

海洋行业标准

《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》

编制说明

标准编制工作组

二〇二一年十一月

目 录

一、制定标准的背景、目的和意义.....	1
二、工作简况.....	3
2.1 任务来源、计划项目编号和起草单位.....	3
2.2 主要工作过程.....	3
2.3 标准主要起草人及其所做的工作.....	5
三、标准编制原则和确定标准主要内容的论据.....	5
3.1 标准编制原则.....	5
3.2 确定标准主要内容的论据.....	6
四、主要试验（或验证）的分析、综述，预期经济效果.....	7
4.1 试验概况.....	7
4.2 试验结果.....	8
4.3 影响分析.....	9
4.4 主要结论及建议.....	10
4.5 预期经济效果.....	11
五、与有关的现行法律、法规和标准的关系.....	11
六、标准作为强制性国家标准、推荐性国家标准、推荐性行业标准的建议.....	11
七、贯彻该标准的要求和措施建议.....	11

一、制定标准的背景、目的和意义

人为水下噪声(以下简称水下噪声)对海洋生物尤其海洋哺乳动物影响研究,已成为国际社会的关注热点。1998年以来,国际《自然》杂志连续发表了数篇有关美国海军低频主动声纳对海豚听觉器官造成的物理损伤和重要器官慢性致命损伤的报道。与低-中频主动高能声纳相比,目前的涉海工程活动,如水下打桩、水下爆破、水下凿岩、水下气枪阵列、人造声呐等将产生更强、影响范围更大的水下噪声。2013年,赫尔辛基波罗的海海洋环境保护委员会(HELCOM)召开的部长级会议,一致同意对海洋生物有负面影响的人类活动需要采取相应的缓解措施后才能够实施,鼓励开展水下噪声对海洋生物影响的研究。2014年,国际海事组织(IMO)发布《减少商船水下辐射噪声及其对海洋生物不利影响指南》,要求商船降低水下辐射噪声,以减轻对海洋生物(特别是海洋哺乳动物)造成短期和长期的负面影响。我国发改委、工信部、交通部也于2014年发布“关于征集开展水下噪声相关研究建议的函”。2018年6月18-22日,联合国UN(United Nations)召开的第十九届海洋与海洋法非正式磋商会议(ICP-19)将主题设为“人为水下噪声”,会前号召各国提交有关水下噪声对海洋生物影响的科研素材,遗憾的是我国因相关研究匮乏而没有提交资料,以致没有代表在会上发言。公海保护区的选划及谈判中,有关水下噪声对海洋生物的影响评估也将是重要的讨论议题之一。因此,应加强这一方面研究,为我国在公海保护区谈判提供技术支撑,同时反制欧美发达国家对我国在公海开展海洋活动的限制。深海矿产开发影响评价中,采矿产生的水下噪声对海洋生物的影响也是国际海底管理局关心的评价内容之一。

《国际保护野生动物迁移公约》敦促各成员国应进行水下噪声的环境评价并采取缓解措施,形成水下噪声影响海洋生物的评估指南。国际标准化组织(ISO)已颁布水下打桩辐射噪声的测量标准(ISO18406-2017)。美国海洋与渔业局(NMFS)已颁布有关水下噪声对海洋哺乳动物影响的临时性标准。英国联合自然保护委员会(JNCC),近期发布了打桩和地震勘察噪声草案,用于保护海洋哺乳动物。加拿大已经制定特定的指导方针用于减缓地震勘察和高能声纳产生的海洋噪声。此外,德国、澳大利亚、新西兰等国也发布了噪声影响下的海洋哺乳动物保护措施。

