

总策划：魏 刚
主 编：马伟明



海军新军事变革丛书

Underwater Acoustic Modeling and Simulation Third Edition

水声建模与仿真

[美] Paul C. Etter 著

(第三版)

蔡志明 等译

胡 颀 张明敏 主审



Spon Press



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

总策划:魏 刚

主 编:马伟明

海军新军事变革丛书

Underwater Acoustic Modeling and Simulation Third Edition

水声建模与仿真

(第三版)

[美] Paul C. Etter 著

蔡志明 等译

胡 颖 张明敏 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING



Copyright © 2003 Paul C. Etter

All rights reserved. Authorised translation from the English language edition published by Spon Press, a member of the Taylor & Francis Group. No part of this book may be reprinted or reproduced or utilised in any form or by any electronic, mechanical, or other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system, without permission in writing from the publishers.

本书英文版由 Taylor & Francis 出版集团 Spon Press 公司出版, 该公司已将中文版独家版权授予中国电子工业出版社及北京美迪亚电子信息有限公司。未经许可, 不得以任何形式和手段复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2004-3480

图书在版编目 (CIP) 数据

水声建模与仿真 (第三版) / (美) 艾特 (Etter, P.C.) 著; 蔡志明等译. —北京: 电子工业出版社, 2005.7

(海军新军事变革丛书)

书名原文: Underwater Acoustic Modeling and Simulation Third Edition
ISBN 7-121-01425-4

I. 水… II. ①艾… ②蔡… III. ①水声工程—建立模型—应用—海军—军事技术②水声工程—仿真—应用—海军—军事技术 IV. E912

中国版本图书馆CIP数据核字 (2005) 第062459号

责任编辑: 朱巍

印 刷: 北京天竺颖华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

北京市海淀区翠微东里甲 2 号 邮编: 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 850×1168 1/32 印张: 14.875 字数: 400 千字

印 次: 2005 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系电话: (010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

海军新军事变革丛书

丛书总策划：魏 刚

编委会主任：马伟明

编委会副主任：文宏武 李敬辉 曹跃云 贵可荣

编委会委员：（以姓氏笔画为序）

王公宝 王永生 王永斌 王延璋

王德石 朱建冲 朱 锡 刘 勇

邱志明 宋裕农 何 琳 吴正国

吴晓锋 张永祥 张明敏 郁 军

赵晓哲 侯向阳 高 俊 夏惠诚

鲁 明 察 豪 蔡志明 潘德彬

选题指导：徐 韬 唐宗礼 秦 航 胡 颀

裴晓黎

出版策划：卢 强 吴 源

水声建模与仿真（第三版）

主 审：胡 颀

副主审：张明敏

主 译：蔡志明

审 稿：许 斌 林 谦

翻 译：宋 昕 姚万军 陆振波

《海军新军事变革丛书》总序

进入21世纪，一场世界性的新军事变革以前所未有的深度和广度迅猛发展。这场变革以信息技术的飞速发展作为直接动力，以军事技术的变革、军事理论的创新和军队体制结构的调整改革为核心内容，目标是把工业时代的机械化军队建设成为信息时代的信息化军队，使战争形态加速向信息化演变。因此，新军事变革是军事领域一次新的历史性飞跃，在世界军事史上具有划时代的意义。

党的十六大报告明确指出，国防和军队建设要“适应世界军事变革的趋势”，“努力完成机械化和信息化建设的双重历史任务”。新军事变革的深入发展，已经深刻改变了世界军事领域的面貌。认真研究它的内在规律，探索信息化战争的制胜之道，实现我军现代化建设的跨越式发展，是我们面临的现实而紧迫的历史性任务。面对新军事变革的浪潮，我们必须更新思想观念，开阔视野，时刻关注世界军事领域发生的深刻变化，准确预测世界军事发展的趋势，从我国的国情军情出发，牢牢把握军事变革的方向，加速推进中国特色的军事变革，不断提高人民海军现代化作战能力。

古人云：兵者，国之大事。死生之地，存亡之道，不可不察。中国是濒海大国，海上方向的防御是国防的重要组成部分。建设一个强大的国防，建设一支强大的海军，关系到民族的荣辱和国家的兴衰。中国近代屡遭列强来自海上的侵略，几乎所有的重要港口、岛屿和沿海地区，都曾受到外敌蹂躏。惨痛的历史告诫我们，军事上落后必然使国家遭受耻辱，没有海上安全就没有国家安全。海军

