

# 水声模拟

原理、技术和应用

《水声模拟》翻译组译

船舶总公司七院第七一五研究所

李

74.9.15

# 水 声 模 拟

原理、技术和应用

(美) 保罗 C. 艾特著

《水声模拟》翻译组译

船舶工业 第七研究院第七一五研究所  
总 公 司

一 九 九 四 年 四 月

---

## 内 容 提 要

本书是一本关于水声模拟的专著。全书分十一章，第一章给出水声模拟技术的分类框架，第二章介绍与声学有关的海洋学知识，第三章到第九章论述关于海中传播、噪声和混响的观测结果和模型，第十章把第三到第九章的内容综合到声呐性能模型中，第十一章说明模型的评估过程。

本书可供水声专业科研、设计和管理人员以及有关高校师生参考。

## Underwater Acoustic Modeling Principles, Techniques and Applications

Paul C. Etter

Elsevier Applied Science

London and New York, 1991

---

## 水 声 模 拟

原理、技术和应用

《水声模拟》翻译组译

第七一五研究所印刷

(内部资料)

## 前 言

水声模拟的基本问题是把水声物理知识转变成可用计算机处理的数学公式。水声模型可用于水下防务和海洋地震学等领域的各种研究和实际应用方面。在过去几十年里所建立的模型，无论在数量上还是在类型上，都取得了显著的进展。这种进展反映了水声模型已广泛地用于解决实际问题，也反映了在计算能力方面有了显著的提高。

促进水声模型发展的主要动力是海上防务。从事反潜战(ASW)和有关水下防卫训练的研究人员，都使用水声模型来解释和预报海中声学条件，用以支持声呐设计和声呐使用。因此，本书把重点放在了对解决声呐性能问题特别有用的那些模型上。

水声模型的实际使用者和可能的使用者，一般对模型公式的形成并不十分了解。结果，人们对模型的能力和局限就知道的很少，因而往往不能正确使用模型。此外，现有模型数量繁多，也使选择模型的过程过于麻烦。

本书是为具备基本水声知识但对水声模拟的各个方面还不很熟悉的人而写的。书中给出了详细的数学推导，以说明模型公式的形成过程；为帮助读者选择和正确应用这些模型，还提供了许多指导性图表。在综合的一览表中，列出了现有的模型和有关文件。

全书内容分为十一章。先后次序遵从建立声呐模型的层次方法所指出的结构。第一章介绍水声模型的类型，给出水声模拟技术分类的框架，并定义模拟研究中常用的术语；第二章叙述认识声学现象所必需的海洋学诸方面；第三章到第九章论述关于海中传播、噪声和混响的观测结果和模型；第十章是把第三章到第九章的内容综合到声呐性能模型中；最后，第十一章说明模型评估的过程。

自1982年以来，我就为马里兰州银泉市技术服务公司开办并讲授一系列短期强化课程。这一课程的早期版本是与美国天主教大学的罗伯特·尤立克教授共同讲授的，尤立克教授讲解水声测量，我则评述有关的模拟技术。后来该课程合二为一，由我独自讲授，为保持教材的连续性，经尤立克教授允许，我引用了他几本书中的大量内容。讲授这一课程的成功促使我将学习班的讲义出版成书。

在水声领域已出版了许多名著。虽然有些书谈到了传播模拟问题，但还没有一本关于水声模拟技术现代发展状况的专著。本书专门讨论水声模型的整个领域，包括环境模型、传播模型、噪声模型、混响模型和声呐性能模型。

在本书中我有意保留了被我引用的文章的作者所使用的符号、术语和公式。我还有意地强调了海洋学的各个方面，因为我的经验表明，许多声学家还不怎么了解海洋作为一种声介质所起的复杂作用。反过来，海洋学家也往往不了解水声作为一种遥感技术所具有的巨大潜力。

