

doi:10.3799/dqkx.2017.118

# 渤海走滑断裂对古近系源—汇体系的控制作用

徐长贵, 加东辉, 宛良伟

中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津 300459

**摘要:** 走滑断裂在渤海海域广泛分布, 深刻影响着沉积盆地的形成与演化, 同时也深刻影响着源—汇体系的形成和演化。在对渤海海域大量钻井资料和地震资料分析的基础上, 认为走滑断裂对渤海古近系源—汇体系的控制作用主要表现在: 走滑断裂压扭作用控制了局部物源体系的形成; 走滑断裂的张扭作用控制了沟谷低地的形成; 走滑断裂的水平运动控制源—汇体系的横向迁移。走滑断裂带源—汇体系发育模式十分复杂, 渤海古近系常见的主要有 S 型走滑断裂带源—汇体系模式、叠覆型走滑断裂带源—汇体系模式、帚状走滑断裂带源—汇体系模式、共轭走滑带源—汇体系模式。开展走滑断裂带源—汇体系特征及其控砂模式的探讨, 对含油气盆地的储层预测具有重要的意义。

**关键词:** 走滑断裂; 源—汇体系; 模式; 古近系; 渤海海域; 石油地质。

中图分类号: P618.13

文章编号: 1000-2383(2017)11-1871-12

收稿日期: 2017-05-06

## Control of the Strike-Slip Fault to the Source-to-Sink System of the Paleogene in Bohai Sea Area

Xu Changgui, Jia Donghui, Wan Liangwei

Bohai Oilfield Research Institute, Tianjin Branch, CNOOC, Tianjin 300459, China

**Abstract:** The strike slip faults are widely distributed in Bohai sea area and they play an important role in the formation and evolution of the sedimentary basin and the Source-to-Sink system. According to the principles of Source-to-Sink system analysis, this paper focuses on the study of control of the strike slip fault over the Source-to-Sink system of the Paleogene in Bohai on the basis of a large number of drilling data and seismic data analysis. It is found that the transpression of the strike slip faults controls the formation of local provenance system, and the transtension of the strike slip faults controls the formation of eroded ravines and valleys. The horizontal movement of the strike-slip fault controls the lateral migration of Source-to-Sink system. The Source-to-Sink system in the strike slip fault zone is more complex than that of the simple extension fault zone. There are four kinds of common Source-to-Sink system of strike slip faults in Paleogene in Bohai including S type strike slip fault source sink system mode, en echelon type strike slip fault source sink system mode, brush strike slip fault source sink system mode, and conjugate strike slip fault source sink system mode. The study on the characteristics of Source-to-Sink system and its sand control pattern of strike slip fault zone is very important for reservoir prediction in petroliferous basin.

**Key words:** strike-slip fault; Source-to-Sink system; mode; Paleogene; Bohai sea area; petroleum geology.

## 0 引言

近年来, 沉积盆地源—汇研究已逐渐成为沉积

学领域颇受关注的重要课题(徐长贵, 2013; 徐桂芬等, 2016)。我国诸多学者在莺歌海盆地、琼东南盆地、珠江口盆地、渤海湾盆地等综合运用多种分析手

**基金项目:** 国家科技“十三五”重大专项(No.2016ZX05024-003)。

**作者简介:** 徐长贵(1971—), 男, 教授级高级工程师, 博士, 中国海洋石油总公司勘探专家, 主要从事石油地质与综合勘探研究。ORCID: 0000-0001-8127-2849. E-mail: xuchg@cnooc.com.cn

**引用格式:** 徐长贵, 加东辉, 宛良伟, 2017. 渤海走滑断裂对古近系源—汇体系的控制作用. 地球科学, 42(11): 1871-1882.

段开展了相应的源—汇系统研究(林畅松等,2015;高丹等,2016;刘强虎等,2016;魏山力,2016;徐长贵,2016),探讨了各地区的源—汇系统耦合模式及量化研究分析技术,为我国油气勘探工作提供帮助,尤其为复杂陆相断陷盆地油气储层预测工作中的应用与发展提供了设想与借鉴。前人关于源—汇体系的研究主要集中在海相被动大陆边缘盆地和陆相伸展盆地中(李铁刚等,2003;Allen,2008;徐长贵,2013),而与走滑断裂相关的盆地中源—汇体系研究的较少。

走滑断裂是控制岩石圈形变的一种非常重要的构造类型。大型走滑断裂往往延伸远、切割深、活动时间长、构造样式复杂多样,走滑作用对于走滑相关的盆地的内部沉积模式和充填格架具有着重要的控制作用(Reading,1980;Miall,1984;Christie and Biddle,1985)。尽管走滑盆地与张性或压性盆地的沉积特征在某些方面存在具有相似性(Allen, P. A., and Allen, J. R., 1990; Kim *et al.*, 2003),但多数走滑盆地具有着独特的沉积模式,如同沉积走滑过程中,冲积扇、扇三角洲等扇体具有沿走滑断层斜向迁移、随走滑运动周期性叠置的特征(Crowell, 1982a, 1982b; Nilsen and McLaughlin, 1985; Nilsen and Sylvester, 1995; Walton *et al.*, 2014);走滑及其派生作用形成的复杂构造导致的快速相变特征(Miall, 1984; Ridgway and Decelles, 1993; Lee and Chough, 1999; Wysocka and Swierczewska, 2003; 范秋海等, 2008);晚期的断裂走滑对早期沉积体的横向错断作用(Chen *et al.*, 2001; 徐长贵, 2006; 蒋子文等, 2013)。因此,与走滑相关的沉积盆地中,沉积体系成因类型多样,相带窄,相变快,分布规律复杂,储层预测十分困难。所以,应用从“源”到“汇”的思路,将与走滑相关的沉积盆地的“源”和“汇”作为一个整体进行深入研究,对准确预测盆地中的储层分布具有重要意义。

郯庐走滑断裂带从南向北穿过整个渤海海域,同时叠加了北西走向的张家口—蓬莱走滑断裂,走滑断裂深刻影响了渤海海域古近纪沉积盆地的构造演化和沉积充填。近年来,笔者利用覆盖渤海走滑断裂带的三维地震资料和 400 余口钻井资料,以源—汇思想为指导,对渤海古近纪与走滑断裂相关沉积湖盆的源—汇体系进行了深入剖析,总结了走滑断裂带源—汇特征及其控砂模式,对渤海走滑带古近系储层预测起到了良好的指导作用,促进了复杂走滑带的油气勘探,发现了多个大中型油气田。实践证

明,源—汇体系的分析思路同样适用于走滑相关的沉积盆地,这对类似沉积盆地的源—汇研究具有较好的借鉴意义。

## 1 渤海走滑断裂基本特征

郯庐断裂带是中国东部一条重要的巨型走滑断裂带,绵延数千公里,它从渤海海域南部的青东地区进入渤海,经过莱州湾、黄河口、渤中、渤东、辽东湾等地区后,从渤海海域北部的营口地区出海,呈北东方向延伸,横贯整个渤海海域东部地区,南北长达 400 余 km,东西宽约 50~80 km,涉及渤海海域东部地区众多凸起和凹陷。除了郯庐走滑断裂外,渤海海域还存在一条北西向的左旋走滑断裂,即张家口—蓬莱断裂带(以下简称为“张蓬断裂带”)。该断裂由一系列断续相连的北西至近东西向断裂组成,总体走向为北西 60°左右,在海域长 200 余 km,宽约 50~100 km(图 1)。由此可见,走滑断裂在渤海海域广泛分布,深刻影响着沉积盆地的形成与演化,同时也深刻影响了源—汇体系的形成和演化。

