

doi: 10.12029/gc20210312

何苗, 秦兰芝, 尹太举, 刘勇, 王建宁, 冯文杰. 2021. 分支河流体系在东海西湖凹陷南部的运用及其对油气潜力的指示[J]. 中国地质, 48(3): 820–831.

He Miao, Qin Lanzhi, Yin Taiju, Liu Yong, Wang Jianning, Feng Wenjie. 2021. The application of the distributive fluvial system in the South Xihu depression, East China Sea and its indication of oil and gas potential[J]. *Geology in China*, 48(3): 820–831(in Chinese with English abstract).

分支河流体系在东海西湖凹陷南部的运用及其对油气潜力的指示

何苗¹, 秦兰芝¹, 尹太举², 刘勇³, 王建宁⁴, 冯文杰²

(1. 中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335; 2. 长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430100; 3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 4. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100029)

摘要:本文以西湖凹陷南部地区为例,首次将分支河流体系(Distributive Fluvial System)研究思路应用到东海盆地沉积体系的研究中来。通过总结大型分支河流体系形成条件,与国外案例类比认为西湖凹陷南部近物源,构造稳定,存在大型盆山体系,具备发育大型分支河流体系条件;在此基础上根据花港组岩心、古生物特征对分支河道类型进行了划分,认为分支河道类型以陆上环境下的分叉状辫状河道和单辫状河道为主,不同类型的河道均具备发育厚层砂体的潜能;结合古地形和沉积体系平面特征,对分支河流体系展布模式的研究结果表明,区域花港组时期发育两套分支河流体系,展布型式为自西斜坡分别至东北、东南向发散,分支河流体系末梢属于“轴向终止”型,且西湖凹陷轴向限制型河流与南部“分支河流体系”汇聚地带具有油气藏勘探潜力。

关键词:分支河流体系;河流;沉积展布;花港组;油气勘查工程;西湖凹陷;东海

中图分类号:P56 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2021)03-0820-12

The application of the distributive fluvial system in the South Xihu depression, East China Sea and its indication of oil and gas potential

HE Miao¹, QIN Lanzhi¹, YIN Taiju², LIU Yong³, WANG Jianning⁴, FENG Wenjie²

(1. Shanghai Branch, CNOOC China Co., Ltd., Shanghai 200335, China; 2. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, Hubei, China; 3. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100029, China)

Abstract: Taking the South Xihu depression as a study case, the authors applies the research idea of distributive fluvial system (DFS) to the study of the sedimentary system of the East China Sea Basin. By summarizing the forming conditions of large DFS, it is concluded that the south Xihu depression is near the source and under stable tectonic condition, and there also exists large basin and mountain systems, which is favorable for forming large DFS. Based on the characteristics of the core and paleontology of Huagang Formation, the author divided branch channels into some types, and indicated that the main types of FS are braided

收稿日期:2018-10-11; 改回日期:2018-11-25

基金项目:国家重大科技专项“东海深层低渗-致密天然气勘探开发技术”(2016ZX05027-002)资助。

作者简介:何苗,女,1988年生,博士,工程师,主要从事沉积学及油气勘探研究; E-mail: hemiao3@cnooc.com.cn。

bifurcating and single braided channels. Different types of channels have the potential for developing thick sand bodies. Combined with the features of the paleotopography and sedimentary system distribution, the study of the patterns of DFS distribution shows that the study area has developed two sets of DFS, which are distributed respectively from western slope to the northeast and southeast. The DFS end belongs to "the axial end" type, suggesting that the axial limited rivers of Xihu depression and DFS has formed a convergence zone with reservoir exploration potential.

Key words: distributive fluvial system; fluvial; sedimentary distribution; Huagang Formation; oil and gas exploration engineering; Xihu depression; East China Sea

About the first author: HE Miao, female, born in 1988, doctor, mainly engages in sedimentology and oil & gas exploration research; E-mail: hemiao3@cnooc.com.cn.

Fund support: Funded by National Major Science and Technology Project "Deep Low Permeability and Tight Gas Exploration and Development Technology in the East China Sea" (No. 2016ZX05027-002).

1 引言

近年来,随着科技手段的逐步提高,地质学及地貌学的不断发展,河流沉积学家和地貌学家对沉积体系进行了更加精细的研究,不断提出新的沉积学理念。由 Weissmann et al.(2010)和 Hartley et al.(2010)以及 Davidson and Hartley(2011,2014)提出了新的河流沉积术语:分支河流体系(Distributive Fluvial System),是在运用 Google Earth 对全球 700 余个现代沉积盆地中的冲积河流沉积体系进行统计的基础上提出的。分支河流体系吸取了源-汇聚以及河流扇思想(张昌民等,2017a, b, 2020;张祥辉等, 2019;石雨昕等, 2019;张元福等, 2020;吕峻岭等, 2020),从整个沉积系统出发,由大的体系到小的河道参数等进行延伸研究,垂向多以加积为主,冲积扇、河流、三角洲均可以作为分支河流体系一部分,彼此互相关联变化,这些分支河流体系彼此交互结合,形成更大的山麓冲积扇或辫状冲积平原等;Hartley et al.(2010)根据遥感资料对全球分支河流体系的测量结果,从体系分汊方向、分支形态、支流展布等角度出发,总结出 6 种分支河流体系沉积模式。分支河流体系的沉积模式使得人们能够对沉积盆地内发育的从顶点到终端的一系列沉积体系进行总体的理解和把握,对沉积体系的研究不再局限于某一类沉积相的描述以及河道刻画,而是追求对体系时空展布大范围的预测。在中国,张昌民等(2017a, b)提出分支河流体系的运用在沉积学研究中具有重要的意义,在分支河流体系理念指导下,认为山前冲积扇,到平原河流扇,再到三角洲、湖泊沉积体系,分别对应分支河流体系上游-中游-下游,自上游往下游

方向河道砂体的内部结构也由复杂变得简单。

分支河流体系的基本特征是河流从山地某一顶点开始进入盆地并呈放射状展布,河流规模和沉积物粒度向下游变小变细,河道摆动不受限,泛滥沉积厚,分布范围比常规河流沉积大,陆上冲积扇、河流扇和巨型扇等都属于分支河流体系。相比而言,传统支流(Tributary River)的基本特征是河流限制在山谷里,支流汇水使规模向下游方向增加。泛滥沉积易在支流或主河流中再沉积,沉积范围有限(Fielding et al., 2012;刘锋等, 2015)。分支河流体系规模的大小取决于盆地内部发育河道的大小,其延伸可达数十至数百千米。目前,在中国不同的断陷、拗陷及前陆盆地中可能发育有分支河流体系沉积。一些分支河流体系推进到湖泊水体之中,便形成了分支河流体系三角洲沉积,如果湖泊岸线退缩,分支河流体系整体便暴露出水面,如此水体频繁交互涨退,发育浅水三角洲,都可能为构成分支河流体系的一部分(Quartero et al., 2015; Bilmes and Veiga, 2016)。

中国东海盆地西湖凹陷南部斜坡地区近物源,构造稳定,存在大型盆山体系,从出山口到凹陷中央带发育多套大型沉积体,轴向河流发育,符合分支河流体系沉积模式。因此,本文首次将分支河流体系(Distributive Fluvial System)思路应用于东海盆地,并对分支河流体系发育条件、分支河道(FS)类型与特征以及分支河流体系演化进行进一步研究,对区域沉积演化及大型储集体分布预测具有重要意义。

