

粤东南澳岛青澳海滩侵蚀退化风险评价 及其安全调控

李平, 杜军, 张志卫, 徐国强

(自然资源部第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 分析了南澳岛海滩资源储量、空间分布及其开发利用现状, 开展海岛海滩侵蚀风险评价, 选择青澳海滩开展岸滩及其海湾海床地形、沉积物、动力泥沙调查, 分析探讨了青澳海滩泥沙动力沉积特征, 灾变退化过程机制, 并从海滩稳定性和游客安全角度给出安全调控建议。结果表明: 1) 南澳岛海滩资源储量与侵蚀风险区域分异特征明显, 其中青澳海滩旅游活动频繁、开发强度大, 侵蚀退化风险等级高, 人为破坏干扰抑制滩海泥沙交换, 无序无度占滩开发与利用破坏了海滩自然演化进程, 短期过量旅游活动加速海滩侵蚀退化进程; 2) 青澳湾沉积物以粗粒砂为主, 沙源供给不足, 不同岸段岸线进退与岸滩蚀淤与海滩方位、波浪动力强度强弱关系密切, 具有明显的纵向沉积地貌分带特征。湾内落潮优势流(SE) 优于涨潮(NW), 对泥沙输运进入湾内具有抑制作用, 潮周期海湾泥沙自湾内向湾外输运, 泥沙以外输为主单宽输沙为 3 400 t; 3) 青澳海滩存在严重的“无序占滩建筑, 污水肆意排放, 管理不规范”等问题, 监测评价亦表明侵蚀退化风险巨大, 游客安全面临着风险隐患, 建议青澳海滩实行以生态化养护开发和“游客为中心”为理念的安全调控措施, 设立红线及安全标示。该研究为岛礁生态建设、海岛保护及修复提供科学依据。

关键词: 青澳海滩; 侵蚀退化; 风险评价; 安全调控

中图分类号: P736

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2020)01-0171-11

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2020.01.018

引用格式: LI P, DU J, ZHANG Z W, et al. Erosion risk assessment and safety regulatory of Qing'ao Beach in the Nan'ao Island, Guangdong Province[J]. *Advances in Marine Science*, 2020, 38(1): 171-181. 李平, 杜军, 张志卫, 等. 粤东南澳岛青澳海滩侵蚀退化风险评价及其安全调控[J]. *海洋科学进展*, 2020, 38(1): 171-181.

滨海沙滩是非常宝贵的旅游资源, 是开展海浴、沙浴和日光浴最佳场所, 亦是海洋与陆地天然缓冲器^[1]。海滩在激浪作用下堆积形成, 是海岸带最活跃地貌单元之一^[2]。我国不同地域海滩旅游差异显著, 自然环境佳、交通便捷的海滩人满为患, 远超其承载能力超负荷工作, 另一些海滩鲜有游客光顾。海滩游客激增, 过度使用, 海滩侵蚀退化增加, 出现明显的滩面物质粗化或泥化现象、坡度变陡、海滩萎缩和水体污染加剧等迹象。此问题出现原因及防治措施, 尚无更好对策, 主要原因在于对沙滩物质运移规律与演化机制认识不足。

海滩作为非常宝贵旅游资源, 其质量关系到海滩受青睐的程度, 如何客观全面地评价海滩质量, 一直是学界关注的热点^[3]。近年在海岛海滩侵蚀范围与程度逐步加剧形势下, 海滩侵蚀风险评价作为表征海滩侵蚀趋势方法, 进一步评估侵蚀发生可能性及其发展趋势。监测评价后认为狭窄的玉带滩沙坝存在决口风险^[4], 对废黄河三角洲侵蚀脆弱性进行评估^[5], 对海州湾海岸侵蚀进行了基于风险评价影响因子的体系构建^[6]。近年海平面上升, 海滩宽度缩窄、坡度变陡和滩面物质粗化等海滩退化问题日趋严重, 引起广泛关注, 成为海岸工程研究的热点^[2]。然而, 何为海滩侵蚀风险? 评价因子如何选择? 不同学者关注重点与角度不

收稿日期: 2018-05-15

资助项目: 海洋公益性行业科研专项——海岛旅游海滩管理技术研究与应用示范(201405037); 国家自然科学基金委员会-山东省人民政府联合基金项目——黄河三角洲地貌演变的动力机制与环境效应(U1706214)

作者简介: 李平(1981-), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事海岛海岸带环境演变过程与机制方面研究. E-mail: lp@fio.org.cn

(陈靖 编辑)

同,给出不同定义与解释^[7]。海滩侵蚀风险评价工作有限,虽然定义不尽相同,但风险评价核心在于对侵蚀程度及灾变预测,基础在于准确的侵蚀过程监测及主导因素分析。

粤东南澳岛位于南海沿岸海陆交汇海域,岛东部青澳湾面向南海,属于典型岬湾-沙坝海岸地貌,保存了完整的沙坝-潟湖体系^[8]。本文在总结前人工作基础上,围绕海岛海滩退化过程及其与旅游开发作用与关系开展研究,以期对严重侵蚀海滩提供科学可行的安全调控措施建议。依据南澳岛主要海滩自然特征,开发现状及侵蚀风险评价,对青澳湾沉积物、水深地形以及潮流动力调查,根据青澳海滩及海湾沉积物、水深地形和岸线修测结果,探讨青澳湾海床蚀淤动态、青澳海滩演变动态及其安全调控。

