

DOI: 10.5846/stxb202003270715

黄毅熠, 吝涛, 胡灯进, 薛雄志, 张国钦. 小尺度海域空间评价单元划分技术研究——以福建省东山湾为例. 生态学报, 2021, 41(2): 707-716.

Huang Y Y, Lin T, Hu D J, Xue X Z, Zhang G Q. The spatial division approach of evaluation units in fine-scale sea area: a case study of Dongshan Bay, Fujian Province. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(2): 707-716.

小尺度海域空间评价单元划分技术研究 ——以福建省东山湾为例

黄毅熠^{1,2}, 吝涛^{1,*}, 胡灯进³, 薛雄志², 张国钦¹

1 中国科学院城市环境研究所, 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021

2 厦门大学海洋与海岸带发展研究院, 厦门 361102

3 福建海洋研究所 福建省海岛与海岸带管理技术研究重点实验室, 厦门 361013

摘要: 科学合理的海域空间评价单元划分是各类海洋空间监测、评价、规划和管理的基础工作, 对于保护海洋生态环境, 实现海洋资源的可持续开发利用具有重大现实意义。然而, 海洋的流动性、开放性、边界模糊性等特征, 导致海洋空间评价单元划分较陆地而言更为复杂、困难。以福建省东山湾为例, 提出一种适用于小尺度海域的空间评价单元划分技术方案, 通过从化学属性、物理属性、生物学属性三个方面构建海域空间生态属性划分指标体系, 进行空间分类评价, 运用插值、叠加分析等 GIS 技术将东山湾划分为 67 个基本空间评价单元。研究结果不仅能为进一步划定东山湾海洋空间规划提供技术支持, 同时为其他小尺度海域生态监测、评价、规划和管理提供科学参考。

关键词: 海洋空间规划; 空间评价单元; 划分技术; 小尺度; 东山湾

The spatial division approach of evaluation units in fine-scale sea area: a case study of Dongshan Bay, Fujian Province

HUANG Yiyi^{1,2}, LIN Tao^{1,*}, HU Dengjin³, XUE Xiongzhizhi², ZHANG Guoqin¹

1 Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 Coastal and Ocean Management Institute, Xiamen University, Xiamen 361102, China

3 Key Laboratory of Coast and Island Management Technology Study, Fujian Institute of Oceanography, Xiamen 361013, China

Abstract: For the sustainable development and utilization of marine resources, and protection of marine ecological environment, coastal countries have successively implemented marine spatial planning (MSP). MSP is considered as an important marine management tool, which is an indispensable part of marine ecological civilization construction in China. Scientific and reasonable division of marine spatial units is the basic work of marine spatial monitoring, evaluation, planning and management, which is of great practical significance for the protection of marine ecological environment and the sustainable development of marine resources. However, the characteristics of the ocean, such as mobility, openness and boundary ambiguity, make the division of marine spatial units more complex and difficult than that of land. In this study, we collect a large number of data from environmental monitoring sites in Dongshan Bay. Based on the comprehensive and detailed data which can capture ecological environment status, we propose a technical scheme of spatial evaluation units division which is suitable for fine-scale sea areas. The scheme constructs the index system for the division of marine spatial evaluation units based on the physical, biological and chemical elements. Combined with GIS technology such as

基金项目: 福建省公益类科研院所专项 (2016R1006-7)

收稿日期: 2020-03-27; 网络出版日期: 2020-11-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tlin@iue.ac.cn

interpolation and spatial overlay analysis, Dongshan Bay is divided into 67 basic spatial evaluation units, which is a more accurate and scientific division of marine spatial units. On the basis of marine spatial units, local government can carry out the marine spatial monitoring, evaluation, planning and management. The marine environmental protection strategies and marine exploitation activities can be formulated for the sea areas with different environmental endowments by considering the local conditions. This division approach can not only provide technical support for the MSP of Dongshan Bay, but also can be a supplement of spatial units division approach for marine spatial monitoring, evaluation, planning and management. This division approach is suitable for fine-scale sea areas, but it is also applicable to large and medium-scale sea areas where complete and detailed environmental monitoring data can be obtained. The technical scheme of marine spatial units division proposed in this study has a wide application prospect.

Key Words: marine spatial planning; spatial evaluation units; spatial division approach; fine-scale; Dongshan Bay

为了合理有序地开发海洋资源,维护海洋生态系统健康,各沿海国家相继实施了海洋空间规划^[1-6]。海洋空间规划起源于20世纪70年代的澳大利亚海洋保护区管理,已被广泛应用于澳洲和欧美等国的海域^[1-7]。在国外的海洋空间规划实践中,通常会针对不同的海域进行分区管理并结合生态环境保护目标制定细化的管理措施。如澳大利亚将大堡礁保护区划分为8个不同类型的管理区^[8]。我国也同步探索和建立了一系列海洋空间规划^[7,9],包括海洋功能区划^[10-12]、海洋主体功能区划^[13-14]、海洋生态红线^[15-16]和围填海计划管理^[17-19]等。