保罗 C. 艾特

## 译者的话

《水声模拟》是《Underwater Acoustic Modeling》一书的中译本。水声模拟的首要任务是建立水声模型。因该书涉及到水声模拟的多方面内容(包括模拟原理、技术、应用等)，“Modeling”一词也具有多种含义，故这里概括地将其译成“模拟”。这里所说的模拟，不是基于相似原理的相似模拟问题，而是指对水声环境特性、基本水声理论和声呐性能进行模拟，即建立水声物理模型或数学模型，特别是指把水声物理知识转变为可用计算机处理的数学公式，为声场预报和计算机辅助设计建立实用水声模型。

近几十年来，模拟技术在水声领域得到了迅速发展。在不断发展的水下防卫的推动下，业已建立了大量的各种类型的水声模型。正如作者所说，水声这门学科正从观测阶段向预报阶段过渡。情况表明，水声理论的模型化，从简化假设下的简单模型走向考虑复杂环境和复杂效应的更加完善的模型，从占有和使用少量有限的数据库走向建立和运用大型完整的综合数据库，从一般的估计走向更精确的预报，从短期局部预报走向长期大范围乃至全球预报，将成为今后水声发展的一个重要趋势。

水声模拟问题与军事密切相关。过去出于保密，只在某些水声著作中一般地涉及到模拟问题，且主要是传播模拟，对已建立的实用水声模型则很少公开发表。《水声模拟》一书是关于水声模拟现代发展状况的专著，全面地叙述了水声模拟的原理、技术和应用，几乎涉及到水声模拟的整个领域。它特别引证了许多未发表的图表和文献，对有代表性的模型作了较详细的描述，还对现有的各种水声模型作了分类汇总。该书为我国水声科技工作者了解国外水声模拟发展状况提供了重要的参考资料，它对推动和加速我国水声模拟研究和水声工程的发展也具有很好的参考价值和借鉴作用。

为了方便，译文中的公式、插图和参考文献基本沿用了原著的格式，只在个别地方作了一点变动。

该书第一、二章由王燕麟翻译，第三、五章和附录由张润中翻译，第四章由朱锦韩翻译，第六、七、八、九章由唐宗瑜翻译，第十、十一章由凌国民翻译。王燕麟和凌国民还审读了全文。全书由张润中和唐宗瑜负责总的审校和编辑。由于译者学识疏浅，译文中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

该书的翻译得到了七一五所有关所、室领导的大力支持。研究员级高级工程师官先仪还为中译本的出版写了专文，特别强调了建立完善的声场模型对匹配场处理的重要作用。在编辑出版过程中，王淑华和其他同事给予了热情帮助。在此一并表示感谢。

1994. 3. 30

## 匹配场处理：模基信号处理的一面旗帜

宫先仪

匹配场处理(Matched-Field Processing)于70年代兴起,近十年得到了蓬勃发展。我国水声界的一些学者和专家也做过一些理论和实验研究,并有意在“九五”期间将匹配场处理作为重点课题,深入研究工作。

把信道(海水介质,表面和底质特性)知识引入空-时信号处理,是改善声呐目标检测、定位和分类性能的一条必由之路。在声信号平面波模型假设下,目前普遍采用的传感器阵波束形成技术只能提供声源的方位信息,而且信号是在上有面、下有底、中间的SVP(声速剖面)与深度极为有关的海洋中传播,其模型显然偏离平面波波阵面形式;此时,这种常规波束形成的权向量(Steering Vector)必然与信号场的拷贝向量(Replica Vector)不相匹配,从而导致检测性能下降。

二战期间及之后,美国人在大量水声考察的基础上,对水声建模(Underwater Acoustic Modeling)做了卓有成效的工作。这种建模以传播模型为基础,包括物理模型和数学模型。1991年出版的P.C.Etter的这本书《水声建模》,其有关章节曾于1982年在R.J.Urick的《海中声传播》一书中作为一章发表(第三章:水声建模技术)。Etter做了别开生面的工作。从物理模型脱颖而出的数学模型,提供了声呐阵处理所需要的、在统计意义上逼真于实际海洋传播条件的信号拷贝向量。

