

# 全球气候变化与河口城市气候脆弱性生态区划研究\* ——以上海为例

## Global Climate Change and Strategy of Eco-Zoning for Climate Vulnerability of Estuary City——A Case Study of Shanghai

王祥荣 凌焕然 黄舰 樊正球 王原 雍怡 文章编号1673-8985 (2012) 06-0001-06 中图分类号TU981 文献标识码A

**摘要** 在分析全球气候变化影响及世界主要河口城市应对策略的基础上,提出了建设资源节约型与环境友好型城市的概念、内涵、运行模式以及河口城市上海在全球变化影响下的气候脆弱性生态区划及适应性对策。

**Abstract** *On the basis of analyzing the impact of global climate change and strategy of principal estuary cities and regions in the world, the conception, connotation and running model for the construction of resource-saving and environmental-friendly city are studied in this paper. The eco-zoning of climate vulnerability and adaptation strategy for the city of Shanghai, a metropolis of Yangtze Estuary, are provided as well.*

**关键词** 全球气候变化 | 气候脆弱性生态区划 | 适应性对策 | 上海

**Keywords** *Global climate change | Eco-zoning of climate vulnerability | Adaptation strategy | Shanghai*

### 作者简介

**王祥荣**  
复旦大学城市生态规划与设计研究中心主任,教授,博士生导师  
上海市生态学会理事长  
上海市建交委科技委环境与绿化专业委员会主任

**凌焕然**  
复旦大学城市生态规划与设计研究中心硕士研究生

**黄舰**  
复旦大学城市生态规划与设计研究中心博士研究生

**樊正球**  
复旦大学城市生态规划与设计研究中心副教授

**王原**  
复旦大学城市生态规划与设计研究中心博士后

**雍怡**  
复旦大学城市生态规划与设计研究中心博士  
WWF(世界自然基金会)上海办事处项目官员

### 0 引言

全球气候变化及其生态效应已成为近年来人们最为关注的环境问题之一,它将会导致海水变暖和膨胀,加速极地冰川和冻土的融化,造成海平面上升等等,全球气候变化对整个地球生态系统和自然生态系统可能造成的生态后果,表现为直接或间接影响人类健康、城市发展、产业布局、土地利用、生物多样性、森林生态系统、水资源、海岸带、农业生产等,海拔降低的地区将面临被淹没的危险。2009年在哥本哈根,2010年在墨西哥坎昆及2011年在南非德班相继召开的“全球气候大会”既显示了国际社会对全球气候变化影响的担忧,也显示了对“节碳减排”的国际需求及政治化倾向,将形成发展中的又一个“绿色门槛”。

目前,全球50%-70%的人口分布在海岸带,60%的我国人口集中在距海岸线60公里的范围内;全球受风暴潮影响的人口有4 600万,海平面如上升50厘米将使受灾(淹没和风暴潮)人口增加到9 200万,如上升100 厘米,受灾人口将达到11 800万<sup>[1]</sup>。

我国长期以来所延续的粗放式增长方式,已经带来了越来越难以承受的资源环境的压力。2005年3月,中国工程院33位院士联合呼吁——建设节约型社会是我国经济社会可持续发展的唯一出路;2005年胡锦涛总书记在中央人口资源环境工作座谈会上首次提出了建设“资源节约型、环境友好型社会”(两型社会)的号召;温家宝总理在十届全国人大四次会议上所作的政府工作报告,也提出要加快“建设资源节约型、环境友好型社会”。这是加快转变我国经济增长方式,缓解资源约束和全球变化的环境压力,提高经济增长的质量和效益,实现节约发展、清洁发展、安全发展和可持续发展的重要抉择。2005年5月,在北京《财富》全球论坛上,中国宣告将大力发展循环经济,建设资源节约型、环境友好型社会。同年召开的中国共产党第十六届五中全会上,中共中央正式将建设“资源节约型、环境友好型社会”确定为国民经济与社会发展中长期规划的一项战略任务;2012年11月召开的党的“十八大”又进一步明确提出了加强生态文明建设的任务。在党中央和国

