

# 基于 GIS 的宁波梅山岛工程建设地质适宜性评价

杨国强, 金 阳, 李 云, 姜月华, 顾 轩, 梅世嘉, 张 鸿

(中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 从地质条件、地质环境及地质资源等多角度出发, 建立包括地形地貌工程地质、水文地质、不良地质作用和地质灾害、活动断裂和地震效应、岸线资源等 6 个评价要素, 15 个评价因子, 4 个因子划分等级的多层次海岛工程建设地质适宜性评价指标体系, 并利用 GIS 空间分析技术对宁波梅山岛进行评价。在此基础上, 叠加梅山岛生态红线管控区, 将二级管控区划分为适宜性差区。评价结果表明: 梅山岛工程建设适宜性总体良好, 适宜-较适宜工程建设区面积占比达 75.5%, 可满足近期规划建设用地需求; 近深水岸线区均为适宜-较适宜, 其中未开发利用长度 6.1 km, 可有效支撑梅山岛国际港口城市新城区建设。该评价结果可为梅山岛的开发利用及生态保护提供科学依据, 同时对完善工程建设地质适宜性评价体系具有一定的理论意义。

**关键词:** 海岛; GIS; 工程建设适宜性评价; 生态

中图分类号: P748; P642.5 文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2020)05-0133-08

DOI: 10.11759/hyqx20190727001

海岛位于大陆向海洋过渡的结合地带, 以其特有的区位、资源和环境优势, 在国家经济建设中占据重要地位<sup>[1]</sup>。近年来, 随着海洋经济的快速发展, 海岛城镇化进程不断加快<sup>[2]</sup>, 由此引发的海岛地质环境问题日益凸显<sup>[3-4]</sup>。为实现海岛工程建设与地质环境的协调发展, 需重视海岛工程建设地质适宜性评价工作。目前, 工程建设适宜性评价以陆域城镇研究为主<sup>[5-7]</sup>, 对具有特殊区位、环境及资源优势的海岛区域研究仍较少; 同时, 主要从地质条件及地质环境角度出发<sup>[8-10]</sup>, 未综合考虑区域发展与保护需求, 如地质资源优势对地区发展的支撑作用、生态保护对工程建设的限制作用等, 评价结果实用性降低。本文探索性从地质条件及地质环境角度出发, 结合海岛特色地质资源优势, 建立海岛工程建设地质适宜性评价指标体系, 并在充分考虑生态保护基础上对宁波梅山岛进行综合评价, 可为梅山岛工程建设与生态环境保护提供参考。

## 1 研究区概况

梅山岛地处宁波象山港东北部, 面积约 38.3 km<sup>2</sup>, 是我国海岛中腹地开阔的海积平原岛(图 1)。梅山岛作为国家级保税港区所在, 被定位为长三角“三位一体”港航物流服务体系建设示范区、浙江海洋新兴产业发展引领区和宁波现代化国际港口城市新城区<sup>[11]</sup>, 是浙江海洋经济发展的重要组成部分。

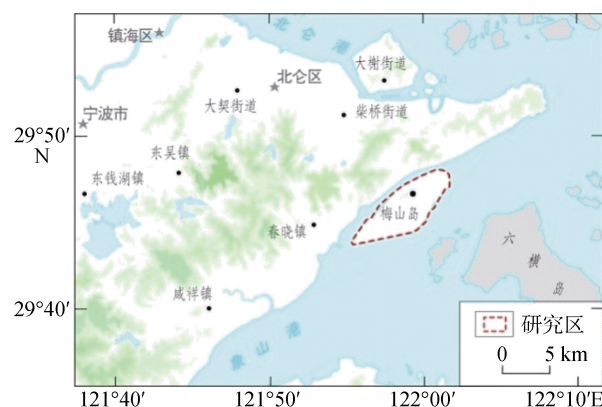


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Geographic location of the research area

## 2 评价指标体系和方法

### 2.1 评价指标体系的建立

本次海岛工程建设地质适宜性评价指标体系的建立在地质条件及地质环境因素基础上, 综合考虑地质资源对海岛发展定位的支撑作用。其中地质条

收稿日期: 2019-07-27; 修回日期: 2019-10-30

基金项目: 中国地质调查局资助项目(ND20181002, DD20190260)

[Foundation: China Geological Survey, No. ND20181002, No. DD20190260]

作者简介: 杨国强(1987-), 男, 江西萍乡人, 工程师, 硕士, 主要从事环境地质研究, 电话: 18013912720, E-mail: yangguoqiang640607@163.com

件及地质环境指标参照《城乡规划工程地质勘查规范》(CJJ57-2012)<sup>[12]</sup>,并结合研究区实际情况,选取了地形地貌、工程地质、水文地质、不良地质作用和地质灾害、活动断裂和地震效应 5 个评价要素;地质资源指标根据梅山岛发展定位,选取了岸线资源

