

海洋噪声与

哺乳动物

[美] 国家研究理事会海洋环境噪声对海洋
哺乳动物的潜在影响研究委员会 著
杨燕明 译



海洋出版社

海洋噪声与哺乳动物

Ocean Noise and Marine Mammals

[美] 国家研究理事会海洋环境噪声对海洋
哺乳动物的潜在影响研究委员会 著

杨燕明 译

海洋出版社

2010年·北京

图书在版编目(CIP)数据

海洋噪声与哺乳动物/[美]国家研究理事会海洋环境噪声对海洋哺乳动物的潜在影响研究委员会著;杨燕明译. —北京:海洋出版社,2010. 1

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7592 - 6

I. 海… II. ①海… ②杨… III. ①海洋 - 噪声 - 影响 - 海洋脊椎动物 - 哺乳动物纲 IV. ①P733. 22 ②Q959. 839

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 193609 号

图字:01 - 2009 - 1978

This is a translation of Ocean Noise and Marine Mammals, Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals, National Research Council © 2003 National Academy of Sciences. First published in English by the National Academies Press. All rights reserved.

责任编辑:方菁江波

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

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

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京顺诚彩色印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2010年1月第1版 2010年1月北京第1次印刷

开本:880mm × 1230mm 1/32 印张:6.5 彩插:13

字数:180千字 定价:36元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

译者序

美国海军及大型科学试验使用的低频、长作用距离声呐是否必然导致海洋哺乳动物如鲸豚群体搁浅？是否引起海洋哺乳动物及其所依赖的生态物种（如鱼）发生听力损伤？近年来一直存在争论。一方面，随着西方公众的环保意识逐步得到增强，公众和媒体要求在敏感海域停止使用大型声呐的呼声越来越高；另一方面，美国最高法院以国家安全利益至上为由，以 5 票对 4 票通过判决，允许美国海军在加利福尼亚州南部海域开展军事演习时使用声呐仪，这一裁决立即引发环保组织的抗议。目前的现状是，在滨海生物重点区，美国海军承诺将低频主动声呐的生物接收声级降低至 180 dB 以下。

近年来美国将几艘水声调查船集结在日本美军基地，频繁在我管辖海域搜集水声资料。这些调查船装备的主动低频声呐，换能器阵元多达 18 个，每个阵元的声源级在 215 dB，系统的总有效声源级达到 230 ~ 240 dB。这些活动一方面危害了我国的海洋安全；另一方面对我国管辖海域的哺乳动物及其生态系统构成了威胁。

最近的研究结果表明，全球变暖导致海水酸化，而酸化的海水削弱了海洋吸收噪声的能力。越来越大的噪声对海洋生物世界产生何种影响？如今人们已熟知，鲸和海豚因为人类使用声呐系统而丧失方向感，居住地点和叫声发生改变或是

听力受损。鱼类的听力也会受到噪声的损害。国际海洋勘探理事会会在 2005 年发表的一份研究报告对大洋中的噪声发出警告。鱼类靠听觉分辨食物和敌人以及相互间沟通,交配期的沟通干扰尤其会造成严重后果。

在美国环保组织的压力下,美国海军花费了数亿元委托学界研究低频主动声呐对海洋哺乳动物的影响。美国国家科学研究委员会研究了海洋噪声对海洋哺乳动物的可能后果,形成了三个报告。

相比之下,国内对这方面的研究几乎是空白。对国内而言,海洋工程的爆破声对沿岸海豚特别是濒危的中华白海豚威胁很大,比如规划建设中的港珠澳大桥穿过了中华白海豚自然保护区,工程建设时的爆破声对这种国家一级保护动物可能造成的危害,尚未引起足够的重视。有感于此,译者将第三个报告译成本书,介绍到国内,以期引起有关人士的关注。

周秋麟教授在百忙之中通读了译稿全文,并对部分译文进行了修改,在此表示衷心的感谢。祝茜教授校译了附录 F 生物术语部分,刘贞文同志整理了书中的图表并进行全书排版,牛富强同志参与了文字校对工作,在此一并表示感谢。

