OES-ENVIRONMENTAL 2020 年科学状况报告

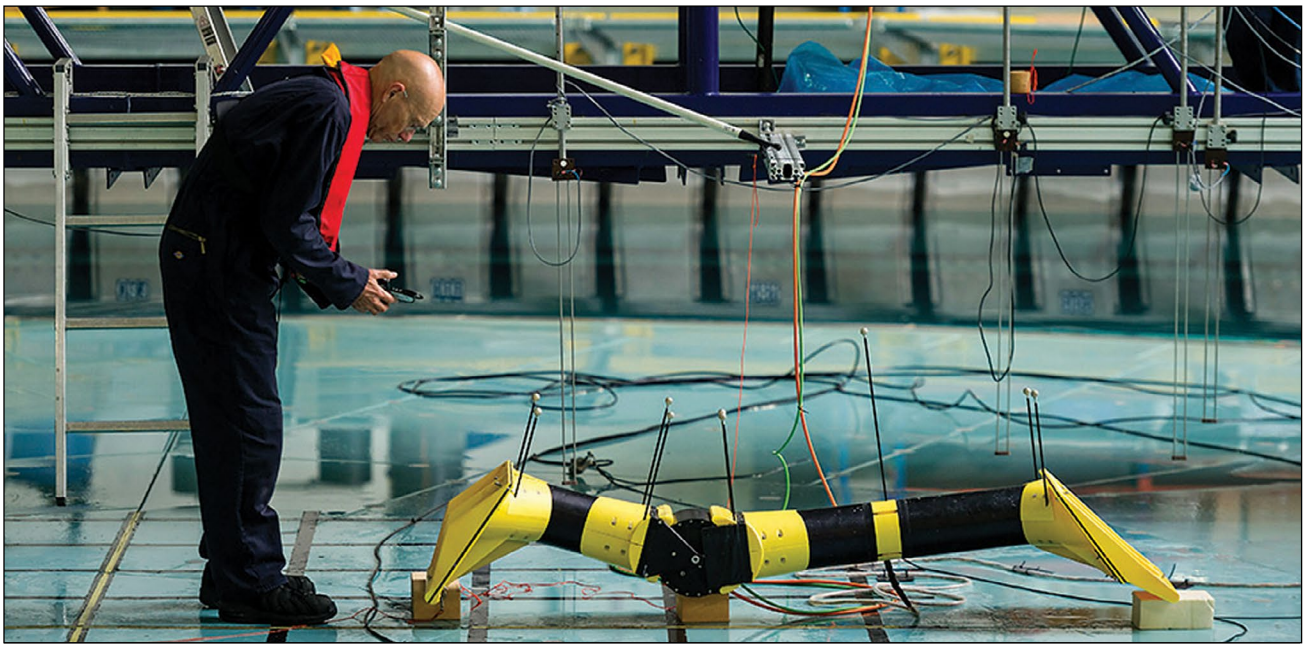
执行摘要

本报告总结了海洋可再生能源环境影响的科学现状，并作为2016年第四工作组报告的更新和补充，该报告可在 *http://tethys.pnnl.gov/publications/state-of-the-science-2016* 进行下载。