复杂的(Sophisticated)传播模型提供了更多的信息,而且摆脱了平面波假设的这种模基(Model-based)空-时匹配场处理,可以做到对声源三维定位,即不仅测向(方位),还能测距(水平距离)和定深。对于更深入一步的目标分类问题,匹配场处理也为提取目标自身的信号特征(Signature)开辟了新途径。

匹配场处理面临着三要素,一是声源,二是传播介质,三是空间分布的传感器阵(垂直或水平)。前面说的声源定位是属于已知第二和第三个要素求解第一个要素的问题。第二个问题是已知第一和第三个要素反演介质特性,即声层析(Tomography)问题。第三个问题是已知第一和第二个要素确定传感器阵阵元位置和阵形,即所谓水下阵查勘(Surveying)问题。因此,在这面模基信号处理的旗帜下,召集了国际和国内一大批水声界和声呐界知名人士和他们的学生们从事广泛而深入的研究工作,其中包括这篇短文推荐的一篇参考文献的作者之一、著名科学家David Middleton(他曾在1960年出版专著《统计通讯理论导论》)。

声场建模本身需要发展,不仅考虑介质的确定性,而且还应当考虑随机性。另一方面,模基信号处理方法显然不能依赖于空-时任一位置上处理的权向量和

声场的拷贝向量百分之百地相一致，而必须加强失配性研究，寻求有效的宽容性(Robustness)处理方法。

在匹配场处理研究中，《水声建模》一书的理论和方法显然可以借鉴，但建立适用于我们需要的传播、噪声和混响(对应于主动匹配场处理)模型，却是必须依靠我们自己的工作。何况，这本书所附参考文献中有关具体模型的算法和程序大概是找不到的。

### 参 考 文 献

Sullivan EJ and Middleton D. Estimation and Detection Issues in Matched-Field Processing. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1993, 18 (3)

# 目 录

第一章 绪言 .....	(1)
1.1 背景 .....	(1)
1.2 测量和预报 .....	(2)
1.3 模拟研究的发展 .....	(3)
第二章 声学海洋学 .....	(4)
2.1 背景 .....	(4)
2.2 物理和化学性质 .....	(4)
2.2.1 温度分布 .....	(5)
2.2.2 盐度分布 .....	(5)
2.2.3 水团 .....	(7)
2.3 声速 .....	(8)
2.3.1 计算和测量 .....	(8)
2.3.2 声速分布 .....	(9)
2.4 边界 .....	(14)
2.4.1 海面 .....	(14)
2.4.2 冰盖 .....	(14)
2.4.3 海底 .....	(16)
2.5 动态特征结构 .....	(18)
2.5.1 大尺度特征结构 .....	(18)
2.5.2 中尺度特征结构 .....	(20)
2.5.2.1 锋面和涡旋 .....	(20)
2.5.2.2 内波 .....	(23)
2.5.3 小尺度特征结构 .....	(24)
2.6 生物 .....	(25)
第三章 传播 I: 观测和物理模型 .....	(26)
3.1 背景 .....	(26)
3.2 现场测量方法 .....	(26)
3.3 基本概念 .....	(27)
3.4 海面边界 .....	(31)
3.4.1 前向散射和反射损失 .....	(32)
3.4.2 虚源干涉和频率效应 .....	(32)
3.4.3 气泡层 .....	(33)



