

# 缓发性海洋灾害传导机理及对沿海地区发展的影响评价

## ——以海平面上升为例

梁 皓 王 欢

(河海大学人口研究所,江苏南京 211100)

**摘 要:** 作为缓发性海洋灾害的一种主要表现形式,海平面上升已对沿海地区经济社会发展产生了严重影响。在修正“源-路径-受体-影响”理论模型基础上,分析海平面上升对沿海地区发展的影响机理,并采用熵权法定量测算影响程度。研究发现:海平面上升对沿海地区的影响呈现出一定的复杂性和多样性,且本质上反映为“海平面上升扰动能力、区域系统敏感性以及地区应对能力”之间的关系;综合影响指数在空间上表现为“中部低,南北高”的分异特征,且应对性指数同综合影响指数间存在明显负相关关系。基于研究发现,从工程和非工程层面提出应对海平面上升影响的预防性措施。

**关键词:** 缓发性海洋灾害;海平面上升;“源-路径-受体-影响”模型;熵权法

中图分类号: F127; X22

文献标志码: A

文章编号: 1671-4970(2018)01-0076-07

### 一、引 言

近些年来,受到全球气候不稳定因素的影响,我国沿海地区缓发性海洋灾害的发生频次有所上升,特别是作为缓发性灾害的主要表现形式,海平面上升已经成为社会普遍关注的焦点。根据《中国海平面公报》统计,1980—2015 年我国沿海海平面累积上升 105 mm,年均增速 3 mm/a<sup>[1]</sup>。沿海地区是我国社会经济发展速度较快的地区,在社会经济发展全局中占有重要地位,因此,系统研究海平面上升对沿海地区的影响对于提升我国沿海地区应对海平面上升影响的能力、实现沿海地区社会经济持续发展具有重要意义。目前,相关学者已围绕海平面上升对沿海地区社会经济发展和资源环境影响展开了一系列研究:①关于海平面上升对社会经济的影响,王芳等对珠江三角洲地区的社会经济损失值进行估算,在历史最高潮位下,如果按照 8% 的经济增长率和 50 cm 的海平面上升预期,珠三角地区的经济损失在 2050 年将高达 25 478.28 亿元<sup>[2]</sup>;程和琴等分析上海市供水风险,并提出合理规划水资源可承载人

口数量、降低单位经济增加值用水量、开辟新水源的风险管控等措施<sup>[3]</sup>;陈祖军等以崇明三岛为例,研究认为长江口海平面上升对崇明岛的除涝安全影响在可控范围内<sup>[4]</sup>。②关于海平面上升对资源环境的影响,已有研究普遍认为海平面上升会加剧海岸侵蚀和风暴潮破坏程度,会造成沿海低地、湿地淹没和物种多样性的破坏。李加林等综合分析海平面上升对江苏沿海低地造成的灾害效用,并提出分区预警的构想<sup>[5]</sup>;李猷等对海平面上升情景下蛇口半岛造成的生态价值损失进行测算,研究发现,海平面上升 1 m,蛇口半岛地区生态系统服务功能价值损失将高达 166.55 万元/年<sup>[6]</sup>;林峰竹等分析海平面上升对海岸侵蚀的内在关联,并认为海平面上升是海岸侵蚀的主要原因<sup>[7]</sup>;李莎莎等采用脆弱性评价法分析发现,广西钦州湾 41.3% 的红树林将在 2050 年呈现出低脆弱状态<sup>[8]</sup>。

从已有研究看,学界已经从实证分析角度充分探讨了海平面上升对沿海地区的自然和经济社会影响,但现有文献往往是针对某一地区的单一视角研究,所提出预防措施的实用性也有限,同时关于海平

收稿日期: 2017-02-22

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(15ZDB170)

作者简介: 梁皓(1987—),男,山西吕梁人,博士研究生,从事人口与区域经济社会发展研究。

面上升对沿海地区影响的机理分析也有所欠缺。此外,对于如何应对海平面上升造成的影响方面也存在重视工程措施而轻视非工程措施的局限。借鉴“源-路径-受体-影响”(SPRC)评估模型的分析范式,笔者拟系统分析海平面上升对沿海地区4大子系统的影响机理,概括其影响路径,并采用熵权法定量评价影响程度,以期科学应对海平面上升、缓解海平面上升的潜在影响提供科学依据。

