

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2017.02.006

东海盆地西湖凹陷花港组下段沉积相分析

蔡佳, 祁鹏, 宋双

(中海油研究总院, 北京 100028)

摘要: 西湖凹陷是东海盆地最具勘探潜力的地区, 渐新统花港组为一套厚度巨大的湖相砂泥岩地层, 是最重要的储层, 可以分为两段。综合应用测井、岩心、地震剖面、古生物等资料并与陆上相关盆地进行对比, 在西湖凹陷花港组下段共识别出 3 种主要的沉积体系: 湖泊、三角洲、河流。西湖凹陷在花港组时期是中国东部一个大型的拗陷型湖盆, 在古地形、古气候、湖平面、古水深、古物源 5 个地质因素的共同作用下形成大型浅水三角洲, 以三角洲前缘的水下分流河道复合体为特征, 物源供应充足, 汇聚成沿中央反转构造带推进的轴向物源。拗陷湖盆大面积三角洲相的发育形成了西湖凹陷大面积展布的优质储层, 中央反转构造带中北段是今后勘探的主攻方向和储量接替区。

关键词: 花港组; 物源体系; 拗陷湖盆; 西湖凹陷; 东海盆地

中图分类号: P736.2

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2017)02-0056-10

1 区域地质特征

西湖凹陷是东海盆地规模最大的第三系含油气凹陷, 同时也是中国近海天然气重点勘探区域之一^[1], 位于东海盆地东部, 大陆架东缘, 面积 5.9 万 km²。其东侧为钓鱼岛隆褶带, 西侧自北向南依次为长江拗陷、海礁隆起、钱塘凹陷、渔山东低隆起, 北部与福江凹陷相连, 南部与钓北凹陷相邻^[2], 呈一个北东-南西向的宽缓的碟状凹陷。在构造上西湖凹陷具有东西分带、南北分块的特点, 由西往东依次可分为西部斜坡带、中央反转带、东部断阶带^[3,4](图 1)。

西湖凹陷新生界主要发育古新统、始新统平湖组、渐新统花港组、中新统龙井组、玉泉组和柳浪组、上新统三潭组及第四系东海群, 沉积厚度逾万米^[5], 主要发育有近海河湖相、海陆过渡相、海相等沉积, 新生代经历了古新世—始新世早期断陷、渐新世中期拗陷、中中新世挤压褶皱和中新世—上新世晚期沉降 4 个演化阶段^[6-9]。

花港组发育于盆地演化的中期拗陷阶段^[10]。

西湖凹陷内花港组厚度一般为 500~2 000 m, 岩性主要是灰色、绿灰色、褐色、杂色泥岩、砂质泥岩与浅灰色、浅棕灰色砂岩、砂砾岩互层。花港组中多套厚达上百米的砂体是形成大气田的储层基础。

花港组与下伏地层呈不整合接触, 除含有丰富的孢粉化石外, 少见其他门类化石。从孢粉化石的组合来看, 反映了较湿润的亚热带气候。研究区域内出现的花港组地层可分为花港组上段和下段, 其中下段以粗砂岩为主, 夹少量的泥岩; 上段则为杂色泥岩与灰白色细砂岩、粉砂岩互层, 夹棕红或紫色泥岩和海侵层。从沉积演化角度来看, 花港组相当于拗陷阶段的初始沉降阶段。

花港组是西湖凹陷最重要的储油气层系, 在黄岩-春晓一带, 工业性油气流储层均位于花港组。目前一般认为西湖凹陷的烃源岩主要是平湖组煤系地层, 同时花港组顶部的一套泥岩是西湖凹陷最上部的一套区域性盖层, 那么花港组中下部的砂岩层就处在主力烃源岩之上、区域性盖层之下, 具有得天独厚的成藏条件。因此, 搞清花港组下段的沉积相分布及演化、砂体的分布, 对西湖凹陷油气勘探具有重要的意义。

前人对花港组已经做了很多的研究, 但是从沉积相图来看存在着很大的差异, 归结起来可以分为两类^[11-15], 差异主要体现在 3 个方面: (1) 盆地的性质, 花港组沉积时期是断陷还是拗陷; (2) 主要的物源方向及规模, 是只有东部物源还是东西都有物源, 或者存在其他方向的物源, 各个物源的规模如何; (3) 有没有中深湖相存在。这 3 个问题又是互相交

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“典型断陷富油气凹陷层序构成样式的差异性研究”(40872077); 国家科技重大专项“近海富烃凹陷资源潜力再评价和新区、新领域勘探方向”(2011ZX05023-001); “近海大中型油气田形成条件与分布”(2011ZX05023-006)

作者简介: 蔡佳(1982—), 男, 工程师, 博士, 专业为石油地质学、层序地层及沉积学, 主要从事中国近海石油天然气综合地质及管理工作, E-mail: caijia2@cnooc.com

收稿日期: 2016-03-28; **改回日期:** 2016-07-05. 文凤英编辑

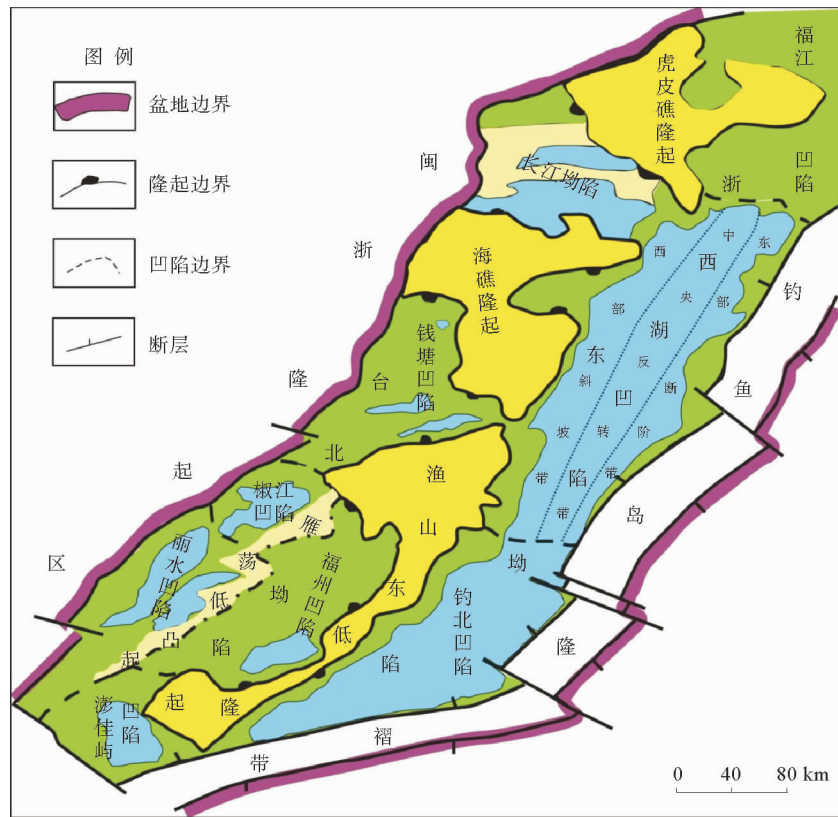


图 1 东海盆地西湖凹陷构造位置图(据胡明毅,有修改)