本报告中文版由国家海洋技术中心王双、滕欣翻译。

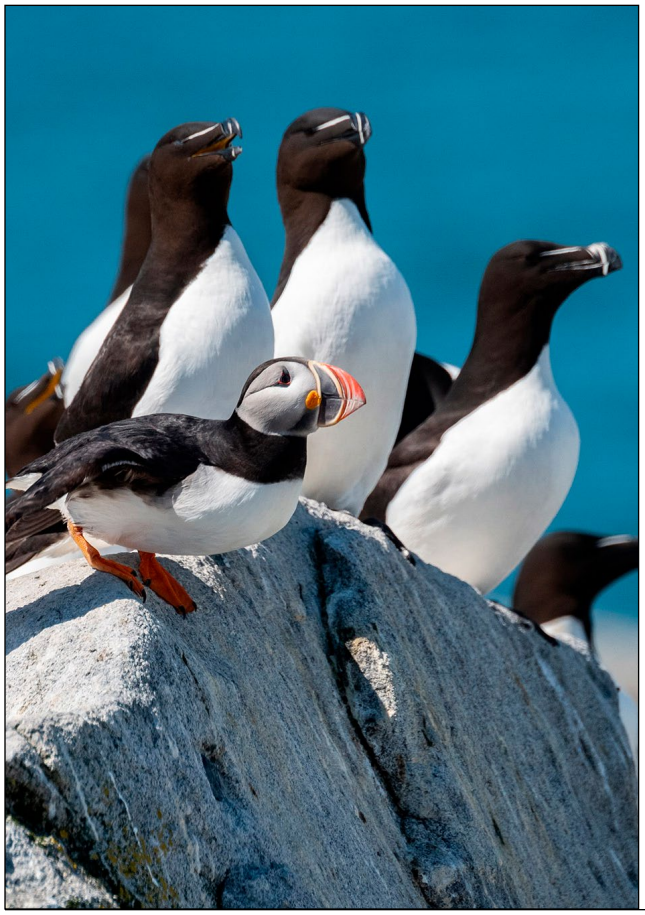
海洋可再生能源（MRE）是从海浪、潮汐、洋流、海洋温度和盐度梯度，以及大河流量获得（河流能源技术与获取潮汐能的技术类似）。本报告主要涉及利用波浪能发电装置（wave energy converters，WEC）、潮汐能发电机和大型河流发电机发电对环境的潜在影响。并适当涵盖了海上风电、石油和天然气以及电力和通信电缆等其他海上产业活动中吸取的经验。

《2020年科学状况报告》是在国际能源署OES-环境合作下，由海洋能源系统（OES）—环境倡议（以前的第四工作组报告）编写（*https://www.ocean-energy-systems.org*）。

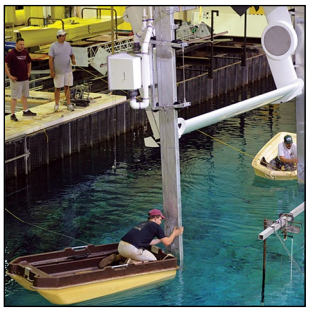


评估海洋可再生能源开发的潜在环境影响的常用方法是压力源和受体之间的相互作用。压力指的是海洋可再生能源装置或系统中可能影响海洋环境的部分。受体指的是可能受到压力源影响的海洋动物、栖息地、海洋过程或生态系统功能。

在OES-Environmental支持下，15个国家合作评估了海洋可再生能源开发对环境潜在影响的科学现状，并研究其如何影响海洋可再生能源装置的批准/许可（以下简称“批准”）。



本报告综述和整合的海洋可再生能源装置对海洋动物、栖息地和环境造成的潜在风险等信息，将为海洋可再生能源研究人员、监管机构、装置和项目开发商等利益相关者提供帮助。这些知识体系可以为国际监管机构提供基于科学的决策依据，并在项目选址、工程设计、运营策略和监测程序设计等方面为开发商提供支持。尤为特别的是，本报告将帮助研究团体与海洋可再生能源与环境相互作用的前沿思想联系起来，确定科学合作者，并帮助扩充不断增长的知识体系。当与实际应用相结合，本报告可帮助明确精简海洋可再生能源装置的批准过程。尽管针对海洋可再生能源装置周围的监控活动大多数仅限于单个装置或者是小微型阵列，但是随着行业的发展，这些研究和监测将非常有用。《2020年科学状况报告》通过该领域众多优秀研究者的视角，基于对公开发表的科学文献和由研究人员、开发商和政府机构发布的报告等信息的整合，揭示了海洋可再生能源与环境相互作用的研究和监测现状。本报告中所做的分析和结论不能替代用于具体项目选址决策或者指导批准工作的分析或研究。