\*基金项目:2012上海市气象局科技开发项目“上海市气候变化适应性对策研究”,2006年度国家社会科学基金重大项目(06&ZD024)“建设资源节约型和环境友好型社会的理论与政策研究”及国家科技部支撑计划项目“城镇绿地标准化生态信息获取与综合评价关键技术研究”(2008BAJ10B01-02)资助。

务院的倡导下,我国越来越多的地方政府也意识到了将增长方式向资源节约和环境友好方式的转变已刻不容缓,相继制定了建设“资源节约型和环境友好型社会”的发展战略规划。

长江三角洲地区是我国人口最多、经济最繁荣的地区之一,濒江临海,对全球气候变化的影响十分敏感,而上海作为长江三角洲的河口城市、我国的经济中心之一,一个超过2 300万人口的超大型城市,位于全球最大大陆(亚欧大陆)上最长河流(长江)进入全球最大海洋(太平洋)的入海口,具大陆特性与海洋特性交汇的特点,地理区位独特,同时也受到全球气候变化的深刻影响<sup>[2]</sup>。因此,以建设“资源节约型、环境友好型城市”的理论为指导,开展全球气候变化背景下河口城市气候生态脆弱性区划及适应性对策的研究具有十分重要的意义,对上海的案例分析也可为其他同类型城市提供借鉴。

## 1 世界主要河口城市应对全球气候变化的对策措施

在应对全球气候变化的对策措施上,世界上一些河口城市和地区采取了相应的措施:

### 1.1 英国伦敦

采取的具体措施为:

(1) 能源:推广清洁能源策略——通过发展新的清洁技术(氢、天然气)实现可持续,发展能源的框架是其对伦敦经济发展的重大贡献;

(2) 交通:征收车辆拥挤费——对车辆高峰期的车辆征收拥挤费的政策;

(3) 规划和建设:政府建立“伦敦气候变化署(London Climate Change Agency)”负责规划和建设;

(4) 社区和组织:组织“绿色家居服务”、“绿色组织”、“更美好家居伙伴关系”。

### 1.2 德国汉堡

采取的具体措施为:

(1) 交通和能源:小排量汽车的应用与市

民节能意识的宣传;

(2) 绿色建筑,绿色生活:港口新城的所有建筑都要求必须符合最高标准的环保等级;

(3) 动员全民应对气候变化;

(4) 超前意识的规划:在汉堡新城区的规划过程中充分考虑气候变化可能带来的不利影响,基础设施建设相当牢固,增加应对极端事件的能力。

### 1.3 美国休斯顿

采取的具体措施为:

(1) 规划和交通:妥善处理土地利用,城市交通及人口与经济的流动性关系;

(2) 替代能源:设计更具弹性的能源系统,降低能源强度并且有能力应付该地区在全球气候变化影响下的极端天气状况;

(3) 强化公私部门伙伴关系:发挥和它们的伙伴关系作用,共同应对气候变化,政府要作为监护者对任何私人机构采取监管;

(4) 监测空气环境质量:研究全球气候变化与人类健康之间的关系及极端天气,利用卫星观测和实地测量,量化休斯顿生态足迹;

(5) 建立洪水应急响应模型:开展模型的应用和比较案例研究,了解不同组成部分的洪水状况,提出相应对策。

### 1.4 澳大利亚昆士兰州

采取的具体措施为:

(1) 支持可再生能源和新能源技术,提高能源利用效率:实施13%的天然气计划、太阳能热水回扣计划、投资氢燃料电池、支持私人投资发展创新的能源技术;设立5 000万美元昆士兰可再生能源基金、推进洁净煤技术、排放权交易是一个关键的中期和长期战略、落实国家的排放权交易制度;

(2) 鼓励Eco-Biz/Eco-Industry(生态商业与生态工业):通过各种各样的机制包括直接奖励、利率补贴或者让步低息贷款,对减少温室气体排放的企业提供支持;碳抵消政策——建立国家排放权交易制度;绿色投资——补偿任何不可避免的负面影响;

(3) 推广植被管理法:利用人工林固碳,开发乙醇燃料;

