

文章编号:1000-0550(2014)04-0744-10

东濮凹陷古近系沙河街组三段河口湾沉积亚相之沉积学与痕迹学识别与油气储层^①

吴贤涛 张国成 吴 渤 王 磊

(河南理工大学资源与环境学院 河南焦作 454000)

摘 要 沉积学结合痕迹学研究,识别出东濮凹陷古近系沙河街组三段,存在五类河口湾沉积亚相。这五类亚相都含有斜向异源碎屑层理及海相或咸水痕迹化石。现代和古代河口湾研究证明,斜向异源碎屑层理(Inclined Heterolithic Stratification),是潮汐水流进入河流式河口湾引发波动震荡机制形成的。表现为重复出现,厚在数厘米到数分米的泥/砂对偶层。东濮凹陷文留地区沙河街组三段岩芯研究显示,不同类型的泥/砂对偶层及其所含海相和咸水成因痕迹化石,记录下河口湾上游,受潮汐影响产生水下收缩裂隙和滨岸痕迹化石 *Diplocraterion* 的河流成因砂(亚相 A);河口湾中部,因与最大紊流带相关,出现变形层理和痕迹化石 *Palaeophycos*、*Planolites* 和 *Chondrites* 的泥质沉积(亚相 B、C);河口湾下游,则显示 *Terebellina*、*Rhizocrallium*、*Ophiomorpha*、*Diplocraterion* 等高分异度痕迹化石的海相成因砂(亚相 D、E)。文留地区古近纪油田与北美白垩纪油田的研究和勘探开发说明,河流式河口湾油气资源丰富,识别这类古环境,对寻找油气储层,意义重大。

关键词 河流沉积 泥/砂对偶层 痕迹化石 东濮凹陷 古近系

第一作者简介 吴贤涛 男 1934 年出生 教授 痕迹学、沉积学、古生态学 E-mail:wuxiantao@hpu.edu.cn

中图分类号 P52 **文献标识码** A

0 引言

东濮凹陷位于渤海湾盆地南端,作为克拉通基地上的裂谷型^[1]近海盆地^[2](吴崇筠等,1993),在其 41.5 Ma 的古近纪裂陷期,是像东非裂谷一样,与海不通的陆相盆地,抑或与红海裂谷、加利福尼亚裂谷相似,与海相连。目前陆相论虽是主流意见^[3]但不同声音早已有之,如海漫湖泊说^[4]、海泛说^[2]、海侵说^[5]。以及本文作者提出的海水通道说^[6]内中关键是盆地是否与海相通,如何相通。

渤海湾裂谷盆地在其裂陷期,构造活动内因与其时海面升降变化的外因,应是制约盆地沉积和古地理的最重要双重因素。作为裂谷型近海盆地,最能呈现这种双重制约的古地理响应,是作为海水出入通道的下切谷—河口湾,特别是河流式河口湾(riverine estuary)环境单元的沉积记录,因此查明下切谷—河口湾在渤海湾盆地是否存在,不仅能回答盆地是否与海相通,也关乎厚约 7 000 m 的古近系沉积及其成因的全面认识、古地理真实面貌的重塑,更关乎与海面变化相关联的油气储层的寻找。本文拟就东濮凹陷文

留一桥口区沙河街组三段(古近系)河口湾沉积亚相及其垂向变化,作探索性阐述。

1 研究回顾

东濮凹陷石油勘探始于 1969 年,1970 年开始勘探,1975 年 9 月在濮参 1 井实现突破,至 1987 年已发现 14 个油气田,年产油达 687×10^4 t,气 40×10^8 m³。进入上世纪九十年代,构造型圈闭日益难以寻觅,产量逐年递减。由此,寻找地层型圈闭,便成为关注焦点。

本文研究区位于东濮凹陷东部文留—桥口—东明间(图 1),沙三段厚约 150~400 m 分为下、中、上三部分,下、中部以含盐沉积为特征,由盐岩层、含膏泥岩、钙质页岩、油页岩等多套盐韵律层,侧向则变为砂泥岩组合,含海相超微化石: coccolithus、Reticulofenestra。厚约 1 030~1 800 m。沙三段上部是灰褐色油页岩与砂岩互层,其沉积中心区,亦有厚度不大的盐岩层,顶部出现紫红色泥岩及砂岩组合。本文研究集中于沙三段上部(图 2)。陈晓东等人(1983)认为沙三段为滨、浅、深湖及水下冲积扇沉积。常承永、

^①国家自然科学基金项目“渤海湾盆地古近纪海水出入的痕迹学标志及河口湾识别”(批准号:41172094)资助

收稿日期:2013-05-31;收修改稿日期:2013-08-29

庞增福、薛淑浩、顾家裕等人(1985)认为,东濮凹陷沙三段由三角洲相、湖泊相和浊积相及浊流水道、水道间沉积组成。

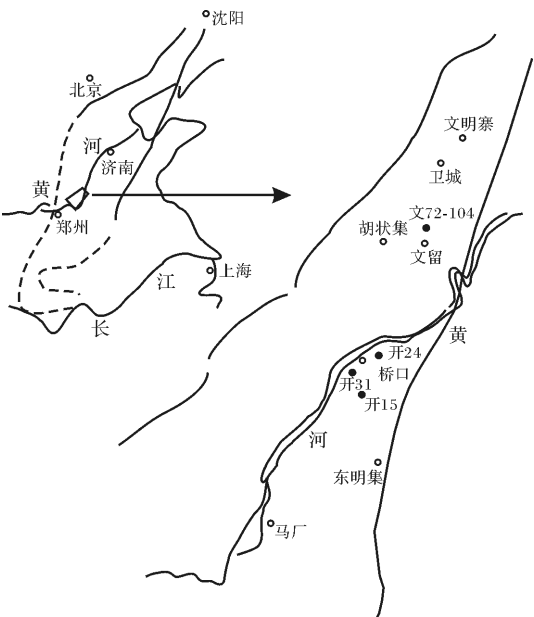


图1 研究区及井孔位置图

Fig.1 Geographic position of the study area and wells

陈晓东、常承永等人的工作,奠定了该区沉积环境研究基础。他们对沙三段的湖盆属性,虽各有偏重,但都未产生歧义。作者于上世纪九十年代,提出该地区存在河口湾环境及其沉积学和痕迹学实据^[6~8]。近来随着国内外对下切谷—河口湾体系的研究日益重视,研究程度快速深入,进一步将文留—桥口—东明间沙三段沉积环境真实面貌,作深入探索,相信有利于在这一地区寻找隐蔽性地层型圈闭。

