

东海西湖凹陷A气田渐新统花港组三段 厚层砂岩沉积环境

朱毅秀^{1,2}, 黄导武³, 王欢^{1,2}, 何贤科³, 师源^{1,2}, 余亚明^{1,2}

[1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油大学(北京)油气资源与
探测国家重点实验室, 北京 102249; 3. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335]

摘要:西湖凹陷A气田花港组三段巨厚碎屑岩储层为研究区主力产气层与优质储层,对其沉积微相的厘定争议较大。综合利用研究区岩心、测井、地震、分析化验等相关资料,研究了目的层相标志、微相类型、沉积环境与相分布。研究认为本区发育辫状河三角洲前缘亚相,主要发育水下分流河道微相与分流间湾微相,不发育反映海相及海侵的沉积物与相标志。垂向上多期水下分流河道砂体叠置、厚度较大,水平延伸好;平面上水下分流河道由东北逐渐向西南呈树枝状分叉、连片分布,物源来自东北部。明确研究区属于陆相背景下的湖泊-三角洲沉积体系,为典型的牵引流沉积,不见海侵层序,高能量牵引流的水下分流河道微相是本区高产气藏储层发育的有利因素。

关键词:辫状河三角洲;沉积微相;花港组;中央反转构造带;西湖凹陷

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary setting of thick sandstone in the 3rd member of the Oligocene Huagang Formation in A gas field in the Xihu Sag, East China Sea Basin

Zhu Yixiu^{1,2}, Huang Daowu³, Wang Huan^{1,2}, He Xianke³, Shi Yuan^{1,2}, She Yaming^{1,2}

[1. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 3. Shanghai Branch of CNOOC Ltd., Shanghai 200335, China]

Abstract: The thick elastic reservoir in the 3rd member of the Huagang Formation is a major gas pay zone and high-quality reservoir in A gas field in the Xihu Sag, East China Sea Basin, but there still exists great dispute over its sedimentary microfacies. We studied the facies markers, microfacies types, sedimentary setting, and facies distribution of the target interval through integration of core, logging, seismic and laboratory data. The results show that the study area mainly develops the braided river delta-front subfacies, which mainly consists of underwater distributary channels and interdistributary microfacies without sediments and facies markers indicating marine facies and transgression. Vertically, multi-stage underwater distributary channel sand bodies superimpose, featuring large thickness and great horizontal extension. Laterally, the underwater distributary channels are characterized by tree-like bifurcation and continuous distribution from northeast to southwest, with its provenance in the northeast. It is believed that a lacustrine-delta sedimentary system of continental setting exists in the study area and is typical traction current deposits without any transgression sequence. The underwater distributary channels microfacies of high-energy traction currents is advantageous for the development of prolific gas reservoirs in the study area.

Key words: braided delta, sedimentary microfacies, Huagang Formation, central inverted structural belt, Xihu Sag

西湖凹陷是中国大陆架上最大的中、新生代沉积盆地-东海盆地的一个二级构造单元,是中国近海油

收稿日期:2019-01-28;修订日期:2019-08-02。

第一作者简介:朱毅秀(1966—),男,博士、副教授,岩石学、沉积学及储层地质学。E-mail:Zhuyixiu@cup.edu.cn。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX0506063-002)。

气重点勘探区域之一^[1-2],古近系的平湖组和花港组是其主 要勘探目的层^[1-4]。花港组形成环境主要有三方面认识,其一是此组形成于受过海水侵入的河流-湖泊-三角洲沉积体系的近海陆盆沉积^[5-8];其二此组形成于纯陆相的河流-三角洲-湖泊沉积体系^[9-15],包括河流相沉积体系、扇三角洲沉积体系和扇三角洲-湖泊沉积体系、辫状河流沉积和辫状河-湖泊沉积体系、曲流河及曲流河三角洲沉积体系等陆相沉积;其三为形成于河流、三角洲、潮控河口湾以及无障壁海岸四种沉积体系的海相滨岸沉积,形成于“南海北陆”的沉积格局^[16]。对花港组形成环境与沉积相认识相差较大,主要是由于勘探程度、地质资料、不同证据采用与权衡、作者个人认知等方面差异所致;同时西湖凹陷几万平方公里在一个地质历史时间仅发育一种沉积体系也是值得探讨的。因而有必要充分厘定已勘探与开发的区域沉积环境研究成果,总结有效的

研究方法、并运用到新区块和早先认识不清的模糊或交叉及边界区域,以揭示关键区域不同沉积体系的发育与展布特征及其演化规律,从而认识全凹陷花港期沉积环境,这有利于弄清本期不同区域砂体发育特征、规模与分布规律,有利于油气勘探开发。

A 气田正是近几年发现的一个新油气田,位于凹陷中央部位(图1)。对花港组上段巨厚砂体^[17](主力产层)的形成环境也是争论不休;钻井显示花港组三段几百米厚地层砂地比达70%以上,出现连续叠置超百米厚的砂层,在中国东部新生代地层层序中是比较罕见的。为了探讨此气田成因及分布规律有必要从沉积学角度揭示巨厚砂体形成环境及演化规律,前人对其形成环境认识也是持陆相和海相、河流、湿扇、滨岸等多种观点。本次研究充分利用A气田一个具体区块的钻井岩心、测井、地震及测试分析技术等多种资料,综合分析花港组三段(花三段)的沉积环境为整个凹

