

泌阳凹陷东南部核桃园组近岸水下扇与扇三角洲 沉积特征比较及控制因素分析

董艳蕾^{1,2}, 朱筱敏^{1,2}, 耿晓洁³, 王波⁴, 王珩^{1,2}, 江强^{1,2}, 郭雷^{1,2}, 韦敏鹏^{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. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 4. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452]

摘要:南襄盆地泌阳凹陷南部陡坡带核桃园组发育大量的砂砾岩体。这些砂砾岩体与鼻状构造配置形成该凹陷重要的油气藏。但是,前人对砂砾岩体成因的研究一直存在较大的争议,主要争论集中于砂体成因是扇三角洲成因还是近岸水下扇成因。为了明确砂砾岩体的成因及平面展布,在高精度层序地层格架建立的基础上,主要利用对比的方法,从沉积相发育背景、沉积亚相及微相划分、钻测井特征、岩心特征、粒度分布特征及地震反射特征6个方面,对这两种相类型进行了总结对比,并对控制因素进行了初步的探讨。研究表明,边界大断裂的活动造成的断层陡缓程度的差别对工区砂体成因类型起着重要的控制作用。在平面上,断层较缓($55^{\circ} \sim 75^{\circ}$)的西部地区发育扇三角洲;而在断层较陡($75^{\circ} \sim 90^{\circ}$)的东部地区,则发育近岸水下扇。在地震剖面上,早期断层比较陡,易沉积近岸水下扇;晚期断层比较缓,易沉积扇三角洲。

关键词:近岸水下扇;扇三角洲;砂砾岩体;构造控制作用;核桃园组;泌阳凹陷;南襄盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary characteristics comparison and controlling factors analyses of nearshore subaqueous fan and fan delta in the Hetaoyuan Formation of southeastern Biyang Sag

Dong Yanlei^{1,2}, Zhu Xiaomin^{1,2}, Geng Xiaojie³, Wang Bo⁴, Wang Heng^{1,2}, Jiang Qiang^{1,2}, Guo Lei^{1,2}, Wei Minpeng^{1,2}

(1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 3. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. CNOOC EnterTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

Abstract: Coarse-grained clastic deposits are widely developed in the Hetaoyuan Formation of the steep slope belt in southern Biyang Sag of Nanxiang Basin. They together with nose-like structures in the sag form many high-quality oil and gas reservoirs. However, the genesis of these deposits is still uncertain. The bone of contention is whether they are fan delta genesis or nearshore subaqueous fan genesis. To answer the question and get a better look at how they are distributed horizontally, we compared and summarized the two geneses and discussed their controlling factors in a stratigraphic sequence framework and from the following 6 perspectives of sedimentary settings, subfacies and microfacies categorization, drilling and logging data, core analyses, grain size distribution features and seismic response characteristics. The results show that the steepness difference of faults caused by large boundary faulting activities controlled their genesis. Horizontally, fan deltas are developed in the west area with gentle faults ($55^{\circ} \sim 75^{\circ}$) while nearshore subaqueous fans are developed in the east area with steep faults ($75^{\circ} \sim 90^{\circ}$) nearshore. Seismic profiles also show that early faults are steeper and favorable for the deposition of nearshore subaqueous fans; while later faults are more gentle and good for fan delta to be formed.

Key words: nearshore subaqueous fan, fan delta, glutenite body, structural control, Hetaoyuan Formation, Biyang Sag, Nanxiang Basin

泌阳凹陷位于河南省南部的唐河县与泌阳县之间。近30年的勘探开发研究早已查明,其南部陡坡带

发育大量的砂砾岩体。这些砂砾岩体与鼻状构造配置能够形成相对简单的岩性油气藏,是该凹陷油气藏的

收稿日期:2013-10-10;修订日期:2014-02-26。

第一作者简介:董艳蕾(1972—),女,博士、讲师,层序地层学及地震沉积学。E-mail:yanleidong@163.com。

通讯作者简介:朱筱敏(1960—),男,教授,层序地层和沉积储层研究。E-mail:xmzhu@cup.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金项目(41202078,41272133);中国石油大学(北京)科研基金资助项目(KYJJ2012-01-31)。

重要储集类型。前人认为,砂砾岩体为扇三角洲和近岸水下扇沉积。由于这两种沉积相类型的区别难度比较大,造成研究人员对不同地区、不同时期沉积相类型的认识有不同的观点^[1-3]。那么该区发育的究竟是什么沉积相类型呢?沿陡坡带钻遇的砂砾岩体是如何分布的呢?在层序地层学及地震沉积学理论的指导下,笔者对工区的层序、沉积进行了详细的研究,明确了两种沉积相在时空的演变及分布特征。

1 区域地质背景

泌阳凹陷是南襄盆地内发育的一个次级凹陷,属于小型山间断陷,面积约 1 000 km²,由北部缓坡构造带、南部陡坡构造带及中部凹陷构造带 3 个构造单元组成。南部陡坡构造带砂砾岩体十分发育,经过 30 年的勘探和开发,在该带已发现井楼、双河、赵凹—安棚和下二门 4 个油田(图 1)。

泌阳凹陷在大地构造上位于扬子板块与华北板块结合部位的秦岭褶皱带上,是在统一的陆壳板块基底上发展起来的。王尚文等(1983)认为,中国板块东部边界在中、新生代的构造演化过程中有 3 次重要的成盆期^[4],即晚燕山期(K₁)、早喜马拉雅期(K₂—E₃)和晚喜马拉雅期(N₁—Q),后两期构造变动对泌阳凹陷都有不同程度的影响,控制泌阳凹陷形成和发展的主要因素是断裂作用。按规模可大致分为边界基底大断裂、盆内次级基底断裂和沉积盖层断裂 3 类。其中,边界基底大断裂控制着断陷的形成和发展,盆内次级基底断裂控制着凹陷次级构造带的发展演化。泌阳凹陷

