

环保会 MEPC.1/Circ.906 通函
(2023 年 8 月 22 日)

经修订的降低航运造成的水下辐射噪声对海洋生物不利影响指南

1 海上环境保护委员会在其第 66 届会议（2014 年 3 月 31 日至 4 月 4 日）上，为了对降低商业航运造成的水下噪声提供指导，在船舶设计和设备分委会（DE）在其第 57 次会议上制定的建议案后，批准了《降低商业航运造成的水下噪声对海洋生物不利影响指南》（本指南）。

2 海上环境保护委员会在其第 80 届会议（2023 年 7 月 3 日至 7 日）上，为了提高意识、应用和实施，在船舶设计和构造分委员（SDC）在其第 9 次会议（2023 年 1 月 23 日至 27 日）上对本指南进行全面修订后，批准了《经修订的降低航运造成的水下辐射噪声对海洋生物不利影响指南》（经修订的本指南），其文本载于附件。

3 为了降低船舶造成的水下辐射噪声，提请各成员国政府使用附件中的经修订的本指南，并使所有相关方注意到经修订的本指南，特别是船舶和设备设计方、船厂、船东和经营人、船级社、供应商、制造商和其他利益相关方。

4 还提请各成员国政府和国际组织根据通过应用经修订的本指南所获得的实际经验，在议程项目“任何其他事项”下，向海上环境保护委员会提交资料、评论、意见和建议。

5 经修订的本指南将于 2023 年 10 月 1 日生效。

6 本通函废除 MEPC.1/Circ.833 通函。

经修订的降低航运造成的水下辐射噪声对海洋生物不利影响指南

1 前言

1.1 商业航运是造成水下辐射噪声的一个主要因素。水下辐射噪声对包括海洋哺乳动物、鱼类和无脊椎动物物种在内的多种海洋生物的关键生命功能产生不利影响，而许多沿海土著社区的食物、生计和文化都依赖于这些生物。

1.2 为了有效减轻船舶造成的水下辐射噪声对海洋生物的影响，需要在各个层面开展国际合作和行动，涉及包括但不限于海员、设计方、船厂、船东和船舶经营人、海事主管当局、供应商、制造商和船级社在内的多个利益相关方。通过设立降低噪声目标的期望和制定降低噪声的努力可予以实现的机制和方案，各成员国政府也发挥重要作用。

1.3 声音是水生动物用于社交互动、繁殖、导航和探测障碍物、猎物、捕食者和其他威胁的主要感觉机制。船舶最相关的噪声源与不同物种的听觉范围和声音运用重叠。根据物种的不同，水下辐射噪声对海洋哺乳动物、鱼类和无脊椎动物的造成的影响已有记录，包括发育障碍、身体状况不佳、捕食增加、后代存活率降低、摄食减少、DNA 断裂、行为改变、掩蔽问题和生理反应。尽管基于实地观察、实验室实验、建模方法和土著知识，并考虑到不同地区的环境相关特征和不同物种的噪声敏感性，对船舶噪声的影响进行了评估，有关噪声对生态和商业关键物种影响的进一步数据将有助于向利益相关者提供信息。

1.4 对于新船和现有船舶，单独或组合考虑的降低水下辐射噪声措施的技术可行性和成本效用很大程度上取决于与特定船舶相关的设计、操作参数和要求，认识到这点非常重要。降低水下辐射噪声的成功策略，应尽可能包括设计阶段、水下辐射噪声测量（预测或实际）的基线设定、水下辐射噪声目标制订以及为达成这些目标而采取的技术和操作措施的实施、监控和评估。应仔细考虑降低水下辐射噪声措施的实施与其他目标（例如但不限于能效、减少生物污底和船舶安全）之间的相互作用，以及由此产生的作用。

2 适用范围

2.1 本指南可适用于任何船舶，并考虑船舶的设计、建造、改装和营运。

2.2 本指南不涉及军舰和海军辅助船产生的噪声以及出于其他目的（例如声纳或地震活动）故意产生的噪声。

3 目的

3.1 本指南的目的是：

- .1 提供设计方、船厂和船舶经营人用于降低任何指定船舶的水下辐射噪声的方法概述；和
- .2 协助有关利益相关方制定降低噪声的努力可予以实现的机制和方案。

3.2 考虑到船舶设计和建造相关的复杂性，以及各种降低和减轻船舶水下辐射噪声的方法，本指南侧重于确定船舶产生水下辐射噪声的主要因素，以及设计方、船厂、船东和船舶经营人可以采取的一般通用方法。水下辐射噪声主要因素与螺旋桨、船体线型、船上机械、尾流以及操作和维护方面有关。

3.3 按本指南所述，降低水下辐射噪声的管理计划是一种在合理和切实可行的情况下可应用于船舶营运、设计、建造和改装的工具。

3.4 此外，鼓励船舶和设备设计方、船厂、船东和经营人、海事主管当局、船级社、供应商、制造商和其他利益相关方在其具体活动中引入和应用本指南，并考虑本指南中未包括的任何其他技术和操作措施，其可能更适合具体应用并已证明有效地进一步降低水下辐射

噪声。

3.5 降低水下辐射噪声的技术解决方案的制定，以及有关水下辐射噪声对海洋生物影响的科学知识将不断变化发展。为了确保有关各方具备最佳可用资料以告知为降低水下辐射噪声作出的努力，并考虑与能效符合性措施的关系，本指南将定期进行评审和更新。鼓励各成员国政府和观察员传达从船舶和设备设计方、船厂和经营人、科学组织、民间社会、土著知识持有者等其他方获得的经验和信息，以协助改进和更新本指南。

