

威海市葡萄滩海域水动力调查 及岸滩冲淤对策措施研究

主编 张学超 胡红智 刘 营 于华明 宋 彦 郑 晨



中国海洋大学出版社
CHINA OCEAN UNIVERSITY PRESS

本著作由以下基金项目赞助支持:高等学校博士学科点专项科研基金(20120132120016);国家自然科学基金(41406011);海洋可再生能源专项资金项目(GHME2013ZC01);威海市区海洋空间资源调查-海洋生物资源调查项目

威海市葡萄滩海域水动力调查及 岸滩冲淤对策措施研究

主 编 张学超 胡红智 刘 营 于华明
宋 彦 郑 晨

编 委 宋喜红 蔡德泉 刘 鹏 高志刚
王照华 吴 新 李银忠 李彦杰
黎 舸 郝 燕 曲玉环 于海庆
王 璐 孙宇辰 卢 绿 于宇君
宫糕洁 岳增辉 戚 昕 李江玉

中国海洋大学出版社

• 青岛 •

图书在版编目(CIP)数据

威海市葡萄滩海域水动力调查及岸滩冲淤对策措施研究/张学超等主编. —青岛:中国海洋大学出版社,
2015.9

ISBN 978-7-5670-1006-2

I. ①威… II. ①张… III. ①海岸—水动力学—数值模拟—研究—威海市 IV. ①P731.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 232185 号

出版发行	中国海洋大学出版社	
社 址	青岛市香港东路 23 号	邮政编码 266071
出 版 人	杨立敏	
网 址	http://www.ouc-press.com	
电子信箱	dengzhike@sohu.com	
订购电话	0532-82032573 (传真)	
责任编辑	邓志科	电 话 0532-85902495
印 制	日照日报印务中心	
版 次	2015 年 10 月第 1 版	
印 次	2015 年 10 月第 1 次印刷	
成品尺寸	185 mm × 260 mm	
印 张	7.375	
字 数	170 千	
定 价	20.00 元	

第 1 章 引 言	1
1.1 项目背景	1
1.2 研究意义和目的	3
1.3 相关研究工作的回顾和现状	5
1.4 问题提出	13
1.5 本项目研究内容	14
第 2 章 海洋调查数据收集、整理与分析	16
2.1 研究海域地理位置资料信息	16
2.2 中心渔港建设工程资料收集与分析	18
2.3 葡萄滩岸滩侵蚀调查与数据分析	23
2.4 葡萄滩海域自然环境数据收集与分析	28
2.5 周边海域海洋资源及开发利用概况调查	43
第 3 章 气象要素模拟分析	46
3.1 WRF 气象模型介绍	46
3.2 模型设置	48
3.3 数值计算结果	49
3.4 计算 50 年一遇最大风速	50
第 4 章 波浪数值模型和数值计算	53
4.1 波浪模型简介	53
4.2 计算域和网格设置	54

4.3	波浪数值模拟及分析	55
第5章	水动力现状模拟分析	63
5.1	水动力模型简介	63
5.2	计算域和网格设置	67
5.3	潮流数值模型及验证	71
5.4	模型数据分析	73
5.5	余流场变化分析	83
第6章	地形地貌与冲淤环境现状模拟分析	86
6.1	泥沙运移趋势	86
6.2	沿岸输沙分析	87
6.3	地形地貌冲淤数值模拟	88
第7章	岸滩侵蚀修复方案	95
7.1	国外海岸修复硬工程实例	95
7.2	葡萄滩岸滩修复方案比较	98
7.3	小 结	106
第8章	结论和建议	107
8.1	结 论	107
8.2	问题和展望	108
8.3	建 议	109
参考文献		110

第 1 章 引 言

1.1 项目背景

随着我国经济的迅猛发展,沿海地区的用海需求越来越大,过去十年间我国围填海总面积超过 10 万公顷,围填海造地规模庞大。围填海活动在给地方经济注入活力的同时,也带来一系列环境问题,改变了原有的海洋动力环境,对海洋的其他功能也造成影响,这是值得深入研究和探讨的问题。围填海工程主要造成海湾面积减小,海湾纳水体积和纳潮量减小,海湾的整体水动力环境减弱,从而改变海湾泥沙冲淤环境,造成海岸线的侵蚀和淤积问题,进而改变海湾原有的基本功能。

威海市是山东省下辖的一个地级市,位于山东半岛最东端,北、东、南三面为黄海环绕,东与朝鲜半岛和日本列岛隔海相望,西与烟台市接壤,北与辽东半岛相对。威海市是我国著名的港口城市,是山东省重点渔业产区和水产品集散地之一,是重要的旅游城市,是世界上第一批最适宜人类居住的城市之一,也是山东蓝色半岛经济区的重点建设地区。威海市拥有总长为 985.9 km 的海岸线,海岸线长度约占山东省总海岸线长度的 1/3,全国总海岸线长度的 1/18。威海的海岸类型属于港湾型海岸,海岸线曲折,沿海有大小港湾 30 多处、岬角 20 多个,并拥有众多的优质海滩。

威海渔港面临黄海,紧靠烟威渔场,水产资源丰富,是山东省重点渔业产区和水产品集散地之一。渔港位于威海市东部,公路相通,交通十分便利。威海渔港所处位置海域及陆域均较开阔,且腹地广阔,水电交通方便,自然条件良好。威海渔港为全国一级群众性渔港,1976 年至 1979 年一期工程建成投产,其中码头长度为 342.6 m,(-5 m 水深泊位 102 m,-4.0 m 水深泊位 240.6 m),防波堤长度为 415 m;1986 年到 1988 年完成二期工程,扩建码头长度为 120 m,小马力渔船泊位 4 个,平均水深为 -3.0 m;2000 年至 2001 年完成三期工程,扩建码头 65 m。至此,渔港共建码头长 577.6 m,码头泊位 19 个。