作为评价要素。基于与各评价要素的相关性,进一步选择了地貌类型、深水岸线等 15 个评价因子(图 2)。此外,为维护海岛生态安全和可持续发展,严禁有损主导生态功能的开发建设,在评价结果基础上,选取了生态红线作为否决指标。

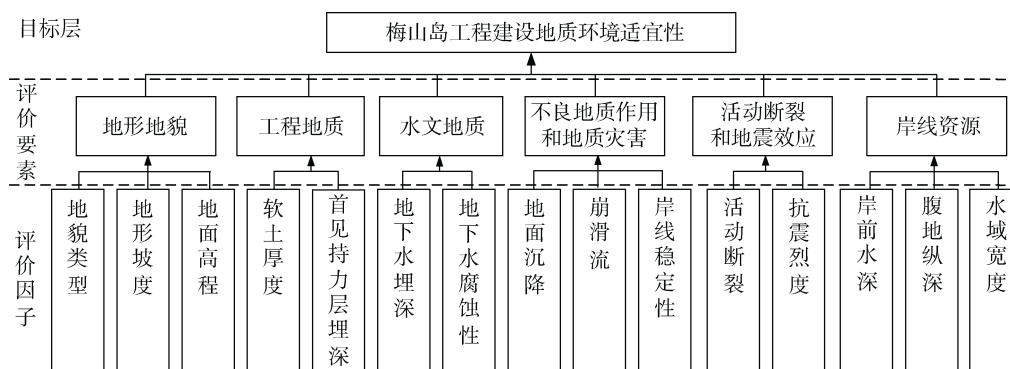


图 2 海岛工程建设地质适宜性评价指标体系

Fig. 2 Geological assessment index system of Meishan Island for engineering construction

## 2.2 评价因子量化分级标准

根据各评价因子对地质适宜性的影响程度,采用定量与定性相结合的方法对各个单因子进行量化分级,划分为适宜(I级)、较适宜(II级)、适宜性差(III级)、不适宜(IV级)4个等级,并分别赋予 8—10、

6—8、3—6、1—3 的分值,分值大者为优。评价因子量化分级标准见表 1。

## 2.3 评价指标权重的确定

层次分析法是在定性方法基础上发展起来,定量确定参评因子权重的一种系统分析方法<sup>[13]</sup>,该方法

表 1 评价因子量化分级标准

Tab. 1 Quantitative grading standard of the evaluation indices

一级因子	二级因子	分级标准			
		I 级	II 级	III 级	IV 级
地形地貌(A)	地貌类型(A <sub>1</sub> )	平原	堆积斜地	围涂区	低山丘陵
	地形坡度(A <sub>2</sub> /(°))	<6	6~15	15~25	>25
	地面高程(A <sub>3</sub> /m)	>3	2~3	1~2	<1
工程地质(B)	软土厚度(B <sub>1</sub> /m)	<10	10~20	20~30	>30
	首见持力层埋深(B <sub>2</sub> /m)	<15	15~30	30~60	>60
水文地质(C)	地下水埋深(C <sub>1</sub> /m)	>3	2~3	1~2	<1
	地下水腐蚀性(C <sub>2</sub> )	微	弱	中	强
不良地质作用和地质灾害(D)	地面沉降速率(D <sub>1</sub> /(mm/a))	<30	30~50	>50	>50
	突发性地质灾害(D <sub>2</sub> )	不易发	低易发区	中易发区	高易发区
	岸坡稳定性(D <sub>3</sub> )	失稳风险性低	失稳风险性低	失稳风险性中等	失稳风险性大
活动断裂和地震效应(E)	活动断裂(E <sub>1</sub> )	无活动断裂	非全新活动断裂	微弱—中等 全新活动断裂	强烈全新活动断裂
	抗震烈度(E <sub>2</sub> )	≤VI度区	VII、VIII度区	IX度区	>IX度区
岸线资源(F)	岸前水深(F <sub>1</sub> )	-8 m 以深等深线	-5~-8 m 等深线	-2~-5 m 等深线	-2~-5 m 等深线
		距岸小于 500 m	距岸小于 500 m	距岸小于 500 m	距岸大于 500 m
	腹地纵深(F <sub>2</sub> /km)	>1	0.5~1	<0.5	<0.5
	岸前水域宽度(F <sub>3</sub> /km)	>1	0.5~1	<0.5	<0.5

可将人们的经验思维量化,以检验决策者判断的一致性,有利于实现定量化评价。其计算权重的步骤主要包括<sup>[14]</sup>:

(1) 分析系统中各因素的关系,建立系统的层次结构;

(2) 对同一层次上各因素关于上一层次某一准则的重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵(正互反矩阵)(表 2);

