

大连市海域使用结构演变模拟及预测研究

陈睿彤¹, 李滨勇^{1,2}, 王权明^{1,2}, 黄小露^{1,2}, 詹思楚³

(1.国家海洋环境监测中心 辽宁 大连 116023; 2.国家环境保护海洋生态环境整治修复重点实验室 辽宁 大连 116023; 3.辽宁省地质学会 辽宁 沈阳 110033)

摘要:本文基于 CA-Markov 模型与多目标线性规划模型,从空间分布和数量控制的角度,研究了大连市海域使用结构的发展趋势,模拟其演变规律,并进行了预测。其中,通过遥感解译获得 1992 年、2002 年和 2012 年大连海域使用现状及海域使用结构多时序变化趋势;基于多目标线性规划模型,建立生态、经济、社会效益的目标方程,求解海域使用结构中各用海类型的最优配置方案;利用 CA-Markov 模型对大连市海域使用结构的空间布局进行预测。研究结果表明:(1) 1992—2002 年和 2002—2012 年两个时期,渔业用海面积占比具有绝对优势,为 70%~80%,但是一直呈负增长态势;旅游娱乐用海、交通运输用海、保护用海、造地工程用海均持续增长,而工业用海面积则先下降后增长。(2) CA-Markov 模型和多目标线性规划模型相结合,可发挥各模型优势,对于从数量结构和空间布局两方面模拟、预测海域使用结构及其空间布局具有较高应用价值。(3) 研究结果有助于研判海域使用结构的演变规律和发展趋势,可为海洋开发和保护程度的评价、海洋空间规划的调整等提供借鉴,为更加科学地管理和利用海洋空间资源提供重要参考。

关键词:海域使用结构; CA-Markov 模型; 多目标线性规划模型; 最优配置方案

中图分类号:X32 文献标识码:A 文章编号:1007-6336(2022)05-0676-07

Simulation and prediction of the use structure of Dalian coastal waters

CHEN Rui-tong¹, LI Bin-yong^{1,2}, WANG Quan-ming^{1,2},
HUANG Xiao-lu^{1,2}, ZHAN Si-chu³

(1.National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China; 2.State Environmental Protection Key Laboratory of Marine Ecosystem Restoration, Dalian 116023, China; 3.Society of Geology, Shenyang 110033, China)

Abstract: The CA-Markov model and the multi-objective linear programming model were used to simulate and predict the use structure in Dalian coastal waters from the perspective of spatial distribution and quantity control. Among them, through the means of remote sensing interpretation, we obtained the current situation of Dalian sea area use and the multi-sequential change trend of use structure in Dalian in 1992, 2002, and 2012; based on the multi-objective linear programming method, the objective equations of economic, ecological and social benefits were established to optimize the configuration of the use structure of the Dalian coastal waters; the CA-Markov model was used to predict the future spatial distribution of use structure of Dalian coastal waters. The research results show that: (1) In the two periods of 1992—2002 and 2002—2012, the sea area used for fishery dominated the overall sea use, accounting for about 70% to 80%, however, it was in a negative growth state; the sea area used for recreation, transportation, protection, and land reclamation projects has

收稿日期:2021-06-05, 修订日期:2022-03-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71904024)

作者简介:陈睿彤(1993—),女,天津人,硕士,主要研究方向为海洋环境质量评价, E-mail: 2477200715@qq.com

通讯作者:李滨勇(1980—),男,正高级工程师,博士,主要研究方向为海洋规划, E-mail: libinyong2006@163.com

shown an increasing trend, while the proportion of sea area for industrial use decreased first and then increased. (2) The combination of the CA-Markov model and the multi-objective linear programming model can give full play to the advantages of each model, and has high application value for simulating and predicting the sea area use structure and its spatial layout from the aspects of quantitative structure and spatial layout. (3) The research results are conducive to judging the evolution law and development trend of the sea area use structure, and can provide reference for the evaluation of the degree of marine development and protection, the adjustment of marine space planning, etc., and provide an important reference for more scientific management and utilization of marine space resources.

