

水声遥测



卢光瑛 杨世周 编译

海洋出版社

水 声 遥 测

卢 光 瑛
杨 世 周

编 译

海 洋 出 版 社

1983年 北京

内 容 简 介

本书重点介绍水声遥测的原理、系统和应用技术。全书共分七章，第一章介绍了声信号在海洋中的传播条件；第二章介绍了遥测原理；第三章介绍了水声通道传输测量结果，第四、第六和第七章分别介绍了海洋水文考察、捕捞船队和海底设施应用的水声遥测系统。第五章专门介绍了水声遥测在海军中的应用。

本书可供国防、海洋调查、海洋捕捞、水下工程等领域从事水声遥测研究的人员和水下工程技术人员参考。

水 声 遥 测

卢光瑛 杨世周 编译

海洋出版社出版

(北京复兴门海贸大楼)

新村印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

1983年6月第1版 1983年6月第1次印刷

开本：787×1092¹/₃₂ 印张：6³/₈插页：1

数字：200,000 印数：3,000

统一书号：13193·0184 定价：1.00元

0175101

目 录

序	(1)
前 言	(3)
第一章 声信号在海洋中的传播条件	(9)
第一节 海洋物理场的时-空变化	(9)
第二节 海水的声学特性	(11)
第三节 边界的声学特性	(21)
第四节 声波在分层不均匀媒质中的传播	(26)
第二章 遥测原理	(34)
第一节 传感器	(34)
第二节 信号	(40)
第三节 水声遥测系统的信息特征	(46)
第四节 遥测误差	(48)
第五节 多通道系统	(52)
第三章 水声通道传输测量结果	(59)
第一节 水声遥测系统的声学基阵	(59)
第二节 传播中的水声遥测信号的失真	(64)
第三节 水声遥测系统主要技术参数的选取	(73)
第四节 水声通道的信息传输特点	(80)
第五节 减少回径传播现象的影响	(90)
第四章 海洋水文考察用水声遥测系统	(96)
第一节 深海温压记录器	(97)
第二节 综合水文观测系统	(104)

第三节	单个参数的测量系统·····	(107)
第四节	水声通道传送电视图象·····	(114)
第五章	水声遥测在海军中的应用·····	(122)
第一节	水声遥测系统在水中兵器试验中 的应用·····	(122)
第二节	温-深水声遥测系统·····	(128)
第三节	声速仪·····	(130)
第四节	深潜器用水声遥测系统·····	(139)
第五节	研究潜水员生理现象的水声遥测 系统·····	(143)
第六章	捕鱼船队船用水声遥测系统·····	(146)
第一节	水声遥测在捕鱼作业中的作用·····	(146)
第二节	测拖网深度的水声设备·····	(147)
第三节	渔业用多通道水声遥测系统·····	(159)
第四节	研究网具用的多路系统·····	(169)
第七章	海底设施的水声遥测和遥控系统·····	(179)
第一节	遥控系统·····	(179)
第二节	海底地震仪·····	(186)
第三节	TELTAC 遥控系统·····	(191)
结束语	·····	(194)
参考文献	·····	(196)

序

六十年代以来，人类在向宇宙进军的同时，也开拓着海洋空间，从而推动了水声科学技术突飞猛进的发展。水声遥测技术也正是在这个时候才开始兴起的。

水声遥测是一项新兴的科学技术，是水声学 and 遥测学的边缘学科。

水声遥测系统的用途很广，现已应用于自动遥测海洋煤质的各种物理参数，控制水下或海底设施及仪器舱、海底探矿和开发鱼类资源，还应用于自动传输各种水下设施状况和姿态等参数的遥测结果。

海洋开发对水声遥测设备的技术性能提出了更高的要求。这表明，一方面遥测系统尚不能满足实际应用的要求，另一方面迫切需要从从事水声和遥测专业工作的工程技术人员，从理论角度深入探讨水声学的新发展方向，寻求解决实际问题的各种最佳途径。然而，遗憾的是，迄今还没有一本系统性的水声遥测专著问世。

