

海洋生态适宜性评价技术指南

Technical guidelines for marine ecological suitability evaluation

2021 - 09 - 22 发布

2021 - 10 - 22 实施

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由浙江省自然资源厅提出。

本标准由浙江省海洋资源环境标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:自然资源部第二海洋研究所、中国海洋大学、国家海洋局北海环境监测中心。

本标准主要起草人:向芸芸、杨辉、陈全震、黄伟、罗先香、赵蓓、张华国、陈培雄、周鑫。

海洋生态适宜性评价技术指南

1 范围

本标准规定了海洋生态适宜性的评价指标、指标计算、指标分级、权重、评价等。

本标准适用于以精度不小于1 km×1 km的栅格单元为评价单元对浙江省所辖海域进行生态适宜性评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 12763.6 海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查

GB 17378.4 海洋监测规范 第4部分：海水分析

HY/T 0273 海洋灾害风险评估和区划技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

海洋生态适宜性 *marine ecological suitability*

由海洋生态系统具有的地质、地貌、水文、气象等自然属性和人口、经济、区位等社会属性所决定的，对区域可持续发展的生态学需求满足程度和适应能力。

3.2

生态干扰度 *hemeroby*

生态系统内各组分的天然性受到干扰的程度，与景观自然度（*landscape naturalness*，即生态系统的天然性程度）相对，描述人类活动对生态系统的干扰和影响的强度。

4 评价指标

从海洋生态环境适宜性、海洋自然资源适宜性和海洋社会经济适宜性三大方面，将海洋生态适宜性评价指标体系分为目标层、准则层、指标层和要素层，共计6个一级指标，19个二级指标，20个要素指标。

根据指标的强制性，分为必选指标和可选指标。必选指标即海洋生态适宜性评价中的必选通用指标，可选指标则根据具体评价区域的资源环境特点和数据资料掌握程度选用。

具体评价指标体系见表1。

表1 海洋生态适宜性评价指标体系

目标层	准则层	一级指标	二级指标	要素层	方向	是否必选
海洋生态适宜性	海洋生态环境适宜性	生境结构	群落结构	生物多样性指数	正向指标	●
			环境质量	富营养化指数	负向指标	●
			自然岸线完整性	自然岸线保有率	正向指标	●
			海洋灾害风险分布	海洋风险强度指数	负向指标	○
		生境功能	重要保护价值	生态敏感区和重要保护对象	正向指标	●
			景观类型	生态干扰度	负向指标	●
			生产供给	净初级生产力	正向指标	●
	海洋自然资源适宜性	空间资源	深水岸线资源	可利用深水岸线长度	负向指标	●
			滩涂资源	可利用滩涂面积	负向指标	●
			景观文化资源	景区级别系数	负向指标	○
		能源资源	海洋能源	海洋能源理论发电量	负向指标	○
			矿产资源	海砂储量	负向指标	○
	海洋社会经济适宜性	社会经济条件	海洋经济	海洋产业总产值	负向指标	●
			沿海人口状况	人口密度	负向指标	●
			区位条件	重要节点可达性	负向指标	●
		海域利用现状	海域利用程度	海域利用面积比例	负向指标	●
			围填海开发	围填海强度	负向指标	○
			海水养殖	鱼、虾蟹类养殖产量	负向指标	○
				海藻、贝类养殖产量	正向指标	○
			港口开发	港口吞吐量	负向指标	○

5 指标量化

5.1 海洋生态环境适宜性

5.1.1 生境结构

5.1.1.1 群落结构

采用生物多样性指数（取浮游植物多样性指数、浮游动物多样性指数、底栖生物多样性指数的平均值）衡量，通过计算评价海域内实测点站位的生物多样性数据，经克里金插值后得到该指标的空间分布。各实测点的生物多样性指数根据下述Shannon-Wiener多样性指数公式(1)进行计算：

$$S = -\sum_{i=1}^N P_i \times \ln P_i \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S ——Shannon-Wiener多样性指数；

