



长江三角洲 海岸侵蚀灾害

辅助决策系统关键技术及实现

李行 周云轩 陈沈良 田波 著



科学出版社

本书由全球变化研究国家重大科学研究计划项目“我国典型海岸带系统对气候变化的响应机制及脆弱性评估研究”第四课题“气候变化下海岸带脆弱性的综合评估与应对策略”(2010CB951204)和海洋公益性行业科研专项经费项目“长江三角洲海岸侵蚀灾害辅助决策系统”(200705020)共同资助

长江三角洲海岸侵蚀灾害辅助 决策系统关键技术及实现

李 行 周云轩 陈沈良 田 波 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

在全球变暖和人类活动的双重影响下,海岸系统正经历着巨大的变化,海岸侵蚀的范围和强度也在逐渐增加,使得人类生产和生活面临潜在的威胁。本书在遥感和 GIS 技术的支持下,围绕长江三角洲海岸侵蚀和海岸带管理,主要研究了非平直岸线变化分析方法、岸线变化与流域来沙减少之间的关系、潮滩及水下地形数据的获取与精确模拟方法、淤泥质海岸侵蚀风险评估方法及海岸侵蚀决策支持框架,在此基础上设计并开发了长江三角洲海岸侵蚀辅助决策系统。

本书可以供高校及科研院所河口海岸相关专业的科研人员使用,对于国家和地方海岸带规划管理部门的技术人员也具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

长江三角洲海岸侵蚀灾害辅助决策系统关键技术及实现/李行等著. —北京: 科学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-03-046196-4

I. ①长… II. ①李… III. ①长江三角洲—侵蚀海岸—决策系统—研究 IV. ①P737.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 262046 号

责任编辑: 许 健

责任印制: 谭宏宇 / 封面设计: 殷 靓

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

江苏凤凰数码印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2016 年 1 月第一次印刷 印张: 11 1/2 插页: 4

字数: 251 000

定价: 91.00 元

前 言

长江三角洲是我国最大的经济核心区,正在崛起成为世界第六大城市群。上海市又是长江三角洲最重要的城市,在国家经济战略布局中占有重要地位。经过三十多年的经济高速增长,土地资源短缺已成为该区域未来经济发展的主要瓶颈之一。近年来,河口与海岸带开发力度逐渐加大,新的开发构想不断提出,如“海洋新城和深水新港”、“长江口亚三角洲”等,加上已有的长江口深水航道工程和正在实施的围垦工程,一系列人类活动对长江河口三角洲的可持续发展构成极大的威胁,也将对河口三角洲的自然环境产生深刻影响。20世纪60年代以来,长江入海泥沙量持续降低,流域重大水利工程又加剧了这一趋势,使得长江河口三角洲向海扩展速率逐渐趋缓,局部已出现侵蚀现象。随着未来气候变化和人类活动的加剧,长江河口三角洲的海岸侵蚀和生态环境退化趋势有可能进一步恶化。

海岸侵蚀过程极为复杂,涉及自然和人为多种因素的交互影响,决策支持技术及决策支持系统研究的开展对于科学的海岸带管理甚为必要。当前,海岸带综合管理和可持续发展理念已得到国际社会的普遍认可,而我国的海岸带综合管理基础比较薄弱、管理技术相对落后、管理体系尚未形成;同时,加快推进生态文明建设已经成为我国的一项重要国策,发展与保护的矛盾日益凸显、社会经济可持续发展面临挑战。因此,发展海岸带管理决策技术已成为一项紧迫的任务,势在必行。此外,目前的遥感与地理信息系统(GIS)技术已获得长足发展,为河口海岸研究和海岸带综合管理提供了潜在的应用前景,如精细时空尺度下的岸线变化分析及预测、地貌环境演变、海表动力参数获取、时空数据建模与可视化、跨学科数据的集成管理等。大力发展遥感与GIS技术在河口海岸领域的集成和应用研究对于提升河口海岸科学研究水平具有重要意义。

