



· 综述 ·

“丢弃渔具”研究进展

宋利明^{1,2,3,4*}, 陈明锐¹

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 远洋渔业协同创新中心, 上海 201306)

摘要: 废弃、遗失或以其他方式丢弃的渔具 (abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear, ALDFG) 是海洋生态环境及渔业最为严重的危害之一, 世界各国及国际组织对其引发的问题日益关注。本文介绍了 ALDFG 对海洋生态及渔业的危害、ALDFG 产生的主要原因、各国及相关国际组织为减少 ALDFG 所提出的措施及常用的 ALDFG 调查和评估方法。发现 ALDFG 的研究多采用统计模型量化 ALDFG, 或结合统计检验等评估 ALDFG 的危害性 (幽灵捕捞) 和通过经济学层面评估清除 ALDFG 带来的生态及经济效益等。建议: ①通过问卷调查与水下实地调查等评估国家管辖海域 ALDFG 量和危害程度, 并结合海洋动力学模型及渔具水动力性能等分析 ALDFG 移动轨迹; ②开发新材料, 改进渔具及属具设计方法, 减少 ALDFG; ③通过水下实地调查, 确定 ALDFG 的物理变化过程、幽灵捕捞能力的变化等; ④观察 ALDFG 清除后对海洋生态系统多样性及渔业资源的积极作用, 并结合经济模型分析 ALDFG 清除后产生的社会及经济效益。

关键词: 废弃、遗失或以其他方式丢弃的渔具 (ALDFG); 海洋生态环境; 减少措施; 评估方法; 溯源

中图分类号: S 972.29

文献标志码: A

联合国环境署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 在 2016 年发布的 2030 年议程及联合国可持续发展目标 (UN sustainable development goals) 中与海洋垃圾相关的可持续发展目标有 13 个, 其中可持续发展目标可划分为 3 个阶段: 到 2020 年, 可持续管理和保护海洋及沿海生态系统, 避免重大不利影响, 并采取行动恢复这些生态系统, 以实现健康和富饶的海洋; 到 2025 年, 预防和显著减少各种海洋污染, 特别是来自陆地活动的污染, 包括海洋垃圾和富

营养化; 到 2030 年, 通过预防、减少、回收和再利用, 大幅度减少垃圾的产生^[1-2]。这些目标的实现与各国相关研究的开展及政策的制定息息相关^[2-4]。据 Macfadyen 等^[5]的粗略估计, 全球每年的废弃、遗失或以其他方式丢弃的渔具 (abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear, ALDFG) 排放入海量约占全球范围内海洋垃圾排放入海总量的 10%, 对海洋生态及渔业已带来了不可忽视的影响。一些国家及国际组织对如何减少海洋环境中的 ALDFG 越来越重视。

收稿日期: 2019-09-14 修回日期: 2020-05-05

资助项目: 联合国粮食与农业组织 (FAO) 健康生态系统和清洁环境的负责任捕捞技术项目 (D8005180178); 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2012AA092302)

通信作者: 宋利明, E-mail: lmsong@shou.edu.cn

本文从 ALDFG 对海洋生态及渔业的危害、ALDFG 产生的主要原因、减少 ALDFG 的措施、现有 ALDFG 调查及评估方法、海洋垃圾和 ALDFG 溯源研究等 5 个方面介绍国内外学者对 ALDFG 所做的研究、取得的成果和需进一步研究的内容。

1 ALDFG 对海洋生态及渔业的危害

目前, 世界上近 700 种海洋物种受到海洋垃圾的影响, 并且还在持续增加^[6]。ALDFG 是造成幽灵捕捞的主要原因^[7-9]。被动性渔具容易发生丢失或遗弃, 其所引起的幽灵捕捞问题是最严重的^[10]。造成幽灵捕捞的也有主动性渔具, 包括围网、拖网的碎片, 以及围网和其他渔业中使用的人工集鱼装置(FAD)^[7, 9], 而且, 某些网具变成ALDFG之后会发生长期的幽灵捕捞^[10-12]。此外, 一些物种可能会被ALDFG所捕获的同种活体吸引, ALDFG可聚集海洋生物, 增加ALDFG附近的生物丰度, 有助于提高幽灵捕捞的效率^[9]。当种群丰度评估模型未考虑包括ALDFG的幽灵捕捞在内的全部捕捞死亡率时, 就会产生偏差。这种无法计算的捕捞死亡率有可能损害渔业管理措施的效力和渔业资源的可持续利用, 并造成更广泛的地区和生态系统层面的影响^[10, 13]。

ALDFG 引起的幽灵捕捞既浪费了渔业资源, 也降低了渔业经济效益^[14]。幽灵捕捞除了会对商业渔业资源造成影响外, 还会对那些体型较大、繁殖缓慢、繁殖力低、生长缓慢、寿命较长和对环境变化较敏感的海洋动物造成影响。Ehrhart 等^[15]在佛罗里达附近发现的一张废弃刺网中有 10 头死亡的海龟。Harris 等^[16]调查马萨诸塞州科德角的海滩时发现 6.7% 的死海鸟被钩、钓线或网缠住。NSI 对 4 处 ALDFG 进行调查, 发现一个月内有 9 只海鸟和 7 尾角鲨(*Squaliformes*)被废弃刺网纠缠而死亡^[17]。Carr 等^[18]在杰弗里斯礁区发现的 1400 英尺长的废弃刺网在 1984—1986 年捕获了 76 尾角鲨(表 1)。

丢失的渔具及其碎片会导致海豹(*Phocidae*)^[26-27]和海豚(*Delphinidae*)等^[28-29]小型海洋哺乳动物数量的减少, 还会缠绕座头鲸(*Megaptera novaeangliae*)等大型海洋哺乳动物^[30-32]。