海洋空间规划的基本技术路线主要包括:确定研究区域;空间评价单元划分;现状评价;确定区划方案^[2,20]。空间评价单元是对海洋进行定量评价的基本单元,海洋空间评价单元的划分是各类海洋空间监测、评价和规划重要且关键的步骤^[21],划分的合理与否直接关系到区划结果的可信度。陆域主体功能区划中,国家一级和省一级的主体功能区划均以县级单位(市、县、区)为主体功能区划的评价单元^[13]。然而,相较于陆地而言,海洋缺乏明确的地貌、植被等地理边界,海域水体的垂直分层结构以及高连通性、流动性导致的单位空间内多属性复合特征,此外,不同规划目的选取的评价指标不同,也会影响空间评价单元的设置,导致海洋空间评价单元的划分更为复杂,若单纯将小尺度海域(县级)作为大尺度海洋空间规划中的一个同质单元,则忽略了小尺度海域内部由于具备不同的物理、化学及生物生态学特征所导致的结构和功能差异。此外,现有国家级海洋空间规划属于大尺度、粗颗粒性划分^[21-23],而地方管辖海域面积较小,通常缺乏国家规范中所涉及相关指标的专项调查,代之以常规性海域生态环境调查为主,包括化学、物理、生物性评价指标,这些常规指标更为精细,但往往在国家级海洋空间规划中作用不明显。迄今,如何针对地方性保护需求,在小尺度海域进行空间评价单元划分仍缺乏技术方法指导与实践,急需开展小尺度海域空间评价单元划分的技术方法研究。

从尺度上看,若空间评价单元划分的越小,则方案精度越高,难度越大,评价也更为复杂^[13]。从类型上看,目前各类海洋空间规划的空间评价单元划分方法主要有三种:(1)以行政单元(市、县)边界作为空间评价单元。目前的海洋主体功能区划多以地级、县级行政管辖海域为基本单元^[24-25],但生态系统的管理边界应是其自然边界而非行政边界^[26],基于行政边界的单元划分虽简单且便于管理,但忽略了研究区域内自然禀赋的差异,缺乏科学依据。(2)采用网格法划分空间评价单元,如Day在南澳大利亚的斯宾塞湾开展海洋空间规划时,将研究区域划分为5 km×5 km的空间评价单元^[3];许妍等以2.5 km×2.5 km的网格作为划定渤海湾生态红线的空间评价单元^[16]。网格划分技术对海域进行几何切割,对空间评价单元内的生态系统完整性考虑不足。(3)根据生态属性划分空间评价单元。Douvere在比利时北海海域空间规划研究中根据水深这一物理属性要素划分空间评价单元^[27];陈甘霖利用等深线和底质类型边界等物理属性要素对东山湾进行海洋生态红线空间评价单元分区^[15];王佩儿在浙江省宁波市象山港的海洋功能区划的空间评价单元中不仅考虑到潮流迁移、扩散等物理属性要素,还兼顾了水产资源等生物学属性要素^[28]。这些划分方法各有侧重,仅考虑

了单一的生态属性,若要对不同海域的环境质量管控与干扰性的修复,还需全面考虑生态系统的物理属性、化学属性和生物学属性的空间评价单元划分技术。

本研究采用福建省东山湾的常规海域海岸生态环境和沿海岸线、地形(质)、海水动力等调查数据,考虑当地对东山湾不同海域空间的环境质量管控和人为干扰区域修复的需求,在我国最小的海域管理行政单元(县级)管辖空间内,以生态属性划分为主,综合网格划分相关技术,构建了全面考虑生态系统的物理属性、化学属性和生物学属性的空间评价单元空间评价单元划分指标体系,运用空间插值和叠加等分析手段,探究适合小尺度海域空间评价单元划分技术方案,该研究成果不仅能为东山湾海洋空间规划提供技术支持,同时能为当前海洋空间监测、评价、规划和管理单元划分方法提供补充和完善依据。

1 研究区概况

东山湾介于东经 $117^{\circ}22'21.05''$ — $117^{\circ}36'55.60''$,北纬 $23^{\circ}43'14.11$ 至 $23^{\circ}58'27.87''$ 之间,位于福建省漳州市,沿岸分属漳浦、云霄和东山县。海域总面积约为 240 km^2 ,属窄口型半封闭海湾,湾口内还有马鞍屿、虎屿、大坪屿等小岛,并有漳江口红树林国家级自然保护区和东山珊瑚省级自然保护区,是福建省三大优良港湾之一(图1)。近年来随着沿岸海水养殖业的发展和人口的增加,养殖污水、生活废水的排放,威胁着湾内的渔业资源及珊瑚保护区^[29]。急需开展针对地方需求的海洋空间规划,以协调用海秩序,缓解人类活动与海洋环境保护之间的矛盾,改善沿岸居民的生存环境,为当地海洋资源可持续利用提供保障。

