

中国沿海地区

海平面上升风险评估与管理

李响 等 编著

ZHONGGUO YANHAI DIQU

HAIPINGMIAN SHANGSHENG FENGXIAN PINGGU YU GUANLI



海洋出版社

中国沿海地区海平面上升 风险评估与管理

李 响 等 编著

海洋出版社

2015 年 · 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

中国沿海地区海平面上升风险评估与管理/李响等编著. —北京: 海洋出版社, 2015. 5

ISBN 978 - 7 - 5027 - 9146 - 9

I. ①中… II. ①李… III. ①沿海 - 地区 - 海平面变化 - 研究 - 中国
IV. ①P542

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 097332 号

责任编辑: 杨传霞

责任印制: 赵麟苏

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京旺都印务有限公司印刷 新华书店北京发行所经销

2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 15.25

字数: 287 千字 定价: 58.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

《中国沿海地区海平面上升风险评估与管理》

编写人员

主要编写人员：李 响 刘克修 陈满春 牟 林

参与编写人员(按姓氏汉语拼音排序)：

董军兴	段晓峰	范文静	付世杰
高志刚	林峰竹	骆敬新	王 慧
武双全	袁文亚	张建立	张锦文
张增健			

前 言

自工业革命以来,由于人类活动的加剧,石油、煤等化石燃料大规模地使用,以及对土地资源过度地开发利用,导致大气中二氧化碳、甲烷等温室气体浓度急剧上升,引起以变暖为主要特征的全球气候变化。这种变化已经并将持续地对自然生态和人类经济社会系统造成重大的、严重的影响,危及社会经济的可持续发展,是人类社会生存和发展面临的一个巨大挑战。2007年IPCC发布的第四次评估报告(AR4)指出:最近100年(1906—2005年)全球地表温度上升了 $(0.74 \pm 0.18)^\circ\text{C}$,自1850年以来最暖的12个年份中有11个出现在近期的10多年。与前面几次评估报告相比,AR4更明确地指出全球平均温度的升高超过90%的可能性是由于人为温室气体浓度的增加引起的,而全球气候模式(GCM)预估在6种SRES(Special Report on Emissions Scenarios:排放情景特别报告)排放情景下全球平均地表气温将上升 $1.1 \sim 6.4^\circ\text{C}$ 。

与气候变暖的趋势对应,全球海洋亦持续增温,已伸展到3000米深度。南北极冰盖以及冰川的融化、海水的膨胀等,导致全球绝对海平面的持续上升。AR4给出20世纪全球海平面上升0.17米,1961—2003年全球平均海平面平均上升速率为1.8毫米/年,在近期有明显的加剧趋势,1993—2003年平均上升3.1毫米/年。海平面的升高,导致海岸带侵蚀、台风和厄尔尼诺事件强度的加强等。

受气候变化以及沿海社会经济快速发展的影响,我国已成为世界上海洋灾害最频发、灾害程度最严重的国家之一。改革开放30多年来,中国沿海地区的经济高速发展,农村快速城镇化,人口日趋向沿海高度集中,沿海地区大量建设大型基地、工程设施和新兴经济开发区等,是经济活动最为活跃的地区。我国沿海处于脆弱与危险区域的面积有14.39万平方千

米,常住人口逾 7 000 万人,约为全世界处于同类区域人口总数的 27%,气候异常一旦引发极端气候事件,发生严重的海洋灾害,将会带来不可估量的损失。20 世纪 90 年代以来,极端天气过程和海洋灾害频发,沿海地区各类海洋灾害造成的经济损失,每年平均 150 多亿元。“十五”期间,海洋灾害造成的直接经济损失达 630 亿元,死亡人数约 1 160 人,特别是 2005 年的海洋经济损失就有近 330 亿元,将近占同期海洋经济总产值的 2%,占全国各类自然灾害总损失的 16%。2008 年海洋灾害造成 152 人死亡,直接经济损失 206 亿元。海洋灾害造成的经济损失在整体上呈明显的上升趋势,由此,极端气候事件加剧了海洋灾害,并已成为制约我国沿海社会经济发展的重要因素。

