

# 海平面上升对中国沿海重要工程设施 与城市发展的可能影响<sup>\*</sup>

杨桂山 施雅风

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**提 要** 由于自然和人为双重因素作用, 21 世纪前半期中国沿海平原地区相对海平面上升幅度可能达到全球平均值的 2—3 倍, 由此将给沿海地区自然环境演变和社会经济发展带来一系列不利影响。本文分析了未来相对海平面上升 50cm 对中国沿海重要的海岸防护、水利与港口码头工程以及城市供水、防洪与滨海旅游业的可能影响方式与程度。

**关键词** 沿海地区 海平面上升 工程设施 城市发展

海平面上升是全球气候变暖和沿海地区人类活动加剧的一项肯定结果, 直接影响沿海地区 21 世纪社会与经济的可持续发展。中国是一个海洋大国, 有  $1.8 \times 10^4 \text{ km}$  的大陆海岸线和  $1.4 \times 10^4 \text{ km}^2$  的岛屿岸线。沿海地区现拥有或临近海岸线的大中城市 30 余座, 其中包括天津、上海和广州等特大城市; 有重要的港口近 20 个, 是中国生产力布局的主轴线和改革开放的前沿, 并已成为世界上发展速度最快和最具经济活力的地区之一。但由于沿海地区, 特别是大河三角洲平原地区地势低平, 完全靠标准不高的海岸防护工程保护, 加之地面沉降等引起的相对海平面上升速率较大, 使中国沿海地区成为世界上受海平面上升影响最严重的地区之一 (图 1)。近年来, 对这一重大环境问题的研究已受到许多学者的高度重视。如季子修等<sup>[1]</sup>曾对长江三角洲及苏北滨海平原的海岸侵蚀、何洪钜<sup>[2]</sup>对珠江三角洲的风暴潮、李素琼<sup>[3]</sup>与杨桂山等<sup>[4]</sup>分别对珠江口和长江口的盐水入侵等受海平面上升影响问题进行过较详细的研

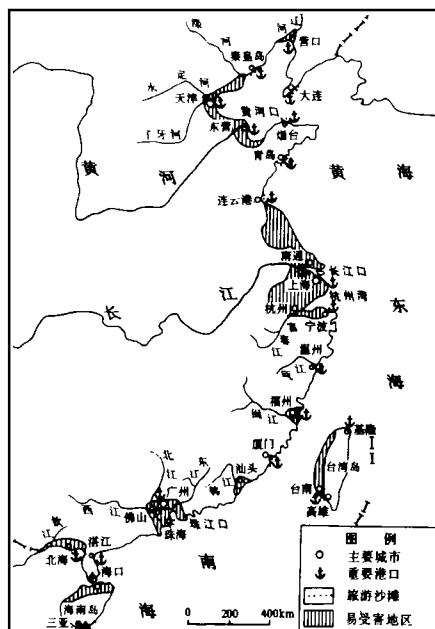


图 1 中国海平面上升影响示意图

Fig. 1 Sketch map showing the vulnerable areas to sea level rise in China

\* 中国科学院基金重点资助项目。

收稿日期: 1994 09; 收到修改稿日期: 1994 12。

究。同时,韩慕康等<sup>[5]</sup>与朱季文等<sup>[6]</sup>通过区域综合研究,分别对渤海湾两岸平原和长江三角洲及邻近地区的海平面上升危害性进行了评估。本文试图就海平面上升对中国沿海一些重要工程设施与城市发展的影响进行分析,供沿海地区经济建设和防灾减灾规划决策参考。

由于未来海平面上升预测过程中存在许多的不确定性和可供验证的直接观测资料不足,目前要确切地预估 21 世纪海平面上升幅度仍有相当大的困难。大多数研究者最新发表的 21 世纪全球海平面上升预测值均介于联合国政府间气候变化委员会(IPCC)1990 年公布的 4 种不同 CO<sub>2</sub> 排放政策下的相应海平面上升预测方案的最佳估计值之间,即 2050 年为 20—30cm,2100 年为 32—66cm。中国沿海地区,特别是大河三角洲平原地区,受地面沉降(自然的、人为的)以及其他人为因素(如筑堤建闸引起的河口水位抬高等)的影响,未来一定时期内相对海平面上升幅度将远超过上述全球平均值。按保守估计(即人为引起的地面沉降受到严格控制的情况下)的 21 世纪前半期相对海平面上升幅度就可能达到全球平均上升幅度的 2—3 倍。若至 2050 年全球海平面上升 20—30cm,则中国不同三角洲平原地区相对海平面上升幅度至少将达 40—90cm。考虑到预测值中的若干不确定性因素等,本研究采用相对海平面上升 50cm 来估算其对沿海重要工程与城市的可能影响,此值在人为抽引地下水引起地面沉降较严重的北方沿海地区(如渤海西岸平原)可能在 2030 年前后即可出现;而在人为引起的地面沉降较轻的南方沿海地区(如珠江三角洲平原)可能至 2050 年前后才出现。

