

ANHUA DAOZHI DE HAIPINGMIAN
ENG DUI ZHUJIANGKOU SHUIZIYUAN
DE YINGXIANG YANJIU

气候变化导致的海平面上升 对珠江口水资源的影响研究

孔 兰 陈晓宏 蒋任飞 著



黄河水利出版社

气候变化导致的海平面上升 对珠江口水资源的影响研究

孔 兰 陈晓宏 蒋任飞 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书以易受海平面上升影响的珠江口地区为研究区,在系统分析评价变化环境下珠江口水资源的基础上,辨析了珠江口咸潮与影响因素的响应规律,揭示了咸潮上溯对海平面上升的响应规律,分析了珠江口地区各个城市水资源供需平衡,识别了海平面上升对珠江口代表站年平均水位变化的贡献率,揭示了珠江口水位对海平面上升的响应机制和规律,构建模型对海平面上升影响下的珠江口最高洪潮水位进行了预估,提出了应对海平面上升对珠江口水资源影响的具体措施。

本书可供水利和水利工程、气候及气象、生态和资源环境、海洋、农业、交通工程等专业研究人员、高等院校师生以及水利、市政、交通、农业、气象等部门的工程技术人员和政府决策部门的行政管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化导致的海平面上升对珠江口水资源的影响研究 / 孔兰, 陈晓宏, 蒋任飞著. — 郑州: 黄河水利出版社, 2018. 8

ISBN 978 - 7 - 5509 - 2116 - 0

I. ①气… II. ①孔…②陈…③蒋… III. ①海平面变化 - 影响 - 珠江三角洲 - 水资源 - 研究 IV. ①TV213. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 198587 号

出 版 社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhslebs@126.com

承印单位: 河南瑞之光印刷股份有限公司

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 10.5

字数: 240 千字

版次: 2018 年 8 月第 1 版

印数: 1—1 000

印次: 2018 年 8 月第 1 次印刷

定价: 39.00 元

序

气候变化导致的海平面上升对河口区水资源的影响,已经成为全球重要的环境问题,是全球科学界的研究热点之一。地势低平、人口密集、经济发达的长江三角洲、珠江三角洲的城市群是最脆弱的地区,易受海平面上升影响,存在洪灾、海水入侵、土地侵蚀流失、强热带风暴的威胁,就算是轻微的海平面上升,也会带来严重破坏。全球气候变暖导致海平面加速上升,我国平均海平面上升速度比全球平均速度更快,据中国国家海洋局预测,我国平均海平面到2050年时将比2001年升高13~22 cm。海平面上升会加剧河口区咸潮、风暴潮、水污染、排洪困难等,并严重威胁沿海城市枯季的供水安全。为了预防海平面上升带来的巨大危害,各国政府已采取措施,保护沿海地带。我国沿海地区,特别是长江、珠江三角洲地区,应及早采取必要的措施,防患于未然。

2016年珠江口地区9城市常住人口5 998.49万人,城镇人口为5 113.90万人,城镇化率达到85.25%,城镇化水平较高,国内生产总值(GDP)为60 731.97亿元,三次产业结构比例为1.8:42.2:56.0,第三产业占的比重最大。党的十九大报告提出“以粤港澳大湾区建设、粤港澳合作、泛珠三角区域合作等为重点,全面推进内地同香港、澳门互利合作”,赋予了粤港澳大湾区新时代下的新使命,并为“9+2”(珠江口广州、深圳等9城市和香港、澳门)的世界级城市群发展带来千载难逢的历史机遇。珠江口地区将打造国际一流的大湾区——粤港澳大湾区,成为高度繁荣发达的世界级城市群以及中国新的经济增长极。

咸潮威胁是近些年对珠海市、中山市、澳门等城市供水的最大心腹之患。据统计,枯水期上游来水量减少,造成珠江口磨刀门、鸡啼门和虎跳门水道取水口普遍受到咸潮的影响。海平面上升将增加珠江口咸潮影响的范围和时间,严重威胁珠江口枯季的供水安全,存在显著的季节性缺水问题,供水形势更加严峻。海平面的上升增强了潮水顶托作用,入海河流排水流量和排水时间都将大量减小,从而造成河道排水困难,低洼地带排水不畅,内涝积水时间延长,加剧了洪涝灾害。由于三角洲地区经济的快速发展,城市污水管网建设滞后,老城区雨污混流较为普遍,城市部分污废水未经处理直接排入排洪渠和排海河流。现有排污口高程较低,随海平面的上升,潮流界将上移,污水长期回荡,不利于污水自净和排泄外海,甚至在潮汐的作用下,出现倒灌现象,加剧珠江口河网区的水质污染,恶化城市水环境,这样更加重了珠海市主城区及澳门咸潮期的供水压力。

