

黄丽华,姜昀,杨帆,等. 基于“3S”的沿海港口生态承载力预警系统构建研究:以厦门港为例[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(12): 195-201. Huang Lihua, Jiang Yun, Yang Fan, et al. Early warning system construction of coastal port ecological carrying capacity based on “3S” technology: Xiamen Port for example[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 42(12): 195-201.

基于“3S”的沿海港口生态承载力预警系统构建研究: 以厦门港为例

黄丽华¹, 姜昀^{1*}, 杨帆¹, 陈帆¹, 史常艳¹, 祝秀莲¹, 李静²

(1.生态环境部环境工程评估中心,北京 100012;

2.生态环境部卫星环境应用中心,北京 100094)

摘 要:文章以生态承载力理论为基础,解析了沿海港口生态承载力预警的内涵及特征,构建了一套基于“3S”技术的沿海港口生态承载力预警系统,内容包括警源指标监控、预警指标计算、预警等级判定及警情分析和生态预警响应机制等,并以厦门港为例验证了预警系统在实际应用中的可行性,为沿海港口资源生态环境风险防控提供了借鉴。

关键词:沿海港口; 生态承载力; 承载饱和度; 预警系统; 遥感监测

中图分类号:X322 **文献标志码:**A **doi:**10.19672/j.cnki.1003-6504.2019.12.030 **文章编号:**1003-6504(2019)12-0195-07

Early Warning System Construction of Coastal Port Ecological Carrying Capacity Based on “3S” Technology: Xiamen Port for Example

HUANG Lihua¹, JIANG Yun^{1*}, YANG Fan¹, CHEN Fan¹,

SHI Changyan¹, ZHU Xiulian¹, LI Jing²

(1. Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China;

2. Center for Satellite Application on Ecology and Environment, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100094, China)

Abstract: Based on the theory of ecological carrying capacity, this paper analyzes the connotation and characteristics of ecological carrying capacity warning, and constructs a set of coastal port ecological carrying capacity warning system based on 3S technology, including dynamic monitoring of alarm monitoring index, calculation of warning index, determination of warning situation. Taking Xiamen Port as an example, the feasibility of early warning system in practical application is verified, which provides reference for prevention and control of resource and environmental risks in coastal ports.

Key words: coastal ports; ecological carrying capacity; bearing saturation; early warning system; remote sensing monitoring

海岸带自然资源、环境条件优越,也是人地矛盾最突出的地带。海岸带港口建设及其引发的城市化、临港产业发展,带来巨大的资源环境压力,导致近岸海域污染,生态系统健康状态持续下降,潜在环境风险隐患凸现。近年来,我国沿海港口环境管理水平虽有较大提升,但生态环境风险预警技术和手段单一,对遥感等能够获取多尺度实时信息的新技术、新方法应用不充分,对港口生态环境风险预警水平及防范能力较为薄弱。

本文以生态承载力理论为基础^[1],RS、GIS、GPS(以下简称“3S”)为主要技术手段,从沿海港口开发的“压力-状态-响应”过程出发^[2,3],通过对“沿海港口开

发(压力变化)”的预警监控,采用预警方法技术、预警模型等,评估海岸带“生态环境承载状况(响应)”,以生态承载力阈值为基准(标杆),判断“压力”是否超过阈值,对偏离阈值的强弱程度发出预警,并以厦门港中长期预警为例,构建了厦门港中长期预警警源指标体系、预警指标,分析了警情程度、警情发展方向,提出中长期预警响应机制,实现了沿海港口生态环境的监测、分析、预测和预警等全过程监控^[4]。本文提出的基于“3S”技术的生态承载力预警系统可为沿海港口生态环境风险防控管理提供借鉴,对提高沿海港口资源环境监管水平,绿色转型发展,具有重要的现实意义和

《环境科学与技术》编辑部:(网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@vip.126.com

收稿日期:2019-09-02;修回2019-11-11

基金项目:2014年环保公益性项目:基于遥感技术的沿海港口总体规划环评生态承载力评价方法研究(201409100)

作者简介:黄丽华(1975-),女,高级工程师,硕士,主要从事战略、规划环境影响技术研究,(电子信箱)huanglh@acee.org.cn;*通讯作者。

科学价值。

1 生态承载力预警的内涵及特征

1.1 沿海港口生态承载力预警的涵义

沿海港口生态承载力预警是以海岸带生态系统演变过程等为研究对象,采用科学的预警方法技术、指标体系、预警模型等,对港口发展与生态环境耦合过程及其状态进行监测,对港口开发过程可能导致的海岸带生态系统逆向演替、退化、恶化的及时报警^[5],并预报偏离警戒线的强弱程度,提出防范措施,是防止海岸带生态系统无序发展的重要调控手段之一。

