

基于自适应三角网的海洋资源资产清查 均质区域划分方法研究

张彤辉¹, 邹文财², 罗燕秋¹, 罗伟成¹, 顾 腾²,
梁浩然¹, 刘春杉¹, 唐浩宇²

(1. 广东省土地调查规划院, 广州 510075; 2. 广东南方数码科技股份有限公司, 广州 510665)

摘要: 划分均质区域是海洋资源资产清查实物量核算的重要内容, 目前划分均质区域主要依据海洋功能区划, 划分结果相对粗放, 与现阶段海洋开发利用、自然条件、海洋规划等现状符合度不高, 也难以满足资产经济价值评估需求。有鉴于此, 提出一种基于自适应三角网的海洋均质区域划分方法。通过与海洋功能区划、海上风电规划、养殖用海规划等对比分析, 结果相对海洋功能区划更加细化, 且与自然条件、开发利用情况、用海规划等符合度更高, 具有更好的合理性和可靠性, 期望可为海洋资源资产管理提供新的思路 and 参考。

关键词: 海洋资源资产清查; 均质区域; 非结构化网格; 自适应

2020年中国启动了全民所有自然资源资产清查工作, 海洋资源资产清查是其中的重要组成部分。在海域实物量清查中, 需针对尚未确权海域划分均质区域。目前海洋功能区划是海域均质区域划分的主要依据, 省级直接以一级类海洋功能区作为清查均质区域, 市县级直接以二级类海洋功能区作为清查均质区域^[1]。广东省尚未确权海域的面积占全省海域的80%以上, 且当前均质区域划分结果相对粗放, 与海域自然条件、环境状况、地理区位、开发利用等现状符合度不高, 更难以满足海洋资源资产精细化管理的需求。

海洋功能区划的划分方法主要有指标法、叠加法、综合分析法^[2-3]等。刘百桥等^[4]从海洋功能区划的基础条件到其主体设计思路和体系设计, 形成了一套完整的海洋功能区划框架方案, 并成功应用于中国海洋功能区划(2011—2020年)的编制。任一平等^[5]分析了中国海洋功能区划中公众参与现状和存在的问题, 提出了公众参与的可行性建议 and 对策。梁湘波^[6]结合海洋功能区划的原则和工作要求, 利用模糊数学方法和GIS技术, 建立一套海洋功能分区模型, 以提升海洋功能区划的科学性。现行海洋功能区划主要根据海域禀赋条件, 兼顾社会经济发展需求, 来确定海域基本功能。但也存在一些问题: (1) 主观性较强、编制过程难以把控; (2) 海洋环境调查评估资料较为缺失, 对海域禀赋条件的信息收集掌握不够; (3) 未考虑海上风电、海上光能等开发利用因素, 且该类型数据可能存在缺失; (4) 随着时间的发展, 由于海洋开发利用项目的实施, 导致

收稿日期: 2023-02-13; 修订日期: 2023-07-10

基金项目: 广东省全民所有自然资源资产所有权委托代理重大问题研究及资产清查项目(440000220000000002496); 广东省全民所有自然资源资产清查试点项目(440000210000000001073); 广东省近岸重点海域典型生态系统调查与评价(4400002200000000007742)

作者简介: 张彤辉(1981-), 男, 山东海阳人, 博士, 高级工程师, 主要从事海洋遥感方面的研究。

E-mail: zhangtonghui@scsio.ac.cn

海洋功能区划的基础条件产生了变化。因此,当海洋功能区划直接用于划定清查均质区域时,功能区域设定与均质区域定义符合度不高,尤其在领海基线向海一侧,海洋功能区较为单一,从海洋资源资产管理角度,有必要开发新的方法对均质区域进行进一步地精细化分区。

本文借鉴基于网格的分区方法及海洋非结构化网格技术,开发了一种新的海洋资源资产均质区域划分方法。基于网格的分区方法借鉴国土空间适宜性评价中的空间分区技术思路,从国土“三生空间”及构建评价体系的角度对海域利用适宜性及其空间优化进行分析^[7,8]。林乃发等^[9]基于“三生空间”构建了一套国土空间适宜性评价体系。李娟等^[10]以网格为基本单元,基于三生空间构建了国土空间开发适宜性单因子评价指标体系。于竹筱等^[11]建立了“三生”视角下的林地分类方法,表明了“三生空间”运用于其他领域的可能性。2017年广东省人民政府发布《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》^[12],在海岸带划定“三区三线”,其中海域“三区”为海洋生态空间、海洋生物资源利用空间和建设用海空间,但目前的海洋资源资产均质区域划分并未以此为参考。

由于近岸海域和远海在人类活动、陆源输入、生态环境等方面均有较大差别,海洋学者多使用非结构化网格进行数值模拟及相关研究,非结构化三角网相对于结构化网格具有复杂地形拟合度好、分辨率易调整、节省计算资源等优点,应用在地下水数值模拟^[13]、风暴潮数值模拟^[14]、以及海洋流场可视化^[15]等多种场景。Qi等^[16]将非结构化网格有限体积模型下的SWAN海浪模式用于具有复杂不规则几何形状的沿海海洋区域,较好地模拟了美国东北部表面波浪时空变化。史剑等^[17]分别采用矩形网格和非结构化三角网格下的SWAN海浪模式对黄渤海海域波浪进行模拟。网格自适应技术由Berger等^[18]提出用于求解双曲偏微分方程,随后被应用于包括航空学^[19]、气动热力学^[20]和电子结构计算^[21]等在内的多个领域。利用该方法,对初始三角网进行调整,能更好地反映海洋环境要素的波动变化。

本文将借鉴国土空间适宜性评价技术路径,将海域“三区”作为海洋资源资产均质区域划分参考依据,构建海洋资源指标评价体系,基于非结构化网格和网格自适应调整方法,提出更加符合自然和社会经济现状的海洋资源资产均质区域划分方法,期望可为海洋资源资产清查及涉海国土空间规划提供新的思路及参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

自适应三角网方法可分为四步(图1):构建指标评价体系—构建非结构化三角网格—网格自适应调整—均质区域生成。首先,构建海洋均质区域指标评价体系,选取相关评价因子并分为强限制和一般限制两类,根据一般限制指标计算评价结果。其次,构建非结构化三角网格,将网格与评价结果融合,形成基于非结构化网格的评价结果。第三步,利用梯度准则,设置梯度阈值及规则对网格进行调整。最后,基于自适应调整后的网格划分初步均质区域,再叠加强限制指标对均质区域进行调整,形成最终均质区域成果。