(3) 由判断矩阵计算被比较元素对于该准则的相对权重,并进行一致性检验。

表 2 判断矩阵及权重值表

Tab. 2 Judgment matrix and weighted coefficient

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$B_1$	$B_2$	$C_1$	$C_2$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$E_1$	$E_2$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	权重值
$A_1$	1	2	2	1/2	1/2	3	3	2	3	3	4	4	1	2	3	0.104
$A_2$	1/2	1	1	1/3	1/3	2	2	1	2	2	3	3	1/2	1	2	0.063
$A_3$	1/2	1	1	1/3	1/3	2	2	1	2	2	3	3	1/2	1	2	0.063
$B_1$	2	3	3	1	1	4	4	3	4	4	5	5	2	3	4	0.158
$B_2$	2	3	3	1	1	4	4	3	4	4	5	5	2	3	4	0.158
$C_1$	1/3	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1	1/2	1	1	2	2	1/3	1/2	1	0.036
$C_2$	1/3	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1	1/2	1	1	2	2	1/3	1/2	1	0.036
$D_1$	1/2	1	1	1/3	1/3	2	2	1	2	2	3	3	1/2	1	2	0.063
$D_2$	1/3	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1	1/2	1	1	2	2	1/3	1/2	1	0.036
$D_3$	1/3	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1	1/2	1	1	2	2	1/3	1/2	1	0.036
$E_1$	1/4	1/3	1/3	1/5	1/5	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1	1	1/4	1/3	1/2	0.022
$E_2$	1/4	1/3	1/3	1/5	1/5	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1	1	1/4	1/3	1/2	0.022
$F_1$	1	2	2	1/2	1/2	3	3	2	3	3	4	4	1	2	3	0.104
$F_2$	1/2	1	1	1/3	1/3	2	2	1	2	2	3	3	1/2	1	2	0.063
$F_3$	1/3	1/2	1/2	1/4	1/4	1	1	1/2	1	1	2	2	1/3	1/2	1	0.036

本次研究通过层次分析法对各因子权重进行了确定,具体结果如表 2 所示。从表中可以看出,软土厚度、首见持力层埋深等工程地质因子作为影响工程地质性质及工程建设成本的主要因素权重值最大;其次为对工程建设起明显制约作用的地形地貌因子及对区域发展起支撑作用的岸线资源因子;此外,由于研究区无晚更新世以来活动断裂分布且区域地壳属基本稳定类型,活动断裂和地震效应因子权重值相对较小。而通过计算,判断矩阵的最大特征值  $\gamma_{\max}=15.506$ ,一致性指标  $CI=0.036$ ,最终求取一致性比率  $CR=0.023<0.1$ ,满足一致性检验要求,说明求取的权重是合理的。

### 2.4 评价方法

以上述 15 项因子为评价基础,形成单因子适宜性程度分级图,并利用 GIS 软件,将研究区划分为 3 830 个 100 m×100 m 单元格(图 3),然后采用多因子分级加权指数法(公式(1)),以 GIS 网格(GRID)为基本评价单元,对以上各单因子分级评价图进行叠加,得到梅山岛工程建设地质适宜性指数  $I_S$ ,并根据适宜性评价标准判定评价单元的工程建设适宜性分级。

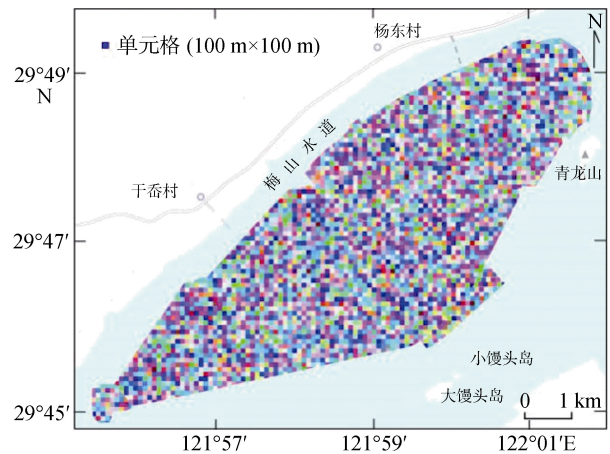


图 3 评价单元格划分  
Fig. 3 Evaluation cell division

$$I_S = \sum_{i=1}^n w'_i \sum_{j=1}^m w''_{ij} X_{ij}, \quad (1)$$

式中:  $I_S$  为评价单元的工程建设地质环境适宜性评价指数;  $w'_i$  为中间层第  $i$  项评价要素的权重;  $n$  为参评的中间层评价要素的总数;  $w''_{ij}$  为隶属于第  $i$  项评价要素下的第  $j$  项评价因子的权重;  $m$  为隶属于第  $i$  项

评价要素的参评评价因子的总数;  $X_{ij}$  为第  $i$  项评价要素下的第  $j$  项评价因子的具体量化分值。  $I_s \geq 60$  为适宜级,  $45 \leq I_s < 60$  为较适宜级,  $30 \leq I_s < 45$  为适宜性差级,  $I_s < 30$  为不适宜级。

