

李响, 段晓峰, 张增健, 等. 中国沿海地区海平面上升脆弱性区划[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 103-109. [LI Xiang, DU-AN Xiaofeng, ZHANG zengjian, et al. The Vulnerability Zoning Research on the Sea Level Rise of Chinese Coastal[J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(4): 103-109. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.018.]

中国沿海地区海平面上升脆弱性区划*

李响, 段晓峰, 张增健, 王慧, 刘克修

(国家海洋信息中心, 天津 300171)

摘要:以沿海县级行政单元为评估单元, 分别从海岸带自然环境和沿海社会经济两个方面, 评估中国沿海各地区海平面上升背景下的海岸带脆弱程度, 综合区划我国沿海海平面上升的脆弱性。结果表明, 海平面上升对我国沿海城市群密集的地带影响甚大, 尤其是环渤海沿岸、珠江三角洲和长江三角洲等三个区域是典型的海平面上升影响的脆弱区, 沿海地区的发展应充分考虑海平面上升的影响。

关键词:海平面上升; 脆弱性; 脆弱区; 区划; 沿海地区; 中国

中图分类号: P72; X43; X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)04-0103-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.018

脆弱性一词被提出后主要应用于灾害学研究, 气候变化的脆弱性则是指地球物理系统、生物系统和社会经济系统对气候变化的敏感程度, 其决定要素一般包括敏感性、暴露性和适应能力^[1]。自1980年代末, “脆弱性”开始应用于海平面上升的影响之中。政府间气候变化专业委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)于1992年首先提出全球第一个包含低度、中度、高度和极端脆弱四个等级的脆弱性评估框架^[2]。Klein和Nicholls^[3]综合考虑了海岸系统的特征, 包括自然特征和社会系统感知力、恢复力或抗力、系统的自适应和规划适应能力及其相互关系, 相应提出了三个逐级复杂的海岸脆弱性评估层次。此外, 也有学者将“压力-状态-响应”评价模型及“源-途径-受体-影响”评价模型作为分析框架, 用以评估气候变化所导致的海平面上升对海岸带社会经济和生态的影响^[4]。

我国沿海地区集中了全国约70%以上的大中城市 and 50%的人口, 创造了全国60%以上的GDP。全球气候变暖引起海平面上升及其多尺度、多层次的影响将严重制约沿海经济社会的可持续发展, 它将不同程度地影响到沿海发展的方方面面, 如经济、社会、环境、资源等均暴露在海平面上升带来的风险之中, 这将直接导致沿海发展因耐抗性、稳健性不足而变得更加脆弱^[5]。本文以沿海县级行政单元(沿海县、县级市和市辖区)为评估

单元, 分别从海岸带自然环境脆弱性和沿海社会经济脆弱性两个方面, 评估中国沿海各地区海平面上升背景下的海岸带脆弱程度, 综合区划我国沿海海平面上升的脆弱性。

1 中国沿海的海平面上升

国际政府间气候变化专业委员会(IPCC)发布的第五次气候变化评估报告指出: 19世纪中叶以来, 全球海平面上升速率高于过去2000年的平均速率, 1901-2010年, 全球平均海平面上升了0.19 m。1901-2010年, 全球平均海平面上升速率为1.7 mm/年; 1971-2010年, 上升速率为2.0 mm/年; 1993-2010年, 上升速率为3.2 mm/年^[6]。

在气候变暖背景下, 中国沿海地区海平面也呈明显上升趋势。根据中国沿海海平面监测数据显示, 1980-2015年, 中国沿海海平面平均上升速率为3.0 mm/年, 高于全球平均水平。受局地因素的影响, 中国沿海各地区的平均海平面上升速率有明显的区域性差异。图1为利用中国沿海107个海平面监测站分析得出的沿海各岸段1980-2015年平均海平面上升速率分布情况, 其中, 上升最为明显的岸段由北到南分别是黄河三角洲、