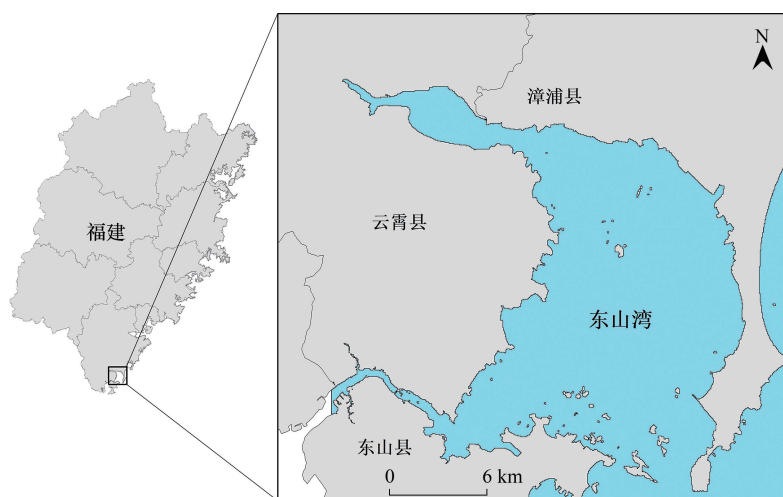


图1 福建省东山湾位置图

Fig.1 Location of Dongshan Bay, Fujian Province

2 研究方法

本研究的海域空间评价单元划分技术方案将从指标体系构建、指标计算方法和在 GIS 平台上的操作实现步骤三个层次详细阐述。

2.1 空间评价单元划分依据及其指标体系

海洋的流动性和边界模糊性增加了海洋空间规划的难度,划分海域空间评价单元时须充分考虑地形地貌、流场、资源、生物、生态环境现状等海洋自然属性,以充分了解海洋生态环境现状为前提^[30-31],因此本研究将研究海域的自然生态环境要素作为对海域空间评价单元划分的主要依据。此外,海域内关键物种的栖息生境,如红树林,珊瑚礁,白海豚等本身就可以作为单独一类的空间评价单元先行设定,本文不作具体分析。本文主要考虑常见的三类海洋生态环境调查数据类型,从生物属性、物理属性、化学属性三个方面构建海域空间

评价单元划分的指标体系,采用层次分析法确定指标权重(表1)。一级指标中:化学属性指标用于表征研究区域的化学属性环境状况;物理属性指标表征研究区域的海水物理环境状况;生物学属性指标表征研究区域的生物数量和丰富度。二级、三级指标根据一级指标的评价目的,筛选易于监测并能反映海洋生态环境特征关键表征指标和环境要素。受案例区实地调查数据获取限制,本文仅选择了生物学属性、物理属性、化学属性三类指标中常见并且可获得的指标进行案例分析研究。

表 1 海域空间评价单元划分的指标及权重
Table 1 Indicators and weight of marine spatial evaluation unit division

一级指标 Primary Indicators	二级指标及权重 Secondary Indicators and weight	三级指标及权重 Tertiary Indicators and weight
化学属性指标 Chemical Indicators	水质综合指标(0.50)	盐度
		溶解氧
		化学需氧量
	沉积物综合指标(0.50)	活性磷酸盐
		氨氮
		石油类
物理属性指标 Physical Indicators	水深指标(0.50)	镉
	流速指标(0.50)	有机碳
生物学属性指标 Biological Indicators	浮游动植物和底栖生物综合指标(0.33)	浮游动植物和底栖生物量指标(0.50)
		浮游动植物和底栖生物种类指标(0.50)
	鱼卵和渔获物综合指标(0.33)	鱼卵密度和渔获物重量指标(0.50)
		鱼卵和渔获物种类指标(0.50)
	叶绿素 A 浓度指标(0.33)	叶绿素浓度指标(1)

本研究所需数据来源于《改革与优化用海项目立项环评工作——十三个海湾及海坛岛海域环境与资源现状调查》,由福建省海洋研究所提供,包括:2016 年 35 个水质调查站位、22 个表层沉积物质量调查站位、22 个叶绿素 a 调查站位、22 个浅海大型底栖生物调查站位、8 条潮间带底栖生物调查断面和 15 个渔业资源调查站位春秋两季的生态环境数据,以及水深、涨落潮流速、海岸线、海岛等矢量数据(表2)。

表 2 研究数据
Table 2 Research data

数据类型 Data types	数据内容 Data content
水质数据 Water quality data	盐度、溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、氨氮
表层沉积物质量数据 Surface sediment quality data	石油类、镉、有机碳
叶绿素 a 调查数据 Chlorophyll a survey data	叶绿素 a 浓度
生物量数据 Biomass data	浮游动植物的生物量和种类、潮间带底栖生物的生物量和种类
渔业资源数据 Fishery resource data	鱼卵种类和密度;渔获物种类和重量
水深地形数据 Water depth and topography	水深点矢量数据
海岸线矢量数据 Coastline vector data	岸线空间矢量数据
海岛数据 Island vector data	海岛岸线矢量数据
海水动力数据 Sea dynamic condition data	流速矢量数据

2.2 指标计算
2.2.1 化学属性指标计算方法

海洋化学指标由水质和沉积物数据计算,对水质综合指标与沉积物综合指标赋予相等权重。其中,水质综合指标用于表征研究区域水质状况;沉积物综合指标表征沉积物质量。计算公式如下:

