“21 世纪海上丝绸之路”海洋与气象灾害预警报现状和风险防范对策建议

王辉, 刘娜*, 张蕴斐, 仇天宇, 任湘湘

国家海洋环境预报中心, 北京 100081

* 联系人, E-mail: liuna@nmefc.cn

2013 年, 习近平主席提出共建“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的重大倡议。“21 世纪海上丝绸之路”以海洋为载体, 主要包括西北太平洋、西南太平洋和印度洋等 3 个大洋及东海、南海、安达曼海、孟加拉湾、阿拉伯海、地中海等海域, 沿线连接了亚洲、非洲、欧洲地区。2015 年 3 月 28 日, 国家发展和改革委员会、外交部、商务部联合发布《推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》^[1](以下简称《愿景与行动》), 提出以政策沟通、设施联通、贸易畅通、资金融通、民心相通为主要内容, 坚持共商、共建、共享原则, 积极推动“一带一路”建设。2017 年 6 月, 国家发展和改革委员会、原国家海洋局制定并发布《“一带一路”建设海上合作设想》^[2], 系统提出了推进“一带一路”建设海上合作的思路和蓝图, 围绕一个愿景、遵循一条主线、共建三个通道、共走五条道路。

《愿景与行动》指出沿线各国资源禀赋各异, 经济互补性较强, 彼此合作潜力和空间很大, 重点在以下方面海洋领域加强合作: 推动口岸基础设施建设, 畅通陆水联运通道, 推进港口合作建设, 增加海上航线和班次, 加强海上物流信息化合作; 加强能源基础设施互联互通合作, 共同维护输油、输气管道等运输通道安全, 推进跨境电力与输电通道建设, 积极开展区域电网升级改造合作; 积极推进海水养殖、远洋渔业、水产品加工、海水淡化、海洋生物制药、海洋工程技术、环保产业和海上旅游等领域合作。

我国企业积极参与港口的建设和经营、铁路、公路、电力、临港产业园等基础设施建设。从贸易来看, 2001 年以来中国与“一带一路”沿线国家贸易总额从 2001 年的 84 亿美元增长到 2014 年的 1120 亿美元, 其中与东南亚 11 国的贸易总额达到 480.3 亿美元^[3]。我国在“海上丝绸之路”沿线国家建设了 42 个经贸合作区, 占经贸合作区总数的 36%^[4]。港口建设是“21 世纪海上丝绸之路”基础设施建设的重点。港口作为海运物流的交汇点, 是“海上丝绸之路”交通运输和经济的重要环节, 是对促进“21 世纪海上丝绸之路”周边地区共同繁荣与发展起到重要支撑作用的空间区域^[5]。在承接港口建设的同时, 我国企业还积极参与对

刘娜 博士, 国家海洋环境预报中心副研究员。从事海洋环流动力学、海洋数值模拟及业务化海洋学研究。

临港区域的开发。连接东亚-中东-欧洲-非洲的海上货运通道和能源通道承载我国外贸总值超过 5%, 海上运输线对我国经济的重要性不断提升。自 2012 年以来, 我国全面参与 7 个大洋渔业区域管理组织事务, 与越南联合开展北部湾增殖放流活动, 与菲律宾开展水产养殖合作; 远洋渔业的规模和质量大幅提升, 作业渔船达 2500 余艘^[6]。

我国在沿线海域的近岸工程、海上航行、海上作业、港口运营的海洋环境安全保障需求迫切。海洋灾害严重威胁沿线海域近岸重大工程的建设和运营安全, 从勘察、设计、施工到建成后运行管理各个阶段都需要海洋灾害预警报保障服务。海上丝绸之路沿线港口众多, 港口的建设和运营也需要海洋环境安全保障。远洋船舶在沿线海域航行时抵抗各种灾害的能力较为薄弱, 恶劣的海洋环境易对海洋科考、资源勘探、大洋渔业、军事活动、大洋运输等海上活动造成较大破坏。恶劣的海洋天气和极端海况对海洋平台均可造成巨大的破坏, 涉海工程和涉海活动对海洋环境安全保障、应急防控体系建设提出了迫切的需求。

中国科学院学部咨询评议项目“一带一路”自然灾害风险防范项目于 2016 年启动, 其中海洋与气象灾害防范课题通过召开专家咨询会议、赴“一带一路”沿线国家调研等形式, 针对“一带一路”沿线海洋和气象灾害的特征和风险及海洋环境安全保障的迫切需求, 提炼灾害监测预警的科学问题和关键技术, 提出防灾减灾的合作机制和策略并形成建设性的咨询建议, 本文也是该课题的总结报告。本文从“21 世纪海上丝绸之路”海洋与气象灾害现状、沿线国家

监测预警现状、国际合作组织和机制等几个方面介绍,并提出灾害风险防范的关键问题与对策。

1 “21 世纪海上丝绸之路”海洋与气象灾害现状

海洋灾害是海洋自然环境发生异常或激烈变化,导致在海上或海岸发生的灾害,“21 世纪海上丝绸之路”海域沿线国家及毗邻地区气候类型复杂多样,气候地带性分布特征明显,多数地区受热带季风气候控制,遭受的海洋灾害种类繁多,是自然灾害发生最频繁的地区之一。灾害类型包括热带气旋、海啸、风暴潮、灾害性海浪等海洋自然灾害。

1.1 气象灾害

“21 世纪海上丝绸之路”海域 1841~2019 年 4 月的热带气旋灾害发生的路径及强度分布如图 1 所示(数据来源:IBTrACS 数据集^[7])。热带气旋灾害中心集中在 40°S 到 40°N 之间(不包括赤道南北纬 5°之间区域)。热带气旋发生最密集区域位于西北太平洋、中国东部海域和中国南部海域,表现为频次发生高、强度大、分布范围广,约占全球热带气旋总数的 30%以上。