## 二、理论分析框架及研究方法

### 1. 理论分析框架

海平面上升对沿海地区发展影响分析的最终目标是通过预防性措施来缓解海平面上升对沿海地区发展造成的潜在影响。海平面上升在我国主要表现为全国性海平面上升,需要从大尺度层面分析海平面上升对沿海地区各大功能系统的影响。为此,在分析模型方面,选择应用较为广泛的“源-路径-受体-影响”(SPRC)评估模型。SPRC模型最初由Holdgate于1979年提出,主要用于环境科学问题的研究,侧重于描述污染源如何通过传导通路影响潜在受体<sup>[9]</sup>。SPRC模型提出后便广泛用于分析洪水灾害管理。随着学界对SPRC模型理解的进一步深入,2012年Morris等提出了用于洪灾风险管理的SPRC模型<sup>[10]</sup>,基本分析框架见图1。

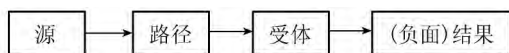


图1 SPRC概念模型

从SPRC模型基本分析思路来看,这是一种较简单的线性概念分析模型,包含4个基本要素:源、路径、受体和结果。①源主要指负面影响的主要来源,根据源性质的不同,可以分为自然源(气象灾害、海洋灾害)和社会源(人为的干扰活动);②路径

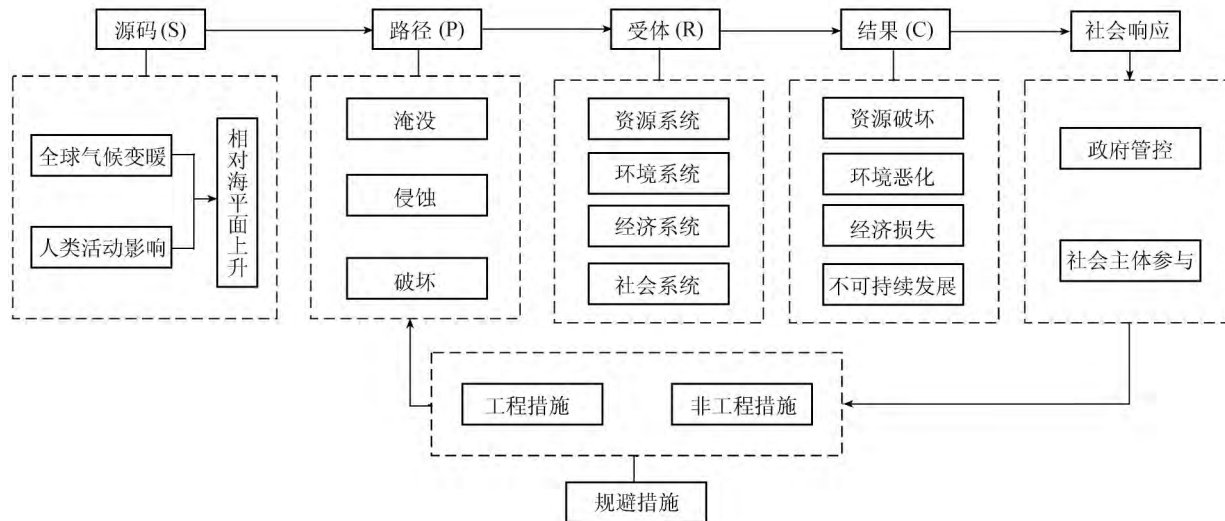


图2 海平面上升对沿海地区影响分析框架

主要指源发挥作用的方式(侵蚀、淹没);③受体主要是负面影响的主要承担者(经济、社会、资源、环境);④结果通常是指在危害入侵的情况下,受体所呈现出的状态,多数情况下体现为负面影响(数量的减少、质量的恶化)。

SPRC模型可以体现源、路径、受体和影响之间的链式因果关系,同时还可以反映复杂系统内部和系统之间的相互作用与相互影响的关系,由于在运用SPRC模型解决实际问题时缺乏对事后管理的思考。因此,借鉴Monbaliu等提出的社会感知、社会响应以及减缓措施等概念<sup>[11]</sup>,构建了海平面上升对沿海地区发展影响分析框架(图2)。

### 2. 研究方法

为能够进一步了解海平面上升对我国沿海发展的影响,主要采用熵权法<sup>[12]</sup>就海平面上升对我国沿海地区的影响进行测度。具体步骤如下:

第一,变量标准化处理。由于原始指标体系包含数值越大越优型指标和数值越小越优型指标,且指标彼此间并不存在明晰的“好”与“差”的数量界限,且考虑相关测算的要求,采用陈守煜教授提出的标准化公式<sup>[13]</sup>来计算指标体系中指标的相对隶属度值。

$$\bar{C}_i = \frac{C_i}{C_{\max} + C_{\min}} \quad (1)$$

$$\bar{C}_i = 1 - \frac{C_i}{C_{\max} + C_{\min}} \quad (2)$$

第二,指标权重确定。通过标准化处理,可以得到一个包含 $m$ 个评价单元、 $n$ 个评价指标在内的标准化矩阵:  $Z = \{Z_{ij}\}_{m \times n}$ 。其中:  $Z_{ij} = (x'_{ij}) / (\sum x'_{ij})$ ,  $x'_{ij}$ 为标准化值。

在求得标准化矩阵后,利用标准化矩阵求取各个指标的熵值( $EN_j$ )。

$$EN_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m Z_{ij} \ln Z_{ij} \quad (3)$$

计算评价指标的差异性系数( $g_j$ ) 计算公式为:

$$g_j = 1 - EN_j \quad (4)$$

求取各评价指标的权重值( $w_j$ ) 为:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (5)$$

第三,计算海平面上升对沿海省份*i*的影响指数,主要公式为:

$$I_i = \sum_{j=1}^m w_j Z_{ij} \quad (6)$$

根据自然断裂点法将海平面上升对沿海地区发展影响指数分为5类(表1)。

表1 海平面上升对沿海影响的等级划分标准

等级	低水平	较低水平	中等水平	较高水平	高水平
区间	(0, 0.05]	(0.51, 0.84]	(0.85, 1.29]	(1.30, 1.80]	(1.81, +∞)

### 三、海平面上升对沿海发展的影响机理分析

#### 1. 海平面上升对沿海发展影响的源和受体分析

从SPRC概念模型的原理描述可以发现,源和受体的分析界定是确定路径和影响结果的前提。

在海平面上升对沿海发展影响的研究中,海平面上升是影响沿海地区社会经济发展的主要来源,但由于海平面上升存在绝对海平面上升和相对海平面上升两种类别,因此,需要结合我国海平面上升情况对其内涵进行合理界定。绝对海平面上升主要是气候变暖造成的;相对海平面上升的成因除了气候变暖外,还包括地壳运动、地质构造、河流塑造活动等。相关研究表明,在海平面上升的过程中,全球气候变暖的影响率远低于地壳运动、河流塑造活动以及人类近海活动的影响<sup>[14]</sup>。我国沿海地区处于海陆板块的交界地带,容易受到地壳运动和河流塑造活动的影响,同时该地区也是社会经济最发达的地区,人类活动最为活跃。在自然因素和人为因素的交替影响下,相对海平面上升对沿海地区影响最为明显。因此,笔者将影响源界定为相对海平面上升。相对海平面上升会对沿海地区的可持续发展造成影响,而社会、经济、环境、资源的协调发展是区域可持续发展的主要标志。因此,将海平面上升产生影响的受体分为资源子系统、环境子系统、经济子系统和人类社会子系统4类。