由于翻译时间匆忙,书中难免会有错误和不当之处,恳请读者提出宝贵的建议和批评。

杨燕明

2009 年 5 月

前 言

“海洋环境噪声对海洋哺乳动物潜在影响委员会”受命对水下噪声的认知现状开展评估,并就确定海洋噪声对海洋哺乳动物是否具有负面影响的研究领域提出建议。选择该委员会的原因是其具备不同专业的代表性,委员会中包括多位声学家、海洋生物学家以及一位地球物理勘探专家。委员会从2001年3月开始召集四次会议,包括三次公开的公众会议。海洋哺乳动物和噪声领域的各行业专家在会议上演讲并提交评述资料。委员会感谢下列人员的帮助:加利福尼亚大学的 Dan Costa,空间战与水下战系统中心(SPAWAR)的 Santa Cruz, Jim Finneran, Greeneridge 科学公司的 Charles Greene, 美国海军研究实验室的 Richard Heitmeyer, 加利福尼亚大学的 David Kastak, 哈佛大学的 Santa Cruz, Charles Liberman, 奥胡斯大学的 Bertl Møhl, 夏威夷海洋生物研究所的 Paul Nachtigall, 美国海军海洋办公室的 Charles O' Neill, SPAWAR 系统中心的 Sam Ridgway, 加利福尼亚大学的 Ron Schusterman, 伍兹霍尔海洋研究所的 Santa Cruz, Peter Tyack 和 William Watkins。

此外,许多研究人员对委员会提出宝贵建议。委员会真诚感谢澳大利亚国防部的 Douglas Cato, 罗德岛大学的 Elena McCarthy 和 Jennifer Miksis, 美国海军研究院的 Kevin Smith 以及罗德岛大学的 Eryn Wezensky。

美国国家科学研究委员会(NRC)已有的两个报告介绍了海洋噪声对海洋哺乳动物可能产生的影响。第一个报告“低频声与海洋哺乳动物:现状与研究需求(NRC,1994)”初步评述了海洋噪声对海洋哺乳动物影响的认识。第二个报告“海洋哺乳动物与低频声:1994 年后的

进展报告(NRC,2000)”主要评述作为大洋气候声学测温(ATOC)试验一部分的海洋哺乳动物研究。两个报告提出了一系列建议,许多建议现在仍然适用,将在本书中重申。

与委员会评议巧合的是,美国海军两种声呐系统已受到媒体和环保组织的高度关注。研究发现美国海军中频主动声呐系统 SQS-53C 对巴哈马群岛的鲸类搁浅事件起关键作用。此外,美国海洋渔业管理局批准美国海军使用独立的 SURTASS-LFA 低频主动声呐系统。由于两套声呐系统产生的海洋噪声对海洋生物产生了不同程度的影响,本书讨论了这些系统,但并未做进一步研究。

编辑本书的一个挑战是将测量量纲标准化;另一个挑战是阐释水声、地震勘探和海洋哺乳动物学中普遍使用的术语。附录 E 的术语词汇表将有助于理解本书中的某些通用术语。

第 1 章简要概述了海洋哺乳动物和噪声的有关问题以及委员会应对该任务的方法。引言描述了水声物理,因为对这些原理的基本认识对于理解后面的内容是必需的。第 2 章描述自然和人类对海洋中的噪声所起的作用,讨论噪声水平的长期趋势。第 3 章描述海洋噪声对海洋哺乳动物的影响,主要注重于行为的变化。第 4 章描述海洋声场模型及其对海洋哺乳动物的影响。第 5 章包括结论和建议,总结了前几章的内容。