南海是全球台风活动的主要区域之一,一年四季均有台风活动,对在南海活动的船只安全和海上作业影响很大。

1949~2016 年,南海地区共有 277 个强度达热带风暴及以上的台风登陆,南海地区台风年登陆频数整体上呈微弱减少趋势,但强台风影响及强度呈加强趋势;20 世纪 90 年代中期台风登陆频数出现显著突变,粤东地区受高强度台风的影响变得频繁,粤西地区从 2007 年开始台风登陆强度逐年增强。北印度洋的热带气旋生成源地主要集中在 5°~20°N 之间的海域。孟加拉湾和阿拉伯海海域是热带气旋分布的密集区,且阿拉伯海热带气旋的生成数量较孟加拉湾要少得多。根据美国联合飓风警报中心(JTWC)的数据,1980~2015 年的 36 年间,共有 184 个热带气旋影响北印度洋区域,达到热带风暴级别以上的热带气旋有 174 个。其中,影响孟加拉湾区域的热带气旋为 118 个,年均 3.3 个;影响阿拉伯海区域的热带风暴为 56 个,年均 1.6 个。在 36 年的统计资料中,孟加拉湾区域生成的最强热带气旋其近中心最大风速约为 72 m/s,阿拉伯海区域最强的热带气旋其近中心最大风速约为 75 m/s,发生在 2007 年 6 月。从北印度洋的热带气旋的月际分布特征来看,全年几乎每个月份都有热带气旋不同程度地影响该区域,其中以 10 和 11 月份频率最高,而且强度强。

孟加拉湾特强热带气旋风暴“莫拉”(Mora)于北京时间 2017 年 5 月 29 日凌晨 2 时在孟加拉湾北部海面上生成,于北京时间 30 日上午 9 时 30 分前后在孟加拉国吉大港区东南部沿海登陆,登陆时中心附近最大风力有 13 级,中心

图 1 1841~2019 年 4 月热带气旋路径及强度分布图

Figure 1 Global tropical cyclone tracks and intensity (1841–April, 2019)

最低气压为 960 hPa。受其影响, 罗兴亚难民的房子被强风摧毁, 造成 5 人死亡, 至少 60 万人需疏散。

1.2 风暴潮

风暴潮灾害是世界上主要的海洋灾害, 海上丝绸之路沿线海域 1975~2007 年风暴潮发生位置分布如图 2 所示(数据来源: Global Risk Data Platform^[8])。在 20 世纪造成死亡人数最多的 10 次特大自然灾害中, 风暴潮灾害发生了两次, 而且都发生在孟加拉湾沿岸的孟加拉国^[9,10]。孟加拉湾是热带风暴孕育的地方。一般认为, 这种风暴大多发生在南、北纬 5°~25°的热带海域。海上丝绸之路沿线受风暴潮影响较大的区域主要分布在东亚、西欧、澳大利亚北部。通过对风暴潮灾害影响面积的分区统计, 分析全球风暴潮的预期淹没面积, 其中, 澳大利亚、孟加拉国、印度是位列前 10% 的国家^[11]。由于各国间人口密度存在巨大差异, 受风暴潮影响的人口也有很大的差异性, 受风暴潮影响人口多的区域位于孟加拉湾、东亚等地区^[11]。21 世纪以来, 受全球变暖影响, 全球平均海平面加速上升显著, 而西太平洋-印度洋暖池区是全球海平面上升速度最显著的区域, 该区域季风出现显著变化。研究表明^[12], 21 世纪海平面变化对风暴潮过程有显著影响。沿海海平面持续上升并不断达到新高度, 引起风暴潮的增水强度增大, 特别是破纪录风暴潮和极端高水位频发。西太平洋-印度洋沿海地区的

洪涝灾害严重, 海岸带脆弱性将增强, 沿岸海域变为更为脆弱的区域。

2008 年 5 月 2 日印度洋孟加拉湾强气旋“纳尔吉斯”(Nargis)突袭缅甸伊洛瓦底省, 风暴登陆时最高时速超过 59 m/s。伴随“纳尔吉斯”的高达 3~4 m 的风暴潮席卷了缅甸伊洛瓦底省的三角洲地区, 造成这一带沿海严重的风暴潮灾害。在斯里兰卡, 纳尔吉斯风暴带来了惊人的降雨, 造成斯里兰卡有 10 个省区淹水并发生土石流。“纳尔吉斯”风暴潮造成极大破坏, 死亡人口总数超过 13.8 万并造成大批无家可归者, 是 21 世纪以来造成死亡人数最多的风暴潮灾害, 也是缅甸历史上最严重的自然灾害。

1.3 海浪

海上大浪会严重影响船舶航行和海上活动安全。灾害性海浪每年发生频次显示灾害性海浪集中发生在 50°S 和 40°N 左右为中心的附近海域^[13], 且具有明显的季节变化特征。海上丝绸之路沿线海域受冬季风影响显著, 对不同重点海区灾害性海浪最大发生频次进行统计, 北半球海域灾害性海浪集中发生在太平洋北部和挪威海附近, 1 月份南海的大浪频率在 10% 以上, 台湾海峡等海域大道在 20% 以上, 整个印度洋最多达 284 次, 但印度洋北部大浪频率较低, 除个别小区域外, 大部分海域在 10% 以下, 这为海上丝绸之路的航行安全提供了十分有利的条件。位于高纬

图 2 1975~2007 年风暴潮发生位置图

Figure 2 Global historical event locations of storm surge (1975–2007)

度的欧洲北海和阿拉伯海灾害性海浪发生相对较多,需重点关注;日本海和中国南部海域次之;位于赤道附近的爪哇-班达海几乎不发生灾害性海浪^[13]。总的来说,对于海上丝绸之路合作共建的两个通道,中国-大洋洲-南太平洋通道路线大部分都在低纬度地区,所以较少发生灾害性海浪,发生时间主要集中在11月至次年1月期间;中国-印度洋-非洲-地中海西行海上经济通道中的北海、地中海、阿拉伯海和中国东部海域灾害性海浪集中月份各不相同,在频次上北海和阿拉伯海海区发生较多,西向海上经济通道主要需关注欧洲大陆的北海、阿拉伯海、中国东部海域和地中海海域的灾害性海浪发生^[13]。