1 南澳岛海滩资源状况

南澳岛是广东唯一海岛县,也是全国14个海岛县中唯一4A级旅游区。南澳岛面积约110.89 km²,全岛岸线长约84.30 km,其中砂质岸线13.00 km。2015年南澳大桥通车后,海滩旅游发展迅猛,游客人数猛增。青澳海滩是南澳岛龙头景区,位于最东端半封闭星湾月海湾,海湾形似新月,湾口方向东南,湾顶发育海滩,海滩坡缓而平,是广东仅有的2个A级天然海滨浴场之一。

采用遥感影像解译量算与实地调查验证相结合的方法对南澳岛海滩的分布、规模和短期动态等特征进行统计(表1),统计结果表明南澳岛主要海滩12处,其中长度大于700 m的海滩6处,较集中分布在海岛东部和南部,其中浅水湾沙滩和青澳沙滩自然环境与配套设施最佳,游客集中(表2)。

表1 南澳岛海滩资源概况

Table 1 Beaches in the Nan'ao Island, Guangdong province

海滩名称	位置	方位	长度/ m	平均宽度/ m	平均厚度/ m	开发状况	备注
浅水湾沙滩	117°01'27"E, 23°25'03"N	南部	794.0	134	1.4	开发较成熟	位于南澳县城,交通便捷,配套设施齐全
下势山村沙滩	117°04'40"E, 23°24'44"N	南部	1 863.0	34	0.4	未开发	紧临环岛路,沙滩陡峭,砂质分选差
宋井公园沙滩(1)	117°05'58"E, 23°23'52"N	南部	92.5	56	0.7	开发较成熟	邻宋井景点,开发成熟,沙质一般
宋井公园沙滩(2)	117°06'0.9"E, 23°23'50"N	南部	198.0	48	0.6	开发较成熟	邻宋井景点,地形陡峭
云星村沙滩	117°06'26"E, 23°24'5"N	南部	198.0	48	0.6	开发较成熟	位于海湾内,规模大,滩面窄,砂质较差
东澳村沙滩	117°07'28"E, 23°23'52"N	南部	229.0	36	0.7	未开发	海滩规模小,地形复杂,后滨灌丛发育,交通不便
九溪澳村沙滩	117°07'50"E, 23°25'29"N	南部	375.0	43	0.4	未开发	海滩长度短,地形陡峭,紧邻村舍
青澳沙滩	117°06'36"E, 23°24'10"N	东南部	1 100.0	179	1.7	开发较成熟	配套设施齐全,游客人满为患
深澳东沙滩	117°07'19"E, 23°27'38"N	西北部	762.0	86	1.0	未开发	位于湾顶,邻环岛路,基本保持自然状态

续表

海滩名称	位置	方位	长度 /m	平均宽度 /m	平均厚度 /m	开发状况	备注
金银岛沙滩	117°07'00"E, 23°28'48"N	北	189.0	56	0.6	未开发	紧邻环海路,近岸水域有养殖
钱澳湾沙滩	116°59'31"E, 23°25'13"N	西南	182.0	76	0.9	开发较成熟	配套钱澳度假村,沙滩规模、砂质均匀
前江湾西沙滩	117°00'49"E, 23°25'06"N	西南	113.0	79	0.5	开发较成熟	前江沙滩以西,交通便捷,沙滩规模小、砂质较好

表 2 南澳岛主要海滩特征参数

Table 2 Characteristic parameters of main beaches in the Nan'ao Island

海 滩	海滩规模			表层沉积物特征		
	长度/m	宽度/m	厚度/m	中值粒径/ Φ	分选系数	砂组分含量/%
浅水湾沙滩	794	134	1.4	1.63	0.64	98.01
青澳沙滩	1100	179	1.7	2.31	0.63	99.8

为探讨青澳海滩稳定性与侵蚀灾变风险及其安全调控对策,布置了监测剖面与取样站位,测量岸滩水深地形,分析沉积物、潮流。剖面、站位布设兼顾海滩规模、开敞度等特征,确保测量反映海滩所有自然特征,长度大于 1 km 海滩断面间距 150 m,长度小于 1 km 海滩断面不少于 5 个。采用动力沉积与地貌演变分析相结合方法对海滩岸线变迁、岸滩蚀淤变化、稳定性机理进行探讨。

2 南澳岛海滩侵蚀风险评价

2.1 海滩侵蚀风险评价模式

海滩侵蚀风险评价主要对评价海滩侵蚀现状及其发展趋势进行评估预测。在对目标海滩侵蚀现状、灾变过程及主导因子进行分析基础上,梳理参照前人关于海岸侵蚀风险评价方法体系,根据海岛海滩演变特征,遴选反映侵蚀风险特征的指标因子,确定评价标准建立评价方法体系。根据评价结果与海滩侵蚀监测结果,经过多轮改正完善该方法体系,对评价因子进行科学选择。

海滩侵蚀风险包括退化危险性程度、海滩自身易损性和海滩防护能力三方面。实际上海滩侵蚀灾害风险评价难以区分海滩易损性与抗风险能力。例如区域 GDP(国民生产总值)在海滩易损性和抗风险能力两方面互为矛盾,区域 GDP 愈大灾损越大,但对抗风险能力来说,区域 GDP 愈大灾害处理能力(如灾后补助能力)越强。依据准确性和可操作性原则,对风险评价指标体系进行检验—调整—再检验—再调整,建立适用于南澳岛的海滩侵蚀风险评价指标体系(表 3)。