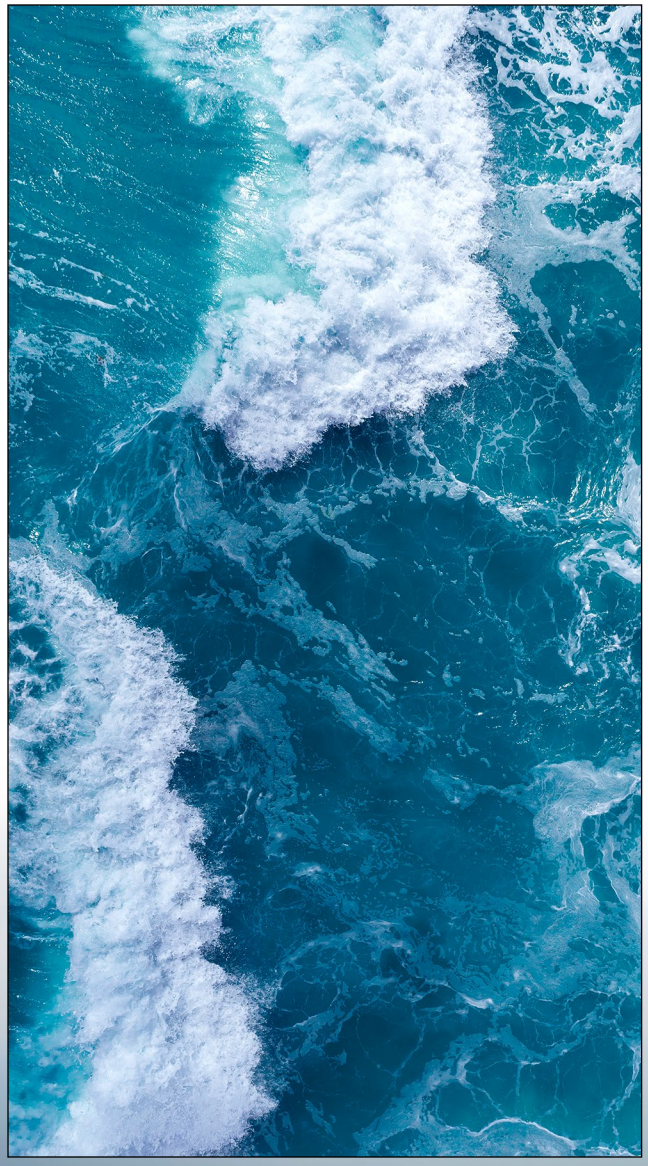
海洋可再生能源装置发展潜在环境影响概要

海洋可再生能源作为一个新兴产业，迄今为止仅有有限数量的小规模部署，并且还没有全面的商业部署。因此，缺乏基线数据和发电装置安装后的数据，继续导致监管者和利益相关者对于相关问题的不确定程度，增加了对海洋可再生能源装置与海洋动物、栖息地和环境之间许多潜在相互作用的风险认知。数据不足将持续扰乱我们对真实风险和感知风险的认知能力。从根本上来看，对海洋动物、栖息地和环境的风险取决于海洋可再生能源装置的属性（静态或动态）、装置类型（波浪、潮汐或河流）以及装置所占用的空间规模（单个装置或阵列）。这里所说的风险是指有害结果发生的概率或可能性与其产生的后果的组合。

随着海洋可再生能源产业的发展，有关海洋可再生能源开发潜在环境效应的知识体系也会逐步扩大，进而提升我们对风险的认知水平。随着收集到更多数据，我们可撤销某些风险或者降低风险等级。我们对于特定压力源-受体相互作用机制的知识不断增加，将为风险消除提供证据基础，帮助确定哪些相互作用具有消除其风险的足够证据，以及哪些方面仍然具有高度不确定性。然而，对海洋生物、栖息地及更广泛的环境的风险仍然对批准海洋可再生能源的商业开发提出了挑战。

海洋可再生能源的效益

在全世界范围加速推进海洋可再生能源研究和开发，将有助于获取本地安全能源，这些能源可能带来巨大效益，对当地社区、基础设施和服务、就业和企业以及产品和服务出口产生积极影响。此外，海洋可再生能源的发展可能有助于应对气候变化（包括海洋酸化和海洋温度升高）的影响。气候变化已对许多海洋和海岸带资源造成了负面影响，并将继续影响海洋动物及其生境，损害海产品渔获和海水养殖等人类有益活动，降低对风暴潮和海岸侵蚀的抵御能力。



发电机周边海洋动物碰撞风险

潮汐能和河流能发电装置可能对海洋哺乳动物、鱼类和潜水海鸟造成碰撞风险。迄今为止还未观测到海洋哺乳动物和海鸟与涡轮发电机发生碰撞，并且涡轮机与临近的鱼类相互作用有限，并未对鱼类造成明显伤害。碰撞事件被认为是非常罕见的，如果发生碰撞，在快速流动且经常浑浊的水域中也很难被观测到。此外，碰撞可能造成的后果也是未知的，其后果可能是动物可恢复的伤害，也可能发生碰撞死亡。关于海洋动物在有水下构筑物存在时的行为方式的证据和理解有限，很难确定海洋哺乳动物、鱼类和海鸟能够在多大程度上感知、应对和避开运行中的涡轮发电机。在缺乏这些行为信息的情况下，关于碰撞风险的研究进展主要是通过计算机模拟近场行为和潜在碰撞事件，了解涡轮发电机附近出现海洋动物时发生碰撞的风险。

