

福建深沪湾砂质海岸地形地貌特征及自然灾害承灾能力研究*

李荣茂

福建省渔业资源监测中心, 福建 福州 350003

摘要: 砂质海岸是滨海湿地生态系统类型之一, 具有重要的生态服务功能, 同时也易受到人类活动和全球气候变化的影响。2022 年 9 月和 12 月在福建深沪湾砂质海岸布设 10 条调查剖面, 开展秋冬两个季节的砂质海岸地形、地貌特征观测以及沉积物粒度测定, 基于砂质海岸资源禀赋评估指标、自然灾害承灾能力评估指标以及相应的分级等级赋值, 对福建深沪湾砂质海岸自然资源禀赋和自然灾害承灾能力进行了综合评估。深沪湾秋季沙滩潮间带宽度 150~800m, 冬季为 150~950m, 总体呈中间窄两边宽趋势, 潮间带坡度总体较缓。与秋季相比, 冬季高程、干滩宽度和潮间带宽度均有所增加。2 条沉积物粒度特征调查剖面的滩肩区成分均为砂, 高潮区沉积物成分均为砂和砾石, 中潮和低潮区主要成分为砂和粉砂, 但秋季和冬季组分存在差异。深沪湾砂质海岸海滩总体自然资源禀赋较好, 但由于受到向海开阔度、相对潮差等因素的影响, 自然灾害承灾能力不高。研究成果可为掌握福建深沪湾砂质海岸地形、地貌基本特征提供了第一手基本数据, 为提升福建深沪湾砂质海岸海滩自然资源禀赋、自然灾害承灾能力以及砂质海岸保护修复提供技术支撑。

关键词: 砂质海岸; 地形地貌特征; 自然资源禀赋; 承灾能力; 福建深沪湾

中图分类号: P737.1; X43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5470(2024)06-0072-08

Study on topographic and geomorphological features and natural disaster capacity of sandy coast in Shenhu Bay, Fujian

LI Rongmao

Fujian Fishery Resources Monitoring Center, Fuzhou 350003, China

Abstract: Sandy coast is one type of coastal wetland ecosystems, which has important ecological service functions and is also susceptible to human activities and global changes. In September and December 2022, ten survey profiles were set up on the sandy coast in the Shenhu Bay, Fujian Province to conduct observations of the terrain and geomorphic characteristics as well as measurements of sediment granularity. A comprehensive evaluation of the natural resource endowment and disaster bearing capacity of the sandy coast in the Shenhu Bay was conducted based on the related national standards which provide corresponding indexes and grading criteria. The width of intertidal zone of Shenhu Bay beach is 150–800 m in autumn and 150–950 m in winter. The overall trend is narrow in the middle and wide on both sides. The slope of intertidal zone is generally slow. Elevation, dry beach width and intertidal zone width increase in winter, compared with those of autumn. For two of the sediment grain size characteristics survey sections, the composition of the beach shoulder area is sand, the composition of the sediments in the high tide area is sand and gravel, and the main components in the middle tide and low tide areas are sand and silt, but the components vary across the seasons. The overall natural resource endowment of the sandy coast in the Shenhu Bay is good, but due to factors such as seaward width and relative tidal range, the natural disaster bearing capacity is moderate. As the first-hand basic data of Shenhu Bay, the research results

收稿日期: 2024-04-25; 修订日期: 2024-06-13。林强编辑

基金项目: 福建省科技计划项目(2023N0028); 2024 年福建省海洋服务与渔业高质量发展专项

作者简介: 李荣茂(1972—), 男, 高级工程师, 主要从事海洋渔业生态资源调查与研究。email: lirongmao2006@163.com

通信作者: 李荣茂。email: lirongmao2006@163.com

*感谢国家海洋局厦门海洋预报台协助调查

Received date: 2024-04-25; **Revised date:** 2024-06-13. Editor: LIN Qiang

Foundation item: Technology Plan Projects of Fujian Province (2023N0028); Marine Services and High Quality Development of Fisheries Special Project of Fujian Province

Corresponding author: LI Rongmao (1972–). email: lirongmao2006@163.com

provide technological support for improving its natural resource endowment, natural disaster bearing capacity, and protection and restoration of the sandy coast.

Key words: sandy coast; sediment granularity; resource endowments; disaster bearing capacity; Shenhu Bay, Fujian

砂质海岸是自然海岸的重要一类, 主要指以波浪作用为主形成的由砂(砾石)构成的海岸(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 等, 2017), 它是海洋生态系统与陆地生态系统的生态过渡区, 具有综合和多样化的生态功能和极高的生态服务价值, 是中国鲎、海龟、文昌鱼等国家重点保护野生动物的重要栖息地和繁殖区, 也是滨海旅游的重要资源。砂质海岸由松散沉积物组成, 是一种脆弱的海岸类型, 对周围环境要素的变化极为敏感(李志强 等, 2011)。根据《T/CAOE 20.8-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 8 部分: 砂质海岸》规定, 海滩的自然资源禀赋主要包括干滩宽度、潮间带宽度、潮间带坡度、沉积物类型、沉积物分选度、海滩地貌特征等(中国海洋工程咨询协会, 2020)。随着海洋开发不断发展, 受气候变化和人类活动影响, 部分砂质海岸面临侵蚀与退损、泥化或硬化等生态问题(李震 等, 2006; 李兵 等, 2009; 刘建辉, 2010)。

