

文章编号:1002-3682(2016)01-0033-14

山东半岛东部南北岸典型砂质海岸沉积、地貌的横向差异及成因分析

——以海阳万米海滩岸段和威海国际海水浴场岸段为例^{*}

于晓晓¹,谷东起^{1*},闫文文¹,杜军¹,朱正涛²,刘世昊^{1,3}

(1. 国家海洋局 第一海洋研究所,山东 青岛 266061;

2. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室,上海 200062;

3. 中国海洋大学 环境科学与工程学院,山东 青岛 266001)

摘要:根据2011年在海阳万米海滩岸段与威海国际海水浴场岸段调查获得的夏、冬两季海岸实测地形剖面与沉积物粒度数据,并收集相关水文资料,对南北两海岸地貌与沉积差异性进行分析,探讨了半岛东部南北岸典型砂质海岸动力环境的差异。研究结果表明,南部海岸宽广平缓,发育滩脊、滩肩、沙波纹等地貌,沉积物在水下岸坡上段以中粗砂、中细砂为主,水下岸坡以下段以粉砂、黏土质粉砂为主;北部海岸地形陡,发育滩肩陡坎、水下沙坝等地貌,沉积物以砾质砂为主。导致这些差异的动力为风、波浪、潮汐及沿岸流堆积。

关键词:山东半岛东部;海阳万米海滩岸段;威海国际海水浴场岸段;地貌差异;沉积差异;动力差异

中图分类号: P736.2 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1002-3682.2016.01.004

砂质海岸是海陆作用的敏感地带,由松散沉积物组成^[1]。自然状态下受控于风、浪、潮、流等动力,地貌形态处于不断变化中^[2]。此外,构造运动、沉积物来源对海岸的形成具决定性影响^[3]。以上多种因素共同决定了海岸的时空变化规律,并反映于海岸地貌与沉积物粒径特征上。近年来,众多学者对我国砂质海岸地形地貌和沉积物特征进行了研究^[4-6],但其中少有针对水下岸段及海岸横向分布特征的研究。

砂质海岸已成为世界范围内吸纳游客最多的旅游地^[7]。山东半岛拥有砂质海岸123处^[8],资源丰富,但半岛东部南北岸海岸地貌和沉积特征有着显著差异^[9]。本文选取威海国际海水浴场岸段(以下简称威海岸段)和海阳万米海滩岸段(以下简称海阳岸段)为主要研究对象,对其地貌、沉积物粒度、动力等方面的差异进行分析,以厘清半岛东部南北岸不同砂质海岸的动力差异,为砂质海岸的养护与开发提供科学支持。

^{*} 收稿日期:2015-12-24

资助项目:海洋公益性行业科研专项——辽宁省、山东省砂质海岸质量调查及养护技术研究(200905008)

作者简介:于晓晓(1989-),男,硕士研究生,主要从事海岸带环境演化方面研究。E-mail: xxy@fio.org.cn

^{*} 通讯作者:谷东起(1971-),男,研究员,主要从事海岸带环境演化和海岸湿地方面研究。E-mail: friendgu@fio.org.cn

(陈靖 编辑)

1 研究区概况

1.1 海岸地貌组合特征

海阳岸段位于海阳市东南,老龙头岬角与丁字湾湾口之间。本文选择老龙头岬角至东村河段(图 1a)作为研究对象,岸线走向 NE—SW 向,属沙坝—潟湖海岸。研究区内发育海积平原、潟湖、海滩、河流、淤积海岛(君子岛)、岬角等丰富的地貌类型,前滨表层沉积物为灰黄色中粗砂,含大量贝壳碎屑(表 1)。

威海岸段位于威海市环翠区西北,小石岛与麻子山之间的海湾(图 1b),岸线走向 ENE—WSW 向,属岬湾型海岸。研究区内发育丘陵、海滩、岬角、基岩海岛(小石岛)等地貌类型,前滨表层沉积物为灰黄色砾质砂,含少量贝壳碎屑(表 1)。

表 1 研究区海岸地貌差异

Table 1 Differences in coastal morphology in the study area

岸段名称	岸线走向	岸滩规模		海岸类型	沉积物特征
		长度/km	宽度/m		
海阳岸段	SW—NE	4.8	120~130	沙坝—潟湖型	灰黄色中粗砂,大量贝壳碎屑
威海岸段	ENE—WSW	2.8	60~70	岬湾型	灰黄色砾质砂,少量贝壳碎屑

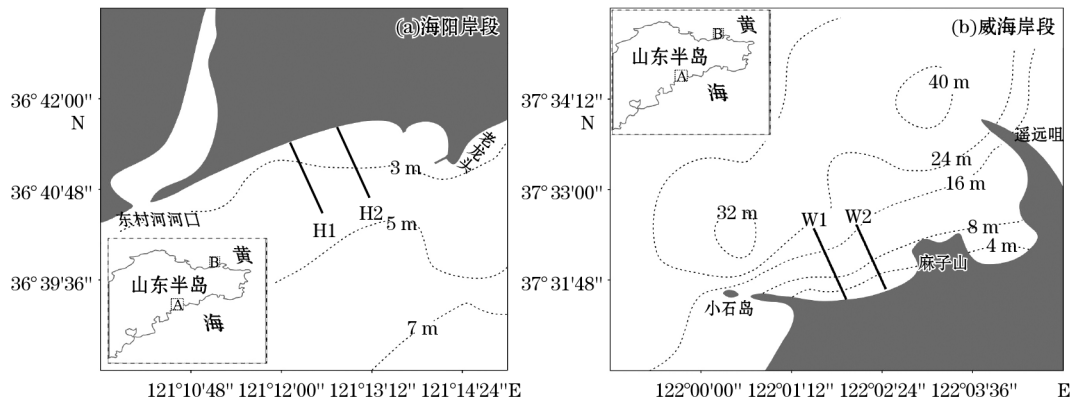


图 1 研究区地理位置及形态图

Fig. 1 The geographical location and shape of the study area

1.2 风与波浪特征

海阳研究区夏季盛行 S, SE 和 SSE 向(强风向)向岸风,冬季盛行 WNW, NW, NNW 和 N 向离岸风,春季偏南风多于偏北风,秋季相反,风力以冬、春较大,年平均风速 $3.2 \text{ m/s}^{[10]}$ (图 2a)。常浪向为 SSW, SW 和 S 向,强浪向为 SE 向,全年平均波高 H 为 0.90 m ,年平均周期 $4.6 \text{ s}^{[10]}$ 。