1.2 基于“3S”技术的生态承载力预警过程

预警过程包括确定警源、识别警兆和判定警情、预报警度及预警响应等。其中,确定警源指明明确警情来源;识别警兆是根据警源变化,采用“3S”技术识别警兆的空间位置、强度等;判定警情是判定警源分布及变化、警情程度分析、警情发展方向和速度分析等,并判定预警对象偏离警戒线的强弱。

1.3 基于“3S”技术的沿海港口生态承载力预警的特征

沿海港口生态承载力预警具有多维度的特点,时间维度包括突发性、短期、中长期和长期预警;空间维度指预警的地理空间范围和预警管理尺度范围,其中地理空间包括点、线、面等空间数据类型,管理尺度包括港口、市域、海岸带等;层次维度为单因子和综合预警。

2 沿海港口生态承载力预警系统构建

沿海港口生态承载力预警系统包括港口开发状态(警源监控指标)的预警监控、预警指标计算、预警等级判定、警情分析及预警响应5个阶段,基于“3S”技术的沿海港口生态承载力预警系统见图1。

2.1 警源监控指标的预警监控

沿海港口生态承载力预警监控范围涉及陆域、潮间带、近岸海域3类生态空间,预警重点监控对象为可能对海岸带生态系统产生重大不良环境影响的开发活动,主要包括空间利用、资源开发及污染物排放3类。警源监控指标筛选原则包括:指标空间范围或总量规模变化幅度较大;指标变化对陆域、潮间带、近岸海域生态环境直接影响显著;指标信息易获取或可通过遥感影像解译提取。因此,警源监控指标一般为陆域、潮间带、近岸海域开发强度3类^[6,7],具体表征指标包括建设用地开发强度、滩涂围垦强度、围填海强度、人工岸线利用强度、污物排放强度等。

警源指标监控流程包括警源监控指标遥感数据准备、预处理、信息提取、空间分析等。其中,遥感数据准备包括影像时段确定、空间分辨率确定、影像时

相选择等,空间分辨率根据指标空间属性特点选择,如对围填海、岸线变化等空间尺度较小的指标,优先选择高分辨率遥感影像;对水遥感参数等较大空间尺度的指标,优先选择中分辨率遥感影像^[10];影像时相则应结合气候环境特点选择,北方地物物候特点强而南方较弱,因此影像时相要求北方高南方相对低。

2.2 预警指标的动态监控

2.2.1 预警指标确定及计算

以生态承载力评价指标及评价成果^[6]为基础,以反映生态系统突破变化“临界点(阈值)”的危险程度为目标,确定预警指标,一般包括生态系统、土地资源、岸线资源、水环境承载饱和度及综合承载压力度等。其中,按保证沿海港口生态功能不降低、环境质量不下降的现实环境管理要求出发,可以现状生态承载力作为承载力阈值。

预警指标评价方法参考高吉喜的承载饱和度评价方法^[8],采用开发强度指标与阈值比值,表征单指标承载力饱和度,基本表达式为:

$$CCFS=1-CCP/CCS \quad (1)$$

式(1)中, $CCFS$ 分别代表岸线资源、生态系统、土地资源等承载饱和度; CCP 表示港口开发压力,分别包括岸线资源开发强度、生态系统影响强度、土地资源开发强度、水污染物排放强度; CCS 表示生态承载支撑能力,分别包括岸线资源承载力阈值、生态系统承载力阈值,土地资源承载力阈值、水环境承载力阈值等。

当 $CCFS$ 为正数时,表明承载力尚未饱和, $CCFS$ 当为负数时,表明承载力港口开发压力超过生态承载力阈值。

综合承载压力度评价方法采用《规划环境影响评价导则 总纲》提出的生态承载综合评价方法,计算公式如式(2):

$$CSI^{eco} = \sum_{i=1}^n S_i^{eco} \cdot W_i^{eco} \quad (2)$$

式(2)中, CSI^{eco} 为海岸带综合承载压力度; S_i^{eco} 分别为生态系统、资源、环境承载力承载饱和度等; W_i^{eco} 为要素*i*相对应的权重值。