提 要

近年来,科学界和公众日益关注并关心地球上海洋资源的保护与保全。主要表现在:有关沙滩关闭、有害藻华、海洋哺乳动物搁浅等方面的专题科学论文和科普论文在增多。其中最为敏感、最有争议、但是所知又最少的主题是人为噪声对海洋哺乳动物的影响。科学家和非专业人员都充分认识到海洋中人为声波来自各种声源:包括商船航行、石油勘探开采,海上建筑、水声研究和声呐使用等自然过程,例如风生波浪、地震、降雨和海洋动物的活动也会产生水下声波。众所周知,自19世纪中叶工业化开始以来,海洋噪声水平开始稳步上升。按常规预测,该趋势在近年内还将继续,但缺乏足够的科学证据支持这个假设。许多因素的综合作用,逐步增强人们关于噪声对哺乳动物各种影响的意识和关注,如对栖息地、辅助通信系统和动物行为的影响。然而,人们对海洋噪声特性的细节所知甚少,是人为活动还是自然过程引起?至于噪声对海洋哺乳动物健康及其生存的生态系统的短期和长期影响人们知道得更少。

正是在这么多不确定性因素存在的背景下,委员会开始工作。应联邦政府机构兼国家海洋伙伴计划(该计划发起机构为美国海军研究署、美国海洋与大气局、美国自然科学基金会和美国地质调查局)的要求,美国科学院国家科学研究委员会承担了本研究项目:调查海洋噪声的认知现状及其对哺乳动物的影响。本研究要求美国科学研究委员会要:

- 评估人为活动及自然过程对海洋环境噪声的贡献,说明海洋环境噪声的长期趋势,特别是由于人类活动引起的海洋环境噪声的长期趋势。
- 评估不同声源(自然、商业、海军和声学海洋学研究)的噪声

对海洋哺乳物种的影响,特别是在生物敏感区域的影响。

- 审议并确定现有海洋噪声数据库存在的不足和差距。
- 为研发一种综合时、空和频率变量的海洋噪声模型必须开展的研究提出建议(专栏1)。

专栏 1

委员会研究建议概要

评估人为活动和自然过程对海洋噪声所起的作用

- 将现有的人为声源和环境噪声数据收集在一起;
- 除平均声压谱级外测量人为声源的另一种特性;
- 建立 1 ~ 200 000 Hz 频率覆盖范围的海洋噪声长期监测计划;
- 在地理差异大的区域,特别是在海洋哺乳动物栖息地监测海洋噪声;
- 建立人为噪声与人类活动级别之间的定量关系;
- 开展海洋哺乳动物声波分布与特性研究。

为了说明海洋噪声水平的长期趋势,特别是人类活动引起的趋势

- 建立 1 ~ 200 000 Hz 频率覆盖范围的海洋噪声长期监测计划;
- 建立人为噪声与人类活动级别之间的定量关系;

评估不同海洋噪声源对海洋哺乳物种的影响所需的研究

- 测量除人为声源平均声压谱级之外的另一种声源性质对海洋哺乳动物的效应;
- 建立 1 ~ 200 000 Hz 频率覆盖范围的海洋噪声长期监测计划;
- 在地理差异大的区域,特别是在海洋哺乳动物栖息地监测海洋噪声;

- 尝试构建能够在种群层次上预测海洋哺乳动物后果的研究;
- 确定海洋哺乳动物的全球分布;
- 开展海洋哺乳动物声波分布与特性研究;
- 研发短期、高时间分辨率和长期的跟踪标记技术;
- 研究掩蔽引起微小的行为改变;
- 研究噪声诱发胁迫的指示因子;
- 研究海洋噪声对海洋生态系统中非哺乳物种的影响;
- 继续开展噪声影响听力和行为的集成建模研究;
- 制定有关海洋哺乳动物全球海洋噪声通量;
- 调查喙鲸大量搁浅与观察到的损伤之间的因果机制。

现有海洋噪声库的不足与差距

- 将现有的人为声源和噪声数据收集在一起;
- 除平均声压谱级外测量人为声源的另一种特性;
- 建立 1 ~ 200 000 Hz 频率覆盖范围的海洋噪声长期监测计划;
- 在地理差异大的区域,特别是在海洋哺乳动物栖息地监测海洋噪声;
- 开展海洋哺乳动物声波分布与特性研究。