本书作者近些年来对海平面上升对珠江口水资源的影响研究成果进行了系统总结,取得了本领域一些创新性成果,主要包括利用坐标分布熵法、集对分析、非参相关分析法等方法对比研究了珠江口咸潮与各影响因素的响应,辨析了珠江口咸潮与影响因素的响应规律;利用一维动态潮流含氯度数学模型,模拟海平面上升对咸潮上溯的影响,揭示了咸潮上溯对海平面上升的响应规律;通过聚类分析等多种成熟的方法揭示了珠江口水位对海平面上升的响应机制和规律;构建模型对海平面上升影响下的珠江口最高洪潮水位

进行了预估。研究气候变化导致的海平面上升对珠江口水资源的影响,揭示海平面上升的影响规律,提出应对海平面上升影响的具体措施,为有效控制和减轻海平面上升对河口区水资源的不利影响具有重要意义。书中的一些新理念、新方法还将对深入研究海平面上升对其他河口区水资源的影响问题、预防海平面上升危害、防洪减灾、确保供水安全等提供参考。

前言

气候变化导致的海平面上升对沿海地区构成极大的威胁,海平面上升已经成为全球重要的环境问题,受到高度重视。海平面上升会加剧河口区咸潮、风暴潮、水污染、排洪困难等,并严重威胁沿海城市枯季的供水安全。为了有效控制和减轻海平面上升对河口区水资源的不利影响,本研究在分析评价变化环境下珠江口水资源的基础上,利用坐标分布熵法、集对分析理论、数学模型、灰色系统理论、主成分分析法、层次聚类分析法、Mann-Kendall 趋势检验法、统计分析法等方法,分析了海平面上升对珠江河口区咸潮、水位、供水等方面的影响。本研究具有重要的理论意义和应用价值。

主要研究内容及成果如下:

(1)辨析了珠江口咸潮与影响因素的响应规律。利用坐标分布熵法、集对分析、非参相关分析法等方法对比研究了珠江口咸潮与各影响因素的响应规律。结果显示,珠江口咸潮的主要影响因素为流量、最低潮位和海平面,潮差、风级与咸潮相关性较小,为次要影响因素;平岗泵站咸潮对流量的敏感性大于联石湾水闸,联石湾水闸与海平面、最低潮位、潮差和最高潮位的敏感性大于平岗泵站,说明越靠近河口区的取水点,咸潮对潮汐、海平面变化越敏感。

(2)揭示了咸潮上溯对海平面上升的响应规律。利用一维动态潮流含氯度数学模型,模拟了海平面上升对咸潮上溯的影响,并详细计算了代表口门在海平面上升 10 cm、30 cm 和 60 cm 的情景下,咸度界线的具体上移距离。结果显示,模型模拟的 250 mg/L 咸度界线随着上游来水频率的增大,咸潮上溯距离明显增大;一定上游来水条件下,随着海平面的上升,咸度界线向上游方向移动显著。

(3)分析了珠江口地区西江、北江和东江水系水资源变化趋势及成因,探讨了水质与环境生态现状,评价了水资源开发利用现状,提出了珠江口地区水质型缺水、资源型缺水等现状缺水问题,计算了各个城市水资源供需平衡分析结果和供水历时保证率及缺水量。

(4)识别了海平面上升对珠江口代表站年平均水位变化的贡献率。利用灰关联法分析了代表站——灯笼山站年平均水位与流量、海平面、潮差等因素的关系,计算结论显示,各因素对年平均水位均产生显著影响,其中海平面变化是年平均水位的重要影响因素。选取灰关联度较大的 6 个指标进行主成分分析,结果表明,影响珠江口年平均水位的第一主成分为径流潮汐作用,第二主成分的代表因素为海平面上升。海平面上升对灯笼山站年平均水位的影响虽然弱于径流潮汐作用,但其影响也是显著的。

(5)通过多种成熟的方法揭示了珠江口水位对海平面上升的响应机制和规律。海平面上升对珠江三角洲代表站的年平均水位和年最低水位的影响大于对年最高水位的影响;海平面上升对马口站和三水站水位的影响小于河床下切与径流的影响;海平面上升对珠江河口区水位的影响由三角洲深处向口门区有增强趋势。

(6)构建模型对海平面上升影响下的珠江口最高洪潮水位进行了预估。最高洪潮水

位对经济发达的珠江口地区构成极大的威胁,给生活和建设带来不同程度的破坏与损失。通过对代表站——灯笼山站和横门站最高洪潮水位系列进行回归模型分析,得出增加幅度。在对珠江口地区海平面上升进行预测的基础上,预估了在 2050 年 50 年一遇的最高洪潮水位。

海平面上升会增加河口区咸潮影响的范围和时间,抬高水位,加重水域污染,严重威胁珠江口地区的城市供水安全,据此提出了应对海平面上升对珠江口水资源影响的具体措施。

本书得到了中国科学研究院、中国水利水电科学研究院、中山大学、水利部珠江水利委员会、中水珠江规划勘测设计有限公司、珠江流域水资源保护局、珠江水利科学研究院、广东省水文局等单位许多教授的宝贵修改意见,使本书质量得以全面提高。本书得到国家自然科学基金项目“珠江三角洲河口区海平面上升咸潮上溯的水资源响应与调控”(51479216)、水利部公益性行业科研专项经费项目“珠江三角洲典型水网区水资源调度技术研究”(201401013)、国家自然科学基金重点项目“珠江三角洲区域水文特征变异及其水资源响应量化研究”(50839005)、中国科学院学部咨询课题“气候变化对水资源与生态安全的影响及其适应对策”第七子题“气候变化对珠江流域水资源的影响与适应对策”、“中山大学优秀研究生导师逸仙创新人才培养计划”、中水珠江规划勘测设计有限公司科研项目等基金的资助,在此,作者一并表示衷心的感谢。