全球气候变化背景下, 砂质海岸的地形地貌及岸线的演变特征受到学者们的高度关注(Basterretxea et al, 2007; Anthony et al, 2011; Marinho et al, 2018; 刘星璐 等, 2022; 任旭光 等, 2023)。例如, 任旭光 等(2023)基于海滩地形监测数据, 应用地理信息系统 (geographic information system, GIS) 空间分析方法和海岸韧性指数评估秦皇岛市北戴河区金屋浴场至浅水湾岸段海滩地形及岸线演变特征, 通过半定量方式预测岸滩的演化趋势。刘星璐 等(2022)基于 2020—2021 年实测海滩剖面高程数据, 分析深圳市大鹏湾官湖海滩地形地貌和沉积物等的季节性变化特征, 识别潜在的影响因素。解航 等(2022)根据 2018 年秋季至 2019 年夏季 4 个季节的海滩剖面形态测量和表层沉积物粒度分析结果, 研究了山东半岛东南部典型砂质岸滩季节性演化及控制因素。现有研究表明, 砂质海岸地形地貌特征形态变化具有一定的季节性。然而, 目前大部分研究主要关注地形地貌以及沉积物粒度特征及其驱动力分析, 关于海滩资源禀赋和自然灾害成灾能力的研究鲜见报道。

福建作为海洋大省, 岸线总长度居全国前列。福建深沪湾砂质海岸是福建沿海主要的海湾海岸之一, 因其分布有牡蛎礁、古森林等珍贵海岸资源而深受关注。目前, 福建深沪湾相关研究主要集中在浮游生物分布(潘非斐 等, 2015)、旅游资源分析(李小璐, 2023)等领域, 对于海湾砂质海岸地形、地貌特征, 以及海湾

砂质海岸自然资源禀赋、承灾能力的研究不多。本研究基于深沪湾砂质海岸海滩特征进行了现场调查和分析, 对于摸清砂质海岸自然资源状况, 查找受损问题和面临压力, 建立砂质海岸生态基线具有重要意义, 可为支撑砂质海岸保护修复提供支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

深沪湾为一般圆形的开敞海湾, 湾口伸出一对岬角, 其北岸为永宁嘴, 南岸为深沪镇的大屿角(潘伟然 等, 2009)。岸线主要为北东—南西走向, 发育有基岩岬角海岸沙丘海岸和红土台地海岸。基岩岬角海岸分布于湾口两翼的永宁和深沪, 由燕山早期的低角闪岩相混合岩和混合花岗岩、二长花岗岩组成的基岩丘陵逼近海滨, 海岸陡峭, 岸线曲折。沙丘海岸主要分布于衙口—海尾寮一带, 由松散的中、细沙组成, 岸线较直, 海滩宽广, 海岸后缘沙丘横亘, 土地寮一带海滨分布有垄岗状新月形沙滩。湾内分布有距今 7000 多年历史的海底古森林遗迹、距今 9000~25000 多年的古牡蛎礁遗迹(颜利 等, 2021)。

深沪湾砂质海岸位于福建晋江市龙湖镇东侧, 东临台湾海峡, 中心点地理坐标为 118°37'36"E, 24°39'11"N。研究区属于亚热带海洋性季风气候, 冬季盛行偏北风, 秋季盛行偏南风, 气候暖热, 年平均气温 19.9℃。年平均降水量约 1000mm, 主要集中在 4—9 月, 以 6 月最大。受季风影响明显, 台风、暴雨、洪涝、干旱等灾害性天气时有发生(胡文佳, 2008)。潮汐属正规半日潮, 平均潮差 3.99m, 最大潮差 5.95m(潘伟然 等, 2009)。研究区砂质海岸长度约 8.26km, 沙滩岸线总体呈南—北走向, 呈弧形(表 1)。

表 1 砂质海岸调查剖面地理信息
Tab. 1 Geographic information of the survey profiles on the sandy coast

剖面	纬度	经度	方位角
P01	24°37'24"N	118°39'18"E	47.44°
P02	24°37'43"N	118°39'04"E	56.93°
P03	24°38'07"N	118°38'48"E	60.21°
P04	24°38'31"N	118°38'43"E	80.60°
P05	24°38'53"N	118°38'37"E	85.62°
P06	24°39'17"N	118°38'36"E	94.75°
P07	24°39'41"N	118°38'38"E	104.41°
P08	24°40'04"N	118°38'47"E	107.63°
P09	24°40'26"N	118°38'54"E	122.88°
P10	24°40'46"N	118°39'01"E	122.49°