气候变化对中国沿海和海岸带的主要影响表现为中国沿海海平面不断上升。中国沿海地区大多地势低平,极易遭受因海平面上升带来的各种海洋灾害威胁。近 30 年来,中国沿海海平面总体呈波动上升趋势,平均上升速率为 2.6 毫米/年,高于全球海平面平均上升速率。海平面上升加剧了我国沿海地区风暴潮、海岸侵蚀、洪涝和海水倒灌等自然灾害的发生,各种海洋灾害发生频率和严重程度持续增加,滨海湿地、珊瑚礁等生态系统恶化,给沿海地区经济发展和人民生活带来多方面的不利影响。特别是长江三角洲、珠江三角洲和渤海湾地区等我国经济发达、高速发展的地区受海平面不断上升的影响尤为明显。珠江三角洲和长江三角洲河道纵横、地势低平,易受洪涝灾害,海平面上升已使堤围防洪标准和市政排水工程原设计标高降低,城镇排水困难、洪涝威胁增大。海平面上升降低了港口码头及仓库的标高,造成受风暴潮淹没的次数增加,港口功能日益减弱,难以适应经济发展的需要。

预计未来中国沿海海平面将继续上升,而目前中国海洋环境监视监测能力明显不足,应对海洋灾害的预警能力和应急响应能力已不能满足应对气候变化的需求,沿岸防潮工程建设标准较低,抵抗海洋灾害的能力较弱,海岸侵蚀、海水入侵、土壤盐渍化、河口海水倒灌等问题将日趋严重,海岸带及近岸海域生态系统会更加脆弱。未来 30 年,中国沿海海平

面平均升高幅度 80 ~ 130 毫米, 长江三角洲、珠江三角洲、黄河三角洲、天津沿岸等仍将是海平面上升影响的主要脆弱区。到 2050 年前后, 珠江三角洲、长江三角洲和环渤海湾地区等几个重要沿海经济带附近的海平面上升幅度为 120 ~ 360 毫米。在此基础上发生的极端天气气候事件(如热带低气压、热带气旋、台风、巨浪等事件)发生的频率可能增加, 将严重影响我国沿海地区的社会经济发展。

长江三角洲、珠江三角洲、环渤海区域、黄河三角洲是海平面上升的脆弱区域, 选择这些典型区域分析海平面上升以及台风、风暴潮、咸潮等灾害事件对社会、经济和环境的影响, 评估海平面上升应对措施及其效益, 建立脆弱海岸带适应气候变化示范基地, 对保证我国经济社会又好又快发展具有重要意义。

为保障沿海地区人民生产生活的安全和国民经济的可持续发展, 应当采取措施应对中国沿海的海平面上升: 制定适应海平面上升的战略, 明确原则、目标和重点任务; 建立健全相关法律法规和综合管理决策机制; 提升海平面上升监测能力建设和海洋灾害的预警报、应急响应能力; 开展综合风险评估、提高海岸防护设施的标准, 新建和升级改造原有的海岸防护设施; 推进海洋保护区和海洋生态系统修复工程; 加强海岸带水资源综合管理; 积极开展海岸带科技专项行动等。

本书共有三个部分, 第一部分为海平面上升及其影响, 分为三章, 主要论述气候变化和海平面上升状况、海平面上升的分析预测方法以及海平面上升对我国的影响; 第二部分为海平面上升风险评估, 分为三章, 主要介绍海平面上升风险评估的基本理论方法, 评估中国沿海的海平面上升风险, 并以渤海湾沿海地区为例, 对海平面上升风险进行了细致深入的分析评估; 第三部分为海平面上升风险管理, 分为两章, 分别介绍了适应海平面上升的风险管理方法和未来中国沿海应对海平面上升的适应对策。

