

文章编号:1004-8227(2010)Z1-0196-05

长江三角洲海岸侵蚀脆弱性模糊综合评价

刘曦, 沈芳*

(华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要:近年来,随着海平面上升以及入海泥沙减少等原因,长江三角洲地区面临海岸侵蚀威胁。建立了基于模糊方法的海岸侵蚀脆弱性评价模型,选取了海平面上升速率、地面下沉速率、平均高潮位、近海海水含沙量、潮滩坡度、潮滩宽度和海岸线变化等7个评价因子,对长三角8个具有代表性的海岸线岸段进行海岸侵蚀脆弱性(CVI)评价,并绘制评价结果图。结果表明长三角海岸侵蚀脆弱性分布有明显的区域差异,海岸侵蚀脆弱性评价结果与海岸侵蚀现状具有较大的相关性,说明选取的评价体系和基于模糊方法的CVI评价模型在长三角地区具有较好的适应性。最后根据评价结果预测,长三角海岸有向高脆弱性发展的趋势,在今后几十年内淤涨趋势将减缓,一些原本是高脆弱性的岸段的海岸侵蚀将加剧。

关键词:长江三角洲; 海岸侵蚀; 脆弱性; 模糊综合评价

文献标识码: A

最早的海岸脆弱性评价是由 Gornitz 在 20 世纪 80 年代末期提出,根据 Gornitz^[1]等人的定义,海岸脆弱性系指海岸带对全球变化、海平面上升及所带来的种种可能的不利影响的承受能力,海岸脆弱性的涵盖范围非常广泛,可指生态的脆弱性、环境的脆弱性和侵蚀的脆弱性,本文的主要研究内容是海岸侵蚀脆弱性。

长江三角洲海岸历史上长期处于淤积状态,海岸侵蚀的影响并未引起人们的强烈关注。近年来,由于海平面上升和径流泥沙减少等原因,长江三角洲海岸侵蚀明显加剧。长江三角洲是我国重要的经济圈,其沿岸是高强度开发的重要地带,拥有众多大型工程和设施。海岸侵蚀直接导致土地资源损失、工程毁坏、海堤安全性降低甚至失效、风暴潮威胁加剧^[2],这将制约长三角的社会经济持续发展,因此有必要对长江三角洲海岸侵蚀脆弱性进行评价,建立合理的区域规划,提出应对措施,减少海岸侵蚀的灾害损失。

从定义来看,海岸侵蚀脆弱性是一个定性的概念,而传统的海岸脆弱性研究方法给出的是一个定量的数值,其研究过程重点在于评价指标的量化和

数据库建立。对于长三角海岸侵蚀脆弱性而言,由于涉及的影响因子很多,统计数据并不是非常完整,基于统计方法量化的评价准则不能非常准确地反映脆弱性等级,如果基于传统的评价模型,计算结果可能会出现较大偏差。模糊数学方法是将绝对的分级界限模糊化,用隶属度函数替代绝对的是非评判标准^[3],基于模糊数学的模糊综合评价降低了评价的绝对性,提高了评价的客观可信度。

1 研究区域及海岸侵蚀现状

根据我国水系流域的划分,长江三角洲区域包括上海市岸线、江苏省境内的长江口北部岸线和浙江省北部杭州湾岸线,北起江苏吕四,南抵钱塘江北岸。该地区位于我国东海的西岸,海岸类型大多为淤泥质平原海岸,发育有广阔而典型的潮滩,部分潮滩分布着丰富的海岸湿地。长江每年入海径流量达 9 000 亿 m³,每年入海泥沙量约为 3 亿 t。本区沿岸潮汐多为正规和不正规半日潮,潮差大多超过 2 m,长江口两翼是中国沿岸潮流作用最强的海域,潮汐是本区最为重要的海岸动力因子。

收稿日期:2010-01-04;修回日期:2010-03-14

基金项目:海洋公益性科研专项(200705020;200805063);河口海岸学国家重点实验室科研业务课题(2008KYYW04)

作者简介:刘曦(1985~),男,湖南省新化人,硕士研究生,主要从事海岸带环境遥感与地理信息系统方面研究。

E-mail:liuxifred@yahoo.com.cn

* 通讯作者 E-mail:fshen@sklec.ecnu.edu.cn

长三角现有 30% 的岸段为侵蚀海岸^[4],长江口以北的吕四海岸和以南的南汇嘴南侧海岸及杭州湾北侧海岸多为侵蚀岸段。其中杭州湾北岸的芦潮港长约 25 km 的岸段近 30 a 来以大约 40 m/a 的速率在后退。

