

文章编号: 1009-3850(2002)02-0047-06

试论泌阳断陷陆相层序水进体系域的油气地质意义

郭文平, 胡受权

(中山大学 地球科学系, 广东 广州 510275)

摘要: 泌阳断陷湖盆陆相层序水进体系域以退积型扇三角洲为其沉积主体, 靠近构造枢纽的陡坡带边缘, 冲积扇相域越来越窄, 而向盆内则由滨浅湖逐渐过渡为半深湖。断陷湖盆水体属水进型湖泊。水进体系域中油气潜在储集体包括冲积扇的辫状河道砂体及扇三角洲的分流河道、水下分流河道、河口砂坝和前缘席状砂体。但由于它们形成的古环境及物理化学条件的不同, 其砂砾岩中所含粘土矿物类型及数量亦有显著差异, 对其储集性能将产生不同程度的影响。

关键词: 生储盖组合; 储集性能; 扇三角洲; 水进体系域; 陆相层序; 泌阳断陷

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 引言

层序地层学是一门实用的动态性科学, 为油气勘探提供了崭新的思路和方法; 层序地层分析以其思路的先进性和预测的有效性引起地学界的高度重视。在南非西南布雷达斯多普盆地油气勘探实践中, 采用层序地层学理论和方法指导布置探井 9 口, 其中 7 口钻井预测储集层(准确率达 78%), 5 口井获得工业性油气流(成功率达 56%)(Bowen 等, 1994)。对于陆相断陷湖盆, 运用层序地层学理论和层序地层分析方法, 将有助于预测陆相层序中油气生、储、盖层沉积体系和沉积相的时空演化与配置关系, 更好地确定陆相层序中有经济价值的潜在的隐蔽性油气藏类型, 从而减少油气勘探风险, 提高油气开发的经济效益。

泌阳断陷湖盆陆相层序分析研究结果表明, 极为有利的烃源岩为发育于高水位体系域的半深湖-深湖泥岩(属区域性生油层), 其次是水进体系域及水退体系域的湖相泥岩(属局部性生油层); 有利的储集体分布于水进体系域和水退体系域的冲积扇-

扇三角洲砂体及前扇三角洲斜坡带的滑塌性重力流扇体中, 尤其是扇三角洲的(水下)分流河道、河口砂坝(远砂坝)及前缘席状砂体, 常构成最为有利的油气储集体(表 1)。另外, 高水位体系域的近岸水下扇, 亦是良好的油气储集体。区域性盖层为高水位体系域的深水湖相泥岩, 而水进体系域和水退体系域的湖相泥岩亦可能构成局部性盖层。应予以重视的是, 在断陷湖盆陡坡带陆相层序中, 起封堵作用的还有层序界面(通常为侵蚀不整合面)、下超面(最大湖泛面)及陡坡带的盆缘边界断裂面, 这几个重要的特殊遮挡面, 对于断陷湖盆陡坡带油气藏起着重要的作用^[1,2]。

就泌阳断陷陆相层序中扇三角洲砂体发育状况及分布特征而言, 主要集中于水进体系域(TST)中, 而水退体系域(RST)则显得较为次要。这是由于在陆相层序形成过程中, RST 很少能够完整地保存下来, 因而 RST 通常表现为厚度较小。鉴于这一客观地质事实, 笔者仅就泌阳断陷陆相层序水进体系域的油气地质意义(尤其 TST 的储集性能)加以阐述, 以期能够指导我国陆相油气勘探实践。

表 1 泌阳断陷双河-赵凹地区核三上段主要扇三角洲砂体储集性能参数表

Table 1 Reservoir parameters of major fan delta sandstones in the upper part of the third member of the Hetaoyuan Formation in the Shuanghe-Zhao'ao district, Biyang fault depression

砂体类型 \ 储集性能	粒度中值/mm	分选系数	平均孔隙度/%	平均渗透率/ μm^2	变异系数
水下分流河道砂体	0.374	5.21	16-18	0.698~0.527	0.86
河口砂坝砂体	0.264	2.05	18-20	0.600~0.728	0.84
前缘席状砂体	0.236	1.85	15-17	0.245~0.398	0.72~0.76

