

文章编号:1000-0550(2016)04-0662-08

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2016.04.006

珠江磨刀门河口交杯四沙现代沉积特征及其形成机理

张昌民¹ 朱锐¹ 刘江艳¹ 杜家元² 李少华¹ 李小平²

(1.长江大学地球科学学院 武汉 430100;2.中国海洋石油总公司深圳分公司 广州 510240)

摘要 通过对交杯四沙表层现代沉积考察,分析了滩面沉积微地貌类型,并结合粒度分析和成分分析,探讨不同微地貌沉积特征,进而讨论了交杯四沙的形成过程。研究表明:交杯四沙表层发育有低潮线以下、低潮位波浪冲洗带、高潮位冲洗带、风暴潮冲洗带、滩顶冲越带、滨后冲越带、冲越扇中部、冲越扇前缘斜坡以及分流间湾区等9个微地貌单元,代表了9个微相分区。交杯四沙滩面主要以粉砂和细砂为主,整体上分选性中到差,矿物成分主要为石英和黏土矿物。交杯四沙东侧是磨刀门主河槽,以径流为主;西侧沿白藤海、灯笼沙至三灶岛水道以潮流为主。交杯三沙以南,四沙以北构成了分流间凹地环境。交杯四沙以南为东南向的波浪作用带。交杯四沙和其他交杯沙系列沙体具有相同的形成过程,首先由河槽底流将拦门沙沉积物向西搬运沉积形成浅滩,浅滩受潮流和波浪的改造其平面形态呈酒杯状,浅滩的东南面受东南向波浪的作用,前坡遭受侵蚀,在后坡产生堆积,由此沙滩逐渐向陆迁移,先后形成交杯一沙、二沙、三沙和四沙,交杯一沙、二沙和三沙已经合并成陆。随着时间的推移,交杯四沙也将与交杯三沙相接成陆,新的交杯五沙有望形成,磨刀门西侧浅滩区将演变成由一系列反曲沙脊和潮滩相间而成的三角洲“滩—脊”平原。

关键词 河口坝 微地貌单元 微相 珠江 现代沉积

第一作者简介 张昌民 男 1963年出生 博士 教授 沉积学 E-mail: zcm@yangtzeu.edu.cn

通讯作者 朱锐 男 博士 E-mail: zhurui@yangtzeu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

0 引言

河口沙坝,又称河口坝或者河口拦门沙,是发育在河口地区的一种常见的地貌单元,由于其对航运和海洋工程的影响,一直是河口海岸工程和地貌学的重要研究对象^[1-9]。古代地层记录中的河口坝砂体是一种重要的油气储集砂体,长期以来受到石油沉积学界的密切关注^[10-16]。但是由于其所处的特殊地理位置,对现代河口坝的沉积特征及其形成过程的详细观察并不多见,现代珠江磨刀门水道前端发育的交杯沙系列沙坝是珠江河口坝体系的一部分,它是由河道径流和海洋波浪及潮汐共同作用形成的^[17],交杯四沙是交杯沙系列沙坝的一部分。研究交杯四沙滩面现代沉积特征和交杯沙系列沙坝的形成及其演变规律,对了解混合动力条件下三角洲河口坝复合砂体的沉积机制,精细刻画河口坝砂体的内部结构,表征三角洲沉积体的储层非均质性具有一定的意义。

1 概况

交杯四沙位于西江磨刀门河口,东距石栏州 5.4

km,西到龙屎窟 7.4 km,西北往珠海大桥 18.7 km,西南距珠海机场 10.2 km,北部与横州相连,南向大海(图1)。交杯沙系列沙体是磨刀门分流水道河口沙坝体系的水上部分,其东侧为磨刀门水道主槽,河道径流强度远大于波浪作用,径流方向控制并影响交杯沙的东部边界和形态,靠近主槽西侧边缘形成浅滩,浅滩以内为分流间凹地;交杯沙西侧水道径流量相对较小,以潮汐作用为主。潮汐、波浪和河流混合作用在河口拦门沙西北侧形成弧状沙体,形似酒杯,称交杯沙。交杯沙不断迁移合并与陆地相连;向海一侧受河口的迁移不断形成新的沙坝。交杯四沙是自1977年来形成的第四个交杯沙,其南部面临大海,受波浪作用影响较大,形成海滩地形,风暴潮来临时,波浪越过滩面形成冲越扇。沙坝在河流和波浪的改造下不断迁移,在沙坝内侧形成犬牙交错沙嘴;坝内为分流间凹地区,生长有芦苇。

考察从交杯四沙东侧登滩,实地观察了解交杯沙的平面展布特征,沿滩面向西观察沙坝两侧沉积地貌特征,记录沙滩表面沉积构造现象,在滩顶和内侧开挖小型探槽以观察层理特点,横切沙坝采样研究沉积

收稿日期:2015-08-17;收修改稿日期:2015-11-20

基金项目:国家自然科学基金(41172106, 41302096);国家科技重大专项(2011ZX05023-002) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41172106, 41302096; National Science and Technology Major Project, No. 2011ZX05023-002]