渤海走滑断裂体系不同于典型的纯剪切应力作用下形成的走滑断裂体系(漆家福等,2010)。渤海断裂体系为多期次地幔对流陆壳伸展和斜向走滑拉分双动力源作用下形成的大型复杂叠合走滑断裂体系,成因多样,类型复杂,规模巨大,具有叠合走滑的特征。不同地史发展过程中,多种、多期、多向应力的叠加形成了结构多变、分区明显、演化迥异的走滑断裂体系。

根据不同应力的配比,可以将渤海走滑断裂体系划分为 4 种类型的叠合走滑断裂,即强走滑—弱伸展叠合走滑断裂、中等走滑—中等伸展叠合走滑断裂、弱走滑—强伸展叠合走滑断裂、双向走滑叠合走滑断裂等。强伸展—弱走滑断裂体系主要分布在辽东湾西部地区,走滑断裂体系呈 S 形展布;弱伸展—强走滑主要分布在辽东湾东部地区和渤南地区,辽东湾东部地区走滑断裂体系呈辫状展布,渤南地区强走滑断裂体系呈平行状展布;中等走滑主要分布在渤东地区,呈帚状展布;双向共轭走滑主要分布在渤海西部地区,郯庐北东向走滑断裂与张家口—蓬莱断裂呈十字交叉展布,呈现共轭的特征。

不同类型的叠合走滑断裂因其走滑强度不同,走滑—伸展耦合方式不同,因而对源—汇体系控制特征也存在显著差异。

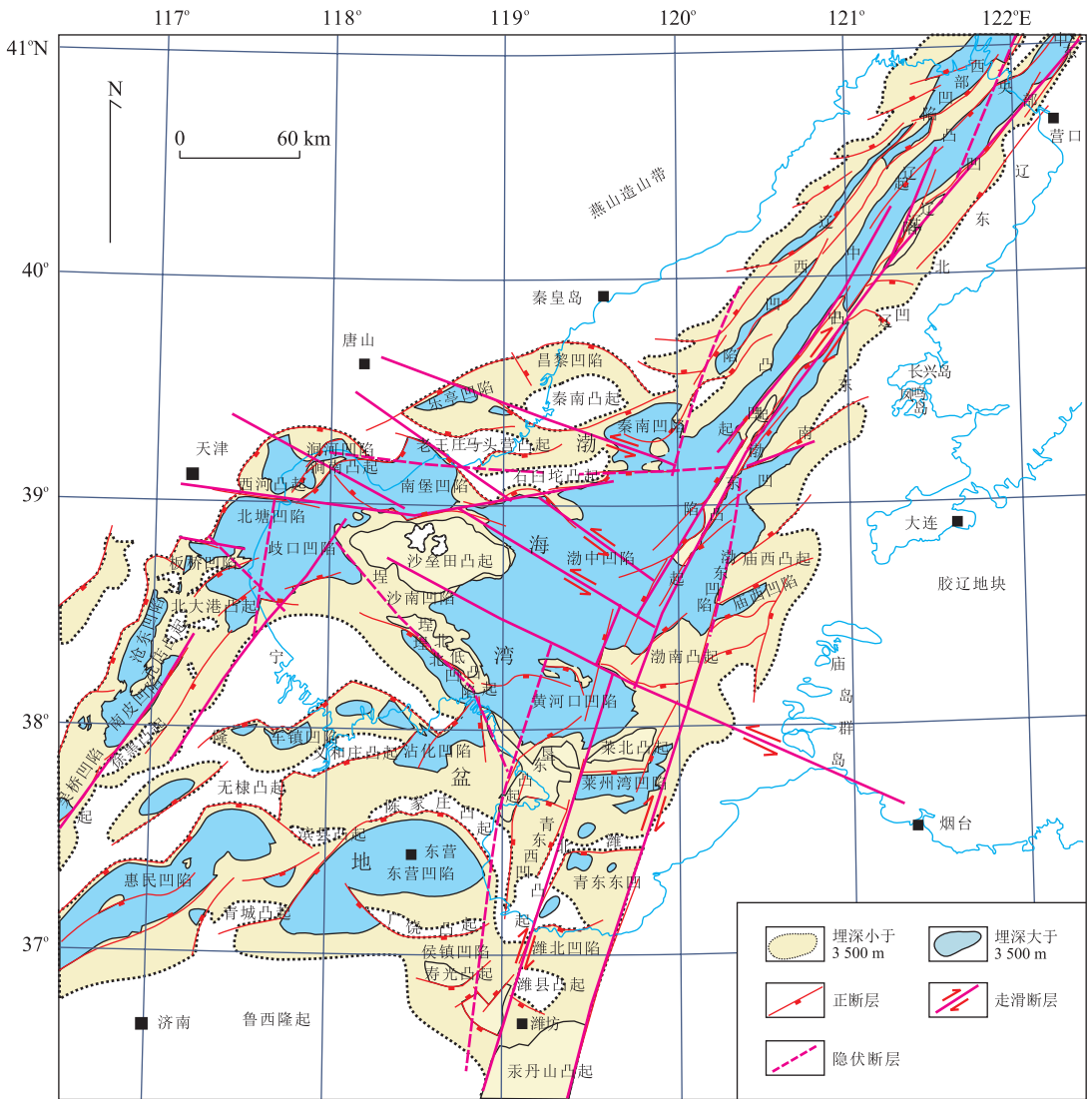


图 1 渤海海域区域地质图与走滑断裂分布

Fig.1 Regional geological map of Bohai sea area and strike-slip faults distribution map

## 2 渤海走滑断裂对古近系源—汇体系的控制作用

伸展断裂对源—汇体系的控制作用研究较多,而走滑断裂对源—汇体系的控制作用则罕见文献报道.渤海走滑断裂发育,深刻影响着古近纪沉积盆地的构造演化和沉积充填,且渤海走滑断裂带基本为三维地震资料覆盖,钻井和岩心等基础资料丰富,为研究走滑断裂对源—汇体系的控制作用提供了很好的条件.

### 2.1 渤海走滑断裂不同组合样式的应力分布特点

在走滑断裂带,由于走滑断裂的相互作用方式存在差异,不同的走滑断层之间或者同一条走滑断层不同的段应力特点是不同的,有的呈现明显的挤

压或压扭作用,有的呈现明显的张性或者张扭作用(徐长贵,2016).古地貌单元受到应力类型不同,其在源—汇体系中的作用会有所差异,物源的形成主要与挤压性应力作用下古地貌的垂向隆升相关,而沟谷体系、汇水体系的形成多数与伸展性应力有关.因此,要了解走滑断裂对源—汇体系的控制作用,必须明确走滑断裂不同组合样式的应力分布特点.

根据平面展布形态的差异,渤海走滑断裂可以分为 S 型走滑断裂、帚状走滑断裂、叠覆型走滑断裂、双重型走滑断裂和共轭走滑断裂等 5 种类型.在相同的走滑运动方向下,不同的展布形态,压扭应力和张扭应力分布模式不同;同一种展布形态在不同的走滑运动方向下,应力分布状态截然相反(图 2).

