

全球气候变化背景下我国海岸侵蚀问题及防范对策^{*}

蔡 锋^{1,2,**} 苏贤泽¹ 刘建辉² 李 兵² 雷 刚¹

1 国家海洋局第三海洋研究所, 厦门 361005; 2 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266003

摘要 从区域构造背景、海岸侵蚀的表现形式、海岸侵蚀主要原因和面临挑战等方面对中国海岸侵蚀的特点做出概括性论述, 并着重从海面变化与海岸侵蚀, 以及风暴浪潮与海岸侵蚀之间的关系讨论了全球气候变化对我国沿海海岸侵蚀的影响态势. 认为中国海岸侵蚀风险对气候变化的响应具有明显的区域性差异, 全球气候变化对海岸侵蚀的影响研究与预测是一项系统工程, 它涉及“全球系统”的自然环境、社会经济、沿岸工程与规划等各方面的因素. 应对全球气候变暖, 海岸侵蚀持续加强的严峻形势, 从加强基础理论研究, 防治技术研究, 健全管理系统和强化法制机制等方面提出了今后我国海岸侵蚀防范建议.

关键词 全球气候变化 海平面上升 海岸侵蚀 中国

全球气候变暖引发海平面上升, 风暴浪潮增强和海岸侵蚀加剧等一系列严重灾害, 其后果将对沿海社会经济和生态环境安全构成重大威胁. 沿海地区集中世界 60% 的人口和 2/3 的大中城市, 如在澳大利亚约 85% 的人口居住在海岸带 50 km 以内, 在美国约有 55%—60% 的人口居住沿岸地区^[1-3]. 对海岸带内日益增加的人口而言, 海岸侵蚀是人们正在经历的一个自然过程^[4]. 因为该区经济发达, 开发程度高, 且大多处于河口三角洲和低平原海岸平原地带. 随着经济发展, 在人为活动造成的负面环境效应和全球气候变暖的叠加作用下, 海岸侵蚀现象呈现加剧态势, 使该地区的压力日益加大. 在近期人类对全球气候变化还难以进行有效控制的前提下, 气候变暖的趋势是极难逆转的. 为此, 加强海岸侵蚀防范, 提高防灾意识, 已经日益受到世界各沿岸线国家或地区有关科研、海岸带管理机构及地方海洋部门的高度重视. 下面根据我国具体情况, 就气候变化对海岸侵蚀的影响和对策作初步分析.

1 中国海岸侵蚀的若干特点

中国海岸带北起鸭绿江口, 南至北仑河口, 呈向东南突出的弧形. 在漫长的海岸线上, 侵蚀海岸占总岸线长度(大陆岸线长约 18000 km, 岛屿岸线约 14000 km)的 1/3 以上. 初步统计其侵蚀率: 在渤海沿岸为 46%, 黄海沿岸为 49%, 东海沿岸(包括台湾岛)为 44%, 南海沿岸(包括海南岛)为 21%^[5]. 中国的海岸侵蚀受到众多因素的制约, 发生的侵蚀现象与过程亦相当复杂, 下面就从以下几个方面探讨我国海岸侵蚀的特点.

1.1 我国海岸侵蚀大尺度地域变化特点

中国大陆新生代的构造演化所表现出的西高东低的地形格局和在沿海自西北向东南形成的燕山隆起带、下辽河—华北沉降带、胶辽隆起带、南黄海—苏北平原沉降带、浙闽粤桂隆起带等海岸构造格架^[6], 以及东部沿岸面向世界上最大的边缘海(图 1)和沿海气候具有明显的南北分带, 这些情况既是影响我国海岸性质及其发育演化的宏观背景,

2008-01-05 收稿, 2008-03-25 收修修改稿

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 40676051)和国家专项 908-02-03-04 资助项目

^{**} E-mail: fcgai800@126.com

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

又是影响我国海岸带物质平衡，进而影响海岸稳定性的一级控制因素。它们对于了解我国海岸侵蚀大尺度地域变化特征具有重要参考价值。不同构造带海岸侵蚀程度不同，空间分布广泛，侵蚀特征各异。分述如下：

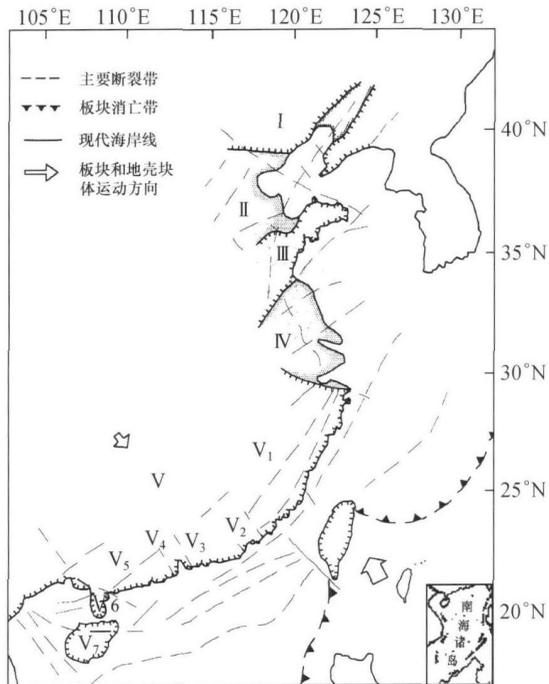


图 1 我国沿海地区中新代构造运动略图

- I 燕山隆起带
- II 下辽河—华北沉降带
- III 胶辽隆起带
- IV 南黄海—苏北平原沉降带
- V 浙闽粤桂隆起带
- V₁ 浙闽隆起
- V₂ 韩江三角洲断陷
- V₃ 粤东断隆
- V₄ 珠江三角洲断陷
- V₅ 粤西桂南断隆
- V₆ 雷琼断陷
- V₇ 琼中南断隆

构造沉降带：自然和人为引起的河流入海路径变化，入海泥沙量减少及岸外水下地貌体的变化，造成本构造带以大规模、大范围的淤泥质海岸侵蚀为特征。如现代黄河口的废弃亚三角洲海岸，苏北废弃黄河三角洲、琼港海岸和吕泗海岸，以及长江口部分淤泥质海岸。

构造隆起带：台风、风暴潮的作用，以及人工采砂和围垦等造成的本构造带以局部侵蚀、沙质海岸侵蚀为特征。如辽东湾东部熊岳附近海岸、秦皇岛附近海岸、山东蓬莱海岸、山东日照南部海岸、厦门岛东岸、广东水东港海岸和海南岛南渡江口海岸等。

中国海岸带由北向南跨越不同气候带。由于气候影响、海岸生物演替和人类活动等因素的共同作用，不同气候带内海岸侵蚀特征各不相同。

热带亚热带：以华南沿海及其岛屿的生物海岸侵蚀为主，加上人为破坏等因素，主要表现为珊瑚礁的死亡(如海南岛的珊瑚礁破坏率达 80%)，湿地的退化和红树林的衰退和消失(50 年代至今，红树林面积剧减 65%)^[7]。