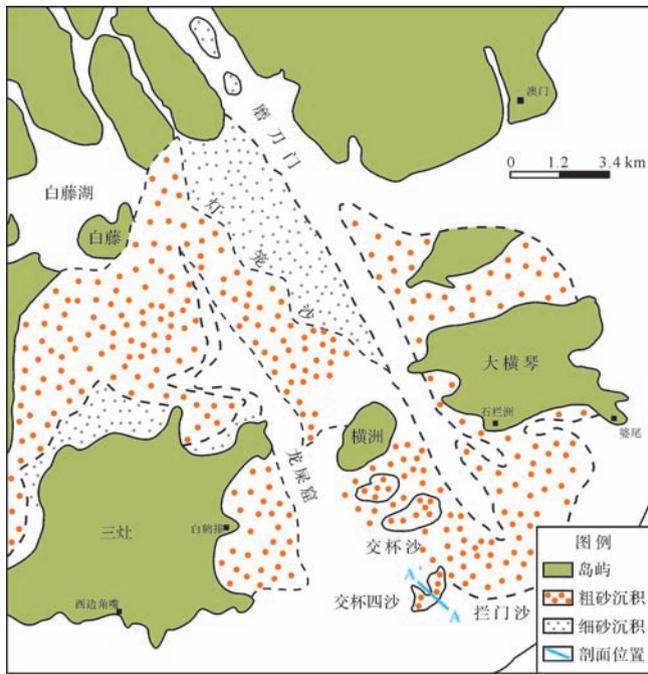


图1 交杯四沙的地理位置及其形态特征

AA'为图2中测线的近似位置

Fig.1 Location and planimetric shape of No.4 Jiaobei Sand (AA' approximate the position of the section in Fig.2)

物的粒度和矿物组成,研究其形成机理。测线位置标注在图1中。

2 沉积微地貌分区

根据地形、滩面沉积构造特征和水动力状况,可以将交杯四沙的微地貌单元从向海一侧的水下部分到沙坝内侧的分流间凹地区划分为9个区带(图2)。

低潮线以下:低潮位水下部分,正常天气退潮阶段仍然处于水下的地区(图版 I-A),本区呈低角度向海倾斜或者地形平坦,出露有枯死的芦苇茎秆,滩面上多见贝壳碎片,局部发育小型波痕(图版 I-B)。

低潮位波浪冲洗带:位于正常天气低潮位时的波浪最低点到最高点之间,地形向海微倾,滩面被波浪

来回冲刷,一般比较干净(图版 I-C),部分地带出露未埋藏的枯死芦苇茎秆,贝壳碎片较发育(图版 I-D)。第二区带地形坡度略大于第一区带。

高潮位冲洗带:从第二区带上部至好天气高潮带波浪到达的最高点。本区滩面湿滑,滩面有大量树木和芦苇茎秆、生活垃圾以及其他海上漂浮物沿岸线呈带状分布(图版 I-E)。其中夹杂大量贝壳碎片。部分地带带有泥砾,泥砾为低潮位波浪冲洗带中未固结泥和泥质粉砂被破坏后冲上滩面滚动改造所形成(图版 I-F,G)。第三区带地形坡度略大于第二区带。

风暴潮冲洗带:为风暴潮时期的波浪冲洗带。此处地形坡度明显变陡(图版 I-H),上部接近滩顶。滩面干净平坦且干燥,有零星植物茎秆,贝壳碎片数量明显减少,偶见风成波痕(图版 I-I),有较多漂浮物沿岸线分布(图版 I-J)。

滩顶冲越带:沙滩最高部位。滩肩略向海方向倾斜,越过滩顶略向分流间湾方向倾斜。表面相对平坦,散布由河流带来并经波浪冲上滩面的水浮莲等植物茎秆和残体(图版 I-J),滩面发育风成波痕,少量动物钻孔(图版 I-K)。滩顶散布有少量漂浮物,发育风成波痕,有零星植物生长(图版 I-L),表面见有一些横切沙坝的宽浅冲沟,向沙坝内侧延伸。

滨后冲越带:沙坝向分流间凹地内侧倾斜的滨后冲越带。地形向沙坝内侧倾斜,滩面干燥(图版 I-M)。发育大量横切沙坝的冲沟,沟深 10~20 cm,漂浮物和植物根团分布连续性差,呈孤立出现,发育障碍痕,可见零星的贝壳碎片(图版 I-N)。

冲越扇中部带:靠近沙滩内侧斜坡下部,滩面坡度变缓,地形相对平坦,表层略显潮湿,植物碎屑和茎秆丰富,方向性强,一般长轴横切沙坝分布,有零星植物生长(图版 I-M)。

冲越扇前缘斜坡带:此处滩面潮湿,地形急剧变陡 40°左右,表面平滑,横向上呈犬牙交错状,本带较窄,一般宽度为 1~2 m(图版 I-O)。

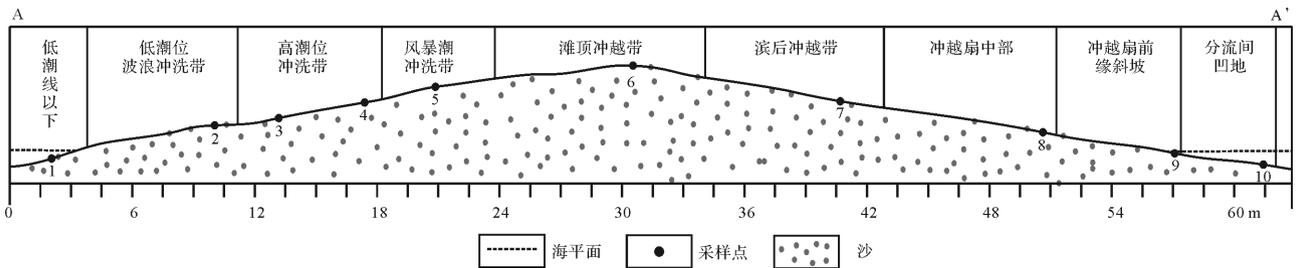


图2 交杯四沙微地貌分带示意图(剖面位置见图1)

