



我国近海海洋综合调查与评价专项 成果
“十一五”国家重点图书出版规划项目

近海与海岸带 地质灾害

李培英 张海生 于洪军 主编



 海洋出版社

近海与海岸带地质灾害

李培英 张海生 于洪军 主编

海洋出版社

2010年·北京

图书在版编目(CIP)数据

近海与海岸带地质灾害/李培英, 张海生, 于洪军主编. —北京:
海洋出版社, 2010. 8

ISBN 978 - 7 - 5027 - 7784 - 5

I. ①近… II. ①李… ②张… ③于… III. ①近海—
地质灾害—文集②海岸带—地质灾害—文集 IV. ①P736 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 137566 号

责任编辑: 高朝君

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京画中画印刷有限公司印刷

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

开本: 889 mm × 1194 mm 1/16 印张: 10.75

字数: 280 千字 定价: 46.00 元

发行部: 62147016 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前言

Foreword

改革开放以来,我国经济社会迅猛发展。特别是近十多年来,近海与海岸带开发日趋增强,围海养殖、填海造地、大型海洋与海岸带工程规模型建设,沿海 11 个省、自治区、直辖市都在制定和大力推进近海与海岸带开发规划,并逐步上升为国家经济社会发展战略。所以说,海洋经济已经成为国民经济的重要增长点。但是,我们也要看到,随着沿海经济社会的快速发展,内地人口向沿海规模迁移,大量工矿企业向沿海集聚,对近海与海岸带资源环境形成了巨大压力。因此,在海洋经济社会发展、人民生活水平得到迅速提高的同时,也会因人类活动与自然变异的双重作用,导致近海与海岸带系统格局或要素的巨大改变,将直接影响到沿海人民的生存环境和经济社会的可持续发展。近海与海岸带作为岩石圈、水圈、大气圈、生物圈四大层圈相互作用、相互渗透、相互影响的关键地带,陆海相互作用过程复杂,具有对环境变化反应敏感和对灾害抵御脆弱的特点。海洋资源开发利用强度的大幅度增强,对近海与海岸带作用的强度也越来越大。这种作用为我们带来了利益,同时也带来了明显的负面效应。当前,我国近海与海岸带面临着严重的灾害问题,既有不可抗拒的自然因素,又有人类不合理的经济活动叠加其上,愈显复杂而重要。其中,地质灾害作为不可逆转的近海与海岸带的严重灾害,应该在发展海洋经济的同时,全面系统地进行调查、监测、预警预报和防灾减灾的研究。

我国近海与海岸带的地质灾害类型复杂,分布广泛。有地表的,也有地下的;有直接的,也有潜在的。除由于人为严重影响且分布广泛的海面上升、海岸侵蚀、海水入侵、滨海湿地退化、港湾淤积和海岸沙漠化等之外,还有大量潜在地质灾害,如地震、活动断层、滑坡、活动沙体、易液化地层以及影响海岸工程的

各种潜在灾害地质地貌体等。其中,海岸侵蚀、海水入侵、海面上升、地面下沉和滨海湿地退化等,发生地域广,持续时间长,治理难度大,而且是近海与海岸带地区特有的地质灾害,已对我国海洋资源开发与环境保护构成全面而持久的威胁。未来的近海与海岸带系统将如何演化?能否使其资源和环境持续利用以满足沿海经济社会日益增长的需求?都是我们这一代不得不面对又必须加以重视和解决的课题,已经引起国家、各级政府和海洋科技界的高度关注。

迄今为止,我国内陆区域性地质灾害调查与研究比较全面、系统而深入,奠定了较为完善的地质灾害理论,建立了陆地地质灾害的防灾减灾体系。自2004年3月1日起,在全国已经施行《地质灾害防治条例》,对一些重要类型开展了地质灾害气象预报。然而,近海与海岸带地区的地质灾害调查与研究却非常薄弱,比较零散,既不系统,也不深入。人们对近海与海岸带地质灾害的认识不足,对其类型的分布和危害程度的基础数据和资料掌握有限,对地质灾害发生的原因和过程了解甚少,对地质营力和人类活动影响下的近海与海岸带灾害地质环境变化趋势及其对全球变化的反馈作用所知更少。所以,认识与分析已经发生的近海与海岸带地质灾害和潜在灾害地质类型的特征及分布规律,摸清影响它们的灾害地质环境条件,预测其致灾程度、变异趋势及生态环境效应,维护好尚存的优美海岸地貌景观,既造福子孙后代,也可保证今后我国海洋经济社会的可持续发展。

鉴于上述,在国家专项“我国近海海洋综合调查与评价”(简称国家“908”专项)中,设立了“海洋地质灾害调查与研究”课题,并开展了“近海地质灾害对沿海地区社会经济发展影响评价”、“海岸侵蚀现状评价及防治对策研究”和“海水入侵现状评价及防治对策研究”等专题研究工作。通过近三年的调查与研究,目前正在开展系统总结和交流,并取得一些初步成果。现暂选编出18篇论文,编辑成文集,主要涉及海岸侵蚀、海水入侵、滨海湿地退化及其他近海与海岸带地质灾害的内容。本文集只体现