本书旨在介绍水声遥测的一般原理及其在海洋考察、海洋资源勘探和军事等方面的应用，并介绍一些国家生产和使用的水声遥测系统的概况。

书中详细介绍了声波在海洋中的传播条件、遥测设备的工作波段和由水声遥测通道传输的信号和信息特征；分析了用水声信号传送遥测结果时的特点，并概括地介绍了水声遥测方法和遥测系统的发展动向。本书还探讨了在给定的信息

传输速度下，增大遥测系统作用距离的途径。可供水声遥测专业人员参考。

本书主要根据 Ю. Ф. Тирасюк, Г. Н. Серавин 《ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ТЕЛЕМЕТРИЯ》 (1973), 并参考 Е. И. Чбергкин 《ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ ТЕЛЕМЕТРИЯ В ОКЕАНОЛОГИИ》 (1978) 以及其它资料编译而成。

编译者衷心感谢中国科学院声学研究所侯自强同志审定本书。水产科学研究院陈赭萍同志在确定专业术语时给予了热情的帮助，倪朔野同志协助绘图，陈达聪同志设计封面，在此谨致谢意。

限于我们的水平，书中不妥和错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编译者

1981年12月

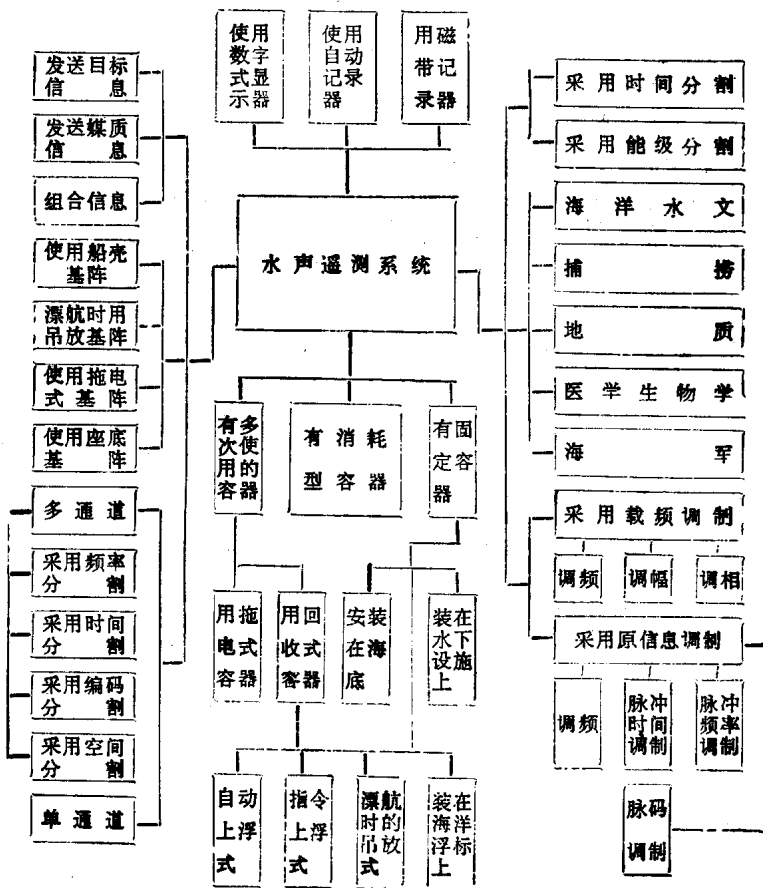
前 言

水声遥测系统不同于传统的无线和有线遥测系统，它必须通过非常特殊的水声通道，即通过全球不同海区的海水媒质传输测量结果。海水媒质极为复杂，传播过程中媒质对声能的吸收和波阵面扩展所导致的能量损耗都会使声信号明显衰减，而海面和海底对声波的折射和反射也对声传播特性的影响甚大。折射和反射导致多径传播现象，结果，载波信号的振幅和相位将随时间而变化，增大了信号检测的误差概率，海区内的某些点上甚至可能接收不到信号。此外，海洋中存在着大量的干扰声源。海水媒质的不均匀性和通道中时常出现自然和人为的随机干扰，也将使水声信号产生畸变。

