



国防科技著作精品译丛



Springer

Principles of
Sonar Performance Modeling

声呐性能建模原理

【荷】 Michael A.Ainslie 著

张静远 颜冰 译 鄢锦 校



国防工业出版社

National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

声呐性能建模原理

Principles of Sonar Performance Modeling

[荷] Michael A. Ainslie 著
张静远 颜 冰 译
鄢 锦 校



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字：军 -2011 -157 号

图书在版编目 (CIP) 数据

声呐性能建模原理 / (荷) 安斯利 (Ainslie, M.A.) 著; 张静远, 颜冰译.
— 北京: 国防工业出版社, 2015. 6

(国防科技著作精品译丛)

书名原文: Principles of Sonar Performance Modeling

ISBN 978-7-118-09791-7

I. ①声… II. ①安… ②张… ③颜… III. ①声呐—建立模型—研究
IV. ①U666.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 114182 号

Translation from the English language edition:

Principles of Sonar Performance Modeling

by Michael Ainslie

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

Springer is part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

本书简体中文版由 Springer-Verlag Berlin Heidelberg 授权国防工业出版社
独家出版发行。

版权所有, 侵权必究。

声呐性能建模原理

【荷】Michael A. Ainslie 著

张静远 颜冰 译

鄢锦 校

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

开 本 710 × 1000 1/16

印 张 50

字 数 836 千字

版 印 次 2015 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—2000 册

定 价 298.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

译者序

尤立克《水声原理》一书尽管只阐述了以水声学为主的“湿端”内容，仍然在近半个世纪中对声呐工程师的工作发挥了无可替代的作用，被从事声呐设计与应用的技术人员广泛认可。在 1983 年出版第 3 版之后的 30 多年里，水声学和声呐应用领域获得了迅猛发展，但是缺少全面的理论总结。本书是迈克尔·A·安斯利 (Michael A. Ainslie) 博士在荷兰海牙应用科学研究院 (TNO) 工作期间历经 8 年时间潜心写作完成的，堪称声呐性能建模领域的一部巨作。本书除了阐述“湿端”内容外，还包括了声呐发射机、接收机以及声呐信号处理等“干端”内容，将这两方面的最新成果共同呈现给以研究、设计或者分析为目的的声呐性能建模人员作为参考，希望能对声呐性能建模研究领域产生积极的影响。

在翻译过程中，译者深深为本书的丰富内容和作者的严谨治学所感动。因此，也尽己之所能按作者的写作标准完成翻译工作。为了使全书表达方式一致，译者没有按章节进行分工，而是在由多名参与者提供了初步的基础译稿后，由两位译者先后统一翻译所有章节内容，并经多轮反复校正整理全书译文。为确保译文的准确性和专业性，我们将译稿分别发送给国内从事水声学和声呐研究的专家审阅，希望他们能够对关键问题的翻译提出专业水准的意见。同时，将译稿非正式提交给国防工业出版社，请责任编辑提出修改意见。期间，译者对翻译过程中发现的疑点通过电子邮件与作者安斯利博士进行了多轮沟通，对相关疑问进行澄清和确认。译者根据与作者的沟通结果和 2011 年出版的本书勘误表对原书中的错误进行了修正，由于涉及内容较多，为简明起见，译文中没有进行标注，读者对照英

文版原著时需注意其中的差异。

根据出版社的预审意见,译者对译文的表达和格式进行了规范,并根据业内专家陆续反馈的意见对译文内容进行了多次修改。此外,译者在原著索引词的基础上,整理补充了部分专业术语,以中英文对照的形式,按英文字母排序列于书后专业术语中英文对照表中,供读者参考。在上述工作的基础上,再一次对全书译文进行了调整,特别是对专业术语的翻译进行了统一和规范,形成了最终的译稿正式交付审校出版。

基础译稿分工如下:罗轩(第2章)、湛剑(第3章)、颜冰(第4、5、11章)、张勇平(第6章)、郭虎生(第7章)、谢勇(第10章)、金裕红(附录A)、夏睿(附录B、附录C)、张静远(第1、8、9章及其他内容),曹明程完成了送审译稿所有公式、插图的编辑排版工作,在此一并致谢。