#### 2. 海平面上升对沿海发展的影响路径及影响结果分析

(1) 海平面上升对沿海地区资源子系统的影响  
资源是任何城市和地区发展的物质基础,海平

面上升对沿海地区资源子系统的影响主要是从资源变化的损益上体现出来的。具体而言,主要包括以下两个方面。

第一,海平面上升对土地资源的影响。海平面上升会造成沿海地区土地资源数量的减少和质量的破坏。首先,海平面上升会淹没浅滩、地势低洼地段的土地。根据相关学者研究预测,到2050年,珠江三角洲、辽河三角洲、长江三角洲三大地区的海平面将平均上升40 cm~50 cm,其中,长三角地区将会因为海平面的上升而淹没47.5 km<sup>2</sup>~49.5 km<sup>2</sup>的潮滩以及30 km<sup>2</sup>的湿地<sup>[15]</sup>;珠三角地区将会因为海平面上升而导致1153 km<sup>2</sup>的土地被淹没<sup>[16]</sup>;辽河三角洲将会因为海平面上升而导致3530.11 km<sup>2</sup>的湿地损失<sup>[17]</sup>。其次,海平面上升会造成海岸侵蚀、压缩沿海地区近海活动的空间。海平面上升对海岸的侵蚀会通过海岸线后退和岸滩下蚀两种形式表现出来。相关统计表明,2010年我国沿海海岸侵蚀总长度超过3000 km,约有50%的砂质海岸和7%的混沙淤泥质海岸受到不同程度的侵蚀<sup>[7]</sup>。再次,海平面上升还会破坏沿海地区的土地质量。盐渍化是海平面上升对沿海地区土地资源质量影响的主要路径。根据辽宁省锦州市的小凌河土壤盐渍化检测站的数据显示,2008—2014年该地区土地的氯度值已经从0.03 g/kg上升到3 g/kg,该地区土壤的盐渍化呈现出了较快的变动趋势<sup>[18]</sup>。第二,海平面上升对沿海地区水资源的影响。海平面上升会造成沿海城市生产、生活用水水质下降,导致水质性缺水。海平面上升后,大量海水涌入河网,导致入河水体的氯度值大幅增加,严重影响城市用水水质,这种情况在河流枯水季节表现得尤为突出。《2015年中国海平面公报》统计,2015年2月,由于咸潮入侵,导致长江口宝钢水库和青草沙水库取水口的氯度值高达714 mg/L,高于标准水平的氯度值使得原本水资源丰富的沿海地区却面临供水紧张的局面。滨江、滨海农业灌溉水源主要来自于地表径流水和浅层的地下水,海平面上升一方面会造成水体氯度值上升,另一方面会抬高海面与内陆潜水层的相对高度,加剧海水的入侵作用,从而改变地下水盐分、破坏地下水资源,导致农业灌溉水源含盐量过高,无法满足农业灌溉用水需求。

#### (2) 海平面上升对沿海地区环境子系统的影响

环境子系统是环境各要素及其相互关系的总和,环境子系统强调环境的整体性,聚焦环境子系统各要素之间的相互关系和相互作用的过程。

第一,海平面上升会导致滨海湿地生态系统的破坏。首先,海平面上升会破坏沿海湿地生态系统

的生物多样性。沿海湿地生态系统是一种特殊的生态系统,是生物资源最为丰富的生态系统之一。我国滨海湿地系统拥有较为丰富的生物量,根据统计,我国现存潮滩生物资源总量超过了 $540 \times 10^4 \text{ t}^{[19]}$ ,平均每平方米潮滩生物总量可以达到 $244.5 \text{ g}$ 。如果以长三角滨海湿地的损失率粗略计算,海平面上升 $50 \text{ cm}$ ,全国的潮滩损失面积将高达 $19.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,由此导致的滨海湿地生物年损失将超过 $80 \times 10^4 \text{ t}^{[20]}$ 。其次,滨海湿地的损失会改变滨海湿地生态的演替方向,大量具有高利用价值的海岸湿地将会变成利用价值极小的光滩,甚至一些具有特殊功能的湿地还会随着生存环境的改变而消失。第二,海平面上升会导致区域水生态系统进一步恶化。沿海地区是人口密集、社会经济活动最频繁的地区之一,大量生产生活污水向城市水体排放,已经对水体质量造成一定影响,海平面上升又进一步加剧城市水体水质的恶化。沿海地区是海拔较低的地区,多数地区的平均高程都在平均高潮位以下,加之河口淤积效应明显,海平面上升后会在河口形成“海水拖顶”效应,使得城市自然排水能力下降。以长江三角洲为例,如果海平面上升 $40 \text{ cm}$ ,长江三角洲地区的自然排水能力将下降 $20\% \sim 25\%$ 。自然排水能力的下降会导致城市污水排放困难,甚至倒灌,造成河网内水域污染扩大、加重,进而造成区域水质的持续性恶化<sup>[21]</sup>。

### (3) 海平面上升对沿海地区经济子系统的影响

经济子系统是由最基本的生产、交换、消费、分配等经济活动以及居民、政府、企业主体构成的有机统一体。一般而言,海平面上升对沿海地区经济子系统的影响来自于3方面。

首先,海平面上升所诱发的海洋灾害会直接给沿海地区经济发展造成损害。风暴潮是影响我国沿海地区最严重的自然灾害。相关研究表明,海平面上升会增加风暴潮发生的频率和强度<sup>[22]</sup>。风暴潮过境往往会产生巨大的海浪,淹没沿海地区农田、破坏近海养殖水面,导致农业生产发展和近海养殖业难以为继,造成严重的经济损失。根据《中国海洋灾害公报》统计,2000—2015年沿海地区12个省(自治区、直辖市)共计发生风暴潮气象灾害365次,累积受影响人数1.98亿,共有约 $239.57 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的水产养殖水面和 $650.91 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的农田受到灾害影响,累积有 $5718.96 \text{ km}$ 的海岸工程、39.14万处房屋以及7.21万艘海运货运船只受损,总直接经济损失额为1970.55亿元。其次,海平面上升引起的波浪作用增强、潮位抬高,会使码头、港区道路及仓储设施等受淹频率增加,涵闸加速废弃。经济发展基础条件的逐渐恶化将迫使产业区域转移,迁出沿海