的形成主要受北西西向的唐河—栗园断裂和北东向的泌阳—栗园断裂控制,沉积、沉降中心位于东南部边界断裂交汇处的安棚—安店一带。基底最大埋深达 8 000 m 以上,从南向北、从东向西逐渐抬升,整个凹陷在平面上呈端部北指的扇形展布,剖面上构成南深北浅的箕状凹陷^[5-6]。本文的研究工区为东南部陡坡带(图 1)。

2 层序地层格架

本次研究层位包括古近系核桃园组一段—核三段上部的地层。利用地震、钻井、录井和测井资料,结合沉积序列和构造演化特征及气候周期性变化特征,将核一段—核三上亚段划分为 10 个四级层序(表 1)^[7-11]。

3 近岸水下扇和扇三角洲沉积特征对比

研究工区核桃园组主要发育近岸水下扇和扇三角洲两大沉积类型。下文从沉积相发育背景、沉积亚相及微相划分、钻测井特征、岩心特征、粒度分布特征及地震反射特征 6 个方面,对这两种相类型进行总结对比。

3.1 沉积相发育背景

近岸水下扇是在较深湖区水下形成的扇形砾岩体。近源洪水携带大量陆源碎屑直接入湖,并在湖盆边缘陡岸的深水环境中形成水下扇体。它主要形成于陆相断陷湖盆的扩张期,随着湖水范围的扩大,扇体也不断后退,并始终沿湖盆边缘紧邻山麓部位分布^[12-16]。

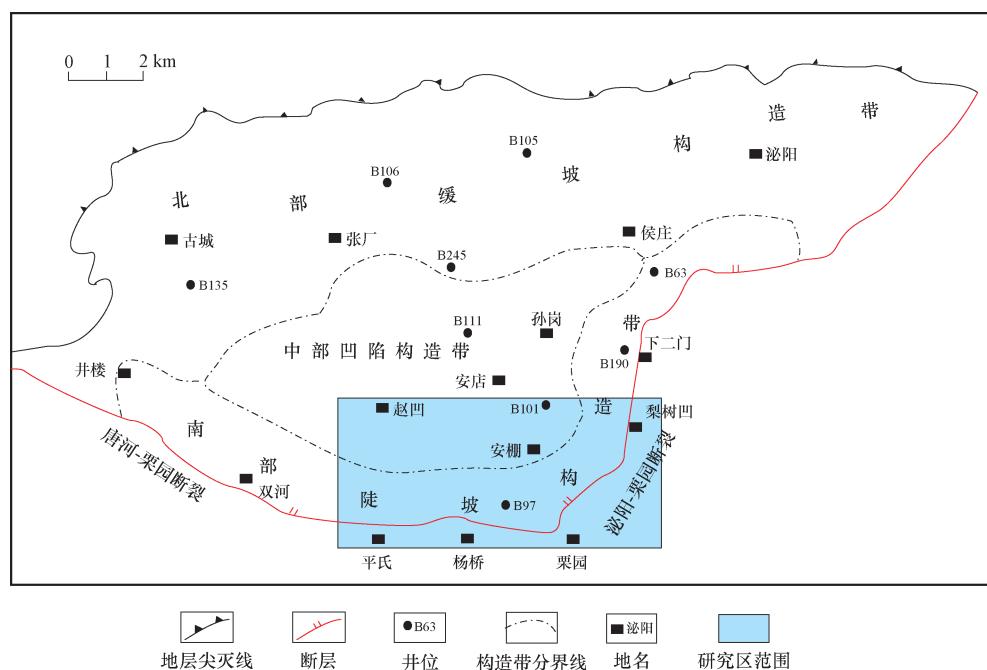


图 1 泌阳凹陷地理位置及研究区三维地震勘探区

Fig. 1 Map showing the location of Biyang Sag and 3-D seismic acreage in the study area

表 1 泌阳凹陷核桃园组地层层序划分方案
Table 1 Sequence framework of the Hetaoyuan Formation in Biyang Sag

地层	四级层序	对应砂组
核桃园组	核一段	SQH ₁ ¹
		H ₁ ¹
		SQH ₁ ²
		H ₁ ²
		SQH ₁ ³
		H ₁ ³
	核二段	SQH ₂ ¹
		H ₂ ¹
		SQH ₂ ²
		H ₂ ²
	核三上亚段	SQH ₂ ³
		H ₂ ³
		SQH ₃ ¹
		H ₃ ¹
		SQH ₃ ²
		H ₃ ²
		SQH ₃ ³
		H ₃ ³
		SQH ₃ ⁴
		H ₃ ⁴

扇三角洲是邻近高地推进到稳定水体(海、湖)中去的冲积扇,主要发育于断陷湖盆的陡坡带。其形成的动力机制比较复杂,陆上部分也可看作为洪积扇体,而水下部分与三角洲具有很大的相同性。