了阶段性初步成果,此后还要陆续将综合调查研究成果公开,希望能为推进我国近海与海岸带地质灾害的进一步调查、监测和深入研究以及为我国海洋防灾减灾工作,起到一定的促进作用。由于时间短且编辑水平所限,选审过程中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

李培英

2010年6月

CONTENTS 目次

近海与海岸带地质灾害

波流联合作用下吕四海岸的侵蚀特征	陈沈良, 谷国传, 哈长伟(1)
辽东湾东部典型砂质海岸岸滩冲淤演变特征	王伟伟, 马红伟, 苗丰民(11)
长江口南汇边滩季节性冲淤演变特征研究	时连强, 夏小明, 李为华(21)
辽东湾滨海地区海水入侵特征研究	王玉广, 戴洪亮, 韩富伟(34)
莱州湾沿岸地下水水化学特征分析	苏 乔, 于洪军, 徐兴永(43)
莱州湾南岸海陆交互相沉积中的海侵沉积记录	姚 菁, 于洪军, 徐兴永(49)
黄河三角洲滨海湿地的发育与演变	徐元芹, 李 萍, 李培英(57)
黄河三角洲滨海湿地景观结构变化	张晓龙, 李 萍, 刘乐军(66)
崇明东滩沉积物重金属污染评价	瞿万林, 龙江平, 许 冬(75)
盐城滨海湿地退化评估及分区诊断	谷东起, 付 军, 闫文文(81)
盐城滨海湿地景观演变及主要控制因素	闫文文, 谷东起, 吴桑云(92)
珠江三角洲滨海湿地退化与原因简析	李团结, 王爱军, 王 迪(102)
近百年来珠江口淇澳岛滨海湿地的沉积环境	王爱军, 李团结, 叶 翔(110)
珠江口滨海湿地沉积物重金属污染现状及潜在生态危害	马 玉, 李团结, 王 迪(120)
广东省海岸带地质灾害类型与分布特征	周 英, 王 迪, 李 涛(126)
粤东岸段主要地质灾害	周 英, 王 迪, 刘 澈(134)
海水入侵灾害风险评价系统(SIGIS)的设计与实现	陈广泉, 徐兴永, 于洪军(143)
长江三角洲滨海地区海水入侵的模糊综合评价方法	乔吉果, 龙江平, 许 冬(151)

波流联合作用下吕四海岸的侵蚀特征

陈沈良,谷国传,哈长伟

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室,上海 200062)

摘要:采用吕四海洋环境监测站 2004 年实测风资料推算的波浪,以及同年在吕四潮滩与小庙洪南水道的实测流速,引用线性波理论计算了波流联合作用中的波浪水平波动流速;依据波浪动力和波流动力的能量叠加原理,求得了波流联合作用时的综合水平流速;进而应用 Partheniades 公式计算了吕四海岸在波浪和潮流联合作用下的冲刷量和冲刷厚度,从中发现吕四海岸在离岸 2 km 左右存在着侵蚀分异带,自分异带向陆侵蚀强度逐渐减弱,向海渐趋增强;并结合全年风况分析表明:吕四海岸具有隐性侵蚀的特征,即潮滩处在上部淤高,下部蚀低,滩脚蚀退的演变之中。

关键词:吕四海岸;波浪;潮流;波流联合作用;冲刷量;侵蚀强度

淤泥质海岸是海岸带区域重要的海岸类型之一,在资源开发上具有重要意义。波浪与潮流是淤泥质海岸侵蚀与演变的主要动力。吕四海岸地处江苏辐射状沙洲南翼,距长江口北支约 60 km。它在新石器时期还是古长江口外的一片汪洋,此后随着长江三角洲的发育,形成了淤泥质平原海岸。距今 7 000 年前,吕四海岸大致还在离现代海岸向陆约 20 km 的地带,大洋港北部为一个海湾^[1-2]。1128—1855 年的 700 余年间,黄河南徙江苏北部入海,江苏海岸迅速淤涨,吕四海岸随着辐射状沙洲南翼沙体的发育成长,不断向海淤进。自 1855 年黄河北归以来,江苏海岸失去了黄河入海水沙,波浪和潮流便成了主控动力,在供沙不足和波流联合作用下,多数岸段发生了侵蚀^[2-5];吕四海岸虽受长江入海泥沙补给,但因岸外无明沙庇护,水域开阔,波强流大,也处于侵蚀之中^[2,6-9]。据报道:1916—1969 年的 53 年间,岸线后退约 1 km 以上,年均蚀退约 20 m^[2];新中国建立初期,在茅家港现海堤外约 500 m 处有渔民居住,不久便沧海为滩;自 1961 年海堤加固后,岸线蚀退被制止,但侵蚀仍在继续。

本文根据吕四海洋环境监测站 2004 年风资料推算的波浪和同年 11 月在吕四潮滩、小庙洪南水道的实测潮流,试图通过波流联合作用下的岸滩冲刷量计算,探明吕四海岸的侵蚀特征,为长三角北翼海岸带的持续开发提供科学依据。