[水质综合指标] = max([盐度], [溶解氧], [化学需氧量], [活性磷酸盐], [氨氮])

[沉积物综合指标] = max([石油类], [镉], [有机碳])

[化学属性指标] = mean([水质综合指标], [沉积物综合指标])

2.2.2 物理属性指标计算方法

物理属性指标由水深和流速数据计算,对二者赋予相等权重。计算公式如下:

[物理属性指标] = mean([水深], [流速])

2.2.3 生物学属性指标计算方法

生物学属性指标由浮游动植物和底栖生物综合指标、鱼卵和渔获物综合指标、叶绿素 a 浓度数据计算,其中,浮游动植物和底栖生物综合指标用于表征研究区的生物富集程度;鱼卵和渔获物综合指标用于表征研究区的渔业生物富集程度。计算公式如下:

[浮游动植物和底栖生物量指标] = sum([浮游动物生物量], [浮游植物量], [底栖生物生物量])

[浮游动植物和底栖生物种类指标] = sum([浮游动物种类], [浮游植物种类], [底栖生物种类])

[浮游动植物和底栖生物综合指标] = mean([浮游动植物和底栖生物量指标], [浮游动植物和底栖生物种类指标])

[鱼卵密度和渔获量重量指标] = sum([鱼卵密度], [渔获物重量])

[鱼卵和渔获物种类指标] = sum([鱼卵种类], [渔获物种类])

[鱼卵和渔获物综合指标] = mean([鱼卵渔获量指标], [鱼卵渔获物种类指标])

[生物学属性指标] = mean([叶绿素 a 浓度], [浮游动植物和底栖生物综合指标], [鱼卵渔获物综合指标])

权重用在不同目的的海洋规划和不同海洋区域可能会产生不同,本文重点是探索空间评价单元划分,因此仅选用最简单的均等权重,对各等级的分指标赋予相等权重。

2.3 基于 GIS 的空间评价单元划分实现过程

2.3.1 基于 GIS 的化学属性指标空间栅格化实现

①评价指标的矢量化。将春秋两季的水质监测数据和表层沉积物监测数据分别空间化为矢量点图层。②评价指标的栅格化。采用反距离加权插值将矢量点图层转化为 50m×50m 的栅格图层(本研究均采用 50m×50m 的网格),并将各指标春秋两季的栅格图层进行平均。③评价指标分级。将平均后的各指标栅格图分为四级,水质数据参照《海水水质标准(GB 3097—1997)》中的四类水质标准,针对没有标准的水质指标和表层沉积物指标,采用自然断点法按照污染程度从低到高分为 1 到 4 级。④多指标空间叠置分析。分别将各水质(沉积物)评价指标的分级栅格图层进行叠加,取叠加后像元的最大值,得到水质(沉积物)综合指标。将水质综合指标与沉积物综合指标的栅格图层进行平均,并使用自然间断点法按照值的大小,从小到大分为 1 至 4 级,得到研究区化学属性指标的栅格图层。

2.3.2 基于 GIS 的物理属性指标空间栅格化实现

①评价指标的栅格化。采用反距离加权插值法将水深、流速的矢量图层转化栅格图层。②评价指标分级,主要从海水自净、稀释、降解能力的改变考虑,采用自然间断点法将水深按照由浅到深分为 1 至 4 级,将流速栅格图层按照由低到高分为 1 到 4 级。③空间叠置分析。将水深和流速栅格图层进行叠加,取叠加后像元的均值,并使用自然间断点法按照均值的大小,从小到大分为 1 到 4 级,得到物理属性指标的栅格图层。

2.3.3 基于 GIS 的生物学属性指标空间栅格化实现

①评价指标的矢量化。将春秋两季的浮游动植物生物量、种类;潮间带底栖生物的生物量、种类;鱼卵种类、密度;渔获物种类、重量等监测数据分别空间化为矢量点图层。②评价指标的栅格化。采用反距离加权插值法将各指标的矢量图层转化为栅格图层,并将各指标春秋两季的栅格图层进行平均。由于量纲不同,为便于计算,将平均后的浮游动植物生物量、底栖生物生物量、鱼卵密度、渔获物重量栅格图层通过极值标准化方

法,归一化至[0, 1]。④多指标空间叠置分析。基于各评价指标的栅格图层和权重进行空间叠置计算,并使用自然间断点法按照值的大小,从小到大分为 1 到 4 级,得到生物学属性指标的栅格图层。

2.3.4 基于 GIS 的空间评价单元划分

将化学属性指标、物理属性指标、生物学属性指标的栅格图层转化为矢量图层,运用图层相交分析工具,得到研究区海域空间评价的初始基本单元。为了减少评价单元的破碎程度,按就近原则,进一步将初始基本单元中面积小于 1 km²的单元合并到有邻接关系的大单元。若有多个大单元有邻接关系,则将小单元合并至周边面积最大的邻接单元,由此得到海域空间基本评价单元。

