



# 防城港市游艇码头岸线适宜性 量化分析评价及布局规划

袁文钊, 李晓钊, 张皓翔, 姚苑平, 钟昕昉

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 防城港市拥有“三岛三湾”的生态海湾资源, 具有发展游艇休闲、规划建设游艇码头的良好前景。目前, 游艇码头的布局规划研究主要基于实践经验总结, 以定性分析为主, 缺乏评价体系与定量分析的支撑。因此, 构建了游艇码头岸线适宜性评价指标体系, 在此基础上, 应用缓冲区分析、插值分析、核密度分析、网络分析、遥感解译等空间分析方法对防城港市游艇码头岸线适宜性进行量化分析评价, 据此提出防城港市游艇码头的布局规划建议, 可为其他城市游艇码头规划提供研究思路及参考。

**关键词:** 游艇码头; 岸线适宜性评价; 量化分析; 布局规划; 防城港市

中图分类号: U651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0110-07

## Shoreline suitability quantitative evaluation and planning of public yacht marina in Fangchenggang City

YUAN Wenzhao, LI Xiaochong, ZHANG Haoxiang, YAO Yuanping, ZHONG Xinfang  
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd. Guangzhou 510290, China)

**Abstract:** Fangchenggang possesses the ecological bay resources of “Three Islands and Three Bays” and has a promising outlook for yacht leisure and yacht marinas. At present, the research on the shoreline planning of yacht marinas mainly relies on practical experience and qualitative analysis, lacking the support of an evaluation system and quantitative analysis. Therefore, an evaluation index system for the suitability of yacht marina shorelines is constructed. Based on this, spatial analysis methods such as buffer analysis, interpolation analysis, kernel density analysis, network analysis, and remote sensing interpretation are applied to quantitatively analyze and evaluate the suitability of yacht marina shorelines in Fangchenggang City. Based on this, layout planning recommendations for yacht marinas in Fangchenggang City are proposed, and it can provide research ideas and references for the planning of yacht marinas in other cities.

**Keywords:** public yacht marina; shoreline suitability evaluation; quantitative analysis; layout planning; Fangchenggang City

防城港市海洋生态资源得天独厚, 企沙半岛、渔漓半岛、江山半岛和东湾、西湾、珍珠湾等“三岛三湾”交错分布, 拥有百里金色海滩、1万多平方公里海域, 具有发展游艇休闲、规划建设游艇

码头的良好前景。我国港口码头的岸线适宜性评价研究主要以货运码头、工业码头为研究对象<sup>[1-3]</sup>, 而游艇码头的规划研究主要对平面布局、工艺与水工结构、码头及后方配套设施规划等进

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 袁文钊 (1992—), 男, 硕士, 工程师, 注册城乡规划师, 咨询工程师(投资), 从事港口及城市规划研究。

行归纳总结<sup>[4-6]</sup>, 也有学者基于自然条件、建设条件、通航条件、社会经济条件等多维要素对游艇码头的岸线适宜性进行评价, 据此进行游艇码头布局规划<sup>[7-9]</sup>。现有研究主要基于实践经验的总结, 以定性分析为主, 缺乏系统性岸线适宜性评价体系与定量分析方法的支撑。本文拟建立游艇码头岸线适宜性评价指标体系, 提出基于空间量化分析的岸线适宜性评价及布局规划研究方法, 并对防城港市的游艇码头岸线适宜性进行评价, 提出防城港市游艇码头布局规划建议, 以期为其他城市的游艇码头布局规划提供思路与借鉴。

## 1 研究方法

### 1.1 游艇码头岸线适宜性评价指标体系

与货运、客运码头不同, 游艇码头兼具交通基础设施、休闲旅游设施、文化体育设施的属性决定了其岸线具有“非排他性”与“休闲旅游岸线”特征<sup>[10]</sup>。本研究邀请了港航工程、城市规划、旅游管理、交通运输、经济产业等不同领域的专家, 应用德尔菲法及层次分析法, 构建了包括建港通航条件、海上活动发展条件、岸后建设条件、当地社会经济条件、城市依托条件 5 个维度 23 项评价指标的游艇码头岸线适宜性评价指标体系, 见表 1。

