

# 黄河三角洲潮滩剖面特征

周良勇<sup>1,2</sup>, 李广雪<sup>1</sup>, 刘健<sup>2</sup>, 李安龙<sup>1</sup>, 邓声贵<sup>1</sup>, 温国义<sup>1</sup>, 赵东波<sup>1</sup>

(1 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 青岛 266003; 2 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

**摘要:**利用验潮、潮滩水准测量、沉积物分析和遥感资料,分析了黄河三角洲不同岸段潮滩的特征。水准测量表明,侵蚀潮滩剖面形态为下凹,而淤积潮滩则上凸,由高潮线至低潮线,潮滩沉积物均变粗,这种变粗趋势在北部侵蚀岸段和河口侧缘明显,在河口南侧稳定海岸则不明显。潮滩沉积物含水量为 12.2%~32.2%,平均为 21%,海滩表层沉积物不排水剪切强度在 0.1~0.35 kg/cm<sup>2</sup> 之间。受局限岸滩的平面形态和剖面形态受到周围大坝地形影响,具有和砂质海滩类似的形态,显示波浪对该潮滩的作用强烈,根据剖面测量结果与遥感图像,发现河口北侧有一个小的冲积扇。

**关键词:**潮滩剖面;粒度;不排水剪切强度;侵蚀;遥感图像;黄河三角洲

**中图分类号:**P737.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**0256-1492(2006)02-0001-08

黄河三角洲沿岸潮滩发育,20 世纪 80 年代进行的全国海岸带和海涂资源综合调查,把这一岸段分为五号桩至刁口的强烈侵蚀岸段、现行河口影响的淤积岸段和刁口至顺江沟的过渡岸段,并分析了不同带的沉积物粒度和组分。为进行油田建设和黄河海港建设,对黄河三角洲海岸及潮滩地貌进行了进一步调查和研究<sup>[1-2]</sup>。三角洲潮滩沉积受到沉积环境影响,在活动叶瓣的下三角洲平原,沉积环境可划分为河口附近、河口北侧和河口南侧三种环境。河口附近为决口扇和河道充填物,河口南北两侧为潮滩沉积物;在废弃叶瓣的下三角洲平原,新形成的 10~20 cm 厚沉积物覆盖在决口扇沉积物之上<sup>[3]</sup>,这些新形成沉积物的粒度特征在开敞潮滩和封闭潮滩存在着差异<sup>[4]</sup>。随着三角洲岸线的改变和研究的深入,尹延鸿等根据遥感、野外地质调查资料对该地区潮滩进行了详细划分<sup>[5]</sup>。

水准测量对于了解滩面形态和冲淤情况非常重要,如 Kirby(1992)利用潮滩形态来判断侵蚀和冲淤<sup>[6]</sup>。根据 1988 年的水准测量剖面和地貌特征,黄河三角洲的蚀退潮滩被分为强蚀退潮滩、弱蚀退潮滩和受人类地质活动影响的蚀退潮滩<sup>[7]</sup>。此外,还可利用这些测量值建立模型,分析海滩变化。

近年来,黄河三角洲海岸冲蚀和淤积都明显加强,需要对不同地段海岸剖面的特征进一步研究,来揭示不同类型海岸的变化过程。本文根据 2001 年

在三角洲不同类型岸段获得的潮滩剖面测量资料和遥感图像,分析了各类岸段潮滩的特征及成因,同时,结合野外资料讨论了从遥感图像提取岸线的意义。

## 1 资料及处理方法

### 1.1 验潮资料

黄河三角洲近岸潮汐复杂。黄河海港至五号桩附近很小范围为半日无潮点,其潮汐性质为正规日潮,外围很小范围为不正规日潮(孤东海堤为不正规日潮),其余海区均为不正规半日潮(新刁口、清水沟开始为不正规半日潮)。测区潮差较小,从无潮点几十厘米向外逐步增大至两米多,出现高潮的顺序是先西后东,再由北向南。

为了解测量潮滩的潮汐情况,在潮滩测量前,在老九井(A 站)、孤东油田南(B 站)和广利港附近(C 站)进行了 25 h 人工同步验潮(验潮位置见图 1)。3 个站位坐标由 Trimble 公司的 DSM212H 型定位仪确定,坐标值及验潮时间见表 1,验潮记数间隔 15 min。A 站位潮差 164 cm, B 站位潮差 124 cm, C 站位潮差 123 cm,高潮位的出现先后顺序为 A—B—C(图 2)。在进行水准测量的同时,也进行了验潮,根据这些验潮资料,确定了剖面上测量当日高潮线和低潮线位置(图 3)。

### 1.2 潮滩剖面调查及样品分析

根据海岸类型,3 条剖面布置于老九井(a 剖面)、孤东油田南(b 剖面)和广利港(c 剖面)。a 剖

**基金项目:**中国地质调查局国土资源大调查项目(200111000003);国家自然科学基金项目(50339050)

**作者简介:**周良勇(1971—),男,副研究员,主要从事海岸带环境地质调查与研究,E-mail:zhouebox@yahoo.com

**收稿日期:**2005-08-01; **改回日期:**2005-11-20. 张光威编辑

面在遭受侵蚀的北部海岸;b剖面在淤长的三角洲活动叶瓣海岸;c剖面处于稳定河口南部海岸(图1和表1)。潮滩调查内容包括潮滩地形、表层沉积物性质、表层沉积物剪切强度。

