

海岸侵蚀灾害区域风险评估 ——以海口海岸侵蚀灾害为例

王伟伟¹, 马恭博^{1*}, 王传珺¹, 高一鉴², 袁 蕾¹

(1. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 166023; 2. 中交(天津)疏浚工程有限公司, 天津 300451)

摘要:为了探讨海岸侵蚀灾害区域风险评估方法,采用模糊数学理论,以海口作为实例,选取孕灾类、致灾类、承灾类三大类指标,开展海岸侵蚀灾害区域风险等级评价。评价模型采用三值逻辑分类体系,把海口海岸侵蚀灾害风险等级划分为高、中、低三个风险等级。评价结果表明,海口海岸侵蚀高风险区分段式分布在海口假日海滩局部岸段、长滨北五路、五源河口和南渡江向东至大园村沿岸的局部岸段,这些区域是海岸侵蚀灾害防治的重点区域。评价得出的海岸侵蚀高风险区与海口市海岸侵蚀现状大致吻合,评价模型可为今后的海岸侵蚀灾害区域风险评估研究提供借鉴。

关键词:海口; 海岸侵蚀; 风险评估

中图分类号: P731.22

文献标志码: A

文章编号: 1002-3682(2021)04-0277-07

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2021.04.004

引用格式: WANG W W, MA G B, WANG C J, et al. Regional risk evaluation of coastal erosion hazards: a case study of coastal erosion hazard in Haikou[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(4): 277-283. 王伟伟, 马恭博, 王传珺, 等. 海岸侵蚀灾害区域风险评估——以海口海岸侵蚀灾害为例[J]. 海岸工程, 2021, 40(4): 277-283.

海岸带承载着世界上 60% 以上的人口、2/3 以上的大城市和经济带,然而,海平面的持续上升、入海泥沙的长期减少、人类活动加剧,使得海岸侵蚀和岸线后退逐渐成为威胁海岸带持续发展的主要原因^[1]。众多学者针对海岸侵蚀灾害开展了研究,在海岸侵蚀原因^[2]、侵蚀机理^[3-4]、海岸侵蚀模型预测^[5]、灾害治理与防治^[6-7]等方面取得了研究成果。但是针对海岸侵蚀灾害开展区域灾害风险评估的研究较少,本文以海口海岸带海岸侵蚀灾害为例,采用模糊数学理论开展海岸侵蚀灾害区域风险等级评价,并在此基础上提出了相应的灾害防治对策与建议。

1 区域概况

海口海岸线长 170.9 km,海岸线类型主要包括砂质、粉砂淤泥质、生物和人工岸线四类。海口由西向东依次分布澄迈湾(金沙湾)、海口湾和铺前湾。潮汐类型自东向西变化,铺前湾为不正规半日潮,海口湾为不正规全日潮,金沙湾为正规全日潮。潮流属正规日潮流。波浪以风浪为主,涌浪为辅,主要波向为 NE、ENE 向,年平均波高为 0.6 m。2010 年,随着海南国际旅游岛建设行动计划的实施,海口、三亚等地的海岸带步入了大规模的开发阶段,海砂偷采活动叠加极端自然条件导致部分海岸持续侵蚀后退,严重干扰了沿岸居民的正常生产生活。

收稿日期: 2021-06-09

资助项目: 国家重点研发计划项目——海洋调查和科学考察安全保障技术标准研究(2018YFF0213303)

作者简介: 王伟伟(1979—),男,副研究员,博士,主要从事海岸带环境地质灾害和海岸动力地貌学方面研究。

E-mail: wwwang@nmemc.org.cn

* 通信作者: 马恭博(1987—),男,助理研究员,硕士,主要从事海岸带环境地质灾害方面研究。E-mail: gbma@nmemc.org.cn

(陈 靖 编辑)

