

扇三角洲沉积体系及其与油气聚集关系

焦养泉¹ 周海民² 庄新国¹
刘少峰¹ 杨生科¹ 马美媛¹

1(中国地质大学 武汉 430074) 2(冀东石油勘探开发公司 河北唐山 063200)

提 要 扇三角洲沉积体系是断陷盆地中极为发育的一种沉积体系,主要由扇三角洲平原组合、扇三角洲前缘组合和前三三角洲沉积构成,可识别出9种成因相。受沉积物供给速率、可容空间增长速率及盆缘断裂产状等因素控制可划分出退积型、加积型、前积型、陡坡型和缓坡型5种扇三角洲类型。位于扇三角洲平原的辫状分流河道砂体及其位于扇三角洲前缘的与之有成因联系的水下分流河口坝、洪水型重力流砂体等物性好,可以构成优质储层。含油性勘探成果亦证实各主力油层段平面上主要分布于扇三角洲前缘及分流间湾区,小部分位于扇三角洲平原区。受埋藏深度和成岩场的影响,不同地区、不同层位主力油层段的物性与岩性相关性各异。因此,应用沉积体系分布与油气聚集规律挖掘剩余油层及进行远景区预测是有效的与可行的。

关键词 扇三角洲沉积体系 油气聚集

第一作者简介 焦养泉 男 34岁 在职博士 副教授 沉积盆地分析

扇三角洲是由冲积扇提供物质并沉积在活动扇与静止水体分界面处的,全部或大部分位于水下的沉积体^[1]。我国70年代后期开始进行了扇三角洲研究,在含能源盆地勘探中特别是新生代含油气盆地中发现了大量进积到湖盆中的粗碎屑楔状体,其近端直接靠近断陷盆地的盆缘控制性断裂。经过多年来的反复认识,认为此类粗碎屑楔状体多数应定为扇三角洲,因为它们是冲积扇直接进积到水体的结果,一般至少在近端保留有陆上部分^[2,3]。扇三角洲是断陷盆地盆缘断裂处极为发育的一种沉积体系。同时也是重要的油气储集体之一。本文以渤海湾北部南堡凹陷老第三纪亚断陷盆地为例,在详细的沉积体系内部构成及体系样式研究基础上探讨了其与油气的聚集关系。

1 扇三角洲沉积体系的内部构成

扇三角洲沉积体系的成因相可分为三大组合,即扇三角洲平原组合、扇三角洲前缘组合和前三三角洲沉积。穿过进积型扇三角洲中心的垂向序列总体具有自下而上由细变粗的反韵律,但这并不意味着在扇三角洲的任何部位都是如此,如在朵体上游可能为正韵律,而在前三三角洲或间湾区可能不显韵律。

1.1 前三三角洲沉积组合

前三三角洲沉积通常位于三角洲层序的最底部,主要由开阔湖泊沉积及发育于其中的滑塌型水下泥石流及浊流沉积物等三种成因相构成。在垂向上,这些成因相显示了一种随机的组合,通常情况下开阔湖泊沉积占优势。

1.1.1 开阔湖泊沉积

以暗灰色细粒沉积物为特征,通常为块状或具水平纹理,其中盛产小个体的双壳类及叶肢介等化石(图1A),测井曲线通常为低幅值箱状或锯齿状。在构造活动相对稳定以及物源供给不充分的浅水湖泊中,由于阳光充沛,营养丰富,可以发育生物灰岩或生物礁(如研究区及其外围地区Es₁段中)。

1.1.2 滑塌型水下泥石流

在扇三角洲前端通常由于地形、沉积物负载及盆缘断裂活动等因素的作用而形成水下滑塌,并进行整体性的近距离搬运。它具有如下特点:①产于开阔湖泊泥岩背景中,呈夹层出现;②发育大型水下滑塌构造;③碎屑成份中既有来自物源区的相对稳定的大型砾石,也有原地或经微异地搬运形成的泥砾;④各种碎屑呈漂浮状结构,局部显示出轻微变形的原始沉积纹层(图1B)。滑塌型水下泥石流向远端可

