生态环境保护理念下海砂开采协同监管技术研究

刘珂，王晓萌，于跃，王新新，孙瑞钧，韩建波

（国家海洋环境监测中心 大连 116023）

摘要：“十四五”期间，我国海洋生态环境保护仍面临多项挑战。尤其是当前高速发展的经济导致基础设施建设飞速增长，储量丰富的海砂资源成为优势的备选建筑材料，合理的开采和有效的监管已成为保护海洋生态安全的重要一环。通过梳理国内外海砂开采和监管现状，识别出我国当前海砂开采尚存在缺少国家层面专项规划、频现无度开采导致的海洋生态危害、非法盗采海砂执法监管挑战大以及供需矛盾突出等问题，并提出针对海砂开采需加强顶层规划与管控，深入开展专项影响研究、强化协同监管执法、深化海砂节约集约循环利用等建议对策，以期为实现经济高质量发展和生态环境高水平保护提供支撑。

关键词：海砂；监管；规划；专项调查；海洋生态

中图分类号：X37 **文献标志码：**A **文章编号：**1005－9857(2024)06－0120－08

Research on Collaborative Supervision Technology for Sea Sand Mining Under the Concept of Ecological Environment Protection

LIU Ke, WANG Xiaomeng, YU Yue, WANG Xinxin, SUN Ruijun, HAN Jianbo

(National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China)

Abstract: During the 14th Five-Year Plan period, China's marine ecological environment protection still faces multiple challenges. Especially under the current rapid economic development, the rapid growth of infrastructure construction has led to abundant sea sand resources being considered as advantageous alternative construction materials. Rational exploitation and effective supervision have become crucial aspects of protecting marine ecological safety. This study comprehensively reviews the current situation of sea sand mining and regulation both domestically and internationally, identifies issues in China's current sea sand mining, such as the lack of specialized national planning, frequent ecological hazards caused by excessive mining, significant challenges in law enforcement against illegal sea sand mining, and prominent supply-demand contradictions. This study proposes various strategies and suggestions for sea sand mining, including strengthening top-level planning and control, conducting in-depth impact studies, enhancing coordinated supervision and law enforcement, and promoting efficient and circular utili-

收稿日期：2023-09-18；**修订日期：**2024-06-03

作者简介：刘珂，助理研究员，研究方向为涉海工程生态环境保护监管技术研究

通信作者：王晓萌，高级工程师，研究方向为涉海工程生态环境保护监管技术研究

zation of sea sand. These recommendations aimed to support the realization of high-quality economic development and high-level ecological environment protection.

Keywords: Sea sand, Supervision, Planning, Special investigation, Marine ecology

0　引言

在全球城市化、人口增长和气候变化等因素推动下，砂石作为工程建设中最基本且不可或缺的建筑材料，其使用量在过去 20 年增加了两倍，估计年均达 400 亿～500 亿 t，到 2030 年，全球总需求可能会上升到 600 亿 t[1]。我国在“适度超前开展基础设施投资”的导向下，各地基础设施建设更相继按下“快进键”，已然成为后疫情时期经济复苏的“压舱石”。2019 年联合国环境署（UNEP）发布的《砂子与可持续：寻找全球砂子资源环境治理新方案》提到“从总量来说，砂子是世界上开采和交易量最大的资源之一，但是在许多地区，采砂活动却是监管最缺位的人类活动之一”。

海砂作为重要的砂石资源，是仅次于石油天然气的第二大海洋矿产资源，可用于工程建设、填海造地和沙滩修复等基础设施建设领域。在河砂资源枯竭、传统用砂短缺的背景下，我国海砂开采需求激增，全国海砂盗采整体呈上升趋势。由于海砂监管方面的漏洞与疏忽，导致过量、非法海砂开采对海岸线、岸滩、海洋水动力、海底地形等的潜在压力也随之凸显[2-4]。岸线资源具有重要的生态功能和资源价值，其保护修复作为《重点海域综合治理攻坚战行动方案》主要目标之一，也是遏制海洋生态退化趋势、降低高强度开发对海岸带地区干扰的重要路径[5]。

