

文章编号:0253-9985(2010)05-0583-11

渤海湾盆地东营凹陷广利地区沙四上亚段物源体系及其对沉积的控制作用

孙海宁^{1,2}, 万念明^{1,2}, 徐涛玉³

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国石油化工股份有限公司 油田勘探开发事业部 开发处, 北京 100728; 3. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555)

摘要:岩石组分、元素地球化学以及砂砾岩百分含量等分析表明,渤海湾盆地东营凹陷广利地区沙河街组四段上亚段沉积时期存在南部和东北部两大物源体系,它们控制了广利地区沙四上亚段沉积时期的砂体成因类型与分布。沙四上亚段沉积早期以南部物源体系为主,主要发育曲流河三角洲-滨浅湖滩坝沉积体系;沙四上亚段沉积晚期以东北部物源体系为主,主要发育辫状河三角洲、扇三角洲等沉积体系;沙四上亚段沉积中期为两大物源体系的转换时期,南部和东北部物源体系共存,发育了重力流、牵引流交互沉积的多成因类型砂体。区内三角洲前缘由沿岸流改造形成的滩坝砂体是今后勘探的重点,应加大滩坝砂类岩性和构造共同控制的复合油气藏的部署和勘探。

关键词:沙河街组;物源体系;沉积体系;广利地区;东营凹陷;渤海湾盆地

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A

Provenance systems and their control on the sedimentation of the upper Es⁴ in Guangli area of the Dongying Sag, the Bohai Bay Basin

Sun Haining^{1,2}, Wan Nianming^{1,2} and Xu Taoyu³

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

2. Development Division, SINOPEC Oilfield Exploration and Development Department, Beijing 100728, China;

3. College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao, Shandong 266555, China)

Abstract: According to analyses of rock component, element geochemistry and sandy net-to-gross ratio, two provenance systems, namely the southern one and the northeastern one, are believed to exist during the sedimentation of the upper 4th member of Eocene Shahejie Formation (Es⁴) in Guangli area of Dongying Sag, the Bohai Bay Basin and they controlled the genetic types and distribution of sandbodies. In the early period of the sedimentation of the upper Es⁴, the south provenance predominated, and there developed meander river delta and shallow lake-beach bars. While in the late period the sedimentation of the upper Es⁴, the northeast provenance predominated, and there developed braided river delta and fan delta. In the middle period of the sedimentation of the upper Es⁴, the two provenance systems coexisted, and there developed sandbodies of multiple genetic types with alternating gravity flow deposits and traction current deposits. Beach bars resulted from modification of longshore current at the delta front should be important targets for further exploration. Exploration of lithologic-structural combination traps of beach bars types should be strengthened.

Keywords: Shehejie Formation, provenance system, sedimentary system, Guangli area, Dongying Sag, Bohai Bay Basin

渤海湾盆地东营凹陷广利地区位于东营凹陷中央隆起带东端的南翼,西临牛庄洼陷,东临青南

洼陷与青坨子凸起,南邻王家岗构造带和羊角沟构造带,是一个向南倾斜,两翼接近对称的鼻状构

收稿日期:2010-06-02。

第一作者简介:孙海宁(1968—),女,高级工程师,油气田开发地质。

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-06-0604);国家油气重大专项(2008ZX05051-002);国家自然科学基金项目(40972080)。

造。研究区内发育的断层以北东向及北西向为主(图1)。广利地区作为胜利油田的重要勘探区块之一,早期勘探重点一直以浅层构造型油气藏为主,随着勘探程度的提高,深层非构造型油气藏成为新的勘探目标。近几年,辛176-斜1等井在沙四上亚段发现高产工业油流,证实了沙四上亚段具有良好的勘探前景,但由于其物源体系特征及砂体成因不够明确,制约了该层位的勘探开发效果。

根据沉积环境特征和沉积地层分布,广利

地区沙四上亚段可划分为纯上沉积期和纯下沉积期,其中纯上沉积期由上至下可划分出Cs1, Cs2, Cs3, Cs4, Cs5 和 Cs6 六个砂组;纯下沉积期由上至下可划分出Cx1, Cx2 和 Cx3 三个砂组。广利地区东北紧邻青坨子凸起,该凸起居高临下,岩石风化产物对临近地区陆源碎屑岩的形成具有重要的影响。从研究区过青坨子凸起地震剖面可以看出该凸起不发育沙三至沙四段的地层,是一个古凸起(图2)。大多数学者从构造位置特征入手,结合沉积特征,认为