4 定义

就本指南而言，下列定义适用：

水下辐射噪声基线：典型操作条件下的船舶源等级（及相关源深度），由初始预测和试验得出或最好由标准化测量得出。

空化：由螺旋桨或其他装置通过静态或动态方法引起的环境压力降低，导致液体中形成气泡。这种形成既指新空泡的形成，也指原有空泡的扩大。当这些气泡移动到环境压力较高的区域时，它们会破裂，从而产生被推进船舶的主要噪声来源。

空化开始速度：（通过视觉或听觉）可以探测到空化的船舶速度。

现有船舶：非新船的船舶。

听觉范围：动物的耳朵或任何其他感觉器官所能探测到的频率范围。

土著知识：一种应用于生物、物理、文化和精神系统现象的系统思维方式，所蕴含的见解基于证据，并通过长期的亲身经历以及广泛和多代人的观察、教训和技能获取。在经历了几千年的发展后，土著知识仍在不断演变，包括现在与未来获得的知识，并代代相传。根据本定义，土著知识超越了观察和生态知识，提供了一种独特的“认识方式”。

掩蔽：噪声干扰对海洋动物重要的其他声音的探测和感知。除其他影响外，掩蔽可能导致海洋物种减少或丧失交流范围。

新船：在本指南生效日或以后签订建造合同；或如无建造合同，在本指南生效日或以后安放龙骨或处于类似建造阶段的船舶。

螺旋桨噪声：由螺旋桨在船体伴流场中操作时产生的流动现象引起。螺旋桨噪声包括非空化螺旋桨噪声和空化螺旋桨噪声。如发生空化，它通常是最主要的噪声源。

辐射噪声级（RNL）：以分贝表示的声压级。辐射噪声级是一个船舶源级，假定船舶可以被视为声点源。计算方法为与船舶参考点的距离 D 乘以该距离处指定参考值的远场均方根声压 $PRMS(D)$ 。

数学公式为

$$RNL = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{RMS}}{P_{REF}} \right) + 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{D}{D_{REF}} \right) \text{ dB}$$

压力参考值（ P_{REF} ）为 1 微帕。距离参考值（ D_{REF} ）为 1 米。完整的技术定义见 ISO 17208-1:2016《水下声学-船舶水下声音描述和测量的数量和程序-第 1 部分：用于比较目的的深层水的精密测量要求》。

声压级：对于水下噪声，以 10 乘以水下均方根声压（ P ）与 1 微帕斯卡基准声压之比的以 10 为底的平方对数表示， $SPL = 10 \cdot \log_{10}(P/P_{REF})^2$ ，式中 $P_{REF} = 1$ 微帕斯卡。

结构噪声：结构噪声系指船舶结构中的振动，当振动的表面激励周围介质（即基座、管道、其他耦合的机械或连接的辅助设备）时，将产生噪声。结构噪声通常用振动度量来测量和量化。

源级：水下源级见 ISO 18405:2017《水下声学-术语》。通常，源级用于量化在参考距离（对于水下声学，通常为 1 米）处由设备（机械或诸如船舶的其他实体）产生的声音（或

振动)。

水下辐射噪声等级：就本指南而言，系指任何船舶造成的噪声。水下辐射噪声等级以分贝作为声压级。

隔振装置：通过降低振动能量的幅度，从而将机械振动与船舶结构隔离的振动弹性元件（钢弹簧、橡胶或其他系统）。隔振装置也可用于保护设备免受来自船外的有害振动（例如，恶劣天气时的冲击）。

5 水下辐射噪声管理计划

5.1 水下辐射噪声管理计划是适用于符合第 2 节的船舶的一般方法，包括用于设计、建造、营运及/或改装的降低水下辐射噪声的可能策略。

5.2 考虑到船舶设计和建造的复杂性，以及各种降低水下辐射噪声的方法，船东和设计方应在设计的最早阶段进行水下辐射噪声管理计划。同样，在合理和切实可行的情况下，可对现有船舶进行水下辐射噪声管理计划。

5.3 水下辐射噪声管理计划拟作为一种可采用定制方法的灵活工具，内容可包括建立船舶水下辐射噪声基线（预测或实际）；设定具体和（如可能）定量的水下辐射噪声目标；以及单独或共同评估降低水下辐射噪声的各种技术、操作和维护方法。内容详细程度不同的两个模版见附录 3，以协助对船东/设计方提供指导。

5.4 各方具备如下所述的机会（但不限于此）来支持有效的水下辐射噪声管理计划：

- 1 船东：制定和实施水下辐射噪声管理计划，将水下辐射噪声要求纳入船舶设计规范，并按照此规范维护船舶。
- 2 设计方：按船东的营运计划设计船舶，以满足水下辐射噪声要求。
- 3 船厂：建造符合水下辐射噪声规范的船舶。
- 4 船舶经营人：营运船舶以满足水下辐射噪声目标和其营运所在地区的任何附加要求。
- 5 海事主管当局：采取支持性行动，促进和推进水下辐射噪声管理计划，例如，支持部署测量船舶噪声级的工具，支持创新和采用降噪技术，并交流水下辐射噪声信息。
- 6 船级社：在合理可行的情况下，协助船东/船厂进行预测、试验、相关水下辐射噪声附加标志、认证等工作。
- 7 供应商和制造商：向船厂和船东提供设备，协助船舶符合水下辐射噪声规范。