以演化为浊流(图 1C)。

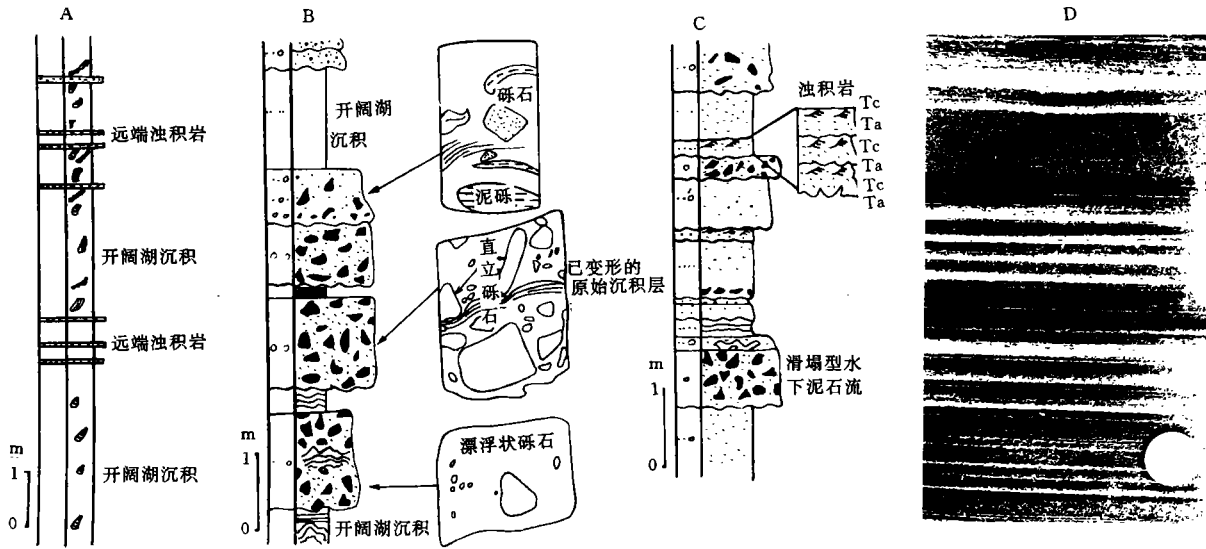


图 1 前三角洲沉积组合中的各种成因相

A. 开阔湖沉积和远端浊积岩, B. 滑塌型水下泥石流, C. 滑塌型水下泥石流及其间具不完整鲍马序列的浊积岩, D. 典型的远端浊积岩
Fig. 1 Various genetic facies of prodelta association

1.1.3 浊流

浊积岩通常具有不完整的鲍马序列(图 1C),且与开阔湖泥呈互层状共生(图 1A),浊积岩中的液化变形构造是常见的。浊流沉积物厚度虽较薄,但每一薄层均代表一次浊流事件(图 1D),在浊流间歇期,大量的生物活动通常改造已有的浊积岩。

1.2 扇三角洲前缘成因相组合

在扇三角洲前缘组合中,分流河口坝、扇三角洲前缘泥和重力流沉积是比较重要的成分。它们在垂向上构成了特征的向上变粗的反韵律。

1.2.1 分流河口坝砂体

呈席状分布,厚度通常在 1 m 以下。既有牵引流成因,更普遍的是重力流成因。河口坝砂体的发育具周期性,各沉积事件单元间的生物活动通常破坏早期形成的砂体(图 2)。

1.2.2 扇三角洲前缘泥

是在相对平静的低能环境下沉积的,其中保存了大量的完整植物叶片化石(图 2)。河口地区具有丰富的源于陆上的营养物质,加之水体较浅,阳光充沛,因而大量大个体动物,如螺、双壳类化石及其生物潜穴等极为发育(图 2)。