### 3 工程建设地质适宜性评价

#### 3.1 评价因子参数获取

本次研究各项因子参数主要通过宁波都市圈 1:5 万环境地质调查项目实际调查资料及其他相关收集资料获取。其中地貌类型、腹地纵深及岸前水域宽度等利用区域遥感资料结合实际调查获取; 地形坡度、地面高程等利用区域地形资料提取; 软土厚度及首见持力层埋深为利用调查施工及收集工程地质钻孔(共 46 个)获取; 地下水埋深、地下水腐蚀性等为利用水井调查及样品测试获得; 突发性地质灾害、地面沉降速率及岸坡稳定性、岸前水深等为参考《宁波市海岸带环境地质调查评价》<sup>[15]</sup>并结合实际调查获得; 活动断裂及抗震烈度为参考《宁波市环境地质调查评价》<sup>[16]</sup>获得。最终, 得到梅山岛各适宜性评价因子取值结果(图 4)。

#### 3.2 单要素分析

##### 3.2.1 地形地貌

研究区地貌以平原为主, 兼有丘陵山地与围涂区, 仅山前局部为堆积斜地。其中平原区与围涂区地形低平, 坡度小于  $6^\circ$ , 地面高程介于 1~3 m; 丘陵山地地形坡度总体较小, 约  $20^\circ$ , 地面高程普遍  $> 3$  m。

##### 3.2.2 工程地质

根据研究区土体沉积时代、成因类型、结构、岩性及物理力学性质等特征, 平原区地层可分为 9 个工程地质层, 17 个工程地质亚层(表 3), 其中②、③层软土层为主要工程地质不良层, ④<sub>1</sub>、⑤<sub>1</sub>、⑥<sub>1</sub>等硬土层及基岩为主要持力层, 首见持力层埋深与软土层厚度总体呈距海域越近, 埋深与厚度越大趋势; 丘陵山区岩性主要为火山碎屑岩、火山熔岩, 岩体坚硬, 抗风化能力强, 完整性较好, 工程地质条件良好。

##### 3.2.3 水文地质

根据研究区地下水赋存条件, 平原区地下水类型主要为松散岩类孔隙水, 其中孔隙潜水水位埋深多小于 2 m, 水质普遍较差, 对混凝土结构具弱—强腐蚀性; 丘陵山区地下水类型主要为基岩裂隙水, 水量微弱, 水质良好, 对混凝土结构以微腐蚀为主。

#### 3.2.4 不良地质作用和地质灾害

平原区由于软土广布, 工程性地面沉降易发, 其中西侧七姓涂由于软土厚度大, 且新近围垦, 地面沉降速率  $> 30$  mm/a, 局部大于  $> 50$  mm/a; 丘陵区突发性地质灾害总体低易发, 仅局部切割较剧烈, 坡度较陡, 崩塌、滑坡等易发, 但规模较小; 近岸线区域人类工程活动总体较强烈, 软土层厚度普遍  $> 5$  m, 近岸水下地形平缓~较陡, 岸坡失稳风险总体中等—大。

#### 3.2.5 活动断裂和地震效应

研究区构造以断裂为主, 但无晚更新世以来活动断裂分布; 地震动峰值加速度值为 0.10 g, 对应地震基本烈度为 VII 度, 区域地壳属基本稳定类型。

#### 3.2.6 岸线资源

研究区海岸线总长 27.4 km, 其中深水岸线 9.3 km, 主要位于梅山岛东南与东北侧, 平均水深 22 m 以上, 具有良好的建港与航运条件; 港口的建设需要预留一定尺度的通航水域及陆域设施建设, 研究区陆域纵深  $> 1$  km 岸线长度为 25.2 km, 仅西南侧少量岸线陆域纵深  $< 1$  km; 岸前水域宽度  $> 1$  km 岸线长 11.9 km, 主要分布于研究区东南侧。

### 3.3 适宜性综合评价结果

根据上述评价方法, 利用 Arcgis 10.5 软件的空间分析模块, 对各单因子评分图层进行加权叠加运算, 同时综合考虑工程建设对生态环境的影响, 将二级生态管控区(图 5)划为工程建设适宜性差区, 得到研究区工程建设地质适宜性评价结果(图 6)。

结果显示: 梅山岛工程建设适宜性主要为适宜区、较适宜区及适宜性差区, 面积分别为 6.9、22.0、9.4 km<sup>2</sup>, 分别占梅山岛总面积的 18.0%、57.4%、24.5%; 适宜、较适宜及适宜性差岸线长度分别为 8.2、13.2、6.0 km, 分别占总长度的 30.0%、48.1%、21.9%, 其中深水岸线区均为适宜-较适宜, 已开发利用长度仅 3.2 km。