为了研发集成时间、空间和频率变量的海洋噪声模型

- 将现有的人为声源和噪声数据收集在一起;
- 除平均声压谱级外测量人为声源的另一种特性;
- 建立 1 ~ 200 000 Hz 频率覆盖范围的海洋噪声长期监测计划;
- 在地理差异大的区域,特别是在海洋哺乳动物栖息地监测海洋噪声;
- 建立人为噪声与人类活动级别之间的定量关系;

- 开展海洋哺乳动物声波分布与特性研究；
- 将分布式声源与噪声效应模型结合在一起；
- 研究海洋哺乳动物全球海洋噪声通量。

行政建议

- 授权一个联邦机构协调海洋噪声监测与研究,协调噪声对海洋生态系统影响的研究；
- 公众知识普及。

委员会举行了三次公开的会议,听取了水声学家、海洋哺乳动物学家、听力生理学家和海军海洋学家的意见。委员会审议了国家科学研究委员会已有的报告(NRC,1994,2000),目前发表的科学论文、会议报告、模型以及海军海洋署编辑的数据。

本书是国家科学研究委员会审议海洋噪声对海洋哺乳动物潜在影响的系列研究报告之三。虽然三个报告的责任极其不同,承担编写报告的分委会也不同,但三份报告明确的研究需求却有许多相同之处。本书在已有报告(NRC,1994,2000)的基础上提出建议,而不是取代上述报告中提出的建议。委员会建议:为了更好地理解为减轻人为海洋噪声对海洋生态系统影响所需要的研究需求,所有三个报告必须全部加以审视。

结论

为了评估水下声波对海洋环境的潜在影响,必须同时考虑海洋环境噪声和可识别的声源。水声界使用术语“环境噪声”专指无数不可识别声源发出的喧闹声,即可能知道噪声源的类型,但无法识别来自特定声源的噪声。在研究海洋噪声可能对哺乳动物的影响中,特定声源发出的噪声也很重要。因此,本书使用的术语“海洋噪声”指的是所有类型的噪声源。

海洋中声波来源广泛,既有自然声源,也有人为声源。后者包括海洋活动中有意为之的或无意形成的噪声。自然过程的非生物声源包括

风生波浪、地震、降雨和冰破裂。自然生物声源包括鲸的“歌”声、海豚的“喀嗒”声和鱼的发声。人为声波由一系列活动产生,包括商业航行、地球物理勘探、油井钻探和开采、疏浚和海洋建设、声呐系统以及海洋科学研究。有意生成的噪声具有明确的目的,例如采取地震法勘探以发现新的油气构造。无意形成的噪声是其他活动附带产生的,如大洋船舶辐射的机械噪声。

要正确计算全球海洋噪声通量,必须既计算环境本底噪声,也要计算可识别声源的噪声。全球噪声总通量通过将接收的噪声谱进行时间空间平均而得出。时间上稍纵即逝的噪声和空间上的局部海域的噪声在该平滑过程中不起作用。传统统计方法指出:深海噪声总通量(时空平均值)来自两大声源:频率范围从 1 Hz ~ 100 kHz 以上的风生海洋波浪和低频(5 Hz 至几百赫兹)的商业航运。显然,传统方法只是计算噪声通量的方法之一,但不一定适合评估声对海洋哺乳动物的影响。

确定海洋噪声水平长期趋势的数据非常有限。海洋噪声水平随着 1950 年左右开始的工业化革命而上升,但这种趋势在 21 世纪如何延续却不清楚。实际上,商船噪声是唯一可以按照科学方法推测其长期趋势的领域。一方面,过去 50 年商船数量显著增加(以及有限的噪声观测),意味着船舶交通产生的噪声水平以 15dB 量级逐渐上升;另一方面,新型船舶可能更安静,对船舶辐射噪声与船舶参数(如总吨位、船长、船速)之间关系的认识不足以形成可靠的预报能力。虽然海洋噪声特性长期趋势的数据非常有限,海洋噪声影响海洋生物的数据更少,但现有数据足以证明必须加强研究和关注海洋噪声的趋势。