1.2 调查方法

2022 年大潮期 9 月 16 日和 12 月 25 日。根据《海洋调查规范第 8 部分: 海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8-2007)和《海洋调查规范第 10 部分: 海底地形地貌调查》(GB/T 12763.10-2007)等开展福建深沪湾砂质海岸地形地貌和沉积物特征调查, 调查的指标包括岸线长度、地形、地貌和沉积物粒度(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 等, 2008a, 2008b)。岸线长度采用实时动态测量仪(real-time kinematic, RTK)现场测量与遥感相结合的方法进行测量, 测量岸线位置为平均大潮高潮线, 其现场识别特征为最靠陆侧的堆积带、海滩干湿分界线或侵蚀陡坎, 测量比例尺 1:1000。

在研究区砂质海岸共设置 10 条剖面(P01—P10)开展地形和地貌调查(表 1)。采用 RTK 结合单波束测深的方法进行剖面地形测量, RTK 地形测量每 10m 采集一个点。近岸水下剖面地形调查选择在高潮时段进行。海滩地貌调查与剖面地形测量同步开展, 沿剖面方向应分别识别滩肩、侵蚀陡坎、水下沙坝、滩角、沙波纹等地貌分布。

选择地形调查剖面中沙滩较完整的 P03、P06 两个剖面, 开展沉积物粒度测定, 分别在每个剖面上的沙丘、滩肩、高潮带、中潮带、低潮带等代表性位置各布设 1 个表层沉积物采样站位, 每条断面共 5 个站位采集沉积物粒度样品。此外, 在每个剖面对应的海域水下各采集 2 个点的沉积物样, 点位坐标分别为 P03U1(118°39'28"E, 24°38'4"N)、P03U2(118°39'45"E, 24°39'13"N)、P06U1(118°39'18"E, 24°39'9"N)、P06U2(118°39'39"E, 24°39'12"N)。沉积物采样深度为 5~20cm, 每个样品采集不少于 500g, 沉积物粒度的实验室内测试分析按照《海洋调查规范第 8 部分: 海洋地质地球

物理调查》(GB/T 12763.8-2007)要求进行。实验室采用 Mastersizer 2000 型激光粒度仪测定沉积物粒度, 根据福克-沃德(Folk-Ward)公式计算粒度参数, 沉积物命名采用谢帕德三角图分类法命名(Folk et al, 1957)。

1.3 评估方法

海岸自然资源禀赋特征评估指标包括海湾海滩干滩宽度、潮间带宽度、潮间带坡度、沉积物类型、海滩地貌特征等(中国海洋工程咨询协会, 2020)。干滩宽度指滩肩前缘至后滨沙丘或海堤之间的水平距离。潮间带宽度为平均高潮线到平均低潮线之间的水平距离, 潮间带坡度以平均高潮线到平均低潮线之间的高差和水平距离比值表示。沉积物类型指潮间带沉积物粒度名称。沉积物分选度即潮间带沉积物分选系数, 根据《海洋调查规范 第 8 部分: 海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8-2007)进行沉积物分选度评估(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 等, 2008b)。海滩地貌特征表征指标包括滩肩、侵蚀陡坎、水下沙坝等海滩地貌特征指标。以上各评估指标分级的赋值见表 2。

海滩资源禀赋指数计算方法参照《T/CAOE 20.8-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 8 部分: 砂质海岸》, 公式如下。

$$S_r = \frac{\sum_{i=1}^6 R_i}{6} \quad (1)$$

式中: S_r 为海滩资源禀赋指数; R_i 为第 i 个海滩禀赋评估指标赋值。根据《T/CAOE 20.8-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 8 部分: 砂质海岸》确定砂质海滩资源禀赋评估指标及其分级赋值标准(表 2)。当 $5 \leq S_r < 10$ 时, 海滩资源禀赋一般; 当 $10 \leq S_r < 25$ 时, 海滩资源禀赋较好; 当 $25 \leq S_r \leq 40$ 时, 海滩资源禀赋好。

表 2 砂质海滩资源禀赋评估指标及其分级赋值标准

Tab. 2 Evaluation indexes and valuation criteria of resource endowments of sandy coast

序号	评估指标	等级I	等级II	等级III	等级IV	等级V
1	干滩宽度/m	≥ 70	[40,70)	[20,40)	[10,20)	<10
2	潮间带宽度/m	≥ 150	[100,150)	[50,100)	[30,50)	<30
3	潮间带坡度	$\leq 1/80$	(1/80,1/50]	(1/50,1/30]	(1/30,1/20]	$>1/20$
4	沉积物类型	细砂	中细砂	中砂	粗砂	砾质
5	沉积物分选度	极好	好	中等	差	极差
6	海滩地貌特征	发育滩肩与水下沙坝, 无侵蚀陡坎	/	发育滩肩, 无水下沙坝	/	不发育滩肩与水下沙坝, 有侵蚀陡坎
海滩禀赋评估指标赋值(R_i)		40	30	20	10	5

注: “/”表示不参与评估

根据《T/CAOE 20.8-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 8 部分: 砂质海岸》, 砂质海湾

