

福山凹陷下第三系流沙港组沉积体系及演化特征*

刘丽军¹, 旷红伟², 佟彦明³, 王 赞⁴

(1. 中国地质大学能源系, 北京 100083; 2. 江汉石油学院地球物理系, 湖北荆州 434023; 3. 中国海洋石油研究中心南海西部研究院, 广东湛江 524057; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100101)

摘要: 运用地质、测井、地震及岩芯等综合方法, 对福山凹陷下第三系流沙港组的沉积体系进行了研究。流沙港组主要发育辫状河三角洲相和湖泊相两种沉积体系。根据沉积环境和沉积物特征, 将辫状河三角洲沉积相划分为辫状河三角洲平原亚相、辫状河三角洲前缘亚相和前辫状河三角洲亚相。其中以三角洲前缘亚相为沉积主体, 其内沉积构造丰富, 侧积交错层理发育。湖泊相沉积体系也可划分为4个亚相, 即浅湖亚相、半深湖亚相、深湖亚相及湖底扇亚相。其中湖底扇亚相比较发育, 特点是扇相砂体、砂砾岩体与深水泥岩页岩间互出现, 垂向上表现为推进式复合叠置、向上变厚变粗的层序。流沙港组自盆地中心至盆地边缘的沉积模式为湖底扇—深湖—半深湖—三角洲前缘—三角洲平原。沉积物源主要来自福山凹陷的南部。流沙港组二段发育一大套黑色泥岩, 为主要生油岩层和盖层, 流沙港组三段和一段南部的辫状河三角洲前缘亚相带为储集性能较好的厚层砂体, 从而使该组构成了良好的生储盖配置关系, 因此流沙港组是福山凹陷值得进一步勘探的有利层位。

关键词: 沉积体系; 沉积模式; 演化特征; 流沙港组; 下第三系; 福山凹陷

第一作者简介: 刘丽军, 女, 26岁, 在读博士生, 石油地质

中图分类号: TE111.3 文献标识码: A

1 地质背景

福山凹陷位于海南省北部, 其南部为海南隆起, 北入琼州海峡, 东临云龙凸起, 西与临高凸起相接。凹陷是受燕山运动的影响在古生界及中生界白垩系基底上发育起来的一个呈北断南超的箕状断陷, 构造走向 NE, 总面积为 2 880 km²。早第三纪沉积期, 沉积物源主要来自南部的海南隆起。

流沙港组为福山凹陷的油气重点勘探目的层, 厚约 1 500~2 000 m。在垂向上, 发育一套完整的水进—水退的旋回。主要由河流三角洲、湖泊等碎屑岩沉积体系组成。三角洲和湖底扇砂体构成该组的良好储层, 流沙港组二段的大套暗色泥岩为该组的主要烃源岩(图 1)。

2 沉积体系及特征

通过岩芯观察分析、测井资料、地震资料及分析化验资料综合研究, 流沙港组主要发育有辫状

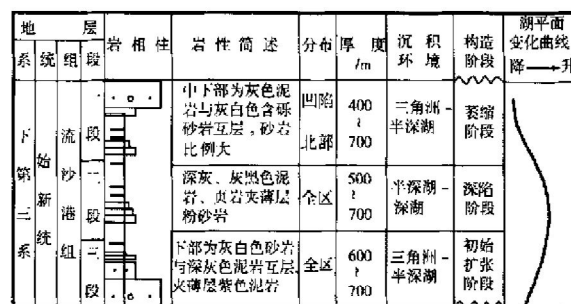


图 1 福山凹陷下第三系流沙港组地层序列与沉积特征

Fig. 1 Stratigraphic succession and depositional characteristics of Paleogene Liushagang Fm in Fushan Sag

河三角洲和湖泊沉积体系(表 1), 本文主要讨论这两种沉积体系的特征及其在凹陷不同发展阶段的配置样式。

2.1 辫状河三角洲沉积体系

流沙港组发育大量辫状河三角洲, 是由辫状河进积到湖泊中形成的。按其沉积环境和沉积物特征可划分为辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘和前辫状河三角洲 3 个亚相。

