

包春霞, 文世勇, 徐丽芬, 等. 基于海平面上升的辽东湾绥中海岸侵蚀危险度评估[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 205–210.
[Bao Chunxia, Wen Shiyong, Xu Lifeng, et al. The Suizhong coastal erosion risk assessment based on Sea level rise [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 205–210.]

基于海平面上升的辽东湾绥中海岸侵蚀危险度评估^{*}

包春霞^{1,2}, 文世勇², 徐丽芬³, 吴彤^{1,2}, 赵冬至², 黄凤荣¹, 许学工³

(1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 国家海洋环境监测中心, 辽宁 大连 116023;
3. 北京大学 城市与环境学院地表过程与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 辽东湾绥中海岸侵蚀给当地人民的生产和生活带来严重危害。因面临海岸侵蚀的较高危险性, 促使绥中沿海地区海岸侵蚀灾害危险性研究备受关注。海平面上升被认为是我国海岸侵蚀灾害危险度的重要自然因素。利用 Bruun 法则对辽东湾葫芦岛绥中岸段海岸侵蚀进行评估和预测。根据海平面上升高度数据, 结合基于海平面上升的岸线后退计算模型, 在 GIS 平台下, 得到绥中岸段现状及未来 100 年内的海岸侵蚀灾害危险度空间分布结果。研究成果显示绥中岸段在 2009–2012 年期间基于海平面上升的岸线蚀退权重约为 21%, 但是, 在未来 100 年内, 基于海平面上升的海岸侵蚀宽度可能超过 176 m, 海平面上升而对岸线蚀退的贡献权重增加到约为 32%, 大部分地区呈现明显的强侵蚀和严重侵蚀状态。因此, 基于未来海平面上升导致的海岸侵蚀危险度预测对海岸侵蚀研究具有重要意义。

关键词: 海平面上升; 海岸侵蚀; 危险度空间分布; 辽宁绥中

中图分类号: P6P4; P72; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)01–0205–06

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.01.038

海岸侵蚀指在灾害性的海洋条件下, 造成的岸线蚀退或岸滩下蚀的海岸变化^[1]。1980 年以来, 中国的海岸侵蚀日趋严重, 已经引起了国内许多学者的关注, 并针对此问题进行了研究^[2–13]。辽东湾绥中岸段位于辽东湾湾顶附近, 所处海域潮流较弱, 在波浪长期作用下, 形成了环海寺角咀与强流河之间岬角弧形海岸, 强流河河口以东为平直沙质海岸^[14], 主要为砂质海岸, 侵蚀愈为严重的趋势, 其范围自 1960 年开始不断蔓延。王玉广指出, 对于绥中岸段, 主要是其海洋动力的影响程度、海岸成分物质松散状态造成了此岸段的海岸侵蚀。海岸蚀退的主要影响因素为陆源物质的质量减少、海动力作用、海洋工程和海岸采砂作用, 1988–1994 年海岸侵蚀速率高达 4.5 m/a; 2001–2002 年最大侵蚀速率为 3.8 m/a; 2002–2006 年最大侵蚀速率为 3.1 m/a。海岸侵蚀灾害造成了房屋和道路冲毁, 海滩减少和毁坏, 沿岸工程冲毁, 土地大面积流失, 旅游设施受损给沿岸人民的生产和生活及沿岸生态环境系统带来严重

影响或构成潜在的威胁^[15]。如何科学有效地进行海岸侵蚀灾害防灾减灾管理措施, 是当前急需解决的关键问题。

灾害风险评估是灾害预防和减少灾害管理和应急响应的重要内容, 目前国际灾害防灾减灾理念从“灾害救援”到“灾害预防”的转变, 将灾害消灭在萌芽中, 使灾害损失尽量减小, 有效地减轻灾害对社会经济造成的损失^[16]。海岸侵蚀灾害危险度是指通过对孕灾环境因子与致灾因子的关系分析, 定量获取评估区域内海岸侵蚀发生的可能性及后退速率, 反映了灾害的自然属性。目前, 海岸侵蚀灾害危险度研究成果集中于海岸侵蚀现状^[3, 17–21]、原因^[2, 4–5, 22–28]以及未来预测分析^[29–39]。影响海岸侵蚀灾害的原因可归纳为自然因素和人为因素两大类, 其中, 自然因素主要包括风暴潮、海浪侵袭, 海平面上升, 河流输沙减少; 人为因素主要包括海岸采砂, 河流水利工程拦截泥沙, 海岸工程加强了水动力, 海滩植被的破坏等, 在这些影响因素中, 风暴潮、海浪, 海