Fig.2 Microgeomorphic units of No.4 Jiaobei Sand (see Fig.1 for the position of this section)

分流间凹地带:位于水下,一般为砂质底质,分流间湾区内波浪较小,近岸生长芦苇等水生植物(图版 I-O),芦苇成排成行生长,生长排列的方向性十分明显,多与沙嘴的指向相同(图版 I-P)。

3 滩面沉积物的矿物组成

矿物分析结果表明,交杯沙滩面的矿物成分主要由石英(含量85%以上)和黏土矿物(含量约10%)组成,其他成分(如长石、白云石)含量均不超过5%。采用刘宝珺的砂岩分类方案^[18],此类滩沙中的黏土质杂基含量小于15%,骨架颗粒中石英含量占95%以上,属于净石英砂,滩沙的矿物成熟度很高,说明经过了较长时间和距离的搬运和风化。黏土矿物含量达到10%表明水动力的分选作用并不十分强烈,水体中含有较高的悬移质黏土沉积物,这些特征与交杯沙所遭受的波浪、潮汐及河流多种营力的共同作用有关。在河口地区复杂动力的综合影响下,长石等矿物由于抗风化能力较弱容易发生风化,抗风化能力强的石英得以大量保存(图3)。

从各样品矿物成分特征来看(图3,4),样品1、2、5、10的黏土矿物含量在10%以下,样品3、4、6、7、8、9的黏土含量在10%以上,反映了不同微地貌单元对沉积沉积物构成的差异。样品1、2位于低潮位波浪冲洗带,分选作用较好,泥质含量较低。样品10位于交杯沙内侧凹地边缘冲洗带,也具有较好的分选性,样品5位于滩顶,是较强水动力条件下沉积的,而样品6、7、8、9位于冲越扇的中下部,分选作用相对较差,黏土含量较高,样品3、4位于高潮位冲洗带,黏土含量较高可能与高潮期高水位持续时间较短、分选变差有关。交杯沙沉积物中黏土矿物以伊利石(25%~30%左右)及伊蒙混层(40%~50%之间)为主,含有少量的高岭石和绿泥石(含量均小于20%),伊蒙混层矿物含量的变化与样品中黏土矿物含量的变化趋势基本一致,个别样品(样品5)略有差异,其原因有待进一步研究分析。

4 滩面沉积物的粒度特征

交杯四沙滩面沉积物以粉砂和细砂为主,平均粒径为2.61~3.12 ϕ ,标准偏差为1~1.22,分选中等。粒度频率曲线均表现为不对称的双峰特征,以粗峰为主,细粒一侧表现为低的尾部,偏态为0.38~0.64,峰态为1.91~2.46,属于极正偏且变化范围小,表明了两种组分混合以粗粒组分为主的特征,说明既不是典

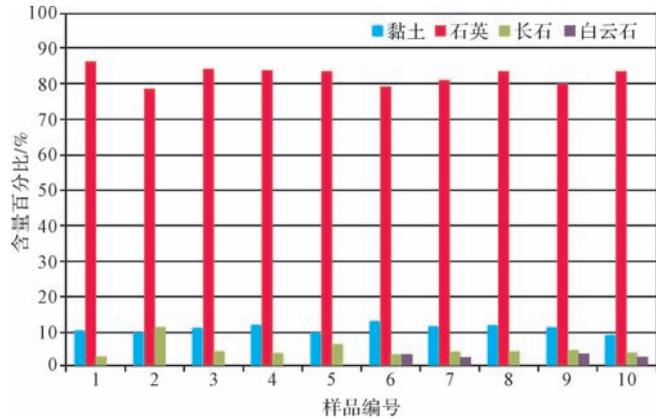


图3 交杯沙滩面矿物成分分布图

Fig.3 Mineral composition and distribution in No.4 Jiaobei sand

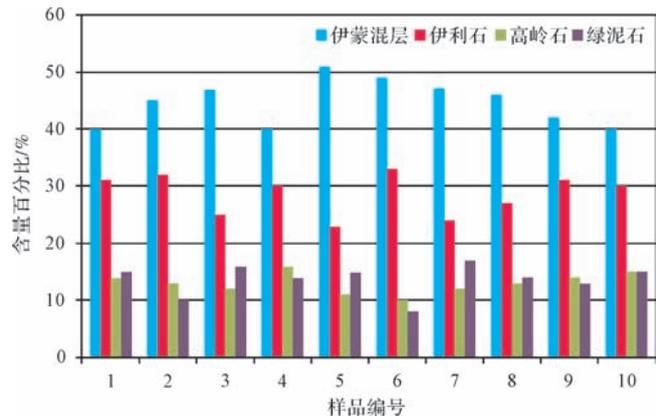


图4 黏土矿物成分分布图

Fig.4 Clay mineral composition and distribution of No.4 Jiaobei sand

型的海滩沙也不是典型的河流沉积物。粒度频率累积曲线下半部分陡,上半部分(ϕ 值大于3.5的细粒部分)非常平缓,接近倒“L”形态;概率累积曲线表现为跳跃总体和悬浮总体构成的两段式形态,缺乏滚动总体。颗粒搬运方式主要为跳跃和悬浮搬运,不存在粗粒的滚动组分(图5)。

