

文章编号: 1009-3850(2005)04-0087-08

渤中 25-1 南油田浅水三角洲各微相粒度特征分析

加东辉^{1,2}, 吴小红¹, 赵利昌², 周士科²

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 中国海洋石油天津分公司, 天津 塘沽 300452)

摘要: 本文以测井相为手段, 通过对渤中 25-1 南油田某评价井粒度资料的分析, 揭示了浅水三角洲各微相的粒度特征, 并在此基础上对不同微相和同一微相不同部位的粒度特征进行了比较, 阐述了差异的原因。分析结果表明, 浅水三角洲的粒度累计曲线形态和粒度 C-M 图特征有别于曲流河和普通河控三角洲, 体现了浅水三角洲独特的水动力特征。

关键词: 渤中; 浅水三角洲; 微相; 粒度分析

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

渤中坳陷上第三系以三角洲砂体为主要储层的巨型油气藏正引起越来越多石油工作者的重视和关注^[1]。随着渤中坳陷勘探开发的深入, 发现渤中 25-1 南油田还广泛发育着一种特殊的三角洲类型, 即浅水三角洲。浅水三角洲是指在水体浅、地形平缓部位形成的以分支流河道砂体为主体的三角洲类型^[2]。渤中 25-1 南油田明化镇组下段的砂体构成特征与典型三角洲不同, 具独特的沉积特征。平面上呈带状, 下切作用不明显; 侧向上砂体呈“藕断丝连”排列; 同一时期发育多个砂体, 但砂体之间又被河道侧翼的粉砂质泥岩或泥岩相隔; 与砂体互层的泥岩(从岩心中观察)多为灰绿色、灰色, 局部夹紫色, 在一些泥岩中可见典型的淡水动植物化石; 河道存在明显的分叉现象。上述特征指示其沉积背景为平缓的近湖环境, 而砂体的测井相特征又与河流相似, 受湖水的影响较弱, 以分支流河道砂体为主。目前河流相和普通三角洲相的粒度特征研究已十分深入, 但浅水三角洲方面的研究和报道却少见。

不同的测井曲线对不同的岩性有不同的测井响应, 而不同的岩性组合也表现出了不同的测井曲线形态。参考岩心资料, 建立典型测井曲线形态分别

对应的“测井相”, 从而使“测井相”与“沉积相”一一对应, 这是使各层段岩性粒度分析转化为相对应的沉积微相粒度分析的一种有效的手段。经岩心对比, 比较各种测井方法, 自然电位在该地区应用良好, 它既可以反映岩性变化, 也可以指示相变, 是建立测井相可以依据的一套测井方法。

1 A 井概况

渤中 25-1 南油田 A 井是渤中 25-1 南油田的一口评价井, 已作了较为齐全的粒度测试。前人研究表明, 沉积岩的粒度主要受搬运介质、搬运方式、沉积环境等因素的控制, 而这些正是沉积环境研究的重要方面。进行粒度分布研究, 可以明确搬运介质性质、搬运介质的能量情况、搬运方式以及沉积作用特征等。在研究古环境中, 由于岩石已发生成岩作用, 成岩后生作用会歪曲粒度分析曲线的形状, 影响粒度分析。A 井所取样品埋藏较浅, 岩心观察显示岩石为松散状, 表明成岩作用影响不大, 因此粒度分析可较为准确地反映原沉积时期水动力及沉积物源特征。