表 1 游艇码头岸线适宜性评价指标体系

目标层	子系统层	指标层	权重	指标解释
O 游艇 码头岸 线宜性	C <sub>1</sub> 建港 通航条件 (0.160 4)	C <sub>11</sub> 岸前水深	0.033 2	近岸海域的最大水深
		C <sub>12</sub> 波浪条件	0.018 0	近岸海域的最大波高
		C <sub>13</sub> 掩护条件	0.042 4	岸线天然掩护避风、泊稳条件
		C <sub>14</sub> 岸线稳定性	0.066 8	近岸海域冲淤状态及其所形成的岸线稳定程度
	C <sub>2</sub> 海上活动 发展条件 (0.268 2)	C <sub>21</sub> 海域水质	0.039 1	近岸海域的水质等级
		C <sub>22</sub> 海上活动基础	0.073 9	近岸海域游艇活动、海上赛事活动、海上休闲活动等海上活动基础的集聚程度
		C <sub>23</sub> 海洋功能区划	0.098 0	近岸海域规划的海洋功能区类型
		C <sub>24</sub> 货运码头及航道影响	0.057 3	近岸海域受货运码头及货运主航道距离的影响
	C <sub>3</sub> 岸后 建设条件 (0.103 5)	C <sub>31</sub> 海拔高程	0.009 9	近岸陆域的最大海拔高度
		C <sub>32</sub> 地形坡度	0.010 4	近岸陆域的最大地形坡度
		C <sub>33</sub> 地质条件	0.042 0	近岸陆域的地质构造类型
		C <sub>34</sub> 规划岸线属性	0.041 2	岸线的规划功能类型或属性
	C <sub>4</sub> 当地社会 经济条件 (0.079 3)	C <sub>41</sub> 当地经济水平	0.016 2	岸线所在乡镇/街道的人均 GDP
		C <sub>42</sub> 当地人口密度	0.006 5	岸线所在乡镇/街道的人口密度
		C <sub>43</sub> 当地居民收入水平	0.025 2	岸线所在乡镇/街道的人均可支配收入
		C <sub>44</sub> 当地旅游发展水平	0.031 4	岸线所在乡镇/街道的年旅游人数
	C <sub>5</sub> 城市 依托条件 (0.388 5)	C <sub>51</sub> 道路交通可达性	0.081 7	近岸陆域的城市道路交通可达性
		C <sub>52</sub> 城市中心依托	0.057 4	近岸陆域的城市中心可达性
		C <sub>53</sub> 客运枢纽依托	0.031 0	近岸陆域的客运枢纽可达性
		C <sub>54</sub> 商业服务依托	0.038 7	近岸陆域商业服务设施的集聚程度
		C <sub>55</sub> 体育休闲依托	0.077 6	近岸陆域体育休闲设施的集聚程度
		C <sub>56</sub> 景区及文旅项目依托	0.081 0	近岸陆域景区及文旅项目的集聚程度
		C <sub>57</sub> 高端酒店依托	0.021 0	近岸陆域高端酒店设施的集聚程度

### 2.2 游艇码头岸线适宜性评价及布局规划研究方法

如图 1 所示, 在评价指标体系基础上, 建立游艇码头岸线适宜性评价基础数据库, 通过生态约束条件识别、筛选可利用岸线, 利用 ArcGIS、ENVI 软件, 运用缓冲区分析、插值分析、核密度

分析、网络分析、遥感解译等空间分析方法, 对评价指标及子系统层的岸线适宜性进行量化分析, 并加权叠加计算游艇码头岸线适宜性综合评价, 以适宜程度高低划分岸线等级。基于相应的岸线适宜性等级, 结合可利用岸线长度、码头之间距离等因素, 对不同规模等级的游艇码头进行布局规划。