风险评价对各评价指标量化,对目标海滩开展风险评价。由于各指标参数的单位不同、量级不同很难将其合并进行运算,进行标准划分再量化分级。定义 $N = (g + h + Hw) / 3$, $Hu = u$, $M = r$; 危险性因子 $H = N \times 20\% + Hu \times 10\% + M \times 70\%$, 其中 N 为自然因素, Hu 代表人为因素, M 为海岸动态因素, V 为侵蚀海岸易损性, C 为侵蚀风险防范能力。根据危险性系数 H 划分危险性等级: 1~1.6 为低危险性; 1.6~2.4 为中危险性; 2.4~3.0 为高危险性。易损性(V)/能力(C)的值介于 1/3~3。软质海岸侵蚀风险指数 $R = H \times \frac{V}{C}$,

侵蚀风险指数值介于 1/3 到 9 之间,将海岸侵蚀风险划分为三个等级: $1/3 \leq R < 3$ 为低风险, $3 \leq R < 6$ 为中风险, $6 \leq R < 9$ 高风险。

表 3 海滩侵蚀风险评价指标体系
Table 3 Evaluation index system of beach erosion risk

项目	因子	指标	划分标准	量化分级
危险性 (H)	自然因素 (N)	海岸类型(g)	平直软质海岸	3
			弧形软质海岸	2
			受保护软质海岸	1
	自然因素 (N)	风暴潮最大增水(h)	>3.0m	3
			1.5~3.0m	2
			<1.5m	1
	自然因素 (N)	平均波高(Hw)	>1.0m	3
			0.4~1.0m	2
			<0.4m	1
	人为因素 (Hu)	城市化水平(u) (即城镇人口/总人口)	>70%	3
			40%~70%	2
			<40%	1
海岸动态因子 (m)	海岸变化速率(r)	强侵蚀、严重侵蚀	3	
		微侵蚀、侵蚀	2	
		淤涨、稳定	1	
易损性 (V)	物质财富因素(P)	土地价值(Lv)	>2.0 万元	3
		(近岸 1km 建筑密度×人均 GDP/ 区域岸线长度)	1.0~2.0 万元	2
			<1.0 万元	1
易损性 (V)	近岸资源利用因素 (Ev)	吸引游客量(Vn) (评价区域游客量/区域岸线长度)	>5 万人/km	3
			2~5 万人/km	2
			<2 万人/km	1
能力 (C)	海岸侵蚀防范能力 (Dc)	防护经济能力(Ec) (区域财政收入/区域海岸线长度)	<300 万元/km	1
			300~3 000 万元/km	2

2.2 南澳岛海滩侵蚀风险评价

南澳岛交通便利,海滩质量及设施俱佳,管理科学规范,部分海滩通过升级可改造成为热门旅游胜地,具有发展成为优质海水浴场潜力。评价数据源于实测数据和统计年鉴,海滩动态包括淤积、稳定和侵蚀三等,淤积和稳定岸段无侵蚀速率,不同岸段侵蚀速率不尽相同,侵蚀速率根据不同期次遥感影像解译对比,以及地形图及实测岸滩和水深数据计算(表 4)。

利用构建的评价模式对南澳岛 12 处目标海滩进行评价因子赋值,评价风险等级,结果显示,高风险海滩 4 个,中等风险 7 个,低风险 3 个(表 5)。总体而言南澳岛海滩侵蚀风险等级较高,对中风险等级海滩应组织开展海滩跟踪监测,及时关注海滩动态;对高风险等级海滩应在探究发育机制,制定有针对性的科学方案进行修复整治,修复方案需既要充分考虑海滩自然和利用现状,又进一步从驱动因子入手,实施软硬工程相结合治理方案。

表 4 南澳岛海滩侵蚀风险评价因子量值

Table 4 Risk assessment factor value of beach erosion in the Nan'ao Island

海 滩	海岸地貌 类型	平均波高/m	最大增水/m	城市化水平 /%	侵蚀速率 /(m·a ⁻¹)	土地价值 /万元	吸引游客量 /(万人·km ⁻¹)	防护经济能力 /(万元·km ⁻¹)
浅水湾沙滩	平直软质	≤0.4	2.3	70	淤涨	1.5	3.0	200
下势山村沙滩	受保护软质	≤0.4	1.3	70	严重侵蚀	2.5	5.5	4 000
宋井公园沙滩(1)	受保护软质	0.4~1.0	2.4	70	强侵蚀	2.5	5.5	4 000
宋井公园沙滩(2)	受保护软质	≤0.4	2.4	50	稳定	1.5	3.0	1 500
云星村沙滩	受保护软质	0.4~1.0	1.5~3.0	50	严重侵蚀	1.5	3.0	1 500
东澳村沙滩	平直软质	≤0.4	≤1.5	50	严重侵蚀	2.5	5.5	15 000
九溪澳村沙滩	受保护软质	≤0.4	1.5~3.0	70	稳定	2.5	5.5	4 000
青澳沙滩	受保护软质	0.4~1.0	1.5~3.0	70	淤涨、稳定	2.5	5.5	4 000
深澳东沙滩	受保护软质	0.4~1.0	1.5~3.0	70	强侵蚀	2.5	5.5	4 000
金银岛沙滩	受保护软质	≤0.4	≤1.5	70	强侵蚀	2.5	5.5	4 000
钱澳湾沙滩	弧形软质	0.4~1.0	1.5~3.0	30	稳定	1.5	1.5	200
前江湾西沙滩	弧形软质	0.4~1.0	≥3.0	40	稳定	1.5	1.5	200

表 5 南澳岛海滩侵蚀风险评价结果

Table 5 Results of beach erosion risk assessment in the Nan'ao Island

海 滩	侵蚀风险指数	风险等级	海 滩	侵蚀风险指数	风险等级
浅水湾沙滩	5.60	中风险	九溪澳村沙滩	6.75	高风险
下势山村沙滩	5.20	中风险	青澳沙滩	3.80	中风险
宋井公园沙滩(1)	5.47	中风险	深澳东沙滩	6.92	高风险
宋井公园沙滩(2)	2.33	低风险	金银岛沙滩	5.90	中风险
云星村沙滩	5.27	中风险	钱澳湾沙滩	4.27	中风险
东澳村沙滩	7.90	高风险	前江湾西沙滩	6.60	高风险