Key words: Marine use structure; CA-Markov model; Multi-objective linear programming model; Optimal configuration

党的十九届五中全会提出了“守住自然生态安全边界”“生态文明建设实现新进步,国土空间开发保护格局得到优化”等新要求。强化系统思维,从生态、经济、文化、产业、社会等因素对“海域使用结构”进行评价,进而得出海域保护和利用的最优配置方案,对于形成海域的综合生态安全格局具有重要意义。

本文定义的“海域使用结构”,是基于“土地利用结构”引申而来,是各种用海类型在一定区域内质和量的对比关系,以及它们组合所形成的一定格局或图式。“海域使用结构优化”则通过分析海域使用类型在质和量上的变化,获取海域使用结构的发展趋势与规律,并对其进行调整、优化。

许多国内外研究者对海域使用规划和用海结构进行了重点研究与实践。21世纪初,欧盟发布了 Borg 文件(“海洋愿景”绿皮书),将海域使用规划视为管理海洋资源的关键手段^[1]。美国马萨诸塞州的海峡群岛管理计划和加拿大东斯科舍陆架的综合管理计划重点考虑了海域使用结构规划^[2]。也有学者从不同视角对海域使用结构^[3-5]进行了研究。程博等^[6]对海域使用权属相关管理法进行了研究与解析。陈培雄等^[7]结合海域使用结构规划改革的最新背景,构建了省级海洋空间规划实施评价的基本框架。李彦平等^[8]利用海域“平面化”管理思路,从立体角度布局海洋产业、配置海域结构。胡文佳等^[9]总结了近年来国内外基于生态系统的海域使用结构规划的重要观点和研究进展。但是,目前的研究多侧重于定性描述,或者仅从数量组成和空间布局中的某个方面研究海域使用现状;而兼顾数

量组成和空间布局两方面,研究海域使用结构演变规律,并在现状分析的基础上对未来海域使用结构的最优配置进行模拟、预测的研究尚不多见。

本研究通过 CA-Markov 模型与多目标线性规划模型,从空间分布与数量控制相结合的角度,模拟和预测了大连市的海域使用结构。其中,通过遥感手段获取海域使用结构多时序变化趋势;基于多目标线性规划模型,求解海域使用结构中各类用海类型的最优数量配置方案;利用 CA-Markov 模型对大连市海域使用结构的空间布局进行预测。通过此项研究,旨在对海域使用动态分析与海域使用结构优化的研究方法开展新尝试,同时为实现海域利用综合效益最大化、海域空间资源的科学管理和使用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源及处理

1.1.1 遥感影像解译

首先,本文收集了 1992 年、2002 年和 2012 年三个时期的 TM 遥感影像,运用高精度差分 GPS-DGPS 测量系统,采集 60 个地面控制点,应用 ENVI 遥感软件进行几何精纠正和图像预处理。

其次,建立用海类型的分类样本,即根据遥感影像的分辨率、地物分布特点、尺度和抽象级别等特征,提取各海域使用类型的信息。根据建立的分类样本,对遥感影像进行监督分类。

最后,基于大连市海域确权数据和实地调研结果,在 Arcgis 中通过人机交互检查的方法对提取的海域使用分类结果进行核查,最终获得 3 个时期大连市近岸海域使用现状,为海域使用结构现状分析和趋势预测提供基础资料。

1.1.2 统计数据的收集及处理

基于《大连市海洋功能区划(2013—2020年)》《辽宁省统计年鉴》《大连市统计年鉴》、辽宁省海洋生态红线划定方案、海域使用现状空间分布图(1:10万)及海域确权数据等,梳理、确定2025年大连市各用海类型的面积目标指标,从而为构建多目标线性规划模型提供约束条件。