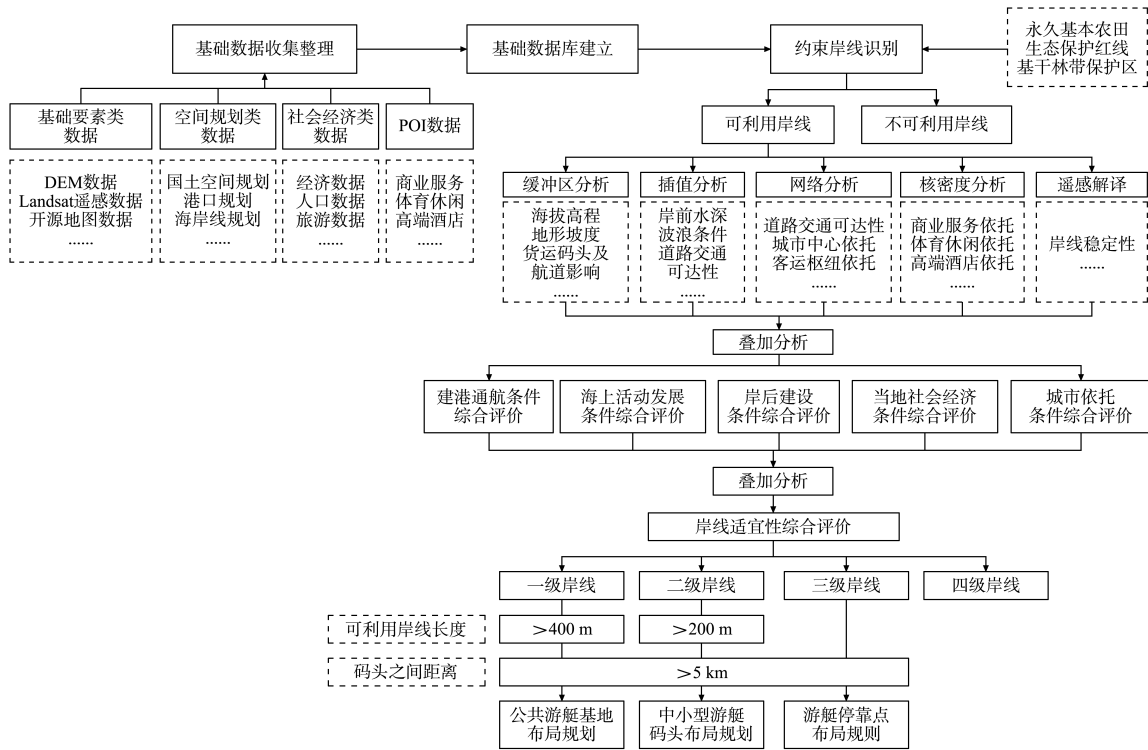


图1 游艇码头岸线适宜性评价及布局规划技术路线

### 3 防城港市游艇码头岸线适宜性评价

#### 3.1 研究范围

以防城港市海岸线为规划对象，东起防城区茅岭乡，西至东兴市东兴镇北仑河口，总长537.79 km。港口航运功能主要集中于东湾、西湾岸线，其中东湾以货运为主，西湾兼具城市、客

运、货运等功能。考虑到游艇码头与城市陆域功能的紧密联系性，借鉴学者对于陆海统筹研究范围的界定<sup>[11]</sup>，研究范围包括与防城港市海岸线直接相接的10个乡镇(街道)、后方相邻的4个乡镇(街道)以及行政海域范围(图2)。



图2 项目研究范围

### 3.2 数据来源

研究涉及的数据类别包括基础要素类、空间规划类、社会经济类和 POI 数据。基础要素类数据来源于《防城港市海洋环境状况公报(2017年)》、中国海事局中国海事航海图书平台、中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台、OSM 开源地图。空间规划类数据来源于《防城港市海岸线保护与利用规划》、《防城港市港口总体规划(2016—2030)》、《防城港市国土空间总体规划(2020—2035)》。社会经济类数据来源于防城港市统计年鉴、统计公报及政府相关部门网站。POI 数据来源于高德地图 API 开放平台。