其中,权重的确定可采用层次分析法或灰色层次分析法确定。综合承载压力度计算结果为0~100的分值,<20分表示弱承载,21~40分表示低承载,41~60分表示中等承载,61~80分表示较高承载,>80表示高承载。

2.2.2 预警指标预警等级及预警准则设定

以“短板效应”为原则,参考《资源环境承载能力监测预警技术方法》(发改规划[2016]2043号),将承

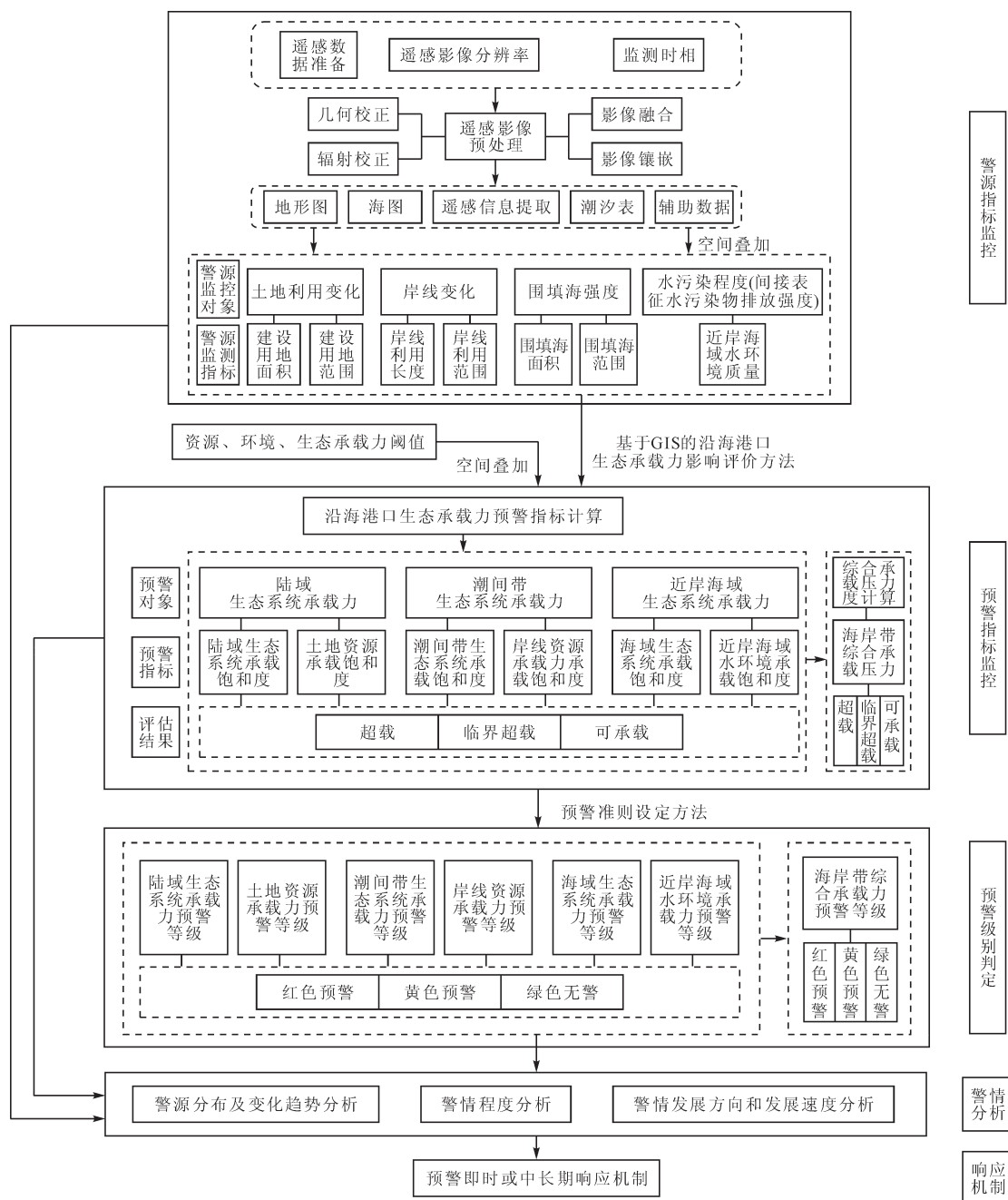


图1 沿海港口生态承载力预警系统技术流程图

Fig.1 Technical process of early warning system of coastal port ecological carrying capacity