S 型走滑断裂根据弯曲方式又可分为左阶 S 型走滑断裂和右阶 S 型走滑断裂.不同阶式弯曲走滑

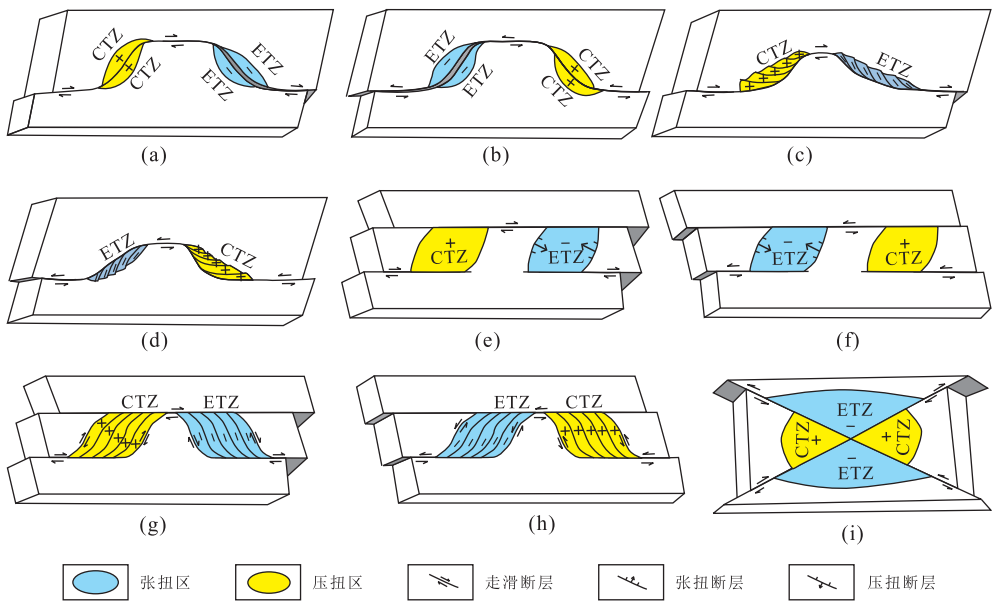


图 2 渤海海域走滑断裂带应力发育模式

Fig.2 Stress mode of strike-slip fault zones in Bohai sea area

a. 右旋 S 型走滑断裂; b. 左旋 S 型走滑断裂; c. 右旋帚状走滑断裂; d. 左旋帚状走滑断裂; e. 右旋叠覆型走滑断裂; f. 左旋叠覆型走滑断裂; g. 右旋双重走滑断裂; h. 左旋双重走滑断裂; i. 共轭型走滑断裂

断裂受力状态是不同的。郯庐断裂在古近纪以来为右旋走滑断裂,所以在郯庐断裂带中,右旋左阶 S 型走滑断裂处于挤压应力状态,属于压扭性走滑断裂,而右旋右阶 S 型走滑断裂处于伸展应力状态,属于张扭性走滑断裂(图 2a)。张蓬走滑断裂古近纪以来为左旋走滑断裂,所以在张蓬断裂带中,左旋左阶 S 型走滑断裂处于伸展应力状态,属于张扭性走滑断裂,而左旋右阶 S 型走滑断裂则属于压扭性走滑断裂(图 2b)。

在叠覆型走滑断裂中,右旋左阶叠覆型走滑断裂和左旋右阶叠覆型走滑断裂都属于压扭性走滑断裂,而右旋右阶叠覆型走滑断裂和左旋左阶叠覆型走滑断裂都属于张扭性走滑断裂(图 2c,2d)。在双重走滑断裂中,右旋左阶式走滑双重走滑断裂属于压扭性走滑断裂,右旋右阶式走滑双重走滑断裂属于张扭性走滑断裂(图 2g,2h)。

郯庐右旋走滑断裂和张蓬左旋走滑断裂是两组方向不同、剪切方向相反、基本同时发育的两条共轭断裂带,这两条巨型的断裂带在渤海海域多个位置交叉叠置,形成了典型的共轭走滑断裂,在共轭走滑断裂中也存在压扭性共轭走滑断裂和张扭性共轭走滑断裂(图 2i)。

## 2.2 走滑断裂压扭作用控制局部物源体系的形成

地表系统中存在的局部物源对沉积体系的发育具有重要的控制作用(林畅松等,2015)。局部物源虽

然现今残余规模较小,但能在特定的构造位置和特殊的地史时期遭受剥蚀,并能够形成优质储层,在油气勘探中特别是成熟区油气勘探中受到越来越多的关注。

渤海海域古近纪局部物源广泛分布,且成因类型多样,其中,走滑断裂压扭隆升是一种重要的成因。从本文 2.1 节走滑断裂不同走滑样式的应力特点分析可知,郯庐断裂古近纪以来为右旋走滑断裂。在右旋走滑作用下,右旋左阶类走滑断裂处于压扭应力状态,容易导致古地貌的隆升或古高地形成局部物源。渤海郯庐断裂古近纪是右旋走滑,在右旋走滑断裂中,呈现左阶排列的断裂带往往形成古高地,控制水系的高势区,是物源剥蚀区或者水系的源头区。郯庐走滑断裂形成的局部物源主要有 3 种类型,即右旋左阶的 S 型走滑形成的物源、右旋左阶双重走滑形成的物源和右旋左阶叠覆走滑形成的局部物源等(图 2)。

辽东湾锦州 20-3 地区就是右旋左阶的 S 型走滑形成的物源。该地区在中生代白垩纪—古近纪沙二段早期发生较强的走滑活动,主要发育两条右旋左阶的 S 型走滑断层,分别为锦州 20-3 走滑断层和锦州 20-3 南走滑断层。两条走滑断层在增弯的部位应力特点主要为压扭作用,造成基底或下覆地层的抬升,形成锦州 20-3 和锦州 20-3 南两个水上小隆起。尽管其物源规模较小,但能为邻近的湖盆提供了一定的物源,形