* 收稿日期: 2014–07–01 修改日期: 2014–08–18

基金项目: 国家海洋局业务工作海洋灾害监测、预警与预报; 国家自然科学基金项目(41271102, 40830746)

作者简介: 包春霞(1990–), 女, 内蒙古通辽人, 硕士研究生, 主要从事海岸侵蚀灾害遥感监测与风险评估研究。

E-mail: bex_dl@sina.com

通讯作者: 文世勇(1977–), 男, 海南东方人, 博士, 副研究员, 主要从事海洋灾害风险与损失评估的应用方面的研究。

E-mail: sywen@nmemc.org.cn

平面上升, 河流泥沙的减少, 人类活动等四个方面主导引起海岸侵蚀^[40]。海平面上升形成的海岸线后退已经成为了全球的普遍现象^[41]。海平面上升会导致潮差增大, 潮流冲刷力加强, 潮滩与沿海湿地因为侵蚀和淹没而范围减小, 造成海岸侵蚀严重的原因有滩面的水深度加大, 波浪和风暴潮的强度及频率加强, 从而导致湿地面积缩小, 而后又会影响到滩面的消浪和抗冲刷能力^[42-43]。

本文选取辽东湾绥中海岸北纬 40°11'20" ~ 40°12'40"N, 东经 120°20' ~ 120°27'E 的区域为研究岸段。根据当前国际减灾防灾的概念, 结合前人对海岸侵蚀及其他自然灾害的风险评估经验, 利用 Bruun 法则, 以海平面上升为海岸侵蚀制灾因子对绥中岸段海岸侵蚀灾害危险度进行定量的评估。

1 材料与方法

1.1 数据来源

(1) 海平面上升数据

国家海平面公报数据显示从 1980 - 2012 年, 辽东湾试点区沿岸海平面变化速率基本呈东高西低的趋势(表 1), 此中, 绥中岸段海平面每年平均变化高度为 0 ~ 2.0 mm。

表 1 不同情景海平面上升高度值 mm

岸段	2009 - 2012 年		
	低	中	高
绥中岸段	0	1	2

假定海平面变化速率在未来的 2012 - 2100 年内与 1980 - 2012 年之间的变化速率保持一致, 则根据现状的海平面上升高度监测数据, 则预算在未来不同年份区间内绥中岸段的海平面上升高度(表 2)。

表 2 不同情景海平面上升高度值 cm

岸段	2012 - 2030 年			2012 - 2050 年			2012 - 2100 年		
	低	中	高	低	中	高	低	中	高
绥中岸段	0	1.8	3.6	0	3.8	7.6	0	8.8	17.6

表 2 中的低、中、高三种情景值主要是根据图 1 中的数值, 分别按最小值、平均值、最大值乘以相应的时间长度计算得到。

(2) 坡度数据

利用 ArcGIS 软件的 Spatial Analyst 模块下的表面分析工具, 根据绥中地形图的高程数据计算其坡度, 近似可以视为海岸近滨坡度。

1.2 方法

在基于海平面上升的海岸线后退的方法中,

Brunn 法则是最早的, 也是应用最为广泛的一种^[44]。Brunn 法则应用对象为相对海平面上升明显且具有均匀的沙质沉积物的海岸。计算公式可表示为如下:

$$H_s = \frac{L}{B+d} \times r。 \quad (1)$$

式中: H_s 为岸线后退速率, r 为海面相对上升速率; d 为闭合水深, L 为从水深 d 到岸线的距离, B 为滩肩高度(或其他侵蚀区高程估计)^[45]。式(1)中 $(B+d)/L \approx \tan\theta$, 其中 θ 指沿着横距的近滨平均坡度。因此, 海平面上升所导致的海岸后退速率可表述为:

$$H_s = \frac{r}{\tan\theta}。 \quad (2)$$

本文中的历史海岸侵蚀距离, 主要在 ArcGIS 平台下基于岸滩坡度和海平面上升距离计算得到的。

经过岸线后退距离的计算, 对得到的海岸后退距离进行分级显示, 参考砂质海岸侵蚀强度分级标准, 海岸线后退距离分为稳定、轻侵蚀、中侵蚀、强侵蚀、严重侵蚀五个标准, 如表 3 所示。