相应的陆域配套设施有加油、加水站各 2 个,每小时供油、供水能力各式各 50 t;冰桥一座,每小时加冰 50 t;污水处理站,日处理污水 24 t;并设有电箱 7 个,24 小时供电;潜水泵 2 个,还有小型灭火车及灭火器等消防救生设施。威海渔轮厂在渔港附近,有 600 吨级修船滑道一条,可对 600 吨级以下渔船进行大、中、小修,其他陆上设施还有水产供销公司、冷藏制冰厂、水产品加工厂和网具厂等。渔港建成后对发展威海市及其环翠区的水产事业作出了极大贡献,20 年来共卸鱼、卸油近百万吨,既繁荣了市场、丰富了城市居民的菜篮子,也促进了当地经济的发展。

但是,随着改革开放的不断深入,渔业生产的迅猛发展,威海渔港无论从港口规模还是港口设施,已远远适应不了海洋捕捞、水产养殖,以及水产品流通和加工业发展的需要。港口扩建之前存在的问题较多,归结起来有以下几个。

(1) 港内水域偏小,港内船舶十分拥挤,每逢渔汛季节,压港现象十分严重,时有碰撞事故发生,不能满足渔汛时渔船锚泊要求。

(2) 码头泊位不足,满足不了渔业生产发展及远洋渔业发展的需要。

(3) 港内避风条件较差,防波堤经过几十年的风浪冲击特别是经过几次台风的冲击后,损坏较为严重,使避风、停泊的船只的安全受到严重威胁。

(4) 根据城市规划,现威海渔港需要搬迁,恢复生活岸线。

近年来,随着海洋渔业经济的发展,位于威海市环翠区内的原威海渔港规模、配套设施满足不了生产需求的问题日益突出。每逢渔汛季节,整个港区渔货交易繁忙,外省市渔船多来停靠,渔船压港现象十分严重;港内避风条件差,防波堤经过几十年的风浪冲击特别是经过几次台风的冲击后,损坏较为严重,使避风、停泊的船舶安全受到严重威胁。另外,渔港生产设施不配套、功能区划不健全等问题严重束缚了渔业生产的发展,最大的问题是已经满足不了远洋渔业、水产养殖及渔货交易和加工业发展的需求。因此,为了让海洋产业更好更快地发展,威海市对城区进行了总体规划,规划中明确指出,威海市的城市性质是“山东半岛以海洋产业为主体的滨海旅游港口城市”“中国北方较大群众性渔港及鱼类工业和海产品加工基地,旅游度假、港口城市”,威海中心渔港的主体功能是“中国一类对外开放港口之一”。按照此规定,经国家发改委批准,按照国家级中心渔港标准,投资 6.9 亿元将威海渔港搬迁至威海市孙家疃远遥村葡萄滩湾(远遥湾)内($37^{\circ}32'29''\sim 37^{\circ}33'06''\text{N}$, $122^{\circ}05'04''\sim 122^{\circ}05'46''\text{E}$)。葡萄滩湾位于威海西北部,地处黄海之滨,背靠威海市区经济腹地,在环翠区管辖范围内孙家疃镇远遥村北侧,拥有理想的水路交通网络支持,对外交通十分便利。葡萄滩湾的具体位置如图 1-1 所示。



图 1-1 葡萄滩湾位置图

葡萄滩东起靖子头,北至远遥嘴葡萄滩岬,面积 3.44 km^2 ,宽约 $4\,895 \text{ m}$;湾口向北,

海面开阔,气候类型属于季风显著的海洋性气候。根据威海市气象台实测资料统计,年平均气温为 12.5°C ,年平均降水量为 793.4 mm ,平均雾日数为 16 天,湾内最大水深为 26 m。海湾类型是基岩侵蚀湾,湾顶处有较窄的沙滩,海湾内天然生物饵料丰富,鱼、虾、贝、藻等分布广泛,其中鱼类以洄游性居多,水产资源十分丰富。该海湾的开发利用主要以港口、养殖、海水浴场为主。威海渔港迁至葡萄滩湾后更名“威海中心渔港”。威海中心渔港按照 50 年一遇风浪的标准进行设计,以打造国际一流渔港为建设理念,以绿色花园式渔港为建设目标,于 2009 年正式建成通航、投产使用。港内水域面积为 0.5 km^2 ,包括载卸渔船共可锚泊 636 艘渔船,若避风时集体停靠,可锚泊 80 HP 以上渔船数千艘。码头长度达到 1 320 m,水深为 4~9 m,有 5 000 吨级泊位 6 个,万吨泊位 3 个,万吨级远洋渔船可以停靠。威海中心渔港是一个集远洋渔业、渔船避风与补给、渔业生产休整基地,休闲渔业与旅游基地,水产品流通及信息服务基地于一体的多功能、综合性的大型渔业产业化基地。

威海中心渔港为适应渔业经济快速发展的需要,2006 年开始在葡萄滩进行了围海工程,在葡萄滩湾口建立了 1 320 m 的引堤,超过湾口长度的 $2/3$,保障渔船免受外海风浪袭击。围海工程实施前的研究论证认为,湾口引堤的修建可以有效地减小海浪的入射,改变湾内流场;且海岸为基岩海岸,泥沙绕过防波堤进入威海渔港的泥沙较少,使得外海泥沙无法进入湾内,不会使葡萄滩受到泥沙冲淤的影响,原有水深、地形也不会改变。但是,自 2009 年威海中心渔港围海工程完成后的两年内,葡萄滩的西侧内湾出现严重的泥沙淤积问题,而葡萄滩东侧高质量的海水浴场沙滩遭到较为严重的冲刷,冲淤环境的改变出人意料,与围海工程前的研究论证结论有明显出入。