目前,我国国家和行业标准中没有专门针对水下噪声对海洋生物影响评价的标准。《GB6722 爆破安全规程》(2011)首次将水中声波对鱼类的影响安全控制指标进行了说明,其中高敏感石首科鱼类在自然状态下所承受的水中冲击波超压峰值为 0.10 MPa (100 kPa),网箱养殖状态下所承受的超压峰值为 0.05 MPa (50 kPa);指出 2014 年修订的《GB6722 爆破安全规程》(2014)做了进一步修订;最新的《爆破安全规程》(GB6722-2014)对声波影响下的鱼类指标做了进一步修订,认为高敏感石首科鱼类在自然状态下所承受的超压峰值为 $0.10 \times 10^5 \text{ Pa}$ (10 kPa),网箱养殖状态下所承受的超压峰值为 $0.05 \times 10^5 \text{ Pa}$ (5 kPa)。但规程中未给出水下噪声监测及对大黄鱼影响评价的具体方法。实际的工程应用中,仅用水下噪声的声压峰值作为评价指标,也并不能完全反映水中声波对鱼类的影响程度,存在一定局限性。2014 年,自然资源部制定了《海上风电工程环境影响评价技术规范》,规范给出了海上风电工程水下声环境监测及对海洋生物影响评价的部分内容,但此评价只针对海上风电工程,没有涉及更多的评价参数,如声暴露级、生物听觉加权、噪声源强和声场分布计算等,适用范围有限。ISO18406-2017 提供了水下打桩辐射噪声的测量方法和规程,但没有涉及水下噪声对海洋生物的影响评价内容。

我国拥有全球 10~14%的海洋生物物种,但随着社会经济的发展以及陆地资源的逐渐短缺,海洋开发利用的热度逐步升温,海洋工程数量不断增加,造成海洋生态环境恶化,导致 15~20%的物种处于濒危状态。据统计,我国海上风电、跨海桥梁、码头建设、海底隧道、海洋矿产资源勘探等海洋工程数量以每年 400 多个快速递增,这些海洋工程建设带来的水下噪声污染,给附近海域的海洋哺乳动物和声敏感鱼类带来重大影响,影响程度从轻微行为干扰、听力暂时性损伤甚至物理损伤或死亡。因此如何有效评价水下噪声对海洋生物的影响,降低水下噪声引起的负面效应,减少对海洋生物尤其是珍稀濒危物种的影响,是一项急需解决的课题,具有十分重要的意义。

针对当前人为水下噪声监测和相关评价方法缺乏统一标准的不足,本指南拟以大量的研究和实测数据为基础,结合国内外研究进展及最新规范,提出水下噪声对海洋生物影响评价原则、内容和方法,并进行试验验证,为从事近海(岸)建设、岛礁工程和深海采矿等领域的单位和人员提供必要的参考依据。

二、工作简况

2.1 任务来源、计划项目编号和起草单位

根据自然资源部2016年度海洋标准修订计划需求，并结合“十三五”海洋生态文明建设、海洋战略性新兴产业发展等海洋标准化重大需求，自然资源部第三海洋研究所积极申报“水下噪声对海洋生物影响评价指南”，2016年5月17日由全国标准化技术委员会海洋生物资源开发与保护分技术委员会在厦门组织了海洋生物资源开发与保护领域标准立项审查会，该项标准全票通过立项审查。2017年1月，原国家海洋局发布了《国家海洋局关于下达2016年度海洋行业标准制修订计划项目立项的通知》（国海科字[2016]692号），本项目获得立项，项目编号：201612017-T，由自然资源部第三海洋研究所承担制定工作。

2.2 主要工作过程

（1）成立标准编制组

2017年1月接到任务通知后，项目立即启动，自然资源部第三海洋研究所组织成立了标准编制组。编制组认真学习标准制修订流程，加强组织协调，认真落实经费保障，深入开展调查研究。编制组首先整理了近十年来承担的国家专项、863、海洋公益专项、军队和地方等30多个项目中关于水下噪声、海洋生物声学相关研究的成果与资料，并查阅了国内外相关文献资料，分析水下噪声对海洋生物影响评价的政策法规、研究现状、相关方法及其存在的问题。在此基础上制定了技术路线和项目实施方案。

（2）工作、调研及资料查询

2017年2-5月项目组内部召开了相关研讨会进行实施方案讨论，并确定了编制组人员分工。

2017年6-12月，标准编制组充分分析水下噪声对海洋生物影响的相关资料，有针对性地开展调查研究，广泛征求和收集各方意见，并追加查阅了国内外最新文献。在此基础上，优化编写标准草案的技术问题，确定该标准的普适性、技术指标及其条文说明等，完善了实施方案。本阶段，同步组织开展了验证试验。

（3）编写标准草案

2018年-2019年6月，标准编制组以承担的多个国家级、省部级研究项目和地方委托的横向项目为工作基础，并结合多年的工作经验积累，起草完成了“水下噪声对海洋生物影响评价指南”草案初稿。草案初稿完成后，首先在研究所内部广泛征求意见，然后邀请两名国内相关领域知名专家（来自国家海洋环境监测中心、中国科学院水生生物研究所）对草案进行了函审，最后征求了厦门大学、浙江海洋大学、自然资源部南海分局等单位相关专家的意见。起草组对这些意见认真修改完善，形成了征求意见稿。