表 3 岸线后退距离分级标准 m

岸线后退距离分级标准	2012 - 2030 年	2012 - 2050 年	2012 - 2100 年
稳定	0	0	0
轻侵蚀	0 ~ 9	0 ~ 19	0 ~ 44
中侵蚀	9 ~ 18	19 ~ 38	44 ~ 88
强侵蚀	18 ~ 36	38 ~ 76	88 ~ 176
严重侵蚀	≥ 36	≥ 76	≥ 176

2 结果

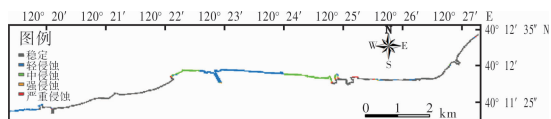
2.1 辽东湾绥中现状岸线侵蚀危险度评估

现状岸线侵蚀危险度评估是指, 根据海平面上升高度的现状监测数据, 结合基于海平面上升的岸线后退计算模型, 得到的岸线后退(侵蚀)的空间分布信息结果。

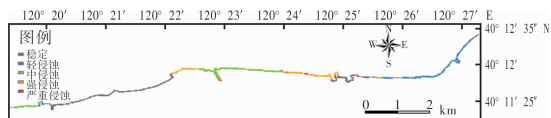
根据海平面上升引起的海岸侵蚀危险度评估方法, 结合重点岸段海平面上升高度的实测监测数据, 在 GIS 平台下, 分别得到不同海平面上升高度条件(低上升高度; 中上升高度; 高上升高度)下, 绥中岸段侵蚀灾害危险度空间分布结果(图 1)。

2.2 辽东湾绥中岸段在未来 2012 - 2100 年内不同时间段的岸线危险度评估

未来情景岸线危险度评估是指假定海平面变化速率在未来的 100 年内与 1980 - 2012 年之间的变化速率保持一致, 则根据现状的海平面上升高度监测数据, 估算出未来 2030 年、2050 年、2100 年绥中岸段的海平面上升高度, 结合基于海平面上升的岸线后退计算模型, 得到的未来年份岸线