承载力确定为超载、临界超载、不超载3种类型,及无警、中警、重警3个预警等级,见表1。

表1 生态承载力预警等级及预警准则设定
Table 1 Early warning criterion and level setting of ecological carrying capacity

安全等级	预警等级	预警准则设定
安全 (理想状态)	无警(绿色)	生态系统、资源、环境承载力未超载
较不安全 (一般状态)	中警(黄色)	生态系统、资源、环境承载力临近超载
很不安全 (恶劣状态)	重警(红色)	生态系统、资源、环境承载力超载

2.2.3 预警指标监控流程

基于生态承载力阈值评价成果和提取的警源监控指标信息,利用GIS的空间分析功能,分析、计算预警指标承载饱和度空间分布,确定海岸带各类单元(区域)的超载类型,直观展示超载区域及超载范围。

2.3 预警等级判定及警情分析

采用GIS绘制资源、环境、生态承载力预警图及海岸带综合承载力预警图,明确资源、环境、生态承载力的红色、黄色及绿色预警区边界和范围等。结合预警指标值的评价结果,判断资源、环境、生态承载力偏离阈值的程度。

2.4 预警预报及响应机制

港口主管部门根据预警等级,采取通报、公报等形式,根据警源类型向相关部门预警预报。如果警源为港口陆域土地资源开发,向城市建设主管部门预报;如警源为资源利用,向海洋、渔业主管部门预报;如警源为近岸海域水污染,向环境保护主管部门预报。并建立即时响应指挥管理体系,成立相应的响应队伍,实行联动,对发生预警区域的警源进行调查、核实,编制应急响应方案。

对预警的长期响应,港口主管部门则结合港口总体规划的环境管理信息,分析规划实施的可能环境影响,结合警源变化及预警指标承载饱和度空间分布,从调整港口定位、控制港口建设规模、优化港口水域和陆域布局、调整规划所包含建设项目建设时序等方面,研究制定规划下一步实施的优化调整建议,防范沿海港口生态环境风险。

3 案例研究

3.1 研究区概况

厦门港位于我国东南沿海、台湾海峡西岸,迄今

为此编制了4轮规划,分别是《厦门港总体布局规划(1993年)》、《厦门湾港口总体布局规划(2001年)》、《厦门港总体规划(2009年)》、《厦门港总体规划修编(2013)》。厦门港于20世纪90年代形成“一湾两港”的发展格局,2005年发展为8大港区,并成为我国沿海重要的主枢纽港和集装箱干线运输港。其中,正在实施的为《厦门港总体规划修编(2013)》,规划期2020年,港口功能定位为现代化装卸储存、中转换装,临海工业、仓储、旅游服务等功能,重点形成东渡、海沧、嵩屿、招银、后石、刘五店、石码、客运8大港区的总体发展格局。本文将重点研究《厦门港总体规划修编(2013)》(以下简称港口“2013版港口规划”)实施可能产生的环境风险,提出防范对策。

3.2 警源指标监控

根据2004–2014年厦门港遥感数据及环境质量统计分析,厦门港各轮总体规划实施中土地利用结构、岸线结构、水环境质量变化最为强烈,且产生的环境影响最大,故选用规划岸线利用长度、水污染物排放强度、建设用地及围填海面积作为警源指标,见表2。

表2 厦门港生态承载力警源指标
Table 2 Alert source index of Xiamen Port ecological carrying capacity

警源类型	警源监控对象	监控指标	指标演变过程	数据来源
陆域开发强度	土地资源开发强度	港口建设用地面积、范围	2014年较2004年增加83 km ² ,土地利用结构由林地、旱地为主,转变为建设用地为主;2013版港口规划较2014年仍将增加27.09 km ² 。	2004年、2014年数据采用SPOT高分辨率遥感影像数据。
潮间带开发强度	岸线资源开发利用强度	港口岸线利用长度、范围	2014年较2004年人工岸线增加36 km,自然岸线减少16 km;2013版港口规划较2014年仍将增加42.4 km。	2004年、2014年数据采用Landsat、HJ-CCD、GF-1等高分辨率多源卫星遥感数据。
近岸海域开发强度	水污染程度	水污染物排放量	2004–2014年港区所在的西海域、九龙江河口海域及马銮湾持续为中度或重度污染;2013版港口规划实施COD、氨氮、BOD ₅ 、排放总量将分别新增295、201、49 t/a。	2004、2014年水环境质量数据来源来源于厦门市环境质量公报,排放量数据根据2013版港口规划内容核算。
	围填海强度	围填海面积*	2014年较2004年增加5 km ² ;2013版港口规划较2014年将新增4.94 km ² 。	2004年、2014年数据采用Landsat卫星遥感数据。