2 区域构造背景

西湖凹陷总体上为“两洼夹一隆”的构造格局

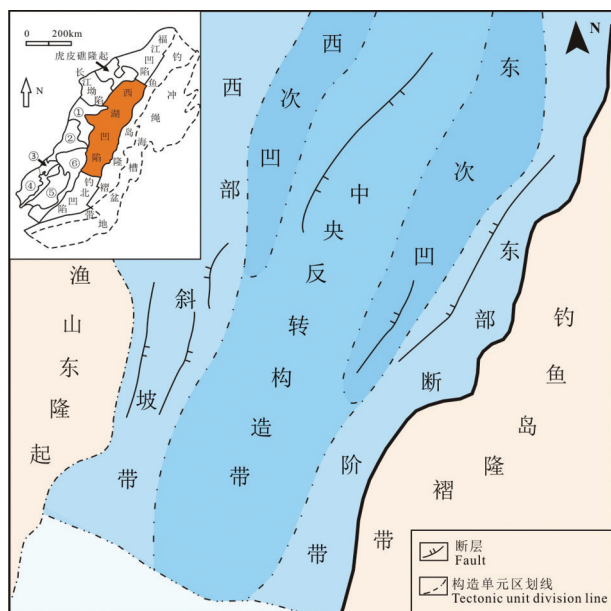


图1 研究区地理位置

Fig.1 Geological location of the study area

(刘金水, 2015; 张国华和张建培, 2015)。花港组沉积前后(42~23 Ma), 太平洋板块俯冲减弱, 俯冲带向东迁移, 上地幔物质冷却收缩, 地壳下沉, 盆地由断陷转化为拗陷。进入断拗转换期、拗陷期后, 凹陷内地形平缓、构造活动以基底等比例沉降为特征(张建培等, 2013; 王文娟等, 2014)。因此, 花港组沉积时期地层结构以等比例加积式为主。西湖凹陷南部斜坡-中央反转构造带西靠渔山东低隆起和海礁隆起末端, 东邻钓鱼岛隆褶带(图1), 花港组时期经历了断-拗转换阶段、拗陷阶段, 断层活动减

弱, 地层逐渐趋于平缓。

通过充分融合古地貌恢复的几何形态与地质属性参数, 得出花港组时期区域古地貌(图2)。西湖凹陷南部斜坡带-中央反转构造带平湖组沉积早期地层厚度变化较大, 总体呈现洼隆相间的构造格局, 断层广泛发育, 受构造转换带的影响, 中央洼陷带南北分块特征明显; 平湖组沉积中晚期, 断裂活动逐渐减弱, 斜坡地层逐渐填平补齐, 中央洼陷带南北分块特征依旧; 到花港组时期盆地逐渐被填平补齐, 坡度趋于平缓, 地形更加平坦, 整体呈现缓坡构造型式(图2)。

3 分支河流体系发育条件

非洲图尔卡纳湖是东非大裂谷和肯尼亚最大的内陆湖, 湖水较浅, 其间发育长轴方向的供源分支河流体系。从地形上对西湖凹陷与非洲图尔卡纳湖进行类比后发现(图3), 二者皆呈狭窄长条状, 西湖凹陷花港组时期水体较浅, 且具备类似的长轴物源特征, 进而推测西湖凹陷也具有发育大型分支河流体系的可能。

然而西湖凹陷是否发育大型分支河流体系, 还需要进一步对凹陷周边地形、物源供给、大地构造背景等进行综合分析, 研究表明:(1)西部斜坡带-中央反转带平均高差可达数百米, 具备一定的海拔高差;(2)重矿物显示岩浆岩含量高, 自西向东的叠瓦状前积, 均表明受到西侧物源影响, 处于近物源地段, 具备充足的物源供应(图4);(3)花港组时期凹陷完成断拗转换, 在盆地拗陷时期, 地形变化小, 构造活动不强烈(图2), 位于相对稳定的大地构造背

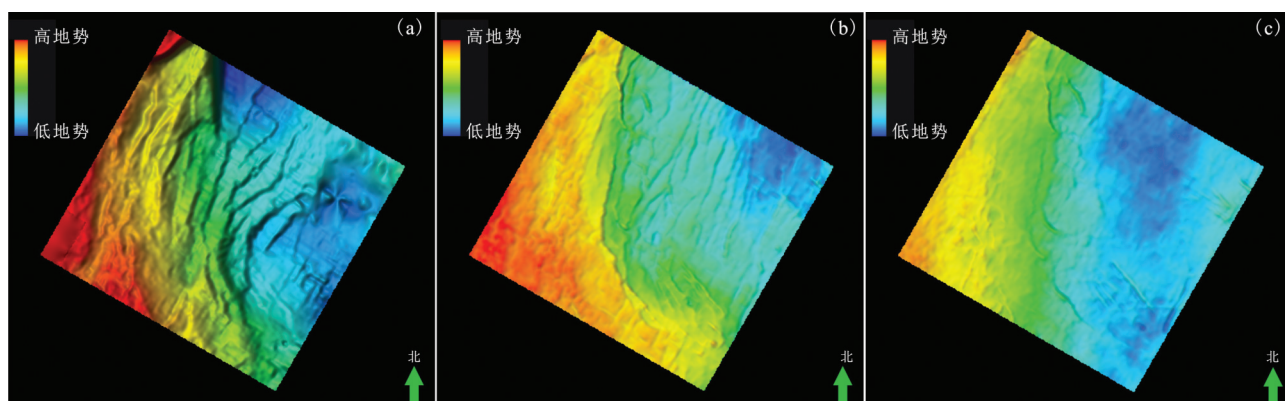


图2 西湖凹陷南部T斜坡地形及断裂发育阶段

a—前平湖组;b—平湖组;c—花港组

Fig.2 Morphology and fault development of T Slope, South Xihu
a—Before Pinghu Formation; b—Pinghu Formation; c—Huagang Formation

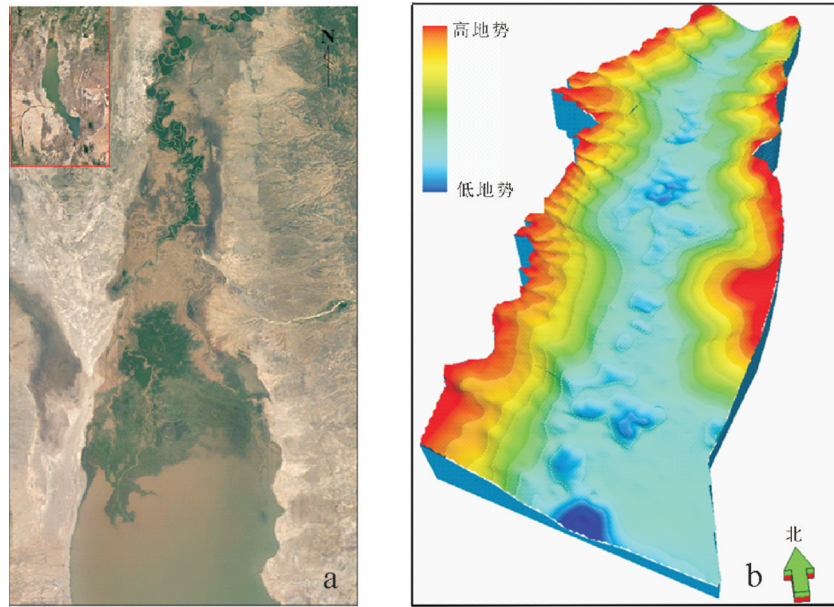


图3 DFS实例类比研究
a—非洲图尔卡纳湖;b—西湖凹陷花港组下段

Fig.3 Analogy of DFS examples
a—Turkana Lake in Africa; b—Lower Huagang Formation in Xihu