资助项目:我国近海海洋综合调查与评价(908-01-ZH2;908-02-03-04);海洋公益性行业科研专项经费项目(200705020)。

作者简介:陈沈良(1964—),男,教授,主要从事海岸动力地貌及其工程应用研究。

1 研究区概况

吕四海岸地处江苏辐射状沙洲南翼沙体的内侧,小庙洪南水道的南部,呈 WNW—ESE 走向(图 1)。它是长三角北翼海岸带的重点开发区之一,自 2003 年始建大唐电厂至今,电厂至蒿枝港间的围滩促淤工程还在进行中。人工围滩对海岸局地冲淤变化具有影响,但海岸的演变趋势依旧受波浪和潮流主控,岸滩的基本格局和地貌形态未变,岸外有腰沙、横沙等沙脊,仅在低潮时出露,在一个潮周期内,海岸长时段处于无明显沙庇护的开敞水域,外海波浪直入,经风浪和潮流长期塑造,形成了潮滩宽广、滩脚陡峻、滩脚和水道边坡合为一体的基本格局(图 2)。岸滩沉积物以粉砂质砂为主,中值粒径(D_{50})变化在 0.059 ~ 0.169 mm,且由海向岸逐渐变细,反映出粉砂质潮滩在波流联合作用下的沉积特征。

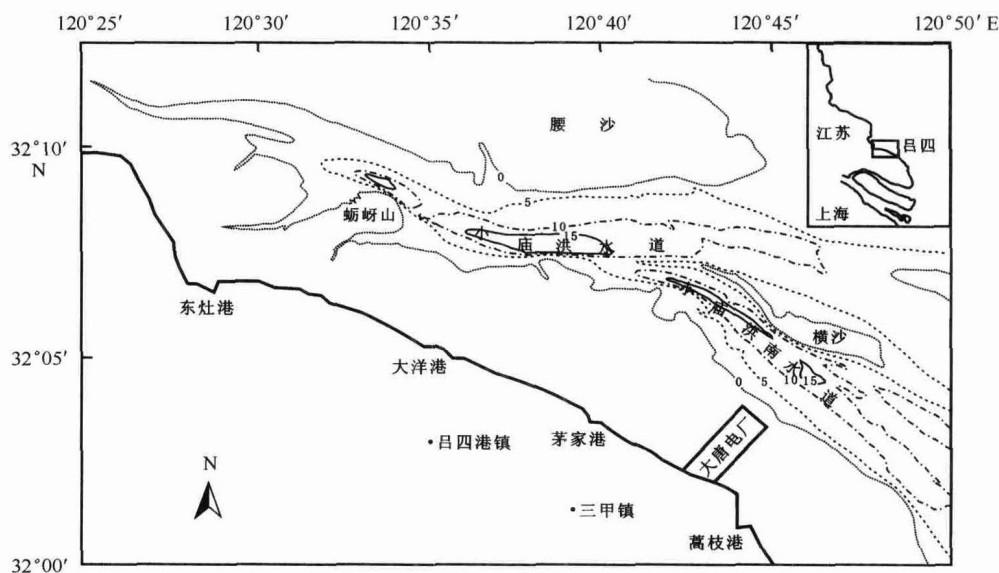


图 1 吕四海岸的地理位置及地形

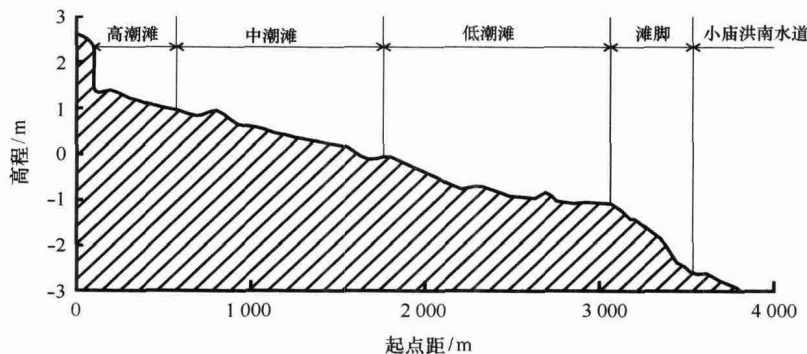


图 2 吕四岸滩剖面(茅家港堤外)

潮滩淹没时间是波流动力塑造海岸的重要参数之一。由图 2 结合吕四站潮位资料分析,可得该岸滩的淹没特性(见表 1):从岸脚到滩脚滩宽约 3.6 km,其中高潮滩较窄,淹没时间短,并

随潮汛减小而缩短,在全潮周期(24 h 48 min)内,大潮淹没时间仅占 40%,小潮不足 25%;中潮滩宽度居中,淹没时间随潮汛减小而延长,大、小潮时的淹没时间分别占潮周期的 61% 和 87%;低潮滩最宽,仅在大潮时露滩,淹没时间占 79%;滩脚仅在特大潮时有短时间出露,约 20 min,几乎长期处于水下。

表 1 吕四岸滩的淹没特性

岸滩部位	高潮滩	中潮滩	低潮滩	滩脚	小庙洪南水道
宽度/m	500	1 400	1 700	500	1 500
高潮位下平均水深/m	1.37	2.12	3.57	5.00	10.00
一太阴日(24 h 48 min) 内淹没时间/(h:min)	大潮	10:08	15:23	19:42	全淹
	中潮	7:50	19:51	全淹	全淹
	小潮	6:07	21:39	全淹	全淹