注:*围填海是海岸带开发过程中对海岸带生态系统健康影响最为剧烈的压力因子,也是通过遥感技术最易于监控的开发活动^[9]。

3.3 预警指标监控及警情分析

厦门港生态承载力警源指标可能影响的资源环境要素包括土地资源、岸线资源、水环境、港口生态系统,预警指标包括生态承载饱和度、土地资源承载饱

和度、岸线资源承载饱和度、水环境承载饱和度及生态、资源、环境承载力综合承载压力度,采用承载饱和度及综合承载压力度计算方法,分析得到预警指标值及预警等级(表3)。

表3 厦门港生态承载力预警指标及计算结果
Table 3 Ecological carrying capacity alert index and index value of Xiamen Port

目标层	系统层	指标层	计算结果	总体预警等级
海岸带生态安全	海岸带生态系统承载饱和度	生态承载饱和度	-0.54	红色预警
	陆域生态系统承载饱和度	土地资源承载饱和度	-0.03	红色预警
	潮间带生态系统承载饱和度	岸线资源承载饱和度	-0.2	红色预警
	近岸海域生态系统承载饱和度	水环境承载饱和度	COD:0.54、氨氮:0.03、无机氮-3.14、活性磷酸盐-1.03	红色预警
	海岸带生态系统承载力承载饱和度	生态、资源、环境承载力综合承载压力度		红色预警

3.3.1 生态承载力承载饱和度及警情分析

考虑到关键物种或重要生态系统对环境变化敏感、种群生存力脆弱,若其处于良好生存状态,则具有类似生境需求的同类群其他物种也将处于一种良好生存状态,海岸带生态系统结构和功能也将趋于稳定状态。因此,采用关键物种或重要生态系统的生境状态表征生态系统承载力情况^[10,11],以保证其基本生存、繁殖需求的适宜生境作为生态承载力阈值。根据范小杉等对厦门港关键物种适宜生境的研究结果^[12],厦门港重要生态系统及物种生境主要分布于近岸海域,其中适宜、较适宜、不适宜生境分别为166.7、242.3、514.1 km²。采用规划围填海面积等警源指标与生态承载力空间分布叠加分析可知,翔安、东渡港区占用重要生态系统及物种适宜生境面积最大,分别占用5.35、3.71 km²;其次为海沧港区,占用较适宜生境3.87 km²。生态承载饱和度为-0.54,为红色预警,2013版港口规划实施后生态承载力将处于超载状态。其中,红色预警区主要分布于翔安、东渡港区等生态承载力严重超载区,黄色预警区分布于海沧港区等临近超载区,绿色无警区分布于招银、后石港区等未超载区(图2)。

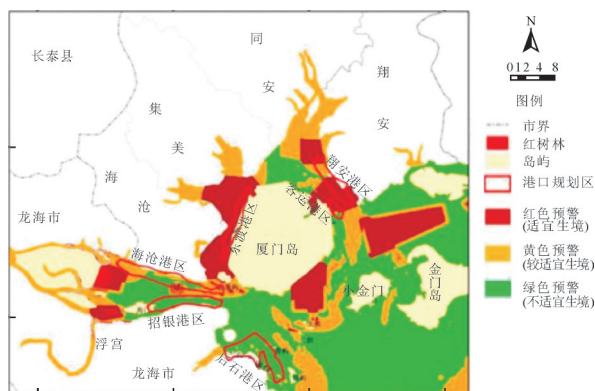


图2 生态承载力预警等级分布图
Fig.2 Early warning level distribution drawings of ecological carrying capacity

3.3.2 土地资源承载饱和度及警情分析

采用生态适宜性评价方法设定厦门港土地资源承载力阈值^[10],根据孙志苗等对厦门港土地资源承载力研究结果^[13],厦门市适宜、较适宜、不适宜建设用地面积比例分别为2.9%、3.5%、93.6%,规划港区占用不适宜、较适宜、适宜建设用地分别为0.43、12.33和2.1 km²。规划建设用地面积等警源指标与土地资源承载力空间分布叠加分析可知,翔安、东渡、海沧港区分别占用不适宜建设用地0.36、0.065和0.6 km²,土地资源承载饱和度为-0.03,预警等级为红色预警,2013版港口规划实施后土地资源将处于超载状态。其中,红色预警区主要分布于翔安港区北部和南部局部区域,黄色预警区分布于翔安、东渡、海沧、招银、客运港区,绿色无警区主要分布于后石港区等未超载区(图3)。