本书收集了大量的观测和调研资料,参考文献也较多,书中难免存在谬误之处,敬请读者见谅和指正。

作 者

2018 年 3 月

目 录

序	
前 言	
第1章 绪 论	(1)
1.1 研究背景及其意义	(1)
1.2 国内外研究进展	(3)
1.3 研究内容、技术路线及方法	(15)
第2章 研究区概况及资料来源	(18)
2.1 珠江口的自然地理概况	(18)
2.2 珠江三角洲的社会经济概况	(26)
2.3 珠江口的水资源状况	(27)
2.4 资料来源	(29)
2.5 小 结	(29)
第3章 变化环境下珠江口水资源分析与评价	(30)
3.1 研究方法	(30)
3.2 水文水资源变异分析	(31)
3.3 水资源量计算	(34)
3.4 水质与环境生态现状评价及趋势分析	(40)
3.5 可利用水量	(44)
3.6 水资源开发利用现状调查评价	(45)
3.7 小 结	(59)
第4章 海平面上升影响下的珠江口咸潮影响因素辨析	(61)
4.1 研究方法	(61)
4.2 实例研究	(63)
4.3 小 结	(70)
第5章 咸潮上溯对海平面上升的响应	(72)
5.1 珠江口海平面上升的识别	(72)
5.2 珠江口咸潮上溯对海平面上升的响应	(74)
5.3 小 结	(88)
第6章 海平面上升对珠江口城市供水的影响	(90)
6.1 珠海市水资源开发利用现状	(90)
6.2 海平面上升导致的供水问题	(92)
6.3 海平面上升等对主要取水点咸情的影响分析	(93)
6.4 小 结	(99)

第7章 珠江口潮水位对海平面上升的响应	(100)
7.1 珠江口潮水位的演变规律识别	(100)
7.2 珠江口潮水位对海平面上升的响应	(107)
7.3 小 结	(128)
第8章 海平面上升影响下的珠江口最高洪潮水位预估	(130)
8.1 珠江口最高洪潮水位的变化规律	(130)
8.2 珠江口代表站最高洪潮水位的预估	(137)
8.3 海平面上升对河口区水资源影响的适应对策	(139)
8.4 小 结	(143)
第9章 结论与展望	(145)
9.1 结 论	(145)
9.2 不足与展望	(146)
参考文献	(148)

第1章 绪论

1.1 研究背景及其意义

1.1.1 研究背景

全球气候变暖导致了海平面加速上升,给人类的生存环境造成巨大威胁,作为全球重要环境问题的海平面上升,越来越受到重视,各国政府和许多科学家已经高度关注海平面上升问题(Vivien et al, 2014; 程和琴等, 2016; 李响, 2015)。由于海平面上升是一个缓慢而持续的过程,对社会、经济及资源、环境的影响可能是长久和深远的,其长期累积的结果将对沿岸地区构成严重威胁。1989年美国科学院院长 Frank Press 指出:“海岸带管理应当考虑将来海平面上升”。作为海洋大国的中国,岛屿岸线和大陆岸线长分别为 1.4 万 km 和 1.8 万 km,广阔的河口三角洲和滨海平原位于我国大陆沿海地区。我国大约有 50% 的人口和 70% 的大城市集中在东部沿海地区。沿海地区的优势表现在:吸引外资多、经济活跃、经济总量大。但是在人类活动和自然条件的耦合作用下,各种灾害频繁发生,特别是气候变化导致的海平面上升问题,在我国沿海地区的自然环境和社会经济发展方面已经产生了众多不利影响。1988 年,联合国环境规划署(UNEP)和世界气象组织(WMO)为了能更好地应对海平面上升这一全球性重要环境问题,成立了政府间气候变化专业委员会(IPCC),对全球温室气体的变化、气温的变化以及海平面的变化进行了分析和预测,这些研究使联合国在制定各协约国的共同协议时有了诸多科技支撑;IPCC 曾于 1995 年、1999 年、2001 及 2007 年发布过评估报告,分析、预测了温室气体、气温以及海平面的变化。国际地圈生物圈计划(IGBP)主要研究全球变化,其中的一个专门课题是近岸海陆相互作用(LOICZ),并且海平面变化就是 LOICZ 中 4 个核心问题之一。