温带：该气候带的滨海平原、三角洲平原和河口海岸侵蚀既表现为岸线的后退也表现为滩面的下蚀降低，海岸侵蚀强度以北部地区最为强烈。

1.2 海岸侵蚀的主要表现形式

海岸侵蚀在空间尺度和时间尺度上分别有不同的表现形式(图 2)。我国海岸侵蚀在空间上的表现形式主要有 3 种：(i) 岸线后退，以无海堤工程措施护岸的软岩类海岸(如第四纪沉积层、红壤型风化壳残坡积层等构成的海岸)为显著；(ii) 海滩滩面下蚀导致零米等深线向陆移动，多见于有海堤护岸的岸段；(iii) 高滩相对稳定，低滩下蚀，通常是由于潮下带受岸外潮流冲刷侵蚀所致。前面两种情况普遍见于我国沿海，后者类型如杭州湾北岸金山嘴等地潮滩的侵蚀。

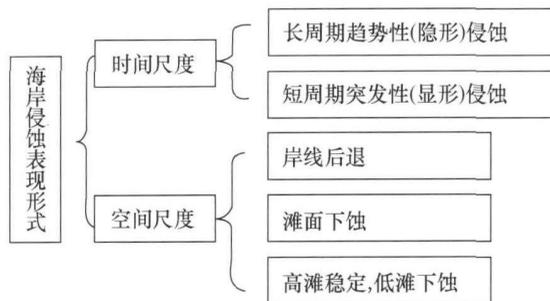


图 2 海岸侵蚀的表现形式

侵蚀在时间尺度可划分两类：(i) 长周期趋势性(隐形)的海岸侵蚀，主要是由于海平面上升、河流改道、三角洲废弃或流域来沙减少等因素而造成海岸相对平衡的输沙态势发生变化，使得海岸在新的海洋动力环境与泥沙条件下，通过长期的调整过程而缓慢发生侵蚀。如滦河三角洲在全新世以来，随着入海口由西向东逐步迁移，原有的滨海平原沉沦为泻湖，一系列岸外堤坝被冲蚀

消散, 岸滩由淤涨转入侵蚀后退^[8]; (ii) 短周期突发性(显形)的侵蚀现象, 通常由短期的风暴浪、潮的肆虐冲蚀而造成的具明显破坏性的侵蚀状态。如在华南沿海, 夏、秋季台风浪潮对海岸的侵蚀破坏。

1.3 我国海岸侵蚀的主要原因与面临的挑战

我国海岸侵蚀发生的主要原因可分为自然作用和人为影响两类(图 3), 对于具体的岸段, 侵蚀原因往往不只有一个。自 20 世纪 50 年代以来, 随着经济发展, 海岸的开发, 人为作用影响日益突出。而在近几十年来海平面上升的大背景下, 我国海岸侵蚀问题更加严重, 当前, 我国海岸侵蚀发展趋势面临三大挑战:

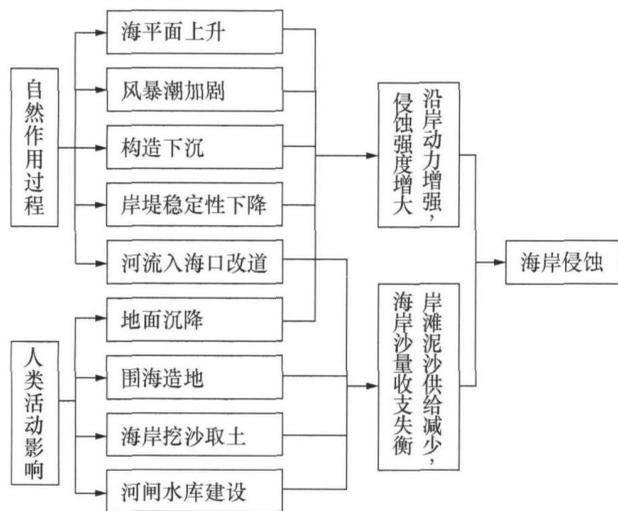


图 3 海岸侵蚀主要原因示意图

1.3.1 全球气候变暖与海平面上升威胁平原海岸

全球气候变暖导致台风、风暴潮和洪水灾害频度增加和强度加大^[9], 海平面上升则直接造成岸线后退和海洋动力增强, 二者相辅相成, 这对以沉降带为背景, 以及隆起带内的以断陷盆地为背景的我国平原海岸将构成极大威胁。

1.3.2 入海泥沙的供应变化加剧海岸侵蚀 近几十年来我国各流域的开发, 如西部退耕还林、退耕还牧, 三峡工程, 小浪底工程和南水北调工程等一系列大型工程, 使我国沿海入海泥沙大量减少——根据相关研究资料, 从 80 年代以前每年近 $20 \times 10^8 \text{ t}$ 的入海泥沙量减少到 20 世纪末的 $10 \times 10^8 \text{ t}$,

甚至可能只有 $5 \times 10^8 - 7 \times 10^8 \text{ t}$ 左右^[11], 从而使河口三角洲及其邻近海岸在新的动力泥沙环境条件下发生了较显著的冲淤演变调整, 多数海岸的沙量收支失去平衡, 终将引发较为严重的海岸侵蚀。

1.3.3 海岸带不合理开发建设的影响 近 20 年来, 随着我国经济建设的快速发展, 海岸侵蚀也日趋严重, 其中人类活动造成的负面环境效应因素占居主要位置。例如, 近岸挖沙已经成为近年来许多构造隆起带砂质海岸侵蚀的直接原因; 沉降带平原海岸过度开采地下水造成地面沉降直接引发海水入侵; 以及河流人工改造导致废河口侵蚀等。

2 全球气候变化对我国海岸侵蚀的影响

大量研究资料表明^[10-17], 在全球变化中, 气候变化对海岸带的影响是多方面而又复杂的, 从图 4 可大体说明。我国因气候变暖造成的海岸侵蚀变化与世界总体趋势基本一致, 即趋向加速发展。以下侧重从气候变暖引发的海平面上升和风暴浪潮等海洋动力加剧两个方面进行讨论。

2.1 海平面变化与海岸侵蚀

海平面上升引起海岸侵蚀加剧的观点, 是 1962 年由 Bruun 首先提出的^[18]。他认为随着海平面上升, 海滩均衡剖面将保持原状向岸上位移, 即海滨线后退和原海滩上部侵蚀、下部堆积。该观点得到国内外大部分海岸学者的广泛应用, 而被称为 Bruun 法则。尽管有些学者对该法则提出了诸多方面的质疑^[19-27], 但在近几十年来的实际应用中 Bruun 法则还是得到了不断的发展、论证和提炼。其应用范围已从简单的下凹剖面发展到岸外水下沙坝及整个堡岛系统; 从二维剖面到开始考虑三维, 即沿岸输沙对砂质海岸剖面的影响; 从理论模式到物理模型及野外实地进行论证; 以及从沙质海岸向淤泥质海岸引申^[28-37]。而且, 还开始应用到应对海平面上升政策措施的制定中。诚然, 在不同海岸带, 根据海岸环境的具体条件, 把 Bruun 法则应用于由海平面上升来预测海岸侵蚀状态, 并当作普遍模式, 还要有更多的研究加以验证。海平面变化对海岸侵蚀影响的研究与预测是一项系统工程, 目前仍有许多问题有待进一步探讨。