## 4 讨论

### 4.1 适宜性空间分布特征

根据单因子空间差异性分析, 研究区工程地质、水文地质条件及不良作用作用等总体呈距海域越远, 适宜性越优趋势; 岸线资源呈距海域越近, 适宜性越优趋势。

根据适宜性综合评价结果, 适宜区主要分布于丘陵山前及东北侧岸带区域, 其中丘陵山前主要



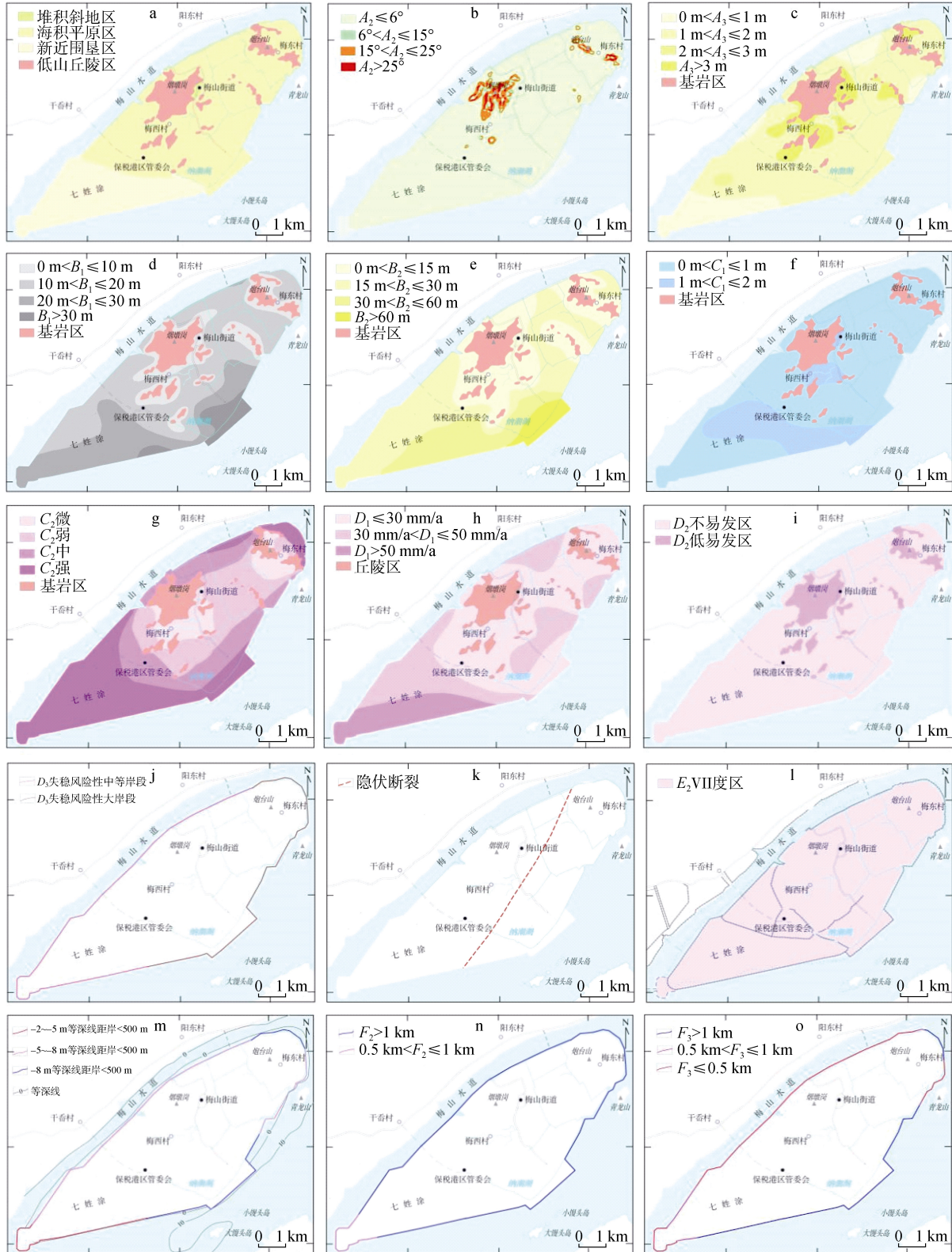


图 4 单因子参数分级图

Fig. 4 Grading of single-factor parameters

a: 地貌类型; b: 地形坡度; c: 地面高程; d: 软土厚度; e: 首层持力层埋深; f: 浅层地下水埋深; g: 地下水腐蚀性; h: 地面沉降速率; i: 突发性地质灾害; j: 岸线稳定性; k: 隐伏断裂分布图; l: 抗震烈度; m: 岸前水深; n: 腹地纵深; o: 岸前水域宽度; 图中各子图的经、纬度与图 3 中经、纬度一致。

表 3 梅山岛平原区工程地质层特征简述

Tab. 3 Description of engineering geological layer characteristics in the plain area of Meishan Island