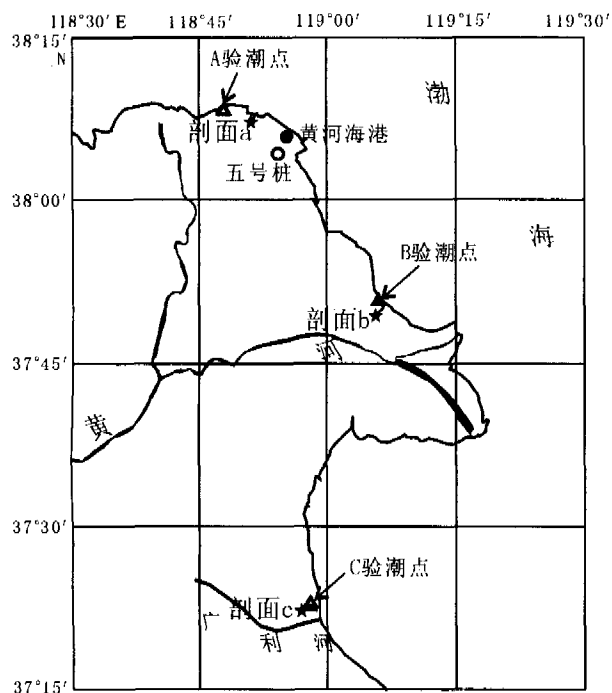


图1 黄河三角洲调查剖面及验潮站位置  
Fig. 1 Locations of tidal flat profiles and tidal gauge stations in the Yellow River delta

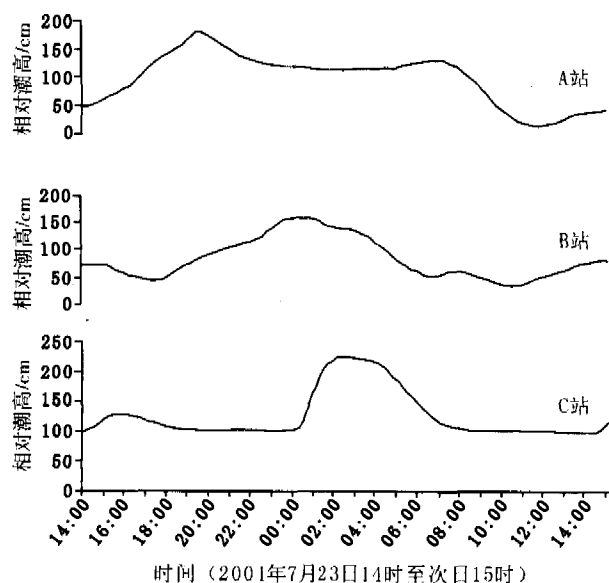


图2 黄河三角洲25小时3站的同步验潮  
Fig. 2 Tide gauge during 25 hours at three positions in the Yellow River delta

剖面地形测量采用水准仪,剖面起点使用Trimble公司的DSM212H型定位仪定位,定位误

差2.5 m,测线方向与岸线方向垂直,用罗盘确定方位角并用旗杆标明测量路线,测量点根据地形起伏确定。在测点附近用小型扭力十字板测表层沉积物不排水剪切强度(后面简称为剪切强度),为减少误差,一个测点一般进行2~3次剪切强度测量,然后取平均值。同时,在测点处取表层(<10 cm)沉积物样品,粒度样品用塑料袋取,含水量分析样品用铝盒取,各剖面取样位置和测试位置见图3。

表1 黄河三角洲潮滩剖面调查  
Table 1 Information of tidal flat survey in the Yellow River delta

剖面	起点位置	方向	取样点数	剪切强度测量点数	测量日期	验潮站	验潮站位置
a	38°07.24'N 118°51.29'E	45°	28	28	2001-07-25	A	38°08.8'N 118°48.1'E
b	37°49.43'N 119°05.63'E	45°	10	无	2001-07-26	B	37°51.1'N 119°06.8'E
c	37°22.49'N 118°56.27'E	90°	10	7	2001-07-30	C	37°22.5'N 118°56.3'N

注:三站人工验潮时间为2001年7月23日14时至次日15时。

表层沉积物样品采用激光衍射法进行粒度分析。首先制备粒度分析样品,步骤如下:(1)用6%的过氧化氢( $H_2O_2$ )除有机质;(2)用0.2 N稀盐酸去钙胶结物;(3)加入清水洗盐;(4)加入0.5 N的六偏磷酸钠( $[NaPO_3]_6$ )使样品充分分散。然后使用英国马尔文(MALVERN)公司生产的Mastersizer2000型激光粒度分析仪分析。分析时将浸泡样品全部倒入激光样品槽中,并加超声振动、高速离心,使样品再次充分分散,测定各粒级的百分含量。仪器的测量范围为0.02~2 000  $\mu m$ ,偏差<1%,重现性 $\Phi_{50}$ <1%。

表层沉积物样品含水量分析采用烘干法。取样后,现场用天平称重,然后送到实验室用烘箱(恒温器)在105~110  $^{\circ}C$ 下烘至恒量,再次称重,最后计算出各样品失水量;失水量与干质量的比值用百分比表示,得到含水量值。

### 1.3 遥感数据

遥感资料包括2001年7月8日和4月3日的ETM+图像,与剖面测量的时间接近,易于两种资料的综合。方法上,首先对图像进行校正和假彩色合成<sup>①</sup>,然后在Mapinfo中将遥感图像配准,最后将

① 李广雪. 黄河三角洲环境地质遥感制图研究报告, 2002.