河口是河流与海洋的交汇地区,同时受河流和海洋的双重作用。目前,河口地区是人类文化、社会经济活动的中心地带之一;世界上许多大城市都位于河口海岸区,如纽约、伦敦、彼得堡、布宜诺斯艾利斯、开罗、新奥尔良、天津、上海、广州、香港等。河口咸潮上溯是河口最主要的动力过程之一,潮汐河口咸潮周期性的活动规律,对城市工业布局及发展、居民生活用水和市郊农业灌溉用水都有着相当重要的影响。城市工业用水咸度标准因部门的不同而有差异;如钢铁厂和味精生产要求咸度不能超过 20 mg/L,电厂锅炉用水要求咸度在 300 mg/L 以下。世界卫生组织规定生活饮用水中氯化物浓度低于 200 mg/L,最高不超过 600 mg/L;我国规定生活饮用水中氯化物浓度低于 250 mg/L;长期饮用高含氯化物的水,易患高血压和肾脏病。一般农业灌溉用水要求氯化物低于 1 100 mg/L,水稻育秧期则要求氯化物含量低于 600 mg/L。由此可见,氯化物含量过高会给人体健康和工农业生产带来严重危害。

珠江河口区是我国沿海经济高速发展的地区之一,党的十九大报告提出“以粤港澳大湾区建设、粤港澳合作、泛珠三角区域合作等为重点,全面推进内地同香港、澳门互利合作”。“粤港澳大湾区”城市群包括广州、佛山、肇庆、深圳、东莞、惠州、珠海、中山、江门、香港、澳门 11 个城市,2016 年常住人口 6 797 万人,GDP 为 85 957 亿元,但因其地势低平、河网纵横、人口密集、城镇集中、防洪标准普遍偏低,成为我国未来海平面上升影响的主要脆弱区之一。海平面上升将使珠江河口区河道水位抬高,最高潮水位仅抬高数十厘米就会带来巨大的实际影响。据黄镇国(2000)计算,在海平面上升 0.3 m 的条件下,珠江口高潮水位在影响最大区抬升幅度为 25 ~ 35 cm。由于最高水位抬高,在影响最大区,现今 10 年一遇的最高水位将达到 50 年甚至 100 年一遇的高度,即要提高 2 ~ 3 级防洪标准来设防。如果未来海平面上升 0.3 m,以广州、黄埔、灯笼山、三灶为例进行计算,则 100 年、200 年、1 000 年一遇高水位的出现频次将均增加约 5 倍,若海平面上升 100 cm,100 年一遇以上的高水位出现频次将均增加 50 倍,影响后果将十分严重。潮水位超过 1 m,称为严重潮灾。如果海平面上升 0.3 m,低潮水位也将抬高,特大洪水年在影响最大区升幅为 12 ~ 32 cm,影响较大区和较小区为 2 ~ 8 cm。海平面上升 0.3 cm,潮差增大,其增幅在影响最大区为 20 cm,影响较大区和较小区为 15 cm。

综合上述分析,全球气候变化背景下,海平面上升对珠江口水资源的影响日益突出,迫切需要研究珠江口水资源对海平面上升的响应规律。本书以珠江三角洲典型河口为例开展气候变化导致的海平面上升对珠江口水资源的影响研究,为珠江口地区水资源的合理开发利用以及防灾减灾提供科学依据。

1.1.2 研究意义

气候变化引起的海平面上升对沿海国家和地区构成极大的威胁,造成不同程度的破坏和损失。通过监测发现,海平面上升导致的一系列灾害和环境效应在我国沿海地区已经发生,海平面上升还将加剧沿海地区的咸潮上溯和滩涂损失、风暴潮灾害,降低防洪设施的防御能力,影响城市排水和供水系统。并且海平面上升导致的海岸侵蚀和海水入侵,给沿海地区的社会经济可持续发展带来了严重威胁。据统计,人口密度在沿海地区比内陆约大 10 倍,据荷兰学者计算,苏北到杭州湾一带在海平面上升 50 cm 的情景下就会淹没土地 800 多 km^2 。最高潮位随海平面上升会明显升高,1992 年 9 月 1 日天津塘沽出现高出历史最高潮位 26 cm 的 5.98 m 最高潮位;同时,青岛出现高出历史最高潮位 12 cm 的 5.48 m 最高潮位。在辽宁、天津、河北、山东和江苏等省(市)都因海平面上升发生过程度不同的海水入侵,导致地下“水灾”危害严重(杜凌,2005)。

河口区咸潮上溯主要受径流和潮流的影响。从长远来看,地面沉降和海平面的上升会加剧河口区的咸潮上溯。海平面上升将使咸潮深入,水质碱化。现代化的生产和生活需要大量的淡水,珠江三角洲河口区虽然水资源丰富,但是每当涨潮、咸潮上溯时,水质咸化,严重影响一般工农业生产和居民生活。例如,据珠江水利委员会统计,1988 年珠江三角洲沿海经常受咸害的农田有 68 万亩^①;1955 年春旱,咸潮上溯使滨海地带受咸面积达