本书在充分调研了国内外相关研究进展的基础上,针对长江三角洲的海岸侵蚀灾害问题,应用遥感和GIS技术开展了较为深入的方法研究。主要包含以下几个方面:①系统论述了基于GIS的岸线变化分析方法,并就非平直岸线提出了基于地形梯度的正交断面法,提高了岸线变化分析的精确性;

② 利用遥感和 GIS 技术,以崇明东滩为例,在较为精细的尺度上研究了河口岸线变化响应流域来沙减少的时空分异模式;③ 发展了基于潮位信息和遥感水边线获取潮滩高程数据的方法,并结合海图已有水深点利用分形布朗运动模型模拟潮滩及水下地形,弥补了传统海图近岸水深数据的缺失,并改善了地形模拟精度;④ 综合自然和社会经济因子,发展了基于 GIS 的淤泥质海岸侵蚀风险评估方法,较为详尽和客观地评估了长江三角洲海岸侵蚀风险,发展了长江三角洲海岸侵蚀决策支持框架,进而设计并实现了海岸侵蚀辅助决策系统。

本书是海洋公益性项目“长江三角洲海岸侵蚀灾害辅助决策系统研究”(200705020)和全球变化研究重大科学研究计划项目“我国典型海岸带系统对气候变化的响应机制及脆弱性评估研究”第四课题“气候变化下海岸带脆弱性的综合评估与应对策略”(2010CB951204)的研究成果之一。感谢公益项目负责人东海分局信息中心苏诚研究员、全球变化研究项目首席科学家丁平兴教授的大力支持。

由于作者所掌握的资料有限以及受研究水平所限,本书还存在着不少问题,欢迎读者批评和反馈意见。

作 者

2015 年 10 月于上海

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 国内外研究进展	4
1.2.1 GIS 的应用	5
1.2.2 海岸侵蚀预测	10
1.2.3 指标框架模型	13
1.2.4 决策支持工具	18
1.3 存在的问题	25
1.4 本书组织结构	28
第二章 长江三角洲海岸侵蚀概况	30
2.1 研究区概况	30
2.2 海岸侵蚀的表现形式	32
2.3 海岸侵蚀的原因	32
第三章 基于 GIS 的岸线变化分析	38
3.1 引言	38
3.2 岸线与岸线指标	39
3.3 数字岸线的获取	39
3.3.1 基于 Easytrace 的岸线快速提取	40
3.3.2 基于 ArcScan 的岸线自动提取	41
3.4 岸线变化率的计算	42
3.4.1 传统的垂直断面法	43
3.4.2 基于地形梯度的正交断面法	44
3.4.3 岸线变化率的计算模型	47
3.4.4 基于 DSAS 的岸线变化分析	49

3.5	不确定性分析	52
3.6	本章小结	53
第四章	岸线变化及其对流域来沙减少的响应——以崇明东滩为例	54
4.1	引言	54
4.2	数据与方法	55
4.2.1	数据源	55
4.2.2	岸线解译	56
4.2.3	分析方法	57
4.3	结果	57
4.3.1	岸线变化时空动态	57
4.3.2	与流域来沙的关系	60
4.3.3	误差分析	63
4.4	讨论	63
4.5	本章小结	67
第五章	真实感水下地形的构建与模拟	68
5.1	引言	68
5.2	地形数据的获取	68
5.2.1	水下地形数据的获取	68
5.2.2	潮滩地形数据的获取	69
5.3	水下地形的构建	70
5.3.1	反距离加权法	71
5.3.2	样条函数插值法	71
5.3.3	克里金法	71
5.4	分形布朗运动	72
5.5	基于分形布朗运动的地形模拟——以九段沙为例	73
5.5.1	试验区域	73
5.5.2	水边线的提取	74
5.5.3	地形分形特征参数的估计	75
5.5.4	基于分形布朗运动的插值方法	76
5.5.5	结果与讨论	77