“十四五”期间，我国亟须借鉴国外海砂开采监管理念与先进技术，协同推进经济高质量发展和生态环境高水平保护。因此，本文对国内外海砂开采与监督管理现状进行系统分析，指出当前我国海砂开采存在的突出问题，并在此基础上有针对性地提出了对策建议，可为管理部门和研究者提供决策参考。

1　国外海砂开采及监督管理现状

1.1　开采现状

从国际海砂开采现状方面来看，近年来，相关国际组织、区域或国家持续关注海砂开采量和许可开采范围。国际海洋考察理事会（ICES）数据显示，2008—2019 年东北大西洋海洋环境保护公约（《OSPAR 公约》）和赫尔辛基公约（《HELCOM 公约》）所辖区域海砂开采量为 0.5 亿～1.7 亿 m^3，年均开采量约为 0.9 亿 m^3，欧盟 2018 年海砂开采量约为 0.6 亿 t[6]；此外，两项公约下各缔约国许可开采区域面积差异较大，英国许可开采面积最大，2018 年约为1 102 km^2（表 1），其海砂开采量可满足中国约 20%的砂石需求，且预计未来需求仍将不断增加[7]。

表 1　许可开采区域的空间范围[8]

Table 1　Spatial extent of areas licensed for extraction[8]　　km^2

	2006	2007/2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
比利时	273	273	273	273	319	319	319	203.20	203.20	203.20	203.20	203.20
丹麦	N/d	429	430	789	650	700	N/d	N/d	N/d	686	—	—
爱沙尼亚	N/d	N/d	N/d	N/d	N/d	N/d	N/d	N/d	N/d	51.02	—	—
芬兰	6	10/10	10	10	10	10	12	12	12.10	12.10	10.10	10.10
法国	73.08	72.97/74.97	74.87	67.87	67.87	135.34	168.54	165.40	169.40	170.17	171.54	190.74
冰岛	N/d	N/d	20.55	20.50	20.57	20.57	20.55	20.57	20.62	20.58	—	—
荷兰	453	456/585	564	490	456	439	462	470	480	524	524	548

续表 1

	2006	2007/2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
波兰	51.10	51.10	51.10	51.10	25.66	25.66	25.66	25.66	25.33	25.33	44.54	44.54
葡萄牙	N/d（不限制）											
瑞典	0	0	0	0	9.70	0	0	9.70	9.70	9.70	—	9
英国	1316	1278	1286	1291	1274	711	739	726	912	930.2	1057	1102
美国	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.30	179

注：N/d 代表无数据。

世界自然基金会（WWF）和国际自然保护联盟（IUCN）数据显示，在砂石巨大需求的驱动下，全球约 70 个国家存在非法采砂现象，尤其是印度、肯尼亚等发展中国家，海砂过度开采已导致全球约 75% 的海滩枯竭[8-9]。联合国环境署的一项调查研究显示，非法采砂已造成萨非和索维拉的海滩变成岩石景观。同时，由于监管的缺失导致摩洛哥北部的阿西拉海滩遭到严重侵蚀[10-11]。除此之外，不合理的海砂开采产生的跨界影响也逐渐凸显，老挝、泰国和柬埔寨的采砂活动导致了越南三角洲的侵蚀，新加坡的填海造地项目对砂石的需求也引发了柬埔寨和越南采砂的增加[1,8]。

1.2 国际海砂开采监管现状

从国际海砂开采监管方面来看，基于减小海砂开采对海洋环境影响、实现可持续开采的原则，韩国、荷兰和英国等国家针对海砂开采已构建相对健全的监督管理模式[12-16]。

1.2.1 较为完善的海砂开采法规规划或限制机制

韩国的《集料开采法》要求建设交通部应每 5 年制定一次总需求和总供给的基本计划，包括供需的长期预测和政策等，有效地保证了海砂的长期供应；荷兰的《自然法案》《国家水计划》《国家空间规划政策》《北海海砂开采规划》等通过立法和专项规划的形式对海砂资源的开采提出具体的管理要求；英国的《海洋矿物指南》《海洋政策声明》《国家规划政策框架》等概述了海洋集料行业的运作方式，以及规划、许可、环境评估和监测等，为海砂可持续开采提供了政策支持；葡萄牙的《环境保护法》、丹麦的《原材料法》等也为海砂资源的有效利用提供法律依据。国际海底管理局（ISA）目前针对国家管辖范围以外也已着手制定海砂开采区域计划、相关规则及程序。

