

海洋混响统计性质研究中的新问题

В. В. 奥尔雪夫斯基(Опшевский)

一、海洋混响统计特性研究的主要结果

1. 四十年代, 主动声响在了解水下状况中开始起重要作用, 接收有用信号时, 同时也收到所谓发射信号的余振, 它是与声波在水介质中的各种非均匀性和各个边界上的散射有关的。水介质对发射信号的这种“响应”叫做海洋混响。不久就注意到海洋混响是随机性的, 并开始用统计方法来表示它。

考虑到海洋混响的统计性质的第一批研究论文发表在四十年代末, 有苏联的 Ю. М. Сухаревский^[1], 还有一些美国科学家^[2]。在五十年代后半和六十年代初, В. В. Опшевский 对海洋混响的统计特性和模型进行一系列的理论和实验研究^[3,4,7-9], 还发表了论述、总结这个问题的专著^[12]。六十年代还有 Н. R. Carleton^[5]、B. F. Cron 和 W. R. Schumacher^[6]、P. Faure^[10]、В. В. Опшевский^[13,17-19], 以及其他人的论文^[11,14]发表。美国科学家 D. Middleton 在六十年代末对海洋混响统计性质的研究作出重大贡献^[15,16], 最近他在这方面又发表过文章, 并有一系列著作^[25-28,33]。七十年代有一些国外的论文^[20,38], 也有很多苏联人的研究工作^[21-24,29-32,34-36,39-43]。

海洋混响统计性质的研究已经进行了大约三十年了。但是, 即使在目前, 这方面的研究仍然引起水声工作者的密切注意, 使人不断感兴趣的主要原因是:

第一、海洋混响是复杂的声学现象, 声波的散射、反射、折射和衰减都是形成其复杂性的因素, 而且, 混响的性质还受系统特性的影响, 如换能器的辐射图案、发射信号、数据处理运算方法等。至今还没有在这么复杂的形式下研究混响的性质。

第二、很多理论和应用的问题都需要更加细致的反映混响性质的资料才能解决, 这些问题越来越多。混响对水中定位来说是干扰, 但利用它的特性, 也可以确定散射非均匀性和声波的折射等性质。因为混响是水解质对发射信号的“响应”, 它自然就带着最完整的声学信息, 能反映出介质和它的边界的各种水文物理性质。在这个意义上, 混响是人类研究海洋的有力工具。

第三、混响的性质与经典的高斯平稳遍历过程相距甚远, 其差别一方面隐含了形成混响的机理, 另一方面, 对解决很多主动水声设备的应用问题又是很重要的。

我们下面简明地介绍一下[1—43]各文中得到的海洋混响的统计性质的主要结论。

2. 在[1—20, 24—30, 33, 35—43]各文中分析了海洋混响的概率模型。混响这个随机过程的概率模型被表示为有物理与工程意义的函数与数值, 根据这些可以计算为解决所必需的概率特性。对混响的离散模型研究得最多, 假定组成混响的元散射信号的数目是平稳泊松过程。这个模型可以计及声波的最简单的传播特性, 散射体的空间分布, 它们的运动, 发射信号类型, 换能器的特性及其配置。最后求出混响和它的正交分量、包迹和相位的一维

分布、空间、时间相关函数以及功率谱。分析过混响的概率分布偏离高斯分布的可能原因，也研究了混响的时间非平稳性和空间非均匀性。我们注意到，在研究混响的概率模型时，对远程(多途)混响与宽带信号的混响注意得不够。此外，研究随机过程的模型的现代化方法要求研究混响的模拟，这一研究才刚刚开始，总的说来开展得还非常不足。

3. [1—4、6—9、12、14、20—23、27、28、31、32、34、36、38]等文讨论了海洋混响的统计特性的实验研究。原理上，实验研究的主要问题是检验某一种概率模型表示的混响概率特性时所用的统计分析是否合适。所有已知的文章和上面列出的文章都对三种类型的特性作了实验研究：混响的一维分布、相关函数和功率谱，在大多数情况下这些实验只是定性的，而不是定量的。特别指出[6、27、28、34、36、38]等文章，其中用以进行统计分析的样本积累了相当大量的混响数据，而可以用来检验各种假设，即用可能的模型来表示混响特性的适用性。