2018年7月5日,在海上丝绸之路沿线发生了典型的海浪灾害。一艘载有93名游客和12名船员导游的观光船“凤凰”号在泰国普吉岛附近海域遭遇特大暴风雨发生倾覆事故。在航道上的短时风力可以达到8级左右或更高,并引起5 m高的巨浪,造成47人遇难。

1.4 海啸

21世纪海上丝绸之路横跨太平洋板块、欧亚板块、印澳板块、非洲板块等多个地震板块,并处于各大板块的交界地带。各大板块之间的相互碰撞、挤压,易引发极具威胁的海啸灾害,对21世纪海上丝绸之路产生重大的影响。1900~2017年,海上丝绸之路海域海啸发生位置及各国发

生频次如图3所示(数据来源:NGDC/WDS Global Historical Tsunami Database)。海上丝绸之路区域印度洋和地中海的历史海啸事件约占全球的21%,仅次于环太平洋火山地震带。海上丝绸之路沿线区域海啸事件主要分布在南海及邻近海域、东印度洋、阿拉伯海和地中海区域,潜在海啸可能产生较大灾害。有历史记载以来截至2017年,南海、东南亚区域发生海啸事件214次,东印度洋区域发生海啸事件130次,阿拉伯海区域发生海啸事件9次,地中海区域发生海啸事件372次。海上丝绸之路沿线海域海啸发生的4种风险等级区域均有存在。太平洋西北部、印度尼西亚、日本本州岛东部和南部等区域与垂直断层位移带和高地震危险区相邻,是海啸发生高风险区;东北印度洋和地中海海域与活动大陆断裂相邻,是中等风险区。

2004年12月26日,印度尼西亚的苏门答腊附近发生特大地震,地震产生的海啸袭击了印度、印度尼西亚、马尔代夫、孟加拉国、斯里兰卡、泰国等多个印度洋周边国家,20多万人因为此次海啸而丧生。2004年印度洋海啸成为1900年以来,继1960年智利海啸之后的全球第二大海啸,也被认为是历史上最具破坏性的灾难。此次地震震级9.3,在发生地震后,所激发的海啸波迅速向印度洋沿岸传播的同时,地震仍在持续,并继续产生海啸波,这也是印度洋海啸比较显著的特点。根据灾后的统计和海啸传播情况,此次海啸在生成之后的20 min袭击了印度尼西亚苏门

图3 1900~2017年海啸发生位置分布图

Figure 3 Global historical event locations of tsunami (1900–2017)

答腊岛北部地区, 2 h 后到达印度洋东北沿岸国家, 如泰国、印度、马来西亚、孟加拉国等, 部分海啸波传播经过印度洋, 在 7 h 后到达了东非在印度洋沿岸的地区, 并造成破坏, 但没有人员伤亡。在 28 h 后, 到达美国海岸, 并逐渐消亡。

2011 年 3 月 11 日, 日本东北部海域发生矩震级规模为 9.0 级特大地震, 震中位于宫城县首府仙台市以东的太平洋海域。地震引发的海啸对日本沿海地区造成巨大的破坏, 同时袭击了环太平洋沿海的大部分国家和地区, 造成了不同程度人员伤亡与财产损失。2011 年日本地震与海啸共造成 12554 人死亡、15077 人失踪以及 2866 人受伤, 近 20 万栋建筑受损。根据报道, 最大的海啸波达到了 40 m。同时, 此次海啸造成了日本福岛第一核电站核泄漏事故, 产生的损失更是难以估量。

2 我国在“21 世纪海上丝绸之路”海域海洋灾害监测预警报现状

我国海洋观测网涵盖岸基海洋观测系统、离岸海洋观测系统以及天基观测系统。中国近海的业务化观测海洋站点 155 个、浮标站位 32 个、志愿船 54 艘、海上油气平台观测系统 6 套、地波雷达 5 套、X 波段雷达 26 个、GNSS 观测站点 56 个, 15 条标准海洋断面的调查频次由每年 2 次增加为 4 次, 在印度洋布放有 4 套浮(潜)标, 初步具备大洋观测能力。海洋一号水色卫星以及海洋二号动力卫星遥感观测数据在海洋预报减灾业务中得到了有效应用。

全球海洋预报业务系统初步建成, 预报服务区域从中国近海延伸到了全球大洋、印度洋和南北两极地区。我国面向深海大洋开展业务化观测, 自 2010 年以来已经成功在东印度洋和安达曼海布放观测浮标, 也标志着我国业务化海洋观测系统真正从近海走向深海大洋, 同时它又是我在“印度洋海洋观测系统”(IndOOS)国际计划中的 46 个浮标之一, 我国也成为在全球海洋观测系统(GOOS)中继美国、日本后第 3 个开展深海浮标业务化观测的国家。“东南亚海洋观测系统(SeaGOOS)”计划大大推动了中国与“海上丝绸之路”沿线国家海洋预报和监测合作的进展。标志着安达曼海准实时浮、潜标观测阵列已经形成, 不仅可以直接支持海洋环境预报系统, 也为季风研究和海洋生态保护提供重要的观测数据支持, 海上丝绸之路海洋科技合作与减灾防灾都有重大意义。面向沿海重点保障目标的精细化预报业务实现突破, 服务目标数量接近 150 个。海洋数值预报业务全面开展, 中国近海和全球数值预报产品分辨率分别达到了 5 和 25 km^[14], 预报时效均达到 5 d。风暴潮、海啸数值预报技术水平接近国际前沿, 目前已应用于中国近海多个市县。2018 年 5 月 8 日, 联合国教科文组织政府间海洋学委员会南中国海区域海啸预警中心授牌仪式在京举行, 承担南中国海区域海啸预警的职责, 是我国推动