平均粒径与标准偏差的变化具有相同的趋势,总体显示粒度越粗分选越差的特点(图6)。从平面上看,样品3的中值最大,粒度最粗,样品1、2在低潮期水位线左右,粒度较细,样品6、7、9位于冲越扇末端,平均粒径较小,样品10位于滩内侧分流间湾区边缘,一部分细粒物质被带走,显示较高的平均粒径。平均粒径沿采样线呈犬牙交错状变化,总体显示向沙坝内侧减小的趋势(图6)

样品的C值在240~280 μm 之间,M值在160~

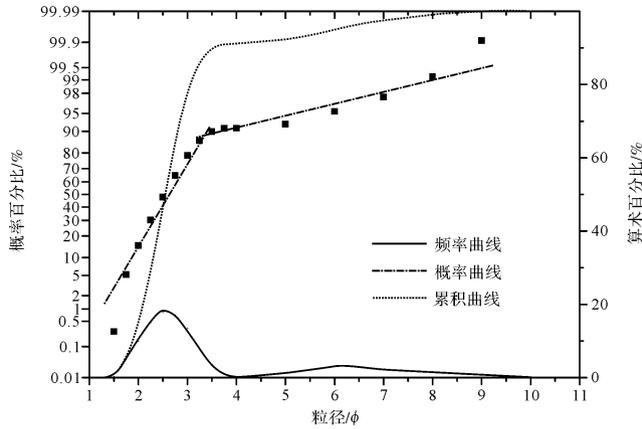


图5 研究区三种粒度曲线统计图

Fig.5 Grain size distribution curve

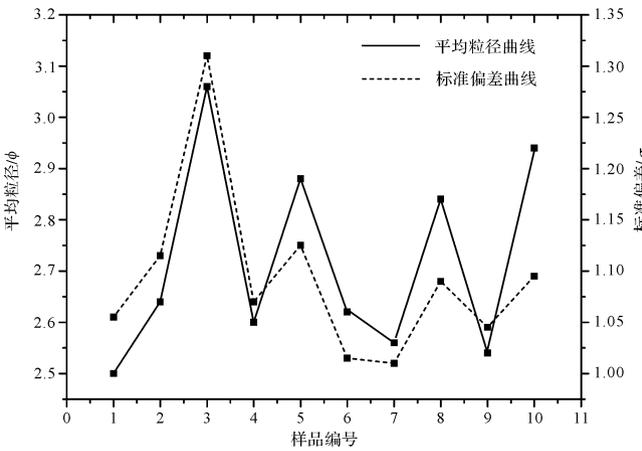


图6 平均粒径与标准偏差曲线

Fig.6 Average particle size and standard deviation

180 μm 之间。在理想的 C-M 图上,10 个样品点均处于 QR 段,即递变悬浮沉积段(图 7)。递变悬浮搬运指的是在流体中的悬浮物质由下向上粒度逐渐变细,密度逐渐降低的沉积机制^[19],研究区虽然受波浪、河流、潮汐多重作用影响,但西侧水道径流量较小,以波浪和潮汐作用为主,潮汐涡流可能是造成沉积物以递变悬浮方式搬运的主要动力,波浪作用对其表层沉积物施加了改造。

5 交杯四沙的形成机理与沉积模式

磨刀门水道是珠江八大口门之一,其纵向可以分为从灯笼山到口外沙顶的口内段和口外沙顶以外的海滨段。口内段横向可分为磨刀门干流河槽区、灯笼沙和白藤海至三灶间的内海域和交杯沙及其以南浅滩区等三个区域(图 1)。河道径流、潮流以及波浪的相互作用形成了交杯沙地区独特的河口地貌景观,磨刀门河口拦门沙和交杯沙构成了此类环境独有的河

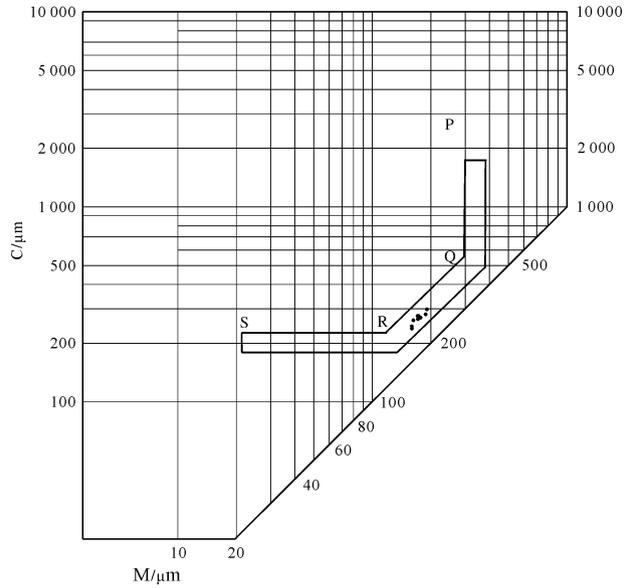


图7 交杯沙 C-M 图

Fig.7 C-M diagram of Jiaobei sand

口沙坝体系。磨刀门主河槽是以径流为主的,灯笼沙和白藤海至三灶岛东侧是一条喇叭状潮道,由此进入的潮流比进入磨刀门水道的潮流时间早流量大,二者构成了两种独特的分流河道类型。在径流水道和潮道之间,交杯四沙以北的分流间水域,潮流和径流都比较弱,细粒沉积物大量沉积,构成了分流间凹地环境,有大片芦苇呈条带状生长(图版 I-O,P)。