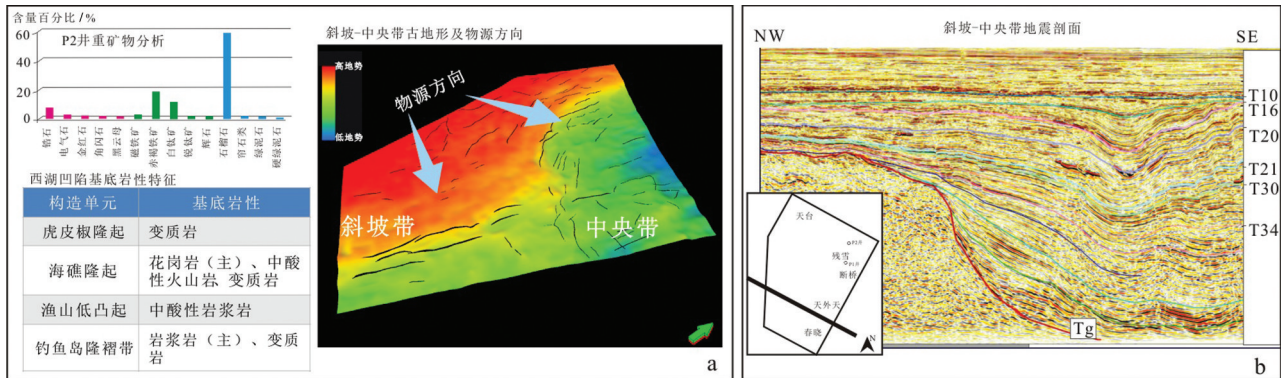


图4 西湖凹陷南部物源与地形特征

a—物源;b—斜坡带-中央带地震剖面
Fig.4 Source and morphologic characteristics of South Xihu
a—Source; b—The Seismic profile of slope-central area

景下;(4)凹陷南部西侧紧邻渔山低隆起,周缘存在大型盆山体系(图1)。综合以上四项特征,认为东海盆地西湖凹陷具备发育大型分支河流体系条件。

Weissmann et al.(2011)还指出,挤压、拉张和走滑等背景条件下都可以发育不同河道模式的分支河流体系,并且认为大多数河流都分布在分支河流体系上(Trendell et al., 2013)。运用现代分支河流体系观察调研结果对预测古代分支河流体系有着重要意义,因此不仅仅是对盆地的现代沉积观察中发现有分支河流体系存在,而且可以推断中国东西部众多的陆相含油气盆地演化历史中也可能发育

了大量的分支河流体系(金德生等,2015;刘宗堡等,2018),同样说明中国东海盆地西湖凹陷中也极有可能存在分支河流体系。

4 分支河道类型与特征

4.1 分支河道类型

通过岩心观察发现,西湖凹陷南部地区花港组以大套灰色、浅灰色中-细砂岩为主,泥岩以灰黑色炭化泥岩为主,可见大量植物碎屑,生物扰动,以爬行迹、虫孔等生物遗迹为主,并且越往南部方向,黑色的植物茎干碎屑含量越高,且排列杂乱,生物扰

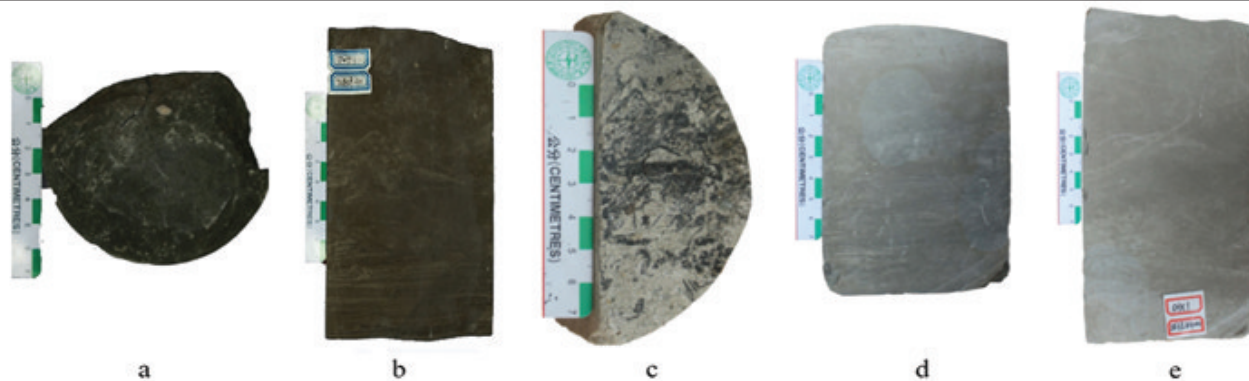


图5 西湖凹陷南部区块岩性特征

a—深灰黑色泥岩,可见植物茎秆碎屑;b—深灰色泥岩夹透镜状粉砂岩,生物扰动强烈,生物遗迹;c—灰色中砂岩,可见植物茎秆碎屑;
d—灰色粉砂质泥岩,生物扰动强烈;e—浅灰色极细砂岩,生物扰动,可见生物遗迹

Fig.5 Lithologic characteristics of South Xihu

a—Dark greyish-black mudstone, containing plant debris;b—Dark gray mudstone interbedded with lenticular siltstone, with fierce bioturbation;
c—Gray medium-grained sandstone, containing plant debris;d—Gray silty mudstone, with fierce bioturbation;e—Light gray fine-grained sandstone, containing bio-relics

动更加强烈,层理破坏严重,有时可见红褐色泥岩(图5)。同时对西湖凹陷南部不同区块井中的孢粉组合进行统计发现,花港组沉积时期孢粉类型丰富且连续,孢粉组合以桉木粉属+杉粉属+栎粉属为主,反映处于岸边沼生地带,以上证据指示西湖凹陷南部发育陆上环境下的分支河流体系。

Hartley et al. (2010)、Weissmann et al., (2010)、Fielding et al., (2012)以沉积物供给、坡降以及相对流量高低为依据,总结出分支河流体系可包含的6种河道模式(表1),其中分汉状辫状河道、单辫状河道以及辫-曲转换河道具备高一中等稳定性,单曲流河道、分汉状曲流河道以及多曲流河道具备低稳定性。从单井分支河流体系分析可以看出,将岩性粗、底部集中发育的大套厚层块状砂岩定为分汉状辫状河道,中-厚层块状砂岩与泥岩互层作为单辫状河道,二者均具垂向加积特征;花港组上段可见辫状河道和曲流河道的过渡地带,逐渐由“砂包泥”转变为“泥包砂”组合,花港组顶部发育“二元结构”,为单曲流河道沉积序列特征。

凹陷南部主要可见其中4种分支河道类型:分汉状辫状河道、单辫状河道、辫状河转变为曲流河、单曲流河,并且以发育分汉状辫状河道和单辫状河道为主(图6)。分汉状辫状河道为单个辫状河道往下游方向发生分汉形成辫状或者顺直河道模式(占比40%);单辫状河道模式(占比14%);辫-曲转换河道为单个辫状主河道往下游方向分汉或变为曲流河模式(占比20%);单曲流河道为主曲流河道体

系模式(占比10%)。凹陷南部分支河道的变化趋势是花港组下段由分汉状辫状河道向单辫状河道过渡,到花港组上段由单辫状河道、辫状河道转变为曲流河道到顶部的单曲流河道,河道分汉总体减少,泥质含量逐渐向上增多。




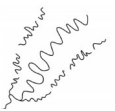


4.2 分支河道沉积特征

分汉状辫状河道沉积特征岩性以灰色细砂岩、含砾砂岩为主,夹褐灰色泥岩、粉砂岩,可见油斑砂岩;多含灰质;发育斜层理、波状、透镜状层理;小型搅动构造,炭线及煤条带发育;GR曲线以复合箱型、箱型+钟型组合为主(图7)。单辫状河道岩性以浅灰色细砂岩夹粗砂岩,褐灰色泥岩、粉砂岩,含灰质;以块状、波状、透镜状及沙纹层理为主;可见冲刷面,炭屑;GR曲线以平滑箱型为主;粒度累积百分数曲线较陡,粒度范围窄,说明分选很好;概率累计曲线多呈以两段式(图7a、b)。