3 结果分析

3.1 空间评价单元划分依据及其指标体系

化学属性指标共分四级,1 到 4 级代表研究区内的海水化学污染状况由轻到重。评价结果显示(图 2,表 3),不存在 1 级区;3 级区面积最大,达 257.35 km²,占研究区的 66.86%;其次是 4 级区域,占比为 29.99%,主要出现在漳浦县、云霄县和东山县沿岸,这是由于沿岸区域受人类活动影响较大,化学污染相对严重;2 级区域最少,仅有 12.12 km²,占东山湾面积的 3.15%,主要出现在远离海岸的中心部分,受人类活动的干扰较少,化学污染相对较轻。

3.2 东山湾物理属性指标

物理属性指标 1 到 4 级代表水深由浅到深,流速由慢到快,表示水动力和自净能力的逐渐提升。表 4 和图 3 显示,1 级区为东山湾主要区域,面积达 150.89km²,占比为 32.57%,主要分布在沿岸区域,说明这些区域水深较浅,流速较慢;其次是 4 级区域,占研究区面积的 24.91%,主要出现在湾区南部,与湾外海水交换的位置,这些区域流速快,海水深;再其次为 3 级区,面积比例为 23.03%;面积最小的是 2 级区,占比仅为 19.49%。3 级和 2 级区域主要分布在海湾中心部分,说明该区域水流较快,海水较深。

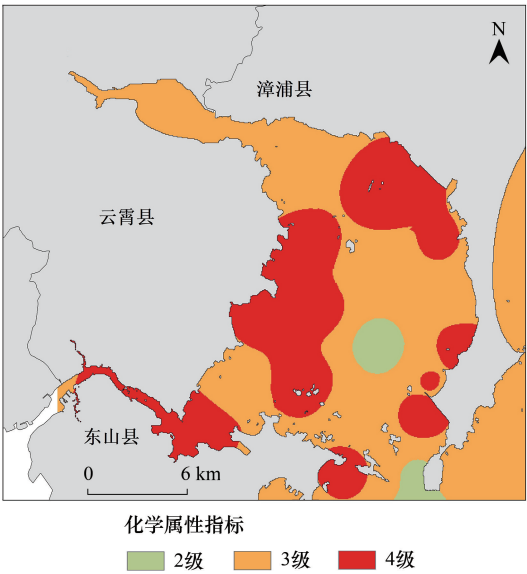


图 2 东山湾化学属性指标分级图
Fig.2 Classification of chemical indicator in Dongshan Bay

表 3 东山湾海域化学属性指标分级统计

Table 3 Statistics of chemical indicator in Dongshan Bay

等级 Class	面积/km ² Area	占比 Proportion	等级 Class	面积/km ² Area	占比 Proportion
1 级 First class	0.00	0.00%	3 级 Third class	257.35	66.86%
2 级 Second class	12.12	3.15%	4 级 Forth class	115.42	29.99%

表 4 东山湾海域物理属性指标分级统计

Table 4 Statistics of chemical ecological indicator in Dongshan Bay

等级 Class	面积/km ² Area	占比 Proportion	等级 Class	面积/km ² Area	占比 Proportion
1 级 First class	150.89	32.57%	3 级 Third class	106.71	23.03%
2 级 Second class	90.31	19.49%	4 级 Forth class	115.42	24.91%

3.3 东山湾生物属性指标

生物学属性指标分为四级,1,2,3,4 级代表生物量由少到多,种类由单一到丰富,生物生态状况由坏到

好。从表 5 和图 4 可见,2 级区面积最大,为 137.18km^2 ,占比达 35.64%;其次是 3 级区,占比为 24%;再其次为 4 级区,占研究区面积的 21.97%。3 级和 4 级区均主要分布于沿岸或者向内陆延伸的区域,说明这些地方的生物数量多且种类丰富。面积最小的是 1 级区域,占比仅为 18.38%,主要出现在东山湾的中心区域,说明东山湾中心的生物富集程度较低。