本书在编写过程中得到了国家海洋环境预报中心王辉研究员和吴辉砚研究员、北京大学城市与环境学院许学工教授、河海大学左军成教授等人的大力支持, 在此一并致谢。

本书的相关工作得到了国家自然科学基金重点项目（40830746）和青年基金项目（41106159）的资助。

本书参考了大量的国内外相关文献，限于篇幅，书中仅列出了主要的参考文献。

由于编著者水平有限，错误和疏漏在所难免，恳请批评指正。

作者

2014 年 12 月

目 次

第一部分 海平面上升及其影响

第一章 气候变化与海平面上升	(3)
一、全球气候持续变暖加速海平面上升	(3)
二、IPCC 对全球海平面上升的评估	(7)
三、中国沿海的海平面上升	(19)
第二章 海平面上升的分析预测方法	(25)
一、统计预测	(25)
二、多因子预测模型	(31)
三、数值预测	(45)
第三章 海平面上升对中国沿海地区的主要影响	(47)
一、气候变化背景下的中国沿海海岸带影响状况	(48)
二、中国沿海重点地区海平面上升的预测及影响	(59)

第二部分 海平面上升风险评估

第四章 海平面上升风险评估理论与方法	(85)
一、风险评估与风险管理	(85)
二、海洋灾害风险评估与管理	(87)
三、海平面上升风险评估理论	(91)
四、海平面上升风险评估方法	(101)
第五章 中国沿海海平面上升风险评估及区划	(112)
一、风险识别	(112)
二、风险评估	(118)

三、风险区划	(141)
第六章 渤海湾沿海地区海平面上升风险评估及区划	(147)
一、渤海湾沿海地区基本状况分析	(147)
二、海平面上升风险评估及区划	(176)

第三部分 海平面上升风险管理

第七章 海平面上升的适应性管理	(195)
一、海平面上升适应对策选择	(195)
二、我国沿海地区历史适应对策	(200)
第八章 中国沿海未来海平面上升的适应对策	(207)
一、建立健全相关法律法规和综合管理决策机制	(207)
二、全面提升海平面上升的监测评估能力	(208)
三、提高沿海地区抗御海平面上升的能力	(210)
四、加强海岸带水资源综合管理	(214)
五、强化海岸带生态环境保护	(216)
六、加大科技投入,开展海岸带专项研究	(222)
主要参考文献	(225)

第一部分 海平面上升及其影响

第一章 气候变化与海平面上升

气候变化是指气候状态的变化，可以通过其特征的平均值和变率的变化进行判别，这种变化通常持续几十年或更长的时间。引起气候系统变化的原因有多种，概括起来可分成自然的气候波动与人类活动的影响两大类。前者包括太阳辐射的变化、火山爆发、地球运转轨道的变化和固体地球的变化等。后者包括人类燃烧化石燃料、毁林以及其他工农业活动引起的大气中温室气体浓度的增加、硫化物气溶胶浓度的变化、陆面覆盖和土地利用的变化等。观测结果表明，近百年来全球气候呈显著的变暖趋势，其直接后果之一即是造成海平面上升。我国是世界上气候变化敏感区和脆弱区。

一、全球气候持续变暖加速海平面上升

大气中的水汽、臭氧、二氧化碳等气体，可以透过太阳短波辐射，使地球表面升温，但阻挡地球表面向宇宙空间发射长波辐射，从而使大气增温。由于二氧化碳等气体的这一作用与“温室”的作用类似，故称之为“温室效应”，二氧化碳等气体则被称为“温室气体”（Houghton, 2001）。