5.6 本章小结	80
第六章 基于 GIS 的淤泥质海岸侵蚀风险评估	81
6.1 引言	81
6.2 方法	82
6.2.1 定义同质单元	82
6.2.2 指定评价指标体系	85
6.2.3 量化评价因子	88
6.2.4 构建风险指标	92
6.3 结果与讨论	96
6.4 本章小结	99
第七章 长江三角洲海岸侵蚀决策支持框架	100
7.1 引言	100
7.2 定义	101
7.3 决策支持框架	101
7.3.1 海岸侵蚀综合地理数据库	102
7.3.2 海岸侵蚀风险评估模型	103
7.3.3 可视化工具集	104
7.3.4 情景生成器	105
7.4 讨论	105
7.5 本章小结	107
第八章 辅助决策系统的设计与实现	108
8.1 系统分析	108
8.1.1 需求分析	108
8.1.2 可行性分析	110
8.2 总体设计	112
8.2.1 系统目标	112
8.2.2 数据库设计	112
8.2.3 功能设计	115
8.2.4 接口设计	116
8.2.5 界面设计	118

8.3 系统实施	120
参考文献	128
附录	158
附录 1 长江口断面调查报告	158
1 东海环境监测中心承担的项目任务	158
2 项目实施以来开展的工作和计划执行情况	159
3 断面剖面图及水深变化分析	161
附录 2 杭州湾北岸断面调查报告	166
1 项目概况	166
2 项目实施	167
3 数据处理	171
4 成果	173

彩图

第一章 绪 论

1.1 研究背景与意义

气候变化已经成为当今世界最为关注的环境问题,它影响着人类社会和自然生态系统的方方面面(Torresan et al., 2008)。海岸带地区,尤其大河三角洲是对气候变化影响最为敏感的区域,随着海平面的不断上升、入海泥沙量的减少,加上流域及河口人类活动的日益增强,全球许多河口三角洲都不同程度地出现了侵蚀现象(Nicholls et al., 2007)。

多数来自验潮站数据的直接估计认为,过去的一个世纪全球平均海平面上升速率为 $1.5 \sim 2.0 \text{ mm/a}$ (Miller et al., 2004)。近年来,这一速率有所加快。根据 IPCC(2013),全球平均海平面上升速率在 1901~2010 年的平均值为 $1.5 \sim 1.9 \text{ mm/a}$, 20 世纪初以来全球平均海平面上升速率不断加快。同时,河流建坝、跨流域调水、滩涂围垦、海岸带城市化等人类活动的叠加也使得气候变化的影响进一步加剧。截至 20 世纪末,全球 140 个国家中超过 15 m 高的大坝有 45 000 多座,另外还有约 800 000 座小型水坝(World Commission on Dams, 2000; Wu et al., 2004)。据不完全统计(Thatte, 2006),全球 23 个国家中已完成或规划中的跨流域调水项目就有 221 个。Bird(1985)的估计认为,全世界超过 70% 的沙质海岸正在以 $0.5 \sim 1.0 \text{ m/a}$ 的速率遭受侵蚀。近几十年来,加速的海平面上升正在加剧这一趋势。

在国外,海岸侵蚀作为一种自然灾害早已引起人们的关注。1906 年英国成立了负责治理海岸侵蚀的皇家委员会,并且分别于 1939 年和 1949 年两次通过“海岸保护法”;美国于 20 世纪 30 年代建立了海岸侵蚀研究中心,开始进行海岸侵蚀研究,随后编制了海岸侵蚀分布图集、建立了岸线变化数据库和海岸侵蚀信息系统;1962 年苏联颁布了《黑海海滩保护法》以限制海岸带的开发(Wang et al., 1994)。鉴于海岸侵蚀问题的普遍性,1972 年国际地理学会(International Geographical Union, IGU)成立了“IGU Working Group on the Dynamics of Shoreline Erosion”,发动世界各地的相关科学家搜集资料以研究全球的海岸侵蚀状况(Bird, 1984)。1974 年,澳大利亚墨尔本大学的 Bird

教授综合同行资料,编写了《百年来岸线变化》的研究报告,对全球各地岸线变化的原因进行了评述,认为世界上沿海国家的岸线普遍遭受侵蚀(沈焕庭等,2006)。该报告作为一项开创性工作,使海岸侵蚀研究自此有了全球视角,并逐渐引起了更广泛的关注。20世纪60年代以来,世界各沿海国家纷纷加大了对海岸侵蚀的研究力度,研究的涉及面日趋广泛,从最初对侵蚀现象的简单描述到对侵蚀监测方法,侵蚀原因和机理,侵蚀模拟、预测和评估,侵蚀管理和决策支持等众多方向的研究。