西湖凹陷花港组时期地层发育趋于稳定,自下而上发育2个段和12套砂层组,其中H12—H6属于花下段,H5—H1属于花港组上段。H3以上以曲流河道为主,砂体厚度及砂地比差距大,砂体厚度可达80 m以上,砂地比17%~50%不等;H4—H6以单辫状河道为主,砂体厚度40~55 m,砂地比平均为30%~55%;H7以下以汉状辫状河道为主,砂体厚度30~50 m,砂地比为30%~40%。H8—H12分汉状辫状河道,H5、H6单辫状河道,H3单曲流河道可以作为良好的储层。四级层序划分及储盖组合研究表明,H1+H2/H4/H9层位岩性普遍偏细,泥岩、粉砂质

表1 分支河流体系河道模式类型划分

Table 1 Channel types of distributive fluvial system

DFS类型	形态	模式	
辫状河道	单辫状河道	低或高分汉指数、弯曲度小—中等, 可呈交织河网状	
	分汉状辫状河道	低-中等分汉指数、弯曲度小, 多呈树枝状散开	
过渡河道	辫状河转变为曲流河道	低-中等分汉指数、弯曲度中等, 具有过渡、渐变的河流特征	
曲流河道	单曲流河道	低分汉指数、弯曲度中等—大, 主河道为单曲流河道, 支河道部位常常被废弃	
	分汉状曲流河道	中等分汉指数、弯曲度大, 分支河道一边发散一边向远源区推进	
	多曲流河道	低分汉指数、弯曲度中等, 分支河道之间呈互不干扰的孤立状。	

泥岩及含煤泥岩发育相对集中, 因此认为最大海泛面位于H1+H2/H4/H9层位, 其中H1+H2/H4泥岩厚度大, 可以作为区域性稳定盖层; H6层位泥岩相对稳定, 同样可以作为局部盖层。花港组整体储层厚度大, 保存条件好(图6)。

5 分支河流体系演化

5.1 分支河流体系终端特征

分支河流体系终端特征作为分支河流体系研究中一个重要的部分对整个沉积体系的展布与演化具有重要意义(Quartero et al., 2015; Owen et al., 2015, 2017; Bilmes and Veiga, 2016)。盆地中发育的分支河流体系的终端方式主要有5种(张昌民等, 2017a, b; 刘宗堡等, 2018): (1) 支流式终止(变为其他体系的支流): 汇入其他体系, 流域发生变化, 从分流变成支流, 分支河流体系在末端汇合成为一点后流入其他体系; (2) 轴向终止(变为轴向河流体系): 汇入轴向体系后终止, 分支河流体系的主河道汇入轴向河流体系; (3) 转向终止(发生90°转向变为轴向体系): 转变为轴向河流, 分支河流体系上主要的河道变为轴向河流体系; (4) 终止在岸线湖泊

或者干盐湖: 分支河流体系上的主河道与岸线或者干盐湖的边界遭遇; (5) 终止在沙丘, 干盐湖, 或者湿地。根据西湖凹陷特征(刘金水等, 2012), 综合前期研究成果得出, 西湖凹陷南部花港组时期体系终端属于轴向终止型(图3, 图8), 南北向河流提供长轴物源, 向南部地区不断延伸, 同时凹陷南部西斜坡—中央反转构造带发育大型分支河流体系, 提供充足的侧向物源, 东西向分支河流体系延伸至中央带后终止于轴向河流上, 汇入南北向河流后继续向南部搬运直至入湖。

5.2 分支河流体系展布模式

古地貌研究作为分支河流体系研究的基础, 是古构造和沉积充填的结果, 代表某一时期沉积盆地原型的地表形态(高茂生等, 2018; 强昆生等, 2018a, b; 王剑和付修根, 2018)。东海盆地的发展具有多旋回性, 是幕次演化而来的叠合盆地(吴崇筠, 1993; 张敏强等, 2011; 朱伟林等, 2015), 对系列关键界面古地貌的恢复有助于深刻理解盆地演化和油气成藏过程。通过西湖凹陷南部花港组时期地形恢复后得出, 总体上“隆”是物源区, “坡”为沉积物搬运通道与堆积场所; “凹”则为沉积物堆积的主要场所。

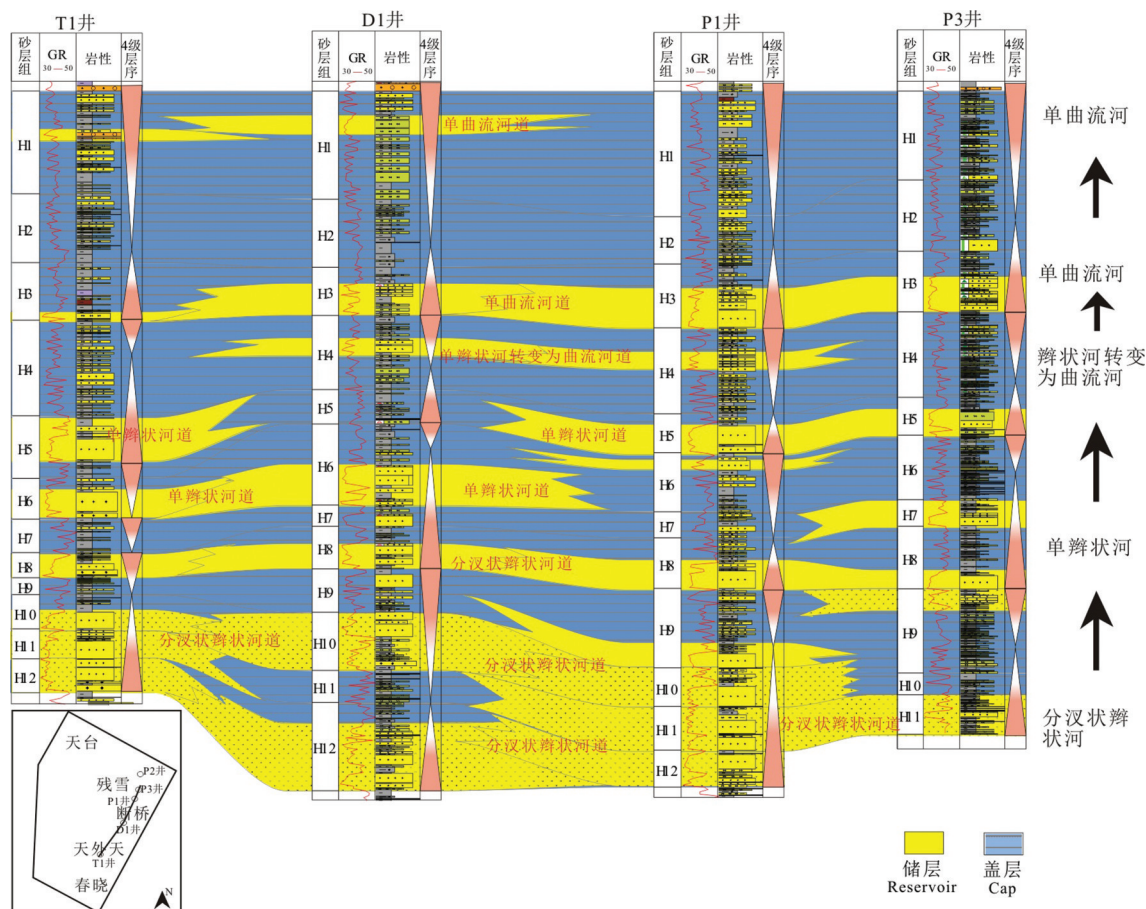


图6 西湖凹陷南部分支河道划分与储盖组合

Fig.6 Distributive fluvial channels distribution and reservoir-cap combination of South Xihu