* 本文属中国石油天然气集团公司科技攻关项目
收稿日期: 2002-06-03

表 1 福山凹陷下第三系流沙港组沉积相类型

Table 1 Types of sedimentary facies of Paleogene Liushagang Fm in Fushan Sag

相	亚相	微相
辫状河三角洲相	三角洲平原亚相	分流河道微相、河漫泥微相
	三角洲前缘亚相	水下分流河道微相、河道间微相
	前三角洲亚相	前三角洲泥微相
湖泊相	浅湖亚相	浅湖砂坝微相、浅湖泥微相
	半深湖亚相	半深湖泥微相、浊积岩微相、碎屑流沉积微相、滑塌沉积微相
	深湖亚相	深湖泥微相、浊积岩微相
	湖底扇亚相	浊积岩微相、碎屑流沉积微相、半深湖泥微相、滑塌沉积微相

2.1.1 三角洲平原亚相

辫状河三角洲平原亚相包括分流河道沉积微相和河漫泥沉积微相。分流河道沉积是辫状河三角洲平原的主体,以河道砂坝侧向加积而形成的沉积物为主,岩性较粗,为砾岩、含砾砂岩及砂岩,局部见泥岩。它们组成若干向上变细层序,一般从砾岩→含砾砂岩→砂岩,有时顶部出现一层薄泥岩层。单一层序的厚度一般为 0.5~ 5 m 不等,层序底部为冲刷接触,冲刷面起伏不大,其上分布有河床滞留砾石沉积。层内见平行层理,大-中型板状交错层理及槽状交错层理,局部见滑塌构造。此外,砂坝侧向迁移加积形成的“侧积交错层”^[1~ 3]特别发育(图 2)。

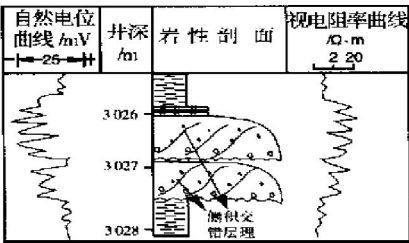


图 2 流沙港组三段辫状河三角洲垂向序列(美 2 井)
Fig. 2 Vertical succession of braided delta in the 3rd member of Liushagang Fm (based on Mei 2 well)

侧积交错层是水道侧向迁移加积作用的产物。侧积交错层层系厚度较大,多在 0.5 m 以上,层系多呈板状,也见楔状和透镜状,局部均发育冲刷构造,冲刷面上往往分布砾石或粗砂。单一层系从底到顶沉积物粒度明显变细,多从砾石级(以

细粒为主)到中砂,局部达细砂级。侧积交错层的细层厚度也较大,一般为 2~ 10 cm,局部达 10 cm 以上。且同一层系中细层厚度也有较大差别,细层多呈“S”形,向上向下明显收敛,但多数侧积交错层因受到侵蚀而保留其下部,从而形成向下明显收敛的细层。同一层系中细层的粒度可有较大的差别。侧积交错层的“细层”中可发育次一级的前积作用形成的交错层,常见有板状交错层及沙纹层理等,其分布受“细层”界面的限制。这种侧积交错层是一种良好指示沉积环境的标志,它指示河道或水下分流河道的快速侧向迁移,在富砂少泥环境中易于发育,是辫状河三角洲沉积中最主要的沉积构造。

2.1.2 三角洲前缘亚相

辫状河三角洲前缘亚相是辫状河三角洲沉积的最活跃场所,其沉积物也是辫状河三角洲的主体,由水下分流河道、河道间沉积、河口砂坝及远砂坝组成。其中水下分流河道沉积为前缘的主体(图 3)。

2.1.2.1 水下分流河道沉积

水下分流河道沉积分布于辫状河三角洲前缘靠陆一侧,是辫状河三角洲平原亚相中辫状河入湖后在水下的延续部分。沉积物粒度粗(较辫状河三角洲平原亚相中的分流河道稍细),为细砾岩、含砾砂岩及砂岩。岩石呈颗粒支撑,基质含量少。它们组成若干向上变细的层序,常为细砾岩-含砾中粗砂岩-中砂岩,局部旋回上部出现细砂岩(旋回的主体为中粗砂岩)。单一旋回的厚度一般为 0.5~ 2 m,少数可达 5 m。旋回底部为冲刷接触,冲刷面起伏不大,冲刷面分布着滞留砾石沉积。砂体中“侧积交错层”极发育,是流沙港组该类沉积的主要沉积构造现象;此外还可见平行层理及大-中型交错层理。