区域,相应地带来就业岗位和就业机会大幅减少,使得城市发展受到阻滞。以天津海河挡潮闸为例,自建闸以来,该闸已累计沉降 $1.05 \text{ m}$ ,已经丧失基本的挡潮功能,而上海老港区码头也因多次遭受风暴潮而导致基本功能的失效<sup>[23]</sup>。此外,为了应对海平面上升,政府会大幅增加公共开支以用于海防,给地区财政支出造成一定压力。以广西沿海地区为例,在20世纪90年代,广西水利部门针对堤围防御标准低的问题提出了海堤工程加固规划。根据规划,如果将防御标准从原来的5年~10年一遇提高到5年~20年一遇,需要经费2.7亿元(未考虑海平面上升);如果考虑海平面上升因素,海平面上升 $20 \text{ cm}$ 、 $30 \text{ cm}$ 、 $50 \text{ cm}$ 海堤加固费用将分别达到3.5亿元、4.4亿元、7.9亿元<sup>[24]</sup>。

### (4) 海平面上升对沿海地区社会子系统的影响

海平面上升对沿海地区社会子系统的影响主要体现在3方面。

第一,海平面上升对沿海地区人口发展的影响。人口子系统主要包括出生、死亡等要素以及年龄、性别结构和社会变动等因素。一方面,随着海平面的上升,其诱发海洋灾害发生时威胁人类生命安全,对于部分地区而言,区域环境系统的恶化还会间接影响个体生存质量;另一方面,海平面上升对基础设施和重要生产资源的破坏会改变传统近海产业的发展模式,同时也会使劳动力在不同生产部门之间的配比发生变化,给当地居民稳定的就业结构和人口分布造成影响。第二,海平面上升对沿海地区公共服务功能的影响。公共服务功能是区域发展的基本功能之一,海平面上升会改变区域的水热平衡分布,加剧沿海地区的海洋性灾害气候和极端灾害气候的发生频率。在丰水年份,如果遇到持续性降水,由于海平面上升导致的区域排水不畅问题会更严重,大量降水沉积在路面导致城市基本交通功能受到严重影响;遇到风暴潮等灾害时,还会诱发大风天气,导致城市供电设施破坏而影响城市正常用电需求。特别是对于分布于沿海地区的核电站等重要的能源设施而言,如果无法做出针对性的预防措施,海平面上升还可能会影响这些设施的正常运转,甚至有可能破坏这些能源设施,威胁沿海地区居民的生产生活安全。第三,海平面上升会对沿海地区和谐发展造成影响。由于海平面上升对沿海地区城市发展造成的影响无法准确预测,而且近年来海洋灾害频发,导致沿海地区居民的安全感降低,而且一旦海洋灾害威胁城市供水、居住等关系到基本生存需求的设施和资源,有可能形成社会不稳定因素,影响沿海地区的和谐发展。

#### 四、实证分析

##### 1. 海平面上升对沿海发展影响评价指标体系

基于 SPRC 的理论分析可以看出,相对海平面上升是沿海发展的主要扰动源,而使受体(4 大子系统)受到影响的原因:一方面与系统自身属性相关;另一方面与系统的应对干扰的能力有关。系统自身属性决定了系统面对外界扰动时所体现出的敏感性,而应对能力则体现系统是否有能力抵御外界干扰。为了能够综合反映海平面上升对沿海地区的影响,结合指标选择的科学性及其合理性要求,构建了包含扰动性指标、敏感性指标和应对性指标在内的影响评价指标体系(表 2)。