1.2 研究方法

1.2.1 技术框架

首先,构建多目标线性规划模型,求解大连市2025年海域使用结构的最优数量结果。以大连市近岸海域使用产生的生态、经济和社会效益最大化为目标,构建多目标线性规划模型,结合模糊数学算法,获得2025年各类海域使用面积在数量上的最优结果。

其次,研究海域使用变化规律,建立CA-Markov模型,模拟海域使用结构的运行规则。基于1992—2002年、2002—2012年大连市近岸海域的遥感解译结果,厘清海域使用变化规律。结合海洋功能区划等相关资料,建立各用海类型的变化规则,以便为CA-Markov模型模拟海域使用结构的动态变化提供模型参数。

最后,整合CA-Markov模型和多目标线性规划模型,模拟、预测海域使用结构。基于Arcgis软件平台,求解2025年从数量结构和空间分布两方面同时满足最优条件的各用海类型面积及其空间配置方案。具体技术路线如图1所示。

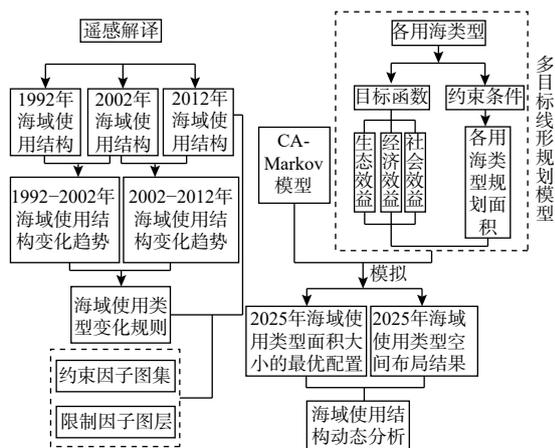


图1 技术框架

Fig. 1 Technical framework diagram

1.2.2 CA-Markov 模型

CA-Markov模型具有强大的空间计算能力,是解决空间演变的有力工具。CA-Markov模型由Markov链、多准则评估(multi-criteria evaluation, MCE)和CA^[10]组成。马尔可夫模型和CA模型分别在时间和空间模拟方面具有独特优势。而CA-Markov模型将二者优势结合,可以有效提高时空变化动态模拟的准确性和科学性。Markov链可准确模拟未来海域使用情况,CA模型的邻域关系分析也有助于各用海类型空间布局的预测。模型模拟具体步骤如下:

(1)利用Markov链计算各类型用海转移概率矩阵。在IDRISI软件中的MARKOV模块中,分别输入1992年、2002年和2012年海域使用现状数据,通过交叉表分析,得到海域利用类型转移概率矩阵。

(2)创建海域使用变化的影响要素图集。利用IDRISI软件中的MCE模块来创建影响要素图集。共选取4种因子,分别为海域水质、海岸线类型、水深、国家政策已明确的海域使用限制条件。其中,“国家政策已明确的海域使用限制条件”属于模型驱动的限制因子。例如,在当前生态文明建设新形势下,保护区用海发展成其他用海类型的可能性较小,因此,此类用海在模型运行中将被禁止转变为其他用海类型。其他3种因子属于驱动因子^[11-12]。通过层次分析法获得约束因子的权重系数,最后利用加权线性合并法得到海域使用变化影响因素图集。

(3)构造CA滤波器,完成海域使用变化模拟。利用IDRISI中CA-Markov模块,输入2012年海域使用现状图、2002—2012年海域使用变化的转移矩阵、2012年海域使用转换的影响要素图集。基于数量、空间和邻域转换规则,便可模拟出2012年、2025年海域使用结果。

1.2.3 多目标线性规划模型

多目标线性规划模型是一种求解最优化问题的方法。多目标线性规划构建数学模型如下:

$$\max \begin{cases} z_1 = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \cdots + c_{1n}x_n \\ z_2 = c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \cdots + c_{2n}x_n \\ \vdots \\ z_n = c_{n1}x_1 + c_{n2}x_2 + \cdots + c_{nn}x_n \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \vdots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n \leq b_n \\ x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