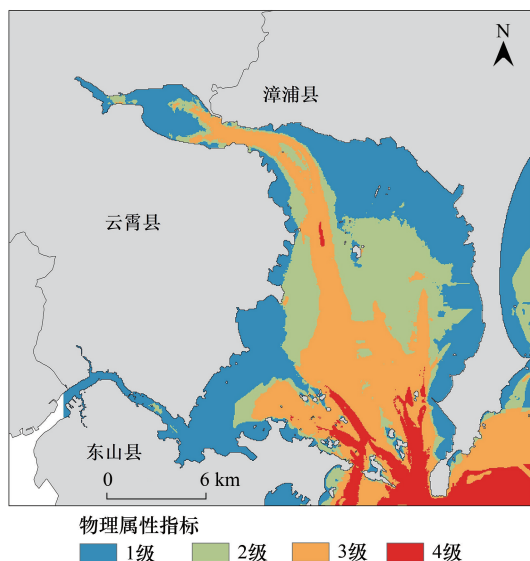


图 3 东山湾物理属性指标分级图

Fig.3 Classification of physical indicator in Dongshan Bay

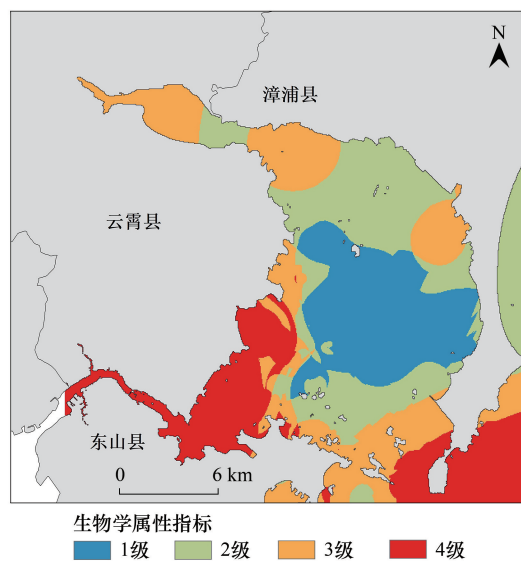


图 4 东山湾生物学属性指标分级图

Fig.4 Classification of biological ecological indicator in Dongshan Bay

3.4 东山湾海域空间评价单元划分

通过前文所述方法步骤,最终将东山湾海域空间划分为 67 个生态单元(图 5)。按照化学属性要素、物理属性要素、生物学属性要素的分级评价结果,东山湾的海域空间评价单元可分为属性相同的 28 个聚类(表 6)。各生态要素分级评价结果为相对参考值,海洋空间相关监测、评估、规划和管理可在此基础上进行。

表 5 东山湾海域生物学属性指标分级统计

Table 5 Statistics of biological indicator in Dongshan Bay

等级 Class	面积/ km^2 Area	占比 Proportion	等级 Class	面积/ km^2 Area	占比 Proportion
1 级 First class	70.75	18.38%	3 级 Third class	92.39	24.00%
2 级 Second class	137.18	35.64%	4 级 Forth class	84.57	21.97%

4 讨论与结论

本研究收集了大量的地方性海域的生态环境监测站点数据,以全面且详实的生态环境现状数据为支撑,提出了一种适用于小尺度海域的空间评价单元划分技术方案,并在东山湾进行了案例研究。该方案构建了基于物理、生物、化学属性要素的海域空间评价单元划分指标体系,通过分类评价,空间叠加分析等方法实现了更加准确、科学的空间评价单元划分。在此基础上,可开展相关海域生态系统监测、评估、规划和管理,对不同生态环境禀赋的海域因地制宜地制定海洋环境保护策略、开发政策,以实现保护海洋生态环境,海洋资源可持续开发利用的目的。我国的海洋空间规划多集中在国家、省、市级的大尺度海域,而在县级行政单元管辖的小尺度海域较少。小尺度海域往往作为大尺度海洋空间规划中的一个同质单元,缺乏针对地方性需求的规划。随着海洋空间规划的进一步推进,精细化且有针对性的空间规划工作势在必行。相对于大尺度海域,在小尺