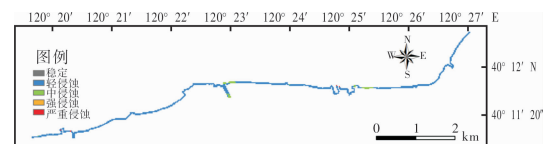


(a) 海平面上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

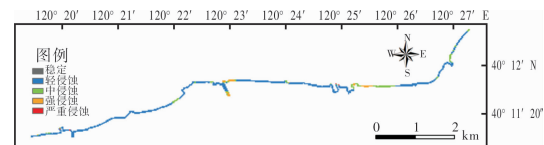


(b) 海平面高上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

图1 2009-2012年间基于海平面上升的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

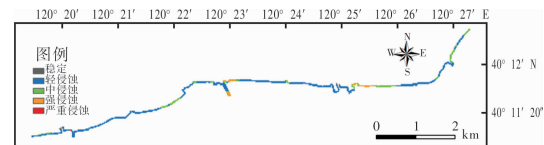


(a) 海平面上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

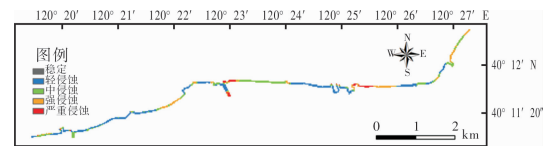


(b) 海平面高上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

图2 2012-2030年间基于海平面上升的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

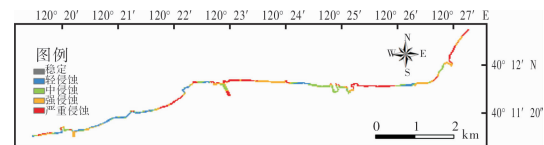


(a) 海平面上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

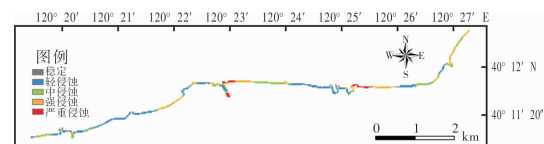


(b) 海平面高上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

图3 2012-2050年间基于海平面上升的缓中岸段侵蚀危险度评估结果



(a) 海平面上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果



(b) 海平面高上升高度的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

图4 2012-2100年间基于海平面上升的缓中岸段侵蚀危险度评估结果

后退(侵蚀)的空间分布信息结果。

根据海平面上升引起的海岸侵蚀危险度评估方法, 结合估算的缓中岸段海平面上升高度数据, 在 GIS 平台下, 分别得到不同海平面上升高度条件下(低上升高度; 中上升高度; 高上升高度), 缓中岸段侵蚀灾害危险度空间分布结果(图2、图3和图4)。

3 讨论

3.1 海平面上升条件下缓中海岸线蚀退距离、速率和权重

通过前期学者对基于不同历史时期图件的海岸进退研究结果显示缓中南江屯附近海岸近年来平均侵蚀速率约为 3.8 m/a, 根据本文研究结果显示自 2009-2012 年南江屯海岸侵蚀状态处于由中侵蚀转变成强侵蚀的变化趋势(表4), 表示南江屯海岸侵蚀变化较为明显且具有典型性, 则若以南江屯为例, 南江屯海岸自 2009-2012 年海岸平均蚀退 11.4 m。与此同时, 基于 Bruun 法则, 缓中岸滩的坡度和缓中岸段 2009-2012 年海平面平均上升高度, 南江屯岸段平均每年后退 0.8 m, 海岸水平后退 2.4 m(图5、图6)。

表4 2009-2012年缓中岸段侵蚀强度分布

侵蚀强度/ (m/a)	2009-2012年缓中海 平面上升高度	2009-2012年缓中海 平面高上升高度
	地点	地点
0 (稳定)	张见港一天龙寺、 南江屯一团山子村	张见港一天龙寺
0~0.5 (轻侵蚀)	天龙寺一大南铺村	南江屯一团山子村
0.5~1 (中侵蚀)	大南铺村—南江屯	天龙寺一大南铺村
1~2 (强侵蚀)	—	大南铺村—南江屯
≥2 (严重侵蚀)	—	—

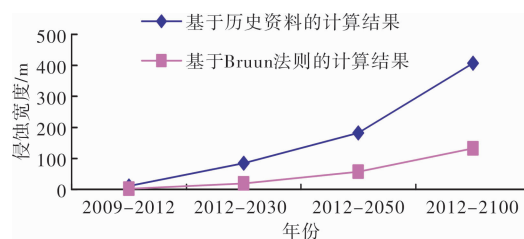


图5 不同计算方法估算的岸线侵蚀宽度-以南江屯为例

辽东湾西岸处于新华夏第三巨型隆起带, 平行分布的华夏系东北向断裂。新构造运动使海岸持久逐渐上升, 因此, 早更新世地层造成缺失, 露出地表的则是处于中更新世地层的坡洪积物,