6 降低水下辐射噪声的方法

6.1 船舶产生水下辐射噪声的主要来源与螺旋桨、船体线型、船上机械、尾流以及操作和维护方面有关。在典型操作速度或接近设计船速时，大多数水下辐射噪声由螺旋桨空化引起，但也和船上机械和操作方面相关，特别低于空化开始速度时。螺旋桨噪声本身可能是总体水下辐射噪声的主要因素。任何船舶的最佳水下辐射噪声减轻策略至少应考虑所有相关噪声源和减轻策略，包括本指南未涵盖、但可能更适合于具体应用的任何噪声源和减轻策略。

设计和技术降噪方法

6.2 在船舶的初始设计和建造阶段，降低水下辐射噪声的机会最大。对于现有船舶，除非在某些情况下对螺旋桨进行可能的改装，满足新设计能达到水下辐射噪声性能是不实际的。因此，下列设计考虑主要用于新船。但是，在合理和切实可行的情况下，可考虑对现有船舶进行改装。表 1 概述了适用于新船和/或现有船舶的设计和技术降噪方法。

船体设计与改装

6.3 船体周围的水流可能会对水下辐射噪声产生影响，因为船体线型会影响水流入螺

旋桨。已知不均匀或不均质的伴流场会增加螺旋桨空化。因此，船舶的船体线型及其附体应设计成使伴流场尽可能均匀，以降低空化。此外，不应忽略螺旋桨对船体结构的激励。

6.4 为降低船体水下辐射噪声，应考虑结构噪声。减轻措施可包括优化尺寸、应用去耦涂层和结构阻尼。

螺旋桨设计与改装

6.5 应设计和选择螺旋桨以最大程度降低空化，同时考虑和优化对能效的影响。空化可能是主要水下辐射噪声源，可显著增加水下辐射噪声。在典型操作速度下，通过良好设计（例如优化螺旋桨载荷，保证水流均匀通过螺旋桨（受船体设计影响）），并仔细选择螺旋桨特性（例如直径、叶片数量、叶片面积、螺距、桨叶侧斜、倾斜度和剖面），可以降低正常操作工况下的空化现象。分析和研究船体与螺旋桨的相互作用，可以同时优化螺旋桨、船体、舵和船舶性能的设计。

6.6 降低噪声的螺旋桨设计可供许多应用选择，并应予以考虑。但是，认识到由于技术或几何限制（例如螺旋桨的冰区加强、质量），无法一直采用降低水下辐射噪声的最佳螺旋桨。还认识到降低空化的设计原理会造成效率降低。目前已经开发了一些最先进的螺旋桨设计和概念，包括高倾斜螺旋桨、正倾斜螺旋桨和对旋转螺旋桨。

6.7 诸如风辅助推进或空气喷射润滑船体等新兴技术可以减少所需的推进功率。可以考虑采用这些技术来降低螺旋桨载荷和空化噪声。应考虑的事实是，减少推进载荷不会对水下辐射噪声产生不利影响，例如在相同功率载荷水平下在吸入侧产生空化。还可将气泡注入船尾和螺旋桨来降低水下辐射噪声。

尾流改善

6.8 通过优化船体线型设计、船体和螺旋桨附体（如采用推进改进装置/节能装置或不对称船尾设计）改善水动力性能，可以提高螺旋桨的性能和进水量，降低水下辐射噪声。

6.9 为改善船舶螺旋桨的进水量，可以使用许多装置，但这些装置可能会造成空化，因此对于新船或现有船舶都应仔细设计。在进行螺旋桨空化试验时，可以对装置的空化性能进行评价，并在空化试验设施中进行模型试验。这些装置包括：

- 1 安装尾流调节装置和优化舵设计。
- 2 预旋定子（PSS）：位于螺旋桨前的定子可以降低叶片通过频率（BPF）噪声，提高螺旋桨效率。
- 3 前置预旋导轮：螺旋桨前的叶片和定子可以改善螺旋桨的空化性能，提高螺旋桨效率。
- 4 带翼片的毂盖可能有助于改善船舶螺旋桨的尾流。它可以从螺旋桨尾流中回收能量，提高螺旋桨效率。带翼片的毂盖也有助于避免浆毂涡流空化。

机械设计与改装

6.10 应考虑选择推进系统和船上机械以及适当的结构声音控制措施、船体中设备的适当位置以及可降低水下辐射和影响乘客和船员的船上噪声的基座结构的最优化。应在需要降低噪声时优化船舶机械/设备的排列。可以通过固定不是始终需要或者在运输的某些部分不需要的设备，实现降低水下辐射噪声。此外，根据船舶推进装置的配置，可以通过选择性操作发动机和发电机组来进一步减少水下辐射噪声。例如，舷内安装的发动机可能比舷外安装的发动机产生更低的水下辐射噪声。通过测量各种设备的水下辐射噪声，可以制定“安静船舶的配置”，从而了解每个装置对整体船舶噪声的影响。

6.11 空气声可以激发传入水中的结构噪声。设计方、船东和船厂应要求发动机/机械制造商提供有关其机械产生的空气声等级和振动的信息，以便通过附录 2 所述方法进行分析，并建议可能有助于减少水下辐射噪声的安装方法。