通过南澳岛海滩资源侵蚀风险评价及其评价结果,对于南澳岛海滩遭受侵蚀的可能性及其侵蚀灾变趋势的空间差异性具有全面而总体性的认识。实地调查与侵蚀风险评价结果具有一致契合度,例如青澳沙滩侵蚀风险评价结果属于高风险等级,实地调查发现该海滩侵蚀退化明显,侵蚀陡坎高差大、沙滩粗化严重、坡度陡化严重,岸滩冲淤变化频繁,表明建立的侵蚀风险评价方法具有科学性,评价结果能够反映海滩侵蚀灾变风险。海滩侵蚀主导因子在构建的海滩侵蚀风险评价因子体系均有涉及,各因子贡献不同在海滩侵蚀风险评价中权重不同。另外,尽管各方法中因子权重有差别,但使用同一种方法对南澳岛主要海滩侵蚀风险进行评价,评价结果在一定程度上真实反映了各海滩在侵蚀风险方面的地域差异,及各岸段海滩遭受侵蚀破坏原因。

遴选的评价因子既包括了自然因素、海岸动态,也包括了不同岸段社会经济差异性的差异性,这些不同因子构成了制约海滩侵蚀的主导因素,也是海滩遭受侵蚀原因,只是在某一岸段,各因子贡献不同,两者息息相关。青澳海滩面向开阔外海,波浪作用强劲,易起动泥沙造成泥沙流失、引发海滩侵蚀破坏;海滩无序、超负荷的开发也加剧了海滩侵蚀。就空间分布总体变化与特征而言,侵蚀风险较大岸段,一般侵蚀比较严重,或者开发强度很大,或者所在海域波浪强劲,从后续的发展态势上看继续遭受侵蚀破坏可能性大。

3 青澳海滩自然现状与演变过程

南澳岛青澳湾位于南澳岛东端星弯月海湾内,青澳海滩位处青澳湾湾顶,海滩长度大约 1 350 m,规模适中,新月形半封闭形状海湾的遮蔽作用形成的“流小浪弱”的海湾环境对青澳海滩有一定保护作用(图 1)。

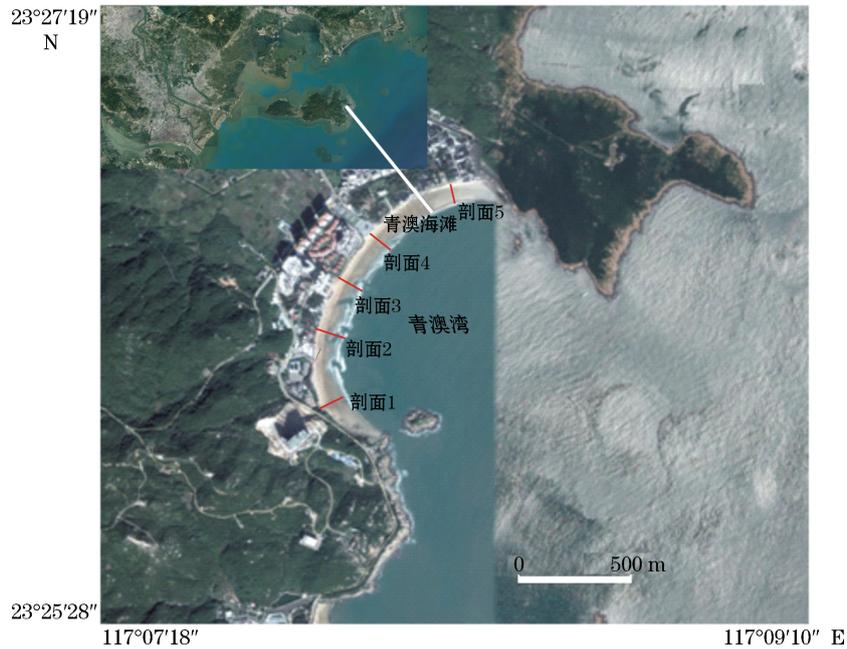


图 1 南澳岛青澳海滩遥感影像

Fig.1 Remote sensing image of Qing'ao Beach in the Nan'ao Island

3.1 沙滩沉积物及其变化特征

南澳岛东部、东南近岸底质以基岩礁盘为主,南部和西部底质以沙泥类型为主。为分析青澳湾底质沉积物特征,在青澳湾和青澳海滩进行表层沉积物取样,在自然资源部第一海洋研究所粒度分析实验室进行了沉积物粒度参数分析工作。现场取样分析青澳海滩沉积物以中细沙为主,海滩坡缓水下地形平坦。

青澳湾底质沉积物以砂为主,仅个别站位为粉砂,砂组分为 98.6%~100%,平均 99.8%(表 6),中值粒径 $0.8 \Phi \sim 3.0 \Phi$,平均 2.31Φ ,平均粒径在 $0.9 \Phi \sim 2.9 \Phi$,平均 2.25Φ 。沉积物分选系数为 $0.44 \sim 1.02$,平均 0.63 ;偏态范围为 $-0.46 \sim 0.14$,平均值 -0.22 ;峰态变化范围为 $0.34 \sim 2.03$,平均 0.75 。动态变化方面,横向上自