2 风浪推算

吕四小庙洪水道曾建有波浪自记站,据 1969—1976 年实测资料,波浪以风浪为主,向岸浪为 N、NNW、NW、WNW 和 NNE,强浪向与向岸浪基本一致,以偏北浪居多,实测最大波高 2.7 m;1981 年 8 月 30 日—9 月 2 日,受 8114 台风影响,海域最大波高 3.5 m^[2]。近年无波浪观测,需根据实测风的资料进行推算。经 2004 年海洋站的风统计(表 2):月瞬时最大风速均超过 15 m/s,年最大风速为 24.9 m/s,强风向以偏北风为主,多为 NNW,其次是 NNE,日平均风速小于 5 m/s 全年为 105 天,5~10 m/s 达 236 天,10~15 m/s 的仅 25 天,大于 15 m/s 的没有出现。

表 2 吕四海洋环境监测站的风况统计(2004 年)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年	换算成 太阴日
月瞬时最大风速/ m·s ⁻¹	16.4	18.1	21.2	17.5	15.7	17.6	24.9	16.3	16.3	19	15.2	18.4	24.9	—
最大风速的 风向	NNW	S	NNE	NNW	NNW	SE	NNE	NNW	N	N	WNW	NNW	NNE	—
日平均最大风速/ m·s ⁻¹	12.1	11.8	12.9	11.2	9.6	12.5	13.7	13	12.7	11.8	9.5	11.8	13.7	—
月统计天数	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	31	31	366	354.19
日均风速小于 5 m·s ⁻¹ 天数/d	9	10	7	4	7	15	12	12	6	11	10	12	105	101.61
日均风速 5~ 10 m·s ⁻¹ 天数/d	20	16	22	22	24	14	18	18	22	17	20	15	236	228.39
日均风速 10~ 15 m·s ⁻¹ 天数/d	2	3	2	4	0	1	1	1	2	3	0	4	25	24.19

依据上述风况与杰弗里斯的研究,风能传递给水面的最小风速为 4.8 m/s^[10],即风速小于

4.8 m/s 时海面不易生成风浪。故本文选定四种风速,即在偏北风 5 m/s、10 m/s、15 m/s 和年最大风速 24.9 m/s 的条件下,推算吕四岸滩不同部位的波浪。波高推算采用美国布雷特施索德(SMB)的浅水风浪波高关系式^[11]:

$$\frac{gH_{\frac{1}{2}}}{u^2} = 0.359 \operatorname{th} \left[0.530 \left(\frac{gh}{u^2} \right)^{0.75} \operatorname{th} \left\{ \frac{0.0125 \left(\frac{gF}{u^2} \right)^{0.42}}{\operatorname{th} \left[0.530 \left(\frac{gh}{u^2} \right)^{0.75} \right]} \right\} \right] \quad (1)$$

式中: g 为重力加速度; $H_{\frac{1}{2}}$ 为 $\frac{1}{10}$ 大波的平均波高(m); u 为海面上高度 10 m 处的风速(m/s); th 为双曲正切函数; h 为水深(m); F 为风区长度(偏北风时取 120 km); 当风浪充分成长时,其周期 T 可取为 $0.146 u^{[10]}$; 在浅水波浪变形时, T 可视作不变,则波长 $L = T\sqrt{gh}$, 仅与水深 h 有关。由此推算出在四种不同风速下,吕四岸滩不同部位的波要素如表 3 所示。从中可见:在 24.9 m/s 的大风速下,由式(1)推得小庙洪南水道的 $H_{\frac{1}{2}}$ 波高为 2.93 m,与 1969—1976 年间小庙洪水道测到的最大波高 2.7 m 较接近,并显著小于 1981 年 8 月的台风浪波高 3.5 m,由此认为,用式(1)推算吕四岸滩水域的波高具有较好的可信度。

表 3 吕四岸滩水域的波要素(据 2004 年风况推算)

岸滩部位		高潮滩	中潮滩	低潮滩	滩脚	小庙洪南水道
高潮位下平均水深/m		1.37	2.12	3.57	5.00	10.00
偏北大风 风速 24.9 m/s	波高 $H_{\frac{1}{2}}$ /m	0.68	0.94	1.39	1.79	2.93
	周期 T /s	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	波长 L /m	14.66	18.23	23.67	28.01	39.61
偏北风 风速 15.0 m/s	波高 $H_{\frac{1}{2}}$ /m	0.53	0.73	1.07	1.37	2.12
	周期 T /s	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
	波长 L /m	9.16	11.40	14.79	17.51	24.76
偏北风 风速 10.0 m/s	波高 $H_{\frac{1}{2}}$ /m	0.43	0.59	0.86	1.07	1.56
	周期 T /s	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
	波长 L /m	5.87	7.30	9.47	11.20	15.85
偏北风 风速 5.0 m/s	波高 $H_{\frac{1}{2}}$ /m	0.29	0.42	0.53	0.61	0.78
	周期 T /s	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
	波长 L /m	2.93	3.65	4.73	5.60	7.42

