

深水网箱养殖的海浪灾害风险预警研究

——以浙江省南麂岛地区为例

郭敬, 朱业, 李婷, 王勤, 车助镁

(浙江省海洋监测预报中心 杭州 310007)

摘要: 文章通过分析养殖网箱的受灾机理, 根据浮架变形断裂、锚绳断缆脱锚和网箱容积损失过大 3 种损坏形式, 开展深水网箱损坏等级和风险预警等级划分; 针对南麂岛 6 家网箱养殖企业, 计算不同情景下的网箱损坏等级, 建立定量化数据库, 简化风险预警系统输入项, 确定风险预警等级对应的浪高阈值, 利用精细化风暴潮-近岸浪耦合数值预报模型, 制作网箱受灾风险预警产品; 经过 1808 号“玛莉亚”台风和 1909 号“利奇马”台风的验证, 预测结果与实际受损情况一致, 可为今后当地网箱养殖企业应对海浪灾害提供技术支撑和服务。

关键词: 网箱养殖; 海浪数值模式; 风险预警; 台风

中图分类号: S969; X43; P7 文献标志码: A 文章编号: 1005—9857(2022)12—0024—05

The Early Warning of Wave Disaster Risk in Deep-water Cage Culture: A case study of Nanji Island

GUO Jing, ZHU Ye, LI Ting, WANG Qin, CHE Zhumei

(Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang, Hangzhou 310007, China)

Abstract: By analyzing the damage mechanism of the cage, the paper classified the damage level and risk early warning level of the deep-water cage according to the three damage forms of deformation and fracture of the floating frame, broken anchor rope and off anchor, and excessive volume loss of the cage. For the six cage farming enterprises in Nanji Island, the damage levels of cages under different scenarios were calculated, the quantitative database was established, the input items of risk early warning system were simplified, the wave height threshold corresponding to the risk early warning levels was analyzed and determined, and the refined storm surge nearshore wave coupling numerical prediction model was used to make cage disaster risk early warning products, which were verified by typhoon 1808 “Maria” and typhoon 1909 “Lekima”. The predicted results were consistent with the actual damage, which could provide technical support and services for local cage aquaculture enterprises to deal with wave disasters in the future.

Keywords: Cage culture, Wave numerical model, Risk early warning, Typhoon

收稿日期: 2022-04-28; 修订日期: 2022-11-10
基金项目: 海洋设施渔业受灾破坏机理分析与风险预警技术服务产品研发及应用项目。
作者简介: 郭敬, 工程师, 硕士, 研究方向为海洋预报和防灾减灾
通信作者: 车助镁, 高级工程师, 研究方向为海洋预报和防灾减灾

0 引言

我国是世界第一水产养殖大国,水产养殖产量超过世界水产养殖总产量的 70%^[1-2]。近年来,更接近天然环境的网箱养殖成为新的发展趋势,但台风等海洋灾害性气候的频发严重阻碍网箱养殖的健康发展。以温州市南麂岛为例,根据 1949—2016 年的统计结果,影响该区域的台风频次为 3.3 次/年,其中 0216 号台风“森拉克”、0608 号台风“桑美”和 1323 号台风“菲特”均导致南麂岛网箱养殖产业损失惨重。

近年来,我国海洋防灾减灾工作积极借鉴国内外先进理念,建立成熟的海洋灾害观测监测、预警预报和防范治理的业务体系。然而传统的海洋灾害预警报主要针对潮位、浪高和增水等,对于重点目标区域和主要承灾体破坏性影响的预判和风险预警仍较为缺乏,难以精准聚焦防护对象并有针对性地采取应对措施。对海水养殖业而言,目前养殖海域的致灾因子、受灾响应和灾害破坏机理尚不完全清晰,导致灾前预判和应对不足。

已有学者利用 ANSYS 有限元软件对浮架结构在波浪和水流作用下的水动力特性进行数值模拟^[3],同时利用 BP 神经网络构建受灾破坏因子与结构受损的定量关系,并利用灰色关联度识别受灾破坏主控因子^[4-6]。本研究在以往研究的基础上,以浙江省南麂岛地区为试点,建立深水网箱受灾损坏等级,建立海浪与养殖网箱受灾破坏的定量关系,建立精细化海浪-风暴潮耦合数值预报模型,开发深水网箱养殖风险预警产品,为当地网箱养殖应对台风等极端天气过程提供技术支撑和服务。

1 数据资料

本研究采用的网箱资料来自现场调研,数值模型采用的岸线数据为浙江省近海调查测量数据,海洋地形资料来自美国国家海洋和大气管理局(NOAA)公布的 ETOP 02 全球地形数据集(分辨率为 $2' \times 2'$),南麂岛附近水深数据为温州市自然资源部门近年的现场测量数据,海浪资料为南麂岛波浪浮标观测数据,台风资料来自中央气象局。

