

# 基于地震资料的陆相湖盆物源通道特征分析： 以渤中凹陷西斜坡东营组为例

朱红涛<sup>1,2</sup>, 杨香华<sup>1,2</sup>, 周心怀<sup>3</sup>, 李建平<sup>3</sup>, 王德英<sup>3</sup>, 李敏<sup>1,2</sup>

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

3. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300452

**摘要:** 针对渤中凹陷西斜坡无井、少井的地质特征, 基于最新的三维地震资料, 讨论了沙垒田凸起、石臼坨凸起之间的古物源搬运通道及其控制沉积的差异性。研究结果表明, 渤中凹陷西斜坡东营组发育3种类型的沉积物搬运通道: 古沟谷物源通道、断槽物源通道、构造转换带物源通道。研究区的沉积主要受到源于沙垒田凸起 NEE 向条带状展布的断槽物源通道控制; 古沟谷物源搬运通道控制的沉积主要分布石臼坨凸起南部的局部地区; 构造转换带物源通道控制的沉积主要分布在沙垒田凸起东南缘的局部地区。研究区发育的这3种物源搬运通道, 代表陆相湖盆物源从源区到沉积区的搬运途径, 并分别对应不同的源一渠一汇的空间耦合模式。研究区源于沙垒田凸起的断槽物源通道模式观点的提出, 改变了传统上认为沙垒田凸起东缘为近源快速堆积的扇三角洲为主的认识, 为寻找有利的储层和油气分布建立了指导模式。

**关键词:** 物源搬运通道; 古沟谷; 断槽; 构造转换带; 地震多属性; 古地貌; 石油地质。

中图分类号: P65

文章编号: 1000-2383(2013)01-0121-09

收稿日期: 2012-09-28

## Sediment Transport Pathway Characteristics of Continental Lacustrine Basins Based on 3-D Seismic Data: An Example from Dongying Formation of Western Slope of Bohai Sag

ZHU Hong-tao<sup>1,2</sup>, YANG Xiang-hua<sup>1,2</sup>, ZHOU Xin-huai<sup>3</sup>, LI Jian-ping<sup>3</sup>, WANG De-ying<sup>3</sup>, LI Min<sup>1,2</sup>

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of the Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. China National Offshore Oil Corporation Limited-Tianjin, Tianjin 300452, China

**Abstract:** Due to insufficient well data, the diversity of sediment transport pathway and their controlling deposits was analyzed using the recent 3D seismic data in the western slope of Bohai sag. The results show that there are three types of sediment transport pathway in Dongying formation of the western slope of Bohai sag, including sediment transport pathway of Paleochannel, faulted trough and structural transfer zones. The deposits of study area were controlled mainly by faulted trough sediment transport pathway derived from Shaleitian uplift, with the belted distribution in NEE direction. The deposits controlled by paleo-channel sediment transport pathway occurred in the local area of southern Shijiutuo uplift. The deposits controlled by structural transfer zones sediment transport pathway are focused on the local area of southeast Shaleitian uplift. Three types of sediment transport pathway display the overall sediment transport methods from the source area to the deposits area in the continental lacustrine basins, and formed three types corresponding coupling patterns of the source area- transport pathway-deposit area. Structural transfer zones sediment transport pathway is considered one special style of faulted trough sediment transport pathway. The presence of faulted trough sediment transport pathway derived from the Shaleitian uplift changes the past under-

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(No. 40702024); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(No. CUGL100412); 霍英东教育基金会资助项目(No. 132020)。

**作者简介:** 朱红涛(1976—), 男, 副教授, 博士后, 主要从事层序地层学、地震沉积学与地震资料综合解释的教学与科研工作。

E-mail: zhuht\_oscar@yahoo.com.cn

standing that it is the fan delta with proximal and rapid deposit in the eastern Shaleitian uplift, and provides an effective model for seeking potential reservoir.

**Key words:** sediment transport pathway; paleo-channel; faulted trough; structural transfer zones; seismic multi-attribute; paleogeomorphology; petroleum geology.

相对于海相盆地,陆相湖盆具有多断、多幕、多沉降中心的构造特征,进而形成多断多洼、多隆多洼、隆洼相间复杂多样的古地理格局;其多源、近源、混源、外源、内源等物源特征,进而形成多旋回、多期次、多沉积中心和多相(相带窄、相变快、堆积快)的沉积格局。

古物源体系分析是沉积盆地分析中的重要部分,成为确定物源区位置、性质、沉积物搬运路径、预测古水流体系的形态、判断沉积相带分布位置及砂体分散体系、再现沉积盆地演化过程、恢复古环境的重要依据。古物源分析已发展成为多指标、多技术、多地质方法的综合应用,其主要方法有重矿物法、碎屑岩类分析法、孢粉分析法、沉积法、裂变径迹法、地球化学法和同位素法以及沉积、构造、地震、测井等地质综合方法(汪正江等,2000;赵红格和刘池洋,2003;徐亚军等,2007)。

渤海湾盆地是我国最重要的一个含油气盆地,其研究程度具有陆上坳陷高于海域坳陷、古近系高于新近系、古近系沙河街组高于东营组的特点。渤海海域坳陷的沉积相研究多为宏观的区域性研究(赵国连和赵澄林,2002;赵国连等,2005;冯有良和徐秀生,2006;吴磊等,2006;周士科等,2006;徐长贵,2008;Zhu et al., 2008),在这些研究中对沙垒田凸起、石臼坨凸起的古物源通道差异性讨论较少,如二者之间的古物源通道类型差别、物源搬运方向差别、提供物源能力大小差别、对沉积区贡献大小差别等问题。本文针对研究区无井、少井的地质特征,基于渤中凹陷西斜坡最新采集、处理的三维地震资料,采用古物源搬运通道地震相分析和地震多属性储层预测技术,致力于解决沙垒田凸起与石臼坨凸起古物源特征的差别。