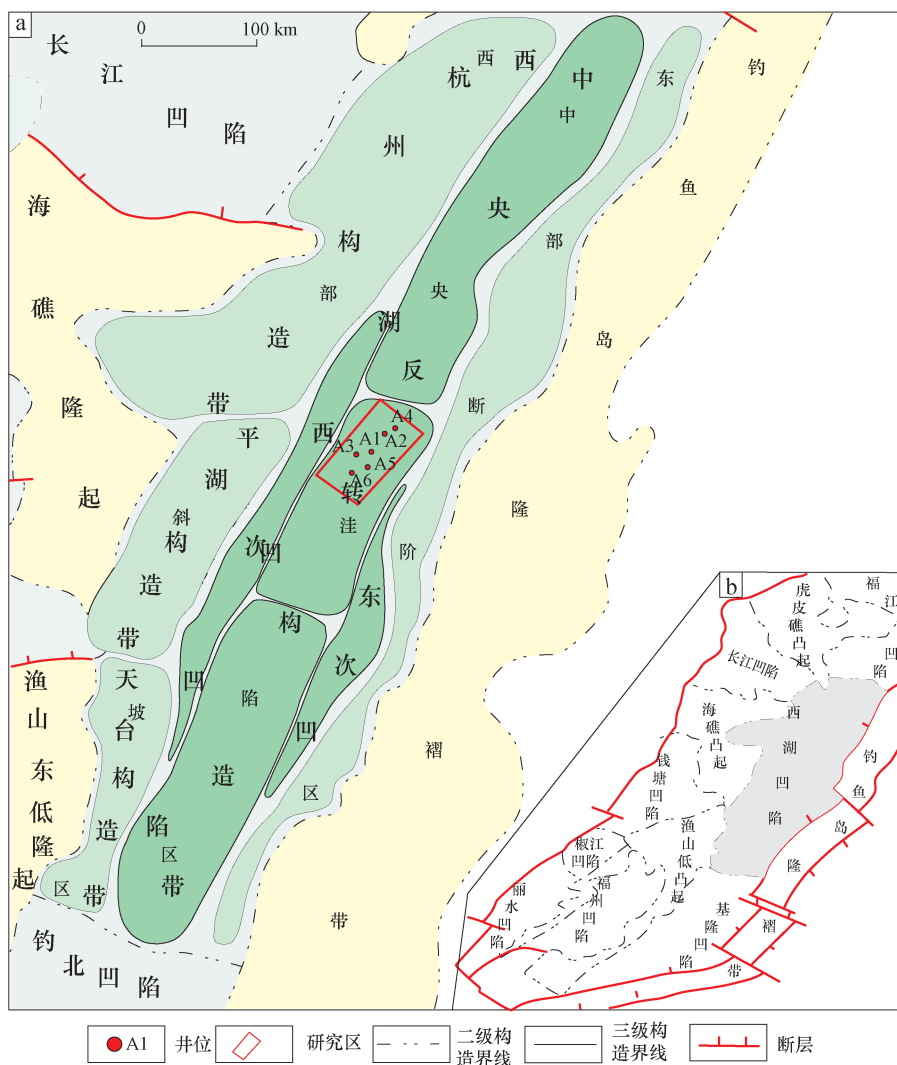


图1 西湖凹陷构造单元划分(a)及其构造位置(b)示意图

Fig.1 The structural division of the Xihu Sag(a) and its tectonic location(b)

陷沉积环境分析和本区优质储层形成机理与展布预测奠定研究基础。海上生产区一般取心较少,前人研究应用岩心资料受限,而研究区2013年在A1井花三段巨厚砂体中完整取心百米,2014年A2井花三段砂岩层5 m间隔井壁取心,充分直接利用岩心相标志研究是超越前人的。岩心相特征有效校正测井相特征,井震结合实现相对的范围较大、乃至全区域上的沉积环境分析。本次研究做到充分利用钻井岩心、测井、地震及测试分析等多种资料,点线面综合分析花三段沉积环境。

1 区域地质特征

新生代西湖凹陷发育经历了断陷、拗陷和区域沉降3个构造演化阶段^[18-21]。始新世末期的玉泉运动结束了西湖凹陷的断陷历史,凹陷整体抬升,海水退出。至渐新世,凹陷转变为拗陷盆地,以陆相沉积为主,沉积中心向北西迁移。在晚白垩世末期的构造背景上发育了巨厚的新生代沉积层序,钻井显示厚度超过5 000 m,揭示地层有古近系古新统、始新统(八角亭组、宝石组、平湖组)、渐新统(花港组),新近系中新统(龙井组、玉泉组、柳浪组)、上新统(三潭组)和第四系(东海群)。花港组是始新世断陷作用之后向拗陷转变阶段沉积充填的产物,与上覆的龙井组呈假整合和局部角度不整合接触关系,与下伏平湖组为角度不整合接触关系。花港组可分为粗砂岩夹少量的泥岩的花港组上段和泥岩夹粉细砂岩的花港组下段。研究区花港组下段(简称花下段、未钻穿)分为H6和H7两段,花港组上段(简称花上段)分为H1—H5五段,第三段H3(简称花三段)为本次研究层段。研究区花港期近沉积中心,形成了花港组上段巨厚砂体。

西湖凹陷位于东海盆地东北部,为东海盆地的一个二级构造单元。东邻钓鱼岛隆褶带,西侧为海礁隆起和渔山低隆起,西南方向与钊北凹陷相接,北侧为福江凹陷。构造上呈现为“东西分带,南北分块”,自西向东一次为西部斜坡区、中央洼陷区和东部断阶带三个部分,其中中央洼陷带可进一步分为西次凹、中央反转构造和东次凹。西湖凹陷反转的发生,主要是中新世菲律宾板块向亚洲板块俯冲,弧后扩张形成冲绳海槽所引发的向西推挤所致,其反转构造形成时代晚于花三段形成时期。A气田构造上位于西湖凹陷中央反转构造带中北部(图1),其主要产气层是花港组上段的花三段。

2 沉积相标志

本文主要建立在岩心观察,岩心与岩屑薄片鉴定

和粒度分析,测井与地震资料综合分析的基础上,全面总结研究区花三段相标志,对照相关沉积学理论^[22-23]确立相类型与相组合。

2.1 颜色

研究区花三段岩心显示碎屑岩的颜色较丰富,砂岩主要呈灰色、灰白色(图2a—j)。细粒的泥页岩呈现深灰色、灰黑色与黑色(图2c、e)。中层状、薄层状炭质泥岩和含炭泥岩呈灰黑色、黑色(图2d);薄层状、纹层状含粉砂的泥岩(夹于厚层状砂岩中),呈水下沉积成因的深灰色、灰黑色与黑色(图2c、d、e、j)。