凹陷南部发育两个大型沉积卸载区,受古鼻子分隔,花港组时期发育2套不同的分支河流体系(图9)。

选取西湖凹陷南部T斜坡到中央反转带花港组H8层为例,参考吴崇筠和薛叔浩(1993)对中国陆相盆地沉积体系模式命名,将物源区以及不同类型分支河道进行标注,对分支河流体系两种展布模式特征进行总结归纳如下:

(1)分支河流体系 I 位于凹陷南部靠南侧,属于短河流模式(BM-MM-SB),其中辫状河道转变为曲流河道、单辫状河道占主体,延伸近 10 km 以上;分支河道由上游到中游逐渐变细,分汉变少;中游到下游受古地形影响分汉逐渐增多(图 10)。

(2)分支河流体系 II 位于凹陷南部靠北侧,属于长河流模式(SB-BM-BB),其中分叉状辫状河、单辫状河道占主体,河道总体延伸 12~15 km 以上,分支河道向上游-中游-下游经历多次分汉由多到少的转变。

以分支河流体系 II H8层为例,针对分支河流体

系由顶点到末梢特征变化进行研究发现,分支河流体系展布在近顶点和近末梢处在粒度、成分、砂体厚度、测井响应特征以及分支河道分汉特征方面都具有明显差异(图 10),表现在由顶点到末梢细粒沉积物逐渐增多,泥质和炭质含量逐渐升高;单层砂体厚度逐渐减薄,分隔各砂体之间的泥质夹层增多;由发育大型箱状GR曲线的块状层理砂岩到中小型箱状-漏斗状GR曲线的发育小型层理的砂泥岩互层;分支河道分汉不断发生变化,总体上分汉由多一多再减少。同时,西湖凹陷南部地区分支河流体系从垂向演化角度分析得出,由平湖组到花港组沉积时期,从西向东均继承性发育两套不同的分支河流体系,分别自西斜坡至东北、东南向发散;并且在垂向演化的过程中,分支河道有变细趋势,分支河流体系不断受到河道分汉、地面渗滤和蒸发等作用的影响,促使河道尺寸逐渐变小变浅,导致泛滥平原与河道所占面积之比不断增加,泛滥平原范围逐渐扩大,整体呈现出水退的趋势(图 10)。

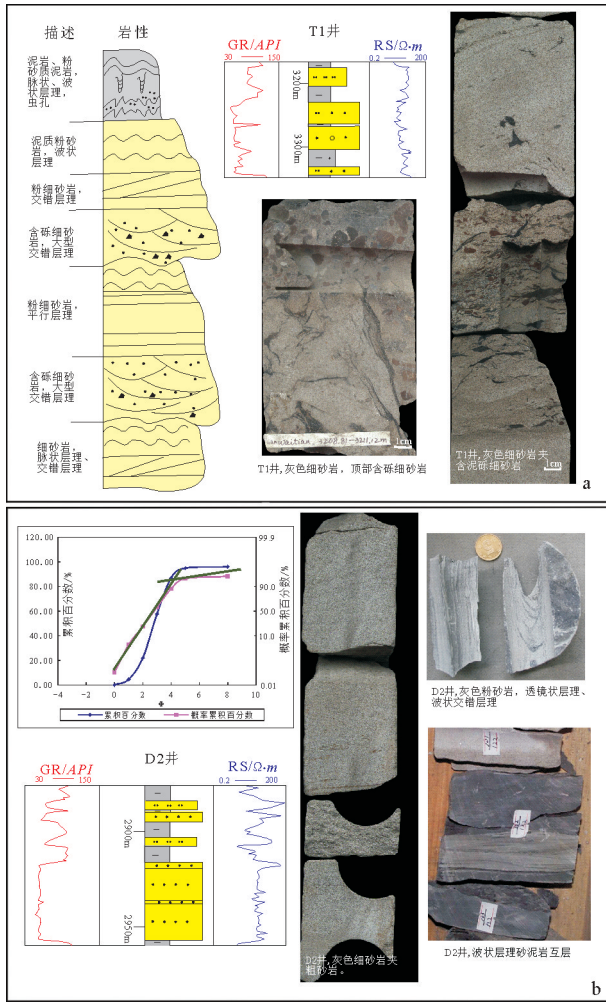


图7 分支河道沉积特征
a—分汊状辫状河道; b—单辫状河道
Fig.7 Sedimentary characteristics of distributive fluvial system
a—Distributive braided channel; b—Single-braided channel

5.3 分支河流体系与油气潜力关系

限制型河流与分支河流体系 汇聚地带,具备极大勘探潜力,有利于寻找大型油气圈闭(贾健谊和顾惠荣,2002;陶士振等,2017;张凯逊等,2018;张君峰等,2018)。东海盆地西湖凹陷南部地区渔山低隆起以及西斜坡一侧能够提供充足的侧向物源,发育东西向的大型分支河流体系 延伸至中央带后终止于轴向河流上,在汇入南北轴向河流后继续向南部搬运直至入湖,可以在南部地区形成更大范围的沉积体系,有利于砂体富集,从而形成大型油气储集体,具备勘探潜力。

6 讨论

分支河流体系概念的提出对于东海盆地的研究具有重要的沉积学意义。一方面,分支河道不再被限制在河谷内而是在分支河流体系表面来回迁移,并不属于传统河流范畴,打破了“河流都只发育在狭窄的长条带状河谷内”的思想,为发现更多优质储层提供了研究思路;另一方面东海盆地西湖凹陷南部地区勘探井数量少,勘探程度低,分支河流体系在国内运用尚不成熟,未被广泛运用于勘探实践,加上分支河流体系仍在其“是否能反映岩石的地质特征”以及“古代分支河流体系定量预测如何开展”方面备受争议,目前来看分支河流体系更多的被应用于现代沉积的研究中,并利用 Google earth 对中国陆相盆地分支河流体系进行了大量观测(Hartley et al., 2010; 张昌民等, 2017a, b)。

分支河流体系的进一步研究主要是对大量相分

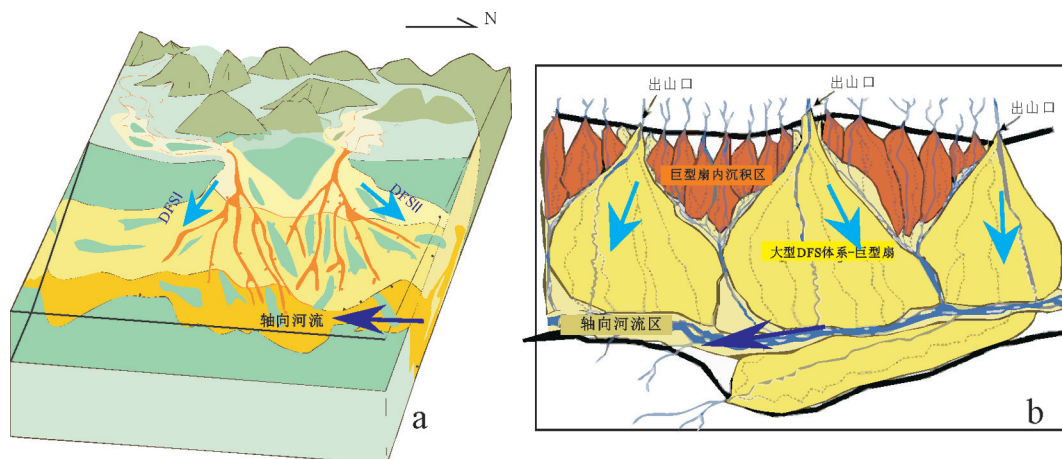


图8 西湖凹陷南部分支河流体系整体发育模式
Fig.8 Distributive pattern of distributive fluvial system, South Xihu