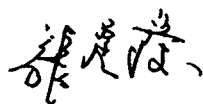
是一个国际性战略军种，担负着维护国家海洋权益、保卫国家海上安全的重要使命。我们必须看到，在世界性新军事变革中，战争形态已经发生了深刻变化，海军的作战和建设也出现了一系列新的特点。对此，我们应在密切关注的同时，深入研究信息化条件下的海军作战思想、武器装备、体制编制、教育训练和后勤保障，发展和创新海军作战理论，在推进中国特色的军事变革过程中完成机械化和信息化建设的双重历史任务。

江主席指出，在当今世界，任何一支军队，如果关起门来搞建设，拒绝学习国外先进的东西，是不可能实现现代化的。世界新军事变革的大潮来势猛、发展快。各军事强国纷纷加快军队的信息化建设，抢占战略制高点，虽然从总体上看，目前新军事变革还处在初级阶段，但外军在新军事变革中积累了一些有益的经验。同时，现代科学技术在国际间的迅速转移和相互渗透，为我们准确把握世界科技发展前沿、吸收最新科研成果提供了有利条件，也为我们最大限度地发挥后发优势、在自力更生的基础上跨越某些技术上的发展阶段、加快人民海军的现代化建设提供了机遇和可能。海军是技术与知识高度密集的军种，海军建设有其内在规律。我们在推进海军的军事变革时，必须坚持自主创新，同时大胆借鉴和吸收国外最新军事科研成果和先进经验，在借鉴和创新中实现“跨越式”发展。

发展与创新中很重要的方面是了解世界，面向未来。信息化战争从一定意义上来说，既是武器装备等物质条件的对抗，更是知识与观念等精神力量的较量。美国著名思想库兰德公司的军事研究专家马歇尔曾提出，未来“我们面临的首要挑战是知识的挑战”。夺取未来战争的战略主动权，必须依靠先进的科学技术和先进的军事理论。近年来，国外出版了许多研究新军事变革的著作和技术文献。把这些新的研究成果介绍给国内读者，有益于我们学习和借鉴外军的先进经验。海军装备部与海军工程大学组织专家编著翻译出版的

这套海军新军事变革丛书，以翻译国外海军先进技术和理论著作为主，出版海军军内自编教材和专著为辅，对世界海军在新军事变革中推出的研究成果进行了系统介绍。这是一项很有意义的工作。在此我谨对参与这项工作的各位专家表示感谢。同时对各位译、著者在笔耕之劳中付出的心血表示敬意。希望这套丛书能够对推进中国特色的军事变革，加快人民海军的信息化建设发挥积极的借鉴与参考作用。

中央军委委员
海军司令员

A handwritten signature in black ink, appearing to read '张定德' (Zhang Dingde), written in a cursive style.

二〇〇四年七月十八日

译者序

《水声建模与仿真(第三版)》是美国人 Paul C. Etter 在其前两版著作《水声建模》的基础上进行内容扩充而形成的新书。

海洋声学环境与声呐使用乃至海军作战有直接的和强烈的关联。水声建模与仿真的最终目标就是用数学模型与相应的驱动数据定量反映上述这种关联。水声建模课题研究如何准确细致地解读海洋声场的物理规律,并用数学规则或数值方法加以描述。水声仿真是本书的新增内容。仿真课题研究基于模型的过程模拟,用于声呐系统性能评估与测试,用于声呐操作训练与作战效能分析,用于战术决策辅助(TDA),甚至用于海军战术任务有效性评估,以及国防采购、兵力计划分析、预算分析等高层决策支持。国内外有关水声建模与仿真的工作一直受到高度关注,并得以持续发展。本书历经十余年仍在不断地改版,业已表明这一点。

近年来,军事需求的重点发生转移,浅海区域声呐性能分析预报对水声建模的挑战促进了海底声学参数反演、三维声传播模型等新技术的发展。理论与计算技术的进步引出水声模型的新应用,如传播模型的相辐/时反镜应用、海洋噪声模型的声照射成像应用等。声呐体系的发展变化推动诸如双基地混响等水声模型的深入细化。此类新知识点以及全面的、技术细节表述程度适当的水声模型知识体系(传播模型、噪声模型、混响模型、声呐性能模型),使本书对于海洋声学科研究人员、声呐技术工程人员和海军作战分析指挥员都具有较高的参考价值。另外,军转民政策促使水声建模与仿真技术向非国防应用转移,而互联网极大地促进建模与仿真技术的国际交流与移植。因此,本书所提供的丰富的模型信息在当前或者将来都具有现