在海洋功能区划中,基于海域用途将海域划分为8种类型,但在海洋资源资产清查工作中,这种分类模式既显得繁琐又与海洋均质区域内涵有一定的差距,而《广东省海

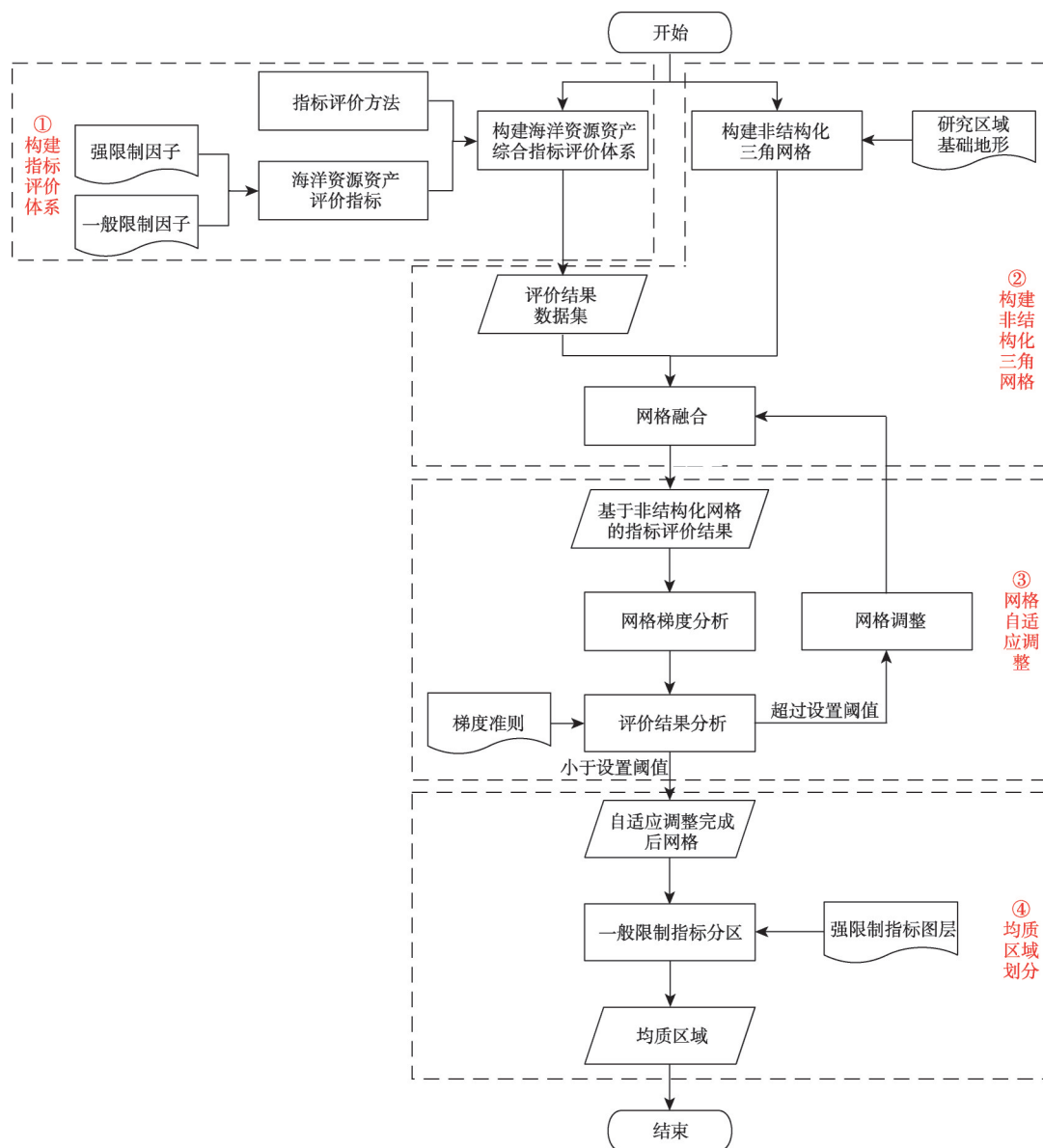


图1 均质区域划分技术路线

Fig. 1 Technical routine for homogeneous area partition

岸带综合保护与利用总体规划》中将海域分区分为三种类型，分别为海洋生态空间、海洋生物资源利用空间和建设用海空间等三种类型，以海域“三区”为基础划分均质区域，既可以使分类简化，又利于核算资产价值。本文结合海域开发利用现状和自然因素等条件，在原三区基础上，将海域分为五类区域：海洋生物资源利用区、建设用海区、海洋生态区、公益用海区和其他区，在此基础上构建海洋均质区域评估指标体系，如表1所示。强限制指标不参与权重赋值和评价计算作为最终分区调整依据。强限制指标主要考虑自然保护区、特殊利用区、养殖区和确权用海，根据用海类型一级类设置，其中海洋生态保护区作为海洋生态区；公益用海区指服务于公共公益性，在自然资源资产清查

中仅计算名义价值的海域，包括交通运输用海、特殊用海等；渔业用海作为海洋生物资源利用区；建设用海区包括旅游娱乐用海、造地工程用海等。一般限制指标包括海洋生物资源指标和建设用海指标，通过该类指标确定初步均质区域划分结果。海洋生物资源指标反映海洋生物资源丰富程度和生物资源利用适宜性，选取海表面温度、叶绿素浓度和水质等因子。建设用海指标反映海洋可再生能源（如风能、太阳能）的丰富程度和海洋开发利用适宜性，其中风能选取风功率密度、有效风速等因子^[22,23]，太阳能选取净地表太阳辐射量、水深等因子。最后，其他区为不具备典型利用特征的海域，即除了上述海域分区外的其余海域。

本文使用SMS 13.1^[24-26]（Surface-water Modeling System，地表水模拟系统）生成初始三角网。网格生成后，基于一般限制指标计算评价结果，再利用ArcGIS中的ArcPy模块，通过Python编程在ArcGIS中实现Union过程，完成三角网赋值，即三角网数据融合。网格自适应调整准则主要有局部误差识别^[27]、后验误差估计^[28]、基于残差判据^[29]、基于多尺度判据^[30]等。选择梯度准则^[31,32]作为网格自适应准则，并根据梯度准则设置了梯度阈值，梯度阈值通过梯度值分布趋势确定，当网格梯度值达到或超过梯度阈值后，将提高网格分辨率。利用ArcGIS的TIN三角网格创建工具^[33,34]对需要调整的网格区域进行加密重构。网格自适应调整后，首先针对单一一般限制指标划分等级，再综合各指标结果生成均质区域，最后叠加强限制指标，形成最终均质区域。一般限制指标均质区域通过聚类形成，选择改进的等间距法^[35,36]进行聚类分析，根据《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》中海域“三区”设定一般限制指标的分区规则（表2），建立一般限制指标中各评价价值的分级标准：分值在0.6~1之间的定性为资源丰富，分值在0.4~0.6之间的定性为资源较丰富，分值在0~

表1 海洋均质区域划分评估指标表

Table 1 Evaluation index of marine homogeneous area partition			
指标类型	一级指标	二级指标	三级指标
强限制指标	海洋生态区	生态红线	海洋生态保护区
			交通运输用海
	公益用海区	用海一级类	特殊用海
			排污倾倒用海
	海洋生物资源利用区	用海一级类	渔业用海
			旅游娱乐用海
	建设用海区	用海一级类	造地工程用海
			其他用海
			工业用海
			海底工程用海
一般限制指标	海洋生物资源利用区	海水环境	海表面温度
			叶绿素浓度
		养殖环境	水质
			海表面风速
	建设用海区	风能	水深
			风功率密度
			有效风速
			富能频率
			变异系数
		太阳能	水深
			净地表太阳辐射量

注：其他区为不具备典型利用特征的海域，不纳入以上表格。

表2 一般限制指标分区规则

Table 2 General restriction index of partition rule			
	海洋生物资源丰富	海洋生物资源较丰富	海洋生物资源一般
风能、太阳能丰富		建设用海区	
风能、太阳能较丰富	海洋生物资源利用区		其他区
风能、太阳能一般			

0.4之间的定性为资源一般。

1.2 研究区概况

本文研究范围为广东省管辖海域，不含东沙群岛，向陆一侧以海岸线为界，向海一侧以领海外部界限以及粤闽、粤桂、粤琼、粤港和粤澳海上界线为界，如图2所示。由于无居民海岛和部分有居民海岛面积很小，如果考虑剔除这些海岛影响，则构建网格时会出现网格割裂、堆积等问题，因此只剔除部分面积较大、开发利用活动多的有居民海岛，不计算其他海岛。