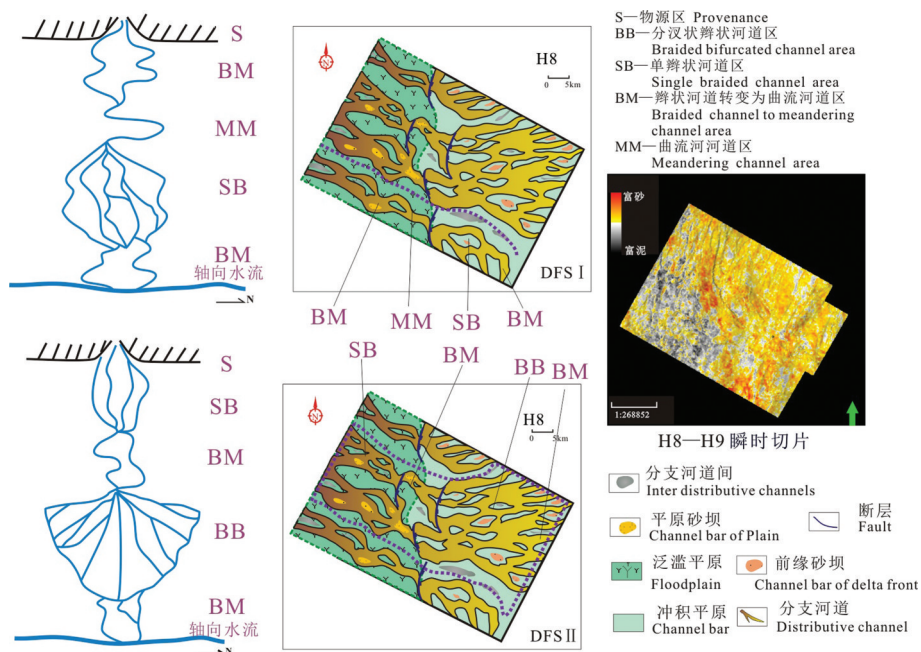


图9 分支河流体系河道发育模式(吴崇筠和薛叔浩, 1993)

Fig.9 Channel development models of distributive fluvial channels(Wu Chongyun and Xue Shuhao, 1993)

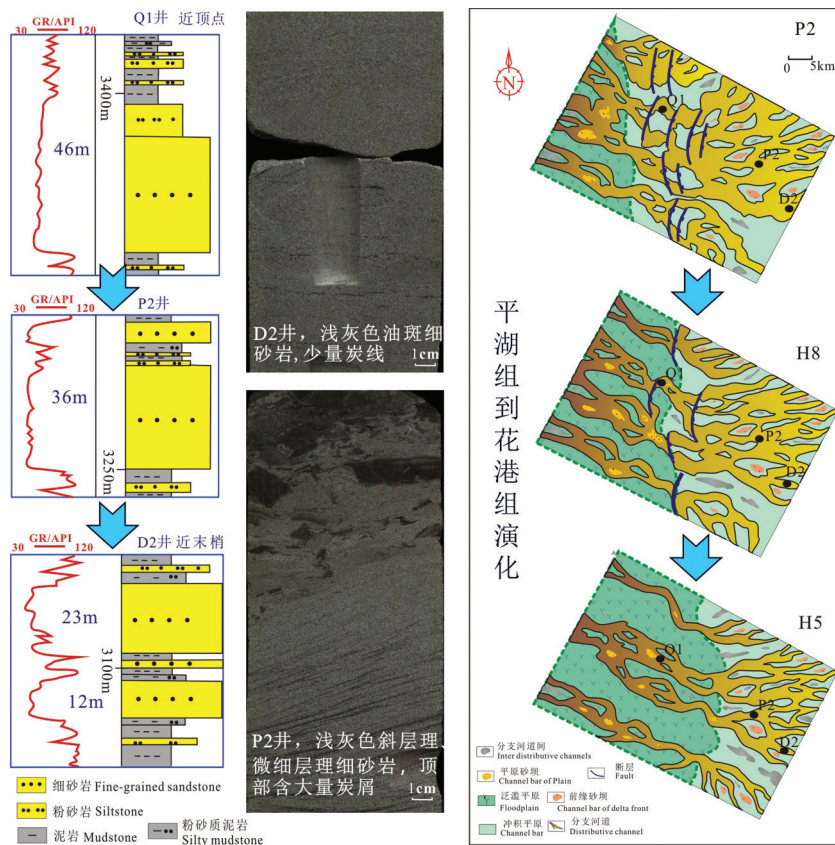


图10 分支河流体系平面及垂向演化

Fig.10 Planar distribution and vertical evolution process of the distributive fluvial system

支河道相关参数以及各参数之间关系的研究,如深切谷面积、暴露的河间地带面积、流域面积、汇水盆地面积以及平均坡度等(Holzweber et al., 2014; Kelly et al., 2014; 孙乐等, 2017)。需要进一步确认哪类支河道,哪些部位更易形成岩性油气藏等。其中限制型河流与分支河流体系汇聚地带,具备极大勘探潜力,有利于寻找大型油气圈闭(贾健谊和顾惠荣, 2002; 陶士振等, 2017; 张凯逊等, 2018; 张君峰等, 2018)。东海盆地西湖凹陷南部地区渔山低隆起以及西斜坡一侧能够提供充足的侧向物源,发育东西向的大型分支河流体系延伸至中央带后终止于轴向河流上,在汇入南北轴向河流后继续向南部搬运直至入湖,可以在南部地区形成更大范围的沉积体系,有利于形成大面积储层,具备勘探潜力。

7 结 论

本次研究以东海盆地西湖凹陷南部地区为例,在对古地形及构造演化恢复的基础上,通过测井、岩心、地震资料分析,结合多种研究手段,对研究区花港组沉积体系进行了再认识,认为南部地区发育分支河流体系,并对不同类型的分支河流体系进行沉积特征及平面展布研究,阐述了分支河流体系研究对东海盆地西湖凹陷勘探的意义,得出了以下结论:

(1)综合古地貌、大地构造以及重矿物资料分析表明,西湖凹陷南部毗邻渔山低隆起,近物源,花港组时期完成断-拗转换,构造稳定,存在大型盆山体系,具备发育大型分支河流体系条件。东西向的大型分支河流体系延伸至中央带后终止于轴向河流上,在汇入南北轴向河流后继续向南部搬运直至入湖,可以在南部地区形成更大范围的沉积体系,更易形成大型储集体,有利于油气富集,具备勘探潜力。

(2)从单井岩性、构造、测井、古生物等方面对不同的分支河流体系进行了研究,综合判定西湖凹陷南部花港组沉积时期以发育陆上环境下的分叉状辫状河道和单辫状河道为主。其中H8—H12分叉状辫状河道, H5/H6单辫状河道以及H3单曲流河道均可作为良好的油气储层。

(3)根据花港组时期地形特征以及分支河道特征,推断在西湖凹陷南部地区发育两套不同的分支河流体系,分支河流体系分别自西部斜坡带朝东北、东南向发散展布;总结分支河流体系平面展布

模式分别属于短河流模式和长河流模式,分支河流体系末梢属于“轴向终止”型,说明分支河流体系终止于轴向河流后继续向南搬运,可以在南部地区形成更大的沉积体系;垂向上泛滥平原范围增大,分支河道逐渐变细,平湖组—花港组时期可以看出分支河流体系具有继承性发育特征。

致谢: 论文撰写过程中得到了长江大学张昌民教授的建议,在此表示衷心的感谢!