本项目于 2013 年 9 月 3 日,由青岛欧拉海洋技术有限公司与威海市海洋环境监测中心和山东海逸恒安项目管理有限公司签署合同书,对葡萄滩海域开展水动力调查和数据搜集工作,在调查数据资料整理、数据搜集、数据分析的基础上,通过采用数值模拟的方法,对所研究海域的风场、波浪场、潮流场、环流场,以及泥沙输运和岸滩冲淤进行数值模拟,分析研究葡萄滩海域岸滩侵蚀和淤积的原因,并在此基础上针对存在问题,设计岸滩整治综合方案并进行数值模拟分析,最终完成研究报告,期望给出葡萄滩沙滩的有效保护工程措施。

1.2 研究意义和目的

据统计数据,世界人口的 $2/3$ 居住在沿海地区。自 20 世纪末以来,随着我国经济的高速发展,海洋经济已成为我国国民经济的重要组成部分,海洋经济在国民经济 GDP 中所占的比重也不断增大。山东半岛是我国最大的半岛,它不仅是环渤海地区和长江三角洲地区的重要结合部,还是黄河流域地区最便捷的出海通道,更是东北亚经济圈的重要组成部分。在“十二五”规划开局之年第一个获批的国家发展战略就是国务院以国函[2011]1 号文件批复的我国第一个以海洋经济为主题的区域发展战略——《山东半岛蓝色经济区发展规划》。自此战略提出以来,海洋经济、生态、社会等子系统开始协调发展并且海陆

统筹一体化发展,海洋产业的范围也由单纯的海洋经济扩大到海洋、临海、涉海三个部分。其中,濒临海洋的近海海湾地区交通便利、资源丰富,是当代人类生产、生活、旅游和贸易的主要场所。

就目前情况而言,在开发利用海洋资源的大形势下,为了促进国民经济快速健康发展,人们开始考虑以“循环式”经济替代“单程式”经济,考虑如何充分利用资源相对充足的沿海地区的海洋资源,随即出现了各种涉海工程,即在沿海海湾、河口进行围海造陆、港口建设、航道治理、潮汐发电、排污入海等综合开发利用,这些涉海工程对经济社会发展具有重大意义。

近海海域尤其是海湾地区位于陆海交汇地带,具有海洋动力条件多变、沉积过程复杂、生态环境脆弱、地貌演变迅速等特点。大型涉海工程建设往往是较大程度甚至彻底改变海域属性的开发活动,若程度适当,论证充分,对海洋环境影响的预测准确,采取的影响防范措施到位,工程建设可以在对海洋生态环境影响较小的情况下取得较大的社会效益,对当地城市经济发展起到重要的作用。但是目前,我国评估海洋工程对海洋环境的影响主要依赖于该工程的海洋环境影响报告书,而涉海工程的环境影响评价往往更多关注的是工程建设对陆域和经济社会发展的影响。国家海洋部门推行的涉海工程海洋环境影响评价制度经过十余年的发展,对规范涉海工程的管理、减缓涉海工程的生态环境影响起到了积极的作用。然而,涉海工程海洋环境影响评价也存在着明显的不足之处,主要表现在以下几个方面:

(1) 当前不少涉海工程项目的海洋环境影响评价存在一定的局限性,单个工程的评价结果往往影响不大,可以接受,但忽略了一个海区多项工程的海洋环境影响累积效应;

(2) 预测性的环评结论过于相信数学模型和物理模型对未来可能发生情况的判断,而缺少相似工程实例的验证;

(3) 部分环评单位为了使工程通过审批,过于强调项目的优势所在,埋下了其负面影响仅用较少的篇幅描述,或者用词模糊,埋下了未来海洋工程可能造成负面影响的隐患。

随着我国海洋经济的高速发展,海洋经济在国民经济 GDP 中所占的比重越来越大。然而,我国海洋经济的增长多数是以牺牲环境为代价换取来的。在开发利用海洋资源的大趋势下,受经济利益的驱动,越来越多的工程项目倾向于在海岸带建设,大规模的围填海工程、突堤码头工程、航道疏浚工程等随处可见,海岸带侵蚀、生态环境质量退化严重,已严重影响我国海洋经济的健康发展,加剧了人类社会、自然环境和经济发展之间的矛盾。

我国自 20 世纪 80 年代开展海洋环境影响评价以来,鲜有未通过海洋环境影响评价的海洋工程,好像海洋环境情况良好。但事实恰恰相反,我国的近海环境质量日益恶化,海洋资源的可持续利用能力受到严峻的考验,若论证再不充分、管理再不严格,不仅会影响海域的合理开发及可持续发展,还有可能加剧海岸侵蚀、造成泥沙淤积,影响江河的泄洪能力和港口的航运功能。目前,国内外一些过当的海岸工程是以牺牲环境为代价的。在没有科学依据和充分论证基础上的过度开发利用,对涉海海域内的水动力环境、水质环境、泥沙运动规律和生态环境等都会造成一定的负面影响,更有甚者可能造成无法恢复的严重后果,如导致海湾面积缩小、泥沙淤积、水质恶化、水交换能力下降等灾害频发。例

如,1965年以前,美国旧金山海湾以每年 9.3 km^2 的速度减少,导致湿地严重退化,威胁了底栖无脊椎动物及鸟类的生存;20世纪40年代末,日本战败后将濑户内海沿岸选为最重要的工业基地,大量的重金属污染、石油污染、城市垃圾及其他工业废物污染导致濑户内海赤潮频发;我国厦门西海域的海岸工程和填海造地使纳潮量减少高达67%,潮汐对泥沙的输运能力明显减弱,这使厦门港的淤积加重、通航条件受到严重影响,政府为此不得不每年拨出专项经费来清理航道;1955年,我国香港维多利亚港围填海面积非常大,附近的浅水区域几乎全部被围填海,这使得附近很多区域潮流形式改变、水交换能力减弱、港口纳潮量减少、泥沙运动规律改变,严重影响了海港的排污功能;山东省近年来也不乏此类现象,如由于过度捕捞致使近海渔业资源严重衰退,由于填海造地、石油天然气开发,以及采矿等海上生产活动导致海岸冲刷、航道泥沙淤积、生态环境条件严重恶化,近岸海域赤潮、浒苔频发,带来了巨大的经济损失。