20世纪50年代末以来,我国大部分的沙质海岸、淤泥质海岸和珊瑚礁海岸开始转向侵蚀。从60年代开始,侵蚀主要集中在淤泥质海岸,进入70年代沙质海岸也普遍出现侵蚀现象。实地调查显示,我国约有70%的沙质海岸和大部分的淤泥质海岸遭受侵蚀,侵蚀岸线占全国大陆岸线总长度的1/3,以开敞淤泥质海岸和废河口三角洲最为严重(Wang et al., 1994; 夏东兴等, 1993; 沈焕庭等, 2006)。其中,渤海、黄海、东海和南海沿岸侵蚀岸线所占的比例分别为46%、49%、44%和21%(秦大河等, 2005)。近20年来山东半岛沙质海滩侵蚀速率约为1~2 m/a(王颖等, 1995);河北省沙质海岸平均侵蚀速率为1~3 m/a,其中滦河冲积扇淤泥质海岸侵蚀速率为10~20 m/a(邱若峰等, 2009);国家海洋局第三海洋研究所1991年的资料显示,20世纪70~90年代福建海岸普遍侵蚀速率为1 m/a,最大达4~5 m/a(李兵等, 2009);海南岛有80%的海岸为沙质海岸,平均侵蚀速率为1~20 m/a(季荣耀等, 2007)。尤其是近年来在全球变暖的背景下,我国的海平面也一直呈现明显的上升趋势,国家海洋局公布的《2013年中国海平面公报》指出,1980~2013年中国沿海海平面上升速率为2.9 mm/a,高于全球平均水平,其中长江三角洲、珠江三角洲、黄河三角洲和天津沿岸是海平面上升的主要脆弱区。海平面的持续上升,再加上流域和海岸带地区人类活动的增强,三角洲海岸侵蚀的范围和强度将进一步扩大。滦河口海岸在引滦工程前平均侵蚀速率为11.3 m/a,而工程后增加到17.4 m/a,口门后退速率达300 m/a(钱春林, 1994);20世纪60年代以来,由于长江流域大型水坝的修建,长江入海泥沙量持续减少,长江口水下三角洲前缘已开始呈现侵蚀迹象(Yang等, 2007)。总的来看,我国的海岸侵蚀形势已十分严峻。

国内外多年的研究实践证实,海岸侵蚀是受到多种因素的复合影响而产生的,同时又影响着经济社会发展的多个层面,涉及人与自然的耦合、海陆系统的相互作用,是一个极端复杂的问题,而且已经从单纯的自然变异过程上升为一种自然灾害(丰爱平等, 2003; 陈吉余, 1996)。由于我国的海岸侵蚀

发生较晚,20 世纪 80 年代以后才引起研究人员的普遍关注。目前虽然在其发生、发展、预测、评估等方面的理论方法上已经取得了许多研究成果,但各种研究所着眼的问题不同,针对的区域各异,面对一个复杂的现实问题,单一的分析技术(如统计模型软件、空间制图等)往往难以胜任。而决策支持系统可以用来集成多源数据和不确定性,处理自然的和社会经济的多种因素指标,被认为是求解复杂问题的有效工具而在现代科学管理中扮演着重要角色(Shim et al., 2002)。因此,有必要发展决策支持系统来整合各方面已有的数据和方法,以支持更深入的研究,进而为海岸侵蚀管理决策提供服务。