图2 研究区域位置

Fig. 2 Location of the study area

1.3 数据来源

本文使用的数据包括海洋环境数据（如海表面温度、叶绿素浓度、海表面风速、太阳辐射等）、水深数据、水质数据、生态红线、海域权属、广东省海洋功能区划、广东省海上风电规划、广东省养殖用海规划等。海洋环境数据利用海洋遥感资料，来源为欧盟气候服务网站（<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>）、美国国家航空航天局网站（<https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>）等。水深数据利用全球海陆地形数据库（<https://www.gebco.net/>）。水质数据、生态红线、海域权属、广东省海洋功能区划、广东省海上风电规划、广东省养殖用海规划等矢量数据具体来源明细如表3所示。

2 结果分析

利用SMS软件构建的初始三角网（图3）网格数量共136165个，最小网格面积为 0.003 km^2 ，最大网格面积为 25.06 km^2 ，平均网格面积为 0.47 km^2 。

利用一般限制指标进行权重赋值并计算评价值，再赋值至初始三角网格中。其中海洋生物资源评估结果如图4所示，最小和最大值分别为0.11904和0.788141，平均值为

表3 数据来源
Table 3 Data sources

序号	数据名称	数据来源
1	海表面温度	https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/
2	叶绿素浓度	https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/
3	水质	收集省内环境调查数据
4	海表面风速	https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home
5	水深	https://www.gebco.net/
6	净地表太阳辐射量	https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/
7	生态红线	官方发布数据
8	海域权属	广东省海域使用动态监视监测系统
9	广东省海洋功能区划	省政府发布数据
10	海上风电规划	官方发布数据
11	养殖用海规划	官方发布数据

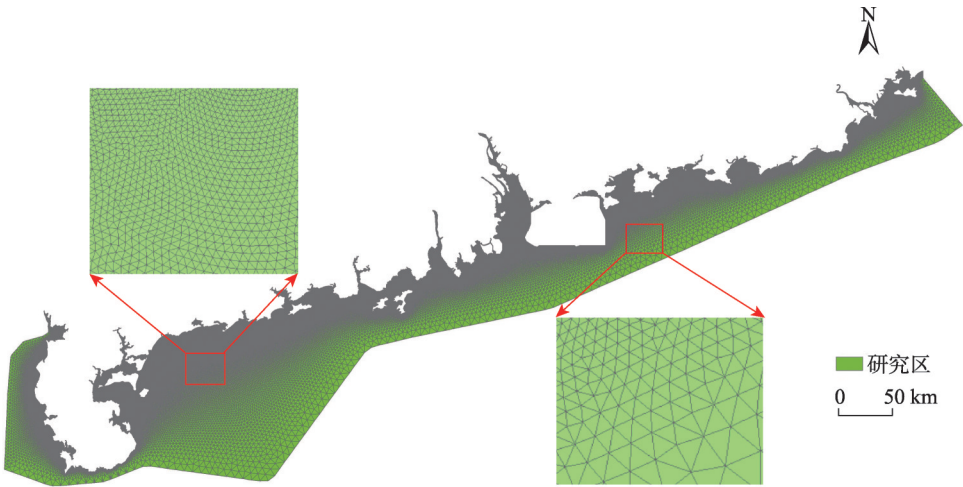


图3 初始非结构化三角网局部展示
Fig. 3 Partial presentation of initial unstructured triangular grid

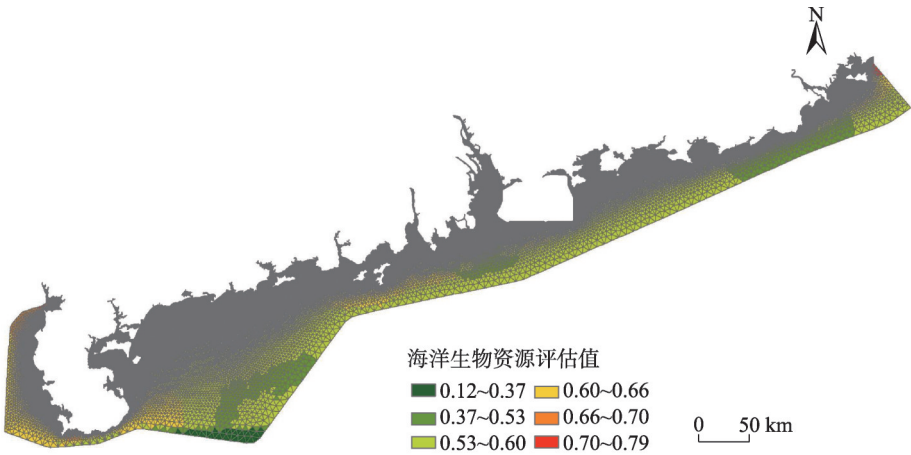


图4 海洋生物资源评估结果
Fig. 4 Results of marine biological resources assessment

0.568404，养殖适宜性评估近岸高于远海；风能资源评估结果如图5所示，最小值和最大值分别为0.240393和0.686544，平均值为0.428741，风能资源远海的总体价值较近岸的要高；太阳能资源评估结果最小和最大值分别为0.385214和0.7193，平均值为0.86399，太阳能资源分布较为均衡，大部分评估值都集中在0.6~0.7之间。

为确定需要调整的网格区域，再对评价结果进行梯度分析，海洋生物资源和风资源分析结果分别见图6和图7。单个指标梯度分析结果显示，梯度值较高的区域集中在近岸，这可能由于近岸海域各评价要素变化更加剧烈，且海洋生物资源评估数据多来源于遥感资料，受某一时段遥感结果的影响较大，太阳能资源评价指标由于只包含太阳辐射和水深，所以整体梯度波动较小。由于评价指标中的水深因子采用了阶梯式的量化方法，且风速评价因子也与水深和离岸距离相关，因此评价结果一定程度上受到水深地形变化的影响，形成了阶梯式的区块分布，梯度高值呈条带状。