A 井钻深 2407.7m, 主要目的层为新近系上新

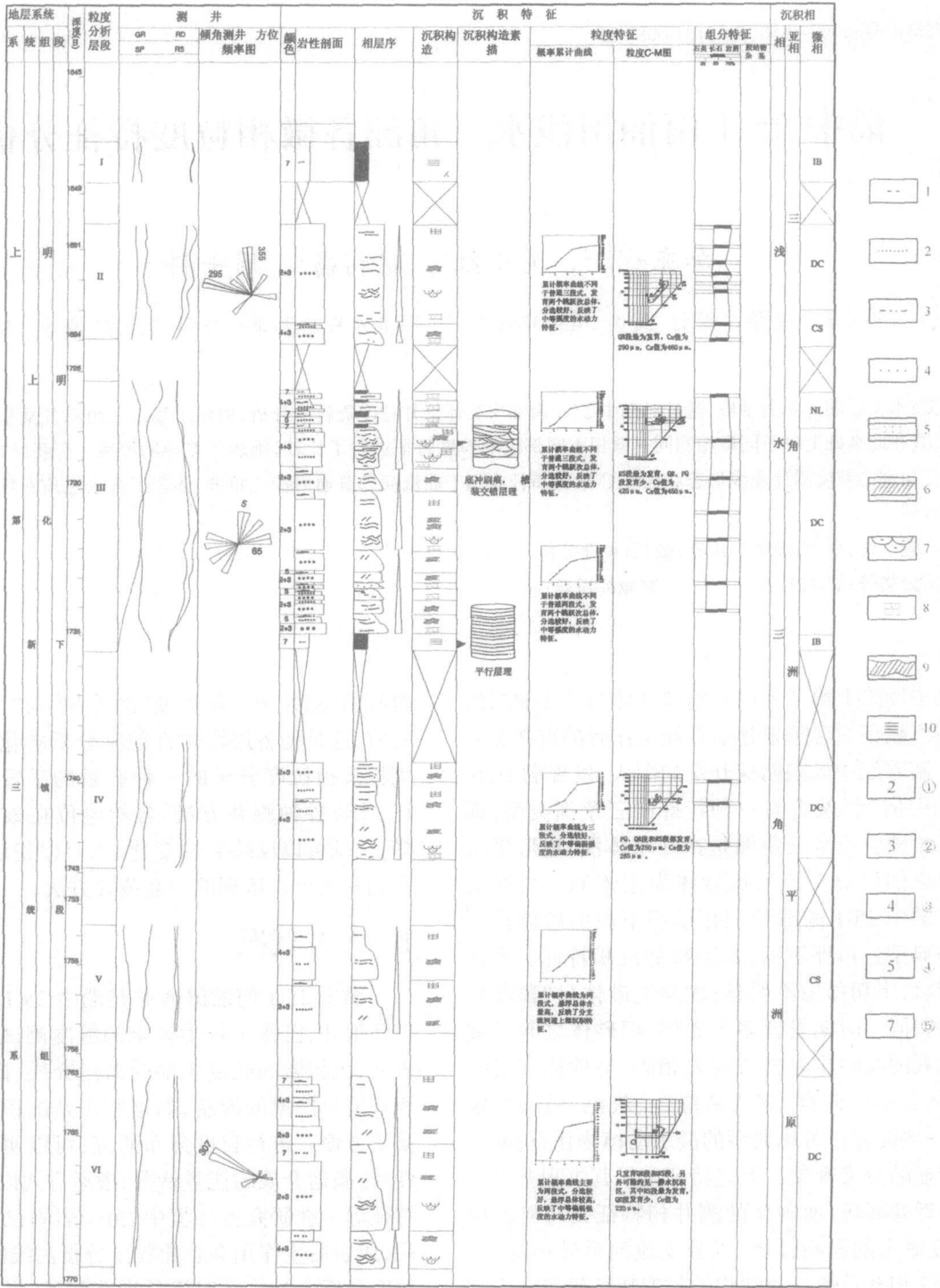


图 1 A 井明下段单井分析剖面图

1. 泥岩; 2. 细砂岩; 3. 粉砂质泥岩; 4. 中砂岩; 5. 块状层理; 6. 斜层理; 7. 槽状交错层理; 8. 平行层理; 9. 波状交错层理; 10. 水平层理。①. 紫色; ②. 褐色; ③. 黄色; ④. 灰绿; ⑤. 灰色。IB. 分支流河道间湾; DC. 分支流河道; NL. 天然堤; CS. 决口

Fig. 1 Vertical profiles showing the single well facies analysis of Well A in the lower part of the Minghuazhen Formation
1= mudstone; 2= fine-grained sandstone; 3= silty mudstone; 4= medium-grained sandstone; 5= massive bedding; 6= oblique bedding; 7= trough cross-bedding; 8= parallel bedding; 9= wavy cross-bedding; 10= horizontal bedding. ①= purple; ②= brown; ③= yellow; ④= grayish green; ⑤= grey. IB= interdistributary bay; DC= distributary channel; NL= natural levee; CS= crevasse

统明化镇组 IV、V、V 油组, 各类测井资料齐全。取心井段 7 段, 共长 22.06m, 其中有 6 段由中海石油研究中心渤海研究院实验室做了粒度分析, 主要岩石类型为中细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩(图 1)。全岩分析 3 段, 岩石组分有: 石英, 含量为 27%~68%; 长石, 主要是钾长石和斜长石, 含量为 12%~57%; 粘土矿物, 局部含量高达 40%~58%, 一般为 1%~7%。此外在一些层段还含有少量的硬石膏、白云石、海泡石等。

2 沉积微相类型

根据岩心观察、化验资料分析、砂体的几何形态和测井曲线资料, 并结合周边井的各类地质资料, A 井中可识别以下几种微相类型: 分支流河道微相、天然堤微相、决口微相、分支流间湾微相等。河口坝微相和远砂坝微相未见, 这表明浅水三角洲主要发育三角洲平原亚相, 三角洲前缘亚相和前三角洲亚相不太发育^[3]。