① 注:1 亩 = $1/15 \text{ hm}^2$,下同。

138 万亩之多。2003 年 10 月,珠海市几个主要自来水厂取水泵站受到咸潮袭击,因水源咸度高而相继停止抽水。近年来,珠江三角洲河口区咸潮上溯的现象频繁出现,其出现的次数和影响的范围呈现日益严重的态势,2009~2010 年枯季尤为突出,珠江三角洲遭遇了 20 多年来最严重的咸潮灾害,显著的特点是出现早、来势猛、持续时间长、影响大。

在珠江口地区,海平面上升会使潮流顶托作用加强、河道水位抬高、河道排水不畅,从而妨碍污水的排放和洪水的下泄。河口地区,风暴潮灾害是造成财产损失和人员伤亡最大的自然灾害。目前,海平面上升所带来的最大动态就是各项潮汐特征值的增加,从而导致风暴潮位的提高以及风暴潮发生频率的增加。海平面上升后,风暴潮潮位升高,潮位的重现期缩短,如无相应的防灾措施,必将加剧风暴潮的灾害。

因此,加强气候变化导致的海平面上升对河口区水资源影响方面的研究,是我们所面临的重要科学问题,对沿海地区工农业生产用水和居民生活用水的总体规划、人民的生命财产安全、社会经济的可持续发展等具有重要的理论和实践意义。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 河口的含义

河口区的范围大小取决于对河口区的定义。河口是指河流的尾间地区,广义的河口是指河流与受水体的结合地段。根据受水体的不同,河口可分为入海河口、入湖河口、入库河口和支流河口等。狭义的河口则仅指入海河口,亦称潮汐河口,本研究所讨论的是狭义的河口,即潮汐河口。

目前对河口的定义主要有:

(1)20 世纪 50 年代初期,苏联学者萨莫伊洛夫在其综合性的有系统理论的专著《河口》中表述:河流及其受水体相结合的部分为河口。河流、水库、湖泊或海洋可能是受水体,所以依据不同的受水体,又可将河口划分为支流河口、入库河口、入湖河口和入海河口等。位于海洋和河流之间过渡带的入海河口包括河流下游的河谷、毗连的海滨和沿海地带。由于增水或潮汐引起的水位变化影响消失的断面为河口上界,由于河流泥沙形成的沿岸浅滩的外边界为河口下界,径流至河口下界实际上已消失了活力。依据海洋情势与河流情势的优势情况,萨莫伊洛夫将河口区划分为口外海滨段、河流河口段和河流近口段。萨莫伊洛夫的定义对后来人们对河口的认识影响深远。

(2)美国学者普里查德(Pritchard)在 1967 年提出河口的定义:河口湾系半封闭的海岸水体,可以与外海自由联系,来自流域的淡水在某种程度上会冲淡此水体内的海水。Pritchard 的定义包括河口物理、化学指标,强调河口水流运动特性和动力受边界条件的影响,并以此区别河口与海湾、潟湖等其他水体。Pritchard 的定义在欧美广泛采用,但对河口的界限定义比较模糊,没有专门提到河口最显著的特征——潮汐。

(3)生物学上的河口定义由 Ringuelet 首次提出,他认为河口应该能够维持盐度结构的平衡,从而成为广盐性物种的栖息地。

(4)Day(1980)认为,河口是部分封闭的,永久性或间歇性与开阔的海洋相通,由于海

水和来源于陆地的淡水混合,从而盐度有一定程度变化的海岸水体。这一河口定义得到生物及化学领域的普遍认可。

(5) 钦佩等(2004)认为,河口是一个独特的自然地理系统,由于河口的营养物质丰富,生物生产力大,生态环境多变迁,从而一直是生物及化学领域的课题之一。

(6) 沈焕庭等(2003)认为,由潮区界下移到潮流界作为河口区的上界更为合理,并定义河口是河流与受水体相互作用的地区。根据河流与海洋相互作用的优势程度,可将入海河口的河口区分为3段:河流近口段、河口段和口外海滨段。河流近口段以河流特性为主,口外海滨段以海洋特性为主,河口段则是河流因素和海洋因素强弱交替的相互作用地带,有独特的性质。河口区的上段为潮流界至盐水入侵界,上段河流作用占优势;河口区的中段为盐水入侵界至涨落潮流优势转换界,中段的河流作用与海洋作用势力相当,此段在河口区中最复杂,也最能体现河口地区的本质属性;河口区的下段海洋作用占优势,主要从涨落潮流优势转换界到河流泥沙向海扩散形成的水下浅滩或三角洲的外边界。河口区的下段和中段易发生盐水入侵。

1.2.2 全球海平面上升的研究进展

在13万~12万年以前的上一个间冰期,全球平均气温比现在高 3°C 左右,海面比现在高4~8 m。自那以后,气温和海面开始下降,直到距今约1.8万年时的年平均气温甚至比现在低 8°C ,海面比现在约低100~120 m,该时期即末次冰期极盛期。距今1.8万年以来,全球气温和海面转为上升,在距今7 000~6 000年时,气温回升到如今的水平(或略高),全球海平面也达到现今高度(见图1-1)。但上述变化过程尤其是文献的结论有待进一步考证。