海洋可再生能源装置水下噪声对海洋动物造成的风险

就像陆地上的动物和人类使用视觉一样，海洋动物在海洋里通过声音来沟通、导航、寻找食物、交往以及躲避捕食者。海洋环境中的人为噪声有可能干扰这些活动。

由于部署的海洋可再生能源装置相对较少，定量化研究水下噪声对海洋动物直接或者间接影响的进展很复杂。精准测定海洋可再生能源装置噪声的困难和了解水下噪声如何影响海洋动物行为的挑战，混淆了我们的理解。然而，国际技术规范提供了一种测定海洋可再生能源装置噪声的标准方法。应用该规范测量了几种海洋可再生能源装置的水下噪声，发现低于美国为保护海洋哺乳动物和鱼类免受水下噪声伤害而制定的监管行动水平和指南。

有证据表明，海洋可再生能源装置运行产生的水下噪声不会显著改变海洋动物的行为方式或对其造成身体伤害。

电缆及海洋可再生能源装置产生的电磁场对动物的危害

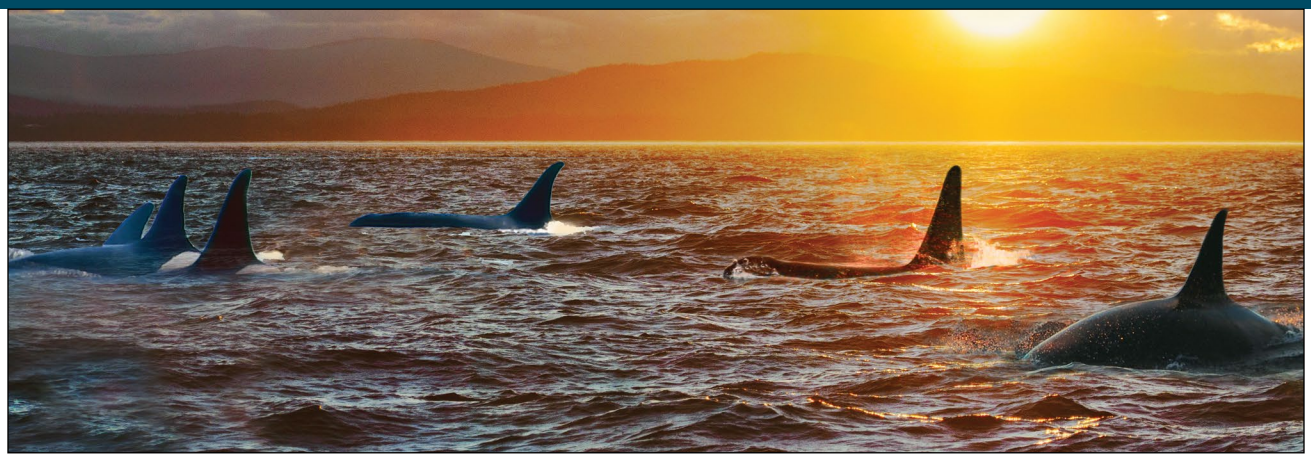
海洋环境中可自然形成电磁场，但是包括海洋可再生能源输出电缆在内的人为活动会造成电磁场的改变或增强。通常情况下，电缆被埋设、铺设在海底，或者悬浮在装置之间的水体中。可通过测定磁场和感应电磁来评估电缆和发电装置所产生的电磁场发射。并不是所有的海洋动物都可以觉察到电磁场，只有少数的物种具有感知和对这些刺激作出反应的感官功能。最有可能遇到并受到海洋可再生能源系统产生的电磁场影响的动物，是那些长时间呆在电力电缆附近的动物，最常见的是固着底栖动物。电磁场被认为会引起易感动物的行为和活动的改变，并且可能导致生长或繁殖功能的长期改变。