3.2 沉积亚相及微相划分

泌阳凹陷东南部地区近岸水下扇发育于盆地的主断陷期,也是边界断层活动最强烈的核三段沉积时期^[17]。该时期湖盆范围大、水体较深,自下而上依次出现内扇—中扇—外扇沉积序列,呈向上变细的正粒序特征,多层近岸水下扇叠加,显示水进的特征,每个沉积亚相内部也包含许多次一级的下粗上细的正韵律。根据沉积层序和沉积物特征,可将近岸水下扇划分为内扇、中扇和外扇 3 个亚相。近岸水下扇的内扇位于近山口处,分布范围不大,为主水道发育段,内扇又可以划分为主水道和水道侧缘两个微相。近岸水下扇中扇主要分布于靠近湖盆陡岸的较深水环境中,它是近岸水下扇的主体部分,可以分为水道及水道间沉积微相。近岸水下扇外扇位于近岸水下扇末端,该处水体较深,地形较为平缓,水下水道已不发育(表 2)。

表 2 泌阳凹陷核桃园组沉积相类型
Table 2 Sedimentary facies of the Hetaoyuan Formation in Biyang Sag

沉积相	沉积亚相	沉积微相
近岸水下扇	内扇	主水道、水道侧缘
	中扇	水道、水道间
	外扇	
扇三角洲	扇三角洲平原	分流河道、漫流沉积
	扇三角洲内前缘	水下分流河道、河道间
	扇三角洲外前缘	水下分流河道、河道间、河口坝、席状砂、远砂坝
	前扇三角洲	前扇三角洲泥

泌阳凹陷东南部扇三角洲可分为 3 个亚相,即扇三角洲平原、扇三角洲前缘和前扇三角洲。扇三角洲平原亚相为扇三角洲的水上部分沉积,由分流河道及漫流沉积组成。扇三角洲前缘亚相是扇三角洲的主体部分,根据河道岩性特征又将扇三角洲前缘划分为内前缘和外前缘,其中内前缘主要以水下分流河道和河道间为主,外前缘又可进一步划分为水下分流河道、河道间、河口坝、远砂坝和席状砂等几个微相,其前端可伴生滑塌浊积岩沉积。前扇三角洲亚相与滨浅湖沉积相邻(表 2)。

3.3 钻、测井特征

近岸水下扇的内扇自下而上为混杂的块状砾岩和递变层理的砾状砂岩,在自然电位和伽马曲线上表现为参差不齐的低、中幅度钟形。中扇主要分布于靠近湖盆陡岸的较深水环境中,它是近岸水下扇的主体部分,具明显的水道特征,为一正旋回序列;其岩性主要为含砾砂岩和块状砂岩,水道间是以粉砂岩和泥岩为主的细粒沉积,单个韵律也为正旋回,电测曲线呈钟形,与内扇相比,水道岩性粒度明显减小。外扇主要为具有鲍马序列的浊积岩和暗色泥岩,自然电位曲线呈以正向为主的稀疏的低锯齿状或指状,偶见反旋回曲线^[18-23](图 2)。

扇三角洲平原分流河道的岩性主要是成熟度低、分选差—中等的厚层砾岩、粒状砂岩,无递变或具有正递变层理,底部具有冲刷面。漫流沉积主要位于分流河道间,沉积物粒度较细,一般为粉砂、粘土和细砂的薄互层。多期河道形成的曲线组合形态为多个钟形或箱形的垂向叠加,河道间为较薄层的低幅平直或微齿化(研究区内平原相不发育)。

扇三角洲前缘的水下分流河道沉积为平原环境中灾变期形成的分流河道在水下的延伸,一般以砂岩、含砾砂岩为主,砾岩相对较少。砂、砾岩呈灰白色、浅灰色,厚层,块状,单层厚度为 5~10 m,部分由多个砂岩透镜体在纵向上相互叠置而形成厚达数米的砂岩。自然电位多呈钟形、中—高幅指状或叠置箱形,也可因为水道的进积而形成漏斗形上叠箱形的复合形,以及因水道退积形成的钟形叠在箱形上的复合形(图 2)。河口坝自然电位曲线为齿化的漏斗形—钟形,反映河道冲刷作用减弱。前缘席状砂自然电位曲线多呈低—中幅指状,水下分流河道间自然电位多呈微齿状—平直状。前扇三角洲自然电位曲线呈指状或微齿状^[24-27]。

3.4 岩心特征

近岸水下扇的内扇中搬运沉积物的主水道由分

选、磨圆较差的砾岩、砂砾岩组成,块状层理,岩心序列上表现为多个厚层砂砾岩相叠置,自下而上整体呈由粗变细的正粒序。主水道间夹薄层灰色泥岩或泥质粉砂岩,为水道侧缘的低密度浊流沉积。例如 B182 井第二次取心(SQH₃³)砂砾岩厚度为 3 m 左右,整体自下而上为粒度由粗变细的正粒序;埋深 2 236.86 m 岩心为主水道沉积,岩性为泥质支撑的细砾岩,砾石排列无定向性,分选、磨圆较差(图 2)。

近岸水下扇中扇在岩心序列上显示为多个水道叠置。水道砂岩常见平行层理,小型交错层理,少量块状层理。中扇水道间沉积发育块状层理、波状层理及水平层理,与下伏地层呈冲刷接触,与其伴生的泥岩为灰绿色、灰色,具块状或水平纹理。水道前缘以薄层粉砂岩为主。B116 井第二次取心(SQH₃³)中埋深 2 437.87 m 处的岩心显示为典型的辫状水道含砾粗砂岩,具有块状层理(图 2)。

近岸水下扇外扇主要由波状交错层理粉砂岩、水平纹理粉砂质泥岩和块状层理暗色泥岩组成。从 B115 井第三次取心(SQH₃³)埋深 2 664.80 m 处的岩心照片可以看到厚度约 10 m 的深色泥岩夹薄层泥质粉砂岩,指示了近岸水下扇外扇沉积水体较深、水动力条件减弱的环境(图 2)。