## 1 区域地质概况

渤中凹陷是渤海海域内面积最大的一个凹陷,位于渤海湾盆地中心,也是渤海湾盆地的沉积中心和生油(气)中心,其四周主要与凸起相邻,东、南、西、北依次是渤东低凸起、渤南凸起、沙垒田凸起和石臼坨凸起。渤中凹陷西斜坡指的是渤中凹陷以西

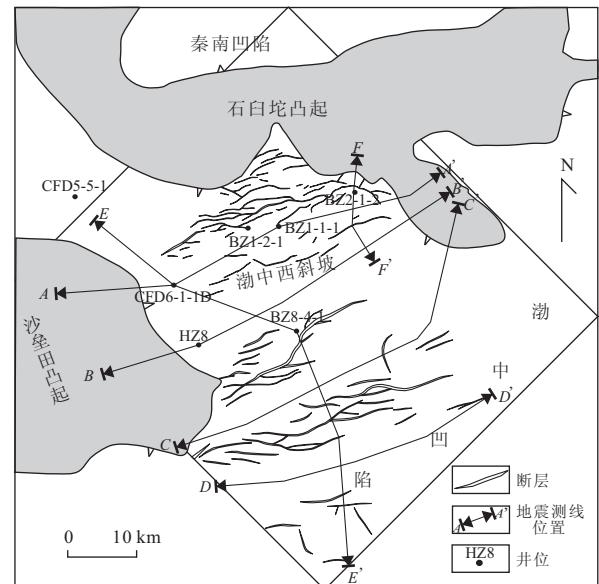


图 1 渤中凹陷西斜坡构造位置

Fig. 1 Map of the western slope of Bozhou sag showing distribution of faults and locations of wells, seismic lines

受到沙垒田凸起、石臼坨凸起所夹持的区域(图 1)。

中国东部中新生代断陷盆地一般都经历了从早期的裂陷到晚期的裂后坳陷阶段的演化,但裂陷阶段往往是幕式进行的。第三纪渤海湾盆地构造演化具有多幕式裂陷、多旋回叠加和多成因机制复合的特征。古近纪经历过孔店期、沙四期、沙三期、东营期4期的裂陷幕(林畅松等,2004)。渤海湾盆地断裂体系以走向连续分布的NNE-NE向和断续分布的NNW-EW向为主,这两个方向的断层形成了共轭剪切关系(池英柳和赵文智,2000)。渤中凹陷为郯庐断裂带营口—潍坊段(NNE-NE向)和张家口—蓬莱断裂带(NNW-EW向)的交汇区,该凹陷的沉积中心长轴方向为NNE向,表明主要受连续分布的NNE向走滑断裂的控制(孙永河等,2008;余一欣等,2008)。褚庆忠等(2002)指出郯庐断裂带中段主断裂从渤东低凸起西侧穿过。余一欣等(2008)还指出受张家口—蓬莱走滑断裂带控制的渤中西斜坡区的断裂在该断裂带附近地区均呈雁列式分布。万桂梅(2009)等指出渤中坳陷石臼坨凸起的断裂带呈NNE走向。通过本次精细解释的三维地震资料,证明渤中凹陷西斜坡发育一系列的NNE-NE向雁列

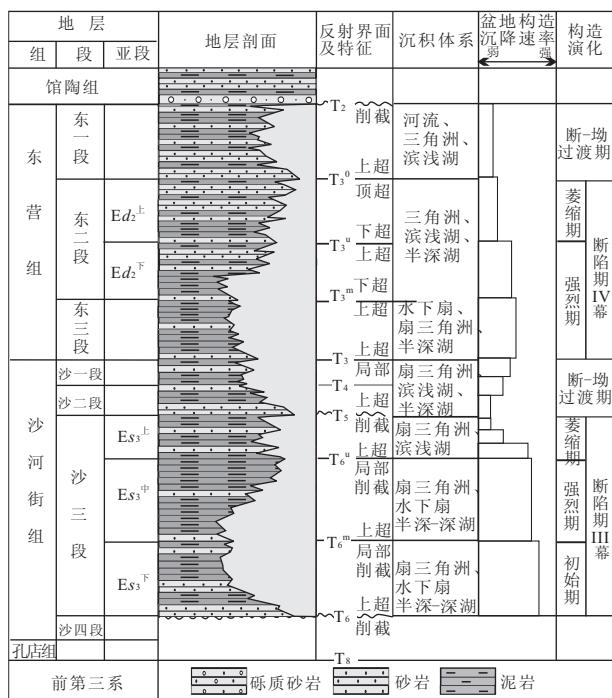


图2 渤中凹陷西斜坡古近系层序充填序列和构造演化  
Fig. 2 Generalised stratigraphic column and tectonic evolution of the Paleogene, western slope of Bozhong sag

式断裂(图1)。

研究区古近系发育地层由下而上依次为:始新统孔店组(E<sub>2</sub>k)、渐新统沙河街组(E<sub>2</sub>s)及东营组(E<sub>3</sub>d),与下伏中生代地层及上覆新近系馆陶组均呈侵蚀不整合接触关系。古近系层序包含多套由初始裂陷期—强烈裂陷期—裂陷萎缩期的完整构造均幕旋回,在岩性组合上均具有由粗—细—粗的变化规律(图2)。

## 2 研究区沉积物源通道类型

以露头或钻井资料分析为基础的传统物源研究方法,无法比拟地震资料对物源搬运通道及其路径的精细刻画。基于三维地震资料,可以有效识别正向古地貌单元(古高地、古凸起)、负向地貌单元(古山口、古沟谷、古河道)、沉积物卸载场所(古断层、古斜坡和坡折带)。负向地貌单元则是连接物源区与沉积区的桥梁,它们的识别极为重要。

本次研究进行沉积物源分析基于以下6个方面:(1)古沟谷的识别,是物源通道最直接的标志;(2)前积反射结构可指示物源方向;(3)地震多属性指示的沉积体系发育位置,结合构造和古地貌来判断物源方向;(4)地震多属性反映的富砂区、富泥区