要使海岸工程取得经济、合理的预期效果而又尽量减少对环境的不良影响,取决于我们对各种海洋动力要素,以及这些动力要素,引发的自然环境演变规律的深入了解。海湾区域的动力过程系统控制着海湾区域的动力环境。海湾地区的自然动力过程系统指淡水径流、潮汐作用、波浪、风等各种动力因素共同作用产生的海湾区域复杂的动力系统。研究有关动力因素的机制和时空变化规律,以及如何控制地貌演变、海岸侵蚀、泥沙运动以及水动力场变化,对我们合理建设海岸工程,合理开发利用海洋资源,科学用海,发挥海洋自身优势和长远效益,减少工程对环境的危害,防止海洋灾害等具有重大意义。基于以上原因,科学家们一直关注着作用于海湾地区的自然动力系统及海岸地貌演变的研究。

1.3 相关研究工作的回顾和现状

1.3.1 海岸侵蚀研究

长期以来预测海岸演变趋势,计算岸滩地形变化的方法可归结为两种:一种是地理学研究,即从某一地区的地质构造、海岸发育及演变历史、海岸沉积物特征出发,定性地研究海岸的演变发展趋势,这种类型研究的空间尺度和时间尺度都较大;另一种是海洋工程学的研究,即利用解析及经验分析、物理模型、数值模拟等手段,通过研究海岸演变的机制,定量分析海岸的短期变化,这种研究的空间尺度和时间尺度往往较小。将这两种研究思路结合起来,在认识海岸长期演变的基础上定量分析其短期变化,并通过海岸短期变化的计算分析,从动力机制的角度来预测海岸的长期演变,做到短期变化与长期演变相结合、微观动力机制与宏观动态相结合,是岸滩变形乃至动力地貌学研究的一个重要发展方向。

国外对海岸的研究起步较早。“二战”后,许多科研组织与团体意识到对海岸自然地理知识的缺乏,开始从事海岸方面的研究。最初对海岸演变与地形形成的研究以大尺度的地形(或地貌)为主,采用静态描述的方法。

美国海岸侵蚀研究团,即现在的美国海岸工程研究中心(CERC),首先应用实验量化方法来解释海滩地形的变化,随后有很多的研究人员应用并发展了这一方法。这一方法

的特点是通过实验的测量数据如滩面坡度、泥沙粒径、波高建立经验方程,应用经验方程预测海滩对驱动力的响应。数学方法、室内实验、野外观测等是早期海岸研究的主要手段。

20 世纪 70 年代,一些研究人员开始注意海滩的侵蚀过程与形态之间在不同的时空尺度的相互调节。Wright 和 Thom 首先提出了一种较完整的地形动力学(Morpho-dynamics)的概念。地形动力学从流体动力、泥沙运动、地形变化之间的相互耦合过程来研究海岸的演变。Lippmann 和 Holman 进一步划分了 8 种海滩状态和 4 种沙坝类型,并和 Wright 的分类进行了对比。地形动力学方法对于长期的海滩演变研究存在较大困难。

海滩剖面是海滩侵蚀研究的一个重要手段。海滩剖面通过其物质组成、坡度与地貌形态结构的时空变化在一定程度上反映了复杂的过程——响应系统的海滩主要过程。一些学者进一步研究了粒度与波浪尺度对海滩剖面类型的影响。剖面除了依赖于风暴与涌浪条件的变化外,还显示出与其他动力要素(如潮汐、风)相应的变化。根据中立点假说,研究人员提出了许多海滩平衡剖面模型。平衡剖面形态只是根据动力和海滩泥沙充分作用下的实验或实测的海滩剖面经过经验拟合而得到的一个具有统计意义上的相对平衡的海滩形态。理想的平衡剖面在自然界是难以找到的。尽管如此,海滩平衡剖面对海岸侵蚀变化和海滩过程的研究是有着重要意义的。

平衡海岸平面曲线形态规律与平衡剖面规律一样,是研究沙质海岸演变与稳定的重要规律之一。Yasso 最早通过模拟原型海湾,提出对数螺线模型。随后的一些研究者通过大量原型海湾的模拟和波浪槽试验,提出了新的岸线平衡模型,比较典型的有抛物线形模型、椭圆形模型、形态要素模型等。平衡形态规律在海岸长期侵蚀演变预测与防岸护岸工程上得到了广泛的应用。

随着计算机技术的发展,数值模拟方法在海岸侵蚀演变研究方面的应用有了长足的发展,其应用更为广泛。如近岸波浪数学模型中,平面二维波浪模型的理论不断发展与完善,有不少模型已应用于海岸工程,三维波浪模型的研究已经起步。在海岸工程应用方面,数值模拟相对于室内的物理模型,其优点是成本较低、实验方案容易变换等。

模拟海岸演变的数学模型种类繁多,大致可分为三类:第一类是岸线变迁模型(Line-Model);第二类是剖面变化模型(Rofile-Model);第三类是宏观过程模型(Macroprocess-Model)。