6.12 对于往复式机械和旋转机械（例如制冷装置、空气压缩机和泵），应考虑适当使

用隔振装置以及改进的动态平衡。其他项目和设备（例如水力学、电动泵、管系、大风机、通风管和空调管道）的隔振可能对某些应用有利，特别是当更直接的技术不适合具体应用时，其作为减轻措施。也可以考虑采用主动噪声控制来抑制这些声源的结构振动。

6.13 隔振装置可以减少机械对支撑结构的振动，降低结构噪声。由于推进和推力传递布置，对于齿轮传动的4冲程发动机而非直接传动的2冲程发动机，可以主要考虑发动机的弹性装置。2冲程发动机不能采用弹性装置，因为其螺旋桨推力由发动机通过较大的发动机座位面积直接传递给船舶结构。发动机与齿轮箱之间的挠性联轴节可以减少齿轮传动中的振动，进一步降低结构噪声。隔振器更常用于安装柴油发电机至基座，来降低结构噪声。在某些情况下，应考虑采用柴油电力系统，因为它可有助于有效地隔离柴油发电机的振动，而大型直接传动配置通常不可能做到这一点。

6.14 替代动力和推进系统有助于降低水下辐射噪声。电力推进（例如柴油电力、燃料电池和全电力或电池、吊舱推进或方位推进器）被认为是一种很有前景的降低水下噪声的配置选择。使用高质量的电动机和装置也有助于减少电动机引起的船体振动。

维护 and 操作方法

6.15 虽然水下辐射噪声的主要组成部分由船舶设计（即船体线型、螺旋桨、船体与螺旋桨的相互作用以及机械布置）产生，应考虑操作调整和维护措施作为新船和现有船舶降低噪声的方法。如船舶缺乏降噪设计特征或技术，或在国家和国际指定的保护区作业而需要采取额外措施来减少船舶噪声对海洋野生动物的不利影响，操作方法可能特别重要。表1总结了适用于新船和/或现有船舶的操作和维护方法。

维护方法

6.16 维护螺旋桨的表面质量/光洁度，诸如适当抛光，可以去除海洋生物污底，显著降低表面粗糙度，有助于减少螺旋桨空化。

6.17 通过使用适当涂层、清洁和主动水下船体维护¹，减少船体粗糙度并维持光滑的水下船体表面，也可通过减少船舶阻力和螺旋桨载荷来提高船舶的能效。但应注意，超声波防污底系统发射的高频声能，其频率范围和振幅可能对水生物种有害。应尽可能避免在国家和国际指定的保护区内使用这种系统。

6.18 机械振动引起结构噪声。正确维护运动部件和机械以及使用隔振装置，有助于保持低水平的振动和噪声，防止增加操作机械的噪声。

操作方法

6.19 优化船舶纵倾和吃水可以降低所需功率，从而降低螺旋桨空化噪声。

6.20 为减少停泊时间以及降低港口和沿海地区的水下辐射噪声，经营人可以调整和优化船舶的航线、航速和航行时间。在国家和国际的指定保护区内，以及减少水下辐射噪声对海洋生物以及赖以生存的群落的影响的年内关键时期，航次策划可便利替代航线的使用，从而避免保护区和减速（如可以安全执行）。水文局和海事主管当局应考虑在海图上标记和更新国家和国际指定保护区，使船员和港口使用者能够规划航行，最大程度减少其船舶水下辐射噪声对海洋生物的影响。

6.21 最佳做法包括审核有关国家和国际指定保护区的信息，确定船舶是否通过这些区域或在这些区域内作业。这些区域可包括但不限于：海冰覆盖地区（包括因纽特努纳特地区），繁忙的港口和与濒危、受威胁或受保护物种的重要或关键栖息地重叠的航道，重要海洋哺乳动物区，《生物多样性公约》规定的海洋保护区和其他国家/区域保护区。

6.22 因纽特努纳特区域的一些特征及其内部活动可能会增加水下辐射噪声的影响。包括潜在的破冰活动，存在对噪声敏感的物种，以及对土著狩猎权的潜在干扰。对于在这些区

¹ G.斯温、C.埃尔多安、L.福伊、H.加德纳、M.哈珀、J.赫因、K.Z.汉萨克、J.T.汉萨克、K.利伯曼、M.南尼、和E.拉斯顿，2022年，《主动水下船体清理作为减少船舶环境足迹的方法》，海洋科学前沿，p.2017。

域作业的船舶，建议采取额外措施减少对海洋野生动物的影响，包括特别注意减少破冰和实施操作方法和监控所产生的噪声影响。

船舶速度

6.23 对于设有固定螺距螺旋桨的船舶，降低船速、轴转数和/或发动机输出功率通常是一种非常有效的降低水下噪声的操作措施，主要由于减少了空化。当速度低于空化开始速度时尤其如此，但即使小幅降低功率也可以显著减少空化。因此，可越控轴功率限制或可越控发动机功率限制（例如为满足 IMO EEXI 要求可能采用）将预计在这些限制低于船舶日常运行功率的情况下降低水下辐射噪声。

6.24 建议测量和理解船舶空化开始速度（CIS），并在可行的情况下在国内和国际指定的保护区内以低于 CIS 的速度操作。对于设有可调螺距螺旋桨的船舶，降低航速可能不会降低噪声。因此应考虑轴速和螺旋桨螺距的最佳组合。