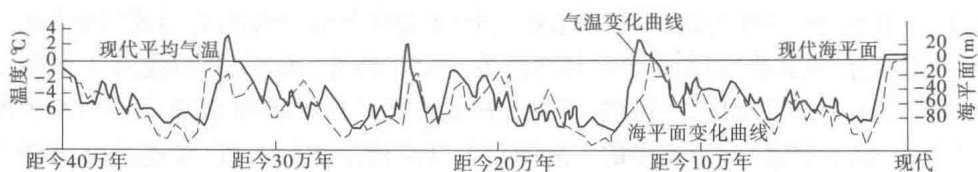


图1-1 40 万年以来全球气温和海平面变化曲线

在漫长的地质时期,海平面上升期表现为海侵,海平面下降期则为海退。近百年来表现为海侵期,在20世纪70~90年代海侵特别明显。由于一般以固定在陆地上的水准点作为潮位数据的基准,而陆地的运动会使这些水准点发生升降运动,且这种垂直升降运动的量级与海平面长期变化相同,因此可以将海平面分为相对海平面和绝对海平面。大致可以利用验潮站资料和卫星高度计资料研究海平面变化规律。验潮站数据的水准点随陆地的运动发生垂直升降运动,所以利用验潮站资料得到的海平面是相对海平面;相对于理想的地球椭球体而言的海平面为绝对海平面。在区域性开发建设规划中,一般相对海平面变化具有非常重要的实践意义;绝对海平面变化一般与气候变化关系密切,在当今气候与海洋研究中已得到高度关注。

全球海平面变化包含了很多过程,大致可分为两类:一是气候变暖导致的全球性的绝

对海平面上升,由温室气体的排放量增加、气温升高、海水增温引起的水体热膨胀和冰盖融化所致;二是区域性的相对海平面上升,除受绝对海平面上升影响外,主要由沿海地区地壳构造升降、地面下沉等因素所致。

全球气候变暖是引起海平面上升的主要原因。1995 年联合国《全球气候变化科学评估报告》显示:由于大量使用煤、石油等化石燃料,二氧化碳等“温室气体”排放增多,自 19 世纪末以来全球气温已经增加了 $0.3 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 。因为海水受热膨胀和冰川融化,海平面上升了 $10 \sim 25\text{ cm}$ 。如果不控制人类活动引起的“温室气体”排放量,可以预测 21 世纪将是全球变暖增速最快的一个世纪,预估到 2100 年,全球海平面上升值将高达 50 cm 左右。国际政府间气候变化专业委员会(IPCC)2007 年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 $(0.74 \pm 0.18)^{\circ}\text{C}$,与全球气温变化趋势基本一致。中国最近几十年平均气温上升率略高于全球平均水平(见图 1-2),到 21 世纪末,全球地表平均增温 $1.1 \sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 。20 世纪全球海平面明显呈上升趋势(见图 1-3),根据验潮仪资料估计,1961 ~ 2003 年,全球平均海平面上升的平均速度为 $(1.8 \pm 0.5)\text{ mm/a}$ 。通过 TOPEX/Poseidon(T/P)卫星高度计于 1993 ~ 2003 年测量得到的全球海平面上升平均速度为 $(3.1 \pm 0.7)\text{ mm/a}$ 。IPCC 第四次评估报告根据不同的二氧化碳排放情景对 21 世纪的全球气候变化做出了预估:21 世纪末(2090 ~ 2099 年)与 1980 ~ 1999 年相比,全球气候平均变暖 $1.1 \sim 6.4^{\circ}\text{C}$,全球平均海平面上升 $0.18 \sim 0.59\text{ m}$ 。