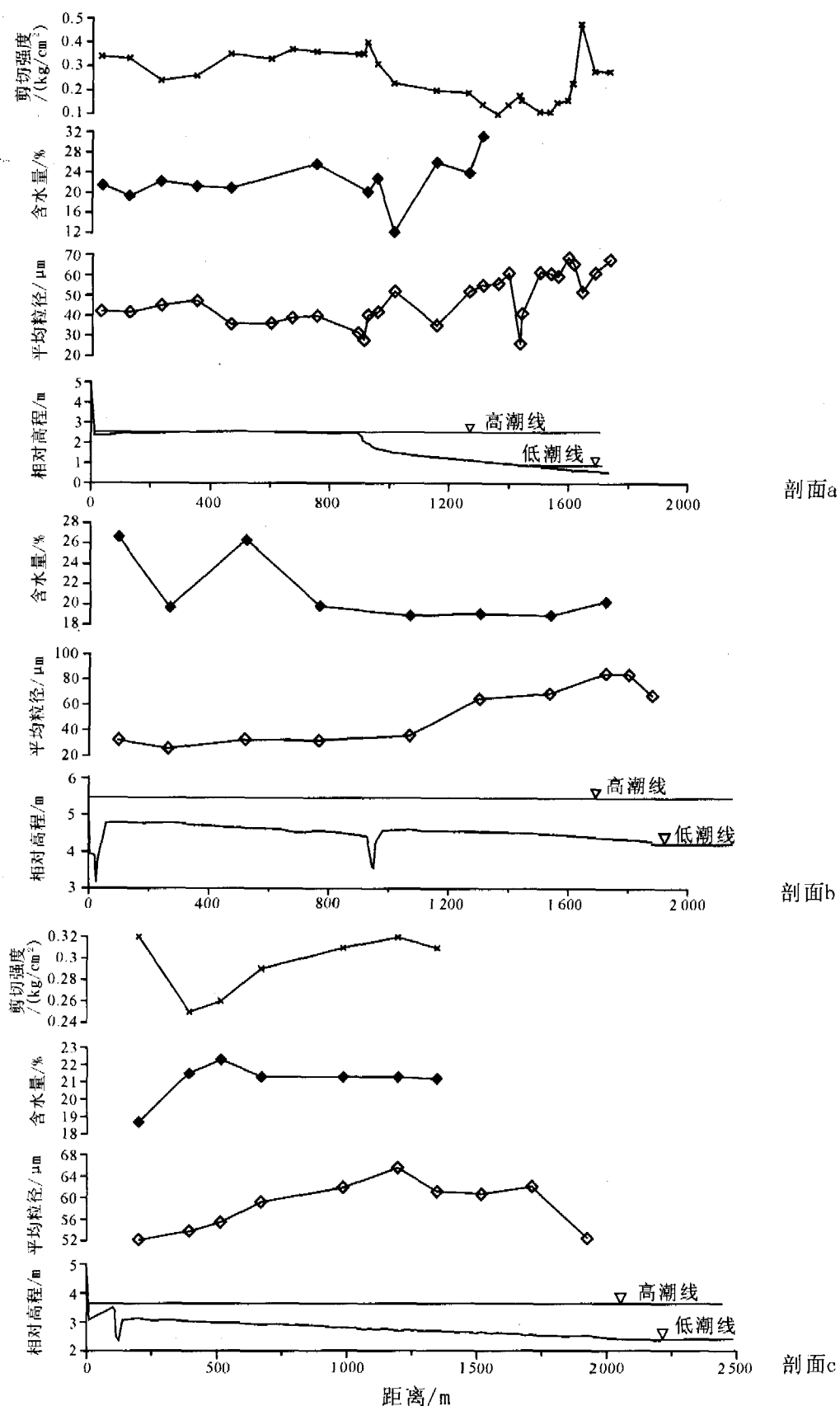


图 3 黄河三角洲潮滩剖面的水位线、调查剖面的水准测量和表层沉积物测试结果  
(每个剖面的剪切强度、含水量、平均粒径测试位置或样品位置对应于高程剖面的横轴)

Fig. 3 Survey and analysis results of three profiles in the Yellow River delta  
Positions of samples and locations of shear stress tests can be seen in the related distance axis.  
The upper is Profile a, the middle Profile b and the bottom Profile c.