此外, 漂浮的 ALDFG 可能妨碍航行^[33], 可能会与其他作业中的渔具发生冲突, 导致额外的网具损失^[34]。ALDFG 可以改变微生境, 例如 ALDFG 堵塞珊瑚礁缝隙后, 阻塞水流在珊瑚礁缝隙中的正常流动, 从而形成缺氧区, 如果缺氧区长时间存在就会导致底栖生物发生窒息,

表 1 ALDFG 对商业渔业资源的影响

Tab. 1 The impacts of ALDFG on commercial fishery resources

研究人员/组织 researchers/organizations	研究区域 research area	主要ALDFG种类 types of ALDFG	ALDFG密度/产生率 ALDFG density / generation rate	ALDFG造成的损失 losses caused by ALDFG
Rihan等 ^[19]	加拿大罗卡尔和豪猪 滩附近200~1600 m的 海域	鲛鳐 (<i>Lophius litulon</i>)刺网	平均0.5个ALDFG/n mile	废弃刺网幽灵捕捞率1.25 尾/ALDFG。但不排除被 纠缠鱼类在ALDFG回收之 前就已经分解或被其他食 腐动物捕食 ^[17]
Antonelis等 ^[20]	华盛顿萨利什海域	笼壶类 (derelict fishing traps, DFT)	8.6%的DFT产生率, 平均为8592个/年	178874只珍宝蟹(<i>Calappa philargius</i>)/年被DFT捕获, 价值74.4万美元, 约占珍 宝蟹渔业年收入的4.5% 每年预计有91.3万只螃蟹 (<i>Brachyura</i>)被DFT捕获(价 值30.4万 美元)
Havens等 ^[21]	弗吉尼亚州的切斯 皮克湾	DFT	5.64个/km ²	DFT造成的幽灵捕捞死亡 率为4.5%, 约占该区域商 业渔业的3% 估算10年间渔获损失超过 95万尾
Maselko等 ^[22]	阿拉斯加南部海域	DFT	1.5~10.1个/ km ²	DFT幽灵捕捞率为 5%~40%, 每个DFT每年 捕获4~76个目标物种(主要 是螃蟹、龙虾 (<i>Palinuridae</i>)等) DFT幽灵捕捞率超过65%, 每个DFT每年捕获2.4~3.5 只螃蟹
Antonelis ^[23] Arthur等 ^[24]	2002—2012年在华盛 顿萨利什海域 美国沿海	三文鱼 (<i>Oncorhynchus</i>)刺网 DFT	5~47个/ km ²	
Anderrson等 ^[25]	路易斯安那州的蓝蟹 (<i>Callinectes sapidus</i>) 渔场	DFT	1.57个/ km ²	

从而导致大量死亡^[35]。ALDFG在海流的作用下可以冲刷和磨损海床和相关的群落,包括沿海海草床和珊瑚礁等敏感物种的栖息地,以及底栖冷水珊瑚礁和海绵场^[14]。ALDFG还会造成间接、附带的生态效应。例如,ALDFG和其他海洋垃圾运输外来物种,这可能破坏群落结构和生态链^[12, 36-37]。与ALDFG纠缠在一起的生物可能会出现亚致死效应,例如生物被ALDFG纠缠后活动能力下降,觅食能力和规避掠食者能力受损,可能最终导致生物死亡^[8, 38]。此外,主要由塑料组成的ALDFG还会转化成微塑料^[39],对海洋生态及渔业造成更深的负面影响^[40]。

2 ALDFG 产生的主要原因

捕捞渔业的ALDFG很多是由于有意或无意的原因而产生。当被动性渔具与主动性渔具发生冲突时,就有可能失去渔具,例如被动性渔具被拖网船或围网船或挖泥沙船无意或有意拖走,或者被动性渔具的标识浮标被切断等^[12, 20, 41-42]。当渔具的跟踪系统发生故障时,或当渔具被水下暗礁、沉船等钩住时,也会造成渔具的丢失或者渔民放弃收回渔具^[11, 43]。大型海洋哺乳动物与正在捕捞作业中的渔具发生冲突时,也会导致网具损失^[32]。

不当的渔具设计和材料也会致使渔具损耗,例如未及时更换磨损的渔具部件。捕鱼方式不当也会导致渔具损失,如被动性渔具设置的区域与主动性渔具作业区域有大概率的冲突等^[44]。渔具也可能由于恶劣的天气或强大的洋流而丢失。如果恶劣的天气过于危险也会导致渔具不能回收而报废^[45-46]。渔民也可能会在非法作业并有可能被发现时抛弃渔具^[47]。当渔民试图定位和找回丢失的渔具时却没有足够的时间或渔具真的很难回收时,渔民会倾向于放弃渔具^[44, 48]。

3 减少 ALDFG 的措施

预防措施被认为比采取补救措施更有效^[5]。此外,一些补救措施(例如使用生物可降解材料来加快ALDFG的分解或其他方法来清除ALDFG)从经济层面上来讲,其可行性和实用性并不理想,而预防措施及ALDFG的快速回收可能会更有效^[49-50]。一些国家及国际组织为减少海洋环境中的ALDFG提出了一些预防和补救措施(表2)。