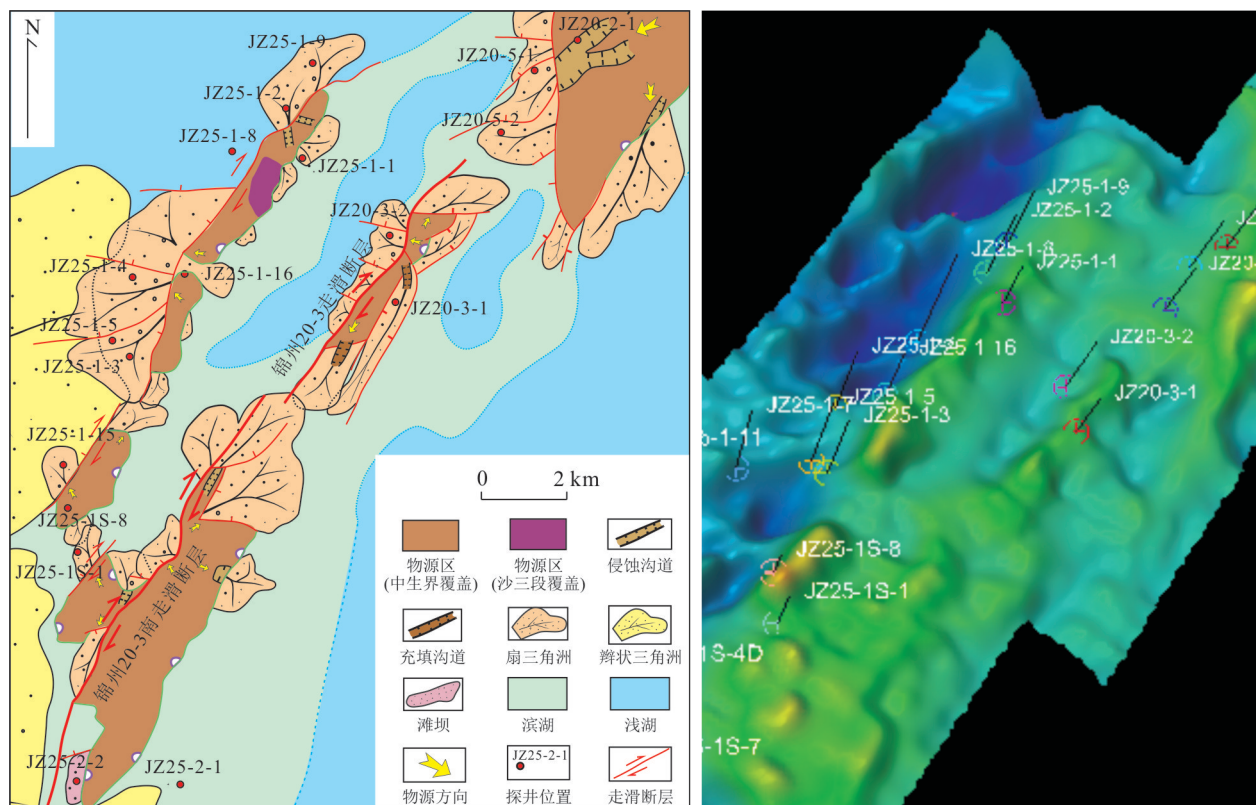


图 3 锦州 20-3 地区右旋左阶 S 型走滑断裂控制的局部物源与近源辫状三角洲沉积

Fig.3 The local provenance and proximal braided river delta controlled by dextral left step strike slip fault in JZ20-3 area

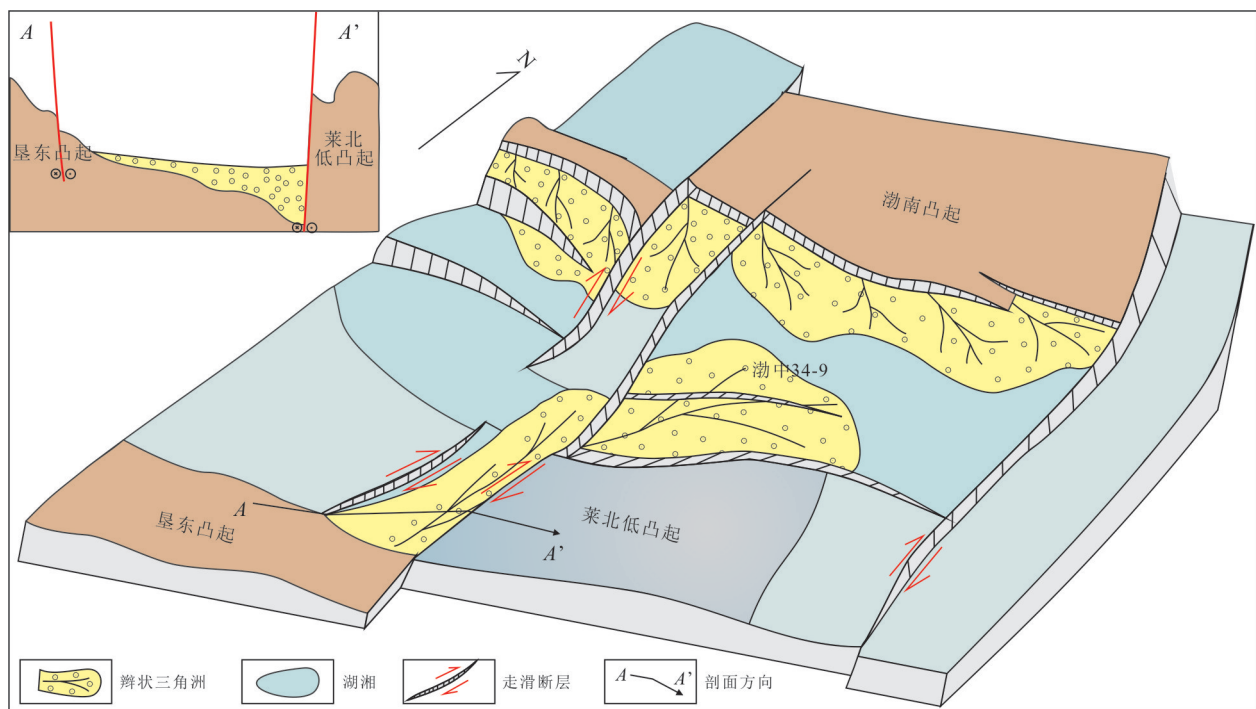


图 4 渤中 34-9 油田右旋右阶叠覆型走滑断裂控制的沟谷低地与辫状河三角洲沉积

Fig.4 Valley and proximal braided river delta controlled by dextral right step strike slip fault in BZ34-9 oilfield

成了小型的辫状河三角洲沉积(图 3)。

但是,晚期走滑形成的局部隆起因自身提供物

源能力弱,不但起不到局部物源作用,反而对侧向水系起到阻挡作用,使得背向的局部隆起边界大断层

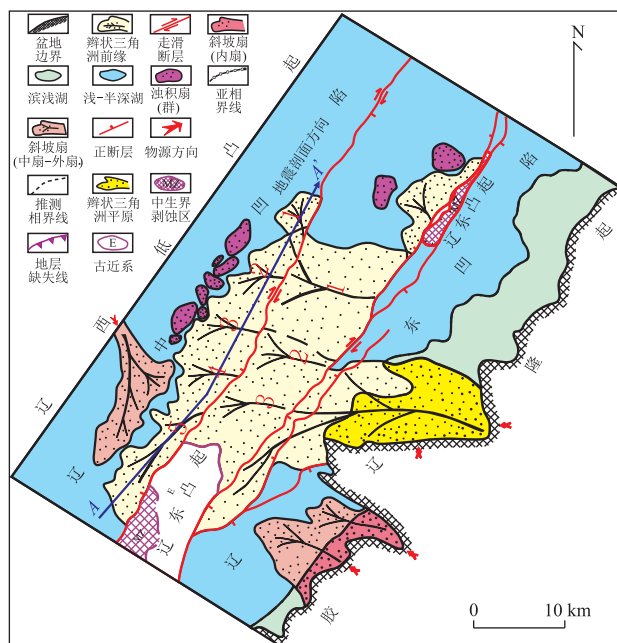
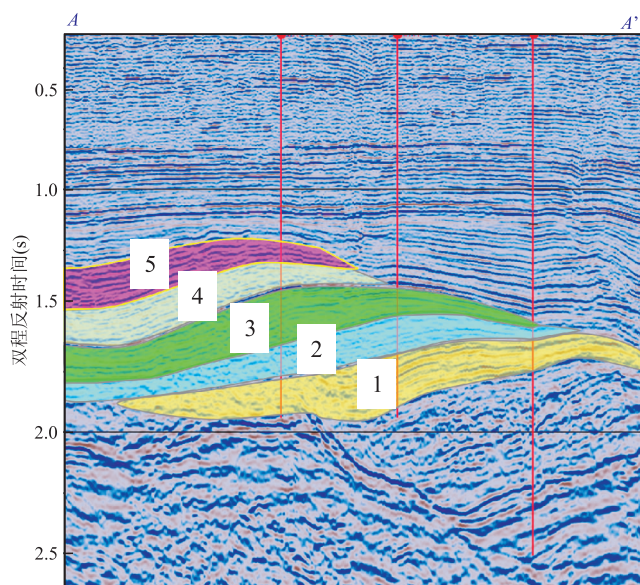