2 南麂岛网箱养殖

南麂列岛位于浙江省东南部海面,由 52 个面积大于 500 m² 的海岛组成,其中南麂岛为主岛,位于列岛中央,面积为 7.64 km²,岸线长为 24.8 km,大沙岙、火焜岙、马祖岙和国姓岙 4 个海湾分置于东南和西北 2 个方向。南麂列岛海域的东北侧和西南侧为深水通道,水深超过 30 m,最深处达 45 m^[7-10]。

目前南麂岛主要有 6 家深水网箱养殖企业,其中国姓岙有 1 家(海派),马祖岙有 4 家(鸿运、新科、柴屿和碧海仙山),竹屿有 1 家(耕海牧渔)。其中,浙江碧海仙山海产品开发有限公司的养殖规模最大,深水网箱约有 90 口,网箱周长为 60 m;其他企业的养殖规模均在 10 口左右,网箱周长为 40 m。

深水网箱也被称为重力式深水网箱,多为圆形,主要布局在平均水深为 10~20 m 的沿海开放性水域。深水养殖网箱容量较大,是具有较强抗风浪性能的海上养殖设施,主要由浮架系统、网衣系统、锚碇系统和配重系统构成(图 1)。



图 1 重力式深水网箱结构

本研究的浮架材料为高强度聚乙烯(HDPE),直径为 40~60 m,网衣材料为聚乙烯(PE)。根据现场调研结果,深水网箱受灾主要发生在灾害性海浪影响期间。在海浪作用下,网箱的运动幅值增大,浮架受锚绳拉力和浮架相互之间的挤压影响,因大变形而出现断裂;海浪拍打造成锚绳断裂或走锚,网箱内养殖容积受到压缩,导致养殖鱼类缺氧死亡。受灾损坏的主要形式可概括为浮架变形断裂、锚绳断缆脱锚和网箱容积损失过大 3 个类型。

3 网箱损坏等级

有学者通过构建深水网箱的物理模型和数学模型,采用 BP 神经网络算法对实验和计算数据进行训练,筛选出网箱主要致灾因子即浪高、浪周期、水深和网箱周长,并建立 4 种致灾因子和网箱结构

受损(锚绳张力、容积保持率和浮架应力)的定量关系(图 2)。

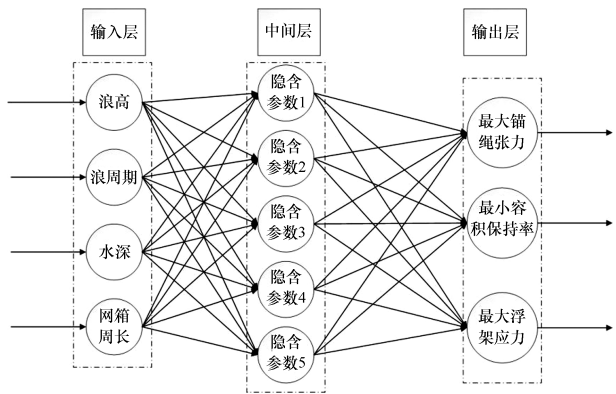


图 2 BP 神经网络结构

本研究利用网箱水动力数值计算结果,结合实地调研结果,根据浮架变形断裂、锚绳断缆脱锚和网箱容积损失过大这 3 种损坏形式,开展深水网箱损坏等级划分,并根据不同受灾破坏等级制定深水网箱水动力阈值,当浮架应力、容积保持率和缆绳力中的某项达到设定阈值,即会出现相应的破坏情况(表 1)。

利用南麂岛周边海域的实际水文参数(浪高、浪周期和水深)和网箱结构参数(周长),并将这些参数输入通过 BP 神经网络建立的非线性定量关系的输入层,经过中间层的处理后,输出网箱在实际海况下的锚绳张力最大值、容积保持率最小值以及浮架应力最大值,再结合表 1 即可确定网箱的损坏等级。参考海浪灾害的预警等级,将 4 种破坏程度分别对应红、橙、黄和蓝 4 种风险预警等级。