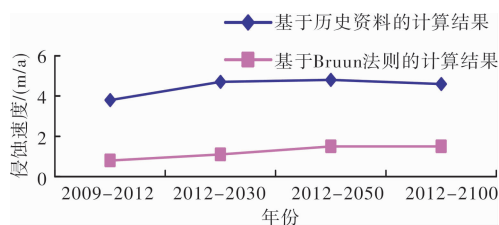


图6 不同计算方法估算的岸线侵蚀速率—以南江屯为例

全新世的砂砾石层覆盖其上。全新世地层分布广泛,主要为河谷平原或冲海积平原^[14],可见海平面上升对绥中海岸造成的潜在威胁。但是,在过去的几十年里,绥中岸段的海岸工程的开发造成的海滩环境破坏远远大于自然地因素,比如1980年以来,因绥中海岸建立海港、码头、电厂等工程,影响到海岸泥沙的运输,最后造成绥中岸段局部海岸侵蚀加剧。绥中岸段的南江屯附近重点侵蚀岸段平均侵蚀速率为3.8 m/a,其实它蕴含了自然因素(以海平面变化为主,不包含地面的沉降)与人类活动的因素,而且,就算绥中岸段在几十年来发生过强大的台风或风暴造成海滩严重侵蚀,在一段时间内是可以经过平常浪的条件和泥沙向岸搬运的作用恢复海岸侵蚀前的原来状态,然而海平面上升形成的海岸侵蚀效应则是不可以逆转的。因此,将海平面上升所计算的2.4 m与11.4 m进行比较,可见对于绥中岸段而言,海平面上升导致海岸侵蚀的影响权占21%(图7)。即人类活动致使绥中海岸侵蚀的影响大于海平面上升的作用。

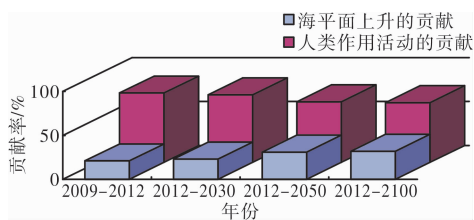


图7 海平面上升和人类作用活动因素在海岸侵蚀中的贡献率

黄鹄认为,在广西北海银滩砂质海岸侵蚀因素中,海面上升的贡献大小为2%^[46]。这种差别的形成与海岸发育的地质地貌背景有关。通过研究发现两者地区海平面上升速率大约相近并且符合近年来我国近代的沿海地区海平面上升平均值。广西银滩海滩剖面的平均坡度为0.01,绥中海滩剖面的实测坡度为0~0.004,造成海面上升引起绥中的海岸侵蚀速率比广西北海银滩砂质海岸的大得多,故海平面上升因素引起的海岸侵蚀贡献也要相对较大。若视绥中海滩剖面的平均坡度约为0.001,即为广西北海银滩海滩剖面的实测平均坡度的1/10,其结果与海平面上升因素在广西北

海银滩砂质海岸侵蚀和绥中海岸侵蚀中的权重比相等,表明利用Bruun法则计算辽东湾绥中海岸海平面上升因素引起的海岸侵蚀速率符合辽东湾绥中海岸侵蚀危险度评估的实用标准。

3.2 未来2012-2100年内不同时间段的平均岸线变化估算

利用历史资料和Bruun法则对比分析绥中岸段在2012年至2030、2050以及2100年岸线的变化趋势。

岸线变化趋势为:

$$P_t = P_1 + (H_1 - H_{s1} + H_{st}) \times t \quad (3)$$

海平面上升条件下岸线变化趋势为:

$$P_{st} = H_{st} \times t \quad (4)$$

式(3)、(4)中: P_t 为未来年份岸线的后退距离, P_1 为2012年岸线的后退距离, P_{st} 表示未来年份基于海平面上岸线后退的距离, H_1 是2009-2012年期间岸线的蚀退速率, H_{s1} 表示2009-2012年期间基于海平面上升的岸线后退速率, H_{st} 表示2012至未来某年的基于海平面上升的岸线后退速率。其中 P_t 、 P_1 和 H_1 蕴含了海平面上升和人类活动对海岸侵蚀的综合影响,假设在计算未来岸线平均变化距离时人类活动对海岸的影响程度保持不变,然而2009-2012年与2009至未来某年期间的海平面上升的值是变化的,故 $H_1 - H_{s1}$ 表示2009-2012年期间人类活动对绥中岸段蚀退的速率, $H_1 - H_{s1} + H_{st}$ 表示2012至未来某年海平面上升和人类活动共同作用下的岸线后退速率。由图5可知,到2100年海岸在基于人类活动和海平面上升条件下,绥中南江屯重点岸线后退距离将有可能达407 m,可见绥中岸段很可能会发生明显的退化。另外因为全球变暖,在海平面不断上升的趋势下,直至2100年海平面上升因素在岸线后退因素中占的权重与2012年相比会有所增加。因为Bruun法则的应用未对海洋动力的影响进行考虑,如果将这些因素包括在内,即使到2100年强烈的人类活动作用可能会得到减缓,然而绥中海岸仍然可能会退化。