3 潮流流速

近岸海域的水流通常由潮流、沿岸流、风海流及波生流等多种流动组成。途经吕四海域的苏北(黄海)沿岸流,位于辐射状沙洲外缘,远离海岸,吕四岸滩水域一般不受其影响;而风和波浪产生的流动参与岸滩水域的水流,因此在风浪条件下,实测流速往往含有波流的成分,为区分波流联合动力与潮流动力的不同,需取得较纯的潮流资料。现将 2004 年 11 月在日均风速小于 4 m/s 天气下的实测流速(见表 4)视作潮流流速,作为波流联合作用下计算海岸冲蚀量的潮流速数据。通常波流联合作用下的流速大于潮流流速,两者的差值:小潮比大潮大,潮滩较水道大。

表4 吕四岸滩水域的潮流速(2004年11月风速小于4 m/s时实测)

单位:m/s

岸滩部位	高潮滩	中潮滩	低潮滩	滩脚	小庙洪南水道
高潮位下平均水深/m	1.37	2.12	3.57	5.00	10.00
大潮涨潮平均流速	0.32	0.41	0.58	0.75	1.10
大潮落潮平均流速	0.31	0.36	0.45	0.54	0.86
大潮涨落潮平均流速	0.32	0.39	0.52	0.65	0.98
小潮涨潮平均流速	0.07	0.14	0.28	0.42	0.90
小潮落潮平均流速	0.12	0.19	0.32	0.45	0.70
小潮涨落潮平均流速	0.10	0.17	0.30	0.44	0.80

4 岸滩冲刷量计算

吕四海岸属波流联合作用型海岸,计算冲刷量时,需着眼于波浪和潮流的综合冲刷作用。波流联合作用中的综合冲刷作用是通过波浪动力和潮流动力的能量叠加进行的,换言之,是由波浪水平波动流速和“纯潮流”流速合成后的综合水平流速产生对床面的切应力所引起的。鉴于计算的复杂性,现进行分步计算。

(1) 计算波浪水平波动流速,根据线性波理论可引用下式:

$$U_w(z,t) = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2\pi\left(\frac{z+h}{L}\right)}{\sinh 2\pi\left(\frac{h}{L}\right)} \cos 2\pi\left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right) \quad (2)$$

式中: $U_w(z,t)$ 为任意水深 z 和任意时间 t 条件下的水平波动流速; H 、 L 、 T 和 h 分别为波高、波长、波周期和水深; x 为水平距离。若把水平波动流速取为垂线平均值,并把波流相互作用中的波浪周期视为不变,则能从式(2)中导出^[11]:

$$U_w = \frac{HL}{5hT} \quad (3)$$

用表3的波要素通过式(3)计算,便得吕四岸滩各部位的波浪水平波动流速(表5)。

表5 吕四岸滩波流联合作用中的波浪水平波动流速(m/s)

岸滩部位	高潮滩	中潮滩	低潮滩	滩脚	小庙洪南水道
高潮位下平均水深/m	1.37	2.12	3.57	5.00	10.00
风速24.9 m/s下的 U_w	0.36	0.40	0.46	0.50	0.58
风速15.0 m/s下的 U_w	0.28	0.31	0.34	0.38	0.42
风速10.0 m/s下的 U_w	0.23	0.25	0.29	0.30	0.30
风速5.0 m/s下的 U_w	0.16	0.18	0.18	0.17	0.16

(2) 计算综合水平流速 $\bar{U}_{wc}$,根据流速合成原理可用下式:

$$\bar{U}_{wc} = \sqrt{U_w^2 + U_c^2} \quad (4)$$

式中: U_c 为潮流流速;计算时, U_c 取表4中的涨、落潮平均流速, U_w 取表5中所列数据,计算结果如表6所示。从 $\bar{U}_{wc}$ 值看:大潮5 m/s风速时的综合水平流速与小潮24.9 m/s风速时的综合水平流速几乎是等同的,这表明在波流联合作用中,潮流对综合水平流速的贡献较大,

同时也说明遇大风大浪时,小潮对吕四海岸的冲刷作用也是不可忽视的。

表6 吕四岸滩波流联合作用中的综合水平流速(m/s)

岸滩部位		高潮滩	中潮滩	低潮滩	滩脚	小庙洪水道
高潮位下平均水深/m		1.37	2.12	3.57	5.00	10.00
大潮	风速 24.9 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.48	0.56	0.69	0.82	1.14
	风速 15.0 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.43	0.50	0.62	0.75	1.07
	风速 10.0 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.39	0.46	0.60	0.72	1.02
	风速 5.0 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.36	0.43	0.55	0.67	0.99
小潮	风速 24.9 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.37	0.43	0.55	0.67	0.99
	风速 15.0 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.30	0.35	0.45	0.58	0.90
	风速 10.0 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.25	0.30	0.42	0.53	0.85
	风速 5.0 m/s 下的 $\bar{U}_{wc}$	0.19	0.25	0.35	0.47	0.82