2 河口湾亚相特征识别与分类

2.1 河口湾亚相特征识别

河口湾是半封闭的滨岸水体,与海有自由通道,且受陆地淡水稀释^[9]。其亚环境包括潮汐水道、潮汐三角洲、潮坪盐沼和潮下海湾。现代河口湾平面相序以环境能量既受潮控又受浪控的法国 Gironde 河口湾雏形建立。主要组成有:陆方一侧的湾头三角洲,海方一侧的河口湾湾口砂体和中间地带(中央盆地)盐楔和沙泥沉积区^[10]。现代河口湾垂向相序,以 Dalrymple^[11] 建立的模式应用较广。在潮控河口湾自下而上由湾头冲积河流点坝,潮汐直流、曲流水道,中央盆地盐楔及海水、河水混合后形成的紊流沉积带及海方一侧潮汐沙坝、沙洲至最上部的冲积河道,完

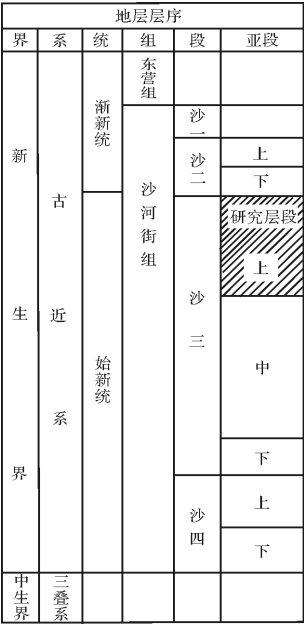


图2 研究层段位置图

Fig.2 Stratigraphic position of the study horizons in Dongpu depression

成一次升降旋回或称内联异源旋回。其主要特征是在垂向剖面上,重复出现砂、泥对偶层组成的具有一定倾斜角度的斜向异屑层理。此类层理在现代和古代河口湾沉积体系中普遍存在^[12~18]。当前研究认为,它是河口湾移动的河流点坝侧向增生发育而成。现代和古代河口湾的研究实例证明,河流式河口湾系统受到潮汐影响,产生波动震荡能量机制,形成了异源性的表现为重复出现的由砂—泥对偶层组成的斜向异屑层理。因此由粗碎屑(主要是粗、中、细砂)和细碎屑(主要是泥、泥拔、粉砂)对偶层组成的斜向异屑层理是识别河流型河口湾的重要标志之一。

除斜向异屑层理外,河口湾中特有的盐水楔和最大紊流带留下的沉积学和痕迹学记录,是识别河流式河口湾另一个重要标志。河口湾的盐水楔是海水和河水在河口湾中央部位混合的楔形产物。此楔形水体,因受制于大潮和小潮、风暴潮及河水注入,并沿河口湾底水道向上游(陆方一侧)和下游(海方一侧)不断移动,此一循环往复格局,导致凝絮状黏土的产生,进而影响生物种群在河口湾环境的生活和繁殖。从而产生不同于海相亦不同于陆相的咸水环境下的痕迹化石组合和其他痕迹学特征;现代河口湾内盐水楔的研究证明,除了侧向循环移动外,其垂向循环移动所形成的最大紊流带已得到确认^[19~22]。当液化泥在最大紊流带聚积并与高凝絮率相结合时,浊流沉积物

和悬浮沉积物,就会在河口湾中央地带沉积^[23,24]。这样,河口湾的三重岩相,即在河口湾上游以河相砂为主,河口湾下游以海相砂为主,中间地带以泥质沉积为主的最大紊流带,这一框架沉积体系,便呈现出来。

2.2 河口湾亚相分类

东濮凹陷文留—桥口—东明地区,沙河街组三段河口湾沉积发育,现以文 72-104 井为主,结合开 15 井、开 24 井等井孔岩芯研究,识别出下列五类河口湾沉积亚相。

(1) 亚相 A

① 沉积学特征

亚相 A 由粗碎屑部分和细碎屑部分组成的对偶层,粗碎屑为粗、中粒砂岩,厚度变化大,一般在 20~80 cm 之间,底部常见大小不等的碳屑,显示向上变细之正粒序,及斜向异屑层理特征(图 3a)。亚相 A 的细碎屑部分,由粉砂质泥岩、粉砂岩构成,见有水下收缩裂隙(图 3b 左上部)及双泥披(图 3b 上部、中部)。

② 痕迹学特征

亚相 A 通常无生无扰动和生物潜穴,尤其是在对偶层的粗碎屑部分更是如此,但在其细碎屑部分,有时可见少数生物潜穴。如开 24 井 3 394.80 m 处,见垂直生物潜穴 *Diplocraterion*,即为一例(图 3b 中部)。

③ 环境解释

亚相 A 水下收缩裂隙的出现,说明沉积水体已

咸化。双泥披的存在,说明河水、海水相互混合咸化,是潮汐水流所导致。垂直生物潜穴 *Diplocraterion* 痕迹化石的出现,表明潮汐带来的海洋生物在亚相 A 沉积区短暂掘穴求生现象亦已呈现,但亚相 A 的对偶层粗中粒砂岩占主导,厚度变化大,且缺失生物痕迹,说明沉积时,河水水流驱动占主导,潮汐驱动的沉积,只是在河水注入少时才出现。同时证明,此时水体盐度降低,加之沉积底质快速移动,故造迹生物尚难长期立足。亚相 A 沉积时的环境位置,推测在河口湾紧靠陆方一侧(图 9)。

(2) 亚相 B

① 沉积学特征

亚相 B 由分选良好的极细砂岩和粉砂岩组成的粗碎屑(图 4 暗色部分)与由粉砂质泥岩组成的细碎屑(图 4 亮色部分)形成砂泥对偶层,厚度较为一致。此其特点一;其二,细碎屑部分纹理常弯曲变形,且多见于细碎屑部分的底部或下部(图 4);其三,细碎屑部分上部常见水流波纹交错层理(图 4 上部);其四,亚相 B 粗、细碎屑两者呈明显接触关系,倾斜角约为 10°。

② 痕迹学特征

亚相 B 的粗碎屑部分,痕迹化石属种单一,且个体较小,仅见 *Palaeophycos*(图 4 中右)及 *Planolites*(图 4 上左、中下)。细碎屑部分,则未见生物潜穴和生物扰动。