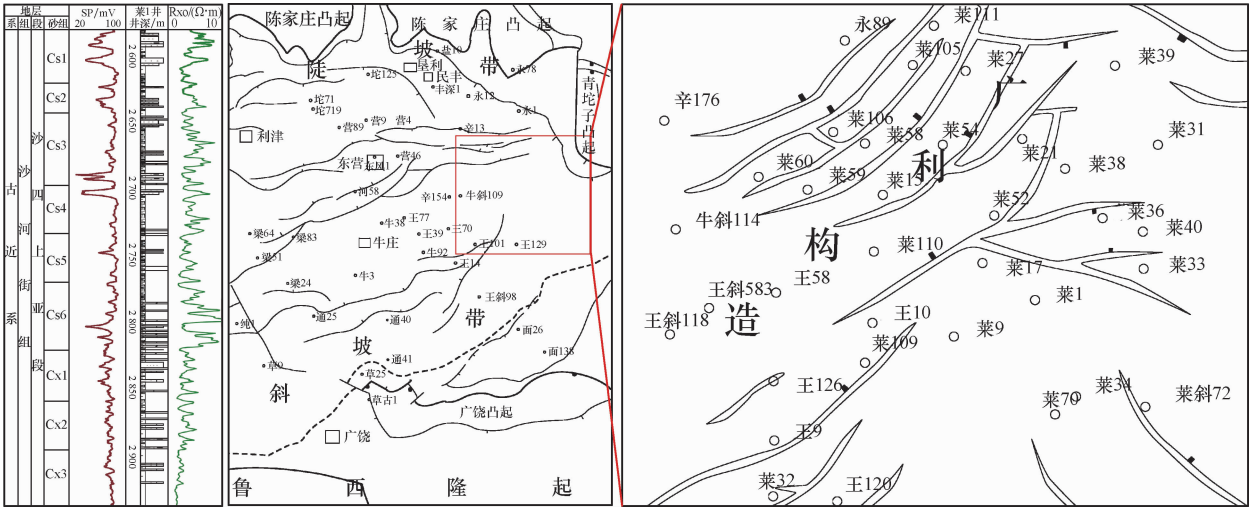


图1 东营凹陷广利地区构造位置及沙四上亚段地层特征

Fig. 1 Structural location and stratigraphic characteristics of the upper Es⁴ in Guangli area, the Dongying Sag

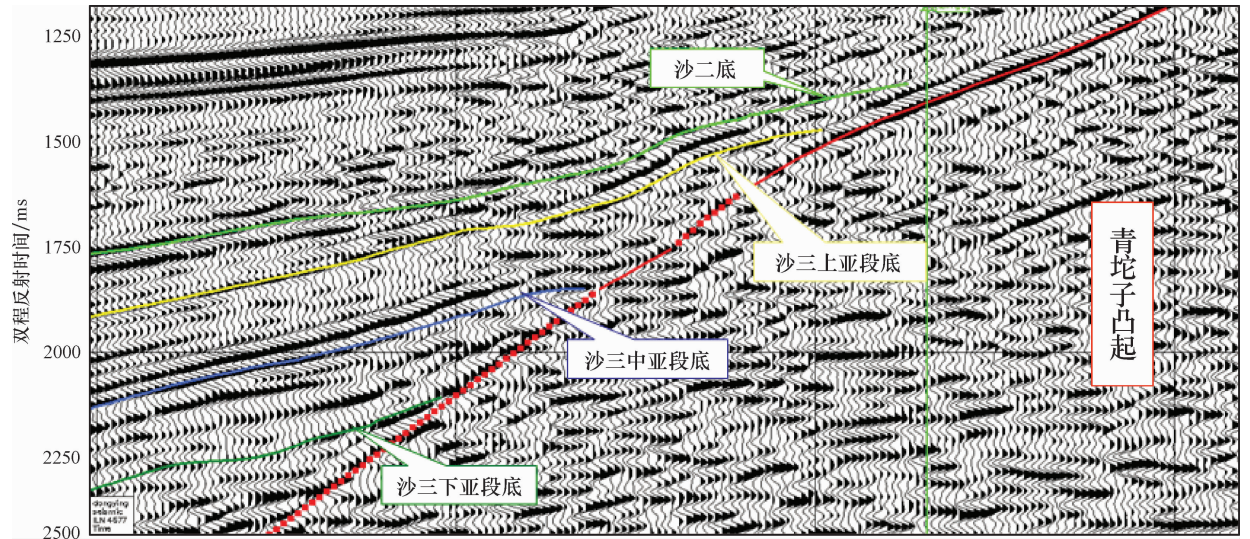


图2 东营凹陷青坨子凸起地层特征

Fig. 2 Stratigraphic characteristics of the Qingtuozi Salient, the Dongying Sag

物源区较远、搬运距离较长的沉积特征,而且变质岩岩屑较少(含量 < 20%),鲕粒发育程度相对较高(含量 > 5%)。Ⅱ模式远离青坨子凸起分布,在莱 64、莱 109、王 126、王 580、王 125、王斜 122 井的 Cx1 砂组,王 126、王 580、王 125、莱 109、王斜 122 井的 Cs5 砂组均有发现。综合分析认为Ⅱ模式可能体现了南部鲁西隆起物源体系沉积特征(图 3b—d)。

1.2 元素地球化学特征

结合前人研究成果,本次研究选取在沉积区和物源区具有可比性、性质稳定的 Ni/Co, V/Co, Mg/Mn, Mn/Sr, Ba/Mn, Fe/K, Mg/Ca, Al/Na, Ba/Sr, Al/Mg 的特征元素比值,作为物源示踪指标。根据同一物源体系,特征元素比值分布模式一致的原则,对物源体系进行研究分析^[9-12]。

面 14-5-11 井、面 4-6-斜 16 井等靠近鲁西隆起,其基本信息可以代表鲁西隆起,特征元素比值分布模式表现为单峰型,即 Mg/Mn 比值为高值,一般大于 20,其他比值均小于 5(图 4a);莱 111 井靠近青坨子凸起,2 717 ~ 2 737 m 发育砾岩

沉积,其基本信息可以代表青坨子凸起,特征元素比值模式表现为三峰型,即 Mg/Mn, Ba/Mn, Al/Mg 比值为高值,其中 Mg/Mn 比值最高,多数为 15 ~ 20, Al/Mg 比值一般为 10 ~ 15, Ba/Mn 比值变化幅度较大,多数为 5 ~ 10;其他比值变化不大,一般小于 5(图 4b)。