N ——生物物种数；

P_i ——第 i 种生物个体数占总个体数的比例。

N 和 P_i 值来源于现场调查数据，调查站位的布设根据全面覆盖、基本均匀、重点代表的原则确定，并应该覆盖整个评价海域，调查频次至少应当满足一年一次，季节变化较大的海域应获取不同季节的调查数据，调查和监测方法按照GB/T 12763.6的有关规定执行，满足主要生态系统分布区、主要人类活动区的评价要求。

5.1.1.2 环境质量

用富营养化指数来表示，通过计算评价海域内实测点站位的富营养化指数数据，经克里金插值后得到该指标的空间分布。各实测点的富营养化指数根据公式（2）进行计算：

$$EI = \frac{COD \times DIN \times DIP}{4500} \times 10^6 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

EI ——富营养化指数；

COD——海水化学需氧量（mg/L）；

DIN——溶解态无机氮含量（mg/L）；

DIP——溶解态无机磷含量（mg/L）。

COD、DIN、DIP值来源于现场调查数据，调查站位的布设根据全面覆盖、基本均匀、重点代表的原则确定，并应该覆盖整个评价海域，调查频次至少应当满足一年一次，季节变化较大的海域应获取不同季节的调查数据，调查和监测方法按照GB/T 12763.6和GB 17378.4的有关规定执行，满足主要生态系统分布区、主要人类活动区的评价要求。

5.1.1.3 自然岸线完整性

用该区域自然岸线保有率来衡量。

注：数据来源为浙江省和地区海岸线调查及年度公报。

5.1.1.4 海洋灾害风险分布

用海洋风险强度指数来表征。具体引用HY/T 0273中风险评估结果。

5.1.2 生境功能

5.1.2.1 重要保护价值

用海洋生态环境敏感区和重要保护对象的空间分布来表示。根据研究区内生态环境敏感程度和重要程度划定不同保护级别的区域，采取半定量的方式确定各类型的生态保护重要性分值。其中：I类区域包括自然保护区的核心区和缓冲区，海洋特别保护区的重点保护区，湿地公园的湿地保育区和恢复重建区、水产种质资源保护区的核心区；II类区域包括国家级自然保护区的实验区，海洋特别保护区的生态资源恢复区（海洋牧场、增殖放流区）和预留区，其他重要渔业水域（产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道）；III类区域即除其他四种类型之外的区域；IV类区域包括以人文景观为主的重要风景名胜区；V类区域为沿海城市建成区、重要有居民海岛和其他优化开发区域等。

注：数据来源为浙江省和地区海洋生态红线划定方案、生态环境功能区划、保护区相关规划、旅游规划、岸线保护和利用规划等资料。

5.1.2.2 景观类型

用生态干扰度来表征，分别确定开放海域、林地、草地、滩涂、坑塘水面、未利用地、裸岩石砾地、开放式养殖用海、水库、盐业用海、围海养殖用海、耕地、工业用海、其他工业用海、围填海、住宅用海、交通用海、建设用海、港口用海、码头用海、固体矿产开采、旅游基础设施用海等22种类型，并依次确定上述用海类型对景观变化的生态干扰程度，分成三大类五小类（见表2）。

注：数据来源为浙江省和地区土地利用调查数据、海域使用数据和海岛调查数据。

表2 生态干扰度指数景观类型分类系统

一级类型	二级类型	干扰度指数
无干扰	开放海域、滩涂	(∞, 0.15)
半干扰（人为、自然作用参半，主要为农业、养殖业等）	人工湿地、坑塘水面（海岛）、林地（海岛）、草地（海岛）、未利用地（海岛）	[0.15, 0.50)
	开放式养殖用海、水库、盐业用海	[0.50, 0.65)
	围海养殖用海、耕地（海岛）	[0.65, 0.80)
全干扰（人工构筑物如港口、码头等）	工业用海、其他工业用海、围填海、住宅用海、交通用海、建设用海、港口用海、码头用海、海砂开采用海、旅游基础设施用海	[0.80, ∞)