色无警区主要分布于后石港区等未超载区(图3)。

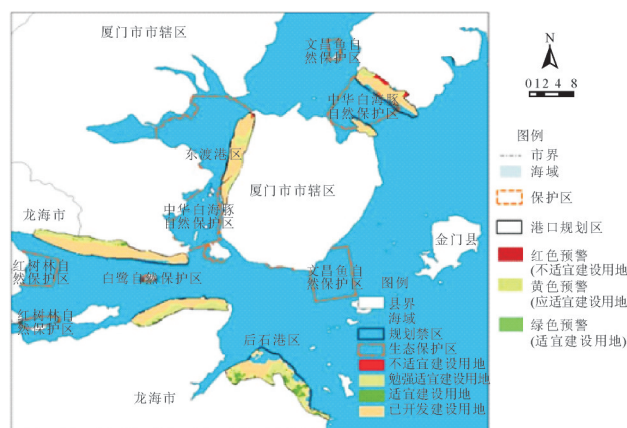


图3 土地资源承载力预警等级分布图
Fig.3 Early warning level distribution drawings of land resources carrying capacity

3.3.3 岸线资源承载饱和度及警情分析

采用生态适宜性评价方法设定厦门港岸线资源承载力阈值,根据范小杉等对厦门港岸线资源承载力研究结果^[12],厦门港适宜、较适宜、不适宜建港岸线占比分别为10.1%、64.9%、25%,规划港口岸线等警源指标与岸线资源承载力空间分布叠加分析可知,东渡、翔安港区占用不适宜建港岸线最长,分别占7.55%、6.38%,后石、招银、客运港区占用较适宜岸较长,厦门港岸线资源承载饱和度为-0.2,预警等级为红色预警,2013版港口规划实施后岸线资源承载力将处于超载状态。其中,红色预警段主要分布于后石、招银港区等严重超载段,黄色预警段主要分布于后石港区、招银港区、客运港区,绿色无警段分布于海沧港区等未超载段(图4)。

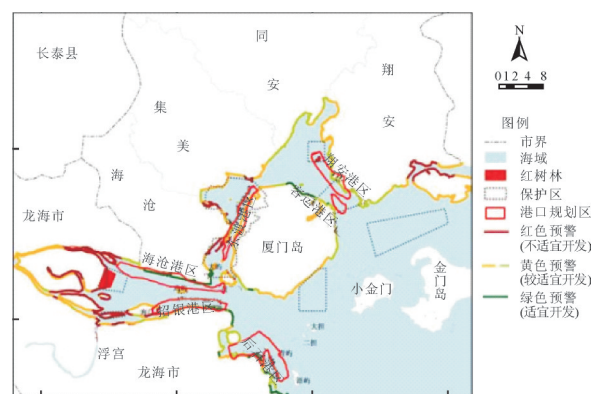


图4 岸线资源承载力预警等级分布图
Fig.4 Early warning level distribution drawings of coastline resources carrying capacity

3.3.4 水环境承载饱和度及警情分析

水环境承载力一般采用水环境容量来表征^[10],根据张珞平等的研究成果^[14],厦门湾海域COD、氨氮、无机氮、磷酸盐容量利用率(现状入海量/环境容量)分别为45.7%、96.6%、414.4%、202.8%,规划实施后厦门港4类污染物排放量分别为6.2、1.1、5.4和0.2万t/a,

水环境承载力饱和度分别为0.54、0.03、-3.14、-1.03。COD、氨氮的水环境承载力尚未超载,无机氮、活性磷酸盐的水环境承载力已超载,按“短板效应”原则,厦门港水环境压力将超过水环境承载范围,2013版港口规划实施后水环境将处于超载状态。

3.3.5 综合承载力及警情分析

采用综合承载压力度评价法计算,厦门港综合承载压力度1.67,资源、环境、生态为弱承载。2013版港口规划实施后,土地资源、岸线资源、生态系统、水环境预警等级为红色预警,故厦门港生态承载力整体为红色预警。