海洋噪声对海洋哺乳动物影响的相关观测非常有限。海洋环境噪声和可识别声源对海洋哺乳动物短期和长期的影响人们了解得很少,没有文字证明海洋噪声是各种情况下海洋哺乳动物死亡的生理学致因。另一方面,在环境噪声和人为噪声同时存在的情况下,海洋哺乳动物会改变其发声方式。而且,我们对环境噪声对海洋生物的长期影响则了解得更少。潜在的影响包括听力灵敏度改变、行为模式改变、声波引起的精神胁迫和对海洋生态系统的影响。

与描述海洋哺乳动物分布、听力和行为的模型相比,描述海洋噪声的模型受到更好的研究。将这两种模型结合起来是最大的挑战。作为反潜战研究的一部分,美国海军研发了种类繁多的环境噪声模型和数据库。但是关注海战情形意味着这些环境噪声模型和数据库并不适合于在海洋哺乳动物中的应用。海洋哺乳动物栖息地和分布模式模型以及将音量与响应联系起来的影响模型受到数据太少的严格限制。为了提供一种能够认识和管理海洋哺乳动物与噪声相互作用的有用产品,必须扩充、升级和协调现有的数据库以使海洋哺乳动物模型和海洋噪声模型二者之间得以集成。为了完成模型验证这一关键步骤,记录完整的数据库也必不可少。

最近,来自联邦和科学原始资料以及媒体的报告指出:使用高能中频声呐与喙鲸搁浅之间有联系。军事演习中使用多种高能中频(1~10 kHz)声呐,在时空上都使人密切联想到最近发生的喙鲸大量搁浅事件。一篇喙鲸早先搁浅的综述进一步强化了这种预期,在喙鲸近岸栖息地的军事演习中,使用多种中频声呐与喙鲸搁浅之间至少存在间接关系。在本书的编辑过程中出现了一些近期事件的有关新闻报道,将搁浅归因于“声损伤”,声损伤是损害的一种明确形式。在喙鲸的搁浅事件中,观察到的损伤可归因于许多与声波有关的直接和间接原因,但是在与声暴露无关的环境中也观察到陆地哺乳动物出现相似的损伤。在迄今为止的喙鲸搁浅事件中,仔细取样和分析整只动物几乎是不可能的,这使得确定性诊断成为问题。就本书而言,至今已仔细分析了八个相对较新的样本。因为在时空上重复联想到军事演习中的声呐与鲸搁浅之间的关系,声呐与鲸搁浅之间的关联关系是有说服力的,但是这种关联与搁浅动物的死因机制并不是同义的。所有案例的死因归结为体温过高,但是在案例中看到的异常损伤其精确原因仍未确定。鉴于本结论的初步性质,本书没有仔细讨论 NATO/SACLANT 水下研究中心的报告(D'Amico 和 Verboom, 1998) 和美国海洋大气局—海军中期联合报告。但是,显然这是一个需要更多研究的主题。Evans 和 England 概述的研究计划是一个好的开端。

建议

一个联邦政府部门应作为海洋噪声研究的发起者受命调查研究并监测海洋噪声及其对海洋生物可能造成的长期影响、噪声对哺乳动物的影响以及海洋噪声的长期趋势。需要联邦领导下列工作:(1)特别在海洋哺乳动物的栖息地监测海洋噪声;(2)收集并分析现有海洋活动数据库;(3)协调研究工作以确定海洋噪声的长期趋势及其对海洋生物的可能后果。

为了提供参考数据库、确定目前的研究局限、更好地理解海洋中的噪声,应该收集、集中、组织和分析涉及人工声源海洋噪声的现有数据。目前,航运、地震勘探、油气开采、海洋和海岸带建设及其他海洋活动产生的噪声数据要么不知道,要么很难分析。原因是这些数据由不同的机构持有,如工业数据库公司、船舶工业集团和军事组织。为了有关各方能改进访问这些数据集的能力并在研究中得以应用,供论文发表、教学以及管理和监管的用途,将所有数据归入单一数据库是有利的。该数据库应该是分布式网络的互连数据库,使用标准化的度量单位。因为海洋哺乳动物和海洋噪声问题是全球性的,应该鼓励该数据库研发力量的国际合作以及国际间获取信息。