4 ALDFG 调查及评估方法

ALDFG调查主要通过问卷调查(表3),结合统计模型和各种检验方法等以评估ALDFG的数量及其对渔业和生态的影响,或通过经济模

表 2 减少 ALDFG 的措施
Tab. 2 Measures to reduce ALDFG

	研究人员/组织 researchers/organizations	具体措施/建议 specific measures/suggestions	目的 purpose
预防措施	FAO ^[51-52]	主管当局规定渔具进行标识,方便查明产生ALDFG的主体;鼓励记录和报告废弃或丢失渔具的情况	抑制故意丢弃渔具或丢弃不需要的渔具的行为;方便后续回收ALDFG工作的开展
	FAO ^[12]	应用全球定位系统和海底测绘技术来减少捕捞作业期间渔具无意中与海床接触的可能性;在渔具上安装雷达反射器和无线电浮标可降低渔具丢失的风险	减少渔具丢失;避免与拖网等主动性渔具发生冲突,定位丢失渔具,便于找回
	Macfadyen等 ^[5]	安装雷达反射器和无线电浮标标记水下被动性渔具	减少被动性渔具缠绕过往船只的螺旋桨
	Gilman等 ^[53]	限制捕捞努力量或渔获量,制定回购计划、取消产能过剩的补贴	减少ALDFG的产生
	Macfadyen等 ^[5] ; FAO ^[12]	使用被动性渔具和主动性渔具的渔船作业时间或作业海域错开	避免网具之间的冲突,减少ALDFG的产生
	IMO ^[54] ; FAO ^[12]	在港口或其他地方设置专门回收破损/废旧渔具的设施,并制定合理的回收价格	减少渔民海上丢弃渔具
	Sea Fish Industry Authority 等 ^[55]	为新晋升的船长或新加入捕捞行业的船员开展专项培训,提高船长的能力和全体船员的环保意识	减少海上渔具遗失,提高寻找ALDFG的能力
补救措施	FAO ^[12, 52, 56]	建立ALDFG报告系统,制定相应的回收激励措施,并在港口设立专门回收破损/废旧渔具的部门	鼓励渔民在海上收回与螺旋桨或渔具纠缠在一起的ALDFG,或者在渔场作业或运输过程中遇到的ALDFG
	Suuronen等 ^[50] ; Morishige 和 Mcelwee ^[57]	定期调查作业渔场和敏感的沿岸海洋生境、底栖生物栖息地等	便于确定和清除ALDFG和其他海洋垃圾
	Morishige和Mcelwee ^[57] ; Tonin ^[58]	通过空中侦察、侧扫声呐、远程水下机器人、潜水员调查和拖曳等搜寻ALDFG	确定ALDFG的位置,便于ALDFG清除/研究工作的开展
	Moschino等 ^[59] ; Spirkovski等 ^[60]		

表 3 ALDFG 调查及评估方法

Tab. 3 ALDFG survey and assessment method

研究人员 researchers	研究海域 research area	调查对象 object of investigation	调查方法 investigation method	评估方法 assessment method
Kim等 ^[61]	韩国沿海	陷阱类和刺网	对渔民进行实地问卷调查及邮件咨询; 对ALDFG方面的专家进行邮件咨询	通过多元线性回归法建立ALDFG数量与相关独立变量的关系模型, 以量化韩国沿海每年的ALDFG
Yildiz和Karakulak ^[62]	黑海、伊斯坦布尔海峡和马尔马拉海	建网、陷阱类及延绳钓	在27个渔港对渔民进行实地问卷调查	用卡方检验分析渔具类型与ALDFG产生的关系; 用K-S检验数据分布正态性, 再结合单因素方差检验确定各分区ALDFG产生原因和ALDFG量的差异; 用斯皮尔曼秩相关分析渔具数量与ALDFG量的关系
Dagtekin等 ^[45]	土耳其黑海沿岸	刺网	在158个渔港对渔船船长进行实地问卷调查	用简单随机抽样方法量化土耳其黑海沿岸每年的刺网丢失数量
Richardson等 ^[46]	澳大利亚北部沿海	拖网、刺网和围网	在澳大利亚2个港口和印度尼西亚4个港口, 对54名渔民进行实地问卷调查	用斯皮尔曼秩相关分析渔具丢失频率与渔具维修/更换频率的关系, 用皮尔森检验研究渔具丢失与捕捞努力量的关系, 用故障树分析法确定造成ALDFG事件的主要原因
Tonin ^[58]	意大利亚得里亚海北部	社会上招募的自愿接受调查的对象	结合条件价值评估法及支付意愿开展系统性的问卷调查	用随机实用新型经济模型分析ALDFG移除后, 珊瑚栖息地生物多样性的恢复所产生的经济效益, 为相关政策的制定提供参考
Masompson等 ^[63]	里海南部	单丝刺网	锚拖作业打捞ALDFG	用斯皮尔曼秩相关检验分别确定幽灵网深度、数量和捕获种类的关系, 分别用莱文和K-S检验评估数据的方差齐性和归一化, 用ANOVA评估季节和深度对幽灵网渔获率的影响, 用K-S检验比较废弃网长度频率分布, 用T检验比较不同季节被幽灵网捕获的鱼类的平均长度和成熟度, 用非度量多维尺度坐标分析每个季节因子间的差异, 用SIMPER分析确定导致季节间总体差异的重要类群, 以确定ALDFG在里海的分布情况及其幽灵捕捞对渔业的影响
Spirkovski等 ^[60]	马其顿欧赫里德湖	刺网	通过声呐、潜水员潜水、锚拖搜寻并清除ALDFG; 记录被清除的ALDFG捕获的生物	对收集到的生物体或遗骸鉴定分类, 分析ALDFG对欧赫里德湖的影响
Moschino等 ^[59]	意大利亚得里亚海北部	刺网、笼壶类、拖网以及捕捞作业和水产养殖过程中产生的废弃物等	通过对渔民和潜水员进行问卷调查, 并结合船载GPS确定高概率和非常高概率ALDFG出现区域; 根据更详细的水下声学调查绘制的高分辨率参照图量化ALDFG及海洋垃圾; 开展ALDFG清除工作; 通过水下摄像监测和评估ALDFG清除后对生物多样性的影响	采用主成分分析法、惠特尼非参数检验、秩和检验、非参数多维度法、相似性检验以及相似性百分比分析比较ALDFG清除后生物群落丰度变化, 量化ALDFG对岩礁生境的影响