威海岸段夏季盛行较弱的 S 向离岸风,冬季盛行 NNW, N 向向岸风,年平均风速 $4.3 \text{ m/s}^{[5]}$ 。盛行风向 SSW 向,次盛行风向 S 向;强风向 NNW 向,次强风向 N 向(图 2b)。常浪向为 NNW 向,全年平均波高 H 为 0.60 m ,年平均周期 $2.6 \text{ s}^{[5]}$ 。

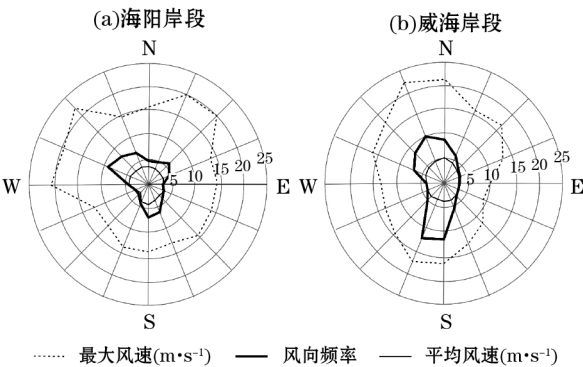


图 2 研究区风玫瑰图

Fig. 2 Wind rose plot of the study area

1.3 浪潮作用指数 K 特征

海洋动力条件对于海岸地貌类型起着重要控制作用,波浪和潮汐及其相对强弱是其中的主要影响因素。崔金瑞和夏东兴^[11]在 Davies 和 Hayes 等人的基础上对山东半岛波浪与潮汐作用进行了研究,提出了浪潮作用指数 K ,即 $K=2.5 \times (H_{\frac{1}{10}}/\bar{R})$, $H_{\frac{1}{10}}$ 为十分之一波波高, $\bar{R}$ 为多年平均潮差。并用以判别潮汐、波浪对海岸地貌控制作用的相对强弱,认为: $K<1$,发育潮控型海岸; $K>1$,发育浪控型海岸;当 K 值接近 1 时,则发育过渡型海岸地貌(表 2)。

表 2 研究区砂质海岸动力参数^[12-14]

Table 2 The dynamic parameters of sandy coasts in the study area^[12-14]

岸段名称	H/m	$H_{\frac{1}{10}}/\text{m}$	$\bar{T}/\text{s}$	$\bar{R}/\text{m}$	K
海阳岸段	0.90	1.54	4.6	2.50	1.54
威海岸段	0.60	1.03	2.6	0.91	2.82

2 研究方法

2.1 地形测量

地形测量包括滩面测量及水下地形测量两部分。测线以固定于后滨人工岸线处的监测桩为起点,沿垂直岸线方向向海延伸。海阳岸段以坐标点(36°41′28″N,121°12′04″E)与(36°41′38″N,121°12′42″E)为起点,布设两条平行测线,分别为 H1 与 H2(图 1a)。测线间距 1 000 m,长度 1 400 m。威海岸段以坐标点(37°31′41″N,122°02′27″E)与(37°31′33″N,122°01′56″E)为起点,布设 2 条平行测线,分别为 W1 和 W2(图 1b)。测线间距 800 m, W1 向海延伸 2 000 m, W2 延伸 1 600 m。滩面测量采用 RTK 徒步测量的方式,于低潮时测量至涉水最深处,水下部分则在滩面测量后依照滩面测量数据于高潮时乘船进行。滩面测量采用 HD5800N-RTK 实时动态差分 GPS 定位仪,高程精度优于 5 cm,平面定位精度优于 10 cm;水下断面测量采用中海达 HD370 单波束高频测深仪。所有测线均在 2011 年进行了冬、夏两航次测量。

2.2 沉积物取样及室内测试

表层沉积物取样点位于实测地形剖面上,岸滩取样间隔不大于 20 m,水下取样间隔不大于 500 m。共取得表层沉积物样品总数 73 份,其中威海岸段 49 份,海阳岸段 24 份。

沉积物样品在取样之后立即用标准样品袋密封保存,送至国家海洋局第一海洋研究所粒度实验室进行室内分析。粒径测量严格按照《海洋地质地物物理调查》^[15]中的规定进行^[19]。从取样袋中取 5~15 g 样品进行烘干、称量后加入 20 mL 的 0.5 mol/L 六偏磷酸钠,浸泡 12 h 使样品充分分散;将样品倒入孔径 0.063 mm 的筛子中,反复冲洗,将粒径大于 0.063 mm 的颗粒烘干后称量用于筛析,粒径小于 0.063 mm 的冲入量筒中用于沉析;用孔径间隔为 1 Φ 的筛子振筛 15 min,将各筛子中的样品取出进行称量,计算质量分数;将冲入量筒中的颗粒用蒸馏水稀释至 1 000 mL,搅拌 1 min(60 转/min)后开始计算沉降时间,在 20 cm 处吸液 25 mL,将所得的悬液进行烘干称量,计算各粒径质量分数。沉积物定名采取较为常用的 Shepard 方法,根据 McManus 矩法计算平均粒径(M_z)、分选系数(σ_i)、偏态(Sk_i)、峰态(K_G)等粒度参数。

2.3 海岸划分

根据实测数据得到 4 条测线 2011 年夏、冬实测剖面。参考夏东兴对一般砂质岸线的划分方法^[16],以人工岸线、最低低潮水位、闭合深度 h_c 为节点,对两海岸进行了划分。并依照人工岸线、平均高潮水位、平均低潮水位、闭合水深将海岸划分为后滨、前滨、内滨。其中,内滨按照最低低潮水位划分为低潮海滩和水下岸坡(图 3)。闭合水深为波浪搬运沉积物的极限水深位置,采用经验公式 $h_c = 1.57 H_e$ 进行求解。式中, H_e 为一年中 0.14% 的最大波高^[18],本文利用 $H_{10}^{\perp}$ 最大波高代替。将最低低潮位近似作为水深起算点,经过解算得到海阳岸段和威海岸段浴闭合水深 85 高程分别为 -10.1 和 -12.6 m(表 3)。