2 长江三角洲海岸侵蚀脆弱性评价体系

Gornitz 等人于 20 世纪 80 年代末提出的海岸脆弱性指数 (Coastal Vulnerability Index) 和风险等级 (Risk Class) 的概念,已应用于美国太平洋和大西洋海岸的评估中^[1]。Bryan 等提出分布式过程模型,选取高程、方位、地貌和坡度 4 个自然环境参数,评估海平面上升海岸脆弱性^[5]。Sánchez-Arcilla 等结合淤长、沉积、土壤构成、海岸边缘区响应等方法,提出三角洲综合行为概念模型,进行三角洲海岸脆弱性评估^[6]。海岸侵蚀脆弱性评价有定量、客观、综合的优点,对系统研究长三角地区海岸侵蚀灾害,提供了最新的信息与借鉴。

2.1 海岸侵蚀脆弱性评价因子

在长江三角洲地区,由于海平面的上升趋势加剧,海平面上升在海岸侵蚀的影响因子中所占比重加大。此外,长江三角洲及其临近地区处于地壳运动缓慢沉降区。该地区又由于过量抽取地下水而造成的严重局部地面沉降区,且有加速发展的趋势。严重的地面沉降使得长三角地区相对海平面上升实际上远远超出由于全球气候变暖而引起的全球性海平面上升速率^[7]。

长江三角洲大都分布为淤泥质潮滩海岸,其侵蚀与堆积过程是潮流、波浪等海水动力和河流、沿岸流的供水供沙等自然因素相互作用的结果^[8]。长三角地区波浪作用较弱,海岸动力以潮流动力为主,且潮流动力直接影响着夹沙量和蚀积过程。

长三角地区的海岸地貌和海岸线变化则反映了海岸稳定性,稳定淤长的潮滩剖面形态凸形坡,坡度小,潮滩因岸线不断向海推进而形成宽广的滩面;侵蚀剖面为凹形坡,坡度较大,潮滩因岸线不断后退以及海堤对其向陆扩展的限制而变窄。

因此,选择海平面上升(海平面上升速率)、地面沉降(地面沉降速率)、潮汐动力(平均高潮位)、泥沙浓度(近海海水含沙量)、海岸线变化(平均海岸线位移速率)、潮滩宽度和潮滩坡度等 7 个因子作为长江三角洲海岸侵蚀脆弱性评价因子,建立长江三角洲海岸侵蚀脆弱性评价因子体系。

2.2 数据来源

海平面上升速率和地面沉降速率主要参考前人的研究成果^[7~9]。同时收集了近 20 a 来 6 个不同时期(1990,1993,1997,2000,2004,2008 年)的长江三角洲海图数据和 TM 遥感影像数据,对海图数据进行数字化处理,解译遥感影像(主要进行海岸线提取和植被提取),并将二者进行数据融合,得到多幅不同时期的长三角海岸潮滩和湿地分布图。在 ArcGIS 软件中,根据不同时期的海岸线位置计算海岸线变化速率,同时对最近年份的地形图进行量测,获得多个海岸段的潮滩宽度和坡度数据。

根据历年潮汐表资料,收集了近 20 a 来的长江口和杭州湾的吕四、天生港、余山、崇明(南堡镇)、中浚、高桥、吴淞、黄浦公园、绿华山、大戢山、嵎山、乍浦、澉浦等 13 潮位站的多年平均高潮位数据,并对整个长三角海域地区进行空间插值。

长三角近海水域的含沙量数据来自于前人的研究成果^[10]和卫星遥感影像的反演数据^[11],统计了多个站点的平均含沙量,并对整个长三角海域地区进行空间插值。

2.3 海岸侵蚀脆弱性评价准则

对长江三角洲海岸侵蚀脆弱性进行 3 级评定:(1)高脆弱性;(2)中度脆弱性;(3)低脆弱性。相应地,各评价因子评价准则需进行量化,即根据评价因子的统计数据进行分类。基于统计数据,ArcGIS 软件中提供的几种常见分类方法:等间隔法(Equal Interval,ED)、分位数法(Quintile,QT)和自然断点法(Natural Breaks,NB)。本研究采用自然断点分级方法,自然断点法方法是基于统计数据内部的内在联系进行自然分组,旨在最大化组间差距并最优化组内相似值。自然断点法的计算过程如下:

(1)对统计的样本数据进行排序,并计算整个样本的平方差和(SSD)。(2)进行第一次分类:给定随机的阈值,将排序后的样本数据分成 3 类(高脆弱性、中度脆弱性和低脆弱性)。计算每个类别的内部平方差和(SSD1,SSD2,SSD3)。计算该分类方法的优度值 $GVI = SSD - (SSD1 + SSD2 + SSD3)$ 。(3)计算其他所有分类方法的优度值 GVI_i 。找出最大的 GVI ,其对应的分类方法即为自然断点法的分类结果。

根据自然断点法计算所有评价因子的评价准则,建立如表 1 所示海岸侵蚀脆弱性综合评价准则。

2.4 长江三角洲海岸侵蚀脆弱性评价模型

对 Gornitz 的海岸脆弱性指数的计算公式进行

适当改良^[1],本项研究建立以下模型(式 1)对长江三角洲海岸进行侵蚀脆弱性评价。

表 1 长三角海岸侵蚀脆弱性综合评价准则表
Tab. 1 Criteria of the Yangtze River Delta Coastal Vulnerability Assessment

海岸侵蚀脆弱性评价因子	低脆弱性	中度脆弱性	高脆弱性
平均高潮位(cm)	≤370	370~400	≥400
近海海水含沙量(g/L)	≥0.7	0.4~0.7	≤0.4
海平面上升速率(mm/a)	≤6	6~9	≥9
地面沉降速率(mm/a)	≤2	2~5	≥5
平均海岸线位移速率(cm/a)	≥10	0~10	≤0
潮滩坡度(tan)	≤0.061	0.061~0.125	≥0.125
潮滩宽度(km)	≥9.7	4~9.7	≤4

$$CVI = 4X_1 + 4X_2 + 2(X_3 + X_4) + X_5 + 2(X_6 + X_7) \quad (1)$$

其中: X_1 为平均高潮位; X_2 为近海海水含沙量;

X_3 为海平面上升速率; X_4 为地面沉降速率; X_5 为平均海岸线位移速率; X_6 为潮滩坡度; X_7 为潮滩宽度。

3 长江三角洲海岸侵蚀脆弱性模糊综合评价

3.1 评价对象

选取了长三角 8 个具有代表性的海岸线岸段作为评价对象,各岸线分段以自然河口或流域分界为界线(比如南汇嘴是长江口与杭州湾的分界,在本文中,同样将南汇嘴作为岸线分段的界限),分别代表了长江三角洲地区海岸线的各种自然状态,通过插值方法获得了各岸段 7 个评价因子平均量化数据(部分数据如表 2 所示),量化数据的获取时间为 2008 年。

表 2 长三角海岸多个岸段海岸侵蚀脆弱性评价因子量化数据

Tab. 2 Values of Variables of the Yangtze River Delta Coastal Segments

区域	海平面上升速率(mm/a)	地面沉降速率(mm/a)	平均高潮位(cm)	近海海水含沙量(g/L)	潮滩坡度(tan)	潮滩宽度(km)	平均海岸线位移速率(cm/a)
吕泗-塘芦港	8.60	4.10	377.00	0.38	0.13	4.00	-4.30
塘芦港-连兴港	8.60	4.10	372.40	0.42	0.06	8.20	0.80
连兴港-启东	8.60	4.10	367.80	0.46	0.04	12.30	0.45
崇明东滩	9.50	5.00	363.20	0.72	0.03	15.20	12.40
大治河口-南汇嘴	9.50	5.00	358.60	0.50	0.05	9.70	13.50
南汇嘴-金汇港	9.50	5.00	354.00	0.55	0.31	1.62	1.50
金汇港-漕泾	9.50	5.00	387.00	0.57	0.34	1.45	-2.40
漕泾-乍浦	5.60	1.10	451.00	0.73	0.24	2.10	0.00

3.2 多因子模糊评价矩阵

利用模糊数学综合评价长江三角洲海岸侵蚀脆弱性,首先要根据给出的评判标准及评价因子的数值,结合模糊隶属度函数,进行多因子评价,建立多因子模糊矩阵。其中模糊隶属度函数选取降半阶梯形分布函数^[12]。

根据模糊隶属度函数计算多因子模糊矩阵 A (式 2),结合专家知识对模糊矩阵进行修正和调整。

$$A = (a_{ij})_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: n 为评价因子的个数; m 为评价结果的等级数。

3.3 模型计算与评价结果

将评价模型(式 1)中的系数做归一化处理,得到评价权重向量: $W = (\omega_i)_{1 \times n} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$,通过多因子模糊矩阵 A 和系数向量 W 的模糊合成得到