3 个剖面的起点位置、方向、长度叠加在遥感图像上。在创建剖面起点时,为减小误差,利用剖面起点附近地物,如在遥感图上易识别的坝、堤、道路交叉点等进行了修正;然后再根据测线方向、长度画一条直线,表示出测线位置。这样,就可以对比两类资料,对它们进行综合分析。

## 2 结果

### 2.1 剖面测量结果

a、b、c 剖面的测量结果见图 3。在 3 个剖面上都进行了剖面高程测量、含水量和粒度测量,对剖面 a、c 还进行了剪切力的测量。

#### 2.1.1 潮滩剖面形态

3 个剖面形态各异。剖面 a 处于北部侵蚀岸段,具有明显的侵蚀陡坎、侵蚀坑。在这一岸段陡坎附近发育贝壳滩,以陡坎为界可分为近岸的平直斜坡和近海的下凹剖面两部分。贝壳滩到侵蚀陡坎有一段距离,该距离指示了波浪破碎后上溅的距离。剖面 a 上有很多已经死亡的怪柳残枝(图 4),它们仍然保持生长在原地的状态,显示这里以前适宜怪柳生长,后来不断受到海岸侵蚀,经常遭到海水淹没,变为潮间带。剖面 b 在现行河口附近,处于淤长海岸。剖面总体为一平缓斜坡,中部发育一条潮沟,潮沟深约 1 m,宽约 60 m,潮沟不对称,两岸高度不同,向陆一侧潮沟岸低于向海一侧的潮沟岸约 0.2 m。剖面 c 位于南部稳定海岸,剖面为平缓的斜坡,靠近剖面起点有因修筑防波堤形成的侵蚀沟。剖面 b 和剖面 c 滩面平坦,没有植被和贝壳滩。

#### 2.1.2 粒度成分

3 个剖面的平均粒径在  $30\sim 70\ \mu\text{m}$  之间,以粉砂为主,3 个剖面的平均粒径都有向海变大的趋势。剖面 a 在平直斜坡部分平均粒径在  $35\sim 45\ \mu\text{m}$  之间,在下凹段,平均粒径大多为  $45\sim 70\ \mu\text{m}$ 。以前在剖面 a 附近也做过剖面测量及粒度分析,但所得结果与此不同<sup>[4]</sup>。剖面 b 以中间的潮沟为界,向陆一段剖面的平均粒径值小,而向海一段的平均粒径值大,并且向海粒径变大的趋势明显,在最靠近海的低潮线附近粒度变小。剖面 c 平均粒径变化趋势与剖面 b 相似,粒径向海变大。其他一些研究也表明,从高潮线至低潮线,潮滩粒度变粗<sup>[3,8-9]</sup>,图 3 显示了 3 条剖面黏土、粉砂和细砂的变化情况,由此也可以看出粒度变粗的趋势,另外,a、b 两剖面成分变化明显,而 c 剖面各样品成分均一。

按 Wentworth 分类,这里的潮滩沉积物分为砂、粉砂和黏土,在各剖面不同的位置上,这些成分的含量一般不同(图 5)。a、b 两剖面由高潮线向低潮线方向黏土和粉砂含量呈变小趋势,砂质成分逐渐变多,3 种粒级成分的变化明显;c 剖面不同潮滩 3 种粒级成分含量变化不大,较均一。

#### 2.1.3 含水量

3 个剖面沉积物的含水量为  $12.2\%\sim 32.2\%$ ,含水量沿剖面变化的趋势不明显,剖面 a 最靠近水边的一个样含水量最高,而剖面 b、c 含水量最高点在靠近岸的一侧。含水量变化与粒度有相关性,从 3 个剖面来看,大部分样品含水量随平均粒径变大而变大,而在剖面 a 侵蚀陡坎附近和剖面 b 近岸附近,有含水量随平均粒径变大而变小的情况,可能与沉积环境的改变有关。

#### 2.1.4 剪切强度

剖面 a 的剪切强度为  $0.1\sim 0.48\ \text{kg}/\text{cm}^2$ ,而剖面 c 测量值为  $0.25\sim 0.32\ \text{kg}/\text{cm}^2$ 。剖面 a 从侵蚀陡坎向陆地部分的测量值为  $0.25\sim 0.35\ \text{kg}/\text{cm}^2$ ,变化比较小,陡坎下剪切强度变大,然后向海逐渐变小,进入低潮线有水区域后,剪切强度再次突然变大。总的来看,剪切强度与粒径、含水量有关。剪切强度有随粒径的变大而变小的趋势,而粒度相近的情况下,含水量高,则剪切强度小。通过做剪切强度与含水量散点图,可以很清楚地看到随含水量变大剪切强度变小(图 6)。此外,剪切力还与其他因素有关系,因为泥质沉积的稳定性随着在空气中的暴露、干燥和沉积物性质(包括生物膜作用)的改变而增强<sup>[10]</sup>。

### 2.2 潮滩平面形态与剖面发育

岸滩形态不仅与沉积物粒度和水动力有关,也与冲淤过程和岸外地形有关。河口海岸根据潮滩与陆地的关系分为以下几种类型:“长条状”潮滩、“裙状”潮滩、“沙咀状”潮滩和“江心洲”潮滩<sup>[11]</sup>。黄河三角洲现在活动叶瓣以南、莱州湾沿海潮滩为长条状潮滩;而其他地方的潮滩由于快速堆积和潮沟发育,形态非常复杂。

剖面 a 为一侵蚀的、受人工建筑影响的封闭潮滩,其西北角为老 10 排涝站,东南突起为桩古 16 井,潮滩周围修建了防护堤,整个潮滩被大坝围成朝向东北方向的凹字型,使潮滩在一个封闭的区域中发育,受沿岸沉积物输运的影响较少。波浪是岸滩侵蚀的主要动力因子。此处影响强度最大的风浪应属春季的东北向浪。因此,此处岸滩受到波浪的强