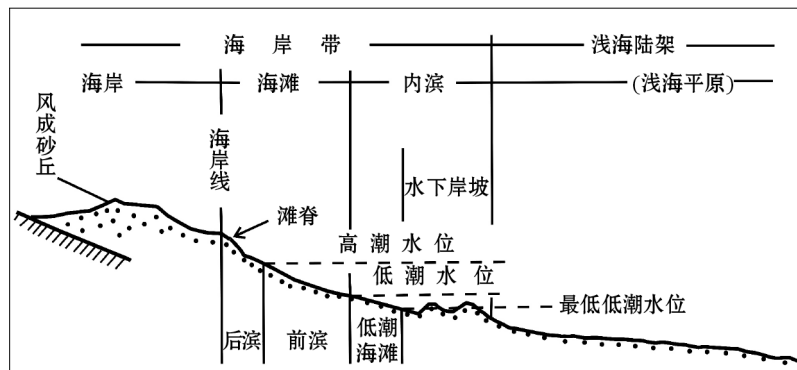


图 3 一般砂质海岸示意图^[16]

Fig. 3 Sketch map of the sandy coast^[16]

表 3 研究区海浪、潮位数据与闭合水深(m)

Table 3 The wave height, tidal level and closed water depth in the study area(m)

岸段名称	$H_{10}^{\perp}$ 大波波高	最低低潮位	闭合水深
海阳岸段	4.6	-2.84	-10.1
威海岸段	6.6	-2.24	-12.6

注:潮位标高从 1985 国家高程基准起算

2.4 破波尺度参数 ϵ 值计算

破波尺度参数 ϵ 常用来判别海岸对入射波浪反射能力,Guza 等^[19-20]的研究认为: $\epsilon < 2.5$ 时,海滩为全反射型; $\epsilon > 20$ 时,海滩为全耗散型; ϵ 值介于 $2.5 \sim 20$ 时则发育过渡型海滩。Wright 和 Short 曾利用 ϵ 对澳大利亚不同地区几十个海滩进行了深入研究,将过渡型海滩结合地形、沉积物粒度和微地貌特征细分为沿岸沙坝—槽谷型、韵律沙坝型、横向沙坝裂流型和砂脊—细沟/低潮台地型^[21-23]。

根据实测地形数据及收集的水文资料,对威海岸段和海阳岸段破波尺度参数 ϵ 进行求解,计算过程如下:

$$\epsilon = \frac{a_b \omega^2}{g \tan^2 \beta}, \quad (1)$$

式中, a_b 为破波; $a_b = \frac{H_b}{2}$; ω 为入射波频率($2\pi/T$); $\tan \beta$ 为海岸前滨中上部坡度值。 H_b 为深水破波波高,按下式^[24]求解:

$$H_b = \frac{0.56 H_0}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{\frac{1}{5}}}, \quad (2)$$

式中, H_0 为深水波高, L_0 为深水波长。按照下式进行求解:

$$L_0 = \frac{g T^2}{2\pi}. \quad (3)$$

结果如表 4 所示。

表 4 海岸动力参数

Table 4 The dynamic parameters of the coasts

岸段名称	L_0/m	H_b/m	a_b/m	$\tan \beta$	ω	ϵ
海阳岸段	33.0	1.03	0.52	0.11	1.37	8.14
威海岸段	10.5	0.59	0.30	0.14	2.42	9.05

注: L_0 为深水波长, H_b 为浅水破波波高, a_b 为破波振幅, $\tan \beta$ 为前滨中上部坡度, ω 为入射波弧度频率

3 结果与分析

3.1 地貌与冲淤变化

海阳岸段由 -2.8 和 -10.1 m 划分为海滩、水下岸坡、浅海陆架(图 4 H1、H2)。威海岸段由 -2.2 和 -12.6 m 划分为海滩、水下岸坡、浅海陆架(图 4 W1、W2)。两海岸地貌差异明显,主要表现在各单元宽度与坡度、海滩微地貌发育(海岸沙丘、水下沙坝)、冲淤特征等方面(表 5)。