(3)计算切应力 τ 采用下式:

$$\tau = \rho U_*^2 \quad (5)$$

式中: ρ 为沿岸水密度,可取 $\rho \approx 1$; U_* 为摩阻流速,具有下式:

$$U_* = \frac{\bar{U}_{wc} \sqrt{g}}{C} \quad (6)$$

式中: C 为谢才系数,即 $C = \frac{1}{n} h^{1/6}$,其中 n 为糙率,取0.014。根据表6中的 $\bar{U}_{wc}$ 值和水深 h ,经式(6)和式(5)计算,求得切应力如表7所示。从中可见:切应力随潮汛的减弱而减小,随风速的增强而增大,并随水深的加深而加大。

表7 吕四海岸在波流联合作用时床面受到的切应力($\times 10^{-8} \text{N/m}^2$)

岸滩部位		高潮滩	中潮滩	低潮滩	滩脚	小庙洪南水道
高潮位下平均水深/m		1.37	2.12	3.57	5.00	10.00
大潮	风速 24.9 m/s 下的 τ 值	39 887.24	46 937.78	60 235.24	75 607.13	115 984.89
	风速 15.0 m/s 下的 τ 值	32 055.80	37 418.51	48 633.94	63 249.57	102 178.44
	风速 10.0 m/s 下的 τ 值	26 331.81	31 671.02	45 546.87	58 290.80	92 852.17
	风速 5.0 m/s 下的 τ 值	24 365.75	27 674.43	38 272.02	50 475.97	87 470.60
小潮	风速 24.9 m/s 下的 τ 值	23 700.36	27 674.73	38 272.02	50 475.97	87 470.60
	风速 15.0 m/s 下的 τ 值	15 580.95	18 335.07	25 620.11	37 826.05	72 289.75
	风速 10.0 m/s 下的 τ 值	10 820.11	13 470.66	22 317.97	35 585.43	64 480.68
	风速 5.0 m/s 下的 τ 值	6 249.69	9 354.63	1 598.59	24 838.81	60 009.42

(4) 计算冲刷量, 根据 Partheniades 研究^[11], 潮滩单位面积的冲刷量可用下式:

$$E = M \left(\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right) t \quad (7)$$

式中: E 为冲刷量 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; τ 和 τ_c 分别为切应力和临界起动切应力 (N/m^2); M 为冲刷参数, 与床面组成物有关, 粉砂质潮滩可取 $0.4 \times 10^{-5} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; t 为潮滩淹没时间。计算吕四海岸的冲刷量时, M 可取粉砂质潮滩参数值, t 与 τ 能分别从表 1 和表 7 中得到, τ_c 可根据“不冲刷流速”通过式(6)和式(5)求出。“不冲刷流速”是在水利工程实践中提出的, 在排洪等沟渠中常发生沟底冲刷, 发现其冲刷与沟底的物质组成、水深和流速三大因素有关, 并经长期实践和试验, 编制了黏性土壤和非黏性土壤容许(不冲刷)流速表^[12], 即给出了不发生冲刷的极限流速, 超过此流速值便发生冲刷, 相当于通常所说的临界冲刷流速。本文根据吕四岸滩的沉积物粒径和水深, 对照“不冲刷流速”表, 确定了各计算部位的临界冲刷流速, 求得了临界起动切应力, 然后用式(7)计算了冲刷量, 进而按泥沙容重 ($1\,350 \text{ kg}/\text{m}^3$) 换算, 得到了吕四岸滩在不同潮型和不同风速组合下各部位的冲刷厚度(表 8)。

表 8 波流联合作用下吕四海岸的冲刷量和冲刷厚度(计算值)

岸滩部位		高潮滩		中潮滩		低潮滩		滩脚		小庙洪水道	
高潮位下平均水深/m		1.37		2.12		3.57		5.00		10.00	
临界起动切应力/ $\times 10^{-8} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$		10 820.11		11 734.44		13 777.93		17 991.00		22 311.65	
大潮	风速 24.9 m/s 下的冲刷量	3.920	2.90	6.574	4.86	9.565	7.09	11.437	8.47	14.993	11.11
	风速 15.0 m/s 下的冲刷量	2.864	2.12	4.796	3.55	7.177	5.32	8.984	6.65	12.783	9.47
	风速 10.0 m/s 下的冲刷量	2.092	1.55	3.723	2.76	6.541	4.85	7.999	5.93	11.291	8.36
	风速 5.0 m/s 下的冲刷量	1.826	1.35	2.977	2.20	5.043	3.74	6.448	4.78	10.429	7.73
小潮	风速 24.9 m/s 下的冲刷量	1.048	0.78	4.235	3.14	6.349	4.70	6.448	4.78	10.429	7.73
	风速 15.0 m/s 下的冲刷量	0.388	0.29	1.754	1.30	3.069	2.27	3.937	2.92	7.999	5.93
	风速 10.0 m/s 下的冲刷量	$\tau = \tau_c$	不冲刷	0.461	0.34	2.214	1.63	3.492	2.59	7.550	5.59
	风速 5.0 m/s 下的冲刷量	$\tau < \tau_c$	不冲刷	$\tau < \tau_c$	不冲刷	0.446	0.33	1.355	1.01	6.034	4.47