如果没有温室气体，则全球地表平均温度应是 -18°C ，而工业化前很长一段时间全球地表的平均温度实际上是 15°C 左右。因此，如果大气中的温室气体浓度继续增加，进一步阻挡地球向宇宙空间发射的长波辐射，为维持辐射平衡，地表必将增温，以增大长波辐射量。地表温度增加后，一方面水汽将增加（增加大气对地表面长波辐射的吸收），冰雪将融化（减少地表面面对太阳短波的反射），又使地表进一步增温，即形成正反馈使全球变暖更显著；另一方面，水汽增加也有可能使天空云量增加，从而使地表降温，形成负反馈。

除了二氧化碳外，目前发现的因人类活动排放的温室气体还有甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫等。其中，对气候变化影响

最大的是二氧化碳。二氧化碳的生命期很长，一旦排放到大气中，其寿命可达 200 年，因而最受关注。

排放温室气体的人类活动包括：所有的化石能源燃烧活动排放二氧化碳，在化石能源中，煤含碳量最高，石油次之，天然气较低；化石能源开采过程中的煤炭瓦斯、天然气泄漏排放二氧化碳和甲烷；水泥、石灰、化工等工业生产过程排放二氧化碳和氧化亚氮；水稻田、牛羊等反刍动物消化过程排放甲烷；废弃物排放甲烷和氧化亚氮；土地利用变化减少对二氧化碳的吸收等。

政府间气候变化专业委员会（IPCC）的评估报告综合国际上各方面研究结果对全球气候变化的基本事实给出了评估意见（Houghton, 2001; McCarthy, 2001）。1860 年以来，根据地面气象仪器观测结果，全球平均温度升高了 $(0.6 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 。近百年来，最暖的年份均出现在 1983 年以后。20 世纪北半球温度的增幅，可能是过去 1 000 年中最高的。近百年来，降水分布也发生了变化。大陆地区尤其是中高纬地区降水增加，非洲等一些地区降水减少。有些地区极端天气气候事件（厄尔尼诺、干旱、洪涝、雷暴、冰雹、风暴、高温天气和沙尘暴等）的出现频率与强度增加。全球大气中温室气体浓度明显增加，大气中二氧化碳的浓度（以体积计，后同）已从工业化前的约 280 毫升/米³ 增加至 2005 年的 379 毫升/米³（IPCC AR4, 2007），这可能是过去 42 万年中的最高值。对过去 100 多年气候的模拟表明，只考虑自然因子作用的模拟结果，与 1860—2000 年的气候演变差异较大；同时模拟自然因子和人类活动的作用，可以相当好地模拟出过去 100 多年的气候变化。因而，近百年全球气候变化是由自然的气候波动和人类活动的作用共同造成的。

综上所述，近百年来，地球气候正经历着一次以全球气候变暖为主要特征的显著变化。这种气候变暖是由自然的气候波动和人类活动共同引起的。但最近 50 年的气候变化，很可能主要是人类活动造成的。

如图 1-1 所示，左边的坐标轴表示相对于 1961—1990 年平均的温度距平，右边的坐标轴表示估算的实际温度，单位均是 $^\circ\text{C}$ 。图中分别给出了 25 年（黄色）、50 年（橙色）、100 年（红紫色）、200 年（红色）的线性趋势。蓝色的平滑曲线表示年代际变化，淡蓝色曲线表示 90% 的年代际