周边海洋合作、履行国际职责和业务、深入参与全球海洋治理的重要举措。

3 “21 世纪海上丝绸之路”主要沿线国家海洋灾害监测预警报现状

“21 世纪海上丝绸之路”沿线各国海洋灾害观测和预警服务能力 and 水平有着较大的差异^[15]。东南亚各国海洋预警报水平总体水平较高, 有相对完整的服务业务体系和服务产品, 其中印度尼西亚建立了海啸预警系统。南亚各国海洋灾害预警报发展水平不平衡, 其中印度、巴基斯坦、孟加拉国、斯里兰卡等国建有较为完整的海洋预警报服务业务, 但也有些国家或地区气象预警报水平较低。欧洲各国气象预警报整体水平很高, 多数国家建立了完整的气象预警报业务。下面以截至 2018 年印度、印度尼西亚、泰国的最新统计数据为例, 介绍丝绸之路沿线国家海洋观测、预警报现状。

3.1 印度

印度的海洋观测能力在“海上丝绸之路”周边国家中属于一流, 在观测平台的绝对数目、相对密度、观测平台的种类、深海设备的比例上都仅次于欧洲多国、美国、日本等发达国家。其业务化运行的海洋观测系统由 20 个验潮站、8 个高频雷达、12 个海浪浮标、60 个锚系浮标、23 个 RAMA 浮标、7 个海啸浮标、20 个 ADCP、若干个自动气象站和 ARGO 浮标组成。

印度国家海洋信息服务中心(Indian National Centre for Ocean Information Services, INCOIS)负责印度的海洋观测和预报信息服务。通过印度海啸早期预警中心为海岸带公众提供 24 h 不间断的海啸、风暴潮、海浪监测和警报。其海啸预报单能够给出预计受海啸影响的验潮站位置、海啸波到达时间、预计波高等信息, 最后将根据预计的灾害情况给当地政府和居民提出建议。该中心还为渔业、航海业、油气业、海军、海岸警卫队等用户提供短期(3~7 d)海洋预报, 要素包括海浪、海流、海表面温度等, 帮助用户了解未来几天海洋的状况, 并合理规划其海上活动。

3.2 印度尼西亚

2004 年印度洋海啸发生时, 由于没有印度洋海啸预警系统, 造成超过 20 万人死亡。此后, 印度尼西亚与多个发达国家合作建立了 NEONET 地球观测浮标网络, 重点是监测海洋气候变化情况和海啸活动。到 2008 年这一网络基本建成。印度尼西亚同时也和他国合作发展了国家海啸浮标系统, 其中马来西亚有 1 个浮标, 德国西面有 4 个、东面有 6 个, 美国在南面有 6 个, 印度尼西亚在中部有 4 个。印度尼西亚建成的海啸预警系统可以对地震后的所有信息进行收集, 并在地震发生 5 min 内对可能引发的海啸发

出警报。目前投入运行的海啸预警系统包括 116 套宽频带地震仪、45 套潮水测量仪和浮标。它们主要安装在亚齐、西苏门答腊、明古鲁、万丹和巴厘等省份。2018 年 9 月 28 日印度尼西亚中苏拉威西省帕卢发生 $M_w7.5$ 级地震海啸,造成近 2000 人死亡,约 2500 人重伤,近 7 万座房屋损毁,但海啸预警系统没有发挥应有的作用。

3.3 泰国

泰国皇家气象局采用 TMD 大气环流模式提供中长期预报和短期预报,根据区域和水平分辨率分为全球、东南亚和泰国周边 3 个区域,提供包括海平面气压、地面气温、总降水量、相对湿度、10 m 风速、925~200 hPa 不同高度的风速等物理量的预报。中长期预报实质上是引用美国 GFS 全球模式的预报结果,提供 1~10 d 的降水和 10 m 风速长期预报,步长 6 h。短期预报实质上就是 WRF 预报结果,包括海平面气压、10 m 到 200 hPa 各层风场、3 h 降水量、表面温度、850 hPa 涡度、 K 指数等多个变量。

泰国气象局在日本帮助下开发的 TMD-WAM 海浪模式是第 3 代波浪模型,可以在二维模型中全方位地反映出波浪发展的物理机制,显示有效波高、平均波向和频率、涌浪高和平均波向。预报类型包括海浪 3D 动画模拟、每个细网格点的海浪预报、航路海况、2D 数值海浪预报、世界大洋海浪预报、风暴潮模型、10 m 风场、风浪和风暴潮的对比,基于 Windows 系统的 Siam 海啸传播模拟器 (SiTProS)。所有预报的步长 3 h,预报时效 96 h。

4 国际合作组织和机制

“21 世纪海上丝绸之路”沿线的国际海洋强国和海洋科学组织,启动了一系列的重大国际观测和科学研究计划,为业务应用和科学研究进行了长期基础数据积累,建设了全球或区域性海洋观测系统并成为大多数业务化海洋预报应用系统的支柱。通过太平洋地区国际合作和计划对海洋环境进行实时有效的观测和监测。通过加大重要现象与过程机理的强化观测力度,服务于业务应用和科学研究^[16]。

4.1 政府间海洋学委员会

政府间海洋学委员会(Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC)是联合国教科文组织下属的国际性政府间组织,成立于 1960 年,目的是促进各国开展国际合作,协调海洋科学研究、服务、观测、减灾和能力建设等活动。IOC 通过全球海洋观测系统(Global Ocean Observing System, GOOS)协调海洋观测和监测,其中观测网络由海洋学和海洋气象学联合技术委员会(The Joint WMO/IOC Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology, JCOMM)进行协调。IOC 非洲分委会(IOC/AFRICA)作为负责非洲海洋事务的机构,也在积极寻求有效的办法,以提