图 5 金县 1-1 地区走滑断裂水平位移与辫状河三角洲“鱼跃式”迁移

Fig.5 Horizontal displacements of strike slip fault and braided river delta fish jumping migrate in JX1-1 area



下部缺乏良好的储层砂体。

### 2.3 走滑断裂的张扭作用控制沟谷低地的形成

走滑断裂间的张扭释压作用有利于沟谷低地的形成。在走滑断裂的释压段，断裂处于伸展构造应力场中，呈开启状态。随着走滑位移量的增大，调节断裂的伸展幅度逐渐变大，断裂逐渐开启，并出现裂陷的现象。走滑运动量较小时，释压区呈现出低势区特征；走滑量逐渐增大时，可以形成低势沟谷或者小型洼陷，最大时可以形成大型的拉分盆地。渤海海域发育 5 种典型的走滑断层释压伸展区：S 型走滑释压区、叠覆型走滑释压区、共轭走滑墙角状释压区、帚状走滑释压区（图 2）。这些释压区常常对应沟谷低地，可容纳空间极大，成为优势的汇水通道或汇水区，是富砂沉积体优势发育的地带，往往储层组合优越。

黄河口南斜坡渤中 34-9 油田就是典型的右旋右阶叠覆式走滑张扭释压区形成的沟谷低地，这一低地在沙河街组—东营组沉积时期是优势输砂通道，来自垦东凸起的物源经由该通道向黄河口凹陷搬运碎屑物质，形成了规模较大的辫状河三角洲体系，储层发育（图 4）。

### 2.4 走滑断裂的水平运动控制源—汇体系的横向迁移

在渐新世，渤海右旋走滑断裂活动表现为“伸展—走滑”共同作用（漆家福等，2010）。这时期砂体的富集除受物源—伸展型断裂坡折控制外，还受右

旋走滑形成的断裂的水平活动影响，使进入盆地内的碎屑物质随着走滑活动产生的水平位移而横向迁移。金县 1-1 地区渐新世走滑早期形成的沉积体，随着时间推移伴随右旋走滑作用逐渐向北东向偏移，远离原始沉积时期的物源—坡折耦合区；同时，随着物源持续供给、沉积体不断形成以及走滑作用的持续，来自同一物源水系的不同期次沉积体不是形成简单的垂向叠加，而是同时出现垂向叠加和水平叠覆的现象，在平面上形成多个不同期次辫状三角洲朵体，辫状三角洲砂体沿着走滑断裂呈“鱼跃式”有规律分布（图 5）。走滑运动使碎屑物质主要发生横向迁移叠覆，因而走滑断裂坡折带凹陷一侧的辫状三角洲的进积作用不明显。

上述分析表明，走滑断裂对源—汇体系的控制作用是复杂的。总体来看，走滑断裂对源—汇体系具有“走滑压扭成山控源，走滑张扭成谷控汇，走滑平移砂体叠覆”的控制作用。

## 3 渤海走滑断裂带源—汇体系发育模式

走滑断裂带源—汇体系复杂多变，常见的源—汇体系发育模式有 S 型走滑断裂带源—汇体系模式、叠覆型走滑断裂带源—汇体系模式、帚状走滑断裂带源—汇体系模式、共轭走滑断裂带源—汇体系模式。

### 3.1 S型走滑断裂带源-汇体系发育模式

S型走滑断裂是典型走滑构造样式之一.S型走滑断裂带源-汇体系一般发育于单条主走滑断层,整体呈长条状延伸.在S型走滑断裂带走滑压扭弯曲的部位,即右旋左阶S型走滑断裂弯曲部位,压应力最为集中,挤压作用最强.走滑断裂两侧地层因压扭作用而隆升,在一定条件下会遭受剥蚀,具备提供碎屑物质的能力,可以作为有效物源区.在走滑张扭部位,即右旋右阶S型走滑断裂的弯曲部位,应力为拉张作用,容易形成张扭性断槽等负向构造,可以作为有利的输砂通道及砂体汇聚区,对沉积水系及富砂沉积体起到明显的控制作用.同时,受同沉积走滑或后期走滑作用的影响,沉积体往往沿走滑方向有不同程度的横向迁移.

辽东低凸起就是在渐新世早期由走滑与伸展共同作用下形成的.由于走滑带应力场性质的转换,将整个辽东低凸起分成了多个间互发育的张扭区和压扭区.压扭区往往对应凸起,常表现为“链状岛”的特征,对应发育多个山头,遭受风化剥蚀形成物源.而释压区常形成各类断裂坡折带,对应富砂沉积体的发育区(图6).

### 3.2 叠覆型走滑断裂带源-汇体系发育模式

叠覆型走滑断裂带源-汇体系常发育于两支有部分叠覆的走滑断层.在叠覆型走滑断裂带,断裂的不同排列方式由于应力性质的不同,产生的古地貌特征也不同.在郯庐断裂走滑带,常见右旋右阶的排列方式,在右旋右阶的排列方式下,走滑断裂之间往往形成沟谷低地,特别是在断槽两侧断裂活动差异影响下,可形成沿一侧断槽分布的狭长型沟谷,为砂体的长距离搬运提供了有利条件.而在各主走滑部位,由于走滑压扭作用,促进了物源区的抬升和剥蚀

范围的扩大.因此,叠覆型走滑断裂带具有良好的源-汇体系发育条件,盆内凸起或低凸起经风化剥蚀后形成的碎屑物质,沿狭长型断裂沟谷可以长距离输导,形成富砂沉积体.

辽西凸起锦州 25-1 南区发育典型的叠覆型走滑断裂带源-汇体系.该地区处于辽西一号走滑断裂和辽西二号走滑断裂叠覆处,这两条断裂属于右旋右阶排列的走滑断裂.两条断裂之间因拉张作用形成沟谷低地,辽西低凸起的长期遭受剥蚀的碎屑物质沿着这一沟谷低地进行搬运并沉积下来,导致在沙河街沉积时期,该地区发育良好的辫状河三角洲沉积(图7).

### 3.3 帚状走滑断裂带源-汇体系发育模式

帚状走滑断裂带多见于凸起倾没端,是由一条主走滑断裂和若干条弧形断层组合而成,一端撒开,另一端收敛于主走滑断裂之上,平面组合呈帚状的形态.在右旋右阶的帚状断层中,受主干断层控制,具有张扭性质.在多条帚状断层发散的部位形成沟谷低地,形成一系列断沟,成为良好的输运通道和砂体赋存场所,最终形成多期砂体相互叠置的厚层富砂沉积体(图8).而主走滑断裂由于压扭作用,也有利于凸起的抬升和物源剥蚀作用的加强.