1. 分支流河道微相

该微相在 A 井中十分发育, 是储层的主要组成部分, 以中细砂岩沉积为主, 为中细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和少量泥岩的组合, 垂相上具向上逐渐变细的正旋回层序特征(图 1)。SP 曲线呈钟形或箱形(图 2A、B、C), 底部多呈平缓渐变式, 有单一旋回河道(图 2A、C)和叠加型河道(图 2B)两种类型, 厚度为 6~7.5m。其中叠加型河道体现了沉积物供应的旋回性。

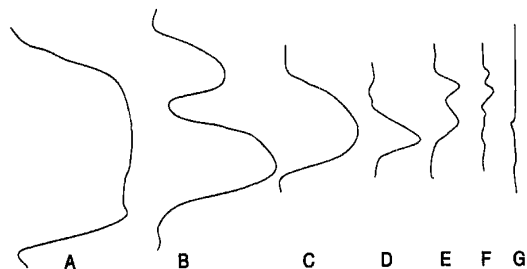


图 2 浅水三角洲各微相典型测井曲线形态

Fig. 2 Well logs of individual sedimentary microfacies in the shallow-water deltas

2. 决口微相

决口微相为分流河道水流冲破堤岸后形成的沉积, 岩性发育特征与分流河道微相相似, 只是粒度稍细, 规模较小。SP 曲线为较低幅钟形或漏斗形(图 2D)。

3. 天然堤微相

该微相位于分支流河道的两旁, 向河道方向一侧较陡, 向外一侧较缓, 由洪水期携带泥沙的洪水漫出淤积而成。岩性以粉砂和粉砂质粘土为主。SP 曲线为对称齿型与平直型的叠加(图 2E)。

4. 分支流间湾微相

该微相发育于分流河道中间的凹陷地区, 岩性主要为泥岩, 中间部分夹有粉砂岩和泥质粉砂岩, 垂向上常与分支流河道相伴生, SP 曲线为平直型或平直微齿化型(图 2F、2G)。

3 粒度分析

A 井共选取 6 段作粒度化验, 取样间距为 10~20cm, 各井段分别计为 I 段—VI 段(图 1)。

3.1 概率累积曲线分析

1. I 段

该段深 2.25m, 共取样品 6 个。根据测井相和粒度特征分析, 都属于分支流间湾微相沉积。从粒度概率累积曲线形态看(图 3), 曲线有两种类型, 基本上都由单一的悬浮总体组成, 反映了沉积物的搬运方式主要是悬浮搬运。粒度普遍极细, 平均粒度(M_z)为 4.95~6.17 Φ , 粒度中值(M_d)为 9.4~61 μm 。悬浮总体的斜率低, 直线斜率 14°~45°, 分选中等到差, 标准偏差(σ_i) 1.77~2.74, 分选系数(S_0) 1.89~4.91。粒度累积曲线也反映了沉积物很细的特征, 中部“坍塌”, 细尾部含量大(图 4)。

2. II 段

该段深 3.87m, 共取样品 32 个, 根据测井相和粒度特征分析, 1693.15m 为微相变化点, 其中 1693.15m 以上层段(II 上段)属于分支流河道微相中下部沉积, 1693.35m 以下层段(II 下段)属于决口微相。

II 上段深 3.10m, 共取样品 25 个。从曲线形状来看, 粒度累积曲线也有两种类型: 下四段型和上三段型。下四段型是典型三段式的衍生, 由悬浮总体、两个跳跃次总体和滚动总体组成(图 5)。悬浮总体的含量变化较小, 集中在 12% 左右, 直线斜率低, 为 10° 左右; 上段跳跃次总体含量在 30% 左右, 直线斜率为 30°~35°; 下段跳跃次总体含量在 58% 左右, 直线斜率为 55°~60°, 体现了较好的分选性; 滚动总体含量低, 为 0.15%~0.6%, 斜率为 10°~40°。S 截点(细截点)在 3.5 Φ 左右, T 截点(粗截点)为 1~1.5 Φ , M_z 为 2.56~3.65 Φ , M_d 为 131.45~228.39 μm , 分选较差, σ_i 为 1.44~2.14, S_0 为 1.22~

1.57。上三段型是典型两段式的衍生,由悬浮总体和两个跳跃次总体组成,在II上层段较为少见,仅在1691.65m处发现,和下四段曲线特征相似,只是缺乏滚动总体,这可能与源区物质的粒度有关,当河流负载中碎屑变细,在相同涡流的扬举作用下,滚动搬运的部分就消失了。