海床长期演变计算的数学模型主要是以“砂质海岸”为主,分为“岸线模型”和“地形模型”两大类。岸线模型计算研究区域的波场分布,确定破波要素、破波位置,将破波带内外沿岸输沙率分别作以考虑,代入根据输沙平衡原理导出的岸线变化方程,解得岸线(多线理论中为等深线)位置。Pelnard Considere(1956)最先提出了岸线冲淤变化的理论模型,假定沿岸输沙与入射波波向角成比例,由输沙连续方程得到描述岸线变化的方程。Bakker(1968)在 Pelnard Considere 方法的基础上提出了一线理论,假定岸滩剖面在岸线变形过程中保持不变,海滩剖面平行于自身运动。这类模型只考虑沿岸输沙对岸线变化的影响,适用于模拟以沿岸输沙为主的较长岸段的长周期岸线变化,在实际工程中的应用较广泛,具有一定的实用价值。Bakker(1968)在一线模型的基础上建立了二线模型,即同时考虑海岸两条等深线的变形,并在变形计算中考虑横向输沙率。Perlin 等将二线模型推

广到 N 线模型,即在模型中用多条等深线来代表岸滩剖面。这类模型仅要求确定横向输沙率,还需推求沿岸输沙在剖面上的分布函数;不过模型中有三个关键问题仍没有得到很好的解决:一是横向输沙量的计算,二是沿岸输沙的剖面分布形式,三是短周期横向输沙和长周期沿岸输沙的相互作用和组合。

随着遥感技术的发展,另一个重要的方法是利用遥感对海岸冲淤的演变特点和趋势进行定量分析和定性分析。

Bloget, H. W 等利用 MSS 图像的近红外波段(NIR)确定 Rosetta-Nile 岬角海岸线的位置,并分析了 1972~1987 年岸线的变化情况及原因;Donoghue 等使用遥感技术对英国东海岸潮间带进行了制图和监测;Mason, D. C 等假设水边线是一条等高线,通过叠加不同潮汐条件下的水边线来生成潮滩数字高程模型;Frihy, O. E 等利用卫星数据结合地形图资料,研究了埃及 Nile Delta 岸线的蚀退及淤涨情况,并监测了 Manzala 潟湖的面积变化情况。

我国的浑才兴、任友谅等利用 MSS 遥感图像对鸭绿江河口的潮滩稳定性进行了分析;任明达等利用多时相陆地卫星图像对渤海湾沿岸潮滩质量进行了评价,并对潮滩的宽度和坡度进行了测量;黄海军等对山东莱州湾潮滩地的光谱进行了测试和分析;陆惠文、杨裕利利用遥感技术对烟台海岸带潮滩现状及历史演变进行了分析;王贵明、董裕国利用遥感技术对珠江、长江三角洲的海岸变迁和河道演变进行了研究;赵锐等为了监测长江三角洲岸线的摆动及河床变迁,采用多时相航片、卫片并与地图相结合的方法,对长江三角洲岸线变迁进行了分析,建立了长江三角洲地区卫星遥感动态决策咨询系统;吴曙亮、蔡则健利用遥感技术对江苏沿海潮滩资源及发展趋势进行了研究;张华国等利用 TM、ETM 等资料,在进行图像处理,将经过几何校正和假彩色合成的遥感图像作为底图,在 GIS 软件中跟踪海岸线,对杭州湾区域的围垦淤涨情况进行了动态监测,得到了准确客观的围垦淤涨信息,充分发挥了卫星遥感方法大范围快速监测、多时相动态监测、历史追溯监测等优势。

1.3.2 海岸防护与养护研究

(一) 海岸防护

对于海岸防护,美国已于 1969 年制定了《国家环境政策条例》,1972 年和 1976 年先后颁布《海岸管理条例》。在我国,陈沈良(2000 年 6 月)以海岸动力泥沙过程和岸滩物质基础为切入点提出“固堤—护坡—保滩—护岸”工程方案;左书华(2006 年 4 月)提出了我国海岸防护工程类型较多,应根据海岸侵蚀的特点采用不同的措施或多种形式组合,因势利导,使工程达到最好的防护效果;李志龙利用海湾平面平衡形态经验模型为海岸工程人员设计经济、合理、有效的海岸防护工程如岬角控制工程、离岸堤工程、填海造地工程等提供了重要的理论依据;王文海(1994)根据我国海岸侵蚀情况指出,要加强海岸过程的调查研究,搞清楚海滩的动力条件、泥沙来源、运移规律和沉积作用以便治理和管理好海滩和海岸,在此基础上要加强海岸管理、合理开发海岸资源,同时采取适当的工程和生物措施

护岸,如土堤、干砌块石护岸、土堤水泥板护岸等;阮成江(2000)根据我国主要海岸侵蚀区的侵蚀现状、特点及原因,提出了海岸侵蚀的防治对策:“保堤必须保滩”“全线防护变成线段防护”,在不同地区建造丁坝、潜坝、护坎坝、离岸堤,以及它们的相互组合形式。总的来说,现代的海岸侵蚀演变及防护研究具有如下特点:

- (1) 高新技术手段逐渐渗入;
- (2) 数值模拟方法应用越来越广泛;
- (3) 统计的、经验的方法仍然是海滩研究的一个重要手段;
- (4) 新的数学方法不断应用于海岸研究,如小波分析,神经网络模型等;
- (5) 多学科交叉、多学科结合的现象越来越普遍,成为海岸过程研究的重要发展趋势。

(二) 海滩养护

国外海滩养护实践和理论等方面均较为成熟。最早开展这方面工作的是美国 Hunting Island(1923),之后对海滩又经过多次养护,效果较好。至1996年,美国东海岸养滩4处,填沙至少573次;1923~2002年,政府拨款超过32亿美元,预计至2050年将增加5%~26%。这方面工作在欧洲开始于葡萄牙 Estoril(1950)。据欧盟统计(2002),德国养滩60处,抛沙130次,约0.5亿 m^3 ;荷兰养滩30处,抛沙150次,约1.1亿 m^3 ;丹麦养滩13处,抛沙118次,约0.3亿 m^3 。代表性理论成果主要有美国的《海岸防护手册》《海滩养护与保护》,荷兰的《人工海滩养护手册》,日本的《人工海滩手册》,美国 Dean 的《海滩养护:理论与实践》等,为海滩养护设计、实施、监测等提供了有效的理论指导和案例借鉴。