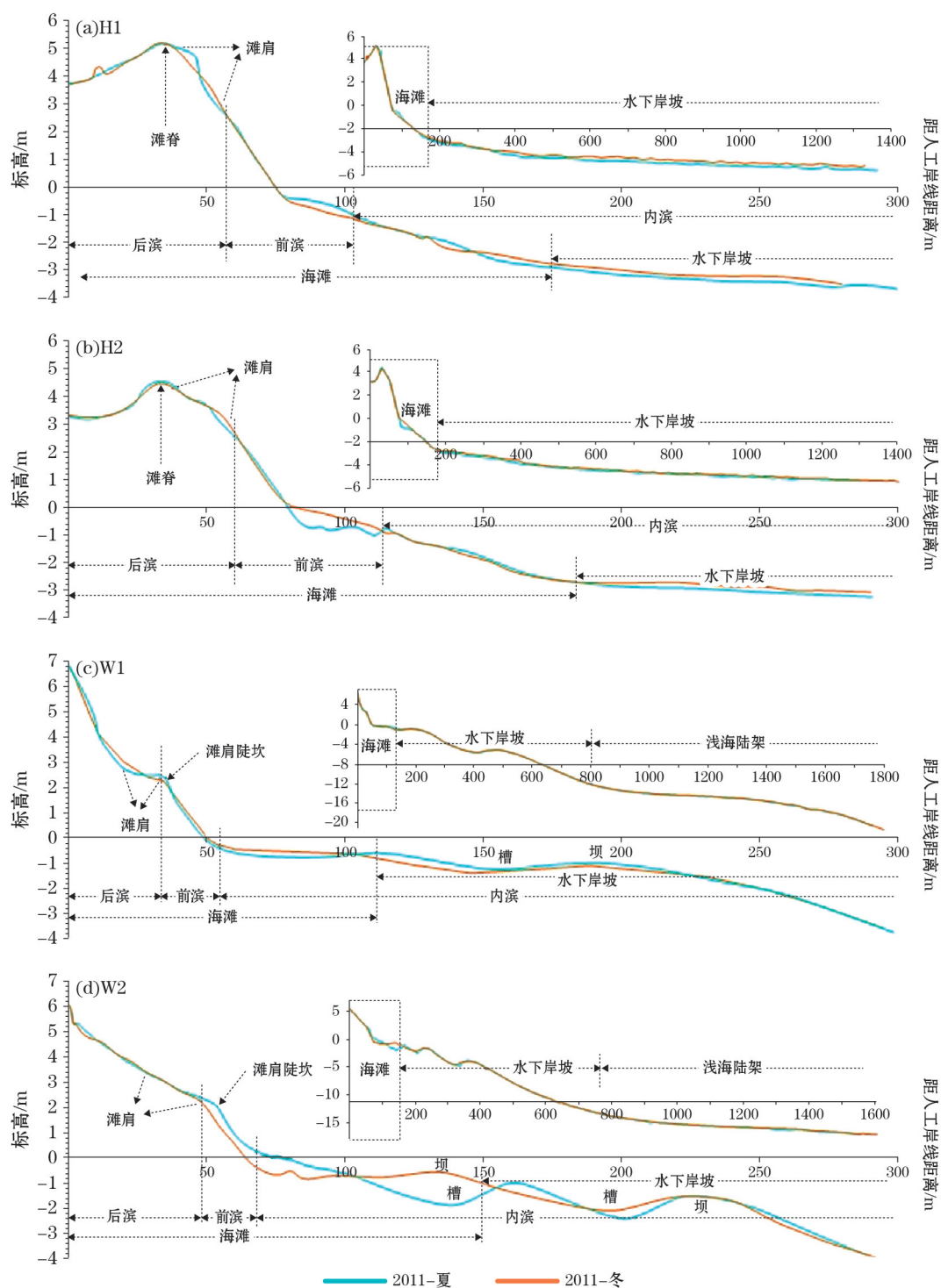


图4 实测剖面地貌与年内冲淤变化

Fig. 4 Geomorphic forms and annual scouring and silting variations along the measured profiles

表 5 研究区地貌差异
Table 5 Differences in geomorphology in the study area

岸段名称	坡度/宽度			地貌发育差异	夏—冬冲淤特征
	海滩	水下岸坡	浅海陆架		
海阳岸段	0.037/175	0.002/4 000		沙坝—潟湖、滩肩、 高潮滩角、低潮台地	滩肩上冲下淤,前滨 淤积,内滨微冲
威海岸段	0.056/150	0.02/650	0.009/950	岬角、滩肩陡坎、水下沙坝	滩肩上淤下冲,前滨冲刷, 内滨淤积为主

注:海阳岸段水下岸坡数据来源于文献[9];空白表示无数据

1)海岸地形差异

威海岸段水下岸坡与浅海陆架坡度分别达到 0.02 与 0.009,远大于海阳岸段。海阳岸段发育平缓的水下岸坡与浅海陆架单元,水下岸坡发育宽度超过 4 000 m^[9]。威海岸段海滩单元后滨陡峭,前滨狭窄,宽度约 20 m,内滨低潮海滩发育水下岸坡,地形起伏较大;海阳岸段海滩单元地形相对平缓,前滨宽度约 50 m,低潮海滩平缓向海倾斜,宽度约 70 m。

2)海滩单元微地貌发育差异

海阳岸段滩肩、滩脊发育良好,水下沙坝发育较差,并发育有高潮滩角(图 4 H1、H2);威海岸段水下岸坡发育,滩脊不发育,滩肩发育较差,滩肩与前滨接壤处发育滩肩陡坎(图 4 W1、W2)。海滩滩脊是风暴季节或特大高潮时由大浪激浪流堆积的沿岸脊状地貌。水下沙坝是波浪因破碎而卸载堆积形成。威海岸段水下沙坝主要发育于泥沙储量丰富的 W2 测线处,冬季发育风暴剖面,夏季海滩剖面接近涌浪剖面,与本研究区波浪冬强夏弱有关。威海岸段冬季北向浪平均波高达 1.55 m,平均周期 4.9 s,深水波陡 $H_0/L_0=0.041>0.03$,满足发育水下沙坝的条件;夏季以太平洋传入的涌浪为主,水下沙坝泥沙在波浪控制下向前滨运移,水下沙坝发育较差。高潮滩角与上冲流的不均衡性有关,形成过程较为复杂。

3)海滩单元冲淤变化差异

威海岸段最大淤积与冲刷均出现于 W2 剖面,最大淤积位于低潮海滩底部,淤积值 1.2 m;最大冲刷位于前滨底部,冲刷值 0.8 m(图 4 W1、W2)。威海岸段夏—冬季节性横向冲淤特征表现为前滨冲刷,内滨淤积,滩肩上部淤积,底部冲刷。冬季滩肩变陡,宽度减小,水下沙坝增长,与冬季风浪波高较大有关。海阳岸段最大冲刷出现于 H1 剖面前滨下部,冲刷值 0.3 m;最大淤积出现于 H2 剖面前滨下部,淤积值 0.6 m(图 4 H1、H2)。海阳岸段夏—冬季节性横向冲淤特征表现为前滨冲刷,内滨微淤,滩肩上部冲刷,下部淤积。

3.2 表层沉积物分布特征

动力条件决定了表层沉积物粒度特征^[25]。本文采用平均粒径 M_z 作为粒径大小的指示因子^[26],辅以砂、粉砂、黏土组分含量变化分析砂质海岸沉积物粒径分布规律,并加入分选系数(S_i)、偏态(Sk_i)、峰态(K_G)全面分析泥沙分布的动力环境。绘制了 4 条测线的沉积物粒径分布图(图 5),并选取具有代表性的样品绘制了粒径频率分布曲线(图 6),以分析两岸段横向上各单元的沉积物与沉积环境的差异。