广利地区沙四上亚段钻井岩心样品的特征元素分析主要集中在 Cs5 与 Cs6 两个砂组中, Cs3 砂组仅莱 111 有测试资料。利用 ICP - AES 方法测定 Zn, Co, Ni, Mn, Fe, Mg, V, Al, Ga, Sr, Ca, Ba, Na 与 K 共 14 种特征元素含量,标准样及重复样的分析表明元素测定误差小于 10 %,数据结果可靠。Cs5 砂组的特征元素分布模式存在三峰型和单峰型,其中莱 1-54 井、王 58 井、牛 114-斜 1 井等以三峰型为特征,与青坨子物源区的特征元素分布模式接近;而辛 176-斜 1 井、莱 74 井、王 126 井、莱 64 井等以单峰型为特征,与鲁西隆起物源区的特征元素分布模式接近(图 5)。总之, Cs5 砂组的特征元素分布模式反映了研究区存在两大物源体系混源的特征。

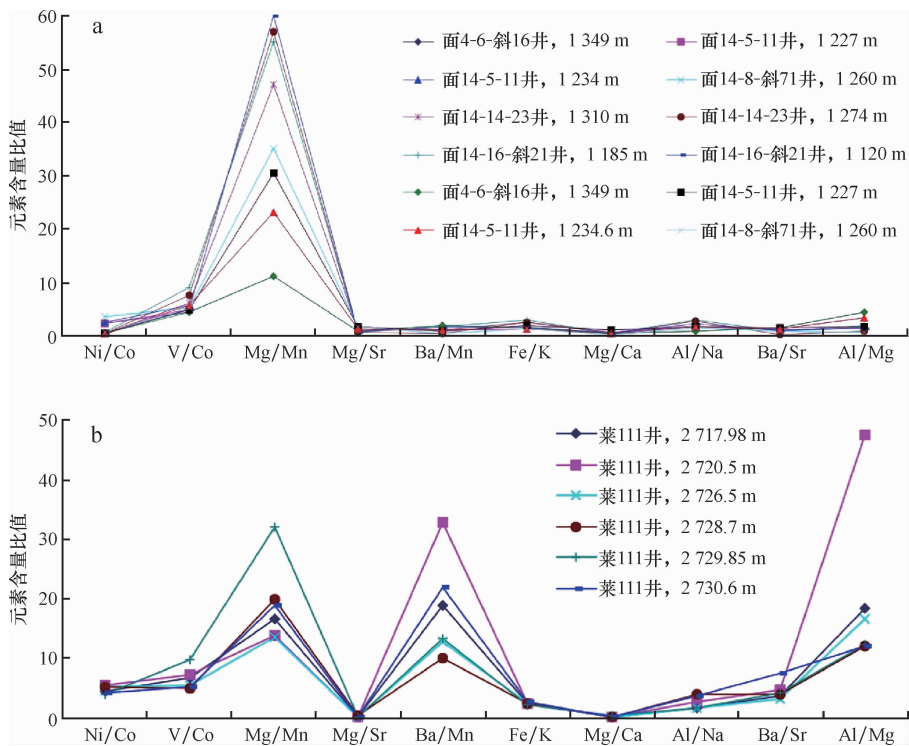


图 4 东营凹陷广利地区沙四上亚段物源区代表性特征元素含量比值分布模式
Fig. 4 Distribution patterns of typical element content ratios in the provenance of the upper Es⁴ in Guangli area, the Dongying Sag
a. 南部鲁西隆起区的物源区,单峰型; b. 东北部青坨子凸起的物源区,三峰型