2 数据来源与分析

海口海岸侵蚀灾害评价的风况资料来源于海口秀英海洋站 1960—1979 年实测数据,海口强于 6 级大风的平均年日数为 172.2 d,占全年总日数的 47.2%。降雨和风暴增水资料来源于海口气象站 1971—2000 年实测数据,海口地区年降水量相对丰富,各月均有降水,年平均降水量为 1 651.9 mm。海口风暴增水超过 50 cm 以上的次数 44 次,年平均 1.5 次。土地利用资料来源于海口市国土资源局 2017 年土地普查数据,岸线向陆 200 m 范围内的海岸土地利用类型包括公路用地、村庄、旱地等 26 种类型。海口海岸线包括砂质岸线、粉砂淤泥质岸线、生物岸线和人工岸线四类。参照《海洋侵蚀监测与灾害损失评估技术规范》^①,海口严重侵蚀岸段 2 处、强侵蚀岸段 2 处、微侵蚀岸段 3 处和淤积岸段 4 处,基中严重侵蚀岸段分布在五源河口海岸、长滨北五路海岸,强侵蚀岸段分布在南渡江口东侧海岸和新溪角,微侵蚀岸段分布在假日海滩东侧海岸、秀英港西侧海岸和芙蓉河口附近海岸,其余岸段为淤积岸段^②。

3 评价方法与数据分析

3.1 评价指标

根据海口海岸带灾害特点,结合已有数据,选取孕灾类、致灾类和承灾类三大类指标对海口海岸侵蚀灾害风险进行评估,其中孕灾类的指标包括高风况天数(高风况为 6 级强风以上)、降雨、风暴增水和海岸类型,致灾类指标为海岸侵蚀强度,承灾类指标为海岸土地利用类型。根据国内现有的地质灾害风险评估研究方法^[8-9],结合海口的实际情况,采用三值逻辑分类体系将海口海岸侵蚀灾害风险等级划分为三级(高、中、低),具体指标和分级标准见表 1。

表 1 海岸侵蚀风险等级评估指标及分级
Table 1 The risk assessment index and grade of coastal erosion hazard

风险等级	孕灾类			致灾类	承灾类	
	高风况天数/d	降雨/mm	风暴增水/次	海岸类型	海岸带土地利用类型	
高(I级)	>100	>2 000	>10	生物	严重	居民地、港口、道路和厂房
中(II级)	50~100	1 000 ~2 000	3~10	砂泥	一般	工矿用地、林地、水田、旱地和养殖池等
低(III级)	<50	<1 000	<3	基岩/人工	稳定	其他用地

注:高风况指 6 级强风以上

3.2 评估模型

地质环境是一个多因素耦合的复杂动态系统,地质灾害评估需要研究的变量既包括确定可循的变化规律,又有不确定的随机变化规律。在地质灾害风险评估过程中,被评估的对象、评估方法甚至评估主体及其掌握的评估标准都具有不确定性。模糊数学方法可对某一事物进行多个因素、多个级别的评估,根据诸多因素作出综合评判,可为地质灾害风险评估中确定和不确定、精确与模糊因素之间的沟通建立良好方法。

① 国家海洋环境监测中心. 海岸侵蚀监测与灾害损失评估技术规范, 2021.

② 国家海洋环境监测中心. 海口市海洋生态环境本底调查报告, 2019.

遵循模糊数学评估原理,针对上述 6 类评估指标,得出海岸侵蚀灾害风险模糊综合评估因子集:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}, \tag{1}$$

式中: u_1 为高风况天数指标; u_2 为降雨指标; u_3 为风暴增水指标; u_4 为海岸类型指标; u_5 为海岸侵蚀强度指标; u_6 为海岸带土地利用类型指标。

海岸侵蚀灾害风险等级集:

$$V = \{v_1, v_2, v_3\}, \tag{2}$$

式中: v_1 代表风险等级为高; v_2 代表风险等级为中等; v_3 代表风险等级为低。

将模糊集转化为多值逻辑,利用贴近度分析方法,选取一组比较适当的、具有正态分布特点的数值“0.0,0.2,0.5,0.8,1.0,0.8,0.5,0.2,0.0”以代替隶属度函数,即用一组满足模糊条件的数值,来表示各种评估因子对海岸侵蚀风险的影响程度,这样就可以把各个评估因子对风险的影响程度变为隶属度值。同时,为了便于计算,各评估因子相应的隶属程度应基本相等。