(4) 建设生态社区。

## 2 资源节约型和环境友好型城市的概念与运作模式

从国内外研究经验来看,建设“资源节约型和环境友好型城市”(简称“两型城市”)是指在生产、分配、流通和消费等领域,通过采取技术、经济、法律和行政等综合性措施,提高资源的利用效率和环境友好的水平,优化配置有限的资源,以最小的资源消耗和环境代价,获得最大的经济、社会和生态收益,以保障经济、社会、资源和环境的协调发展和可持续发展。它是一种全新的社会发展模式,它要求在城市发展中既要尽可能少地消耗资源,减少破坏环境,并且能够尽量循环利用资源,补偿环境,又要保证全社会较高的福利水平<sup>[3]</sup>。还有学者提出了“建设资源节约、环境友好的先锋城市”的概念<sup>[4]</sup>。

建设“两型城市”应“以人与自然和谐为本”,注重经济效益、社会效益和环境效益的统一。要采取有利于生态环境保护的生产方式、生活方式和消费方式,建立人与环境和谐互动的关系;而良好的环境也会促进生产的发展、改善人们的生活,实现社会协调发展。其核心内涵是将生产和消费活动规制在生态承载力、环境容量限度之内,通过生态环境要素的质态变化形成对生产和消费活动进入有效调控的关键性反馈机制,特别是通过分析代谢废物流的产生和排放机理与途径,对生产和消费全过程进行有效监控,并采取多种措施降低污染产生量、实现污染无害化,最终降低社会经济系统对生态环境系统的不利影响<sup>[5]</sup>。

关于“两型城市”的运作模式,近些年来学者们提出了不少观点与设想,如绿色城市、健康城市、生态城市<sup>[6]</sup>、园林城市、宜居城市、低碳城市等。它们的基点是可持续发展,即强调城市长期持续性发展能力,拥有确保环境、生态的安全和稳定的资源基础,保证代际平等和代内公平,最大程度地避免社会、经济大起大落的波

动;但各自的侧重点又有所不同,因此可以被理解为是建设“两型城市”的若干运作模式。

无论从“两型城市”运作的何种模式看,资源与环境问题都紧密相联。资源节约是人类赖以生存的物质基础和约束条件,环境友好则是人类社会可持续发展的重要目标。建设“两型城市”,不仅需要先进的技术,还需要政府、企业以及个人具有资源节约和环境友好的良好意识。

只有这样,才能在城市发展中抓好节地、节水、节材、节能等环节,促进环境友好。另一方面,需要积极完善政府的政策保障机制,以及相关评价、规划标准与规范的制定,尤其是构建由资源与环境友好关键因子组成的预警系统与应对全球气候变化的适应性对策体系,才能更好地对人类的行为活动如大型工程以及重点项目的实施及时做出预警,避免资源与环境灾难的发生。

### 3 上海气候生态脆弱性区划及适应性对策研究

位于我国长江河口与东海口岸的上海,是较为典型的河口海岸城市,但同时又是一个现代化程度高、人口稠密的国际大城市。如何协调好城市经济、社会发展、资源节约和环境保护之间的关系,有效减缓气候变化对上海城市发展的不利影响、提高应对气候变化的适应能力是上海建设“两型城市”过程中面临的一项重大课题。

#### 3.1 研究方法——上海气候变化生态脆弱性指数计算

以2008年3月TM遥感影像图、2008年上海市土地利用图以及相关生态因子的空间基础信息为评价资料,选取城市地貌类型、NDVI指数、海岸带滩涂、主要水系、地表水环境、水文地质、生物多样性保护等空间因子,构建“上海气候变化脆弱性指数(SHEVI)”评价模型:

SHEVI计算公式为:

$$SHEVI = \sum_{k=1}^3 A_k \cdot W_k$$

式中, SHEVI 为上海气候变化生态脆弱性指数

- $A_k$ 为某二级指标指数;

- $W_k$ 为所属二级指标的权重。

通过以上模型并对各评价指标监测结果进行归一化处理、叠加权重因子(表1),分别测算出“风险度指数(RI)”、“敏感度指数(SI)”、“响应度指数(AI)”3个二级领域指数,以及7个三级主题指数;在此基础上,加权构建“脆弱性指数”(SHEVI),计算出上海1998—2006年间气候变化脆弱性指数(SHEVI)的大小。SHEVI的值介于0—1之间,0和1分别对应1998—2006年间在上海气候变化脆弱性的最低值和最高值,数值越大,表明脆弱度越高;反之则越小。