##### 2. 数据来源

考虑指标数据可及性和完整性,主要选取 2014 年沿海省份相关数据反映指标水平值。其中,相对海平面上升数据来自《2014 年中国海平面公报》;大陆海岸线长度、全社会固定资产投资、人口密度、沿海省份平均海拔等数据来自沿海省份《统计年鉴》(2014 年);海洋生产总值以及占沿海地区生产总值比重、涉海就业人数、水资源总量、近海岸湿地面积、R&D 经费收入、海洋类型自然保护区建设面积均来自《中国海洋统计年鉴》(2014 年);市政公用设施建设维护与管理财政性资金支出、市政公共设施建设固定资产投资数据来自《中国城市建设统计年鉴》(2014 年)。此外,沿海省份平均海拔为沿海各省份主要沿海城市海拔的平均值;人口密度为 2014 年末沿海各省份常住人口数与土地总面积的比值。

##### 3. 实证结果分析

(1) 海平面上升对我国沿海地区发展的综合影响整体处于中等水平,综合影响指数的“极差”特征

较为明显

海平面上升对我国沿海地区 11 个省份影响指数平均值为 1.06,处于中等影响水平。其中,海平面上升影响程度最高的省份是河北省,综合影响指数为 2.19;影响程度最低的省份为山东省,综合影响指数为 0.38;其次是广东省,综合影响指数为 0.39。对不同影响水平的省份进行统计发现,处于低水平影响和较低水平影响的省份共 6 个,占沿海省份总体的 54.55%;处于较高水平和高水平影响的省份共 4 个,占沿海省份总体的 36.36%;处于中等影响水平的省份共 1 个,仅占沿海省份总体的 9.09%(图 3)。

图 3 不同影响水平下的沿海省份数量占比

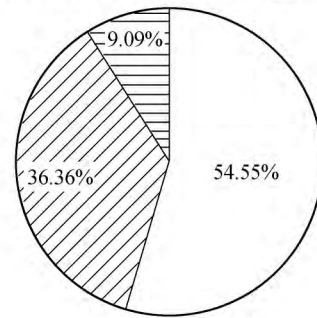


图 3 不同影响水平下的沿海省份数量占比

(2) 海平面上升对我国沿海地区发展的综合影响呈现出“中部低,南北高”的空间分布特征

根据“域内相似、域间差异明显”的原则可以将沿海地区分为北部岸带区(辽宁省、河北省、天津市、山东省),中部岸带区(江苏省、上海市和浙江省),南部岸带区(福建省、广东省、广西壮族自治区、海南省以及台湾省)。通过求取 3 类地区的综合影响指数平均值,可以得出对应地区的综合影响指数值分别为 1.29、0.84、1.01,投射在空间上表现为“中部

表 2 海平面上升对沿海发展影响评价指标体系

目标层	准则层	指标层	性质	单位	含义
扰动性指标	海平面上升情况	相对海平面(较常年)	+	mm	海平面上升的扰动情况
	自然地理状况	大陆海岸线长度	-	km	自然地理状况对海平面上升扰动的影响
		沿海省份平均海拔	-	m	
敏感性指标	经济系统	海洋生产总值	+	亿元	经济系统的敏感性
		占沿海地区生产总值比重	+	%	
	社会系统	涉海就业人数	+	万人	社会系统的敏感性
		人口密度	+	人/km <sup>2</sup>	
	资源环境系统	水资源总量	+	亿 m <sup>3</sup>	资源环境系统的敏感性
	近海岸湿地面积	+	10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>		
应对性指标	经济系统	R&D 经费收入	+	千元	科技投入能力
		固定资产投资	+	亿元	经济恢复能力
	社会系统	市政公用设施建设维护与管理财政性资金支出	+	万元	区域公共事物管理能力
		市政公共设施建设固定资产投资	+	万元	公共服务供给能力
	资源环境系统	海洋类型自然保护区建设面积	+	km <sup>2</sup>	区域资源环境系统快速恢复的能力

低,南北高”的特征。造成这种空间分布特征的可能原因在于中部岸带所涵盖的省份均为传统意义上的发达省份,其优越的地理位置、发达的经济基础使得其有足够的应对海平面上升的影响。北部岸带以及南部岸带涵盖部分发达省份,但由于区域内多数省份的经济发展水平较低,因此整体社会经济发展水平低于中部岸带,这使得其应对海平面上升影响的能力有所不足。