1.2.3 浅水重力流沉积

按成因可分为两类:即洪水型水下重力流和滑塌型水下重力流。二者在沉积物粒度、沉积构造和内

部构成上都有明显区别^[2]。研究区内,扇三角洲前缘的洪水型水下重力流极发育,其特征有:①截然的底部冲刷面;②以砂岩沉积为主;③砂岩分选相对较好;④砂岩主体为块状构造;⑤总体具有自下而上由粗变细的特征。滑塌型水下重力流结构和特征与前三角洲组合中的滑塌型水下泥石流相似,但其通常与河口坝砂体共生。

1.3 扇三角洲平原成因相组合

在扇三角洲平原组合中,重力流及辫状分流河道砂体是最重要的两种成因相,是扇三角洲的骨架砂体。分流间湾及沼泽等成因相是次要构成成分。

1.3.1 重力流沉积体

以极差的分选和磨圆,以及杂基支撑的块状构造为特征。根据沉积物特征,将重力流分为泥石流和泥流两种类型:①泥石流以大量的、分选极差的、且呈漂浮状的碎屑结构为特征,填隙物为泥和砂。泥石流向远端流动可以渐变为稀性泥石流,它仍然以碎屑沉积为主,但碎屑粒径明显变小,基质中的泥质成分增多;②泥流以泥质沉积物为主,中间包裹着中砂、粗砂甚至细砾等跳级碎屑,这种含斑性是最主要的特征。

1.3.2 辫状分流河道充填

底部冲刷面、砾石叠瓦状构造、各种交错层理以及正递变韵律所显示的牵引流沉积特征是判别辫状

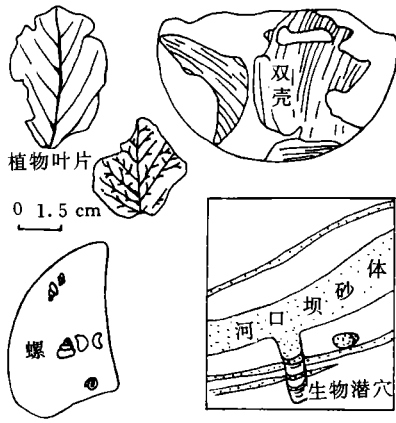


图2 扇三角洲前缘沉积中的植物叶片、大型双壳和螺化石及生物潜穴遗迹化石
Fig.2 Fossilized plant leaf, large bivalves, spiral shells and organic traces

通常很薄,呈席状分布,与背景沉积呈互层状。它们共有的特征是暴露标志极发育(如植物根等)。

2 扇三角洲体系的生物生态组合

生态组合是一定沉积体系的化石总和^[4],借此可以有效地判定和佐证沉积相。南堡老第三纪亚断陷盆地的扇三角洲体系由3个组合构成,各组合特征见表1。

3 扇三角洲沉积体系样式

南堡老第三纪亚断陷盆地的扇三角洲沉积体系具有多样性,受沉积物供给速率和可容空间增长速率控制可划分出退积型扇三角洲、加积型扇三角洲和前积型扇三角洲等;受盆缘断裂产状等因素控制还可以划分出陡坡型扇三角洲和缓坡型扇三角洲。

3.1 前积型扇三角洲

前积型扇三角洲是在盆地可容空间增长速率小于沉积物供给速率的背景下发育的,总体显示了一种湖泊逐渐萎缩,而扇三角洲逐渐向盆地方向进积的沉积过程。在垂向上总体表现为向上变粗,或者是由多个扇三角洲体系单元构成的一种向上逐渐发育壮大的垂向序列。进积型扇三角洲在 E_3^3 、 E_d^3 和 E_d^1 段中是极为发育的(图4A)。