II下段深 0.57m,共取样品 7 个。从曲线形状看,为三段式及其衍生出的四段型(图 6),其中以跳跃总体为主。跳跃总体可由一段或两段组成。悬浮总体占20%~38%,斜率为 15°~20°;跳跃总体含量为 63%~73%,两段组成的上段斜率40°~45°,下段

斜率67°~80°,一段组成的斜率约为60°;滚动总体含量占0.9%~7%,斜率30°~45°。S截点在3.1~3.4Φ之间,T截点在2Φ左右,M_z为3~4.1Φ,M_d为108~150μm,分选较差,σ_i为1.61~2.13,S₀为1.37~2.13。

3. II段

该段深 7.05m,共取样品 43 个。粒度概率累积曲线主要为四段型,都发育两个跳跃次总体,1728.96m为分界点。1728.96m以上(III上段)为分支河道砂坝的中上部沉积,以下(III下段)为分支流河道的中下部沉积。III上段悬浮总体较为发育,

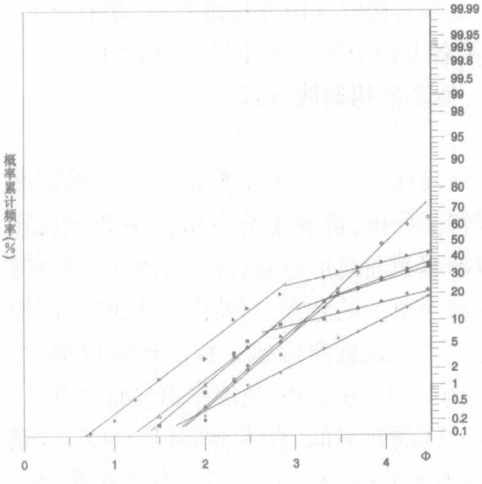


图 3 I段概率累积曲线图

Fig. 3 Grain size probability cumulative curves for Member I of Well A

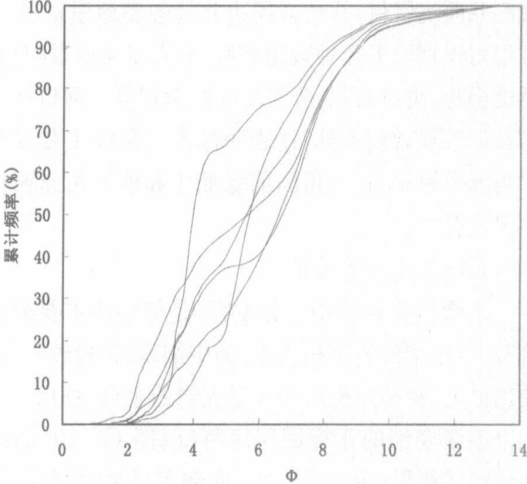


图 4 I段累积曲线图

Fig. 4 Grain size cumulative curves for Member I of Well A

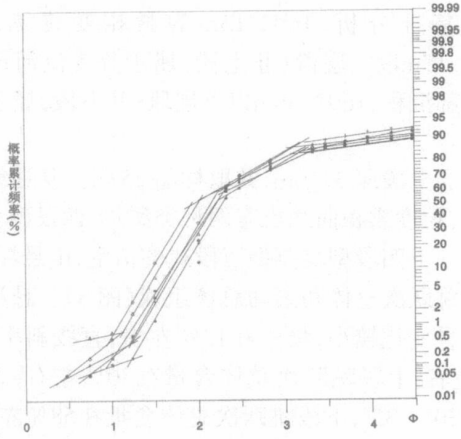


图 5 II上段概率累积曲线图

Fig. 5 Grain size probability cumulative curves for the upper part of Member II of Well A

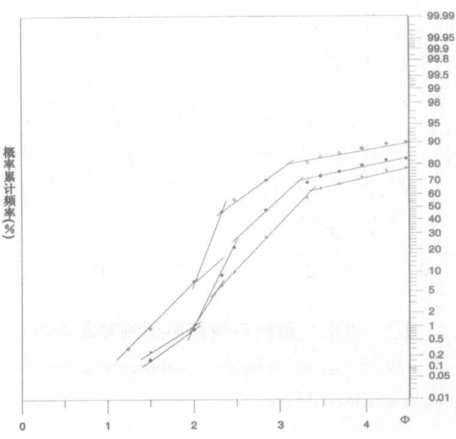


图 6 II下段概率累积曲线图

Fig. 6 Grain size probability cumulative curves for the lower part of Member II of Well A