1. 填沙物质及其变化研究

填沙物质一般要粗于或近似原始海滩沙,这样更有利于形成稳定的、更宽的海滩和延长养护海滩使用寿命,尤其是在侵蚀严重岸段需抛填更粗的沙。如 Hunting Island 和 Coolangatta Bay。Hunting Island 还对填沙物质提出了明确的要求,如沙源地沙平均粒径要大于0.2 mm,泥质含量要小于5%,沉积物要粗且含有一些壳体物质等;Coolangatta Bay 海滩养护两年后滩肩变粗和滩面变细,分选变好。荷兰 Terschelling 养护海滩研究认为填沙只具有短期影响,一般几个月后就会与原始海滩沉积物相混合,一年后自然应力对沉积物变化的作用要远远超过填沙物质的影响,且区域性变化较明显。养护海滩沉积物特征和沉积环境随时空变化较明显,也具有区域效应,如佛罗里达东南部海岸。

2. 填沙位置研究

海滩填沙位置主要有四种:后滨填沙,形成沙丘;平均海平面以上填沙,形成较宽和较高的滩肩(滩肩填沙);整个剖面上填沙;滨外填沙,形成人工沙坝。填沙位置的选择一部分取决于沙源地和输沙方式,最常见的位置是滩肩,其次为滨外。侵蚀热点(海滩养护后出现的侵蚀速率大于设计预期值或相邻岸段的区域)的存在使海滩养护效果较差,主要是受到丁坝、波浪折射、沉积物分布不均衡、补沙不足、近岸采沙等12种因素的影响。例如,荷兰 Egmond 海滩存在侵蚀热点,采用将滨外填沙与滩肩填沙相结合方式进行养护,3年

后海滩泥沙体积相对于养护前增加了 $477\,500\text{ m}^3$ (45%为填沙),效果很好。这种方式需要时间较长才能见效,一般为5~10年。

3. 海滩体积变化及其再养护研究

泥沙的流失取决于沿岸和横向流失量的对比,随时空变化而变化,通常养护海滩使用寿命分小于1年(26%)、1~5年(62%)和超过5年(22%)三种。Hunting Island 海滩第五次养护后2~3年时间侵蚀仍然非常快速,水上可保存约70%的填沙,而水下只保存了约27%的填沙,然而与之前几次填沙后对比,侵蚀情况有减弱趋势。Perdido Key 海滩养护后5年仍能保存约56%,增宽53 m;在飓风、风暴之后,滩肩只略向岸后退,体积稍微减小,养护效果较好。Dean 总结美国等众多养滩演化过程,认为养护海滩使用寿命一般为5~7年,即抛沙后沙滩从形成到成熟再到最后衰退的过程需要5~7年。Chard 等对加利福尼亚南部 Torrey Pinestate 海滩剖面调查后认为常浪作用对海滩影响不大,主要是由于风暴作用造成了严重侵蚀,约每0.06 m厚损失泥沙20%。Smith 等通过养滩效用、费用、侵蚀速率等来判定海滩养护的频度,认为海岸带利用价值越高、侵蚀速率越大、海滩宽度内在价值越大、养滩费用越低、养护海滩的保存系数越大,则应进行更多的海滩养护工程。然而,养滩费用是多变的,可能会导致养滩次数的增加或减小;同样,蚀退速率越高也可能增加或减少养滩次数,即经济效益与自然因素的对比决定了养滩频度的变化。

4. 岸滩地形变化研究

Work 等通过佛罗里达 Perdido Key 养护海滩调查与沿岸输沙结果对比,认为泥沙的横向运动对剖面形态的影响要大于其纵向运动。Crrunnet 等对荷兰 Terschelling 养滩研究认为,养滩活动会对沿岸沙坝造成影响,使海滩地形复杂化,泥沙的横向、纵向输运同样重要。Muller 等在澳大利亚 Townsvine 的呷湾海岸养护研究中,认为沿岸地形的改变使沉积物运移趋势发生变化,同一时间的不同岸段既发生侵蚀也发生堆积,泥沙沿岸运动明显大于横向运动。Ping 等对佛罗里达中西部养护海滩剖面监测研究认为,一年内岸滩形态主要受本底输沙率、沿岸和横向的调整、自然和人工障碍物、风暴等的影响,同时这些因素反过来也受到海岸走向、地形地貌,填沙长度特别是填沙位置、沉积物粒径等的影响;冬季泥沙流失量显著大于夏季,冷锋过境时大多数的剖面上都会发育离岸沙坝,夏季沙坝会向岸迁移。Yates 等对加利福尼亚 Torrey Pinestate 海滩研究发现,海滩存在明显季节性变化:夏季海滩变化不大,岸线向岸推进,冬季风暴作用下岸线全线迅速后退,在岸外水深3~4 m处发育的沿岸沙坝,次年夏季沿岸沙坝向岸迁移,形成了更宽的海滩;海滩体积变化还表现出多年波动性,7年后为原始填沙体积的2倍,原因尚不明确。Ojeda 等对西班牙 Barcelona 市三个人工海滩的岸线变化研究认为,岸线变化是对风暴等作出的快速响应,也是对中等时间尺度下地形变化的调整,或者是对极端事件和人为活动之后向更稳定状态的转变。Castelle 等对澳大利亚 Coolangatta Bay 海滩养护前后地形和岸线的演化作了研究,认为密集性地对海滩进行养护将显著改变岸线位置和水深—8 m以浅的地形地貌,如 Kirra 海滩养护后滩肩高度达6 m,岸线向海迁移200 m。