Fig. 1 The tectonic location of Xihu Depression in Donghai Basin

织、紧密联系的。本次以前人研究较少的花港组下段为目的层,通过大面积的三维连片解释,结合使用钻井、测井、地震、古生物、区域背景分析等地震-地质综合分析的方法,在发育条件上与陆上相关盆地进行对比,进行区域沉积相编图,搞清花港组下段的沉积相分布及演化,为西湖凹陷下一步的油气勘探储层研究打下基础。

2 花港组下段沉积相类型

对岩心岩石类型组合、沉积构造和测井相的分析,西湖凹陷花港组下段可识别出河流、湖泊和三角洲等沉积相类型。

2.1 花港组下段单井及连井沉积相分析

(1)A 井岩心相分析

A 井位于凹陷的西斜坡,花港组下段岩心资料较全,对其进行了深入系统的分析。图 2 是 A 井花港组下段取心,下部泥质粉砂岩与粉砂质泥岩互层,上部泥岩中含沥青,泥岩破碎状,粉砂岩中发育浪成砂纹层理,为浅湖相沉积。上部波状层理为主,粉砂质泥岩中见变形构造,为三角洲前缘的河口坝沉积。

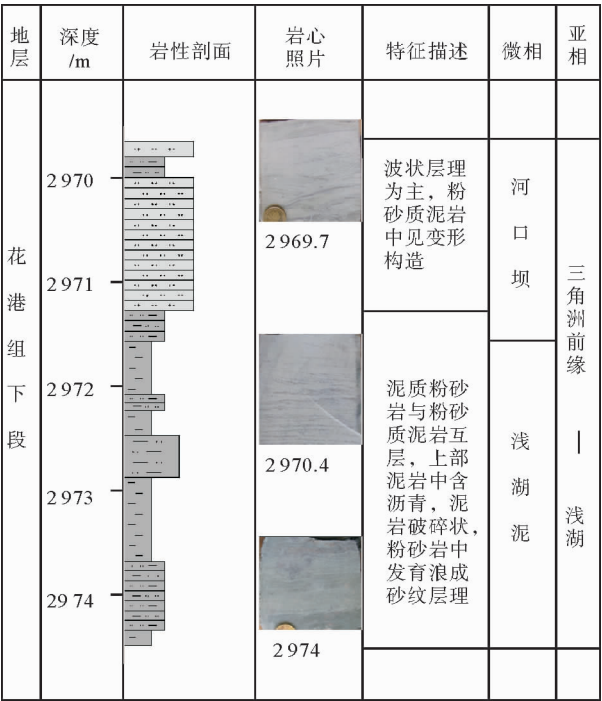


图 2 西湖凹陷 A 井花港组岩心柱状图(位置见图 9)

Fig. 2 Core for well A of Huagang Formation in Xihu Depression

(2)B 井和 C 井单井相分析

B 井是西湖凹陷的发现井,钻在凹陷中央反转

构造带的中北段,完钻深度为 4 800.00 m,完钻层位为花港组下段 B 段(未穿)。

4 398.00~4 678.50 m 为 A 段,4 678.50~4 800.00 m 为 B 段;中、下部为薄层—中厚层深灰色、黑色泥岩,深灰色粉砂质泥岩与中厚层—厚层浅灰色粉砂岩、细砂岩、含砾细砂岩互层,并间夹薄层浅灰色泥质粉砂岩、粉砂岩,灰白色灰质粉砂岩及若干煤层;上部为灰色、深灰色、褐灰色泥岩,灰色粉砂质泥岩与浅灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩、含砾细砂岩频繁互层。总体上以下粗上细的正旋回为特征,是水下分流河道和分流间湾的互层沉积,综合判断,沉积相类型为三角洲相的三角洲前缘亚相。三角洲前缘由水下分流河道、河口沙坝以及水下分流间湾沉积组成。水下分流河道总体特征与三角洲平原分流河道相似,为其水下延伸部分^[16-18](图 3)。

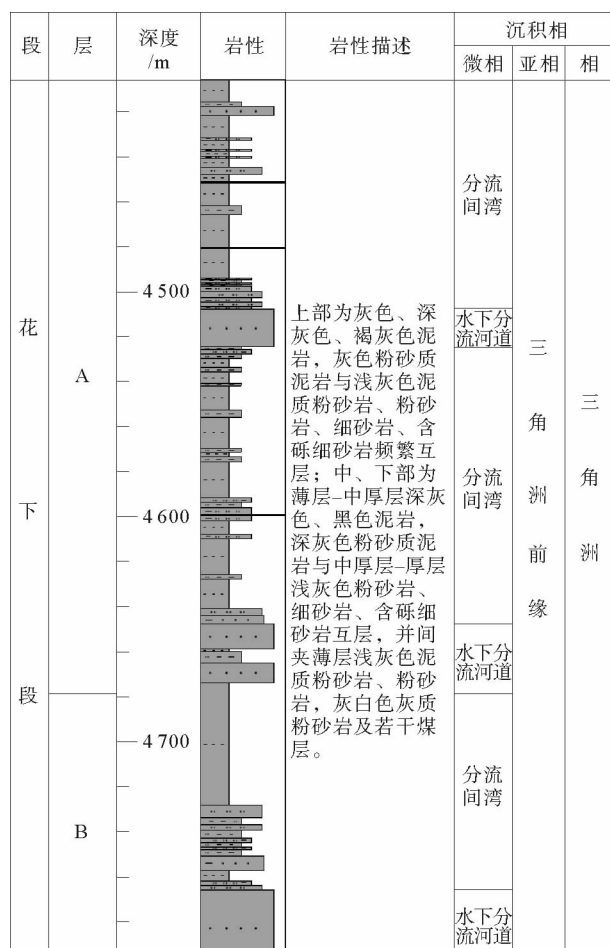


图 3 西湖凹陷 B 井花港组下段综合解释图(位置见图 9)