2.2 组分与岩石类型

根据研究区花港组上段280个砂岩样品的碎屑成分含量统计,花三段总体石英含量较高,在56%~84%分布、主体分布在61%~66%,平均63.77%。长石含量16.5%~24.1%,均值20.13%。岩屑含量平均17.1%~19.6%。长石和岩屑含量几乎相当,都未达到25%。采用福克的砂岩分类方案(1968年)^[22],三角分类图显示为砂岩类型主要为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩(图3)。区域上花港组不同区块碎屑组分、粒度及其它特征稍有差异,纵向上不同层段碎屑组分和含量变化不大。研究区垂向上稳定重矿物含量由少到多再逐渐减少、不稳定重矿物含量向上减少,未见海绿石等代表海相矿物,可见大量陆相植物炭屑(图2d)。岩石成分成熟度中等至高。

2.3 粒度与岩石结构

西湖凹陷A气田花三段岩性主要为细砂岩和中细砂岩(图2)。砂岩结构为细—中粒为主,分选中等—好,次棱—次圆状,孔隙式胶结,颗粒支撑,结构成熟度中等。

研究区粒度组分频率分布显示粒度平均主体在 Φ (粒径 Φ 值)0.34~3.48、粒径主要居于 Φ 1.10~1.80范围内,主为细砂岩、中—细砂岩与粉砂岩,单峰态为主,少量双峰形态。A2井井深3 719.7 m处粒度较粗,粒度位于 Φ -2~3,呈含砾中砂岩特征。粒度概率曲线呈现两段式和三段式,以两段式为主(图4),跳跃总体为主、其次为滚动总体,H3c基本全为跳跃总体。全部280个薄片粒度分析统计出跳跃总体含量在70%~90%,分选中等到较好,呈现高能量牵引流的水下沟道沉积粒度特征(图4),类似密西西比河三角洲分流河道砂特征。

在研究层段岩心观察中可见花三段碎屑岩内存在大量层面与垂向沉积构造(图2)。垂向上发育各种层理。砂岩层内见多种牵引流水动力形成的交错层理。多层发育丰富的板状交错层理(图2g,i,j),纹层倾向变化快,反映了水流方向变化频繁;伴生平行层理,主要发育于粗粒的砂岩和含砾砂岩中(图2a,f,g,h)。

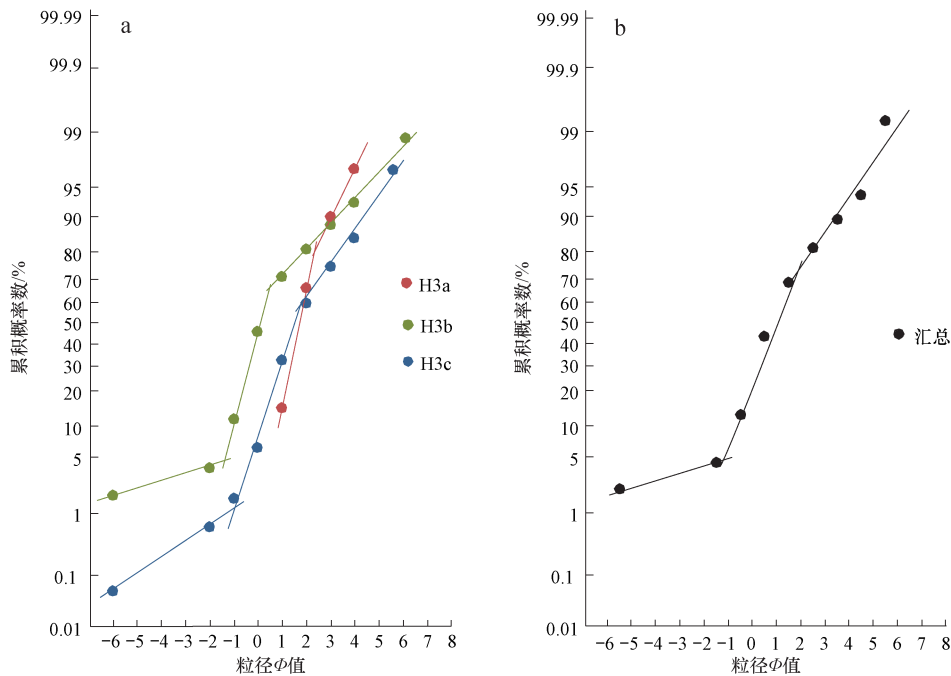


图4 西湖凹陷A气田花三段粒度分析粒度累积概率值曲线

Fig. 4 The cumulative probability curves of grain size in the 3rd member of the Huagang Formation in A gas field, Xihu Sag

岩性突变面多为底部冲刷面。在泥岩向上突变为砂岩的接触面(图2c,e)和砂砾岩突变面(图2h)上多见凹凸不平的冲刷面,局部上还有细小的黑色泥砾分布于砂砾岩段底部,呈现水道沉积特征。还有一种在砂岩段内部也存在一种不明显冲刷面,碎屑颗粒的粒度由细变粗、岩性突变明显,此种突变面起伏不大(图2j,f)。

2.5 地球物理相标志

测井相分析首选伽马曲线、次用多种电阻率曲线,两曲线对应良好。此段伽马曲线为微齿形-齿形,幅度为中高幅,形状为箱型、漏斗形为主,偶尔见指形(图5)。多口井本段大套砂岩曲线为低值-中幅-微齿状-钟形和低值-高幅-锯齿状-箱型、展示牵引流、强动力、水道沉积特征。垂向上测井曲线为高值-高幅-锯齿状-箱型叠置,体现多水道叠置。

研究区二维和三维地震资料显示花三段上、中、下部砂体呈席状,分布较为稳定,厚度变化不大,平面上显示研究区中部砂体更发育;地震反射结构主要为亚平行-波状反射结构,振幅中等,频率较高,连续性中等-较好。 V_p/V_s 反演剖面显示花三段发育三大套砂体,砂体的顶底特征明显,连续性中等-好、分布较稳定(图6)。剖面上也展示H3b层大套砂岩具有前积、削截特征,前积反射倾角较小(图6)。地震属性显示了砂体平面展布,砂体平面上分布呈现树枝状、扇状。