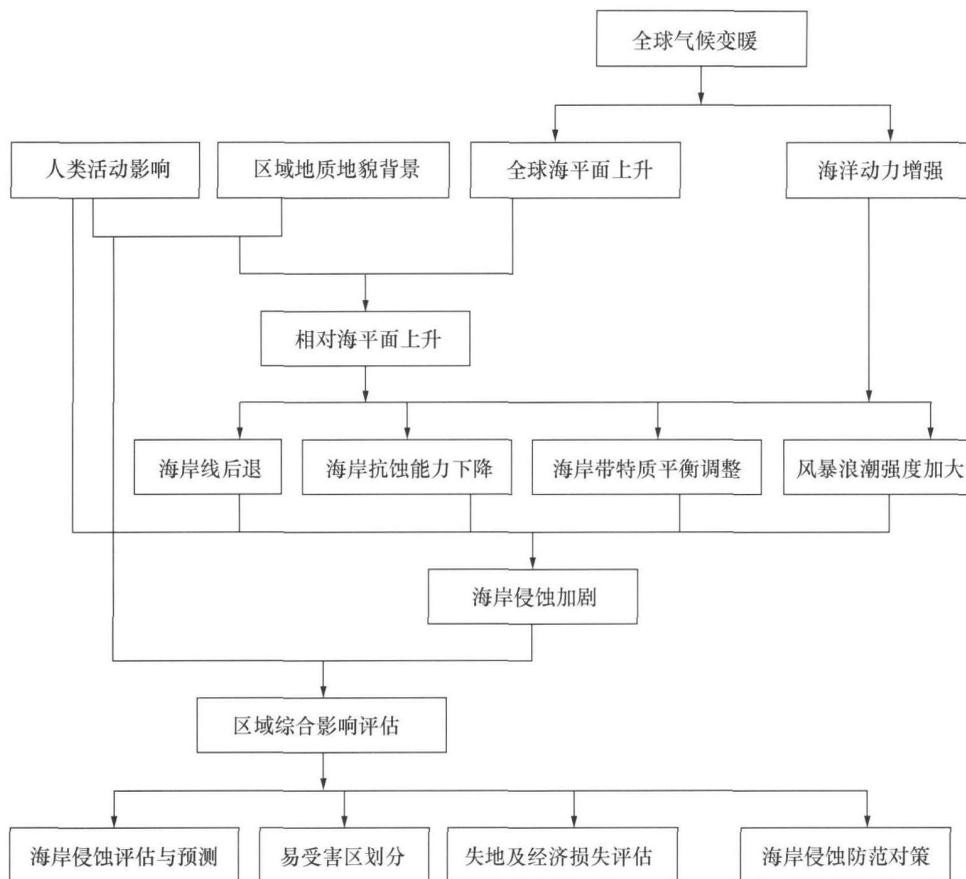


图 4 全球气候变化对海岸侵蚀的影响及其评估防范流程

海平面变化有全球性海平面变化和区域性相对海平面变化两种概念。它是一个缓慢过程，但长期的积累又足以对沿海经济建设和生态环境带来多方面的严重影响，这种影响比任何一种自然灾害都要广泛和深入。受构造运动和人类活动等的影响，各地相对海平面的上升率差异悬殊，相对海平面变化对于海岸带脆弱性评估更为重要^[38]。区域相对海平面上升速率可为全球海平面上升速率的数 10，乃至上百倍^[39]。根据近年来国家海洋局编制的“中国海平面公报”（图 5），中国的海平面变化有以下几个特点^[40,41]：

(1) 近 50 年来呈上升趋势，平均以每年 1.0—3.0 mm 的速率上升，特别是最近几年，上升速率有所加快。

(2) 30 多年以来中国海域的海平面变化幅度和

速率都呈起伏上升的基本格局，但也具明显的区域特征；总体变化趋势为南部沿海升幅较大，北部沿海升幅较小；但近年来，北部少数地区（如天津）出现了持续上升趋势。

(3) 2006 年，中国全海域海平面平均上升速率达到 2.5 mm/a，高于全球 1.8 mm/a 的平均值，其中东海上升速率高于全国平均值，黄海持平，渤海和南海略低。同时，据《2006 年中国海平面公报》，预计未来 3—10 a，中国全海域海平面将比 2006 年上升 9—31 mm^[41]。

根据近几十年来的海平面变化资料 and 不同海岸平原地区的区域差异，相关学者对中国主要海岸平原未来海平面的上升值及可能淹没面积做了初步预测^[11,42]（表 1）。

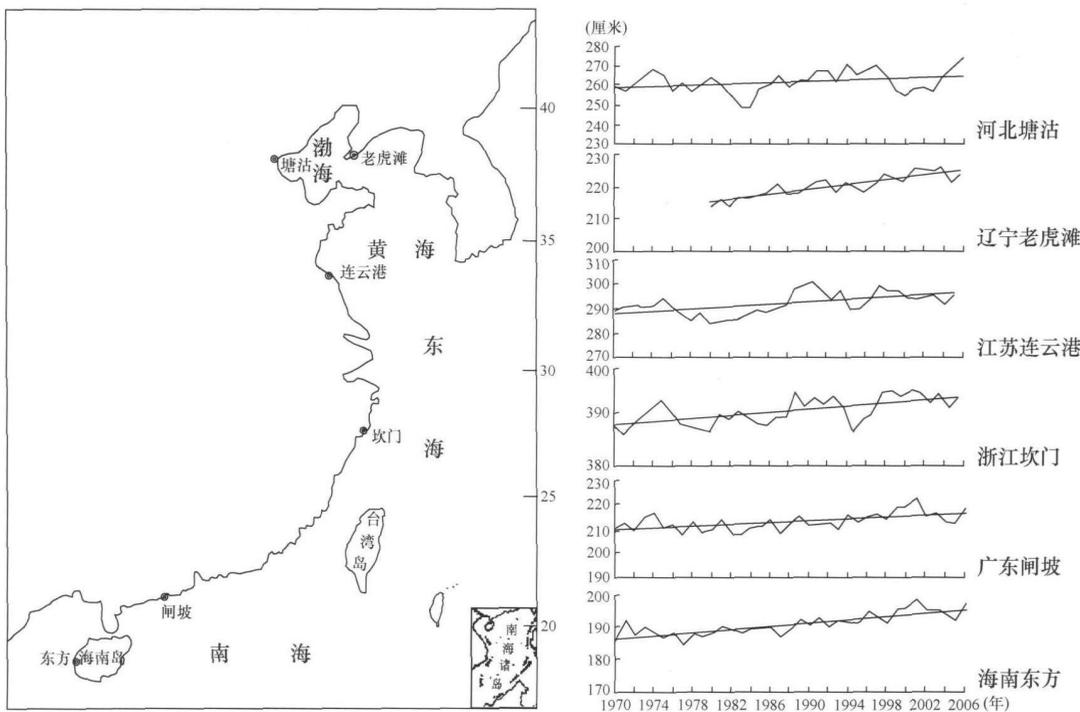


图 5 中国沿海部分监测站 1970—2006 年海平面变化曲线(据文献[37])