参考文献

- Bilmes Andres, Veiga Gonzalo D. 2016. Linking mid-scale distributive fluvial systems to drainage basin area: Geomorphological and sedimentological evidence from the endorheic Gastre Basin, Argentina[J]. Geological Society London Special Publications, 440: 4.
- Davidson Stephanie K, Hartley Adrian J. 2014. A quantitative approach to linking drainage area and distributive-fluvial-system area in modern and ancient Endorheic Basins[J]. Journal of Sedimentary Research, 84: 1005-1020.
- Fielding Christopher R, Ashworth Philip J, Best James L, Prokocki Eric W, Sambrook Smith, Gregory H. 2012. Tributary, distributive and other fluvial patterns: What really represents the norm in the continental rock record?[J]. Sedimentary Geology, 261-262: 15-32.
- Gao Maosheng, Guo Fei, Hou Guohua, Qiu Jiandong, Kong Xianghui, Liu Sen, Huang Xueyong, Zhuang Haihai. 2018. The evolution of sedimentary environment since Late Pleistocene in Laizhou Bay, Bohai Sea[J]. Geology in China, 45(1): 59-68(in Chinese with English abstract).
- Hartley Adrian J, Weissmann Gary S, Nichols Gary J, Warwick Gail L. 2010. Large distributive fluvial systems: Characteristics, distribution, and controls on development[J]. Journal of Sedimentary Research, 80: 167-183.
- Holzweber Barbara I, Hartley Adrian J, Weissmann Gary S. 2014. Scale invariance in fluvial barforms: Implications for interpretation of fluvial systems in the rock record[J]. Petroleum Geoscience, 20: 211-224.
- Jia Jianyi, Gu Huirong. 2002. Petroleum Systems and Assessment of Oil and Gas Resources in Xihu Depression, East China Sea[M]. Beijing: Geological Publishing House, 110-125.
- Jin Desheng, Qiao Yunfeng, Yang Lihu, Song Xianfang. 2015. A research of influence of neo-tectonic movement on alluvial rivers: Review and prospect[J]. Geography Research, 34(3): 437-454(in Chinese with English abstract).
- Kelly B F J, Timms W, Ralph T J, Giambastiani B M S, Comunian A, McCallum A M, Andersen M S, Blakers R S, Acworth R I, Baker A. 2014. A reassessment of the Lower Namoi Catchment aquifer architecture and hydraulic connectivity with reference to climate

- drivers[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 61: 501–511.
- Liu Feng, Zhao Yue, Song Licai, Li Jianfeng. 2015. Time of the upper Irrawaddy streams: A case study of the Longchuan River, western Yunnan[J]. Geology in China, 42(1): 199–206(in Chinese with English abstract).
- Liu Jinshui, Cao Bing, Xu Zhixing, Qin Lanzhi, Xu Fanghao, Tang Jiancheng. 2012. Sedimentary facies and the characteristics of tight sandstone reservoirs of Huagang Formation in Xihu depression, East China Sea Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 39(2): 130–136 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jinshui. 2015. Characteristics of formation pressure and their relationship with hydrocarbon distribution in Pinghu tectonic belt of Xihu sag, East China Sea[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 42(1): 60–69 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zongbao, Zhang Yunfeng, Liu Yunyan, Xue Xinyu, Wang Haishan, Liufang. 2018. Status quo of the terminal fan sedimentary system study and its petroleum geological significance[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 47(3): 520–530(in Chinese with English abstract).
- Lü Junling, Zhu Yijie, Xia Rui, Zheng Yunke, Liu Chenhu, Feng Wenjie, Li Guoyan, Du Xiaofeng. 2020. Sedimentary characteristics and evolution process of arid distributive fluvial systems: Insights from a flume– tank experiment[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 38(5):994–1005.
- Owen Amanda, Hartley Adrian J, Weissmann Gary S, Nichols Gary J. 2016. Uranium distribution as a proxy for basin–scale fluid flow in distributive fluvial systems[J]. Journal of the Geological Society, 173(4):1–17.
- Owen Amanda, Nichols Gary J, Hartley Adrian J, Weissmann Gary S. 2017. Vertical trends within the prograding Salt Wash distributive fluvial system, SW United States[J]. Basin Research, 29(1): 64–80.
- Qiang Kunsheng, Zhang Guangxue, Zhang Li, Lü Baofeng, Zhong Guangjian, Feng Changmao, Yi Hai. 2018a. Paleogeomorphic features and sedimentary facies model of Jurassic strata in Chaoshan sub–basin, northern South China Sea[J]. Geology in China, 45(6): 1251–1258(in Chinese with English abstract).
- Qiang Kunsheng, Zhang Guangxue, Zhang Li, Lü Baofeng, Zhong Guangjian, Feng Changmao, Yi Hai, Zhao Zhongquan, Yang Zhen, Yan Wei. 2018b. A study of depositional characteristics of the Jurassic strata in Chaoshan Sub–basin, northern South China Sea, and its control on reservoir beds[J]. Geology in China, 45(1): 48–58(in Chinese with English abstract).
- Quartero E M, Leier A L, Bentley L R, Glombick P. 2015. Basin–scale stratigraphic architecture and potential Paleocene distributive fluvial systems of the Cordilleran Foreland Basin, Alberta, Canada[J]. Sedimentary Geology, 316: 26–38.
- Shi Yuxin, Gao Zhiyong, Zhou Chuanmin, Zhai, Yicheng, Fan Xiaorong, Feng Jiarui. 2019. Sedimentary characteristics and significance of distributive fluvial system of modern alluvial fan and fan delta plain in the northern margin of Bosten lake, Xinjiang[J]. Acta Petrolei Sinica, 40(5):542–556.
- Sun Le, Yu Xinghe, Li Shengli, Zhang Hui, He Yulin, Yang Kaile, Qiao Yarong, Zhang Wenmiao, Wu Zijin, Gao Mingxuan. 2017. Sedimentary characteristics of transgressive fan delta of the 3rd Member of Eocene Liushagang Formation in eastern Wushi sag, Beibuwan Basin[J]. Geology in China, 44(3): 485–498(in Chinese with English abstract).
- Trendell A M, Atchley S C, Nordt L C. 2013. Facies analysis of a probable large– fluvial– fan depositional system: The Upper Triassic Chinle Formation at Petrified Forest National Park, Arizona, U.S.A [J]. Journal of Sedimentary Research, 83(10): 873–895.
- Wang Jian, Fu Xiugen. 2018. Sedimentary evolution of the Qiangtang Basin[J]. Geology in China, 45(2): 237–259(in Chinese with English abstract).
- Wang Wenjuan, Zhang Yinguo, Zhang Jianpei. 2014. Seismic facies features and sedimentary facies distribution of Oligocene Huagang Formation in Xihu Sag, East China Sea Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 19(1): 60–68(in Chinese with English abstract).
- Weissmann Gary S, Hartley Adrian J, Nichols Gary J, Scuderi Louis A. 2010. Fluvial form in modern continental sedimentary basins Distributive fluvial systems[J]. Geological Society of America, 38 (1): 39–42.
- Weissmann Gary S, Hartley Adrian J, Nichols Gary J, Scuderi Louis A, Olson M, Buehler H, Banteah R. 2011. Alluvial facies distribution in continental sedimentary basins—Distributive fluvial systems[J]. River to Rock Record: The Presentation of Fluvial Sediments and Their Subsequent Interpretation, 79: 327–355.
- Wu Chongyun, Xue Shuhao. 1993. Sedimentology of Petroleum–Bearing Basins in China[M]. Beijing: Petroleum Industry Press(in Chinese).
- Zhang Changmin, Huwei, Zhu Rui, Wang Xulong Hou Guowei. 2017a. Concept of distributive fluvial system and its significance to oil and gas exploration and development[J]. Lithologic Reservoirs, 29(3): 1–9(in Chinese with English abstract).
- Zhang Changmin, Song Xinmin, Zhi Dongming, Zhou Xinhuai, Yin Taiju, Yin Yanshu, Zhu Rui, Feng Wenjie, Zhang Baojin. 2020. Rethinking on the sedimentary system of terrestrial petroliferous basins: Insights from distributive fluvial system[J]. Acta Petrolei Sinica, 41 (2): 127–152.
- Zhang Changmin, Zhu Rui, Zhao Kang, Hu Wei, Yin Yanshu, Li Shaohua, Yin Taiju. 2017b. From endpoint to continuity: A review of research progress on river sedimentary models[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 35(5): 926–944(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guohua, Zhang Jianpei. 2015. A discuss on the tectonic inversion and its genetic mechanism in the East China Sea shelf basin[J]. Earth Science Frontiers, 22(1): 260–270 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jianpei, Yu Yifan, Zhang Tian, Zhang Shaoliang, Tang Xianjun. 2013. Development characteristics and accumulation conditions of