近岸网格分辨率已经满足研究需求，无需进一步调整，本文对离岸海域梯度变化剧烈的区域进行了网格自适应调整，调整后的网格如图8所示。自适应调整后的网格数量

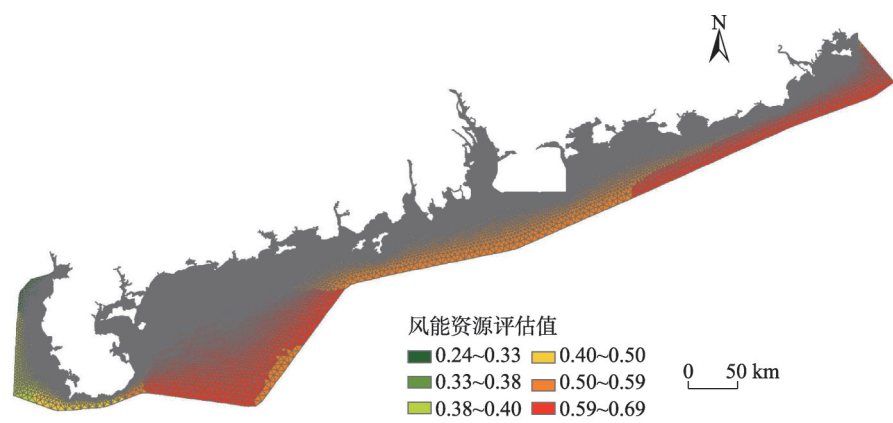


图5 风能资源评估结果

Fig. 5 Results of wind energy resources assessment

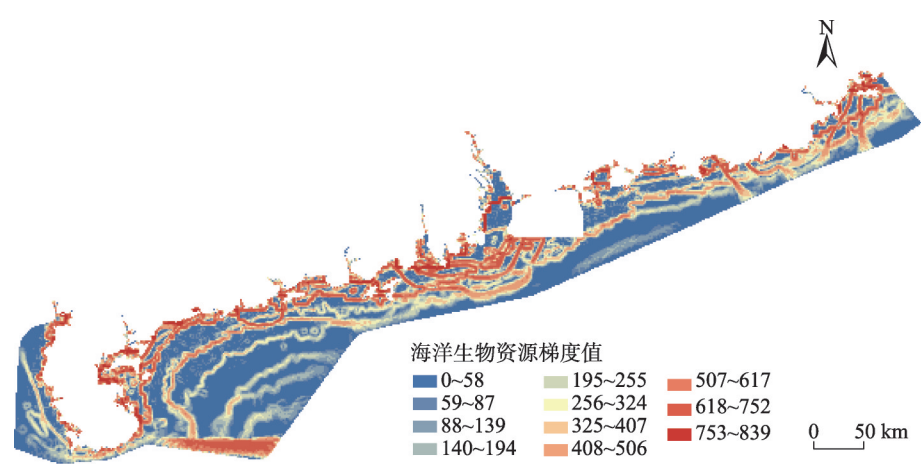


图6 海洋生物资源梯度分析结果

Fig. 6 Gradient analysis results of marine biological resources

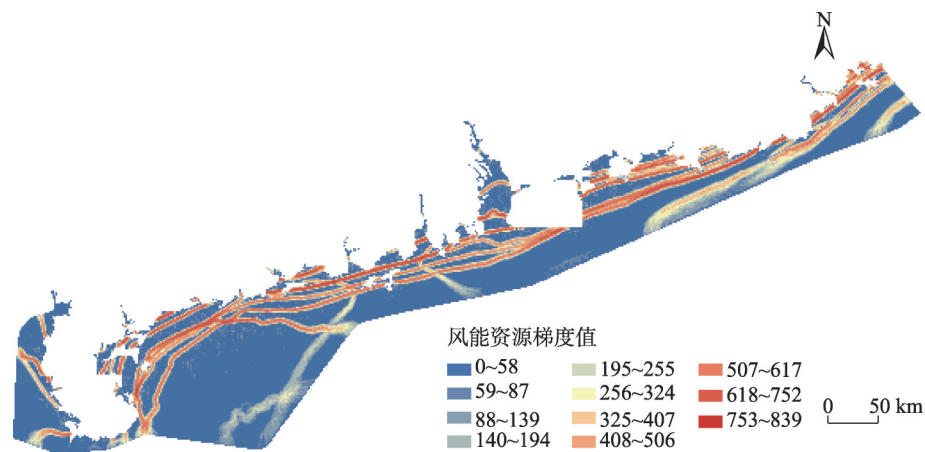


图7 风能资源梯度分析结果

Fig. 7 Gradient analysis results of wind energy resource

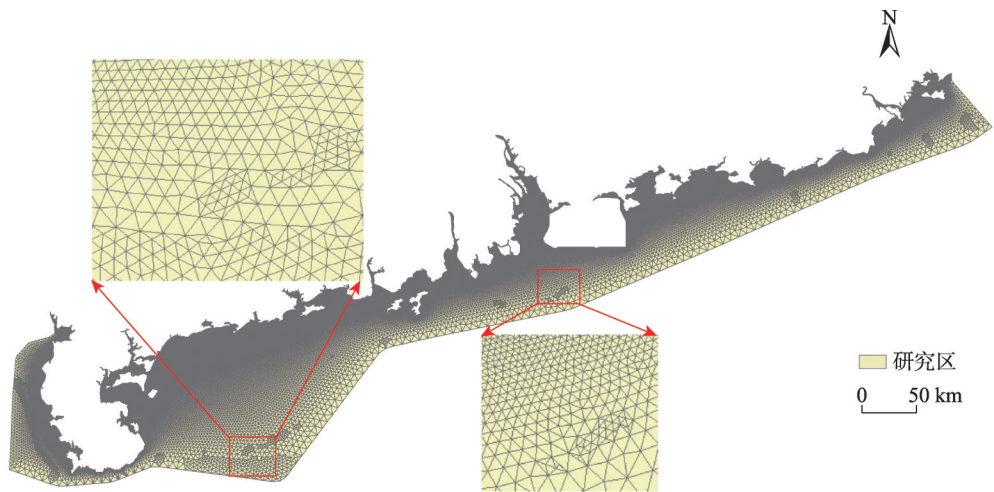


图8 自适应调整后的网格局部展示

Fig. 8 Partial presentation of grid after adaptive adjustment

为137791个,较初始网格数量增加了1626个,从展示的网络细节可以看出网格分辨率明显提高,针对自适应调整过的区域需重新进行赋值。

网格自适应调整后,需进一步划分均质区域。根据上文的分级标准对一般限制指标进行聚类,海洋生物资源的结果如图9所示,风能资源的结果如图10所示。从资源开发利用便利性及海域管理实际出发,太阳能资源的开发利用主要在水深2 m以内的海域,风能资源的开发利用主要在水深10 m以深及离岸距离10 km以外的海域,据此再进一步调整风能和太阳能资源范围。

将一般限制指标按表2分区规则进行划分,划分的分区结果再叠加强限制指标图层,对分区结果进行调整,并形成最终均质区域结果。基于三角网格的分区结果如图11所示,对三角网格分区结果进一步融合形成最终均质区域划分结果如图12所示。各个分区的网格统计如表4所示。