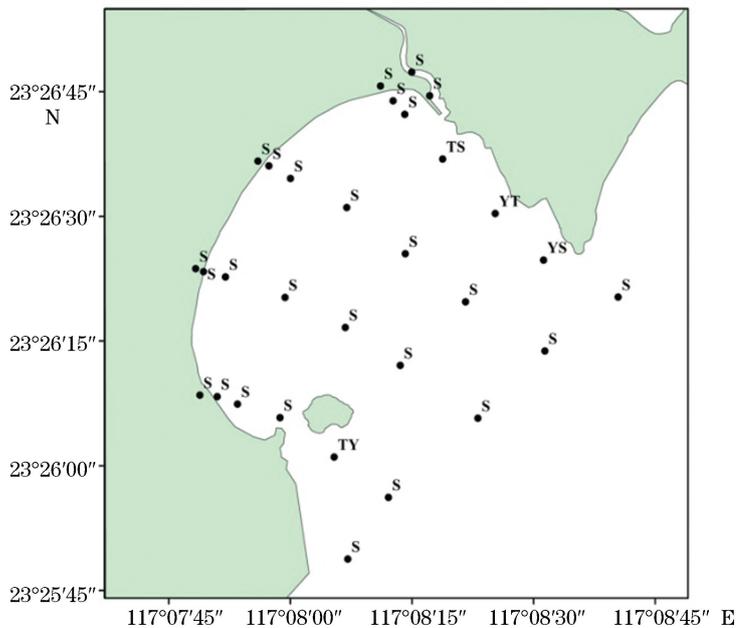


图 2 南澳岛青澳湾底质沉积物分布

Fig.2 The sediment distribution of Qing'ao Beach in the Nan'ao Island

陆向海中值粒径有增大-变小-增大变化趋势,总体上沉积物趋于粗化;沿岸方向,自海滩中部向两侧,沉积物中值粒径趋于变小。2015-01 沉积物粒径较 2015-09 粒径粗,这与冬季偏北向风强劲、水动力增强有关。

与海滩沉积物类型与组分颗粒分级特征极其相似,青澳湾海底表层沉积物以砂为主,仅海湾两翼个别站位沉积物偏细,包括粉砂质和黏土质沉积物类型(图 2),粒径从湾顶向湾口趋于粗化,表明岸滩与海湾海床之间存在频繁而剧烈的物质交换,海滩物质主要来源于湾内海床沉积物。

表 6 南澳岛青澳海滩底质沉积物参数及其变化
Table 6 Parameters of Qing'ao beach sediments in the Nan'ao Island

时 间	剖 面	砂组分/%	沉积物类型	中值粒径/ ϕ	平均粒径/ ϕ	分选系数	偏 态	峰 态
2015-09	剖面 2	99.8	砂	2.9	2.9	0.44	-0.20	0.34
		98.7	砂	2.8	2.7	0.57	-0.31	0.60
	剖面 4	100.0	砂	2.6	2.5	0.56	-0.23	0.49
		100.0	砂	2.8	2.7	0.48	-0.27	0.43
		100.0	砂	2.1	2.0	0.62	-0.20	0.60
		100.0	砂	2.8	2.6	0.71	-0.46	0.79
		100.0	砂	3.0	2.9	0.50	-0.17	0.44
		100.0	砂	3.0	2.9	0.51	-0.46	0.42
		100.0	砂	2.3	2.3	0.52	0	0.52
		100.0	砂	1.6	1.6	0.74	-0.08	0.98
2015-01	剖面 3	99.9	砂	2.0	2.0	0.61	-0.17	0.78
		99.5	砂	1.6	1.5	0.72	-0.25	0.94
		98.6	砂	0.8	0.9	1.02	0.14	2.03
		98.8	砂	2.2	2.2	0.70	-0.26	0.92
		99.5	砂	2.2	2.1	0.70	-0.34	0.92

3.2 岸滩演变动态

青澳海滩岸滩动态(岸线进退、剖面蚀淤)存在明显的纵向区域差异和横向不同地貌部位蚀淤分化特征。2015-01—09 期间青澳海滩两期次岸线修测比较表明海滩岸线呈现进退变化相间分布,而蚀淤变化幅度不大(小于 1.8 m,平均 0.6 m),海滩岸线处于稳定状态,未发生快速进退变化。

通过 2015-09 和 2016-06 两次测量地形南澳岛青澳海滩 5 条覆盖海滩代表性剖面(剖面间距 150 m),绘制剖面地形变化过程(图 3)量算海滩剖面变化,监测结果反映了岸滩剖面变化过程及特征。结果表明,2015-09—2016-06 期间所有剖面垂向蚀淤变化幅度不大(平均 0.45 m,最大 1.20 m)。海滩不同位置剖面比较发现,大致海湾中部剖面侵蚀破坏更显著,海湾两翼剖面弱侵蚀或淤积变化特征明显,且主要发生在滩面上部(后滨)。横向比较来看各剖面变化不同,差异明显、类型多样,其中剖面 1 和剖面 5 呈现“上淤下冲”变化特征;剖面 2 呈现“上冲下淤”;剖面 3 呈现整体淤积变化;剖面 4 呈现整体冲刷。