扇三角洲前缘水下分流河道砂体中发育大、中型槽状交错层理、平行层理,砂体底部发育冲刷面构造。河口坝为反旋回,岩性主要为砂岩和粉砂岩,厚度较薄,具沙纹层理、波状层理、交错层理、平行层理,但由于河道的迁移和冲刷,河口砂坝在研究区内发育程度较低,在单井上很少见河口坝的沉积响应。扇三角洲前缘席状砂为互层的粒度较细的砂岩、粉砂岩与泥岩,颗粒分选性和磨圆度较好,发育的沉积构造与河口砂坝相似,可见沙纹层理、波状层理等。水下分流河道间主要沉积薄层的粉砂岩,可见水平层理和植物碎屑。B315 井第一次取心(SQH₁³)主要发育扇三角洲的外前缘沉积(图 2)。

前扇三角洲亚相由前扇三角洲泥沉积构成,岩性较细,以灰色、灰绿色及深灰色泥岩夹泥质粉砂岩为特征,发育水平层理、波状层理及各种复合层理,生物化石较多。

3.5 粒度分布特征

近岸水下扇内扇的粒度概率曲线由平缓的跳跃总体和长段的悬浮总体组成^[28]。

扇三角洲前缘水下分流河道和河口坝在粒度概率曲线上显示为由悬浮总体和跳跃总体组成的两段式,水下分流河道间主要为长段的悬浮次总体和斜率较大的跳跃次总体。而席状砂粒度概率曲线为平缓过渡的

两段式,指示了相对较弱的水动力条件^[29-32](图 2)。

3.6 地震反射特征

近岸水下扇沉积时,整体沉没于水下发生快速沉积,因此地震反射成层性和连续性变化较大,在陡坡带的不同部位发育扇体的地震特点有所不同。通常在顺物源方向的地震剖面上,由于与上覆地层岩性差异较大,扇体包络面反射振幅较强,其反射外形一般呈逐渐收敛的楔状体,内部反射呈小角度的发散结构,反映了高能、不稳定的沉积环境;在垂合物源方向的地震剖面上,扇体大都对应丘状反射,内部反射为亚平行结构,同相轴具有中等连续、中-强振幅特征^[33](图 2)。

扇三角洲在地震反射上有明显的前积特征,一般呈斜交型前积结构,代表着水动力较强、物源供应充足的沉积环境。在垂合物源方向上,一般为宽缓的丘状反射,内部为低频的平行或亚平行结构,同相轴为连续性较好的强振幅反射^[34](图 2)。

4 构造对沉积的控制作用

本次沉积相研究表明,自核桃园组 SQH₃⁴—SQH₁¹,栗园和梨树凹地区均发育近岸水下扇沉积;而平氏地区核桃园组 SQH₃⁴—SQH₂²为近岸水下扇沉积,其后为扇三角洲沉积;杨桥地区也是早期为近岸水下扇沉积,自核桃园组 SQH₂²—SQH₁¹为扇三角洲沉积(表 3)。沉积体系为什么会呈现这样的展布特征呢?到底是什么因素控制着近岸水下扇和扇三角洲的沉积?下文着重探讨断层陡缓程度对沉积体系的控制作用。

泌阳凹陷古近系核桃园组早期(核三段沉积时期),由于边界大断裂的强烈活动形成了箕状断陷结构,使得盆地的古地形具有南部陡坡、中央深凹和北部斜坡的分异特点。在不同的地形差异地区,沉积体系的形成背景和主控因素是有差别的。本次研究的东南部陡坡带邻近物源,加之盆地边界断裂的强烈活动,地形高差大,沉积相类型主要受控于盆地边界深大断裂的活动幅度和阶段性。到了核桃园组中晚期(核二段、核一段沉积时期),深大断裂的活动强度逐渐减弱,泌阳凹陷随之经历了从断陷向坳陷的转化。就近岸水下扇与扇三角洲二者相比较而言,早期地形坡度陡,易沉积近岸水下扇;晚期地形坡度缓,易沉积扇三角洲^[35-36]。

在平面上,不同地区的断层陡缓程度不同。图 3 分别选取了西部平氏地区和东部梨树凹以南地区的两条地震剖面,可以看到西部的边界断层最缓、东部的断层较陡。通过研究发现,在断层较缓(55°~75°)的西

表 3 泌阳凹陷东南部各层序沉积相类型统计

Table 3 Statistics of sedimentary facies of different sequences in southeastern Biyang Sag

层序	平氏地区	杨桥地区	栗园地区	梨树凹地区
SQH ₁ ¹	扇三角洲	扇三角洲	浅湖	近岸水下扇
SQH ₁ ²	扇三角洲	扇三角洲	浅湖	近岸水下扇
SQH ₁ ³	扇三角洲	扇三角洲	浅湖	近岸水下扇
SQH ₂ ¹	近岸水下扇	扇三角洲	近岸水下扇	近岸水下扇
SQH ₂ ²	近岸水下扇	扇三角洲	近岸水下扇	近岸水下扇
SQH ₂ ³	近岸水下扇	近岸水下扇	近岸水下扇	近岸水下扇
SQH ₃ ¹	近岸水下扇	近岸水下扇	近岸水下扇	近岸水下扇
SQH ₃ ²	近岸水下扇	近岸水下扇	浅湖	近岸水下扇
SQH ₃ ³	近岸水下扇	近岸水下扇	浅湖	近岸水下扇
SQH ₃ ⁴	近岸水下扇	近岸水下扇	近岸水下扇	近岸水下扇