水声遥测系统可根据传输信息的种类、用途、预测信息量、信号调制方法、装载传感器的潜水器的使用特点、接收基阵类型、遥测通道和数据记录方法等进行分类（见表1）。

按照传输信息的种类，遥测系统可分为传输目标信息、媒质信息和综合信息等类。所谓目标信息，指的是关于设备工作部件的温度、各种阀和转换器的状态、电动机转速等方面的信息。若为动目标，则应同时给出其运动速度、航向、实时坐标和下潜深度等数据。媒质信息包括媒质的各种物理参数，如海水媒质的物理参数就有水温、电导率、声速、流速和流向以及海洋噪声等。综合系统可以同时传输媒质和目标信息。例如，要正确地鉴定水下钻井设备的工作性能，获得海流和有关该设备倾斜度的信息就十分重要。

表1 水声遥测系统的分类



水声通道按照功用可分为遥测通道和远程信号通道、遥控通道和双向通信通道（见表2）。

水声遥测通道可按几何特性分类。最主要的几何特性是信息源与接收机的间距、与媒质边界的相对位置，以及它们之间的相对位置。设计水声遥测设备时，应特别注意几何特性。因为这些因素，例如几何作用距离、通信系统可能达到的最大功率和信息参数均受其制约。在发射装置功率参数相同的情况下，发射和接收基阵的相互位置、发射装置与媒质边界的相对位置以及垂直声速剖面均决定着接收的条件。

作用距离是通道的主要性能指标，它是指在一定的虚警概率和信号检测概率条件下，声源与接收器之间的距离。只有计算出声功率、通频带、频率和信噪比之后，才能确定作用距离。

利用表面声道、水下声道和远声照区现象可形成远程通道。近程通道是在严重折射（声速跃变层）条件下形成的。如果折射不甚严重或正确选择通道的几何参数来抑制折射，则会出现倾斜和垂直（或海底）传播时特有的中程通道。

水声遥测通道按其功率特征还可相对地分为小功率（小于20瓦）、中功率（小于1千瓦）和大功率（大于1千瓦）通道。

信息容量是水声通道的基本信息特征。此参数由遥测系统的作用距离、通带、声源功率和频率等决定。信息容量受自然媒质（通信线路）的影响甚大。通道的信息容量可相应地分为小容量（小于50比特）、中容量（小于1,000比特）和大容量（大于1,000比特）。

按照通道输入端和输出端上的信号形式，通道还可分

为：离散通道，即其输入端和输出端上均观测到离散信号；连续通道，即在输入端和输出端上观测到电平范围连续变化的信号。还有一种，输入端为离散信号，而输出端却是连续信号，或反之，即所谓离散-连续通道。

水声遥测系统与水声通信系统有许多共同之处，其主要差异是前者有自动连续信息源(传感器)，信息量大，而且搜集、记录数据的方法和设备也不同。此处，和水声通信系统相比，对水声遥测系统传输信息的可靠性要求更高，例如，必须达到：传输连续测量结果的误差不得超过0.1—1.0%，传输离散信息的误差不得超过 10^{-6} — 10^{-10} 。

就其使用的专门领域来说，该系统的用途有：海洋学、渔业捕捞、海军、潜水医学、生物学、海洋地质学等。还可能有一种系统用于多个领域的情况。

海洋水声遥测设备已成为海洋物理场信息采集、处理自动化成套设备的重要组成部分。

水声遥测系统中采取通用单位来表示对能级和时间的测量结果，或进行信息变换，其方法是：通过校准测量传感器来提供能级信息，根据绝对时标或利用读数的固定起点来定时。

水声遥测系统由船上设备(图1a)和自给式潜水器(图1b)组成，自给式潜水器中有传感器1、译码器2、调制器3、振荡器和功率放大器4以及声发射基阵5。倘若使用换接器，声学基阵5也可用于接收方式。电源是这种潜水器的重要部件。船上设备包括声接收基阵6、接收-放大通道7、检波器8、判读器9和显示器10。

自给式潜水器的使用方案有三种，即一次使用、多次使

用和固定式。通常，多次使用的有拖曳式、吊放式和随舰船漂航时间而定的回收式，以及在自动投放或自动设置后按照指令动作的上浮式等。固定式潜水器常固定在海洋浮标、水下钻井装置及其它设施上，或安装在海底。