(1) 决策变量的确定

根据模型的变量设置原则^[13-14], 从大连近岸海域使用现状出发, 综合考虑变量的易获取性、目标函数效益系数的易确定性和数据的可操作

性, 共设置了 7 个变量: 渔业用海、工业用海、交通运输用海、保护用海、旅游娱乐用海、造地工程用海以及其他用海。

(2) 约束条件的设置

根据海洋功能区划、统计年鉴等资料确定 2025 年大连市各用海类型面积的约束条件; 并结合趋势外推法^[15]、GM(1,1)^[16] 模型确定各约束条件的系数以及对应的约束值(表 1)。

表 1 海域使用结构优化约束条件、系数以及约束值(km²)

Tab.1 Constraint condition, coefficient, and constraint value of sea use structure optimization(km²)

序号	因子	系数矩阵							方式	约束值
1	海域总面积约束	1	1	1	1	1	1	1	=	4363.85
2	渔业用海	1	0	0	0	0	0	0	≤	1550.54
3	工业用海	0	1	0	0	0	0	0	≤	36.93
4	交通运输用海	0	0	1	0	0	0	0	≤	1273.16
5	保护用海	0	0	0	1	0	0	0	≥	199.65
6	旅游娱乐用海	0	0	0	0	1	0	0	≤	469.41
7	造地工程用海	0	0	0	0	0	1	0	≤	71.31
8	其他用海	0	0	0	0	0	0	1	≤	762.85

(3) 目标函数的构建

从海洋环境保护与可持续发展的角度, 建立 3 个目标函数: 生态效益、经济效益和社会效益函数。参考海洋生态经济质量系统理论^[17], 分析和计算确定各个系数值。经济效益系数基于各种海域类型单位面积的产出价值, 通过海洋经济规模、海洋经济质量、海洋经济结构 3 个方面来计算。这 3 个方面分别以海洋生产总值占沿海地区生产总值比重, 海洋产业岸线经济密度, 海洋第一、二、三产业总产值等指标来表征。生态效益主要包括海洋生态状态与海洋生态服务价值 2 个方面, 主要涉及海洋生物多样性、海洋类型自然保护区面积等指标。社会效益主要包括各类用海从业人员情况、涉海人口数量等指标。各目标函数和系数如下:

经济效益目标函数为:

$$f(x)_{\max} = \sum_{x=i}^7 C_i x_i \quad (3)$$

式中: x_i 表示可以满足经济效益最大值函数 $f(x)_{\max}$ 时的 7 种海域用海类型的面积值, $f(x)_{\max}$ 表示求解经济效益最大值的函数; C_i 是各用海使

用类型的单位面积所输出的效益值系数。

生态效益目标函数:

$$h(x)_{\max} = k_i * (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7) \quad i = 1, 2, \dots, 7 \quad (4)$$

式中: $x_1 - x_7$ 表示可以满足生态效益最大值函数 $h(x)_{\max}$ 时的 7 种海域用海类型的面积值, $h(x)_{\max}$ 表示求解生态效益最大值的函数; k_i 分别表示各用海类型的单位面积对海洋生态状况的影响系数。

社会效益目标函数为:

$$g(x)_{\max} = C_1 * x_1 + C_2 * x_2 + C_3 * x_3 + C_4 * x_4 + C_5 * x_5 + C_6 * x_6 + C_7 * x_7 \quad (5)$$

式中: $x_1 - x_7$ 表示可以满足社会效益最大值函数 $g(x)_{\max}$ 时的 7 种海域用海类型的面积大小, $g(x)_{\max}$ 表示求解社会效益最大值的函数, $C_1 - C_7$ 代表各个用海类型的单位面积海域从业人员与涉海人口的承载力。