型等分析 ALDFG 清除后的生态及经济效益, 也有通过侧扫声呐、潜水员水下探查及锚拖等多种形式来清除或研究 ALDFG。

5 ALDFG 和海洋垃圾溯源研究

海洋中的塑料垃圾主要分为陆源垃圾和海源垃圾^[64]。其中陆源垃圾最主要的入海途径是河流输送^[65-69], 其次是滨海旅游业等^[67, 70], 陆源垃圾贡献了近 80% 的海洋垃圾^[71]; 海源垃圾主要由沿海和远洋捕捞业^[2, 67, 72-74]、沿海国家的水产养殖业^[67]和航运业^[2, 75]等产生, 其中分布最广、产

生海洋塑料垃圾最多的是沿海和远洋捕捞业^[76], 产生 ALDFG 最主要的来源也是沿海和远洋捕捞业, 尤以沿海捕捞业产生 ALDFG 的风险最大^[46]。

虽然在渔业中引入合成纤维是一项重要的技术进步, 但也正是它在海洋环境中的持久性, 塑料组成的 ALDFG 成为海洋塑料污染的主要来源^[12]。全球每年产生的 ALDFG 的具体数量还不清楚, 据 Plastics Europe 估计, 全球塑料年产量已经接近 3.5 亿 t^[77], 到 2050 年全球将再增加 330 亿 t 塑料^[78]。虽然每年仅有一小部分塑料最终入海^[79], 但其对海洋环境的污染却无处不在^[80-82], 从偏远

的亨德森岛 (Henderson Island)(海滩垃圾最高密度为 671.6 件/m²)^[83] 到全世界最深的马里亚纳海沟(微塑料丰度为 200~2200 片/L)^[84], 都能发现它们。虽然海洋中的塑料垃圾分布广泛, 但主要还是集中在海洋副热带区域^[85-87]。

Lebreton 等^[86] 和 Maximenko 等^[87] 模拟海洋漂浮垃圾的动力学特性时发现太平洋的垃圾主要集中在亚热带海洋环流的中心涡旋区, 形成堪比澳大利亚陆地面积的垃圾聚集带。

Lebreton 等^[88] 研究发现, 位于美国加利福尼亚州和夏威夷群岛间 1.6×10⁶ km² 的高密度东太平洋垃圾带中, 有 7.9 万 t 的塑料垃圾, 其中 46% 由渔网组成。Isobe 等^[89] 调查日本周边东亚海域的塑料碎片浓度及总颗粒数量时, 发现塑料碎片 (大于 5 mm) 在东北向洋流上游的浓度更高。

6 总结和展望

ALDFG 会造成严重的生态和社会经济问题, 而 ALDFG 引起的幽灵捕捞现象在过去十几年中已成为国际上越来越受关注的问题。

6.1 前人研究取得的成果

ALDFG 对海洋生态及渔业的危害 海洋垃圾中的 ALDFG 全方位地影响着海洋动物, 虽然 ALDFG 会丰富小范围的微生境, 但更值得注意的是 ALDFG 会对那些资源量低甚至濒危的海洋动物产生影响。在海表漂流的 ALDFG 影响航行和捕捞作业, 在海表和水下的 ALDFG 被大型海洋动物误食, 或者缠绕海洋动物致死, 在靠近海底的 ALDFG 破坏底栖动物的生境。ALDFG 除了破坏海洋生态之外, 每年 ALDFG 引起的幽灵捕捞在无形中降低了渔业资源评估的准确性和管理措施的效力, 也减少了商业捕捞方面的收入。

ALDFG 产生的主要原因 海上 ALDFG 产生的原因很多, 但主要还是由于极端天气、作业渔具冲突、海底障碍物、强风强流及作业海区 and 作业时间冲突等。但在某些远洋海域, 例如在公海作业的渔船, 可能会因为经济效益而主动丢弃渔具; 或是一些非法捕捞船为防止被捕而主动丢弃渔具。

减少 ALDFG 的措施 各国及国际组织为减少海洋中的 ALDFG, 提出了预防措施和补救措施。

①预防措施。渔具标识的规定和相关标识技术的应用, 鼓励报告 ALDFG 产生情况, 应用 GPS、雷达反射器及无线电浮标等技术, 限制捕捞努力量或渔获量, 错开不同类型渔具的作业时间或海区, 设置专门的破损/废旧渔具回收部门, 开展培训教育等。

②补救措施。鼓励渔民收回海上发现的 ALDFG, 定期调查作业渔场和生物生境, 政府、民间团体和研究人员组织搜寻并清除 ALDFG 等。

ALDFG 调查及评估方法 ALDFG 调查主要是问卷调查和水下实地调查, 其中问卷调查主要通过邮件咨询或召开座谈会的形式进行; 水下实地调查更复杂, 可能需要结合问卷调查、GPS 定位技术、声呐设备和潜水器等, 而一些复杂区域还需要潜水员亲自下水调查, 危险系数较高。

评估 ALDFG 采用的方法较多, 其中有多元线性回归和简单随机抽样等方法量化 ALDFG, 卡方检验、K-S 检验、相关性分析和故障树分析等研究 ALDFG 产生的主要原因及幽灵捕捞性能等, 还有通过监测生物群落丰度变化或经济模型评估以分析 ALDFG 清除后的生态或经济效益等。此外, 还有学者通过模拟渔具水下幽灵捕捞以研究 ALDFG 幽灵捕捞率等。

ALDFG 和海洋垃圾溯源研究 每年经由河流间接输入、海上渔业/航运活动等直接输入海洋的塑料垃圾对海洋生态造成极为严重的污染。在大洋风流的作用下, 海洋垃圾已经遍布各大洋, 在海洋环流的路线上 (如滨海沙滩), 海洋塑料垃圾密度最高可达 671.6 件/m²。

因渔具的持久耐用性, 即使在海上丢失后也能存在多年, 若是未被海洋环流冲积到附近的沙滩上, 会随着海洋环流最终聚集在中心涡旋区形成“垃圾岛”, 其中约有一半是因渔业活动而产生的 ALDFG。