用实验方法研究混响的统计性质已获得下列主要结果：混响和它的正交分量的瞬时值可以满意地用高斯概率分布来表达；混响的包迹接近瑞利分布，相位接近均匀分布规律；混响的频谱和相关特性主要决定于发射信号的类型，但是在某些情况下(宽脉冲发射信号)，这些特性也受散射体和换能器运动和混响的非平稳性的影响。总之，证明实比近程混响可以满意地用离散模型来代表，它是具有随机参量的微小元散射信号的迭加。

我们说过在用实验方法研究混响的统计特性时，对远程混响的探讨关心得非常少；此外，在大多数实验中，实验和统计量测的方法不正确，得不到定量的结果。不过，实验研究的主要缺点还是完全没有认真注意在实验的同时监测与研究水介质及其边界的水文物理特性；这当然就大大降低这种实验的价值，不能认为是普遍的、有代表性的及足够完整的。

二、今后待研究的课题

4. 本文第一部分已经总结了三十年来研究海洋混响统计性质的主要结果。在讨论现有问题之前，让我们看一看现阶段统计水声学发展的主要特征。

首先，对水声随机过程的改进模型已经从物理上与形式上提出更加严格的要求，而且这些要求往往是互相矛盾的，有必要求得折衷的解决方法。

其次，由于声波在水介质中的传播条件多种多样，也因为对很多系统的问题求得正确的解十分困难，必须对水声过程进行模拟。

第三，通过实验研究估算被测过程的统计特性，得到定量数据，使得有可能把这些数据与对应的数学模型相比较。

第四，要解决若干理论和应用的统计水声学的问题，需要根据水介质及其边界的水文物理性质，预报各种声学过程的特性。

根据已作工作，我们下面提出目前研究海洋混响统计性质时应解决的几个课题。

5. 要建立海洋混响概率模型，首先必须考虑声波在传播时在介质中的折射及从边界的反射现象。声束概念，尽量联系波动概念，加上足够完善的近程混响模型，可以推导出比较完整的理论。[25、26、33、41、42]等的研究想解决这个问题，但仅是向这个方向认真探讨的开始。同时，系统特性(发射信号、换能器、处理水声信息的运算方法)的发展在建立远程混响模型中起了重要作用。这个条件从外表上看来似乎很简单，但因为传播条件、散射和系统的条件的多种多样的组合就变得复杂了。研究由于多次散射和散射体的密度有变化的效应引起的散射体的相关性的混响统计特性的影响也是重要的方向。远程混响的统计理论的发展特

别给解决逆课题——根据海洋混响的特性求水介质及其边界的各种声学特性——奠定了基础。此外，只有在这个理论上才能正确设计实比实验研究的方法，并定量地分析得到的结果。远程混响统计理论有两个重要方面，一方面在于它在物理和工程上都很好地符合实际情况，另一方面在于能包含输入数据、混响的模型与概率特性的影响。从这个观点来看，把“介质的脉冲响应”与声波传播的声束理论结合起来是很重要的工具。

6. 混响的模拟是研究的新方向。在这里指出两种模拟方法——数字的和物理的。

让我们先看看数字模拟混响的方法，是最近几年刚刚随着计算机的容量显著加大而发展起来的，现在只有几篇文章论及这个问题[36—40、43]。在数学模拟中，我们把一种或另外一种混响模型实现为随机过程，是由一组表示散射体、水介质及其边界的各种各样特性的模型形成的。用数字模拟研究混响的显著优点是有可能任意调查，以适应输入的模式、模式的组合、模拟模型的适应性和声响参数在统计学方面的发展。这个研究方面的重要性怎样估计也不算过高，因为它开辟了用海洋混响研究，包括大量目的在于建立实比混响特性及其数字模型的实验研究来同时解决大量物理和系统问题的唯一可能性。