Fig. 3 Comprehensive interpretation for well B of the lower Huagang Formation in Xihu Depression

C 井(位置见图 9)也是西湖凹陷的发现井,钻在凹陷中央反转构造带的中北段,完钻深度为 4 460.00 m,完钻层位为花港组下段 A 段(未穿)。

4 227.85~4 460.00 m 为 A 段;深灰色、黑色泥岩,深灰色粉砂质泥岩与浅灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、细砂岩不等厚互层,间夹若干煤层及灰白色灰质砂岩层。总体上呈现下粗上细的正旋回,中间夹近百米的浅灰色细砂岩段是水下分流河道的复合体,深灰色粉砂质泥岩与浅灰色泥质粉砂岩的互层为分流间湾的沉积,综合判断其沉积相类型为三角洲相的三角洲前缘亚相。

以上两口井都是中央反转构造带中北段的重要发现井,经分析,它们都位于三角洲前缘的位置上,形成一个面积较大的富砂区,其大套的砂体都是水下分流河道的复合体。

(3) 花港组下段连井对比

在钻井、岩心、地震剖面研究的基础上,做了几条代表性的联井进行对比,以期在平面上能反映沉积相带的变化或展布。下面对 2 条重点联井剖面进行描述。

第一条联井剖面是 A-B 区联井剖面(位置见图 9)。联井表明砂体发育,可对比性较强,发育的砂体大大多于 C 区,反映其物源区的供源能力的差异,渔山隆起的构造活动性大于海礁隆起的中南部(图 4)。

第二条联井剖面是中央反转构造带联井剖面。联井表明中央反转构造带北部花港组下段上部砂体发育,较为连续,显示为一大物源;中央反转构造带中部花港组下段中部砂体发育,向上变细;中央反转构造带南部砂体分布复杂,同一相邻构造可对比性强,不同构造区别较大,整体砂体较为发育,可能反映了双向供源的特点。

2.2 花港组下段地震相分析

按照地震反射特征的差异,西湖凹陷花港组下段可划分为三类地震相:

I 类地震相为中频-中强振幅-较连续-杂乱相,代表沉积速率高,砂泥比高,是河流相的地震剖面特征。主要分布在凹陷的西斜坡、北部、东北部。某地震剖面过 D 井(位置见图 9),这口井以大套叠置的河道复合体为特征。

II 类地震相为中频-中振幅-低连续-亚平行发散相,代表沉积速率高,砂泥比较高,是三角洲相的地震剖面特征。主要分布在西斜坡与凹陷过渡带、中央反转构造带、凹陷东南部。在西斜坡多口井钻遇了三角洲相。在凹陷的东部,由于东海陆架外缘隆起的存在,物源丰富,在花港组下段能见到三角洲的前积。

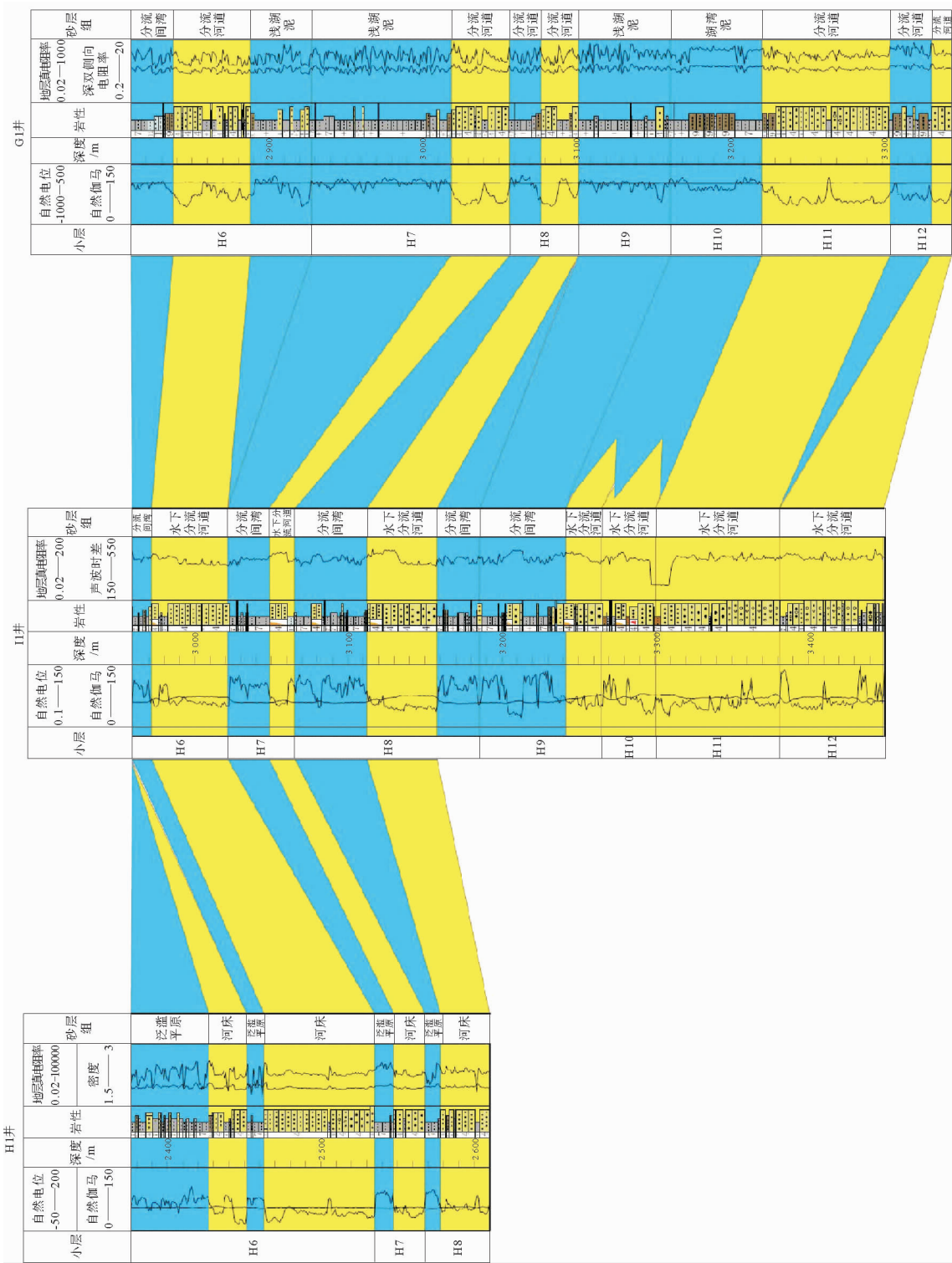
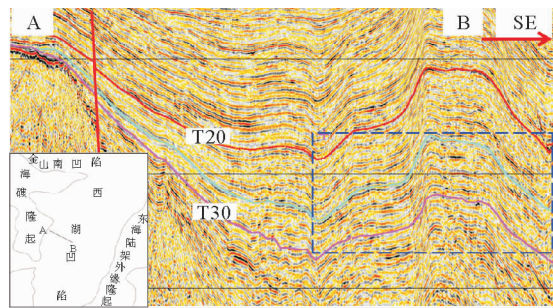