交杯沙系列砂体虽主要来源于西江河流输送,但其砂质搬运具有独特的迁移机制^[20-21]。西江磨刀门输入的主要为细砂质沉积物,沉积物在径流作用下沿河床下泄,在河口处受盐水楔的顶托,大量沉积形成拦门沙(即河口沙坝)。由于珠江口落潮转涨潮或者涨潮转落潮时,河槽底流向西偏转,沉积物被底流带上浅滩形成交杯沙浅滩沉积(图 8a),也称为西侧拦门沙浅滩。西侧浅滩的形成对磨刀门干流河槽形成阻塞,使得主槽西侧水流减缓沉积一系列向内陆反曲的犬牙交错状反曲沙嘴(图 8a)。交杯沙的东南面受东南向波浪的作用发生侵蚀,滩面不断向西北后退,交杯沙后退使得曾被砂体掩埋而死亡的芦苇残体暴露在东南面的水域或滩面下部(图版 I-A,B,D)。沉积物在向两侧运动的同时越过砂体,在波影区堆积下来,淹没了生长在波影区的芦苇(图版 I-L,M,N,O)。细粒沉积物同时在波影区淤积,为芦苇的生长提供了良好的基质条件,沙坝迁移造成的泥质沉积物在沙坝附近呈条带状分布,从而导致芦苇呈条带状排列生长(图版 I-P)。

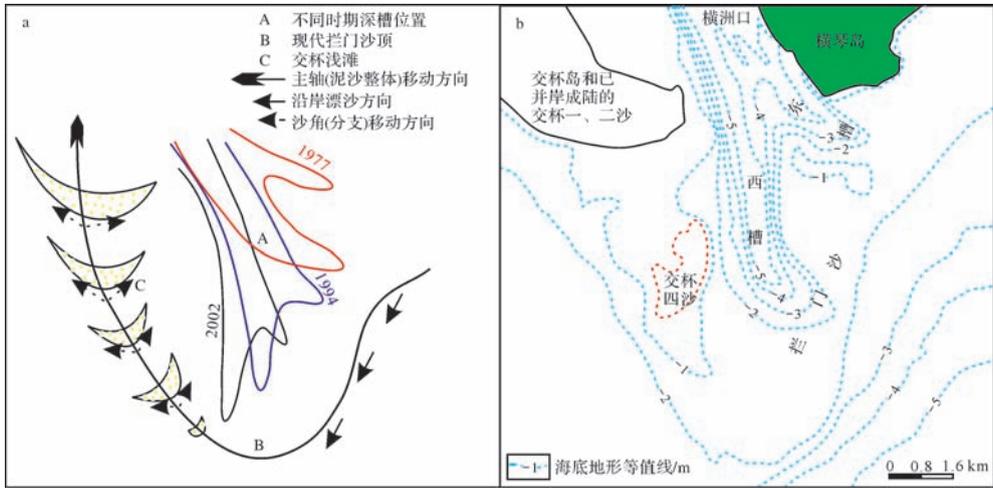


图8 珠江磨刀门水道拦门沙泥沙转运模式与交杯沙系列砂体的形成机理

a. 拦门沙的横向输沙线路与交杯沙系列砂体的形成过程; b. 磨刀门拦门沙及交杯沙地区的海底地形等值线图^[22]

Fig.8 Sediments transportation and deposition regime of the mouth bar and Jiaobei sand within Modaomen Estuary, Zhujiang River
a. the sediments are transported by bottom current westward to form the Jiaobei sands one after another; b. contour map of the mouth bar and Jiaobei sand areas

随着时间的推移,交杯沙滩体不断向陆迁移与陆地相连,受河口水动力的影响,新的砂体不断由水下生成加积出露水面。根据王世俊等^[22-23]研究,自1977年交杯一沙出露水面,1983年交杯二沙与一沙相连,1994年交杯一沙、二沙和三沙连片成陆,交杯四沙雏形初现(图8b)。至2014年考察时交杯四沙明显增大并不断向陆运动,交杯四沙在波浪、潮流和河流的共同作用下,前坡侵蚀后坡堆积,不断向陆后退不断加大,必将形成一个大型的新月形沙脊,并逐步向岸推进与交杯三沙相连。随著时间的推移,磨刀门西侧浅滩区将演变成由一系列反曲沙脊和潮滩相

间而成的三角洲“滩—脊”平原。

交杯沙系列砂体的与珠江磨刀门河口拦门沙的演变揭示了一种河流、潮汐和波浪共同作用下形成的河口沙坝复合体的沉积机制和沉积模式(图9)。在磨刀门河口地区,不同时期河道径流、潮流、波浪、沿岸流、河道内部侧向环流以及各种紊动涡流互相影响,河口拦门沙、河道边缘浅滩和海岸平原沉积物在同一个区域不断被搬运沉积,河流、潮汐、波浪、海滩和沼泽沉积特征同时出现,形成了十分复杂的河口坝复合砂体的沉积物、沉积构造和沉积建筑结构特征,这些特点对于正确识别古代河口坝沉积体系,深刻理