3.4.4 冰的作用 .....	(33)
3.4.5 测量 .....	(34)
3.5 海底边界 .....	(35)
3.5.1 前向散射和反射损失 .....	(35)
3.5.2 干涉和频率效应 .....	(37)
3.5.3 沉积物引起的衰减 .....	(38)
3.5.4 测量 .....	(38)
3.6 衰减和吸收 .....	(39)
3.7 海面波导 .....	(39)
3.7.1 混合层的分布 .....	(39)
3.7.2 一般传播特性 .....	(42)
3.7.3 低频截止 .....	(44)
3.8 深海声道 .....	(47)
3.9 会聚区 .....	(47)
3.10 可靠声路径 .....	(48)
3.11 浅海波导 .....	(48)
3.12 北极区半声道 .....	(49)
3.13 相干性 .....	(51)
第四章 传播 II: 数学模型 (第一部分) .....	(52)
4.1 背景 .....	(52)
4.2 传播模拟的理论基础 .....	(52)
4.2.1 波动方程 .....	(53)
4.2.2 模拟技术的分类 .....	(54)
4.3 射线理论模型 .....	(55)
4.3.1 基本理论 .....	(55)
4.3.2 焦散线 .....	(56)
4.3.3 高斯型声束轨迹 .....	(57)
4.3.4 与距离的关系 .....	(57)
4.3.5 声线抵达结构 .....	(58)
4.3.6 声束位移 .....	(60)
4.4 简正波模型 .....	(61)
4.4.1 基本理论 .....	(61)
4.4.2 简正波解 .....	(61)
4.4.3 频散效应 .....	(63)
4.4.4 实验测量 .....	(63)
4.4.5 与距离的关系 .....	(65)
4.4.6 高频适用性 .....	(65)
4.5 多路径展开模型 .....	(65)

4.6 快速声场模型 .....	(65)
4.7 抛物型方程模型 .....	(66)
4.7.1 基本理论 .....	(66)
4.7.2 数值技术 .....	(68)
4.7.3 大角度和三维适用性 .....	(68)
4.7.4 距离-折射修正 .....	(68)
4.7.5 高频适用性 .....	(69)
4.7.6 时域应用 .....	(69)
4.8 RAYMODE 模型——一个具体例子 .....	(69)
4.9 数值模型总汇 .....	(74)
<b>第五章 传播II: 数学模型(第二部分)</b> .....	<b>(78)</b>
5.1 背景 .....	(78)
5.2 海面波导模型 .....	(78)
5.2.1 射线理论模型 .....	(78)
5.2.2 波动理论模型 .....	(79)
5.2.3 海洋学混合层模型 .....	(80)
5.3 浅海波导模型 .....	(82)
5.3.1 浅海传播特性 .....	(82)
5.3.2 最佳传播频率 .....	(82)
5.3.3 数值模型 .....	(83)
5.3.3.1 上坡传播 .....	(84)
5.3.3.2 下坡传播 .....	(86)
5.3.4 经验模型 .....	(86)
5.3.4.1 Rogers 模型 .....	(86)
5.3.4.2 Marsh-Schulkin 模型 .....	(88)
5.4 北极区模型 .....	(89)
5.4.1 北极区环境模型 .....	(89)
5.4.2 北极区传播模型 .....	(90)
5.4.3 数值模型 .....	(90)
5.4.4 经验模型 .....	(90)
5.4.4.1 Marsh-Mellen 模型 .....	(91)
5.4.4.2 Buck 模型 .....	(91)
5.5 对支援数据的要求 .....	(92)
5.5.1 声速剖面的综合 .....	(92)
5.5.1.1 分段等梯度 .....	(93)
5.5.1.2 曲线梯度或连续梯度 .....	(94)
5.5.2 地球曲率修正 .....	(94)
5.6 特殊应用 .....	(94)