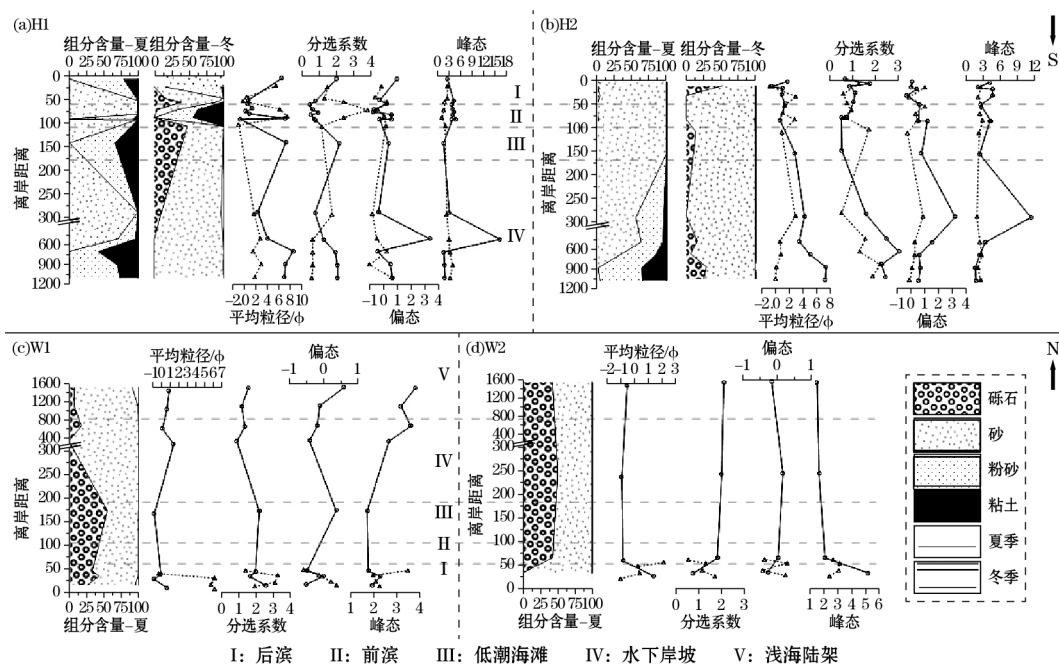


图5 研究区表层沉积物粒径参数

Fig. 5 The grain size parameters of surface sediments in the study area

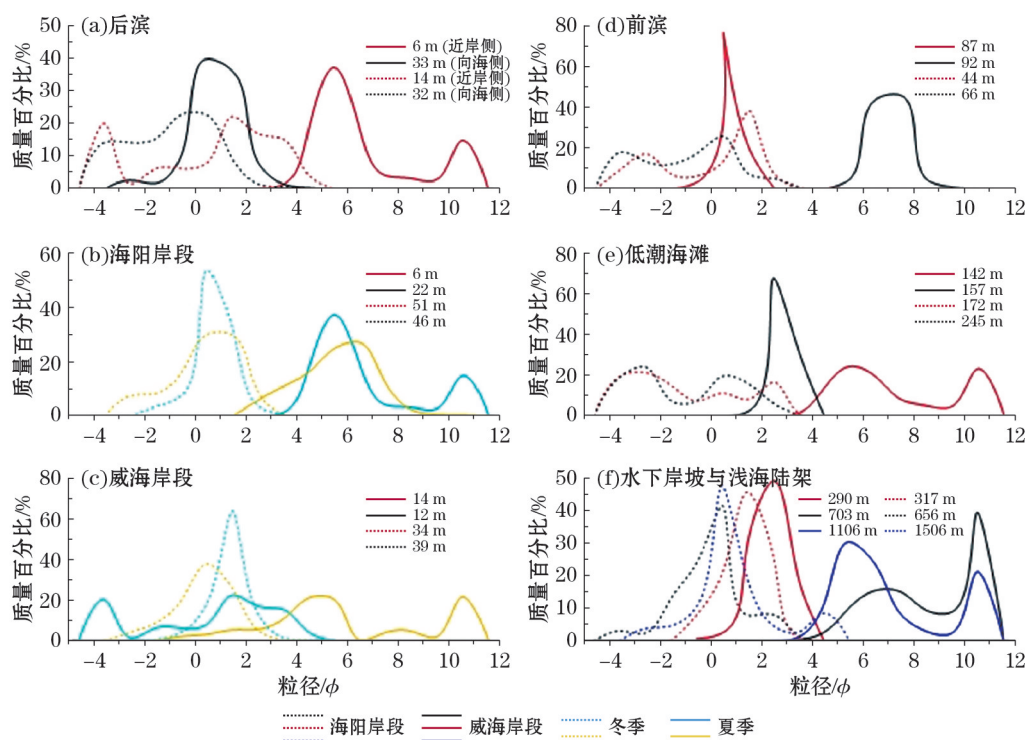


图6 研究区表层沉积物频率分布曲线

Fig. 6 The frequency distribution curve of the surface sediments in the study area

海阳岸段夏季沉积物组分以砂为主,粉砂、黏土组分含量次之;冬季变粗,但仍然以砂组分为主,砾石组分次之,中高潮海滩有部分粉砂、黏土组分。威海岸段夏季沉积物组分以砂为主,砾石组分次之,不含粉砂、黏土组分。两岸段沉积物粒径参数差异明显(表 6)。

表 6 研究区表层沉积物特征值

Table 6 The characteristic parameters of the surface sediments in the study area

名 称	平均粒径/ Φ		分选系数		偏 态		峰 态	
	海阳	威海	海阳	威海	海阳	威海	海阳	威海
后 滨	2.65	1.02	1.11	1.67	0.29	-0.39	3.54	3.57
前 滨	0.51	-0.59	0.67	1.81	0.04	-0.15	4.20	2.06
低潮海滩	4.97	-0.87	1.35	2.10	0.39	0.26	2.07	1.68
水下岸坡	5.57	0.72	1.97	1.14	0.79	-0.23	4.60	3.17
浅海陆架	—	-0.52	—	1.93	—	0.27	—	2.20

注:数据均为海岸夏季沉积物粒径参数平均值;“—”表示无数据。

1)后滨

海阳岸段与威海岸段后滨沉积物均表现出向海侧变粗的特征,频率分布曲线类型、粒径区间、众数等重要特征差别很大。海阳岸段后滨近岸侧典型沉积物为粉砂、黏土质粉砂,部分为砂质粉砂,平均粒径为 6.47Φ ,分选系数 1.99,分选较差;频率分布曲线为双峰型,主峰众数 5.5Φ ,次峰众数 10.5Φ ;威海岸段后滨近岸侧典型沉积物为砾质砂,平均粒径 0.65Φ ,分选系数 2.55,分选差;频率分布曲线同样为双峰型,主峰众数 1.5Φ ,次峰众数 -3.5Φ (图 6a)。海阳岸段近岸侧沉积物冬季稍有粗化,频率分布曲线(图 6b)显示,“尾端”消失,众数值减小,表明冬季后滨近岸侧风动力沉积较夏季有所减弱;向海侧沉积物平均粒径变化不大,分选变差。威海岸段后滨近岸侧沉积物冬季明显变细,平均粒径 5.75Φ ,分选系数 3.1;主峰众数 5.0Φ ,次峰众数 10.5Φ ,与海阳岸段夏季沉积物相近,为风力吹扬的后滨泥沙在此沉积的产物;向海侧沉积物变粗,众数为 0.5Φ (图 6c)。