- lithologic reservoirs in Lishui sag, East China Sea shelf basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 25(2): 24–35(in Chinese with English abstract).
- Zhang Junfeng, Xu Hao, Zhao Junlong, Ren Pengfei. 2018. Geological characteristics and exploration potential of oil and gas in the northeast area of China[J]. *Geology in China*, 45(2): 260–273(in Chinese with English abstract).
- Zhang Kaixun, Han Shuqin, Wang Zongxiu, Tao Chongzhi, Han Fengbin, Li Chunlin, Li Xiaoshi, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy. 2018. Characteristics of petroleum systems and resources potential in the Afghan–Tajik Basin[J]. *Geology in China*, 45(5): 920–930(in Chinese with English abstract).
- Zhang Minqiang, Xu Fa, Zhang Jianpei, Zhang Tian. 2011. Structural framework and evolution of Xihu sag in East China Sea basin [J]. *Geological Journal of China Universities*, 31(5): 67–72(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xianghui, Zhang Changmin, Feng Wenjie, Zhu Rui, Chen Zhe, Zhao Kang, Zhang Baojin. 2019. Geometry and control factors of distributive fluvial system around the Sungan Lake basin[J]. *Acta Geologica Sinica*. 93(11): 2948–2959.
- Zhang Yuanfu, Dai Xin, Wang Min, Li Xinxin. 2020. The concept, characteristics and significance of fluvial fans[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 47(5): 947–957.
- Zhu Weilin, Wu, Jing Fu, Zhang Gongcheng, Ren Jianye, Zhao Zhigang, Wu Keqiang, Zhong Kai, Liu Shixiang. 2015. Discrepancy tectonic evolution and petroleum exploration in China offshore Cenozoic basins[J]. *Earth Science Frontiers*, 22(1): 88–1018(in Chinese with English abstract).
- 高茂生, 郭飞, 侯国华, 仇建东, 孔祥淮, 刘森, 黄学勇, 庄海海. 2018. 渤海南部莱州湾晚更新世以来沉积演化特征[J]. *中国地质*, 45(1): 59–68.
- 贾健谊, 顾惠荣. 2002. 东海西湖凹陷含油气系统与油气资源评价[M]. 北京: 地质出版社: 110–125.
- 金德生, 乔云峰, 杨丽虎, 宋献芳. 2015. 新构造运动对冲积河流影响研究的回顾与展望[J]. *地理研究*, 34(3): 437–454.
- 刘锋, 赵越, 宋立才, 李建锋. 2015. 伊洛瓦底江上游水系形成时代研究—以滇西龙川江为例[J]. *中国地质*, 42(1): 199–206.
- 刘金水, 曹冰, 徐志星, 秦兰芝, 徐昉昊, 唐健程. 2012. 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)*, 39(2): 130–136.
- 刘金水. 2015. 西湖凹陷平湖构造带地层压力特征及与油气分布的关系[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 42(1): 60–69.
- 刘宗堡, 张云峰, 刘云燕, 薛欣宇, 王海山, 刘芳. 2018. 末端扇沉积体系研究现状及石油地质意义[J]. *中国矿业大学学报*, 47(3): 520–530.
- 吕峻岭, 朱一杰, 夏瑞, 郑云柯, 刘晨虎, 冯文杰, 李国艳, 杜晓峰. 2020. 干旱型分支河流体系沉积特征与演化过程——水槽沉积模拟实验研究[J]. *沉积学报*, 38(5): 994–1005.
- 强昆生, 张光学, 张莉, 吕宝凤, 钟广见, 冯常茂, 易海, 赵忠泉, 杨振, 鄢伟. 2018a. 南海北部潮汕坳陷侏罗系沉积特征及对储层的控制作用研究[J]. *中国地质*, 45(1): 48–58.
- 强昆生, 张光学, 张莉, 吕宝凤, 钟广见, 冯常茂, 易海. 2018b. 南海北部潮汕坳陷侏罗系古地貌特征及沉积相模式[J]. *中国地质*. 45(6): 1252–1258.
- 石雨昕, 高志勇, 周川闽, 翟弈程, 樊小容, 冯佳睿. 2019. 新疆博斯腾湖北缘现代冲积扇与扇三角洲平原分支河流体系的沉积特征与意义[J]. *石油学报*, 40(5): 542–556.
- 孙乐, 于兴河, 李胜利, 张辉, 何玉林, 杨椿乐, 乔亚蓉, 张文森, 吴子瑾, 高明轩. 2017. 北部湾盆地乌石凹陷东区始新统流三段水进型扇三角洲沉积特征[J]. *中国地质*, 44(3): 485–498.
- 王剑, 付修根. 2018. 论羌塘盆地沉积演化[J]. *中国地质*, 45(2): 237–259.
- 王文娟, 张张国, 张建培. 2014. 东海盆地西湖凹陷渐新统花港组地震相特征及沉积相分布[J]. *海相油气地质*, 19(1): 60–68.
- 吴崇筠, 薛叔浩. 1993. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 张昌民, 胡威, 朱锐, 王绪龙, 侯国伟. 2017a. 分支河流体系的概念及其对油气勘探开发的意义[J]. *岩性油气藏*, 29(3): 1–9.
- 张昌民, 宋新民, 支东明, 周心怀, 尹太举, 尹艳树, 朱锐, 冯文杰, 张宝进. 2020. 陆相含油气盆地沉积体系再思考:来自分支河流体系的启示[J]. *石油学报*, 41(2): 127–152.
- 张昌民, 朱锐, 赵康, 胡威, 尹艳树, 李少华, 尹太举. 2017b. 从端点走向连续:河流沉积模式研究进展述评[J]. *沉积学报*, 35(5): 926–944.
- 张国华, 张建培. 2015. 东海陆架盆地构造反转特征及成因机制探讨[J]. *地学前缘*, 22(1): 260–270.
- 张建培, 余逸凡, 张田, 张绍亮, 唐贤君. 2013. 东海西湖凹陷深盆气勘探前景探讨[J]. *中国海上油气*, 25(2): 24–35.
- 张君峰, 许浩, 赵俊龙, 任鹏飞. 2018. 中国东北地区油气地质特征与勘探潜力展望[J]. *中国地质*, 45(2): 260–273.
- 张凯逊, 韩淑琴, 王宗秀, 陶崇智, 韩凤彬, 李春麟, 李小诗, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy. 2018. 阿富汗—塔吉克盆地含油气系统特征与资源潜力[J]. *中国地质*, 45(5): 920–930.
- 张敏强, 徐发, 张建培, 张田. 2011. 西湖凹陷裂陷期构造样式及其对沉积充填的控制作用[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 31(5): 67–72.
- 张祥辉, 张昌民, 冯文杰, 朱锐, 陈哲, 赵康, 张宝进. 2019. 苏干湖盆地周缘分支河流体系的几何形态及影响因素分析[J]. *地质学报*, 93(11): 2948–2959.
- 张元福, 戴鑫, 王敏, 李鑫鑫. 2020. 河流扇的概念、特征及意义[J]. *石油勘探与开发*, 47(5): 947–957.
- 朱伟林, 吴景富, 张功成, 任建业, 赵志刚, 吴克强, 钟镔, 刘世翔. 2015. 中国近海新生代盆地构造差异性演化及油气勘探方向[J]. *地学前缘*, 22(1): 88–101.