2 核三上段陆相层序水进体系域的油气意义

水进期湖水位显著上升,岸线向构造枢纽方向迁移,因河流从物源区携带大量碎屑物质进入盆后发生卸载作用所形成的冲积扇,随即进入滨浅湖区,过渡为扇三角洲沉积。随着水进作用的不断发展,水进体系域以退积型扇三角洲为其沉积主体,靠近构造枢纽的陡坡带边缘,冲积扇相域越来越窄,而向盆内则由滨浅湖逐渐过渡至半深湖。断陷湖盆水体属水进型湖泊,因而湖相泥质岩在水进体系域垂直方向由下往上渐趋增加,在横向上则逐渐向盆缘呈阶梯状伸展。认识这一客观规律,对于准确地估价油气生、储、盖层及其组合特征颇为有益。

与冲积扇不同,扇三角洲内部具类似于三角洲的三层结构,即扇三角洲平原,扇三角洲前缘及前扇三角洲(图1)。实质上,扇三角洲(fan delta)是指

从邻近高地推进湖盆中的冲积扇(Homler, 1965)。扇三角洲主要形成于滨浅湖环境,既有水上部分(扇三角洲平原),又有水下部分(扇三角洲前缘及前扇三角洲),以牵引流特征为主,亦有重力流沉积标志;而冲积扇则不具水下部分,完全为陆上环境,且以重力流沉积为主要标志,不具三层结构。扇三角洲是一种扇形沉积体,有时还易于与近岸水下扇相混淆,其区别在于,扇三角洲为浅水扇,以牵引流沉积为主要特征,具三层结构;而近岸水下扇为深水扇,以重力流沉积为主要标志,不具三层结构^[3]。

扇三角洲平原主要发育分流河道沉积(DC)及溢岸沉积(OB)。分流河道为其主要沉积类型,以块状砾岩、含砾粗砂岩为主,单层厚度较大单砂层厚度为20~35m,多呈块状,成层性和分选性均较差,滞流物和冲刷面发育,具不明显的正韵律及清晰的高度交错层理。粒度概率曲线多为一段式及二段式,测井曲线样式多为筒形或箱形(图2),该套分流河道含砾砂岩孔渗性较好,有望成为有利的油气储集体。溢岸沉积为洪水越岸、漫流出辫状河道于河道间沉积形成的席状砂泥质沉积物,粒度较细;在扇三角洲平原的低洼地区,还可形成沼泽化沉积。

扇三角洲前缘发育水下分流河道(SDC)、河道间湾(IC)、河口砂坝(RMB)、远砂坝(DB)及前缘席状砂(FSS)沉积微相^[4]。各微相的沉积学特征分述于下:

2.1 水下分流河道(SDC)

SDC为陆上分流河道(DC)的水下延伸部分,但河道变浅加宽,分叉增多,流速减缓,堆积速度增大,以含砾砂岩、中粗砂岩沉积为主,砾岩及粉细砂岩少见,发育交错层理、波状层理,横剖面形态呈顶平底凸的透镜状,分选中等或较差,测井曲线样式为钟形-箱形复合型,呈明显的正韵律,粒度概率曲线多为三段或三段式。SDC有河道近端、中端、远端及河道末梢之分,代表水动力能量的逐渐变弱。从孔渗性分析,水下分流河道近端及中端砂体对油气储集颇

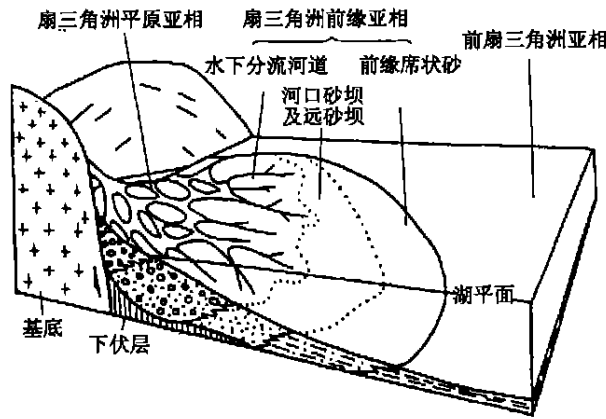


图 1 泌阳断陷双河-赵凹地区核三上段扇三角洲三层结构模式

Fig.1 Three-layer architectural model for the fan delta in the upper part of the third member of the Hetaoyuan Formation in the Shuanghe-Zhao'ao district, Biyang fault depression