(3) 海平面上升对沿海地区发展的综合影响指数与扰动性指数、敏感性指数和应对性指数的关联性有所差异

理论上,扰动性指数反映了海平面上升对沿海地区的潜在影响程度,其水平值越高,说明潜在影响程度大,扰动性指数和综合影响指数间应呈现出正相关关系。但是,从实证分析结果发现,广东省和海南省的扰动性指数值较高,但其综合性影响指数值却较低,这从侧面说明海平面上升对沿海地区发展的最终影响具有不确定性。敏感性指数反映沿海地区各个系统面对海平面上升扰动的易损程度,其指数值越高,系统的易损程度越高,因而从理论上也存在和扰动性指数类似的假设,即敏感性指数与综合影响指数呈现正相关关系。然而,实证分析结果表明,某些省市(如上海市和辽宁省)存在和理论假设相违背的结果,因而系统敏感性与海平面上升对沿海发展影响的最终结果也同样存在不确定性。应对性指数反映在面临海平面上升时沿海地区自身的应对能力,其指数值越高,系统抵御能力也越强,系统受到海平面上升的影响越低。从这点看,应对性指数和综合影响指数间存在理论上的负相关关系,而从实证分析的结果也验证了这一理论假设的合理性(表3)。

表3 海平面上升对沿海地区发展影响指数

主要省市、自治区	扰动性指数	敏感性指数	应对性指数	综合影响指数	等级
辽宁省	0.0054	0.0203	0.0325	0.79	较低水平
河北省	0.0073	0.0226	0.0137	2.19	高水平
天津市	0.0085	0.0201	0.0159	1.80	较高水平
山东省	0.0049	0.0140	0.0498	0.38	低水平
江苏省	0.0069	0.0139	0.0414	0.50	低水平
上海市	0.0100	0.0163	0.0204	1.29	较高水平
浙江省	0.0056	0.0189	0.0334	0.73	较低水平
福建省	0.0075	0.0174	0.0232	1.07	中等水平
广东省	0.0078	0.0115	0.0488	0.39	低水平
广西自治区	0.0066	0.0230	0.0172	1.72	较高水平
海南省	0.0076	0.0195	0.0322	0.84	较低水平

## 五、结论与启示

笔者在借鉴SPRC分析模型的基础上,按照“源—途径—受体—影响”的研究思路构建海平面

上升对我国沿海地区发展影响的理论分析框架,重点梳理和分析海平面上升对沿海资源子系统、环境子系统、经济子系统和社会子系统的影响,并在此基础上定量分析海平面上升对沿海地区发展的影响。

此次研究表明:①从海平面上升对沿海地区发展影响的定性分析发现,海平面上升对沿海地区发展的影响并不是直线影响,而是复杂的多线型影响。海平面上升不仅影响水土资源的数量和质量,而且与之相关的湿地生态系统和水生生态系统的功能也会随着海平面的上升而减弱。此外,海平面上升还会通过连带性海洋灾害破坏生产设施,影响沿海经济以及社会的可持续发展。②从海平面上升对沿海地区发展影响的定量研究可以看出,海平面上升对我国沿海地区的综合影响处于中等水平,并且综合影响指数在空间上呈现出“中部低,南北高”的空间分布特征。同时,综合影响指数与相关指数的关联性分析表明,扰动性指数和敏感性指数与综合影响指数的关联性不明确,而应对性指数与综合影响指数呈现出明显负相关关系。

综上所述,海平面上升对沿海地区发展的影响是多方面的,其本质体现海平面上升扰动源、地区系统敏感性和应对能力之间的关系,定量研究发现地区系统应对能力在抑制海平面上升对沿海发展影响方面具有明显的作用。因此,沿海地区需要从提升应对能力的视角来缓解海平面上升给沿海发展带来的影响,而在提升应对能力的过程中,则需要通过工程措施和非工程措施两方面共同推进。①从工程措施看,首先提高海平面预测精度。海平面上升趋势和速度的准确预测是海平面上升风险化解机制构建的前提。在科学预测海平面上升的过程中,需要建立多层次数据采集渠道,完善现有海洋监测站网络,以便获取准确的海平面监测数据,同时还应该不断更新和改进海平面上升的预测方法,以提高海平面的预测精度。其次建立完善的动态评估机制。由于海岸地貌地形条件的差异,使得海平面上升对沿海地区的影响程度也不同,因此需要在海平面上升准确预测的基础上围绕海岸带的主要受影响方面建立有区域差异的动态评估机制,为针对性地制定预防对策提供科学的依据。再次提升海防工程的建设标准,提升海防工程抵御灾害的能力。要做好城市利用规划,合理布局城市的发展规模和发展方向,完善基础设施建设,特别是要改进和完善城市的给排水系统,并做好城市水源地的保护工作。②从非工程措施看,一方面,需要建立健全海平面上升的预防政策体系。政策先行是海平面上升预防实践的首要环节,由于海平面上升具有缓发性,使人们并未能及时