迄今为止的数据表明，由单个装置或小型阵列电力电缆发出的电磁场的生态影响是有限的，并且生活在海洋可再生能源装置和输出电缆附近的海洋动物不太可能受到发电装置和电缆产生的电磁场的损害。

海洋可再生能源装置对底栖和中上层生境的改变

海洋可再生能源装置对底栖和中上层生境的影响与那些由海上风电、油气勘探和生产、航行浮标以及电力和通信电缆安装造成的影响非常相似。海洋可再生能源装置的部署需要安装重力基础或者固定桩，这些可能会改变底栖生境，此外水体中的系泊缆、传输电缆和机械运动部件等也会对中上层生境产生影响。这些在海底和水体中的结构体可能会改变动物的存在或行为方式，也可能起到人工渔礁的作用。电力输出电缆的安装会干扰和改变一个狭长区域的生境。固定桩和地基周围沉积物的冲刷也可能改变底栖生境。

海洋可再生能源系统可以为污损生物提供栖息地，也可以吸引鱼类和其他动物，形成实际意义上的人工渔礁和海洋保护区。海洋可再生能源装置对鱼类的吸引，也会促进周围鱼类种群的增长。总体而言，如果海洋可再生能源项目选址避开稀有或者脆弱生境，由海洋可再生能源装置和阵列引起的生境变化可能对动物及其生境产生较低风险。



与海洋可再生能源装置相关的海洋系统的变化

海水的运动决定了海洋生物及其生境所在的海洋物理和生物系统。海洋可再生能源装置的部署有可能影响海洋系统，引起水循环、波高和流速的变化，进而影响海洋可再生能源装置周围近场和远场环境中的沉积物输运和海水质量。尽管少量的海洋可再生能源装置不会导致相对于系统的自然变率可测量的变化，但是大规模阵列化部署有可能会破坏自然过程。

海洋系统潜在变化的证据主要来自于数值模型，以及少量的实验室水槽研究和试验场项目。随着大型商业阵列化装置的部署，需要试验场数据来验证数值模型。而对于小型海洋可再生能源装置来说，这种风险非常低。

海洋动物与海洋可再生能源装置系泊系统和海底电缆的冲突

大多数波浪能发电装置和漂浮式潮汐能发电机必须固定在海底，使用系泊缆保持其在水体或者水面的位置。阵列化海洋可再生能源装置也包括用于设备互连或连接到海上变电站的传输电缆。海洋可再生能源装置系泊系统相关的系泊缆和线缆有可能会缠绕或困住大型海洋动物。大型迁徙须鲸被认为有遭遇海洋可再生能源系泊系统和海底电缆的风险。海洋哺乳动物被渔具和鱼线缠绕的危害增加了对这些问题的关注度。然而，海洋可再生能源装置电缆和绳索不像渔具那样有松弛的末端或者足够的松弛部分来形成套环。因此，这种风险被认为非常低。

海洋可再生能源社会和经济数据采集

出于战略规划目的，在批准过程中，必须考虑海洋可再生能源发展潜在的社会和经济影响（包括对社区、就业、基础设施和服务以及区域商业的影响）。此外，这将有助于政府监管以及海洋可再生能源项目开发商跟踪社会和经济数据趋势，了解是否实现了改善当地社区和最小影响的承诺。

为实现批准目标和跟踪长期趋势，收集社会和经济数据的责任应由项目开发商和政府分别承担，海洋可再生能源开发商负责收集特定地点的数据，政府负责更大区域和战略层面的分析。