自然灾害承灾能力的评估指标包括岸线长度、向海开阔度、相对潮差(中国海洋工程咨询协会, 2020)。岸

线长度反映砂质海岸规模。向海开阔度反映自海向陆观察海岸的开敞程度,以“岸线长度/岸线起始点直线距离”表示。相对潮差反映海滩风暴响应强度的影响,计算参照上述技术导则提出的方法(公式 2)。以上各评估指标分级赋值见表 3。

$$RTR = \frac{MSR}{H_b} \tag{2}$$

式中: RTR 为相对潮差; MSR 为平均大潮潮差; H_b 为破波波高,计算方法(Sunamura et al, 1974)如下。

$$\frac{H_b}{H_0} = S^{\frac{1}{5}} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.25} \tag{3}$$

式中: H_0 为入射深水波有效波高; L_0 为入射波高的波长; S 为坡度。

砂质海湾自然承灾能力指数计算公式参见公式(4)。

$$S_d = \frac{\sum_{i=1}^3 D_i}{3} \tag{4}$$

式中: S_d 为承灾能力状况指数; D_i 为第 i 个承灾能力评估指标赋值。当 $5 \leq S_d < 10$ 时,承灾能力为弱;当 $10 \leq S_d < 25$ 时,承灾能力为一般;当 $25 \leq S_d \leq 40$ 时,承灾能力为强。

表 3 砂质海湾自然承灾能力评估指标及其分解赋值标准

Tab. 3 Evaluation indexes and evaluation criteria of disaster bearing capacity of sandy coast

序号	评估指标	等级I	等级II	等级III	等级IV	等级V
1	岸线长度/km	>3.0	(2.0, 3.0]	(1.0, 2.0]	(0.5, 1.0]	≤ 0.5
2	向海开阔度	≥ 1.5	/	[1.3, 1.5)	/	[1, 1.3)
3	相对潮差/m	≥ 6	/	[3, 6)	/	<3
承载能力评估指标赋值(D_i)		40	30	20	10	5

注:“/”表示不参与评估

2 结果

2.1 海滩地形地貌特征

2022 年秋季和冬季深沪湾海滩地形地貌总体特征如表 4 和图 1 所示。沙滩潮间带总体形态为中间窄两边宽,坡度总体较缓,该砂质海岸秋冬季滩肩总体无明显发育。相较秋季,冬季的高程、干滩宽度和潮间带宽度均有所增大,说明滩面有所抬高。前滨段宽度相差不大,后滨段宽度冬季总体大于秋季。大部分剖面秋冬季坡度基本相当。

2.2 沉积物粒度特征

2022 年秋季和冬季深沪湾沙滩表层沉积物粒度特征值见表 5 和表 6。从粒径方面分析,秋季 P03 和 P06 剖面中值粒径的均值分别为 1.55ϕ 和 2.10ϕ ,冬季 P03 和 P06 剖面中值粒径的均值分别为 1.36ϕ 和 2.28ϕ ;秋季和冬季,两条调查断面中值粒径最小值出现在高潮区,最大值出现在水下站位 U2 (表 5 和表 6),说明高潮区的沉积物粒径相对较粗,而水下站位粒径相对较细。两条剖面沉积物组分主要为砂、粉砂,沙

丘到低潮区以砂为主,水下站位则以粉砂为主。从分选性方面分析,秋季 P03 和 P06 剖面分选系数的均值分别为 0.78ϕ 和 0.84ϕ ,冬季 P03 和 P06 剖面分选系数的均值分别为 0.86ϕ 和 0.97ϕ ,两条剖面沉积物分选性等级总体为中等,沙丘及滩肩分选性相对较好,水下站位 U2 分选性相对较差。

2.3 海滩资源禀赋

2022 年秋季和冬季深沪湾砂质海滩资源禀赋各评估指标赋值见表 7。由表 2 可知,秋季和冬季的潮间带宽度以及冬季干滩宽度符合 I 级标准。潮间带坡度以及秋季干滩宽度符合 II 级标准;两个季节的沉积物分选度以及秋季的沉积物类型符合 III 级标准,而冬季的沉积物类型符合 IV 级标准。调查期间,大部分断面海滩地貌均表现为不发育滩肩,无侵蚀陡坎,等级为 V 级,说明海滩地貌的禀赋较差。据计算,2022 年秋季和冬季深沪湾砂质海岸海滩资源禀赋状况指数 S_r 均为 $24.2(10 \leq S_r < 25)$,表明深沪湾海滩资源禀赋总体较好。

表 4 深沪湾海滩地形地貌总体特征

Tab. 4 The general characteristics of topographic and geomorphological features of sandy coast in the Shenhu Bay

调查时间	潮间带形态特征	潮间带宽度		坡度		干滩宽度	
		范围/m	均值/m	范围	均值	范围/m	均值/m
秋季(9月)	中间窄两边宽	150~800	210	1/200~1/38	1/52	0~130	65
冬季(12月)	中间窄两边宽	150~950	300	1/238~1/38	1/75	0~250	160