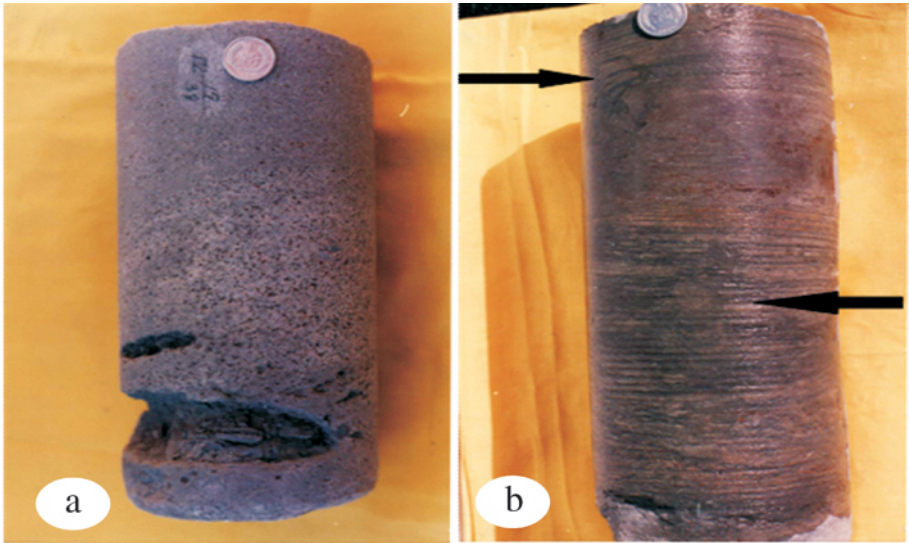


图 3 亚相 A 主要沉积学痕迹学特征(a.粗碎屑部分;b.细碎屑部分)

注:亚相 A 砂、泥对偶层的粗碎屑部分(图 a)由中粗粒砂岩构成。底部之大型炭屑及向上粒度变细显正粒序以及层理之倾角度和痕迹化石之缺失(开 15, S₃, 3 225.10 m)。亚相 A 的细碎屑部分(图 b)由粉砂岩、粉砂质泥岩构成。水下收缩裂隙(图 3b 左上箭头)双泥披以及痕迹化石 *Diplocraterion*(图 3b 中部箭头)上述沉积学痕迹学证据说明,河水、海水相互混合水体已经出现(开 24, 3 394.80 m)。

Fig.3 Sedimentologic and Ichnologic features of subfacies A (a. coarse grained portion; b. fine grained portion)

③ 环境解释

由粗、细碎屑组成的砂、泥对偶层构成的斜向异屑层理在现代和古代地层中,已确认为侧向增生沉积前已述及。对大量斜向异屑层理发育的现代沉积观察和古代地层实例研究表明,它是由河流和河口湾系统在潮汐影响下引发波动能量机制形成的。亚相 B 细碎屑部分沉积纹理弯曲变形,是由于河口湾内,向陆方移动的海水,和向海方移动的河流淡水相遇后,产生垂向循环的结果。这种垂向循环现象在许多现代河口湾都可见到,其特征是由浊流和悬浮沉积作用产生的高凝絮率的液态泥,形成了变形纹理和泥质沉积物的翻腾、搅乱。在这种变形纹理最集中的部位,称为最大紊流带。河口湾内最大紊流带,随河、海水相互混合程度,此消彼长,来回摆动,不但控制了河口湾的循环格局,也影响到动物个体生存环境。由潮汐水流带来的海洋生物,在这种环境压力大的河口湾内(如水体盐度变化大压力,潮涨潮落水体深度和温度起伏大压力)使得造迹生物个体变小,丰度和分异度变低是其特征。亚相 B(文留 72-104 井深 3 200.36 m 处)仅见少量个体小的 *Palaeophycos* 和 *Planolites* 便是一例。

对偶层粗碎屑部分(图 4 暗色者)由分选较好的



图 4 亚相 B 砂泥对偶层特征(文 72-104, 3 200.36 m)

注:上部左侧箭头所指白色小圆点为痕迹化石 *Planolites*, 中右箭头所指黑色小点为痕迹化石 *Palaeophycos*。

Fig.4 Sand/mud couplet features of subfacies B
(Well Wen72-104, 3 200.36 m)

细砂岩夹泥岩构成,含痕迹化石 *Planolites*(图 4 上左箭头)及 *Palaeophycos*(中右箭头)。细碎屑部分(图 4 亮色者)由粉砂质泥岩构成,具变形纹理和搅动的泥质沉积物,且明显表现在细碎屑部分的底部。生物扰动及痕迹化石均少见。粗、细碎屑两部分呈明显接触关系。

(3) 亚相 C

① 沉积学特征

亚相 C 主要沉积特征是斜向单元厚度明显一致,倾斜角度为 16° ,重复出现的砂、泥对偶层中,粗碎屑部分由粉砂岩构成,厚约 2 cm(图 5 暗色部分)细碎屑由泥岩构成(图 5 亮色部分),厚约 4 cm。对偶层中,与亚相 A、亚相 B 比较,亚相 C 由泥岩组成的细碎屑部分占了主导,其厚度大于粗碎屑部分,泥岩中一般少见沉积构造,但局部可见潮汐作用形成的透镜状层理和纯净粉砂以及变形构造(图 5)。亚相 C 整体厚度在 30~50 cm 之间。

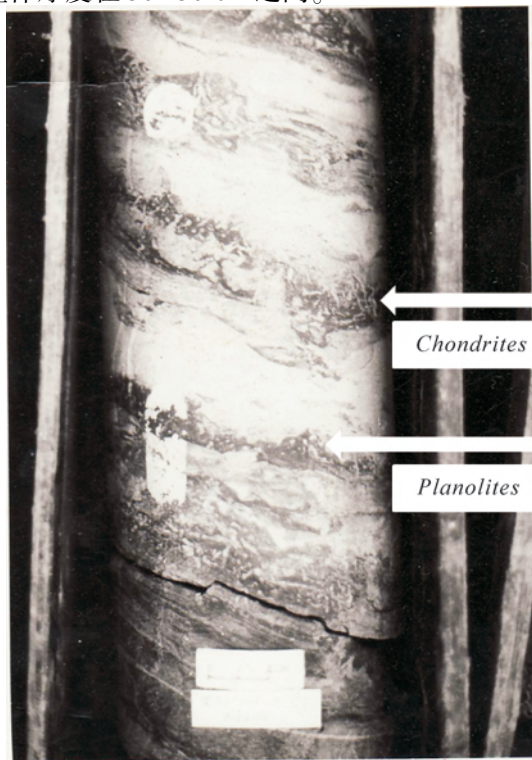


图 5 亚相 C 砂泥对偶层及所含痕迹化石特征

(文 72-104, 3 194.46 m)