此外，部分国家通过减少开采区域面积、控制砂石开采深度、限制可采区域水深与离岸距离等方式科学管控海砂开采活动，从而降低海砂开采对海洋环境的影响。如荷兰规定海砂开采边界为 20 m 等深线且距岸 19.2 km 海域，英国明确海砂开采区域为水深大于 20 m 且距岸 8 km 以外海域，葡萄牙则仅允许在水深大于 30 m 的海域开采海砂。

1.2.2 相对闭环的海砂开采全过程监管体系制度

各国基本建立了“事前”环评及许可，“事中”非现场监管为主，“事后”生态环境恢复的闭环监管体系。事前审批一般通过环评（分为强制性环评和有条件环评两类，且包括战略及项目环评）与许可制度落实，如荷兰、英国和西班牙等国家。荷兰要求开采面积超过 5 km^2 或许可证开采量达到每年 1 000万 m^3 时，必须进行环境影响评价；英国水域海洋矿物疏浚相关规定要求，海洋矿物开采需进行全面的环境影响评估，只有认为申请不会造成不可接受的环境影响的情况下，才会颁发疏浚（采砂）许可证；西班牙《海岸法》规定，必须对所有沉积物疏浚进行强制性环境评估，当沉积物疏浚量超过 300 万 m^3 时，有必要根据相关法令进行规范的环境影响评估程序，对较小的项目可进行环境评估[7,12-13,16]。事中监管主要利用信息化系统实现实时监控，荷兰、英国、丹麦和比利时等国均要求采砂船配备电子监控系统（黑匣子），实时记录采砂船运行轨迹并估算其采砂量[7,16]。事后则通过生态环境恢复手段降低海砂开采对生态环境的影响，在英国海域，有

研究学者通过商用疏浚船在海砂开采区域进行砾石播种和人工补沙，用以重建开采区的砾石栖息地[17]。

1.2.3　多角度的海砂开采生态环境影响专项研究

欧洲各国聚焦海砂开采对海洋生物多样性、渔业资源、海底特征、海岸线、其他用海等方面的短期和累积影响，已从多角度开展专项影响研究。荷兰、英国、比利时和丹麦等通过分析底栖动物群落与开采距离、捕捞量和海砂开采量相关性等方式评估海砂开采对底栖生物群落及渔业资源的影响，研究表明大型底栖群落随疏浚距离的增加呈现明显的梯度变化，疏浚强度较大的区域，由于沉积环境的变化造成大型底栖生物密度及部分生物物种和生物量增加的现象，导致捕捞量的大幅增加[17－20]。荷兰和英国等通过监测疏浚船在采砂作业过程中产生的水下噪声探究其对海洋生物的潜在影响，结果表明海洋疏浚造成的水下噪声对海洋哺乳动物和鱼类影响较小[7,21－22]。葡萄牙研究学者通过测量疏浚前后 4 年水深的变化，辅以波浪数据和数值模拟分析了海床形态的演化[23]。法国学者使用侧扫声呐结合图像技术以粒度的变化为特征研究了商业疏浚区停止疏浚后海洋集料的恢复水平，结果表明停止疏浚 1 年后产生的沟槽塌陷，10 年后完全消失，海床恢复到自然水平[24]。此外，荷兰、英国和法国等还关注海砂开采与海上风电场、海底拖网捕捞、海上运输等其他海上活动对海洋生态环境的累积影响[7,17－25]。

1.2.4　执行供需两端双向发力降低开采量的保护政策

一方面，通过加强机制砂替代、提高海砂利用率等方式降低海砂使用量。早在 20 世纪 60 年代，美国、英国和日本等国家就已使用机制砂替代天然砂配制混凝土，形成完善的机制砂材料与应用的标准规范。由于制作机制砂混凝土时需要添加一定含量的石粉用以提高混凝土的强度和耐久性能，不同国家对于石粉添加量的限值存在显著差异，如英国标准规定最高添加量为 15%，日本为 9%，美国为 7%，均高于我国国标《建设用砂》(GB/T14684－2011)中规定的石粉 5 %的限值要求[26]。同时，国外对于机制砂的大量使用也可溯源至 20 世纪，20 世纪 80 年代，日本天然砂石和机制砂石的生产用量比例就已达到 0.9∶1，到 90 年代该比例降为 0.5∶1，美国地质勘探局的研究表明，90 年代末机制砂的生产用量约占所有骨料总产量的 20%[27]。此外，美国和日本等发达国家利用先进的海砂淡化技术，更大程度降低海砂盐度，大大提高海砂利用率。另一方面，以用途为管制手段减少海砂的利用路径，如葡萄牙、西班牙和波尔图桑托岛等规定海砂仅允许用于海滩养护[7]，不能用于建筑等其他目的。