### 3.3 建港通航条件评价

按照建港通航条件各评价指标对应的准则内容、评分及权重(表 2)分析防城港市海岸线在游艇码头建港通航条件方面的适宜性。1) 岸前水

深: 电子海图数据矢量化处理后生成海域水深等值线, 利用地形转栅格插值分析, 将海岸线等距划分并建立岸前海域缓冲区, 统计海域水深在各段缓冲区中的最大水深值并赋分。2) 波浪条件: 海洋监测站最大波高点数据矢量化处理后, 应用经验贝叶斯克里金法(EBK)插值分析, 分析结果与海岸线叠加分析计算岸线的最大波高值并赋分。3) 掩护条件: 根据夏季常风向及波向数据判断外海风浪的主导方向为 SE—SW 向, 在海岸线数据中新建掩护条件字段, 结合地形地貌特征将海岸线以封闭性及开敞程度划分为 3 个等级。4) 岸线稳定性: 选取多年 Landsat 遥感影像, 通过 ENVI 运用改进归一化水体指数(WNDWI)计算提取水体信息, 将波段计算结果二值化后导入 ArcGIS 处理, 通过多年海岸线数据的叠加对比, 判断岸线的演变及冲淤变化情况并划分为 3 个等级。

表 2 建港通航条件评价准则

评价指标	准则内容	对应评分	权重
C <sub>11</sub> 岸前水深	≥10 m; 5~<10 m; 3~<5 m; 1~<3 m; <1 m	5, 4, 3, 2, 1	0.207 2
C <sub>12</sub> 波浪条件	<2.5 m, 2.5~<3 m, 3~<4 m, 4~<5 m, ≥5 m	5, 4, 3, 2, 1	0.112 5
C <sub>13</sub> 掩护条件	掩护条件好, 掩护条件一般, 掩护条件差	5, 3, 1	0.264 1
C <sub>14</sub> 岸线稳定性	稳定岸线, 弱稳定岸线, 不稳定岸线	5, 3, 1	0.416 2

### 3.4 海上活动发展条件评价

按照海上活动发展条件各评价指标对应的准则内容、评分及权重(表 3)分析防城港市海岸线在游艇码头岸线海上活动发展条件方面的适宜性。1) 海域水质: 海域水质数据矢量化处理后与海岸线数据叠加分析, 新建海域水质评分字段, 按照相应水质等级对岸线的海域水质赋分。2) 海上活动基础: 以近岸海域海滩、旅游景点、风景名胜等为字段爬取海上休闲活动 POI 点, 进行核密度

分析并分级, 栅格面数据与海岸线叠加后赋分。3) 海洋功能区划: 海洋功能区划数据矢量化处理后与海岸线叠加分析, 新建海洋功能区划评分字段, 按照相应海洋功能区划类型对岸线的海洋功能区划赋分。4) 货运码头及航道影响: 货运码头及航道数据矢量化处理后转为面数据, 建立多环缓冲区与海岸线叠加分析, 按照与货运码头及航道的相应距离对岸线的货运码头及航道赋分。

表 3 海上活动发展条件评价准则

评价指标	准则内容	对应评分	权重
C <sub>21</sub> 海域水质	I 类水质, II 类水质, III 类水质, IV 类水质, 劣 IV 类水质	5, 4, 3, 2, 1	0.145 9
C <sub>22</sub> 海上活动基础	核密度分析结果以自然间断点分级法(Jenks)分为 5 类	5, 4, 3, 2, 1	0.275 3
C <sub>23</sub> 海洋功能区划	游憩用海、港口用海、渔业用海、工业用海、生态用海	5, 4, 3, 2, 1	0.365 3
C <sub>24</sub> 货运码头及航道影响	与货运码头及航道完全重叠; 距离货运码头及航道 <200 m, 200~<500 m, 500~<2 000 m, ≥2 000 m	5, 4, 3, 2, 1	0.213 5