评价模型构建从气候变化风险度和敏感度的双重角度,考虑气候变化背景下上海区域主要人为胁迫因子和生态环境响应的关键问题,基于GIS空间栅格叠置模块,综合开展脆弱度评价,辨识脆弱度较高的关键区域。风险度评价重点要考虑到河口地区的快速城市化进程、人口扩张、社会经济的发展,一方面会导致

和促使该地区气候变化;另一方面,也将对区域的生态环境资源产生胁迫和压力。重点从社会经济压力角度,选取相关因子,如人口压力、工业总产值、单位GDP能耗、城市化水平等,基于GIS平台,综合评价不同区域社会发展对气候变化以及生态资源胁迫的综合压力生态风险度系数,并生成空间分布格局。敏感度评价主要选取相关因子地形地貌、植被保育、滩涂湿地、水系廊道保护、水环境保护、环境地质、地面沉降、生物多样性保护等气候变化敏感生态因子,基于GIS平台,综合评价上海市的气候变化敏感性,并生成空间分布格局。敏感度具体评价指标选取包括:(1)海岸带和河口——地形地貌;(2)植被——NDVI指数;(3)滩涂湿地——海岸带滩涂湿地空间分布;(4)水系分布——主要水系保护;(5)水环境区划——水环境功能区划;(6)地质——环境地质区划;(7)地下水——地面沉降;(8)生物多样性——自然保护区。表1所示为气候变化背景下上海生态脆弱性指标的权重。

#### 3.2 气候变化的影响分级

表1 气候变化背景下上海生态脆弱性指标权重

领域层	权重	主题层	权重	指标层	权重		
风险度	0.2360	气候变化	0.1618	海平面上升与海水水文状况	0.2500		
				极端气候灾害	0.2500		
				降水	0.2500		
				气温	0.2500		
				经济发展压力	0.2000		
				流域开发	0.2000		
		人为胁迫	0.8382	社会	0.9479	人口压力	0.2000
						土地扩张	0.2000
						污染排放	0.2000
						人类健康	1.0000
敏感度	0.3223	自然环境	0.0521	水资源	0.3333		
				植被	0.3333		
				土壤	0.3333		
响应度	0.4417	教育宣传	0.3981	教育水平	1.0000		
				经济总体状况与效率	0.5000		
		经济应对能力	0.2578	生态建设与污染控制	0.3441	相关投资力度	0.5000
						生态建设	0.5000
				污染控制	0.5000		

表2 气候变化影响层次

层次	影响研究范围		影响类型
I级	生态环境	非生物因子变化	海水酸化、地表径流增加(或减少)、土地水平衡失调等
II级		生物因子变化	物种多样性变化、生物数量、结构、分布、行为变化等
III级	经济社会	生产和生活变化	农业、渔业、林业、就业、交通、居住、医疗、能源、水资源分配、居民健康等

气候变化的影响是多方面的,并且有些影响具有很大的不确定性。受影响的各因素之间又产生链式交互影响。气候变化造成的间接影响也可能大于由其造成的直接影响,受影响的诸方面对气候变化也随着区域环境特征的不同表现出不同的响应。根据气候变化的影响对象,本文将气候变化的影响分为3级(表2)。

由表2可见,气候变化I级和II级对生态环境变化的影响可以归纳为气候变化的直接影响,作用于河口城市的自然生态系统。上海城市是一个规模庞大、关系复杂的多目标、多层次、多功能的动态生态系统。作为海、河、陆三相交汇处的河口城市,上海虽然面积不大,但涉及的生态系统类型却复杂多样。城市化地区以外的自然生态系统是上海城市得以发展的基础,河口城市上海独特的地理区位使其具有与一般城市不同的自然生态系统格局,包括了近海海洋生态系统、农田生态系统、森林生态系统、河流湖泊生态系统和滩涂湿地生态系统。I级自然变化的影响是气候变化对自然亚系统中非生物因子的影响。II级生态变化的影响是气候变化对自然生态系统中的生物因子的影响,主要体现在对生物资源的数量、结构、分布和行为的影响上。气候变化III级对经济和社会的影响可以归纳为气候变化的间接影响,影响到河口城市中主体的生产和生活,是气候变化对与城市主体——人相关的领域的影响,如产业(农业、渔业、林业)、交通、居住和健康等。气候变化的影响对象从I级到III级是一个生态系统演进的过程,其影响由直接到间接,由简单到复杂。