随着气候变化形势的日益恶化,海岸侵蚀已成为世界范围内的一个热点研究课题(王颖等,1995)。各国政府纷纷加大了对海岸侵蚀研究的投入,针对海岸侵蚀管理决策的需求不断形成,一些大型的科研项目也相继开展,如 1999 年由得克萨斯州土地办公室(General Land Office, GLO)伙同美国联邦和地方政府、沿海地区居民共同设立了海岸侵蚀规划与响应计划(Coastal Erosion Planning and Response Act, CEPRA),该计划旨在支助海岸侵蚀响应项目和相关研究,以促进对海岸侵蚀过程的理解,从而减少海岸侵蚀的不利影响,在前三个两年期内该计划共投入 4 000 万美元用于该州的海岸侵蚀研究(<http://www.glo.state.tx.us/coastal/erosion.html>);欧盟委员会环境总署(General Directorate Environment of the European Commission)2002 年开始实施的欧洲海岸侵蚀管理计划(EUROSION)项目,其主要目的是实现海岸带的可持续发展,为欧洲海岸侵蚀管理提供决策支持(<http://www.eurosion.org/project/index.html>)。国外在海岸侵蚀决策上已经走在了前列,尽管技术还不够完善,但 10 余年来已有多个相关的决策支持工具投入使用,并在科研和管理中发挥作用,如 CORAL、DIVA、SimLucia、SimCoast 等(Westmacott, 2001)。虽然我国的研究人员很早就明确提出发展决策支持工具的必要性(王文海等,1991;盛静芬等,2002),但实质性的研究还刚刚起步,我国政府也开始认识到海岸侵蚀管理决策的重要性。国家“十一五”和“十二五”两个五年计划都将“海洋环境灾害预警报技术”列为海洋科技发展的重点任务,明确提出发展海岸侵蚀、滨海湿地退化等海岸带地质灾害的预警技术,开发防灾减灾辅助决策支持及应急示范系统研究。

综合以上分析,并对比长江三角洲自身的情况来看,开展海岸侵蚀决策支持技术研究,不仅具有必要性和理论基础,而且也具有重要的科学价值和现实意义,概况来讲主要有以下几个方面。

- 1) 长江三角洲位于我国东部沿海开放带和沿江产业密集带的交汇处,地

位举足轻重。国家统计局数据显示,2013年江浙沪(江苏、浙江、上海)三省市贡献了我国GDP总量的18.8%。长久以来,该区域的发展在一定程度上受益于三角洲海岸的不断向海推进。但最近10多年来,由于流域筑坝拦沙及海岸的高低滩围垦,三角洲海岸的演化已呈现逆转之势(Shi et al., 2001)。虽然侵蚀情况尚不至异常严重,但已潜在地影响到区域社会经济的发展。因此,开展海岸侵蚀决策支持技术研究,防患于未然,势在必行。

2) 促使现代海岸侵蚀加剧的因素,概而言之不外乎自然、人为两种。但由于地域差异显著、各因子间相互作用复杂,谈到某一特定区域的主要影响因素,往往难有定论,进一步对各影响因素的贡献进行量化更是一个难题(Zhang等, 2004; 夏东兴等, 1993; 季子修等, 1993、1996; 王文介, 1989)。长江三角洲的海岸侵蚀形式多样、海陆相互作用复杂、流域及近岸河口人为影响众多,开展海岸侵蚀决策支持技术研究有助于推动对海岸侵蚀过程的理解,为采取科学的海岸防护措施提供参考。

3) 长期以来,我国的海岸侵蚀研究都缺乏有效的数据存储、共享和集成机制,大量数据以不同的标准和格式分散于各研究团体、单位和个人手中,导致了数据的严重冗余和重复,极大地限制了大规模和持续性研究的实施。利用决策支持系统技术中的数据库管理技术建立统一的数据获取、存储标准,促进多源异构数据的整合和有效管理,进而促进数据共享机制的形成,必将有助于更深入广泛的海岸侵蚀研究和应用的开展。

4) 国际上,虽然有关海岸侵蚀的决策支持研究已经在开展,但能够指导决策的一般性原则还刚刚开始制定(Bartlett, 2000; Defra, 2006; EuroSION, 2004)。尤其对于发展中国家而言,决策者要在发展经济和保护环境之间做出最优的选择必须同时考虑社会、经济和环境的多重利益,这无疑需要决策支持技术的帮助。因此,开展长江三角洲海岸侵蚀决策支持技术研究具有某种理论上的前瞻性和实践上的现实性。