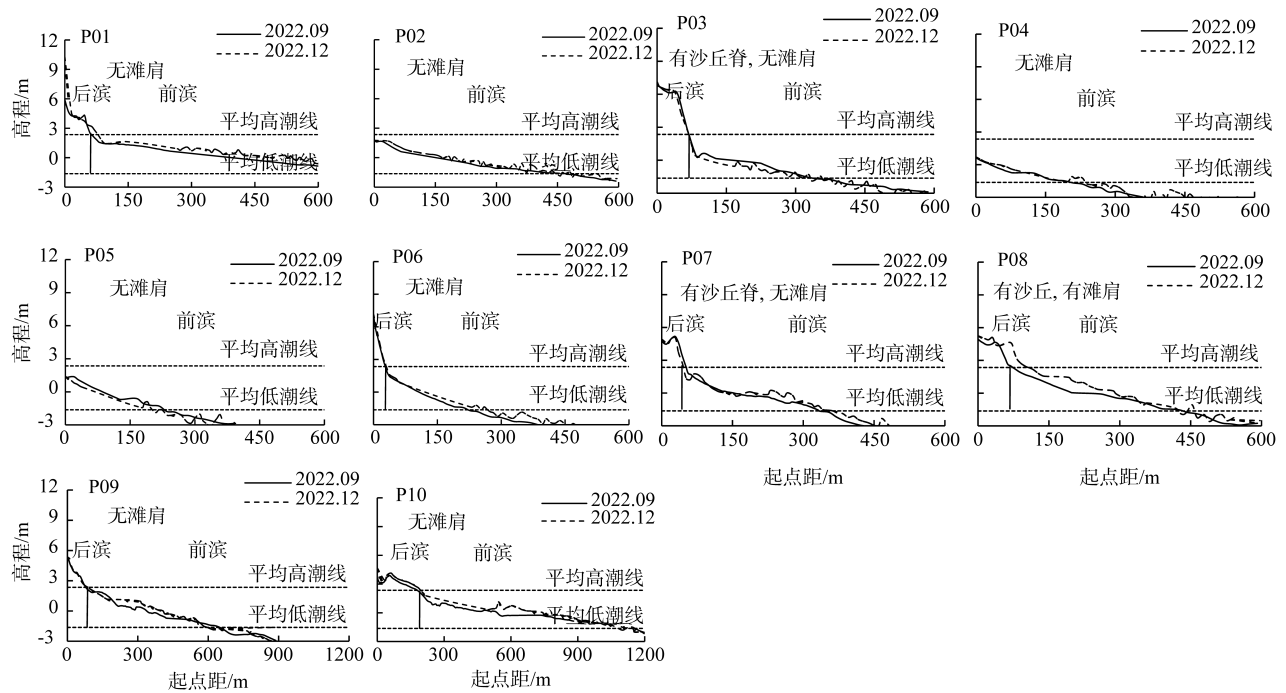


图1 2022年深沪湾秋冬季10条剖面高程变化图

Fig. 1 The elevation changes of ten profiles in the Shenhu Bay in autumn and winter 2022

表5 深沪湾沙滩表层沉积物粒度特征值(2022年9月)

Tab. 5 Granularity of surface sediment of sandy coast in the Shenhu Bay in September 2022

断面	站位	中值粒径(M_d)/ ϕ	平均粒径(M_z)/ ϕ	分选系数(σ_1)/ ϕ	偏态(S_{k1})/ ϕ	峰态(K_g)/ ϕ	沉积物类型
P03	P03S	0.61	0.61	0.32	0.01	0.91	砂
	P03T	0.63	0.62	0.32	-0.02	0.91	砂
	P03H	-0.92	-0.72	0.94	0.29	0.74	砂
	P03M	1.70	1.67	0.87	-0.13	1.52	砂
	P03L	2.92	2.91	0.48	-0.02	0.98	砂
	P03U1	0.55	0.55	0.64	-0.06	1.71	砂
	P03U2	5.36	5.26	1.91	-0.07	0.80	砂质粉砂
	平均值	1.55	1.56	0.78	0.00	1.08	
P06	P06S	1.14	1.14	0.35	0.05	1.10	砂
	P06T	1.23	1.23	0.55	-0.02	1.11	砂
	P06H	0.51	0.49	1.29	-0.01	0.91	砂
	P06M	2.35	2.36	0.56	0.03	0.94	砂
	P06L	2.58	2.78	1.21	0.44	1.75	砂
	P06U1	0.56	0.58	0.63	0.00	1.56	砂
	P06U2	6.32	6.35	1.32	0.04	0.92	粉砂
	平均值	2.10	2.13	0.84	0.08	1.18	

注: 剖面后的 S、T、H、M、L 分别代表沙丘、滩肩、高潮带、中潮带及低潮带; U1、U2 为水下站位

2.4 海滩自然灾害承灾能力

2022 年深沪湾砂质海岸自然灾害承灾能力各评估指标赋值见表 8。由表 3 可知, 深沪湾砂质海岸岸线长度大于 3km, 等级为 I 级; 向海开阔度小于 1.3, 等级为 V 级; 相对潮差小于 3m, 等级为 V 级。据计算, 2022 年秋季和冬季深沪湾承灾能力状况指数均为 16.7($10 \leq S_d < 25$), 结果表明深沪湾砂质海岸自然灾害承灾能力一般。