根据前面的评估指标分级体系,确立各个评估因子对风险等级的隶属程度(表 2),建立灾害风险评估模型流程图(图 1)。

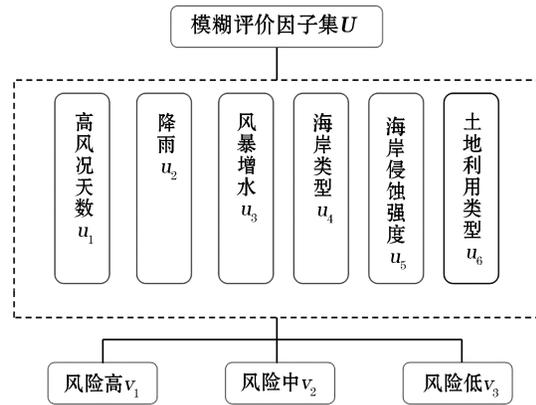


图 1 海岸侵蚀风险评估模型

Fig.1 The risk assessment model of coastal erosion

表 2 评估指标风险等级隶属度指数

Table 2 The membership degree index of assessment factors risk grade

风险等级	高风况天数		降雨		风暴增水		海岸类型		海岸侵蚀强度		土地利用类型	
	等级	指数	等级	指数	等级	指数	等级	指数	等级	指数	等级	指数
高(v_1)	1 级	0.8	1 级	0.8	1 级	0.8	1 级	0.8	1 级	0.8	1 级	0.8
中(v_2)	2 级	0.5	2 级	0.5	2 级	0.5	2 级	0.5	2 级	0.5	2 级	0.5
低中(v_3)	3 级	0.2	3 级	0.2	3 级	0.2	3 级	0.2	3 级	0.2	3 级	0.2

3.3 构造判断矩阵确定评估指标权重

通过对各个要素间的两两比较,判断其相对重要性,构造出判断矩阵(表 3),经由专家判定各指标相对重要性后,再通过表 2 利用层次分析决策过程,构造权值判别表。根据模糊矩阵原理,求出上述判断矩阵的最大特征根及其所对应的特征向量,就可以以此特征向量作为各评估指标的加权值。在计算判断矩阵的最大特征根和特征向量时,采用近似的求积法求其最大特征值,并进行一致性和随机性检验,最终求得本次评估的权重值(表 4):风况的权重值为 0.068 3,降雨的权重值为 0.114 9,风暴增水的权重值为 0.201 4,海岸类型的权重值为 0.190 8,海岸侵蚀强度的权重值为 0.383 9,土地利用类型的权重值为 0.040 6。

表 3 评估指标重要性判断矩阵

Table 3 Comparison Matrix of evaluation index importance

评估指标	高风况天数	降 雨	风暴增水	海岸侵蚀强度	土地利用类型	海岸类型
高风况天数	1	1/2	1/3	1/5	2	1/3
降 雨	2	1	1/2	1/3	3	1/2
风暴增水	3	2	1	1/2	5	1
海岸侵蚀强度	5	3	2	1	7	3
土地利用类型	1/2	1/3	1/5	1/7	1	1/5
海岸类型	3	2	1	1/3	5	1

表 4 各评估因子的权重

Table 4 The weight of assessment factors

评估指标	权重值	评估指标	权重值	评估指标	权重值
高风况天数	0.068 3	风暴增水	0.201 4	海岸侵蚀强度	0.383 9
降 雨	0.114 9	海岸类型	0.190 8	土地利用类型	0.040 6

4 结果与讨论

4.1 孕灾环境评估

海口风况对应的孕灾环境等级为高(I级),年平均降水量对应的孕灾环境等级为中(II级),风暴增水对应的孕灾环境等级为高(I级),人工海岸对应的孕灾环境等级为低(III级),砂质海岸和粉砂淤泥质海岸对应的孕灾环境等级为中(II级),生物海岸对应的孕灾环境等级为高(I级)(图 2)。海口澄迈湾、西海岸和东海岸岸段的孕灾环境等级为中(II级),秀英港至南渡江口岸段的孕灾环境等级为低(III级),铺前湾东部岸段的孕灾环境等级为高(I级)。