### 3.3 上海气候变化脆弱性生态区划与适应性对策

在上述研究基础上,通过专家支持系统,对各类因子进行不同敏感等级的分级和赋值,并基于GIS平台上进行空间叠置分析,从而生成了上海市气候变化生态脆弱性综合区划(图1)。

#### 3.3.1 一级脆弱区

一级脆弱区的面积为447.66平方公里(图2),主要分布在崇明东滩、东平国家森林公园、佘山国家森林公园、受长江口南支影响的湿地、淀山湖一带的淀柳洼地、黄浦江上游水源地保护区、黄浦江及沿岸缓冲区。

#### 主要问题:

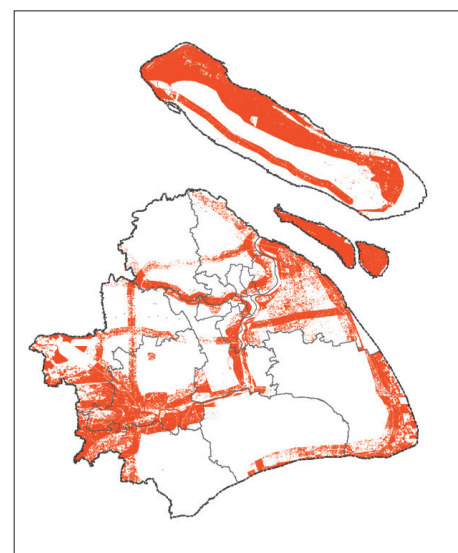
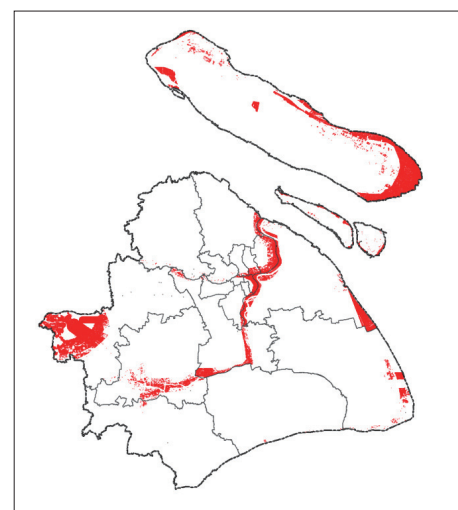
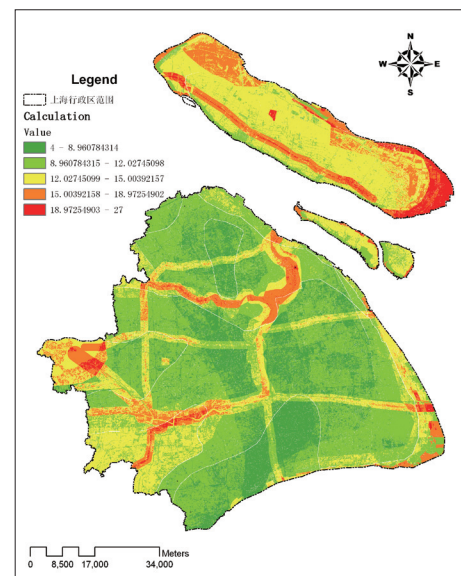
(1) 海平面上升会造成海岸侵蚀和滩涂湿地的减少,会对湿地植被的结构、行为、时空分布产生影响。崇明东滩是上海市重要湿地,具有丰富的生物多样性。区内有中华鲟自然保护区、鸟类自然保护区,同时也是“东亚—澳大利亚”候鸟迁徙路线的一个重要驿站。近年来,崇明东滩岸段岸滩侵蚀较为严重。滩涂湿地的减少及环境要素的变化可能会影响鸟类的生境,从而影响鸟类的迁移。