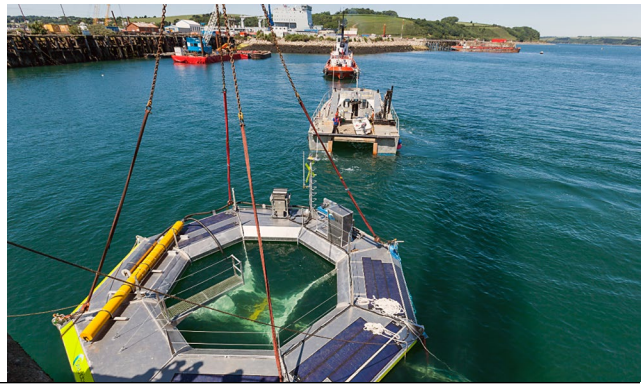
环境监测技术和海洋动物与发电机相互作用监测技术

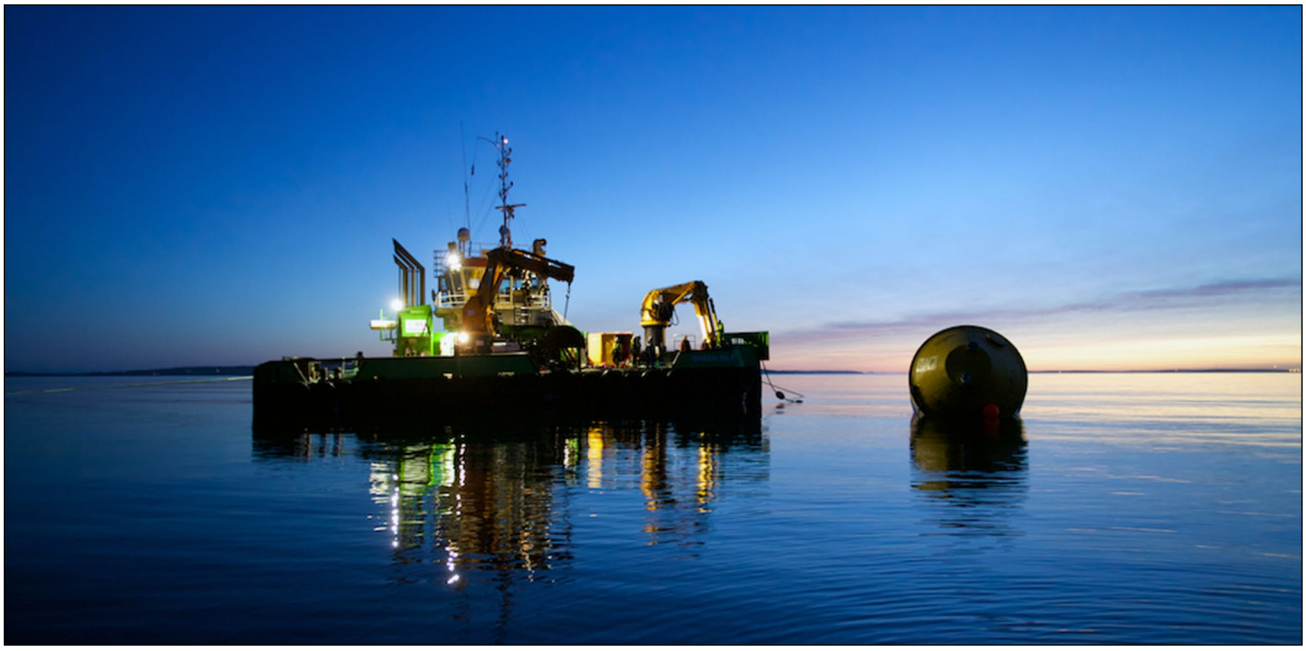
受限于无法观察海洋动物与潮汐能和河流能发电机的相互作用，使得这些相互作用依然是海洋可再生能源潜在影响中人们了解最少的方面。为了应对这些挑战需要设计能够承受恶劣海洋环境的监测设备，以及运行仪器和船载数据采集系统的电力管理能力。

用于观察海洋动物与海洋可再生能源装置相互作用的最常用仪器是被动和主动声学仪器以及光学相机。被动声学监测使用水听器测量水下声音，包括发声的海洋哺乳动物。主动声学系统产生声音并记录返回信号，进而使目标可视化，形成水下环境的高分辨率图像，以及量化鱼类的丰度和分布。光学相机用于监测海洋动物在海洋可再生能源装置附近的分布情况，确定物种类别、个体动物大小和丰度。传感器组可以集成到自动化部署的监测平台中，可依靠电池电源，也可以通过电缆连接到岸边获得电力供应并进行数据传输。

海洋空间规划与海洋可再生能源

海洋可再生能源产业的发展将导致海洋空间利用的增加以及与现有用海活动的潜在冲突，通过实施海洋空间规划（MSP）可以部分解决这些问题。海洋空间规划旨在管理竞争性用海，同时平衡环境、社会和经济利益，支持海洋可持续发展。海洋空间规划有可能提高产业的透明度和确定性，推进环境保护，减少部门冲突，并提供协同增效的机会。对15个OES-Environmental倡议国家与海洋可再生能源发展有关的海洋空间规划实践进行了调查。各国的实践差异很大，从海洋可再生能源被明确纳入海洋空间规划，到应用海洋空间规划的原则而没有正式的海洋空间规划，再到海洋可再生能源开发中缺少海洋空间规划。