的岩性变化可指示物源方向;(5)地震多属性指示的沉积相带(砂体)平面分布形态可反映物源方向;(6)古地貌图指示的古地理环境来判断物源方向。

研究区共识别出3种类型的沉积物搬运通道:古沟谷物源通道、断槽物源通道、构造转换带物源通道。

### 2.1 古沟谷物源通道

识别古沟谷不仅可以判断物源方向及其控制的物源分散体系格局,而且其本身也可作为储集体。由于凸起的基岩岩性、地形、遭受剥蚀时间等因素有差异,不同的凸起以及凸起不同的部位发育的沟谷类型不同,发育程度也有很大差异。

根据沟谷的空间几何形态展布,研究区共发育V型、U型、W型及复合型4种古沟谷类型(图3)。V型沟谷为河流发育初期,即河流幼年期形成的以侵蚀下切作用为主,代表了水动力最强的河道形态,河道分支少,携砂能力强;U型为河流壮年期的沟谷形态,分为沉积物垂向叠加和侧向叠加两种类型,侧向叠加反映了古沟谷不断发生侧向迁移,以及河道的频繁迁移,垂向叠加反映了稳定的河道沉积物充填,U型河道输砂能力最强,并且离物源区有一定的距离,颗粒大小、磨圆度及分选均较好;W型沟谷多为河道晚期分叉期形成的,水动力进一步减弱后形成的河道形态特征,W型沟谷输砂能力弱(朱红涛等,2011)。

研究区沙垒田凸起、石臼坨凸起的侵蚀古沟谷与沉积区的扇体或三角洲朵体具有对应关系。凸起上有剥蚀,下部必然有扇体沉积;大型沟谷规模大,长期侵蚀,沟谷出口处沉积体系继承性发育,对应大型扇体;小型沟谷侵蚀时间短,对应小型扇体。研究区大量古沟谷的存在,沉积区也必然会发育大量的扇体或三角洲朵体。

### 2.2 断槽物源通道

陆相湖盆中由两条相邻的主干正断层(断裂带)所夹持的断槽,是一种特殊的沉积物物源通道,它是断裂体系或不同断裂体系之间发育地势相对较低的槽道或沟洼。当物源注入方向与断裂带走向方向一致时,断槽为沉积物的搬运和沉积提供了通道和场所,可以形成一系列平行盆地长轴方向的、顺断层走向分布的条带状轴向重力流水道沉积(周士科和徐长贵,2006)、扇三角洲(李虹等,2001)或冲积扇—三角洲沉积(程日辉等,2006)。断槽的搬运作用与沉积作用是共生、变化的。如枯水期,断槽更多的体现出通道特征,沉积物沉积在远端;洪水期,断槽可以提

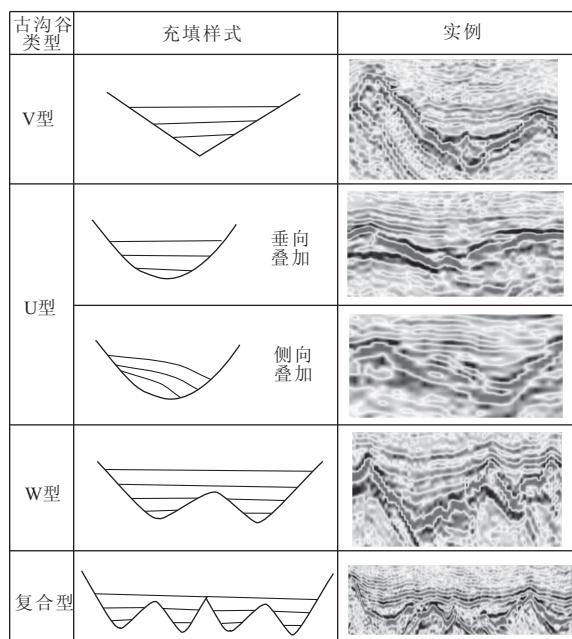


图3 渤中凹陷西斜坡东营组古沟谷类型

Fig. 3 Types of paleo-channel of Dongying formation, western slope of Bozhong sag

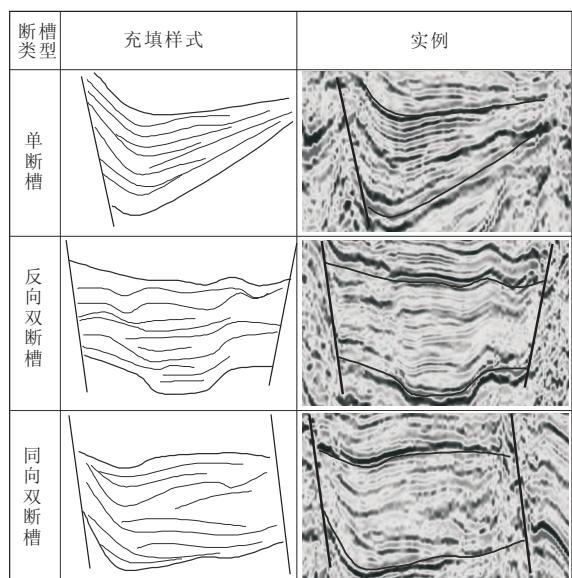


图4 单断槽和双断槽物源搬运通道地震相特征

Fig. 4 Types and seismic facies of sediment transport pathway of faulted trough, western slope of Bozhong sag

供更多的沉积空间,沉积物沉积在近端。

断槽物源通道可以分为单断槽和双断槽两种类型(图4)。单断槽是由单一倾向断裂(带)作用形成的槽沟,沉降、沉积中心顺断层分布,垂直物源方向上,具有一侧陡(厚)、一侧缓(薄)的不对称箕状结构