表 1 主要海岸平原 2050 的海平面上升及可能淹没面积预测值^{a)}

地区	近几十年相对海平面上升速率/(mm·a ⁻¹)	2050 年相对海平面上升速率/(mm·a ⁻¹)	淹没面积幅度/cm	淹没面积/10 ⁴ ×hm ²
黄河三角洲	4.8	6.4—6.9	35—40	3.9
渤海西岸平原	2.1	11.0—11.5	65—70	2.1
苏北滨海平原	2.2	6.8—7.3	40—45	3.8—8.9
长江三角洲	6.6	7.9—8.4	45—50	0.7—1.1
台湾西部沿海平原 ^{b)}	2.0	7.0—9.5	28—38	—
珠江三角洲	2.5	4.1—4.6	25—30	0.2
海南滨海平原	1.8	3.4—3.9	20—25	0.7
广西滨海平原	1.8	3.4—3.9	20—25	1.7
韩江三角洲	1.5	3.1—3.6	15—20	0.2
闽江三角洲	1.8	3.4—3.9	20—25	0.6—1.5
下辽河三角洲	1.7	3.3—3.8	20—25	0.4—0.9

a) 资料来源自文献[57]

从中长期考虑,海平面上升是引起大范围岸线内移的首要因素^[43]。有关海岸侵蚀对海平面变化的响应关系,可初步从两个方面表述:(i)就海平面上升诱发的海岸侵蚀的表现形式而言,可分为直接的影响和间接的影响两类。前者体现为海水向陆地入侵造成海岸线后退、沿海平原低地的淹没与沼泽化,并伴随河口与地下盐水入侵和海堤防护、城市排污工程等失效;后者指由于海平面上升,在新的海岸动力条件与泥沙环境下,海岸发生新的物质平衡调整,而加大海岸侵蚀。(ii)我国的海岸线漫长,不同区域自然背景与社会经济发展水平相差很大,海平面上升的影响方式与程度也各具特征,必须分别对待。根据海拔高度、相对海平面变化(地面沉降)、海岸侵蚀、风暴潮增强和现有海岸防护工程等方面因素的综合分析得出,中国沿海最易直接遭受海平面上升危害有 8 个区¹⁾。它们分别是老黄河三角洲,现代黄河三角洲,莱州湾滨海平原,废黄河三角洲,苏北沿海平原,长江三角洲,台湾西部沿海平原和珠江三角洲,并估计易受灾的面积为

1) 任美铎,海平面上升对海岸带影响研究的现状以及问题。见:中国科学院地学部“海平面上升对我国沿海地区经济发展影响与对策”研究论文,摘要汇集,1993

35000 km². 根据前人的研究^[44-58], 表 2 简单总结了我国主要滨海平原的海岸侵蚀特征. 由此可见, 海平面上升及其环境效应是促使海岸侵蚀的重要因素.

2.2 风暴浪潮与海岸侵蚀

全球气候变暖不仅引发海平面上升, 而且也增加风暴、浪潮的强度. 据国家海洋局编制的各年《中国海洋灾害公报》, 从 1995 年至 2006 年的各年度中, 我国沿海发生台风风暴潮的次数分别为 10、

6, 4, 7, 5, 8, 6, 8, 10, 10, 11 和 9 次, 平均每年 7.8 次, 近年发生频率呈现出增加趋势. 关于气候变化与台风风暴潮发生频率的逻辑关系, 尽管错综复杂, 但仍有许多学者做过论证, 其中, 无论是实例分析^[9], 还是采用数值模拟研究^[59], 或是通过对热带气旋发生频数相关的几种大气环流模态强弱之年际变化的研究^[60-65]均说明, 热带气旋活动的强弱变化与海表温度(SST)具有显著的正相关关系, 且全球气候变化对热带气旋活动产生明显的影响.

表 2 主要滨海平原的海岸侵蚀特征

侵蚀区域	长江三角洲	黄河三角洲	珠江三角洲	台湾地区
侵蚀原因	长江供沙减少, 海岸带动力变化, 主流摆荡, 涨潮流顶冲, 构造下沉, 海平面上升.	沉积动力学调整, 河流改道, 黄河水沙变化, 海平面上升.	地面沉降, 风暴潮加剧, 围堤防御能力减弱, 海平面上升.	河流供沙减少, 不合理的海岸工程, 地面沉降, 人工采砂, 海平面上升.
主要表现形式	淤积航道 岸线后退, 淹没洼地.	海岸线后退、岸滩刷深、油井平台沦入海中、输油管道裸露或断裂、海堤与漫水路被毁等.	滩涂、湿地、红树林、珊瑚礁的破坏; 毁坏海堤; 咸潮入侵.	沙滩侵蚀, 淹没洼地, 淡水咸化.
侵蚀实例	侵蚀海岸达 390 km. 杭州湾沿岸近 30 a 蚀退速率 30 cm/a. 1916—1969 年吕泗高滩蚀退速率 20 cm/a.	1976—2000 年海岸线蚀退最大可达 11 km, 平均每年蚀退 420 m, 最大侵蚀深度 10.5 m, 平均每年剥蚀 40 cm 以上.	1966—1979 年蛇口地区的一些岸线发生数 10 m 的侵蚀. 2000 年后, 唐家北侧的桥头堡最大侵蚀量达 70—80 m.	1980—2003 年台北海岸线近 20 a 来后退 500 m.
侵蚀特点	岸线侵蚀区域主要位于三角洲南缘和杭州湾北部.	总体侵蚀趋势难以逆转, 具有区域性和不平衡性.	该区 86.7% 的土地有堤围防护, 主要侵蚀无防护地区.	西部相对海平面上升较快, 侵蚀明显, 局部地区保持稳定.

风暴浪潮对海岸地貌、海底地形和海洋沉积的影响也非常强烈, 特别是对海岸和高潮滩的冲刷极其严重. 一次强台风所造成的侵蚀结果往往超过正常汛期下整个季节的变化, 其中一些突出后果在以后若干年仍会显示它的影响. 从 9914 号台风袭击厦门岛东海岸和 0307 号台风“伊布都”袭击粤西沿海时所产生的破坏情况来看, 其影响是触目惊心的^[66, 67].

从最近几年风暴浪潮灾情角度来看, 全球气候变暖背景下风暴浪潮发生的强度和频度逐步提高的观点备受关注, 正如《2006 年中国海平面公报》中所指出的: 从 2004—2006 年, 浙江、福建等沿海地区的风暴浪潮发生频率和强度都高于常年. 有关风暴浪潮所造成的海岸侵蚀灾害, 历年来都受到世界各岸线国家和地区的极大关注. 近几年来我国虽对沿海部分岸段岸滩遭受台风浪潮侵蚀破坏的情况进行了现场调查, 对一些海滩的风暴效应也做了初步探讨^[66, 68], 但较全面地了解风暴浪潮期间海岸和

海滩的冲淤特征与规律, 深入地把握其侵蚀作用及灾后重塑的研究工作还很薄弱, 特别是在应对气候变化及沿海社会经济发展方面进行趋势性的预测研究工作, 迄今仍处于起步阶段, 值得引起有关部门的重视.