注:对偶层粗碎屑部分(暗色者)由粉砂岩构成,细碎屑部分(亮色者)由泥岩构成,其厚度具明显的一致性。粗碎屑部分含痕迹化石 *Planolites* 和 *Chondrites*,且造迹生物建造的潜穴多从细碎屑部分延伸进入。具强生物扰动的粗碎屑部分及弱生物扰动的细碎屑部分。

Fig.5 Sand/mud couplet and trace fossils features of subfacies C
(Well Wen72-104, 3 194.46 m)

② 痕迹学特征

生物潜穴主要见于对偶层中的粗碎屑部分,岩芯中可识别的有 *Planolites* 和 *Chondrites* 这两类痕迹化石丰度虽高(图5暗色部分)。但个体小,分异度低。

③ 环境解释

由砂泥对偶层组成的斜向异屑层理的存在,且对偶层中细碎屑部分占了主导,说明亚相 C 沉积时所在河口湾位置,离陆方远于亚相 B,更远于亚相 A,亦即更接近于河口湾的中央盆地位置^①。

痕迹化石集中于粗碎屑部分而少见于细碎屑部分,表明后者沉积时盐度低而紊流高,底质处于泥质软底的不稳定状态。造迹生物的生存环境压力,仍相对较大,故造迹生物活动痕迹和保存条件,逊于粗碎屑部分。

(4) 亚相 D

① 沉积学与痕迹学特征

亚相 D 除具明显的斜向异屑层理外,倾斜角度为 16° ,砂泥对偶层中,由粉砂质泥岩构成的细碎屑部分,厚度超过 18 cm,远大于亚相 C 的细碎屑厚度。内部可见透镜状层理(图6亮色部分中右)及痕迹化石 *Terebellina*(图6下右)。粗碎屑部分由粉砂岩构成,厚度较薄,约为 5 cm,见有双黏土层构造(图6暗色部分中部)及丘状交错层理。此丘状交错层理,既有上凸弯曲的平行纹理又有下凹弯曲的平行纹理(图6顶部)。粗碎屑部分未见痕迹化石和生物扰动。

② 环境解释

亚相 D 砂泥对偶层的存在,说明亚相 D 延续了亚相 C 的河口湾环境。透镜状层理和丘状交错层理同时存在,表明亚相 D 沉积时,受到潮汐水流和风暴水流的双重影响。典型的海相痕迹化石 *Terebellina* 的出现及砂泥对偶层中超过 18 cm 的泥岩部分,说明亚相 D 沉积环境虽仍处于河口湾中央盆地地区,但可能更靠近海方。

(5) 亚相 E

① 沉积学与痕迹学特征

亚相 E 最重要特征,一是其斜向异屑层理的斜向角度与亚相 B、C、D 相比,明显变小,而与更靠陆方一侧的亚相 A 近似;二是对偶层的细碎屑层段生物潜穴发育,且常越过细碎屑部分边界,向下、向上延伸(图7亮色部分);三是对偶层中无论粗、细部分,潜

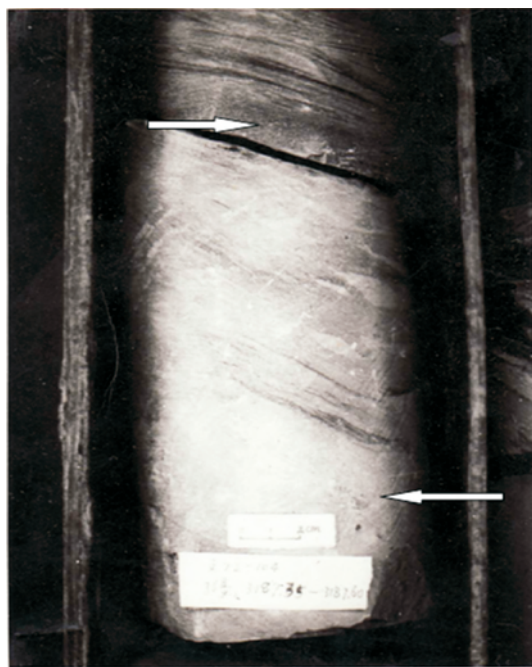


图6 亚相 D 沉积学与痕迹学特征(文 72-104, 3 987.35 m)
注:显示斜向异屑层理明显,砂/泥对偶层中细碎屑部分(亮色者)厚度大于粗碎屑部分(暗色者),细碎屑部分可见透镜状层理(中右)及生物痕迹 *Terebellina*(下右箭头处),粗碎屑部分(暗色者)双黏土层构造(图的上部)及痕迹化石 *Planolites*(上部箭头)。

Fig.6 Sedimentologic and Ichnologic features of subfacies D
(Well Wen72-104, 3 987.35 m)

穴的丰度和分异度都高,因此两者边界常因生物扰动变得模糊;四是细碎屑部分顶部,常见表生生物活动形成的沟、坑(图7亮色部分的顶部);五是出现痕迹化石 *Diplocraterion*(图7上左), *Rhizocrallium*(图7中左), *Ophiomorpha*(图7下), *Terebellina*(图7左下角),属种数量显著增多。

② 环境解释

造迹生物既能在粗碎屑部分活动也能在细碎屑部分活动表明,亚相 E 沉积时与其他河口湾亚相即亚相 A、B、C、D 比较,环境压力已大大降低。海相造迹生物可连续穿越粗、细碎屑部分,说明亚相 E 沉积时,原先的河口湾咸水水体已变得更接近正常的海水水体。因此,不论砂、泥对偶层形成时砂占主导,抑或泥占主导,水体盐度因素对造迹生物形成的环境影响,已无足轻重。