(4) 模型计算与解算

由于多目标线性规划往往有着两个或多个目标函数, 满足所有目标函数取最大值时的最优解, 通常是不存在的。因此, 在求解时, 往往通过

模糊数学的方法折中求解,模糊数学方法可以对多个目标函数进行模糊处理,使多个目标函数尽可能逼近其最大值。将多目标转换为单目标,进行模糊最优方案的求解。具体步骤如下:

先求出在约束条件下的各单目标 $Z_i, i = 1, 2, \dots, r$ 的最大值 Z_i^{\max} 。对每个目标 $Z_i, i = 1, 2, \dots, r$, 指定一个模糊伸缩指标 $d_i (d_i > 0)$ 。伸缩指标的选取原则是,越是重要的目标,其伸缩指针越小。对目标 Z_i , 构造一个模糊目标 \tilde{O}_i , 并定义其隶属函数:

$$\tilde{O}_i(x) = g_i \left(\sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \right) = \begin{cases} 0, & \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j < Z_i^{\max} - d_i \\ 1 - \frac{1}{d_i} \left(Z_i^{\max} - \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \right), & Z_i^{\max} - d_i \leq \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \leq Z_i^{\max} \\ 1, & \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \geq Z_i^{\max} \end{cases}$$

$$Z_i^{\max} - d_i \leq \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j < Z_i^{\max} \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (6)$$

式中:记 $\tilde{O}_i = \bigcap_{i=1}^r \tilde{O}_i$, 称 \tilde{O}_i 为多目标线性规划问题的模糊目标。记 $M = \{x | Ax \leq b, x \geq 0\}$, 则 M 为满足约束条件的可能解的集合,称为可行解域。而模糊数学中的模糊判决,可以用来求多目标线性规划的模糊最优解。模糊判决公式可表达为: $\tilde{M}_f = M \cap \tilde{O}$ 则称满足: $\tilde{M}_f(x^*) = \max_{x \geq 0} (M(x) \wedge \tilde{O}(x)) = \max_{x \in M} \tilde{O}(x)$ 的 x^* 为模糊最优解。同时, x^* 也是 $\tilde{O}(x)$ 在可行解域 M 上的最优解。至此,多目标问题可转化为单目标问题,然后求解。转化过程如下:

令 $\lambda = \tilde{O}(x) = \bigcap_{r=1}^r \tilde{O}_i(x)$, 那么求解多目标线性规划的模糊最优解问题可转化为:

$$\begin{cases} \max Z = \lambda \\ 1 - \frac{1}{d_i} \left(Z_i^* - \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j \right) \geq \lambda, i = 1, 2, \dots, r \\ \sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq b_k, k = 1, 2, \dots, m \\ \lambda \geq 0, x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

转换后得到:

$$\begin{cases} \max Z = \lambda \\ \sum_{j=1}^n c_{ij} x_j - d_i \lambda \geq Z_i^* - d_i, i = 1, 2, \dots, r \\ \sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq b_k, k = 1, 2, \dots, m \\ \lambda \geq 0, x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

上述公式是一个单目标线性规划模型的计算步骤,最后通过 Matlab 和 Lingo11.0 软件求解 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, \lambda^*)$, 其中, $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ 为多目标线性规划的模糊最优解, $Z^{**} = Cx^*$ 为多目标的模糊最优值。

2 结果与讨论

2.1 大连近岸海域使用结构的预测分析

2.1.1 海域使用结构变化趋势分析

1992—2012 年,大连市海域使用现状中(图 2)渔业用海面积具有绝对优势,占比为 70%~80%。其他面积占比在 5% 以上的用海类型,主要有旅游娱乐用海、交通运输用海和工业用海。各用海类型在 2012 年面积占比分别为 9.4%、7.5% 和 6.3%。1992—2002 年和 2002—2012 年两个时期,渔业用海面积呈负增长,旅游娱乐用海、交通运输用海、保护用海、造地工程用海的面积均持续增长,而工业用海面积则先下降后增长。