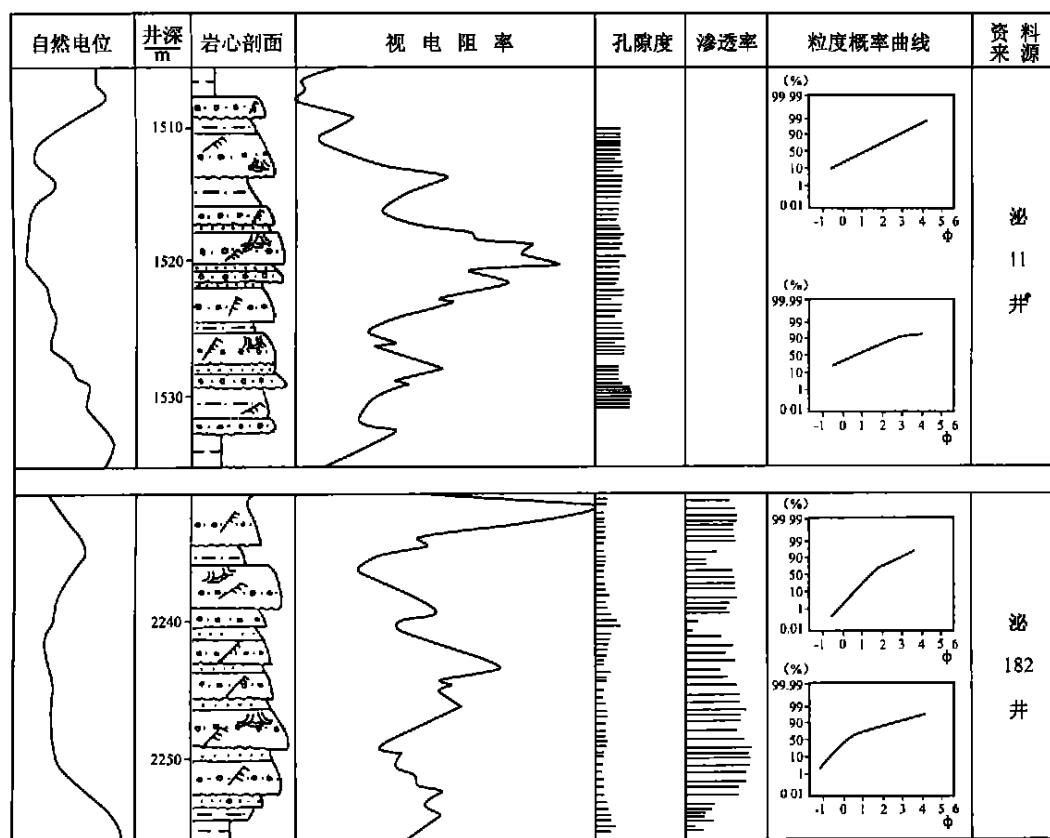


图2 泌阳断陷双河-赵凹地区核三上段扇三角洲平原分流河道沉积微相特征

Fig.2 The distributary channel microfacies on the fan delta plain in the upper part of the third member of the Hetaoyuan Formation in the Shuanghe-Zhao'ao district, Biyang fault depression

为有利。

2.2 河道间湾

IC 为 SDC 之间与湖盆水体相通的湖湾地区沉积产物,以粉砂、粘土沉积为主,夹少量细砂,具水平层理、浪成浪痕,形态呈平板状或薄透镜状。

2.3 河口砂坝(RMB)

