中)变化的范围。

对文献[87]中所列举的实例分析表明: 由于声速垂直分布特性的变化范围相当大(特别在海洋的表层), 故对于声纳员来说, 在给定昼夜中和具体某一地理点要确切地选择哪一条曲线是很困难的。

为了简化这个问题, 需将声速垂直分布曲线分类。如

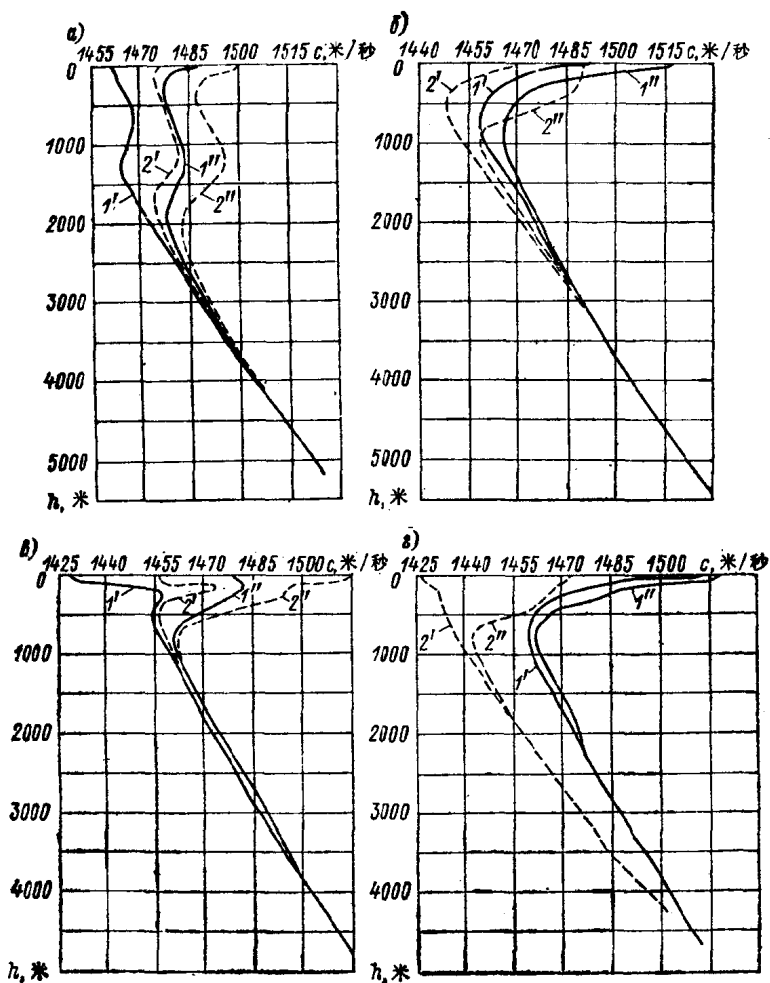


图2 大西洋中声速场的空间时间变化

α —同一季度—春季,在相邻区域III—2(曲线1'和1'')和III—3(曲线2'和2'')的变化情况; β —同一季度—夏季,在彼此远离的海区I—1(曲线1'和1'')和V—2(曲线2'和2'')的变化情况; α —在IV—5区域里—冬季(曲线1'和1'')和夏季(曲线2'和2'')的变化情况; β —在相反季节里(曲线1'和1'')—春季;曲线2'和2'—夏季和在彼此远离的海区I—2(曲线1'和1'')和V—3(曲线2'和2'')的变化情况

区域编号与图集^[87]⊖相同

⊖ 原文为与图集^[6]相同,根据文章内容应为^[87]。——译注

H. C. 阿格叶娃(H. C. AreeBa)^[4]给出了 15~17 组典型曲线。实际上, 分组数主要取决于所选择的分层不均匀介质模型的分层数, 而分层数则首先取决于水声设备预期作用距离的计算精度。

例如, 介质可取成分为三层的模型形式, 上层是正声速梯度, 下层是负声速梯度(图 2, *a*), 或上层是负声速梯度, 下层是正声速梯度(图 2, *b*、*c*)。图 2 所列出的平滑了的曲线可以表示出在世界大洋许多海域里声速平均值随深度的真实分布情况。

图 2, *c* 中曲线 1'' 表示多层介质的特性, 对此适当地选用分为 5 层的介质模型: 即正声速梯度层、弱负声速梯度层、负声速梯度层 $\ominus$ 、弱正声速梯度层和正声速梯度层(图 3)。在用模拟计算机估算船用水声设备预期作用距离时, 相当广泛地采用了将介质分成 5~6 个声速梯度值不变的水层^[82, 85, 80, 92]。

为了获得估算水声设备的预期作用距离的要求精度, 需将实际的声速垂直分布曲线分成几段? 这个问题, 用解析的方式是不可能回答的。实际的做法是将声速垂直分布曲线的各种划分方案先进行计算, 然后再将计算结果进行比较。当分布曲线用其一次和二次导数的连续值表现为平滑函数形式时, 海洋实验数据或计算材料可作校验之用^[4, 17, 92, 95]。得出的水声设备的预期作用距离的计算精度被认为是评价介质分层模型的准则^[48, 84, 85, 95]。

关于介质模型中必要的分层数同样与用声速探头所获得的曲线有关, 这条曲线也是与平滑曲线大不相同的^[5, 17, 68]。这特别可从图 3 和图 4 的记录曲线的比较中看出来。

$\ominus$ 原文有漏。——译注

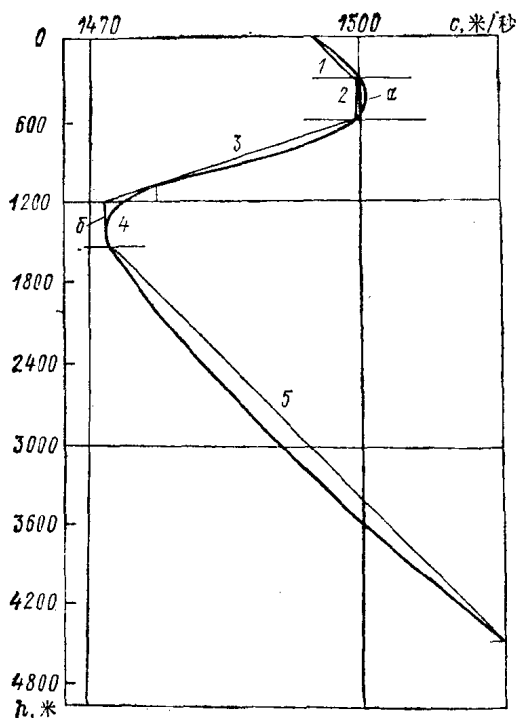


图3 声速的垂直分布及其折线分段的近似图

α —表层最大声速; β —深水处最小声速

1、2、3、4、5—具有常声速梯度的水层

要着重指出的是：个别的具有十分大的声速梯度($>5 \sim 15 \text{ 秒}^{-1}$)的水层，仅在海的表层(至100~200米)可观察到。因此，这样的梯度层的总厚度只占整个海洋深度的一个极小的百分数，它们对船用水声设备作用距离变化的影响可以说是微不足道的。不久以前开始研究了声速场细微结构对水声设备预期作用距离计算精度的影响^[17, 43, 85, 86]的估计，但这个问题还远未解决。