气候变化对海岸侵蚀的影响评估涉及自然、社会经济、沿岸工程和规划等方方面面的问题, 各个方面的影响又是相互关联的综合整体. 尽管全球气候变暖引发海平面上升是其中一个重要因素, 但海平面变化本身在不同时间、地区和过程中也是千差万别的, 必须通过全海域加强监测, 积累资料, 进行深入和细致的研究才有可能就其对海岸侵蚀影响的贡献做出较合理的评估. 以上所述至少说明, 中国海岸带自然条件复杂, 不同区域的海岸海洋背景不一, 其海岸稳定性也各异^[69]; 加上人类活动对海岸带的影响巨大, 在一些经济发达地区对气候变化的适应能力具有较大的能动性. 因此, 气候变化对海岸侵蚀的影响势态在我国沿海不同岸段表现出明

显的区域性差异。

3 我国加强海岸侵蚀防范的措施及对策

全球气候变暖引发海岸侵蚀现象持续加强的发展趋势, 给我国海岸管理、开发、科研提出了一个严峻的问题。面临这一问题, 海岸科学家和政府有关部门十分关注, 已经和正在进行海岸侵蚀动态的调查研究工作, 并且也加大了海岸带综合管理与监测的力度。图 6 初步归纳了我国海岸侵蚀的防范措施。针对海岸侵蚀防范问题, 有必要进一步加强下面几个方面的工作, 它既需要有长远的规划和打算, 又需要及早采取措施, 消除不利影响, 方可达到我国沿海地区经济持续、协调发展的目的。

3.1 继续开展海岸侵蚀及其影响评估的基础研究工作

自 80 年代以来, 我国对不同区域的海岸侵蚀特征、过程及机制进行较为系统的研究, 并取得不少宝贵的数据和资料^[70-79]; 同时还对我国海岸带大环境的迅速变化可能造成的长期的、不可逆转的海岸侵蚀形势也作出了一些前瞻性的分析^[1, 80-87], 这为全国性的海岸侵蚀调查与研究评价工作提供了有益的思路。近几年, 中国政府提出“实施海洋开发”的战略部署, 正在积极推进《全国海洋经济发展规划纲要》的实施, 其中以掌握我国海洋资源和环境状况, 满足经济建设和海洋管理的需要为总体目标的 908 专项(我国近海海洋综合调查与评价专项)的开展, 可望在有关海岸侵蚀的基础研究方面取得较大进展。

海岸侵蚀如同其他灾害一样, 都有双重属性, 即自然属性和社会属性。海岸侵蚀作为海岸地质灾害的主要类型, 在对其双重属性进行综合分析和相关分析的基础上, 就灾害发生的危险性、风险、灾害发生后灾害强度和灾损进行定性和定量评估工作, 并提高对海岸侵蚀未来变化的预测能力, 是今后尚需进一步深化的重要问题。此外, 对我国海岸侵蚀类型的分类, 侵蚀强度的分级, 并建立侵蚀灾害对周边经济发展影响评价的指标体系与模型、侵蚀标准与模型、管理监测网络等都有待作深入探讨。以上这些基础研究工作将为我国海岸带开发的重大工程决策、海岸带环境保护与管理, 乃至国家

经济发展战略调整提供一定的理论基础和科学依据。

3.2 加强海岸侵蚀防治技术研究

我国沿海堤防工程大多标准较低, 能抵御百年一遇以上风暴浪潮灾害的不多, 气候变暖引发的海平面上升与侵蚀灾害, 将导致堤围防御能力下降, 使原设计抗百年一遇的工程只能抵御 20 年一遇, 甚至 10 年一遇的灾害, 如何改造或加高加固沿海堤防已成当务之急。

以防治海岸侵蚀为目的的工程技术措施通常可以分为两大类, 即结构性和非结构性的防护措施。结构性防护措施又可分为硬结构和软结构两种(图 6)。非结构性防护措施包括土地利用控制, 划定海岸基线、海岸退缩线与海岸建设控制线等侵蚀预警线作为政策性的开发利用限制措施, 以及禁止不合理的开挖岸滩砂土和围垦等。研究与实践表明, 这些措施各有其适用范围, 应用前景及实施后在经济与生态环境上的效益利弊。因此, 如何根据经济发展程度, 针对我国不同岸段的具体海岸特点, 研究各具适宜的海岸侵蚀防护形式和工程技术标准是海岸工程学家和地貌学家应该共同配合的一项重要任务。

在 60 年代以后, 我国海岸学家曾提出“护岸必须护滩”的积极海岸保护原则, 在不同的地区分别建造丁坝、浅坝、离岸坝以及其他相互组合的形式, 这些方法的共同点都是使造成海岸侵蚀的动力因素在达到岸外海区之前就消能, 使以往的全线防护变成线段防护, 既可节省经费又可美化海岸环境。近 10 多年来, 在海南, 大连, 厦门等地应用软结构工程措施(主要为海滩填沙养护和种植红树林等生物防护)进行海岸侵蚀灾害防护^[88-92], 取得良好的效果, 其主要优点是比硬结构工程措施较天然而美观。

随着旅游业的发展, 目前海滩的娱乐休闲功能已日益受到重视。在当今我国沿海已经注重了海滨砂质海滩和红树林海岸的保护, 发达国家大量采用海滩填沙养护和种植红树林或海草等生物养护方法^[93-98], 不但具备造滩美化海岸环境与保护海岸相结合的特点, 而且还具有较大的经济收益。我国有必要对这种工程措施的防侵蚀功能进行较为深入的