3 沉积微相类型

依据研究区花三段碎屑岩相标志特征可知本段为水下高能流的牵引流的水道沉积(表1),为辫状河三角洲相辫状河三角洲前缘亚相沉积形成,进一步可分为水下分流河道、分流间湾、河口坝、席状砂4个微相(表1)。本区以发育水下分流河道和分流间湾两个微相为主,见少量席状砂微相和河口坝微相;骨架砂体为水下分流河道砂体,一般单层厚度较薄(3~10 m),常出现多层无泥夹层水道砂体叠置,总厚达百余米。未见海相的同生与沉积矿物,应是非海相沉积,进一步为陆相河流到湖泊过渡的沉积环境形成。

水下分流河道底部发育冲刷面,沉积物粒度较粗,多为灰色、灰白色含砾砂岩和中-细砂岩,砂岩夹深灰色粉砂岩或泥质粉砂岩,砂岩分选磨圆中等至好,稳定重矿物占主体,砂体总体呈层状,垂流向剖面上可见多个透镜状叠置,单个透镜体厚度小于10 m,具有正韵律特征,交错层理(板状交错层理、平行层理和中小型槽状交错层理)发育。自然伽马为低值高幅箱形,深浅侧向电阻率为中、高值,深浅曲线值相差大。

分流间湾岩性以泥岩夹泥质粉砂岩沉积为主,水平层理发育,层面上可见大量陆生植物碎屑,偶见植物根系,此外,局部泥岩段黄铁矿富集反映了深水还原环境。分流间湾自然伽马曲线呈现中高值低幅度锯齿状,电阻

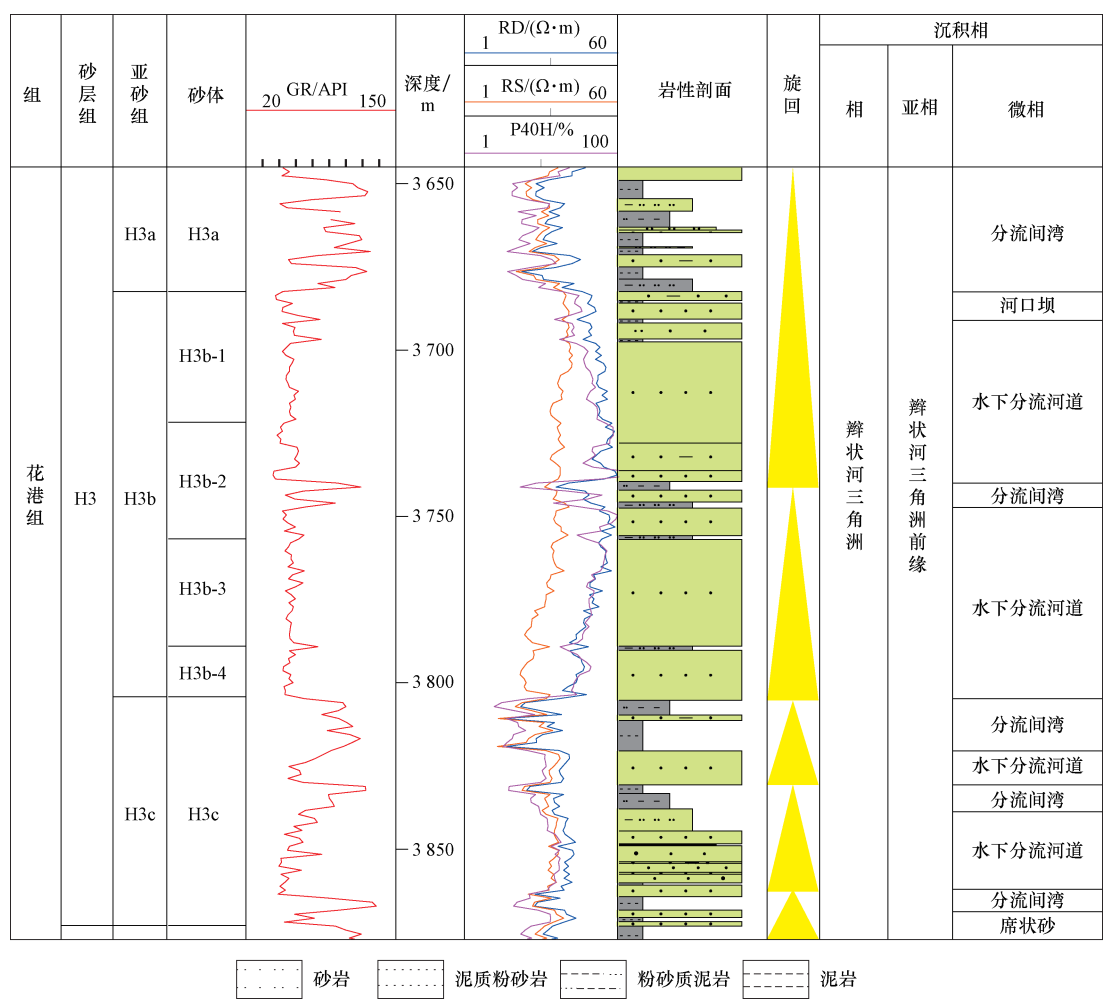


图 5 西湖凹陷 A 气田 A1 井花三段单井相分析

Fig. 5 The single well facies analysis of Well A1 in the 3rd member of the Huagang Formation in A gas field,Xihu Sag