1.2 国内外研究进展

如上所述,海岸侵蚀受多种因素的影响而极端复杂。由于近年来气候变化和人类活动的加剧,海岸侵蚀现象越发严重,海岸侵蚀问题不再只是科学家关心的研究课题,已经成为沿海地区地方政府日常决策不得不考虑的事情。随着研究的不断深入,海岸侵蚀的复杂性也越发显著。作为海陆气三相界面交汇带上发生的现象,海岸侵蚀不只是受到自然或社会单方面因素的影响,同

时还受到认识、方法上的不确定性以及因子间相互作用难以量化等诸多问题的困扰。而现代 GIS 技术的发展,为使用基于 GIS 技术解决空间复杂性问题赋予了巨大的潜力。本书所要探索的正是如何利用 GIS 技术为有关海岸侵蚀决策问题寻求可能的解决之道。为此,我们将首先从海岸侵蚀定量化、海岸侵蚀预测、海岸侵蚀灾害指标模型、海岸侵蚀决策支持工具等方面对国内外研究进展予以回顾。

1.2.1 GIS 的应用

早在 20 世纪 70 年代早期,有关海岸带问题的 GIS 应用就已经出现(Ellis et al., 1972),但由于当时 GIS 本身还是一项全新的技术,如海岸带实体和现象的概念及数据模型、时空动态属性的处理等一些基本问题尚未解决,海岸带 GIS 面临诸多困难(Vafeidis et al., 2004)。相关的研究在公开的正式出版物中并不多见(Bartlett, 2000),而且这类文献主要关注点在于利用遥感影像获取数据,GIS 仅仅作为数据处理或结果表达的一部分而出现(恽才兴等, 1981、1982)。进入 80 年代,商业化 GIS 软件包(如 ESRI 公司的 ARC/INFO)的出现和软硬件技术的发展大大推动了 GIS 在海岸带研究中的应用。而且大多数的海岸带信息都具有空间特征,GIS 的介入自然就顺理成章。Bartlett(2000)认为,GIS 在海岸带问题研究中的应用得益于其以下特点:

- 1) 大型数据库管理和多源数据的集成能力,使得形成跨区域甚至国界的更为协调的海岸带管理策略成为可能;
- 2) 促进海岸带数据定义、收集和存储标准的发展和利用,有助于提升数据和处理技术在项目和部门之间的兼容性,也能确保任一站点上前后方法的一致性;
- 3) 有利于数据的共享和更新,尤其对于涉及同一岸段的不同部门,可以在很大程度上减少数据冗余、节省开支和提高效率;
- 4) 方便数据存储与检索,而且在实施一项措施之前,GIS 也提供了建模、测试和比较不同备选方案的能力。

与之相适应,20 世纪 90 年代以来 GIS 在海岸侵蚀研究中的多数应用也体现了以上的特点。我们主要通过岸线制图与变化监测、地形冲淤分析、模型集成等三个方面来概括。

(1) 岸线制图与变化监测

岸线是研究海岸动态的重要指标,精确高效地获取岸线的位置往往是海

岸侵蚀研究的首要条件。最早人们利用数字化仪从影像或历史图件上转绘数字岸线,随着数字摄影测量和软件技术的发展,以前的硬件数字化仪器逐渐由软件代替,数字化工作可以在软件上由手工跟踪的方法实现(Danforth et al., 1994a)。随之人们开始关注数字岸线的获取精度问题,各种提高精度的技术方法,如数字化前的准备、数字化后的误差分离技术等得以研究和发展(Crowell et al., 1991; Danforth et al., 1994b; Walton, 1998, 2000)。随着影像获取技术的进步,一些研究者对已有的各种岸线提取方法进行了比较研究,以期发展有针对性、高精度和自动化的岸线提取技术(Li et al., 2001b; Moore, 2000)。针对不同类型、不同分辨率的影像以及基于多源数据的岸线提取技术,以至 3D 岸线的获取技术都得到了研究和应用(Bagli et al., 2003; Li et al., 2003; Liu et al., 2004; Muslim et al., 2006; Pardo-Pascual et al., 2012; Ryu et al., 2002)。近年来,遥感图像处理和 GIS 技术的发展,图像分类、边缘检测、自动识别等技术在很大程度上提高了岸线制图的自动化水平。但由于海岸环境的复杂性,通常情况下自动提取得到的数字岸线仍不能直接用于岸线变化分析,而且也难有一个适用于不同类型海岸环境的通用方法,GIS 环境下一些手工的编辑步骤仍不可避免,由此带来的多源误差对后续分析的影响也不容忽视,因此岸线制图的自动化水平和精度仍有待提高。