层号	亚层编号	成因时代	岩性特征及工程地质评价简述
①	① <sub>1</sub>	mI <sub>Q</sub>	素填或回填土, 工程地质性质较差, 不宜选作天然浅基础持力层。
	① <sub>2</sub>	al-IQ <sub>4</sub> <sup>3</sup>	粉质黏土, 硬可塑, 工程地质性质较好, 可作为轻荷载建筑物的浅基础持力层。
②		mQ <sub>4</sub> <sup>2</sup>	淤泥质黏土/淤泥质粉质黏土, 流塑, 高压缩性, 工程地质性质极差。
③		mQ <sub>4</sub> <sup>1</sup>	淤泥质黏土/淤泥质粉质黏土, 流塑, 高压缩性, 工程地质性质极差。
④	④ <sub>1</sub>	al-IQ <sub>3</sub> <sup>2-2</sup>	粉质黏土, 可塑, 工程地质性质较好, 可作为轻型和一般建筑物持力层。
	④ <sub>2</sub>	mQ <sub>3</sub> <sup>2-2</sup>	粉质黏土, 软塑为主, 工程地质性质较差, 不宜作为构筑物桩基持力层。
	④ <sub>3</sub>	dl-plQ <sub>3</sub> <sup>2-2</sup>	含黏性土砂砾石, 中密—密实, 工程地质性质较好, 分布不均, 厚度较大时可作为建筑物持力层。
⑤	⑤ <sub>1</sub>	al-IQ <sub>3</sub> <sup>2-1</sup>	粉质黏土, 可塑, 工程地质性质较好, 可作为轻型或一般建筑物桩基持力层。
	⑤ <sub>2</sub>	mQ <sub>3</sub> <sup>2-1</sup>	粉质黏土, 灰色, 软—可塑, 工程地质性质一般。
	⑤ <sub>3</sub>	dl-plQ <sub>3</sub> <sup>2-1</sup>	含黏性土碎石, 中密, 工程地质性质较好, 分布不均匀。
⑥	⑥ <sub>1</sub>	al-IQ <sub>3</sub> <sup>1</sup>	粉质黏土, 硬可塑, 工程地质性质较好, 可作为重型建筑物桩基持力层。
	⑥ <sub>2</sub>	dl-plQ <sub>3</sub> <sup>1</sup>	含黏性土碎石, 中密, 工程地质性质较好, 分布不均。
⑦	⑦ <sub>1</sub>	al-IQ <sub>2</sub> <sup>2</sup>	粉质黏土, 硬可塑, 工程地质性质好, 可作为重型超重型建筑物的桩基持力层。
	⑦ <sub>2</sub>	al-plQ <sub>2</sub> <sup>2</sup>	含黏性土碎石, 密实, 工程地质性质较好。
⑧	⑧ <sub>1</sub>	al-IQ <sub>2</sub> <sup>1</sup>	粉质黏土, 硬塑, 工程地质性质好, 埋深较深, 可作为重型或超重型建筑物的桩基持力层。
	⑧ <sub>2</sub>	al-plQ <sub>2</sub> <sup>1</sup>	含黏性土碎石, 中密—密实, 工程地质性质好, 埋深较深。
⑨		/	基岩, 强-中风化, 性质较好, 可作为大型建筑桩基持力层。

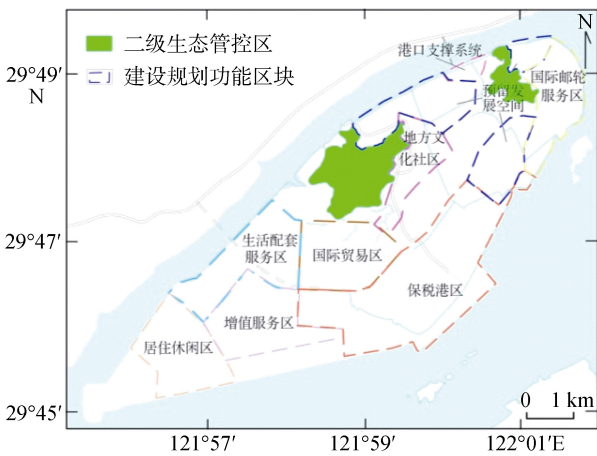


图 5 生态管控区分布与建设规划功能区

Fig. 5 Distribution of ecological control area and function-partition of construction planning

由于地形地貌、工程地质、水文地质、不良地质作用等条件优, 地质条件总体好, 东北侧岸带区域主要由于地质条件总体较好, 同时岸线资源条件突出; 适宜性差区主要分布于烟墩岗、炮台山、七姓涂南部及纳潮湖东侧区域, 其中烟墩岗、炮台山一带为二级生态管控区, 七姓涂南部、纳潮湖东侧主要由于地下水腐蚀性中-强、软土厚度及首见持力层埋深大、地面沉降速率大, 同时岸线资源条件较差; 较适宜