海平面的上升变化是海岸后退的重要因素,具有明显的时间和空间的连续性,对海岸侵蚀具有深远的影响作用。减轻海平面上升对海岸侵蚀带来的灾害是人类长期的奋斗目标,为了这一目标,各学者不断深化对海岸侵蚀灾害的研究。早期的研究者主要将海岸侵蚀灾害与致灾因子例如与海平面上升条件相联系,探讨海平面上升条件下的海岸侵蚀发育特征与原因^[47-48],效应及对策等^[49-57]。本文将多种数学方法和计算机技术相结合,构建评估模型,进行基于海平面上升的绥中

海岸侵蚀评估及预测。其方法虽然简单,但却在一定程度上反映了缓中沿海岸段地区在海平面上升条件下的海岸侵蚀灾害危险度空间分布规律。此外,本文反映的危险度不仅是一种状态,更是对未来海平面上升导致的海岸侵蚀灾害危险度的预测,为基于海平面上升的海岸侵蚀危险度评估的研究提供了更为新颖的思路。

4 结语

海平面上升是全球气候变化和人类活动加剧的结果,直接影响沿海地区社会和经济的可持续发展。本文利用海平面上升的岸线后退计算模型将辽东湾重点海岸侵蚀研究区之一,即葫芦岛市缓中岸段侵蚀危险度分为稳定、轻侵蚀、中侵蚀、强侵蚀、严重侵蚀五种等级然后进行现状和未来100 a内的岸线危险度评估及预测。近几年来缓中岸段研究区局部地区,如南江屯地区附近,相比其他区域危险度差别较大,逐年的危险度变化较为明显,东部岸段由冲淤平衡的稳定状态逐渐转变成轻侵蚀状态,西部岸段主要处于海岸侵蚀稳定状态,通过对未来的结果显示海平面上升对辽东湾缓中岸段海岸侵蚀有逐年加剧的趋势,结果提醒了人们对基于未来海平面上升造成的海岸侵蚀影响必投入重点关注。本文只是缓中岸段海岸侵蚀危险度评估研究领域中的一个初步尝试,下一步将进行承灾体易损度空间分布信息的获取,结合承灾体易损度评估和基于海平面上升的海岸侵蚀危险度评估开展海岸侵蚀遥感与海岸侵蚀灾害风险评估工作,为缓中岸段制定海岸侵蚀风险管理模式提供有效的科学依据。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 李光天,符文侠. 我国海岸侵蚀及其危害[J]. 海洋环境科学, 1992, 11(1): 53-58.
- [3] 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): 468-476.
- [4] 王颖,吴小根. 海平面上升与海滩侵蚀[J]. 地理学报, 1995, 50(2): 118-127.
- [5] 季子修. 中国海岸侵蚀特点与侵蚀加剧原因分析[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 65-75.
- [6] 王文海,吴桑云,陈雪英. 海岸侵蚀灾害评估方法探讨[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(1): 71-77.
- [7] 庄振业,印萍,吴建政,等. 鲁南沙质海岸的侵蚀量及其影响因素[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(3): 15-21.
- [8] 张我华,蔡袁强,吴昌灿. 岸滩侵蚀的环境工程概念[J]. 安全与环境学报, 2002, 2(3): 8-12.
- [9] 张忍顺,陆丽云,王艳红. 江苏海岸侵蚀过程及其趋势[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 469-478.
- [10] 薛春汀. 太平洋岛屿珊瑚礁海岸的侵蚀标志[J]. 海洋通报, 2002, 21(4): 44-49.
- [11] 王爱军,高抒. 砾石海滩的沉积和形态动力特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(1): 113-118.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 王玉广,张宪文,贾凯,等. 辽东湾缓中海岸侵蚀研究[J]. 海岸工程, 2007, 26(1): 1-5.
- [15] 王玉广,李淑媛,苗丽娟. 辽东湾两侧砂质海岸侵蚀灾害与防治[J]. 海岸工程, 2005, 24(1): 9-18.
- [16] 张俊香. 新一代自然灾害风险区划原理与方法研究——以地震灾害为例[D]. 北京:北京师范大学,2005.
- [17] Davidson - Arnott R G D, Ollerhead J. Nearshore erosion on a cohesive shoreline [J]. Marine Geology, 1995, 122(4): 349-365.
- [18] 苗丰民,李淑媛,符文侠,等. 辽东湾东部砂岸的近期变化及演变趋势[J]. 海洋学报, 1996, 18(2): 74-84.
- [19] List J H, Sallenger Jr A H, Hansen M E, et al. Accelerated relative sea - level rise and rapid coastal erosion; testing a causal relationship for the Louisiana barrier islands [J]. Marine geology, 1997, 140(3): 347-365.
- [20] Andriani G F, Walsh N. Rocky coast geomorphology and erosional processes; a case study along the Murgia coastline South of Bari, Apulia-SE Italy[J]. Geomorphology, 2007, 87(3): 224-238.
- [21] Cui B L, Li X Y. Coastline change of the Yellow River estuary and its response to the sediment and runoff (1976 - 2005) [J]. Geomorphology, 2011, 127(1): 32-40.
- [22] Rahman A F, Dragoni D, El - Masri B. Response of the Sundarbans coastline to sea level rise and decreased sediment flow: A remote sensing assessment [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(12): 3121-3128.
- [23] 苗丰民,李光天,符文侠,等. 辽东湾东部砂岸严重蚀退及其原因分析[J]. 海洋环境科学, 1996, 15(1): 66-72.
- [24] Budetta P, Gaietta G, Santo A. A methodology for the study of the relation between coastal cliff erosion and the mechanical strength of soils and rock masses[J]. Engineering Geology, 2000, 56(3): 243-256.
- [25] 丰爱平,夏东兴,谷东起,等. 莱州湾南岸海岸侵蚀过程与原因研究[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(1): 83-90.
- [26] 温倩,方凤满,高健. 山东半岛海岸侵蚀成因及防治对策研究[J]. 国土与自然资源研究, 2006, (1): 52-53.
- [27] 张晓龙,李培英. 现代黄河三角洲的海岸侵蚀及其环境影响[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(5): 475-479.
- [28] Brunel C, Sabatier F. Potential influence of sea - level rise in controlling shoreline position on the French Mediterranean Coast[J]. Geomorphology, 2009, 107(1): 47-57.
- [29] 陈坚,谢在团. 未来海平面上升对厦门海滩侵蚀的测算[J]. 台湾海峡, 1998, 17(4): 391-395.
- [30] Leont'ev I O. Modeling erosion of sedimentary coasts in the west-