分流河道沉积的典型标志(图3)。河道可以是单个的,也可以是多个透镜体的有序叠置。平面上通常向盆地方向分叉(图3)。

1.3.3 分流间湾及沼泽沉积

位于辫状分流河道之间,属于低能沉积区。包含了越岸沉积物、决口扇沉积、间湾泥岩及沼泽等。分流间湾以泥岩沉积为主体。越岸沉积及决口扇砂体

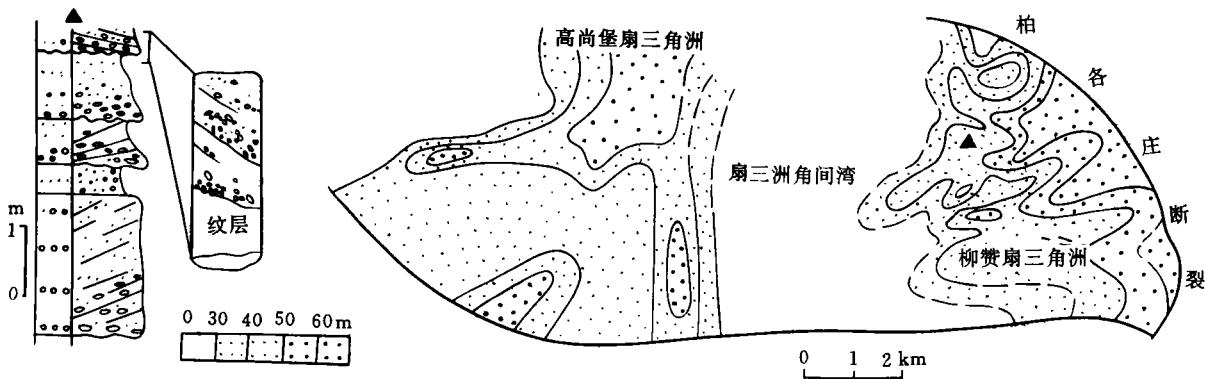


图3 具大型槽状交错层理的辫状分流河道沉积及该段(E_3^3 (IV+V))的含砂率图
Fig.3 Braided distributary channel sediments with large-scale trough-shaped crossing beddings and the sediment charge diagram of E_3^3 (IV+V) member

表1 南堡老第三纪亚断陷盆地扇三角洲体系生态组合特征

Table 1 Fan deltaic system ecozones in the Eogene Nanpu rift basin

| 古生态组合 | 三角洲平原 | 三角洲前缘或分流间湾 | 开阔湖泊或前三三角洲 |
|-------|------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 生物化石 | 大量植物茎秆、植物根、植物碎屑等 | 大量大个体螺、双壳类化石,完整的植物叶片化石,生物扰动构造等(见图2) | 大量小个体双壳类化石、叶肢介,生物潜穴发育,植物碎屑常见 |

3.2 退积型扇三角洲

退积型扇三角洲是在盆地可容空间增长速率大于沉积物供给速率的背景下发育的,总体显示了一种湖泊逐渐扩张,而沉积体系渐渐向盆地边缘退积

的沉积过程。在垂向上总体表现为向上变细,或者是由多个扇三角洲体系单元构成的一种逐渐向上萎缩的垂向序列。此类三角洲主要发育于 $E_3s_3^1$ 底及 $E_3s_3^2$ 下段(图 4B)。