### 3.5 岸后建设条件评价

按照岸后建设条件各评价指标对应的准则内容、评分及权重(表4)分析防城港市海岸线在游艇码头海上活动发展条件方面的适宜性。1) 海拔高程: 将海岸线等距划分并建立岸后陆域缓冲区, 统计 DEM 数字高程数据在各段岸线缓冲区的最大高程值并赋分。2) 地形坡度: 通过坡度工具对 DEM 数字高程数据进行处理, 统计 DEM

数据在各段岸线缓冲区的最大坡度值并赋分。3) 地质条件: 岸线地质条件数据矢量化处理后与海岸线叠加分析, 新建地质条件评分字段, 按照相应地质条件类型对岸线的地质条件赋分。4) 规划岸线属性: 规划岸线属性数据矢量化处理后与海岸线叠加分析, 新建规划岸线属性评分字段, 按照相应规划岸线类型对岸线的规划岸线属性赋分。

表4 岸后建设条件评价准则

评价指标	准则内容	对应评分	权重
C <sub>31</sub> 海拔高程	<5 m, 5~<10 m, 10~<20 m, 20~<50 m, ≥50 m	5, 4, 3, 2, 1	0.095 9
C <sub>32</sub> 地形坡度	0°~<3°, 3°~<8°, 8°~<15°, 15°~<25°, ≥25°	5, 4, 3, 2, 1	0.100 6
C <sub>33</sub> 地质条件	沙质岸线, 人工岸线, 生态岸线, 基岩岸线, 淤泥质岸线	5, 4, 3, 2, 1	0.405 9
C <sub>34</sub> 规划岸线属性	优化利用岸线, 限制开发岸线, 严格保护岸线	5, 3, 1	0.397 6

### 3.6 当地社会经济条件评价

按照当地社会经济条件各评价指标对应的准则内容、评分及权重(表5)分析防城港市海岸线在游艇码头当地社会经济条件方面的适宜性。1) 当地经济水平: 在乡镇/街道行政区矢量数据中新建人均 GDP 字段, 与海岸线叠加分析, 对当地经济水平赋分。2) 当地人口密度: 在乡镇/街道行政区矢量数据中新建常住人口字段, 通过

字段计算器计算各行政区人口密度, 与海岸线叠加分析, 对当地人口密度赋分。3) 当地居民收入水平: 在乡镇/街道行政区矢量数据中新建人均可支配收入字段, 与海岸线叠加分析, 对当地居民收入赋分。4) 当地旅游发展水平: 在乡镇/街道行政区矢量数据中新建年旅游人数字段, 与海岸线叠加分析, 对当地旅游发展水平赋分。

表5 岸后建设条件评价准则

评价指标	准则内容	对应评分	权重
C <sub>41</sub> 当地经济水平	≥40 000 元, 35 000~<40 000 元, <35 000 元	5, 3, 1	0.204 0
C <sub>42</sub> 当地人口密度	≥3 000 人/公顷, 1 000~<3 000 人/公顷, 500~<1 000 人/公顷, 150~<500 人/公顷, <150 人/公顷	5, 4, 3, 2, 1	0.082 3
C <sub>43</sub> 当地居民收入水平	≥40 000 元, 35 000~<40 000 元, <35 000 元	5, 3, 1	0.318 0
C <sub>44</sub> 当地旅游发展水平	≥1 000 万次, 950~<1 000 万次, <950 万次	5, 3, 1	0.395 8

### 3.7 城市依托条件评价

按照城市依托条件各评价指标对应的准则内容、评分及权重(表6)分析防城港市海岸线在游艇码头城市依托条件方面的适宜性。1) 道路交通可达性: 在 OSM 道路数据的基础上利用网络分析工具构建城市道路交通网络, 运用最小阻抗可达性方法建立 OD 成本矩阵计算交通可达性, 通过反距离权重法(IDW)插值形成道路交通可达性栅格数据并分级, 与海岸线叠加分析后赋分。