2.1.2.2 河道间沉积

分流河道间沉积较细,常为粉砂岩与泥岩。颜色较深,为灰色及灰绿色,因水下分流河道特别活跃、迁移频繁,河道间沉积物往往受到侵蚀破坏,很少保存下来,且多以透镜体的形式出现。

2.1.2.3 河口砂坝沉积

河口砂坝沉积是三角洲前缘较为特征的微相单元。其岩相以细砂岩、粉砂岩为主,次为泥质粉砂岩。垂向上,往往由粉砂岩-细砂岩组成,自下而上层序变粗,其层理构造由小型交错层理向上

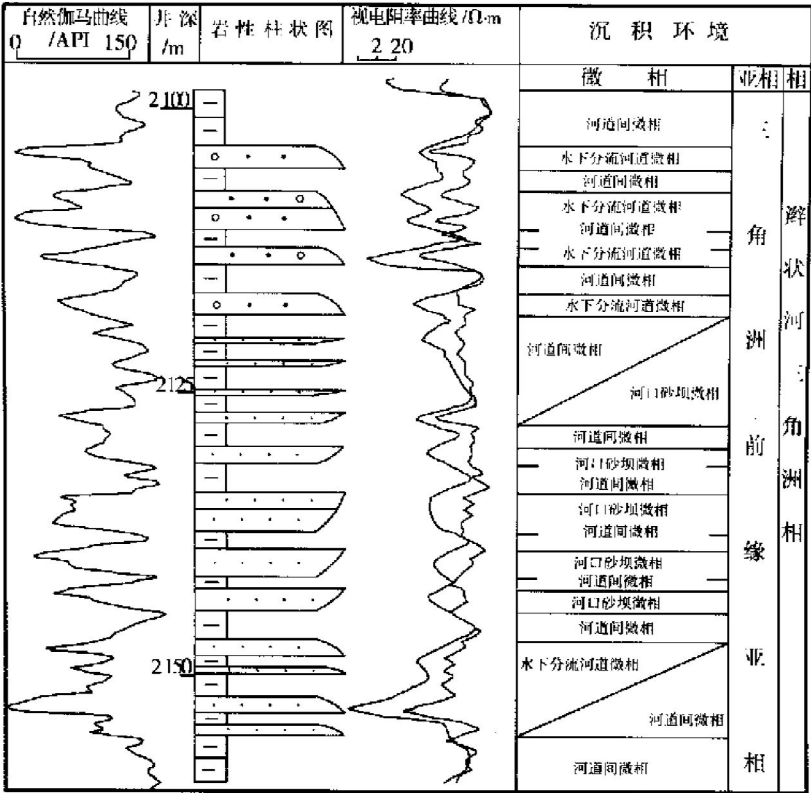


图 3 辫状河三角洲垂向层序(花 1 井)

Fig. 3 Vertical succession of braided delta (according to Hua 1 well)

变为中型交错层理或平行层,并常见液化变形层理。河口砂坝的测井相一般呈漏斗形+箱形,个别层出现漏斗形+钟形。

2.1.2.4 远砂坝沉积

远砂坝沉积为三角洲前缘末端沉积,由薄层状粉砂岩、细砂岩及少量粘土岩组成,常见水流波痕及浪成沙纹层理。垂向上常与前三角洲泥岩呈互层状出现,形成下细上粗的反粒序组合。

2.1.3 前辫状河三角洲亚相

前辫状河三角洲亚相位于辫状河三角洲前缘带向湖的较深水区,由灰绿色、深灰色及灰黑色薄层粉砂质泥岩、泥岩或页岩组成。粉砂岩中可见浪成沙纹层理,泥岩中可见水平层理。

2.2 湖泊沉积体系

研究区在流沙港期湖泊相沉积发育,分布广泛,厚度巨大,局部可达 1 000 m 以上。本区湖泊沉积相共包括 4 个沉积亚相,12 个沉积微相(表 1)。沉积亚相有浅湖亚相、半深湖亚相、深湖亚相及湖底扇亚相。