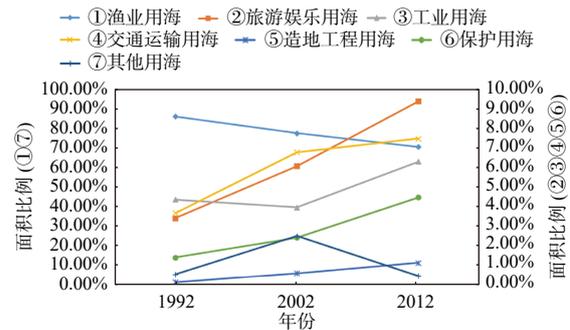


图 2 1992—2012 年大连近岸海域结构面积比例
Fig. 2 The proportion of the coastal waters of Dalian

渔业用海虽始终占据主导地位,但却呈负增长态势,其在 1992 年、2002 年、2012 年的面积占比分别为 86.2%、77.8% 和 70.7%。从空间布局来看,渔业用海主要散布在大连近岸海域。

旅游娱乐用海、保护用海在 2002—2012 年增长速率相对 1992—2002 年进一步提高,可能与滨海旅游业的蓬勃发展以及海洋保护越来越受到重视有关。旅游娱乐用海主要分布在大连庄河市青堆子湾海域,大连金石滩—大小窑湾—大连湾—棒棰岛—小平岛岸段的近岸海域,金州湾近岸海域、旅顺口区老铁山西部及东部等近

岸海域。保护用海主要涉及蛇岛老铁山、斑海豹、城山头海滨地貌等自然保护区范围。

交通运输用海在 2002—2012 年虽然持续增长,但相对 1992—2002 年增长率降低,增长减缓。交通运输用海主要集中在开发区、市内三区(沙河口区、西岗区和中山区)、长兴岛临港工业区、旅顺口区 and 庄河市,主要涉及大连港、大窑湾港、鲇鱼湾港、大连湾渔港、旅顺羊头洼港、大孤山港区、长兴岛港区和庄河港等。

工业用海面积占比在 1992—2002 年呈下降趋势,而 2002—2012 年却呈增长态势,2002—2012 年面积平均增长率均在 58.55% 以上。工业用海主要离散分布于大连海域的西北与东南近岸海域。

2005—2015 年,造地工程用海一直稳定增长。自 2017 年以来,国家陆续出台了《围填海管控办法》和《关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》(国发[2018]24 号)等文件,严格管控围填海。因此,造地工程用海面积未发生显著变化。

2.1.2 海域使用变化转移分析

从一个角度分析各用海类型在不同时期面积的变化,仅能初步掌握海域格局的面积改变,无法明确各用海类型间的转化关系。利用 Markov 模型可获取不同海域类型间的转移概率。

1992—2012 年,在转出变化中,渔业用海转移为旅游娱乐、工业和交通用海的概率较高。在转入变化中,保护用海属于转入面积最大的用海类型,而工业用海的转入、转出面积差别不明显。

总体来说,1992—2012 年大连近岸海域使用格局持续发生改变。随着近岸海域用海矛盾的凸显,海域使用类型转换更加频繁。

2.1.3 海域使用结构模拟分析与优化配置

运行 CA-Markov 模型模拟 2012 年大连市海域使用空间布局,并将模拟结果与海域使用现状对比分析(图 3)。两种结果用海类型分布总体一致,各海域类型精度均不小于 80%。其中,渔业用海和工业用海的模拟精度相对较高,拟合度分别为 0.86 和 0.83。