区分布范围较广, 其中远岸线区域主要由于地质条件总体良好, 近岸线区域地质条件总体一般, 主要由于地质资源优势突出。

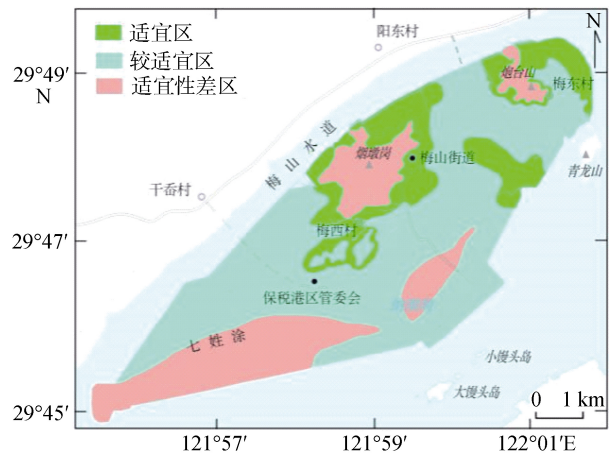


图 6 工程建设适宜性分区图

Fig. 6 Map of engineering construction suitability

#### 4.2 适宜性空间分布与建设规划协调性

结合《宁波梅山(保税)港城总体规划(2010—2030)》<sup>[11]</sup>(图 5)与适宜性综合评价结果(图 6)进行协调性分析, 可以看出: 梅山岛规划用地整体较合理, 适宜和较适宜区占规划面积的 83.2%, 其中近山前

适宜和较适宜区地质条件总体较好,主要规划为国际贸易、地方文化社区、配套生活服务及预留发展空间等功能区;近岸适宜和较适宜区岸线资源优势突出,主要规划为保税港、国际邮轮服务及港口支撑系统等功能区;适宜性差区仅占规划面积的 16.8%,主要规划为增值服务区与居住休闲区,该区域软土厚度大、持力层埋深深,工程建设难度及成本相对较高,同时地面沉降及地下水腐蚀性等问题突出,应注意采取相应措施进行防范;生态保护区未进行建设规划,但应注意植被、水源等保护,防范崩塌、滑坡等突发性地质灾害,同时可适当发展旅游产业,促进海岛城镇与自然的和谐发展。

## 5 结论与建议

1) 海岛城镇工程建设地质适宜性评价需综合考虑地质条件、地质环境特征及支撑区域发展特色地质资源优势,同时应注重生态环境保护。本文运用建立的海岛工程建设地质适宜性评价指标体系对梅山岛进行评价,具有良好的效果,该评价体系可为解决海岛城镇工程建设地质适宜性评价问题提供参考,具有一定的理论意义,评价结果可为梅山岛城镇规划、工程建设与生态环境保护等提供参考,具有一定的实际指导意义。