和楔形充填地震相特征。双断槽由两组倾向相反或相同的断裂(带)所夹持的槽沟,垂直物源方向上,形成等厚的对称结构和平行一亚平行的地震相特征。

### 2.3 转换带物源通道

构造转换带不仅对构造圈闭的形成具有重要的控制作用,而且对沉积物的搬运和沉积储集层的发育也具有重要的控制作用。构造转换带是一类在构造变形中为保持区域上缩短量或伸展量守恒而产生的调节构造,其概念起源于对加拿大落基山地区挤压变形中褶皱—逆冲断层几何形态的研究(Dahlstrom, 1970),后被引入到伸展区和走滑区的构造研究中(Peacock and Sanderson, 1994; Faulds and Varga, 1998; Moustafa, 2002; Soliva and Benedicto, 2004; Mouslopoulou *et al.*, 2007)。漆家福(2007)指出构造转换带是主边界断裂带上地形高差变化较小的部位,是主要碎屑物源注入裂陷盆地的入口处。余一欣等(2008)将渤海湾地区构造转换带分为区域横向调节带和局部变换带两种类型,并指出局部变换带主要发育在分段正断层的叠置区内。

研究区断裂带内部的雁列式断层的叠置区内,存在大量的局部构造转换带,对物源方向、沉积物的搬运和沉积储集层的发育具有明显的控制作用,如后图中沙垒田凸起的东南缘的第V期沉积体。

## 3 研究区断槽物源通道的特征

渤中凹陷西斜坡东营组的沉积主要受到源于沙垒田凸起的断槽物源通道控制,本文重点对其特征进行论述,主要从其地震相特征、地震多属性、沉积相、古地貌等方面来说明其平面展布、剖面充填特征。

沙垒田凸起上东缘部分古沟谷不是很发育,但是其向渤中凹陷西斜坡供源方向与研究区北东向分布的断裂带走向一致,具备发育断槽物源的先决条件。

### 3.1 断槽物源通道地震相特征

由图1、图5可知,渤中凹陷西斜坡共有5期 NEE 向断裂带,这5期断裂带之间区域分别为5期断槽物源通道,这点在地震测线 AA'、BB'、CC'、DD'、EE' 得到了证实。在近南北向的地震测线 EE' 上可以看出(图5),受5期断裂带的控制,自北向南,分出5期断槽物源通道,其中 I、IV、V 期为平行、亚平行地震相特征;II、III 期为楔形地震相特征。

图6为近东西向沿 II、III、IV、V 期断槽物源通

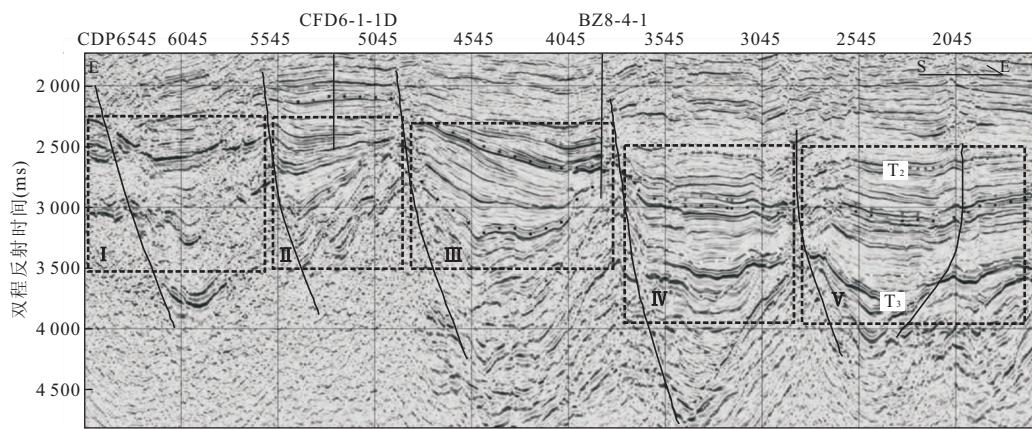


图5 垂直断槽物源通道方向上的地震相特征(测线位置见图1)

Fig. 5 Seismic cross section EE' showing seismic facies of sediment transport pathway of faulted trough, in N-S direction, western slope of Bozhong sag

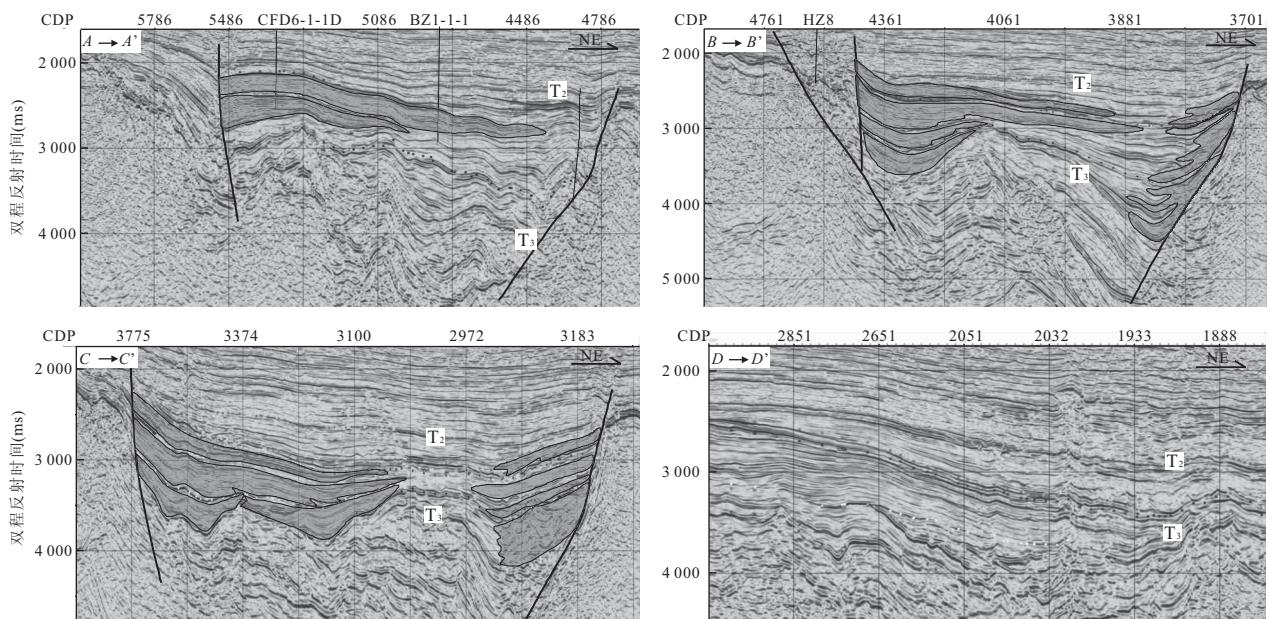


图6 平行物源方向上的断槽物源通道地震相特征(测线位置见图1)