厦门湾海域主要水污染源为入海河流,各类水污染物占比均在70%以上,直排海污染源(污水处理厂)及海域污染源(船舶污染)占比相对较小,厦门港排放水污染物占直排海污染源污染物在1%以下,考虑到厦门港港口排放污水对厦门湾海域水环境质量影响甚微,且排放口位置不确定,故综合承载力空间分布只考虑土地资源、岸线资源、生态系统承载饱和度(图5),由图可知综合承载饱和度红色预警区主要分布于东渡、翔安、客运港区生态系统、土地资源严重超载区及海沧港区西部、招银西部岸线资源严重超载段;黄色预警区主要分布于招银南部、后石南部港区土地资源、岸线资源临近超载区(段);绿色无警区主要分布于后石港区北部、招银港区北部及海沧港区南部等局部未超载区。

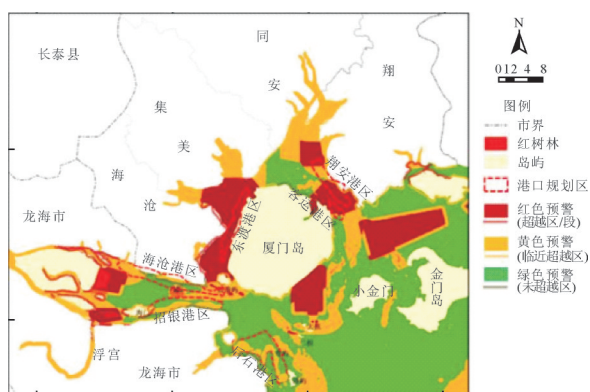


图5 综合承载力预警等级分布图
Fig.5 Early warning level distribution drawings of integration carrying capacity

3.4 预警响应

港口主管部门根据警情分析,制定了预警长期响应方案,对2013版港口规划作了优化,针对厦门港资源、环境、生态为弱承载,厦门港资源、环境、生态系统整体超载的状况,厦门港规划范围拓展至资源、环境禀赋较优越、开发强度相对较低的漳州市环东山湾,增加了古雷、东山、云霄和诏安港区。根据承载饱和度空间分布,从控制港口建设规模、优化港口开发布

局、调整运输货种、完善污水处理设施等方面,对2013版港口规划进行调整。翔安、东渡、客运港区等严重超载区,严格控制港口建设规模,降低货物运输规模;规划泊位、码头、港池、航道、锚地等水陆域布局避让重要生态系统及物种适宜生境、不适宜建设用地、不适宜建岸线;优化码头功能,控制油品和液化品等危险化学品运输,重点发展集装箱运输;加强港口污染防治,实施船、港、城设施衔接,确保港区污水和船舶污水的“零排放”,有效防范了2013版港口规划实施可能带来的生态环境风险。

港口主管部门将该响应方案通知海洋、渔业、自然资源、生态环境保护等相关管理部门,成立以港口管理部门预警指挥中心为核心,与地方政府(上级)和企业单位(下级)预警指挥中心形成联动机制的三级即时响应指挥管理体系。整合海洋、生态环境保护、林业、自然资源、等部门,成立响应队伍,编制了应急响应方案。

4 结论

海岸带作为海洋和陆地过渡带,生态环境较为脆弱,而高强度、大规模港口开发、临港产业发展对海岸带环境保护产生极大的压力,港口开发的环境风险预警问题越来越受到重视。本文提出基于“3S”技术的沿海港口生态承载力预警系统,对提高沿海港口环境风险防范能力和环境监管水平具极大的促进作用。但目前对沿海港口生态承载力预警系统的研究尚处于起步阶段,预警系统构建在很大程度上还基于生态承载力评价理论和经验分析,对涉及到生态承载力阈值确定、预警界限的确定等还应结合沿海港口的特点进行调整,另外预警预报信息共享平台、生态预警响应机制构建需多部门、多机构协作,涉及到沿海港口管理体制机制的优化和调整,因此该系统还需接受实践的检验和修订,并不断进行完善。

[参考文献]

- [1] 徐卫华,杨琰琰,张路,等. 区域生态承载力预警评估方法及案例研究[J]. 地理科学进展, 2017,36(3):306-312.
Xu Weihua, Yang Yanying, Zhang Lu, et al. Evaluation methods and case study of regional ecological carrying capacity for early-warning[J]. Progress in Geography, 2017,36(3):306-312.
- [2] 刘冉芝,石惠春,李鲁华. 甘肃省生态安全预警研究[J]. 中国农学通报, 2018,34(24):110-116.
Liu Ranzhi, Shi Huichun, Li Luhua. Ecological security early-warning of Gansu Province[J]. Chinese Agricultural