## 1 海平面上升对沿海重要工程设施的影响

### 1.1 海岸防护工程

中国滨海平原基本都建有海堤等海岸防护工程,在抵御海潮入侵和减轻海岸灾害方面发挥着重要作用。但与一些沿海发达国家相比,中国海堤工程的防御能力普遍偏低,除少数城市和工业区(上海外滩防汛墙、秦山核电站和金山石化总厂护堤等)局部海堤标准较高,可达千年一遇外,其余绝大部分海堤一般仅达到 20 至 50 年一遇。海平面上升,潮位升高以及潮流与波浪作用加强,不仅会导致风浪直接侵袭和淘蚀海堤的机率大大增加,而且也可能引起岸滩冲淤变动,造成堤外港槽摆动贴岸,从而对海堤安全构成严重威胁。同时,海平面上升,导致出现同样高度风暴潮位所需的增水值大大减小,从而使极值高潮位的重现期明显缩短,无疑也将造成海水漫溢海堤的机会增多,使海堤防御能力下降,并遭受破坏。在长江三角洲平原,绝大部分海堤堤顶高程均能抗御历史特大风暴潮位,是全国海堤防御标准相对较高的地区。利用海平面上升值叠加各段海堤设计参考站的历史最高潮位和选用的波浪爬高值与当地海堤堤顶高程比较分析表明,未来海平面上升 50cm,遇历史最高潮位,受潮水漫溢的海堤长度约占全区海堤总长度的 32%(表 1)。加上本区多为土堤,而且所修筑的护坡工程顶高普遍偏低,固而极易被波浪淘蚀损坏,甚至溃决,直接威胁受海堤保护地区内的人民生命财产安全。此类影响在其他一些现状海堤防御标准更低的三角洲地区(如老黄河与现代黄河三角洲等)可能更加严重。

表 1 海平面上升 50cm 对长江三角洲地区海堤的影响 (黄海基面, m)

Tab. 1 Impacts of relative sea level rise on the seawall of the Changjiang Deltaic area  
(Huanghai Datum Plane, m)

岸 段		长江口以北			长江口区			长江口以南	
		北凌闸至 东安闸	东安闸至 东灶港闸	东灶港 闸以南	长江口 北岸	江中 沙岛	长江口 南岸	川沙段	南汇段
海堤长度 (km)		86.3	34.9	83.5	46.6	298.4	25.2	46.4	45.0
现状堤顶高程		8.5	6.9	6.8—7.8	6.6	4.5—6.5	6.2	4.9—6.6	6.4
历史最高潮位		6.63	4.92	4.74	4.78	4.04	4.11	4.01	3.63
波 浪 爬 高		1.5	1.5	2.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.60
海平面 上升 50cm	可能最大潮高	8.63	6.92	7.24	6.28	5.54	5.61	6.01	5.73
	超过堤顶高度*	+0.13	-0.02	+0.44— -0.56	-0.32	+1.01— -0.96	-0.59	+1.11— -0.59	-0.67