5.6.1 随机模拟 .....	(95)
5.6.2 宽带模拟 .....	(95)
5.6.3 匹配场处理 .....	(96)
5.6.4 变换方法 .....	(96)
5.6.5 混沌 .....	(96)
5.6.6 三维模拟 .....	(96)
5.6.7 海洋锋面和涡旋 .....	(97)
5.6.8 海洋学-声学耦合模拟 .....	(99)
5.6.9 声层析技术 .....	(100)
<b>第六章 噪声I: 观测和物理模型 .....</b>	<b>(101)</b>
6.1 背景 .....	(101)
6.2 噪声源和噪声谱 .....	(101)
6.2.1 地震噪声 .....	(103)
6.2.2 航运噪声 .....	(103)
6.2.3 生物噪声 .....	(103)
6.2.4 风雨噪声 .....	(104)
6.3 与深度的关系 .....	(105)
6.4 指向性 .....	(105)
6.5 北极区的环境噪声 .....	(106)
<b>第七章 噪声II: 数学模型 .....</b>	<b>(108)</b>
7.1 背景 .....	(108)
7.2 噪声模拟的理论基础 .....	(108)
7.3 环境噪声模型 .....	(109)
7.4 RANDI模型——一个具体例子 .....	(110)
7.4.1 传播损失 .....	(110)
7.4.2 噪声源和噪声谱 .....	(110)
7.4.3 指向性 .....	(112)
7.5 噪声凹陷 .....	(113)
7.6 波束噪声统计模型 .....	(114)
7.7 对支援数据的要求 .....	(115)
7.8 数值模型总汇 .....	(115)
<b>第八章 混响I: 观测和物理模型 .....</b>	<b>(119)</b>
8.1 背景 .....	(119)
8.2 体积混响 .....	(119)
8.2.1 深水散射层 .....	(119)
8.2.2 柱散射强度或积分散射强度 .....	(120)
8.2.3 垂直散射股流 .....	(121)
8.3 界面混响 .....	(121)

8.3.1 海面混响 .....	(121)
8.3.2 冰下混响 .....	(121)
8.3.3 海底混响 .....	(122)
<b>第九章 混响II: 数学模型</b> .....	(124)
9.1 背景 .....	(124)
9.2 混响模拟的理论基础 .....	(124)
9.3 单元散射模型 .....	(125)
9.3.1 体积混响理论 .....	(125)
9.3.2 界面混响理论 .....	(126)
9.4 REVMOD 模型——一个具体例子 .....	(127)
9.5 双基地混响 .....	(130)
9.6 点散射模型.....	(131)
9.7 数值模型总汇 .....	(132)
<b>第十章 声呐性能模型</b> .....	(134)
10.1 背景 .....	(134)
10.2 声呐方程 .....	(134)
10.3 NISSM 模型——一个具体例子 .....	(136)
10.3.1 传播 .....	(136)
10.3.2 混响 .....	(138)
10.3.3 目标回声 .....	(139)
10.3.4 噪声 .....	(140)
10.3.5 信噪比 .....	(140)
10.3.6 检测概率 .....	(141)
10.3.7 模型输出 .....	(141)
10.4 模型操作系统 .....	(144)
10.4.1 系统结构 .....	(144)
10.4.2 声呐模拟函数 .....	(145)
10.4.3 系统的使用 .....	(147)
10.5 数据源和可用性 .....	(147)
10.6 数值模型总汇.....	(150)
<b>第十一章 模型评估</b> .....	(151)
11.1 背景 .....	(151)
11.2 过去的评估工作 .....	(151)
11.3 基准解析解.....	(152)
11.4 精度的定量评价 .....	(152)
11.5 POSSM 的经验——一个具体例子 .....	(155)
11.6 评估的指导原则 .....	(157)
11.6.1 文件编制 .....	(157)

11.6.2 验证 .....	(158)
11.6.3 有效性 .....	(158)
11.6.4 可维性和可用性 .....	(158)
11.7 文件编制标准 .....	(159)
参考文献 .....	(161)
附录1 缩略语 .....	(183)
附录2 术语汇编 .....	(189)

# 第一章 绪言

## 1.1 背景

由于军用声呐和海洋地震学的实际需要，水声领域在过去的四十年中得到了多方面的发展。本书的重点放在为在声呐上应用(相对在地震上应用)而建立的水声模型上。

自1960年以来，为了分析现场实验所采集的数据，已把大量的工作放在了模型开发方面。这些模型已被用于预报声学条件，供制定海上实验计划、设计最佳声呐系统以及预测声呐在海上的性能使用。模拟方法已经成为研究人员和分析人员在实验室条件下模仿声呐性能的主要手段。它也为在不同的环境条件下从参数上研究设想的声呐方案的性能以及在不同海区和季节条件下估计现有声呐性能提供了一种有效的方法。