物理模拟可以简单理解为找出一组混响模型，在人工条件下(在水槽或水池中)观测与实际成比例相似的规律。这种条件下，有可能改变并监测混响研究的环境条件，以在物理上与统计上适应被测现象，这是很重要的。而困难首先在于物理模拟带来的比例的影响。

7. 海洋混响特性的定量实验研究包括实比研究和统计量测，目的分别是检验各种假设和找出适应每种模型的混响特性。文献[6、27、28、36—38]分别评述了定量的实验研究，是探讨这个问题的。但是在这个方向中还有下列大量互相关联的问题，诸如：设计以检验统计假设为目的的实验，获取有选择性的混响数据组，进行所研究的混响特性的统计估算，以得到最高精度的观点来进行统计量测的最佳化，最后，从一种可能的混响模型中得出估算值的定量数值。实质上，只有解决了上面提到的那些复杂问题才能谈到定量实验，而从实验中才能找出对应于给定的观测条件组合的最合适的混响模型。

如果还要讨论更特殊的混响实验研究问题时，就应该提到混响的非平稳性的研究，相干混响的作用，空间统计特性的确定，以及待研究的信号和混响的联合特性的研究。

8. 海洋混响预报也是研究的新方向。分析解决逆问题的正确性的条件，以及研究随着水介质及其边界的水文物理特性而变的干扰——混响特性，首先得出需要预报的结论。声波传播的特性比较容易预报，人们能够知道怎样预报水介质及其边界的散射性质，但却不知道怎样预报混响。原因首先是海洋混响现象是非常复杂的，其次，混响的特性还受系统特性的影响。混响的预报是一个更进一步的问题，假定的基础包括概率模型、模拟计算的结果和定量实验的结果。可以毫不夸张地说：我们预报海洋混响的质量在很大程度上可以标志我们对海洋声学特性的总和的知识。