实上的可用性。

这本书是迄今为止惟一的水声建模与仿真领域专著，被公认为“权威的精细级模型之纲要”。鉴于水声建模与仿真技术对海军作战的重要性，此书的中译本被纳入“海军新军事变革丛书”。

感谢海军工程大学水声教研室博士研究生姚万军、陆振波所做的部分章节基础译校和录入工作。感谢中国科学院声学研究所郭圣明关于第4章表4.1中声传播数学模型的注释工作。因学识与时间限制，翻译中难免有理解与表述方面的偏颇，望读者指正。

序 言

一般地说,建模是组织知识的方法,而这些知识是通过观测积累的,或者是由固有规律演绎的。仿真是在一段时间内应用模型的方法。水声建模与仿真领域研究如何将人们对海洋声场的物理认识转换为数字模型,使之可以仿真水下环境中复杂声学系统的性能。

本书讨论水声系统仿真的基本方法,并着重阐述在虚拟海洋环境中仿真声特性时,应用恰当建模资源的重要性。归纳出来的表格标示着可用的传播、噪声、混响和声呐性能模型。如何选择与使用各种模型的指导性建议被突出地表示。关于每一类模型的特定范例讨论,可展示模型的数学表述、前提假设以及算法效率。富有启发性的仿真案例研究,可演示其实际应用过程。

过去的几十年间,世界形势的快速变革开创了建模与仿真工作国际合作的新途径。电子通信的并发优势极大地促进了建模与仿真技术在国际性团体成员之间的移植。如今,国际互联网提供世界范围内对模型与数据库的空前访问。那些恰当的、相关的网站已被纳入这个版本。

本书关于技术细节的表述程度对于广大的建模与仿真工作者以及声呐技术、海洋声学、海军作战分析、系统工程和应用数学专业的学生都是恰当的。全书分为12章。前10章的顺序依照声呐模型组成的分级结构进行组织。第1章介绍水声模型的类型,提出关于建模技术的统一分类,定义建模与仿真中常用的术语。第2章描述海洋学本质特性,这是理解海洋声现象的关键。第3章到第9章讲述海洋传播、噪声和混响的观测与模型。第10章综合第3章至第9章的知识,构成声呐性能模型。第11章描述模型评价方法。第12章

是这个版本中的新增内容,讨论水声仿真的应用。因为仿真是在一段时间内应用模型的方法,将这个内容安排在有关建模与评估的坚实基础已被建立之后的最后一章是合适的。新版的书名已改为《水声建模与仿真》,以便反映新增的仿真内容。

第三版并不打算清除以往的内容,而是有意识地保留着早期的内容(包括它的模型),如此可展现知识积累过程中的演化进步轨迹,这个历程分别由三个版本来记录。作者坚信,新版书将作为有用的信息资源,继续服务于那些致力于水声建模与仿真的人们。

Paul C. Etter
美国马里兰州 Rockville

第二版序言

水声建模课题研究如何将海洋声场的物理规律转换为可被计算机解算的数学规则。本书将水声建模课题分为三个基本方面:表述水声模型的物理规律,将物理规律解释为计算模型的数字方法,以及在声呐技术与海洋学研究中的建模应用。

本书内容侧重于作为声介质的海洋,向数学家与物理科学家展现如何应用本书所提供的知识,为空间上复杂且时间上变化的海洋声场建立模型。诸如换能器阵以及目标的工程问题讨论不是这本书的主题所需要的。关于水声建模硬件设计方面的问题讨论可参阅其他的优秀文献。

水声建模的近代发展受地缘政治变化的影响。这些变化表现在军事重点的战略转移,也表现在国际技术向非国防方向的转化。

海军作战从深海到浅海的战略重点转移,引起人们对沿海区域声呐性能改进的关注。近岸区域有时也被称为沿海区域,有高度变化的复杂声学环境。如此困难的环境向原本适用于深海条件的声呐模型提出了挑战,也因此促进了水声模型的进一步发展,以便适用于浅海区域声呐性能的分析与预报。

军转民政政策促使声呐建模技术向非国防应用转移,而且已经使环境声学领域的成长受益。环境声学寻求借助声感知手段扩大对海洋的探索。在与海洋声反演相关的复杂实验中,利用海军水声模型作为预报与诊断工具,便是军转民技术的一个例证。

编写第二版是水声建模迅速发展的需要。第二版力图展现水声建模的最新进展,及其在海洋学研究中的新应用。本版的内容也反映出水声模型开发与应用方面的全球性广泛关注。未来岁月里,无