3 讨论

深沪湾沙滩潮间带总体形态为中间窄两边宽, 坡度总体较缓, 但秋季海滩剖面较冬季略陡, 秋季剖面高程、干滩宽度和潮间带宽度略低于冬季, 这可能与深沪湾地形地貌以及动力条件的季节性差异有关。深沪湾属于典型的岬湾型沙质海滩, 冬季主要受到东北季风影响, 浪向以 NNE—ENE 向混合浪为主, 在冬季波浪作用下, 泥沙向岸堆积, 沙滩剖面高程升高。同时,

表 6 深沪湾沙滩表层沉积物粒度特征值(2022 年 12 月)

Tab. 6 Granularity of surface sediment of sandy coast in the Shenhui Bay in December 2022

断面	站位	中值粒径(M_d)/ φ	平均粒径(M_z)/ φ	分选系数(σ_1)/ φ	偏态(S_{ki})/ φ	峰态(K_g)/ φ	沉积物类型
P03	P03S	0.11	0.11	0.82	0.00	0.50	砂
	P03T	0.15	0.30	0.49	0.50	1.62	砂
	P03H	0.07	0.06	0.83	0.03	0.93	砂
	P03M	1.02	0.47	0.99	-0.51	2.46	砂
	P03L	2.10	2.07	0.73	-0.06	0.92	砂
	P03U1	3.03	3.10	0.96	0.40	1.97	砂
	P03U2	3.05	3.23	1.23	0.47	2.44	砂
	平均值	1.36	1.34	0.86	0.12	1.55	
P06	P06S	1.11	1.07	0.61	-0.02	1.42	砂
	P06T	0.80	0.82	0.89	-0.10	1.03	砂
	P06H	-1.12	-0.64	1.31	0.59	1.38	砂
	P06M	2.11	2.22	0.48	0.33	0.95	砂
	P06L	2.10	2.19	0.49	0.27	0.90	砂
	P06U1	5.47	5.51	1.52	-0.01	1.06	粉砂
	P06U2	5.50	5.54	1.52	0.00	1.04	粉砂
	平均值	2.28	2.39	0.97	0.15	1.11	

注: S、T、H、M、L 分别代表沙丘、滩肩、高潮带、中潮带及低潮带; U1、U2 为水下站位

表 7 海滩资源禀赋各评估指标赋值

Tab. 7 Evaluation results of resource endowments of sandy coast

指标	调查时间	结果	海滩禀赋指标赋值(R_i)
干滩宽度	秋季	65m	30
	冬季	160m	40
潮间带宽度	秋季	210m	40
	冬季	300m	40
潮间带坡度	秋季	1/52	30
	冬季	1/75	30
沉积物类型	秋季	中砂	20
	冬季	粗砂	10
沉积物分选度	秋季	中等	20
	冬季	中等	20
海滩地貌特征	秋季	不发育滩肩, 无侵蚀陡坎	5
	冬季	不发育滩肩, 无侵蚀陡坎	5

表 8 海滩承灾能力各评估指标赋值

Tab. 8 Evaluation results of disaster bearing capacity of sandy coast

指标	调查时间	结果	承载能力指标赋值(D_i)
岸线长度	秋季	8.262km	40
	冬季	7.096km	40
向海开阔度	秋季	1.2	5
	冬季	1.1	5
相对潮差	秋季	2.51m	5
	冬季	2.51m	5

在海滩中部受地形作用影响, 东北向波浪产生的波生在进入深沪湾后, 分为南北两股, 带动泥沙向南北两侧输运, 也为两侧前滨区域提供更丰富泥沙供给。因此, 冬季时剖面高程相较秋季时均有不同程度的增加。滩面前滨经夏秋季侵蚀及后滨经冬季的淤积, 呈现冬季坡度较秋季平缓。《2022 中国海平面公报》显示, 2022 年福建省沿海各月海平面变化波动较大, 其中 9 月海平面明显高于 12 月, 且 9—11 月为福建沿

海季节性高海平面期, 海平面的季节变化可能是高程、干滩宽度和潮间带宽度季节变化的重要原因。

沉积物粒径和波浪关系密切(杨名名 等, 2024), 前滨是波浪、潮汐作用最活跃的地带(郑承忠 等, 2005), 相比后滨, 前滨沉积物粒径的季节变化幅度较大(表 5、6)。冬季, 由于泥沙向岸堆积, 中低潮位细泥沙流失, 沉积物粒径变粗, 而高潮位得到向上堆积的细泥沙补充, 沉积物粒径变细, 粒径的粗细反映了底部地形以及湍流和波浪能量的局部强度(郭俊丽, 2022)。

目前海湾海滩自然灾害承载能力评估指标体系还没有成熟的方案, 具体评估指标也在不断发展中。海岸侵蚀强度也直接影响到海湾海滩自然灾害承载能力, 但研究区域目前缺乏该方面的研究, 故本次承载能力评估未将海岸侵蚀强度纳入评估指标体系。从 20 世纪 70 年代到 90 年代, 福建海岸约有 60% 的砂质海岸处于蚀退状态(刘建辉, 2010), 其中泉州地区为强