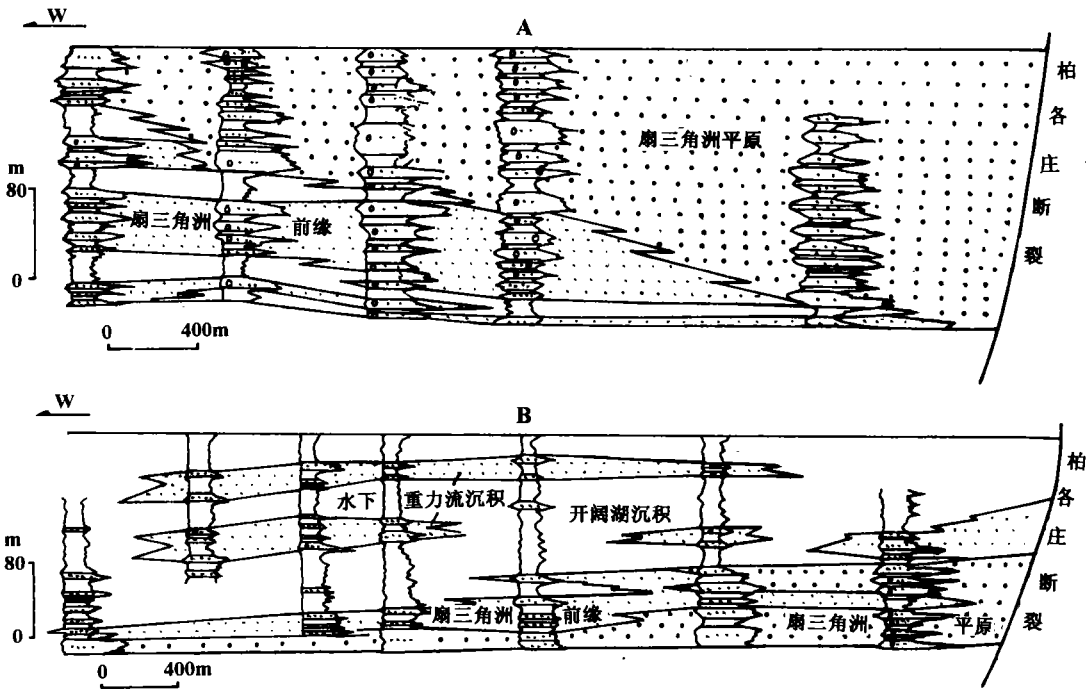


图 4 进积型与退积型扇三角洲复合体典型剖面
Fig. 4 Typical section of prograding and degrading fan delta complex

3.3 加积型扇三角洲

加积型扇三角洲是在盆地可容空间增长速率等于沉积物供给速率的背景下发育的,总体显示了一种原地的重复发育。相比而言,此类三角洲在研究区不发育。

3.4 缓坡型扇三角洲和陡坡型扇三角洲

在进行高尚堡、柳赞地区沙河街组各成因地层单元的编图过程中,发现两地区的扇三角洲在几何形态上表现出了极大的、持续性的差异。源于柏各庄断裂北部物源区的高尚堡扇三角洲,表现为一种相对长轴的分散体系,其分流河道极为发育。而源于柏各庄断裂东部物源区的柳赞扇三角洲,却表现为一种相对短轴分散体系(图 3)。造成这种差异的首要原因在于柏各庄断裂的产状不均一,即其东段产状较陡,而西段较缓;其次是两地区物源供给速率不一致。

4 油气聚集规律

断陷盆地发育中期是扇三角洲与湖泊体系频繁交替发育的时期,它为油气生、储、盖配套关系的形成奠定了基础。本区 $E_3s_3^1-E_3s_3^2$ 上段构成了一个典型组合^[5], $E_3s_3^1$ 段泥岩及上部的 $E_3s_3^2$ 上段泥岩既是本区的主要生烃源岩段,也是理想的封闭岩段与盖层,被它们包围的 $E_3s_3^2$ 下段和 $E_3s_3^3$ 段的扇三角洲砂体便成为本区的主力油层段^①。扇三角洲砂体是油气储存的载体,沉积体系的空间分布、成因相类型及岩性以及物性等与油气储集关系十分密切。