根据上述沉积学和痕迹学特征,亚相 E 被解释为潮汐砂洲(tidal shoal)而与 Allen GP^[10]描述的现

①现代河口湾研究证明,河口湾陆方一侧主要为河口沙坝沙,海方一侧为海浪潮汐淘洗过的海相沙坝,两者之间主要为泥质沉积,称为中央盆地。

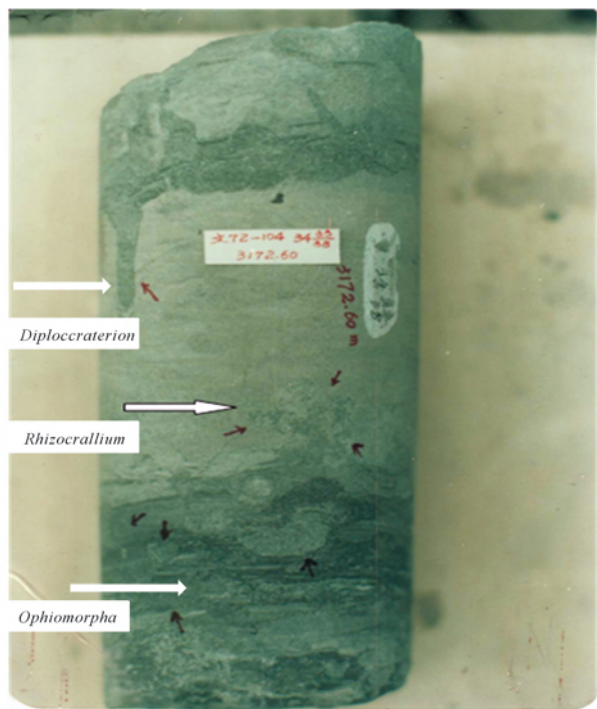


图7 亚相E沉积学与痕迹学特征(文72-104,3172.60 m)

注:显示对偶层倾斜角度明显变小,接近为零。粗、细碎屑部分都含丰富的痕迹化石,且相互穿越。注意生活在粗碎屑部分(暗色)的造迹生物有的向下掘穴如 *Diplocraterion* (上部左侧),有的向上伸展(上部右侧)。粗碎屑部分含痕迹化石 *Ophiomorpha* (下右箭头处)细碎屑部分则可见 *Rhizocrallium* (图中亮色部分下部左侧箭头处)。

Fig.7 Sedimentologic and Ichnologic features of subfacies E (Well Wen72-104, 3172.60 m)

代吉隆德河口湾(Gironde estuary)所见之河口湾湾口砂洲,极为类似。

3 对偶层在河口湾湾头至湾口的变化

对美国大西洋沿岸奥基切河—奥萨堡海湾(Ogeechee-Ossabaw Sound)河流式河口湾的现代痕迹学研究^[25]显示,在河口湾系统内,底栖生物受到众多因素限制。主要是:紊流的水体、底质迁移、液态泥底质、快速沉积以及侵蚀、温度和盐度的上下波动等等,上述河口湾内底质特点变化与上覆水体化学因素变化,可在沉积物记录中找到实据。

首先,不稳定的底质,对生物痕迹记录有双重影响。一是降低在底质上繁殖的潜力和其后的保存。例如,泥质汤底底质,稳固的潜穴便不适宜建造。食沉积物的掠食者,虽然可以出现,但其后底质脱水、压缩,泥质底质受到剪切,便抹去所有这些生物活动留下的痕迹^[26-28];再者,移动的砂质底质,随着底质面

上的快速加积和退积,造迹生物同样难以适应而避之不及,因为在砂体活动期,其驱动能量大,随着砂层的迁移和快速加积,常可将其中潜穴掘开,掩埋而消失。

以上是底质条件这一物理因素对造迹生物形成与保存产生的影响。其次是河口湾盐度变化这一化学因素对造迹生物的影响。Hudson J D^[29]研究表明,珊瑚、头足类、海胆和有铰纲腕足类,不能忍受非海水水体化学环境。另一类生物如多毛类和掘穴的十足类,则可适应咸水环境,还有一些生物,针对盐度变化压力,采取“深挖洞”钻入沉积物与水的界面以下以作缓冲区,来躲避上覆水体盐度变化,给自身带来的伤害。研究表明,水和沉积物界面以下20 cm处,低潮期的海水盐度与高潮期的海水盐度相差甚微。这就是为什么垂直的生物潜穴主要分布在滨岸潮汐地带的因素之一。

在奥基切—奥萨堡海湾河口湾,那里生物群的分异度随盐度低而降低,其丰度则随双周期盐度波动最明显的潮间暴露区降到最小。因之,Howard和Frey^[30]认为河口湾河流淡水一端生物潜穴少见,另一端海方生物潜穴多种多样,河口湾两端盐度梯次变化使得生物群的丰度和分异度也发生相应变化。

图8是东濮凹陷沙河街组三段上部河口湾陆方与海方两端对偶层和生物痕迹的垂向演进记录。亚相A代表河口湾出现初期,对偶层以粗碎屑部分占主导,属于移动的河流砂质点坝。其底质条件既不利于陆生生物更不利于海洋生物的繁育和保存;对偶层的细碎屑部分则不同,见有双泥披构造和下水收缩裂隙,说明这部分沉积物受到海水影响并带来海洋掘穴生物遗留的痕迹 *Diplocraterion*。

从亚相B到亚相E,不难看出,主要由河流驱动的床载沉积物组成的粗碎屑部分,总体在相应减小。而主要由潮汐或风暴驱动的悬浮沉积物的细碎屑部分,则相应增加(如亚相D)最终到河口湾湾口超过粗碎屑部分。河口湾沉积亚相从陆方一侧(亚相A),到海方一侧(亚相E)的横向分布见图9。