* 收稿日期: 2016-04-14 修回日期: 2016-05-20

基金项目: 国家社科基金重大项目(15ZDB170); 海洋公益性行业科研专项(201505018-2); 国家科技支撑计划(2012BAC21B0101); 全球变化与海气相互作用专项(GASI-03-01-01-09)

第一作者简介: 李响(1980-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 高级工程师, 主要从事气候变化与海平面上升研究。

E-mail: lxkx718@163.com



图1 中国沿海平均海平面上升速率分布(1980-2015年)

莱州湾、长江三角洲、珠江三角洲和海南东部沿海, 平均上升速率超过 4 mm/年。

2 脆弱性评估方法和指标体系

海岸脆弱性评估方法可分为综合评估方法和单一影响评估方法。综合评估是指对海平面上升海岸脆弱性的各方面进行全面评估并得出定量或非量化的结果。主要评估方法有多判据决策分析法、指数法、决策矩阵法、分布式过程模型法、三角洲综合行为概念模型法、数值模型法、模糊决策分析法等。自 Gorntiz 提出海岸脆弱性指数 (Coastal Vulnerability Index) 和风险等级 (Risk Class) 的概念后^[7], 指数法被广泛应用于太平洋和大西洋脆弱性评估中, 引发了学界对研究方法的创新, 促进评价方法逐渐由单一影响评估法扩展到综合评估法^[8-12]。Bryan 等^[13]提出分布式过程模型, 选取高程、方位、地貌和坡度四个自然环境参数, 评估海平面上升海岸脆弱性。Frithy 等^[14]提出海岸脆弱性评估判别标准应包括地形垂变、相对海平面上升、土地类型、泻湖沙坝宽度、滩面坡度、被抬高的要素(如沙坝)、岸线侵蚀与淤积、岸线保护工程等。任美镠^[15]参照地面沉降率、风暴潮频率和强度、海岸侵蚀及海岸防护工程状况, 首次对我国主要的大河三角洲进行了海平面上升影响评估。施雅风等^[16]选取相对海平面上升量、地面高程、沿海平均潮差、潮滩淤积速率、潮滩损失率、海堤增加高度、人口密度、产值密度 8 个评价因子, 划分 5 个等级, 通过计算海平面上升影响指数, 进行海平面上升影响脆弱性分区划分。

本文针对我国沿海地区的典型特征和资料获取的难易程度, 构建了海平面上升脆弱性评估的

指标体系(表 1), 分别从海岸带自然环境脆弱性和沿海社会经济脆弱性两个方面进行评估。自然环境脆弱性主要评估海平面上升背景下对沿海地区造成潜在危险的自然因素, 评估海平面变化、潮汐特征、地面高程状况和海岸状况四个方面; 社会经济脆弱性评估主要分析沿海地区人口和经济受海平面上升影响的脆弱程度, 考虑到海平面上升及其引发的次生灾害会对社会经济产生一定的影响, 主要从人口、经济两个方面分别进行评估。结合指标确定的目的性、可比性和可操作性, 分别按照海平面变化、潮汐特征、地面高程状况、海岸状况、人口、经济等脆弱性指标, 选取相应的指标参数描述海平面上升脆弱性。

表 1 海平面上升脆弱性评估指标体系

因子层	指标层	指标参数
自然环境	海平面变化状况	海平面上升速率
	潮汐特征	平均潮差
	地面高程状况	高程低于 5m 的沿海地区面积占比
	海岸状况	海岸线类型和稳定性
社会经济	人口状况	居民总数
	经济状况	GDP

指标分析和说明:

(1)海平面变化状况。选取海平面上升速率来表征评估区相对海平面变化状况, 海平面上升的速率越大, 则可能导致的自然环境脆弱性越高。根据沿海地区海平面监测站观测数据可计算得到的相对海平面上升速率。

(2)潮汐特征。潮汐特征较强的地区其受海平面上升影响较大, 选用平均潮差表征评估区的潮汐特征, 平均潮差越大, 脆弱性越高。根据沿海地区验潮站观测数据计算得到的潮差平均值, 对于规则(不规则)半日潮地区计算大小潮的平均潮差, 对于规则(不规则)日潮地区计算大潮的平均潮差。