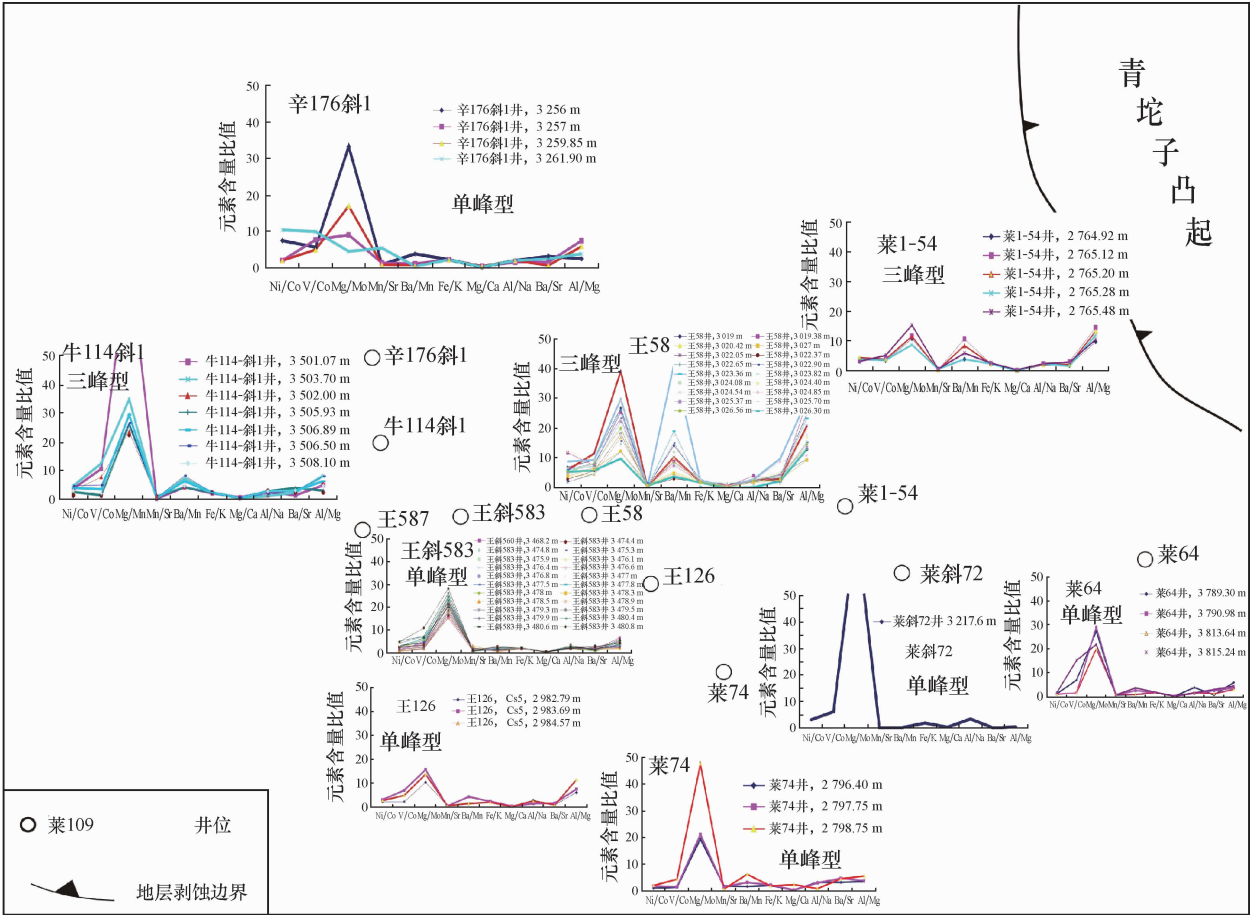


图5 东营凹陷广利地区沙四上亚段Cs5砂组特征元素含量比值分布模式

Fig.5 Distribution patterns of typical element content ratios in the Cs5 sand unit at the upper Es⁴ of Guangli area, the Dongying Sag

1.3 砂砾岩含量分布特征

陆源碎屑颗粒在搬运过程中,受沉积分异作用控制,粗碎屑沉积物一般分布于盆地的外围地区,盆地中心一般为细粒沉积物,且砂砾岩含量顺物源方向逐渐降低。因此,沉积地层中砂砾岩含量平面变化的特点和规律可以作为判断古水流、确定沉积物源的有效方法^[13~16]。

1) Cs1, Cs2 与 Cs3 砂组

砂砾岩含量的高值区主要位于工区东北部,绝大多数井的砂砾岩含量超过40%,平面分布具有由东北向西南减小的特点;南部莱12井与莱3井周围,小范围内发育砂岩地层;分析认为, Cs1, Cs2 与 Cs3 砂组沉积物主要来自东北青坨子凸起,南部鲁西隆起物源区的贡献较小(图6a—c)。

2) Cs4 砂组

砂砾岩含量的高值区位于工区南部和东北

部,南部砂砾岩的分布面积较大;砂砾岩含量平面分布具有由南向北、由东北向西南同时减小的特点,表明 Cs4 砂组沉积时期,青坨子凸起和鲁西隆起均对沉积提供物源,鲁西隆起的影响范围较青坨子凸起更大(图6d)。

3) Cs5 砂组

具有3个砂砾岩含量高值区,分别位于工区的南部、东北部和中部王斜583井周围;砂砾岩含量平面分布具有由南向北、由东北向西南同时减小,至工区中部含量增大的特点,表明 Cs5 砂组与 Cs4 砂组沉积时期类似,同样具有双物源体系,南北物源体系在工区中部交汇,造成中部王斜583井周围砂砾岩含量增大(图6e)。

4) Cs6, Cx1, Cx2 与 Cx3 砂组

砂砾岩含量的高值区位于工区南部,平面分布具有由南向北减小的特点,表明 Cs6, Cx1, Cx2 与 Cx3 砂组沉积时期,沉积物来自南部鲁西隆起(图6f—i)。