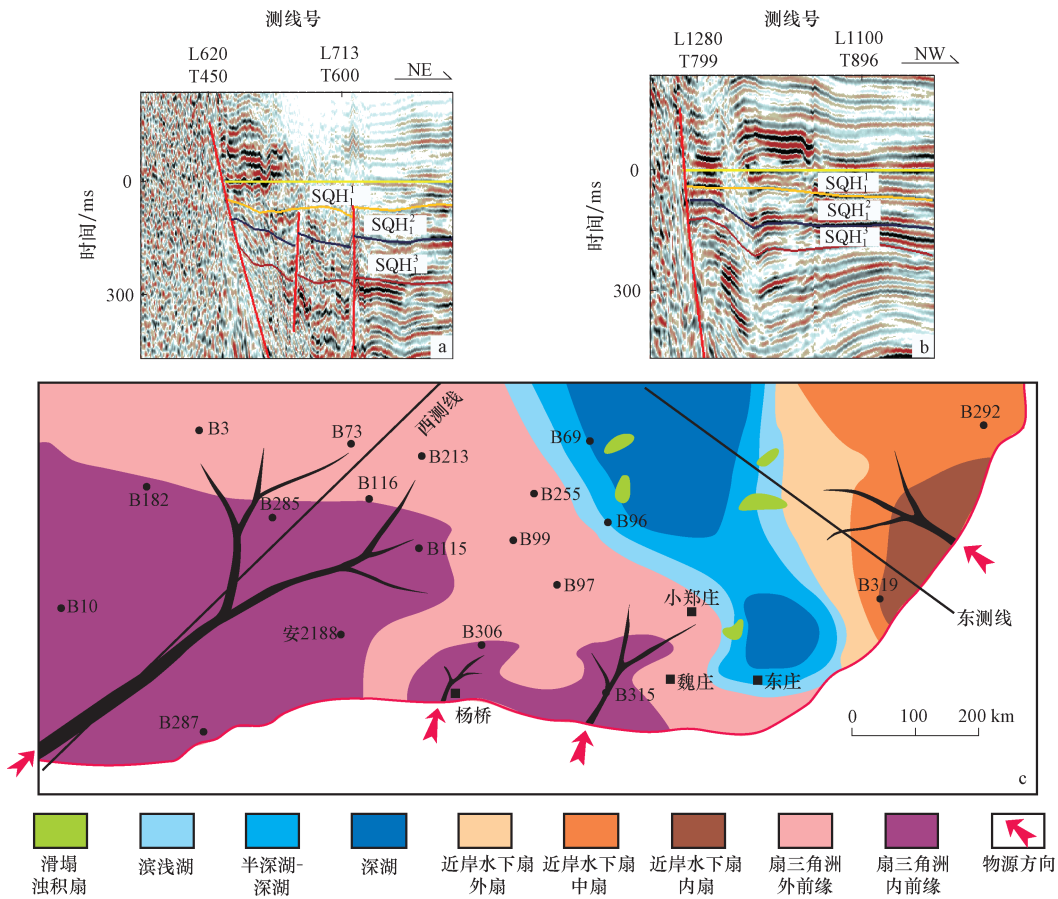


图 3 泌阳凹陷东南部断层陡缓对沉积相平面分布的控制作用

Fig. 3 Diagram showing the controlling effect of the degree of fault dip upon sedimentary facies distribution in southeastern Biyang Sag

a. 西测线地震剖面, 断层缓, 50°~75°, 发育扇三角洲; b. 东测线地震剖面, 断层陡, 75°~90°, 发育近岸水下扇; c. 核桃园组 SQH₁³ 沉积相

部地区,发育扇三角洲;而在断层较陡(75°~90°)的东部地区,发育近岸水下扇。

在剖面上,早期、晚期断层的陡缓程度也会有所不同。例如,位于工区西部的 Line756 剖面,边界大断层上缓下陡,上面断层缓的核一段 SQH₁¹—SQH₁³ 发育扇三角洲沉积,下部断层陡的核桃园组 SQH₂¹—SQH₃⁴ 发育近岸水下扇沉积(图 4)。

5 结论

1) 核桃园组核一段—核三上亚段划分为 10 个四级层序。其中,核三上亚段由 SQH₃¹, SQH₃², SQH₃³ 和 SQH₃⁴ 组成;核二段包括 SQH₂¹, SQH₂² 和 SQH₂³;核一段分为 SQH₁¹, SQH₁² 和 SQH₁³。