图4 西湖凹陷花港组下段联井剖面图
Fig.4 Well contrasts of the eower Huagang Formation ib Xihu Depression

III 类地震相为中频-中强振幅-中好连续-平行席状相,反映沉积较为稳定,能量较低,砂泥比较低,为滨浅湖相沉积的地震剖面特征(图 5)。主要分布在凹陷中部、南部。



图中蓝框内地震相为中频-中强振幅-中好连续-平行席状相,处在凹陷的中心部位,反映沉积稳定,砂泥互层发育,为滨浅湖相沉积的地震剖面特征

图 5 西湖凹陷花港组下段滨浅湖地震剖面特征
Fig. 5 The seismic facies of the lower Huagang Formation in Xihu Depression

2.3 花港组沉积环境背景与沉积相综合对比

经研究,认为花港组时期发育的三角洲具有浅水三角洲的特点,浅水三角洲是三角洲沉积体系的一种特殊的类型,它是指在构造稳定、水体浅、地形平缓部位形成的以分流河道砂体为主体的三角洲类型。通常浅水三角洲是在水体较浅和构造稳定的

台地、陆表海或地形平缓、整体缓慢沉降的坳陷盆地条件下形成的^[19]。国内学者将大庆油田、鄂尔多斯盆地的主力储层段界定为浅水湖盆三角洲沉积,讨论了该类湖盆水动力特征、三角洲模式及其控制因素^[20-27],现今研究的热点地区包括美国、加拿大、中国、南非、土耳其等。西湖凹陷花港组发育浅水三角洲有以下 5 个方面的有利因素:

(1)盆广坡缓古地形。西湖凹陷的面积有 5.9 万 km²,呈一个北东—南西向的宽缓的碟状,平湖组是一套近海湖沼相的煤系地层的沉积,花港组是在平湖组沉积后经历填平补齐之后的沉积,古地貌地形更为平缓。

花港组沉积时期发育一个统一的大型坳陷型湖盆。通过简单的估算,湖盆面积约有 3 万 km²,这个面积比现今中国陆相的湖盆面积都大,但是在地质历史时期,发育更大型的湖盆,比如松辽盆地的白垩系湖盆面积最大时有 15 万 km²,鄂尔多斯盆地湖盆面积最大也接近 10 万 km²,说明这样的大湖在地质历史时期存在过。通过构造演化剖面可以看出(图 6),西湖凹陷花港组地势平坦,稳定沉降。

通过在西湖凹陷不同地区所截的 3 条地震剖面可以看出,花港组地层产状相当平缓,坡度极小(图 7)。而新疆玛湖凹陷的百口泉组和松辽盆地的三肇凹陷泉头组都有相似的特征,也发育典型的大规模的浅水三角洲。

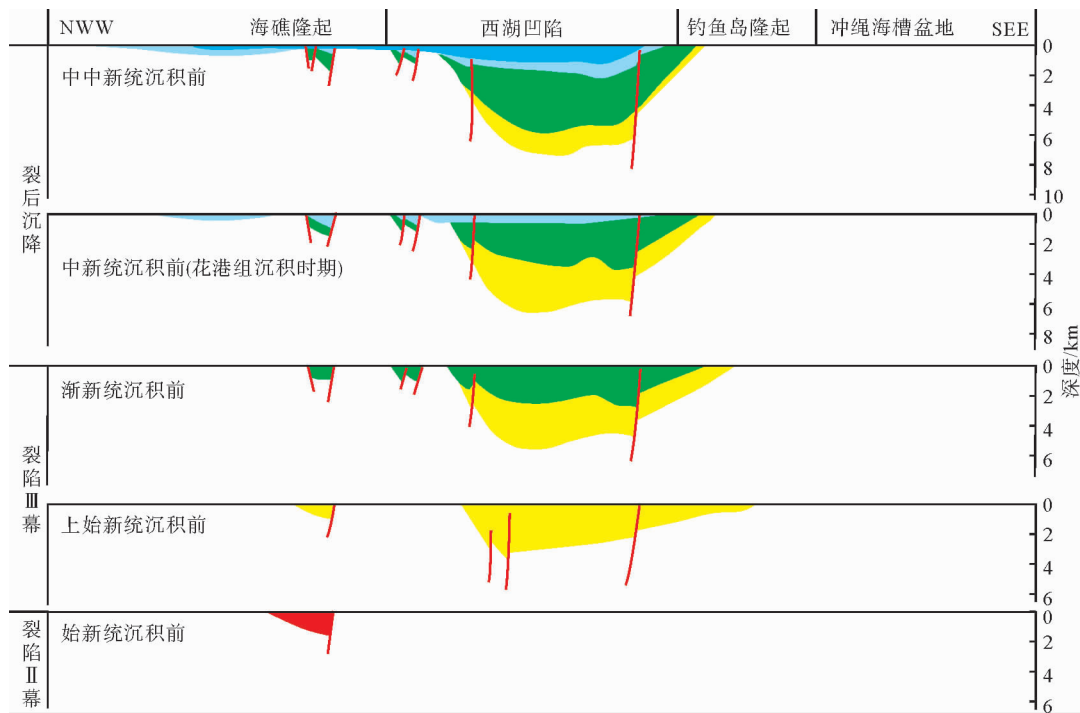
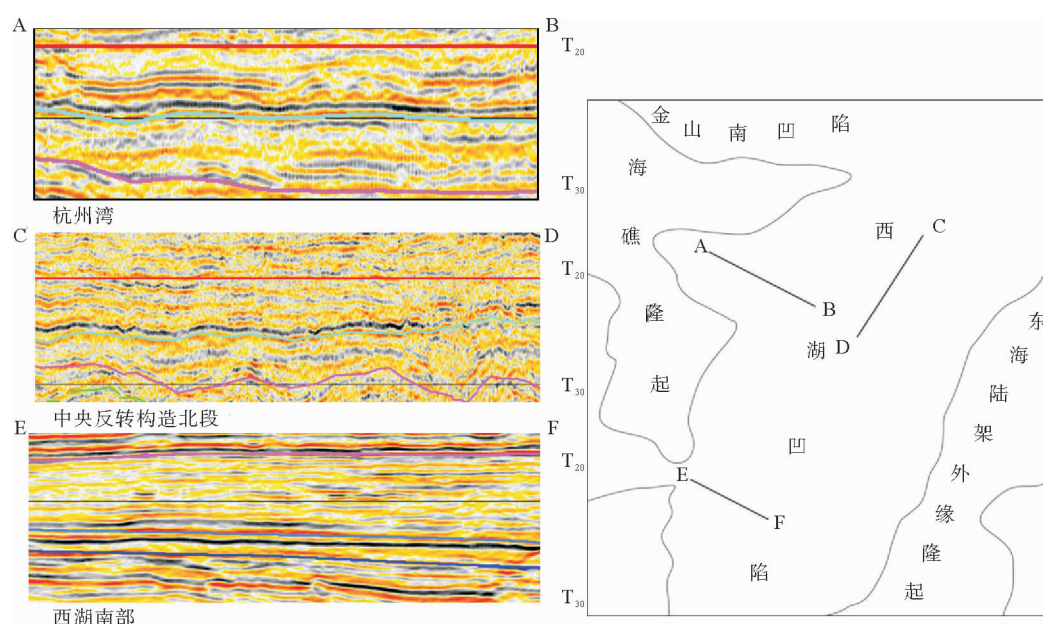