(3)地面高程状况。地面高程较低的沿海地区极易受到海平面上升的直接影响, 选用高程低于 5m 的沿海地区面积占比来表征沿海地面高程状况。基于数字地面高程数据, 计算得到的评估单元内地面高程低于 5 m 且与海相连地区的面积占评估单元总面积的比例。

(4)海岸状况。由于不同岸段的海岸线类型和稳定性不同, 使其在面对海平面上升的情况下敏感性和适应能力不同。海岸线类型可分为基岩海岸、平原海岸、生物海岸、人工海岸等, 海岸稳定性分为淤涨、稳定、侵蚀三类。侵蚀性的海岸更易受到海平面上升的直接影响。根据各评估单元的海岸线类型和稳定性对各评估单元进行数量化, 量化基准如表 2 所示。

表2 海岸线类型和稳定性量化基准及量化值

量化基准	量化值
侵蚀性的平原海岸	5
侵蚀性的基岩海岸	4
生物海岸	3
人工海岸、稳定的基岩海岸和平原海岸	2
淤涨的基岩海岸和平原海岸	1

(5)人口状况。人口较为密集的地区可能遭受的海平面上升影响越大,在海平面上升背景下其脆弱性越高。选用评估单元的居民总数表征人口的脆弱性。

(6)经济状况。经济发展程度高的地区可能遭受潜在损失越大,海平面上升背景下的脆弱性越高。选用评估单元的地区生产总值(GDP)表征经济的脆弱性。

根据各项指标的特征和影响程度,通过专家打分和层次分析法计算各评估指标的权重系数(表3)。

表3 海平面上升脆弱性评估指标权重

评估因子	权重系数	评估指标	权重系数
自然环境	0.7	海平面上升速率/(mm/年)	0.32
		平均潮差/cm	0.11
		高程低于5 m的沿海地区面积占比/%	0.29
		海岸线类型和稳定性	0.28
社会经济	0.3	居民总数/万人	0.50
		GDP/亿元	0.50

3 中国沿海地区脆弱性评估

根据中国沿海县、沿海县级市和沿海市辖区行政单元现状划分评估单元,中国沿海一共被划分为216个评估单元。这样划分的优点在于适应当前我国以行政区为单位的的管理特点;许多评估数据,特别是社会、经济的统计数据有可靠的数据来源,便于进行信息汇聚和分析评估;制定防灾减灾应对策略时更具有针对性和可实施性,如规划、组织生产、抗灾、救灾、投资和工程设计等。

3.1 评估数据收集及处理

以沿海县级行政单位为评估单元收集各指标评估数据,海平面上升速率和平均潮差根据中国沿海107海洋观测站数据计算得到,高程状况根据中国沿海1:5万数字地面高程计算得到,海岸状况和海岸类型参考《中国地理图集》^[17]、《海洋图集》(地质和地球物理分册)^[18-19],人口和GDP数据主要引自各沿海省统计年鉴和中国海洋经济统计年鉴中2014年的数据。

遵循可比较原则,对各评估单元间的评估指标进行标准化处理,形成的标准化量值反映海平面上升对评估因子在不同评估单元间的影响程度,评估指标的标准化量值用于评估模型的计算。

对于海平面上升速率、平均潮差、地面高程状况等较为规则的数据序列采用预处理数学方法进行标准化处理。

将各评估单元某指标 p 的数值排列成一数据序列 p_1, p_2, \dots, p_n ,其中 n 为评估单元的个数。

预处理数学公式如下:

$$A_i = \frac{N(p_i - \min(p_i))}{\max(p_i) - \min(p_i)} + 1 \quad (1)$$

式中: A_i 为第 i 个评估单元指标 p 的标准化量值; i 为评估单元序号, $i=1, 2, \dots, n$;为量化参数; P_i 为第 i 个评估单元的指标数值;一般将量化参数 N 取为4,即 A_i 的取值范围应介于1~5之间。