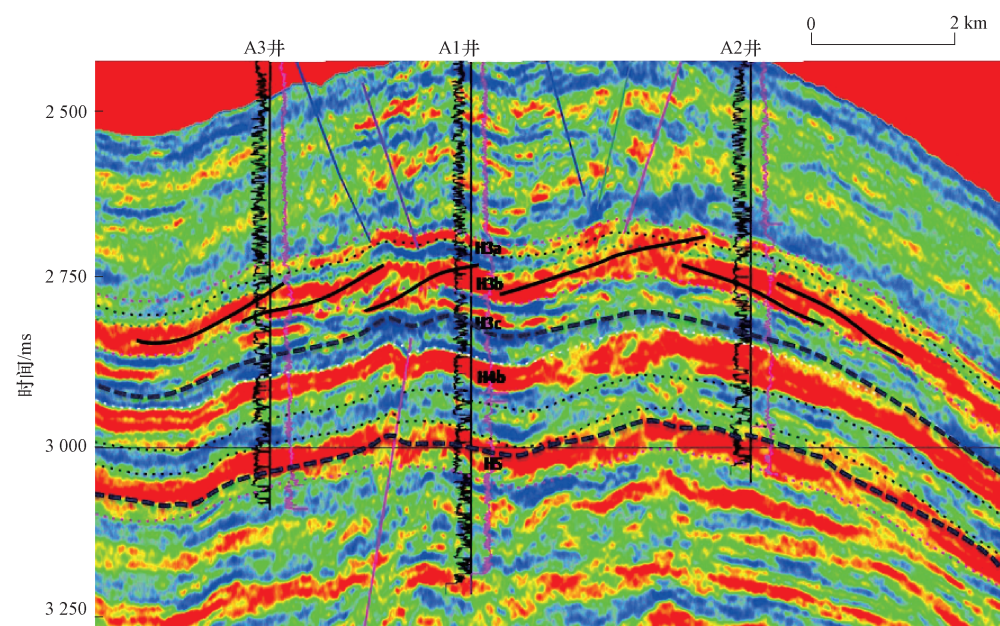


图 6 西湖凹陷 A 气田 V_p/V_s 反演剖面

Fig. 6 The V_p/V_s inversion section of A gas field in Xihu Sag

表 1 西湖凹陷 A 气田花三段沉积微相划分及特征
Table 1 Identification and characterization of the sedimentary microfacies in the 3rd member of the Huagang Formation in A gas field, Xihu Sag

亚相	微相	沉积位置	沉积物性质	沉积构造		自然伽马曲线
				层理	层面/生物	
三角洲前缘	水下分流河道	沟道沉积	深灰色中-细砂岩	平行层理,板状、槽状交错层理	冲刷面偶含泥砾	低值高幅锯齿状钟形-箱形
	分流间湾	水下分流河道间低洼区	深灰色-黑色泥岩	水平层理	植物炭屑发育	高值高幅弱齿状箱型-指形
	河口坝	水下分流河道末端及侧缘	砂质纯,反韵律	平行层理,中型交错层理	纹层面上炭化的植物碎片	低值中幅锯齿状漏斗形
	席状砂	三角洲前缘边部的末端沉积	粒度细反韵律	波状交错层理,变形层理	岩性突变面	低值中幅弱齿状指形

率测井低值,深浅侧向电阻率测井曲线值基本吻合,垂向上与分支水道构成完整的下粗上细的正旋回层序。

4 花港期沉积演化特征

4.1 花港期垂向沉积演化

在区域沉积环境研究基础上,综合各井相标志特征分层段、分单井进行相分析(图 5),完成多口井单井相分析,展示了研究层段垂向沉积演化特征。以 A1 井花三(H3)段沉积为例阐述如下。

从花四期进入花三期沉积为连续沉积。H3c 期水体相对较深,研究区处于湖相三角洲前缘较深部、或半深湖沉积向三角洲前缘中上部水位变化,水体较深,由深向浅变化,经历了三次水体深浅变化。依次沉积了深色的泥、席状砂、分流间湾粉砂与泥、水下分流河道的细砂与粉砂,并出现对应的泥质水平纹层,泥质与粉砂的波纹层理、小型爬升层理、泥沙韵律薄互层,粉砂与细砂的中型板状交错层理和平行层理,泥、粉砂和细砂的粒序反韵律,电测曲线上也有三角洲前缘水下分流河道砂体的测井响应。此段为牵引流沉积,由泥质、粉砂、细砂递变沉积,水体由深变浅,水动力加大,沉积物总量增加。

H3b 沉积时期,沉积了大套灰白色、细-中粒岩屑长石砂岩,夹薄层状粉砂质泥岩或泥质粉砂岩,垂向呈现“砂包泥”沉积组合。粒度分析显示此碎屑岩形成于河流、三角洲环境,总体呈现陆相牵引流的水下沟道沉积特征。此时垂向上显示研究区沉积水体经历深浅叠置转换的演化过程,整体上沉积水体比 H3c 期浅,是高能水下分流河道沉积为主。垂向上出现多次水道砂体叠置及冲刷现象,也许在两期高能水道之间也有低能量的分流间湾泥质与粉砂质沉积,但后期的高能水道冲刷,在垂向砂体中没有间湾沉积物留存,从而形成多期水道砂体叠置、出现厚百米连续砂体。

A1 井垂向上沉积早期为较深水的间湾泥质和粉砂沉积;向上中期渐变为浅水,出现水下分流河道多期叠置,再到间湾沉积和河道沉积间互的调整,再次出现水下分流河道多期叠置,形成了本期最主要的砂体;后期水体变深,间湾泥沉积再到河口坝的细砂沉积,水体能量变低。研究区水体相对上期较浅,水体呈现深-浅-深演化过程,水体能量高,辫状河三角洲前缘的水下分流河道发育,局部辫状河三角洲前缘分流间湾可见,本期以水下分流河道发育并形成厚砂体为特征。

H3a 沉积期,先是水体能量继续保持低下,不同微相不断交互,细粒沉积物有序沉积,出现泥岩夹砂岩层段的细粒层序,薄层砂岩层与泥岩层间互,为辫状河三角洲前缘的分流间湾微相夹席状砂微相形成,可作为较好的气层隔层,较低水动能沉积构成本期下部层序。向上水体渐变浅、能量增大、沉积加快,可容空间减少,水道叠置,但前后期水道间冲刷不明显,沉积物多为细砂和粉砂、多种较高能量的交错层理发育,出现砂岩夹泥岩的薄层,为辫状河三角洲前缘的水下分流河道沉积,水体再次出现由浅到深。