图 6 西湖凹陷构造演化剖面
Fig. 6 The tectonic evolution sections of Xihu Depression



图中为西湖凹陷不同地区的 3 条地震剖面,花港组地层产状相当平缓,坡度极小

图 7 西湖凹陷不同区域的花港组地震剖面

Fig. 7 The seismic profile of Huagang Formation in Xihu Depression

(2)温暖潮湿古气候。在西湖凹陷花港组下段是以陆生植屑为主,其中木质碎屑较多,其原始母质多为木质类(图 8)。植物群中耐温凉的松属占主要地位,水生植物菱属也很发育,属于温暖北亚热带气候。通过 E 井的地化指标也可以看出花港组沉积时期总体气候偏温湿,沉积物为陆源和陆源风化碎屑物。花港组时期元素的波动曲线显示,明显存有 3 个波峰和低谷的旋回,表明在花港组沉积时期至少有 3 次气候冷/暖的旋回。这种旋回性会影响物源的供应和湖平面的变化。当气候较为温暖湿润,

由于风化剥蚀作用更为强烈,会提供更多的物源,湖平面也会随着水量的增加而上升;当气候变冷,随之会转为干燥,风化剥蚀作用减弱,物源减少,湖平面也会随着水量的减少而下降。

(3)频繁多变湖平面。湖平面的变化可以引起多种指标的改变,其中氧化还原条件和古盐度可能与湖平面的变化联系更为紧密。Dypvik(1984)提出还原性环境 Cu/Zn 值增高,氧化环境则变低,且其比值不受成岩作用的影响,同时参考余素华提出的 $(\text{Sr} + \text{Ba})/\text{Rb}$ 和 $(\text{Ni} + \text{Co} + \text{V})/\text{Pb}$ 等指标,提出

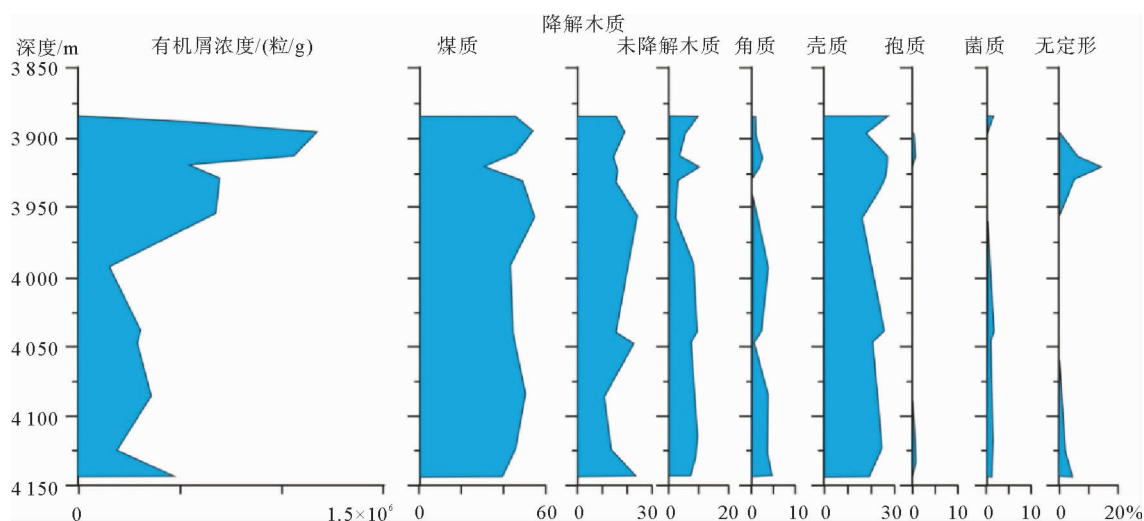


图 8 E 井花港组下段沉积有机屑浓度和组分图示(据吴国璋,2006)