对于人口数量、GDP等分布不规律、数据量值跨度大的数据序列采用分级赋值法进行处理(表4)。

表4 人口和经济数据分级赋值标准

评估指标	量化基准	量化值
人口数量/万人	>150	5
	100~150	4
	75~100	3
	50~75	2
GDP/亿元	<50	1
	>1500	5
	750~1500	4
	500~750	3
	250~500	2
	<250	1

根据以上方法对各指标数据进行标准化处理,由于数据量较大,数据及数据处理结果不再一一列出。

3.2 脆弱性指数计算

利用加权综合评分法,构建海平面上升脆弱性评估模型,将各沿海县级评估单元指标数据量化值带入评估模型中,计算中国沿海地区各县级评估单元海平面上升的自然环境脆弱性指数(V_N)和社会经济脆弱性指数(V_S)脆弱性因子,综合各脆弱性因子计算获得海平面上升脆弱性指数(V_{SL})。

自然环境脆弱性评估主要考虑自然因素评估海平面上升对沿海地区造成的潜在危险。自然环境脆弱性指数计算模型为:

$$V_N = \sum_{i=1}^n N_i a_i \quad (2)$$

式中: V_N 为自然环境脆弱性指数, N_i 为自然环境脆弱性评估的第 i 个指标, a_i 为第 i 个自然环境脆弱性指标的权重系数, n 为自然环境脆弱性指标的个数。

图2为沿海各县级评估单元自然环境脆弱性指数分布状况。从分析结果来看,位于渤海湾、长江三角洲、江苏沿海的一些地区,如:上海的浦东新区、金山区和宝山区,浙江省嘉兴市的海盐县、平湖市和海宁市,河北省沧州市的黄骅市、唐山市的丰南区和曹妃甸区,天津滨海新区,山东省东营市河口区等地的自然环境脆弱性程度较高。这些地区多为海拔较低的平原地区且易受海

岸侵蚀的影响；此外，部分地区地面沉降较为严重，其相对海平面上升程度也较大，导致这些地区的自然环境状况在海平面上升影响下具有较高脆弱性。

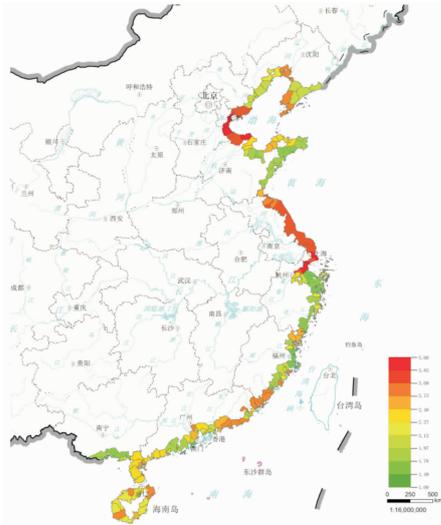


图2 沿海各县级评估单元自然环境脆弱性指数分布

社会经济脆弱性评估主要分析沿海地区人口和经济受海平面上升影响的脆弱程度。社会经济脆弱性指数计算模型为：

$$V_s = \sum_{i=1}^n S_i b_i \quad (3)$$

式中： V_s 为社会经济脆弱性指数， S_i 为社会经济脆弱性评估的第*i*个指标， b_i 为第*i*个社会经济脆弱性指标的权重系数， n 为社会经济脆弱性指标的个数。

图3为沿海各县级评估单元社会经济脆弱性指数分布状况。从分析结果来看，我国沿海主要的社会经济发达地区，如上海的浦东新区、天津的滨海新区、广东的东莞和中山、深圳的宝安区和龙岗区、浙江省杭州市的萧山区等地区，人口密集、经济总量大，更易受到海平面上升的直接影响，是社会经济脆弱性程度较高的地区。

综合各沿海县级评估单元的海平面上升自然环境脆弱性、社会经济的脆弱性指数值，计算出沿海各县级评估单元的海平面上升脆弱性指数。脆弱性指数计算模型为：

$$V_{SL} = V_N^\alpha \times V_s^\beta \quad (4)$$

式中： V_{SL} 为海平面上升的脆弱性指数， V_N 为自然环境脆弱性指数， V_s 为社会经济脆弱性指数， α 和 β 分别为危险度指数和社会经济脆弱性指数的权重系数。