在岸线变化监测中,GIS 所起的作用主要有利用遥感影像提取数字化岸线、矢量岸线的编辑和误差修正、岸线制图、利用 GIS 数据库进行岸线管理、利用 GIS 空间分析功能获取岸线变化情况等。如 White 等(1999)利用 GIS 技术和 1984 年、1987 年、1990 年、1991 年的 Landsat TM 影像数据监测了尼罗河三角洲海岸的岸线变化情况;Williams(1999)利用 Atlas GIS 软件数字化并分析了美国得克萨斯州科珀斯克里斯蒂(Corpus Christi)海湾山姆洛克(Shamrock)岛的岸线变化,研究了该岛在沿岸输沙被阻断之后的侵蚀问题,认为人类对海岸带的影响具有无法预料的破坏性后果,并可延续数十年;Moore 等(2002)利用 GIS 技术联合数字摄影测量方法对美国蒙特雷湾国家海洋保护区(Monterey Bay National Marine Sanctuary)中心海岸的海崖后退和侵蚀热点区进行了研究,认为该方法能够有效减少计算误差;Liu 等(2004)将从遥感影像中提取出来的岸线数据导入到 GIS 环境中进一步编辑,并利用 GIS 数据库对最终的岸线数据进行管理;Siddiqui 等(2004)利用 GIS 技术集成 Landsat MSS、TM 数据和水文测量数据研究了巴基斯坦卡拉奇市 Bundle 岛附近的海岸冲淤过程,为滩涂围垦规划提供支持;Ekercin(2007)和 Elewa 等(2009)利用 ArcMap 软件和多时相 Landsat 影像数据,分别对土耳其梅里奇(Meric)河

口三角洲和尼罗河三角洲的岸线变化情况进行了分析;Kaiser(2009)借助商业 GIS 软件研究埃及塞得港市(Port Said)港口建设对岸线、土地覆盖变化等的影响;Sesli 等(2009)利用 ArcView 软件进行了土耳其特拉布宗(Trabzon)东海岸的岸线制图和变化监测,结果显示 1973~2005 年海岸侵蚀面积达 12.2 hm^2 ;此外,也有研究者利用 GIS 工具结合现有的 DEM 模型进行岸线提取和变化监测(Klemas,2001)。

我国研究者在这方面也有大量的应用实例。例如,张华国等(2005)利用 ArcView 软件从 1986 年来 8 个时相的杭州湾 Landsat TM、ETM+ 影像数据中提取岸线数据,并利用 GIS 的空间分析功能对 1986 年来杭州湾的岸线变化情况 & 趋势进行了分析;Chu 等(2006)利用 MapInfo 软件从 1976 年到 2000 年 20 景 Landsat MSS 和 TM 影像中提取数字岸线,分析了现代黄河水下三角洲的冲淤模式;何庆成等(2006)和崔步礼等(2007)利用类似的方法分别对黄河三角洲的岸线进行了分析;黄鹄等(2006)利用 Landsat 和 SPOT 卫星数据,结合 GIS 技术研究了广西海岸线的演变情况。

总的看来,这类应用的主要目的是利用 GIS 的功能获取岸线的变化情况,其他的 GIS 应用,如岸线提取、编辑、制图、空间分析、数据管理等往往作为实现这一目标的附带过程而出现。