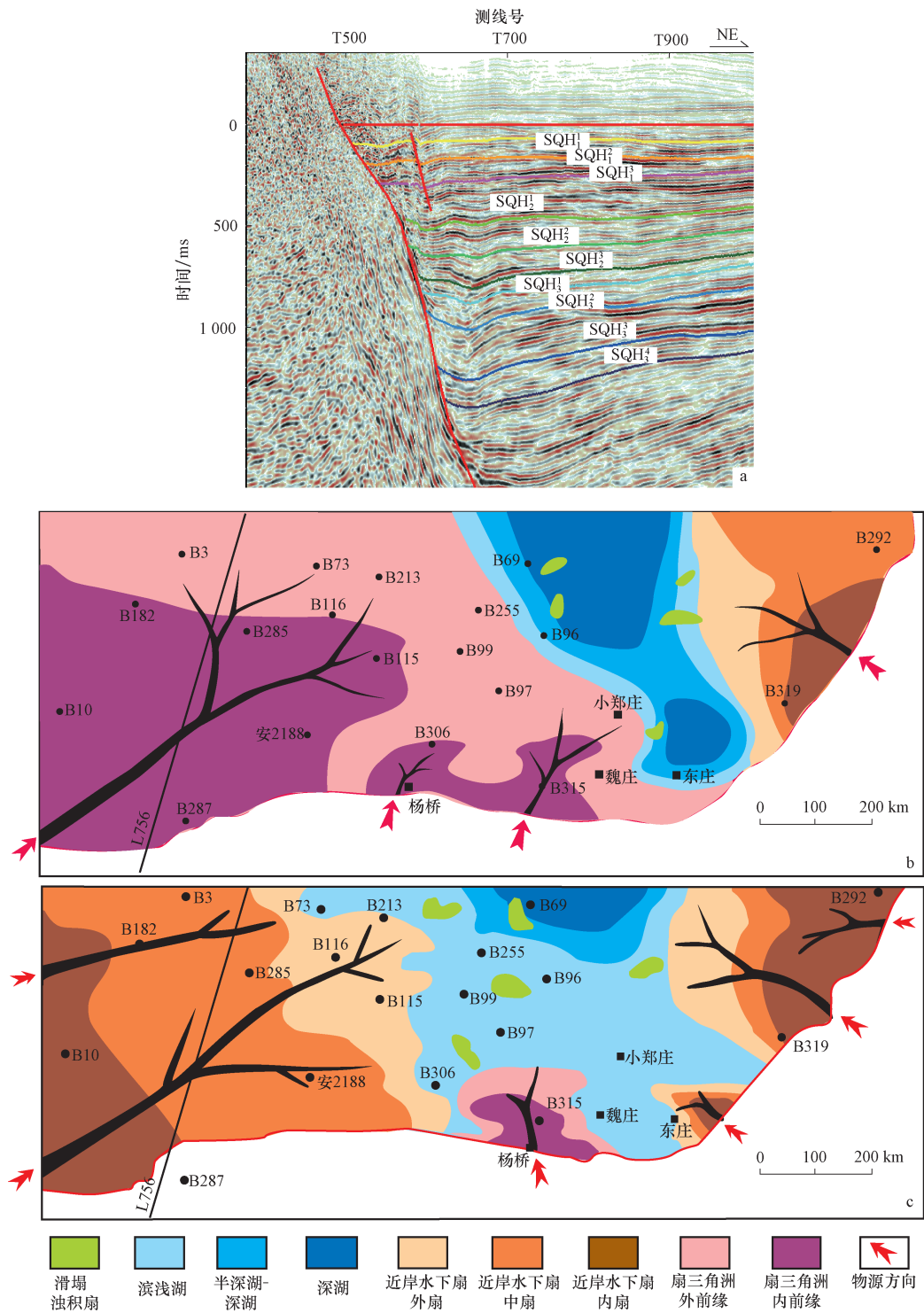


图 4 泌阳凹陷东南部断层陡缓对沉积相纵向演化的控制作用

Fig. 4 Diagram showing the controlling effect of the degree of fault dip upon vertical evolution of sedimentary facies in southeastern Biyang Sag

a. L756 测线地震剖面,边界大断层面上缓下陡,上部断层缓的 SQH₁¹—SQH₁³ 发育扇三角洲,下部断层陡的 SQH₂²—SQH₄⁴ 发育近岸水下扇; b. 核桃园组 SQH₁³ 沉积相; c. 核桃园组 SQH₂² 沉积相

2) 从沉积相发育背景、沉积亚相及微相划分、钻测井特征、岩心特征、粒度分布特征及地震反射特征 6 个方面,对近岸水下扇和扇三角洲两种沉积相类型进行了总结对比。

3) 着重探讨了断层陡缓程度对沉积体系的控制作用,认为平面上断层较缓(55°~75°)的西部地区发

育扇三角洲,而在断层较陡(75°~90°)的东部地区发育近岸水下扇;在剖面上早期地形坡度陡,易沉积近岸水下扇;晚期地形坡度缓,易沉积扇三角洲。

参 考 文 献

[1] 邱荣华,李纯菊. 泌阳凹陷三类三角洲沉积特征及储集性能[J].