含量占20%~25%, 粒度区间宽, 斜率小于10°, 分选性差; 下跳跃次总体粒度区间窄, 斜率大于70°, 分选良好, 上跳跃次总体粒度区间较宽, 斜率为30°~35°, 分选中等; 滚动总体含量较高, 5%~8%, 斜率为50°左右, 分选较好。S 截点在3.1~3.4Φ之间, T 截点为2Φ左右, M_z 为3.33~4.21Φ, M_d 为94~172μm, 分选较差, σ_i 为1.84~2.32, S_0 为1.62~3.14 (图 7)。

III下段跳跃总体最为发育, 占80%左右, 也由两段组成, 粒度区间宽, 分选差, 悬浮总体和滚动总体所占比例少, 分选差, S 截点在3.5Φ左右, T 截点为1Φ左右, M_z 为1.58~2.34Φ, M_d 为123~222μm, 分选较差, σ_i 为1.58~2.44, S_0 为1.32~4.11 (图 8)。总体上看, 上部颗粒更细, 跳跃总体较少, 但滚动组分含量较多。这表明上部由于涡流扬举力的下降, 作跳跃搬运的较粗部分就改作滚动搬运了。

4. IV段

该段深2.92m, 共取样品11个。根据测井相和粒度特征分析, 属于分支流河道微相, 概率累积曲线可分为两种不同的类型(图9), 一种为四段型, 三种总体均发育, 一种只发育跳跃总体和悬浮总体。四段型滚动总体含量为1%~2%, 斜率40°左右, T 截点为2Φ, 分选中等; 跳跃总体占75%~78%, 由两段组成, 下段分布范围窄, 斜率75°~80°, 分选好, 上段斜率45°~55°, 分选中等; 悬浮总体分布范围广, 斜率为10°左右, 占总量的20%左右, S 截点为3.1Φ, M_z 为3.11~3.23Φ, M_d 为171~178μm, 分选较好, σ_i

为1.60~1.86, S_0 为1.34~1.42。另一种曲线特征是: 悬浮总体占30%~34%, 斜率为13°左右, 跳跃总体斜率58°~60°, 分选较好, S 截点为3.3~3.5Φ, M_z 为3.64~3.87Φ, M_d 为107~114μm, 分选较好, σ_i 为1.60~1.78, S_0 为1.35~1.49。

5. V段

该段深1.52m, 共取样品5个。根据测井相和粒度特征分析, 属于决口沉积, 曲线形态由两段组成: 悬浮总体较发育, 占55%~80%, 斜率小于15°, 分选差; 跳跃总体分布区间广, 斜率小于40°, 分选差, S 截点在3.5Φ左右, M_z 为3.24~5.98Φ, M_d 为76~178μm, 分选较好, σ_i 为1.66~2.42, S_0 为1.35~4.34 (图 10)。

6. VI段

该段深6.58m, 共取样品20个。根据测井相和粒度特征分析, 属于分支流河道, 曲线形态变化多样, 一般不含滚动总体, 由跳跃总体和悬浮总体组成, 跳跃总体由两段组成, 含量在50%~75%之间, 下段粒度区间窄, 分选好, 直线斜率约为70°, 上段直线斜率为25°~30°, 分选差。悬浮总体可分选较好, 斜率为28°, 分选差, 斜率小于10°。S 截点在3.3~3.5Φ之间, M_z 为3.52~4.06Φ, M_d 为87~137μm, 分选较好, σ_i 为1.69~1.73, S_0 为1.35~1.94。此外, 还有一类曲线, 悬浮含量占70%~90%, 跳跃总体含量低, 小于20%, 且两个次总体直线斜率分别为20°~25°和40°左右, M_z 为5.28~5.69Φ, M_d 为25~33μm, 分选较好, σ_i 为2.10~2.38, S_0 为2.84~3.76,

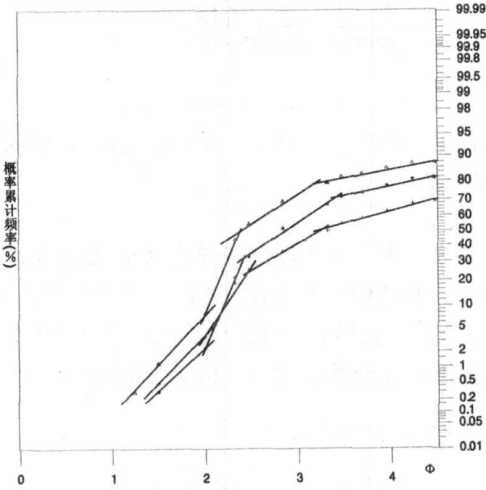


图 7 III上段概率累积曲线图

Fig. 7 Grain size probability cumulative curves for the upper part of Member III of Well A