6.2 前人研究存在的问题

ALDFG 对海洋生态及渔业的危害 ALDFG 对海洋生态及渔业的危害主要体现在幽灵捕捞方面, 因此大多学者通过模拟实验、清除计划、实时监测等来研究其对海洋生物的影响。实际上, 除了研究其危害之外, 还需要研究海洋中的 ALDFG 减少或清除后能给海洋和人类带来多大的生态及经济效益, 但现在少有学者分析 ALDFG 清除后的潜在生态及经济效益。

ALDFG 产生的主要原因 目前, 主要是通过问卷调查了解 ALDFG 产生的原因, 其中大多不可避免地带有船长/船员的主观判断。例如, 海洋水下状况复杂, 导致刺网等渔具丢失, 而船长/船员主观认为渔具丢失是因为作业冲突, 或水下障碍物导致渔具沉入海底。

在关于 ALDFG 产生原因的研究中, 少有学者将 ALDFG 产生区与产生原因相联系, 更多的是描述海底沉船或礁石等固定性质的障碍物附近容易发生渔具丢失等。虽然在新的地点发生渔具丢失船长可能会将其记录在电子海图上, 但电子海图标记的信息交流共享可能存在问题。因此若今后能建立更为广泛的交流平台, 船长能随时记录并及时了解 ALDFG 容易产生的地点, 可减少 ALDFG 再次产生, 同时也方便后续清除 ALDFG。

减少 ALDFG 的措施 各国针对海洋 ALDFG 问题已提出了很多治理措施, 并取得了不同程度的效果, 但部分国家或地区管辖海域的 ALDFG 还在持续增加, 还需各国进一步加大 ALDFG 减少措施的落实力度。由于 ALDFG 可能会在大洋风流的作用下移动到邻国海域、公海, 甚至其他大洋, 因此需要各国开展多边合作共同清除 ALDFG。为了这些合作能更科学并有效地开展, 可能还需要进一步调查并量化各国管辖海域及相邻海域每年的 ALDFG 量, 以及每年各国管辖海域的 ALDFG 沉降到海底和漂流到邻国管辖海域的比例, 以更系统全面地对 ALDFG 进行监管和清除。

现有 ALDFG 调查及评估方法 问卷调查的人力物力远低于水下实地调查, 水下实地调查对 ALDFG 危害的认知较之问卷调查更为深刻。若只是为了评估 ALDFG 的数量, 问卷调查更为合适; 若仅是为了评估 ALDFG 对生态及渔业的危害, 通过水下实地调查更为合适。随着今后对 ALDFG 研究的不断深入, 采用单一的分析方法来研究 ALDFG 有所欠缺, 必须多种研究方法同时进行, 并考虑多方面的因素, 不仅仅要研究其对生态环境的影响, 还需要考虑其对社会所造成的影响。

ALDFG 和海洋垃圾溯源研究 因大洋风流聚集在各大洋特定海域的“垃圾岛”, 以及其中大量存在的渔网使人们认识到即使 ALDFG 仅约占全球海洋垃圾入海量的 10%, 但其所引发的污

染问题却极为严重。部分沿海国家缺乏本国管辖海域的 ALDFG 调查资料, 对本国管辖海域存在的 ALDFG 危害认知不够深刻, 若要治理 ALDFG 问题也仅能通过全球大尺度环境下的海洋垃圾分布以及其他国家相关的 ALDFG 研究和治理来建立基本框架, 但此类治理方法是否符合本国管辖海域的 ALDFG 特性及环境特征还有待考证。若能开展并完善本国的 ALDFG 调查研究, 不仅有助于制定相关 ALDFG 治理策略和解决与邻国的部分海洋垃圾纠纷问题, 还有助于全球尺度下的 ALDFG 量化与治理。

6.3 今后进一步研究 ALDFG 的建议

通过问卷调查、官方资料收集, 量化评估各种渔船每年每船在每个海区和季节的海上渔具遗失、丢弃和破损的数量及 ALDFG 回收率, 确定 ALDFG 产生的主要原因、ALDFG 高发海区及可能的 ALDFG 高密度海区等;

应用海洋动力学模型结合渔具水动力学性能模拟 ALDFG 的漂流轨迹, 确定 ALDFG 的位置和来源;

通过潜水员、水下机器人及载人潜水器等水下实地调查, 确定 ALDFG 的物理变化过程、幽灵捕捞能力及对海洋生态系统的影响等;

观察 ALDFG 清除后对海洋生态系统生物多样性及渔业资源的积极作用, 并结合经济模型分析 ALDFG 清除后产生的社会及经济效益。

参考文献 (References):

- [1] SDSN. Indicators and a monitoring framework for the sustainable development goals: Launching a data revolution for the SDGs[R]. New York: Sustainable Development Solutions Network, 2015: 225.
- [2] UNEP. Marine plastic debris and microplastics: Global lessons and research to inspire action and guide policy change[R]. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016: 179.
- [3] Löhr A, Savelli H, Beunen R, *et al.* Solutions for global marine litter pollution[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2017, 28: 90-99.
- [4] Xanthos D, Walker T R. International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): a review[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, 118(1-2): 17-26.