\* “+”为潮水位超出堤顶,“-”为潮水位低于堤顶。

## 1.2 水利工程

中国大部分入海河口 (长江、珠江等大河除外) 均兴建了大量涵闸工程, 这些工程一般都具有挡潮、排涝与蓄淡灌溉等综合功效。海平面上升, 闸下潮位抬高, 潮流顶托作用加强, 将导致涵闸自然排水历时缩短、排水强度降低。如苏北滨海平原低洼地洪涝积水除部分由江都抽水站南排入江外, 主要依靠射阳、黄沙、新洋与斗龙四大港自排入海。未来海平面上升 50cm, 四闸一潮排水历时将平均缩短 15%—19%, 一潮排水总量平均下降 20%—30%<sup>[7]</sup>, 导致各涵闸排水能力大大降低。在太湖下游低洼地区, 农田排灌主要依靠浏河、杨林、戚浦、白茆和浒浦 5 条入江河道下游的河闸控制。根据闸上水位、闸下潮位应用平底闸出流公式计算表明, 未来海平面上升 40cm, 沿江代表性河闸一潮排水总量就将下降 20% 左右<sup>[8]</sup>。涵闸排水能力下降导致低洼地排水不畅、内涝积水时间延长, 从而加剧洪涝灾害损失。在珠江三角洲, 也同样出现类似的问题, 该地区地势极低, 相当部分地面甚至低于当地平均海平面, 目前低洼地积水自排已十分困难, 大多依赖机电排水。据初步估算, 若未来海平面上升 50cm, 则机电排水装机容量将至少需增加 15%—20%, 才能保证现有低洼地排涝标准不降低<sup>[9]</sup>。

## 1.3 港口与码头工程

中国沿海众多的港口 (包括海港与河口港), 承担着全国主要进出口物资和大宗货物的运输任务, 在国民经济发展中发挥着巨大作用。未来海平面上升将给港口与码头设施造成许多不利影响。首先, 海平面上升, 波浪作用增强, 不仅将造成港口建筑物越浪机率增加, 而且将导致波浪对各种水工建筑物的冲刷和上托力增强, 直接威胁码头、防波堤等设施的安全和使用寿命。其次, 海平面上升, 潮位抬高, 将导致工程原有设计标准大大降低, 使码头、港区道路、堆场以及仓储设施等受淹频率增加, 范围扩大。如天津港老港区, 自 70 年代以来, 因地面快速下沉, 码头前沿平均水位已相对升高了 0.5—0.7m, 码头最低处已降到历史最高潮位以下近 1.0m。1992 年受强台风风暴潮侵袭, 造成港区码头、客运站、仓

库和堆场等设施全部被淹，直接经济损失达 4.0 亿元人民币。初步计算，若相对海平面上升 50cm，遇当地历史最高潮位（大部分地区的重现期约为 50 年一遇），全国 16 个主要沿海港口中，除新建的营口、秦皇岛和石臼所煤码头以及宁波北仑港等少数港口以外，其余港口均不同程度受淹，其中尤以上海和天津港老港区受害最为严重（表 2），若加上波浪爬高的影响，受淹情况更加严重。此外，海平面上升引起的潮流等海洋动力条件变化，也将可能改变港池、进出港航道和港区附近岸线的冲淤平衡，影响泊位与航道的稳定性，增加营运成本。

表 2 海平面上升 50cm 对中国沿海主要港口可能的淹没影响\*（黄海基面，m）

Tab. 2 Impacts of relative sea level rise on the important harbors in China (Huanghai Datum Plane, m)

港口名称	码头顶部高程	历史最高潮位	海面上升 50cm 可能最高潮位	超过码头顶高**
大连港	2.9—4.9	2.5	3.0	+0.1—-1.9
营口新港	3.4	2.7	3.2	-0.2
秦皇岛港	4.1	1.6	2.1	-2.0
天津港	2.4—2.6	3.2	3.7	+1.3—+1.1
烟台港	2.9—3.2	2.7	3.2	+0.3—0
青岛港	3.2—3.8	3.0	3.5	+0.3—-0.3
石臼港	3.4—12.3	2.8	3.3	-0.1—-9.0
连云港港	4.1	3.6	4.1	0
南通港	4.5	4.8	5.3	+0.8
上海港	3.1—4.0	4.1	4.6	+1.5—+0.6
宁波港	3.9—5.9	3.3	3.8	-0.1—-2.1
厦门港	4.3	4.5	5.0	+0.7
黄浦港	3.9	3.3	3.8	-0.1
湛江港	5.1	5.4	5.9	+0.8
海口港	3.1	3.3	3.8	+0.7
三亚港	2.8	1.7	2.2	-0.6

\* 原始资料由中国科学院南京地理与湖泊研究所周立三先生提供。

\*\* “+”为潮位超过码头顶高，“-”为潮位低于码头顶高。

## 2 海平面上升对沿海重要城市发展的影响

### 2.1 城市供水

海平面上升对城市供水的影响主要表现在海平面上升加剧盐水入侵灾害和阻碍城市污水排泄引起的供水水源污染。中国沿海地区，特别是长江口以南地区，供水水源以河流地表水为主，且许多重要城市均位于入海河口区，如长江口的上海市、钱塘江口的杭州市、甬江口的宁波市、瓯江口的温州市、闽江口的福州市、榕江口的汕头市以及珠江口的广州市、