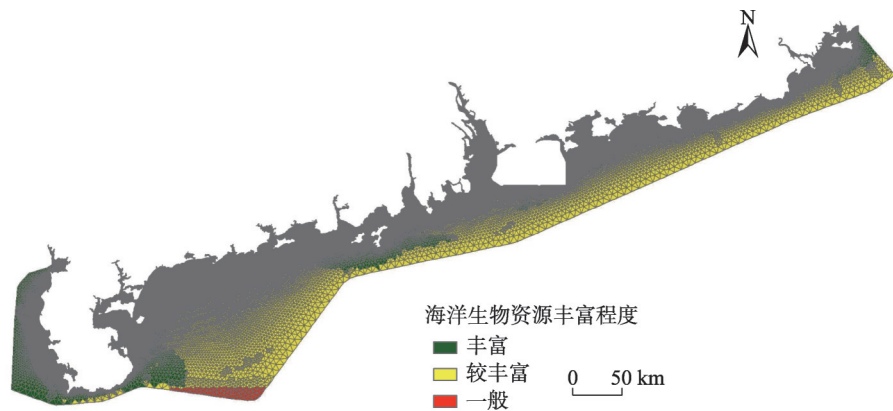


图9 海洋生物资源聚类结果

Fig. 9 Clustering results of marine biological resources

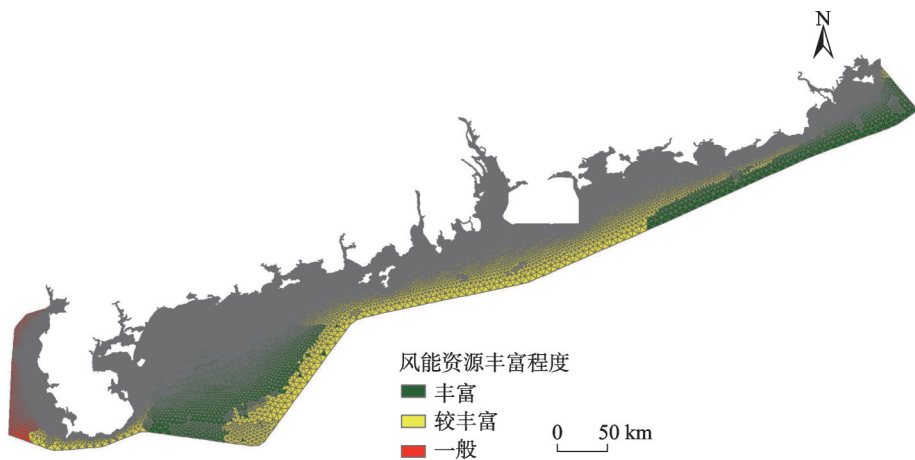


图10 风能资源聚类结果

Fig. 10 Clustering results of wind energy resource

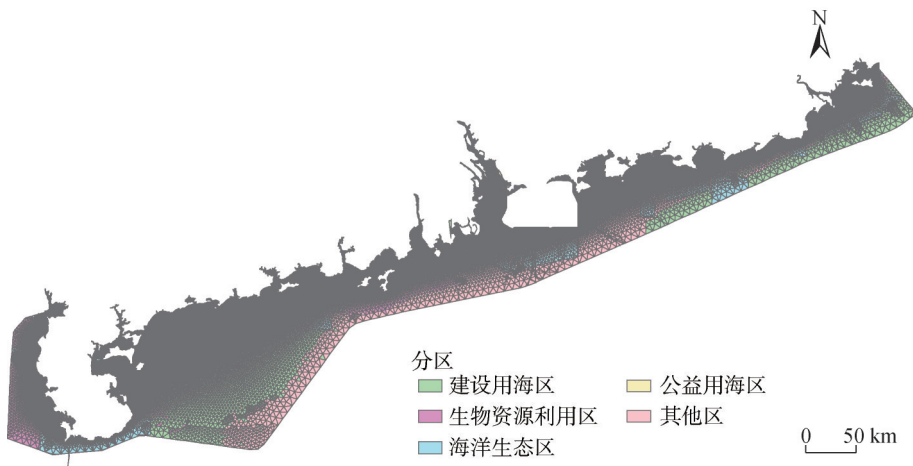


图11 基于三角网格的均质区域分区结果

Fig. 11 Partitioning results of homogeneous area based on triangular grid

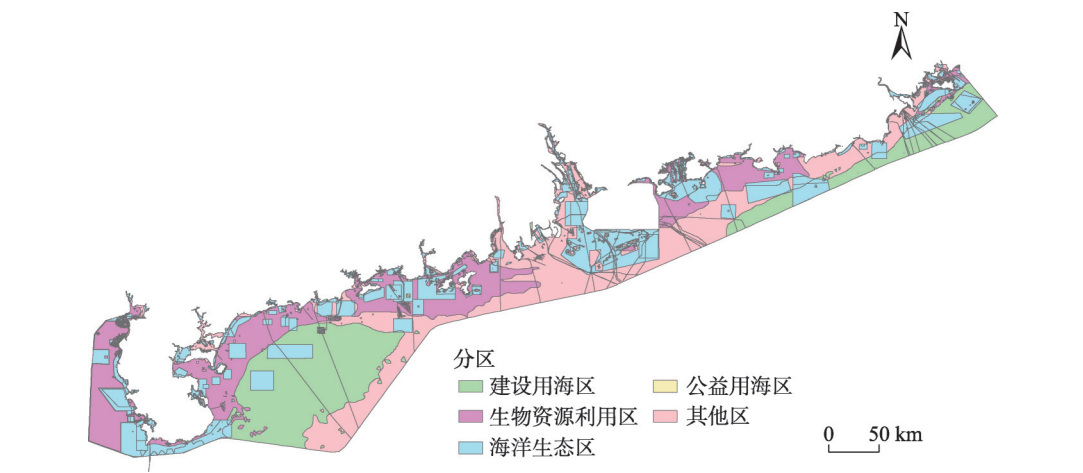


图 12 融合后的广东省均质区域划分结果

Fig. 12 Partitioning results of homogenous regionalization after fusion in Guangdong

表 4 海洋资源资产均质区域统计表

Table 4 Statistics of homogeneous areas of marine resource assets (%)

分区编号	均质区域名称	均质区域特点	网格占比	面积占比
1	建设用海区	现用于开发利用的海域，或者风能、太阳能资源丰富的海域，适宜能源的开发利用	12.89	24.10
2	海洋生物资源利用区	现用于渔业养殖的海域，或者渔业资源丰富、风能和太阳能资源丰富度较开发利用区更低的区域	30.81	23.27
3	海洋生态区	现生态规划区、生态红线区、自然保护区等海域	29.53	26.20
4	公益用海区	现海域权属用于公益性质用海的区域	6.76	0.37
5	其他区	除以上区域外，渔业资源、风能资源和太阳能资源丰富度一般的区域	20.01	26.06

基于本文的方法，广东省海洋资源资产均质区域面积依次为：海洋生态区>其他区>建设用海区>海洋生物资源利用区>公益用海区。公益用海区分布主要靠近陆地，海洋生态区、其他区、建设用海区以及海洋生物资源利用区分布范围都较广泛，近远海均有分布。广东省海洋功能区划中，大部分远海区域划分为农渔业区，相对较为单一，本文结果与之相比，远海区域划分更加细化，划分层次更加明显，也更满足海洋资源资产均质区域的要求。

3 对比分析

本文选取粤东海域的均质区域划分结果（图 13）与海洋功能区划、海上风电规划以及养殖用海规划进行对比分析。

3.1 与海洋功能区划对比分析

目前海洋资源资产均质区域主要依据海洋功能区划，根据《广东省海洋功能区划（2011—2020年）》，粤东海域共有图斑 76 个（图 14、图 15）。本文方法共划分 5888 个均质

