福建省海洋生态灾害防控辅助决策支持系统的实现和应用

李雪丁

（福建省海洋预报台　福州　350003）

摘要：文章根据福建省海洋生态灾害防控的业务需求，开发海洋生态灾害防控辅助决策支持系统，并应用到实际工作中。该系统采用 B/S 架构，借助 GIS 技术，以 Web 方式实现，包括赤潮、溢油和水环境异常 3 个子系统，可快速和规范化地实现对 3 种主要海洋生态灾害的应急监视监测、模式预测、应急处置和辅助决策支持的信息化全流程管理，可全面提高海洋行政主管部门的灾害应急响应能力，有效减轻海洋生态灾害损失，为福建省海洋生态灾害防灾减灾工作提供科学依据。

关键词：海洋生态灾害；防灾减灾；灾害预测；数据库；应急响应

中图分类号：P76；X4　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005－9857(2021)06－0037－05

Implementation and Application of Decision Support System for Marine Ecological Disaster Prevention and Control in Fujian Province

LI Xueding

(Fujian Marine Forecasts, Fuzhou 350003, China)

Abstract: According to the business requirements of ecological disaster prevention and control in Fujian coastal water, this paper developed the decision support system for marine ecological disaster prevention and control, and brought into service. This system used B/S framework and GIS technology, and implemented in Web mode. The system included 3 subsystems which were red tide, oil spill and water environment abnormal. It could realize the whole process management of emergency monitoring, simulation and prediction, prevention and control assistant decision of the 3 major marine ecological disasters quickly and standardized, and comprehensively improved the emergency response ability of marine administrative departments which could effectively reduce the loss of marine ecological disasters, provide scientific basis for the prevention and reduction of marine ecological disasters in Fujian coastal water.

Keywords: Marine ecological disaster, Disaster prevention and reduction, Disaster prediction, Database, Emergency response

收稿日期：2020-08-04；**修订日期**：2021-05-29

基金项目：国家重点研发计划重点专项项目(2017YFC1404800、2018YFC1407000、2016YFC1401900)；福建省科技计划项目(2018Y0001).

作者简介：李雪丁，副研究员，硕士，研究方向为海洋预报

0 引言

海洋生态灾害是指由自然变异和人为因素造成的损害近海生态环境和海岸生态系统的灾害[1]，通常具有突发性、不确定性、破坏性、衍生性和扩散性[2]，比较典型的类型包括赤潮、绿潮、海洋污染、海上溢油和生物入侵等[3]。近年来，随着我国沿海地区社会经济的飞速发展以及人类活动的不断加剧，近岸海域水体污染和富营养化等问题日益凸显，海洋生态灾害多发[2,4-11]，对海洋经济和海洋生态构成严重威胁。

福建省是我国的海洋大省，海域面积约为 13.6 万 km^2，海岸线曲折漫长，海湾众多，海岛星罗棋布。近年来，在全球气候变化和人类活动的影响下，福建省近岸海域环境污染日益加剧[12]，由赤潮、养殖水体水环境异常和溢油等引发的海洋生态灾害时有发生。①赤潮是指海洋中的微藻、原生动物或细菌在一定环境条件下暴发性增殖或聚集达到一定水平，引起水体变色或对海洋中的其他生物产生危害的生态异常现象，是影响海洋生态环境的主要灾种之一，不仅破坏海洋生态平衡和危害海洋资源环境，而且其毒素还会通过食物链危害人体健康[13]。2012 年福建省中北部海域发生 10 起以米氏凯伦藻为优势藻种的有毒赤潮，导致养殖鲍鱼大量死亡，造成直接经济损失约 20.11 亿元，同时对当地的渔业生产、滨海旅游和居民健康造成严重影响，是我国近海赤潮造成经济损失最严重的记录[14-16]。②养殖水体水环境异常包括水体富营养化、有毒物质输入污染和水体黑臭等，可能导致水体缺氧、pH 值异常、营养盐含量异常和有毒物质超标等，从而导致海洋生态灾害的发生。自 20 世纪 60 年代以来，全球近海低氧区的面积呈指数级增长，低氧的暴发频率和持续时间日益增加，已成为威胁海洋生态健康的重要因素。当水体中的溶解氧低于临界值时，底栖动物将大量死亡，鱼、虾等渔业生物的生存也将受到威胁[17-19]。近年来，福建省连江县至南日岛周边海域水环境异常事件时有发生，给当地的海水养殖业造成严重损失，尤其是 2009 年罗源湾海域因水体局部缺氧导致约 50% 的养殖鲍鱼死亡，2014 年连江县海域因水体持续高温导致 8.42 亿只养殖鲍鱼死亡。③溢油灾害主要是指海上作业和船舶航行过程中的溢油造成的海上污染[20]，2012—2016 年福建省南日岛至连江县黄岐镇附近海域发生多次货轮或商船触礁搁浅造成溢油的突发事故，海水污染对海水养殖区造成严重的经济损失和生态灾害。可见，海洋生态灾害的破坏性较大，衍生和扩散范围不可预估，对沿海地区社会经济发展的影响不容小觑。