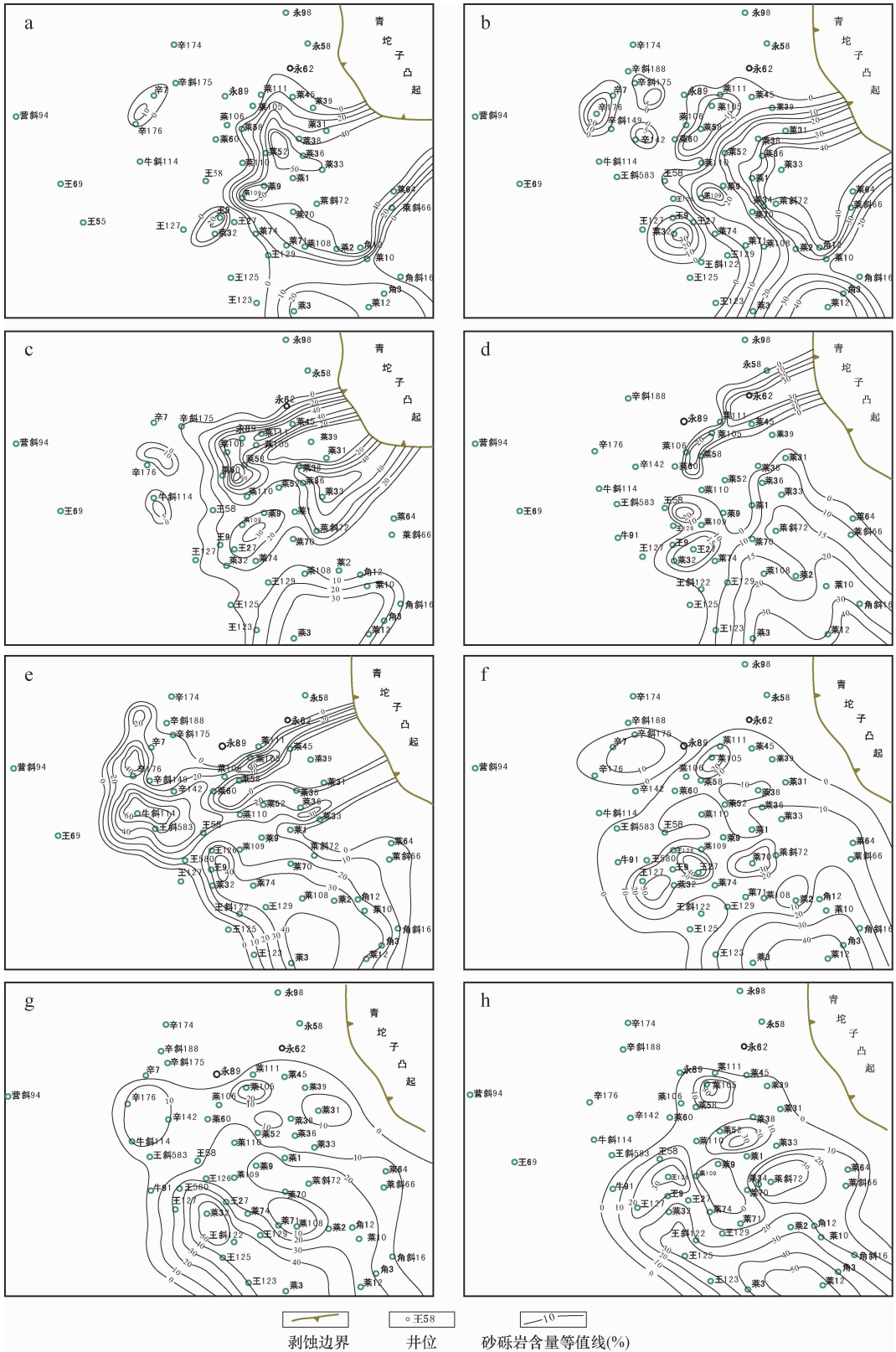
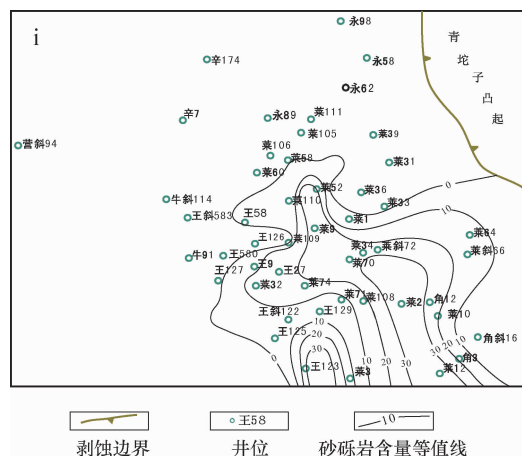


图6 东营凹陷广利地区沙四上亚段沉积期砂砾岩百分含量

Fig. 6 Net-to-gross ratio of the upper Es⁴ in Guangli area, the Dongying Sag

a. Cs1 砂组; b. Cs2 砂组; c. Cs3 砂组; d. Cs4 砂组; e. Cs5 砂组; f. Cs6 砂组; g. Cs1 砂组; h. Cs2 砂组



续图6 东营凹陷广利地区沙四上亚段沉积期
砂砾岩百分含量

Fig. 6(continued) Net-to-gross ratio of the upper Es⁴
in Guangli area, the Dongying Sag
i. Cx3 砂组

1.4 物源体系特征

由上述研究可知,广利地区沙四上亚段沉积时期,存在来自青坨子凸起的东北部物源体系和来自鲁西隆起物源区的南部物源体系。

东北部物源体系受控于青坨子凸起,母岩区紧邻广利地区,受青南大断裂的影响,地形坡度陡,碎屑颗粒由青坨子凸起直接进入工区,属于近距离搬运的近源沉积。结合钻井岩心和录井资料分析,沉积物粒度粗,分选磨圆差,杂基含量高;稳定组分石英含量低,一般为 25%~60%;不稳定组分岩屑、长石等含量高,岩屑含量范围 8%~59%,平均 27.7%;成分成熟度较低,平均为 0.71 (表 1)。

南部物源体系沉积物源自鲁西隆起,经南部缓坡带才能到达广利地区,属于长距离搬运的远源沉积。沉积物粒度细,分选、磨圆好,杂基含量低;稳定组分石英含量高,含量范围 28%~61%,平均为 45.3%;不稳定组分岩屑含量较低,含量范围 5%~44%,平均含量 20.7%;成分成熟度较

高,平均为 0.86(表 1)。

2 物源体系对沉积的控制作用

由图 6 广利地区沙四上亚段各沉积时期的砂砾岩百分含量分布可以看出,沙四上亚段沉积时期两大物源体系存在一定的演化规律,早期以南部来自鲁西隆起区物源体系为主,晚期以东北部来自青坨子凸起物源体系为主,其中 Cs5 和 Cs4 沉积时期属于两个物源体系的转换时期,特别是 Cs5 砂组沉积时期两大物源体系所控制的沉积作用均比较明显,这也决定了该时期砂体发育,且沉积成因类型复杂。

2.1 东北部物源体系控制下的沉积特征

东北部物源体系发育时期,碎屑物经历短距离搬运入湖,粒度粗、分选磨圆差,成分成熟度较低。含砾砂岩、砾状砂岩等粗碎屑处于沉积序列底部,具块状层理,发育冲刷充填构造;粒度较细的细砂岩、粉砂岩等发育沙纹层理、平行层理、液化变形等沉积构造;泥岩颜色为浅灰色。综合钻井岩心、录井等资料以及砂砾岩体分布特征等分析,东北部物源体系控制下主要发育了扇三角洲、辫状河三角洲等近源沉积体系(图7a,图8)。