升非洲国家的海洋能力建设。我国通过参与国际和地区合作,在政府间海洋学委员会框架下实施了一系列合作项目,如“中印尼海洋与气候中心及联合观测站建设项目”“东南亚海洋观测系统”“第二次印度洋国际科考”,有效提升了在一带一路区域的海洋防灾减灾能力。联合国教科文组织政府间海洋学委员会西太平洋分委会(UNESCO/IOC/WESTPAC),是本地区最重要的涉海国际组织之一。在其支持下,东南亚海洋预报系统(OFS)项目取得了显著进展,已经成为 WESTPAC 旗舰合作项目,该预报系统已成为泰国国家海洋预报系统,预报产品在马来西亚国家气象局官方网站发布;基于 OFS 预报产品开发了高精度海上溢油和搜救模块,在 2018 年普吉沉船事件搜救中提供了海流、海浪和搜救范围预报,被泰方实际采用,为实际应用提供了新的成功范例,通过高水平的业务化海洋环境要素预报来提高整个地区的海洋生态保护以及海洋减灾防灾能力。

4.2 仙台减灾计划

2015 年 3 月 18 日,第三届世界减灾大会在日本仙台闭幕。联合国减灾署(UNISDR)出台了《2015~2030 年仙台减灾框架》^[17],是联合国首次提出未来 15 年全球性防灾减灾目标和各国的优先行动领域和期限。包括大幅降低全球灾害死亡率、大幅减少受影响的民众人数、减少与全球国内生产总值相关的经济损失、大幅减少灾害给卫生和教育等关键基础设施带来的损失以及对基本服务的干扰、在 2020 年前增加的制定国家级和地方级减灾战略的国家数量、促进国际合作、增加获得多灾种早期预警系统和减灾信息及评估的机会。优先注意发展中国家,特别是最不发达国家、内陆国家和小岛屿发展中国家;要发展和加强各个国家的能力,并依情况发展和加强各国预防自然灾害和其他灾害的能力,包括减灾和备注方面的法制建设;动员非政府组织和当地社区的参与;促进和加强分区域、区域和国际在防灾、减灾和减轻自然灾害和其他灾害方面的合作等^[18]。

4.3 亚非区域多灾种早期预警中心

亚非区域多灾种早期预警中心(Regional Integrated Multi-Hazard Early Warning System for Asia and Africa, RIMES)成立于 2009 年 4 月,是得到亚洲和非洲多个国家政府支持的地区性跨政府研究机构,并根据《联合国宪章》第 102 条在联合国秘书处登记。它的前身是 1986 年成立的亚洲备灾中心(ADPC)下属的气候灾害研究中心,主要通过技术援助、信息交流、业务培训、项目合作等方式,协助亚太国家提高防灾备灾和灾后重建能力,建立灾害管理体制。RIMES 积极参加了海洋环境监测系统的开发,重点是在北印度洋和中国南海安放海平面浅水浮标和深海探测仪用于监测海底地震和海啸,已经安装了 20 个浅水浮

标和 11 个深海探测仪。

4.4 海洋学和海洋气象学联合技术委员会

海洋学和海洋气象学联合技术委员会是由海洋学和海洋气象学领域的技术专家组成的政府间机构,受政府间海洋学委员会(IOC)和世界气象组织(WMO)指导。其任务是编制与海洋观测系统、资料管理及服务有关的规章制度和指导性的材料。在国际海洋观测数据采集、数据管理、提供服务以及相关的能力建设方面,JCOMM 作为海洋和海洋气象探测、数据管理与服务的国际、政府间合作的管理机构,发挥了组织和协调的作用。发展全球海洋业务项目的观测网,维护、协调并全面整合海洋观测系统,建立了监测全球观测系统状态的初步能力。我国科学家担任业务化海洋学预报系统专家组核心成员。

4.5 太平洋海啸预警中心

太平洋海啸预警中心(Pacific Tsunami Warning Center, PTWC),位于夏威夷檀香山附近,是在联合国教科文组织下,目前全球唯一的多国海啸预警系统。包括中国、日本、澳大利亚等环绕太平洋的 26 个国家都参与其中,中国在 1983 年加入。太平洋海啸预警中心主要职能是收集太平洋海盆的地震波和海潮监测站探测到的信息,交换各国情报,评估能引发海啸的地震并发布海啸警报。

2004 年印度洋大海啸之后,IOC 着手建立印度洋海啸预警系统,由原来仅有的太平洋海啸预警系统区域,扩展到印度洋、地中海和大西洋,以及加勒比海地区,建立覆盖全球的海啸预警系统。其中,太平洋海啸预警系统包括南中国海、西南太平洋、东南太平洋和中美洲 4 个次区域级预警系统。通过建设国际化的 IOC/UNESCO(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization,联合国教科文组织)南中国海区域海啸预警中心,开发海洋预警报系统及产品,加强海啸数值预报技术研究,提供科学的海洋防灾减灾决策服务。2018 年 1 月,南中国海区域海啸预警中心投入业务化试运行,为南海周边国家提供地震海啸监测预警服务。

5 关键问题与风险防范对策

5.1 关键问题

(1) 海洋灾害监测能力整体薄弱。“21 世纪海上丝绸之路”沿线多数国家经济欠发达,技术落后,海洋灾害监测能力弱,发展不均衡,布局不尽合理,管理水平落后,标准不规范。沿线地区是海洋灾害易发、多发的区域,海洋灾害发生时会造成严重损失。我国海洋监测主要集中在我国近海,在印度洋有个别浮标、潜标和海洋观测站,尚未纳入我国监测体系。目前基于国际组织建立了一些观测系

统,如在东印度洋暖池区布放白龙浮标,开展海气关键要素实时监测对提高我国短期气候预测能力、保障汛期防灾减灾工作至关重要。但由于观测数量有限,未能提供足够的观测数据,其观测位置和区域尚未覆盖整个海上丝绸之路沿线海域,且不覆盖灾害发生的时间段,亟须加强海上丝绸之路沿线海洋灾害监测整体能力建设。缺少海洋灾害数据库,对区域性灾害科学规律缺乏认识。通过建立灾害数据库并进行分析,可对区域性灾害发生频率、强度、位置及危害提供系统性认识。我国缺少系统科学的“21 世纪海上丝绸之路”灾害风险评估,缺乏科学有效的海洋灾害风险评估和区划作为基础和依据。通过海洋灾害风险评估可科学、全面地掌握灾害可能导致的人员伤亡、财产损失程度与危害范围等的综合风险。