根据计算模型计算得到的各评估单元的脆弱性指数(V_{SL})评估各单元的海平面上升脆弱程度(图4)。脆弱程度与自然环境脆弱性指数和社会经济脆弱性指数成正比， V_{SL} 取值越大，该评估单元的海平面上升脆弱性越大。从分析结果来看，长

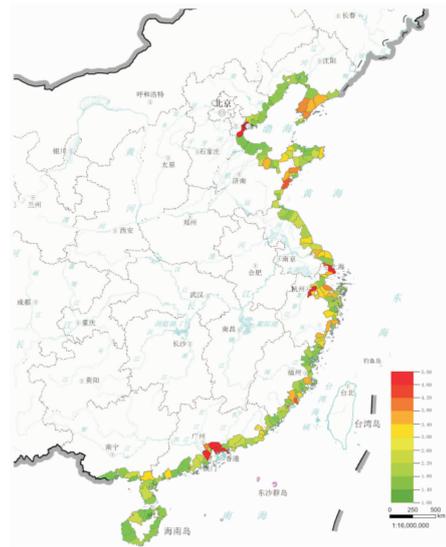


图3 沿海各县级评估单元社会经济脆弱性指数分布

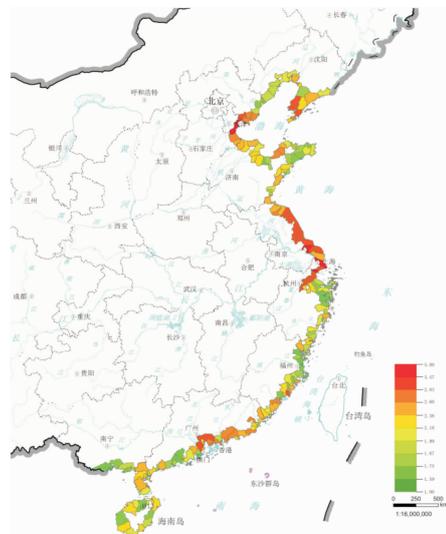


图4 沿海各县级评估单元脆弱性指数分布

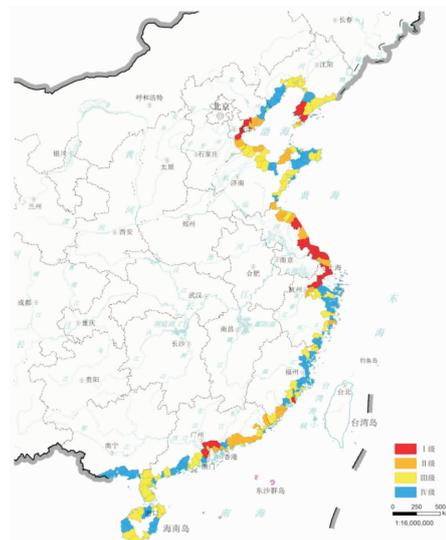


图5 沿海各县级评估单元脆弱性等级区划

三角、珠三角和渤海沿海地区, 如上海的浦东新区、金山区和宝山区、天津滨海新区等地, 这些地区的自然环境脆弱性和社会经济脆弱性都较高, 其海平面上升背景下的整体脆弱性也较高。

表 5 县级评估单元海平面上升脆弱性等级划分

脆弱性值	>3.0	2.5~3.0	2.0~2.5	<2.0
脆弱性等 级(程度)	I级 (高脆弱性)	II级 (较高脆弱性)	III级 (中等脆弱性)	IV级 (低脆弱性)

4 脆弱性区划

根据计算的海平面上升脆弱性值的大小和中国沿海地区海平面上升及影响的现状, 设定脆弱性等级划分标准, 将各评估单元的海平面上升脆弱性区划为低脆弱性、中等脆弱性、较高脆弱性和高脆弱性四个等级。