2　我国海砂开采监管现状及存在问题

2.1　我国海砂开采及监管现状

中国地质调查局《中国近海矿产资源报告》显示，截至 2016 年，我国近海海砂资源调查已完成南海珠江口、黄海成山头区、东海舟山区、渤海辽东湾区和台湾海峡西岸区 5 个重点区块调查，探明了海砂的分布范围、水深和成因，圈定海砂潜力区总面积约 2 万 km^2，估算资源量约 3 434.3 亿 m^3[28]。

近年来，我国砂石供需的严重不平衡导致非法海砂开采问题突出，执法监督力度也持续加大。2020 年以来，中国海警局联合生态环境部等部门连续开展“碧海”专项执法行动，针对盗采海砂等突出问题和严峻形势，紧盯重点区域、重点领域、重点问题，持续深化协作，开展综合整治和联合执法行动，严厉打击盗采海砂违法犯罪活动，查处了一批盗采海砂等威胁海洋生态安全的突出违法犯罪活动，形成了守护碧海银滩的有效合力和严查违法行为的高压态势，海洋环境污染与生态破坏突出问题得到了有效遏制。2023 年 5 月起，最高人民检察院、公安部、中国海警局联合开展为期 6 个月的海砂盗采违法犯罪专项打击整治行动，并将会同相关部门协同推动海砂整合治理，保障海洋生态安全。

在监管制度方面，生态环境部对于海砂开采管理主要是事前监管，即通过项目环境影响评价严格准入，针对涉及的敏感区，通过严控开采范围、严格落实开采总量控制，合理安排采砂强度，采取人工增殖放流等措施修复受损的海洋生态环境等。事中事后则通过动态跟踪监测掌握海砂开采对海洋环境的实际影响，此外，部分省份（如广东省、福建

省)要求海砂开采船安装通信定位终端设备,实时监控海砂开采船运行轨迹。新《海洋环境保护法》对海砂开采也作出规定“禁止在严格保护岸线范围内开采海砂。依法在其他区域开发利用海砂资源,应当采取严格措施,保护海洋环境。载运海砂资源应当持有合法来源证明;海砂开采者应当为载运海砂的船舶提供合法来源证明。”

2.2 存在问题

2.2.1 国家与地方层面统筹规划亟须提升

目前,我国仅广东、广西和福建等部分试点区域结合建设用砂需求出台地方规划和管理办法。如《广东省海砂开采三年行动计划(2020—2022年)》《钦州市海砂开采专项规划》《厦门市海砂资源管理规定》,明确了海砂开采年度目标、开采计划及任务分工,重点服务地区经济社会发展矿产需求。然而,地方层面规划尚未全覆盖,且缺少国家层面的海砂开采专项规划,可能导致局部海域集中、无序、无度的海砂开采。

2.2.2 无度开采对海洋生态安全危害频现

在海砂市场巨大需求和巨额利润的驱使下,海砂无度开采可能会影响海洋水文动力、地形地貌、海水水质、海底底质、底栖生态环境等,进而影响海洋生态环境安全和生物资源多样性。特别是海湾等近海海砂开采,甚至可能严重改变海湾原始海床结构,引发海岸侵蚀、海水入侵等突出海洋生态安全问题。此外,海砂开采也会对海水养殖、滨海旅游等其他海洋产业造成影响,危及跨海桥梁、临海公路和海底输油输气管道等安全。当前,不合理的海砂开采已导致目前发现的最大无人岛(罗斗沙岛)正逐渐消失;中国南海的浊度增加和珊瑚礁衰退;青岛近海的国家二级保护海洋生物栖息环境遭严重破坏;烟台市长岛县发生溃堤事故、百余间民房倒塌等恶劣环境事件。