图 4 黄河三角洲剖面 a 上的侵蚀现象:侵蚀陡坎、死亡柽柳和贝壳滩  
Fig. 4 Erosional evidence of Profile a, including shell ridge, dead tamarisk plants and erosional scarps

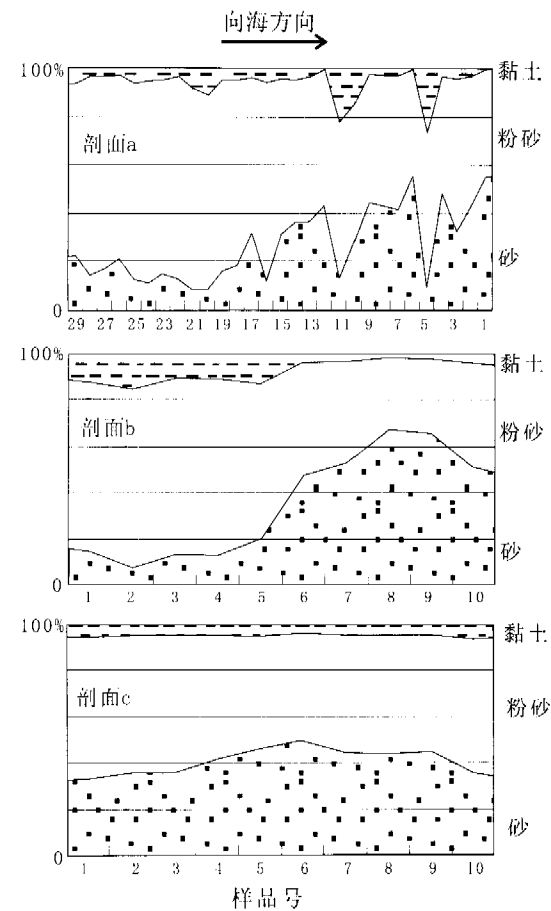


图 5 黄河三角洲剖面黏土、粉砂和细砂成分的变化  
Fig. 5 Change trend of percentages of clay, silt and fine sand in samples from the profiles

烈冲刷和改造(图 7a, b)。从剖面 a 附近滩面平面图可看到, 贝壳滩以白色线为界, 向陆和向海部分颜色不同。图 7b 显示, 由于受到人工堤坝控制, 潮滩岸线轮廓呈弧形。

剖面 b 为河口三角洲进淤后改造的海滩, 测量

剖面中间部分有一条潮沟, 在卫星图像上清晰可见。粒度分析表明, 剖面沉积物粒度以潮沟为界, 向岸部分粒度细、含水量大, 向海部分粒度粗、含水量小, 遥感图像上(图 7c)两段的颜色也不同。测量剖面附近深色部分构成一个三角形, 一条从黄河分出的支流穿过这个三角部分入海, 这部分应是三角洲的小冲积扇。

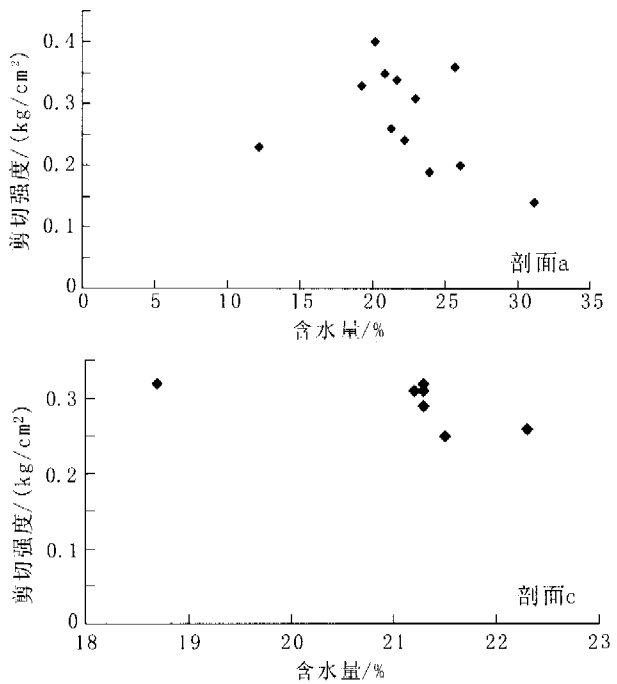


图 6 黄河三角洲不排水剪切强度随含水量增大而减小  
Fig. 6 Decrease trend of shear stress with the increase of water content in the Yellow River delta