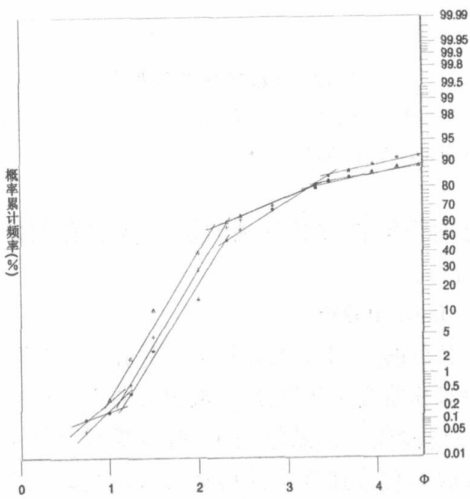


图 8 III下段概率累积曲线图

Fig. 8 Grain size probability cumulative curves for the lower part of Member III of Well A

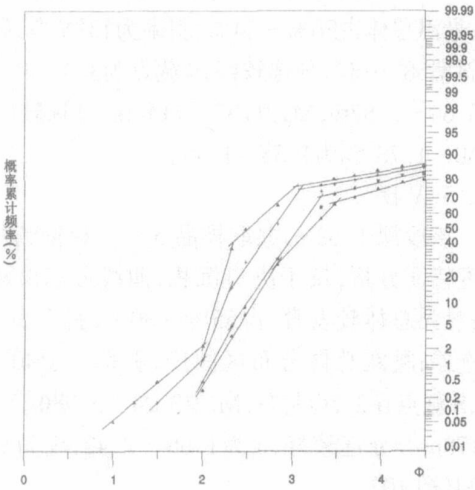


图 9 IV段概率累积曲线图

Fig. 9 Grain size probability cumulative curves for Member IV of Well A

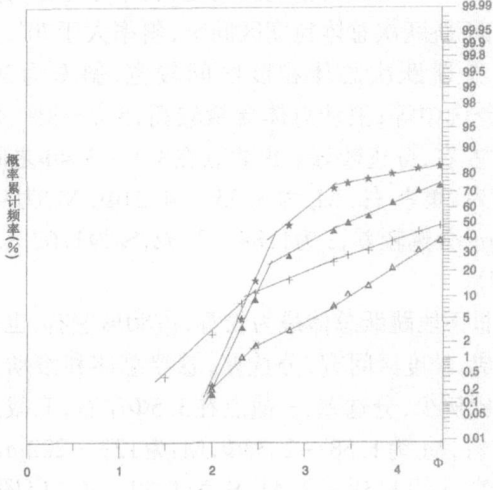


图 11 VI段概率累积曲线图

Fig. 11 Grain size probability cumulative curves for Member VI of Well A

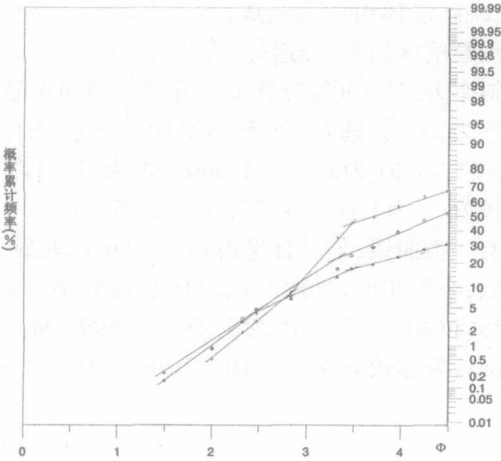


图 10 V段概率累积曲线图

Fig. 10 Grain size probability cumulative curves for Member V of Well A

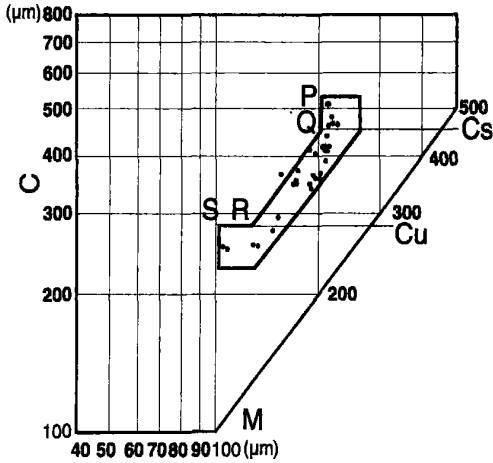


图 12 II上段 C-M 图

Fig. 12 C-M patterns for the upper part of Member II of Well A

这可能是河道暂时衰竭时弱水流发育的沉积物(图 11)。

3.2 C-M 图分析

各段的 C-M 图均具明显的牵引流营力特征,同概率累积曲线完全吻合,一般都发育 PQ、QR 和 RS 段。PQ 段代表以悬浮为主,有少量滚动搬运的颗粒,QR 段代表递变悬浮搬运,RS 段代表均匀悬浮搬运。II上段中 QR 段最为发育,底部最小扰动指数(C_u)值为 $290\mu\text{m}$,底部最大扰动指数、涡流指数(C_s)值为 $460\mu\text{m}$ (图 12)。III段 RS 段最为发育,QR、PQ 段发育少, C_u 值为 $420\mu\text{m}$, C_s 值为 $450\mu\text{m}$