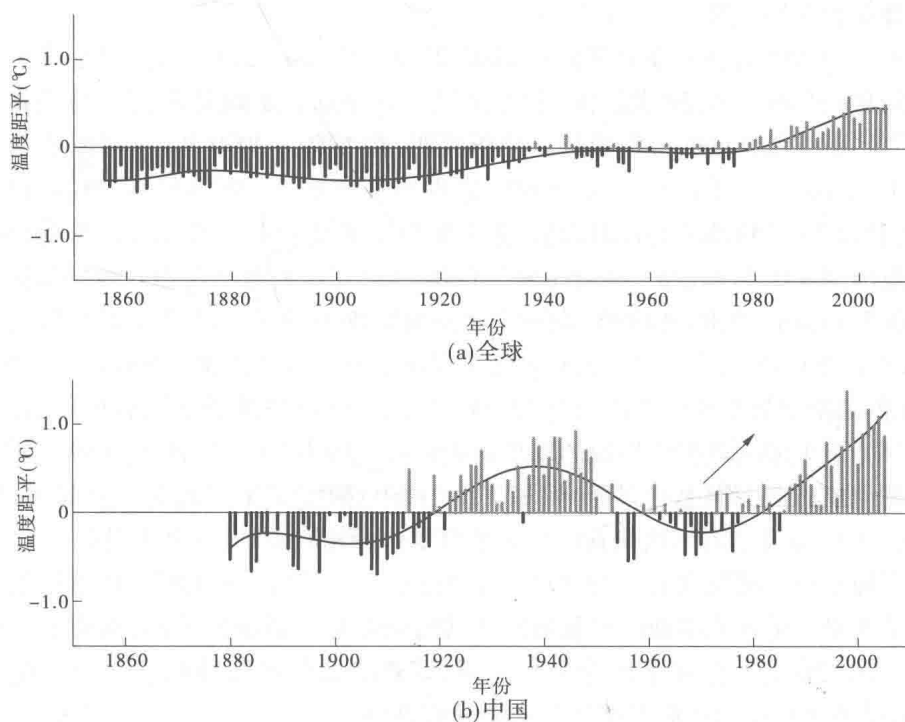


图 1-2 平均地表温度距平变化

地面沉降是相对海平面上升的重要原因,地表水抽取、地壳垂直运动等区域性和局地性因素,在某种情况下引起的地面变化率比当前估计的海平面变化率可能高 $1 \sim 2$ 个量

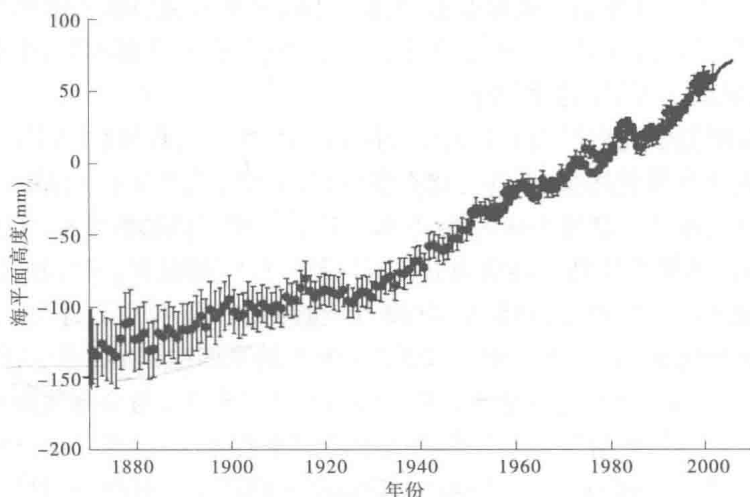


图 1-3 全球平均海平面高度变化

级。世界一些大三角洲地面沉降速率均在 $6 \sim 100 \text{ mm/a}$ 以上,是现在理论海平面上升速率的 $5 \sim 100$ 倍。另外,对海平面的变化造成影响的因素还有气候变化(包括气压、风场等)、太阳黑子活动、大气环流、陆地河流、泥沙入海量、海洋环流、火山活动、由于板块活动引起的洋盆容积变化等。

Church et al(2006)预计全球气温到 2100 年将上升 $1.4 \sim 5.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,同时全球平均海平面上升值为 $9 \sim 88 \text{ cm}$ 。在 20 世纪 90 年代左右,运用全球长期验潮数据进行分析,已经发表过一些海平面变化特征的科研成果。分析表明,在 1950 ~ 2000 年,全球海平面上升平均速率为 $1 \sim 2 \text{ mm/a}$ 。学者 Douglas(1997)对其 1991 年冰后期回弹模型(PGR)进行了修正,研究中利用 24 个验潮站的长期数据,分为 9 个相异的区域,计算出全球平均海平面上升的速率为 $(1.8 \pm 0.1) \text{ mm/a}$ 。Church et al(2001)研究认为海平面上升最好的估算结果是 $(1.5 \pm 0.5) \text{ mm/a}$ 。Peltier(1999)在研究全球海平面上升时自己开发了冰川均衡订正模型(GIA),计算得出 2.4 mm/a 为 20 世纪全球海平面上升的速率。Douglas et al(1991)认为在 20 世纪全球海平面上升值约为 20 cm ,Douglas(1995)进行成因分析显示,其中冰川的融化和上层大洋的热扩张导致的海平面上升值大约为 10 cm 。20 世纪 80 年代初,国内也开始研究全球海平面上升问题,如郑文振(1980)研究了平均海面的一些关键问题;高家镛等(1993)探讨了沿岸地壳升降与海平面变化的相互关系;黄立人等(1993)对全球及中国海平面变化的概况进行了综述性的研究;左军成等(1996,1997)利用灰色系统理论等分析了太平洋地区海平面的变化特征及其与厄尔尼诺现象的关系,构建了一种基于海平面随机动态分析预报和本征分析的模型,计算出太平洋海域海平面上升速率约为 1.7 mm/a ,认为太平洋沿岸海平面呈加速上升的趋势。

卫星测高技术作为高效和全新的观测手段,用于全球海面变化研究,弥补了利用传统的验潮站观测全球海平面高度的方法存在的缺陷,人们利用卫星测高技术能更加准确地认识海洋,揭示海平面的变化和响应规律。卫星高度计资料的优点是空间覆盖面积大、分辨率高,目前已经广泛应用于研究大尺度全球海平面变化。利用 1993 ~ 1995 年的