佛山市和珠海市等。海平面上升引起河口盐水入侵加剧,将对这些城市供水水质构成一定威胁。以上海为例,据对主要供水水源地吴淞口的水质分析计算表明,现状盐水入侵对吴淞口水质产生危害(指水源含氯度(CI)  $> 200 \times 10^{-6}$ )一般发生在长江下泄入海流量不足  $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$  的情况下,而海平面上升 50cm,在长江下泄流量保持在  $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$  时就将对其产生明显影响。从长江大通站多年月均流量资料来看,枯季长江月均流量不足  $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$  的机率仅 40%,而不足  $1.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$  的机率则达 60% (表 3)<sup>[4]</sup>。

表 3 海平面上升 50cm 对上海吴淞取水口枯季水质的影响

Tab. 3 Impacts of relative sea level rise on water quality at Wusong intake of Shanghai in dry season (%)

流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		11 000	12 000	13 000	15 000
水体逐时含	现状	36	24	15	5
氯度大于 200	海面上升 50cm	71	44	26	7
$\times 10^{-6}$ 机率 (%)	增加率	97.8	83.3	73.4	40.0

而且,由于海平面上升,潮流顶托作用加强,城市排放污水下泄受阻,造成污水在河网中长期回荡,甚至倒灌,加重水体污染。如上海排入黄浦江的大量污水,由于长江口潮流顶托,下泄困难,致使河流水体自净能力大大降低,造成干流约 75% 的河段水质低于国家地面水三级标准,江水黑臭天数日趋增加,已给沿岸 10 多座水厂的水源水质产生很大影响,未来这种影响随着海平面上升将更加严重。其他一些沿海城市,尤其是广州、天津等,此类影响也十分明显。

中国北方沿海地区,由于地表水相对缺乏,城市供水在很大程度上依赖地下水作为水源,如大连、秦皇岛、烟台、青岛等市。目前,这些地区因过量开采地下水引起的盐水入侵地下含水层,已经对城市供水产生很大危害。未来海平面上升,即使能保持地下水水位不继续下降,潮位升高,也将造成这些地区地下水水位负值区面积的扩大,无疑也将加重地下水的污染,加剧城市供水不足。

## 2.2 城市防洪与排涝

中国沿海平原地区的城市地面高程普遍较低,大部分仅 2—3m (均采用黄海高程基准面),如位于渤海西岸平原的天津市,市区近一半地区的地面高程不足 3.0m,而滨海的塘沽、汉沽和大港区几乎全部处于 3.0m 高程以下<sup>[10]</sup>;位于长江三角洲的上海市,地面平均高程仅 1.5—2.0m,其中最低处仅 0.7m 左右<sup>[11]</sup>;位于珠江三角洲的广州、佛山和珠海等城市地势更低,很大一部分地区地面高程仅 0—1.5m<sup>[12]</sup>。因此,目前这些城市地面的相当部分已处于当地平均高潮位以下,完全依赖城市防洪设施保护,遇风暴洪水袭击,极易造成严重灾害。而且这些城市发展普遍存在向地势更加低平的滨海地带扩张的趋势(如天津经济发展重心战略东移和上海浦东开发等),更加重城市的防洪负担。海平面上升将使这些城市已十分严峻的防洪问题更加突出,严重影响城市经济发展和人民生活安定。根据塘沽、黄浦公园和广州站现状与海平面上升 50cm 不同重现期最高潮位的比较分析表明,海平面上升将导致天津、上海和广州城市防洪能力的明显下降(表 4)。从表中可以看出,未来相对海平面上升 50cm,天津附近海岸和上海黄浦江现状重现期为 100 年一遇的高潮位将变为

10 年一遇;广州附近现状重现期为 100 年一遇的高潮位将降为 20 年左右一遇。相应城市防洪能力,在天津将由现状 20 至 40 年一遇降为 5 年一遇;上海将由现状百年至千年一遇降为 10 年至百年一遇;广州则由现状 40 至 50 年一遇降为 10 年一遇,与未来城市发展的需要不相适应。

表 4 海平面上升对天津、上海和广州城市防洪能力的影响

Tab. 4 Impacts of relative sea level rise on urban flood control at Tianjin, Shanghai and Guangzhou (Huanghai Datum Plane)