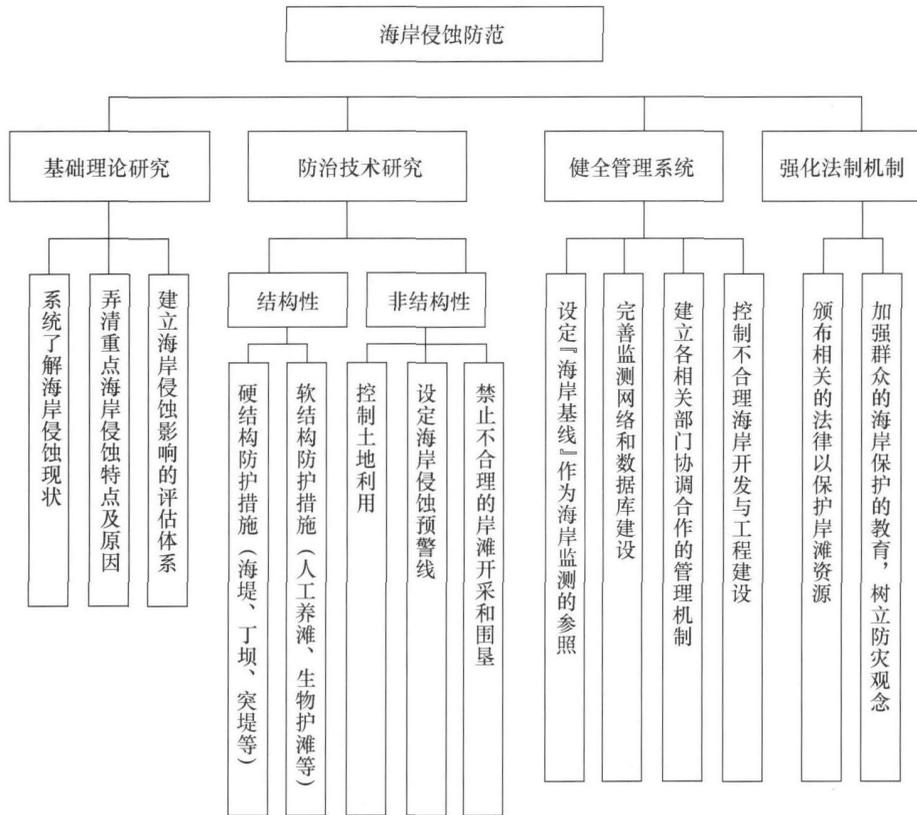


图 6 我国海岸侵蚀防范措施及对策示意图

科学层面与技术层面上的研究和效益评价工作, 乃至考虑将它纳入城市或地方海岸带的综合规划管理中。

3.3 健全我国海岸带综合管理系统

海岸带综合管理(ICZM)构思始于 80 年代中期, 到 1993 年, 联合国在荷兰诺德维克召开的海岸带管理会议较明确地提出了海岸带综合管理的具体任务^[9]。它旨于实现海岸带资源和环境的综合利用以及海岸带经济的可持续发展, 以达到平衡和优化经济发展、公共利用和环境保护等各种社会需求的目标。近年来由于 RS, GIS, GPS 集成技术的发展, 极大地推动了海岸带综合管理和资源的科学开发利用^[100-105]。我国自 90 年代早期就开始实施新的海岸带管理策略, 并对海岸带资源和环境污染进行管理和控制。近 10 年来, 国家海洋局全面开展海洋功能区划、海域使用管理及勘界立法工作, 以及对沿海水域环境进行监测和评价, 在有条件的地方设立海滨湿地保护区等, 同时还开展了海岸带管理信息系统和数字海洋的示范研究。诚然, 海岸带综

合管理中的许多技术问题还需要专题研究并解决, 在这里有必要就其中应对气候变化加强海岸侵蚀防范范畴的基础性工作, 提出我国当前急需解决的一些问题:

(1) 建立全国沿岸不同岸段的大比例尺地形图上“海岸基线”。由于具体海岸的实际位置处于动态变化, 海岸基线的确立是通过多年海岸调查的海岸线位置, 结合海岸带自然条件、岸线演变趋势及社会经济条件等而确定的一条相对固定的参照界线, 它可作为海岸线监测与动态变化评估的技术参照标准, 有利于岸线管理与海岸动态防护政策的执行。

(2) 完善全国性海岸侵蚀动态监测网络和数据库建设。对重点海岸侵蚀岸段专设若干固定监测剖面, 对岸线位置以及后滨、前滨与近滨的地形地貌和沉积物进行定期监测; 将所有监测结果都保存在海岸动态数据库中, 以便及时掌握海岸与海滩的侵蚀动向, 为调查、科研、管理提供基础资料。

(3) 建立部门之间合作协调的海岸线管理体系。海岸线管理需要以调查科研监测的成果为依据, 由政

府、专家和公众参与决策, 地方政府相关部门执行。目前有些管理目标无据可依, 而且由于沿海各省、市、自治区均设立了海洋及水产方面的政府管理机构, 但管理职能及管理法规尚不够完善, 在岸线与海域管理方面各部门之间常产生矛盾。因此, 明确海岸线管理方案, 做到管理立法, 有法可依是非常必要的。

(4) 杜绝不合理的资源开发和海岸工程建设, 做到开发与保护科学发展。从某些意义上讲, 当今造成海岸侵蚀的重要原因之一是人类不明智的或错误的行为, 即人类活动的影响已经超过自然因素的影响。例如, 近岸采沙导致海岸严重侵蚀的事例在国内不胜枚举, 现今已经成为国内外海岸学者公认的造成海岸侵蚀的主要人为因素; 不合理海岸工程建设(如河流建闸、围垦、码头等)造成的负面环境效应也是引发海岸侵蚀的重要因素, 都应当引起有关政府管理部门的高度重视, 以便做到海岸带开发与保护的协调发展。

3.4 继续开展防范对策研究, 强化法治机制

海岸侵蚀防护是国土整治的一项重要工作, 在当前气候变暖诱发海岸侵蚀加剧趋势的严峻情况下, 我国应当未雨绸缪, 首先在意识形态上使人们认识到保护海岸带资源、环境和进行科学管理的重要意义和长远利益, 以树立防灾观念。在全球气候变化条件下为使我国的海岸带环境和生态系统进入良性循环和切实保障海岸的稳定与安全而努力。今后还要在进行深入调查, 并开展海岸带可持续发展对策研究、统筹计划和监督工作的基础上, 继续认真制定有关开发利用规划和科学管理政策, 特别是制定专对加强海岸侵蚀防范问题的法规, 同时, 确定实施办法, 以法律形式决定下来作为国策。而且, 还要加强行政执法力度, 保证规划和法规的执行。

参 考 文 献

- 1 陈吉余, 陈沈良. 中国河口海岸面临的挑战. 海洋地质动态, 2002, 18(1): 1—5
- 2 Australian Bureau of Statistics. Regional Population Growth, Australia and New Zealand, 2001, 3218
- 3 Hinrichsen, D. (United Nations Consultant). The coastal population explosion. In: Trends and Future Challenges for US. National Ocean and Coastal Policy. Proceedings of a Workshop (Washington D. C.), 1999, 77—80
- 4 Paul DK. Coastal erosion—underlying factors and human impacts. Shore & Beach, 2000, 68(1): 3—16

- 5 季子修. 中国海岸侵蚀特点及侵蚀加剧原因分析. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 65—75
- 6 李从先, 冯 焱. 中国海岸特征与海平面上升. 海平面上升对中国三角洲地区的影响及对策. 北京: 科学出版社, 1994, 29—39
- 7 范航清, 梁士楚主编. 中国红树林研究与管理. 北京: 科学出版社, 1995, 189—202
- 8 王 颖(主编). 中国海洋地理. 北京: 科学出版社, 1996, 468—470
- 9 王 建, 刘泽纯. 全球变暖后西北太平洋台风频率的可能变化. 第四纪研究, 1991, 3: 277—280
- 10 范代读, 李从先. 中国沿海响应气候变化的复杂性. 气候变化研究进展, 2005, 1(3): 111—114
- 11 杨桂山, 施雅风. 中国海岸地带面临的重大环境变化与灾害及其防御对策. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 13—19
- 12 《中国海岸带气候》编写组. 中国海岸带气候. 北京: 气象出版社, 1991
- 13 叶笃正, 符淙斌. 全球变化的主要科学问题. 大气科学, 1994, 18(4): 498—512
- 14 F. 马拉比尼, 秦蕴珊, A. 维基亚尼, 等. 气候变化及海岸环境. 海洋环境与第四纪地质, 1992, 12(1): 27—29
- 15 朱晓东, 李杨帆, 桂 峰. 我国海岸带灾害成因分析及减灾对策. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 26—29
- 16 南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室编. 海平面变化与海岸侵蚀专辑. 南京: 南京大学出版社, 1995, 178—182
- 17 IPCC Climate Change. The Second Scientific Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. London: Cambridge University Press, 1995, 359—406
- 18 Bunn P. Sea-level as a cause of shore erosion. Journal of Waterways and Harbours Division, ASCE, 1962, (88): 117—130
- 19 Dean RG. Equilibrium beach profile: Characteristics and applications. Journal of Coastal Research, 1991, 7: 53—84
- 20 Pilkey Orrin H, Robert S Young, et al. The concept of shoreface profile equilibrium: A critical review. Journal of Coastal Research, 1993, 9: 255—278
- 21 Wang P, Davis RA. Depth of closure and the equilibrium profile—A case study from Sand Key, West-Central Florida. Shore & Beach, 1999, 67: 33—42
- 22 Thieler ER, Pilkey OH, et al. The use of mathematical models to predict beach behavior for US Coastal Engineering: A critical review. Journal of Coastal Research, 2000, 16(1): 48—70
- 23 Pilkey OH, Young RS, Bush DM. Comment on sea level rise by Leatherman et al. EOS, 2000, 81: 436
- 24 Dubois Roger N. A Re-evaluation of Bruun's rule and supporting evidence. Journal of Coastal Research, 1992, 8: 618—627
- 25 Stive Marcel JF, Huib J De Vriend. Modelling shoreface profile evolution. Marine Geology, 1995, 126: 235—248
- 26 Cowell PJ, Roy PS, JONES RA. Simulation of large-scale