（4）征求意见阶段

2019年9月，起草单位在厦门召开了本标准征求意见稿的内审会议，由厦门大学、厦门市标准化研究院、自然资源部第三海洋研究所等三位专家组成的评审专家组。起草组对标准说明和标准征求意见稿进行了详细汇报，专家组一致同意通过审查，经补充修改后提交征求意见。2019年11月，起草组逐条完成了专家组建议的修改完善，上交了对外征求意见稿。2020年1月，起草单位对标准征求意见稿及编制说明公开征求意见，包括部直属系统、中科院系统、中船系统、高校系统、相关企业等20家单位，截止到2月底，收到18家单位回函，建议和意见共94条，满足标准征求意见要求。2020年3月-6月，起草组逐条审阅修改意见，形成了标准送审稿其中，采纳65条（全部进行了修改），部分采纳3条（采纳部分，均进行了修改），未采纳26条（均给出了未采纳理由）。2020年7月-10月，根据自然资源部科技发展司对标准制修订流程的要求，起草单位将修改完善后的标准送审稿和编制说明发送给自然资源部相关司（自然资源调查监测司、海洋预警监测司）的征求意见，根据意见修改完善，最终形成了标准送审稿。

（5）送审阶段

2020年11月，全国海洋标准化技术委员会海洋生物资源开发与保护分技术委员会在厦门主持召开了本标准送审稿技术咨询会，邀请自然资源部海洋咨询中心、中国水产科学研究院东海水产研究所、中国水产科学研究院黄海水产研究所、厦门大学、集美大学、厦门银祥集团有限公司和自然资源部第三海洋研究所的9名专家组成咨询组。咨询组提出了宝贵意见并建议进一步修改完善送审稿。2020年12月-2021年6月，起草组逐条修改咨询组意见，进一步优化完善形成了本标准送审稿。2021年9月9日，全国海洋标准化技术委员会海洋生物资源开发与保护分

技术委员会，以视频会议形式组织召开了本标准的送审稿技术审查会，邀请自然资源部第三海洋研究所、国家海洋环境监测中心、国家海洋标准计量中心、中国环境科学研究院、自然资源部海洋咨询中心、中国科学院南海海洋研究所、中国水产科学研究院东海水产研究所、自然资源部第二海洋研究所的9名委员和来自厦门大学的1名行业专家组成审查专家组。与会委员和专家认为《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》行业标准达到了国内先进水平，同意该项行业标准通过审查。

(6) 报批阶段

2021年9月10日-27日，起草组逐条修改审查专家组意见，修改完善本标准，形成了本标准报批稿。

2.3 标准主要起草人及其所做的工作

自然资源部第三海洋研究所长期致力于海洋声学环境研究和海洋生物声学研究。海洋声学环境研究侧重于水下噪声调查与监测技术，海洋生物声学研究侧重于研究海洋哺乳动物和石首鱼科的声学特性以及水下噪声对其影响评估。国家海洋环境监测中心从事全国海洋生态环境监测与保护工作。参与本标准起草工作的共有8人，分别为杨燕明、牛富强、于丹竹、薛睿超、陈本清、许德伟、马丽、王先艳。其中杨燕明负责标准编写的全面工作；牛富强负责组织实施和标准的编写；于丹竹和薛睿超负责标准的试验验证；陈本清、许德伟负责标准的优化完善；马丽、王先艳负责标准的校核。

三、标准编制原则和确定标准主要内容的论据

3.1 标准编制原则

针对当前人为水下噪声监测需要和相关评价研究的不足，为建立水下噪声对海洋生物影响评价方法，结合国内外研究进展及最新规范，在掌握水下噪声测量及对海洋生物影响评价技术基础上，特制定此评价指南，为海洋工程建设影响评价、海洋生物合理保护等提供必要的参考依据。