Fig. 8 The seismic profile of Huagang Formation in Xihu Depression

三项指标,第一项指标是 Cu/Zn 的比值,以 0.3 为界,大于 0.3 为强还原环境,小于 0.3 为弱还原环境;第二项指标是 $(\text{Sr}+\text{Ba})/\text{Rb}$ 的比值,以 5.0 为界,大于 5.0 为弱还原环境,小于 5.0 为强还原环境;第三项指标是 $(\text{Ni}+\text{Co}+\text{V})/\text{Pb}$,以 6.0 为界,大于 6.0 为强还原环境,小于 6.0 为弱还原环境;将以上三项指标作为讨论沉积环境还原程度的依据。通过多口井的测算,各个井所在水体的氧化还原指标不断变化,表明花港组时期湖水频繁多变。同时选取了 $\text{S}\%$ 、 $\text{Cl}\%$ 、 Sr/Ba 、 V/Ni 、 Cu/Mg 、 Sr/Cu 等 6 项指标作为古盐度恢复方法的主要判断标志, Mg 、 Al 、 Fe 的含量作为辅助性指标。制定了下列指标: $\text{S}\%$ 以 10 为界,大于 10 为咸水环境,小于 10 为淡水环境; $\text{Cl}\%$ 以 0.6 为界,大于 0.6 为咸水环境,小于 0.6 为淡水环境; V/Ni 以 4.0 为界,大于 4.0 为咸水环境,小于 4.0 为淡水环境; Sr/Cu 以 6.5 为界,大于 6.5 为咸水环境,小于 6.5 为淡水环境; Sr/B 以 0.27 为界,大于 0.27 为咸水环境,小于 0.27 为淡水环境; Cu/Mg 以 22 为界,大于 22 为淡水环境,小于 22 为咸水环境。各个井的古盐度的变化曲线也可以指示湖平面的频繁多变。根据前人对西湖凹陷花港组层序地层划分结果显示:花港组一共发育两个长期基准面旋回,即两次较大范围湖侵^[28,29]。

(4) 动荡极浅古水深。花港组整体表现为浅水沉积的特点:湖相泥岩颜色灰色、见浪成砂纹层理,说明湖浪对砂体的改造起到重要的作用;骨架砂体以相互叠置水下分流河道砂体为主,缺乏河口坝;湖平面频繁升降,导致浅水湖盆大面积收缩与扩张,水上(褐色)与水下(灰色)沉积交替出现。

(5) 大河充足古物源。西湖凹陷东部是来自东海陆架外缘隆起的东部物源,这个隆起经恢复面积达十几万平方千米,能提供充足的物源,北部是来自福江凹陷的物源,西部是来自长江拗陷、海礁隆起、渔山低隆起的物源,共同向西湖凹陷这个持续沉降的拗陷汇聚,物源供应相当充足。发生于源、扇、三角洲、盆之间的充填机制制约了局部沉积体发育和各相的侧向迁移,而四者之间的充填平衡受制于多方面的因素^[30],这里不再深入探讨。

在以上 5 个因素的共同作用下形成了西湖凹陷花港组的浅水三角洲。陆上浅水三角洲的例子很多,松辽盆地的泉头组、鄂尔多斯盆地的盒 8 段、准噶尔盆地的侏罗系都发育浅水三角洲,鄂尔多斯盆地的沉积背景与西湖较为类似,可与西湖进行对比,它也是大型的拗陷湖盆,大面积地发育三角洲前缘相,物源供应充足,南、北三角洲前缘砂体对冲,甚至

可以连接起来。

2.4 西湖凹陷花港组下段沉积相

在单井、联井、地震相分析和综合利用重矿物、砂岩百分比含量等各种资料的基础上,编制了西湖凹陷花港组下段沉积相图(图 9)。

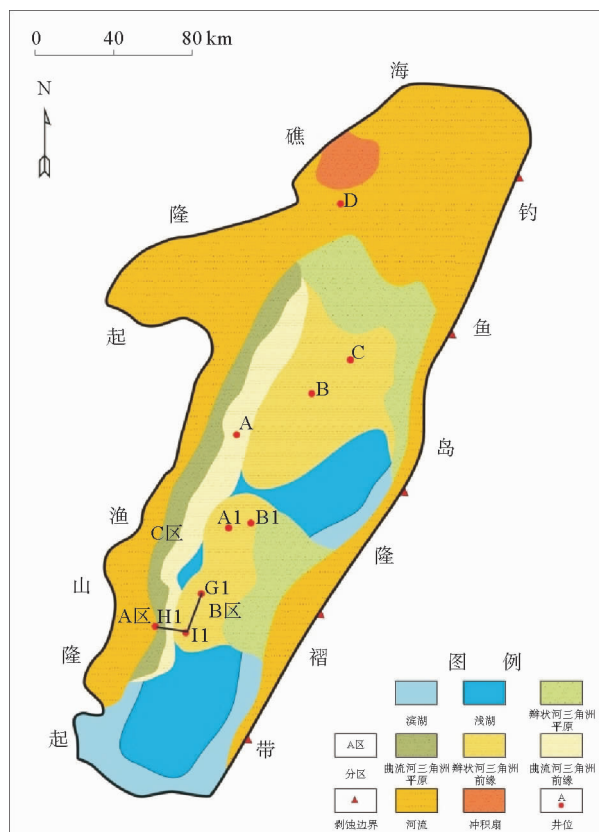


图 9 西湖凹陷花港组下段沉积相图

Fig. 9 Sedimentary facies of the Lower Huagang Formation in Xihu Depression

花港组下段沉积之前,发生于始新世与渐新世之间的玉泉运动,使西湖凹陷发展出现了重大变革,构造应力场由前期的拉张应力场向挤压应力场转化,导致盆地(凹陷)由裂陷阶段向拗陷阶段转换。整个东海盆地均匀沉降,西湖凹陷呈东陡西缓、北高南低的北北东向的宽阔峡谷,东、西两侧的侧向水系向凹陷中部聚集,汇聚成沿北北东向的轴向水系向南推进。在活动大陆边缘的背景下,区域构造演化和古地貌共同控制沉积体系的发育和展布。

花港组下段沉积时期,主体为河流-三角洲-湖泊的沉积体系,东西北部物源同时作用,在凹陷的西斜坡、北部和东部,广泛发育河流相,根据沉积背景分析,西部为曲流河,北部为辫状河,在河流的前端发育三角洲的沉积,西部三角洲由于物源供应的量

相对较少,平原和前缘推进相对较近,而北部的三角洲由于物源供应充足,形成沿中央反转构造带自北向南推进的前缘延伸较远的三角洲前缘沉积相,一直能推进到E构造,东南部也有一个大型三角洲发育,推进到A1-B1井区和I1-G1井区,整个凹陷由于物源供应相对充足,形成了三角洲前缘的对冲和连接,凹陷的其他部位发育滨浅湖相。