- coastal change using a morphological behaviour model. *Marine Geology*, 1995, 126: 46—61
- 27 Andrew J. Cooper G, Pilkey Orrin H. Sea-level rise and shoreline retreat: Time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*. 2004, 43: 157—171
- 28 Nicholls RJ. Coastal vulnerability assessment for sea-level rise: Evaluation and selection of methodologies for implementation. Technical report TR 98002. Caribbean Planning for Adaptation to Global Climate Change (CPACC) project. 1998
- 29 Bray MJ, Hooke JM. Prediction of soft-cliff retreat with accelerating sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, 1997, 13: 453—467
- 30 Dennis KC, Niang-Diop I, Nicholls RJ. Sea-level rise and Argentina: Potential impacts and consequences. *Journal of Coastal Research*, 1994, 14: 205—223 (Special Issue)
- 31 Volonte CR, Nicholls RJ. Sea-level rise and Uruguay: Potential impacts and responses. *Journal of Coastal Research*, 1994, 14: 262—284 (Special Issue)
- 32 Nicholls RJ, Leatherman SP, Dennis KC, et al., Impacts and responses to sea-level rise: Qualitative and quantitative assessments. *Journal of Coastal Research*, 1994, 14: 26—43. (Special Issue)
- 33 Cambers G. Planning for coastline change. Coastal development setback guidelines in Nevis. UNESCO/SeaGrant, University of Puerto Rico, 1998, 40
- 34 UNESCO. Planning for coastline change. Guidelines for construction setbacks in the Eastern Caribbean islands. CSI info 4, UNESCO, Paris, 1997 Vii + 14
- 35 Environment Waikato. Development setback lines for the Coromandel Peninsula. Environment Waikato; Coastal Hazards and development setback Recommendations. Summary Report, May 2002
- 36 Leatherman SP, Nicholls RJ, Dennis KC. Aerial videotape-assisted vulnerability analysis: A cost-effective approach to assess sea-level rise impacts. *Journal of Coastal Research*, 1994, 14: 15—25 (Special Issue)
- 37 Silenzi S, Devoti S, Nisi MF, et al. Integrated Hazard of Italian Coastal Plains with Respect to Relative Sea Level Rise: A Case Study in Versilia Plain. *Littoral 2002, The Changing Coast*. EU ROCAST/EUCC, Porto-Portugal. Ed. EURO-COAST—Portugal, 2002, 115—124
- 38 Li CX, Fan DD, Deng B, et al. The Coasts of China, and issues of sea level rise. *Journal of Coastal Research*, 2004, 51(43): 36—49
- 39 任美镔. 黄河、长江和珠江三角洲海平面上升趋势及2050年海平面上升的预测. 海平面上升对中国三角洲地区的影响及对策. 北京: 科学出版社, 1994, 18—28
- 40 国家海洋局. 2000年中国海平面公报. 2004年4月
- 41 国家海洋局. 2006年中国海平面公报. 2007年1月
- 42 杨桂山. 中国海岸环境变化及其区域响应. 北京: 高等教育出版社, 2002
- 43 夏东兴, 王文海, 武桂秋, 等. 中国海岸侵蚀述要. *地理学报*, 1993, 48(5): 468—476
- 44 孙清, 张玉淑, 胡恩和, 等. 海平面上升对长江三角洲地区的影响评价研究. *长江流域资源与环境*, 1997, 6(1): 58—64
- 45 左书华, 李九发, 陈沈良, 等. 河口三角洲海岸侵蚀及防护措施浅析——以黄河三角洲及长江三角洲为例. *中国地质灾害与防治学报*, 2006, 17(4): 97—101
- 46 左书华, 李九发, 陈沈良. 海岸侵蚀及其原因和防护工程浅析. *人民黄河*, 2006, 28(1): 23—26
- 47 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. *自然灾害学报*, 2001, 10(4): 20—25
- 48 朱季文, 季子修, 蒋自巽. 海平面上升对长江三角洲及邻近地区的影响. *地理科学*, 1994, 14(2): 109—117
- 49 柯旭. 黄河三角洲海岸侵蚀灾害及其对策研究. 中国海洋大学硕士论文, 青岛: 2004
- 50 陈沈良, 张国安, 谷国传. 黄河三角洲海岸强侵蚀机理及治理对策. *水利学报*, 2004, (7): 1—7
- 51 陈小英, 陈沈良, 于洪军, 等. 黄河三角洲海岸剖面类型与演变规律. *海洋科学进展*, 2005, 23(4): 438—445
- 52 孙永福, 段焱, 吴桑云, 等. 黄河三角洲北部岸滩的侵蚀演变. *海洋地质动态*, 2006, 22(8): 7—11
- 53 广东省气候变化评估报告编制课题组. 广东气候变化评估报告(节选). *广东气象*, 2007, 29(3): 1—7
- 54 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. *中国减灾*, 2000, 10(2): 33—37
- 55 李学杰. 应用遥感方法分析珠江口伶仃洋的海岸线变迁及其环境效应. *地质简报*, 2007, 26(2): 215—222
- 56 Hsu TW, Lin TY, Tseng IF. Human impact on coastal erosion in Taiwan. *Journal of Coastal Research*, 2007, 23(4): 961—973
- 57 Chen WJ, Kuo CT. Sea level variation around Taiwan. http://kfki.baw.de/fileadmin/conferences/ICHE/2000-Seoul/pdf/51/PAP_098.PDF [2008-03-23]
- 58 Chen WJ, Kuo CT. Shoreline changes of Tainan coast in Taiwan. <http://kfki.baw.de/fileadmin/conferences/ICHE/2002-Warsaw/ARTICLES/PDF/47E1.pdf> [2008-03-23]
- 59 Emanuel KA. The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature*, 1987, (325): 483—485
- 60 孙季荣, 端义宏. 对东亚夏季风与西北太平洋热带气旋频数关系的初步分析. *大气科学*, 2003, 27(1): 67—74
- 61 张庆云, 彭京备. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登录中国台风的影响. *大气科学*, 2003, 27(1): 97—106
- 62 王会军, 范可. 西北太平洋台风生成频次与南极涛动的关系. *科学通报*, 2006, 51(24): 2910—2914
- 63 范可. 北太平洋海冰, 一个西北太平洋台风生成频次的预测因子? *中国科学, D辑*, 2007, 37(6): 851—856
- 64 王会军, 孙建奇, 范可. 北太平洋涛动与台风和飓风频次的关系研究. *中国科学, D辑*, 2007, 37(7): 966—973