2) 梅山岛工程建设地质适宜性总体良好,适宜区、较适宜区面积广且成片分布,可满足近期城镇规划建设用地需求。

3) 梅山岛近深水岸线区域工程建设地质适宜性均为适宜-较适宜,目前未开发利用长度 6.1 km,港口开发潜力大,可有效支撑梅山岛国际港口城市新城建设。

### 参考文献:

- [1] 孙晓燕,李希彬. 2004~2013 年中国海洋科学研究热点分析:基于期刊论文关键词的计量分析[J]. 海洋科学, 2016, 40(2): 110-117.  
Sun Xiaoyan, Li Xibin. Focus of marine scientific research in China during 2004~2013 based on bibliometric analysis of keywords from scientific papers[J]. Marine Sciences, 2016, 40(2): 110-117.
- [2] 齐连明,张祥国,李晓东. 国内外海岛保护与利用政策比较研究[M]. 北京:海洋出版社,2013.  
Qi Lianming, Zhang Xiangguo, Li Xiaodong. Comparison Study on the Policy of Island Protection and Utilization in Foreign and Home[M]. Beijing: China Ocean Press, 2013.
- [3] 徐元芹,刘乐军,李培英,等. 我国典型海岛地质灾害类型特征及成因分析[J]. 海洋学报, 2015, 9(37): 71-83.  
Xu Yuanqin, Liu Lejun, Li Peiying, et al. Geology disaster feature and genetic analysis of typical islands, China[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 9(37): 71-83.
- [4] 詹文欢,孙宗勋,朱俊江,等. 珠江口海岛及海域地质环境与灾害初探[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 31-36.  
Zhan Wenhuan, Sun Zongxun, Zhu Junjiang, et al. A study on geological environment and hazards in Pearl River mouth islands and waters[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(4): 31-36.
- [5] 郝爱兵,吴爱民,马震,等. 雄安新区地上地下工程建设适宜性一体化评价[J]. 地球学报, 2018, 39(5): 513-522.  
Hao Aibing, Wu Aimin, Ma Zhen, et al. A study of engineering construction suitability integrated evaluation of surface-underground space in Xiongan New Area[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2018, 39(5): 513-522.
- [6] 陈绪钰,王东辉,田凯. 宜宾市规划中心城区工程建设地质环境适宜性综合评价[J]. 安全与环境工程, 2016, 23(4): 1-7.  
Chen Xuyu, Wang Donghui, Tian Kai. Comprehensive evaluation study on the geological environment suitability of engineering construction of the planned central urban area in Yibin City[J]. Safety and Environmental Engineering, 2016, 23(4): 1-7.
- [7] 邢怀学,葛伟亚,李亮,等. 基于 GIS 的丹阳城镇工程建设适宜性评价[J]. 华东地质, 2018, 39(3): 16-23.  
Xing Huaxue, Ge Weiya, Li Liang, et al. GIS-based suitability evaluation on constructive lands in the city of Danyang[J]. East China Geology, 2018, 39(3): 16-23.
- [8] 程惠红. 曹妃甸滨海新区工程建设适宜性评价[D]. 北京:中国地质大学(北京),2009.  
Cheng Huihong. Appraisals of suitability to project construction in New Region in Caofeidian[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009.
- [9] 侯新文. 环胶州湾地区城市地质及工程建设适宜性研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2011.  
Hou Xinwen. Research on urban geology and suitability of engineering construction surrounding Kiaochow Bay Area[D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 2011.
- [10] 梅芹芹,龚绪龙,史雅栋,等. 江苏沿海地区工程建设地质适宜性评价[J]. 地质学刊, 2018, 42(2): 317-322.  
Mei Qinqin, Gong Xulong, Shi Yadong, et al. On geological suitability evaluation of engineering construction in coastal Jiangsu area[J]. Journal of Geology, 2018, 42(2): 317-322.

- [11] 宁波梅山保税港区管委会, 宁波市规划局. 宁波梅山(保税)港城总体规划(2010~2030)[R]. 宁波: 宁波梅山保税港区管委会, 宁波市规划局, 2011.  
Ningbo Meishan Management Committee of Bonded Port Area, Ningbo Planning Bureau. Master plan of Ningbo Meishan (bonded) port city(2010-2030)[R]. Ningbo: Ningbo Meishan Management Committee of Bonded Port Area, Ningbo Planning Bureau, 2011.
- [12] CJJ57-2012, 城乡规划工程地质勘查规范[S].  
CJJ57-2012, Code for Geo-Engineering Site Investigation and Evaluation of Urban and Rural Planning[S].
- [13] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1989.  
Wang Lianfen, Xu Shubai. Introduction of Analysis Hierarchy Process (AHP)[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1989.
- [14] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.  
Zhao Huanchen, Xu Shubai, He Jinsheng. Analysis Hierarchy Process[M]. Beijing: Science Press, 1986.
- [15] 浙江省水文地质工程地质大队. 宁波市海岸带环境地质调查评价[R]. 宁波: 浙江省水文地质工程地质大队, 2017.  
Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology. Environmental geological survey and evaluation of Ningbo coastal zone[R]. Ningbo: Zhejiang Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 2017.
- [16] 浙江省地质环境监测院. 宁波市环境地质调查评价[R]. 杭州: 浙江省地质环境监测院, 2009.  
Environmental geological survey and evaluation of Ningbo City[R]. Hangzhou: Zhejiang Institute of Geological Environment Monitoring, 2009.

## GIS-based geological assessment for engineering construction in the Meishan Island, Ningbo

YANG Guo-qiang, JIN Yang, LI Yun, JIANG Yue-hua, GU Xuan, MEI Shi-jia, ZHANG Hong

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

**Received:** Jul. 27, 2019

**Key words:** island; GIS; engineering construction geological suitability; ecology

**Abstract:** By considering the geological conditions, environment, and resources, this paper establishes a multi-level index system for geological assessment, which includes 6 aspects (topography, engineering geology, hydrogeology, poor geologic function and hazard, active faults and seismic effect, and shoreline resource), 15 indicators, and 4 indicator levels. Based on the index system, the suitability of engineering construction in the Meishan Island is evaluated through GIS-based spatial analysis. The ecological red line control area in the Meishan Island is superimposed on the evaluation results to define the second-level control area as the poor area for engineering construction. The results indicate that the geological suitability of the Meishan Island is generally good, and 75.5% of the areas are well suitable or suitable for engineering construction, which can meet the demand of planning and construction land in the near future; the suitability of the near deep water shoreline areas are well suitable or suitable, and the undeveloped part (6.1 km) can effectively support the construction of the Meishan Island International Port City. The evaluation results can provide the foundation for exploitation and conservation of the Meishan Island. It also has theoretical significance for improving the evaluation index system of geological suitability.

(本文编辑: 刘珊珊)