2.2.1 浅湖亚相

浅湖亚相泛指浪基面至枯水面之间的地带,

严格划分则指波浪和湖流所及地带到枯水位附近波浪破碎带之间的地区。浅湖亚相水虽浅,但始终位于水下,波浪和湖流作用较强,属弱还原到弱氧化环境。岩性主要为浅灰、灰绿色粉砂质泥岩和粉细砂岩的薄互层。砂岩成熟度较高,常为钙质胶结。显水平、波状、斜坡状、中-小型交错层理。

当湖底地形平缓、砂质供应充分时,在宽缓的浅湖地带可形成呈席状展布的砂质浅滩或局部砂质堆积加厚的砂坝沉积,即浅湖砂坝微相。多分布于湖泊边缘、湖弯、湖中局部隆起周围的缓坡侧,其组成物质来自附近三角洲或其他近岸浅水砂体,经湖浪和湖流搬运至此,经反复地淘洗筛选,砂岩成熟度较高,含泥少,粉砂和中-细砂最常见,也有少量砾石,常为钙质、铁质胶结,常见波状层理、交错层理。在沉积层序上常呈下细上粗的反旋回沉积。

2.2.2 半深湖亚相

位于波基面以下水体较深部位,地处缺氧的弱还原-还原环境,沉积物主要受湖流作用的影响,波浪作用已很难影响沉积物表面。其沉积类型主要为半深湖泥和浊积岩,其次有碎屑流沉积

和滑塌沉积(图 4)。半深湖泥常为有机质丰富的暗色泥岩、页岩或粉砂质泥岩、页岩、水平层理发育,间有细波状层理。

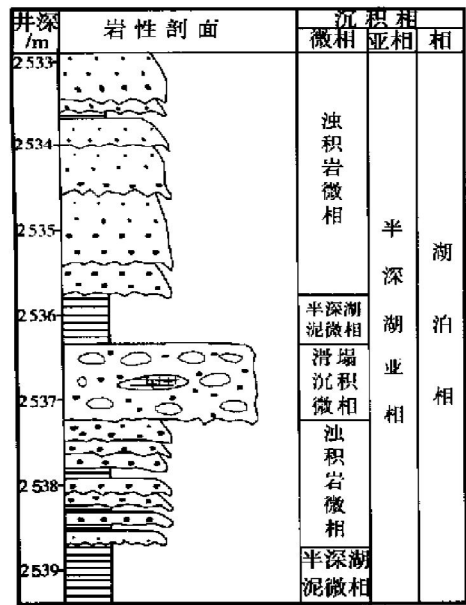


图 4 流沙港组一段半深湖沉积层序(金凤 6 井)
Fig. 4 Moderate lacustrine sedimentary sequence in the 1st member of Liushagang Fm (based on Jinfeng 6 well)

2.2.3 深湖亚相

位于湖盆水体最深部位,波浪作用已完全不能涉及,水体安静,地处缺氧的还原环境。其沉积类型主要为深湖泥,其次为浊流沉积。深湖泥岩以灰黑、黑色泥岩、页岩为特征。含自生黄铁矿晶体,微细水平层理、季节性纹层和厚层块状层理发育。

2.2.4 湖底扇亚相

湖底扇在流沙港组较为发育,包括浊积岩微相、碎屑流沉积微相、滑塌沉积微相和半深湖泥微相等类型。位于半深湖-深湖区,主要由重力流沉积所组成,其特点是扇相砂体、砂砾岩体与深水泥页岩间互出现。在形态上呈扇形,在垂向上表现为推进式复合叠置的向上变厚变粗层序。

在研究区,浊积岩微相不仅发育于湖底扇亚相中,而且还发育于半深湖亚相和深湖亚相中。它包括低密度浊流沉积和高密度浊流沉积两种类型^[4]。低密度的浊流沉积即通常所称的浊积岩,或称经典浊积岩,其特征完全由鲍马层序来描述,但最常见是 ae, abe, abce 组合等,其岩性主要为粉砂至中、细砂岩。底部可见槽模、沟模及重荷模