表 6 海平面上升 I 级脆弱性的沿海县级行政区域

沿海省	沿海城市	沿海县
辽宁省	大连市	金州区、瓦房店市
河北省	唐山市	丰南区
天津市	天津市	滨海新区
江苏省	南通市 盐城市	海安县、如东县、启东市、通州市、海门市 射阳县、东台市
上海市	上海市	宝山区、浦东新区、金山区、奉贤区
浙江省	嘉兴市	海盐县、海宁市、平湖市
福建省	泉州市	晋江市
	广州市	番禺区
广东省	东莞市 中山市	- -

表 7 海平面上升 II 级脆弱性的沿海县级行政区域

沿海省	沿海城市	沿海县
辽宁省	大连市	甘井子区
河北省	唐山市 沧州市	滦南县、乐亭县、曹妃甸区 黄骅市
山东省	东营市 烟台市	河口区 龙口市、莱州市、招远市
江苏省	连云港市 盐城市	赣榆县、灌云县、灌南县 滨海县、大丰市
上海市	上海市	崇明县
浙江省	杭州市 台州市	萧山区 温岭市
福建省	泉州市 漳州市	石狮市 漳浦县、龙海市
	深圳市	福田区、南山区、宝安区、龙岗区
广东省	惠州市 汕尾市 潮州市 揭阳市	惠东县 海丰县、陆丰市 饶平县 揭东县、惠来县

为了沿海各级政府科学应对海平面上升可能带来的影响, 根据计算的海平面上升脆弱性值的大小和中国沿海地区海平面上升及影响的现状, 设置海平面上升脆弱性等级划分标准(表 5), 将各评估单元的海平面上升脆弱性由高到低区划为 I 级(高脆弱性)、II 级(较高脆弱性)、III 级(中等脆

弱性)和IV级(低脆弱性)脆弱性等级。

依照脆弱性评估中计算出的各沿海县级评估单元海平面上升脆弱性指数值, 按照脆弱性等级划分标准, 将各评估区的脆弱性划分为 I 级(高脆弱性)、II 级(较高脆弱性)、III 级(中等脆弱性)和 IV 级(低脆弱性)等 4 个等级。划分为 I 级(高脆弱性)海平面上升脆弱性的评估单元有 22 个(表 6)。

划分为 II 级(较高脆弱性)海平面上升脆弱性的评估单元有 30 个(表 7)。

划分为 III 级(中等脆弱性)海平面上升脆弱性的评估单元有 77 个(表 8)。

表 8 海平面上升 III 级脆弱性的沿海县级行政区域

沿海省	沿海城市	沿海县
	丹东市	东港市
	锦州市	凌海市
辽宁省	营口市 盘锦市	西市区、鲅鱼圈区、老边区 大洼县、盘山县
	大连市	中山区、西岗区、沙河口区、 旅顺口区、普兰店市、庄河市
河北省	秦皇岛市 沧州市	海港区 海兴县
	东营市	东营区、垦利县、广饶县
	烟台市	芝罘区、蓬莱市
	潍坊市	寿光市
	威海市	文登市、荣成市
山东省	日照市 滨州市	东港区 无棣县、沾化县
	青岛市	市南区、市北区、黄岛区、 城阳区、胶州市、即墨市
江苏省	连云港市 盐城市	连云区 响水县
	温州市	瑞安市、乐清市
	绍兴市	绍兴县、上虞市
浙江省	舟山市 台州市 宁波市	嵊泗县 临海市 鄞州区
	莆田市	秀屿区、仙游县
	泉州市	惠安县、南安市
福建省	漳州市 宁德市 厦门市	云霄县、诏安县、东山县 福安市、福鼎市 思明区、湖里区
	广州市	南沙区
	珠海市	香洲区
广东省	汕头市 江门市	金平区、潮阳区、潮南区、澄海区 新会区、台山市
	湛江市	霞山区、麻章区、遂溪县、徐闻县、 廉江市、雷州市、吴川市
	茂名市	电白县
	汕尾市	城区
	海口市	龙华区、美兰区
	三亚市	-
海南省	-	儋州市
	-	文昌市
	-	临高县
	-	乐东黎族自治县
	-	陵水黎族自治县