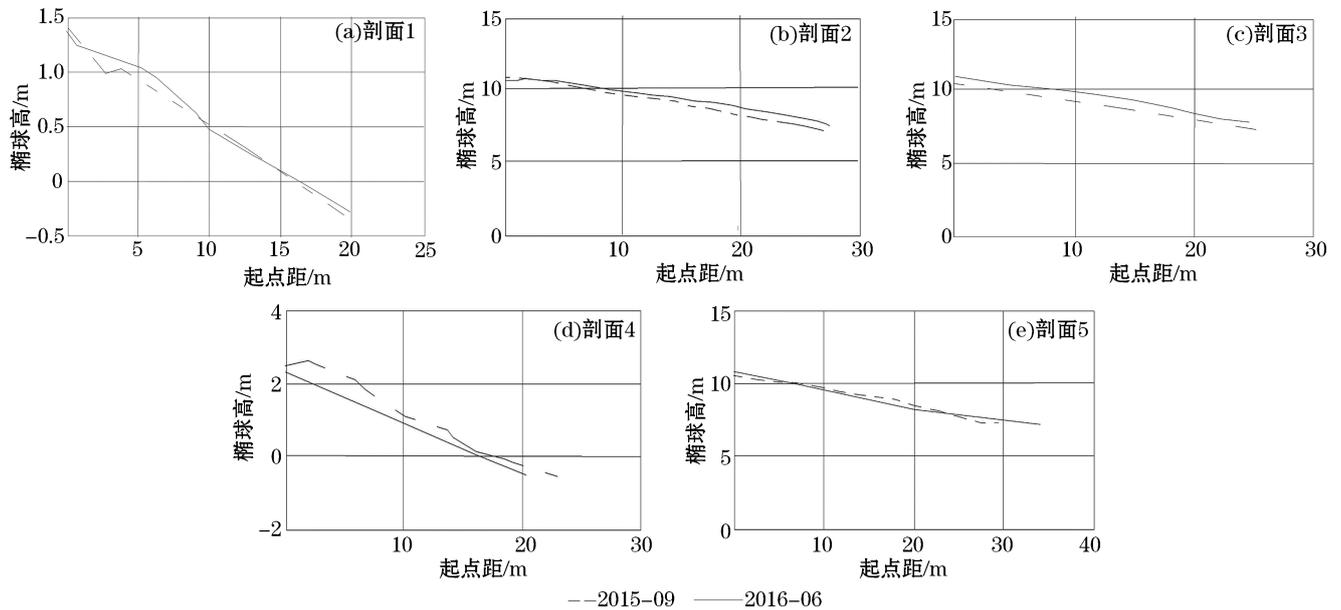


图3 南澳岛青澳海滩剖面变化过程

Fig.3 The profile variations of Qing'ao Beach in the Nan'ao Island

4 讨论

青澳海滩蚀淤变化具有明显特征与规律,南澳岛海滩侵蚀风险评价结果证实侵蚀风险空间分异主要由海滩自身环境及其动力环境共同决定。

4.1 青澳海滩蚀退机制

岸滩稳定取决于泥沙来源、水动力和海岸地形三大因素动态平衡^[9]。岸滩在泥沙运动与水动力变化共同影响下处于侵蚀与淤积动态变化,海滩蚀退演变根本原因在于动力环境变化、泥沙供给减少,海平面持续上升以及无序的海洋工程建设。

海滩退化影响因子多,机制复杂,系统内部沉积物收不抵支、入不敷出,则发生侵蚀退化。强劲波浪动力将泥沙搅起,潮流作用下发生横向移动或沿岸输运,局部海域发生泥沙流失亏损进而海滩被侵蚀破坏。为探讨海湾水动力对海滩影响,2015-09 在青澳湾内布设了潮流观测站位以开展准同步调查,结果表明大潮期 C1 站实测最大流速 7 cm/s,流向 314°,C2 站实测最大流速 20 cm/s,流向 46°;小潮期 C1 站最大流速 7 cm/s,流向 220°,C2 站最大流速 16 cm/s,流向 36°(图 4)。涨急海域主流向偏 NE 向,南澳岛东南端流速大(>0.6 m/s),东侧青澳湾受岛屿岬角掩护流速较小,落急海域主流向偏 SW 向。青澳湾潮流落潮优势流(SE 向)强于涨潮优势流(NW 向),对于由湾外潮流携带泥沙输运进入湾内具有明显的抑制作用,近岸湾顶 C1 站流速明显小于湾口 C2 站,表层流速最大底层流速最小,由湾外进入湾内泥沙减少,潮周期泥沙以向湾外输运为主,单宽每天净输沙量 3 400 t。

沿岸输沙是砂质海岸泥沙运动重要方式,依据《海港水文规范》^[10]计算青澳海滩沿岸输沙参数:

$$q = 0.64 \times 10^{-2} K' \delta_0 H_b^2 C_b n_b \sin 2\alpha_b \tag{1}$$

$$K' = \left(3\,500 \frac{D}{D^4 + 2} \right)^{(11-10\delta_0)/10} \tag{2}$$

$$n_b = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\frac{4\pi d_b}{L_b}}{\sinh \frac{4\pi d_b}{L_b}} \right) \tag{3}$$

式中: q 为沿岸输沙率(m^3/s), δ_0 为深水波陡, C_b 为破碎波速, n_b 为波浪动力系数, α_b 为波浪破碎时波锋线与等深线间夹角($^\circ$); K 为输入系数, D 为泥沙中值粒径; d_b 为波浪破碎水深; L_b 为波浪破碎波长。