表 1 网箱受灾损坏等级和阈值

损坏等级	风险预警等级	损坏程度	损坏概述	浮架应力阈值	容积保持率阈值	缆绳力阈值
I 级	红色	特别严重	养殖网箱整体破坏,养殖功能完全丧失,难以修复	$\geq 70\%$	$\leq 30\%$	$\geq 70\%$
II 级	橙色	严重	养殖网箱重要构件损坏,养殖功能受到严重影响,维修成本较高	$[50\%, 70\%)$	$(30\%, 40\%]$	$[50\%, 70\%)$
III 级	黄色	中度	养殖网箱主要构件轻微受损,养殖功能受到一定程度的影响,维修后可继续使用	$[30\%, 50\%)$	$(40\%, 50\%]$	$[30\%, 50\%)$
IV 级	蓝色	轻度	养殖网箱主要构件无明显损伤,养殖功能未受明显影响,附属构件受到局部损伤,易于维修	$[20\%, 30\%)$	$(50\%, 60\%]$	$[20\%, 30\%)$

在实际抗台风过程中发现,致灾因子输入项过多严重影响风险预警产品的发布速度。为缩短产品制作和发布时间,实现业务化快速发布,须把输入项进行简化。在调研中发现,每家养殖企业的养殖用海范围都是固定的,网箱锚定和飘浮范围可基本定为不变,因此各家企业的水深和网箱周长输入项都是固定的。通过对南麂岛浮标多年观测数据的分析,有效浪高的平均浪周期为 5.5 s。

通过计算不同情景下的网箱损坏等级,建立定量化数据库,得出 6 家养殖企业的养殖网箱损坏等级对应的浪高阈值,并通过精细化海浪—风暴潮耦合数值预报模型开展海浪精准预报,实现深水养殖网箱风险预警产品自动化快速制作和发布(表 2)。

表 2 南麂岛深水网箱不同损坏等级下的浪高阈值

养殖企业	所在海域	水深/m	网箱周长/m	浪高阈值/m			
				I 级损坏	II 级损坏	III 级损坏	IV 级损坏
新科							
鸿运	马祖岙	14	40	1.5	2.8	3.6	5.7
柴屿							
耕海牧渔	竹屿	12	40	1.8	3.8	4.4	6.0
海派	国姓岙	8	40	2.0	4.0	5.0	6.8
碧海仙山	马祖岙	12	60	3.0	4.5	7.0	8.8

4 海浪数值模式

本研究所用数值模式采用 SWAN 和 ADCIRC

耦合模型,用于同一套非结构网格,相同的网格可准确求解 2 个模型中波流相互作用的物理过程。非结构网格可用于较大区域,使得深水区的能量全部传到浅水区,且不再需要对结构网格进行嵌套和叠加,也不再需要内部模型插值,从而显著减少计算量,并保证计算的准确性。整个网格系统共有 226 137个三角形,由 136 948 个节点构成,整套计算网格覆盖 19.6°—37.2°N,115.7°—130.7°E。该模型每天运行 1 次,可以提供浙江省海域未来 120 h 的海浪预报结果,时间间隔为 1 h。

数值模式选取 6 次台风进行验证,对台风浪的检验效果较好,模拟值与实测值符合较好,平均绝对误差在 1 m 以内,相对误差均不超过 13%,基本能反映浙江省台风浪的分布特征(表 3)。

表 3 南麂岛台风浪的验证误差

台风编号	实测值/m	模拟值/m	相对误差/%
9417	6.3	6.7	6.4
0414	7.1	6.2	12.7
0908	6.0	6.5	7.7
1509	5.7	5.6	1.8
1521	5.4	5.3	1.9
1616	3.9	4.4	12.8

5 应用案例

5.1 1808 号“玛莉亚”台风

1808 号“玛莉亚”台风于 2018 年 7 月 4 日 20 时在菲律宾以东的西北太平洋洋面上生成,于 11 日 9 时 10 分在福建省黄岐半岛登陆,登陆时中心附近最大风力为 14 级,中心最低气压为 960 hPa。根据海浪模式预报结果制作南麂岛网箱灾害风险预警产品,结果显示:马祖岙鸿运、新科和柴屿以及竹屿耕海牧渔的养殖海域将于 7 月 11 日凌晨达到或接近橙色预警,出现网箱 II 级严重破坏;国姓岙海派和马祖岙碧海仙山的养殖海域将达到蓝色预警,出现网箱 IV 级轻度破坏。

南麂岛浮标受 1808 号台风影响造成数据缺失,但根据变化趋势推断,海浪模式计算结果与实测数据在浪高和最大浪高出现时间等方面基本吻合,海浪模式较好地模拟 1808 号台风期间南麂岛海域的