2.2.3 非法盗采海砂的执法监管挑战较大

一方面,虽然近年来我国对非法盗采海砂的查处力度呈持续高压态势,但巨大的利益驱使导致非法海砂开采活动屡禁不止。根据中国海警局各年执法案件数量,2013—2020 年,全国海砂盗采整体呈上升趋势,2020 年(截至 8 月)查获海砂案件同比增长 425%,查扣涉案船舶、海砂分别同比增长 360%、337%。另一方面,由于盗采海砂违法行为界定困难、处罚额度偏低、海上现场执法监督难度大、非现场监管手段弱(部分采砂船为躲避检查关闭电子定位系统,流动性和隐蔽性较大)等原因,导致非法海砂执法监督困难重重。此外,2020 年人大代表提案《打击非法开采海砂,强化监管和严格追责的建议》也提到“非法海砂案件产生的生态损害赔偿仅限于可统计的渔业资源价值,缺少生境损害赔偿标准,也缺少由于海砂开采造成的海岸侵蚀等预防性损害赔偿责任标准”,当前尚无针对非法开采海砂导致的生态环境损害的专门性鉴定评估技术指南,这也间接导致了相关部门执法难度大的问题。

2.2.4 供需矛盾突出,海砂淡化技术落后

我国海砂开采用途较广,既可用于建筑行业,也可用于修筑堤坝或者加工成天然石英砂滤料用于水处理行业。尽管在相关部委的重视下,作为海砂的替代资源机制砂石发展迅猛,但是当前机制砂石行业仍面临质量保障能力弱、产业结构不合理、绿色发展水平低等突出问题。同时,对于疏浚物中海砂的合法使用,法律中规定并不明确,由此导致用砂市场来源紧缺。在此背景下,国内海砂淡化技术未与需求同频发展,导致海砂利用率不高,或海砂投入建筑市场后造成钢筋腐蚀,出现“海砂屋”事件。部分发达国家很早就开始淡化海砂的生产和利用,严格控制海砂氯离子含量,例如,日本《预拌混凝土》对钢筋混凝土用砂和预应力钢筋混凝土用砂的氯离子含量要求分别为不超过 0.024% 和 0.012%,我国台湾也沿用了日本严格的规定。尽管我国《海砂混凝土应用技术规范》(JGJ206－2010)也借鉴了日本的标准,要求氯离子含量限值分别为 0.03% 和 0.02%,但是《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ52－2006)中对于氯离子的含量限值分别为 0.06% 和 0.02%,仍高于日本标准。因此,虽然日本沿海地区 90% 以上建筑用砂为海砂,但是由于其严格的标准和先进的淡化技术,从未出现过由于使用海砂而导致的建筑问题。

3 建议与对策

针对我国当前海砂开采存在的上述问题,结合

发达国家海砂开采完善的规章制度以及先进的海砂淡化技术，拟对我国海砂开采提出以下建议与对策。

3.1　统筹规划布局，强化顶层管控

一是推动多部委联合印发海砂开采专项法规规划，充分借鉴其他国家管理实践经验，结合我国海砂资源调查总量和市场需求总量的预测结果，探索制定全国海砂开采专项法规或规划，并开展规划环境影响评价。二是加强分区分期管控，依据生态保护红线和海洋生态保护等管控要求，尝试结合海域水深、离岸距离、可开采深度等条件，科学划定海砂开采区、限采区、禁采区，合理设置开采期、限采期、禁采期，实现精准管控。

3.2　推动专项调查，加强影响研究

一是针对集中开采区域，制定区域海岸海底监测计划，基于长期监测，探究海砂开采产生的区域影响和长期累积影响；二是开展专题研究，通过研究海砂开采过程波浪、水流、沉积物运输、水下噪声等潜在变化的专项调查，建立区域水动力模型，深入开展规模化海砂开采对水动力环境、海岸岸滩、海底地形、海洋生态环境、其他用海活动等的影响研究；三是积极开展深海海砂开采技术及潜在环境影响研究，为未来海砂开采向深远海区域发展做好技术储备。