### 3.4 共轭走滑断裂带源-汇体系发育模式

共轭走滑断裂带源-汇体系一般受两组大型走滑断层控制,常沿大型凸起边界分布.渤海海域西部处于渤海湾盆地北东向构造与北西向构造的交汇部位,不但受北东向郯庐走滑断裂带的影响,而且受北西向张家口-蓬莱断裂带构造作用的影响.北东向和北西向断裂带组成共轭剪切带,共轭走滑的二、四象限区表现为拉张作用,一、三象限区表现为压扭作用.当拉张作用区与凸起区叠加的时候,凸起区容易

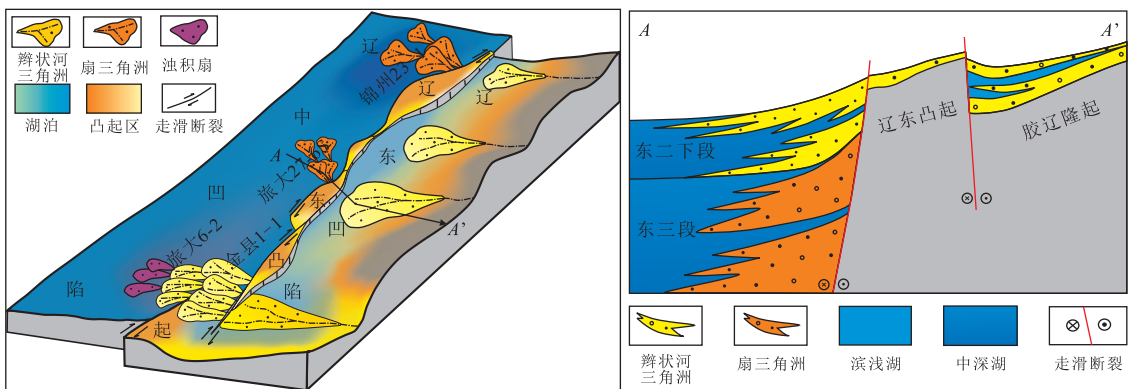


图 6 辽东凸起中北段 S 型走滑带源-汇体系发育模式

Fig.6 S type strike slip fault source sink system mode in the middle-north section of Liaodong uplift

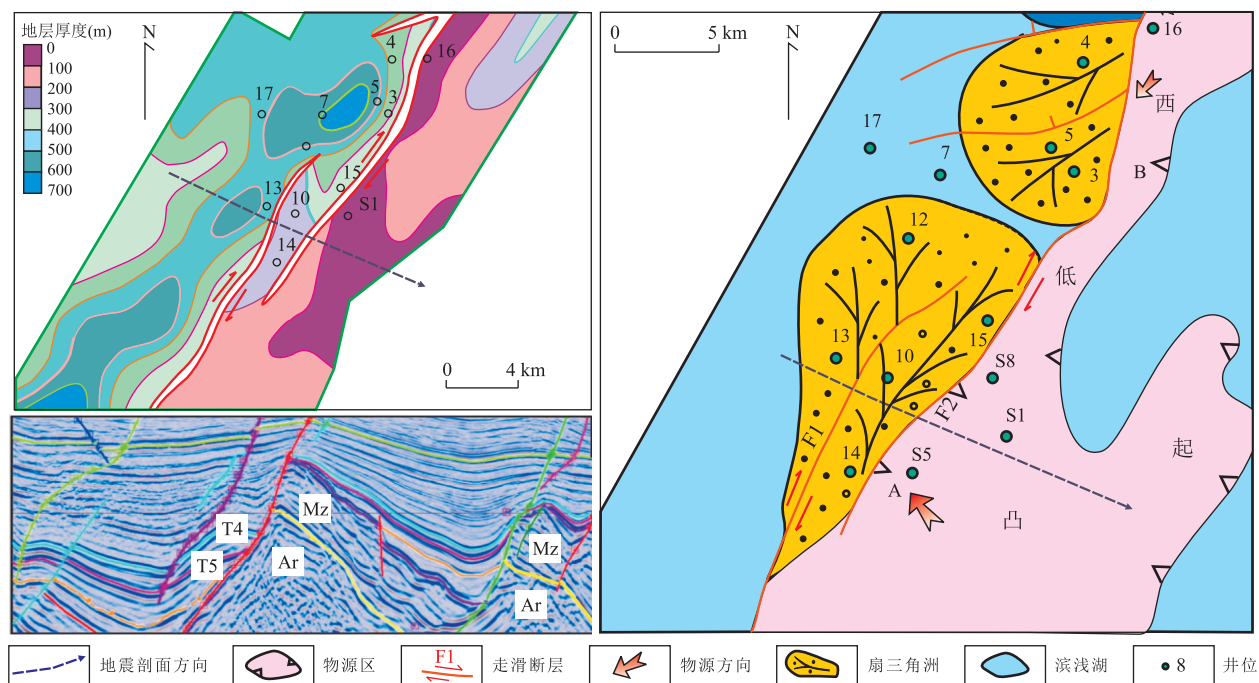


图 7 锦州 25-1 地区叠覆型走滑断裂带源—汇体系发育模式

Fig.7 En echelon type strike slip fault source sink system mode in JZ25-1 area  
T4 代表沙二段顶面; T5 代表沙二段底面

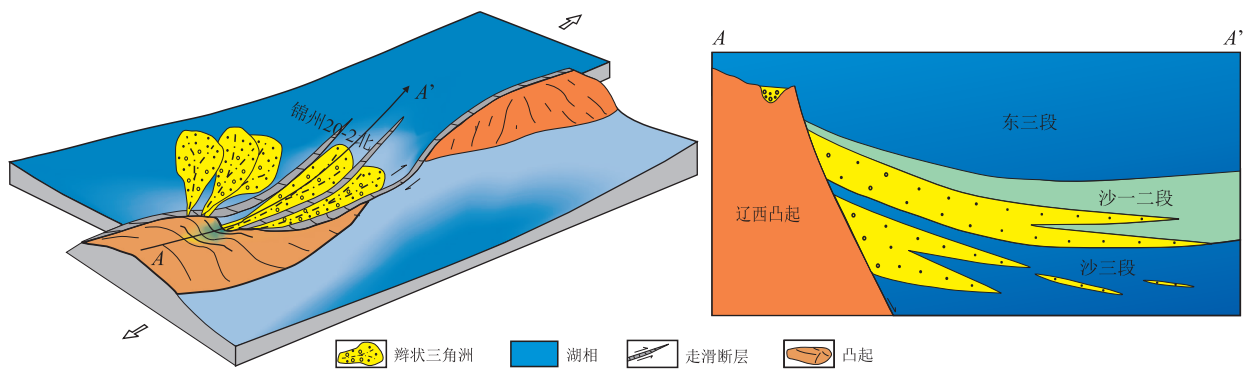


图 8 辽西低凸起北段锦州 20-2 北地区帚状走滑带源—汇体系发育模式

Fig.8 Brush strike slip fault source sink system mode in JZ20-2N area of the north section of Liaoxi low uplift

形成沟谷低地,成为碎屑物质搬运的通道,与此对应的湖盆区发育大型扇三角洲,砂体延伸远,平面分布范围大.当压扭作用区与凸起区叠加的时候,凸起遭受抬升,对应湖盆区发育小型扇三角洲,砂体延伸不远,相带窄.