本标准结合实际评价事件和管理部门需求，兼顾生态环境保护和经济建设发展，按照“科学、严谨、合理、实用和可操作”编制，准编制过程中遵循以下原

则：

- (1) 标准的制定要符合国家和海洋行业有关的政策、法律；
- (2) 标准的制定尽量做到与国际上相关的标准接轨；
- (3) 标准的制定充分考虑我国人为水下噪声类型、水下噪声监测的发展水平、待评价的海洋生物种类以及待评价工程的监测需求；
- (4) 标准的制定力求语言简明、内容全面、合理可行，同时具有普遍适用性，便于监测单位对照执行和海洋行政管理部门监督管理。

3.2 确定标准主要内容的论据

本标准适用于近海（岸）海上风电场建设、海洋勘探及油气平台建设、以及跨海、河口、港口、码头等基础和桥梁支撑建设等，水下噪声特指上述人为活动产生的水下噪声，适用的海洋生物包括鱼类、海洋哺乳动物。本标准主要提供给从事海洋工程建设、岛礁工程、海底矿产勘探、生态环境影响评价等领域的单位和人员使用。

本标准仅包括水下噪声的声压测量，不包括由声波传播引起的水体中质点振动速度测量或声波在海底传播引起的海底振动测量。当然并不是说这些测量不重要，在评估海洋生物影响时已意识到其重要性。然而，目前这些工程量的测量还不够成熟，无法标准化。

本标准规定了人为水下噪声对海洋生物影响评价相关的原则、内容和方法，主要依据了《GB/T 5265 声学 水下噪声测量》、《GB/T 12763.5 海洋调查规范 海洋声、光要素调查》、《GB 17378.1 海洋监测规范 第1部分 总则》、《GB/T 19485 海洋工程环境影响评价技术导则》、《SC/T 9110 建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》、《GB/T 14259 声学 关于空气噪声的测量及其对人影响的评价的标准的指南》、《GB/T 14366 声学 职业噪声测量与噪声引起的听力损伤评价》、《ISO 18406-2017》等技术规程，以及美国国家海洋与大气管理局（NOAA）、美国国家海洋与渔业局（NMFS）相关管理文件，英国水下声科技公司的研究报告，加拿大JASCO公司的研究报告等。

本标准引用了美国NOAA给出的水下噪声对海洋哺乳动物和鱼类影响的参考门限值，这一参考值虽是临时性，但也是目前国际上唯一参考值，随着将来进一步研究，这一参考值可能会更新。本标准参考了较为成熟的空气中噪声对人类

影响评价的国家标准《GB/T 14259 声学 关于空气噪声的测量及其对人影响的评价的标准的指南》。GB/T 14259指出“噪声暴露引起听觉感受性的损伤，在不同人之间差别很大，不是每种情况都能预报的”，因此临时性的参考门限值能够满足当前影响评价的需求。

关于人为噪音如何影响海洋哺乳动物的科学评估可以追溯到近半个世纪。对动物福利的认识和关注的增加促使监管机构和行业去考虑特定人类活动的噪声暴露水平可能会伤害海洋动物，尤其是海洋哺乳动物。然而，在2007年之前，由于数据有限，还没有为不同类型的海洋哺乳动物和不同类型的人为噪声源制定或广泛提出噪声暴露标准。美国国家海洋渔业局(NMFS) 海洋声学计划组建了一个科学家小组来解决这一具有挑战性的任务。经过Southall等、Finneran等科学家的努力，形成了听觉暴露标准，被美国监管指南（2018）使用。

至于鱼类，其听觉敏感性及其可听频率范围在不同种类中有相当大的差异。大量的实验结果表明：鱼类听觉敏感性等与其鳔的有无、大小、形状及其与内耳的联系方式有关。根据 2014 年准则对鱼类进行听力分组，分为无鱼鳔的鱼、有鱼鳔但鱼鳔与听力无关的鱼、有鱼鳔但鱼鳔与听力相关（与内耳物理隔离）的鱼、有鱼鳔但鱼鳔与听力相关（与内耳物理连接）的鱼、卵和幼体。总体上，鱼类的听阈范围一般在 30Hz~1000Hz 间，最佳听力范围为 100Hz~400Hz。

四、主要试验（或验证）的分析、综述，预期经济效果

4.1 试验概况

标准编制组于 2017 年 3 月对位于福建省罗源湾海域由工程爆破引起的水中声波对养殖大黄鱼的影响进行了监测与评价。

布设的水下声波监测系统具备快速、实时测量的功能，包括测量水听器、信号调理系统、数据采集记录系统、信号显示系统等四部分，如下图 1 所示，采用船载测量方法，如下图 2 所示，测量水下噪声的同时对现场环境进行了详细的观测和记录。