本书将水声模型分成物理模型和数学模型，并对两种模型进行了讨论。物理模型是对海洋中出现的物理过程在理论上或概念上进行描述。有时也使用同义术语“分析模型”。数学模型包括经验模型(基于观测的模型)和数值模型(基于控制物理过程的数学表达式的模型)。这里把相似模拟问题定义为利用适当的海洋比例系数在水槽进行可控的声学实验，它不包含在本书范围之内。Zornig(1979)对声学相似模拟问题已作了评论。

对作为数学模型基础的物理模型，在过去一段时间内人们已经有了相当的了解。然而将物理模型过渡到可操作的计算机模型却受到了几种因素的阻碍：计算机能力的限制；数学方法的无效；用于模型初始化和评估的海洋学和声学数据的不足。

本书将论述三大类模型：环境模型、基本声学模型和声呐性能模型。

第一类是环境模型，它包含许多经验算法，用来定量地表示海洋环境的边界条件(海面和海底)以及体积效应。这类模型包括声速、吸收系数、海面 and 海底反射损失以及海面、海底和体积反向散射强度。

第二类是基本声学模型，它由传播(传播损失)、噪声和混响模型组成。这类模型是本书的重点。

第三类是声呐性能模型，它由环境模型、基本声学模型和适当的信号处理模型组成。声呐性能模型是为解决诸如探潜、猎雷、鱼雷自导和测深等专门的声呐应用问题而构成的。

图1.1说明了这三大类模型之间的关系。当应用愈来愈面向专用系统时，即当人们从环境模型向声呐性能模型前进时，各相应模型在应用上的通用性就变得愈差。这是因为纳入较高级模型(例如信号处理模型)里的专用系统的特性只限于对特定的声呐系统有效。因此尽管一个传播模型可以有各种不同的应用，但是任何一个特定的声呐性能模型，在设计上只能适用于比较小的一类有明确定义的声呐问题。

由于本书涉及内容广泛，故不可能对现有的全部水声模型进行详尽的讨论。这里只选择了三大类模型中有代表性的模型作了更详细的研究。此外，本书对现有的基本声学模型和声

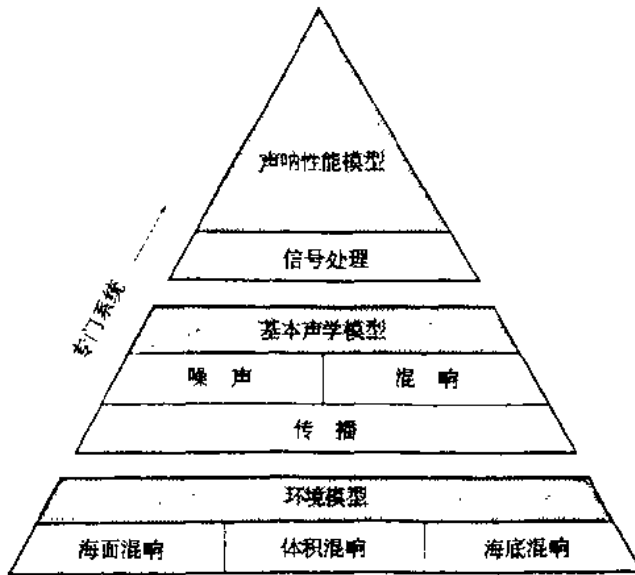


图 1.1 环境模型、基本声学模型和声呐性能模型的一般关系

呐性能模型还给出了全面的汇总，对著名的环境模型也作了适当的讨论。

模拟试验的应用范围一般归结为研究和实用两个方面。面向研究的应用是在实验室环境下进行的，这时精度是重要的，而计算时间不是关键的因素。模拟用于研究的例子包括声呐系统设计和现场实验规划。面向实际的应用是作为现场工作进行的，包括舰队在海上作战以及声呐系统的岸上训练。实际应用一般要求在指挥条件下快速执行，而且模拟精度相对处理速度而言可能是次要的。