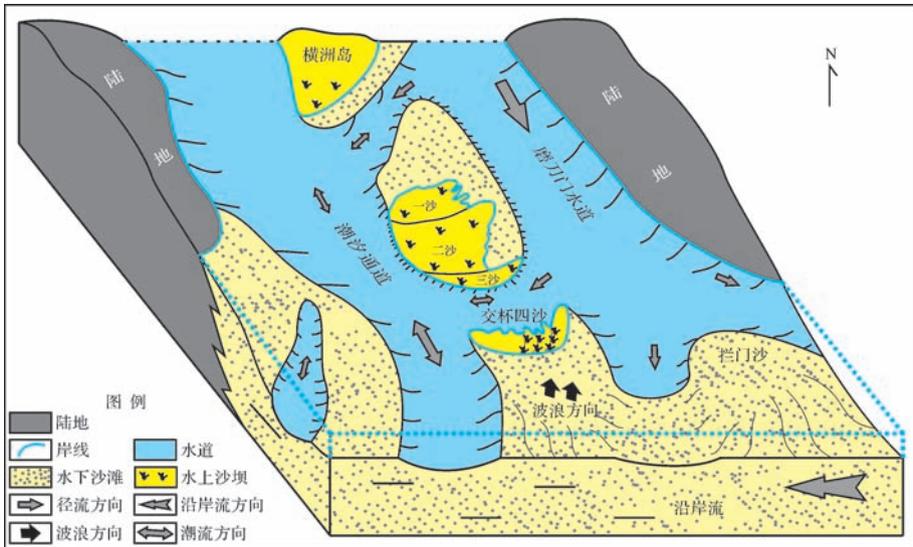


图9 磨刀门河口地区沉积模式图

Fig.9 Sedimentary depositional model of Modaomen Estuary area, Zhujiang river

解河口坝复合砂体的储层非均质性具有重要的意义。

6 结论

(1) 交杯四沙是在珠江磨刀门河口由于潮汐波浪和河流混合作用于河口拦门沙西北侧形成的弧状沙体,根据其滩面和表层特征,可以划分出低潮线以下—低潮位波浪冲洗带—高潮位冲洗带—风暴潮冲洗带—滩顶冲越带—滨后冲越带——冲越扇中部——冲越扇前缘斜坡—分流间凹地区9个区带,9个微地貌单元代表了9个微相分区。

(2) 交杯四沙滩面沉积物主要以细砂和粉砂为主,分选中等,其中较粗粒组分的分选较好而细粒组物质分选较差,矿物成分主要为石英和黏土矿物,黏土矿物主要为伊蒙混层和伊利石。

(3) 磨刀门主河槽和灯笼沙和白藤海至三灶岛东侧潮道构成了两种独特的分流河道类型。二者之间交杯四沙以北构成了分流间湾环境。河口拦门沙沉积物被河槽底流向西搬运形成交杯沙浅滩沉积,交杯沙的东南面受东南向波浪的作用发生侵蚀,向陆迁移与陆地相连。

(4) 交杯四沙在波浪、潮流和河流的共同作用下,前坡侵蚀后坡堆积,不断向陆后退,不断加大,逐步向岸推进与交杯三沙相连。预计磨刀门水道西侧浅滩区将逐步演变成由一系列反曲沙脊和潮滩相间而成的三角洲“滩—脊”平原。

致谢 感谢中山大学李春初教授的野外指导,感谢中国海洋石油总公司施和生教授等在野外考察中讨论和帮助,感谢中海油深圳公司研究院提供的现代沉积考察的机会。

参考文献(References)