剖面 c 为稳定的长条状潮滩, 潮滩分带性好, 潮滩顺岸线变化小。从图 7d 上看, 在起点位置有一条

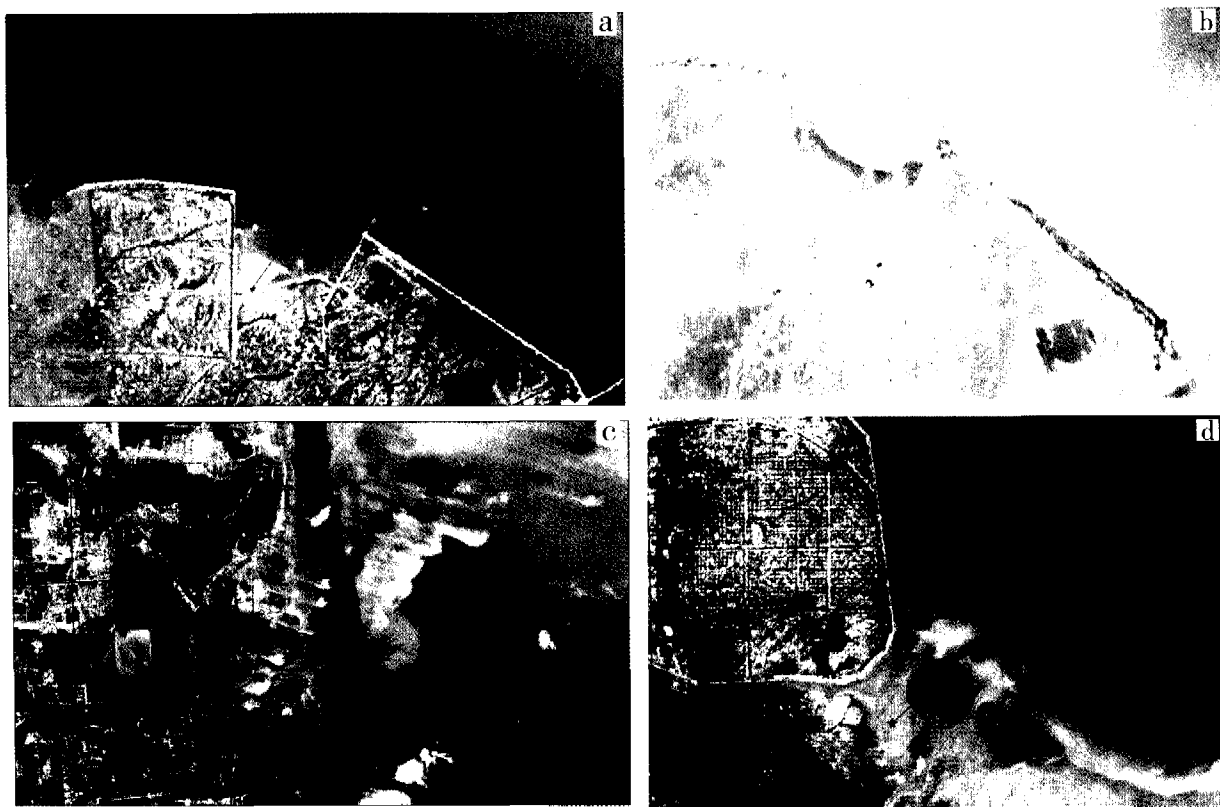


图7 黄河三角洲遥感合成图像与剖面位置

a. 2001年7月8日 ETM+ 数据RGB 321合成图及剖面 a 位置(红线为剖面位置,下同);

b. 2001年4月3日 ETM+ 数据 RGB321合成图, 在剖面a附近;

c. 2001年7月8日 ETM+ 数据RGB 321合成图及剖面 b 位置; d. 2001年7月8日 ETM+ 数据RGB 321合成图及剖面 c 位置。

Fig. 7 Remote sensing imagery and positions of profiles

Profile positions are indicated by a star and a line. Upper left: Location of Profile a on Landsat ETM+ image (RGB321) on July 8, 2001; upper right: Landsat ETM+ image (RGB321) on April

3, 2001 of the location of Profile a; lower left: Location of Profile b on Landsat ETM+ image

(RGB321) on July 8, 2001; lower right: Location of Profile c on Landsat ETM+ image (RGB321) on July 8, 2001

痕迹线,这条线可作为高潮线,线两侧反射值有明显差异,养殖池靠海一边和一些道路的修建都终止于此界线上。

### 3 讨论

侵蚀的泥质潮滩剖面形态呈凹曲线型;而淤涨的泥质潮滩剖面形态呈凸曲线型<sup>[6]</sup>。对江苏泥质海岸的侵蚀研究也表明,侵蚀潮滩宽度变窄,滩面呈上凹曲线型<sup>[12]</sup>。剖面 a 的上凹形态和剖面 b 的略微上凸的形态与此相符。

封闭潮滩形态主要受波浪作用影响。在很多情况下,波浪是塑造泥质潮坪的主要作用,因为具有前后运动方式,即使小的波浪产生的剪切力也比潮汐产生的剪切力大,并且这一运动方式在遇到风暴天气的时候更加突出<sup>[10]</sup>。在黄河三角洲海岸,以N—NNE向浪的破碎水深最大,说明破波带以内,以向

东北的岸线侵蚀最为严重。剖面 a 所处海滩潮向东北方向,在俯视平面图上海岸线呈现弧形(图7d)。其成因可能类似于湾头滩(pocket beach),受波浪折射制约<sup>[13]</sup>,因此这种形态是由波浪作用造成的。潮滩上垂直海岸的水准剖面呈下凹形,也有砂质海滩的剖面特点。从沉积环境上看,剖面 a 所处海岸自黄河改道清水沟流路后,由于沉积物来源减少,受到侵蚀而后退;同时,为保护采油而建设的防潮堤阻止了潮流在沿岸方向的平流和扩散,使该段潮滩成为封闭潮滩,形成相对独立的沉积单元,因此,易于受到波浪作用的塑造。此外,海堤具有反射波浪的作用,使靠近海堤的部分受到侵蚀。从测量剖面 and 遥感图像上都可看出有一条顺护岸堤发育的侵蚀沟。