## 1.2 测量和预报

水声这门学科正在从观测阶段向理解和预报阶段过渡。这一过渡并不总是顺利的，这是因为直接观测受到限制，由此而得到的预报工具(模型)不很理想，仍需大力改进。

在物理科学中，由于仪器和设备使用费用高，进行实验测量一般开支很大。在进行海洋学和水声学数据采集时，情况更是如此。因为使用平台(舰船、飞机、潜艇)需要高昂的代价，因此在水声领域中，大都是利用已有的少数几次现场测量的结果。过去已成功地实施过的著名的大规模现场测量计划包括“声学、气象学和海洋学测量”(AMOS)和“远距离声传播计划”(LRAPP)。

模拟方法已广泛用于提高科学认识，而无需耗费过度的资源进行额外的现场观测。但是，要在观测和模拟之间取得平衡，还是一件很棘手的事。实验人员认为模拟方法有助于产生直观的或改进的计算结果，但只有通过现场的观测才能有真正的发现。因而，许多研究人员都知道，只有根据简单的物理模型对现有的观测进行分析以后，数学模型才最有用。

出于国家安全的考虑，某些现有的数据在利用上是受限制的。同样，因为研究人员感兴趣的声波频率、海区以及几何结构范围很宽，故在正常的财政限度内实际上不可能满足所有观测上的要求。情况更糟的是，有时在海上搜集的声学数据没有海洋学数据的支持，这样，

由于模型在初始化时缺乏必需的输入参量, 就使模型不可能总是重现已观测到的声学数据。

人造卫星加上其它遥感技术, 为水声条件预报提供了一种有用的辅助手段。具体地说, 许多影响声性能的海洋动态特征结构以及对它们的位置的了解, 都能用来改善声呐性能预报。尽管卫星上的传感器只能检测海洋表面(或者近表面)的特性, 如热对比度、颜色或表面粗糙度, 但这种表面特性一般能与海面下的动态海洋特征结构相联系。在具有综合气象数据库的条件下, 尤其能够建立这种联系。例如, 可以利用卫星图象及时和精确地提供诸如海洋锋面和涡旋等变化特性的位置信息。现已知道海洋锋面和涡旋对声信号在海中的传播有重大的影响。

作战声呐的预报问题涉及到许多学科, 其中之一就是进行模拟。应用到现代作战上的这种模拟, 不仅包括水声模型, 而且包括海洋学模型(Etter, 1989)。这两类模型的结合给部队指挥员提供了一组有价值的预报工具, 使指挥员能够随着影响声呐性能的环境条件的变化进行指挥。现在, 海上的海军兵力利用这种遥感数据并结合海洋学模型, 能够精确地预报动态海洋特征结构的位置和特性。然后再把这种信息输入到相应的声学模型中, 以估计其对声呐性能产生的影响。这样, 就能使这些声呐系统的性能在任何给定的时间和任何工作海区都能保持最佳状态。

### 1.3 模拟研究的发展

就其最基本的表现形式而言, 模型是力图实现综合和概括。一个理想的模型应该是能够完美地代表现实的模型。但在实际上, 这种理想的模型将会违背它的初衷, 因为它将会象其所要代表的问题一样复杂。因此在物理科学中, 通常是把模拟问题简化成许多更容易处理的组成部分。

随着数字计算机的出现, 物理科学中的模拟研究得到了惊人的发展。在过去几十年中, 计算机的能力有了很大改进, 已经允许研究者将更复杂的问题综合成一个模型, 有时候在运行时间和计算机成本上也不见得要付出多大的代价(Hodges, 1987)。通常模型的数据是有限的, 这意味着用于支持模型初始化和模型评估的观测数据还缺乏足够的数量和质量。