A1 井花三段以发育巨厚砂体(主力产层)为主,砂体显示为水下牵引流水道沉积特征为主,从下向上出现席状砂与分流间湾、水下分流河道与分流间湾间互、水下分流河道与水下分流河道夹分流间湾、河口坝与分流间湾间互、分流间湾、水下分流河道夹分流间湾,构成多个水体由深到浅再到深变化的三角洲前缘微相组合。

4.2 花港期平面相分析及沉积演化

在确定研究区沉积相、沉积亚相和沉积微相的基础上,以区域构造背景、古气候条件、古地理与古地形恢复研究成果为基础,综合重矿物含量、粒度分布、古水流方向、地层倾角测井及其他测井等标志确定研究区物源方向,结合微相展布趋势与规律,参考地震属性及其他地震平面响应参数确立砂体地震空间展布,从

多口单井相分析出发,确立研究区砂体分布,明确 A 气田花三段多个小层沉积微相平面展布(图 7),同时也可推测本组沉积演化与沉积特征,进而确立花港期沉积主体的沉积演化特征。

花港组是在始新世断陷作用之后向坳陷转变阶段

沉积充填的产物。花三段沉积期,受玉泉运动影响,西湖凹陷构造略有抬升,凹陷整体上东北高、西南低,沉积物随水流总体由北东向西南汇入。西湖凹陷处于坳陷运动期的中期,各沉积单元沉积较稳定,沉积速率与沉降速率近于平衡。此时在研究区处于河湖转换带、

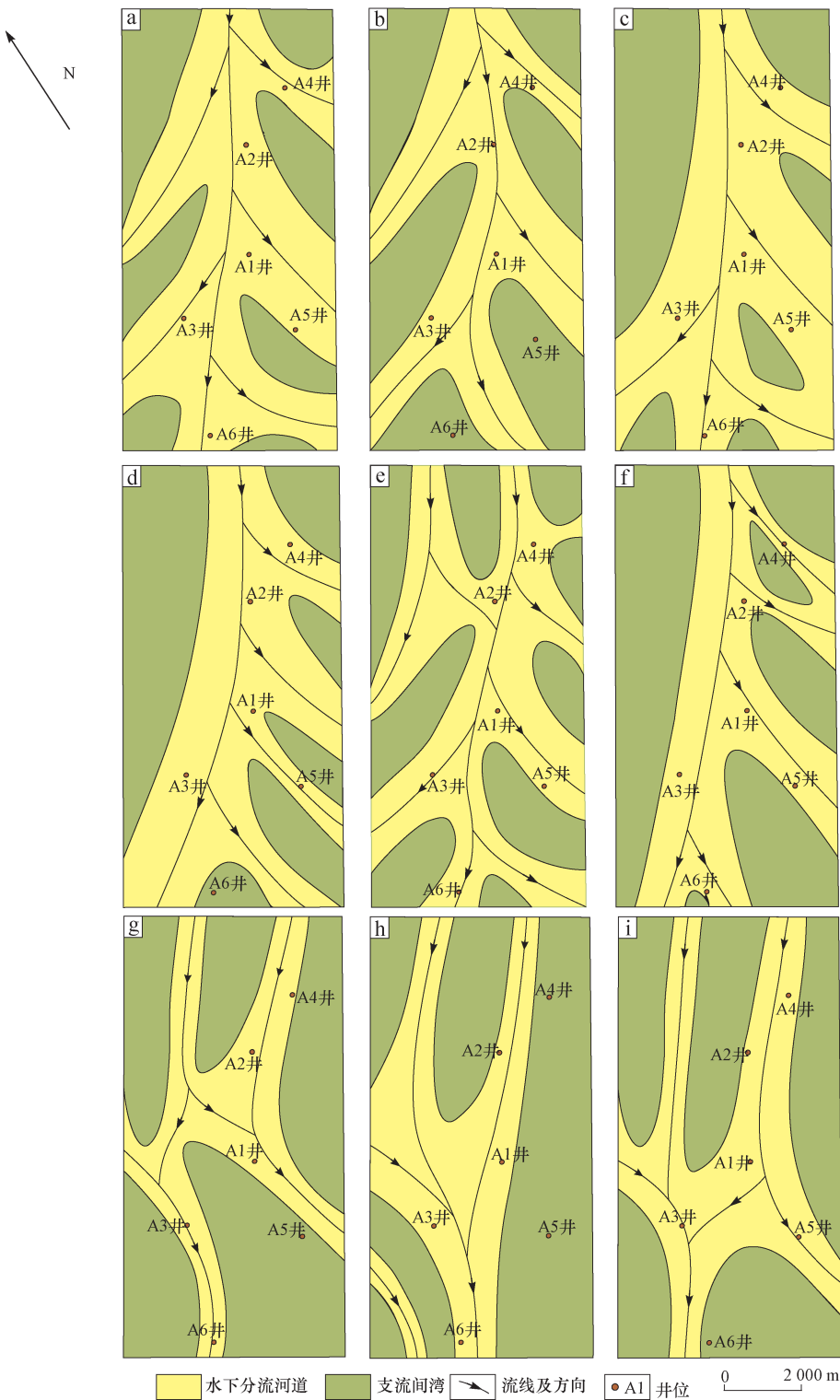


图 7 西湖凹陷 A 气田花三段平面相展布

Fig. 7 Sedimentary facies map of the 3rd member of the Huagang Formation in A gas field, Xihu Sag
a. H3a 上; b. H3a 下; c. H3b-1; d. H3b-2; e. H3b-3; f. H3b-4; g. H3c-1; h. H3c-2; i. H3c-3

为沉积最活跃处,近凹陷沉积中心、水动力强,为沉积物主要堆积区,形成了辫状河三角洲前缘沉积环境,平面上主要分布水下分流河道和分流间湾两种微相,砂体分布和河道密切相关(图7)。