说明: 表中双列数据中, 左列是冲刷量, 单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; 右列是冲刷厚度, 单位为 mm/d , d (日) 指太阴日 (24 h 48 min)。

5 海岸侵蚀分析

综合分析计算结果(表 8): 吕四海岸在大潮期, 不论风速大小, 均处在冲刷状态; 在小潮期, 遇大风日, 也普遭冲刷, 但冲刷量比大潮期小, 在寻常风速 ($5 \sim 10 \text{ m/s}$) 下, 中-高潮滩基本不发生冲刷。从一级地貌单元看, 水道的冲刷量比潮滩大, 大潮时都在 $10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (太阴日, 下同) 以上; 从次一级地貌单元看, 其冲刷格局为滩脚 > 低潮滩 > 中潮滩 > 高潮滩。

潮滩各部位的冲刷量: 在大潮期, 低-中潮滩间的冲刷量之差值为 $2.564 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 中-高潮滩间为 $1.843 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 滩脚-低潮滩间为 $1.636 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。由此可见, 低潮滩和中潮滩间的冲刷量之差为最大, 甚至超过了高潮滩的冲刷量均值 $2.425 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; 在小潮期也具有类似的现象。这反映出在低-中潮滩间有着明显的侵蚀分异, 存在着一条侵蚀分异带, 参看潮滩剖面图(图 2), 此带位于离岸 2 km 左右, 大致处在小潮低潮时的水边线附近, 其下

的潮滩很少出露,受波流作用时间长,故使冲刷量截然增大,致使吕四海岸的强冲刷部位始于低潮滩。

为深一步分析,求得表8中全部冲刷厚度数据(37个)的平均值约为4 mm/d,此值反映了吕四海岸侵蚀的平均状况;求得小庙洪南水道全部冲刷厚度数据(8个)的平均值约为8 mm/d,此值反映了吕四海岸强侵蚀的平均状况。因此,可采用这两值作为划分海岸侵蚀强度的标准,把冲刷厚度小于4 mm/d定为轻度侵蚀,4~8 mm/d定为中度侵蚀,大于8 mm/d定为重度侵蚀,得到如下结论。

高潮滩:不论潮型和风速大小,都未发生中度或重度侵蚀,并在小潮的寻常风速(5~10 m/s)下,不发生冲刷,是吕四潮滩受波流冲刷最弱的地带。

中潮滩:在大潮大风日未发生重度侵蚀,只出现中度侵蚀;在小潮大风日出现轻度侵蚀,在小潮小风(5 m/s)下不发生冲刷;与高潮滩相比,冲刷量有增大,约大1 kg/(m²·d)左右。

低潮滩:在大潮期,除小风速日为轻度侵蚀外,余均发生中度侵蚀,未见重度侵蚀;在小潮期,除大风速日发生中度侵蚀外,余均为轻度侵蚀,与中潮滩相比,冲刷量显著增大,约大2 kg/(m²·d)以上,是吕四潮滩中冲刷量发生突变的地带,这与该处存在着侵蚀分异带有关。

滩脚:在大潮期的侵蚀强度均在中度以上,遇大风日发生重度侵蚀;在小潮期遇大风日多发生中度侵蚀。是吕四潮滩中受波流冲刷最强的部位。

小庙洪南水道:在大潮期侵蚀强度大,除小风速日为中度侵蚀外,余均为重度侵蚀;在小潮期的侵蚀强度也较大,除小风速日为轻度侵蚀外,都处于中度侵蚀之中,冲刷量超过潮滩。

通过上述冲刷量和冲刷强度分析,得出:吕四海岸存在着侵蚀分异带,从分异带向陆侵蚀强度逐趋减弱,向海渐趋增强。

作进一步分析:在正常气象年中,吕四海岸有大风的日数(见表1)只有25 d,仅占全年时间的6.6%;日均风速小于5 m/s不易起浪的日数为105天,占全年的28.8%;余236天均为寻常风速(5~10 m/s)日,占64.6%。由此可见,吕四海岸的高潮滩和中潮滩上部不受波流冲刷的日数较多;不冲则淤,或冲、淤量相互抵消,若把淤积量估算在内,则在高潮滩和中潮滩上部能出现淤积。

综上所述,吕四海岸具有隐性侵蚀的特征(图3),即潮滩正在向着上部淤高、下部蚀低、滩脚蚀退、滩宽缩窄、滩坡变陡的趋势演变。这与2007年8月—2008年7月时隔将近一年的吕四潮滩实测高程变化相比,基本相符。

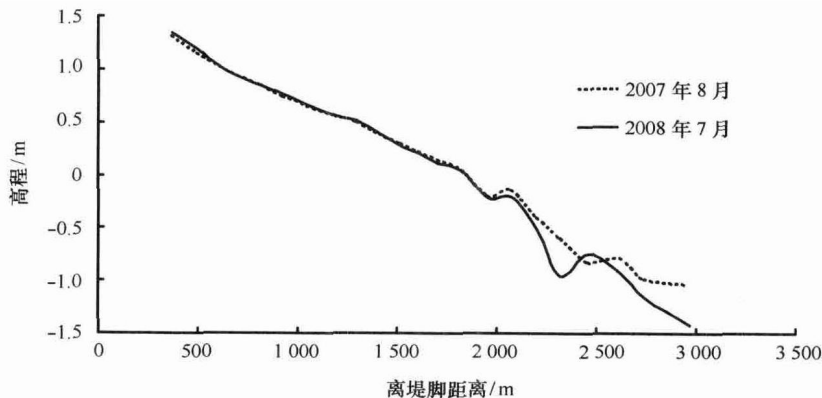


图3 吕四茅家港潮滩剖面变化(据RTK高程测量仪实测数据绘制)