	海平面 上升 (cm)	不同重现期最高潮位 (黄海基面 m*)						防洪设施	
		5	10	20	50	100	1000	设计潮位 (m)	设计能力 (年一遇)
天津	0	2.58	2.83	2.96	3.18	3.33		3.0	20—40
	50	3.08	3.33	3.46	3.68	3.83			5
上海	0	3.04	3.21	3.32	3.55	3.72	4.23	3.7—4.2	100—1000
	50	3.54	3.71	3.82	4.05	4.22	4.73		10—100
广州	0		2.76	2.99	3.26	3.47	4.11	3.2	40—50
	50		3.26	3.49	3.76	3.97	4.61		10

\* 塘沽站据彭天字等<sup>[13]</sup>, 广州站据何洪钜<sup>[2]</sup>推算。

目前,沿海平原地区城市排水能力也很低,雨后积水现象严重。如作为全国最大经济中心的上海市,市中心区排水控制范围内的排水能力达到半年至一年一遇规划要求(即每小时抽排 27—36mm 雨水)的仅占 60%,其他地区排水能力更低,相当部分街区完全靠自流排水。1991 年汛期两次暴雨,曾先后造成市区 200 多条街道积水<sup>[11]</sup>。海平面上升,潮位抬高,导致城市排水系统抽排效率降低,自流排水发生困难,部分排水管闸甚至报废、失去功效,从而将造成城区积水时间延长、积水范围扩大、积水加深。若天文大潮、台风和暴雨相遭遇,将对城市安全构成严重威胁。

### 2.3 城市滨海旅游业

滨海旅游业在沿海城市发展中占有极重要的地位,目前作为国际第一大产业的旅游业,滨海旅游收入已占其总收入的 2/3 以上。在中国,沿海城市现已开发包括海滨公园、浴场和疗养度假区在内的海滨旅游景点 300 多处,已开发旅游岸线长约 258km,每年接待的旅游人数约占全国 60%以上。未来海平面上升将给这些城市的滨海旅游业带来很大危害,其中受害最严重的将是被誉为“寸沙寸金”的旅游沙滩资源。据对大连、秦皇岛、青岛、北海和三亚等 5 个主要海滨旅游区估算,海平面上升 50cm,这些城市的海滨旅游区将因淹没和侵蚀加剧而后退 31—366m,沙滩平均损失率达 24%,其中最著名的北戴河风景区沙滩损失率将接近 60%<sup>[14]</sup>。此外,沿海地区许多独特的海岸地貌景观旅游资源、滨海珍稀或特种动植物与各类海岸、湿地保护区以及著名的旅游海岛等都将受到不同程度的影响,已建的一些重要旅游设施也将可能受到危害。

### 3 结论与建议

(1) 综合考虑各种因素影响, 至 2050 年, 全球海平面上升的最佳估计可能是 20—30cm。对于中国沿海地区, 特别是大河三角洲平原地区而言, 自然与人为引起的地面沉降将仍是未来相对海平面上升的主要贡献因子。分析各三角洲地区的地面沉降趋势, 按保守估计的 21 世纪前半期相对海平面上升幅度可能将达到全球平均值的 2—3 倍。因此, 必须高度重视未来相对海平面上升对我国沿海地区、尤其是河口三角洲平原地区社会与经济发展的影响。

(2) 沿海地区是中国生产力布局的主轴线和经济增长最具活力的地区, 人口与经济密度均远高于内陆地区。目前沿海各种工程设施标准普遍偏低且功能正在不断下降, 主要城市 (包括天津、上海和广州等特大城市) 发展过程中也普遍存在供、排水困难和城市防洪负担过重等问题, 各种海岸灾害呈现明显加剧趋势。随着沿海经济总量的不断扩大和相对海平面的加速上升, 将使这些已十分突出的问题更加严重, 灾害损失也将大幅度增加。

(3) 为减轻海平面上升带来的不利影响, 未来在沿海地区新建和布局各类重大经济项目与基础设施以及在进行城市成片土地开发过程中, 应明确考虑海平面上升因素 (如加高基面、适当提高各类工程建设标准等)。海堤作为防御海平面上升危害和减轻海岸灾害的最有效手段, 国家有关部门应会同沿海各省市, 根据各地不同的自然环境与社会经济特点, 制定合理的防护标准与分期实施方案, 以尽快改变我国海岸防护工程建设长期滞后沿海经济发展的状况。我国沿海地区, 特别是大河三角洲平原地区, 21 世纪前半期海平面上升在很大程度上是由于人类过量开采地下水等造成的地面沉降引起的。制定严格的法规, 控制沿海地下水资源超采和其他一切不合理经济活动, 可以有效地降低未来相对海平面上升幅度, 大大减轻海平面上升的危害。