等。高密度浊积流沉积较低密度浊流沉积相,一般为中、粗砂级,常含有细砾组分。粗尾粒序层理、平行层理、中至大型交错层理在垂向上规律出现,构成似鲍马序列,如 abc, abe, abce 等。此类沉积常发育在湖底水道内,并常与碎屑流沉积共生。

碎屑流沉积的粒度范围宽广,通常呈块状。无分选,无粒序。但其顶部可见正粒序。它一般为水道的充填体,也可呈席状产出。按其基质的含量可将其分为富基质的和贫基质的两类^[5]。研究区以富基质者为主。

滑塌沉积在流沙港组中也比较常见。既有以塑性变形为滑塌褶皱,也有滑塌震荡作用较强烈的滑塌角砾岩(图 5)。滑塌沉积主要发育在凹陷的低部位或斜坡带。主要动力源于水流挟带的大量砂砾泥混杂物在重力的作用下快速向下堆积而成。滑塌沉积主要发育在盆地断陷强烈时期。因为,在盆地断陷的强烈时期,由于断裂的强烈活动,福山凹陷急剧沉降,形成了半深水或深水环境。由于断裂活动及福山凹陷南高北低的古构造地貌,造成流沙港组沉积时期南部三角洲体系的不稳定。在这些不稳定因素的作用下,导致已经发育成型的三角洲前缘带的堆积物很容易沿斜坡向盆地内部滑塌、移动或搬运,在盆地的低部位或准斜坡地带形成湖底扇亚相中的滑塌沉积微相。

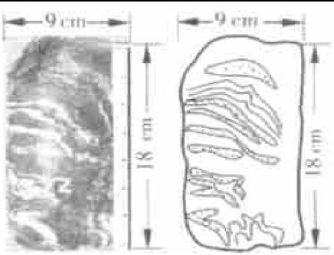


图 5 滑塌沉积素描图(见揉皱现象)
Fig. 5 Sketch map of slump deposit (with wrinkle)

3 沉积体系平面分布规律及有利储集相带预测

3.1 平面分布规律

流沙港期是福山凹陷的主要成盆期,沉陷幅度较大,地势较陡,由此导致流沙港组深水湖泊沉积比较发育,辫状三角洲沉积相当发育,深湖区还发育湖底扇。

3.1.1 流三亚期(流沙港组三段沉积期)

流三亚期的辫状河三角洲沉积最为发育,占

研究区总面积的将近一半,在研究区的南部、西部及东北部均有辫状三角洲发育。研究区北部为半深湖相及深湖相暗色泥岩分布区,其中深湖相主要发育于凹陷中部,其周围均为半深湖相环绕,深湖区可能存在湖底扇(图6)。