(2) 东平和佘山国家森林公园具有丰富的物种多样性,有国家珍稀保护物种。气候变化会导致这些区域的生物多样性减少。

(3) 气候变化和海平面上升会加剧风暴潮的发生频率和强度,可能会增加长江口发生咸潮入侵的频率和强度,引起黄浦江咸潮上溯,从而影响水源地保护区水质。

(4) 咸潮入侵会造成生物生境的改变,可能造成生物多样性减少。

(5) 上海的淀山湖也有大面积的富营养化污染。气温升高也可能加剧河流和湖泊中藻类的大量繁殖,扩大富营养化污染水体面积和藻



1 上海气候变化脆弱性综合区划  
2 上海气候变化脆弱性一级区划  
3 上海气候变化脆弱性二级区划

类爆发的频率,严重影响水质和水环境。

对策措施:

(1) 强化应对海平面升高的适应性对策。采取护坡与护滩相结合,工程措施与生物措施相结合,提高设计坡高标准,加高加固海堤工程,强化沿海地区应对海平面上升的防护对策。采取陆地河流与水库调水、以淡压咸等措施,应对河口海水倒灌和咸潮上溯。

(2) 加强海洋环境的监测和预警能力。增设沿海和岛屿的观测网点,建设现代化观测系统,提高对海洋环境的航空遥感、遥测能力,提高应对海平面变化的监视监测能力。建立沿海潮灾预警和应急系统,加强预警基础保障能力,加强业务化预警系统能力,加强预警产品的制作与分发能力,提高海洋灾害预警能力。

(3) 严格控制滩涂围垦和填海。对围垦滩涂和围填海活动要科学论证,依法审批。严禁围垦沿海沼泽草地、芦苇湿地。

(4) 在崇明东滩自然保护区建立长期监测站点,检测该区域的岸线变化、自然环境和物种变化。

(5) 适度控制东平国家森林公园和佘山国家森林公园的开放度,减少人为干扰。

(6) 提高水源地风险管理意识。

(7) 构建水源地突发污染事故的有效防范体系,切实降低突发事故发生的概率。建设和完善水源保护区水路运输管理系统,有效防止船舶污染,全面禁止在水源保护区水路运输危险品。建立水源安全预警制度,定期发布饮用水源地水质监测信息。

(8) 完善水源地突发污染事故应急预案,提高安全防范和应对能力,建设水污染事故应急处理物资储备中心,提高应急处理处置能力。

(9) 进一步开辟长江供水水源,建立黄浦江和长江两江取水多水源供给的格局,确保城市供水安全。

(10) 建设好长江青草沙水库及引水工程,完成长江陈行引水三期工程;形成“两江并举、多源互补”的水源地规划格局:完成黄浦江上游引水浦东金川支线、陇西至徐泾、长江陈行水库至嘉定原水工程。

### 3.3.2 二级脆弱区

二级脆弱区面积1 849.07平方公里(图3),主要分布在崇明岛北部、崇明岛主要水系(南横引河)、横沙、长兴两岛、南汇口、杭州湾沿海滩涂湿地和上海的主要水系。

主要问题:

(1) 崇明北部、横沙岛和长兴岛是新河口沙岛区域,海平面相对较低,且多面临海。其周边一带与南汇口和杭州湾沿海都分布有丰富的滩涂湿地资源,随着海平面上升,海岸区域将遭受洪水泛滥和湿地丧失。海岸滩涂的损失还将导致护岸工程安全系数的下降。若加上风暴潮影响,横沙岛和长兴岛还有被淹的可能性。

(2) 上海水资源对外依赖性较大,长江流域及太湖流域的流量一旦发生较大变化或水质出现严重问题将对上海水资源的供应造成巨大的影响。长江下游径流量和径流年内分配变化将影响上海现有供水系统的可靠性、恢复性和脆弱性,从而影响水资源的可持续利用。

(3) 气候变暖导致海水温度升高、大洋环流变化及海水中溶解的二氧化碳浓度的增加会导致海洋酸化。由此引起水体成分的变化,间接影响海水水质。加之相对海平面上升引起海水倒灌,侵入地表径流,将严重影响上海地表水质。