- 石油勘探与开发, 1994, 21(1): 99-105.
- Qiu Ronghua, Li Chunju. The sedimentary and reservoir characteristic of three types of deltas Biyang depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(1): 99-105.
- [2] 侯艳平, 任建业, 张青林, 等. 陆相裂陷盆地层序地层构成样式分析——以泌阳凹陷核三上段为例[J]. 地层学杂志, 2005, 29(1): 71-76.
- Hou Yanping, Ren Jianye, Zhang Qinglin, et al. Analysis of the sequence stratigraphic pattern of continental rift basin—taking Biyang depression as an example[J]. Journal of Stratigraphy 2005, 29(1): 71-76.
- [3] 吕文雅, 姚光庆, 舒坤, 等. 泌阳凹陷毕店地区核三段VI-VII油组沉积微相研究[J]. 石油地质与工程, 2014, 28(4): 41-45, 155.
- Lu Wenya, Yao Guangqing, Shu Kun, et al. Sedimentary microfacies research of He-3 member VI-VII oil group in Bidian area of Biyang depression[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2014, 28(4): 41-45, 155.
- [4] 侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2001, 37(6): 845-851.
- Hou Guiting, Qian Xianglin, Cai Dongsheng. The tectonic evolution of Bohai Basin in Mesozoic and Cenozoic time[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis (Natural Science Edition), 2001, 37(6): 845-851.
- [5] 许胜利, 朱泽栋. 泌阳凹陷张扭性区域构造精细解释[J]. 断块油气田, 2014, 21(5): 581-584.
- Xu Shengli, Zhu Zedong. Fine structural interpretation of extensional shear region in Biyang Depression[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(5): 581-584.
- [6] 杨克绳. 中国东部主要盆地断坳结构形成机理的探讨[J]. 断块油气田, 1996, 6(1): 1-8.
- Yang Kesheng. Study on forming mechanism of fault sag structures in main basins in east China[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 1996, 6(1): 1-8.
- [7] Johnson J G, Klapper G. Devonian eustatic fluctuations in Euramerica[J]. Geological Society of America Bulletin, 1985, 96(5): 567-587.
- [8] 张明安, 鲜本忠. 层序地层学在泌阳凹陷隐蔽油藏预测中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(4): 395-402.
- Zhang Ming'an, Xian Benzong. Application of sequence stratigraphy to the prediction of subtle reservoir in the Biyang depression[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(4): 395-402.
- [9] 夏东领, 李春霞, 张本书. 泌阳凹陷层序地层样式和油气评价[J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25(4): 36-37.
- Xia Donglin, Li Chunxia, Zhang Benshu. Style of sequence stratigraphy and hydrocarbon evaluation in Biyang Depression[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2003, 25(4): 36-37.
- [10] 章新文, 李吉君, 朱景修, 等. 泌阳凹陷页岩油富集段资源评价及有利区预测[J]. 断块油气田, 2014, 21(3): 301-304.
- Zhang Xinwen, Li Jijun, Zhu Jingxiu, et al. Resource evaluation and favorable area prediction on rich section of shale oil in Biyang Depression[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2014, 21(3): 301-304.
- [11] 杨傲然, 贾艳雨, 谭静娟, 等. 南阳凹陷陆相页岩油形成条件及勘探潜力分析[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(3): 8-11, 145.
- Yang Aoran, Jia Yanyu, Tan Jingjuan, et al. Research on continental shale oil forming conditions and exploration potential analysis in Nanyang depression[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2013, 27(3): 8-11, 145.
- [12] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 229-234.
- Zhu Xiaomin. Sedimentary petrology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 229-234.
- [13] 鄢继华, 陈世悦, 姜在兴. 东营凹陷北部陡坡带近岸水下扇沉积特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29(1): 12-21.
- Yan Jihua, Chen Shiyue, Jiang Zaixing. Sedimentary characteristic of nearshore subaqueous fans in steep slope of Dongying depression[J]. Journal of University of Petroleum (Natural Science Edition), 2005, 29(1): 12-21.
- [14] 鲜本忠, 姜在兴. 河南泌阳凹陷古近系核桃园组核二段沉积体系[J]. 古地学报, 2002, 2(4): 31-37.
- Xian Benzong, Jiang Zaixing. Sedimentary systems in the member 2 of Hetaoyuan Formation of Paleogene in Biyang depression of Henan province[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 2(4): 31-37.
- [15] 朱筱敏, 董艳蕾, 胡廷惠, 等. 精细层序地层格架与地震沉积学研究——以泌阳凹陷核桃园组为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 615-624.
- Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, Hu Tinghui, et al. Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework: a case study of the Hetaoyuan Formation in the Biyang Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 615-624.
- [16] 秦中正, 秦飞, 金燕林, 等. 王集油田沉积特征与沉积微相展布研究[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(6): 30-33.
- Qin Zhongzheng, Qin Fei, Jin Yanlin, et al. Study on sedimentary characteristics and sedimentary microfacies distribution of Wangji oil-field[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2013, 27(6): 30-33.
- [17] 廖纪佳, 朱筱敏. 南襄盆地泌阳凹陷深凹区核三段沉积特征及演化[J]. 地球科学报, 2012, 33(2): 167-175.
- Liao Jijia, Zhu Xiaomin. Sedimentary characteristic and evolution of He-3 formation in deep area of Biyang sag, Nanxiang basin[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2012, 33(2): 167-175.
- [18] 隋凤贵, 操应长, 刘慧民, 等. 东营凹陷北带东部古近系近岸水下扇储集物演化及其油气成藏模式[J]. 地质学报, 2010, 84(2): 246-256.
- Sui Fenggui, Cao Yingchang, Liu Huimin, et al. Physical properties evolution and hydrocarbon accumulation of Paleogene nearshore subaqueous fan in the eastern north margin of the Dongying depression[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(2): 246-256.
- [19] 杨树彬, 庄升, 李伟. 欢喜岭地区沙三段大凌河油层近岸水下扇沉积特征[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2010, 25(4): 10-15.
- Yang Shubin, Zhuang Sheng, Li Wei. Sedimentary characteristic of nearshore subaqueous fan of Dalinghe reservoir of Es₃ in Huanxingling area[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2010, 25(4): 10-15.
- [20] 赵红兵, 严科. 近岸水下扇砂砾岩沉积特征及扇体分布规律[J]. 断块油气田, 2011, 18(4): 438-441.
- Zhao Hongbing, Yan Ke. Depositional characteristic of glutenite and distribution pattern of fan on nearshore subaqueous fan[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(4): 438-441.
- [21] 苗长盛, 刘招君, 方石, 等. 塔南凹陷南屯组近岸水下扇沉积特征及有利含油相带分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),