在优化调整模型参数的基础上,结合多目标线性规划模型,计算出 2025 年大连市各类用海

面积的最优配置,进一步模拟得出 2025 年大连市海域使用预测结果(图 4、图 5)。

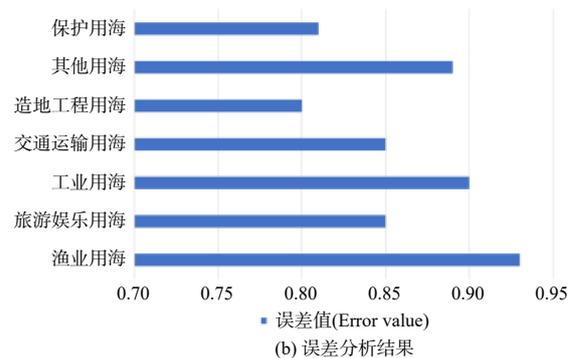
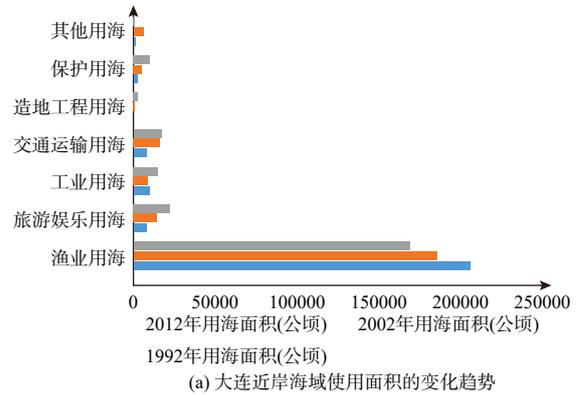
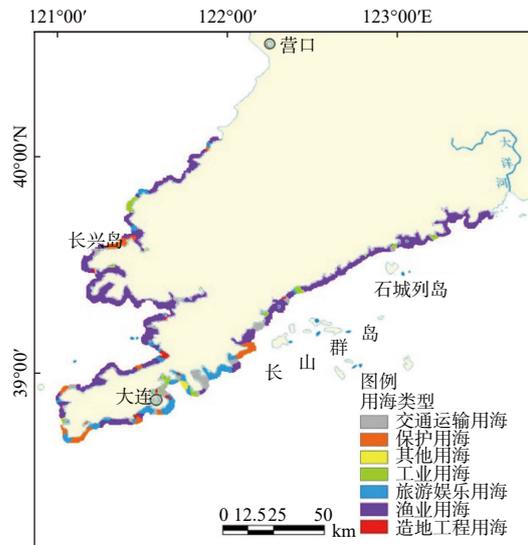


图 3 1992—2012 年大连近岸海域使用面积的变化趋势与误差分析情况

Fig. 3 The change trend and error analysis of the used area of Dalian coastal waters from 1992 to 2012



注: 底图源于自然资源部地图服务网站

(http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/). 审图号: GS(2019)3333 号

图 4 2025 年海域使用预测结果

Fig. 4 Forecast results of sea area use in 2025

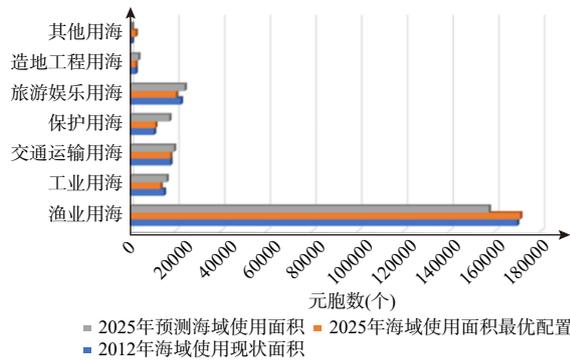


图5 大连市近岸用海类型现状面积、优化值、预测值结果
Fig. 5 Results of the current area, optimized value, and predicted value of different sea use types in Dalian coastal waters