3.3　协同严格执法，深化智慧监管

一是公安、海警、生态环境、自然资源等部门应加强联动配合，积极推动非法海砂开采行为的跨部门协同监管，优化相关违法违规线索移交、信息共享、违法举报的工作链条，加大非法开采海砂处罚力度，从严从重从快打击违法行为；二是建立全国海砂开采监管数据平台，纳入海砂规划布局、项目概况、供需信息、开采监测监管动态等模块，建立健全问题发现和信息传递机制，实现全过程信息化管理；三是利用多手段加强海砂开采全过程的非现场监管，综合运用卫星遥感、无人机、电子监控系统、影像监视、船舶航迹等方式，实时获取开采信息，精准勘验开采强度，强化监督作用；四是加强海砂开采后生态环境恢复，基于长期监测结果，动态利用多种方式修复受损生态系统，保障海洋生态安全。

3.4　坚持疏堵结合，降低海砂需求

一是提倡发展和应用机制砂，利用尾矿砂，逐步替代海砂以弥补市场需求；二是加快推进废弃砂石、建筑材料的资源化利用进程，增加再生砂石供给；三是提高海砂综合利用率，学习欧洲、美国等先进的海砂开采和淡化技术，大力发展海砂淡化新工艺、新技术，充分利用海砂资源；四是加大疏浚砂利用力度，建立疏浚砂市场交易信息化平台，提高疏浚砂综合利用效率；五是借鉴国外监管经验，探索规范或限制海砂开采用途以有效降低海砂需求，如将应用范围缩小在岸滩养护、国家重大建设项目等，推动实现海砂资源的节约集约高效利用。

参考文献(References)：

[1] United Nations Environment Programme. Sand and sustainability：finding new solutions for environmental governance of global sand resources[EB/OL]. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/28163

[2] 李婵娟. 海砂开采工程的环境影响分析[J]. 中国资源综合利用，2022，40(12)：73－75.
LI Chanjuan. Analysis on environmental impact of sea sand mining project[J]. China Resources Comprehensive Utilization，2022，40(12)：73－75.

[3] 黄泽鹏，许江，胡毅，等. 泉州海域海砂资源开采区选划与管理[J]. 海洋开发与管理，2021，38(3)：9－13.
HUANG Zepeng，XU Jiang，HU Yi，et al. The selecting and management of sea sand resources in coastal areas of Quanzhou[J]. Ocean Development and Management. 2021，38(3)：9－13.

[4] 张琴，余科平，陈命男. 湛江湾海砂开采对周边泥沙冲淤及波浪场的影响[J]. 人民长江，2017，48(S2)：17－21.
ZHANG Qin，YU Keping，CHEN Mingnan. Influence of sea sand mining on the scouring and silting and wave field in Zhanjiang Bay[J]. Yangtze River，2017，48(S2)：17－21.

[5] 生态环境部. 重点海域综合治理攻坚战行动方案[EB/OL]. [2022－02－10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202202/t20220217_969303.html.

Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Action plan for comprehensive management of key sea areas[EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202202/t20220217_969303.html. 2022－02－10.

[6] OSPAR. Feeder report 2021-extraction of non-living resources[EB/OL]. https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/quality-status-reports/qsr-2023/other-assessments/extraction-non-living-resources/#references. 2021.

[7] International Council for the Exploration of the Sea. Working group on the effects of extraction of marine sediments on the marine ecosystem (WGEXT)[EB/OL]. [2019－12－04]. http://doi.org/10.17895/ices.pub.5733.

[8] World Wide Fund for Nature. Impacts of sand mining on ecosystem structure, process and biodiversity in rivers[EB/OL]. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/sandmining_execsum final.pdf. 2018.

[9] International Union for Conservation of Nature. For the urgent global management of marine and coastal sand resources[EB/OL]. [2020－09－01]. https://www.iucncongress2020.org/motion/033.

[10] Maroc-Safi: La menace de la <La Guerre des Sables>: des lobyings contre l'environnement[EB/OL]. [2011－08－09]. http://khardijamal.wordpress.com/2011/08/09/maroc-safi-la-menace-de-la-guerre-des-sables-continue.

[11] Middle East Eye. Why are beaches disappearing in Morocco[EB/OL]. [2016－08－05]. http://coastalcare.org/2016/08/why-are-beaches-disappearing-in-morocco/.

[12] 曹雪晴. 荷兰海砂资源的开发与管理[J]. 海洋地质前沿, 2007, 23(12):21－25.
CAO Xueqing. Development and management of sea sand resources in the Netherlands[J]. Marine Geology Frontiers, 2007, 23(12): 21－25.