本研究建立针对赤潮、养殖水体水环境异常和溢油等主要海洋生态灾害的应急管理流程，实现对福建省近岸海域主要海洋生态灾害的预警和预测以及科学化和智能化的防控辅助决策支持，有效降低海洋生态灾害损失和保障海洋生态安全，为福建省海洋防灾减灾工作提供科学依据。

1 系统设计思路

海洋生态灾害防控辅助决策支持系统的设计原则是坚持先进性、稳定性、可操作性、实用性、易扩展性、灵活性和可维护性。总体设计思路为：基于 GIS 技术，采用基于微软的 .NET 开发平台，在 B/S 架构上开发集海洋生态环境数据库、多源海洋生态在线监测、海洋生态灾害预测、海洋生态灾害影响评估、海洋生态灾害防控技术、海洋生态灾害应急辅助决策和海洋生态灾害信息发布等模块于一体的海洋生态灾害防控辅助决策支持系统（图 1）。

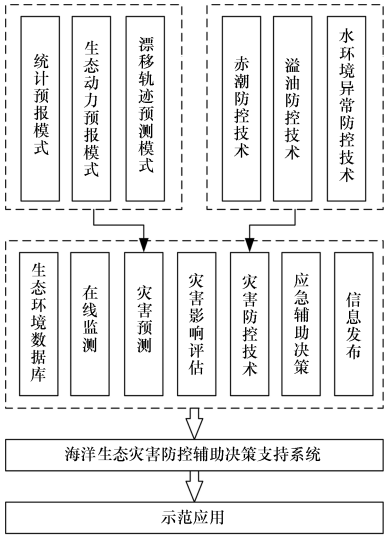

图 1 系统总体设计思路

.NET 开发平台可通过通用语言运行环境(CLR)控制应用程序的运行,采用面向对象的程序设计方法,可使海洋生态灾害防控的业务逻辑和数据存取逻辑在不同的技术层面上实现,便于海洋生态灾害防控辅助决策的快速部署和灵活调整,并充分保证系统访问的安全性和可靠性。利用 GIS 技术强大的数据处理和分析功能,实现多源海洋生态在线监测数据的展示和分析。为满足海洋生态灾害防控辅助决策支持系统对模式的调用需求,利用 Web service 技术集成并封装海洋生态灾害统计预报模式、海洋生态动力预报模式和海洋生态灾害漂移轨迹预测模式,实现对计算结果的实时应用,主要包括实时监测数据在线查询、海洋生态灾害动态预测、预报产品可视化和多渠道信息发布,为管理部门实时掌握海洋生态灾害动态信息、开展海洋生态灾害影响评估和采取海洋生态灾害防控措施等提供快捷和便利的系统支持。

2　系统框架结构

海洋生态灾害防控辅助决策支持系统采用跨平台程序设计,可与软件系统和设备无缝对接;采用 B/S 系统架构,免去安装和升级客户端的烦琐操作;采用自主研发的 Web GIS 应用框架,包括运行支撑层、数据资源层、应用支撑层、业务应用层和用户层。①运行支撑层构建系统的网络环境和运行环境,是支撑系统运行的基础;②数据资源层是系统的核心部件,主要对各类数据进行采集、分析、存储和管理以及提供对外通信接口,通过建设数据环境实现对不同来源的结构化与非结构化数据的有机集成、科学管理和有序共享;③应用支撑层可有效整合和管理各类应用组件,使各子系统快速搭建相关功能模块;④业务应用层包括赤潮预警、水环境异常预警、溢油预警和综合查询等功能;⑤用户是系统的服务目标,用户层对不同用户提供各类信息服务(图 2)。