3 结论

经研究首次编制了西湖凹陷花港组下段的区域沉积相图,西湖凹陷在花港组时期是中国近海一个大型的拗陷型的湖盆,主体为河流-三角洲-湖泊沉积体系,由于水浅,形成大型浅水三角洲,以三角洲前缘的水下分流河道复合体为特征,物源供应充足,汇聚成沿中央反转构造带推进的轴向物源。其大型拗陷性湖盆的沉积模式如图10。拗陷湖盆大面积三角洲相的发育形成了西湖凹陷大面积展布的优质储层,沿中央反转构造带自北向南推进的轴向物源使得中央反转构造带成为西湖凹陷油气勘探获最新突破的领域,在这一领域还有一系列的大型构造是今后勘探的主攻方向和储量接替区。下一步的研究重点是通过地质-地球物理综合方法寻找优质储层发育区,在海上发现大中型油气田。

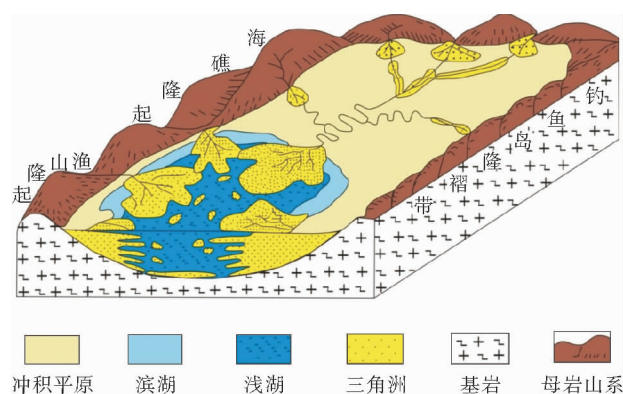


图10 西湖凹陷花港组拗陷性湖盆沉积模式

Fig. 10 Sedimentary model of depression lake basin

参考文献 (References)

[1] 林志强,周平.东海西湖凹陷新生界沉积相的演化[J].海洋地质与第四纪地质,1994,14(2):63-70. [LIN Zhiqiang,ZHOU Ping. Evolution of cenozoic sedimentary facies of Xihu depression in the shelf basin of the East China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1994,14(2):63-70.]

[2] 陈琳琳.西湖凹陷陆盆冲积体系河道演变规律探讨[J].上海地

质,2003,85(1):40-44. [CHEN Linlin. Discussion on channel evolution of continental alluvial system in Xihu trough[J]. Shanghai Geology, 2003,85(1):40-44.]

[3] 武法东,周平.东海陆架盆地西湖凹陷第三系层序地层与沉积体系分析[M].北京:地质出版社,2000. [WU Fadong,ZHOU Ping. Tertiary Sequence Stratigraphic and Sedimentary System Analysis in Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House,2000.]

[4] 张银国.东海西湖凹陷花港组油气地质条件与油气分布规律[J].石油实验地质,2010,32(3):223-226. [ZHANG Yinguo. Petroleum geology and hydrocarbon distribution pattern of huagang formation in the Xihu sag of the East China Sea[J]. Petroleum Geology&Experiment, 2010,32(3):223-226.]

[5] 陈志勇,葛和平.西湖凹陷反转构造与油气聚集[J].中国海上油气(地质),2003,17(1):20-24. [CHEN Zhiyong,GE He-ping. Inversion structures and hydrocarbon accumulation in Xihu sag, East China Sea basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology),2003,17(1):20-24.]

[6] 陶士振,邹才能.东海盆地西湖凹陷天然气成藏及分布规律[J].石油勘探与开发,2005,32(4):103-110. [TAO Shizhen,ZOU Caineng. Accumulation and distribution of natural gases in Xihu sag, East China Sea basin[J]. Petroleum Exploration and Development,2005,32(4):103-110.]

[7] 张远兴,叶加仁,苏克露,等.东海西湖凹陷沉降史与构造演化[J].大地构造与成矿学,2009,33(2):215-223. [ZHANG Yuanxing,YE Jiaren,SU Kelu,et al. The burial history and evolution of Xihu Depression[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009,33(2):215-223.]

[8] 何将启,梁世友,陈拥峰,等.东海盆地西湖凹陷新生代构造演化对油气的控制作用-以平湖组油气响应为例[J].石油实验地质,2008,30(3):221-226. [HE Jiangqi,LIANG Shiyu,CHEN Yongfeng, et al. Control on petroleum by cenozoic tectonic evolution in the Xihu sag, the East China Sea basin-taking petroleum response of the pinghu formation as an example[J]. Petroleum Geology&Experiment, 2008,30(3):221-226.]

[9] 宋小勇,储呈林,芮志峰.东海盆地西湖凹陷构造样式及其演化[J].高校地质学报,2010,16(1):86-93. [SONG Xiaoyong, CHU Chenglin,RUI Zhifeng. Structural framework and evolution of Xihu sag in East China Sea basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2010,16(1):86-93.]

[10] 陈琳琳,谢月芳.东海西湖凹陷花港组沉积模式初探[J].海洋石油,1998(4):15-21. [CHEN Linlin,XIE Yuefang. Discussion on depositional mode of huagang formation in Xihu trough, the East China Sea[J]. Offshore Oil, 1998(4):15-21.]

[11] 武法东,陆永潮.东海西湖凹陷渐新统花港组海绿石的发现及其意义[J].沉积学报,1997,15(3):158-161. [WU Fadong, LU Yongchao. The discovery and significance of glauconites in the huagong formation of the Oligocene, Xihu depression, East China Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15 (3):158-161.]

[12] 王果寿,周卓明.西湖凹陷春晓区带下第三系平湖组、花港组沉积特征[J].石油与天然气地质,2002,23(3):257-265.