侵蚀区。开敞型砂质海岸自然侵蚀较为普遍,岸线物质结构、海平面上升、台风风暴潮等均对海岸演变带来重要影响(崔振昂等, 2023)。深沪湾向海开阔度指标值小,台风风暴潮影响频发,虽然观测期间未捕捉到台风对海滩的侵蚀作用,但是有研究显示在 0418 号台风“艾利”作用下,深沪湾海滩中潮带和后滨均受到不同程度的冲淤影响(彭俊等, 2008),因此台风灾害对深沪湾砂质海岸的侵蚀作用不可小觑。此外,深沪湾砂质海岸周边入海径流为短小溪流,流量及含砂量很低,导致海岸缺乏天然沙源补给,深沪湾发生海岸侵蚀风险较大。因此,我们推测海岸侵蚀对深沪湾砂质海岸自然灾害承灾能力造成不利影响。

4 结论

通过在福建深沪湾砂质海滩布设 10 条剖面观测

地形地貌、沉积物粒度等指标,基于相关技术导则综合评估海湾砂质海滩的资源禀赋状况和自然灾害承灾能力。主要结论如下。

1) 福建深沪湾秋季沙滩潮间带宽度 150~800m,冬季为 150~950m,总体呈中间窄两边宽趋势,潮间带坡度总体较缓,但秋季海滩剖面较冬季略陡;与秋季相比,冬季高程、干滩宽度和潮间带宽度均有所增加。

2) 2 条调查剖面滩肩区成分均为砂,高潮区沉积物成分均为砂和砾石,中潮和低潮区主要成分为砂和粉砂,但秋季和冬季各成分的组成存在差异。

3) 福建深沪湾砂质海岸资源禀赋较好,其中,干滩宽度、潮间带宽度和坡度等指标禀赋等级高,但是,沉积物类型和沉积物分选度禀赋等级一般,海滩地貌禀赋较差;受向海开阔度和相对潮差的影响,福建深沪湾砂质海滩自然灾害承灾能力一般,存在岸滩侵蚀风险。

参考文献 References

- 崔振昂, 侯月明, 赵若思, 等, 2023. 海南临高海岸带典型生态环境问题与对策研究[J]. 海洋开发与管理, 40(7): 70–76. CUI ZHENANG, HOU YUEMING, ZHAO RUOSI, et al, 2023. Typical ecological and environmental issues and countermeasures in Lingao, Hainan Province[J]. Ocean Development and Management, 40(7): 70–76 (in Chinese with English abstract).
- 郭俊丽, 2022. 不同强度风暴事件影响下岬湾海滩动力地貌过程研究[D]. 上海: 华东师范大学. GUO JUNLI, 2022. Research of embayed beach morphodynamics under the impacts of storm events with different intensity scales[D]. Shanghai: East China Normal University (in Chinese with English abstract).
- 胡文佳, 2008. 福建深沪湾海湾生态系统评价研究[D]. 厦门: 厦门大学. HU WENJIA, 2008. Study on the ecosystem evaluation in Shenhu Bay, Fujian Province[D]. Xiamen: Xiamen University (in Chinese).
- 李兵, 蔡锋, 曹立华, 等, 2009. 福建砂质海岸侵蚀原因和防护对策研究[J]. 台湾海峡, 28(2): 156–162. LI BING, CAI FENG, CAO LIHUA, et al, 2009. Causes of beach erosion in Fujian and preventions[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 28(2): 156–162 (in Chinese with English abstract).
- 李小璐, 2023. 深沪湾国家地质公园生态旅游资源调查分析[J]. 旅游纵览, (15): 55–57 (in Chinese).
- 李震, 雷怀彦, 2006. 中国砂质海岸分布特征与存在问题[J]. 海洋地质动态, 22(6): 1–4. LI ZHEN, LEI HUIYAN, 2006. Distribution and existing problems of sandy coast in China[J]. Marine Geology Letters, 22(6): 1–4 (in Chinese with English abstract).
- 李志强, 蔡锋, 雷刚, 等, 2011. 福建莆田平海砂质海岸演变差异地貌动力学分析[C]//第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(中). 北京: 海洋出版社: 952–957 (in Chinese).
- 刘建辉, 2010. 福建砂质海岸侵蚀机制及影响因素分析[D]. 青岛: 中国海洋大学: 1–11. LIU JIANHUI, 2010. Analysis of mechanism and influencing factors of coastal erosion in Fujian Province[D]. Qingdao: Ocean University of China: 1–11 (in Chinese with English abstract).
- 刘星璐, 徐昇, 罗小峰, 等, 2022. 大鹏湾岬湾型海滩季节性变化特征及原因分析——以官湖海滩为例[J]. 海洋工程, 40(4): 44–52. LIU XINGLU, XU SHENG, LUO XIAOFENG, et al, 2022. Seasonal variation characteristics and causes of headland-bay beaches: a case study of Guanhu beach[J]. The Ocean Engineering, 40(4): 44–52 (in Chinese with English abstract).
- 潘非斐, 黄东仁, 李荣茂, 等, 2015. 福建深沪湾大型水母丰度变化及浮游动物群落结构特征[J]. 应用海洋学学报, 34(1): 111–123. PAN FEIFEI, HUANG DONGREN, LI RONGMAO, et al, 2015. Variation of macro-jellyfish abundance and characteristics of zooplankton community structure in Shenhu Bay, Fujian[J]. Journal of Applied Oceanography, 34(1): 111–123 (in Chinese with English abstract).
- 潘伟然, 杨圣云, 张国荣, 等, 2009. 福建省海湾数模与环境研究—深沪湾[M]. 北京: 海洋出版社 (in Chinese).
- 彭俊, 蔡峰, 李谷祺, 等, 2008. 福建岬湾岸型沙质海滩对台风的响应特征[J]. 台湾海峡, 27(1): 87–91. PENG JUN, CAI FENG, LI GUQI, et al, 2008. Response characteristic to the typhoon of sandy beach on the inshore between capes in Fujian[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 27(1): 87–91 (in Chinese with English abstract).
- 任旭光, 安振振, 朱磊, 等, 2023. 基于 CRI 分析海滩地形及岸线演变特征的生态修复研究[J]. 能源与环境, 45(5): 49–54. REN XUGUANG, AN ZHENZHEN, ZHU LEI, et al, 2023. Study on ecological restoration of beach terrain and shoreline evolution characteristics based on CRI analysis[J]. China Energy and Environmental Protection, 45(5): 49–54 (in Chinese with English abstract).
- 解航, 杨怡红, 朱龙海, 等, 2022. 山东半岛东南部典型砂质岸滩