(三) 我国海滩养护研究现状

我国海滩养护开展得较晚,缺乏经验和理论指导,规模也较小。在海岸侵蚀日趋严重

的背景下,海滩养护将成为海岸防护的主要措施。我国最早的养滩在 1990 年的香港浅水湾,效果较好。近年来,台湾、大连、北戴河、三亚、厦门等地也相继开展了一些实践和相关研究,主要集中在养滩设计参数和方案模拟研究,而对海滩养护后沉积物、岸滩地形等的演变的研究较少。

1. 海滩养护设计的研究

谢世楞等通过对自然条件、海岸地貌、泥沙运动、国外养滩实例经验的研究,对桂林洋海滩治理工程设计提出建议,并在此基础上探讨了对补沙及其沙源,填沙坡度、填沙方式、辅助工程等海滩养护设计影响因素。陈坚等在厦门岛东北部海滩改造条件评价的基础上,对下保—香山段海滩养护的宽度、坡度及辅助工程措施等方面进行了研究,并提出相应的设计参数,在没有丁坝等辅助设施情况下年均流失量可达 29%,建议在下游建造丁坝,维护海滩的稳定。孙波等介绍了近年来西欧国家近岸补沙实例,如荷兰的 Egmond,从理论上分析了近岸补沙方法的有效性,认为近岸补沙在国内的应用具有广阔前景,利于合理开发利用和保护海岸。宋向群等对星海湾浴场规划设计作了研究,建议一次抛沙结合建筑物稳固,分别用“T”形防波堤、“L”形防波堤以及潜堤将其修建成为互不关联的三个海滩,同时应用岸线变形数学模型模拟得出岸线在当地波浪长期作用下几年后接近自然平衡岸线。季小梅等依据自然海滩演变条件和规律,对三亚白排人工海滩关键参数进行设计,利用数学模型就滩面物质和坡度两个因素检验了设计海滩的稳定性。王广禄等对海湾海滩修复相关的设计技术、适宜性等进行了详细研究,将养护海滩的理想演变过程划分为初形期、塑造期、成熟期和衰退期四个阶段。潘毅等利用 GENESls 模型预测了北戴河西海岸各种养护方案下工程后 10 年内的岸线演变情况,得出最佳的养护方案:填沙养护并辅以三离岸潜堤。张宇等采用 Delft3D-Flow 建立北戴河西海岸养护工程海域潮流模拟研究的数学模型,认为在岬角处修建突堤和离岸潜堤会显著减小潮流速度,扩大近岸低流速区域,三离岸潜堤相比双离岸潜堤方案在防波堤附近效果更好,更有利于养滩的形成和稳定。庄振业等对海滩养护工程进行了概述,将其分为调查、重建和修补阶段,并对其相关的技术问题(海滩平衡剖面,抛沙位置、成分、数量、沙源及硬工程等)作了讨论。孙连成利用整体潮流泥沙物理模型和波浪水槽模型对天津港东疆港区人工海滩的冲淤特性做了实验研究;若存在防波堤掩护,10 年一遇波浪基本稳定,50 年一遇大浪沙滩剖面变形,单宽流失量约 $3.3 \text{ m}^3/\text{min}$;正常波浪情况下,中值粒径为 0.284 mm 的泥沙能够满足设计剖面形态需要,也较适合休闲、观光目的,而粗沙舒适感欠佳,景观效果减弱。

2. 沉积物和岸滩地形变化的研究

毛龙江等对海南三亚湾海滩的调查中显示,小东海湾顶填沙较粗,水线附近粗珊瑚碎块成细条带与粗砂相间分布;海滩剖面呈上凸的折线形,上部近直线形,略下凹,认为掌握海滩的形态要素与物质特征及其形成和演变过程,对有效地防护海岸等具有重要的现实指导意义。陈建中等通过对养滩前后地形对比,认为我国台湾安平港海岸养滩后实际岸线与规划有所差异,由于实际施工并未完全按照原规划执行,实际养滩以偏南侧为主,致使中间、北部海滩侵蚀力量大;对比不同时期航空图,养滩前较为平直,养滩后形成有优美

的弧线海岸,达到了预期目标。王广禄等对沉积物特征和海滩剖面形态变化显示,香山至长尾礁沙滩养护一年后效果较好且基本稳定,部分泥沙流失,目前进入塑造期。

1.3.3 数值模拟相关研究工作

对于海洋数值模式的研究,国外起步较早,已进行了很多工作;相比之下,我国这方面的工作还处在起步发展阶段,但近些年发展速度很快。在近些年不断的研究中,国内外学者竞相提出并完善了众多数值解法,建立了适合各种情况的数学模型。

在研究中,受关注程度最高的无疑是近海水域,它一般指的是陆架海、潮汐河口和沿岸海湾这些与人类生产生活密切相关的区域。例如,中国近海在地理位置上介于亚欧大陆与太平洋之间,纵跨温带、亚热带和热带,自然条件非常复杂,海区包括渤海、黄海、东海、南海以及台湾东侧的太平洋海区。在渔港、海岸开展工程建设项目时往往需要首先清楚地了解它们的物理特性,包括海流、波浪、泥沙等,这样才能成功地复演和预测工程建设海域的物理现象。现阶段的研究中,通常使用物理模型或数学模型这两种模拟手段来模拟物理现象,即水力比尺模型和数值模拟。其中,物理模型视觉形态逼真,它是基于一定的比例尺物理模型以模拟真实的项目,这在工程中应用较为广泛。而数值模拟则没有物理模型那么直观,它是对自然现象构建的数学模型,需要建立偏微分方程组。由于自然现象的复杂性,这些微分方程组往往很难获得精确的解析解的非线性方程组;若要求解,需要通过引入近似简化方程或离散方程,这使得求解过程的计算量变得非常庞大。随着近30多年来电子计算机的迅速发展,数值模拟这种具有成本低、能模拟较复杂或较理想的过程等优点的模拟手段才随之高速发展起来。上文提到,描述海洋运动的地球流体力学方程都是一些偏微分方程组,很难获得其精确的解析解。但海流数值模拟、海浪数值模拟、潮汐数值模拟和泥沙数值模拟等实际问题要求出这些偏微分方程组的数值解,于是计算地球流体力学作为一门新兴学科随着高速大容量计算机的出现而应运而生。自从1959年 Douglas Jim 和 Peaceman D. W 第一次全面考虑相对渗透率、黏度、密度、重力及毛细管压力影响,进行两维两相模拟开始,科学家们不懈探索,让数值模拟从基础的两维模拟发展到越来越完善的三维模拟。