- ern Russian Arctic[J]. *Coastal Engineering*, 2003, 47(4): 413–429.
- [31] Brown I, Jude S, Koukoulas S, et al. Dynamic simulation and visualisation of coastal erosion[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2006, 30(6): 840–860.
- [32] Callaghan D P, Nielsen P, Short A, et al. Statistical simulation of wave climate and extreme beach erosion[J]. *Coastal Engineering*, 2008, 55(5): 375–390.
- [33] 韩晓庆, 高伟明, 褚玉娟. 河北省自然状态沙质海岸的侵蚀及预测[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2008, 28(3): 23–29.
- [34] Callaghan D P, Roshanka R. Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning[J]. *Coastal Engineering*, 2009, 56(1): 90–93.
- [35] Hapke C, Plant N. Predicting coastal cliff erosion using a Bayesian probabilistic model[J]. *Marine geology*, 2010, 278(1): 140–149.
- [36] Trenhaile A S. Modeling cohesive clay coast evolution and response to climate change[J]. *Marine Geology*, 2010, 277(1): 11–20.
- [37] Ranasinghe R, Callaghan D, Stive M J F. Estimating coastal recession due to sea level rise: beyond the Bruun rule[J]. *Climatic Change*, 2012, 110(3/4): 561–574.
- [38] Walkden M J A, Hall J W. A predictive mesoscale model of the erosion and profile development of soft rock shores[J]. *Coastal Engineering*, 2005, 52(6): 535–563.
- [39] Kane H H, Fletcher C H, Romine B M, et al. Vulnerability assessment of Hawai'i's cultural assets attributable to erosion using shoreline trend analysis techniques[J]. *Journal of Coastal Research*, 2012, 28(3): 533–539.
- [40] Xu L F, Wen S Y, Zhao D Z, et al. On the coastal erosion risk assessment indexes[J]. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 2013, 3(3): 146–155.
- [41] 于吉涛, 陈子繁. 砂质海岸侵蚀研究进展[J]. *热带地理*, 2009, 29(2): 112–118.
- [42] 季子修, 蒋自巽, 朱季文. 海平面上升对长江三角洲和苏北滨海平原海岸侵蚀的可能影响[J]. *地理学报*, 1993, 48(6): 516–526.
- [43] 施雅风, 朱季文, 谢志仁. 长江三角洲及毗连地区海平面上升影响预测与防治对策[J]. *中国科学 D 辑*, 2000, 30(3): 225–232.
- [44] 李从先, 王平, 范代读, 等. 布容法则及其在中国海岸上的应用[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(1): 87–91.
- [45] 王伟伟, 马红伟, 殷学博, 等. 辽宁省海岸的蚀淤等级与分布[J]. *海洋科学*, 2010, 34(8): 65–68.
- [46] 黄鹄, 戴志军, 盛凯, 等. 广西北海银滩侵蚀及其与海平面上升的关系[J]. *台湾海峡*, 2011, 30(2): 275–279.
- [47] 王广禄, 蔡 锋. 泉州市砂质海岸侵蚀特征及原因分析[J]. *台湾海峡*, 2008, 27(4): 547–554.
- [48] 杨继超, 李广雪. 山东威海滨海沙滩侵蚀现状和原因分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(12): 97–106.
- [49] 李加林, 王艳红, 张忍顺, 等. 海平面上升的灾害效应研究——以江苏沿海低地为例[J]. *地理科学*, 2006, 26(1): 87–93.
- [50] 张燕. 海平面上升对福建的影响及对策[J]. *宝鸡文理学院学报*, 2012, 26(2): 1–6.
- [51] 何霄嘉, 张九天, 仇天宇, 等. 海平面上升对我国沿海地区的影响及其适应对策[J]. *海洋预报*, 2012, 29(6): 84–91.
- [52] 季子修, 蒋自巽, 朱季文, 等. 海平面上升对长江三角洲和苏北滨海平原海岸侵蚀的可能影响[J]. *地理学报*, 1993, 48(6): 516–526.
- [53] 任美镔. 海平面上升与地面沉降对黄河三角洲影响初步研究[J]. *地理科学*, 1990, 10(1): 48–96.
- [54] 王宗涛, 蒋国俊, 邱建立. 海平面上升对浙江滨海地区(包括港口及航道)的可能影响[J]. *海洋通报*, 1995, 14(3): 51–57.
- [55] 庄振业, 林振宏, 刘志杰, 等. 海平面变化及其海岸响应[J]. *海洋地质动态*, 2003, 19(7): 1–12.
- [56] 李加林, 张殿发, 杨晓平, 等. 海平面上升的灾害效应及其研究现状[J]. *灾害学*, 2005, 20(2): 49–53.
- [57] 杨桂山, 施雅风. 中国沿岸海平面上升及影响研究的现状与问题[J]. *地理科学进展*, 1995, 10(5): 475–482.