2) 城市中心依托: 在城市道路交通网络模型上加载以防城港市政府为城市中心的设施点, 通过新建服务区分析计算城市中心的可达性并分级, 与海岸线叠加分析后赋分。3) 客运枢纽依托: 加载主要客运枢纽设施点, 通过新建服务区分析计算客运枢纽设施点的可达性, 与海岸线叠加分析后赋分。4) 商业服务依托: 以购物服务、餐饮服务为字段爬取商业服务 POI 数据, 对 POI 点数据矢量化处理后进行核密度分析并分级, 与海

岸线叠加分析后赋分。5) 景区及文旅项目依托: 以旅游景点、风景名胜为字段爬取旅游景区 POI 数据, 通过相关规划整理重点文旅项目, 共同形成景区及文旅项目点数据, 矢量化处理后进行核密度分析并分级, 与海岸线叠加后赋分。6) 体育休闲依托: 以体育休闲服务为字段爬取体育休

闲 POI 数据, 对 POI 点数据矢量化处理后进行核密度分析并分级, 与海岸线叠加分析后赋分。7) 高端酒店依托: 以五星级宾馆、四星级宾馆为字段爬取高端酒店 POI 数据, 对 POI 点数据矢量化处理后进行核密度分析并分级, 与海岸线叠加分析后赋分。

表 6 城市依托条件评价准则

评价指标	准则内容	对应评分	权重
C <sub>51</sub> 道路交通可达性	道路交通可达性以自然间断点分级法分为 5 类	5,4,3,2,1	0.210 3
C <sub>52</sub> 城市中心依托	城市中心可达性 <10 min, 10~<20 min, 20~<30 min, 30~<60 min, ≥60 min	5,4,3,2,1	0.147 8
C <sub>53</sub> 客运枢纽依托	客运枢纽可达性 <10 min, 10~<20 min, 20~<30 min, 30~<60 min, ≥60 min	5,4,3,2,1	0.079 7
C <sub>54</sub> 商业服务依托	核密度分析以自然间断点分级法分为 5 类	5,4,3,2,1	0.099 7
C <sub>55</sub> 景区及文旅项目依托	核密度分析以自然间断点分级法分为 5 类	5,4,3,2,1	0.208 5
C <sub>56</sub> 体育休闲依托	核密度分析以自然间断点分级法分为 5 类	5,4,3,2,1	0.199 8
C <sub>57</sub> 高端酒店依托	核密度分析以自然间断点分级法分为 5 类	5,4,3,2,1	0.054 1

### 3.8 岸线适宜性综合评价

通过建港通航条件、海上活动发展条件、岸后建设条件、当地社会经济条件、城市依托条件的岸线评价结果(表 7)加权叠加分析得出岸线适宜性综合评价。按照 ≥4 分、3.5~<4 分、3~<3.5 分、<3 分准则, 将防城港市海岸线按照规划建设游艇

码头适宜程度的高低划分为 4 个等级。结果显示, 最适宜规划建设游艇码头的一级岸线分布于西湾东岸西湾码头以北岸段, 长约 2.4 km; 二级岸线分布于西湾东岸及西岸, 同时也包括江山半岛、京岛、企沙半岛、东兴镇部分岸线; 三级岸线分布于江山半岛东岸、渔漓半岛东西岸、京岛南岸、大东沙沿岸。

表 7 岸线适宜性评价结果

子系统层	评价结果	权重
C <sub>1</sub> 建港通航条件	江山半岛西岸、西湾东岸及北岸、企沙半岛南岸的建港通航条件评分较高, 江山半岛东岸及南岸、渔漓半岛西岸、企沙半岛西岸、京岛南岸建港通航条件评分较低	0.160 4
C <sub>2</sub> 海上活动发展条件	江山半岛东岸、京岛南岸、西湾东岸、大东沙勒山古村落以北岸线的海上活动发展条件评分较高, 渔漓半岛南岸、企沙半岛南岸及西岸的海上活动发展条件评分较低	0.268 2
C <sub>3</sub> 岸后建设条件	渔漓半岛、企沙半岛、西湾沿岸的岸后建设条件评分较高, 江山半岛南岸及西岸岸后建设条件评分较低	0.103 5
C <sub>4</sub> 当地社会经济条件	东兴市东兴镇、江平镇、港口区渔洲坪街道、白沙万街道、企沙镇、光坡镇沿岸当地社会经济条件评分较高, 防城区江山乡、防城镇、茅岭乡评分较低	0.079 3
C <sub>5</sub> 城市依托条件	西湾沿岸整体城市依托条件较好, 其中西湾东岸城市依托条件评分最高; 其次是江山半岛东岸及西岸; 京岛、大东沙、钦州湾沿岸城市依托条件评分较低	0.388 5