渤海西部曹妃甸 6-4 地区就是典型的共轭走滑断裂带源—汇体系(图 9).曹妃甸 6-4 构造整体依附于北西向和北东向边界断裂,受共轭走滑作用形成的次级调节断裂影响,形成了多个复杂断块圈闭.该构造处于共轭走滑的交接处,表现为“反向墙角”的特征.传统上认为墙角断裂处是砂体有利的汇聚区,而“反向墙角”则不利于砂体的汇聚,表现为贫砂的

特征.受该“贫砂”认识的制约,该构造长期以来一直搁置.近年来,在新的共轭走滑断裂带源—汇体系发育模式的指导下,认为共轭走滑的增压段表现为相对高势区,成为物源供应的主要来源;共轭走滑的释压段表现为相对低势区,往往成为砂体汇聚的有利地带.因此,该区共轭走滑带交接处源—汇条件优越,储层应该比较发育.该模式得到了近期探井的证实,该构造探井钻遇厚层扇三角洲砂体,从而打破了“反向墙角”储层预测禁区,并推动了曹妃甸 6-4 油田的发现.

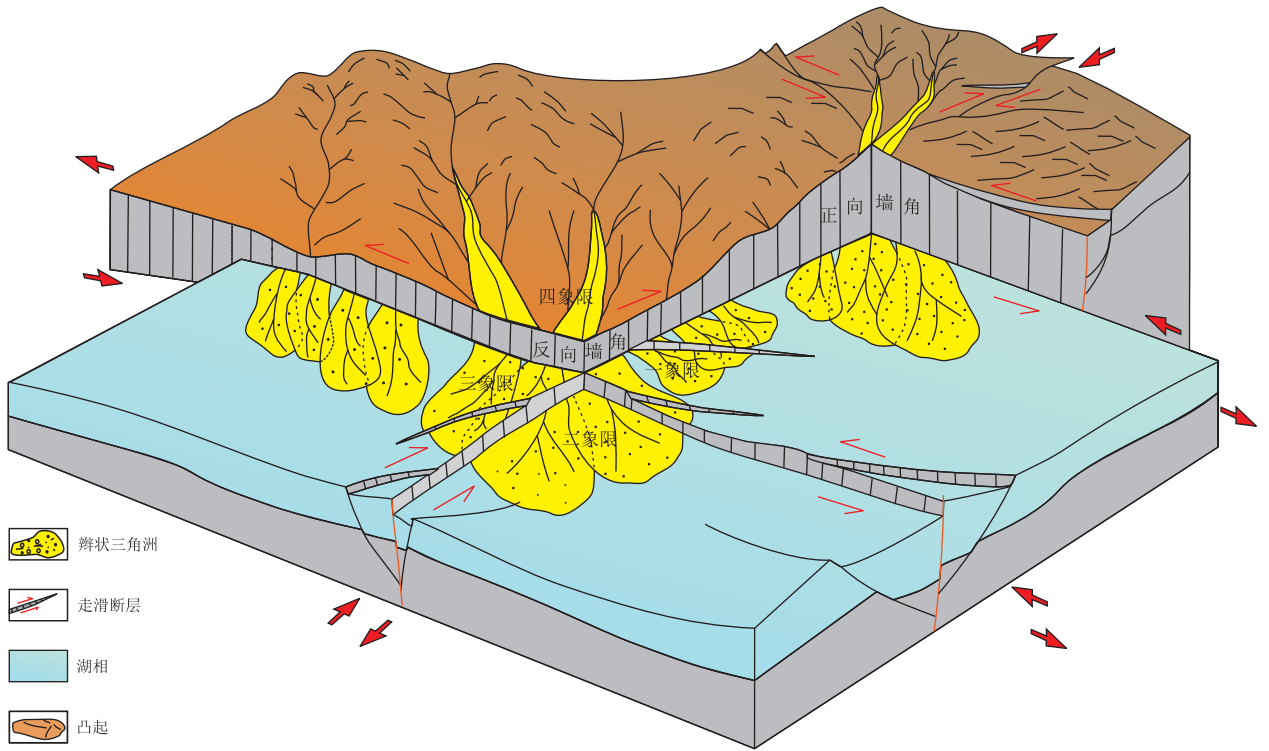


图 9 曹妃甸 6-4 油田共轭走滑带源-汇体系发育模式

Fig.9 Conjugate strike slip fault source sink system mode in CFD6-4 oilfield

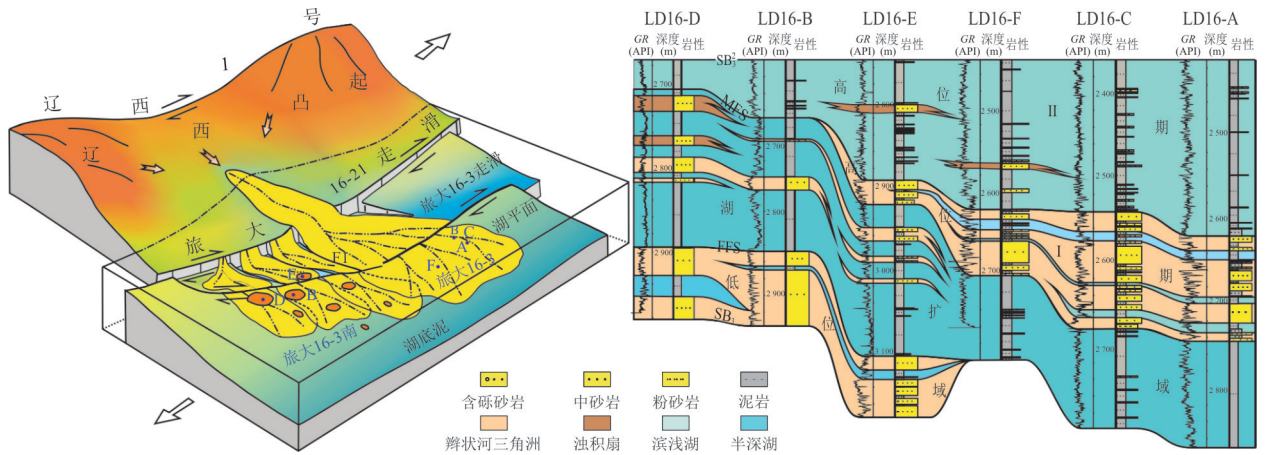


图 10 走滑断裂带源-汇控砂模式在旅大 16-3 油田应用

Fig.10 Application of the strike slip fault zone source sink system and its sand control pattern in the LD16-3 oilfield

### 4 渤海走滑断裂带源-汇体系勘探实例

在“走滑压扭成山控源,走滑张扭成谷控汇,走滑平移砂体叠覆”复杂走滑断裂带控砂模式指导下,渤海走滑断裂带富砂储层预测成效显著,指导了一批大中型油气田的勘探发现.这里仅以渤海辽中南洼旅大 16-3 油田走滑断裂带为例进行简单介绍.