RMB 位于水下分流河道的河口处(河道前缘及侧缘),是前缘亚相中形成砂体最厚的沉积微相(厚度一般为15~30m),且由于湖水进侵时波浪的簸选和改造,使该套砂岩纯净且分选性好,多为中细砂岩,粗砂岩少见,呈下细上粗的反韵律,亦有下细中粗的复合韵律(图3),以槽状交错层理、波状层理为主,常见浪成波痕。河口砂坝砂体孔渗性好,是极为有利的油气储集体。

2.4 远砂坝(DB)

DB 位于河口砂坝前方较远部位,沉积物以细粉砂为主,发育交错层理、浪成波痕,由粉砂和粘土组成的结构纹层和由植物碳屑构成的颜色纹层是DB

的特征性沉积构造。远砂坝砂体物性较差,难以成为有利的油气储集体。

2.5 前缘席状砂(FSS)

由于滨浅湖的波浪改造作用,河口砂坝及远砂坝受到改造而重新分布,使之在平面上呈席状或带状展布于扇三角洲前缘亚相的最前端,以细粉砂岩为主,砂体分布稳定,分选性较好,但相带窄,厚度亦较薄。在 FSS 中发育水平层理及浪成波痕。粒度概率曲线呈明显的两段式,测井曲线样式为指状或锯齿状(图4)。

前扇三角洲沉积于扇三角洲前缘向湖方向,沉积物均位于浪基面以下,主要由来自河流的粉砂和粘土组成,岩性为深灰色泥岩夹泥质粉砂岩,具水平层理。在前扇三角洲沉积物中,可夹有滑塌性重力流成因的湖底扇。该滑塌性湖底扇与高水位期近岸水下扇沉积特征及沉积序列相似。由湖底浊积砂体的物性特征及国内外各油田的油气赋存位置来看,湖底扇中扇是油气赋存的最佳部位^[5]。

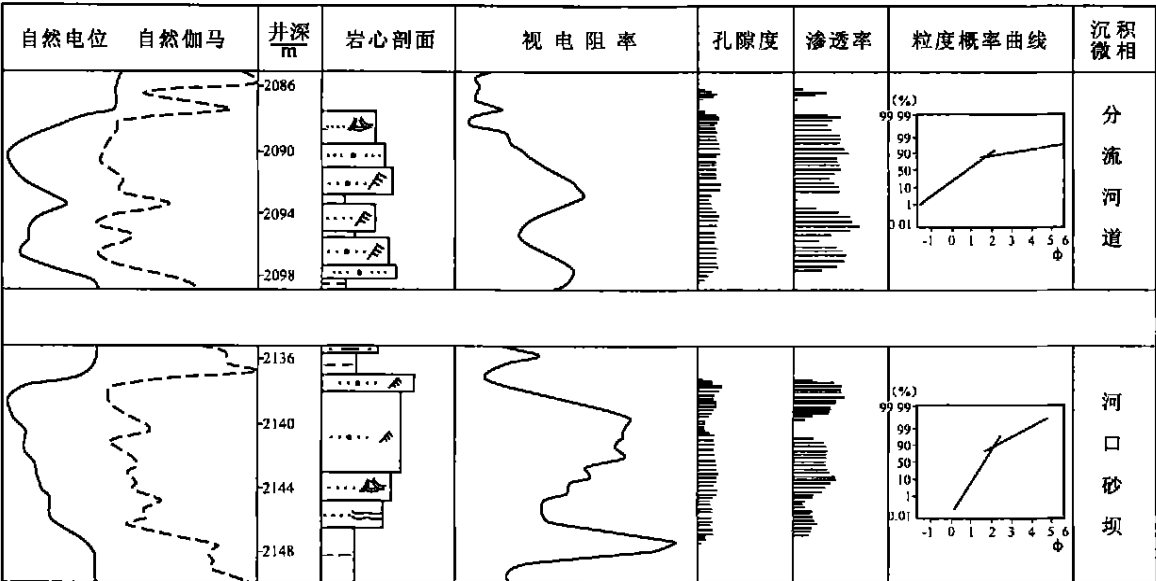


图3 泌阳断陷-赵凹地区赵19井核三段扇三角洲前缘水下分流河道及河口砂坝沉积微相特征

Fig.3 The subaqueous distributary channel and channel mouth bar microfacies on the fan delta front in the upper part of the third member of the Hetaoyuan Formation in the Shuanghe-Zhao'ao district, Biyang fault depression