- [WANG Guoshou, ZHOU Zuoming. Sedimentary characteristics of eogene pinghu formation and huangang formation in Chunxiao zone of Xihu lake depression[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3):257-265.]
- [13] 孙思敏, 彭仕宓. 东海西湖凹陷平湖油气田花港组高分辨率层序地层特征[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(4):184-187. [SUN Simin, PENG Shimi. High resolution sequence stratigraphic characters in huangang formation of pinghu oil and gas field in Xihu depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2006, 28(4):184-187.]
- [14] 胡明毅, 柯岭, 梁建设. 西湖凹陷花港组沉积相特征及相模式[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(5):1-5. [HU Mingyi, KE Ling, LIANG Jianshe. The characteristics and pattern of sedimentary facies of huangang formation in Xihu depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(5):1-5.]
- [15] 徐艳霞, 胡明毅, 梁建设, 等. 东海盆地西湖凹陷渐新统花港组物源分析[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(5):176-179. [XU Yanxia, HU Mingyi, LIANG Jianshe, et al. Sedimentary provenance analysis of Oligocene huangang formation in Xihu sag of East China Sea basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(5):176-179.]
- [16] 胡明毅, 马艳荣, 刘仙晴, 等. 大型坳陷型湖盆浅水三角洲沉积特征及沉积相模式-以松辽盆地茂兴-敖南地区泉四段为例[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(3):13-17. [HU Mingyi, MA Yanrong, LIU Xianqing, et al. Sedimentary characteristics and mode of shallow delta in large scale downwrap lacustrine basin-by taking quan-4 formation in maoping and aonan region in songliao basin for example[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(3):13-17.]
- [17] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2001. [ZHAO Chenglin, ZHU Xiaomin. Sedimentary Petrology[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2001.]
- [18] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2008. [YU Xinghe. Reservoir Sedimentology of Clastic stone[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2008.]
- [19] 韩晓东, 楼章华, 姚炎明, 等. 松辽盆地湖泊浅水三角洲沉积动力学研究[J]. 矿物学报, 2000, 20(3):305-312. [HAN Xiaodong, LOU Zhanghua, YAO Yanming, et al. Analysis of the sedimentary dynamic process of the shallow-water lake delta in the Songliao basin, northeast China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2000, 20(3):305-312.]
- [20] 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 等. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体的形成与分布[J]. 地质学报, 2008, 82(6):417-428. [ZOU Caineng, ZHAO Wenzhi, ZHANG Xingyang, et al. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6):417-428.]
- [21] 姚光庆, 马正, 赵彦超, 等. 浅水三角洲分流河道砂体储层特征[J]. 石油学报, 1995, 16(1):24-31. [YAO Guangqing, MA Zheng, ZHAO Yanchao, et al. Reservoir characteristics of distributary channel sandbodies of shallow water delta[J]. Acta Petrolei Sinica, 1995, 16(1):24-31.]
- [22] 吕晓光, 李长山, 蔡希源, 等. 松辽大型浅水湖盆三角洲沉积特征及前缘相储层结构模型[J]. 沉积学报, 1999, 17(4):572-577. [LV Xiaoguang, LI Changshan, CAI Xiyuan, et al. Depositional characteristics and front facies reservoir framework model in Songliao shallow lacustrine delta[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(4):572-577.]
- [23] 李文厚, 周立发, 赵文智, 等. 西北地区侏罗系的三角洲沉积[J]. 地质论评, 1998, 44(1):63-70. [LI Wenhui, ZHOU Lifa, ZHAO Wenzhi, et al. Deltaic sediments of the Jurassic in northwestern China[J]. Geological Review, 1998, 44(1):63-70.]
- [24] 楼章华, 卢庆梅, 蔡希源, 等. 湖平面升降对浅水三角洲前缘砂体形态的影响[J]. 沉积学报, 1998, 16(4):27-31. [LOU Zhanghua, LU Qingmei, CAI Xiyuan, et al. Influence of lake level fluctuation on sandbody shapes at shallow-water delta front[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(4):27-31.]
- [25] 楼章华, 兰翔, 卢庆梅, 等. 地形、气候与湖面波动对浅水三角洲沉积环境的控制作用-以松辽盆地北部东区葡萄花油层为例[J]. 地质学报, 1999, 73(1):83-92. [LOU Zhanghua, LAN Xiang, LU Qingmei, et al. Controls of the topography, climate and lake level fluctuation on the depositional environment of a shallow-water delta—A case study of the cretaceous putaoehua reservoir in the northern part of Songliao basin[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(1):83-92.]
- [26] 王生朗. 一种广盆式浅水湖泊沉积特点[J]. 断块油气田, 1998, 5(1):9-12. [WANG Shenglang. Characteristics of a kind of broad basin shallow lacustrine deposit[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 1998, 5(1):9-12.]
- [27] 朱伟林, 李建平, 周心怀, 等. 渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J]. 沉积学报, 2008, 26(4):674-681. [ZHU Weilin, LI Jianping, ZHOU Xinhui, et al. Neogene shallow water deltaic system and large hydrocarbon accumulations in Bohai bay[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4):674-681.]
- [28] 武法东, 李思田, 陆永潮, 等. 东海陆架盆地第三纪海平面变化[J]. 地质科学, 1998, 33(2):214-221. [WU Fadong, LI Sitian, LU Yongchao, et al. The Tertiary sea-level changes in the East China Sea shelf basin[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33(2):214-221.]
- [29] 武法东, 陆永潮, 李思田, 等. 东海陆架盆地第三系层序地层格架与海平面变化[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1998, 23(1):13-20. [WU Fadong, LU Yongchao, LI Sitian, et al. Tertiary sequence stratigraphic framework and sea-level changes in the East China Sea shelf basin[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(1):13-20.]
- [30] Fraser G S, Suttner L J. Alluvial fans and fan deltas[J]. Sedim Petrol, 1986, 33(52):473-491.]

SEDIMENTARY FACIES OF THE LOWER HUAGANG FORMATION IN XIHU DEPRESSION OF DONGHAI BASIN

CAI Jia, QI Peng, SONG Shuang

(CNOOC Research Institute, Beijing, 100028)

Abstract: The Xihu Depression is the most important potential oil and gas exploration areas in the Donghai Basin. The Huagang Formation, as the major reservoir rock comprised of lacustrine sandstone and mudstone, is very thick. The Formation could be further divided into 2 members. Based on the data of logs, cores, seismic profiles and paleontology, and compared with the basins on mainland, careful studies are devoted to the sedimentary system and sedimentary facies of the Huagang Formation in the Xihu Depression. There are three kinds of depositional systems, i. e. lacustrine, deltaic and fluvial systems. And the Xihu Depression was a large lake during the Huagang stage. Shallow water delta was formed under the control of paleotopography, paleoclimate, lake level, water depth and paleo-provenance, and characterized by underwater distributary channel complex in the delta front. Sediments are provided by the provenance along the central overturned structure zone. The large delta in the lake basin formed the high-quality reservoir in the Xihu Depression. The middle and north parts of the central overturned structure zone is supposed the main exploration target in the future.

Key words: Huagang formation; provenance system; depression lake basin; Xihu Depression; Donghai basin