- Science Bulletin, 2018,34(24):110-116.
- [3] 朱玉林,李明杰,顾荣华. 基于压力-状态-响应模型的长株潭城市群生态承载力安全预警研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017,26(12):2057-2064.
- Zhu Yulin, Li Mingjie, Gu Ronghua. Security prewarning and regulation of ecological carrying capacity of Changsha-Zhuzhou - Xiangtan urban agglomeration based on press-state-response model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017,26(12):2057-2064.
- [4] 聂春霞,刘晏良,甘昶春. 新疆城市化进程中生态预警研究[J]. 长江流域资源与环境, 2013,22(3):379-385.
- Nie Chunxia, Liu Yanliang, Gan Changchun. Ecological early warning in the progress of urbanization in Xingjiang[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013,22(3):379-385.
- [5] 李坦. 区域生态系统安全预警研究进展[J]. 环境保护, 2018, 46(21):47-50.
- Li Tan. Review on the regional ecosystem security for early-warning[J]. Environment Protection, 2018,46(21):47-50.
- [6] 范小杉,何萍,陈帆,等. 沿海港口总体规划生态承载力环评技术方案[J]. 中国环境科学, 2017,37(5):1971-1978.
- Fan Xiaoshan, He Ping, Chen Fan, et al. Technical solutions for strategic environmental assessment on ecological carrying capacity-coastal ports master plan[J]. China Environmental Science, 2017,37(5):1971-1978.
- [7] 刘康,霍军. 海岸带生态承载力影响因素与评估指标体系初探[J]. 中国海洋大学学报:社会科学版, 2008(4):8-11.
- Liu Kang, Huo Jun. Preliminary study on influencing factors and evaluation index system of ecological carrying capacity of coastal zone[J]. Journal of Ocean University of China:Social Science Edition, 2008(4):8-11.
- [8] 高吉喜. 可持续发展理论探索-生态承载力理论、方法与应用[M]. 第1版. 北京:环境科学出版社, 2001.
- Gao Jixi. Theoretical Exploration of Sustainable Development-Methods and Applications of Ecological Carrying Capacity [M]. 1st edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2001.
- [9] 马万栋,吴传庆,殷守敬,等. 环渤海围填海遥感监测及对策建议[J]. 环境与可持续发展, 2015,3:63-65.
- Ma Wandong, Wu Chuanqing, Yin Shoujing, et al. Remote sensing monitoring and countermeasures of land reclamation from sea along Bohai Bay[J]. Environment and Sustainable Development, 2015,3:63-65.
- [10] 范小杉,何萍,董敬儒. 基于项目可持续发展规划的海岸带生态承载力评价研究进展[J]. 地球科学进展, 2017,32(1):90-100.
- Fan Xiaoshan, He Ping, Dong Jingru. Research advances of coastal ecological carrying capacity evaluation based on sustainable projects plan[J]. Advances in Earth Science, 2017, 32(1):90-100.
- [11] 范小杉,何萍,董敬儒. 生境适宜性评价研究进展[J]. 地球科学进展, 2017,1(1):90-99.
- Fan Xiaoshan, He Ping, Dong Jingru. Research progress on habitat suitability evaluation[J]. Advance in Earth Science, 2017,1(1):90-99.
- [12] 范小杉,何萍,贾娇,等. 基于生境保护的厦门港海岸线开发建港生态承载力评价[J]. 环境工程技术学报, 2017,7(3):374-381.
- Fan Xiaoshan, He Ping, Jia Jiao, et al. Ecological carrying capacity evaluation on exploiting coastline for port construction in Xiamen Bay based on habitat protection[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2017,7(3):374-381.
- [13] 孙志苗,孙金华,王维,等. 厦门港口规划土地资源承载力评价方法研究[J]. 环境工程技术学报, 2017,6(6):607-612.
- Sun Zhimiao, Sun Jinhua, Wang Wei, et al. Study on evaluation of land carrying capacity of Xiamen Port planning[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2017,6(6):607-612.
- [14] 张珞平,陈伟琪,江毓武,等. 厦门湾海域环境质量评价和环境容量研究[M]. 北京:海洋出版社, 2013.
- Zhang Luoping, Chen Weiqi, Jiang Yuwu, et al. Study on Environmental Quality Assessment and Environmental Capacity of Xiamen Bay[M]. Beijing: Ocean Press, 2013.