- [5] Macfadyen G, Huntington T, Cappell R. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear[R]. Rome: UNEP/FAO, 2009: 115.
- [6] Gall S C, Thompson R C. The impact of debris on marine life[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 92(1-2): 170-179.
- [7] Wilcox C, Hardesty B D, Sharples R, *et al.* Ghostnet impacts on globally threatened turtles, a spatial risk analysis for northern Australia[J]. *Conservation Letters*, 2013, 6(4): 247-254.
- [8] Uhlmann S S, Broadhurst M K. Mitigating unaccounted fishing mortality from gillnets and traps[J]. *Fish and Fisheries*, 2015, 16(2): 183-229.
- [9] Wilcox C, Heathcote G, Goldberg J, *et al.* Understanding the sources and effects of abandoned, lost, and discarded fishing gear on marine turtles in northern Australia[J]. *Conservation Biology*, 2015, 29(1): 198-206.
- [10] Gilman E, Suuronen P, Hall M, *et al.* Causes and methods to estimate cryptic sources of fishing mortality[J]. *Journal of Fish Biology*, 2013, 83(4): 766-803.
- [11] Breen P A. A review of ghost fishing by traps and gill nets[M]//Shornura R S, Godfrey M L. Proceedings of the second international conference on marine debris. Honolulu, Hawaii. 1990: 571-599. https://swfsc.noaa.gov/publications/tm/swfsc/noaa-tm-nmfs-swfsc-154_p571.pdf [2019-08-09].
- [12] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2010[R]. Rome: FAO, 2010: 197.
- [13] Warden M L, Murray K T. Reframing protected species interactions with commercial fishing gear: moving toward estimating the unobservable[J]. *Fisheries Research*, 2011, 110(3): 387-390.
- [14] Gilardi K V K, Carlson-Bremer D, June J A, *et al.* Marine species mortality in derelict fishing nets in Puget Sound, WA and the cost/benefits of derelict net removal[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, 60(3): 376-382.
- [15] Ehrhart L M, Raymond P W, Guseman J L, *et al.* A documented case of green turtles killed in an abandoned gill net: The need for better regulation of Florida's gill net fisheries[M]//Richardson T H, Richardson J I, Donnelly M. Proceedings of the 10th annual workshop on sea turtle biology and conservation. Hilton Head Island, South Carolina: NOAA, 1990: 55-58. <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/6013>. [2019-08-09]
- [16] Harris R J, Tseng F S, Pokras M A, *et al.* Beached bird surveys in Massachusetts: the seabird ecological assessment network (Seanet)[J]. *Marine Ornithology*, 2006, 34(2): 115-122.
- [17] NSI. Rates of marine species mortality caused by derelict fishing nets in puget sound, Washington[R]. Washington: Northwest Straits Initiative, 2008: 16.
- [18] Carr H, Cooper R. Manned submersible and ROV assessment of ghost gillnets in the Gulf of Maine[C]//Proceedings of OCEANS '87. Halifax: IEEE, 1987: 622-624.
- [19] Rihan D, Mulligan M, McDonald D, *et al.* Gillnet retrieval survey 2006[R/OL]. 2006: 40. <http://runde-centre.no/wp-content/uploads/2014/03/Gillnet-Report-2006.pdf>. [2019-08-09]
- [20] Antonelis K, Huppert D, Velasquez D, *et al.* Dungeness crab mortality due to lost traps and a cost-benefit analysis of trap removal in Washington state waters of the Salish Sea[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2011, 31(5): 880-893.
- [21] Havens K, Bilkovic D M, Stanhope D, *et al.* Fishery failure, unemployed commercial fishers, and lost blue crab pots: an unexpected success story[J]. *Environmental Science & Policy*, 2011, 14(4): 445-450.
- [22] Maselko J, Bishop G, Murphy P. Ghost fishing in the southeast Alaska commercial Dungeness Crab fishery[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2013, 33(2): 422-431.
- [23] Antonelis K L. Derelict gillnets in the Salish sea: Causes of gillnet loss, extent of accumulation and development of a predictive transboundary model[D]. Washington: University of Washington, 2013: 46.
- [24] Arthur C, Sutton-Grier A E, Murphy P, *et al.* Out of sight but not out of mind: harmful effects of derelict traps in selected U.S. coastal waters[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 86(1-2): 19-28.
- [25] Anderson J A, Alford A B. Ghost fishing activity in derelict blue crab traps in Louisiana[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 79(1-2): 261-267.
- [26] Fowler C W. Marine debris and northern fur seals: A case study[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1987, 18(6): 326-335.
- [27] Fowler C W, Merrick R, Baker J D. Studies of the popu-