Fig. 6 Seismic cross section AA'-DD' showing seismic facies of sediment transport pathway of faulted trough, in NEE direction, western slope of Bozhong sag

道的4条地震测线。对比可以看出,靠近沙垒田凸起一侧存在不同期次、规模较大、延伸远的前积地震反射特征,靠近石臼坨凸起一侧的断层下降盘,仅见小规模的近源堆积形成的楔形前积或杂乱地震反射特征,说明沙垒田凸起提供的物源沉积作用范围、水动力及其搬运能力远远大于石臼坨凸起。此外,AA'-CC'测线所在区域具有沙垒田凸起,石臼坨凸起同时提供物源特征,到DD'测线所在区域只接受沙垒田凸起提供的物源供给,该测线东段已远离石臼坨凸起,凸起上的物源不能远距离搬运至DD'测线东段区域。

### 3.2 地震多属性指示的断槽物源通道平面展布特征

地震多属性技术有效地消除了地震单属性分析具有的不确定性、多解性,可以进行半定量的厘定沉积相带边界和有利储层发育区,提高储层预测精度(张建宁和于建国,2006)。

通过研究区单属性的相关分析,分别提取东营组BW、IF、RMS 3种单属性,并拟合成地震多属性平面图(图7a)。图7中地震多属性异常可以分为3种类型,分别以红色、黄色和天蓝色表示,其中,红色代表富砂沉积,黄色富砂程度次之,天蓝色表示富泥沉积。在此基础上,结合地震相特征和钻井标定,进

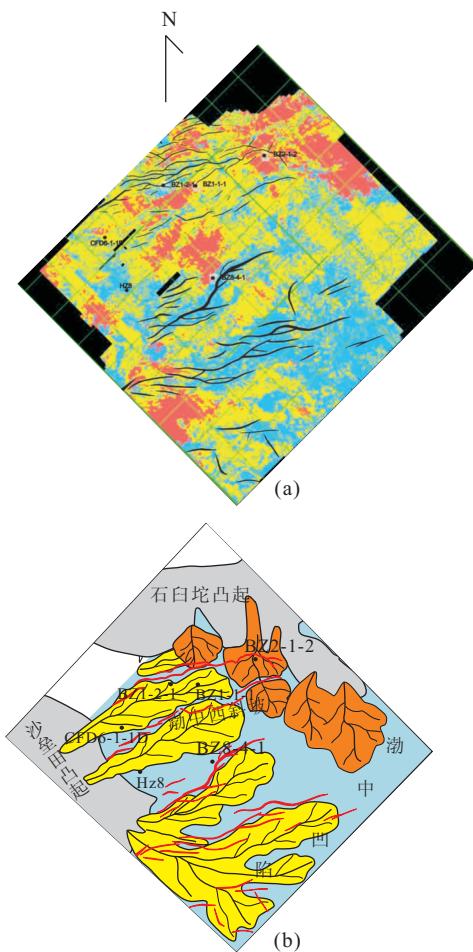


图7 研究区东营组地震多属性(a)和沉积相平面(b)图指示的条带状展布的断槽物源通道

Fig. 7 Seismic multi-attributes map (a) and sedimentary facies map (b) showing belted distribution characteristics of sediment transport pathway of faulted trough, Dongying formation, western slope of Bohai sag

行地震相向与沉积相的转换。

图7a中在沙垒田凸起东侧的红色、黄色指示的富砂沉积体,平面上呈典型的狭长条带状,并有规律的分布在不同的断裂带之间的区域,表明沙垒田凸起提供的沉积物通过断槽物源通道形成长距离搬运、沉积;石臼坨凸起南侧的红色、黄色指示的富砂沉积体,平面上多呈规模不一的扇状、片状展布,并紧靠断层的下降盘分布,表明石臼坨凸起提供的沉积物为近源、快速沉积;广泛分布的蓝色区域为泥岩相对发育区。因此,根据图7中地震多属性异常区及其对应的沉积体发育位置和平面分布形态,可知研究区的物源主要来自于沙垒田凸起和石臼坨凸起以及两者之间搬运通道、供源能力、沉积范围的差异性。

因为红色区域的富砂程度要高于黄色区域,确

定红色区域到黄色区域变化方向,即可指示物源方向。图7a中地震多属性平面上呈环带状分布,红色异常区域集中发育在凸起的边缘,向盆地方向,依次变为黄色异常连片发育区、黄色异常孤立发育区、蓝色异常区。这些地震多属性平面异常变化,表明岩性的变化,一般越靠近物源方向,岩性越粗,连片性好,向凹陷内岩性变细,连片性变差,根据这些变化,可以有效地判断物源方向。

此外,在沙垒田凸起的东南缘,断裂带内部的雁列式断层的叠置区内,可见明显的构造转换带控源、控相、控砂特征。

图7b是根据地震多属性平面特征,结合剖面地震相、钻井沉积相、构造特征及古地貌等地质信息解释的沉积相平面图。图7b可以看出沙垒田凸起东缘的三角洲沉积平面上呈典型的狭长条带状,并有规律地分布在不同的断裂带之间的区域,断槽内不同期次的三角洲呈舌状由湖盆边缘向中心推进,表明沙垒田凸起提供的沉积物主要通过断槽物源通道形成长距离搬运、沉积;石臼坨凸起南侧为近源堆积的扇三角洲沉积,平面上多呈规模不一的扇状、片状展布,并紧靠断层的下降盘分布。