2)前滨—夏季

海阳岸段前滨沉积物类型为砂、砾质砂,平均粒径 $-0.8\sim 0.6\Phi$,分选较好~中等;典型沉积物频率分布曲线为单峰型,众数集中于 $0.5\sim 1.5\Phi$,对应中粗砂,沉积物受单一能量或能量接近的波浪频带作用。威海岸段前滨沉积物类型为砾质砂、砂质砾石,平均粒径 $-0.83\sim 0.06\Phi$,分选系数 $1.8\sim 1.9$,分选较差;高潮海滩沉积物频率分布曲线为双峰型,主峰众数 0.5Φ ,次峰众数 -3.5Φ ;中潮海滩表层沉积物主峰众数 1.5Φ ,次峰众数 -3.5Φ ,表明威海岸段沉积物受两种能量差别较大的波浪作用(图 6d)。

3)低潮海滩—夏季

海阳岸段低潮海滩典型沉积物发育粗、细两种模式。其中,前者沉积物类型为砂,平均粒径 2.78Φ ,分选系数 0.5,分选好,频率分布曲线为单峰型,峰态 2.4,很尖锐,众数 2.5Φ ;后者沉积物类型为黏土质粉砂,平均粒径 7.15Φ ,分选系数 2.2,分选差,频率分布曲线为双峰型,主峰众数 5.5Φ ,次峰众数 10.5Φ 。据现场调查分析,海阳岸段低潮海滩中粗模式的沉积物发育于“沙波纹”波峰处,细模式沉积物则分布于波谷。威海岸段低潮海滩沉积物类型单一,为砾质砂、砂质砾石,平均粒径介于 $-0.8\sim -0.9\Phi$,分选系数 $2.0\sim$

2.2,分选较差;频率分布曲线为双峰型、多峰型,表明本单元沉积物受多种频谱能量的波浪影响(图 6e)。

4) 水下岸坡—夏季

海阳岸段水下岸坡上部(离岸距离 600~800 m)与下部(离岸距离大于 800 m)沉积物特征具有差异明显,上部沉积物粒径较粗,分选较好,下部沉积物较细,分选变差。上部沉积物类型主要为砂,平均粒径 2.32Φ ,分选系数 0.78,分选较好~中等,频率分布曲线为单峰型,众数 2.5Φ ,动力强且单一,主要受波浪控制;下部沉积物类型以粉砂、黏土质粉砂为主,平均粒径集中于 $7.0\sim 8.5\Phi$,分选系数集中 2.0,分选较差,频率分布曲线为双峰型,主峰众数 5.5Φ ,次峰众数 10.5Φ 。威海岸段水下岸坡沉积物类型为砂,平均粒径介于 $0.1\sim 1.4\Phi$,分选系数 $0.9\sim 1.2$,分选中等~较差,频率分布曲线基本为单峰型,众数 $0.5\sim 1.5\Phi$ (图 6f)。

5) 浅海陆架—夏季

本次调查虽未在海阳岸段浅海陆架获取沉积物,但是分析文献[10]中的粒度资料后发现,本单元沉积物与水下岸坡下部较为一致。威海岸段浅海陆架沉积物类型以砂、砾质砂、砂质砾石为主,平均粒径介于 $-1.5\sim 0.9\Phi$,分选系数 $1.5\sim 2.1$,分选中等~较差,频率分布曲线多为双峰型,粗组分端元发育小的“尾部”(图 6f)。

3.3 南北岸动力差异及分析

风、浪、流、潮是影响海岸环境的主要动力因素,以上动力对海岸沉积物进行搬运、再分配的过程中,海岸地貌也随之变化。因此,在地貌、沉积基础上对海岸动力进行研究是可行的,而且具有实际应用意义。

1) 风

研究区风力较小,且后滨岸线处植被发育,风对海滩地貌的影响有限,以改变近岸侧沉积物粒级含量为主。风直接作用于后滨近岸侧,搬运粉砂、黏土组分。海阳岸段夏季为向岸风,携带滩肩粉砂、黏土物质在近岸侧堆积,平均粒径达 6.47Φ ;冬季发育离岸风,把海岸细粒物质吹向海洋,沉积物略有粗化,黏土组分减少。威海岸段夏季发育离岸风,将近岸侧细粒物质搬运向后滨向海侧,沉积物粗;冬季近岸侧接受向岸风搬运的细粒物质,表层沉积物明显细化,并在后滨近陆侧形成风成堆积。另外,风作用于海面产生的风浪对海岸其他单元具有重要影响。

2) 波浪

波浪主要作用于海滩单元,不同波浪破碎作用对海滩地貌的发育产生不同的影响。计算结果显示:海阳岸段 ϵ 值为 8.14,威海岸段 ϵ 值为 9.05(表 4)。海阳岸段波浪破碎值小于威海岸段,波浪消散大于后者,形成了具有消散特征的地貌与沉积物。平缓的低潮台地、滩角、高大的滩肩、较细的沉积物均有利于将波能转换为上冲流的动能(图 7a,图 8),较小能量在单位体积的耗散,并于低潮海滩形成大面积“沙波纹”体系(图 7b)。威海岸段以波浪破碎为主,强大的波能在较小的空间内破碎并反射耗散,动力过程复杂,具有多条波浪频带,沉积频率分布曲线具有 2~3 个峰值,形成了 2 条水下沙坝(图 7c、d,图 8)。