3　系统核心业务流程

海洋生态灾害防控辅助决策支持系统的核心业务流程包括生态环境数据库、模式预测、灾害事件防控决策和信息发布(图 3)。

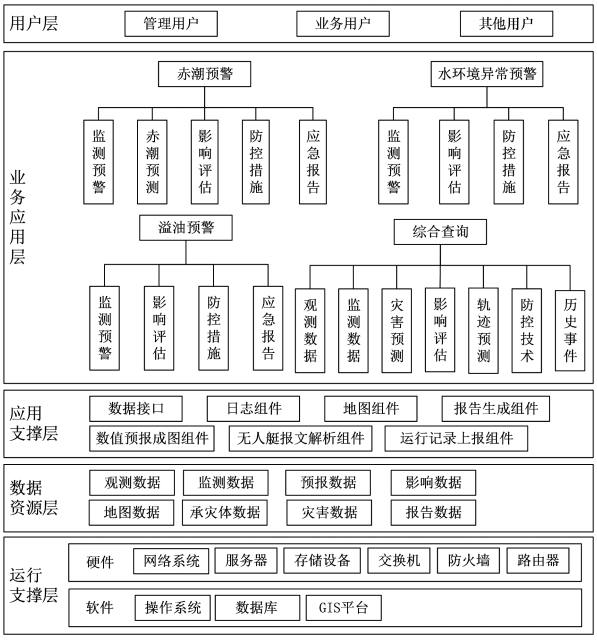

图 2　系统框架结构

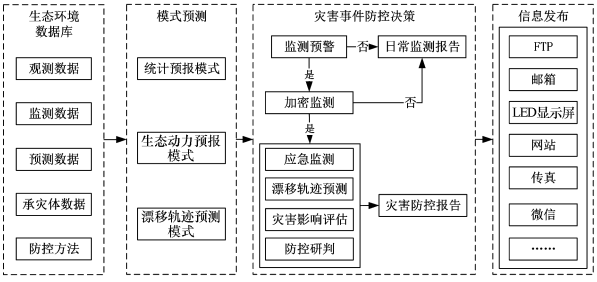

图 3　系统核心业务流程

系统集成多源数据,每日在后台运行模式预测,判断是否可能发生海洋生态灾害,并形成日常监测报告。当达到海洋生态灾害预警标准时启动加密监测,实时显示现场应急监测数据,利用漂移轨迹预测模式并结合附近承灾体数据开展灾害影响评估。根据灾害影响评估等级及其影响类型,从数据库中智能提取对应的防控方法,辅助决策,自动生成灾害防控报告,并通过多种渠道发布。

3.1　生态环境数据库

生态环境数据库包括观测数据和监测数据等实时数据以及预测数据、承灾体数据和防控方法等业务数据。①观测数据的来源渠道广(浮标、渔排基和海床基等)且数据格式不一致,须根据不同的数据源设计不同的数据访问方式和数据解析手段,

采用插件式数据服务方式对原始数据进行采集、质控和入库。②监测数据分为日常监测数据和应急监测数据:日常监测数据为通过定期开展的海上定点采样和实验室检测所获得的数据;应急监测数据为在海洋生态灾害发生期间,通过派出无人艇、船载走航和无人机等进行现场监测和人工采样,经实验室检测所获得的数据。③预测数据包括统计预报模式计算的数据、生态动力预报模式计算的数值预报数据(包括溶解氧、叶绿素 a、硝酸盐、水温和盐度等)以及漂移轨迹预测模式预测的漂移轨迹和扩散范围数据。④承灾体数据集成全省海水养殖区、滨海旅游区、海洋保护区和工业用海区 4 类受海洋生态灾害影响最大的重要海洋承灾体信息,同时包括通过典型海洋生态灾害影响等级划分算法在线评估海洋生态灾害对承灾体的影响的数据。⑤根据海洋生态灾害的类别制定不同的防控方法,并经数据结构化整编入库,系统可在海洋生态灾害发生时自动快速释用。