(2) 国际合作机制不健全。重大海洋灾害具有跨国的特点,单凭一国之力难以形成重大海洋灾害监测预警、防治与应急的综合防范能力,跨国海洋防灾减灾合作成为当下之需。欧洲多国、美国、日本等西方发达国家开始关注与“21 世纪海上丝绸之路”沿线国家开展合作,德国开始支持印度尼西亚建设地震台网和海啸预警系统,日本为孟加拉国建设海洋气象和风暴潮预警系统,美国支持印度尼西亚大气环流预报系统建设。我国与东南亚和南亚国家也已经开展双边合作,相关研究机构与印度尼西亚、泰国、斯里兰卡等国家开展了海洋环境预报系统开发和台站建设。以上均属于小范围双边合作,还没有形成区域性、联合性的海洋环境保障合作组织和机制。“21 世纪海上丝绸之路”国家间启动了一些防灾减灾国际合作组织和机制(如仙台减灾计划、东盟防灾减灾合作机制、中国与东盟和南亚国家的双边或多边防灾减灾协定等),然而由于参加的国家有限,且沿线各国间信息共享机制不健全,没有专门针对“21 世纪海上丝绸之路”国家间海洋防灾减灾国际合作的平台与框架,难以达到海上丝绸之路沿线区域间海洋灾害管理的效应。

(3) 海洋灾害预测预警体系缺乏。“21 世纪海上丝绸之路”沿线国家尚未根据沿线海域独特的地域和技术特点开展灾害预警报理论和关键技术研究,也没有系统的海洋灾害预警体系,其预测预警尚未与我国进行有效衔接。尽管我国于 2018 年底推出了“海上丝绸之路”海洋环境预报保障系统,但预警体系能力需要全面提升。我国在丝绸之路沿线海域的监测能力仍极为薄弱,监测站网数量及水平亟待提升。我国风暴潮和海啸业务化应用的数值预报系统与国际主流预报机构水平相当,但根据海上丝绸之路沿线海域独特的地域和技术特点进行灾害预警报理论和关键技术研究开展不够,为船舶航行和港口作业缺少有针对性的服务产品。我国目前现有的预测预警产品种类少、内容单一、精细化程度低、准确率欠佳,且覆盖范围有限,尚未建立完善的海洋灾害预测预警体系,无法满足“海上丝绸之路”海洋环境安全保障需求。

5.2 风险防范对策

(1) 构建海洋灾害数据库, 研究海洋灾害科学规律. 联合“海上丝绸之路”沿线国家和地区, 对沿线海洋灾害进行全面、系统的调查, 整合海洋灾害监测与调查数据, 构建孕灾背景和灾害数据库, 并实现与气象、水利、海事等部门的数据对接. 厘清典型海洋灾害的时空分布, 准确辨识潜在灾害风险, 系统分析灾害区域性分布规律、成灾机理、演化规律、致灾特点, 并深入研究重大海洋灾害孕育成灾机理.

(2) 构建海洋灾害立体监测网, 建立海洋灾害预警报系统. 全面统筹规划我国在“海上丝绸之路”沿线海洋监测能力建设, 围绕沿线海洋灾害高发、易发区和重点保障目标和航线, 联合建设海洋观测站, 加强布放浮标、潜标, 开展海洋卫星遥感和船舶走航观测, 加快形成覆盖沿线海域的立体化、网络化、布局合理的海洋监测网. 加强沿线海域海洋与气象灾害的理论和关键预警预报技术研究与应用, 构建由近岸到远海的海洋灾害预警报系统, 形成对沿线海域海洋灾害的预警能力. 发展大气海洋精细化预报技术, 推进建设近岸海域高精度、网格化预报业务体系, 实现重点港口和海上工程的定点、定时、定量的海洋预报服务; 在沿线国家设置示范试验区, 构建典型海洋灾害预警报服务系统并示范应用. 开发重要海上通道及重点海域的实时海洋环境预报预警和导航服务产品, 提高海洋经济及科考活动保障服务能力. 加强印度洋北部地区海洋灾害预警能力建设. 根据丝绸之路经济带建设海洋服务保障需求, 针对印度洋北部地区气候和环境特点, 提升该区域海洋服务保障能力, 提升印度、孟加拉国、斯里兰卡等国家海洋灾害防御能力. 开展海洋灾害预警报及海洋减灾、印度洋北部海洋物理及生态环境预报、海洋环境灾害评估、北印度洋越洋海啸实时预报系统、海洋和气象数值预报合作研究以及海气相互作用合作研究. 开展海洋灾害预警报及海洋减灾、印度洋北部海洋物理及生态环境预报、海洋环境灾害评估、海洋和气象数值预报合作研究以及海气相互作用合作研究. 加强东南亚地区海洋灾害预警能力建设. 加强与马来西亚等国家在风暴潮海啸等海洋灾害的预警报技术以及海上搜救技术等领域的合作, 开展海洋环境数值预报及海洋灾害预警报技术等研究, 加强区域高分辨率海洋数值预报模式研发和应用合作.

(3) 建立“海上丝绸之路”海洋灾害风险评估系统. 开展“海上丝绸之路”海洋灾害风险评估和区划, 形成海洋灾害风险区划图集, 科学划定海洋灾害重点防御区. 制定风险评估技术规范 and 标准, 建立适应“海上丝绸之路”的风险评估技术体系. 针对不同等级的海洋工程, 开展风、浪、流对工程影响的评估体系. 为海上船舶航行及海上施工作业编制科学的海洋灾害应急预案. 提升海洋灾害风险评估及决策服务能力, 在海洋灾害高风险区开展风暴潮、海啸、海浪风险评估及海洋灾害区划工作. 有效规避各类海洋灾害风险、合理布局海洋经济发展空间、制定海洋灾害应急管理措施、减轻海洋灾害影响. 启动“海上丝绸之路”海洋灾害风险评估和区划, 开展区域单灾种和多灾种综合风险评估, 分析致灾因子危险性, 评估承灾体易损性, 形成海洋灾害风险区划图集, 科学划定海洋灾害重点防御区.