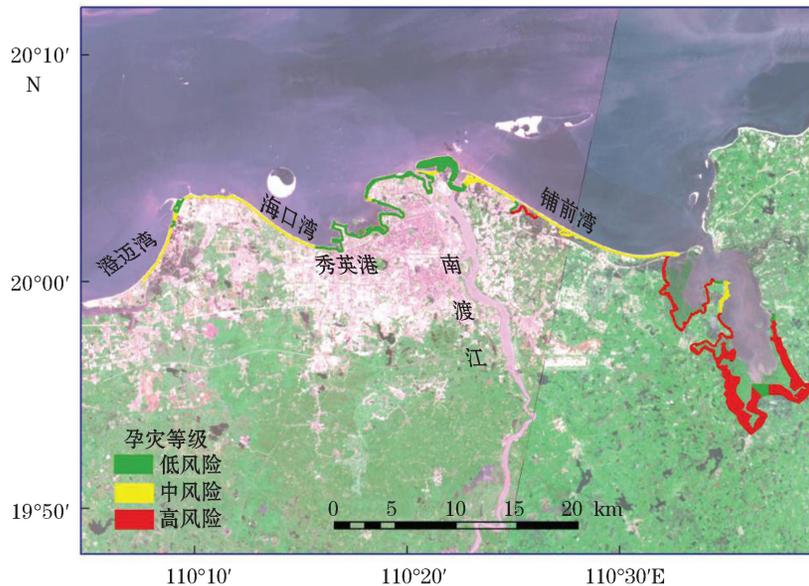


图 2 孕灾环境等级

Fig.2 The grade of hazard formative environment

4.2 海岸侵蚀灾害危险性评估

海口大园村附近、南渡江东侧、五源河口、长滨北五路等局部岸段发生海岸侵蚀的危险性高(I级),南渡江以东和假日海滩西部的局部岸段海岸侵蚀危险性等级为中(II级),其余岸段海岸侵蚀危险性等级为低(III级)(图3)。

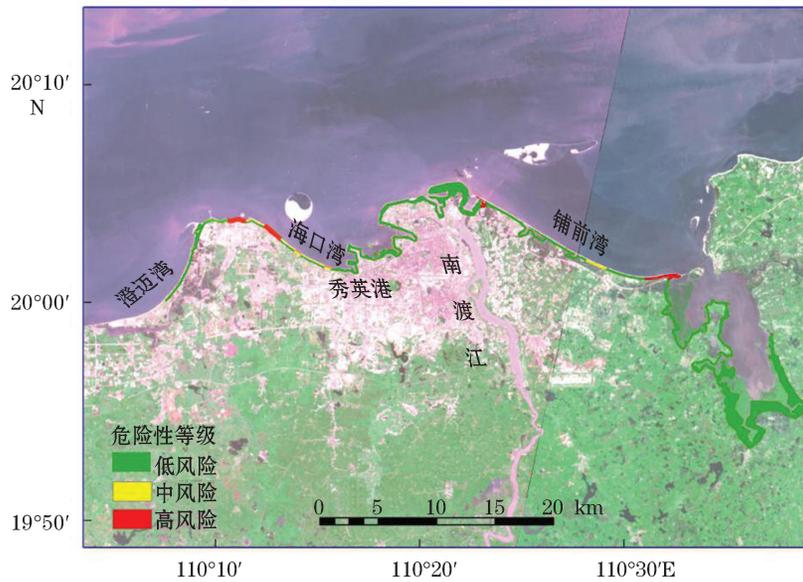


图3 海岸侵蚀危险性等级

Fig.3 The danger grade of coastal erosion

4.3 承灾体脆弱性评估

海口南渡江以西海岸带的脆弱等级多为高(I级),南渡江以东至大园村附近海岸带脆弱性等级多为中(II级)和高(I级),而大园村以东的海岸带脆弱性等级多为中(II级)和低(III级)(图4)。