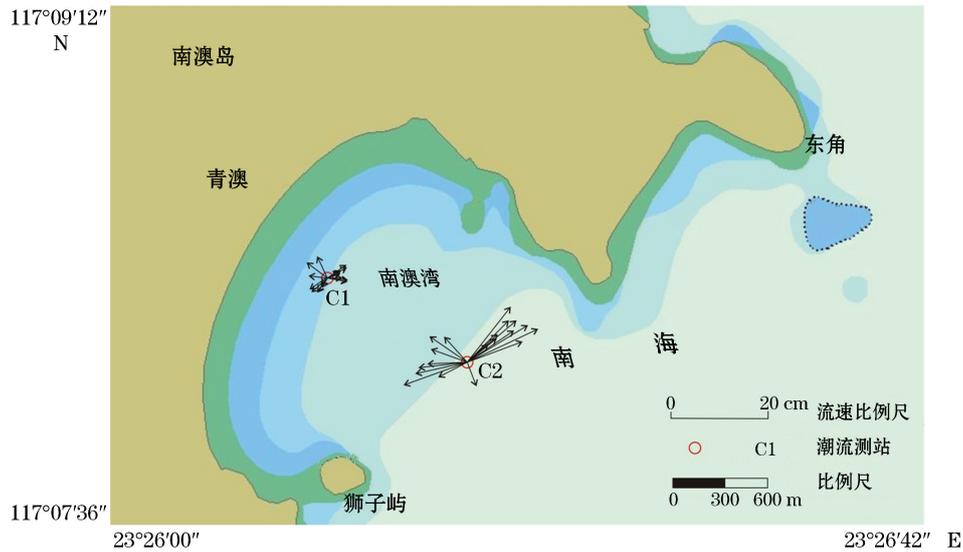


图 4 青澳湾潮流矢量图(大潮)

Fig.4 Tidal current vector map of the Qing'ao Bay (tide)

青澳湾呈半封闭,SW—NE走向,湾口为SE向,北向和西向波浪对海滩作用有限,选取了ESE—SE—SSE向波浪进行输沙计算(表7)。沿岸输沙计算结果表明青澳沿岸输沙量不大,向东北向输沙率 $2.53 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,西南向输沙率 $4.21 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,净输沙率为 $1.68 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,方向偏西南。强劲的涨潮流携带大量泥沙通过狭窄湾口进入湾内,海湾两翼动力弱泥沙易落淤发生沉积,沿岸输沙在半封闭海湾内由中部向两侧输送。

表 7 青澳海滩沿岸输沙 ($\times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)

Table 7 Sediment transportation along coast of the Qing'ao Beach ($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)

波高/m	E	ESE	SE	SSE	S
0.5	0.15	0.40	0.38	0	-0.40
1.5	0	0.29	0.60	0	-0.15
2.5	0	1.17	0	0	0
>2.5	0	1.22	0	0	0
合计	0.15	3.08	0.98	0	-2.53

注:“+”表示输沙方向为西南向,“-”表示输沙方向为东北向

4.2 青澳海滩侵蚀退化与安全调控

青澳海滩资源丰富、质量优,海滩旅游配套与安全警示标示齐全,海滩管理制度科学可行,赴岛游客超过60%选择了青澳海滩。风险评价显示青澳海滩面临潜在的侵蚀退化风险,且呈加剧发展态势。游客数量的大幅增加导致海滩的超负荷运行,统计南澳连岛大桥建成之后青澳海滩游客数量增加了近30%,占滩建筑数量增加了一倍,海滩处于极度过载运营状态,造成了海滩泥沙供给平衡的破坏及其纵向物质交换受到极大干扰,由此必然加剧了游客安全威胁。

优化海滩开发利用方式,实行生态化管控及科学调控。海滩开发利用方式单一粗放,赴岛游客数量大幅攀升,且游客群体类型单一、时间集中。海滩管理不精细,未进行有计划的调控与科学引导,安全警示标志不齐全规范,沙滩生境环境恶劣,不利于沙滩植被生长,沙滩后缘构筑物植被带缺乏规划,易造成地基侵蚀掏空。海滩滩肩甚至出现了整体大幅侵蚀后退,无序人工占滩建筑加强了局部水动力。

海滩安全调控从海滩稳定及其游客安全采取措施,完善“沙丘—海滩—沙坝—潜堤”海滩体系与景观格局,实施科学有效生态调控策略。发展旅游、购物、休闲度假为一体综合旅游链,改变游客时间集中、群体单一等弊病。对于其他条件好、具备发展潜力海滩加大开发力度,形成各具特点以青澳海滩为龙头的海滩群。拓展提升基础及其配套设施,以满足旅游多方需求,改善海滩游客旅游娱乐环境。依托该沙滩形成食宿设施齐备、休闲度假安全保障齐全的旅游度假村,形成食宿设施齐备,配套设施包括安全标志、警示标志等均比较齐备了完善的管理制度、安全防护措施,配套设施包括安全标志、警示标志等均比较齐备。

5 结 语

南澳岛海滩资源禀赋佳,然而海滩侵蚀退化趋势明显,海滩及其旅客存在安全风险。本文利用建立海滩侵蚀风险评价方法开展海滩侵蚀风险评价,表明该评价方法科学可行,反映不同海滩侵蚀退化风险的空间差异,南澳岛近半数海滩侵蚀退化风险等级高,面临进一步侵蚀破坏风险。以严重侵蚀青澳海滩为例,探讨海滩侵蚀退化机制及安全调控建议。青澳湾以粗粒砂沉积物为主,岸线进退、岸滩蚀淤变化受泥沙供给与动力状况共同影响,存在明显横向蚀淤分化。泥沙动力沉积显示青澳湾落潮优势流强于涨潮优势流,其对于湾外潮流携带泥沙进入湾内具有抑制作用。青澳海滩动力季节变化、泥沙供给区域分异是海岛海滩规模与分布控制性因素,游客量季节性与海滩到达便捷性是直接影响海滩开发成熟性。青澳海滩存在“无序海滩建筑,污水肆意排放,安全管理不规范”等问题,游客存在着潜在的安全风险隐患。丰富海滩资源与便捷交通加速了海滩承载负担与退化,无序无度占滩建设影响了海滩物质供给交换,打破了海滩系统平衡,加速了海滩退化,建议规范海滩开发行为,制定海滩开发红线与安全标识,实现海滩可持续生态开发及科学管理。