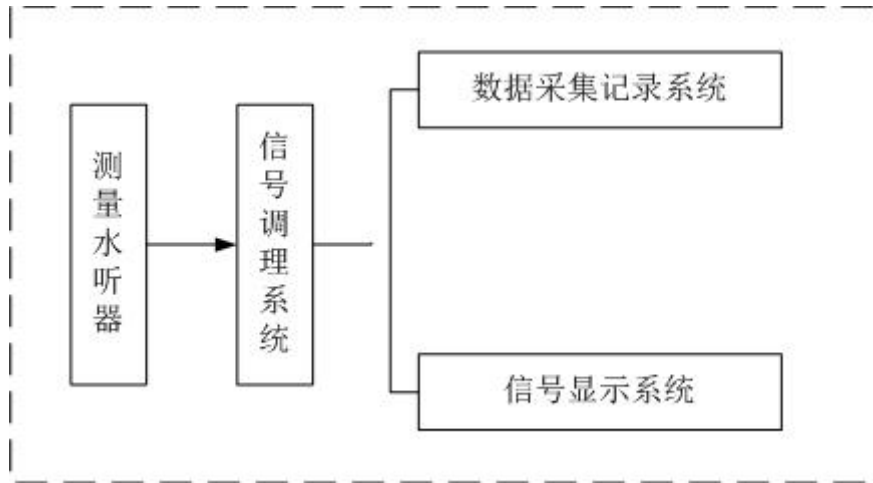


图1 水下噪声测量系统组成示意图

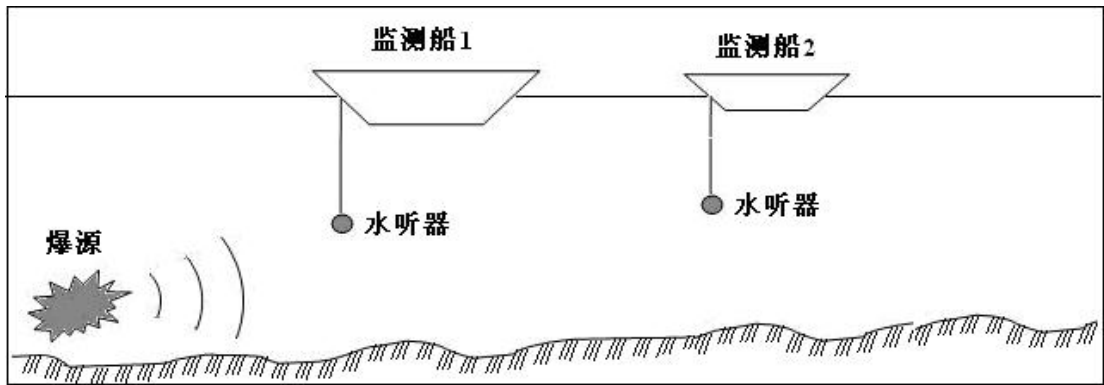


图2 水下噪声船载测量方法示意图

主要测量系统为：B&K公司Pulse3660、8104水听器等；另一套采用CRYSTAL仪器公司的CoCo80、B&K公司的8104水听器等，指标参数如下：

(1) Pulse3660 技术参数：带宽 10Hz~51.2kHz，窄带动态范围 160dB，量化精度双 24bits。

(2) CoCo80 技术参数：采样率高达 102.4kHz，动态范围大于 130dB，量化精度 24bits。

(3) 8104 水听器（100m）技术参数：带电缆电压灵敏度：-213.2.6dB（参考 1V/ μ Pa），工作频段 0~120kHz。

4.2 试验结果

水下冲击波对大黄鱼的影响指标，采用峰值声压级 SPLpk和声暴露级 SEL来评价，两种参数计算公式如下：

$$SPL_{pk} = 20\log_{10}(\max(|p(t)|)) \quad (1)$$

式中， $p(t)$ 为声信号时域序列，Pa；参考值 $1 \mu\text{Pa}$ 。

$$SEL_{ss} = 10\log_{10}(\int_T p(t)^2 dt) \quad (2)$$

式中， $p(t)$ 为声信号时域序列，Pa；参考值 $1 \mu\text{Pa}$ 。

水下噪声监测结果如表1所示。

表 1 水下噪声监测结果

监测日期	声压峰值/Pa	声暴露级/dB
2017-01-19	511.1	145
	907.8	151.2
2017-02-08	1527	156.1
	3050	157.2