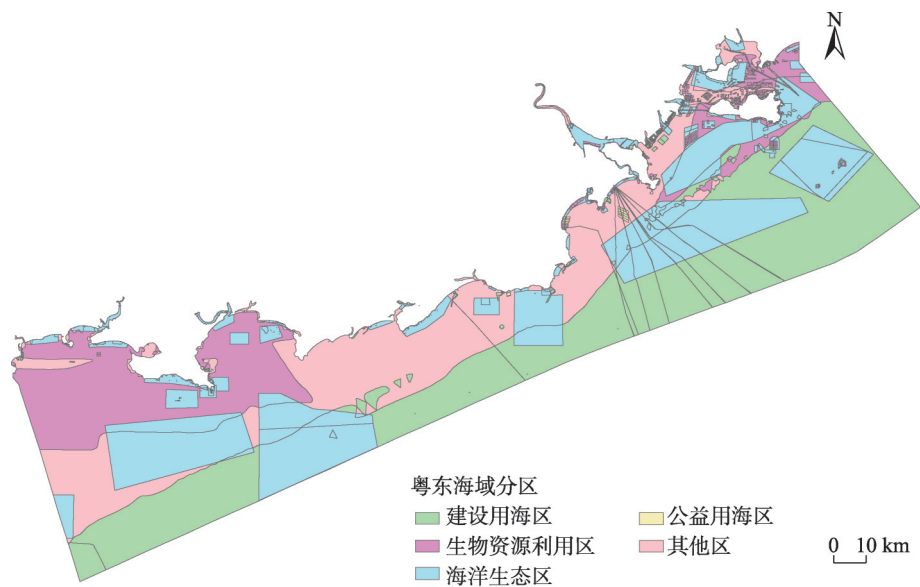


图 13 粤东海域均质划分结果

Fig. 13 Homogeneous area partition of marine area of East Guangdong

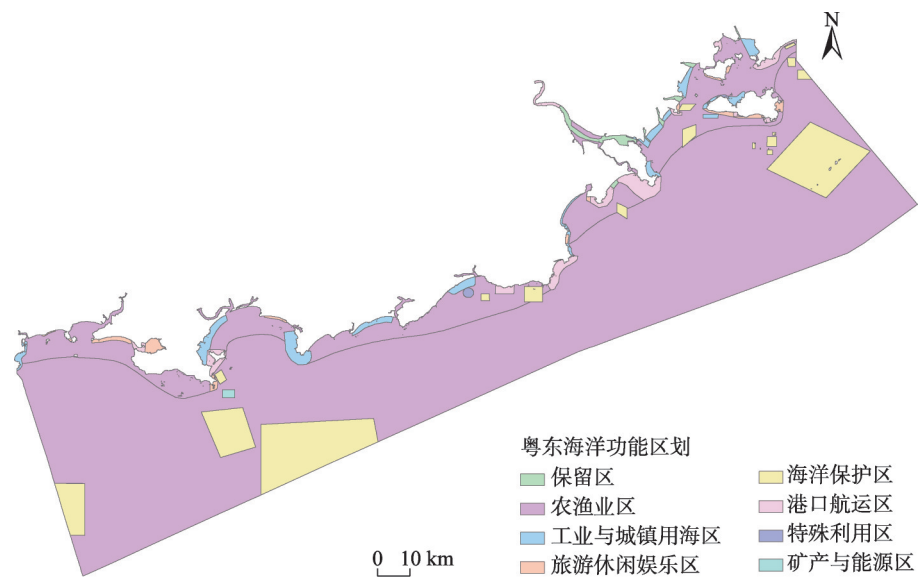


图 14 粤东海域海洋功能区划

Fig. 14 Marine function zonation of marine area of East Guangdong

区域（图 16），从数量上说明本方法划分均质区域更为细致。功能区划中粤东海域农渔业区面积占比最大，达到 88%，本文成果除公益用海区外，各类区域占比较为均衡，其中海洋生态区占比最大，为 37%，各类区域的划分更加全面，如建设用海区可以用于风电等资源开发、生物资源利用区可用于养殖等开发活动、其他区可以作为保留区域等。

3.2 与海上风电规划对比分析

根据《广东省海上风电发展规划（2017—2030 年）（修编）》^[37]，广东省依据海上风

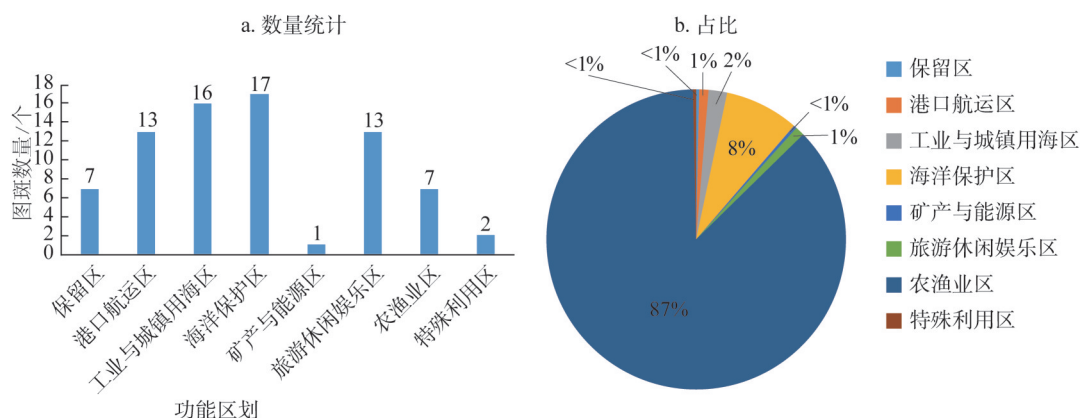


图15 粤东海域海洋功能区划各功能区图斑数量统计与面积占比

Fig. 15 Number statistics and the area ratio of patch of marine function zonation in marine area of east Guangdong

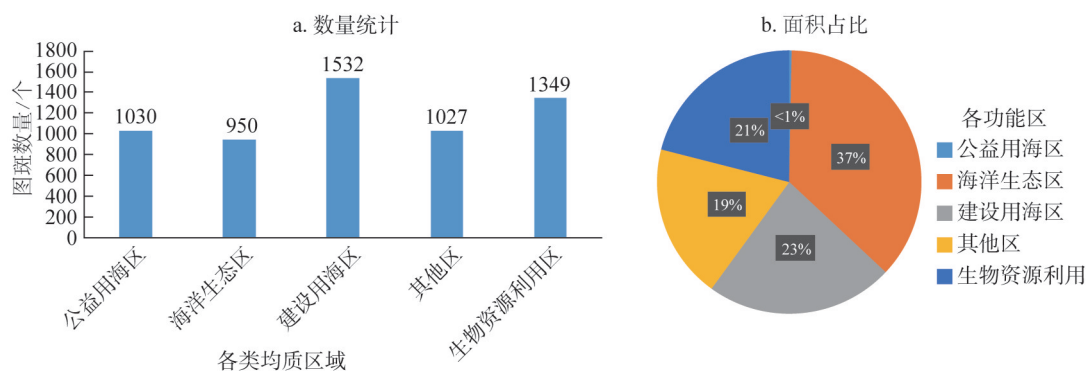


图16 粤东海域各类均质区域图斑数量统计与面积占比

Fig. 16 Number statistics and the area ratio of patches of homogeneous area in marine area of East Guangdong

能资源条件、环境条件、项目经济性等因素,规划了23个海上风电场址,其中粤东近海浅水区(35 m水深以内)7个(图17)。建设用海区均质区域内若风能资源丰富,则适合风电开发利用(表4)。结合计算结果,除汕尾后湖海上风电场选址外,其余6个风电场规划选址均与建设用海区基本重合,说明本文方法具有一定的可行性和可靠性,可为海上风电规划提供参考。

3.3 与养殖用海规划对比分析

《广东省养殖用海规划》包括养殖区、限养区和禁养区,粤东海域养殖用海规划(养殖区)如图18所示,按面积统计,养殖用海规划养殖区面积占粤东海域的68.6%。本方法均质区域中,生物资源利用区内渔业资源丰富,适宜渔业养殖,在粤东海域占比为20.5%,远小于规划养殖区面积,但在空间上与养殖规划的养殖区基本重合。从合理开发利用海域的角度,将大部分海域只规划为一种用途是无法满足长远发展需要的,应适当为其他用海预留空间。本文划分的生物资源利用区基本与养殖用海规划一致,同时为其他类型用海预留了空间,可为海洋开发利用提供更丰富的参考,说明本文方法具有一定的合理性和可靠性。

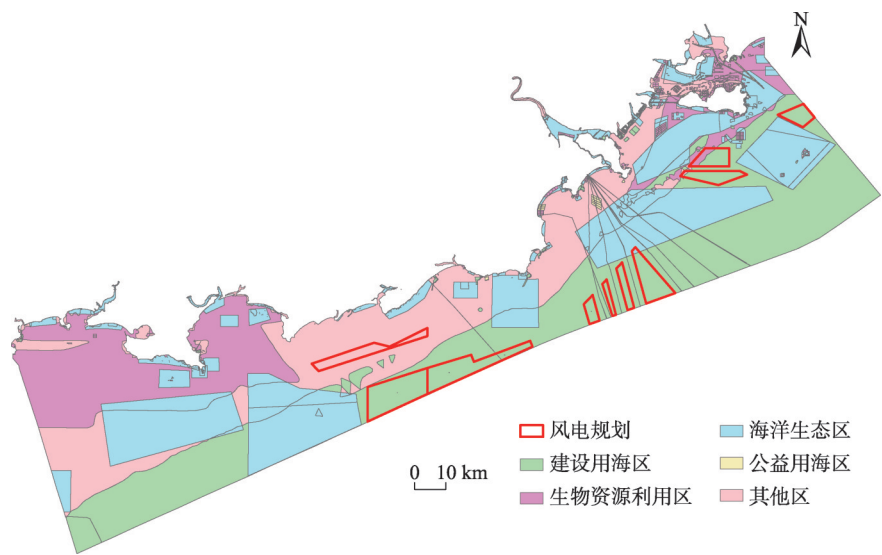


图 17 粤东海域海上风电规划与均质区域分布

Fig. 17 Comparison of wind power planning and homogeneous regional distribution in marine area of East Guangdong