适应性管理与海洋可再生能源

面对潜在影响的不确定性，适应性管理（AM）可以帮助海洋可再生能源项目逐步部署，并且通过严格的监测和审查帮助填补知识缺口，支持海洋可再生能源产业的可持续发展。适应性管理是一个迭代过程，也被称为“边做边学”，旨在通过定期审查决策来响应从监测中获得的知识，从而减少科学不确定性并改进管理。

适应性管理已经被用于指导海洋可再生能源监测项目的实施，并在全球范围内成功推进了一些项目。如果常规监测信息显示，影响程度可能会造成不可接受的后果，则可以采取纠正措施。相反地，如果监测信息表明风险被高估，则可降低监测和缓解要求。

风险消除是促进小型海洋可再生能源装置批准的一个过程，因此不需要对每个项目的每个潜在风险都进行全面调查。或者说，海洋可再生能源开发商可以依赖于已经同意的项目、相关研究或类似海上产业的调查结果。

海洋可再生能源项目风险消除与数据传输能力

风险消除不会取代任何现有的监管过程，也不会替代在海洋可再生能源装置部署之前或之后所有数据采集的要求。监管机构可能要求采集更多数据，以验证风险消除的调查结果，增加不断增长的知识库，或为特定场地环境影响评价提供信息。

通过恰当地应用现有知识、研究和监测数据库（无论是国家之间的、项目之间乃至跨越管辖范围的），监管机构可能会降低监测要求的严格程度，并且随着时间的推移降低海洋可再生能源产业的成本。

有研究提出了一种用于评估特定压力源-受体相互作用的风险消除路径，作为促进小型海洋可再生能源装置批准的手段。初步证据表明，少量海洋可再生能源装置产生的水下噪声和电磁场的风险可以消除。随着大规模海洋可再生能源阵列的发展，这些压力源可能需要重新评估。

海洋可再生能源监测与研究的发展方向

自《2016年科学状况报告》发布以来的四年中，由于更多海洋可再生能源的部署和监测工作、实验室和试验场研究以及建模研究，我们对于一些压力源-受体相互作用的理解有所提升。由于还存在大量的不确定性，需要持续的研究和监测，特别是海洋动物与发电机的碰撞风险以及未来大型阵列式发电装置的影响。

有关海洋可再生能源开发潜在影响的知识体系应当用于帮助简化和加快批准过程，并通过实施海洋空间规划、适应性管理和风险消除等策略，支持负责任的海洋可再生能源开发。这些管理策略如何支持海洋可再生能源项目的批准和管理需要从以下角度来考虑：

- 项目批准所需的数据采集、分析和报告必须与海洋可再生能源项目的规模以及对海洋动物和生境的可能风险成比例。
- 海洋空间规划和适应性管理在评估是否收集了充足的证据用于海洋可再生能源发展对海洋环境的影响评价方面，起着关键作用。在影响的不确定性仍然存在的情况下，适应性管理还可为装备部署提供管理框架。
- 评估从已批准的海洋可再生能源部署中获得的知识，以及从类似海上产业和研究项目中取得的经验教训，以确定其是否适用于新的海洋可再生能源发电场的批准。在风险消除途径中，数据可迁移性可使证据常规迁移更加有效。
- 一个有充足数据支持的风险消除过程可以帮助确定哪些相互作用有充足的证明，以及在哪些方面仍然存在重大的不确定性。随着小规模海洋可再生能源装置相关问题的消除，资源可被用于检验最具挑战的压力源-受体相互关系以及填补相关证据缺口。

报告和更多信息

OES-ENVIRONMENTAL 2020年科学状况报告全文和执行摘要链接：
https://tethys.pnnl.gov/publications/state-of-the-science-2020

联系人

Andrea Copping
西北太平洋实验室
andrea.copping@pnnl.gov
+1 206.528.3049

有关海洋可再生能源开发环境影响的论文、报告、存档的演示文稿以及其他媒体等全面信息，可在 *https://tethys.pnnl.gov* 获取。

OES OCEAN ENERGY SYSTEMS An IEA Technology Initiative

OES ENVIRONMENTAL

Pacific Northwest NATIONAL LABORATORY