2.2 讨论

本研究将 CA-Markov 模型和多目标线性规划模型相结合并应用到海域使用结构研究中,是海域空间结构模拟的一种新方法尝试,为同时从数量结构和空间布局两方面分析和预测海域使用结构变化提供了一定的技术支持。海域使用结构变化是一个复杂的演变过程,不仅受海域地理条件的影响,也受海域开发保护政策的干预。由于模型中对政策因素的考虑相对薄弱,导致部分用海类型模拟结果误差相对偏大,如模型模拟的保护用海面积与海洋自然保护区、海洋公园等保护区划定的面积误差相对较大。在后续研究中,将进一步综合考虑生态、经济、社会效益,优化海域使用演化驱动因子和目标函数的选取,并结合支持向量机、神经网络等方法,弥补模型在政策因素考虑不足的短板,提高模拟、预测的准确度。

3 结论

(1) CA-Markov 模型在海域使用结构优化研究中,对各用海类型的模拟精度较高。CA-Markov 模型和多目标线性规划模型的相互结合,可发挥各自模型的优点,从数量结构和空间布局两个方面模拟、预测海域使用结构及其空间布局,具有较高的应用价值。其中,合理选取海域使用变化的驱动因子和约束条件是模型运行、提高精度的关键。

(2) 模拟结果有利于研判海域使用结构的演

变规律和发展趋势,可为海洋开发和保护程度的评价、海洋空间规划的调整等提供借鉴。

参考文献:

- [1] DOUVERE F. The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management[J]. *Marine Policy*, 2008, 32(5): 762-771.
- [2] BORJA A, COLLINS M. Regional Seas integrative studies, as a basis for an ecosystem-based approach to management: the case of the Bay of Biscay[J]. *Continental Shelf Research*, 2009, 29(8): 951-956.
- [3] 杜培培. 莱州湾海域空间开发利用格局及强度分析[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2016.
- [4] 张建丽, 宋德瑞, 初佳兰, 等. 基于数据挖掘的海域使用现状研究——以辽宁省近岸海域为例[J]. *海洋环境科学*, 2020, 39(3): 407-412.
- [5] 孔 昊, 杨顺良, 罗美雪, 等. 围填海造地与土地管理制度衔接的地方实践研究——以福建省为例[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(5): 720-725, 729.
- [6] 程 博, 翟云岭, 李滨勇. 海域使用权属转让管理制度法律探析[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(1): 35-40.
- [7] 陈培雄, 李欣瞳, 周 鑫, 等. 海域资源市场化配置问题及制度完善浅谈[J]. *海洋信息*, 2017 (3): 48-51.
- [8] 李彦平, 刘大海. 基于立体化开发的海域资源配置方法研究[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(3): 435-440.
- [9] 胡文佳, 陈 彬, 马志远, 等. 基于生态系统的海洋空间规划: 研究进展与启示[J]. *海洋开发与管理*, 2020, 37(4): 3-11.
- [10] MITSOVA D, SHUSTER W, WANG X H. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 99(2): 141-153.
- [11] 张广帅, 闫吉顺, 张全军, 等. 基于主成分分析法近岸海水环境质量与空间异质性研究——以庄河港近岸海域为例[J]. *海洋环境科学*, 2020, 39(2): 244-252.
- [12] 杨 一, 李维尊, 张景凯, 等. 渤海湾天津海域海洋环境污染防治策略探讨[J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(1): 49-54.
- [13] 张贵祥, 黄凌云, 刘彦随. 区域土地利用结构优化数学模型——以浙江省乐清市为例[J]. *山西师范大学学报: 自然科学版*, 2000, 14(3): 90-94.
- [14] 苏 勤, 曹有挥. 2000年安徽省土地利用结构优化研究[J]. *资源开发与市场*, 1997, 13(1): 16-19.
- [15] LIU Y Y, HAN J, ZHANG G Z. Research on intelligent extension technology for curves based on trend extrapolation[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 482/483/484: 2596-2599.
- [16] 郭荣中, 杨敏华. 长株潭地区生态系统服务价值分析及趋势预测[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(5): 238-246.
- [17] 陈睿彤. 海洋生态经济质量评估研究——以沿海11省市为例[J]. *国土与自然资源研究*, 2019 (6): 62-63.