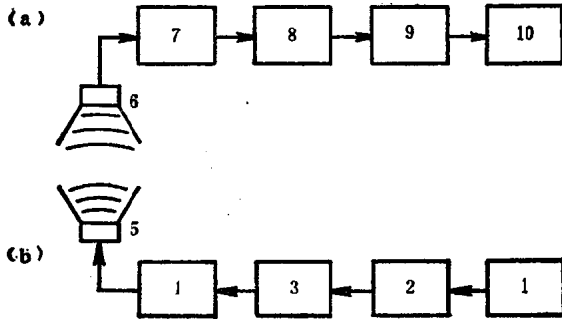


图1 水声遥测系统结构图

声接收基阵有多种安装方案：固定在船体上的称为船壳型；在船舶漂航时，由一舷吊放入水的称为吊放式；航行中拖于舰后的称为拖曳式，还有装在海底，由岸上系统接收遥测信号的海底式。

水声遥测系统中常使用自动记录器、磁带记录器和数字显示器来记录各种数据。近代水声遥测系统发展的特点之一，就是日益广泛地应用了基于船用数字计算机的实时数字信息处理方法。

水声遥测信号在水声信道中传播时将受到不规则强噪声的干扰。为了提高系统的抗干扰能力，应用了复杂的调制方法。人们还把采用频率分割、时间分割、密码识别和空间分割水声遥测系统分为单通道和多通道系统。在采用频率分割

通道的系统中,常用双频率(频率-频率)调制方法。若采用通道时间分割,则首先对传感器输出的信息进行初次脉冲调制,即时间-脉冲调制、脉冲宽度调制、脉码调制和脉冲调制,然后用获得的信号进行调幅、调频或载频调相。

水声遥测系统的参数和结构特点,在很大程度上受水声信道的制约,例如,遥测系统传输信息的速度和可靠性及其工作半径受声能损耗的影响极大。这一现象的成因是声信号在传播过程中的波前扩展、海水和海底对声波的吸收和散射。由于多卜勒效应和干涉现象的存在,媒质对水声遥测系统信息能量耗散的影响,也表现在信号相位和振幅的起伏变化上。

至今,对海水媒质的研究还不透彻,遥测系统要解决的课题名目繁多,加之对水声遥测问题还缺乏一致的观点和统一的方法,致使诸如判定有效作用距离、水声通道的通过能力和遥测信息传输速度的匹配,以及选定最佳工作频率等问题的解决非常棘手。所以本书对一些重要的问题均未涉及。

第一章 声信号在海洋中的传播条件

第一节 海洋物理场的时-空变化

水声遥测系统与海水媒质的相互作用极为复杂。自给式水声遥测系统的潜水器下潜到较大深度时，其各部分均要长时间承受很大的静水压，以及受到海流、溶解于海水中的盐份、微生物和其它许多因素的影响。这类系统可在考察工作或解决应用课题时，用于直接测量媒质状况的诸物理参数，其主要特点在于能够利用水声信号在各种传播条件下将发射器输出的信息传送到接收器。

可见，水声信号的传播条件主要视声速场的状况而定，声速场的参数又取决于海洋中每一点上的温度、盐度和压力值。为了合理地确定对水声遥测系统的总的要求，及其在海洋中的工作条件，必须扼要地说明海洋中流体物理场的主要特点。

不同海区和不同深度上水温的变化范围是 -2°C 至 $+38^{\circ}\text{C}$ ；平均温度是 $+3.8^{\circ}\text{C}$ ，海面温度则是 $+17.4^{\circ}\text{C}$ 。年温差的最大幅度达 18°C 。然而，大洋洋面的昼夜平均温差却不超过 $0.3-0.4^{\circ}\text{C}$ 。

从温度的垂直分布可以看出，表面暖水层和下面强大冷水层的分界。暖水区到冷水区的过渡水区即是所谓温跃层的比较薄的水层，其深度范围为 $50-200$ 米。上面水层到下面

水层之间深度每增大1米，温度随深度的变化（或垂直温度梯度）均不超过十分之几度。然而，在温跃层中，深度每增大1米垂直温度梯度可达1—2℃。

除上述平均值的时-空变化外，温度场还有小范围的起伏变化，这不仅导致声速场的相应变化，而且引起水声遥测信号失真。

海水的平均盐度是35‰，实际盐度范围是0—40‰。大洋中的盐度可达27—38‰，大洋表面盐度的年平均差不多，即不超过0.2‰，而在水深2,000—3,000米处仅为0.02—0.04‰。两极和有强淡水流的沿岸海域例外，两极海域中盐度变化幅值为0.7‰，沿岸海域盐度的年平均变化幅值为5‰。