5.1.2.3 生产供给

采用净初级生产力来衡量，通过计算评价海域内实测点站位的初级生产力数据，并经克里金插值后得到其空间分布。各实测点的初级生产力计算采用叶绿素法，按照Cadee和Hegeman提出的真光层初级生产力简化计算公式（3）进行估算：

$$P = p \times E \times D / 2 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- P——每日现场的初级生产力（mgC/m²·d）；
 - p——表层水浮游植物的潜在生产力（mgC/m·h）；
 - E——真光层深度（m），取透明度的3倍；
 - D——白昼时间（h），即日出至日落的时间长度，取12 h。
- p 可用式（4）计算：

$$p = Cn \times Q \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- p ——表层水浮游植物的潜在生产力（mgC/m·h）；
- Cn——表层叶绿素a含量（mg/m³）；
- Q ——不同层次同化系数算数平均值，取3.7。

5.2 海洋自然资源适宜性

5.2.1 空间资源

5.2.1.1 深水岸线资源

用区域可利用深水岸线长度（km）来度量。

注：数据来源于浙江省和地区统计资料，或利用ArcGIS软件中的地理统计工具计算可利用深水岸线长度。

5.2.1.2 滩涂资源

用区域可利用滩涂面积 (km²) 来度量, 即平均高潮线以下低潮线以上的海域面积。

注: 数据来源于浙江省和地区统计资料及相关规划。

5.2.1.3 景观文化资源

区内景区级别系数, 来源于区域旅游发展相关的统计数据, 其计算公式见式 (5):

$$Q_i = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{j=1}^n D_j} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q_i ——评价单元*i*的景区级别系数;

m ——评价单元*i*内的景区数目;

n ——评价区域内的景区总数目;

D_i, D_j ——评价单元内第*i*个、第*j*个海洋旅游景区的景区级别分值, 该分值根据国家旅游局评定的景区级别赋值确定, 具体为5A级景区赋值6分, 4A级景区赋值5分, 依次类推, 直到1A级景区赋值2分, 未定景区级别但是在评价海域又相对重要的景区赋值2分, 其他赋值1分。

注: 数据来源于浙江省和地区统计资料及旅游景区相关规划。

5.2.2 能源资源

5.2.2.1 海洋能源

此处可利用的海洋能主要考虑风能、潮汐能、波浪能和潮流能。利用替代价值法, 采用海洋能源理论发电量 (Twh) 量化海洋能源的实物量。

注: 数据来源于浙江省和地区海洋和能源相关统计资料。

5.2.2.2 矿产资源

具体指浅海砂矿面积 (km²)。

注: 数据来源于自然资源统计资料和908调查数据。

5.3 海洋社会经济适宜性

5.3.1 社会经济条件

5.3.1.1 海洋经济

用海洋产业总产值来衡量。其中, 海洋经济产业主要包括海洋渔业、海洋油气业、海洋矿业、海洋盐业、海洋化工业、海洋生物医药业、海洋电力业、海水利用业、海洋船舶工业、海洋工程建筑业、海洋交通运输业、滨海旅游和海洋科研教育管理服务业等。计算公式见式 (6):

$$Q = \sum Q_i \dots\dots\dots (6)$$

式中:

Q ——某区域海洋产业总产值 (亿元);

Q_i ——某区域*i*类海洋产业的产值 (亿元)。

注：数据来源为浙江省和地区统计年鉴、海洋统计资料及国民经济和社会发展统计公报。

5.3.1.2 沿海人口状况

用空间人口密度来衡量区域内各地人口的密集程度，即人口在空间上的分布，可直接引用国家地球系统科学数据中心的公里网格人口分布数据集。

5.3.1.3 区位条件

选取距区域内重要码头、港口以及大陆岸线距离的平均值作为衡量区域区位条件的重要指标。区域内各栅格单元计算公式见式（7）：

$$D_i = \frac{D_{wi} + D_{hi} + D_{ci}}{3} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- D_i ——区域内第*i*个栅格单元的重要节点可达性（km）；
- D_{wi} ——区域内第*i*个栅格单元与重要码头的距离（km）；
- D_{hi} ——区域内第*i*个栅格单元与重要港口的距离（km）；
- D_{ci} ——区域内第*i*个栅格单元与大陆岸线的距离（km）。