6.25 然而，维持某一特定速度可能有其他更重要的原因，例如安全、操作和能效。一般而言，应考虑每艘船关于空化的任何临界航速和由此导致的水下辐射噪声的增加。

表 1 尽实际可行适用于新船和/或现有船舶的设计、技术、操作和维护的降低水下辐射噪声方法摘要。此清单并非详尽无遗，不应限制船东考虑任何其他设计方案作为解决方案。更多信息见船舶水下辐射噪声技术报告和矩阵。

降低水下辐射噪声的方法	新船	现有船舶
针对水动力性能和均匀伴流场优化船体线型（及附体）设计，以减少空化	X	X
优化螺旋桨设计以减少空化，优化载荷，确保均匀水流和船体-螺旋桨相互作用，并仔细选择螺旋桨特性，例如直径、叶片数量、叶片面积、螺距、桨叶侧斜、倾斜度、剖面和创新材料	X	X
新兴技术（如风力辅助技术）以减少螺旋桨载荷和空化噪声	X	X
螺旋桨空气喷射	X	X
尾流改善	X	X
仔细选择船上机械和安装时使用适当的结构噪声等级控制措施，船体内设备的适当位置，并优化基座结构	X	
机械安装和隔离，例如带减速齿轮的 4 冲程发动机的弹性装置和挠性联轴节，往复机械的隔振装置和改进的动平衡	X	X
优化船舶纵倾，减少所需的功率，从而降低螺旋桨空化噪声	X	X
改进航次策划（例如，最佳航线，协调各船队、国家和国际指定的保护区/海冰覆盖区域，包括众所周知的栖息地或迁徙路径）	X	X
对于设有固定螺距螺旋桨的船舶，通过降低轴转速（和/或发动机输出功率）降低螺旋桨转速 ²	X	X
船舶航线划定措施 ³ ，以避免国家和国际指定的保护区，包括众所周知的栖息地或迁徙路径	X	X
螺旋桨维护（和清洗/涂装）	X	X
船体维护（涂装和 underwater 船体维护和清洁，但在国家和国际指定的保护区内可能的声学防污底系统除外）	X	X

² 保持足够的速度和功率以保证安全航行是至关重要的。参见 MEPC.1/Circ.850/Rev.3 通函《确定船舶在恶劣海况下维持操纵性的最小推进功率导则》。

³ “船舶航线划定措施”系指使现有的公认航道避开可能包括重要的海洋哺乳动物栖息地或迁徙路径在内的国家或国际保护区的过程。船舶航线划定是减少船舶在海洋环境中噪声暴露的有效措施。

7 能效和降低水下辐射噪声

7.1 应仔细考虑能效、温室气体和降低水下辐射噪声之间的相互关系，同时遵守监管义务，并确保水下辐射噪声等级达到水下辐射噪声管理计划设定的目标。满足能效规则（EEDI、EEXI 和 CII）的许多能效改进方案可能会改善水下辐射噪声性能，并可能与气候政策产生积极的协同效应。如降低水下辐射噪声的措施不支持能效，则必须优先考虑与能效和排放有关的监管义务。水下辐射噪声措施不应损害有关温室气体减排和能效的 IMO 要求或影响船舶安全（例如，操纵性）的其他 IMO 要求。

7.2 设计方、船厂、船东和经营人应调查和考虑为达到较低 EEDI、EEXI 和/或 CII 的船舶设计而增加水下辐射噪声的风险。

7.3 应仔细审查船体和螺旋桨作为一个整体的协同设计，从而产生均匀的尾流以减少螺旋桨空化，因为这也将提高能效并减少排放。

7.4 减小螺旋桨空化是降低水下辐射噪声的有效手段。旨在减少应用或安装推进功率和螺旋桨推力载荷的措施，以及适当的安全注意事项⁴，是提高能效，减少排放并通常导致降低水下辐射噪声的方案，例如风辅助，优化的船体设计，定期维护和船体清洁以避免污底和减少船体阻力，都是减少排放和降低水下辐射噪声的有效措施。

7.5 水下辐射噪声计算方法应整合优化方法，在考虑水下噪声的同时考虑影响能效和其他排放的参数。这将优化水下辐射噪声，其他排放和效率/性能。

8 评估与监测

8.1 评估和持续监测水下辐射噪声是评估降低海洋噪声工作成效的重要步骤。可实际测量船舶的水下辐射噪声，或根据船舶水下辐射噪声的特性和设计参数以及环境条件进行建模。

8.2 水下辐射噪声建模需要考虑声音传播损失，因为受到一些环境参数（例如海况、海冰、声速分布、海水温度、吸声、海流、测深、海底特性）的影响。有多种水下声音传播模型来满足具体的应用目标。

8.3 应进一步了解水下辐射噪声的状态和变化。应鼓励与有关港口合作发展航道的监测能力，并在可能的情况下用于激励方案，以补充其他水下辐射噪声的监测方案。

8.4 应支持社区主导工作，了解船舶水下噪声及其对海洋物种和沿海社区的影响。

8.5 各成员国政府和其他利益相关方，包括船级社、设计方、船厂、船东和船舶经营人、供方和制造商，在可能的情况下可通过建立船舶声源等级和/或环境噪声监测方案，为全球了解船舶噪声排放提供数据。