意识海平面上升可能带来的潜在影响,因此需要国家和地方政府前瞻性的提出预防措施,以积极引导各地区、各部门积极参与到海平面上升的预防上来。另一方面,重点提升民众的防灾减灾意识,加大海平面上升信息的公开力度,并建立起良好的国际合作关系,吸收国外先进经验为推进我国海平面上升研究提供智力支持。

#### 参考文献:

- [1] 国家海洋信息中心.2015年中国海平面公报[EB/OL]. [2016-03-28]. [http://www.coi.gov.cn/gongbao/haipingmian/201603/t20160328\\_33812.html](http://www.coi.gov.cn/gongbao/haipingmian/201603/t20160328_33812.html).
- [2] 王芳,田素珍.海平面上升对珠江三角洲地区的社会经济及环境影响研究[J].中国减灾,2000,10(2):33-37.
- [3] 程和琴,塔娜,周莹等.海平面上升背景下上海市长江口水源地供水安全风险评估及对策[J].气候变化研究进展,2015,11(4):263-269.
- [4] 陈祖军,施晓文,毛兴华.长江口海平面上升对崇明三岛除涝安全的影响研究[J].气候变化研究进展,2015,11(4):239-244.
- [5] 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.
- [6] 李猷,王仰麟,彭建等.海平面上升的生态损失评估:以深圳市蛇口半岛为例[J].地理科学进展,2009,28(3):417-423.
- [7] 林峰竹,王慧,张建立等.中国沿海海岸侵蚀与海平面上升探析[J].海洋开发与管理,2015,32(6):16-21.
- [8] 李莎莎,孟宪伟,葛振鸣等.海平面上升影响下广西钦州湾红树林脆弱性评价[J].生态学报,2014,34(10):2702-2711.
- [9] HOLDGATE M W. A perspective of environmental pollution [M]. New York: Cambridge University Press, 1979.
- [10] MORRIS M W, SAMUELS P. Flood site (integrated flood risk analysis and management methodologies): research relevant to the dams industry [C]. Proceedings of the 14<sup>th</sup> Conference of the British Sam Society: Improvements in Reservoir Construction, Operation and Maintenance, London: 2006.
- [11] MONBALIU J, CHEN Z, FELTS D et al. Risk assessment of estuaries under climate change: lessons from Western Europe [J]. Coastal Engineering, 2014, 87 (5): 32-49.
- [12] 章穗,张梅,迟国泰.基于熵权法的科学技术评价模型及其实证研究[J].管理学报,2010,7(1):34-42.
- [13] 陈守煜.工程模糊集理论与应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
- [14] 程和琴,王冬梅,陈吉余.2030年上海地区相对海平面变化趋势的研究和预测[J].气候变化研究进展,2015,11(4):231-238.
- [15] 康蕾,马丽,刘毅.珠江三角洲地区未来海平面上升及风暴潮增水的耕地损失预测[J].地理学报,2016,70(4):1375-1389.
- [16] 傅崇辉,王文军,赵黛青等.我国珠三角地区经济社会系统对海平面上升的敏感性分析——属性层次模型的应用与扩展[J].中国软科学,2012(12):103-113.
- [17] 肖笃宁,韩慕康,李晓文等.环渤海海平面上升与三角洲湿地保护[J].第四纪研究,2003(3):237-246.
- [18] 国家海洋信息中心.2014年中国海平面公报[EB/OL]. [2015-03-26]. [http://www.coi.gov.cn/gongbao/haipingmian/201503/t20150326\\_32297.html](http://www.coi.gov.cn/gongbao/haipingmian/201503/t20150326_32297.html).
- [19] 严恺.中国海岸带与滩涂资源综合调查报告[M].北京:海洋出版社,1991.
- [20] 杨桂山.中国海岸环境变化及其区域响应[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [21] 杨桂山,施雅风,季子修等.江苏沿海地区的相对海平面上升及其灾害性影响研究[J].自然灾害学报,1997(1):90-98.
- [22] 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:地球科学),2000(3):225-232.
- [23] 潘懋,李铁峰.灾害地质学[M].北京:北京大学出版社,2012.
- [24] 莫永杰.海平面上升对广西沿海的影响与对策[M].北京:科学出版社,1996.

(责任编辑:高虹)