4.1 沉积体系空间分布

沉积体系类型及其空间分布规律的研究对于进行大尺度的储层预测具有重要意义。沉积体系的空间分布特征主要取决于沉积动力学、气候和物源特

① 冀东石油勘探开发公司、北京石油勘探开发科学研究院, 1994, 冀东油区第二次油气资源评价

征等,但后期的构造破坏活动不容忽视。研究区受多幕裂隙作用影响而发育的高-柳断层使早期的沉积盆地一分为二^[5](图5),沙河街组各主力油层段的

大部分沉积体系(如高尚堡扇三角洲和柳赞扇三角洲)也因此受到破坏(图3),随断层下降盘而下掉的扇三角洲部分将成为主要的远景区。

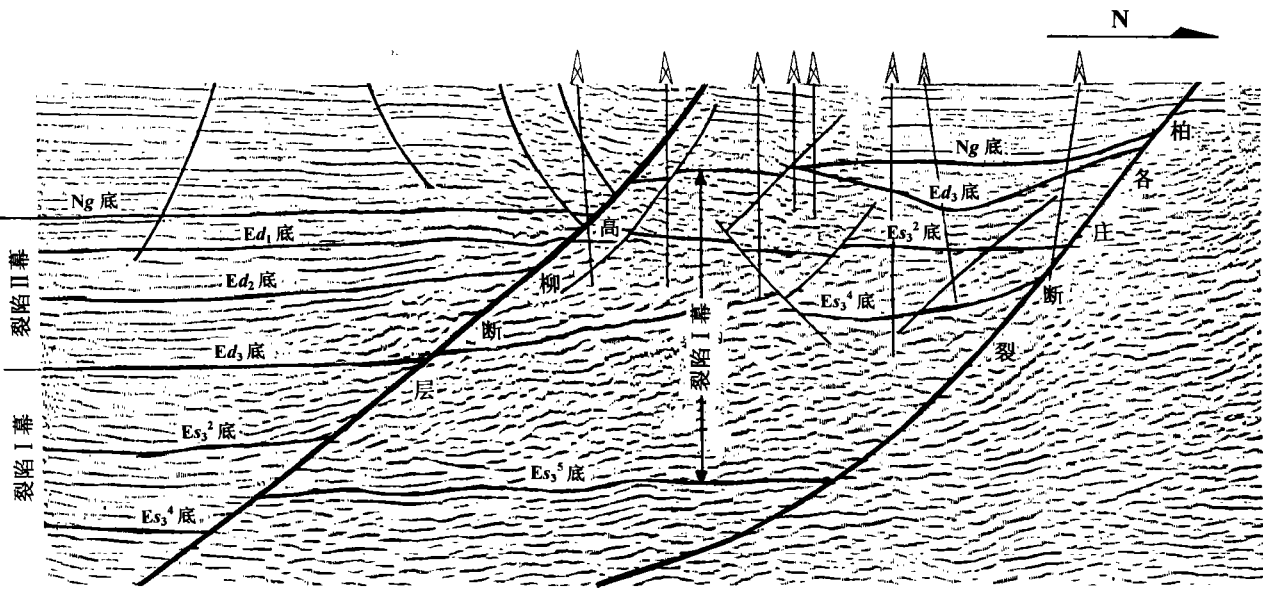


图5 显示两幕裂陷盆地总体几何形态的典型地震剖面

Fig. 5 Typical seismic section showing the general geometry of rift basin formed in two episodes of crifting

4.2 扇三角洲储层砂体类型、空间分布与含油性规律

通过大量岩心调查发现,扇三角洲体系内部并非所有类型的砂体都可以构成油气储集体,辫状分流河道砂体及其与之有成因联系的水下分流河口坝砂体、洪水型重力流砂体等具有良好的物性条件,可以构成优质储层;泥石流、泥流及水下滑塌型重力流的物性均较差,构不成储层。

辫状分流河道砂体通常分布于扇三角洲平原上,与其有成因联系且规模较大的分流河口坝及洪水型重力流砂体通常集中在扇三角洲前缘地带。这种规律告诉我们,在进行扇三角洲油藏的油气勘探时,应将重点放在扇三角洲前缘地带,该区域砂岩分选度高、物性好。但同时也要重视扇三角洲平原上的辫状分流河道砂体。它发育数量相对较少,但单个砂体规模较大,物性最好。