(图 13)。IV段 RS 段最为发育,QR 发育少, C_u 值为 $250\mu\text{m}$, C_s 值为 $285\mu\text{m}$ (图 14)。V段只发育 QR 段和 RS 段,另外可隐约见一静水沉积区,其中 RS 段最为发育,QR 发育少, C_u 值为 $220\mu\text{m}$ (图 15)。

4 结论与讨论

(1) 浅水三角洲属河湖过渡环境,沉积条件变化大,其分支流河道微相概率曲线复杂多样,但其形式介于河道沉积与三角洲分支流河道沉积之间。两段式所占比例较少,它的发育反映了河道沉积特征,是分支流河道中较强水流作用的产物;三段式及其衍

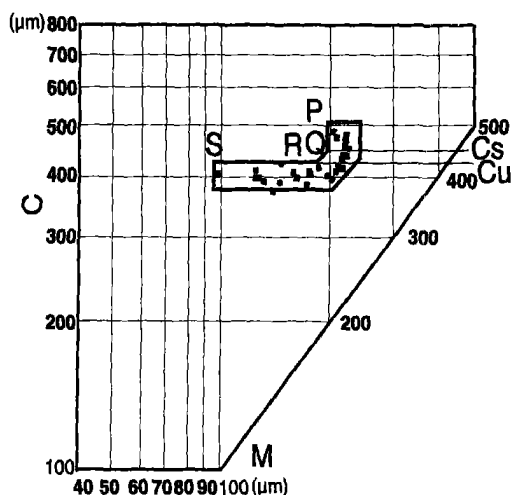


图 13 III段 C-M 图

Fig. 13 C-M patterns for Member III of Well A

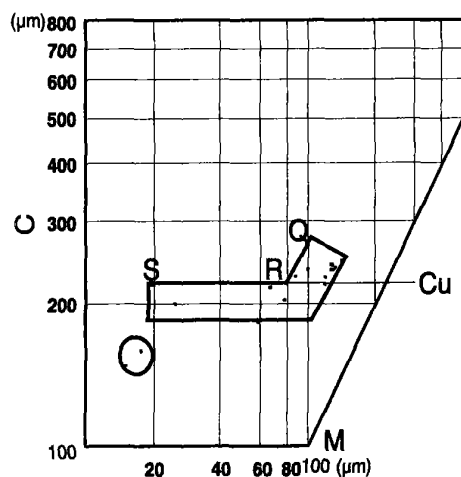


图 15 VI段 C-M 图

Fig. 15 C-M patterns for Member VI of Well A

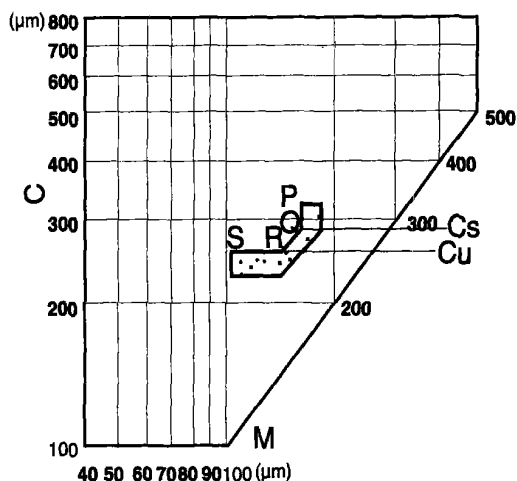


图 14 IV段 C-M 图

Fig. 14 C-M patterns for Member IV of Well A

三角洲相粒度特征的差异,反映了水流由急变缓,搬运方式中悬浮总体逐渐增加的特点。

(2) 浅水三角洲不同微相及微相的不同位置粒度特征存在明显的差异。分支流河道中下部滚动总体一般都发育,概率累积曲线形态主要为四段型,滚动总体含量小于0.2%,T截点在1~1.5 Φ 之间,分选差,悬浮总体含量小于20%;分支流河道中上部形态与中下部相近,只是T截点在2 Φ 左右,并且滚动总体含量明显较高(>1%),分选相对较好,悬浮总体含量为20%~38%;顶部为两段式,悬浮总体含量为50%~75%,并且分选性相对较好;决口微相有两种类型,一种为四段型,悬浮总体占15%~28%,滚动总体含量高(0.9%~7%),且分选好,这可能与决口后有一定的坡度有利于滚动的发育有关,另一种为决口小水道,为两段式,悬浮总体含量较高,粒度特征与分支流河道上部近似;沼泽微相则只发育悬浮总体,沉积物粒度极细。