注：具体计算可用ARCGIS的缓冲区分析功能，数据来源于区域基础地理信息数据、总体规划、交通港航等规划资料。

5.3.2 海域利用现状

5.3.2.1 海域利用程度

用现阶段已经使用的海域面积比例来衡量，通过开发性的确权海域面积占管辖海域面积的比例测算。其中，开发性的确权海域类型包括渔业用海、工业用海、交通运输用海、旅游娱乐用海、海底工程用海、排污倾倒用海和造地工程用海。计算公式见式（8）：

$$R = \frac{\sum D_i}{M} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- D_i ——某区域*i*类用海的面积（ km^2 ）；
- M ——某区域管辖海域总面积（ km^2 ）。

注：数据来源为地区海域使用确权数据。

5.3.2.2 围填海开发

用围填海强度值来衡量，具体采用围填海面积和海岸线长度的比值所处的强度水平值，数据来源于统计资料和地区围垦规划，计算公式见式（9）：

$$RE_i = \frac{S_i/L_i}{S_N/L_N} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- RE——某区域*i*类围填海强度值；
- S_i ——某区域*i*类围填海面积（ km^2 ）；
- L_i ——某区域*i*类海岸线长度（km）；

S_N ——浙江省围填海面积 (km^2)；

L_N ——浙江省海岸线长度 (km)。

注：数据来源于统计资料和地区围垦规划。

5.3.2.3 海水养殖

用海水养殖产量 (t) 来表征。指利用滩涂、浅海、港湾及陆上海水水体，通过人工投放苗种或天然纳苗，并经人工饲养管理所获得的水产品总量，包括鱼类、虾蟹类、海藻和贝类，其中贝藻类养殖对生态环境的保护有积极效应，为正向指标，鱼类、虾蟹类养殖产量则为负向指标。

注：数据来源为浙江省和地区渔业经济统计资料。

5.3.2.4 港口开发

区内港口的吞吐量 (万吨)。具体指一年间经水运输出、输入港区并经过装卸作业的货物总量。

注：数据来源为浙江省和地区统计年鉴。

6 指标标准化与分级

对于有连续数值的指标，指标的标准化过程即确定各等级区间的界限，本标准中涉及的11个连续性指标标准化结果见表3。

对于数据来源于统计年鉴的9个指标，原始数据均按照最小行政区划单元进行统计，这类指标的标准化过程即计算出指标绝对数值与极值（正向指标的最大值、或负向指标的最小值）的比值，再取整到 [1, 5] 区间，计算公式见式 (10)：

$$C_i = \begin{cases} \left[\frac{B_i}{B_{i\max}} \times 5 \right], B_i \text{ 为正向指标} \\ \left[\frac{B_i}{B_{i\max}} \times 1 \right], B_i \text{ 为负向指标} \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

C_i ——各指标标准化处理后的数值；

B_i ——i 指标绝对数值；

$B_{i\max}$ ——i 指标序列中的最大值；

$B_{i\min}$ ——i 指标序列中的最小值。

表3 海洋生态适宜性评价连续性指标标准化区间

指标	级别					
	0	1	2	3	4	5
生物多样性指数	—	[1.79, 1.86)	[1.86, 1.91)	[1.91, 1.97)	[1.97, 2.05)	[2.05, 2.15)
富营养化指数	[5, ∞)	[3, 5)	[1, 3)	[0.4, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1)
自然岸线保有率	—	[0, 30%)	[30%, 35%)	[35%, 45%)	[45%, 70%)	[70%, 100%)
海洋风险强度指数	—	I	II	/	III	IV
生态敏感区和重要保护对象	—	V 类区域	IV 类区域	III 类区域	II 类区域	I 类区域

表3 海洋生态适宜性评价连续性指标标准化区间（续）

指标	级别					
	0	1	2	3	4	5
生态干扰度	—	[0.80, ∞)	[0.65, 0.80)	[0.50, 0.65)	[0.15, 0.50)	[∞, 0.15)
景区级别系数	—	[1.00, ∞)	[0.75, 1.00)	[0.50, 0.75)	[0.25, 0.50)	[0, 0.25)
净初级生产力	—	[40, 50)	[50, 60)	[60, 70)	[70, 80)	[80, 100)
人口密度	—	[37 808, ∞)	[22 240, 37 808)	[11 120, 22 240)	[4 576, 11 120)	[0, 4 576)
重要节点可达性	—	[1, 5)	[5, 10)	[10, 25)	[25, 40)	[40, ∞)
围填海强度	—	[0, 0.5)	[0.5, 0.8)	[0.8, 1.2)	[1.2, 2)	[2, ∞)