4.3 影响分析

依据由厦门大学、自然资源部第三海洋研究所在宁德市福鼎水产公司大黄鱼养殖基地开展的大黄鱼对声音敏感性试验结果（表 2），开展本工程产生的水下噪声对大黄鱼影响分析。表 2 可以看出，三个年龄的大黄鱼在水中声压约 $140\text{dB re } 1\mu\text{Pa}(10 \text{ Pa})$ 时均能对声波发生行为反应，但听力损伤和致死的声压门限，年龄之间差异较大。

表 2 发射声波的声压观测值和大黄鱼的行为反应

鱼龄分类	发射声波的声压/Pa	鱼的行为反应或状态
1 个月的幼苗	10	鱼群主动避开声源
	40	少量死亡
	400	较多幼苗死亡
8 个月的小鱼	40	鱼群主动避开声源
	2200	声源正上方的鱼翻滚，反应迟钝
	4000	鱼群受惊吓，跳离水面，反应迟钝
13 个月的大鱼	100	少量鱼快速游离

	320	鱼群主动避开声源
	1000	鱼群快速逃离，几只跳出水面
	4000	鱼群受惊吓，跳离水面，反应迟钝

本工程现场监测过程发现，声压峰值低于大黄鱼的行为反应门限时，也出现大黄鱼受惊吓，反应迟钝、扎堆等现象（图3），因此需考虑水下冲击波的声暴露级。结果表明，即使水下冲击波的声压峰值小于门限值，当冲击波的声暴露级达到一定值，大黄鱼也会出现行为反应。



图3 养殖鱼排内大黄鱼的行为反应

4.4 主要结论及建议

参考《GB6722 爆破安全规程》中对网箱养殖石首鱼科的安全控制标准为 5 kPa，本次监测结果表明基本都能控制在这一安全范围内。但由于大黄鱼对外界声波更加敏感，实际工程作业中，应将冲击波的声压峰值控制在 3 kPa 之内。本工程监测过程中，发现少量声压峰值高于 3 kPa 的信号。项目组及时与施工方进行沟通，调整了施工工艺，优化了分段多孔毫秒微差爆破技术方案，有效控制了爆破产生水下冲击波的声压峰值。既保障了工程的进度，又降低了冲击波对大黄鱼的影响。

鉴于海洋生物的声敏感性特征和不同海域的水下声传播衰减有所不同，因此建议涉海工程进行爆破施工作业时，应实施分段多孔毫秒微差爆破技术，并进行必要的水下噪声监测及对海洋生物的影响评估。

4.5 预期经济效果

本标准预期在人为水下噪声对海洋生物影响评价达到国内领先水平，形成指导性文件。通过本标准的建立，提高人为水下噪声对海洋生物影响评价的客观性、科学性、准确性，为近海（岸）、岛礁和深海等工程建设影响评价、海洋生态保护等提供技术支撑，具有显著的社会、经济和生态效益，实现“海洋经济发展与环境生态保护”双赢。

五、与有关的现行法律、法规和标准的关系

本标准规定了人为水下噪声测量要求，人为水下噪声对海洋生物影响评价涉及的评价对象、工作程序和评价方法，与现行的《GB/T 5265 声学 水下噪声测量》、《GB/T 12763.5 海洋调查规范 第 5 部分：海洋声、光要素调查》、《GB/T 12763.6 海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》等相关标准相协调。

六、标准作为强制性国家标准、推荐性国家标准、推荐性行业标准的建议

本标准作为推荐性海洋行业标准。随着管理部门和施工单位需要，将来可逐渐过渡为推荐性国家标准。

七、贯彻该标准的要求和措施建议

贯彻该标准的要求和措施建议如下：

（1）建议标准发布实施用于指导不同人为活动水下噪声对海洋生物的影响评价工作；

（2）建议海洋行政管理部门、监测单位、施工单位、工程主体单位等按照本标准落实水下噪声监测及对海洋生物影响的评价、监管，

（3）标准宣贯责任单位为自然资源部第三海洋研究所和国家海洋环境监测中心；

（4）建议本标准应随着水下噪声监测技术和对海洋生物影响评价手段的发展，适时进行修订。