- 65 周波涛, 崔 绚, 赵 平. 亚洲—太平洋涛动与西北太平洋热带气旋频数的关系. 中国科学 D 辑, 2008, 38(1): 118—123
- 66 蔡 锋, 苏贤泽, 杨顺良, 等. 厦门岛海滩剖面对 9914 号台风大浪波动力的快速响应. 海洋工程, 2002, 20(2): 86—90
- 67 蔡 锋, 苏贤泽, 夏东兴. 热带气旋前进方向两侧海滩风暴效应差异研究. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 436—445
- 68 蔡 锋, 雷 刚, 苏贤泽, 等. 台风“艾利”对福建砂质海滩影响过程研究. 海洋工程, 2006, 24(1): 98—109
- 69 尹延鸿, 陈正新. 海平面升降以及对海岸带的影响. 海洋地质动态, 2003, 19(1): 14—17
- 70 王文海. 我国海岸侵蚀原因及其对策. 海洋开发, 1987, (1): 8—12
- 71 萧艳娥, 邱世均. 海南岛邦塘湾海岸侵蚀机理分析与对策探讨. 华南师范大学学报(自然科学版)2003, (2): 124—129
- 72 王 颖, 吴小根. 海平面上升与海滩侵蚀. 地理学报, 1995, 50(2): 118—127
- 73 张裕华. 中国海岸侵蚀危害及其防治. 灾害学, 1996, 11(3): 15—21
- 74 阮成江, 谢庆良, 徐 进. 中国海岸侵蚀及防治对策. 水土保持学报, 2000, 14(1): 44—47
- 75 盛静芬, 朱大奎. 海岸侵蚀和海岸线管理的初步研究. 海洋通报, 2002, 21(4): 50—57
- 76 王玉广, 张宪文, 贾 凯, 等. 辽东湾缓中海岸侵蚀研究. 海岸工程, 2007, 26(1): 1—5
- 77 李学宁. 天津海岸侵蚀与淤积研究. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2007
- 78 陈小英, 陈沈良, 李九发, 等. 黄河三角洲孤东及新滩海岸侵蚀机制研究. 海岸工程, 2005, 24(4): 1—10
- 79 丰爱平, 夏东兴, 谷东起, 等. 莱州湾南岸海岸侵蚀过程与原因研究. 海洋科学进展, 2006, 24(1): 83—90
- 80 何起祥. 我国海岸带面临的挑战与综合治理. 海洋地质动态, 2002, 18(4): 1—5
- 81 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. 中国科学, D 辑, 2000, 30(3): 225—232
- 82 李加林, 杨晓平, 童亿勤. 潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展. 地理科学进展, 2007, 26(2): 43—51
- 83 季子修, 蒋自巽, 朱季文, 等. 海平面上升对长江三角洲和苏北滨海平原侵蚀的可能影响. 地理学报, 1993, 48(6): 516—526
- 84 张忍顺, 陆丽云, 王艳红. 江苏海岸侵蚀过程及其趋势. 地理研究, 2002, 21(4): 469—478
- 85 吴荣军, 郑有飞, 朱明远, 等. 我国海岸带环境嬗变问题的若干事实及其适应性研究. 海洋学研究, 2007, 25(4): 66—73
- 86 尹明泉, 李 采, 韩淑萍, 等. 现代黄河口海岸侵蚀动力灾害预测探讨. 水土保持研究, 2007, 14(1): 315—318
- 87 刘杜娟. 相对海平面上升对中国沿海地区的可能影响. 海洋预报, 2004, 21(2): 21—28
- 88 季小梅, 张永战, 朱大奎. 人工海滩研究进展. 海洋地质动态, 2006, 22(7): 21—25
- 89 谢世楞. 桂林洋海滩整治工程概况. 港工技术, 1993(1): 1—8
- 90 季小梅, 张永战, 朱大奎. 三亚海岸演变与人工海滩设计研究. 第四纪研究, 2007, 27(5): 853—860
- 91 宋向群, 郭子坚, 陈士荫. 星海湾人工海滨浴场的规划设计研究. 土木工程学报, 2005, 38(4): 134—140
- 92 陈 坚, 蔡 锋, 许 江, 等. 厦门岛东北部海滩回填重塑研究. 台湾海峡, 2002, 21(2): 243—251
- 93 Benassai E, Gentilomo M, Ragone A, et al. Littoral restoration by means of protected beach nourishment—recent Italian works. PIANC Bulletin, 1997, 94: 43—55
- 94 Dette HH. Beach fill practice in Germany. SAFE Report, 2nd Annual Workshop. Commission of the European Communities, Sylt, Germany, 1998
- 95 Hamm L, Capobianco M, Dette HH, et al. A summary of European experience with Shore nourishment. Coastal Engineering, 2002, 47: 237—264
- 96 Houston JR The economic value of beaches—a 2002 update. Shore & Beach, 2002, 70(1): 9—12
- 97 Micallef A, Williams AT, Cassar M. Environmental risk assessment: Application to a proposed beach nourishment, Malta. Shore and Beach, 2001, 69(3): 13—17
- 98 Benassai E, Calabrese M, Uberti GSD. A probabilistic prediction of beach nourishment evolution. In: Ozhan E. Ed. Medcoast 01: Proceedings of the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (Vol. 1, pp. 1323—1332). Ankara: Medcoast, 2001
- 99 World Bank. Guidelines for Integrated Coastal Zone Management. Issued at the World Coast Conference. Noordwijk, The Netherlands, 1993
- 100 黄金良, 洪华生, 张珞平, 等. 地理信息技术在海岸带资源环境管理中的应用. 台湾海峡, 2003, 22(1): 79—84
- 101 江毓武, 洪华生, 张珞平. 地理信息系统(GIS)在厦门海域水质模型中的应用. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(1): 90—95
- 102 常 军, 刘高焕, 刘庆生. 黄河三角洲海岸线遥感动态监测. 地球信息科学, 2004, 6(1): 93—98
- 103 王 琳, 徐涵秋, 李 胜. 厦门岛及其邻域海岸线变化的遥感动态监测. 遥感技术与应用, 2005, 20(4): 404—410
- 104 Budetta P, Santo A, Vivenzio F. Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach. Geomorphology, 2008, 94: 340—352
- 105 Jacek Andrzej Urban' ski, Gabriela Grusza, Natalia Chlebus, et al. A GIS-based WFD oriented typology of shallow micro-tidal soft bottom using wave exposure and turbidity mapping. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2007, xx: 1—11