- 季节性演化及控制因素探讨——以海阳万米海滩为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 42(1): 57–67. XIE HANG, YANG YIHONG, ZHU LONGHAI, et al, 2022. Seasonal evolution of the typical sandy coast of southeastern Shandong Peninsula and controlling factors—Take the 10000-meter beach in Haiyang as an example[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 42(1): 57–67 (in Chinese with English abstract).
- 颜利, 蒋金龙, 巫建伟, 2021. 福建深沪湾海底古森林遗迹自然保护区优化调整对策研究[J]. 海洋开发与管理, 38(5): 85–91. YAN LI, JIANG JINLONG, WU JIANWEI, 2021. Study on optimization and adjustment countermeasures of relics nature reserve of the ancient submarine forest in Shenhui Bay, Fujian Province[J]. Ocean Development and Management, 38(5): 85–91 (in Chinese with English abstract).
- 杨名名, 张一帆, 李杏筠, 等, 2024. 华南岬湾海滩冲淤演变特征及其机制分析——以南澳岛前江湾为例[J]. 海洋技术学报, 43(2): 43–57. YANG MINGMING, ZHANG YIFAN, LI XINGYUN, et al, 2024. Analysis on the evolution and mechanism of headland-bay beaches in South China—a case from Qianjiang Bay in the Nan'ao Island[J]. Journal of Ocean Technology, 43(2): 43–57 (in Chinese with English abstract).
- 郑承忠, 翁宇斌, 杨顺良, 2005. 厦门岛东南岸沙滩近期剖面变化研究 [J]. 热带海洋学报, 24(4): 73–80. ZHENG CHENGZHONG, WENG YUBIN, YANG SHUNLIANG, 2005. A study on recent changes of beach profiles along southeast shore of Xiamen Island, Fujian Province, China[J]. Journal of Tropical Oceanography, 24(4): 73–80 (in Chinese with English abstract).
- 中国海洋工程咨询协会, 2020. T/CAOE 20. 8-2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 8 部分: 砂质海岸[S]. 北京: 中国标准出版社: 1–27 (in Chinese).
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008a. GB/T 12763. 10-2007 海洋调查规范第 10 部分: 海底地形地貌调查[S]. 北京: 中国标准出版社 (in Chinese).
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2008b. GB/T 12763. 8-2007 海洋调查规范第 8 部分: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社: 1–79 (in Chinese).
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2017. GB/T 18190-2017 海洋学术语海洋地质学[S]. 北京: 中国标准出版社: 4 (in Chinese).
- ANTHONY E J, COHEN O, SABATIER F, 2011. Chronic offshore loss of nourishment on Nice beach, French Riviera: a case of over-nourishment of a steep beach[J]. Coastal Engineering, 58(4): 374–383.
- BASTERRETXEA G, ORFILA A, JORDI A, et al, 2007. Evaluation of a small volume renourishment strategy on a narrow Mediterranean beach[J]. Geomorphology, 88(1–2): 139–151.
- FOLK R L, WARD W C, 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 27: 3–26.
- MARINHO B, COELHO C, LARSON M, et al, 2018. Monitoring the evolution of nearshore nourishments along Barra-Vagueira coastal stretch, Portugal[J]. Ocean & Coastal Management, 157(5): 23–39.
- SUNAMURA T, HORIKAWA K, 1974. Two-dimensional beach transformation due to waves[J]. Coastal Engineering Proceedings, 1(14): 920–938.