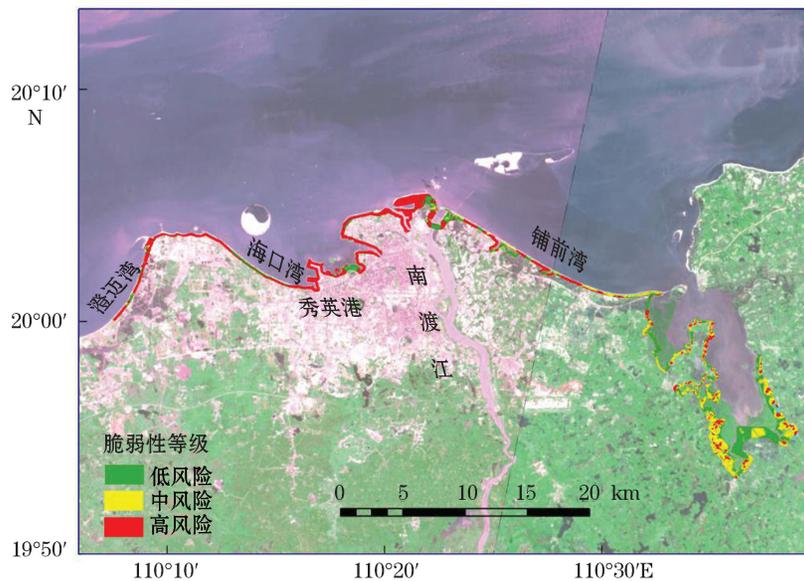


图4 承灾体脆弱性等级

Fig.4 The vulnerability grade of coastal erosion hazard-affected body

4.4 海岸侵蚀灾害风险综合评估

将前述的孕灾环境、致灾因子和承灾体数据栅格化,考虑对应的权重,对各个指标做加权,依次得到各个栅格区域的海岸侵蚀风险等级分布(图5)。由图5可知,在现有的数据资料基础上,综合考虑孕灾环境、致灾因子和承灾体脆弱性等多方面因素,海口海岸侵蚀灾害风险总体不高。高风险区分段式分布在五源河口岸段、长滨北五路岸段、南渡江以东至大园村沿岸的局部岸段,评价分析得到的海岸侵蚀高风险区与2019年海口本底调查的海岸侵蚀分布区域基本吻合。

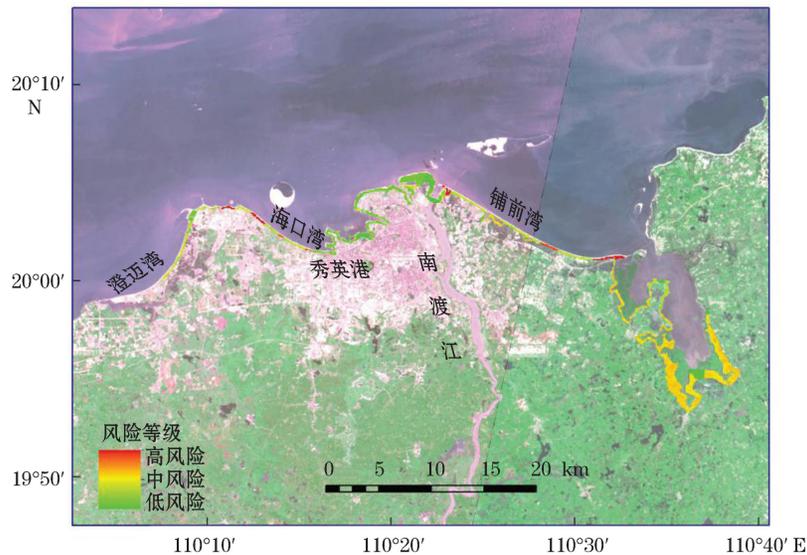


图5 海岸侵蚀灾害风险等级

Fig.5 The risk grade of coastal erosion hazard

5 结论与建议

通过对海口海岸带的孕灾条件、灾害危险等级、承灾条件的分析,采用模糊数学法对海口海岸带海岸侵蚀灾害风险进行综合评价,得出海岸侵蚀灾害的风险等级和分布范围,评价结果较为理想。综合海岸侵蚀的危险性与脆弱性评估结果可知,海口海岸侵蚀高风险区分段式分布在海口假日海滩局部岸段、长滨北五路、五源河口、南渡江向东至大园村沿岸的局部岸段,这里也是今后海岸侵蚀灾害防治的重点区域。

为了遏制海岸侵蚀高风险区进一步恶化,维持沿海居民正常的生产生活,针对目前的灾害现状,提出以下几点建议:

1) 严格禁止近岸、近海采砂,主管部门应加强对围填海工程的监管,防止出现新的违法违规海上采砂活动。

2) 严格禁止河道采砂,相关政府部门应该联合行动,加紧出台相应的河砂管理政策,防治南渡江流域河砂被随意开采,以保证正常的河流入海泥沙,防控海岸的蚀退。

3) 积极开展海岸侵蚀高风险岸段的整治修复工作,海岸侵蚀严重表明该区域的海岸已经处于严重的不健康状态,依靠海岸自身的修复能力已经无法恢复到健康状态,建议相关主管部门根据海岸侵蚀的主要原因开展针对性的整治修复工作。

参考文献(References):

- [1] CHEN J Y, XIA D X, YU Z Y, et al. Coastal erosion in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010: 3-4. 陈吉余, 夏东兴, 虞志英, 等. 中国海岸侵蚀概要[M]. 北京: 海洋出版社, 2010: 3-4.