- lation level effects of entanglement on northern fur seals[M]//Shornura R S, Godfrey M L. Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris. Honolulu, 1990: 453-474. https://swfsc.noaa.gov/publications/TM/SWFSC/NOAA-TM-NMFS-SWFSC-154_P453.PDF. [2019-08-09]
- [28] Powell J R, Wells R S. Recreational fishing depredation and associated behaviors involving common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida[J]. *Marine Mammal Science*, 2011, 27(1): 111-129.
- [29] Wells R S, Hofmann S, Moors T L. Entanglement and mortality of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in recreational fishing gear in Florida[J]. *Fishery Bulletin*, 1998, 96(3): 647-650.
- [30] Laist D W. Impacts of marine debris: Entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records [M]//Coe J M, Rogers D B. *Marine Debris*. New York: Springer, 1997: 99-139.
- [31] Baulch S, Perry C. Evaluating the impacts of marine debris on cetaceans[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 80(1-2): 210-221.
- [32] Vanderlaan A S M, Smedbol R K, Taggart C T. Fishing-gear threat to right whales (*Eubalaena glacialis*) in Canadian waters and the risk of lethal entanglement[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2011, 68(12): 2174-2193.
- [33] 陈希禹. 渔网缠桨事故研究及防范措施[J]. *中国水运*, 2010, 10(9): 30-31.
- Chen X Y. Accidents of netting entangling with propeller and preventive measures[J]. *China Water Transport*, 2010, 10(9): 30-31(in Chinese).
- [34] FAO. Guidelines to reduce sea turtle mortality in fishing operations[M]. Rome, FAO, 2009: 128.
- [35] Levin L A, Ekau W, Gooday A J, *et al.* Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos[J]. *Biogeosciences*, 2009, 6(10): 2063-2098.
- [36] Mack R N, Simberloff D, Lonsdale W M, *et al.* Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control[J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(3): 689-710.
- [37] Galil B S. Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 55(7-9): 314-322.
- [38] IWC. Report of the 2013 IWC scientific committee workshop on marine debris[R/OL]. Woods Hole: Report for the Marine Debris Workshop, 2013: 39. <https://archive.iwc.int/?r=3695>. [2019-08-09]
- [39] Gewert B, Plassmann M M, MacLeod M. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment[J]. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2015, 17(9): 1513-1521.
- [40] Lusher A, Hollman P C, Mendoza-Hill J. Microplastics in fisheries and aquaculture[R]. Rome: FAO, 2017: 179.
- [41] Pawson M G. The catching capacity of lost static fishing gears: Introduction[J]. *Fisheries Research*, 2003, 64(2-3): 101-105.
- [42] Cho D O. The incentive program for fishermen to collect marine debris in Korea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2009, 58(3): 415-417.
- [43] Ayaz A, Ünal V, Acarli D, *et al.* Fishing gear losses in the Gökova special environmental protection area (SEPA), eastern Mediterranean, Turkey[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2010, 26(3): 416-419.
- [44] Antonelis K L. Qualitative estimates of current gillnet loss in the Puget Sound commercial salmon fisheries through semi-structured interviews[R]. Washington: Northwest Straits Marine Conservation Foundation, 2012: 24.
- [45] Dagtekin M, Ozyurt C E, Misir D S, *et al.* Rate and causes of lost “gillnets and entangling nets” in the Black Sea coasts of Turkey[J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2019, 19(8): 699-705.
- [46] Richardson K, Gunn R, Wilcox C, *et al.* Understanding causes of gear loss provides a sound basis for fisheries management[J]. *Marine Policy*, 2018, 96: 278-284.
- [47] NPAFC. North Pacific anadromous fish commission annual report 2011[R/OL]. Fisheries and Oceans Canada, 2011: 197. <https://npafc.org/wp-content/uploads/Public-Documents/2011/Annual-Report-2011.pdf>. [2019-11-09]
- [48] Santos M N, Saldanha H, Gaspar M B, *et al.* Causes and rates of net loss off the Algarve (southern Portugal)[J]. *Fisheries Research*, 2003, 64(2-3): 115-118.
- [49] Matsushita Y, Machida S, Kanehiro H, *et al.* Analysis of mesh breaking loads in cotton gill nets: possible solution to ghost fishing[J]. *Fisheries Science*, 2008, 74(2): 230-