2.2 南部物源体系控制下的沉积特征

南部物源体系发育时期,碎屑物质经历较长距离的搬运后入湖,沉积物粒度细,分选、磨圆好,成分成熟度高,主要发育了曲流河三角洲-滨浅湖滩坝沉积体系(图 7b)。滩坝沉积以粉砂岩、细砂岩为主,垂向沉积序列多为反序,生物成因构造及其发育;曲流河三角洲沉积岩性以细砂岩、粉砂岩为主,分流河道序列底部冲刷构造发育,粒度最粗至粗砂岩(图 7c,图 9)。

表1 东营凹陷广利地区沙四上亚段物源体系岩石组分特征

Table 1 Rock components of the provenance systems of the upper Es⁴ in Guangli area, the Dongying Sag

样品 数量	物源区	石英含量, %			长石含量, %			岩屑含量, %			成分成熟度, %		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
35	东北部物源	25	60	39	13	45	33.3	8	59	27.7	0.33	1.5	0.71
51	南部物源	28	61	45.3	27	42	34.2	5	44	20.7	0.39	1.56	0.86

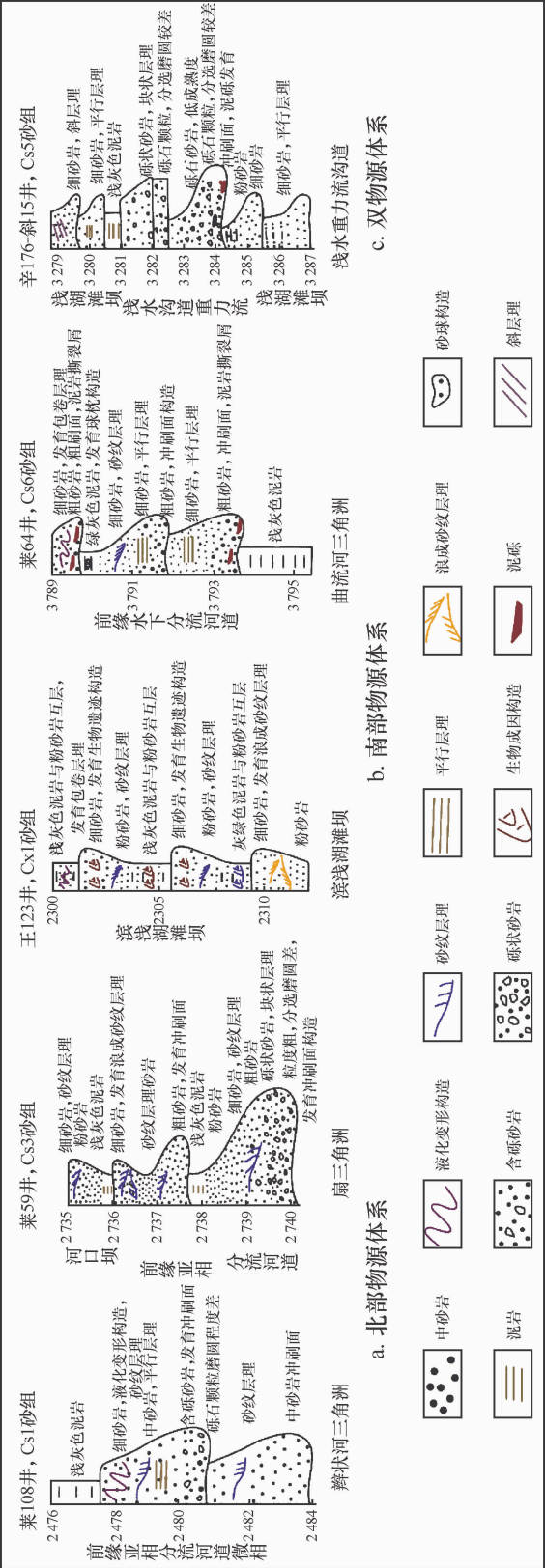


图 7 东营凹陷广利地区不同物源体系下的沉积特征
Fig. 7 Characteristics of sedimentary systems under the control of different provenance systems in Guangli area, the Dongying Sag

2.3 两大物源体系控制下的沉积特征

Cs4, Cs5 砂组时期,物源体系开始由南向东北方向转移,受断层影响,该时期发育东西向断沟,东北物源体系控制下的粗碎屑沉积物沿沟道入湖,沉积物粒度较辫状河三角洲、扇三角洲沉积更粗,分选磨圆更差,平面分布形态呈带状;此时南部物源体系的影响减弱,其控制下的高成熟度细粒沉积物受岸流、波浪的影响,进入浅湖沉积,形成浅湖滩坝。浅水沟道重力流属于事件沉积,平面上对浅湖滩坝进行分割,沉积序列具有浅水沟道重力流与浅湖滩坝交互沉积的特点(图 7c, 图 10)。

3 结论与建议

广利地区沙四上亚段沉积时期存在南部和东北部两大物源体系,物源体系的差异性控制了砂体的成因类型和分布。研究结果显示,沙四上亚段沉积早期,南部物源体系发育,以曲流河三角洲-滨浅湖滩坝沉积为主,且沉积物粒度细、分选磨圆好,成分成熟度高;沙四上亚段沉积晚期,东北部物源体系发育,以辫状河三角洲和扇三角洲沉积为特征,沉积物粒度粗,分选磨圆差,成分成熟度低;沙四上亚段中期的 Cs4, Cs5 砂组沉积期,南部和东北部物源体系共存,受古地貌影响,发育沟道重力流和浅湖滩坝沉积体系,沉积序列具有重力流和牵引流交互沉积的特征。