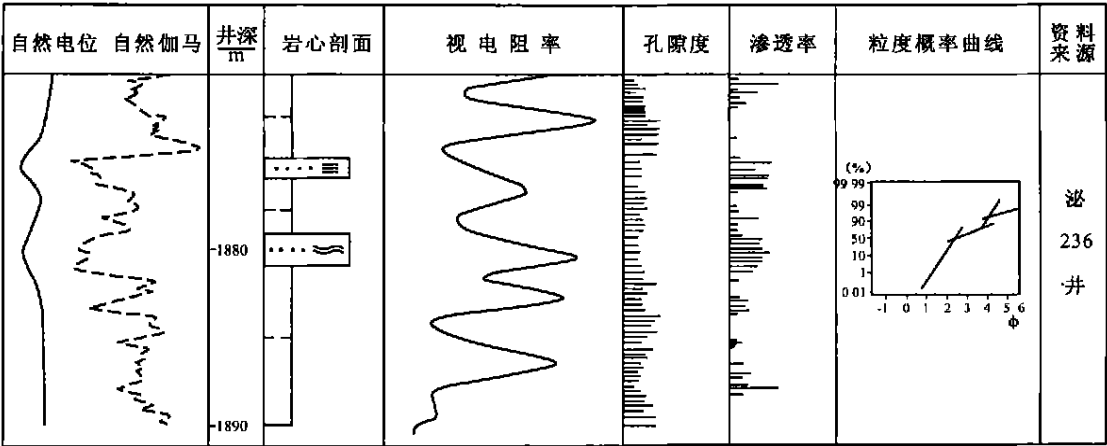


图4 泌阳断陷双河-赵凹地区核三段扇三角洲前缘席状砂沉积微相特征

Fig.4 The sheet sandstone microfacies on the fan delta front in the upper part of the third member of the Hetaoyuan Formation in the Simanghe-Zhao'ao district, Biyang fault depression

就水进期发育的水进型湖泊沉积机理而言,其所沉积的湖相泥质岩仅可充当局部性盖层的作用;但就生油岩而论,仅当水进趋于晚期,湖水位达到一定高度,湖盆中央区出现半深湖相,并沉积一套还原条件下的、富含有机物的泥岩时,才具一定的生油条件^[6]。

总之,TST 中生、储、盖层分布规律参见表2。由表可见,扇三角洲砂岩常构成研究区内极为有利的油气储集层,故识别扇三角洲砂岩的沉积微相特征(图5),对于指导找寻有效砂体具有重大意义。

3 粘土矿物对水进体系域各型砂体储集性能的影响

值得提出的是,作为油气潜在储集体的冲积扇的辫状河道砂体及扇三角洲的分流河道、水下分流河道、河口砂坝和前缘席状砂体,由于它们形成的古环境及物理化学条件的不同,其砂砾岩中所含粘土矿物类型及数量有着显著不同^[7]。探索这一差异性的变化规律,对于评价各类型砂体的储集性能是有益的。

表 2 泌阳断陷陆相层序水进体系域中生、储、盖层分布

Table 2 Distribution of the source rocks, reservoirs and seals in the tansgressive systems tract of the continental sequences in the Biyang fault depression														
沉积相 油气意义	扇 三 角 洲								滑塌性重力流扇			湖 相		
	扇三角洲平原		扇 三 角 洲 前 缘					前 扇 三角洲	内 扇	中 扇	外 扇	滨 浅 湖	半 深 湖	
	分 流 河 道	溢 岸 沉 积	水下分 流河道	河 道 间 湾	河 口 砂 坝	远砂坝	前 缘 席状砂							
生 油 层	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	
储 油 层	○	×	○	×	○	√	√	×	√	○	√	×	×	
盖 层	×	×	×	×	×	×	×	√	×	×	×	√	○	