图8是图7b中石臼坨凸起南侧的扇三角洲朵体的典型地震剖面FF',在断层的下降盘可见典型的前积反射特征,自下而上,多期扇体依次前积。这些扇体的地震相存在一定的差别,底部扇体为弱振幅、中—低连续、高角度前积地震相特征,中部扇体为中振幅、中连续、前积地震相特征,顶部扇体为强振幅、高连续、前积地震相特征。

### 3.3 古地貌指示的断槽物源通道平面展布特征

古地貌是受研究区构造变形、沉积充填、差异压

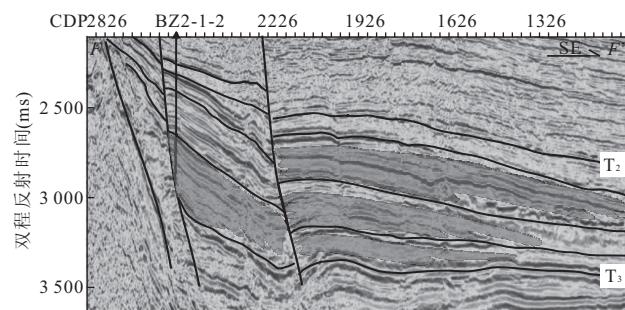


图8 地震测线FF'指示石臼坨南缘的扇三角洲朵体的地震相(测线位置见图1)

Fig. 8 Seismic cross section FF' showing seismic facies of fan-delta sedimentary located in southern margin of Shijituo uplift, western slope of Bohai sag

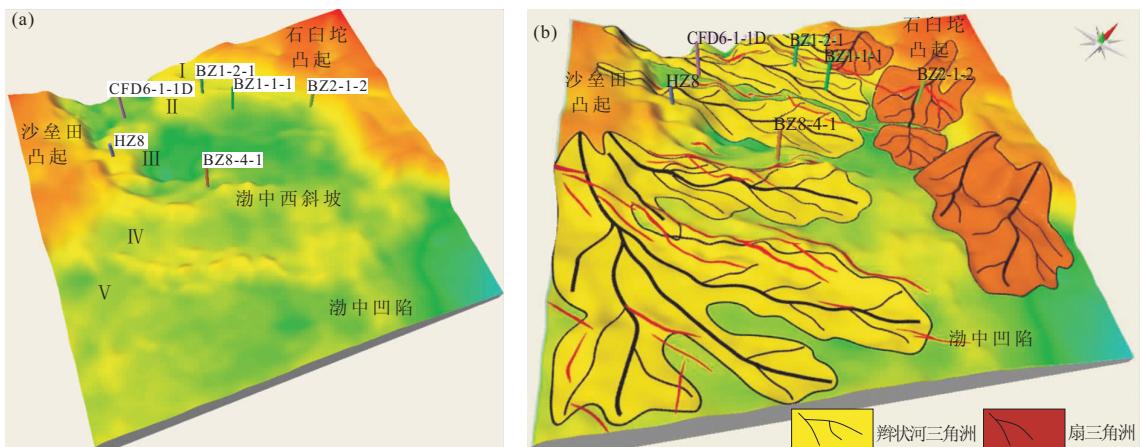


图9 渤中凹陷西斜坡古近系古地理格局及沉积相模式

Fig. 9 Paleogeomorphology and sedimentary model showing belted distribution characteristics of sediment transfer pathway of faulted trough of Paleogene, western slope of Bohai sag

实、风化剥蚀等综合作用影响的结果,可以直观的观察、分析正向古地貌单元、负向古地貌单元、沉积物卸载场所分布特征,为沉积相研究、储层空间展布模式研究提供重要依据。

渤中凹陷西斜坡处于沙垒田凸起石白坨凸起之间,斜坡区的古地貌受到5期NEE向断裂带的控制,这些断裂带在古地貌上表现为5期NEE向展布的低隆起,低隆起之间有5期条带状洼地,就是前述的5期沉积区,总体渤中西斜坡形成5隆5洼相间的古地理格局(图9a)。这5期NEE向展布的低隆起对沉积的控制和影响主要表现在3方面:(1)分割盆地古地理格局,使之形成多个NEE向条带状沉积中心。(2)限定沉积物搬运方向,沿断槽物源通道形成NEE向条带状沉积体;(3)分水岭的分隔作用,阻挡5期断槽物源通道连通。因此,在渤中凹陷西斜坡沙垒田凸起一侧,沉积相呈条带状展布模式(图9b)。

从古地貌图上可以看出,沙垒田凸起和石白坨凸起周缘具有不同的沉积相模式。沙垒田凸起供源方向与断裂带走向一致,物源沿断槽搬运、沉积,沉积相呈条带状展布模式,不同时期形成的沉积体呈舌形依次由湖盆边缘向中心推进;石白坨凸起供源方向则垂直于断裂带走向,沉积物多近源快速堆积在断层下降盘根部,形成扇状、片状的扇三角洲沉积模式(图9b)。

#### 4 陆相湖盆物源搬运通道模式

渤中凹陷西斜坡古近系的沉积主要受源于沙垒田凸起断槽物源通道的控制,分布在沙垒田凸起东

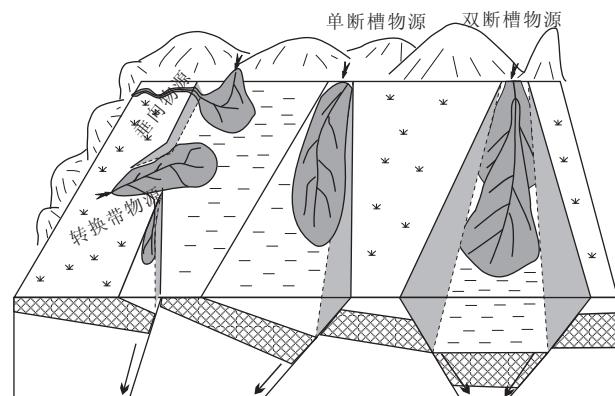


图10 陆相湖盆沉积物源搬运通道模式

Fig. 10 A conceptual model of sediment transport pathway for the continental lacustrine basins