河口湾陆海两端生物痕迹丰度和分异度的变化,更为明显。从亚相A仅在细碎屑部分见一种痕迹到亚相E无论粗、细两部分,都可观察到大量生物潜穴和扰动痕迹。

4 河口湾环境消失与三角洲边缘海湾出现

图10是文72-104井钻至3146 m处时采集到的

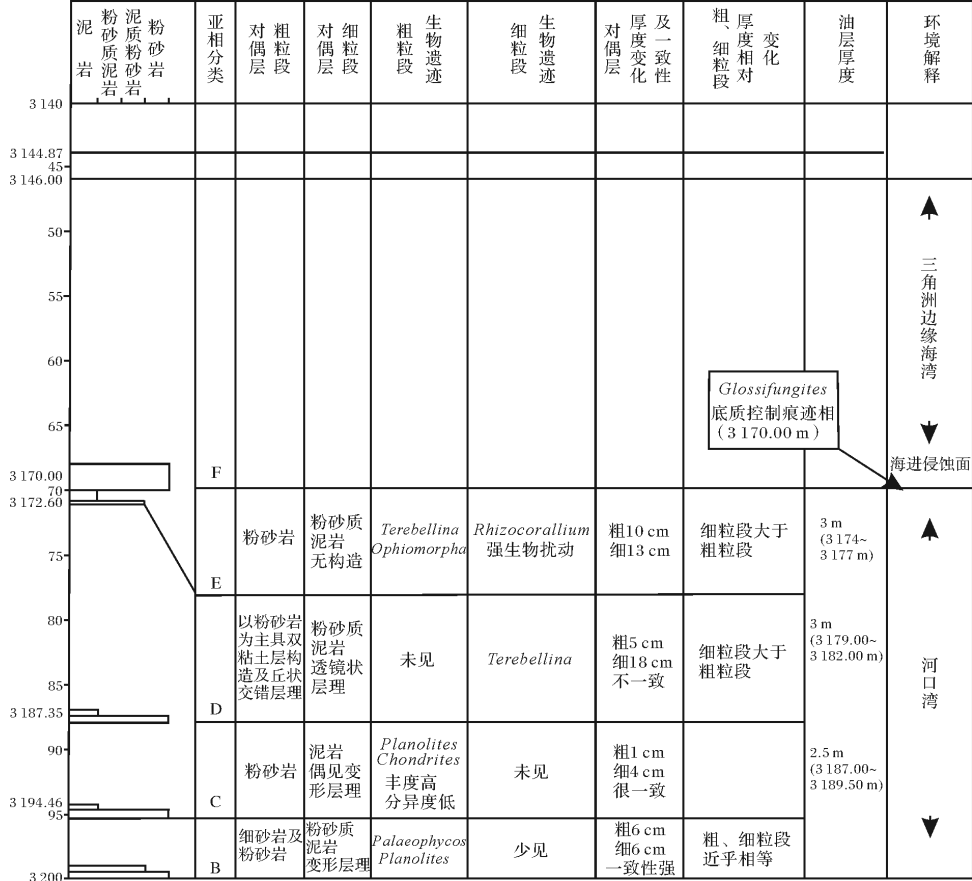


图 8 东濮凹陷北部沙三段上部河口湾亚相砂—泥对偶层特征与环境演替

Fig.8 Estuarine sand/mud couplets features and environmental evolution of the upper part of Division Three, Shahejie Formation, northern Dongpu depression

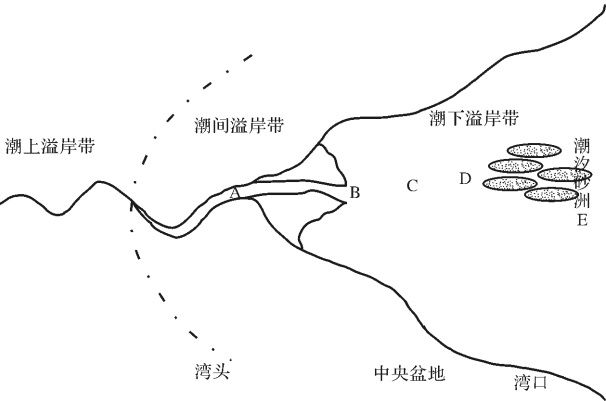


图 9 东濮凹陷沙三段上部河口湾沉积亚相平面分布示意图

Fig.9 Estuarine subfacies distribution in the upper part of Division Three, Shahejie Formation, Dongpu depression

岩芯照片,即在亚相 E(3 171.70 m)之上约 26 m 处,见有密集的海相痕迹化石 *Teichichnus* 和 *Terebellina*,产于深灰色泥质粉砂岩中,此泥质粉砂岩介于 10 m 厚的浅灰色泥岩(下伏)和 4.5 m 厚的褐色泥岩(上

覆)之间。众所周知,*Teichichnus* 是食沉积物生物的进食居住/潜穴,其造迹生物可能为环节动物或蠕虫类生物,其螺形穴(*Spreites*)的潜穴形态,是造迹者在沉积物与水界面以下掘穴时为保持其处于最佳平衡位置,上下迁移形成的。*Teichichnus* 通常是沿海水下环境 *Cruziana* 痕迹相的重要分子,见于咸水环境的潟湖或海湾^[31]。*Terebellina* 则是悬浮进食生物的潜穴,其造迹生物推测为多毛虫类,常见于远端 *Cruziana* 痕迹相,代表泥质海底底质环境下能建造开口的水平管道,用以进食的特有造迹生物,是岸外海相环境特征性生物痕迹之一。文 72-104 井所见之痕迹化石,以 *Teichichnus* 占主导,所产层位上下都为灰色或褐色泥岩,显示水流不畅的闭塞环境,故被解释为三角洲边缘海湾产物。文 72-104 井孔西北侧见有沙三段沉积期形成的北东、南西向前积砂体,环绕其间,支持这一解释,同时生物痕迹 *Terebellina*(图 10 中)个体既小丰度又低,也说明它们生存的环境是水流不正常,海水盐度亦不正常的闭塞海湾环境(图 11)。

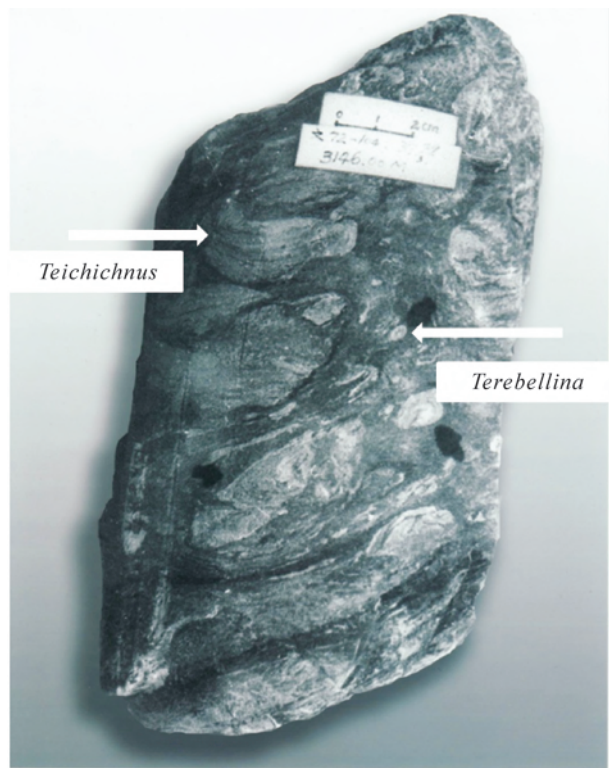


图 10 文 72-104,3 146.00 m 处所见之痕迹化石
(*Teichichnus*, *Terebellina*)