- 2011,35(1):34-39.
- Miao Changsheng, Liu Zhaojun, Fang Shi, et al. Sedimentary characteristic and favorable oil-bearing facies belts analysis of nearshore subaqueous fan of Nantun formation in Tanan depression[J]. Journal of China University of Petroleum(Natural Science Edition), 2011,35(1):34-39.
- [22] 远光辉, 操应长, 王艳忠. 东营凹陷民丰地区沙河街组四段—三段中亚段沉积相与沉积演化特征[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2):277-286.
- Yuan Guanghui, Cao Yingchang, Wang Yanzhong. Sedimentary facies and their evolution of the 4th-middle 3rd members of Shahejie Formation in Minfeng area, Dongying Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2):277-286.
- [23] 李志明, 张隽, 余晓露, 等. 南襄盆地泌阳凹陷烃源岩成熟度厘定及其意义[J]. 石油实验地质, 2013, 35(1):76-80.
- Li Zhiming, Zhang Jun, Yu Xiaolu. Determination of maturity for source rocks in Biyang Sag of Nanxiang Basin and its significance[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1):76-80.
- [24] 孙鸣, 王华, 廖远涛, 等. 福山凹陷白莲地区流沙港组一段扇三角洲沉积体系与油气成藏条件分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(10):4150-4160.
- Sun Ming, Wang Hua, Liao Yuntao, et al. Analysis on fan-delta sedimentary system and reservoir-forming conditions of the first member of Liushagang formation in Bailian area of Fushan sag[J]. Journal of Central South University(Natural Science Edition), 2013, 44(10):4150-4160.
- [25] 谭程鹏, 于兴河, 李胜利, 等. 准噶尔盆地南缘四棵树剖面八道湾组扇三角洲沉积特征[J]. 现代地质, 2014, 28(1):180-189.
- Tan Chengpeng, Yu Xinghe, Li Shengli, et al. Sedimentary characteristic of fan delta of the badaowan formation Sikeshu section, Southern Junggar Basin[J]. Geoscience, 2014, 28(1):180-189.
- [26] 刘宗堡, 赵容生, 闫力, 等. 海—塔盆地塔南凹陷南屯组一段沉积体系特征[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6):743-750.
- Liu Zongbao, Zhao Rongsheng, Yan Li, et al. Depositional system characteristics of the first member of the Nantun Formation in Tanan sag, the Hai-Ta Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(6):743-750.
- [27] 李占东, 李阳, 刘云利, 等. 松辽盆地南部东南隆起区白垩系登娄库组沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3):401-409.
- Li Zhandong, Li Yang, Liu Yunli, et al. Sedimentary characteristics of the Cretaceous Dengloulou Formation in the southeast uplift of the southern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3):401-409.
- [28] 刘家铎, 田景春, 何建军, 等. 近岸水下扇沉积微相及储层的控制因素研究——以沾化凹陷罗家鼻状构造沙四段储层为例[J]. 成都理工大学学报, 1999, 26(4):365-369.
- Liu Jiaduo, Tian Jingchun, He Jianjun, et al. A study of sedimentary microfacies and controlling factors of the reservoir of the nearshore subaqueous fan—Taking the fourth member of the Shahejie formation in the Luoia nose, Zhanhua depression for an example[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1999, 26(4):365-369.
- [29] 李祺, 陈振林, 汤济广. 下二门油田核二段沉积微相粒度概率累积曲线[J]. 断块油气田, 2008, 15(4):24-27.
- Li Qi, Chen Zhenlin, Tang Jiguang. Characteristic of probability cumulative curves of granularity in sedimentary microfacies at the second member of Hetaoyuan formation[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15(4):24-27.
- [30] 肖晨曦, 李志忠. 粒度分析及其在沉积学中应用研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2006, 25(3):118-123.
- Xiao Chenxi, Li Zhizhong. The research summary of grain size analysis and its application in the sedimentation[J]. Journal of Xinjiang Normal University(Natural Science Edition), 2006, 25(3):118-123.
- [31] 袁静, 杜玉民, 李云南. 惠民凹陷古近系碎屑岩主要沉积环境粒度概率累积曲线特征[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3):103-106.
- Yuan Jing, Du Yumin, Li Yunnan. Probability cumulative grain size curves in terrigenous depositional environments of the paleogene in Huimin sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(3):103-106.
- [32] 袁文芳, 陈世悦, 曾昌民. 柴达木盆地西部地区第三系碎屑岩粒度概率累积曲线特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2005, 29(5):12-18.
- Yuan Wenfang, Chen Shiyue, Zeng Changmin. Probability cumulative grain size curves in terrigenous of the Tertiary in west Qaidam basin[J]. Journal of the University of Petroleum(Natural Science Edition), 2005, 29(5):12-18.
- [33] 刘建生, 邓传伟. 宁晋断裂陡坡带近岸水下扇体储层的地震预测[J]. 石油物探, 2010, 49(4):380-384.
- Liu Jiansheng, Deng Chuanwei. Seismic prediction of nearshore underwater fan reservoir in Ningjin fractured steep slope belt[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2010, 49(4):380-384.
- [34] 王升兰, 刘晖. 珠江口盆地开平凹陷恩平组地震反射特征与沉积体系展布[J]. 科技导报, 2014, 32(28/29):64-69.
- Wang Shenglan, Liu Hui. Seismic reflection and depositional system of the Enping formation in the Kaiping depression of the Zhujiangkou Basin[J]. Science & Technology Review, 2014, 32(28/29):64-69.
- [35] 杨香华, 孙永传, 孙家振. 泌阳凹陷下第三系的层序地层格架及其对边界断裂、古气候和物源的响应[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1994, 19(5):676-684.
- Yang Xianghua, Sun Yongchuan, Sun Jiazhen. Lower tertiary sequence stratigraphy framework and its response to boundary faults, Paleoclimate and sediment source in Biyang depression[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1994, 19(5):676-684.
- [36] 张明安, 鲜本忠. 泌阳凹陷构造活动的沉积响应[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2004, 19(2):9-12.
- Zhang Ming'an, Xian Benzong. Response of sedimentation to structural evolution in Biyang sag[J]. Journal of Xi'an Shiyou University(Natural Science Edition), 2004, 19(2):9-12.

(编辑 李军)