- 刘红,何青,吉晓强,等. 波浪共同作用下潮滩剖面沉积物和地貌分异规律——以长江口崇明东滩为例[J]. 沉积学报, 2008, 26(5): 833-843. [Liu Hong, He Qing, Ji Xiaoqiang, et al. Sediment and geomorphology differentiation of tidal flat profiles combined wave and current actions: A case of the east Chongming tidal flat, Changjiang estuary[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 833-843.]
- 马柯尔. 海滩过程与沉积作用[M]. 邱建立,译. 北京:海洋出版社, 1985:1-5. [Maikel P D. Beach Process and Sedimentation[M]. Qiu Jianli, trans. Beijing: China Ocean Press, 1985: 1-5.]
- 吴文中,赵煊庭. 从沉积物的矿物分析论珠江河口湾伶仃洋的泥沙来源[J]. 热带海洋, 1982, 1(2): 97-110. [Wu Wenzhong, Zhao Huanting. On silt sources of Lingdingyang of the Zhujiang (Pearl River) estuary by means of mineralogical analyses of the sediments[J]. Tropic Oceanology, 1982, 1(2): 97-110.]
- Rodriguez A B, Rodriguez P L, Fegley S R. One-year along-beach variation in the maximum depth of erosion resulting from irregular shoreline morphology[J]. Marine Geology, 2012, 291-294: 12-23.
- 黄镇国,张伟强. 珠江河口磨刀门的整治与地貌演变[J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21(6): 61-65, 73. [Huang Zhenguo, Zhang Weiqiang. The administration and geomorphological evolution in Modaomen river mouth of Zhujiang estuary[J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(6): 61-65, 73.]
- 吕海滨,吴超羽,任杰,等. 四十年来磨刀门河口水动力对地形的响应[J]. 海洋通报, 2007, 26(1): 20-27. [Lü Haibin, Wu Chaoyu, Ren Jie, et al. Hydrodynamic change with the topographic evolution in the “Modaomen” estuary during the last forty years[J]. Marine Science Bulletin, 2007, 26(1): 20-27.]
- 戴志军,李春初. 华南弧形海岸动力地貌过程[M]. 上海:华东师范大学出版社, 2008:35-64. [Dai Zhijun, Li Chunchu. Morphodynamical Processes of Arc-Shaped Coast in South China[M]. Shanghai: Press of East China Normal University, 2008: 35-64.]
- 贾良文,任杰,徐治中,等. 磨刀门拦门沙区域近期地貌演变和航道整治研究[J]. 海洋工程, 2009, 27(3): 76-84. [Jia Liangwen, Ren Jie, Xu Zhizhong, et al. Morphological Evolution in recent years and waterway regulation of the sandbar area in the Modaomen estuary[J]. The Ocean Engineering, 2009, 27(3): 76-84.]
- 李春初,雷亚平,何为,等. 珠江河口演变规律及治理利用问题[J]. 泥沙研究, 2002(3): 44-51. [Li Chunchu, Lei Yaping, He Wei, et al. Evolutional processes of the Pearl River estuary and its protective regulation and exploitation[J]. Journal of Sediment Research, 2002(3): 44-51.]
- 吕晓光,李长山,蔡希源,等. 松辽大型浅水湖盆三角洲沉积特征及前缘相储层结构模型[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 572-577. [Lü Xiaoguang, Li Changshan, Cai Xiuyan, et al. Depositional characteristics and front facies reservoir framework model in Songliao shallow lacustrine delta[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4): 572-577.]
- 尹太举,张昌民,陈程,等. 建立储层流动单元模型的新方法[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 170-175. [Yin Taiju, Zhang Changmin, Chen Cheng, et al. A new method for founding the model of flow unit reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 170-175.]
- 王改云,杨少春,廖飞燕. 河口坝砂体储层非均质性及剩余油分布[J]. 断块油气田, 2006, 13(5): 18-19. [Wang Gaiyun, Yang Shaochun, Liao Feiyan. Reservoir heterogeneity and remaining oil distribution of debouch bar reservoir[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2006, 13(5): 18-19.]
- Dixon J F, Steel R J, Olariu C. A model for cutting and healing of deltaic mouth bars at the shelf edge: mechanism for basin-margin accretion[J]. Journal of Sedimentary Research, 2013, 83(3): 284-299.
- Tye R S, Hickey J J. Permeability characterization of distributary mouth bar sandstones in Prudhoe Bay field, Alaska; how horizontal cores reduce risk in developing deltaic reservoirs[J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(3): 459-475.

- 15 Fielding C R, Trueman J D, Alexander J. Sharp-based, flood-dominated mouth bar sands from the Burdekin river delta of Northeastern Australia: extending the spectrum of mouth-bar facies, geometry, and stacking patterns [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2005, 75 (1): 55-66.
- 16 何文祥, 吴胜和, 唐义疆, 等. 河口坝砂体构型精细解剖 [J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(5): 42-46. [He Wenxiang, Wu Shenghe, Tang Yijiang, et al. Detailed architecture analyses of debouch bar in Shengtuo oilfield, Jiyang depression [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(5): 42-46.]
- 17 梁娟, 李春初, 王世俊. 珠江磨刀门河口底质沉积特征及其泥沙运移趋势 [J]. *海洋通报*, 2006, 25(5): 57-63. [Liang Juan, Li Chun-chu, Wang Shijun. Analysis on the sedimentary characteristics and sediment transport patterns of Modaomen estuary of the Pearl River [J]. *Marine Science Bulletin*, 2006, 25(5): 57-63.]
- 18 刘宝珺. 沉积岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 1980: 49-60. [Liu Baojun. *Sedimentary Petrology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980: 49-60.]
- 19 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学 [M]. 3 版. 北京: 石油工业出版社, 2001: 48-72. [Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. *Sedimentary Petrology* [M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 48-72.]
- 20 胡达, 李春初, 王世俊. 磨刀门河口拦门沙演变规律的研究 [J]. *泥沙研究*, 2005(4): 71-75. [Hu Da, Li Chunchu, Wang Shijun. Study on evolutionary processes of the sand bar in Modaomen estuary [J]. *Journal of Sediment Research*, 2006(4): 71-75.]
- 21 李春初. 珠江口磨刀门的河口动力与沉积 [J]. *热带地理*, 1983(1): 27-34. [Li Chunchu. Dynamic landform and sedimentation of Modaomen estuary of Pearl River [J]. *Tropical Geography*, 1983(1): 27-34.]
- 22 王世俊. 珠江磨刀门河口研究现状与展望 [J]. *人民长江*, 2013, 44(21): 19-23. [Wang Shijun. Research status and prospect of Modaomen estuary of Pearl River [J]. *Yangtze River*, 2013, 44(21): 19-23.]
- 23 王世俊, 胡达, 李春初. 磨刀门河口近期演变及其排洪效应 [J]. *海洋通报*, 2006, 25(2): 21-26. [Wang Shijun, Hu Da, Li Chunchu. The recent evolution of Modaomen estuary and its effect on flood drainage [J]. *Marine Science Bulletin*, 2006, 25(2): 21-26.]