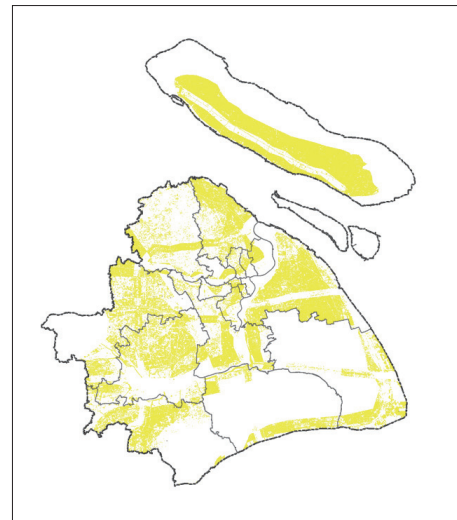
(4) 海平面上升导致低洼地向外排水能力下降,加剧洪涝灾害。台风侵袭,水位不断升高将导致风暴潮频率和强度增加。洪涝及风暴潮灾害都将影响城市水体循环,加之当前上海内河河道及近海水域的水质污染,海平面上升对上海水质影响不可低估。

对策措施:

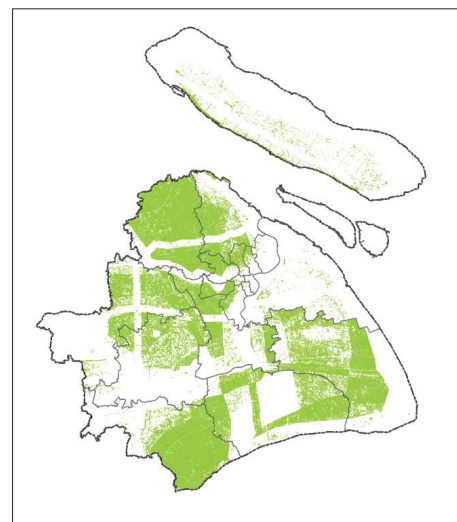
(1) 建立合理的海岸带综合管理制度、综合决策机制以及行之有效的协调机制,及时处理海岸带开发和保护行动中出现的各种问题。建立综合管理示范区。

(2) 大力营造沿海防护林,建立一个多树种、多层次、多功能的防护林工程体系。

(3) 合理利用岸线资源。开展海岸调查评价,制定海岸利用和保护规划。深水岸线优先保证重要港口建设需要。



4



5

(4) 加强长江口通航航道综合整治和生态环境保护。

(5) 制定和完善海啸、风暴潮、赤潮及化学品泄漏、油泄漏、核泄漏、海难、工程设施损毁等应急预案。

(6) 提高沿海重大工程设施的防护标准,提高港口码头设计标高,调整排水口的底高。

(7) 建立应急预案。建立规范、高效的气象灾害应急体系,形成信息畅通、反应迅速、处置高效的应急处置机制,提高气象灾害应急处置能力,最大限度地减轻气象灾害及其造成的人员伤亡和财产损失,保障经济持续稳定发展和城市安全运行。

### 3.3.3 三级脆弱区

4 上海气候变化脆弱性三级区划

5 上海气候变化脆弱性四/五级区划

三级脆弱区面积为1 660.11平方公里(图4),主要分布在崇明岛南带、宝山区、浦东新区及闵行区、上海市中心区和金山区西部。

主要问题:

崇明岛南带是老河口沙岛区域,相对北带海平面较高,但同样多面临海,仍受到海平面上升对其的威胁。

宝山区、浦东新区及闵行区不仅是重要的工业集中区,也是一级地下水开采强度区域。其受到人为干扰的影响较大,由此产生的资源压力和污染也比较严重。

上海市中心区是高及较高建设强度区,人口密度非常高,受到人为胁迫的压力较为突出,表现为城市热岛效应等。气候变暖对中心区的水资源和能源供应造成巨大的负担,也对人类健康造成一定的威胁。尤其是老年人和儿童的应对能力较弱。呼吸道疾病和心脏病多发。金山区西部属于景观A用水区(Ⅲ类水质区),同时也是地质环境较为复杂和相对脆弱的区域,由于地下水开采导致的地面沉降较为严重,海平面较低。受到人为干扰的影响较大,影响到该区域的可开采能力和水质。