花三段上部(H3a)沉积时期,水流方向仍为北东-西南方向(图7a,b),水下分流河道与分流河道基本同于H3b-1的展布,下部为较深水沉积,古地貌较平坦,砂少泥多,砂体基本同于下覆层序,但粒细而层薄,此时水体较动荡。上部水体变浅,水体也较平稳,沉积相态也稳定,形成的砂体展布范围扩大,连片分布,面积基本同前覆地层,厚度相对变薄。研究区钻井均位于分流河道主流线附近,砂体平面上呈现由东北往西南带状分布,也是沿水下分流河道展布,沉积物主要受控于物源供给。

花三段中部(H3b)沉积时期,水体相对下部变浅,水下分流河道流线主要呈北东-西南方向,沉积物主要来自北东方向(图7c-f),水下分流河道平面上占到近五成。北东分流河道(一条或两条)由东北逐渐向西、西南、南部呈树枝状分叉,上下小层分流河道均有一定继承与迁移,H3b-4到H3b-3水体由深变浅,H3b-3到H3b-2和H3b-1则由浅变深,井区均位于分流河道主流线附近,出现多期分流河道叠置。研究区三角洲前缘砂体不断向前进积,展布范围扩大,呈扇形撒开,连片分布,面积较花三段下部(H3c)增加,相对中南部和南部砂体较发育。分流间湾在研究区西北部相对发育。本小层序(H3b)相对砂体较发育,砂体也沿水下分流河道展布、连片性强,比上下层(H3a和H3c))分布砂体更厚和更广,其对应多期水下分流河道叠置。此时研究区近于凹陷沉积中心,沉积环境相对稳定、沉积物物源供给丰富,水动力能量高,沉积与沉降平衡,快速堆积。平面上,随着沉降中心的规律性迁移,河道汇合分流,水下分流河道砂体连片分布,由北向南呈扇状撒开。砂体分布由沉积微相控制。

花三段下部(H3c)沉积时期,水体相对较深,水下分流河道流线主要呈北东-西南方向,沉积物主要来自北东方向,部分来自北西方向(图7g-i),水下分流河道平面上占三到四成。北东两条分流河道和西北侧至少一条分流河道在中部汇合,再往东南、南部分流;上下小层分流河道均有一定继承与迁移,井区均位于分流河道主流线附近。分流间湾在研究区东北部和西南部两端均较发育,中部稍差些。此期砂体分布基本沿水下分流河道展布,沉积物主要受控于物源供给,砂体在平面上呈现由东北往西南带状分布,中部局部出现砂体多期叠置特征。

5 结论与讨论

1) 本次研究借助沉积物的沉积构造与岩性组合和地球物理等相标志特征,确立了西湖凹陷A气田花港组三段为湖泊辫状河三角洲前缘亚相沉积,此相序演化较完整、相带分布较宽,属陆相背景下的湖泊-三角洲沉积体系,为典型的牵引流沉积,发育水下分流河道与分流间湾微相。研究区未见海侵层序与海相标志,再次确认本区无海相沉积与海侵特征。

2) 花港组沉积期水动力方向主体为西北向东南,由下至上在构造沉降的背景下及平面上发育了辫状河三角洲平原-辫状河三角洲前缘-前辫状河三角洲-浅湖亚相的完整序列,水体整体由浅到深,主由牵引流形成。研究区花港组花三段砂体主要为辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体,河道多期叠加,呈现多个间断正韵律,砂体占地层比例相对较高,局部不是常见三角洲前缘的“泥包砂”,而是“砂包泥”特征,河道后期对前期冲刷强烈。这是在湖盆沉降过程中,辫状河三角洲不断向湖盆推进的结果。

3) 纵向上本区沉积砂体呈现了一个逐渐变厚再变薄,粒度变粗再变细的水进水退旋回,可细分为5~6个下粗上细的沉积韵律。H3b巨厚砂体形成于三角洲前缘的水下分流河道沉积,厚砂体为三角洲前缘多期分流河道叠置沉积的结果。

4) 本次研究是建立在大量传统岩心与井壁取心基础上,相标志明显,岩心相标志所体现的水下分流河道微相特征有效地校正了相应的测井与地震微相特征,建立了较好的电性相标志,对海上油气勘探的沉积研究可作为一个相对参考标准的作用。同时此次研究也作为全凹陷和整个花港组沉积环境研究的一个点或者区域,为整体研究提供详实例证,更有利于厘定全西湖凹陷花港组沉积环境及揭示其演化过程。

参 考 文 献

- [1] 赵仲祥,董春梅,林承焰,等. 西湖凹陷深层低渗-致密气藏“甜点”类型划分及成因探讨[J]. 石油与天然气地质, 2018, 39(4): 778-790.
Zhao Zhongxiang, Dong Chunmei, Lin Chengyan, et al. Classification and origin of “sweet spots” in deep low permeability tight gas reservoirs, Xihu Sag, East China Sea Shelf Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(4): 778-790.
- [2] 许红,张威威,季兆鹏,等. 东海陆架盆地大春晓油气田成藏动力学特征及成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2019, 40(1): 1-11.
Xu Hong, Zhang Weiwei, Ji Zhaopeng, et al. Dynamic characteristics and model of hydrocarbon accumulation in the large Chunxiao oil and gas field in the East China Sea Shelf Basin [J]. Oil & Gas Geology,