三、结论

到此，我们已讨论了海洋混响统计性质研究的主要结果和现存的问题。

尽管三十年来集中研究了这种现象，海洋混响现在仍是水声工作者注意的问题。统一混响模型的发展包括下列主要方向：

1. 改进远程(多途)混响的概率模型，包括传播、散射和系统特性的重要因素。
2. (数字和物理方法)模拟海洋混响。
3. 进行包括统计量测的定量实验研究。

4. 发现预报海洋混响的方法。

参 考 文 献

- [1] Сухаревский Ю. М., ДАН СССР Т.58, Н. 5, 1947.
- [2] 水声学物理基础(中译本)科学 1958.
- [3] Ольшевский В. В., Отчет Акуст. Института, 1956.
- [4] Ольшевский В. В., Отчет Акуст. Института, 1957.
- [5] Carleton H. R., JASA V.33, N.3, 1961.
- [6] Cron B. F. and W. R. Schumacher, JASA, V.33 N.7, 1961.
- [7] Ольшевский В. В. А. Ж. Т.9, Н.4, 1963.
- [8] Ольшевский В. В. А. Ж. Т.10, Н.1, 1964.
- [9] Ольшевский В. В. А. Ж. Т.10, Н.2, 1964.
- [10] Faure P, JASA, V.36, N2, 1964.
- [11] Антонов В. П. и В. В. Ольшевский, А. Ж. Т.11, Н3, 1965.
- [12] 奥尔雪夫斯基: 海洋混响统计特性 科学 1977.
- [13] Ольшевский В. В. Труды Дкустического Института Н.3, 1967.
- [14] Horton, C. W, S. K. Mitchell, G. R. Barnard, J. A. S. A. V.40, N3, 1967.
- [15] Middleton D, IEEE IT-13 No.3, 1967.
- [16] Middleton D. IEEE IT-13 No.3, 1967.
- [17] Ольшевский В. В., Труды Акуст. Инст. Н. 2, 1967.
- [18] Ольшевский В. В., Доклады на шестой всесоюзной Акустической Конференции, Москва, 1968.
- [19] Ольшевский В. В. А. Ж. Т.15, Н.2, 1969.
- [20] Urick R. J., G. R. Land, JASA V.47 N.3, 1970.
- [21] Паперно В. И и А. И. Паперно, Вторая Всесоюзная Семинарная Школа о статистической Гидроакустике СО АН СССР Издательство Наука, 1971.
- [22] Емельяненко И. Е., Е. Б. Либенсон, А. И. Паперно 同上.
- [23] Нальгачев, В. Б., С. П. Рокотов, И. И. Шилович. 同上.
- [24] Ольшевский В. В. Отчет Акустического Института 1972.
- [25] Middleton, D., IEEE IT-18 No.1 1972.
- [26] Middleton D., IEEE IT-18 No.1 1972.
- [27] Plemons T. D., J. A. Shooter, D. Middleton, JASA, V.52, N.3, 1972.
- [28] Plemons T. D, J. A. Shooter, D. Middleton JASA V.52. N3 1972.
- [29] Блок А. В., В. В. Ольшевский, Третья Всесоюзная Семинарная школа о статистической Гидроакустике Москва, 1972.
- [30] Ольшевский В. В. 同上.
- [31] Яковлев А. Н. 同上.
- [32] Емельяненко И. В, Е. В. Либенсон, А. Ф. Палий, А. И. Паперно, 同上.
- [33] Middkton D., Абстракты Докладов на Восьмой Всесоюзной Акустической Конференции, Москва, 1973.
- [34] Антонов В. П., А. А. Кузьменко, Т. А. Мороз, Л. М. Чибисов, 同上.
- [35] Мороз Т. А., Четвертая Всесоюзная Семинарная Школа о Статистической Гидроакустике, СО АН СССР. Издательство Наука 1973.

- [36] Антонов В. П., Т. А. Мороз, В. В. Ольшевский Пятая Всесоюзная Семинарная Школа о статистической Гидроакустике СО АН СССР Издательство Наука 1974.
- [37] Ольшевский В. В. Статистические Методы в Гидролокации, Ленинград, Издательство Судостроение 1973.
- [38] Tobst W. J. T. J. Smits, *JASA*, V.55, N.2, 1974.
- [39] Ольшевский В. В. Шестая Всесоюзная Семинарная Школа о Статистической Гидроакустике
- [40] Ольшевский В. В., В. А. Панфилов, 同上.
- [41] Кудрявцева О. П., В. В. Ольшевский 同上.
- [42] Ольшевский В. В. О. П. Кудрявцева Доклады Первой Дальневосточной Акустической Конференции, Владивосток 1974.
- [43] Ольшевский В. В., В. А. Панфилов. 同上.

原载 Владивосток, Акустические Методы и Средства Исследования Океана. Тезисы Докладов Первой Дальневосточной Акустической Конференции, "Человек и Океан" Часть 1 174—184 页

转译自美国 *JPRS* 65947, pp.187—196

李允武译

(上接第27页)

- [35] H. U. Sverdrup and W. H. Munk, "Wind, Sea, and Swell: Theory of Relations for Forecasting," U. S. Hydrographic Office Publication No.601 (U. S. Hydrographic Office, Washington, DC, 1947).
- [36] B. Kinsman, *Wind Waves* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1965).
- [37] G. Neumann and W. J. Pierson, Jr., "A Detailed Comparison of Theoretical Wave Spectral and Wave Forecasting Methods," *Dtsch. Hydrogr. Z.* 10, 73-92; 10, 134-146 (1957).
- [38] W. J. Pierson, Jr. and L. Moskowitz, "A Proposed Spectra Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii," *J. Geophys. Res.* 69. 5181-5190 (1964).
- [39] V. M. Kudryashov, "Combination Normal Mode-Ray Technique for the Calculation of Sound Fields in Waveguides," *Sov. Phys.—Acoust.* 22, 406-408 (1976).

译自 *J. A. S. A* Vol.63, No.3 March 1978

凌雷兴译 蒋继萍校