辫状河三角洲相中以三角洲前缘亚相最为发育,是辫状三角洲沉积的主体。近物源部分为三角洲平原。相对细粒的前三角洲沉积呈较窄的条带环绕三角洲前缘分布,与半深湖相毗邻。

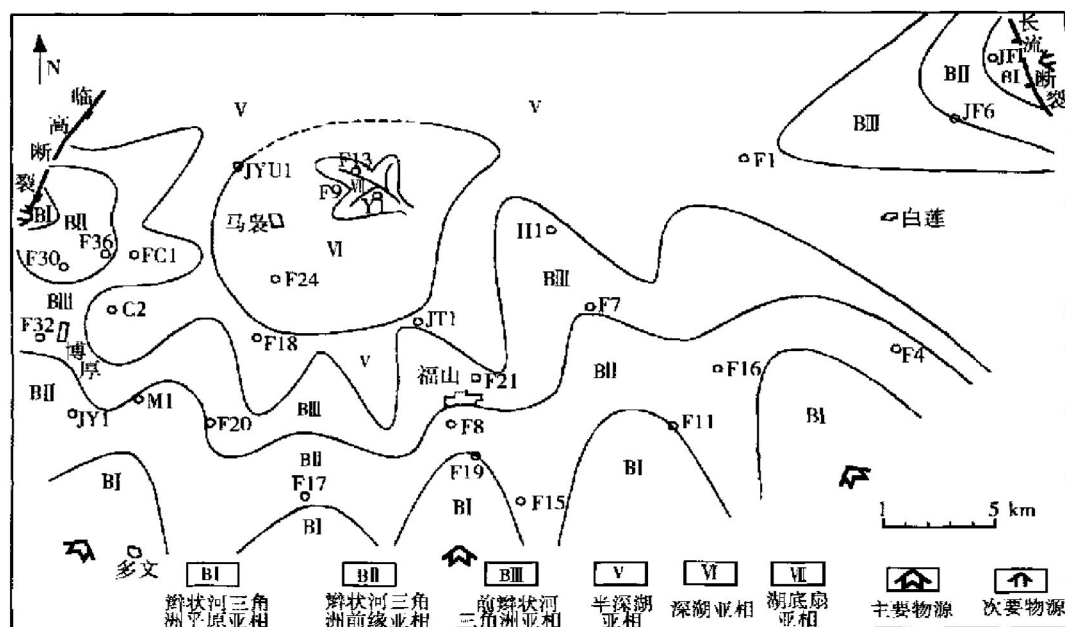


图6 福山凹陷流沙港组流三段沉积体系平面图

Fig. 6 Plan view of sedimentary system in the 3rd member of Liushagang Fm in Fushan sag

由于当时地形较陡,来自海南隆起的物源并非由单一的河流输入福山凹陷,而是由多条河流同时自南向北搬运的。因此,在福山凹陷南部,不是形成一个单独的三角洲,而是形成了一系列自南向北推进的辫状三角洲群,它们侧向相联,形成了一个近东西向的具有一定宽度的条带。

凹陷南部的三角洲前缘大致呈东西向分布,但在花场一带向北突出,此处三角洲前缘的分布更宽广一些。在凹陷西缘向东推进的辫状三角洲规模较小,向南一带与南缘的三角洲联为一体。研究区东北角也有一个小型辫状三角洲,向南西方向推进。

3.1.2 流二亚期(流沙港组二段沉积期)

流二亚期是福山凹陷最大湖侵期,流二段的深水湖泊相最为发育,研究区北半部几乎全为深湖亚相分布区。加上其周围的半深湖亚相,占研究区总面积的70%以上。流三亚期凹陷南部大范围分布的辫状三角洲群,此时已向南退缩至凹陷南缘,而凹陷西部及东北部流三亚期的辫状三角

洲,此时已演变为半深湖及深湖亚相。

3.1.3 流一亚期(流沙港组一段沉积期)

流二段沉积之后,福山凹陷周缘较大范围隆升,导致部分地区缺失流一段。缺失流一段地区还有博厚断阶带。这样,福山凹陷流一亚期的沉积范围比流二亚期要小得多。然而其沉积相分布格局与流二段却比较相似。凹陷的北部仍为深湖相区,只是范围缩小,南界向北退缩,东、西两端也略向后退缩。湖底扇仍然发育。凹陷南部的辫状三角洲群较流二亚期整体向北推进了4~7 km。凹陷东北角的辫状三角洲又开始发育。流一段沉积之后,福山凹陷整体隆升,遭受剥蚀。

3.2 流沙港组沉积模式

流沙港组沉积体系分布极具规律性。凹陷北部为深水湖泊沉积;凹陷南部发育侧向相连成裙状的辫状三角洲沉积。这样,自南而北依次分布辫状三角洲平原、辫状三角洲前缘、前辫状三角洲、半深湖及深湖沉积,深湖及半深湖中还可发育湖底扇沉积(图7)。