(2) 地形冲淤分析

这类应用多结合 DEM 数据或遥感影像数据得以实施,GIS 所起到的主要作用是空间分析、制图和可视化表达。例如,Kastler 等(1996)利用 GIS 技术对多时相航空影像进行变化监测,研究美国弗吉尼亚州霍格岛湾(Hog Island)沿岸沼泽的沉积过程;Thurston 等(1999)利用 GIS 技术和水下地形数据研究了英国大雅茅斯(Great Yarmouth)东海岸离岸沙洲的冲淤演变情况;吴华林(2001)利用 ARC/INFO 软件和海图数据研究了长江口和杭州湾水下地形百余年来冲淤状况;Thomalla 等(2003)利用 GIS 软件计算了近岸地形的冲淤面积及冲淤量,研究了位于英国诺福克郡的希帕林(Sea Palling)海岸的防波堤对岸滩冲淤演变的影响;Yang 等(2006)利用 ArcMap 软件计算长江三角洲潮滩湿地的冲淤变化情况,研究了长江三角洲潮滩地貌对流域来沙减少的响应规律;李明等(2006)利用 ArcMap 软件和海图数据进行了岸滩剖面演变分析;李恒鹏等(2001a)、胡刚等(2007)利用 GIS 和水下地形数据分别分析了长江河口区部分岸段的岸滩冲淤演变模式;Anfuso 等(2007)通过分析摩洛哥休达(Ceuta)和卡波内格罗(Cabo Negro)之间的岸滩剖面和航空影像数据,利用

GIS 工具重构了短、中期的沿岸地貌演变和沉积传输路径,监测海滩动力地貌行为和岸线变化以及港口建设对岸滩演变的影响;付桂等(2007)利用 MapInfo 软件数字化海图水深点数据生成 DEM,研究了长江三角洲南汇咀水下地形的冲淤演变情况;杨世伦等(2005、2006、2009)、李鹏等(2007)、杜景龙等(2007)利用 GIS 软件对长江口潮滩地形和水下三角洲的冲淤演变情况进行了大量的研究。

从以上应用实例可以看出,利用商业 GIS 软件的空间分析功能,对不同年份的地形数据进行运算、成图并可视化表达,统计分析地形的冲淤变化情况,是这类应用的一般模式。其中,空间分析是主要用到的 GIS 功能,其他的功能则为辅助性应用。

(3) 模型集成

将专业模型在 GIS 环境中进行集成,以推动对于海岸过程的理解是河口海岸学研究中的一个重要方向。海陆相互作用研究(land ocean interaction study, LOIS)(NERC,1994)就曾经将专业模型与 GIS 环境的集成作为其研究目标之一,一方面,GIS 技术为专业模型提供了更高的可靠性、精确性以及分析和可视化能力(Srivastava et al.,2005),进而也使得在模型环境下的决策成为可能(Gilman et al.,2001);同时,GIS 技术和空间数据库的发展在很大程度上对模型的集成也起到了推动作用(Vafeidis et al.,2004)。另一方面,GIS 自身功能上的缺陷也为模型集成提出了需求。根据 Densham(1991)和 Openshaw(1991),GIS 在空间分析能力上存在如下四个方面的不足:

- 1) 对地理信息分析方法的支持,如分形特征计算、边缘检测、空间回归分析、图像处理等;
- 2) 许多 GIS 数据库除了提供基本的查询功能外,主要为制图展示而设计,数据的分层存储和表达方式在一定程度上妨碍了对分析模型和其他功能的支持;
- 3) 在图表生成方面,GIS 与用户的交互缺乏灵活的机制,这使得决策者在表述问题的方式、生成和评估各种可选情景上受到限制;
- 4) GIS 的设计没能很好地体现空间问题的复杂性,以及不同决策者解决问题方式的差异性,从而忽略了对决策过程的支持。

随着 GIS 技术的发展,在商业 GIS 软件中嵌入了越来越多分析模型,而且 GIS 技术与图像处理技术的融合从未停步(如 ESRI 公司先后与 ERDAS、ITT VIS 合作),现代的 GIS 技术和软件产品在分析建模、矢量和栅格图形图像处理等方面的功能已大大增强,但上述问题并未完全得以解决。因此,GIS 与海