评语集 B, $B = WOA = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, 其中

$$\sum_{i=1}^n \omega_i a_{ij}, j=1, 2, \dots, m, \omega_j \text{ 表示评价对象对第 } j \text{ 条}$$

评语的隶属度。最后依据最大隶属原则,选择最大的隶属度所对应的第 i 个评价等级作为综合评价的结果。假设 $\text{Max}[B] = b_i$, 则判定评价对象属于第 i 等级。评价等级如表 3 和图 1 所示。

表 3 长三角海岸侵蚀脆弱性模糊综合评价结果

Tab. 3 Result of the Yangtze River Delta Coastal Vulnerability Fuzzy Comprehensive Assessment

海岸线区域	模糊隶属度			脆弱性等级
	高脆弱性	中度脆弱性	低脆弱性	
吕泗-塘芦港	0.497	0.360	0.143	高
塘芦港-连兴港	0.313	0.414	0.273	中
连兴港-启东	0.310	0.318	0.373	低
崇明东滩	0.200	0.009	0.791	低
大治河口-南汇嘴	0.386	0.094	0.519	低
南汇嘴-金汇港	0.587	0.213	0.200	高
金汇港-漕泾	0.638	0.286	0.077	高
漕泾-乍浦	0.520	0.080	0.400	高

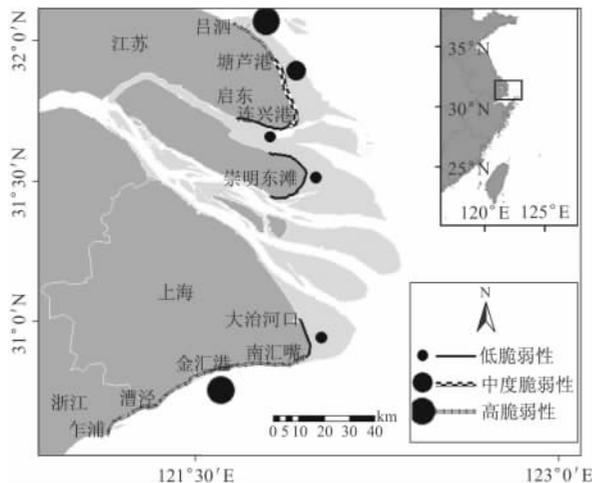


图 1 2008 年长三角海岸侵蚀脆弱性等级分布图

Fig. 1 Distribution of the Yangtze River Delta Coastal Vulnerability in 2008

评价结果显示,长三角地区海岸侵蚀脆弱性分布与海岸侵蚀现状具有高度的相关性,表明选取的评价体系及基于模糊方法的 CVI 评价模型在长三角地区具有较好的适应性,能客观反映海岸侵蚀脆弱性程度。

具体来说,吕泗-塘芦港岸段主要是由于近海水域含沙量较低,泥沙的淤积率小于侵蚀率,造成了海岸线的后退和潮滩面积减小,宽带变窄。而杭州湾北岸的南汇嘴以西岸段主要是由于潮汐动力作用的增强造成海岸的侵蚀,提高了侵蚀脆弱性,而动力条件的这种变化往往是与海平面上升相联系的。由于该岸段多分布有人工修筑的海岸维护工程,海岸侵蚀的表现由岸线后退变为岸滩下蚀,潮滩坡度变陡。

崇明东滩、南汇边滩以及长江口北岸的连兴港-启东岸段表现出稳定的低脆弱性,这些岸段均分布有较宽阔的潮滩,且均处于长江口泥沙含量较大的浑浊带区域,海岸动力的影响受到潮滩的消抵作用而影响力减小,同时泥沙补给较为充足,岸线表现为淤积状态。

长江三角洲面临着海平面上升加剧以及流域来沙减少的威胁^[13],海岸有向高脆弱性发展的趋势,在今后几十年内淤涨趋势将减缓,而侵蚀将加剧,一些原本是高脆弱性的岸段的海岸侵蚀将加剧,而崇明东滩和南汇边滩这样的低脆弱性岸段,即使今后仍为强淤涨性质,其淤涨速率也会减小。

4 结论与展望

应用海岸侵蚀脆弱性评价模型和模糊数学方法

划分长江三角洲海岸侵蚀脆弱性等级,为海岸环境变化引起的海岸侵蚀灾害风险评估提供了一种量化方法,基于模糊数学的模糊综合评价降低了评价的绝对性,提高了评价的客观可信度。评价结果表明:在多个影响因子的共同作用下,长三角海岸侵蚀脆弱性分布有明显的地区差异。由于海平面的上升趋势加剧和流域来沙减少等因素,长江三角洲海岸淤涨趋势将减缓,而侵蚀将加剧,表现为高脆弱性发展趋势。