### 参 考 文 献

- 1 季子修, 蒋自巽, 朱季文等. 海平面上升对长江三角洲及苏北滨海平原海岸侵蚀的可能影响. 地理学报, 1993, 48(6): 516—526.
- 2 何洪钜. 海平面上升对珠江三角洲风暴潮的可能影响. 见: 中国科学院地学部编. 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. 174—180.
- 3 李素琼. 海平面上升对珠江三角洲咸潮入侵可能的影响. 见: 中国科学院地学部编. 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. 244—233.
- 4 杨桂山, 朱季文. 全球海平面上升对长江口盐水入侵的影响研究. 中国科学 (B 辑), 1993, 23(1): 70—76.
- 5 韩慕康, 三村信男, 细川恭史等. 渤海西岸平原海平面上升危害性评估. 地理学报, 1994, 49(2): 107—115.
- 6 朱季文, 季子修, 蒋自巽等. 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—115.
- 7 都金康, 史运良. 未来海平面上升对江苏沿海水利工程的影响. 海洋与湖沼, 1993, 24(3): 279—284.
- 8 毛锐. 海平面上升对太湖湖东洼地排水的影响及灾情预估. 见: 施雅风等著. 中国气候与海面变化研究进展 (二). 北京: 海洋出版社, 1992. 88—90.
- 9 范锦春. 海平面上升对珠江三角洲水环境的影响. 见: 中国科学院地学部编. 海平面上升对中国三角洲的影响与对策. 北京: 科学出版社, 1994. 194—201.
- 10 任美镔. 海平面上升与地面沉降对黄河三角洲影响初步研究. 地理科学, 1990, 10(1): 48—57.
- 11 窦正国. 上海城市防洪综述. 人民长江, 1991, 22(8): 14—17.

- 12 李平日, 方国祥, 黄光庆. 海平面上升对珠江三角洲经济建设的可能影响与对策. 地理学报, 1993, 48 (6): 527—536.
- 13 彭天宇, 杨贵业. 天津市沿海风暴潮侵袭与相对海平面上升. 见: 中国科学院地学部编. 海平面上升对中国三角洲地区的影响与对策. 北京: 科学出版社, 1994. 181—186.
- 14 王颖, 吴小根. 海平面上升与海滩侵蚀. 地理学报, 1995, 50 (2): 118—127.

## POSSIBLE IMPACTS OF SEA LEVEL RISE ON MAJOR PROJECTS AND URBAN DEVELOPMENT IN THE COASTAL AREAS IN CHINA

Yang Guishan Shi Yafeng

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica, Nanjing 210008)

**Key words** coastal areas, relative sea level rise, projects and installations,  
urban development

### Abstract

The coastal plains are the regions with dense population and well-developed economy in China, where there are over thirty middle or big cities and nearly twenty important harbors, including Tianjin, Shanghai and Guangzhou etc.. Due to land subsidence and other factors, relative sea level rise of these areas can be 2—3 times of the global mean value in the mid-21th century. So the coastal plains of China will be one of the regions which are the most vulnerable to future sea level rise in the world. Through the typical researches on the old Huanghe Delta near Tianjin, the Changjiang Delta and its adjacent area and the Zhujiang Delta, this paper analyses the adverse impacts of a 50 cm sea level rising on coastal defense, water conservancy and harbor projects, as well as urban water supply, flood control and tourism in the coastal areas in China.

The research results show that, accelerated relative sea level rising will cause marked decline in the function of the various coastal defense and water conservancy projects and endanger seriously the functional working of more than half of sixteen major harbors. Meanwhile, it will also influence urban development through deteriorating water quality, aggravating the tasks of urban flood control and damaging tourism beaches. Tianjin, Shanghai and Guangzhou would be seriously affected.

### 作者简介

杨桂山, 男, 1965 年生, 副研究员。1987 年毕业于南京大学大地海洋系。现主要从事区域环境与资源研究, 并师从于施雅风院士在职攻读博士学位。已发表“全球海平面上升对长江口盐水入侵的影响研究”等论文 15 篇。