历经 40 余年的勘探开发,目前研究区主力层系(沙四上亚段 Cs1—Cs3 砂组)及构造油藏已达到很高的勘探程度,而对深部层系沙四上亚段 Cs5 与 Cs6 砂组及纯下认识程度较低。2009 年以来在广利西翼部署的莱斜 112 井和莱 113 井已经获得突破,分别获得 15.2 m 和 5.1 m 油层,试油分别获得 4.47 t/d 和 13 t/d 产液量。研究表明,莱斜 112 井和莱 113 井出油层段均为滨浅湖滩坝沉积,揭示了该区域沙四上亚段深部层系滨浅湖滩坝的巨大勘探潜力。因此,三角洲前缘由沿岸流改造形成的滩坝砂体是今后勘探的重点,在下一步的勘探部署中,建议整体控制广利周缘沙四上亚段薄互层储量,加大滩坝砂类岩性和构造共同控制的复合油气藏的部署和勘探。

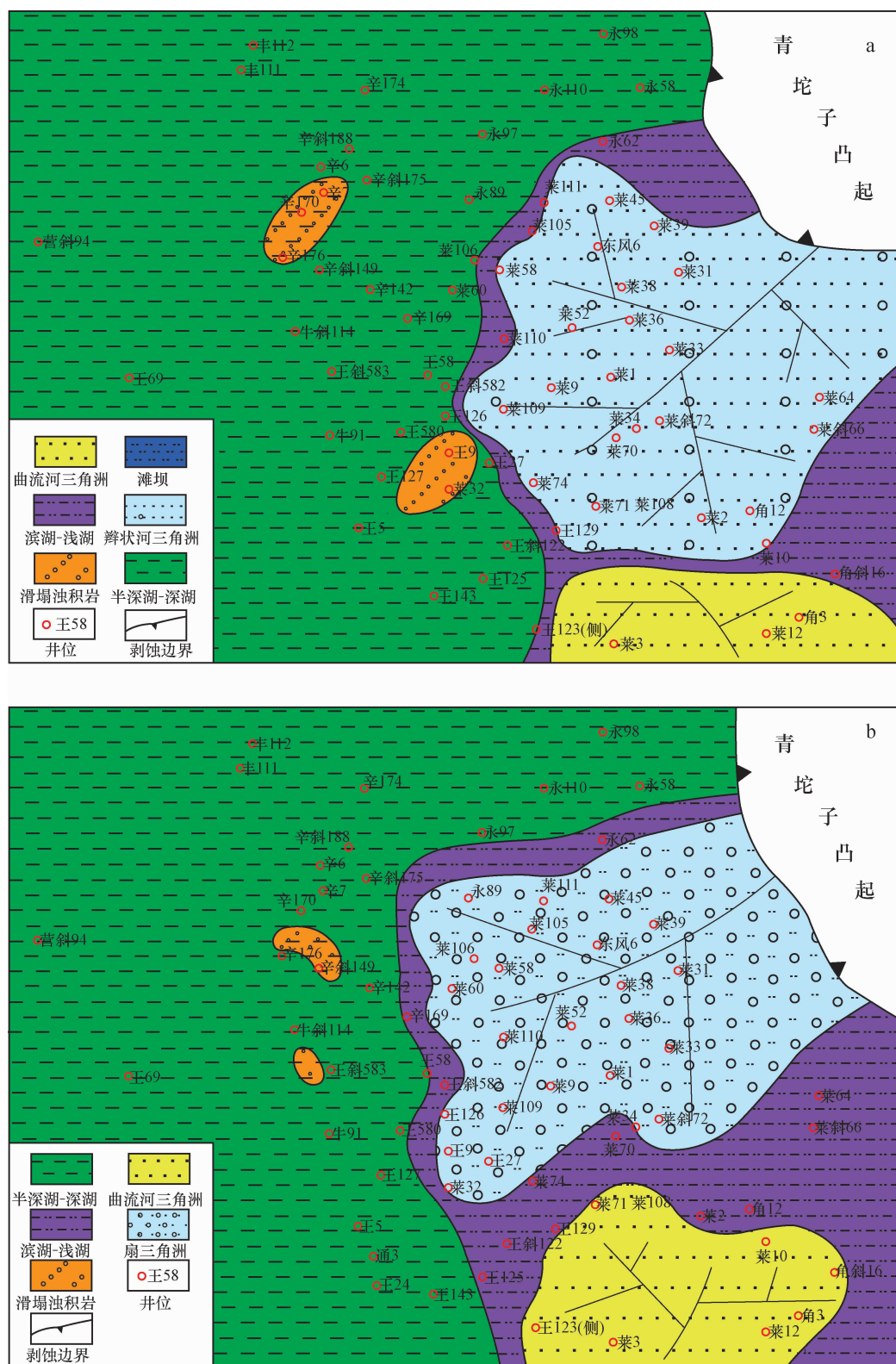


图8 东营凹陷广利地区沙四上亚段东北部物源体系控制下的沉积体系分布特征

Fig. 8 Distribution of sedimentary systems under the control of the northeastern provenance system in the upper Es⁴ of Guangli area, the Dongying Sag