研究也存在两方面的局限性,一方面由于长三角的海洋动力因子和海岸环境变量数据较少,部分数据是由数学插值方法得到的,可能与实际值存在较大的差异,当得到更多的评价数据,海岸侵蚀脆弱性研究结果将更加准确,因而未来的海岸侵蚀脆弱性研究的关键是建立包含众多信息的海岸数据库。另一方面海岸带对未来海岸上升的风险除了受到自然体系影响外,还与人类活动有关,人类的计划适应往往使自然性较大的海岸带面对较小的风险,而人类对海岸带的不合理开发则会出现相反的结果。本文的研究主要是海岸的自然脆弱性,只是海岸侵蚀脆弱性研究的起点,要对海岸带进行科学的管理,必须在研究海岸自然脆弱性的基础上继续研究海岸带的社会经济脆弱性,进而得到海岸带的综合脆弱性。

参考文献:

- [1] GRONITZ V. Vulnerability of the East Coast, U. S. A. to future sea level rises[J]. Journal of Coastal Research, 1990, 12: 327~38.
- [2] 孙 清,张玉淑.海平面上升对长江三角洲地区的影响评价研究[J].长江流域资源与环境,1997,6(1):59~65.
- [3] 李国勇.智能控制及其 MATLAB 实现[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [4] 时连强,夏小明.我国淤泥质海岸侵蚀研究现状与展望[J].海洋学研究,2008,26(4):72~78.
- [5] BRYAN B, HARVEY N, BELPERIO T, et al. Distributed process modeling for regional assessment of coastal vulnerability to sea level rise[J]. Environmental Modeling and Assessment, 2001, 6: 57~65.
- [6] SANCHEZ-ARCILLA A, JIMENEZ J A, STIVE M J F, et al. Impacts of sea-level rise on the Ebro Delta: A first approach [J]. Ocean & Coastal Management, 1996, 30(2/3): 197~216.
- [7] 刘杜娟,叶银灿.长江三角洲地区的相对海平面上升与地面沉降[J].地质灾害与环境保护,2005,16(4):400~404.
- [8] 李恒鹏,杨桂山.长江三角洲与苏北海岸动态类型划分及侵蚀危险度研究[J].自然灾害学报,2001,10(4):20~25.
- [9] 施雅风,朱季文,谢志仁,等.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): 225~234.
- [10] 孔亚珍, 丁平兴, 贺松林, 等. 长江口外及其邻近海域含沙量时空变化特征分析[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 446~454.
- [11] 刘小丽, 沈芳, 朱伟健, 等. MERIS 卫星数据定量反演长江河口的悬沙浓度[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(11): 1 031~1 036.
- [12] 沈陈华. 基于模糊综合评价法的城市土地集约利用评价研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2008.
- [13] 陈吉余, 陈沈良. 中国河口海岸面临的挑战[J]. 海洋地质动态, 2008, 18(1): 1~10.

FUZZY COMPREHENSIVE ASSESSMENT ON THE YANGTZE RIVER DELTA COASTAL EROSION VULNERABILITY

LIU Xi, SHEN Fang

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: In recent years, with sea levels rising and sediment reducing, the Yangtze River Delta region is facing the threat of coastal erosion. This paper applied fuzzy comprehensive assessment method to evaluate the coastal erosion in the Yangtze River Delta. The assessment factors were sea-level rise rate, ground subsidence rate, average high tides, offshore sea water sediment, tidal slope, tidal width and coastal line change rate. 8 coastal segments in the Yangtze River Delta were selected as the object of study. It applied Fuzzy method and CVI model into studying the Yangtze River Delta Coastal Erosion vulnerability, combined with GIS and then depicted the coastal vulnerability map. The results showed that the Yangtze River Delta coastal vulnerability profiles revealed clear regional differences. And the CVI result had great relevance to the Coastal erosion status in the Yangtze River Delta. It indicated that fuzzy comprehensive assessment of coastal vulnerability was an effective way to study the Yangtze River Delta coastal erosion risk. Finally, it predicted that the Yangtze River Delta coast had a trend to the high vulnerability in the next several years according to evaluation results. And the trend of silt up will be slower, while the erosion will be intensifier, and high vulnerability coastal sections will increase.

Key words: the Yangtze River Delta; coastal erosion; vulnerability; fuzzy comprehensive assessment