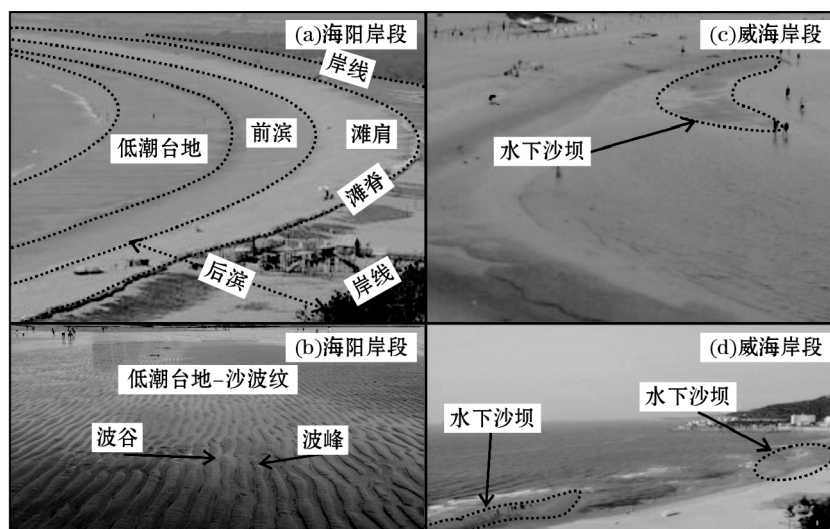
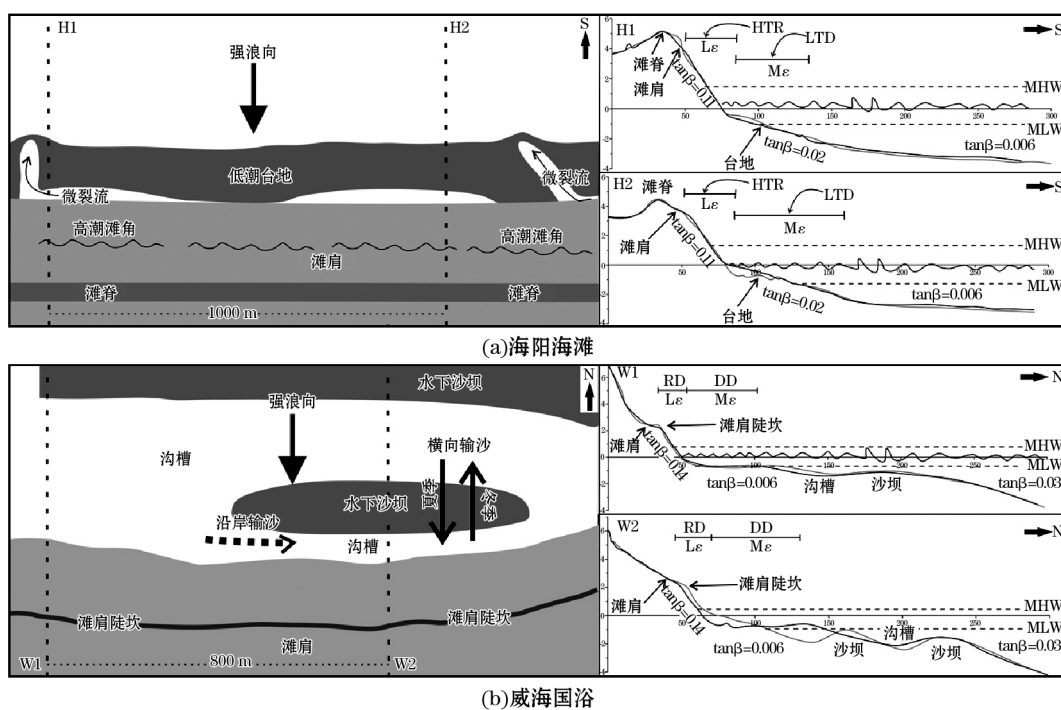


图 7 海岸地貌实景

Fig. 7 Photographs of coastal morphology



MHW(mean high water) — 平均高水位, MLW(mean low water) — 平均低水位, HTR(high tide reflective) — 高潮反射, LTD(low tide dissipative) — 低潮消散, RD(reflective domain) — 反射为主, DD(dissipative domain) — 消散为主, $L\epsilon$ (low ϵ) — 低 ϵ 值, $M\epsilon$ (medium ϵ) — 中等 ϵ 值

图 8 研究区海滩单元平面与剖面模式图

Fig. 8 The plane and profile patterns of the beach units in the study area

3) 潮汐

潮汐对于海滩单元的作用主要通过改变波浪的作用位置实现。因此,本次研究引入了浪潮作用指数 K 。计算结果显示:海阳岸段浪潮作用指数 K 为 1.54,威海岸段浪潮作用指数 K 为 2.82。海阳岸段平均波高、平均潮差均较大,波浪与潮汐作用较为均衡,波浪破碎点比较分散,未形成水下沙坝,而是在低潮台地上发育了“沙脊—细沟”体系。由于潮差较大,低潮时高潮砂体泄水量较大,发育裂流,受沉积物颗粒较细的影响,裂流流速较小。威海岸段波高较大而潮差小,波浪在较小的空间内消散,波能集中,形成了较粗的海滩沉积物,并发育至少 2 条水下沙坝。由于威海岸段岬角发育,岬角处波浪折射与绕射强烈,使研究区波浪动力更加复杂,并导致夏-冬冲淤复杂化。

4) 沿岸流

沿岸流主要作用于浅海陆架,对水下岸坡下部亦有一定影响。赵一阳^[27]对北黄海浅海陆架区的沉积速率与沉积通量研究表明,黄海沿岸流在山东半岛南岸沉积速率高达 0.67 cm/a,并形成海阳东泥质区;北岸沉积速率仅为 0.026 cm/a,为残留砂沉积区。推测海阳岸段接受黄海沿岸流堆积,并形成了宽缓的浅海陆架与水下岸坡单元;威海岸段沉积微弱,表层沉积物为末次盛冰期的残留沉积。

4 结 论

根据调查获得的资料对半岛南北岸两岸段进行分析,认为两岸段主要存在地貌、沉积及动力差异,地貌与沉积的差异是风、浪、潮、流等动力差异所致(表 7)。

表 7 南北岸岸段差异

Table 7 Differences between the southern and the northern coasts in Shandong Peninsula

名 称	海阳岸段	威海岸段
地 形	坡度小,宽度大	坡度大,宽度小
地 貌	沙坝-潟湖、滩脊、滩肩、沙波纹	岬角、滩肩陡坎、水下沙坝
夏-冬冲淤	前滨冲刷,内滨微淤,滩肩上冲下淤	前滨冲刷,内滨淤积,滩肩上淤下冲
粒 度	以中粗砂为主,水下岸坡下部以粉砂为主	以砾质砂为主
风	夏季向岸风,冬季离岸风	夏季离岸风,冬季向岸风
波 浪	波浪破碎尺度小	波浪破碎尺度大
潮 汐	浪潮作用指数小	浪潮作用指数大
沿岸流堆积速率/cm·a ⁻¹	0.67	0.026