论是国防还是工业,一定会面临确定新研究方向的挑战,那么本版将为技术规划者们提供有用的原始资料。

第一版中,内容体系划分为 11 章,其组织结构良好,因而保持不变。新的内容按需要被编入各章的附加节中。

第一版的读者包括声学工作者和海洋学工作者,他们热情地认可本书并推荐它作为一个实践工具或一本指导手册。基于后一种理由,几个学术性学院已经使用此书作为应用数学和海洋科学专业的毕业班课程的附属教材。

这个版本得益于自 1993 年起一直延续至今的短期课程。这些课程是作者为美国马里兰州 Clarksville 应用技术研究所开设的。由于不断地面对学生提出的深刻问题,作者便有机会进一步地精炼其表述。

尽管海洋声学领域有几本新著出版,本书仍然是全面详述水声建模的惟一专著。值得高兴的是,本书第一版已被公认为权威的精细级模型之纲要,而且经常被引用为标准参考文献。

Paul C. Etter
美国马里兰州 Rockville

第一版序言

水声建模课题是研究如何将海洋声场的物理规律转换为可被计算机解算的数学描述。水声模型在水下防务、海洋地震学等一大类科学研究与实际应用中非常有用。过去几十年中,新开发的水声模型种类和数量均显著增加,说明模型在解决实际问题中得到了广泛应用,同时也反映出计算能力上的相当可观的进步。

开发水声模型的初衷来自于水下防务。从事反潜战(ASW)和有关水下防务训练的研究人员,在声呐设计和使用中借助模型来预测和解释海洋声学环境。所以,本书着重讨论在求解声呐性能方面特别有用的模型。

使用和可能使用模型的人通常不熟悉模型表述,对模型的能力与局限不甚理解,结果导致对模型的不恰当运用。此外,可用模型的数量很多,使模型的选择复杂化。

本书适用于已具备水声学基本知识,但有关模型的各方面情况尚不熟悉的读者。本书包含大量的数学推导,用以注释模型公式的表达。本书还提供如何选择与合理应用模型的原则性指导。书中的综合评述总结归类了可用模型及其相关的文献资料。

全书分为 11 章。论述顺序遵循声呐模型分层框架结构。第 1 章介绍水声模型的类型,描述建模技术的统一分类框架,定义建模工作中常用的术语。第 2 章介绍海洋学的各方面要点,有助于理解水声现象。第 3 章至第 9 章讲述海洋声传播、噪声及混响的观测与模型。将第 3 章至第 9 章的知识集成为声呐性能模型,构成第 10 章内容。最后的第 11 章描述了模型的评估。

从 1982 年开始,作者在美国马里兰州为银春技术服务公司开设

了一系列短期强化课程。本教程的最初版本由作者和美国天主教大学的 Robert J. Urick 教授合作实施。Urick 教授讲授水声测量,而作者主讲相关的建模技术。随后,该课程由作者单独施教。经 Urick 教授同意,作者从他的几本著作中汲取大量素材,以使课程内容保持连贯性。课程的成功促使作者将教案付梓成书。

水声学领域已经出版了许多令人瞩目的著作。尽管有些书涉及到声传播建模,但是还没有一本书能全面涵盖现代建模的进展。本书内容涉及环境、传播、噪声、混响和声呐性能模型,是全面探讨水声建模各方面问题的惟一专著。

书中引用了某些研究者的工作,其表述形式、术语和符号均有意予以保留。本书有意强调海洋学方面的知识。据作者所知,许多声学专家对作为声传播介质的海洋所表现的复杂作用了解甚少。反过来,海洋学专家往往不了解作为遥感技术的水声学所蕴含的巨大潜能。

Paul C. Etter

献给我的妻子 Alice 和我的儿子 Gregory、Andrew。

致 谢

过去 20 年间参加过我主讲的短期课程的学生们均善学好问,他们对本书的大部分内容都有评论。我的许多同事提供了有益的见解与建议,在此特别要感谢 Michael A. Ainslie 博士、Aubrey L. Anderson 博士、Stanley A. Chin-Bing 博士、Richard B. Evans 博士、Robert W. Farwell 博士、Richard P. Flanagan 博士、已故的 Robert L. Martin 博士、Peter M. Ogden 博士、Frederick D. Tappert 博士和 Henry Weiberg 博士。在我早期从事水声建模工作时 Robert S. Winokur 提供了行政指导。

Robert J. Urick 教授给我许多鼓励,并绅士般地允许我不受限制地从他的几本书中引用素材。得克萨斯州 A&M 大学的已故教授 John D. Cochran 激发我的学者素养,促进了本书的写作。