感谢中国科学院声学所张仁和院士和海军装备研究院凌青研究员,是两位资深专家的鼓励和推荐,使得本书翻译得以进行并得到国防科技出版基金的资助。

诚挚感谢中国科学院声学所的张仁和院士、西北工业大学的马远良院士和孙超教授、哈尔滨工程大学的梁国龙教授、海军工程大学的唐劲松教授和蔡志明教授等业内资深专家在百忙之中审阅译稿,并提出了诸多中肯的意见和建议。感谢本书的校对者鄢锦研究员以及中国科学院声学所的李军研究员,通过与他们的多次讨论,澄清了诸多疑问,并使术语的翻译更为专业和规范。

特别感谢本书作者安斯利博士对翻译工作的鼓励和诸多帮助。应译者和出版社的邀请,安斯利博士专门为本书撰写了个人简介。

还要感谢国防工业出版社为本书的翻译和出版所付出的努力,感谢多位编辑极为严谨、辛苦的劳作。

因水平有限,译文中难免有翻译不当乃至错误之处,敬请读者批评指正。

译者

2015年4月

献给安娜

原版序

水声学是物理学的一大分支，与地球物理学和海洋学有所交叉，但一旦试图去评价声呐在现实条件下的工作性能时，便立即涉及到大量的其他工程因素。想得到的目标信号是否比由风、浪、舰船发动机、跳动的锚索导致的所有其他自然噪声更强？目标信号是否比其他远处物体散射的声音更强？波束形成、谱分析和统计分析等典型信号处理技术如何影响对目标成功探测的概率和虚警概率？

本书的作者迈克尔·A·安斯利博士是一位物理学家，有着重要学术出版记录和多年为英国国防部和荷兰应用科学研究院从事声呐评价的实际工作经验。《声呐性能建模原理》凭借坚实的物理学基础，始终密切关注着声呐系统各物理组成单元的研究进展，对传统声呐方程进行了严密而清晰的阐述，并回答了基础的工程问题。在论述声音产生、传播和混响等学科理论之外，还阐述了关于声源、目标、信号处理和人造及生物声呐的探测理论问题。

所有这些工作的目的是试图“通过树木看见森林”。比如，以常见的传播状态为例，尽管存在复杂的折射、反射、衍射、散射等现象，它还是受控于某种简单的物理机制，并且有时人们也可以用一个简单的公式来表达整体传播损失、环境噪声级或者混响级。这样的一种见解和洞察力有助于人们对复杂的搜索环境进行数字评价。当研究许多不同的声音或不同的处理条件下的特定工作状况时，它也是一条实用捷径。贯穿全文，都可体会到这样的深刻见解。

本书的基石是朴素的物理学原理的声呐方程推导，它的反复出现是一

个不争的事实。导出式最初以简单的物理量之比的形式出现, 仅在最后将其用分贝表示。这样的处理方法提供了一个清晰且系统的原理阐述, 用来确定如何评估声呐方程每个组成项和偶尔摒弃一些未预料到的新修正项。

本书将为工作在研究实验室、军工厂和大专院校的声学专家、工程技术人员、物理学家、数学家、声呐设计者以及海军声呐操作员们提供实用的参考。

克里斯·哈里森

于意大利北大西洋公约组织水下研究中心 (NURC), 2010 年 5 月

前言

声呐性能建模科学传统上被分为两部分：由声学 and 海洋学所构成的“湿端”以及由信号处理和检测理论构成的“干端”。像当年尤立克《水声原理》对声呐工程师所发挥的作用一样，本书试图将两方面的最新内容共同呈现给当今以研究、设计或者分析为目的的声呐性能建模人员作为参考，因此，题目与之相似并不奇怪。

在编写过程中，我有一些很有价值的发现现在与读者分享。有关雷达的文献为我们提供了很多与波的传播、信号处理以及（极富脉络而且大部分未被声呐文献挖掘的）统计检测等各种理论有关实用的结果。从海洋学理论我们知道，世界上每一处海洋都有其独特的物理、化学和生物学特征，有时对声呐会产生深刻的影响。