- [2] XIA D X, WANG W H, WU G Q, et al. Coastal erosion in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(5): 468-475. 夏东兴, 王文海, 武桂秋, 等. 中国海岸侵蚀述要[J]. *地理学报*, 1993, 48(5): 468-475.
- [3] CHEN S L, ZHANG G A, CHEN X Y, et al. Coastal eroison feature and mechanism at Feiyantan in the Yellow River Delta[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25(3): 9-14. 陈沈良, 张国安, 陈小英, 等. 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.
- [4] CAI F, SU X Z, YANG S L. A rapid response to 9914 typhoon-induced storm wave force made by the beach profiles of Xiamen Island[J]. *The Ocean Engineering*, 2002, 20(2): 85-90. 蔡锋, 苏贤泽, 杨顺良, 等. 厦门岛滨岸海滩剖面对 9914 号台风大浪波动力的快速响应[J]. *海洋工程*, 2002, 20(2): 85-90.
- [5] BAO S L, YU Z Y, LIU C Z, et al. Approach to the evolution model of sand coast erosion;a case study of eroded coast in south Shandong of China[J]. *The Ocean Engineering*, 2003, 21(3): 94-99. 包四林, 虞志英, 刘苍宇, 等. 砂质海岸岸滩侵蚀演变模式探讨——以山东南部海岸侵蚀岸段的岸滩演变为例[J]. *海洋工程*, 2003, 21(3): 94-99.
- [6] CAI F, QI H S, XIA D X. Morphodynamical processes of sandy beaches in South China[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 140-168. 蔡峰, 戚洪帅, 夏东兴. 华南海滩动力地貌过程[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 140-168.
- [7] LI B, CAI F, CAO L H, et al. Causes of beach erosion in Fujian and preventions[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2009, 28(2): 156-161. 李兵, 蔡锋, 曹立华, 等. 福建砂质海岸侵蚀原因和防护对策研究[J]. *台湾海峡*, 2009, 28(2): 156-161.
- [8] DU J, LI P Y. The initial stage of risk assessment index system for island geological hazard[J]. *Ocean Development and Management*, 2010, 27(Suppl.1): 80-82. 杜军, 李培英. 海岛地质灾害风险评估指标体系初建[J]. *海洋开发与管理*, 2010, 27(增 1): 80-82.
- [9] KANG J, WANG W W, CHEN L, et al. Risk assessment of geological hazard based on fuzzy mathem atics; a case study of Changxing Island[J]. *Marine Environmental Science*, 2016, 35(1): 861-867. 康婧, 王伟伟, 程林, 等. 基于模糊数学方法的海岛地质灾害风险评估——以长兴岛为例[J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(1): 861-867.

Regional Risk Evaluation of Coastal Erosion Hazards: a Case Study of Coastal Erosion Hazard in Haikou

WANG Wei-wei¹, MA Gong-bo¹, WANG Chuan-jun¹, GAO Yi-jian², YUAN Lei¹

(1. *National Marine Environmental Monitoring Center*, Dalian 116023, China;

2. *Tianjin International Marine Engineering Co., Ltd*, Tianjin 300451, China)

Abstract: In order to develop a method for regional risk evaluation of coastal erosion hazards, the theory of fuzzy mathematics is applied and the coastal erosion hazard in Haikou is taken as a case study. For evaluating the regional risk level of the coastal erosion hazard, three major categories of coastal erosion hazard, i.e. hazard-forming category, hazard-causing category and hazard-affected category, are chosen as the hazard evaluation indexes. By using three-value logical classification system as the risk evaluation model, the coastal erosion hazard in Haikou can be divided into three risk grades, i.e. high, medium and low levels. Of them, the high risk zones of the coastal erosion hazard in Haikou are, mainly in the form of coastal segments, distributed along the coast of the Holiday Beach, the Changbin Northern No.5 Road and the Wuyuanhe River mouth, as well as the coast extending eastward from the Nanduijiang River to the Dayuancun Village. All these high risk zones obtained by the evaluation are roughly consistent with the current coastal erosion situation in Haikou, and are also the key areas for the coastal erosion hazard prevention and control. This evaluation model could provide reference for the regional risk evaluation of coastal erosion hazards in the future.

Key words: Haikou; coastal erosion; risk assessment

Received: June 9, 2021