Fig.10 Ichnofossils in well Wen72-104 depth of 3 146.00 m
(*Teichichnus*, *Terebellina*)

5 河口湾沉积与油气储层

本研究区除亚相 A、亚相 B 外,亚相 C 有荧光和油迹显示,而从亚相 D(井深 3 187.40 m)到亚相 E(井深 3 172.60)的 14.75 m 层厚间,含油高达三层,油层厚度自下而上分别为 2 m、6 m、2 m,油层厚达 10 m 之多,足见河流式河口湾是重要的油气聚集区,同样情况在北美白垩系河口湾沉积中,也屡见不鲜。如加拿大阿尔伯特省白垩纪 Viking 油田与河口湾环境相关的下切谷环境和临滨沉积这两类地层型圈闭,储油 18 亿桶,气 $3\ 800 \times 10^8\text{ m}^3$ ^[32]。又如同一个阿尔伯特省的冷湖盆地,下白垩统之大滩组(Grand Rapids Formation)之下切河道和潮汐水道沉积砂体,计算储油达 1 200 亿桶^[33]。

6 结论

利用沉积学与痕迹学综合分析方法,有助于识别东濮凹陷古近系沙河街组三段河流式河口湾五类沉

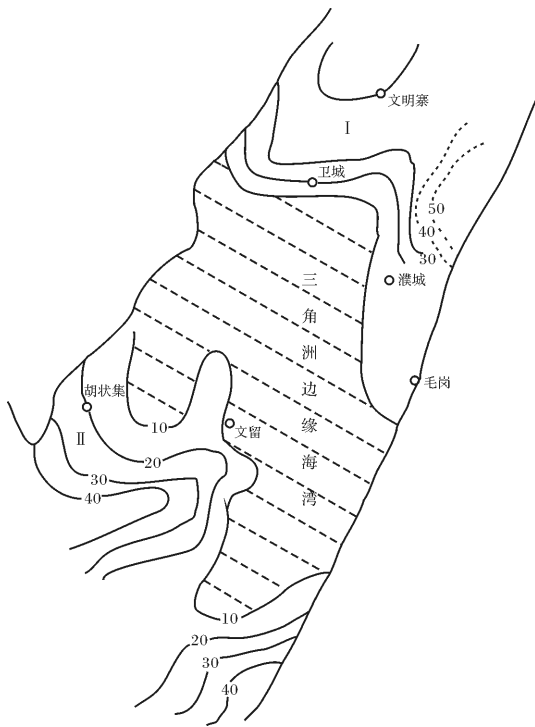


图 11 东濮凹陷沙三段上部三角洲砂体等厚度及
三角洲边缘海湾示意图

I.文明寨—卫城三角洲;II.文留—胡状集三角洲;砂体厚度资料引自常承永等(1985)^①

Fig.11 Isopach map of delta sands and delta margin bay setting from the upper part of Division Three, Shahejie Formation, Dongpu depression

积亚相,在具有斜向异屑层理的沉积中,对所含痕迹化石进行分析,能够识别出从河流入河口湾的湾头到河口湾与海洋衔接处的河口湾湾口沉积亚相的梯度变化,了解斜向异屑层理在河口湾系统内的垂向叠置和水平布局。亚相 D 与亚相 E 在靠近海方一端,砂体纯净,分选良好,国内外研究实例都证明是良好的油气储集砂体,值得特别关注。

致谢 本文研究得以进行和完稿,受益于国家自然科学基金委的资助。中原油田勘探开发研究院蒋飞虎高级工程师宝贵支持,我院曹高社教授、郑德顺教授参与活动 and 讨论,在此一并感谢。

参考文献 (References)

- 1 胡见义,黄第藩. 中国陆相石油地质理论基础[M]. 北京:石油工业出版社,1991:42 [Hu Jianyi, Huang Difan. The Theoretical Basis of Terrestrial Petroleum Geology of China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991: 42]