黄河三角洲北部岸线的演变研究表明,岸线变化很快,自1976年以来可分为蚀退期、转换过渡期和周期性波动期<sup>[14]</sup>。现在可以说处于一个准稳定时期。侵蚀剖面的稳定主要是由于泥沙的筛选粗化

和老淤泥出露。粗化是由于不同泥沙成分的沉降速度不同造成的。老淤泥的出露随侵蚀而发生,不易受冲刷,剖面a资料证实了这一点。随着侵蚀的发生,该潮滩受波浪作用,经筛选而粗化;同时经改造的沉积物剪切强度也变大,不易冲蚀。从剖面a测量结果看,紧靠陡坎向海一侧的位置剪切强度比两边大,靠近低潮线位置的剪切强度也较大,而两者中间部分剪切力较小。前者是由老沉积出露造成的,而后者是由于粒度较粗。

黄河三角洲各尾闾决口扇,由于沉积物的粒度较粗,地面辐射较强,加上其独特的扇面形态,因而在多种卫星图像上都有颇为清晰的显示<sup>[15]</sup>。遥感图像与剖面测量结果的结合,将位于河口北侧的一个小冲积扇突出出来(图7c)。实际上,该冲积扇中间的河为人工河,它在1986年时还只是一条潮沟,1987年与黄河沟通,形成汉河<sup>[16]</sup>。在2001年7月份的遥感图像上,河口北侧的沉积体为三角形,中间有一条潮沟,两侧也各有一条潮沟,色调上比较均匀,并向海凸出,与周围其他潮滩相区分。剖面b跨在这个沉积体与其周围潮滩上,以潮沟为界,潮沟向海一侧为沉积体。潮滩取样表明沉积体粒度较粗,含水量低,这说明在河口地区进行的剖面测量结果易受原沉积环境影响。在分析剖面测量结果时,结合剖面横向变化情况有助于理解剖面形态、特征及成因。

遥感图像与剖面测量结果的结合,也使我们进一步认识了遥感图像上海陆界线的意义。如何提取岸线一直是个困难的问题,最近对黄河三角洲的遥感岸线的提取多采用“平均低潮线”。从a、b和c测线与遥感图像比较来看,c线末端最接近遥感图像上被认为是低潮线的一条痕迹线,a次之,b末端离痕迹线最远。这说明在河口附近确定岸线误差最大,利用岸线分析河口海岸变化时,应考虑这一误差。

## 4 结论

(1) 黄河三角洲不同类型海岸潮滩剖面特征的不同,反映了这些剖面形成条件的不同。北部侵蚀潮滩是在上世纪60—70年代形成沉积后改造形成的,主要受到波浪的改造作用,这在潮滩剖面形态上表现为下凹,在平面形态上表现为受防护堤控制的弧形。这个滩面上发育侵蚀陡坎、贝壳滩,滩面沉积物受改造而粗化。河口附近及其南部剖面主要受潮汐、海流作用,滩面平坦。现行河口潮滩由于沉积物

形成时间短,原沉积环境对潮滩沉积物影响大。

(2) 从沉积物特点看,滩面上沉积物由陆向海方向变粗,同时粒度还受到沉积环境和侵蚀作用的影响,粒度成分在稳定的岸段变化小,但在河口和侵蚀岸段变化大。沉积物的含水量为12.2%~32.2%,平均为21%。剖面沉积物剪切力为0.1~0.35 kg/cm<sup>2</sup>,剪切力随含水量变大而减小。

(3) 剖面测量资料与遥感图像的结合能够提高对潮滩的认识。遥感图像反映了大范围潮滩上各点的综合信息,而剖面调查能够实地了解垂直海岸小范围具体情况,二者的结合使我们了解到垂直海岸和沿海岸的潮滩信息。遥感与剖面测量结合使我们发现了一个小的冲积扇,还发现了封闭海滩的弧形平面形态,并有助于获取遥感图像上的海陆界线。

致谢:董平教授帮助修改本文,赵杰仁先生、刘勇博士、陈正新研究员参加野外调查与样品处理,薛春汀研究员、刘锡清研究员和张剑博士在本文写作过程中给予指导和帮助,在此一并表示感谢。

## 参考文献(References)

- [1] 杨作升,王涛. 埕岛油田勘探开发海洋环境[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社,1993:526-540. [YANG Zuo-sheng, WANG Tao. Exploration and development environment of Chengdao oil field[M]. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1993.]
- [2] 臧启运. 黄河三角洲近岸泥沙[M]. 北京:海洋出版社,1996. [ZANG Qi-yun. Nearshore sediments of the Huanghe River Delta[M]. Beijing: China Ocean Press, 1996.]
- [3] 薛春汀, Eisma D, 成国栋,等. 黄河三角洲下三角洲平原沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质,1993, 13(1):33-40. [XUE Chun-ting, Eisma D, CHENG Guo-dong, et al. Depositional environment of lower delta plain of Yellow River Delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1993, 13(1): 33-40.]
- [4] 薛允传,尹延鸿,高抒. 黄河三角洲北部潮间带沉积物的粒度特征[J]. 海洋科学,2001, 25(5):50-54. [XUE Yun-chuan, YIN Yan-hong, GAO Shu. Grain size characteristics of tidal flat sediments, northern Yellow River delta[J]. Marine Sciences, 2001, 25(5):50-54.]
- [5] 尹延鸿,周永青,丁东. 现代黄河三角洲海岸演化研究[J]. 海洋通报,2004, 23(2):32-40. [YIN Yan-hong, ZHOU Yong-qing, DING Dong. Evolution of Modern Yellow River Delta Coast[J]. Marine Science Bulletin, 2004, 23(2): 32-40.]
- [6] Kirby R. Effects of sea-level rise on muddy coastal margins [M]//Dynamics and Exchanges in Estuaries and the Coastal Zone. Coastal and Estuarine Studies. American Geophysical Union, Washington, D C, 1992, 311-334.
- [7] 任于灿,丁东,董万. 黄河三角洲的侵蚀[C]//黄河三角洲现