盐度跃变层的存在是大部分海区中盐度垂直分布的特点，但与温度跃变层相比，其影响是次要的。深度每增加1千米，垂直盐度梯度平均为千分之几。盐度场也有小范围的起伏变化。

流体静压力是确定海水物理特性的主要参数之一，流体静压力的大小是由海水的密度、重力和深度决定的，其变化范围的上限视测量仪器的最大沉放深度而定。

海洋中的海流场和其它流体物理场一样，也有时间和空间变化。流速的最小值趋于零，而最大值却达5米/秒。

海洋中的声速平均值通常取1,500米/秒，极限值取1,400和1,600米/秒，年变化的最大幅值为50—60米/秒。海面声速昼夜平均变化值很少超过1—2米/秒。在温跃层〔注〕中深度每增加1米，垂直声速梯度达3—5米/秒，而其平均值则不超

〔注〕温跃层的生成是温度和盐度跃变的结果。

过0.5米/秒。

海洋声学原理^[36, 38]中指出, 声速场的不均匀性是水声信号起伏变化的原因所在。为了确定水声遥测系统的工作条件, 可以把描述给定频率范围内声速场不均匀性的起伏变化视为小范围的变化。

声速场和其它流体物理场参数的随机变化, 以后将用均方偏差、变差系数、方差、起伏频谱和其它统计特性来估算。从水声遥测系统工作海区测出的这些数值, 可以准确地推算出传送遥测信息的信号失真值。

各种物理场参数平均值随深度的变化远远超过水平方向上的变化, 认识到这一点对于正确测量上述各种海洋流体物理场是很重要的。由此可见, 大部分海洋物理场都具有明显的垂直层化倾向, 即具有分层结构。

在研制用于自动测量海洋流体物理场参数的成套设备——配套水声遥测系统时, 必须考虑到, 这些物理场空间不均匀性已达到8个数量级(1—10⁸厘米)。空间起伏的下限取决于海水的运动粘度, 而上限则决定于整个海洋。时间起伏范围^[27, 35]可由几分之一秒到更长的时间, 即10⁻²—10⁸秒。

根据上面谈到的各点, 我们可以确定对海洋水声遥测系统的基本要求为: 在复杂的海洋媒质中和允许的误差范围内, 应能遥测动态范围较大的那些数值。

第二节 海水的声学特性

海水中用以传输信息的声波频率一般为几赫至几百千

赫。水声遥测系统的常用频率范围约为5千赫至100千赫。我们先讨论一下，对这一频率范围内的信号在海洋中传播和接收有影响的基本水声特性：声速、衰减和海洋噪声。

根据水声原理，声波传播的波动方程为

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial r^2} \quad (1)$$

式中 ξ ——体积元位移量；

t ——时间；

r ——距离；

c ——波前传播速度。

从方程式(1)中可以看出，如果不考虑媒质边界的影响，声波的传播条件仅取决于每一点上的声速参数。

通常，用下面的关系式来计算海洋中任意一点上的声速：

$$c = \sqrt{K/\rho}$$

式中 K ——体积弹性系数； ρ ——密度。当水温为10℃，盐度 $S=15\%$ 时，系数 $K=2.16 \times 10^9$ 牛顿/平方米。

波前传播点上的水温、盐度和压力决定着体积弹性系数 K 和密度 ρ 。上述诸因素的变化范围也很大，这一点第一节中已有说明。

海洋中声速与温度 T 、盐度 S 和流体静压力 P 的关系由实验结果来确定。为了确定这种关系，曾推导出几个冗长的公式^(49, 50, 54)，不过目前普遍应用的仍是威尔逊公式⁽⁶⁴⁾。苏联海军航海保障部门已于1965年出版了根据此公式制成的表。按照这些表计算声速的误差为 $\pm(0.5-0.6)$ 米/秒。前不久又推导出一个公式⁽⁵⁴⁾，用此公式可使声速计算误差