8.6 根据应用本指南所获得的实际经验，可在“任何其他事项”项目下向海上环境保护委员会提交资料、评论、意见和建议，分享所收集的水下辐射噪声数据和应用措施的结果。数据可以匿名共享，以支持各成员国政府和其他利益相关方计划和制定水下辐射噪声措施。

9 激励

9.1 在适当情况下，鼓励海事主管当局、金融及保险机构和其他机构推动设立激励计划，以支持供方、设计方、船厂、船东和经营人实施水下辐射噪声监测计划和降低噪声工作。激励措施也可以支持收集和共享船舶的水下辐射噪声数据。

9.2 例如，激励措施可基于有关的水下辐射噪声船舶附加标志、水下辐射噪声管理计划认可、降低水下辐射噪声目标、船舶和发动机技术及维护、船舶减速方案、港口岸电或其他自愿可持续性认证，其中包括降低水下辐射噪声或在效率和维护方面的互补效益的证据（例如，通过在水中清洁船体和螺旋桨来防止生物污底，可提高效率并最大限度地减少入侵物种转移）。

⁴ 见 MEPC.1/Circ.850/Rev.3 通函。

9.3 激励措施的实例包括港口费、航道费、额外服务或产品的折扣、促销等。

9.4 供方、设计方、船厂、船东及经营人应注意并努力达成与降低水下辐射噪声有关的激励措施。

附录 1
国际水下辐射噪声测量标准，建议和船级社规范

1 船东、设计方和经营人以及其他利益相关方可以根据其具体情况，使用下列最合适和最新的噪声测量标准。

2 ANSI S12.64 和 ISO-17208-1⁵是同一标准的两个版本。包括三个等级：检验、工程和精密，后者是最准确的方法。ISO-17208-1 取自 S12.64 并被国际采用，主要区别是去除了三个等级。这两个标准均用于测量深水船舶的辐射噪声等级（RNL）。ISO-17208-2⁶提供了使用 ISO-17208-1 测量数据并将测量的 RNL 转换为单极声源级（MSL）的方法。这两个标准与船舶噪声的测量最为相关。当使用 MSL 指标时，这两个标准缺一不可。

水下辐射噪声测量标准的非详尽清单

标准或组织	发布日期	范围	方法	最小水深
ICES-CRR-209 ⁷	1995年5月	仅适用于渔业研究船（R/V）。本文件提供有关环境噪声、鱼类听觉、船舶噪声、鱼类对船舶噪声的反应、水下辐射噪声仪器、R/V的噪声缓解等方面的指导。	预期的方法结果是在1赫兹（窄带）频谱1米声压级。未给出距离校正过程。	未规定
ANSI/ASA S12.64 ⁸	2009年9月	适用于任何尺寸、航速低于50节的船舶。（这是商船水下辐射噪声测量的第一个标准。）	结果是在1米声压级，假设船舶模型为点源采用球面扩展。测量有三个等级：精密、工程和检验。使用三个水听器，位于水柱上，有一个波束。	精密： 300米或3x L 工程： 150米或1.5x L 检验： 75米或1x L 其中L是船舶总长度。
法国船级社、挪威船级社 ⁹	2015年11月	适用于商船，包括任何从事商业贸易或载客出租的船舶。	结果是在1米声压级，使用计算的传播损失，船舶建模为单极声源。	未规定
ISO-17208-1 ¹⁰	2016年3月	与S12.64相同（上文）	方法和结果与S12.64基本相同，但在S12.64的精度级和工程级之间有一个等级。使用三个水听器，位于水柱上，有一个波束。	大于150米或按注（1）所述

⁵ ISO 17208-1《水下声学-船舶水下声音描述和测量的数量和程序-第1部分：用于比较目的的深层水的精密测量要求》。

⁶ ISO-17208-2《水下声学-船舶水下声音描述和测量的数量和程序-第2部分：用深水测量测定声源级》。

⁷ 国际海洋考察理事会（ICES），合作研究报告 209，《研究船舶水下噪声，审查和建议》，1995年5月。

⁸ 美国国家标准学会（ANSI）/美国声学学会（ASA） S12.64-2009；《船舶水下声音描述和测量的数量和程序-第1部分：通用要求》，2009年9月。

⁹ 通过减少航行噪声足迹实现更安静的海洋（AQUO）和抑制由空化引起的水下噪声（SONIC），《商业船舶水下噪声监管指南》。

¹⁰ 国际标准化组织（ISO），ISO 17208-1-2016；《水下声学-船舶水下声音描述和测量的数量和程序-第1部分：用于比较目的的深层水的精密测量要求》，2016年3月。