海洋哺乳动物已演化出它们自己的声呐，正如日益繁杂的生物声学文献所报道的那样，其性能令人惊叹，而我们仅仅才开始去探索。无论人类是有意地还是偶然地在海洋中使用声波，世界各地政府和工业部门已经开始为其承担严峻的环境后果。我将尽我所能为读者提供该快速发展领域有代表性的进展。

一部分读者会将此书看作客观事实、图表和公式的知识库，而其他读者则要在其中寻找答案和究竟。我的目的就是要通过大量的数学推导和算例，并附加相关输入参量的实测结果或估计值，来满足这两类读者的不同需要。尽管我尽力消除文中的缺陷，但书中无疑存在诸多不足，敬请读者包涵和谅解。

迈克尔·A·安斯利

致谢

本书是我在荷兰海牙应用科学研究院工作期间花了 8 年时间完成的。撰写此书已经成为一项快乐的事业和特殊的待遇。尽管在那段时期经历了两易其名和两次领导层的更替，声呐部门还是对我所必需的一些业务工作之外的活动提供了始终如一的理解和支持。我衷心感谢所有在应用科学研究院工作的同事们，他们人数众多以致于无法列出所有人的名字，是他们让这一切成为现实。

感谢亚伯拉罕 (D. A. Abraham)、勃朗德尔 (P. Blondel)、查普曼 (D. M. F. Chapman)、达尔 (P. H. Dahl)、德勇 (C. A. F. de Jong)、德热依叶 (P. A. M. de Theije)、埃利斯 (D. D. Ellis)、汉姆森 (R. M. Hamson)、哈里森 (C. H. Harrison)、哈里森 (J. A. Harrison)、黑兹尔伍德 (R. A. Hazelwood)、霍利戴 (D. V. Holliday)、莱顿 (T. G. Leighton)、罗宾斯 (A. J. Robins)、罗宾逊 (S. P. Robinson)、范莫尔 (C. A. M. van Moll)、威廉姆斯 (K. L. Williams)、让普利 (M. Zampolli) 以及两名匿名的审阅人，他们中的每个人至少审阅了一整章内容并且帮助润色了最后的文稿。书稿中仍然存在的任何错误都是我造成的，与审阅者无关。

戴维·韦斯顿 (David Weston) 的论著对我是一个永恒的灵感，我已经数不清他的名字被引用了多少次。与克里斯·哈里森 (Chris Harrison)、克里斯·墨菲 (Chris Morfey)、克莱斯特·德勇 (Christ de Jong)、戴尔·埃利斯 (Dale Ellis)、弗朗斯-彼得·拉姆 (Frans-Peter Lam)、马里奥·让普利 (Mario Zampolli)、彼得·达尔 (Peter Dahl) 以及蒂姆·莱顿 (Tim Leighton) 的讨论让我获益匪浅。

下列人员为我提供并制作了适用的数据或插图,他们是帕斯卡·德热依叶 (Pascal de Theije)(图 7.6)、彼得·达尔 (Peter Dahl)(图 8.3)、阿尔文·罗宾斯 (Alvin Robins)(图 8.5)、文森特·范雷杰 (Vincent van Leijen)(图8.13)、彼得·范荷斯坦 (Peter van Holstein)(图8.14)、亨利·多尔 (Henry Dol)(图 9.24 和图 9.25)、马修·科林 (Mathieu Colin)(第 9 章的所有插图均使用 BELLHOP 和 SCOOTER 计算得到)、罗伯特·范沃森 (Robbert van Vossen)(图 9.28 和图 9.29)、维姆·维布姆 (Vim Verboom)(各种海豹和鼠海豚的听力图)、加思·米克斯 (Garth Mix)(海洋生物的缩略图) 以及保罗·温思维恩 (Paul Wensveen)(图11.20)。