(4) 建立“海上丝绸之路”海洋灾害联合预警中心. 构建“21 世纪海上丝绸之路海洋灾害联合预警中心”框架, 建立多国协调、区域合作、信息共享的海洋灾害预警和防范联动机制, 与其他现有的合作机制形成合作和补充关系. 通过沿线国家围绕海洋灾害预警展开工作, 在基础信息数据共享、人员培训、国际救援、发布指导产品等方面推进合作, 发挥中国在海洋防灾减灾科技进步和区域间国际规则制定方面的技术优势和引领作用. 在预警中心框架下设立重大国际合作研究计划, 开展跨越国界的海洋灾害研究工作, 联合沿线国共同开展风险分析, 制定防灾减灾规划, 提出灾害风险管理和应对策略.

“海上丝绸之路”沿线国家一道共同建立政府间组织“21 世纪海上丝绸之路海洋灾害联合预警中心”, 由各成员国提供支持. 建立“海上丝绸之路海洋灾害联合预警中心”既为推进“海上丝绸之路”倡议提供重要保障, 也是实现沿线各国民心相通的重要抓手. 联合预警中心将主动对接我国在沿线海域重大海上工程、海上活动、涉海产业等领域对海洋环境安全保障的需求, 针对“海上丝绸之路”沿线重要支点、关键通道开展海洋灾害预报预警业务, 为我国在沿线的涉海工程和涉海活动提供全程、优质的海洋灾害预警报保障服务. 联合预警中心还将为沿线各成员国提供专业海洋灾害预警报公共产品, 提升其海洋灾害应对和预防能力, 加深各国人民间的互信和友谊.

致谢 感谢国家海洋环境预报中心李志强、赵联大、黄焕卿、李涛、侯放、王君成等协助提供数据, 一并致谢. 感谢中国科学院学部咨询评议项目“‘一带一路’自然灾害风险防范”中“海洋与气象灾害防范”课题的资助与支持. 中国科学院学部咨询评议项目和国家重点研发计划(2016YFC1402700, 2017YFE0111700)资助.

推荐阅读文献

- 1 National Development and Reform Commission, the Ministry of Foreign Affairs, the Ministry of Commerce. The Vision and Actions of Jointly Building the Silk Road Economic Belt and the 21st Century Maritime Silk Road (in Chinese). 2015-03-28 [国家发展和改革委员会]

- 会, 外交部, 商务部. 推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动. 2015-03-28]
- 2 National Development and Reform Commission, the State Oceanic Administration. “One Belt And One Road” vision for maritime cooperation (in Chinese). 2017-6 [国家发展和改革委员会, 国家海洋局. “一带一路”建设海上合作设想. 2017-6]
 - 3 Zou J L, Liu C L, Yin G Q, et al. Spatial patterns and economic effects of China’s trade with countries along the Belt and Road (in Chinese). *Prog Geogr*, 2015, 34: 598–605 [邹嘉龄, 刘春腊, 尹国庆, 等. 中国与“一带一路”沿线国家贸易格局及其经济贡献. *地理科学进展*, 2015, 34: 598–605]
 - 4 Zhang D Y. Strengthening the rise of the 21st-century Maritime Silk Road strategic pivot (in Chinese). *Strateg Stud CAE*, 2016, 18: 105–110 [张大勇. 加强“21 世纪海上丝绸之路”战略支点建设研究. *中国工程科学*, 2016, 18: 105–110]
 - 5 Mou N X, Liao M D, Zhang H C, et al. Evaluation on location advantages of the ports along the Maritime Silk Road (in Chinese). *J Geo-info Sci*, 2018, 20: 613–622 [牟乃夏, 廖梦迪, 张恒才, 等. “海上丝绸之路”沿线重要港口区位优势度评估. *地球信息科学学报*, 2018, 20: 613–622]
 - 6 Study on the Implementation Strategy for the Strategic Project “Maritime Silk Road: Strategic Assessments and Policy Recommendations for Key Countries”. International cooperation of China’s marine industry under the background of “21st Century Maritime Silk Road” (in Chinese). *Ocean Develop Manag*, 2018, 4: 3–8 [国家开发银行“海上丝绸之路”战略性项目实施策略研究: 重点国家的战略评估与政策建议”课题组. “21 世纪海上丝绸之路”背景下的我国海洋产业国际合作. *海洋开发与管理*, 2018, 4: 3–8]
 - 7 Knapp K R, Kruk M C, Levinson D H, et al. An overview of the International Best Track Archive for Climate Stewardship. *Bull Amer Meteorol Soc*, 2010, 91: 363–376
 - 8 Giuliani G, Peduzzi P. The preview global risk data platform: A geoportal to serve and share global data on risk to natural hazards. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 2011, 11: 53–66
 - 9 Feng S Z. Introduction to Storm Surge (in Chinese). Beijing: Science Press, 1982 [冯士筭. 风暴潮导论. 北京: 科学出版社, 1982]
 - 10 Zhang X, Ling M, Zhang Y. A study of prevention and mitigation of storm surge disaster along coastal cities pertaining to “The Belt and Road Initiative” in China (in Chinese). *J Hohai Univ*, 2017, 19: 81–91 [张鑫, 凌敏, 张玥. “一带一路”沿海城市风暴潮灾害综合防灾减灾研究. *河海大学学报*, 2017, 19: 81–91]
 - 11 Shi P, Kaspersen R. World Atlas of Natural Disaster Risk. Beijing: Springer-Verlag Berlin Heidelberg and Beijing Normal University Press, 2015
 - 12 Cai R S, Tan H J, Guo H X. Responses and compound risks of the coastal China areas to global change (in Chinese). *J Appl Oceanogr*, 2019, 38: 514–527 [蔡榕硕, 谭红建, 郭海峡. 中国沿海地区对全球变化的响应及风险研究. *应用海洋学学报*, 2019, 38: 514–527]
 - 13 National Remote Sensing Center of China. Ecological environment of “One Belt And One Road”: Spatial distribution and temporal variation of disastrous waves (in Chinese). http://www.chinageo.org/geoarc/2017/B/B6/B6_2/index.html, 2017 [国家遥感中心. “一带一路”生态环境状况: 灾害性海浪的空间分布及时间变化. http://www.chinageo.org/geoarc/2017/B/B6/B6_2/index.html, 2017]
 - 14 Liu N, Wang H, Ling T J, et al. Review and prospect of global operational ocean forecasting (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2018, 33: 131–140 [刘娜, 王辉, 凌铁军, 等. 全球业务化海洋预报进展与展望. *地球科学进展*, 2018, 33: 131–140]
 - 15 National Marine Environmental Forecasting Center. Progress report of the Maritime Silk Road environmental protection service system (in Chinese). 2017 [国家海洋环境预报中心. 海上丝绸之路环境保障服务系统工作进展汇报. 2017]
 - 16 Zhou S X. Disaster rescue in ASEAN: Mechanism, practice and prospect (in Chinese). *Southeast Asian Stud*, 2015, 6: 19–28 [周士新. 东盟灾害救援评析: 机制、实践与前景. *东南亚研究*, 2015, 6: 19–28]
 - 17 Xu X. “One Belt And One Road” cooperation in disaster prevention and mitigation: Challenges and responses. *Int Stud*, 2017, 1: 33–44 [许闲. “一带一路”防灾减灾合作: 挑战与应对. *国际问题研究*, 2017, 1: 33–44]
 - 18 Zhao J L, Zhou Y M, Xie L H. International Risks and Expansion of Cooperation Space for “One Belt And One Road”: A Case Study of Sri Lanka. Beijing: China Social Sciences Press, 2016 [赵江林, 周亚敏, 谢来辉. “一带一路”面临的国际风险与合作空间拓展: 以斯里兰卡为例. 北京: 中国社会科学出版社, 2016]