## 4 防城港市游艇码头布局规划

如图 3 所示, 以岸线适宜性综合评价结果为基础, 依托一级岸线, 按照可利用岸线长度大于 400 m 的原则, 于西湾旅游码头北侧岸线规划 1 个游艇基地(西湾游艇基地), 建议预留 300 个游艇泊位, 可停靠超 60 ft (1 ft = 0.305 m) 的大型及超级游艇; 依托二级岸线, 按照可利用岸线长度大

于 200 m、5 km 范围内不重复布置的原则, 规划 11 个中小型游艇码头, 建议预留 20~300 个游艇泊位, 可停靠 36~60 ft 的中小型游艇; 依托三级岸线, 按照 5 km 范围内不重复布置的原则, 规划 13 个游艇停靠点, 建议预留不超过 20 个游艇泊位, 可停靠小于 36 ft 的小型游艇。



图3 防城港市游艇码头岸线适宜性综合评价及布局规划

## 5 结语

1) 本文构建了5个维度23项评价指标的游艇码头岸线适宜性评价指标体系,应用缓冲区分析、插值分析、核密度分析、网络分析、遥感解译、叠加分析等量化分析方法,提出游艇码头岸线适宜性评价及布局规划研究框架,为游艇码头的规划研究提供了系统化、量化研究的新思路。

2) 防城港市的岸线适宜性评价研究表明,最适宜规划建设游艇码头布局的岸线分布于西湾东岸西湾码头以北岸段,其次是西湾东岸及西岸、江山半岛、京岛、企沙半岛、东兴镇部分岸线,再次是江山半岛东岸、渔漓半岛东西岸、京岛南岸、大东沙沿岸岸线,在此基础上,建议规划布局1个游艇基地、11个中小型游艇码头、13个游艇停靠点。

## 参考文献:

[1] 阳立军,顾波军,管林挺.舟山群岛港口岸线资源综合评价及优化利用研究[J].资源科学,2012,34(11):2206-2213.

[2] 陈武争,张婧卿,童志华,等.港口岸线集约利用评价指标研究[J].水运工程,2019(4):31-37.

[3] 肖攀,彭轲,赵幸悦子,等.长江中游岸线资源与开发利用适宜性评价分析[J].自然资源学报,2020,35(4):788-798.

[4] 何文钦.游艇码头设计[J].水运工程,2004(3):61-64.

[5] 王葳,张文玉,滕明清.游艇码头平面布置[J].水运工程,2009(5):67-71.

[6] 何文钦,周野,覃杰,等.我国游艇码头设计、建设与发展趋势[J].水运工程,2014(2):57-61.

[7] 关卓然,韩林飞.“休闲时代”下北海市邮轮游艇及帆船码头布局规划探讨[J].规划师,2016,32(11):126-133.

[8] 古恒宇,吕迪,沈体雁,等.基于陆海统筹思想的深圳市公共游艇码头选址研究[J].地理与地理信息科学,2018,34(5):74-79.

[9] 秦丽涵.山东沿海游艇码头选址问题研究[D].青岛:中国海洋大学,2012.

[10] 赵彬彬,谢凌峰.广东省游艇码头布局规划[J].水运工程,2012(5):96-99.

[11] 文超祥,阙权鸿,林小如.基于海湾单元的陆海统筹空间规划研究[J].城市发展研究,2022,29(1):27-34.

(本文编辑 王传瑜)