①常承永,薛淑浩,顾家裕,等. 东濮凹陷下第三系沉积成岩与油气分布(内部资料).石油部石油勘探开发科学研究院地质所,1985

- 2 吴崇筠,薛书浩. 中国油气盆地学[M]. 北京:石油工业出版社, 1993:163 [Wu Chongjun, Xue Shuhao. Sedimentology of Oil-bearing Basins in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993:163]
- 3 李丕龙,等. 陆相断陷盆地油气地质与勘探(卷2):陆相断陷盆地沉积体系与油气分布[M]. 北京:石油工业出版社,2003 [Li Pilong, *et al.* Petroleum Geology and Exploration of Continental Fault Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003]
- 4 陈绍周,高兴辰,丘东洲. 中国早第三纪海陆过渡相[J]. 石油天然气地质,1982,3(4):343-350 [Chen Shaozhou, Gao Xingchen, Qiu Dongzhou. A preliminary study on China's Eocene transitional facies [J]. Oil & Gas Geology, 1982, 3(4): 343-350]
- 5 龚松余,卢兵力,陈永成. 中国东部晚白垩至早第三纪海侵[J]. 海洋地质与第四纪地质,1994,4(1):97-121 [Gong Songyu, Lu Bingli, Chen Yongcheng. In eastern China Late Cretaceous transgression occurred periodically during Eocene [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1994, 4(1): 97-121]
- 6 吴贤涛,任来义. 渤海湾盆地古近纪海水通道与储层探新[J]. 古生物学报,2004,43(1):147-154 [Wu Xiantao, Ren Laiyi. The Tertiary seaway and new reservoir probe in Dongpu depression as well as its surrounded basins [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2004, 43(1): 147-154]
- 7 吴贤涛,林又玲,潘结南. 东濮凹陷两种新储层类型—沙河街组河口湾的识别与储层预测[J]. 古地理论,2000,2(3):52-58 [Wu Xiantao, Lin Youlin, Pan Jienan. Two new reservoir types in Dongpu depression—the recognition of estuarine system and reservoir prediction in Tertiary Shahejie Formation [J]. Journal of Palaeogeography, 2000, 2(3): 52-58]
- 8 吴贤涛. 痕迹化石在识别东濮凹陷古近纪河口湾环境和下切谷中的作用[J]. 古生物学报,2005,44(4):599-610 [Wu Xiantao. The role of trace fossils in detecting the Paleogene estuary environment and incised valley of Dongpu depression, East China [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2005, 44(4): 599-610]
- 9 Prichard D W. What is an estuary: physical viewpoint [J]. Estuaries Science, 1967, 83: 3-5
- 10 Allen G P. Sedimentary processes and facies in the gironde estuary: A recent model for macrotidal estuarine system [C] // Smith D G, Reinson G E, Zaitlin B A, *et al.* Clastic Tidal Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists, 1991, Memoir 16: 29-40
- 11 Dalrymple R W, Zaitlin B A, Boyd R. Estuarine facies Models: conceptual basis and stratigraphic implications [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1992, 62(6): 1130-1146
- 12 Oomkens E, Terwindt J H J. Inshore Estuarine Sediments in the Haringvliet (Netherlands) [J]. Geologica Mijknown, 1960, 39(11): 701-710
- 13 Horne J C, Fern J C, Caraccio E T, *et al.* Depositional models in coal exploration and mine planning in the Appalachian region [J]. AAPG Bulletin, 1978, 62(12): 2379-2411
- 14 Puigdefabregas C, Van Vlier A. Meandering Stream Deposits from the Tertiary of the South Pyrenees [C] // Miall A D. Fluvial Sedimentology. Alberta, Canada: Mc Ara Printing Limited, 1978: 469-486
- 15 De Mowbray T. The genesis of lateral accretion deposits in recent intertidal mudflar channels Solway, Firth, Scotland [J]. Sedimentology, 1983, 30(3): 425-435
- 16 Flach P D, Mossop G D. Depositional environments of the Lower Cretaceous McMurray formation, Athabasca oil sands, Alberta [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(8): 1195-1207
- 17 MacEachern J A. Estuarine channel deposition within the Lower Cretaceous Waseca Formation, Upper Mannville Group, Lloydminster area, Saskatchewan [M]. Modern and Ancient Examples of Clastic Tidal Deposits: A Core and Peel Workshop, 1989: 50-59
- 18 Curtis D. Lettley, George S. Pemberton, Marrag K. Gingras, *et al.* Integrating sedimentology and Ichnology to shed light on the system dynamics and palaeogeography of ancient riverine estuary [M]. Special Publications of SEPM, 2009: 144-162
- 19 Postma H. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment [C] // Lauff G H. American Association for the Advancement of Sciences, 1967, 83: 336-340
- 20 Schubel J R. Turbidity Maximum of northern Chesapeake Bay [J]. Science, 1968, 161: 1013-1015
- 21 Dörjes J, Howard J D. Fluvial-marine transition indicators in an estuarine environment- Ogeechee River-Ossabaw Sound [J]. Senckenbergiana Maritima, 1975, 7: 137-179
- 22 Jouanneau J M, LaTouche C. The Gironde Estuary [M]. Contributions to Sedimentology, 1981, (10): 115
- 23 Kranck K. Particulate matter grain-size characteristics and flocculation in a partially-mixed estuary [J]. Sedimentology Geology, 1981, 28(1): 107-114
- 24 Dyer K R. Coastal and estuarine sediment dynamics [J]. Geological Journal, 1986, 342
- 25 Howard J D, Elders C A, Heinbrokel J F. Animal-sediment relationships in estuarine point bar deposits, Ogeechee River-Ossabaw sound, Georgia [J]. Senckenbergiana Maritima, 1975, 7: 181-203
- 26 Ekdale A A, Bromley R G, Pemberton S G. Ichnology: Trace Fossils Maritima in sedimentology and Stratigraphy [M]. SEPM Short Course, 1984: 317
- 27 Ekdale A A, Muller L N, Norak M T. Quantitative Ichnology of Modern pelagic deposits in the abyssal Atlantic [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1984, 45(2): 189-223
- 28 Maceachern J A. Marine and marginal marine mudstone deposits: palaeoenvironmental interpretations based on the integration of ichnology [J]. Society for Sedimentary Geology (SEPM), 1999, 64: 205-225
- 29 Hudson J D. Salinity from faunal analysis and geochemistry [J]. Palaeobiology A Synthesis. Blackwell Science, Cambridge, 1990, 406-408
- 30 Howard J D, Frey R W. Characteristic physical and biologic sedimentary structures in geologists bulletin [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1973, 1169-1184
- 31 Pemberton S G, John C, Van Wagoner, *et al.* Ichnofacies of Wave-Dominated Shoreline [M]. Society for Sedimentary Geology (SEPM), 1992, (6): 339-382
- 32 Simon A J Pattison. Recognition and Interpretation of Estuarine Mudstones (Central basin mudstones) in the Tripartite Valley-fill Deposits

of the Viking Formation Central Alberta[M]. Society for Sedimentary Geology(SEPM), 1992:223-245

33 Bruce M. Beynon, S. George Pemberton. Ichnological Signature of

Brackish Water Deposits: An example from the Lower Cretaceous Grand Rapids Formation, Cold Lake Sands area, Alberta[M]. Society for Sedimentary Geology(SEPM), 1992:199-221

Sedimentological and Ichnological Recognition of Estuarine Subfacies and Its Reservoir Implications in Palaeogene Shahejie Formation from Subdivision Three Dongpu Depression, Henan, China

WU Xian-tao ZHANG Guo-cheng WU Bo WANG Lei

(Institute of Resources & Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000)

Abstract: Five subfacies(A-E) which are all contained Inclined Heterolithic Stratification (IHS) and marine, brackish water traces have been found in Shahejie Formation Subdivision 3(Palaeogene) Dongpu depression, Henan, China. It is widely accepted that IHS invoke a tidal influence on a fluvial or estuarine system to provide the fluctuating regime required to produce the heterogeneous bedding which typically consists of repetitive sets of mud/sand couplets on a scale of centimeters to decimeter. Various mud/sand couplets with trace fossils of marine origin present in the wells located in Wenliu area of Dongpu depression clearly recorded a fluvial sourced sand containing syneresis and Diplocraterion traces in the upper estuary (subfacies A) muddy sediments with distortion of laminated material related to turbidity maximum and trace fossils of *Palaeophycos*, *Planolites* as well as *Chondrites* (SubfaciesB, C) and sand sourced from seaward consists of trace fossils of *Terebellina*, *Rhizocorallium*, *Ophiomorpha*, *Terebellina* in the lower estuary(subfacies D, E). They are interpreted as estuarine deposits based on sedimentologic and Ichnologic analysis. Examples both in home (Wenliu, Henan) and abroad (North America) show that sand sourced from seaward in the lower estuary are good target for hydrocarbon exploration.

Key words: estuarine deposits; mud/sand couplets; trace fossils; Dongpu depression; Palaeogene