误差范围。从 1850—1899 年到 2001—2005 年，全球温度增加 $(0.76 \pm 0.19)^\circ\text{C}$ 。

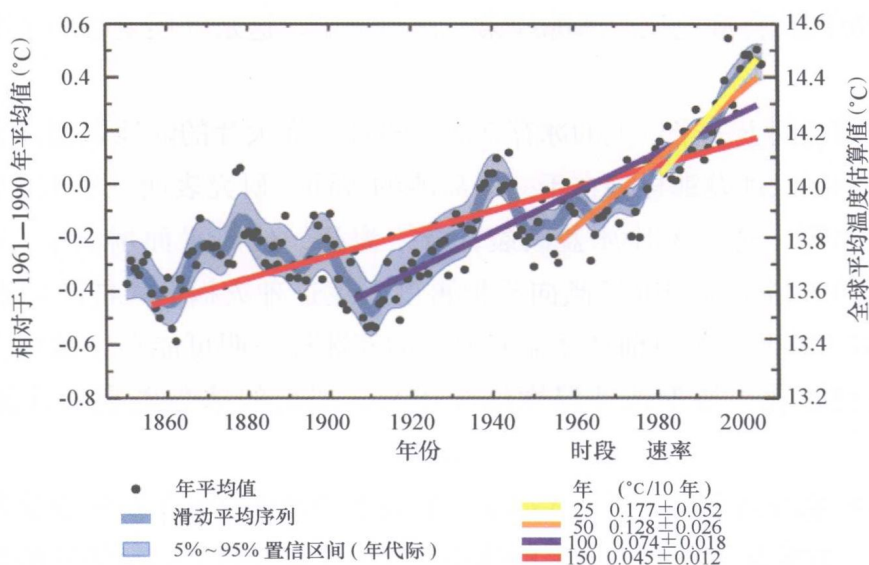


图 1-1 全球年平均气温（黑点）及对应的线性拟合（IPCC AR4）

海平面上升主要是由全球气候变暖造成的。温室气体浓度的增加将在今后几十年内增强温室效应，使地球的平均温度持续升高。如果在 21 世纪末大气中二氧化碳的浓度增加 1 倍，大部分陆地的平均温度将上升 $4 \sim 5^\circ\text{C}$ ，也有人估计得更高，范围在 1.9°C 到 11.5°C 之间，海平面将升高 10 厘米至 90 厘米甚至更高，这一方面是因为海洋水体的热膨胀，另一方面则是因为极地冰层和陆原冰川、冰盖的融化。

冰川是地球上最大的淡水水库，全球 70% 的淡水被储存在冰川中。南极洲厚达 3 000 米的冰层记录了地球 80 万年来的气候变化，它可以显示大气中二氧化碳的含量与地球周期性变暖和变冷的直接联系。冰川融化是一个相对缓慢的过程，但现在正在加速，当格陵兰冰盖融化后，地球的海平面将上升 6 米至 7 米，而如果南极洲的冰盖融化，地球的海平面将上升 70 米，沿海低洼地区将被海水淹没。自 1850 年小冰期结束以来，全球冰川开始发生退缩，这种退缩属于正常气候变化现象。然而，近几十年来，来自世界各地的观测资料表明，全球越来越多地区的冰川和冰帽正在以有记录以来最快的速度融化，20 世纪 80 年代到 21 世纪初，全球气温明显增高，

陆源冰加速融化，冻土解冻，冰缘退缩。这一时段也正是有记录以来全球最为温暖的 20 多年。1991 年在阿尔卑斯山发现了一个“四千岁的男子”，发现的原因自从他死后冰冻线第一次后退了，这是气候变暖一个明显的佐证。

地球表面上一半以上的冰存在于南极洲，在大片的陆地表面，或像西南极洲的巨大冰盖那样存在于一些岛屿的表面。研究表明，在 125 000 年前的间冰期，这一大片冰盖破裂，滑入海洋，使海平面增高了 23 英尺（约 7 米）。科学家们曾经倾向于把再度发生这种灾祸的可能时间推断为 200 年到 300 年。但目前从冰盖底取出的新冰样表明可能存在某些强有力的危险性变化，如果地球温度继续增高，那里的冰盖破裂将可能来得更早。

格陵兰岛拥有世界第二大冰盖，它在北半球的气候平衡中扮演着重要的角色，此外还有各个山区上的冰川。美国俄亥俄州立大学的贝德极地研究中心的朗尼和汤普森早在 1992 年就提出，所有低纬度山区的冰川现在都在融化后退，其中某些冰川融化后退的速度很快。另外，这些冰川所包含的记录表明，过去这 50 年的气候要比 1.2 万年间任何一个其他 50 年温暖得多。