- 代沉积作用及模式. 北京:地质出版社,1991:70-71. [REN Yu-can, DING Dong, DONG Wan. Erosion of Yellow River Delta [C]//The Modern Sedimentation and Its Model on Yellow River Delta. Beijing: Geological Publishing House, 1991:70-71.]
- [8] 李培英. 海洋动力地貌[C]// 黄河三角洲近岸泥沙. 北京:海洋出版社, 1996: 74-85. [LI Pei-ying. Marine dynamical geomorphology[C]//Nearshore Sediments of Huanghe River Delta. Beijing, China Ocean Press, 1996:74-85.]
- [9] 杨世伦,徐海根. 长江口长兴、横山岛潮滩沉积特征及其影响机制[J]. 地理学报,1994, 49(5):449-456. [YANG Shi-lun, XU Hai-gen. Tidal flat sediments and sedimentation on the Changxing and Hensha Islands at the mouth of Changjiang River[J]. Acta Geographica Sinica, 1994, 49(5):449-456.]
- [10] Colin D. Woodrofe. Coasts: Form, Process and Evolution [M]. Cambridge, Cambridge University Press, 2002:392.
- [11] 杨世伦,谢文辉,朱骏,等. 大河口潮滩地貌动力过程的研究——以长江口为例[J]. 地理学与国土资源研究,2001, 17(3):44-48. [YANG Shi-lun, XIE Wen-hui, ZHU Jun, et al. A study of intertidal flat morphodynamics of a large river mouth: Yangtze River Mouth[J]. Geography and Territorial Research, 2001, 17(3): 44-48.]
- [12] 虞志英,张勇,金镠. 江苏北部开敞淤泥质海岸的侵蚀过程及防护[J]. 地理学报, 1994, 49(2): 149-157. [YU Zhi-ying, ZHANG Yong, JIN Liu. 1994. The erosion process of open mud beach and its protection along the coast of northern Jiangsu[J]. Acta Geographica Sinica, 1994, 49(2): 149-157.]
- [13] Paul D Komar. Beach Processes and Sedimentation[M]. Englewood Cliffs, Prentice-hall, INC., 1976: 249-252.
- [14] 李安龙,李广雪,曹立华,等. 黄河三角洲废弃叶瓣海岸侵蚀与岸线演化[J]. 地理学报,2004, 59(5):731-737. [LI An-long, LI Guang-xue, CAO Li-hua, et al. The coast erosion and evolution of the abandoned lobe of the Yellow River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(5):731-737.]
- [15] 李永植. 论近代黄河三角洲的发育特征及其分类意义[J]. 海洋地质与第四纪地质,1993, 13(2):71-79. [LI Yong-zhi. On the evolution characteristics and its classification significance of modern Yellow River Delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1993, 13(2):71-79.]
- [16] 范兆木,郭永盛. 黄河三角洲沿岸遥感动态分析图集[M]. 北京:海洋出版社,1992: 74. [FAN Zhao-mu, GUO Yong-sheng. Remote Sensing Dynamic Analysis Maps of Yellow River Delta[M]. Beijing:China Ocean Press,1992. 74.]

## CHARACTERISTICS OF TIDAL FLAT PROFILES IN THE YELLOW RIVER DELTA

ZHOU Liang-yong<sup>1,2</sup>, LI Guang-xue<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>2</sup>, LI An-long<sup>1</sup>,  
DENG Sheng-gui<sup>1</sup>, WEN Guo-yi<sup>1</sup>, ZHAO Dong-bo<sup>1</sup>

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;  
2 Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Data from tidal gauges, tidal flat profiles and surface sediments analysis were used to study 3 different types of Yellow River delta coast. Particle size analysis shows that, from the mean high water level to low water level, sediments on all the profiles become coarser. The trend is more pronounced in the profiles near the river mouth and erosional coast than that in stable coast. The content of water in sediments ranges between 12.2% and 32.2%, and the shear stress between 0.25 and 0.35 kg/cm<sup>2</sup>. By integrating remote sensing images and profiles data with GIS, we get much knowledge about sediment dynamics of the delta tidal flat. The tidal flat that is controlled by man-made dykes shows common characteristics of a beach in profile shape and in planform. Its profile is concave-up and the planform is a curved dry/wet line facing dominant wave direction, which indicates strong influences of wave actions. A small crevasse-splay formation is seen on the tidal flat in the north part of the river mouth, where sediments are coarser than that at the other part and show dark fan shade in the remote sensing image. It is found that the low water line from the remote sensing images does not correspond with the field data.

**Key words:** tidal flat profiles; grain size of surface sediments; shear stress; erosion; remote sensing; Yellow River delta