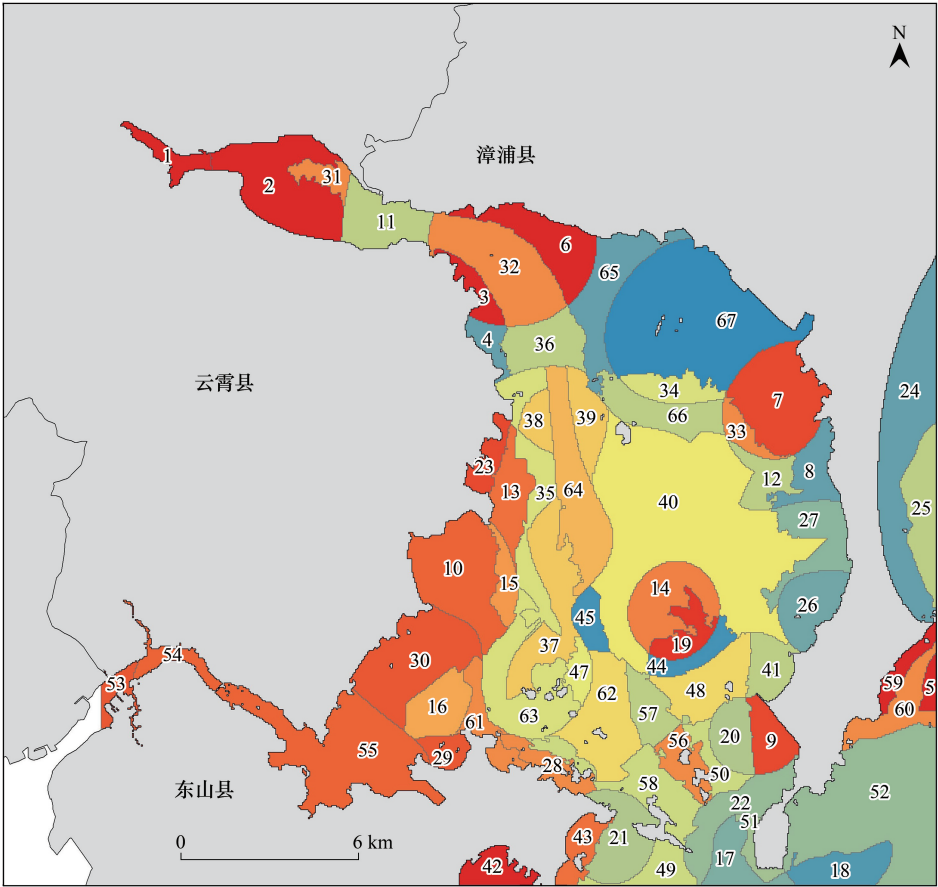


图 5 东山湾海域空间生态单元划分结果

Fig.5 Spatial division of evaluation unit of Dongshan Bay, Fujian Province

图中数字代表划分后的空间生态单元编号

度海域更易收集到详细且完整的海域生态环境数据,用于准确判断海洋生态环境的变化规律,并以此作为小尺度海域的空间评价单元划分依据,同时支撑更大尺度海域空间的研究与开发利用。虽然本研究提出的海域空间评价单元划分技术方案主要针对小尺度海域,但在能取得完整、详实数据的大中尺度同样适用。

表 6 东山湾海域空间评价单元分类

Table 6 Classification of spatial evaluation units of Dongshan Bay, Fujian Province

类别 Type	物理属性指标等级 Physical Indicators	生物学属性指标等级 Biological Indicators	化学属性指标等级 Chemical Indicators	评价单元编号 Evaluation unit ID	面积百分比 Proportion
1	1	1	3	27	1.24%
2	1	1	4	26	1.11%
3	1	2	3	4,8,24,65	10.51%
4	1	2	4	67	5.40%
5	1	3	3	1,2,3,5,6,42,59	6.21%
6	1	3	4	7,9,23	3.45%
7	1	4	3	29,30,53	3.14%
8	1	4	4	10,54,55	6.37%
9	2	1	2	14	1.46%
10	2	1	3	40	8.63%
11	2	1	4	37,38,39	3.10%

续表

类别 Type	物理属性指标等级 Physical Indicators	生物学属性指标等级 Biological Indicators	化学属性指标等级 Chemical Indicators	评价单元编号 Evaluation unit ID	面积百分比 Proportion
12	2	2	3	11,12,25,36,41,57,66	11.38%
13	2	2	4	34,35,63	4.20%
14	2	3	3	28,31,32,33,56,60,61	7.45%
15	2	3	4	13,43	1.51%
16	2	4	3	16	0.97%
17	2	4	4	15	0.49%
18	3	1	2	19	0.64%
19	3	1	3	44,45	0.96%
20	3	1	4	64	2.05%
21	3	2	3	48,62	3.13%
22	3	2	4	47	0.37%
23	3	3	3	46,49,50,58	2.81%
24	3	3	4	20,21	2.05%
25	3	4	2	51	0.27%
26	3	4	3	22,52	9.40%
27	4	4	2	17	0.78%
28	4	4	3	18	0.92%

该方案的技术路线可以为各类海洋空间监测、评价、规划和管理涉及的空间评价单元划分提供科学参考借鉴,具有广泛的应用前景。在应用时需要注意以下几点:(1)本研究中的各项指标根据数据的可获得性,适宜性和科学性选择,鉴于各海域生态环境监测站点的差异,可根据数据的可获得性、地方性需求和区划目的,灵活调整各生态要素的表征指标。(2)本文的研究重点是探索空间评价单元划分,因此仅简单的对各等级的分指标赋予相等权重,不同目的的海洋规划和不同海洋区域可以相应调整指标权重。(3)本文的研究结果是理论上准确、科学的空间评价单元划分,单元数量较多,在实际应用中,为便利规划的落地,可兼顾空间评价单元面积、形状、边界等要素进一步合并空间评价单元,进行现状评级,确定区划方案,形成符合实际要求的空间规划图。(4)海洋空间规划需要考虑陆海交互作用(如围填海)和区域关键物种(如红树林、珊瑚礁等),在划定空间评价单元时可将其作为单独的一种单元类型处理。

参考文献(References):