侧的研究区大部分地区;古沟谷物源搬运控制的沉积主要分布石白坨凸起南部的局部地区;构造转换带物源控制的沉积主要分布在沙垒田凸起东南缘的局部地区(图10b)。这3种物源搬运通道很好的说明了沙垒田凸起、石白坨凸起之间物源搬运通道类型、搬运方向、控制范围差别问题。

渤中凹陷西斜坡古近系源于沙垒田凸起的断槽物源通道模式这一观点的提出,改变了传统上认为沙垒田凸起东缘同样为近源快速堆积的冲积扇、扇三角洲为主的认识,为寻找有利的储层和油气分布建立了指导模式。

渤中凹陷西斜坡东营组的古沟谷物源通道、断槽物源通道、构造转换带物源通道,基本上能够代表陆相湖盆所特有的物源从源区到沉积区的搬运途径(图10)。这3种物源搬运通道,分别对应不同的源

一渠一汇的空间耦合模式。断槽物源通道搬运模式形成了源—断槽通道—重力流(三角洲)—湖泊的耦合模式;古沟谷物源搬运模式形成源—古沟谷通道—三角洲(重力流)—湖泊的耦合模式;构造转换带物源搬运模式形成源—转换带通道—三角洲—湖泊的耦合模式。

**致谢:**感谢美国德克萨斯大学奥斯汀分校(UT at Austin)Jackson School of Geosciences 的 Bureau of Economic Geology 提供的技术支持。

## References

- Cheng, R. H., Zhu, D. F., Wang, H. Y., et al., 2006. Structural Sub-Division and Depositional Systems of Lindian Fault Depression in the North Songliao Basin during Shahezi Stage of Early Cretaceous. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 36(5): 793—798 (in Chinese with English abstract).
- Chi, Y. L., Zhao, W. Z., 2000. Strike-Slip Deformation during the Cenozoic and Its Influence on Hydrocarbon Accumulation in the Bohai Bay Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 21(2): 14—20 (in Chinese with English abstract).
- Chu, Q. Z., Zhang, S. L., Huang, X. W., 2002. Study on the Relation between Associated Gas Accumulation and Structural Characteristics of Cenozoic Faulted Structure in Bozhong Depression. *Journal of Xinjiang Petroleum Institute*, 14(2): 9—13 (in Chinese with English abstract).
- Dahlstrom, C. D. A., 1970. Structural Geology in the Eastern Margin of the Canadian Rocky Mountain. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 18(3): 332—406.
- Faulds, J. E., Varga, R. J., 1998. The Role of Accommodation Zone and Transfer Zone in the Regional Segmentation of Extended Terranes. In: Faulds, J. E., Stewart, J. H., eds., Accommodation Zones and Transfer Zones: The Regional Segmentation of the Basin and Range Provinces. Geological Society of America Special Paper, USA, 1—45.
- Feng, Y. L., Xu, X. S., 2006. Syndepositional Structural Slope-break Zone Controls on Lithologic Reservoirs—A Case from Paleogene Bohai Bay Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 33(1): 22—25 (in Chinese with English abstract).
- Li, H., Wang, L. J., Wang, K., 2001. The Early Tertiary Shahejie Faulted Trough in Eastern Liaohe Basin and Its Implications to Oil and Gas Resource. *Acta Geoscientia Sinica*, 22(5): 437—440 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Zhang, Y. M., Li, S. T., et al., 2004. Episodic Rifting Dynamic Process and Quantitative Model of Mesozoic-Cenozoic Faulted Basins in Eastern China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 583—588 (in Chinese with English abstract).
- Mouslopoulou, V., Nicol, A., Little, T. A., et al., 2007. Displacement Transfer between Intersecting Regional Strike-Slip and Extensional Fault Systems. *Journal of Structural Geology*, 29(1): 100—116. doi: 10.1016/j.jsg.2006.08.002
- Moustafa, A. R., 2002. Controls on the Geometry of Transfer Zones in the Suez Rift and Northwest Red Sea: Implications for the Structural Geometry of Rift Systems. *AAPG Bulletin*, 86(6): 979—1002. doi: 10.1306/61EEDC06—173E—11D7—8645000102C1865D
- Peacock, D. C. P., Sanderson, D. J., 1994. Geometry and Development of Relay Ramps in Normal Fault Systems. *AAPG Bulletin*, 78(2): 147—165. doi: 10.1306/BDFF9046—1718—11D7—8645000102C1865D
- Qi, J. F., 2007. Structural Transfer Zones and Significance for Hydrocarbon Accumulation in Rifting Basins. *Marine Origin Petroleum Geology*, 12(4): 43—50 (in Chinese with English abstract).
- Soliva, R., Benedicto, A., 2004. A Linkage Criterion for Segmented Normal Faults. *Journal of Structural Geology*, 26(12): 2251—2267. doi: 10.1016/j.jsg.2004.06.008
- Sun, Y. H., Qi, J. F., Lv, Y. F., et al., 2008. Characteristics of Fault Structure and Its Control to Hydrocarbon in Bozhong Depression. *Acta Petrolei Sinica*, 29(5): 669—675 (in Chinese with English abstract).
- Wan, G. M., Tang, L. J., Zhou, X. H., et al., 2009. Zonation of Structural Pattern in the Bozhong Depression and Its Adjacent Area. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 29(2): 9—13 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. J., Chen, H. D., Zhang, J. Q., 2000. The Research and Prospect in Provenance Analysis. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 20(4): 104—110 (in Chinese).
- Wu, L., Xu, H. M., Ji, H. C., 2006. Evolution of Sedimentary System and Analysis of Sedimentary Source in Paleogene of Bozhong Sag, Bohai Bay. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 26(1): 81—88 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., Yu, S., Lin, C. S., et al., 2008. Structural Styles of the Paleogene Lacustrine Basin Margin and Their Control on Sedimentary Sequences in Bohai Sea Area. *Journal of Palaeogeography*, 10(6): 627—635 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Y. J., Du, Y. S., Yang, J. H., 2007. Prospects of Sediment Provenance Analysis. *Geological Science and Technology Information*, 26(3): 26—32 (in Chinese with English abstract).
- Yu, Y. X., Zhou, X. H., Wei, G., et al., 2008. Structural