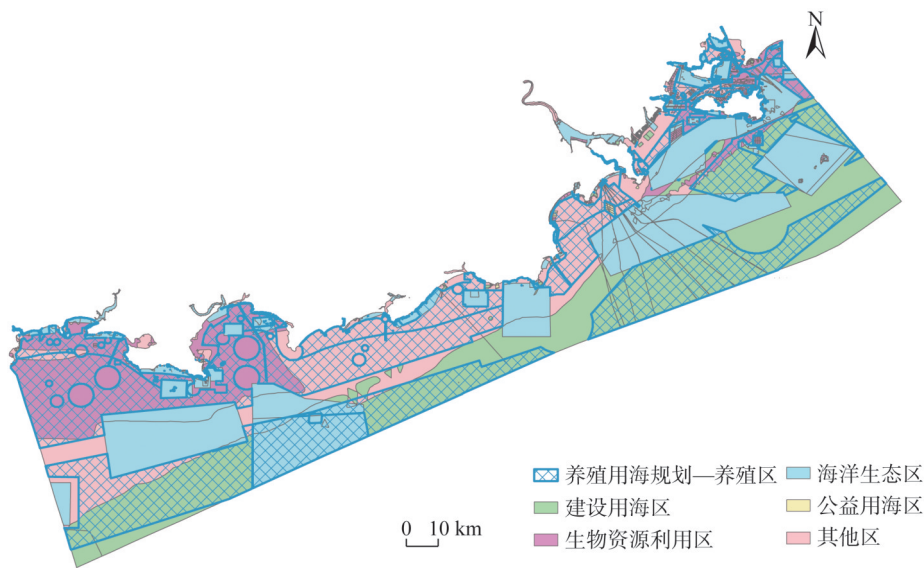


图 18 粤东海域养殖用海规划（养殖区）与均质区域分布

Fig. 18 Comparison of aquaculture planning and homogeneous regional distribution in marine area of East Guangdong

4 结论

针对海洋功能区划在划分海洋资源均质区域时不够精细化的问题，本文提出了一种基于自适应三角网的均质区域划分方法，借鉴国土适应性评价方法，利用非结构化三角网自适应技术，得到与海洋自然条件及海域开发利用活动符合性更高的海洋均质区域，为海洋资源资产实物量核算及价值评估提供了更加实用和有效的计算手段。本文将海域划分为五种海洋资源资产均质区域，与海洋功能区划相比，更加简化和高效，且在粤东

海域的对比分析中,本文结果较海洋功能区划更加精细化,与海上风电、养殖用海等相关规划符合度更高,说明本文方法具有一定的合理性、可靠性和实用性,未来不仅可为海洋资源资产清查工作提供技术支撑,同时可为涉海国土空间规划编制提供新的思路。然而受限于数据源的不足,本文在评估指标因子的选择方面仍有待进一步加强和完善,基础数据有待进一步丰富,未来可在评估因子的选择、量化及权重设定等方面做进一步研究,以形成更加科学、合理的海洋资源资产清查均质区域。

参考文献(References):

- [1] 自然资源部. 全民所有自然资源资产清查技术指南, 2020, <https://www.doc88.com/p-21747074185186.html>. [Department of Natural Resources. Technical guide for the inventory of state-owned natural resources assets, 2020, <https://www.doc88.com/p-21747074185186.html>.]
- [2] 国家海洋信息中心, 国家海洋环境监测中心. 海洋功能区划技术导则, 2006, <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=D0A47C8BFA549297029CD2638FEB499F>. [National Marine Data Information Center, National Marine Environmental Monitoring Center. Technical directives for the division of marine functional zonation, 2006, <https://openstd.samr.gov.cn/bzgk/gb/newGbInfo?hcno=D0A47C8BFA549297029CD2638FEB499F>.]
- [3] 王权明. GIS空间分析支持的海洋功能区划方法研究. 大连: 大连海事大学, 2008. [WANG Q M. Study on marine functional zoning methodology based on GIS spatial analysis. Dalian: Dalian Maritime University, 2008.]
- [4] 刘百桥, 阿东, 关道明. 2011—2020年中国海洋功能区划体系设计. 海洋环境科学, 2014, 33(3): 441-445. [LIU B Q, A D, GUAN D M. Framework design of Chinese marine functional zoning in 2011-2022. Marine Environmental Science, 2014, 33(3): 441-445.]
- [5] 任一平, 李升, 徐宾铎, 等. 我国海洋功能区划中的公众参与及其效果评价. 中国海洋大学学报: 社会科学版, 2009, (1): 1-5. [REN Y P, LI S, XU B D, et al. Public participation of China's marine functional zoning and assessment of the effects. Journal of Ocean University of China: Social Sciences, 2009, (1): 1-5.]
- [6] 梁湘波. 海洋功能分区方法及其应用研究. 天津: 天津师范大学, 2005. [LIANG X B. Study on method and application of marine functional zoning. Tianjin: Tianjin Normal University, 2005.]
- [7] 王力力. 基于GIS网格建模的县域尺度国土空间综合评价研究. 重庆: 重庆师范大学, 2018. [WANG L L. Study on spatial comprehensive evaluation methodology at county scale based on GIS Grid Modeling. Chongqing: Chongqing Normal University, 2018.]
- [8] 尹修赣. 市县尺度的国土空间开发适宜性评价及“三类空间”分区研究. 昆明: 昆明理工大学, 2021. [YIN X G. To evaluate the suitability of land space development at the city and county level and study on the "three types of space". Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2021.]
- [9] 林乃发, 戎奕, 黄志豪, 等. 基于三生功能的国土空间适宜性评价: 以瑞安市为例. 建筑与文化, 2021, (7): 132-133. [LIN N F, RONG Y, HUANG Z H, et al. Evaluation of land spatial suitability based on three functions: A case study of Ruian city. Architecture & Culture, 2021, (7): 132-133.]
- [10] 李娟, 李振林. 基于GIS空间分析的县域国土空间开发适宜性评价. 地理空间信息, 2021, 19(9): 57-60, 7. [LI J, LI Z L. Spatial development adaptability evaluation based on GIS spatial analysis. Geospatial Information, 2021, 19(9): 57-60, 7.]
- [11] 于竹筱, 张红旗, 许尔琪. 基于“三生”视角的中国林地分类提取. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1136-1148. [YU Z X, ZHANG H Q, XU E Q. Classification and extraction of forest land in China based on the perspective of "Production-Living-Ecology". Journal of Natural Resources, 2021, 36(5): 1136-1148.]
- [12] 广东省人民政府, 国家海洋局. 广东省人民政府 国家海洋局关于印发广东省海岸带综合保护与利用总体规划的通知, 2021-10-20, http://nr.gd.gov.cn/gkmlpt/content/3/3581/post_3581827.html#682. [Guangdong Provincial People's Government, State Oceanic Administration. Notice of the State Oceanic Administration and Guangdong Provincial People's Government on printing and distributing the overall plan for comprehensive protection and utilization of the coast-