- 235.
- [50] Suuronen P, Chopin F, Glass C, *et al.* Low impact and fuel efficient fishing—Looking beyond the horizon[J]. *Fisheries Research*, 2012, 119-120: 135-146.
- [51] FAO. Report of the expert consultation on the marking of fishing gear[R]. Victoria, British Columbia, Canada: FAO, 1991: 42.
- [52] FAO. International guidelines on bycatch management and reduction of discards[R]. Rome, FAO, 2011: 73.
- [53] Gilman E, Passfield K, Nakamura K. Performance assessment of bycatch and discards governance by regional fisheries management organizations[R]. Gland: IUCN, 2012: 484.
- [54] IMO. International convention for the prevention of pollution from ships (MARPOL) [EB/OL]. 1996. <http://www.mepa.gov.lk/web/images/pdf/conventions/marpol.pdf>. [2019-08-09].
- [55] Sea Fish Industry Authority, IMR Norway, IMR Sweden, *et al.* A study to identify, quantify and ameliorate the impacts of static gear lost at sea[R]. EU Study Contract FAIR CT98-4338, 2003: 490. http://www.sea-fish.org/media/Publications/FANTARED_2_COM-LETE.pdf. [2019-08-09]
- [56] FAO. Guidelines to reduce sea turtle mortality in fishing operations[R]. Rome: FAO, 2009: 128.
- [57] Morishige C, McElwee K. At-sea detection of derelict fishing gear in the North Pacific: an overview[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 65(1-3): 1-6.
- [58] Tonin S. Economic value of marine biodiversity improvement in coralligenous habitats[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 85: 1121-1132.
- [59] Moschino V, Riccato F, Fiorin R, *et al.* Is derelict fishing gear impacting the biodiversity of the Northern Adriatic Sea? An answer from unique biogenic reefs[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 663: 387-399.
- [60] Spirkovski Z, Ilik-Boeva D, Ritterbusch D, *et al.* Ghost net removal in ancient Lake Ohrid: a pilot study[J]. *Fisheries Research*, 2019, 211: 46-50.
- [61] Kim S G, Lee W I, Yuseok M. The estimation of derelict fishing gear in the coastal waters of South Korea: Trap and gill-net fisheries[J]. *Marine Policy*, 2014, 46: 119-122.
- [62] Yıldız T, Karakulak F S. Types and extent of fishing gear losses and their causes in the artisanal fisheries of Istanbul, Turkey[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2016, 32(3): 432-438.
- [63] Masompson Y, Gorgin S, Pighambari S Y, *et al.* The impact of ghost fishing on catch rate and composition in the southern Caspian Sea[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 135: 534-539.
- [64] MERRAC. Regional report on sea-based marine litter in the NOWPAP region[R/OL]. UNEP/IMO, 2008: 26. <http://www.globalgarbage.org/NOWPAP/regional.pdf>. [2019-11-09]
- [65] Jambeck J R, Roland G, Chris W, *et al.* Plastic waste inputs from land into the ocean[J]. *Science*, 2015, 347(6223): 768-771.
- [66] Lebreton L C M, van der Zwet J, Damsteeg J W, *et al.* River plastic emissions to the world's oceans[J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 15611.
- [67] Bai M Y, Zhu L X, An L H, *et al.* Estimation and prediction of plastic waste annual input into the sea from China[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2018, 37(11): 26-39.
- [68] Zhao S Y, Wang T, Zhu L X, *et al.* Analysis of suspended microplastics in the Changjiang Estuary: implications for riverine plastic load to the ocean[J]. *Water Research*, 2019, 161: 560-569.
- [69] Chen C L. Regulation and management of marine litter[M]//Bergmann M, Gutow L, Klages M. Marine anthropogenic litter. Cham: Springer, 2015: 395-428.
- [70] Rayon-Viña F, Miralles L, Gómez-Agenjo M, *et al.* Marine litter in south Bay of Biscay: local differences in beach littering are associated with citizen perception and awareness[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 131: 727-735.
- [71] Dauvergne P. Why is the global governance of plastic failing the oceans?[J]. *Global Environmental Change*, 2018, 51: 22-31.
- [72] Eisenbud R. Problems and prospects for the pelagic drift-net[J]. Boston College Environmental Affairs Law Review, 1985, 12(3): 473-490.
- [73] 赵肖, 蔡世斌, 廖岩, 等. 我国海滩垃圾污染现状及控制对策[J]. 环境科学研究, 2016, 29(10): 1560-1566.
- Zhao X, Qi S B, Liao Y, *et al.* Investigation and control of beach litter pollution in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29(10): 1560-1566.
- [74] Yona D, Sari S H J, Iranawati F, *et al.* Microplastics in 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- the surface sediments from the eastern waters of Java Sea, Indonesia [version 1; peer review: 2 approved][J]. [F1000Research](#), 2019, 8: 98.
- [75] 国峰, 周鹏, 李志恩, 等. 2011年东中国海沿岸海域海洋垃圾分布、组成与来源分析[J]. 海洋湖沼通报, 2014(3): 193-200.
- Guo F, Zhou P, Li Z E, *et al.* The distribution, composition and sources of marine debris in the coastal east China sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2014(3): 193-200.
- [76] Gilman E, Chopin F, Suuronen P, *et al.* Abandoned, lost or otherwise discarded gillnets and trammel nets: Methods to estimate ghost fishing mortality, and the status of regional monitoring and management[R]. Rome: FAO, 2016: 79.
- [77] Plastics Europe. Plastics – the Facts 2018: an analysis of European plastics production, demand and waste data[R]. Belgium: Plastics Europe, 2018: 58.
- [78] Rochman C M, Browne M A, Halpern B S, *et al.* Policy: classify plastic waste as hazardous[J]. [Nature](#), 2013, 494(7436): 169-171.
- [79] Geyer R, Jambeck J R, Law K L. Production, use, and fate of all plastics ever made[J]. [Science Advances](#), 2017, 3(7): e1700782.
- [80] Eriksen M, Lebreton L C M, Carson H S, *et al.* Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at Sea[J]. [PLOS One](#), 2014, 9(12): e111913.
- [81] Bergmann M, Tekman M B, Gutow L. Marine litter: sea change for plastic pollution[J]. [Nature](#), 2017, 544(7650): 297.
- [82] Bergmann M, Mützel S, Primpke S, *et al.* White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic[J]. [Science Advances](#), 2019, 5(8): eaax1157.
- [83] Lavers J L, Bond A L. Exceptional and rapid accumulation of anthropogenic debris on one of the world's most remote and pristine islands[J]. [Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America](#), 2017, 114(23): 6052-6055.
- [84] Peng X, Chen M, Chen S, *et al.* Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean[J]. [Geochemical Perspectives Letters](#), 2018, 9(1): 1-5.
- [85] Law K L, Morét-Ferguson S, Maximenko N A, *et al.* Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre[J]. [Science](#), 2010, 329(5996): 1185-1188.
- [86] Lebreton L C M, Greer S D, Borrero J C. Numerical modelling of floating debris in the world's oceans[J]. [Marine Pollution Bulletin](#), 2012, 64(3): 653-661.
- [87] Maximenko N, Hafner J, Niiler P. Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters[J]. [Marine Pollution Bulletin](#), 2012, 65(1-3): 51-62.
- [88] Lebreton L, Slat B, Ferrari F, *et al.* Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic[J]. [Scientific Reports](#), 2018, 8: 4666.
- [89] Isobe A, Uchida K, Tokai T, *et al.* East asian seas: a hot spot of pelagic microplastics[J]. [Marine Pollution Bulletin](#), 2015, 101(2): 618-623.

A review of research of “abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear (ALDFG)”

SONG Liming^{1,2,3,4*}, CHEN Mingrui¹

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources,
Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Collaborative Innovation Center for Distant-water Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear (ALDFG) is one of the most serious hazards to marine ecology and fisheries. The problems triggered by ALDFG have attracted increasing attention from many countries and international organizations around the world. This paper reviews the harm of ALDFG to marine ecology and fisheries, the primary causes of ALDFG, the steps proposed by various countries and relevant international organizations to remove ALDFG, and the commonly used ALDFG survey and evaluation methods in recent years. It has been found that in recent years, most of the studies on ALDFG used statistical models to quantify ALDFG, or combined with statistical tests to assess the harmfulness of ALDFG (ghost fishing) and to evaluate the ecological and economic benefits of clearing ALDFG, etc. This paper suggests that: (1) the questionnaire survey and underwater field survey should be used to assess the amount and harm of ALDFG in the national jurisdictional area, and analyze the trajectory of ALDFG by ocean dynamics models combining with the hydrodynamics of fishing gear; (2) the new materials should be developed and the design of fishing gear and ancillary gear should be improved to reduce the ALDFG; (3) the physical change in the process and the change of ghost fishing capacity of underwater ALDFG should be studied by field survey; (4) the positive role to the marine ecological system diversity and fishery resources should be studied after the underwater ALDFG is removed, and the social and economic benefits should be evaluated by the economic model analysis after the underwater ALDFG is removed.

Key words: ALDFG; marine ecological environment; reducing measures; evaluation methods; tracing

Corresponding author: SONG Liming. E-mail: lmsong@shou.edu.cn

Funding projects: Responsible Fishing Technology Project for Healthy Ecosystems and Clean Environment (D8005180178); Food and Agriculture Organization (FAO) of United Nations; National High Technology Research and Development Program (863 Program) Project (2012AA092302)