参考文献(References):

- [1] KOMAR P D. Progress in research on artificial beaches[M]. QIU J L, Tran. Beijing: Ocean Press, 1985: 8-223. KOMAR P D. 海滩过程与沉积作用[M]. 邱建立, 译. 北京: 海洋出版社, 1985: 8-223.
- [2] JI X M, ZHANG Y Z, ZHU D K. Distributions and impacts of heavy metals in the surface sediments of the Laizhou Bay[J]. Marine Geology Letters, 2006, 22(7): 21-25. 季小梅, 张永战, 朱大奎. 人工海滩研究进展[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(7): 21-25.
- [3] LI Z H, KE X K, ZHOU L F. Evaluation system of beach tourism resources quality[J]. Journal of Natural Resources, 2000, 15(3): 229-235. 李占海, 柯贤坤, 周旅复. 海滩旅游资源质量评比体系[J]. 自然资源学报, 2000, 15(3): 229-235.
- [4] ZHANG Z K, CHEN Y Z, DING H Y, et al. Coastal erosion and disaster risk analysis in Wanquan Estuary, Hainan Island[C]//Papers of the First Annual Conference of the risk analysis specialized committee—China Disaster Prevention Association, 2004. 张振克, 陈云增, 丁海燕, 等. 海南岛万泉河口地区的海岸侵蚀与灾害风险分析[C]//中国灾害防御协会——风险分析专业委员会第一届年会论文集, 2004.
- [5] LIU X X, CHEN S L, JIANG C. Vulnerability assessment of coastal erosion in the Yellow River delta of Northern Jiangsu Province[J].

- Journal of Geography, 2011, 29(1): 63-72. 刘小喜, 陈沈良, 蒋超. 苏北废黄河三角洲海岸侵蚀脆弱性评估[J]. 地理学报, 2011, 29(1): 63-72.
- [6] XU Z H, ZHANG T J, LIU Y, et al. Analysis of land use dynamic change of Lianyungang coast in recent 20 years[J]. Marine development and management, 2014, 31(9): 54-57. 许祝华, 张铁军, 刘媛, 等. 近 20 年连云港市海岸带土地利用动态变化分析[J]. 海洋开发与管理, 2014, 31(9): 54-57.
- [7] LUO S L, CAI F, LIU J H. Study on the risk assessment of coastal erosion in Fujian[J]. Haiyang Xuebao, 2014, 36(9): 132-140. 罗时龙, 蔡锋, 刘建辉. 福建海岸侵蚀风险评价研究[J]. 海洋学报, 2014, 36(9): 132-140.
- [8] YANG B J, YU F L, ZHENG Z, et al. Holocene sedimentary environment change indicated by size and loss of sediments in Qingao Bay, Nanao Island[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2015, 35(6): 41-49. 杨冰洁, 余凤玲, 郑卓, 等. 南澳岛青澳湾沉积物粒度与烧失量指示的全新世沉积环境变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015, 35(6): 41-49.
- [9] CHEN S L. And the erosion mechanism of the Yellow River delta Feiyantan coast[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2005, 25(3): 9-14. 陈沈良. 黄河三角洲飞雁滩海岸的侵蚀及机理[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(3): 9-14.
- [10] Ministry of Transport of the People's Republic of China. Code of hydrology for sea harbor: JTS 145-2-2013[S]. Beijing: China Communications Press, 2013. 中华人民共和国交通运输部. 海港水文规范: JTS 145-2-2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.

Erosion Risk Assessment and Safety Regulatory of Qing'ao Beach in the Nan'ao Island, Guangdong Province

LI Ping, DU Jun, ZHANG Zhi-wei, XU Guo-qiang
(First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China)

Abstract: Beach resources with excellent quality and mature development are widely distributed in the Nan'ao Island. After the completion of the Nan'ao Bridge in 2015, rapidly increasing visitors to the Island have led to the obvious erosion degradation of some beaches of the Island, which have potentially threatened the safety of tourists. On the basis of analyzing the quantity, distribution and development status of Nan'ao Beach, this study performed the risk assessment of beach erosion, and investigated the beach and seabed topography, sediment and tide in the Qing'ao Bay of the Island, and analyzed the characteristics of the dynamic deposition of the Bay and the degradation process and mechanism of the Qing'ao Beach, and proposed the regulation measures for beach stability and tourist safety. The results showed that, (1) the regional differentiation characteristics of Nan'ao Beach resources and their erosion risk are obvious, and the trend of erosion and degradation of Qing'ao Beach are at the high risk grade. Some factors such as unordered development of beaches, inhibited sediment supply, and overloaded tourists, accelerated the beach degradation. (2) Sediments in the Qing'ao Bay are mainly sand. The coastal variation (shoreline retreat and section erosion) has obvious longitudinal regional differentiation and lateral differentiation. The predominant flow (SE) of the ebb tidal current (NW) in the Qing'ao Bay significantly inhibited the sediment transportation from the outside bay, and the tidal cyclical sediment transportation is dominated by single-wide transport of -3400t; (3) Because the Qing'ao Beaches and tourists faced the serious safety risks and hidden dangers, there existed many problems such as disordered beach-buildings, sewage wanton emissions, unstandardized safe-management. Finally we suggested that the beach eco-system should be developed and utilized scientifically, and the red line and safety mark should be set up. The results obtained in this study will provide a scientific basis for the construction and protection and restoration of island and reef.

Key words: Qing'ao Beach; erosion degradation; risk assessment; safety regulatory

Received: May 15, 2018