目前国际上被广泛应用的比较先进的数值模型有 ECOM 模型(3-D Estuarine, Coastal and Ocean Model)、FVCOM 模型(An Unstructured Grid, Finite-Volume Coastal Ocean Model),以及一些工程软件如 MIKE21、SMS 等。

ECOM 模型(3-D Estuarine, Coastal and Ocean Model)是由 Blumberg、Mellor 等在原有的 POM 三维水动力海洋模型的基础上研究发展起来的浅海三维水动力学模型。该模式在 POM 模型的基础上,吸取优点,增加新功能,使得 ECOM 模式可以取得更长的时间步长,不再受 CFL 条件限制;ECOM 模型的差分格式为时间前差,空间中央差的欧拉格式。著名的海洋环境泥沙模型 ECOMSED(Estuarine, Coastal and Ocean Modeling System with Sediments)是在 ECOM 模型的基础上发展起来的。完整的 ECOMSED 包括多个模块,使用者可以根据需要调动以下模块:水动力模块、泥沙输运模块、热通量模块、风驱波浪模块以及粒子示踪模块。ECOM 模型在国内外应用较为广泛。韩树宗等利

用三维的水动力-泥沙数值模型对洪水期的大沽河进行数值模拟,得出了胶州湾的余流分布、大沽河河道上中下游各层的盐度、泥沙浓度随时间的变化趋势,以及入海冲淡水 and 泥沙对胶州湾的影响。鲍献文等利用 ECOM 模型对胶州湾三维潮汐潮流进行数值模拟,获得了 M2 分潮的潮位、潮流、潮致欧拉余流以及垂直湍粘性系数的三维空间分布结构。张越美等引入干湿网格法对潮滩涨落进行了模拟并且做了改进,建立丁字湾及其近岸海域的三维变动边界潮流模型。杜伊等利用 ECOMSED 模式中的示踪粒子三维追踪模块对罗源湾水交换情况进行了分析,表明水交换能力的强弱与纳潮量的大小成正比。堵盘军等针对杭州湾特点,基于 ECOMSED 模式,引入动边界、干湿网格等技术,建立了杭州湾三维动边界的潮流模型。万修全等采用了曲线网格技术,在对胶州湾潮流及 COD 污染物稀释扩散的研究中应用 ECOMSED 模式,建立了一个三维保守 COD 污染物输运的对流扩散数值模型,模拟并分析了胶州湾 M2 分潮和 COD 污染状况。谢飞等引入 ECOM 模型中的变边界技术及干湿网格法,建立了海洲湾及近岸海域的三维变边界潮流数值模型。

FVCOM 模式(An Unstructured Grid, Finite-Volume Coastal Ocean Model)是一个海洋环流与生态模型,2000 年由美国麻州大学海洋科技学院开发成功。它是 Changsheng Chen 所带的博士研究组建立的一套集三维原始预报方程组、有限体积、三角形网格为一体的近岸海洋模式,包含了水质模块、泥沙输运模块、拉格朗日质点追踪模块、生态模块和淡水地下水输入模块等。FVCOM 模式应用至今,已经取得了众多成绩,其中,郝瑞霞以泉州湾水域某核电厂冷却水工程为例,对表排深取的工程布置方案进行了数值计算;Xue Pengfei 等在美国麻州大学做了一个关于模型的导向研究,利用 FVCOM 模型模拟了长江口的盐水入侵;宋德海等采用 FVCOM 模型的三维手段模拟钦州湾水域的潮位和潮流变化,首次使用了很高的时空分辨率,模拟结果与实测数据验证基本一致;于华明等利用有限体积法对福建省沙埕港的具有曲折岸线和复杂海底地形狭长海湾进行了水动力现状模拟和 4 种填海方案预测模拟,对纳潮量、潮位、潮流场,以及水交换率的变化情况进行了模拟分析,并讨论分析了各海洋要素对此地区的影响;Jennifer A. Shore 应用非结构网格 FVCOM 模型模拟了金斯顿盆地的平均环流;李希彬在湛江附近海域建立了三维动边界水动力模型,并模拟计算了湛江东海岛填海大堤前后水动力场,分析了东海岛大堤对湛江湾水动力环境的影响;董礼先等利用数值模式模拟手段对象山港进行了水交换数值研究,包括对流—扩散型的水交换模式研究、FVCOM 模型应用和水交换研究以及潮滩位置和平流效应对 M4 分潮的作用研究;常小军针对胶州湾内岸线曲折、地形复杂、滩涂面积大的特性,建立了三维 FVCOM 水动力模型,对其潮流场进行了数值模拟,并在水动力模型基础上开发了一个温排水的三维对流扩散模型;唐建华等采用 FVCOM 模式模拟具有复杂岸线的强潮海湾三门湾的三维水动力特征,并证明 FVCOM 模型的干湿网格功能较好地反映涨落潮过程强潮海湾的滩地出露特征。

MIKE 模型是丹麦水力研究所(DHI)开发的系列数值模型,属于商业软件,其中的 MIKE21 系列软件是平面二维自由表面流模型。该模型包括水动力、水质、泥沙、对流扩散和粒子追踪模块等,可以通过控制输入文件来进行不同模块的模拟。它有着十分强大的前处理和后处理功能。在进行前处理的时候,能根据实际的岸线水深资料进行计算网