- 2019,40(1):1-11.
- [3] 林建力,张宪国,林承焰,等. 岩相约束下的深层致密砂岩气藏储层演化特征[J]. 石油与天然气地质,2019,40(4):886-899.
Lin Jianli,Zhang Xianguo,Lin Chengyan,et al. Diagenetic evolution characteristics constrained by lithofacies in deep tight sand gas reservoir[J]. Oil & Gas Geology,2019,40(4):886-899.
- [4] 胡明毅,沈娇,胡蝶. 西湖凹陷平湖构造带平湖组砂岩储层特征及其主控因素[J]. 石油与天然气地质,2013,34(2):185-191.
Hu Mingyi,Shen Jiao,Hu Die. Reservoir characteristics and its main controlling factors of the Pinghu Formation in Pinghu structural belt,Xihu Depression[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(2):185-191.
- [5] 武法东,陆永潮,陈平,等. 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):160-163.
Wu Fadong,Lu Yongchao,Chen Ping,et al. The discovery and significance of glauconites in the Huagang formation of the Oligocene,Xihu depression,East China Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica,1997,15(3):160-163.
- [6] 陈琳琳. 东海西湖凹陷苏提区带花港组沉积相分析[J]. 上海地质,1998,21(1):21-28.
Chen Linlin. Sedimentary facies of Huagang Formation of Sudi division in Xihu Trough,the East China Sea[J]. Shanghai Geology,1998,21(1):21-28.
- [7] 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,1998,15(4):15-21.
Chen Linlin,Xie Yuefang. Discussion on depositional mode of Huagang Formation in Xihu depression,the East China Sea[J]. Offshore Oil,1998,15(4):15-21.
- [8] 王果寿,周卓明,肖朝辉,等. 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):257-261.
Wang Guoshou,Zhou Zhuoming,Xiao Zhaozhui,et al. Sedimentary characteristics of Eocene Pinghu Formation and Huagang Formation in Chunxiao zone of Xihu Lake depression[J]. Oil & Gas Geology,2002,23(3):257-261.
- [9] 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 & Quaternary Geology,1994,14(2):63-70.
- [10] 孙思敏,彭仕宓. 东海西湖凹陷平湖油气田花港组沉积相及沉积演化[J]. 西北大学学报:自然科学版,2006,36(增刊1):63-67.
Sun Simin,Peng Shimin. Sedimentary facies and evolution of Huagang Formation of Pinghu oilfield in Xihu sag,the East China[J]. Journal of Northwest University:Natural Science Edition,2006,36(Suppl.1):63-67.
- [11] 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 Huagang Formation in Xihu depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology,2010,32(5):1-5.
- [12] 蒋海军,胡明毅,胡忠贵,等. 西湖凹陷古近系沉积环境分析——以微体古生物化石为主要依据[J]. 岩性油气藏,2011,23(1):74-78.
Jiang Haijun,Hu Mingyi,Hu Zhonggui,et al. Sedimentary environment of Paleogene in Xihu sag:microfossil as the main foundation[J]. Lithologic Reservoirs,2011,23(1):74-78.
- [13] 刘金水,曹冰,徐志星,等. 西湖凹陷某构造花港组沉积相及致密砂岩储层特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),2012,39(2):130-136.
Liu Jinshui,Cao Bing,Xu Zhixing,et al. Sedimentary facies and the characteristics of tight sandstone reservoirs of Huagang Formation in Xihu depression[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition),2012,39(2):130-136.
- [14] 张建培,徐发,钟韬,等. 东海陆架盆地西湖凹陷平湖组-花港组层序地层模式及沉积演化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2012,32(1):35-41.
Zhang Jianpei,Xu Fa,Zhong Tao,et al. Sequence stratigraphic models and sedimentary evolution of Pinghu and Huagang Formation in Xihu Trough[J]. Marine Geology & Quaternary Geology,2012,32(1):35-41.
- [15] 张绍亮,秦兰芝,余逸凡,等. 西湖凹陷渐新统花港组下段沉积相特征及模式[J]. 石油地质与工程,2014,28(2):5-8.
Zhang Shaoliang,Qin Lanzhi,Yu Yifan,et al. Sedimentary facies characteristics and its mode of lower member of Oligocene Huagang Formation in Xihu sag[J]. Petroleum Geology and Engineering,2014,28(2):5-8.
- [16] 于兴河,李顺利,曹冰,等. 西湖凹陷渐新世层序地层格架与沉积充填响应[J]. 沉积学报,2017,35(2):299-314.
Yu Xinghe,Li Shunli,Cao Bing,et al. Oligocene sequence framework and depositional response in the Xihu depression,East China Sea shelf basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2017,35(2):299-314.
- [17] 陈琳琳. 西湖凹陷北部渐新统花港组湿地扇沉积学分析[J]. 复杂油气藏,2015,8(4):1-6.
Chen Linlin. Sedimentary analysis of humid fan in Oligocene Huagang Formation of the Northern Xihu sag[J]. Complex Hydrocarbon reservoirs,2015,8(4):1-6.
- [18] 李上卿. 东海西湖凹陷新生代地质构造特征与演化[J]. 海洋石油,2000,20(4):8-15.
Li Shangqing. Cenozoic basin geological tectonic feature and evolution in Xihu trough,the East China Sea[J]. Offshore Oil,2000,20(4):8-15.
- [19] 刘景彦,林畅松,姜亮,等. 东海西湖凹陷第三系反转构造及其对油气聚集的影响[J]. 地球学报,2000,21(4):350-355.
Liu Jingyan,Lin Changsong,Jiang Liang,et al. Characteristics of Tertiary inversion structures and their influence on oil-gas accumulation in Xihu depression,East China Sea[J]. Acta Geoscientia Sinica,2000,21(4):350-355.
- [20] 冯晓杰,蔡东升,王春修,等. 东海陆架盆地中新世构造演化特征[J]. 中国海上油气,2003,17(1):33-37.
Feng Xiaojie,Cai Dongsheng,Wang Chunxiu,et al. The Meso-Cenozoic tectonic evolution in the East China Sea continental shelf basin[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology),2003,17(1):33-37.
- [21] 郑求根,周祖翼,蔡立国,等. 东海陆架盆地中新世构造背景及演化[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):197-201.
Zheng Qiugen,Zhou Zuyi,Cai Liguoguo,et al. Meso-Cenozoic tectonic setting and evolution of East China Sea shelf basin[J]. Oil & Gas Geology,2005,26(2):197-201.
- [22] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社,2008:291-316.
Zhu Xiaomin. Sedimentary Petrology[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2008:291-316.
- [23] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2008:395-401.
Yu Xinghe. Oil and Gas reservoir sedimentology of clastic rock series[M]. Beijing:Petroleum Industry Press,2008:395-401.