应该完整报告人为声源信号的特性(如频率组成、上升沿时间、声压和质点速度的时间系列、零至峰值幅度、峰值至峰值幅度、均方幅度、持续时间、均方幅度在持续时间内的积分、重复速率)。人为活动噪声源的每一种信号特性对哺乳动物每个物种的影响可能不同。对声波与海洋生物之间复杂相互作用的认识没有达到足以认定声信号的哪一特性对特定的影响是重要的。因此,应该尽可能测量并记录多种信号特性,公布瞬态信号的真实声压时间系列是有用的。为了确定不同信号特性的生理和行为响应,必须开展哺乳动物暴露于这些信号特性不断改变过程的实验。在特别重要的地理区域,必须特别注意对海洋噪声贡献最大的可能声源以及对海洋生物有显著影响的可疑噪声源。

必须启动宽频范围(1 Hz ~ 200 kHz)的海洋噪声长期监测计划。监测和数据分析必须包括噪声的平均态或稳态,以及可识别的声源如

地震勘探声源、声呐和爆炸声源,这些声源在传统的环境噪声数据集里没有得到鉴别。声数据收集应该与已启动的全球海洋观测系统(正在美国和其他地方讨论)相结合,应该启动长期噪声趋势预报模型研发的研究计划。监测系统的数据应该可以及时获得,以促进工业、军事和海洋研究者、操作者和监管机构等有关各方作出科学的决策。

海洋噪声的测量工作必须针对海洋哺乳动物的重要栖息地。在完全确知并且详细描述这些栖息地之前,在沿岸地区、海洋哺乳动物索饵、迁徙和繁育的邻近知名区域开始一项长期的监测项目是合理的。当确定新的海洋哺乳动物栖息地时,为了在海洋哺乳动物重要的栖息地提供一幅完整的声环境图像,这些栖息地必须纳入声学调查中。

应该制定一个研究计划,研究海洋环境噪声和可识别声源与海洋生物短期和长期效应之间可能的因果关系。解决这个具有挑战性和困难的问题需要生物学家、声学家之间的多学科工作,以便建立仔细的观测、理论和建模计划。该项工作的早期重点应该是分析可识别的高能中频声呐与海洋哺乳动物损伤和群体搁浅事件之间的可能联系。另外,应该大力研究海洋环境噪声对动物长期行为的潜在影响。

无论何时如果可能的话,所有针对海洋哺乳动物开展的研究应该构建成可以预测:所观测的反应是否体现种群层次的效应?虽然难以获得人为活动对海洋哺乳动物直接影响的证据,但是确定个体的长期影响或群体的影响更难。少数个体受到直接影响的记录事例提供了对群体潜在影响的关注,但是没有测量海洋噪声对海洋哺乳动物的群体效应。

为了在全球表征海洋哺乳动物的分布和种群,必须在已知场所之外开展研究。尽管目前有大量的海洋哺乳动物研究,包括已有报告(NRC,1994)所建议的研究,令人吃惊的是缺乏海洋哺乳动物全球分布的有关信息。对物种的迁徙路径、繁殖基地和捕食区域人们了解得相当少。为了预测噪声对海洋哺乳动物行为影响的重要性,必须更好地了解哺乳动物的季节分布和地理分布,并通过调查数据和使用可预知的海洋学变量如海底地形、底质类型和水体变量。要完成这些庞大

的任务需要研发新的取样技术和外推技术。

应该开展确定人类活动级别与噪声之间定量关系的研究。比如,如果船舶类型与噪声之间存在稳定的关系,则船舶航行数据可用于预测船舶噪声。确定人为噪声源的可靠标志可以提供额外的建模工具和预测能力,这在长期监测有困难或不可能的海域特别有用。海洋中每一类人为活动存在类似的需求。