(3) 粒度特征值的差异反映了不同沉积期次分支流河道水动力条件的不同。根据水流强度与粒度交叉图解(霍姆斯等,1973)和何镜宇教授对水流强度的划分^[3],III上段、IV段和VI段为5~6级,属弱水流型;II上段、V段为6~7级,属中等水流型;III下段为7~8级,属中—强水流型。这一点在粒度C-M图上也得到了体现,综合考虑特征值 C_u (最大粒径,代表水流速度)代表和 C_s (最大悬浮粒径,代表最大涡流大小),水流强度对应有II段>II上段>IV段>VI段的关系。

生形态四段型则具三角洲分支流河道的特征。值得一提的是,跳跃总体多由两个次总体组成,这反映了一定的波浪改造作用。浅水三角洲粒度C-M图反映了牵引流沉积的特点,主要由PQ、QR和RS段组成,但RS段最为发育,这种粒度特征反映主要以均匀悬浮搬运和递变悬浮搬运方式为主,滚动搬运方式较少。但在不同的沉积期次各段发育状况有所不同,这反映了河流和湖水动力条件的相对变化,湖水动力越强,RS段越发育。一般的曲流河相虽然也由PQ、QR、RS段组成,但一般以QR段最为发育。而河控三角洲一般为两段式,即QR段和RS段,而且RS段最为发育。河流相、浅水三角洲相和普通河控

参考文献:

[1] 徐长贵, 姜培海, 武法东, 等. 渤中坳陷上第三系三角洲的发现、沉积特征及其油气勘探意义[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 1—7.

[2] 姚光庆, 马正, 赵彦超, 等. 浅水三角洲分流河道储层砂体特征[J]. 石油学报, 1995, 16(1): 1—8.

[3] 孙永传, 李惠生. 碎屑岩沉积相和沉积环境[M]. 北京: 地质出版社, 1986.

[4] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物) 粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1976.

[5] 马立祥. 油田内 5 级界面层序沉积微相制图的意义及其实现途径[J]. 石油实验地质, 1997, 19(3): 1—7.

The grain size analysis for the shallow-water delta microfacies: An example from one well in the Bozhong 25-1 Southern Oil Field

JIA Dong-hui^{1,2}, WU Xiao-hong¹, ZHAO Li-chang², ZHO U Shi-ke²
(1. *China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China*; 2. *Tianjin Branch, China Oceanic Petroleum Company, Tanggu 300452, Tianjin, China*)

Abstract: The shallow-water delta is a special type of deltas. Exemplified by one well (Well A) in the Bozhong 25-1 Southern Oil Field, the present paper deals with the grain size analysis and correlation for individual shallow-water delta microfacies. These grain size analyses show that the grain size probability cumulative curves and C-M patterns for the shallow-water deltas quite differ from those for the meandering streams and river-dominated deltas, suggesting the unique hydrodynamics of the shallow-water deltas.

Key words: Bozhong depression; shallow-water delta; sedimentary microfacies; grain size analysis

(上接第 107 页)

火山岩浆弧的基本特征及地球化学共性、差异性缺乏系统对比研究, 青藏高原南部前寒武纪变质岩、基底尚未引起足够重视; 尽管对青藏高原内不同时期、不同构造环境的沉积盆地已有了框架性的了解, 但是对盆地的成因类型、盆地充填过程、层序发育过程、盆地演化以及热力学行为所知甚少, 青藏高原特提斯的古地理古构造重建, 应是必须加强的领域。我们还需要加强青藏高原金属矿产资源的聚集和分布规律研究, 加强青藏高原的含油气盆地的资源评价与预测研究等等。

青藏高原在全球是独特的, 但不是孤立存在的, 特提斯海洋的形成演化起源于罗迪尼亚超大陆的解

体, 青藏高原的形成演化起源于特提斯洋的形成和消亡。随着研究领域的不断拓宽, 研究目标更加集中, 强调地质、地球物理和地球化学及相关多学科的集成, 既研究高原内部、也研究其周边, 实现空间尺度的多层次拓展, 既探索高原的过去, 也要预测未来, 实现时间尺度的双向延伸, 从更大的时空尺度、更精细的定量数据来认识理解青藏高原在全球构造中作为一个异常活跃单元的奥秘, 为地球科学的理论发展, 为国民经济全面协调可持续发展做出中国地质学家应有贡献。

(参考文献均引自 Abstracts of the 32nd international Geological Congress, Italy . 2004)