- al zone of Guangdong province, 2021-10-20, http://nr.gd.gov.cn/gkmlpt/content/3/3581/post_3581827.html#682.]
- [13] 孙栋元, 赵成义, 魏恒, 等. 台兰河流域地下水系统数值模拟. 自然资源学报, 2010, 25(4): 636-645. [SUN D Y, ZHAO C Y, WEI H, et al. Numerical simulation of groundwater system in the Tailan River Basin. Journal of Natural Resources, 2010, 25(4): 636-645.]
- [14] 徐婉明, 邓伟铸, 赵明利, 等. 深圳0814号台风风暴潮数值模拟及最高潮位特征分析. 海洋预报, 2020, 37(1): 11-17. [XU W M, DENG W Z, ZHAO M L, et al. Numerical simulation of the storm surge and characteristics of the highest tide level in Shenzhen caused by typhoon 0814. Marine Forecasts, 2020, 37(1): 11-17.]
- [15] 李忠伟, 徐斌, 李永, 等. 基于非结构化三角网格的海洋流场可视化. 图学学报, 2022, 43(3): 486-495. [LI Z W, XU B, LI Y, et al. Visualization of ocean flow field based on unstructured triangular mesh. Journal of Graphics, 2022, 43(3): 486-495.]
- [16] QI J, CHEN C, BEARDSLEY R C, et al. An unstructured-grid finite-volume surface wave model (FVCOM-SWAVE): Implementation, validations and applications. Ocean Modelling, 2009, 28(1-3): 153-166.
- [17] 史剑, 王璞, 钟中, 等. 两种网格下的SWAN模式对黄渤海海浪模拟比较. 海洋预报, 2011, 28(4): 48-57. [SHI J, WANG P, ZHONG Z, et al. Comparison of ocean wave simulation with SWAN wave model using two kinds of computational grid in the Bohai Sea and the Yellow Sea. Marine Forecasts, 2011, 28(4): 48-57.]
- [18] BERGER M J, OLIGER J. Adaptive mesh refinement for hyperbolic partial differential equations. Journal of Computational Physics, 1984, 53(3): 484-512.
- [19] PIRZADEH S Z. A solution-adaptive unstructured grid method by grid subdivision and local remeshing. Journal of Aircraft, 2000, 37(5): 818-824.
- [20] ANTEPARA O, LEHMKUHL O, BORRELL R, et al. Parallel adaptive mesh refinement for large-eddy simulations of turbulent flows. Computers & Fluids, 2015, 110: 48-61.
- [21] BAO G, HU G, LIU D. An h-adaptive finite element solver for the calculations of the electronic structures. Journal of Computational Physics, 2012, 231(14): 4967-4979.
- [22] 毛慧琴, 宋丽莉, 黄浩辉, 等. 广东省风能资源区划研究. 自然资源学报, 2005, 20(5): 679-683. [MAO H Q, SONG L L, HUANG H H, et al. Study on the wind energy resource division in Guangdong province. Journal of Natural Resources, 2005, 20(5): 679-683.]
- [23] 郑崇伟, 潘静. 全球海域风能资源评估及等级区划. 自然资源学报, 2012, 27(3): 364-371. [ZHENG C W, PAN J. Wind energy resources assessment in global ocean. Journal of Natural Resources, 2012, 27(3): 364-371.]
- [24] Brigham Young University Environmental Modeling Research Laboratory. Surface water modeling system tutorials(version 13.1). Brigham: Brigham Young University Environmental Modeling Research Laboratory, 2021.
- [25] SHEWCHUK J R. Engineering a 2D quality mesh generator and delaunay triangulator. Workshop on Applied Computational Geometry. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996: 203-222.
- [26] NICENO B. Easymesh: A two-dimensional quality mesh generator. (2014-04-01)[2018-01-01], http://web.mit.edu/easymesh_v1.4/www/references.html.
- [27] 苟金澜. 基于非结构网格自适应的压气机内多尺度流动机理研究. 北京: 清华大学, 2017. [GOU J L. Unstructured adaptive mesh refinement method based on investigation of the multi-scale mechanism in compressor. Beijing: Tsinghua University, 2017.]
- [28] KAMKAR S, WISSINK A M, SANKARAN V, et al. Feature-driven cartesian adaptive mesh refinement for vortex-dominated flows. Journal of Computational Physics, 2011, 230(16): 6271-6298.
- [29] GANESH N, SHENDE N V, BALAKRISHNAN N. A residual estimator based adaptation strategy for compressible flows. Computational Fluid Dynamics 2006: Proceedings of the Fourth International Conference on Computational Fluid Dynamics, ICCFD, Ghent, Belgium, 10-14 July 2006. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009: 383-388.
- [30] COHEN A, KABER S M, POSTEL M. Adaptive multiresolution for finite volume solutions of gas dynamics. Computers & Fluids, 2003, 32(1): 31-38.
- [31] 郑川东, 刘广宁, 杨中华, 等. 基于梯度准则的动态局部自适应网格在浅水水流水质耦合模型求解中的应用. 武汉大学学报: 工学版, 2021, 54(9): 784-794. [ZHENG C D, LIU G N, YANG Z H, et al. Application of dynamic local adaptive grid based on gradient criterion in solving shallow water hydrodynamics-water quality coupling model. Engineering

- ing Journal of Wuhan University, 2021, 54(9): 784-794.]
- [32] 李明珍, 李阳兵, 冉彩虹. 土地利用转型背景下的乡村景观格局演变响应: 基于草堂溪流域的样带分析. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2283-2298. [LI M Z, LI Y B, RAN C H. Evolution of rural landscape pattern under the background of land use transformation: Based on the transect analysis of Caotangxi watershed. Journal of Natural Resources, 2020, 35(9): 2283-2298.]
- [33] 齐润冰. 不规则三角网高程的遮挡检测算法. 测绘科学, 2018, 43(10): 150-156. [QIN R B. Occlusion detection algorithm based on TIN elevation. Science of Surveying and Mapping, 2018, 43(10): 150-156.]
- [34] 李小光, 郭少武, 宋星杰, 等. 基于 ArcGIS 的露天矿山土石方量测算方法研究. 金属矿山, 2020, (12): 210-215. [LI X G, GUO S W, SONG X J, et al. Study on calculation methods of earthwork volume in open-pit mines based on ArcGIS. Metal Mine, 2020, (12): 210-215.]
- [35] 陈松林, 王天星. 等间距法和均值标准差法界定城市热岛的对比研究. 地球信息科学报, 2009, 11(2): 145-150. [CHEN S L, WANG T X. Comparison analyses of equal interval method and mean-standard deviation method used to delimitate urban heat island. Journal of Geo-information Science, 2009, 11(2): 145-150.]
- [36] 陈颖锋, 王玉宽, 傅斌, 等. 基于 MODIS 地面温度数据的成都市热岛时空变化. 长江流域资源与环境, 2016, 25(1): 156-162. [CHEN Y F, WANG Y K, FU B, et al. Spatiotemporal variations of urban heat island in Chengdu city using Modis land surface temperature data. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(1): 156-162.]
- [37] 广东省发展改革委. 广东省发展改革委关于印发广东省海上风电发展规划(2017—2030年)(修编)的通知, 2018-04-11, http://drc.gd.gov.cn/gkmlpt/content/1/1060/post_1060661.html#876. [Development and Reform Commission of Guangdong Province. Notice of the Development and Reform Commission of Guangdong province on printing and distributing the development plan for offshore wind power of Guangdong province (2017-2030) (revised), 2018-04-11, http://drc.gd.gov.cn/gkmlpt/content/1/1060/post_1060661.html#876.]

Research for method of homogeneous area partition for marine resource assets inventory based on adaptable triangular grid

ZHANG Tong-hui¹, ZOU Wen-cai², LUO Yan-qi¹, LUO Wei-cheng¹, GU Teng²,
LIANG Hao-ran¹, LIU Chun-shan¹, TANG Hao-yu²

(1. Guangdong Provincial Institute of Land Surveying and Planning, Guangzhou 510075, China;

2. Guangdong Southern Digital Technology Co., Ltd, Guangzhou 510665, China)

Abstract: The partition of homogeneous area is an important part of marine resource assets inventory accounting. Marine functional regionalization was formerly used to divide homogeneous area as base map, but the results were not exactly precise, in which the current utilization status, ecological conditions, marine planning and others were not considered. A method based on adaptable triangular grid was proposed in our study to derive more precise marine homogeneous areas. A comparative analysis was made between calculation results and the marine functional regionalization, offshore wind power planning and sea aquaculture planning. Obviously, the new method was more practical and reasonable. It is expected that our study can provide new ideas and references for marine resource asset management.

Keywords: marine resource assets inventory; homogeneous area; unstructured grid; adaptation