a. Cs1 砂组沉积期; b. Cs3 砂组沉积期

a. Cs6 砂组沉积期; b. Cx1 砂组沉积期

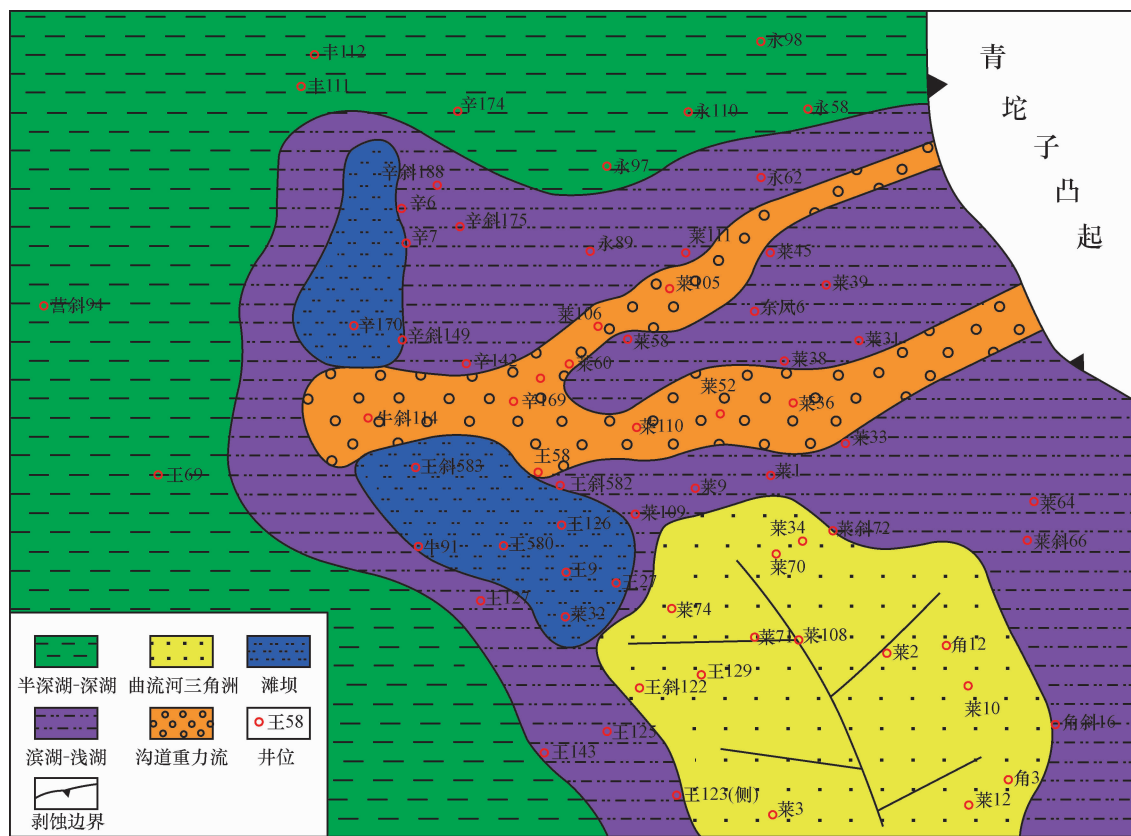


图 10 东营凹陷广利地区沙四上亚段双物源体系控制下的沉积体系分布特征 (Cs5 砂组沉积时期)

Fig. 10 Distribution of sedimentary systems under the control of the coexisted southern and northeastern provenance systems (during the sedimentation of the Cs5 sand unit) in the upper Es⁴ of Guangli area, the Dongying Sag

致谢:文章在写作过程中得到了中国石油大学(华东)地球资源与信息学院操应长教授的帮助,在此致以最诚挚的感谢!

参考文献

- 1 司学强,张金亮. 广利油田沙四上亚段成藏地质特征与勘探方向[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2008,23(1):6~11
- 2 李顺明. 低密度浊流的沉积成因及控制因素——以东营凹陷广利油田纯化镇组为例[J]. 油气地质与采收率,2005,12(4):29~31
- 3 田景春,陈光华. 箕状断陷湖盆缓坡带储集砂体特征、演化及控制因素——以胜利油区东营凹陷南缓坡带沙河街组为例[J]. 地球学报,2004,25(3):331~336
- 4 李丕龙,姜在兴,马在平. 东营凹陷储集体与油气分布[M]. 北京:石油工业出版社,2000. 24~29
- 5 尹太举,张昌民,李中超. 东营凹陷滑塌浊积岩沉积特征及油气藏勘探技术[J]. 石油与天然气地质,2006,27(1):93~98
- 6 马丽娟,郑和荣,解习农. 东营凹陷中央隆起带断裂构造及油气运移[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):246~251
- 7 杨守业,李从先,李徐生,等. 长江下游下蜀黄土化学风化的地球化学研究[J]. 地球化学,2001,30(4):402~406
- 8 邓继新,王尚旭,伍向阳. 渤海湾盆地东营凹陷砂岩储层地震

特征及对岩石结构的指示[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(3): 294 ~ 299, 309

- 9 操应长,王艳忠,徐涛玉,等.特征元素比值在沉积物物源分析中的应用——以东营凹陷王 58 井区沙四上亚段研究为例[J].沉积学报,2007,230~238
- 10 盛文波,操应长,刘晖,等.东营凹陷古近纪控盆断层演化特征及盆地结构类型[J].石油与天然气地质,2008,29(3):290~296
- 11 吴智平,马在平,周瑶琪.济源盆地三叠系与侏罗系界线地层沉积相及元素地球化学特征[J].石油大学学报(自然科学版),2002,26(3):20~25
- 12 王爱萍,杨守业,李从先.南京地区下蜀土元素地球化学特征及物源判别[J].同济大学学报,2001,29(6):657~661
- 13 姜在兴,田继军,陈桂菊,等.川西前陆盆地上三叠统沉积特征[J].古地理学报,2007,9(2):143~153
- 14 胡宗全,朱筱敏,彭勇民.准噶尔盆地西北缘车排字地区侏罗系物源及古水流方向[J].古地理学报,2001,3(3):49~54
- 15 吴光华,王红亮,木松喜,等.渤海湾盆地埕岛地区东营组沉积特征及其油气地质意义[J].石油与天然气地质,2009,30(1):33~41
- 16 邵磊,李文厚,袁明生.吐鲁番-哈密盆地陆源碎屑沉积环境及物源分析[J].沉积学报,1999,17(3):435~441

(编辑 董立)