浪高变化情况。

经过现场调研和无人机航拍,国姓岙海派的 12 口深水网箱未有明显损失;马祖岙鸿运共有 4 只周长为 40 m 的网箱全部损坏,破坏等级达到 II 级严重破坏;马祖岙新科在 12 只周长为 40 m 的网箱中有 4 只网箱失踪(其中 1 只在岸边发现,破坏等级为 I 级),有 3 只网箱受损,破坏等级达到 II 级严重破坏;马祖岙柴屿在 10 只周长为 40 m 的网箱中有 5 只网箱受损,破坏等级达到 II 级严重破坏;马祖岙碧海仙山在 90 只周长为 60 m 的网箱中只有 1 只网箱受损,破坏等级达到 III 级中度破坏;竹屿耕海牧渔在 14 只周长为 40 m 的网箱中有 9 只网箱受损,破坏等级达到 II 级严重破坏。

总体而言,大多数受损网箱为 II 级严重破坏,少量网箱为 I 级特别严重破坏和 III 级中度破坏,预报的破坏等级与实际的受灾情况一致。

5.2 1909 号“利奇马”台风

1909 号“利奇马”台风于 2019 年 8 月 4 日 14 时在菲律宾以东的西北太平洋洋面上生成,于 10 日 1 时 45 分在浙江省温岭市登陆,登陆时中心附近最大风力为 16 级,中心最低气压为 930 hPa。根据海浪模式的预报结果制作南麂岛网箱灾害风险预警产品,结果显示:马祖岙鸿运、新科和柴屿以及竹屿耕海牧渔的养殖海域将于 7 月 11 日凌晨达到或接近红色预警,出现网箱 I 级特别严重破坏;国姓岙海派和马祖岙碧海仙山的养殖海域将达到或接近橙色预警,出现网箱 II 级严重破坏。

南麂岛浮标受 1909 号台风影响造成数据缺失,但根据变化趋势推断,海浪模式计算结果与实测数据在浪高和最大浪高出现时间等方面基本吻合,海浪模式较好地模拟 1909 号台风期间南麂岛海域的浪高变化情况。

根据灾后现场调查情况,马祖岙鸿运、新科和柴屿以及竹屿耕海牧渔的大多数网箱均为 I 级特别严重破坏,部分网箱为 II 级严重破坏;国姓岙海派和马祖岙碧海仙山的大部分网箱为 II 级严重破坏,少量为 I 级特别严重破坏。经验证,预报的破坏等级与实际的受灾情况一致。

6 结语

本研究聚焦南麂岛养殖海域,根据网箱的结构

参数以及水文和水深等条件,计算不同灾害情景下的网箱损坏等级,建立定量化数据库,得到针对不同养殖企业的不同损坏等级的浪高阈值,结合精细化风暴潮-近岸浪耦合数值预报模型,构建海浪灾害风险预判的指数化和业务化体系,实现在 5 min 内完成深水养殖网箱灾害风险预警产品的自动化快速制作和发布;经过 1808 号“玛莉亚”台风和 1909 号“利奇马”台风的检验,计算结果与实测数据在浪高和最大浪高出现时间等方面都基本吻合,预报的破坏等级与实际的受灾情况一致。该风险预警产品为政府部门和养殖企业在台风汛期快速采取防范措施以及减少灾害损失提供技术保障。

参考文献

[1] 郭根喜,陶启友,黄小华,等.深水网箱养殖装备技术前沿进展[J].中国农业科技导报,2011,13(5):44—49.

[2] 刘圣聪,梁振林.关于海水网箱养殖系统风险评估的基础研究[J].海洋湖沼通报,2007(3):132—142.

[3] 李坤鹏.波浪作用下网箱浮架结构动力响应和疲劳分析[D].大连:大连理工大学,2016.

[4] 赵云鹏,孙熊雄,毕春伟,等.圆形重力式深水网箱受灾破坏机理分析[J].人民长江,2018,49(15):90—95.

[5] BI C W,ZHAO Y P,SUN X X,et al.An efficient artificial neural network model to predict the structural failure of high-density polyethylene offshore net cages in typhoon waves[J]. Ocean Engineering,2020,196:1—13.

[6] ZHAO Y P,BI C W,SUN X X,et al.A prediction on structural stress and deformation of fish cage in waves using machine-learning method [J]. Aquacultural Engineering, 2019, 85: 15—21.

[7] 郭敬,李尚鲁,李婷,等.南麂岛重现期波高空间分布特征分析[J].海洋预报,2020,37(5):9.

[8] 潘晓东,林顺利,姚玉娟,等.南麂海域灾害性海浪分布特征[J].中国水运,2016,16(12):160—162.

[9] 许富详.中国近海及其邻近海域灾害性海浪的时空分布[J].海洋学报,1996,18(2):26—31.

[10] 黄树生.南麂海域海浪分布基本特征[J].海洋通报,1994,13(4):10—19.