ITTC指南7.5-04 ¹¹	2017年9月	适用于测量水面船舶的水下辐射噪声。	结果是假设球面扩散并通过距离归一化调整的1米声压级。	最高级为300米或3倍船长；中级为150米或1.5倍船长；最低级为75米或1倍船长。
英国劳氏船级社 ¹²	2018年2月	适用于按照LR的SHIPRIGHT附加标志要求测量和认证水下辐射噪声的任何船舶。	按ISO-17208-1假设测量，提供深水校正。浅水应按照ISO-17208-1的规定进行。使用三个水听器，位于水柱上，有一个波束。	大于60米或按注(2)所述
法国船级社 ¹³	2018年7月	适用于任何自航船舶。	结果是在1米声压级，使用计算的传播损失，船舶建模为单极声源。使用三个水听器，位于水柱上，有一个波束。	大于60米或按注(3)所述
中国船级社 ¹⁴	2018年10月	适用于申请CCS附加标志的船舶。	结果是在1米声压级，假设球面扩散，并使用计算的传输损耗。	采用单水听器方法时，龙骨下水深一般不小于40米，采用多水听器方法时，龙骨下水深一般不小于60米。
ISO-17208-2 ¹⁵	2019年7月	本文件规定了按ISO 17208-1要求，通过转换在深水中获得的辐射噪声级值来计算等效单极声源级的方法。	这不是船舶测量标准，必须使用ISO-17208-1进行现场测量。	N/A
挪威船级社 ¹⁶	2019年7月	适用于所有期望获得DNV-GL SILENT附加标志的船舶。	深水方法学符合ISO-17208-1(如上所述)。浅水采用独特的方法，采用单个底部安装水听器，距离校正使用实际现场测量的传输损耗或关系 $18 \times \log(r)$ ，其中r为船舶与水听器之间的距离。	150米(深水试验，不论船长) 30米(浅水试验)
挪威船级社 ¹⁷	2020年7月	适用于所有期望获得DNV-GL SILENT附加标志的船舶。	结果是在1米声压级，假设船舶在评估过程中被建模为点源或线源。本文件仅提供根据DNVGL-CG-0313(上文)进行测量的极限和需要。	N/A

¹¹ 国际拖曳水池会议 (ITTC)，推荐程序和指南-船舶水下噪声-全尺寸测量。

¹² 英国劳氏船级社 (LR)，《附加设计程序，确定船舶水下辐射噪声的附加设计和建造程序》，2018年2月。

¹³ 法国船级社，《水下辐射噪声》，规则注释 NR 614 DT R02 E，2018年7月。

¹⁴ 中国船级社，《船舶水下辐射噪声指南》，2018年10月。

¹⁵ 国际标准化组织 (ISO)，ISO 17208-2-2019：水下声学-船舶水下声音描述和测量的数量和程序-第2部分：用深水测量测定声源级，2019年7月。

¹⁶ 挪威船级社/德国劳氏船级社 (DNV/GL)，船级指南 DNVGL-CG-0313，《噪声排放测量程序》，2019年7月。

¹⁷ 挪威船级社/德国劳氏船级社 (DNV/GL)，《船舶入级规范》第6部分，额外的附加标志，第7章，环境保护和污染控制，2020年7月。

美国船级社 ¹⁸	2021年5月	适用于自航式商船和科研船	结果为深水声压级为1米时采用球面扩散，浅水声压级为1米时通过公式计算的传输损失。使用三个水听器，位于水柱上，有一个波束。	大于60米或按注(4)所述
意大利船级社 ¹⁹	2021年	适用于所有期望获得RINA DOLPHIN QUIET或TRANSIT附加标志的船舶。	结果是在1米声压级，假设船舶模型为点源采用球面扩展。使用三个水听器，位于水柱上，有一个波束。	150米或按注(5)所述
韩国船级社 ²⁰	2021年7月	适用于已申请船舶水下辐射噪声的可选附加标志URN（水下辐射噪声）的新船和现有船舶	结果为1米声压级	至少60米

最小水深注释：

1. ISO-17208- 1: $1.5 \times$ 总船长，即船舶最前端和最尾部之间的纵向距离。
2. 劳氏船级社: $0.3 \times v^2$ ，其中 v 为船舶速度（米/秒），或者 $3 \times (B \times Dt)^{1/2}$ ，其中 B 为船舶宽度（米）， Dt 为船舶吃水（米）。
3. 法国船级社: $0.3 \times v^2$ ，其中 v 为船舶速度（米/秒）。深水是 200 米或 2 倍船长，除非船长大于 200 米，则 1.5 倍船长。
4. 美国船级社: $0.3 \times v^2$ ，其中 v 为船舶速度（米/秒）。深水取 150 米或 1.5 倍船长的较大者。
5. 意大利船级社: 只要 RINA 同意适当的实际传输损失程序，则可在浅水中进行测量。

¹⁸ 美国船级社（ABS），《水下噪声和外部空气噪声》，2021 年 5 月。

¹⁹ 意大利船级社（RINA），《海豚安静船和海豚中转船》，2021 年。

²⁰ 韩国船级社：《水下辐射噪声指南》，2021 年 7 月。

附录 2

船舶优化设计计算模型类型及降低水下辐射噪声技术方法

船舶优化设计计算模型类型及降低水下辐射噪声技术方法如下：

1. **水流特性：**计算流体动力学（CFD）可用于预测和设想船体和附体周围的水流特性、空化和水声源，以及螺旋桨操作的伴流场。此外，螺旋桨分析法（例如升力面法）或 CFD 能用于预测空化和试验空化对螺旋桨性能的影响。
2. **噪声辐射：**有限元分析、边界元法和统计能量分析可用于估计流场、空化和机械激励引起的辐射噪声。可以考虑地形、海底、海面和弹性船舶结构。其他预测辐射的方法包括混合法、波动法和能量流法。大多数方法既可用于结构，也可用于流体。
3. **噪声传播：**噪声从声源到受体的传播路径取决于环境和某些声音特性。射线理论、正常模式、波数积分或抛物方程等方法可用于模拟声音的远距离传播。