- [1] Bailey R G. Ecoregions: the Ecosystem Geography of the Oceans and Continents. New York: Springer, 1999: 103-105.
- [2] Crowder L B. The Role of marine spatial planning in sustaining pelagic fisheries: transitioning from managing sectors to comprehensive ecosystem-based management//Proceedings of the 5th International Fishers Forum on Marine Spatial Planning and Bycatch Mitigation. Taipei, China: Western Pacific Regional Fishery Management Council & Fisheries Agency, 2010: 31-34.
- [3] Day V, Paxinos R, Emmett J, Wright A, Goecker M. The marine planning framework for South Australia: a new ecosystem-based zoning policy for marine management. Marine Policy, 2008, 32(4): 535-543.
- [4] Gilliland P M, Dan L. Key elements and steps in the process of developing ecosystem-based marine spatial planning. Marine Policy, 2008, 32(5): 787-796.
- [5] Manea E, Bianchelli S, Fanelli E, Danovaro R, Gissi E. Towards an ecosystem-based marine spatial planning in the deep Mediterranean sea. Science of the Total Environment, 2020, 715: 136884.
- [6] de Vrees L. Adaptive marine spatial planning in the Netherlands sector of the North Sea. Marine Policy, 2019, doi: 10.1016/j.marpol.2019.01.007.
- [7] 王江涛. 我国海洋空间规划的“多规合一”对策. 城市规划, 2018, 42(4): 24-27.
- [8] 梅宏. 大堡礁海洋公园与澳大利亚海洋保护区建设. 湿地科学与管理, 2012, 8(4): 29-31.
- [9] 宋岳峰, 余静, 岳奇, 冯若燕. 基于生态系统的海洋空间规划分区方案研究. 海洋湖沼通报, 2019, (6): 166-171.

- [10] Fang Q H, Zhang R, Zhang L P, Hong H S. Marine functional zoning in China: experience and prospects. *Coastal Management*, 2011, 39(6): 656-667.
- [11] Feng R Y, Chen X X, Li P, Zhou L L, Yu J. Development of China's marine functional zoning: a preliminary analysis. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 131: 39-44.
- [12] 傅金龙, 沈锋. 海洋功能区划与主体功能区划的关系探讨. *海洋开发与管理*, 2008, 25(8): 3-9.
- [13] 何广顺, 王晓惠, 赵锐, 徐丛春, 宋维玲. 海洋主体功能区划方法研究. *海洋通报*, 2010, 29(3): 334-341.
- [14] 李东旭, 赵锐, 宋维玲. 近海海洋主体功能区划技术方法研究. *海洋环境科学*, 2010, 29(6): 939-944.
- [15] 陈甘霖, 胡文佳, 陈彬, 马致远, 廖建基. 海洋空间规划技术在小尺度海洋生态红线区划中的应用——以东山县海域为例. *应用海洋学报*, 2017, 36(1): 6-15.
- [16] 许妍, 梁斌, 鲍晨光, 兰冬东, 于春艳, 马明辉. 渤海生态红线划定的指标体系与技术方法研究. *海洋通报*, 2013, 32(4): 361-367.
- [17] 侯西勇, 张华, 李东, 侯婉, 宋洋. 渤海围填海发展趋势、环境与生态影响及政策建议. *生态学报*, 2018, 38(9): 3311-3319.
- [18] 柯丽娜, 庞琳, 王权明, 韩增林, 王辉. 围填海景观格局演变及存量资源分析——以大连长兴岛附近海域为例. *生态学报*, 2018, 38(15): 5498-5508.
- [19] 肖甜甜, 李杨帆, 向枝远. 基于生态系统服务评价的围填海区域景观生态红线划分方法及应用研究. *生态学报*, 2019, 39(11): 3850-3860.
- [20] 张冉, 张璐平, 方秦华. 海洋空间规划及主体功能区划研究进展. *海洋开发与管理*, 2011, 28(9): 16-20.
- [21] 王权明, 马红伟, 付元宾, 李滨勇. 全国海洋功能区划的分区体系研究. *海洋环境科学*, 2014, 33(3): 472-476.
- [22] 王宁, 贾建军, 蔡廷禄, 刘毅飞, 彭欣, 汪亚平. 海洋功能区划分级分类体系探讨. *海洋开发与管理*, 2016, 33(12): 76-81.
- [23] 岳奇, 朱庆林, 刘楠楠, 徐伟, 董月娥. 我国海洋功能区划的回顾性评价和新一轮编制建议. *海洋开发与管理*, 2019, 36(2): 3-7.
- [24] 高国力. 我国主体功能区划分理论与实践的初步思考. *宏观经济管理*, 2006, (10): 43-46.
- [25] 林燕鸿. 基于生态系统的海湾主体功能区规划研究[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2018.
- [26] 林勇, 樊景凤, 温泉, 刘述锡, 李滨勇. 生态红线划分的理论和技术. *生态学报*, 2016, 36(5): 1244-1252.
- [27] Douvres F, Maes F, Vanhulle A, Schrijvers J. The role of marine spatial planning in sea use management; the Belgian case. *Marine Policy*, 2007, 31(2): 182-191.
- [28] 王佩儿, 洪华生, 张璐平. 试论以资源定位的海洋功能区划. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2004, 43(S1): 205-210.
- [29] 东山县海洋与渔业局. 东山县海湾海洋环境生态修复项目技术报告. 漳州: 东山县海洋渔业局, 2013.
- [30] 曾江宁, 陈全震, 黄伟, 杜萍, 杨辉. 中国海洋生态保护制度的转型发展——从海洋保护区走向海洋生态红线区. *生态学报*, 2016, 36(1): 1-10.
- [31] 黄伟, 曾江宁, 陈全震, 杜萍, 汤雁滨, 杨辉. 海洋生态红线区划——以海南省为例. *生态学报*, 2016, 36(1): 268-276.