(好:○;中:√;差:×)

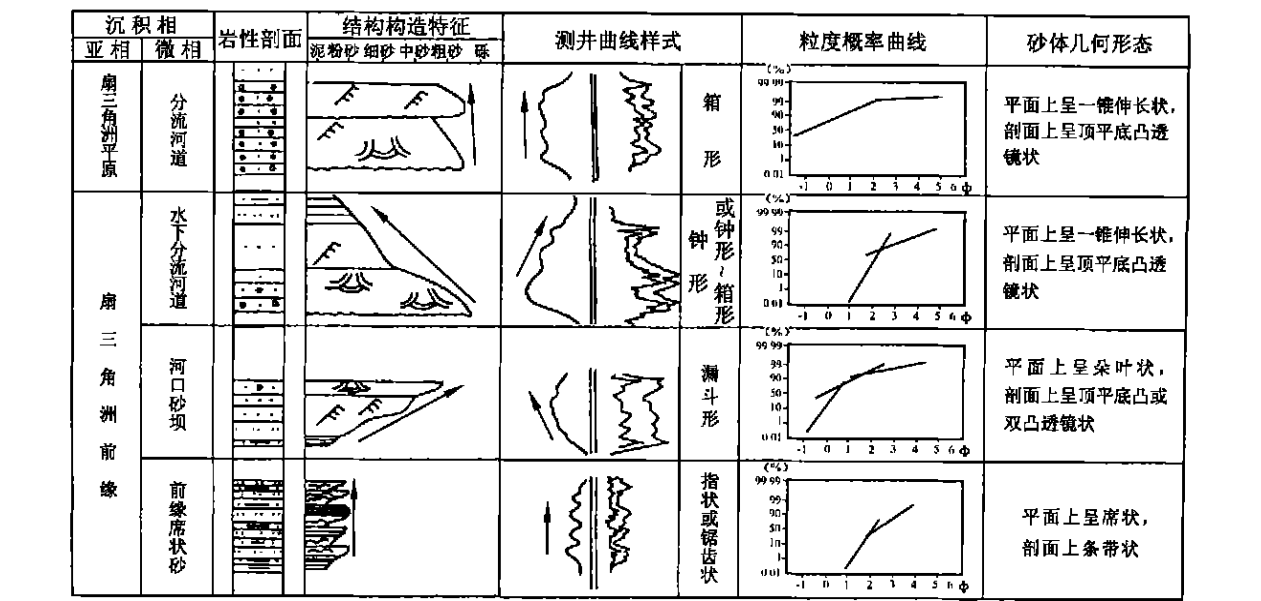


图 5 泌阳断陷双河-赵凹地区扇三角洲砂岩典型沉积微相特征

Fig.5 Representative sedimentary microfacies of the fan delta sandstones in the Shuanghe-Zhao'ao district, Biyang fault depression

表 3 泌阳断陷核三上段 S5 层序水进体系域各型砂体粘土矿物类型及其相对含量

Table 3 Types and contents of the clay minerals from the sandstones in the transgressive systems tract of S5 sequence in the upper part of the third member of the Hetaoyuan Formation in the Shuanghe-Zhao'ao district, Biyang fault depression

砂体类型	岩性	样品数	取样位置	粘土矿物类型及其含量/%					物理化学条件	
				高岭石(K)	伊利石(I)	伊/蒙混层+蒙脱石(I/S+S)	绿泥石(Ch)	伊利石+伊/蒙混层+蒙脱石(I+I/S+S)	酸碱性	古盐度
辫状河道及分流河道砂体	砾岩、砾状砂岩	15	盆缘	56.75	28.05	12.50	2.70	40.55	较酸性	较低
水下分流河道砂体	含砾砂岩	43		37.63	37.04	14.20	11.14	51.24		
河口砂坝砂体	砂岩	35		30.62	46.57	19.23	3.57	65.80		
前缘席状砂体	粉砂岩	86		18.67	49.67	21.33	10.33	71.00		