6 结语

波流联合作用下的海岸冲刷,是通过波浪和潮流的能量叠加,增大流速对潮滩的切应力所引起的。本文依据吕四海岸的风、潮滩和小庙洪南水道的实测流速,引用布雷特施索德(SMB)的风浪波高关系式和 Partheniades 的冲刷量计算公式等,计算了吕四海岸各部位在不同潮型和不同风速组合下的日冲刷量和冲刷厚度。

冲刷量和冲刷厚度分析结果显示,吕四海岸在离岸 2 km 左右存在着侵蚀分异带,从分异带向陆侵蚀强度逐趋减弱,除大潮大风日可出现中度侵蚀外,均为轻度侵蚀或不受冲刷;分异带向海侵蚀强度渐趋增强,在大潮期和小潮大风日多为中度或重度侵蚀。

侵蚀分异带内、外冲刷强度的差异性和正常气象年的风况统计,表明吕四海岸在波流联合作用下具有隐性侵蚀的特征,即存在着潮滩上部淤高、下部蚀低、滩脚蚀退的演变趋势。这一演变趋势与 2007 年 8 月—2008 年 7 月茅家港潮滩实测的高程变化基本符合。

从计算值看,小庙洪水道的冲刷量最大,在大潮大风日,其冲刷量高达约 $15 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,冲刷厚度达 $1 \text{ cm}/\text{d}$ 以上。需指出:随着水道的刷深,临界起动流速将增大,随之,临界起动切应力也将增大,所以水道不会无休止地被刷深,最终会维持在一定水深上波动。

本文的计算和分析成果,仅指正常气象年条件下吕四海岸的侵蚀状况。在寒潮大风和台风等特殊天气条件下,吕四海岸受暴风浪的侵蚀强度和规律需另作探讨。

参 考 文 献

- [1] 第八届全国海岸工程学术讨论会暨 1997 年海峡两岸港口及海岸开发研讨会论文集(上)[M]. 北京:海洋出版社,1997:380—386, 450—455.
- [2] 江苏省海岸带海涂资源调查报告[M]. 北京:海洋出版社,1986:60—64, 72—83, 150—161, 281—289.
- [3] 耿秀山,万延森,李善为,等. 苏北海岸带的演变过程及苏北浅滩动态模式的初步探讨[J]. 海洋学报, 1983, (1): 62—70.
- [4] 陈才俊. 灌河口至长江口海岸淤蚀趋势[J]. 海洋科学, 1990(3): 11—16.
- [5] 张忍顺,陆丽云,王艳红. 江苏海岸侵蚀过程及其趋势[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 469—478.
- [6] 喻国华,施世宽. 江苏省吕四岸滩侵蚀分析及整治措施[J]. 海洋工程, 1985(03): 26—37.
- [7] 陈宏友. 苏北南通海涂近期冲淤动态及其开发[J]. 海洋科学, 1990(2): 28—35.
- [8] 喻国华,陆培东. 江苏吕四小庙洪淹没性潮汐汉道的稳定性[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 127—134.
- [9] 王柯道. 工程影响下的细沙粉沙质岸滩地貌演变——以江苏省茅家港附近岸段为例[D]. 南京:南京师范大学, 2005.
- [10] [美]柯马尔 P D. 著. 海滩过程与沉积作用[M]. 冯怀珍译. 北京:海洋出版社, 1985: 59—90.
- [11] 徐家声. 近海与虾池赤潮[M]. 北京:海洋出版社, 2003: 136—141.
- [12] 《城市防洪》编写组,马庆骧主编. 给水排水设计手册[M]. 第 7 册. 北京:建筑工业出版社, 1988: 398—399.

Erosion characteristics under combined action of waves and tidal currents at Lüsü coast

CHEN Shen-liang, GU Guo-chuan, HA Chang-wei

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on wave data computed by wind conditions and surveyed velocity data which offered by Lüsü ocean environment measure station at 2004, horizontal wave velocity under the combined action of waves and tidal currents will be revealed in the support of linear wave theory. One side, wave and tidal currents energy superposition principle will be applied to get the integrated horizontal velocity. On the other side, scouring gross and scouring thickness will be deduced by Partheniades Expressions. Consequently, there is a erosion-difference strip far from the Lüsü coast about 2 km away, and from the strip to the coast the erosion intension weakening, whereas from the strip to the sea the erosion intension strengthening. Analyzing the wind conditions during the whole year, it will be indicated that the Lüsü coast is a recessive erosive coast which has a slitting upper part and a scouring lower part including the flat root.

Key words: Lüsü coast; wave; tidal current; the combined action of waves and tidal currents; scouring gross; erosion intension