应该开展研究以描述海洋哺乳动物和其他海洋生物在不同季节、不同地理位置和不同行为的背景下所发出声波的分布和特性。在描述海洋哺乳动物声技能方面已经取得很好的进展,自然的发声模式人们了解得很少,包括发声方法和不同发声前后之间的关系以及日间变化、季节变化和空间变化。在局部区域和有限时间内海洋哺乳动物本身或许是海洋噪声可能的来源,因此这些研究也将关注海洋生物在全球海洋噪声通量中的贡献。

人为声波掩蔽了生物学上重要的声信息,引起海洋哺乳动物行为的微小变化,使其无法探测其他动物的叫声或它们自己回声定位的回声,这些变化应该开展研究并加以确定。海洋哺乳动物对人类噪声源的短期影响已经有了有限的记录,但是没有关注海洋噪声对海洋哺乳动物的长期影响,没有记录本底环境噪声增强后引起的影响。

应该继续开展海洋哺乳动物标记研究以观察声信号响应行为的变化,提供仿真建模的重要数据。改进海洋哺乳动物标记技术的工作应该继续得到资助。标记技术目前需要两项改进:(1)数据长期采集标记的持续时间从几个月延长至数年,以便观测行为的年际周期和迁徙模式;(2)高分辨率标记的持续时间从几小时扩展至数天,以便更多地收集日行为和环境线索数据。目前的标记技术可以追踪海洋哺乳动物个体几个月。可以高分辨率采集数据的标记包括动物方位、加速度、发射或接收声波,通常可收集小于一天时间的数据。在确定多种鲸豚和鳍足类生物的行为模式、将行为与环境线索相关联等方面,这些数据已经证明非常有价值。使用高低分辨本领的标记技术应该继续得以发展以提供更长的研究。

长期精神胁迫的可靠标志是否存在？在典型海洋哺乳动物物种中能否用这些标志区分噪声诱发的精神胁迫以及其他来源的精神胁迫？应该尝试这些研究工作并加以确定。精神胁迫标志可能是人为活动噪声对海洋哺乳动物长期影响的有用标记。

应该研究噪声对海洋生态系统中非哺乳生物的影响。鱼类使用声波的许多方式与海洋哺乳动物交流和感知环境的方法大致相当。人们在很大程度上不了解人为噪声对鱼和其他非哺乳物种包括卵或幼虫的影响。作为海洋生态系统的共栖以及同一食物链的成员，噪声对海洋鱼类的影响反过来也将影响海洋哺乳动物。

应该继续并完全支持将声源、声传播和海洋哺乳动物集成在一起的建模工作。预测噪声特性（频率组成、均方声级、峰值声级、声压时间序列）及其对海洋哺乳动物影响的仿真建模可以帮助人们认识并减轻海洋噪声对哺乳动物的有害效应。这样的计划至少有一项正在进行中：受美国海军研究署资助的海洋环境声波效应的建模。尽管受限于有限物种且数据集小，听力（阈值暂时或永久漂移）直接生理效应的建模相对比较直接。应该将这些综合手段延伸至包括噪声源的效应，例如随时间而改变其分布的船舶噪声、风生碎浪声和离散生物噪声。更多的工作应该放在建模，包括针对所有海洋噪声的海洋物种听力模型和行为效应模型。

应该研发并验证正确反映环境噪声的模型，以及可识别噪声对海洋哺乳动物影响的全球海洋噪声模型。利用平均声压谱通量的传统方法在应用于海洋哺乳动物问题时受限，应该推行更加综合的方法以便包括对海洋噪声有贡献的瞬态声源和连续声源。为了具备相关海洋哺乳动物全球海洋噪声模型的研发能力，委员会的许多建议必须解决，特别是那些有关人工声源分布和声源特征的建议。除此之外，由于模型验证是模型研发过程中的一个关键部分，必须同时实施委员会有关收集高质量、记录完整的海洋噪声数据集的建议。

应该制订计划来仔细调查研究：解释喙鲸身上所观察到的损伤的因果机制、该损伤是物种特有的还是更普遍的问题、高能中频声呐声学