7 权重

采用层次分析法与德尔菲法相结合的方式,通过定量化获得海洋生态适宜性评价指标因子的推荐权重,见表4。

表4 海洋生态适宜性评价指标权重

目标层	准则层	一级指标	二级指标	权重 ^a
海洋生态适宜性	海洋生态环境适宜性 (0.451)	生境结构	群落结构	0.074
			环境质量	0.034
			自然岸线完整性	0.038
			海洋灾害风险分布	0.028
		生境功能	重要保护价值	0.072
			景观类型	0.137
			生产供给	0.068
			空间资源	0.098
	海洋自然资源适宜性 (0.36)	空间资源	深水岸线资源	0.098
			滩涂资源	0.104
		能源资源	景观文化资源	0.092
			矿产资源	0.036
	海洋社会经济适宜性 (0.189)	社会经济条件	海洋能源	0.030
			海洋经济	0.022
			沿海人口状况	0.016
海域利用现状		区位条件	0.025	
		海域利用程度	0.036	
		围填海开发	0.040	
		海水养殖	0.017	
港口开发	0.033			

^a 权重根据浙江省典型海域海岛情况综合确定,针对不同评价区域的实际情况可以对部分指标权重酌情调整,调整幅度 $\leq \pm 0.05$ 。

8 海洋生态适宜性评价

在ArcGIS中进行栅格运算得到评价区域的海洋生态适宜性指数ESI，计算公式见式（11）：

$$(ESI_1, ESI_2, \dots, ESI_m) = (w_1, w_2, \dots, w_n) \times \begin{bmatrix} I_{11} & \dots & I_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ I_{n1} & \dots & I_{nm} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

m ——评价单元总数；

n ——评价指标总项数；

ESI——海洋生态适宜性评价指数；

w ——各指标权重；

I ——各指标标准化数值。

根据评价结果数值的空间分布，将评价区域分为以下四个等级：

- 重点保护区（ESI为[3.75, 5]）：生物多样性高，生物群落的组成与结构稳定；环境质量优越，海洋风险强度低；景观自然度高，生态系统服务功能可持续；海洋资源的生态保护价值高，社会经济条件相对不发达，海域开发利用程度低。后续应当重点加强典型海洋、海岛景观及海洋生物等的保护，严禁破坏海岛及海岸线的自然属性，进一步改善敏感区的生态环境，提高区内的生物多样性，维持海洋生态系统的良性循环。
- 一般保护区（ESI为[2.5, 3.75]）：生物多样性较高，生物群落的组成与结构基本稳定；环境质量较好，海洋风险强度较低；景观自然度较高，生态系统服务功能正常发挥；海洋资源的生态保护价值较高，社会经济条件较不发达，海域开发利用程度较低。后续应当实施分类管理：在重要渔业水域，实施禁渔区、休渔期管制，禁止开展对海洋经济生物繁殖生长有较大影响的开发活动；在各类保护区，严格限制不符合保护目标的开发活动。
- 适度开发区（ESI为[1.25, 2.5]）：生物多样性较低，生物群落的组成与结构发生了一定程度的改变；环境质量较差，海洋风险强度较高；景观自然度较低，生态系统服务功能受限；海洋资源的开发利用价值较高，社会经济条件较好，海域开发利用程度较高。后续应当在优化近岸海域空间布局的基础上，合理调整海域开发规模和时序，控制开发强度，有效保护自然岸线和典型海洋生态系统，提高海洋生态服务功能，实现海洋生态环境与社会经济的可持续发展。
- 优化开发区（ESI为[0, 1.25]）：生物多样性很低，生物群落的组成与结构不稳定；环境质量恶劣，海洋风险强度高；景观自然度低，生态系统服务功能退化；海洋资源的开发利用价值高，社会经济条件发达，海域开发利用程度高。后续应当结合海域资源的特色优势，因海制宜，综合安排各海域的功能定位，重点协调养殖区域与港口发展、旅游发展、岸线利用的关系，推动海洋传统产业技术改造和优化升级。