对策措施:

建立完善的极端气候预警系统。组织成立一个专门的预警小组,负责上海地区的极端气候预报工作。电台、电视配合发布橙色、红色警报。

在工业区建立生态工业园,进行试点工程的建设,实现产业园的资源内循环,提高资源的利用效率。合理使用能源,做到能源循环利用,对于高耗能化工、炼钢、火电厂周围居住区使用冷却水作为采暖热源进行供暖。

鼓励使用清洁能源。改变能源结构,减少二氧化硫、二氧化碳的排放。应推出政策,对于不同的发电方式的电价做出调整。

进行产业结构的调整,由重工业转向轻工业,加大高新技术产业的投资和发展力度。

制定相应的法律并以此为基准确立相关工厂评估制度,对工厂实行评估及规定其减排尺度。关闭高耗能、高排放、高污染、违法排污的企业工厂,对未达成减排标准的单位予以罚款。

大力研发和推广新型疫苗。对已有控制手段的传染病及其变种,对原有疫苗加以改进并普及。

宣传自我急救。以社区为单位,宣传自我急救的重要性。

控制沿海地区地下水超采和地面沉降,对已出现地下水漏斗和地面沉降区进行人工回灌。

#### 3.3.4 四级/五级脆弱区

四级/五级脆弱区面积为2 383.65平方公里(图5),主要分布在嘉定区、奉贤区东部、南汇区、金山区东南部、青浦区北部和奉贤区西部和南汇区南部。

主要问题:

该区域属于较低和低建设强度区,人口密度较低,大部分属农田。

区域碳储量较大,但相应的人均产值较低,从经济上应对气候变化的能力较为薄弱。

对策措施:

进行产业结构的调整,加大生态农业建设,控制农药和化肥的施用;

推进城市森林建设,提升植被的碳汇功能;进一步推广秸秆等的处理技术,促进能源结构向沼气为主发展。并选育低排放的高产水稻,研究及发展微生物技术,降低稻田甲烷排放强度。

协同发展“农家乐”生态旅游与生态系统保护。宣传教育改善其生态脆弱性的重要性,以应对气候变化的胁迫。

#### 注释

图1-图5资料来源于本基金项目研究成果。作者自绘。

#### 参考文献 References

- [1] 王祥荣,王原主编.全球气候变化与河口城市脆弱性评价——以上海为例[M].北京:科学出版社,2010.  
WANG Xiangrong, WANG Yuan. Global Climate Change and Vulnerability Assessment of Estuary City—A Case Study of Shanghai[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [2] 王如松,王祥荣主编.城市生存与发展的生态服务功能研究[M].北京:气象出版社,2004.  
WANG Rusong, WANG Xiangrong. Research on Ecological Service Function of Urban Survival and Development[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2004.
- [3] 李宗植.建设资源节约型社会[J].经济问题,2006(1).  
LI Zongzhi. Resources-saving Society Construction[J]. Issues in Economy, 2006(1).
- [4] 陈秉利.以科学发展观重新认识我国房地产——兼议建设资源节约、环境友好的先锋城市[J].上海城市规划,2010(4):13-16.  
CHEN Bingzhao. To Know the Real Estate Industry by the Concept of Scientific Development—discussion on constructing a resource-effective and eco-friendly vanward city[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2010(4):13-16.
- [5] 石磊,陈吉宁,张天柱.循环经济型生态城市规划框架研究——以贵阳市为例[J].中国人口·资源与环境,2004(3):54-56.  
SHI Lei, CHEN Jining, ZHANGTianzhu. Planning of Eco-city according to Circular Economy Principle—A Case Study of Guiyang City[J]. China Population, Resource and Environment, 2004(3):54-56.
- [6] 王祥荣.论生态城市建设的理论、途径与措施——以上海为例[J].复旦学报(自然版),2001,40(4):349-354.  
WANG Xiangrong. On the Theories, Ways and Countermeasures for the Construction of Eco-city—A Case Study of Shanghai, China[J]. Journal of Fudan University, 2001, 40(4):349-354.