3.2 模式预测

集成统计预报模式、生态动力预报模式和漂移轨迹预测模式。①统计预报模式利用 Fisher 判别方法,对水体的生物、化学、水文和气象等要素进行多元逐步回归分析。②生态动力预报模式以 ROMS 为原型,利用全球模型提供的边界条件,运用曲线正交变网格技术,建立具有港湾分辨率的三维海洋动力模式;在此基础上,建立台湾海峡 ROMS-CoSiNE 15 耦合海洋生态动力预报模式,通过参数化数值试验选定不同状态变量、变化过程和生态模式的参数化方案,不断优化模式,可输出主要海洋生态要素的数值预报结果。③漂移轨迹预测模式对海洋生态灾害核心区的数据进行分析,集成漂移轨迹数学模型,展示赤潮和溢油等海洋生态灾害漂移轨迹的最新预测结果并实现人-机交互;在海洋生态灾害发生后,根据监测的日期和发生的地点,利用漂移轨迹预测模式每日对海洋生态灾害核心区进行水质点跟踪,预测漂移轨迹并生成报告。

3.3 灾害事件防控决策

系统通过分析实时监测数据、常规监测生态要素数据和模式预测结果,采用阈值判断方法判断海洋生态环境是否异常,自动判断是否触发预警机制,并自动向值班人员发送预警信息。如果系统判断海洋生态环境没有异常,则不触发预警,并自动生成日常监测报告,内容包括观测数据和监测数据。如果系统判断海洋生态环境发生异常,则触发预警,判断潜在的海洋生态灾害类型,同时通知应急监测部门启动海上加密监测,经模式预测并结合加密监测结果进一步分析海洋生态灾害是否会暴发;如果得到进一步的确认,则立即启动无人艇、无人机、应急浮标和船载走航等应急监测,获取海洋生态灾害的第一手数据资料;通过漂移轨迹预测结果评估海洋生态灾害对附近承灾体的影响,提出防控措施并形成防控决策报告;在整个海洋生态灾害过程中,系统将持续追踪监测和应急响应,直到灾害过程结束。

3.4 信息发布

可定制信息推送方式,包括 FTP、邮箱、LED 显示屏、网站、传真、微信和短信等,实现一键转化多种格式发布,为用户实时掌握海洋生态灾害动态信息提供便捷方式。

4 系统应用

海洋生态灾害防控辅助决策支持系统实现对福建省海域赤潮、养殖水体水环境异常和溢油 3 种主要海洋生态灾害的应急监视监测、模式预测、应急处置和辅助决策支持的信息化全流程管理,目前已部署在福建省海洋预报台并稳定业务化运行。系统后台每日自动分析实时监测数据,并通过统计预报模式和生态动力预报模式对海洋生态环境进行预测。

以 2019 年 5 月 13—17 日发生在连江县黄岐镇至北茭海域的赤潮灾害为例,该赤潮的生物优势藻种为夜光藻。5 月 12 日前,系统每日分析监测数据,结合赤潮预测模式(统计预报模式和生态动力预报模式)自动生成日常监测报告。5 月 12 日,根据实时监测数据和赤潮预测模式,系统预测在连江县海域发生赤潮的可能性较大,且水温、叶绿素浓度和溶解氧含量均将达到预警条件,于是自动生成《福建沿海赤潮监测预警报告》并发送应急管理部门。5 月 13 日,系统启动连江县海域的赤潮加密监

测,包括无人艇、无人机和船测走航系统,在加密监测期间确认海域已发生赤潮;启动每日应急监测,包括水样采集和无人机拍摄,利用赤潮漂移轨迹预测模式预测赤潮核心区的漂移轨迹和发展趋势;开展赤潮灾害影响评估,确定赤潮灾害影响等级以及可能影响的范围和承灾体,逐一提取并形成防控方法,自动生成《福建沿海赤潮灾害防控报告》;系统支持人-机交互对报告进行编辑,同时实现多渠道的一键式发布,为管理部门实时掌握赤潮动态信息提供有力的技术支撑。