在 CORDA 公司的许可下,本书采用了计算机模型 INSIGHT (1.4.2 版本) 来说明许多声呐性能的计算,还使用了海洋声学图书馆的声学传播模型 BELLHOP 和 SCOOTER (<http://oalib.hlsresearch.com>)。其他的有价值的互联网资源包括鱼类数据库 (www.fishbase.org)、海洋生物地理信息系统 (www.iobis.org)、数学世界 (<http://mathworld.wolfram.com>) 和维基百科 (www.wikipedia.org)。

当有问题需要请教时,菲利普·勃朗德尔 (Phillipe Blondel) 和克莱夫·霍伍德 (Clive Horwood) 总是能够及时地给予帮助。内尔·沙特尔伍德 (Neil Shuttlewood) 负责最后的定稿。

最后但同样重要的是,如果没有来自我妻子皮拉尔 (Pilar) 无私的爱和支持以及我那少年时光不断受到声呐性能建模熏陶的女儿安娜 (Anna) 的耐心,所有这些都都不可能实现。

迈克尔·A·安斯利

2010年3月于荷兰海牙应用科学研究院

目录

第一篇 基础篇

第 1 章 概述	3
1.1 什么是声呐	3
1.2 用途、范围和预期读者群	4
1.3 结构	6
1.3.1 第一篇: 基础篇 (第 1~3 章)	6
1.3.2 第二篇: 四大支柱领域 (第 4~7 章).	6
1.3.3 第三篇: 应用篇 (第 8~11 章).	7
1.3.4 附录.	7
1.4 声呐简史	7
1.4.1 声呐概念的提出和声呐的诞生 (—1918 年)	8
1.4.2 声呐的幼年时期 (1918—1939 年)	16
1.4.3 声呐的成年时期 (1939—)	17
1.4.4 由军用转向民用	23
参考文献	24
第 2 章 必备的背景知识	29
2.1 声呐海洋学要点	29
2.1.1 海水的声学特性	30
2.1.2 空气的声学特性	32

2.2	水声学要点	32
2.2.1	什么是声	32
2.2.2	声的辐射	33
2.2.3	声的散射	42
2.3	声呐信号处理要点	43
2.3.1	时间滤波器	44
2.3.2	空间滤波器 (波束形成器)	46
2.4	统计检测理论要点	49
2.4.1	高斯分布	49
2.4.2	其他分布	52
	参考文献	53
第 3 章 声呐方程		54
3.1	引言	54
3.1.1	声呐性能建模的目的	54
3.1.2	信号和噪声的概念	55
3.1.3	理想深水环境	56
3.1.4	章节结构	56
3.2	被动声呐	56
3.2.1	概述	56
3.2.2	标准术语的定义 (被动声呐)	58
3.2.3	相干处理: 窄带被动声呐	64
3.2.4	非相干处理: 宽带被动声呐	80
3.3	主动声呐	94
3.3.1	概述	94
3.3.2	标准术语的定义 (主动声呐)	95
3.3.3	相干处理: CW 脉冲 + 多普勒滤波器	99
3.3.4	非相干处理: CW 脉冲 + 能量检测器	111
	参考文献	121

第二篇 四大支柱领域

第 4 章 声呐海洋学	125
4.1 海洋体积特性	126
4.1.1 陆地与普适常数	126
4.1.2 海洋测深学	126
4.1.3 纯净海水中影响声速和衰减的因素	126
4.1.4 纯净海水中的声速	143
4.1.5 纯净海水中的声衰减	145
4.2 气泡和海洋生物的特性	149
4.2.1 水中气泡的特性	149
4.2.2 海洋生物的特性	150
4.3 海面特性	160
4.3.1 风的影响	160
4.3.2 表面粗糙度	166
4.3.3 风生气泡	169
4.4 海底特性	171
4.4.1 疏松沉积物	171
4.4.2 岩石	180
4.4.3 地声学模型	184
参考文献	184
第 5 章 水声学	194
5.1 引言	194
5.2 液体和固体介质的波动方程	194
5.2.1 流体介质中的压缩波	195
5.2.2 固体介质中的压缩波和切变波	197
5.3 平面波的反射	200
5.3.1 液体—液体或者液体—固体界面的反射与透射	201
5.3.2 分层流体界面的反射	204
5.3.3 分层固体界面的反射	207
5.3.4 全反射粗糙表面的反射	208
5.3.5 部分反射粗糙表面的反射	212