Suizhong Coastal Erosion Risk Assessment Based on Sea Level Rise

Bao Chunxia^{1, 2}, Wen Shiyong², Xu Lifan³, Wu Tong^{1, 2}, Zhao Dongzhi²,
Huang Fengrong¹ and Xu Xuegong³

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;
2. National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116023, China; 3. College of Urban and Environmental
Sciences & Laboratory for Earth Surface Process of Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Coastal erosion in Suizhong brings serious harm to the local people's production and life. Facing high risk of coast erosion, study on coastal erosion risk assessment in Suizhong causes highly concern. Sea-level rise is considered to be an important factor of coastal erosion hazard degree in China. Bruun rule is used to evaluate and predict the coastal erosion of Suizhong in Liaodong Bay. According to height data of the rise of sea level, combining with the Shoreline retreat model, spatial distribution results of coastal erosion of Suizhong coast presently and within 100 years are got. The results showed that the shoreline erosion of Suizhong coast during 2009–2012 caused by sea level rise contribution is of approximately 21% weight. However, in the next 100 years, the width of coastal erosion based on the sea level rise may exceed 176m, shoreline erosion caused by sea level rise increased to 32% weight, and most regions apparently showed strong erosion and serious erosion. Therefore, the coastal environmental degradation based on sea level rise in future of Suizhong is significant.

Key words: sea level rise; coastal erosion; spatial distribution of risk degree; Suizhong