Present Deposits and Its Formation of No.4 Jiaobei Sand at Modaomen Estuary, Zhujiang River

ZHANG ChangMin¹ ZHU Rui¹ LIU JiangYan¹ DU JiaYuan² LI ShaoHua¹ LI XiaoPing²

(1. College of Geoscience, Yangtze University, Wuhan 430100, China;

2. Shenzhen Branch, CNOOC, Guangzhou 510240, China)

Abstract: Present sediments investigation have identified 9 microgeomorphic units on the surface of No.4 Jiaobei Sand, Modaomen estuary, Zhujiang river, which represent 9 microfacies of this sand. These microgeomorphic units and microfacies include: (1) subwater zone, (2) lower tidal swash-backwash zone, (3) higher tidal swash-backwash zone, (4) storm swash-backwash zone, (5) bar top washover zone, (6) backshore washover zone, (7) middle washover fan, (8) marginal washover fan and (9) inter-distributary wetland. Sediments are mainly fine to silty sand with middle to poorly sorting, minerals are mainly quartz and clay. The fluvial dominated Modaomen main channel developed in the east of the Jiaobei 4 sand while a tidal channel developed along from Baitenghai to Denglongsha and Sanzao island in the west. The southeastward wave played a dominate role in the south of Jiaobei 4 sand and an inter distributary wetland was situated between No.3 and No.4 Jiaobei sand area. Similar processes have been for forming No. 4 and other Jiaobei sands. Bottom current within the main channel transported the mouth bar sediments laterally to form a shoal in the right side of the channel, then the shoal was reconstructed into cup-like No.1 Jiaobei sand by tidal and wave. The wave eroded the shore face of the No.1 Jiaobei sand and deposited the sediment at the wave-shaded area, which make the sand accrete landward and then form the No.2, No.3 and No.4 Jiaobei sand in front of it one after another. No.1, No.2 and No.3 Jiaobei sand are now connected to form Jiaobei island above the sea. The No.4 Jiaobei sand may connect with No.3 Jiaobei sand, and then a new No.5 Jiaobei sand will appear in the future. As a result, the western bank of the Modaomen main channel will be changed into a sand ridge plain with tidal flat and recurved ridges.

Key words: mouth bar; microgeomorphic units; microfacies; Zhujiang river; present deposits



图版 I 说明 A.交杯 4 沙迎浪面,低潮位波浪冲洗带和低潮线水面的分界线,整体地势较平坦,略呈低角度向海倾斜;B.低潮位水面附近,可见枯死的芦苇茎秆,滩面上多见贝壳碎片;C.交杯 D 沙迎浪面,地势向海倾斜,从海向沙坝可划分为低潮线以下、低潮位波浪冲洗带、高潮冲洗带和风暴潮冲洗带,低潮位波浪冲洗带比较干净,而高潮冲洗带上可见大量漂浮物沿岸线分布,风暴潮冲洗带相对较干燥;D.低潮位波浪冲洗带中出露未埋藏的枯死芦苇茎秆,且发育大量贝壳碎片;E.高潮冲洗带滩面有大量芦苇茎秆、生活垃圾以及其他海上漂浮物沿岸线呈带状分布;F.高潮冲洗带滩面上发育的泥质团块,外部为沙质包壳,其间可见有介壳类生物碎片;G.高潮冲洗带滩面上发育的泥质团块的横断面,内部为灰黑色泥质沉积,有机质含量较高,外部沙质包壳较薄,约 1~2 mm;H.风暴潮波浪冲洗带,地形坡度明显变陡,滩面干净平坦干燥,有零星植物茎秆;I.风暴潮波浪冲洗带发育有水平层理和波状层理;J.风暴潮冲洗带和滩顶冲越带的分界,滩顶冲越带位于沙坝顶部,可见较多漂浮物沿岸线分布;K.滩顶冲越带中发育的生物钻孔,直径 1 cm 左右,滩面上可见生物成因的球粒;L.滨后冲越带和冲越扇中部的分界线,滨后冲越带地形向沙坝内侧倾斜,滩面干燥,冲越扇中部则发育有较多芦苇,可见障碍痕;M.沙坝内侧,可识别出滨后冲越带、冲越扇中部、冲越扇前缘斜坡及冲沟,冲越扇的中部地带靠近沙滩内侧斜坡下部,滩面坡度变缓,地形相对平坦,冲越扇前缘斜坡表层潮湿,坡度较大;N.沙坝内侧,可见冲沟发育,冲沟表层见灰黑色泥质沉积,发育有流痕;O.沙坝向分流间凹地区一侧,可识别出冲越扇中部、冲越扇前缘斜坡和分流间凹地区,冲越扇前缘斜坡滩面潮湿,地形急剧变陡大越 40°左右,表面平滑,横向上呈犬牙交错状,分流间凹地区水动力较小,芦苇较为发育;P.分流间凹地区芦苇成排成行生长,生长的排列方向性十分明显。