统计结果表明,核三上段 S5 层序水进体系域各型砂体的砂砾岩中粘土矿物类型及数量呈现规律性变化特征(表 3)。从盆缘到盆内,即从辫头河道及分流河道砂体、水下分流河道砂体、河口砂坝砂体到前缘席状砂体,其岩性由粗变细,粘土矿物的绝对含量逐渐增多;就粘土矿物相对含量而言,高岭石逐渐减少,而伊利石、伊/蒙混层+蒙脱石逐渐增多,但绿泥石的变化规律不显。

造成粘土矿物规律性分布的原因有:①从盆缘到盆内,湖相泥质成分逐渐增加,故粘土矿物绝对含量逐渐增多,这与岩性粒度及粘土矿物含量呈正相关性的规律也是一致的;②由于盆缘部位受河流补给水的影响,古水型偏酸性、古盐度较低,易于形成高岭石沉淀,相反,盆内的古水型偏碱性、古盐度较高。有利于伊利石或蒙脱石的形成,由此可导致从盆缘到盆内的粘土矿物的化学分异作用;③扫描电镜显示,粘土矿物粒径大小不一,高岭石、伊利石较大,一般为 $2 \sim 4 \mu\text{m}$,而蒙脱石较小,仅 $0.1 \mu\text{m}$ 或更小。因此在沉积过程中,这些粒径不同的粘土矿物将随着水动力条件的减弱而从大到小依次淀积,即先沉积高岭石、伊利石,尔后沉积蒙脱石。于是形成了从盆缘至盆内的粘土矿物的机械分异作用。

蒙脱石和伊/蒙混层属膨胀性粘土矿物,前缘席

状砂体中相对含量最高,这将严重地影响其储集性能。辫状河道及分流河道砂体中虽然含膨胀性粘土矿物相对最少,但其分选性较差,对其储集性能亦不利。通常水下分流河道及河口砂坝砂体所含膨胀性粘土矿物相对较少,且其分选性好,应为极其有利的油气储集体。

参考文献:

- [1] 胡受权,等. 断陷湖盆陡坡带陆相层序体系域与油气藏成藏类型[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(1): 13 - 17.
- [2] POSAMENTIER H W, WEIMER P. Siliciclastic sequence stratigraphy and petroleum geology - where to from here [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(5): 731 - 742.
- [3] 顾晓忠. 陆源碎屑沉积体系[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.
- [4] 朱筱敏, 信荃麟. 湖泊扇三角洲的重要特征[J]. 石油大学学报, 1994, 18(3): 25 - 29.
- [5] 周书欣. 湖泊沉积体系与油气[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [6] KLEMM H D, ULMISHEK G F. Effective petroleum source rocks of the world: Stratigraphic distribution and controlling depositional factors [J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(2): 1809 - 1851.
- [7] POSAMENTIER H W et al. Variability of the sequence stratigraphic model: Effects of local basin factors [J]. Sedimentary Geology, 1993, 86(1): 91 - 109.

The transgressive systems tract of the continental sequences in the Biyang fault depression: oil and gas geological significance

GUO Wen-ping, HU Shou-quan

(Department of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, Guangdong, China)

Abstract: The transgressive systems tract of the continental sequences in the Biyang fault depression as a lacustrine basin is dominated by a retrogradational fan delta. The fluvial fan facies area becomes narrower and narrower at the edges of the slope zone close to the structural hinges. There are gradations from a littoral—shallow lake basinwards into a bathyal lake. The hydrocarbon reservoirs in the transgressive systems tract consist mainly of braided channel sandstone bodies in the alluvial fan facies, distributary channel, subaqueous distributary channel, channel mouth bar, and frontal sheet sandstone bodies in the fan delta facies. Since all of them were laid down in different depositional environments and physical and chemical conditions, the types and contents of the clay minerals from the sandstones and conglomerates may differ greatly and have exerted an important effect on the reservoir quality of the sandstones in the transgressive systems tract.

Key words: source—reservoir—seal association; reservoir quality; fan delta; transgressive systems tract; continental sequence; Biyang fault depression