含油性勘探成果亦证实了上述结论的正确性。各主力油层段含油面积分布范围主体位于扇三角洲前缘及分流间湾区,小部分位于扇三角洲平原区。

4.3 岩性与物性相关分析

将研究区的储层物性资料与岩性进行相关分析

后发现,受埋藏深度和成岩场的影响,不同地区、不同层位主力油层段的相关性各异。如柳赞地区 Es_3^3 (I + II) 油层段的粗砂岩及细砂岩与储层物性关系最密切,呈正相关;而高尚堡地区相同油层段的砾岩、中砂岩—粉砂岩却与物性呈正相关。这种相关性特征的揭示表明在柳赞地区进行该层段油气勘探时应注意粗砂岩与细砂岩的分布范围,而在高尚堡地区则应分别重视砾岩与中、细砂岩的分布范围。因此,在不同地区不同层段编制具有最好物性的岩性分布图对于寻找曾经遗漏了的储油层或进行新区预测具有现实意义。

由此可见,在高尚堡油田与柳赞油田应用沉积体系分布与油气聚集规律挖掘剩余油层及进行远景区预测是有效的与可行的。

本文的完成得益于李思田教授、孙永传教授、朱水安总工和赵柳生总工精心指导,得益于李忠、杨香华、唐伟、杜志强、李珍等同志的密切配合,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Nemeč W, Steel R J. What is a fan delta and how do we recognize it? In: Nemeč W, Steel R J, eds. Fan Deltas, Sedimentology and Tec-

- tonic Settings. Blackie and Son. 1988. 3~13
- 2 李思田主编. 断陷盆地分析与煤聚集规律. 北京: 地质出版社, 1988. 60~84
- 3 李思田主编. 含能源盆地沉积体系—中国内陆和近海主要沉积体系类型的典型分析. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 97~106
- 4 卢宗盛, 王其胜, 焦养泉等. 鄂尔多斯盆地东北部中侏罗世延安组双壳类古生态组合. 地球科学, 1992, 17(3), 353~361
- 5 焦养泉, 周海民, 刘少峰等. 断陷盆地多层次幕式裂隙作用与沉积充填响应——以南堡老第三纪断陷盆地为例. 地球科学, 1996, 21(6), 633~636

Fan Deltaic Depositional Systems and Their Relationship to Oil and Gas Accumulation

Jiao Yangquan¹ Zhou Haimin² Zhuang Xinguo¹
Liu Shaofeng¹ Yang Shengke¹ Ma Meiyuan¹

1 (China University of Geosciences, Wuhan 430074)

2 (East Hebei Petroleum Exploration and Development Company, Hebei Tangshan 063200)

Abstract

Fan deltaic depositional systems are well developed in rift basins, and usually consist of fan delta plain association, fan delta-front association and prodelta association. Nine genetic facies can be distinguished in fan deltaic depositional systems. Controlled by sediment flux rate, available accommodation expansion rate and basin-bounded fault, fan deltaic depositional system style can be generally divided into five types, i. e. degrading, aggrading, prograding, steep slope and slow slope fan deltas. The braided distributary channel sand-bodies developed in fan delta plains and their related subaqueous distributary mouth bar and flood gravity current sand-bodies deposited in fan delta-front zones are high quality reservoirs. Oil exploration results have shown that principal oil reservoirs are distributed dominantly in fan delta-front zones and interdistributary bays, and some reservoirs are developed in fan delta plain areas. Influenced by burial-depth and diagenesis, principal oil-bearing beds in different areas and different horizons are different because of the various relationships between physical properties and lithologies. Therefore, the relationship of depositional system distribution to oil and gas accumulation can be applied to search for residual oil-bearing beds and to predict prospect areas.

Key Words fan deltaic depositional system oil and gas accumulation.