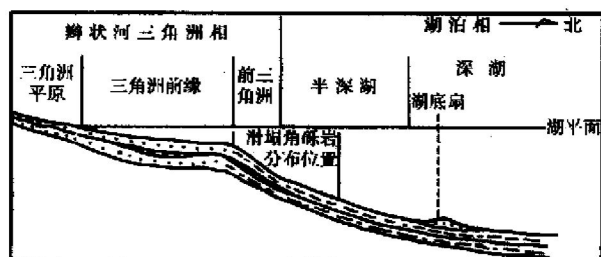


图7 流沙港组沉积模式图

Fig. 7 Sedimentary pattern of Liushagang Fm in Fushan sag

3.3 有利油气储集相带预测

福山凹陷为一半地堑断陷盆地。流沙港组沉积时期, 沉积体系在横向上的演化具有规律性, 沉积相模式为辫状三角洲—半深湖—湖底扇—深湖沉积。流沙港组二段的大套暗色泥岩为主要生油岩层和盖层, 南部流沙港组三段和流沙港组一段发育的辫状河三角洲前缘带为储集性能较好的厚层砂体。从油源配置关系来讲, 形成很好的生储

盖组合关系。盆地深处发育的湖泊沉积中大套暗色泥岩为很好的生油岩, 而盆地南部边缘的辫状河三角洲沉积为储集性能较好的储集岩层, 盆地深处的湖底扇沉积也可作为独立的储集砂体。从油源配置关系和油气运移的难易程度来讲, 流沙港组容易形成油气藏, 是很好的油气勘探层。

参 考 文 献

- 1 李维锋, 高振中, 彭德堂, 等. 侧积交错层——辫状河道的主要沉积构造类型[J]. 石油实验地质, 1996, 18(3): 298~302
- 2 李东海, 康仁华, 李维锋, 等. 渤海洼陷下第三系沙河街组辫状河三角洲沉积[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 185~186
- 3 纪友亮. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 98~116
- 4 吴崇筠, 李纯菊, 刘国华, 等. 断陷湖盆中的浊积岩[A]. 见: 中国石油学会石油地质专业委员会. 碎屑岩沉积相研究[C]. 北京: 石油工业出版社, 1988. 1~17
- 5 Middleton G V. Experiments on density and turbidity currents: III deposition of sediment[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1967, 4: 475~505

SEDIMENTARY SYSTEMS AND EVOLUTION CHARACTERISTICS OF LOWER TERTIARY LIUSHAGANG FORMATION IN FUSHAN SAG

Liu Lijun¹ Kuang Hongwei² Tong Yanming³ Wang Yun⁴

(1. Dep. of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing; 2. Dep. of Geophysics, Jiangnan Petroleum College, Jingzhou, Hubei; 3. Nanhai West Institute of CNOOC Research Center, Zhanjiang, Guangdong; 4. Institute of Geology & Geophysics, CAS, Beijing)

Abstract: Through composite method of geological, log, seismic and core analyses, depositional system of Eogene Liushagang Fm in Fushan sag has been studied. Braided delta and lacustrine facies are two major depositional systems developed in Liushagang Fm. The braided delta facies can be divided into three sub-facies: delta plain sub-facies, delta front sub-facies and pro-delta sub-facies based on depositional environment and sedimental features. Among which, the delta front sub-facies constitutes the main body of sediments characterized by abundant sedimentary structures, such as the lateral accretionary cross beddings. The lacustrine depositional system can also be divided into four sub-facies, i. e. shallow lacustrine, moderate lacustrine, deep lacustrine and sublacustrine fan sub-facies. The sublacustrine fan deposit is relatively well developed and characterized by the interbeddings of sand bodies, glutinites, and mudstone and shales. It is vertically characterized by prograding and composite stacking, and thickening and coarsening upward sequences. The lateral evolution of Liushagang Fm shows the evolutionary patterns of sediments from basin center to basin margin to be sublacustrine fan, deep lacustrine, moderate lacustrine, delta front, and delta plain. The sediments have mainly sourced from the southern part of Fushan sag. Very thick black mudstone occurring in the 2nd member of Liushagang Fm constitutes the main oil source rock and caprock; while the thick sandbodies in braided delta front sub-facie belt, developed in the 1st member and 3rd member of Liushagang Fm, would be good reservoirs, both of them would constitute a good combination of source, reservoir and cap rocks. The Liushagang Fm in Fushan sag would, therefore, be the target of further exploration.

Key words: depositional system; depositional model; evolutionary characteristics; Liushagang Fm; Eogene; Fushan Sag