螺旋桨水下辐射噪声的标准化模型试验与空化试验相结合，使制造商、供方、船东和船厂能够在船舶建造之前就螺旋桨对水下辐射噪声的作用是否符合合同规范达成一致。

1. 模型尺度空化试验²¹可提供目前最准确的空化螺旋桨水下辐射噪声源级的预测和试验，表明与航行试验的水下辐射噪声源级较好地相符。但应仔细考虑尺度效应和设施相关的背景和混响噪声的影响，预期当前研究将进一步改进这些问题。此外，由于模型试验仅专注空化噪声，可较好地评估空化噪声减轻措施的影响。此减轻措施对船舶总噪声的影响需要了解其他噪声源，例如机械和结构噪声。
2. 船舶、螺旋桨和特殊附体（如轴支架和减摇鳍装置）可以在空化试验设施（如空泡试验筒）中进行模型试验，以测量有关空化诱导压力脉冲、空化开始速度和辐射噪声的设计特性。

如可能，最好在受控环境中进行模型尺度或全尺寸模型验证试验，以评估水下辐射噪声模型预测和试验。

²¹ ITTC - 《推荐程序和指南》，等比例模型螺旋桨空化噪声测量，7.5-02-03-03.9。

附录 3 水下辐射噪声管理计划的样本模板

为协助船东制定可为满足其需要而定制的水下辐射噪声管理计划,本指南提供了载有水下辐射噪声管理计划可包含内容的两个样本模板。模板仅供参考,并可进一步修改,以适合个别船东的具体情况。

样本模板#1: 有初始步骤的理想计划:

水下辐射噪声管理计划

1. 目标

本节应概述关于降低船舶水下辐射噪声的高级目标。例如,可以拟定为“在未来五年内,我们拟实现以下目标[...],并确定进一步减少船舶噪声的机会”。

2. 方法

本节应描述为实现总体目标将进行的各种工作。包括研究投资、测量船舶噪声特征工作、确定/实施与船舶相关的操作或技术解决方案。

3. 监控/评估方法

本节应简要概述船东/船舶经营人拟如何监控、评估和评价其计划的进展。

样本模板#2: 明确遵循计划-实施-监控-评估周期的详细计划

水下辐射噪声管理计划

1. 概述

本节应概述关于降低船舶水下辐射噪声的高级目标和计划目的。例如,可以拟定为“在未来五年内,我们拟实现以下目标[...],实施以下步骤,并确定进一步减少船舶噪声的机会”。

2. 水下辐射噪声基线

本节应概述如何确定水下辐射噪声基线。

应尽实际可行确定船舶基线。船舶水下辐射噪声基线状况可予以预测(计算/经验/模型试验),或最好进行测量。应在船舶的正常操作条件(包括典型营运航速和吃水)下确定预测和/或测量的水下辐射噪声船舶状况基线,并使用标准的操作设备/机械。

应以客观标准测量水下辐射噪声。附录 1 概述了用于研究和支持港口规划的公认测量标准的可用性。附录 2 提供了优化船舶设计和技术降噪方法的计算模型示例。

3. 水下辐射噪声目标

本节应概述计划旨在实现的整体降噪目标。如下资料就如何建立上述目标提供一些可能的指导。

研究记载了水下声音传播条件、对水下辐射噪声等级和听力敏感性的作用以及海洋物种对船舶噪声的不良生理或行为反应在区域之间的显著差异。任何通用限制都可以概括不同环境中减少影响的因素,因此基于生物学的噪声限制可以反映这种差异。但可以根据实际或预测的基线测量值,按船级、吨位或其他特征建立单独的船舶噪声目标。船东可设定在一段时间内逐步提升降低水下辐射噪声的目标。

给定船舶的水下辐射噪声目标应考虑船舶用途、类型、水下辐射噪声预测和基线测量以及营运条件。通过采用船级社与水下辐射噪声相关的规范,也可以建立降低水下辐射噪声的目标。或者船东也可以建立降低水下辐射噪声的目标,例如将噪声等级降低一定百分比。

4. 降低水下辐射噪声的方法和相关行动

本节清楚地阐明为降低水下噪声所采取的方法。这些方法可能结合技术和操作方法,并可能随着时间的推移而调整。还可能包括确定研究倡议或其他合作项目,以提高对降低水下辐射噪声工作的认识和认知。关于可采用的方法类型的指导,请参见本指南第 6 节。

5. 监控和评估

本节应说明如何监控和评估船舶降噪工作。

作为水下辐射噪声管理计划的一部分，船东和经营人应制定监控方法，从而定期与基线测量和水下辐射噪声目标进行比较，评估降低船舶噪声工作的成效，并指导和加强旨在降低噪声的活动（第 8 节）。评估可以包括水下辐射噪声测量、模拟、建模的形式或数据收集和评估的其他科学方法。

为确定是否达到船舶的水下辐射噪声目标，应考虑在典型营运工况的预期范围内从已识别的噪声源测量船舶的水下辐射噪声。测量应使船舶经营人能够优化船舶营运并沿着航线适当调整水下辐射噪声等级（例如通过优化船舶纵倾从而减少所需的功率，或者在安全的情况下降低航速，这两种方法都可能降低螺旋桨空化噪声）。也可以通过机械、船体和螺旋桨状况的充分维护记录来证明对以前可接受的噪声等级的维护验证。

在测量活动之间，可以对水下辐射噪声进行原位监控。开发的实时动态航行优化工具提供个性化的分析信息，从而提高效率，节省燃料和成本，并减少排放，这展现出适应性管理的前景。应将降噪作为进一步的优化选项。