未来随着全球气温持续升高，海水变暖，将对整个海洋产生很大的影响。海洋表层水温升高，台风生成的频率增加、强度加强，而且将扩展到温带的边缘地区，温带风暴也会增加和加强。一些中纬度的海盆，比如地中海，可能变成名副其实的热带海洋。冰川融化和退缩的速度不断加快，海平面升高，海洋盐度分布、冷暖水团、海流的运动规律改变，将引起海洋动力环境和海洋热源传输规律发生变化，海岸带地理环境将会改变，处于沿岸低地的城镇将有被海水淹没的可能。这些也意味着洪水、干旱以及饮用水减少正威胁着人类生存。

虽然全球气候变暖引起的海平面上升速率在全球各地几乎相等，但由于海洋周围地面沉降和局部地壳垂直运动不一致等原因，全球各地验潮站资料反映的海平面上升幅度并不相同，存在着明显的区域性差异。根据世界各地的验潮站资料，20 世纪全球平均海平面上升了 15 ~ 18 厘米，上升速率为 1.0 ~ 2.0 毫米/年。

二、IPCC 对全球海平面上升的评估

1988 年,世界气象组织和联合国环境规划署建立了政府间气候变化专门委员会 (IPCC),旨在全面、客观、公开和透明的基础上,对世界上有关全球气候变化的科学、技术和社会经济信息进行评估,并定期发布评估报告。截至目前,IPCC 分别于 1990 年、1995 年、2001 年和 2007 年发布了 4 次气候变化评估报告。

(一) 过去 100 年全球海平面变化

从全球尺度来看,过去 100 年全球海平面上升了 18 厘米,但世界各地相对海平面的上升情况不尽相同。这可以从 IPCC 第二次评估报告列出的世界各大洲具有代表性的 6 个长期验潮站年平均海面的变化曲线和上升速率中得到证实。图 1-2 绘出了非洲、太平洋、大洋洲、亚洲、北美洲和欧洲的 6 个 50 年以上时间序列的验潮站年平均海平面记录。由图中的

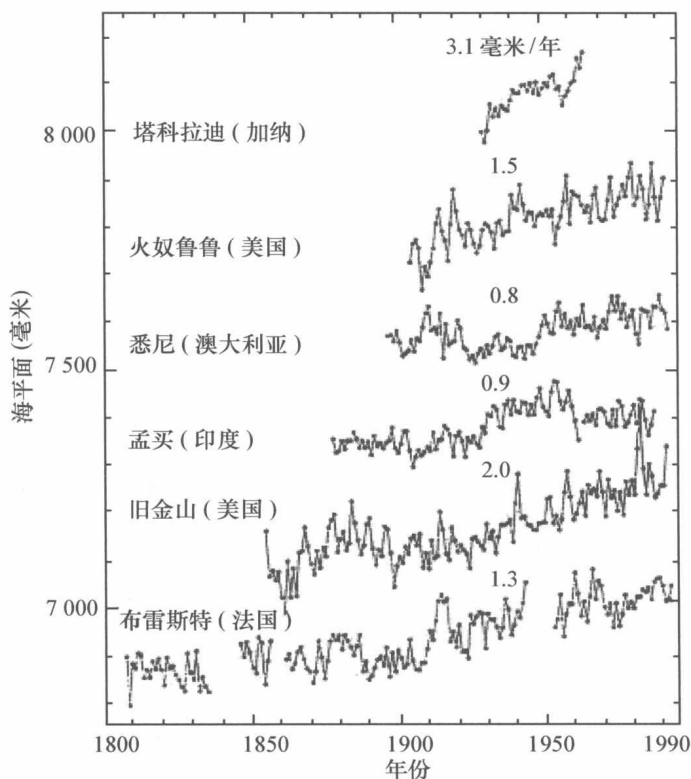


图 1-2 世界各大洋 6 个验潮站的长期年平均海平面过程线