TOPEX/Poseidon 卫星高度计资料, Nerem(1995)和 Minster et al(1995)研究了全球海平面的变化规律。Leuliette et al(2004)探讨了 1993~2003 年间的 TOPEX/Poseidon 和 Jason-1 卫星高度计资料, 认为平均海平面上升速率的全球平均值为 $(2.8 \pm 0.4) \text{ mm/a}$ 。Carton et al(2005)和 Antonov et al(2002, 2005)等研究发现, 利用卫星测高技术计算出海平面在过去的十多年里的平均上升速率比整个 20 世纪的平均上升速率要大得多, 高达 3.2 mm/a 。2007 年 IPCC 评估报告显示: 在 1961~2003 年全球平均海平面以 1.8 mm/a 的速率上升, 而在 1993~2003 年海平面上升的速率为 3.1 mm/a , 目前后者的快速上升的变化机制复杂, 有待于做深入研究。Cazenave et al(2004)利用卫星测高数据得出, 在 1993~2003 年海平面上升速率为 3.1 mm/a 。基于气温、海水温度、海洋中冰的变化、20 世纪海平面上升情况等因素影响, 一些学者认为到 2100 年海平面上升 $1 \sim 5 \text{ m}$ 比较可信。

Ericson et al(2006)对全球 40 个三角洲进行了当代相对海平面上升评估。使用三角洲的数字数据和一个简单的三角洲动力模型。在本研究中, 三角洲代表所有的主要气候区、人口密度水平和不同的经济发展水平。估计海平面上升的范围为 $0.5 \sim 12.5 \text{ mm/a}$ 。上游的人工蓄水和引水灌溉致使河床的泥沙堆积减少, 这也是近 70% 三角洲相对海平面上升的主要决定因素。大约 20% 的三角洲加速下沉, 而只有 12% 显示出绝对海平面上升为主导作用。由于受海平面上升的影响, 2050 年所研究三角洲地区将会有 870 万人和 $28\,000 \text{ km}^2$ 的地区可能遭受洪水灾害和海岸侵蚀的加强。被淹人口和面积大幅增加时, 考虑洪水风险, 人们必然要采取取土取河沙以加高、加强沿海海堤的措施, 加剧了人类活动对河口区地面高程下降的影响。这项研究认为, 人类活动是大量人口居住的三角洲地区海平面上升的重要因素, 但是人类活动对海平面上升的影响小于气候变化的影响。

1.2.3 中国海平面上升的研究进展

中国近海海平面变化是全球海平面变化的重要组成部分, 我国海平面变化具有独特的季风区域特点。由验潮资料求得的平均海平面变化包括绝对海平面变化和地壳垂直变化两部分。采用沿海符合均衡原理布设的验潮站资料, 经各站取平均后, 基本消除了地壳垂直变化对平均海平面变化的影响。

《2009 年中国海平面公报》分析结果显示, 近 30 年来, 中国沿海海平面总体呈波动上升趋势(见图 1-4), 平均上升速率为 2.6 mm/a , 高于全球海平面平均上升速率。沿海各海区中, 东海海平面平均上升速率较高, 达 2.9 mm/a , 渤海、黄海和南海分别为 2.3 mm/a 、 2.6 mm/a 和 2.6 mm/a (见图 1-5~图 1-7)。国家海洋局预计, 未来 30 年, 中国沿海海平面将继续保持上升趋势, 比 2009 年升高 $80 \sim 130 \text{ mm}$, 由于地面沉降速率较大, 相对海平面将会以很高的速度上升, 这在渤海湾和黄河三角洲、长江三角洲和珠江三角洲的某些岸段表现得十分突出。中国近海近 50 年海平面上升 6.5 cm , 从中国近海海平面变化速度曲线和其预测值得出, 1983~2002 年时间段海平面变化速度一直在加速上升, 应引起人们重视。

在过去 30 年, 地面沉降等诸多因素的影响导致黄河三角洲、长江三角洲和珠江三角洲的相对海平面上升率比世界全球或全国平均海平面上升率(约 1.5 mm/a)大许多。依据目前三角洲地区地面沉降速率、政府控制对策措施等情况预测, 2030 年在老黄河三角



图 1-4 我国沿海历史海平面变化曲线



图 1-5 长江三角洲海平面变化

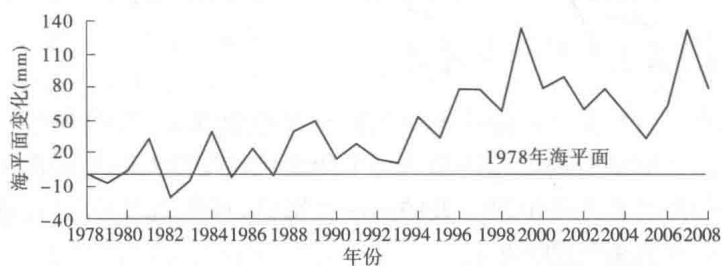


图 1-6 珠江三角洲海平面变化



图 1-7 天津沿海海平面变化