随着模拟技术在水声领域的迅速发展, 要在为发展更多的模型作出新的努力之前评估已有的各种模型, 就显得愈来愈困难了。此外, 面对处理声呐性能问题的分析人员, 也很难确定究竟有哪些现成的模型适合他们特定的情况, 这当中又有哪些模型是最适合的。本书正是为了摆脱这种困境而编写的。1978年美国海军开展了一项小型研究工作, 旨在评论水声传播、噪声和混响数值模型的可用性, 以及用以支持模型发展和运用的数据库的可用性。这项工作的结果随后发表在美国声学学会会议上(Etter & Flum, 1979; Etter, 1987b), 并且在文献评述文章中定期地得到修改和更新(Etter, 1981, 1984, 1987a, 1990)。这项工作后来汇集起来演变成一系列的讲座, 最后写成了本书。

本书中引用的技术文献包含了许多未发表的报告(称作“灰色”文献), 这是因为除此再无其它技术资料可供利用了。

Weston和Rowlands(1979)对1963—1978年期间的水声传播模型的发展已进行过评论。DiNapoli和Deavenport(1979)有选择地对一些传播模型作了高水准的数学研究。Brekhovskikh和Lysanov(1982)也给出了俄国人对水声学的全面展望, 其中对模拟问题也有一定的论述。



## 第二章 声学海洋学

### 2.1 背景

声学海洋学描述的是海洋作为声介质的作用。它把海洋特性与水声传播、噪声和混响的特性联系起来。声学海洋学与其它四个海洋学分支即物理海洋学、化学海洋学、地质海洋学和生物海洋学有交叉。

在海洋中,最重要的一个声学变量是声速。海洋中的声速分布影响所有其它的声学现象,而声速场又由海洋中的密度(或温度和盐度)分布决定。由海流引起的水声场的转移,也是重要的因素。锋面、涡旋和其它海洋动态特征结构对声波的折射能使信号产生畸变。有关海面状态以及海底成分和地貌的知识,对于确定边界条件是重要的。生物有机体一方面是形成噪声场的因素,同时又对水声信号产生散射。

本章将按以下内容分别论述:(1)物理和化学性质,(2)声速,(3)边界,(4)动态特征结构,(5)生物。

关于上述几个方面,已有许多书籍和发表的文章作了论述,本书将适当地引用它们的内容。比较著名的教科书和一般性的参考书有Apel (1987), Gill(1982), Clay和Medwin(1977), Neumann和Pierson(1966), Pickard和Emery(1982)以及Sverdrup等(1942)的著作。

### 2.2 物理和化学性质

在对海洋的所有物理描述中,温度是最基本的。它是最容易因而也是最普通的一类海洋学测量对象。海洋和大气之间的热交换强烈地依赖于温度。海洋的密度以及由此而产生的海洋的分层也主要取决于温度。海洋上层的声速更是主要取决于温度。温度还进一步影响海洋中发生的化学反应的类型和速度。营养物质和其它对生物重要的物质的分布也与温度和由此产生的密度分层紧密相关。

海水是一种二元液体,这是因为它是由水和各种盐类组成的。盐度这一术语用于度量溶于海水中的盐量的多少,并以千分数(%或ppt)为单位表示。对盐度作精确的定义很复杂。Fofonoff(1985)对现代的盐度标度和海水状态方程的发展进行了评估。盐类的存在会影响许多海洋参数,其中包括可压缩性、声速、折射率、热扩散、冰点和最大密度时的温度。

海水的密度通过状态方程与温度、盐度和压力(近似与深度成正比)相联系(Fofonoff 1985)。密度是对海洋中流体静力学稳定性的一种度量。具体地说,一个稳定的水柱其密度是随着深度单调增加的。

海水是可压缩的液体,但压缩性比纯水差一些。海水的压缩性可用压缩系数表示,压缩系数是海水体积的相对变化和相应的压力变化的比值 (Apel, 1987)。

海水的压缩性在下面几种应用中是一个重要的因素:精确地确定海水的密度,尤其是确