5　结语

海洋生态灾害防控辅助决策支持系统运用 GIS 和数据库等技术,基于 .NET 开发平台构建 B/S 系统框架,集业务功能和 GIS 功能于一体,实现海洋生态灾害防控辅助决策的可视化管理;根据实时监测数据对海洋生态环境进行分析,并结合模式进行预测和判断,可快速和准确地为海洋生态灾害防控提供数字化、信息化和智能化的辅助决策支持。该系统目前仅针对福建省沿海 3 种主要海洋生态灾害,未来将集成越来越多的海洋生态灾害种类信息和辅助决策方案,使系统更加完善。相信在不久的将来,该系统将得到越来越广泛的应用和发展,不断满足政府部门、涉海行业和社会公众的各种服务需求。

参考文献

[1] 海洋科技名词审定委员会.海洋科技名词 2007[M].2 版.北京:科学出版社,2007.

[2] 王妍,高强,汪艳涛.海洋生态灾害重大事件处置能力评价指标体系初探:基于“三维结构”理论分析[J].科技管理研究,2017,37(16):84－89.

[3] 苟露峰,高强.海洋生态灾害频发的根源:基于经济学视角的分析[J].生态经济,2014,30(8):185－189.

[4] 林天维,孙子钧,柴清志,等.中国海洋生态环境特征分析[J].海洋开发与管理,2020,37(5):36－40.

[5] 孙艺,乔延龙,刘春琳,等.天津市海洋生态压力和对策研究[J].海洋开发与管理,2020,37(2):58－62.

[6] 许宁,刘雪琴,袁帅,等.基于突发海洋生态灾害防范的海洋工程海冰灾害风险监测:以渤海石油平台为例[J].海洋开发与管理,2018,35(4):89－92.

[7] 赵聪蛟,宋琍琍,余骏,等.浙江省 2000－2010 年海洋生态灾害概况及防灾对策[J].海洋开发与管理,2012,29(11):62－66,120.

[8] 高姗,刘桂梅,王辉,等.海洋生态预报的研究进展与发展应用[J].海洋预报,2020,37(2):84－93.

[9] 胡旭,王朝旭,张连伟.1912－1949 年京津冀地区的生态灾害研究[J].北京林业大学学报(社会科学版),2019,18(2):92－97.

[10] 许春晓.福建沿海地区主要海洋灾害类型及其防灾建议[J].福建水产,2009(3):84－86.

[11] 王晓静,潘安定.广东省生态灾害及其影响初步分析[J].广东农业科学,2006(12):90－92.

[12] 蔡清海,陈于望,陈水土,等.福建主要港湾的环境质量[M].北京:海洋出版社,2007.

[13] 刘亚林,刘洁生,俞志明,等.陆源输入营养盐对赤潮形成的影响[J].海洋科学,2006,30(6):66－72.

[14] 陈宝红,谢尔艺,高亚辉,等.米氏凯伦藻对海洋生物致毒作用的研究进展[J].福建水产,2015,37(3):241－249.

[15] 福建省海洋与渔业局.福建省海洋灾害公报[Z].2011－2019.

[16] 林佳宁,颜天,张清春,等.福建沿海米氏凯伦藻赤潮对皱纹盘鲍的危害原因[J].海洋环境科学,2016,35(1):27－34.

[17] ORITA R, UMEHARA A, KOMORITA T, et al. Contribution of the development of the stratification of water to the expansion of Dead Zone: a sedimentological approach [J].Estuar Coast Shelf Sci,2015,164:204－213.

[18] 李道季,张经,黄大吉,等.长江口外氧的亏损[J].中国科学(D辑:地球科学),2002,32(8):686－694.

[19] WEI Q S, WANG B D, CHEN J F, et al. Recognition on the forming-vanishing process and underlying mechanisms of the hypoxia off the Yangtze River estuary[J].China Earth Sci,2015,58:628－648.

[20] 董月娥,左书华.1989 年以来我国海洋灾害类型、危害及特征分析[J].海洋地质动态,2009,25(6):28－33.