Summary for “21 世纪海上丝绸之路’海洋与气象灾害预警报现状和风险防范对策建议”

Risk prevention of marine and meteorological disasters along the “21st Century Maritime Silk Road”

Hui Wang, Na Liu^{*}, Yunfei Zhang, Tianyu Zhang & Xiangxiang Ren

National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China

^{*} Corresponding author, E-mail: liuna@nmefc.cn

The area of the “21st Century Maritime Silk Road” is subject to the tropical monsoon climate. It is one of the areas with the most frequent occurrence of marine and meteorological disasters: Extensive damages are caused in maritime activities, resulting in huge casualties and property losses. The need to ensure the safety of the marine environment for off-shore projects, marine navigation, marine operations and port operations in the areas along the Maritime Silk Road is in great demand. This paper reveals the main characteristics of the four marine and meteorological disasters of typhoon, storm surge, severe waves, and tsunami along the Maritime Silk Road. The status of marine disaster monitoring and pre-warning system in the countries along the Maritime Silk Road is reviewed.

There are three key problems: (1) Most countries along the Maritime Silk Road are economically and technologically underdeveloped, and have generally weak marine disaster monitoring capabilities. (2) International cooperation mechanisms are not sound. Major marine disasters are transnational in nature, and it is difficult for a single country to build a comprehensive monitoring, warning, prevention and emergency response. (3) Countries along the Maritime Silk Road have not yet carried out research on disaster warning theories and key technologies based on the unique geographical and technological characteristics of the maritime areas, and there is a lack of a maritime disaster prediction and early warning system. In view of the above key problems, four risk prevention countermeasures are proposed: (1) Constructing a database of marine disasters and their background, and studying their scientific mechanism; working with countries and regions along the Maritime Silk Road to conduct a comprehensive and systematic survey of marine disasters along the routes; clarifying the spatial and temporal distribution of typical marine disasters, accurately identifying potential disaster risks, systematically analyzing and conducting in-depth research on the breeding and mechanism of major marine disasters, their the regional distribution, and evolutionary characteristics; (2) establishing a reasonably distributed, three-dimensional and reasonably distributed marine monitoring network and an early warning system for marine disasters and making comprehensive plans for building China’s maritime monitoring capabilities along the Maritime Silk Road. This will be implemented by jointly building marine observation stations; deploying more drifting and submersible buoys; carrying out remote sensing of ocean satellites and ship navigation observations; strengthening the study and application of theories and key early-warning and forecasting techniques for marine and meteorological disasters in the coastal areas along the routes; and building an early warning system for marine disasters from near shore to seas; (3) establishing a marine disaster risk assessment system for the Maritime Silk Road. We will carry out marine risk assessment of storm surge, tsunami and wave and marine disaster zoning in high-risk areas, develop maps for marine disaster risk zoning, and scientifically delineate key areas for protection against marine disasters. In addition, we will formulate the technical specifications and standards for risk assessment, establish a technical system for risk assessment suitable for the Maritime Silk Road, and prepare scientific marine disaster emergency plans for the navigation of ships at sea and marine construction operations, enhancing the capability of marine disaster risk assessment and decision-making services; (4) establishing the framework for the “21st Century Maritime Silk Road” joint early warning center for marine disasters, building multilateral coordination, regional cooperation and an information-sharing mechanism for early warning and prevention of marine disasters. With this focus, countries along the Maritime Silk Road ought to recognize China’s technological advancements and leading role in the scientific and technological progress of marine disaster prevention and reduction, as well as in the formulation of international rules.

the 21st Century Maritime Silk Road, marine disaster, meteorological disaster, risk prevention, monitoring and pre-warning

doi: 10.1360/TB-2019-0287