- Transfer Zones and Their Hydrocarbon Significances in Bohai Bay Area. *Journal of Palaeogeography*, 10(5): 555—560 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. N., Yu, J. G., 2006. The Indetermination Analysis on the Seismic Attribute Application. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 45(4): 373—379 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. L., Zhao, C. L., 2002. Study on the Seismic-Sedimentary Facies of the Bozhong Subsidence. *Journal of Chen Du University of Technology (Science & Technology Edition)*, 29(1): 41—48 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, G. L., Zhao, C. L., Ye, L. J., 2005. Sedimentary System of “Four Fans and One Channel” in the Bohai Gulf Basin and Its Significance for Petroleum Exploration. *Journal of Geomechanics*, 11(3): 245—258 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, H. G., Liu, C. Y., 2003. Approaches and Prospects of Provenance Analysis. *Acta Sedimentologica Sinica*, 21(3): 409—415 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S. K., Wei, Z. D., Deng, H. W., et al., 2006. A Study on Paleogene Tectonic Sequences in Bozhong Sag. *China Offshore Oil and Gas*, 18(4): 236—240 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S. K., Xu, C. G., 2006. One Kind of Important Deep-water Reservoir: The Longitudinal Gravity Currents Sediments—A Case Study in Mingyuefeng Formation in Lishui Sag, East China Sea Basin. *Geological Science and Technology Information*, 25(5): 57—62 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, H. T., Du, Y. S., Liu, K. Y., et al., 2008. Sequence Stratigraphic Delineation and Correlation of the Dongying Formation in the Nearshore and Adjacent Sea Areas, Bohai Bay Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 19(1): 54—64.
- Zhu, H. T., Yang, X. H., Zhou, X. H., et al., 2011. High Resolution Three-Dimensional Facies Architecture Delineation Using Sequence Stratigraphy, Seismic Sedimentology: Example from Dongying Formation in BZ3-1 Block of Western Slope of Bozhong Sag, Bohai Bay Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 36(6): 1073—1084 (in Chinese with English abstract).
- 集. *石油学报*, 21(2): 14—20.
- 褚庆忠, 张树林, 黄雄伟, 2002. 渤中坳陷断裂构造特征与油气运聚关系研究. *新疆石油学院学报*, 14(2): 9—13.
- 冯有良, 徐秀生, 2006. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用——以渤海湾盆地古近系为例. *石油勘探与开发*, 33(1): 22—25.
- 李虹, 王立军, 王凯, 2001. 辽河坳陷下第三系沙三段深断槽发育特点及其油气勘探意义. *地球学报*, 22(5): 437—440.
- 林畅松, 张燕梅, 李思田, 等, 2004. 中国东部中新生代断陷盆地幕式裂陷过程的动力学响应和模拟模型. *地球科学—中国地质大学学报*, 29(5): 583—588.
- 漆家福, 2007. 裂陷盆地中的构造变换带及其石油地质意义. *海相油气地质*, 12(4): 43—50.
- 孙永河, 漆家福, 吕延防, 等, 2008. 渤中坳陷断裂构造特征及其对油气的控制. *石油学报*, 29(5): 669—675.
- 万桂梅, 汤良杰, 周心怀, 等, 2009. 渤中坳陷及邻区构造分带变形特征. *海洋地质与第四纪地质*, 29(2): 9—13.
- 汪正江, 陈洪德, 张锦泉, 2000. 物源分析的研究与展望. *沉积与特提斯地质*, 20(4): 104—110.
- 吴磊, 徐怀民, 季汉成, 2006. 渤海湾盆地渤中凹陷古近系沉积体系演化及物源分析. *海洋地质与第四纪地质*, 26(1): 81—88.
- 徐长贵, 于水, 林畅松, 等, 2008. 渤海海域古近系湖盆边缘构造样式及其对沉积层序的控制作用. *古地理学报*, 10(6): 627—635.
- 徐亚军, 杜远生, 杨江海, 2007. 沉积物物源分析研究进展. *地质科技情报*, 26(3): 26—32.
- 余一欣, 周心怀, 魏刚, 等, 2008. 渤海湾地区构造变换带及油气意义. *古地理学报*, 10(5): 555—560.
- 张建宁, 于建国, 2006. 地震属性应用中的不确定性分析. *石油勘探*, 45(4): 373—379.
- 赵国连, 赵澄林, 叶连俊, 2005. 渤海湾盆地“四扇一沟”沉积体系及其油气意义. *地质力学学报*, 11(3): 245—258.
- 赵国连, 赵澄林, 2002. 渤中凹陷地震—沉积相研究. *成都理工学院学报*, 29(1): 41—48.
- 赵红格, 刘池洋, 2003. 物源分析方法及研究进展. *沉积学报*, 21(3): 409—415.
- 周士科, 魏泽典, 邓宏文, 等, 2006. 渤中凹陷古近系构造层序研究. *中国海上油气*, 18(4): 236—240.
- 周士科, 徐长贵, 2006. 轴向重力流沉积:一种重要的深水储层—以东海盆地丽水凹陷明月峰组为例. *地质科技情报*, 25(5): 57—62.
- 朱红涛, 杨香华, 周心怀, 等, 2011. 基于层序地层学和地震沉积学的高精度三维沉积体系:以渤中凹陷西斜坡 BZ3-1 区块东营组为例. *地球科学—中国地质大学学报*, 36(6): 1073—1084.

## 附中文参考文献

- 程日辉, 朱德丰, 王洪艳, 等, 2006. 松辽盆地林甸断陷白垩纪沙河子期盆地次级构造单元与沉积体系. *吉林大学学报(地球科学版)*, 36(5): 793—798.
- 池英柳, 赵文智, 2000. 渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