综上所述,山东半岛东部南北岸典型海岸差异明显。南部海岸宽广平缓,平均坡度达 0.002,宽度超过 4 000 m,并发育滩脊、滩肩、沙波纹等地貌,沉积物在水下岸坡上段以中粗砂、中细砂为主,平均粒径 2.7 Φ ,水下岸坡以下以粉砂、黏土质粉砂为主,平均粒径 6~8 Φ ;北部海岸地形狭窄,平均坡度 0.017,宽度小于 2 000 m,并发育滩肩陡坎、水下沙坝等地貌,沉积物以砾质砂为主,平均粒径—0.24 Φ 。南岸波浪破碎较北岸小,波能以上冲流为主;北岸波浪以破碎为主,波能多反射。南岸潮差大,波能消散宽度较大;北岸潮差小,波能耗散较为集中。南岸受黄海沿岸流沉积速率达 0.67 cm/a,北岸仅为 0.026 cm/a。风对海岸的直接作用主要表现在改变后滨近岸侧沉积物粒径组分。4 种动力时刻改变海岸地形地貌与沉积,并因在半岛南北岸差异性分布而导致南北岸海岸发育差异性的地形地貌与沉积过程。

参考文献:

- [1] 陈子燊. 海滩剖面形态与地形动态研究的进展[J]. 海洋通报,1997,16(1):86-91.
- [2] 印萍,吕京福,夏东兴. 海滩均衡剖面的概念及相关问题的讨论——以日照实测海滩剖面为例[J]. 黄渤海海洋,2001,19(2):39-45.
- [3] 蔡锋,苏贤泽,曹惠美,等. 华南砂质海滩的动力地貌分析[J]. 海洋学报,2005,27(2):106-114.
- [4] 周良勇,薛春汀,刘健,等. 山东半岛东、北部海滩动力地貌特征及影响因素[J]. 海洋科学进展,2013,31(1):83-94.
- [5] 杨继超,宫立新,李广雪,等. 山东威海滨海沙滩动力地貌特征[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2012,42(12):107-114.
- [6] 王永红,孙静,庄振业. 青岛旅游海滩沉积物粒度的季节性变化特征和输运[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2012,42(12):70-76.
- [7] AARDY M T. Accommodating ecotourism in multiple use planning of coastal and marine protected areas[J]. Ocean & Coastal Management,1993,20(3):219-239.
- [8] 李广雪,宫立新,杨继超,等. 山东滨海沙滩侵蚀状态与保护对策[J]. 海洋地质与第四纪地质,2013,33(05):35-46.
- [9] 谷东起,付军,夏东兴. 朝阳港潟湖湿地的形成与演变[J]. 海洋科学进展,2008,26(3):334-339.
- [10] 张泽华. 海阳港建设对砂质海岸影响的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [11] 崔金瑞,夏东兴. 山东半岛海岸地貌与波浪、潮汐特征的关系[J]. 黄渤海海洋,1992,10(3):20-25.
- [12] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第四分册(山东半岛南部和江苏省海湾)[M]. 北京:海洋出版社,1997:60-61.
- [13] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第三分册(山东半岛北部和东部海湾)[M]. 北京:海洋出版社,1997:253-255.
- [14] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志第三分册(山东半岛北部和东部海湾)[M]. 北京:海洋出版社,1997:203-205.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范:第8部分 海洋地质地球物理调查 GB/T 12763.8—2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007:1-79.
- [16] 夏东兴. 海岸带地貌环境及其演化[M]. 北京:海洋出版社,2009:3-9.
- [17] 夏东兴. 海岸带地貌学[M]. 北京:海洋出版社,2014:36-38.
- [18] BIRKEMEIER W A. Field data on seaward limit of profile change[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering,2014,141(3):598-602.
- [19] GUZA R T, BOWEN A J. The resonant instabilities of long waves obliquely incident on a beach [J]. Journal of Geophysical Research,1975,80(33):4529-4534.
- [20] GUZA R T, INMAN D L. Edge waves and beach cusps[J]. Journal of Geophysical Research, 1975,80(21):2997-3012.
- [21] WRIGHT L D, SHORT A D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis [J]. Marine Geology,1984,56(S1-4):93-118.
- [22] WRIGHT L D, GUZA R T, SHORT A D. Dynamics of a high-energy dissipative surf zone[J]. Marine Geology,1982,45(S1-2):41-62.
- [23] WRIGHT L D, SHORT A D, GREEN M O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model[J]. Marine geology,1985,62(3):339-364.
- [24] KOMAR P D, GAUGHAN M K. Airy wave theory and breaker height prediction[J]. American Society of Civil Engineers,2013,1(13):405-418.
- [25] 刘世昊,丰爱平,夏东兴,等. 辽东湾西岸典型岬湾海滩表层沉积物粒度分布特征及水动力条件

- 浅析[J]. 沉积学报, 2014, 32(4): 700-709.
- [26] 刘世昊, 丰爱平, 杜军, 等. 莱州湾东岸三山岛段砂质海岸沉积物运移动力机制[J]. 海洋科学进展, 2014, 32(3): 343-354.
- [27] 赵一阳. 南黄海沉积速率和沉积通量的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(1): 38-43.

Lateral Differences in Sediments and Geomorphology of the Northern and Southern Typical Sandy Coasts in the Eastern Shandong Peninsula and Their Genesis ——Taking the Coasts of the Haiyang Wanmi Beach and the Weihai International Beach as the Example

YU Xiao-xiao¹, GU Dong-qi¹, YAN Wen-wen¹, DU Jun¹,
ZHU Zheng-tao², LIU Shi-hao^{1,3}

(1. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China;*

2. *State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China;*

3. *College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266001, China*)

Abstract: Based on the topographic profiles and sediment grain size measured along the coasts of the Haiyang Wanmi Beach and the Weihai International Beach in summer and winter of 2011 and the collected hydrological data as well, the differences in geomorphology and sediments of the northern and southern coasts in the eastern Shandong Peninsula are analyzed and the differences in dynamic conditions along the two typical sandy coasts are discussed. The results show that the southern coast is broad and gentle and developed with beach ridges, beach berms and sand ripples. The sediments there are dominated with medium—coarse and medium—fine sands in the upper part of the underwater shore slope, and with silt and clayey silt in the lower part. The northern coast is steeper and developed with berm scarps and underwater bars, and the sediments are dominated with gravelly sand. All these differences are mainly attributed to wind, wave, tide and coastal current.

Key words: Eastern Shandong Peninsula; the Haiyang Wanmi Beach coast; the Weihai International Beach coast; geomorphic difference; sedimentary difference; dynamic difference