5.4	平面波的散射	212
5.4.1	散射截面和远场	212
5.4.2	固体目标的反向散射	213
5.4.3	流体目标的反向散射	218
5.4.4	粗糙界面的散射	227
5.5	存在杂质条件下的弥散	229
5.5.1	稀相悬浮沉积物的伍德模型	229
5.5.2	有粒间接触的饱和沉积物的贝克汉姆模型	230
5.5.3	气泡或有鳔鱼的影响	232
	参考文献	251
第 6 章 声呐信号处理		256
6.1	被动声呐的处理增益	257
6.1.1	波束指向性图	257
6.1.2	指向性指数	272
6.1.3	阵增益	277
6.1.4	宽带应用	284
6.1.5	时域处理	285
6.2	主动声呐的处理增益	285
6.2.1	信号载波与包络	286
6.2.2	简单包络以及它们的频谱	289
6.2.3	自相关函数、互相关函数和匹配滤波器	302
6.2.4	模糊函数	308
6.2.5	理想的匹配滤波器增益	313
6.2.6	非理想的匹配滤波器增益 (相干损失)	314
6.2.7	阵增益和总处理增益 (主动声呐)	315
	参考文献	316
第 7 章 统计检测理论		318
7.1	高斯噪声中的单已知脉冲, 相干处理	319
7.1.1	高斯分布噪声下的虚警概率	319
7.1.2	对随机相位信号的检测概率	320
7.1.3	检测阈	332

7.1.4 对其他波形的应用 333

7.2 高斯噪声中的多已知脉冲, 非相干处理 333

7.2.1 瑞利分布噪声幅度下的虚警概率. 334

7.2.2 非相干处理脉冲串的检测概率. 335

7.3 在声呐中的应用 350

7.3.1 主动声呐 350

7.3.2 被动声呐 351

7.3.3 判决策略与检测阈 351

7.4 多次观测 354

7.4.1 引言. 354

7.4.2 “与” 和 “或” 运算 356

7.4.3 多重 “或” 运算 361

7.4.4 “ N 中取 M ” 运算 362

参考文献 363

第三篇 应用篇

第 8 章 声源与声散射 367

8.1 海洋界面的反射与散射 367

8.1.1 海面反射 368

8.1.2 海面散射 375

8.1.3 海底反射 381

8.1.4 海底散射 397

8.2 目标强度、体积反向散射强度和体积衰减系数 406

8.2.1 点散射体的目标强度 406

8.2.2 分布式散射体的体积反向散射强度和衰减系数 415

8.2.3 延展体积散射体的层强度和尾流强度 418

8.3 水下噪声源 420

8.3.1 船舶声源谱级的测量 424

8.3.2 海洋表面的分布声源 429

8.3.3 海底分布声源 (甲壳类动物) 435

参考文献 437

第 9 章 水声传播	449
9.1 传播损失	450
9.1.1 等声速水域海底的作用	450
9.1.2 声速剖面的影响	468
9.2 噪声级	492
9.2.1 深水域	492
9.2.2 浅水域	497
9.2.3 噪声地图	498
9.3 信号级 (主动声呐)	500
9.3.1 互易原理	500
9.3.2 回声级的计算	501
9.3.3 V-波导传播 (等声速情况)	502
9.3.4 U-波导传播 (线性声速剖面)	502
9.4 混响级	503
9.4.1 等声速水域	505
9.4.2 折射的作用	508
9.5 信混比 (主动声呐)	516
9.5.1 V-波导 (等声速情况)	516
9.5.2 U-波导 (线性声速剖面)	517
参考文献	518
第 10 章 发射机与接收机特性	522
10.1 发射机特性	523
10.1.1 人造系统的特性	524
10.1.2 海洋哺乳动物的特性	552
10.2 接收机特性	557
10.2.1 人造声呐的特性	557
10.2.2 海洋哺乳动物、两栖动物、人类潜水员和鱼的特性	559
参考文献	575
第 11 章 再议声呐方程	585
11.1 引言	585