划分为Ⅳ级(低脆弱性)海平面上升脆弱性的评估单元有87个(表9)。

表9 海平面上升Ⅳ级脆弱性的沿海县级行政区域

沿海省	沿海城市	沿海县
	营口市	盖州市
辽宁省	葫芦岛市	连山区、龙港区、绥中县、兴城市
	大连市	长海县
河北省	秦皇岛市	山海关区、北戴河区、昌黎县、抚宁县
	烟台市	福山区、牟平区、莱山区、长岛县、莱阳市、海阳市
	潍坊市	寒亭区、昌邑市
山东省	威海市	环翠区、乳山市
	日照市	岚山区
	青岛市	崂山区、李沧区
	温州市	龙湾区、洞头县、平阳县、苍南县
	舟山市	定海区、普陀区、岱山县
浙江省	台州市	椒江区、路桥区、玉环县、三门县
	宁波市	北仑区、镇海区、象山县、宁海县、余姚市、慈溪市、奉化市
	福州市	马尾区、连江县、罗源县、平潭县、福清市、长乐市
	莆田市	城厢区、涵江区、荔城区
福建省	泉州市	丰泽区、洛江区、泉港区
	宁德市	蕉城区、霞浦县
	厦门市	海沧区、集美区、同安区、翔安区
	深圳市	盐田区
	珠海市	斗门区、金湾区
	汕头市	龙湖区、濠江区、南澳县
广东省	江门市	恩平市
	湛江市	赤坎区、坡头区
	茂名市	茂港区
	惠州市	惠阳区
	阳江市	江城区、阳西县、阳东县
广西壮族	北海市	海城区、银海区、铁山港区、合浦县
自治区	防城港市	港口区、防城区、东兴市
	钦州市	钦南区
	海口市	秀英区
	-	琼海市
	-	万宁市
海南省	-	东方市
	-	澄迈县
	-	昌江黎族自治县

根据区划结果,按照Ⅰ级(高脆弱性)、Ⅱ级(较高脆弱性)、Ⅲ级(中等脆弱性)和Ⅳ级(低脆弱性)4个脆弱性等级,绘制中国海平面上升以县级行政区域为评估单元的脆弱性区划图(图5)。

5 结论

海平面上升是一种缓变的海洋灾害,会对海岸带的自然、经济、社会、环境与资源等产生重

大影响。气候变暖,引起海平面上升,极端气候事件频发,风暴潮灾害加剧,进而对城市防护、城市排涝、土地利用、工农业生产、生态环境、人民生活、居住环境等造成直接损失与间接损失、短期损失与长期损失,以及经济损失与非经济损失等。本文的研究旨在为开展我国海平面上升对沿海重点区域发展影响评估及其应对方略提供理论基础和科学决策依据,促进我国沿海经济社会持续和谐发展。

本文基于沿海县级行政单元,采用定量化的评估方法,选用多种脆弱性因子,综合评估区划海平面上升脆弱性的定量化,能够客观全面地区划沿海地区海平面上升的脆弱性程度,成果具有较强的实用性。在构建海平面上升脆弱性指标体系时,综合考虑了水文、地形地貌、人口、经济等因子,分别从自然环境、社会经济两个方面建立综合评估模型使得区划结果更加客观可信。

评估结果表明海平面上升对我国沿海城市群密集的地带影响甚大,尤其是环渤海沿岸、珠江三角洲和长江三角洲等三个区域是典型的海平面上升影响的脆弱区。在海平面上升的背景下,未来在沿海地区新建和布局各类重大经济项目及基础设施建设时,应充分考虑海平面上升因素,提高以海堤为主的各类海岸防护工程的标准,明确设防高度和设防等级,加强海堤改造及护坡工程,提高海堤抗御海洋灾害的能力,减轻海平面上升带来的不利影响。

参考文献:

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability[M]. Cambridge University Press, Cambridge, U. K., 2007.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 1995: The Science of Climate Change [M]. Contribution of Working Group I to the Second Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Houghton J T, MeiraFilho L G, Callender B A et al. (Eds)., Cambridge University Press, Cambridge, U. K., 1996.
- [3] Klein R J T, Nicholls R J. Assessment of coastal vulnerability to climate change[J]. *Ambio A Journal of the Human Environment*, 1999, 28(2): 182-187.
- [4] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. edited by J. T. Houghton et al., Cambridge University Press, Cambridge, U. K., 2001.
- [5] Grubestic T H, Matisziw T C. A typological framework for categorizing infrastructure vulnerability [J]. *Geojournal*, 2013, 78(2): 287-301.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge University Press,

- Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- [7] Gornitz V. Global coastal hazards from future sea level rise [J]. *Global and Planetary Change*, 1991, 3(4): 379–398.
- [8] Raey M, Dewidar K R, El-Hattab M. Adaptation to the impacts of sea level rise in egypt [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 4(3/4): 343–361.
- [9] 崔红艳. 基于 GIS 的辽河三角洲潜在海平面上升风险评估 [J]. *辽宁师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 28(1): 107–111.
- [10] 戴亚南, 彭检贵. 江苏海岸带生态环境脆弱性及其评价体系构建 [J]. *海洋学研究*, 2009, 27(1): 11–16.
- [11] 崔利芳, 王宁, 葛振鸣, 等. 海平面上升影响下长江口滨海湿地脆弱性评价 [J]. *应用生态学报*, 2014, 25(2): 553–561.
- [12] 李响, 段晓峰, 刘克修, 等. 津冀沿海地区海平面上升的风险评估研究 [J]. *灾害学*, 2014, 29(3): 108–114.
- [13] 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, 24(6): 57–65.
- [14] Frihy O E. The Nile Delta-Alexandria coast: vulnerability to sea-level rise, consequences and adaptation [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2003, 8: 115–138.
- [15] 任美镔. 我国海面上升及其对策 [J]. *大自然探索*, 1991, 10(35): 7–10.
- [16] 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.
- [17] 王静爱, 左伟. *中国地理图集* [M]. 北京: 中国地图出版社, 2009.
- [18] 海洋图集编委会. 渤海、黄海、东海海洋图集——地质和地球物理分册 [M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [19] 海洋图集编委会. 南海海洋图集——地质和地球物理分册 [M]. 北京: 海洋出版社, 2011.

The Vulnerability Zoning Research on the Sea Level Rise of Chinese Coastal

LI Xiang, DUAN Xiaofeng, ZHANG Zengjian, WANG Hui and LIU Kexiu
(National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

Abstract: In this paper, used the coastal county administrative unit as the assessment unit, assess the vulnerability of coastal areas of China under the sea level rise, respectively from the natural environment and the coastal social economy, and zoning the vulnerability of coastal areas in China. The results show that, Sea Level Rise has great impact on the coastal cities of China, Especially in the Bohai Sea coast; Pearl River Delta and Yangtze River Delta are the typical vulnerable area of sea level rise. Development of coastal areas should fully consider of the impact of sea level rise.

Key words: sea level rise; vulnerability; vulnerable area; zoning; coastal areas; China

+++++
(上接第 64 页)

Study on the Development Features of Unstable Slopes in Yan' an

ZHU Junhua, CHEN Zhixin, ZHAO Fasuo and ZHU Yanbo
(College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Through the Yan' an geological disasters detailed investigation and statistical analysis, the development types and features of unstable slopes in research area were summarized as follows: Loess unstable slope, rock unstable slope and loess-rock unstable slope were including in the structure types, and the loess unstable slope was in the majority. The deformation failure pattern was divided into three species as like slip (creep)-cracking pattern, slip-compression cracking pattern and bending-cracking pattern, and slip (creep)-cracking pattern was most common. The instability trend of unstable slopes was divided into landslide and collapse. Controlling by the rock-soil structure types, structure plane, slope angle, height and shape of unstable slopes, collapse was the major instability trend.

Key words: Yan' an city; unstable slope; structure type; development feature; instability trend