[13] 李杏筠. 国内外海砂资源开采利用与权属管理探讨[J]. 合作经济与科技, 2018(12): 49－51.
LI Xingjun. Exploration on the exploitation, utilization, and ownership management of sea sand resources[J]. Co-Operative Economy & Science, 2018(12): 49－51.

[14] Cho, D.O. Challenges to sustainable development of marine sand in Korea[J]. Ocean and Coastal Management, 2006, 49(1):1－21.

[15] Department for Communities and Local Government. Good Practice Guidance 1: Extraction by dredging of aggregates from England's seabed[EB/OL]. http://www.communities.gov.uk/. 2017－04.

[16] International Council for the Exploration of the Sea. Effects of extraction of marine sediments on the marine environment 2005－2011 [EB/OL]. https://doi.org/10.17895/ices.pub.5498. 2016.

[17] Cooper K M, Ware S, Vanstaen K, et al. Gravel seeding-A suitable technique for restoration of the seabed following marine aggregate dredging? [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2011, 91: 121－132.

[18] Desprez M., Le Bot S, Duclos P A, et al. Monitoring the impacts of marine aggregate extraction. Knowledge Synthesis 2012 (GIS SIEGMA)[J]. Ed. PURH, Univ. Rouen.2014, 43.

[19] Marchal P, Desprez M, Vermard Y, et al. How do demersal fishing fleets interact with aggregate extraction in a congested sea[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2014, 149: 168－177.

[20] Wyns L, Roche M, Barette F, et al. Near-field changes in the seabed and associated macrobenthic communities due to marine aggregate extraction on tidal sandbanks: A spatially explicit bio-physical approach considering geological context and extraction regimes[J]. Continental Shelf Research, 2021, 229, 104546.

[21] Thomsen F, McCully S, Wood D, et al. A generic investigation into noise profiles of marine dredging in relation to the acoustic sensitivity of the marine fauna in UK waters with particular emphasis on aggregate dredging: PHASE 1 scoping and review of key issues [R]. 2009.

[22] Heinis F, De Jong C, Ainslie M, et al. Monitoring programme for the Maasvlakte 2. Part III: The effects of underwater sound[J]. Civil Engineering and Geosciences, 2013,132: 21－32.

[23] Goncalves D S, Goncalves D S, Pinheiro, L M, et al. Morphodynamic evolution of a sand extraction excavation offshore Vale do Lobo, Algarve, Portugal[J]. Coastal Engineering, 2014, 88(6):75－87.

[24] Sophie L B., Robert L, Matthieu F N, et al. Morphological and sedimentary impacts and recovery on a mixed sandy to pebbly seabed exposed to marine aggregate extraction (Eastern English Channel, France)[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2010, 89(3): 221－233.

[25] Foden J, Rogers S I, Jones A P. Recovery of UK seabed habitats from benthic fishing and aggregate extraction: towards a cumulative impact assessment[J]. Marine Ecology Progress Series, 2010, 411:259－270.

[26] 殷继伟，马永胜，张磊，等. 黏度改性剂对机制砂混凝土性能影响的试验研究[J].混凝土，2022(6)：89－93.
YIN Jiwei，MA Yongsheng，ZHANG Lei，et al. Experimental study on the effect of viscosity modifier on the properties of machine-made sand concrete[J]. Concrete，2022(6)：89－93.

[27] 罗健勇，于本田，苏俊辉，等. 机制砂颗粒级配对混凝土性能的影响研究[J].公路，2022，67(9)：384－388.
LUO Jianyong，YU Bentian，SU Junhui，et al. Study on the effect of mechanical sand particle size on the performance of concrete[J]. Highway，2022，67(9)：384－388.

[28] 中国地质调查局. 中国近海矿产资源报告[EB/OL]. [2016－11－28]. https://www.cgs.gov.cn/ddztt/cgs100/bxcg/fwhyqg/201611/P0201611284992-89458305.pdf.
China Geological Survey. Report of offshore mineral resources in China[EB/OL]. [2016－11－28]. https://www.cgs.gov.cn/ddztt/cgs100/bxcg/fwhyqg/201611/P020161128499289458305.pdf.