旅大 16-3 油田位于辽中南洼西部斜坡带,紧邻辽西凸起,传统上认为辽西凸起在东三段沉积时期

为水下低凸起,大部分淹没于水下,供源能力有限,凸起周边难以形成富砂区,并且围区大量钻井在东三段均揭示湖相泥岩,使得辽西凸起周缘一度成为找砂禁区.

2014 年以来,在“走滑压扭成山控源,走滑张扭成谷控汇,走滑平移砂体叠覆”控砂模式指导下,对油田区源-汇系统重新解剖,提出 3 点地质新认识:(1)辽西一号走滑断裂在凸起南段呈 S 型,增压段一释压段交替出现,辽西凸起南段表现为两山夹一谷

的地貌特征,旅大 16-3 油田位于山谷前方,物源条件得天独厚;(2)旅大 16-3 油田位于旅大 16-21、旅大 16-3 两条走滑断层形成的叠覆型走滑断裂带,源—汇条件优越;(3)受右旋走滑作用影响,旅大 16-3 油田东三段砂体由南往北迁移。在上述新认识的指导下,创新运用层序—相控储层预测技术,对油田区东三段各期砂体的时空分布进行精细预测,预测成果得到后续探井证实。

从钻探结果看,旅大 16-3 油田东三段砂体平均厚度 98.6 m,最大 114.5 m。该油田东三段油层平均厚度 39.4 m,最大 87.9 m,测试获得了辽东湾南部地区的最高产能,实现了辽东湾探区东三段油气勘探的重大突破。岩屑组分等分析表明,东三段物源来自辽西凸起中生界地层,说明辽西凸起南段在走滑作用下能形成有效的局部物源。同时,油田区砂体十分富集,证实了走滑断裂带富砂的判断。最后,东三段砂体平移叠覆特征明显。在低位域和湖扩域时期,走滑活动较弱,砂体以垂向叠置为主,砂体主要发育于旅大 16-3 南构造。而高位域时期,走滑活动逐渐加强,砂体富集部位迁移至旅大 16-3 构造。旅大 16-3 油田的成功勘探,既充分证明同沉积走滑断裂“控源”、“控汇”和“控砂”作用,也体现了创新地质思维在油气勘探中的价值(图 10)。

## 5 结论

走滑断裂在渤海海域广泛分布,深刻影响着沉积盆地的形成与演化,同时也深刻影响了源—汇体系的形成和演化,走滑断裂带源—汇体系特征远比简单的伸展断裂带源—汇体系复杂。走滑断裂对源—汇体系的控制作用主要表现在:走滑断裂压扭作用控制了局部物源体系的形成;走滑断裂的张扭作用控制了沟谷低地的形成;走滑断裂的水平运动控制源—汇体系的横向迁移,即“走滑压扭成山控源,走滑张扭成谷控汇,走滑平移砂体叠覆”。走滑断裂带源—汇体系复杂多变,常见的源—汇体系发育模式有 S 型走滑断裂带源—汇体系模式、叠覆型走滑断裂带源—汇体系模式、帚状走滑断裂带源—汇体系模式以及共轭走滑断裂带源—汇体系模式。对于 S 型走滑断裂带源—汇体系,其物源体系常表现为多山头的“链状岛”特征,砂体主要沿紧邻各山头的右旋右阶走滑的弯曲部位富集,并沿走滑方向往往有一定的横向迁移;对于叠覆型走滑断裂带源—汇体系,各支走滑断层的主走滑部位常对应物源体

系,而末梢的叠覆位置对应发育沿断槽分布的狭长沟谷,两者的耦合控制了砂体的长距离搬运和富集;对于帚状走滑断裂带源—汇体系,主走滑断裂的挤压控制了凸起的抬升和物源剥蚀作用的加强,多条弧形断层控制了沟谷低地或断沟,两者的耦合决定了砂体的汇集方向和优质储层的分布;对于共轭走滑断裂带源—汇体系,处于拉张作用的凸起区常发育沟谷低地,对应湖盆区发育大型扇三角洲,砂体延伸远,平面分布范围大,处于压扭作用的凸起区遭受抬升,对应湖盆区发育小型扇三角洲,砂体延伸距离不远,相带窄。复杂走滑断裂带源—汇体系模式很好地指导了渤海古近系走滑带的储层预测,并推动了一批大中型油气田的勘探发现。上述成果对类似盆地的源—汇研究和储层预测具有很好的借鉴意义。

## References

- Allen, P. A., 2008. From Landscapes into Geological History. *Nature*, 451(17): 274—276. doi:10.1038/nature06586
- Allen, P. A., Allen, J. R., 1990. Basin Analysis—Principles and Applications. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 451.
- Chen, Z. L., Zhang, Y. Q., Chen, X. H., et al., 2001. Late Cenozoic Sedimentary Process and Its Response to the Slip History of the Central Altyn Tagh Fault, NW China. *Science in China (Ser. D)*, 44(1): 103—111.
- Christie-Blick, N., Biddle, K. T., 1985. Deformation and Basin Formation along Strike-Slip Faults. In: Biddle, K. T., Christie-Blick, N., eds., Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation. *SEPM Spec. Publ.*, 37: 1—34.
- Crowell, J. C., 1982a. The Tectonics of Ridge Basin, Southern California. In: Crowell, J. C., Link, M. H., eds., Geologic History of Ridge Basin, Southern California. Field Guide Book, Pacific Section; SEPM, 25—42.
- Crowell, J. C., 1982b. The Violin Breccia, Ridge Basin, Southern California. In: Crowell, J. C., Link, M. H., eds., Geologic History of Ridge Basin, Southern California. Field Guide Book, Pacific Section; SEPM, 89—98.
- Fan, Q. H., Lv, X. X., Li, B. H., 2008. Strike-Slip Fault and the Hydrocarbon Reservoir Formation. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 30(6): 76—80 (in Chinese with English abstract). doi:10.3863/j.issn.1000-2634.2008.06.018
- Gao, D., Cheng, R. H., Shen, Y. J., et al., 2016. Southwestern Provenance-Sedimentary System and Provenance Tectonic Setting of Eastern Sag in the North Yellow Sea Basin. *Earth Science*, 41(7): 1171—1187 (in Chinese

- with English abstract).doi:10.3799/dqkx.2016.095
- Jiang, Z. W., Wang, S. M., Xu, C. G., et al., 2013. Sedimentary Response to the Strike-Slip Activities of Tan-Lu Fault in Central and Southern Parts of East Liaodong Bay Area in Bohai Sea. *Geoscience*, 27(5): 1005—1012 (in Chinese with English abstract).
- Kim, S. B., Chough, S. K., Chun, S. S., 2003. Tectonic Controls on Spatio-Temporal Development of Depositional Systems and Generation of Fining-Upward Basin Fills in a Strike-Slip Setting; Kyokpori Formation (Cretaceous), South-West Korea. *Sedimentology*, 50: 639—665. doi: 10.1046/j.1365-3091.2003.00568.x
- Lee, S. H., Chough, S. K., 1999. Progressive Changes in Sedimentary Facies and Stratal Patterns along the Strike-Slip Margin, Northeastern Jinan Basin (Cretaceous), Southwest Korea: Implications for Differential Subsidence. *Sedimentary Geology*, 123: 81—102.
- Li, T. G., Cao, Q. Y., Li, A. C., et al., 2003. Source to Sink; Sedimentation in the Continental Margins. *Advance in Earth Sciences*, 18(5): 713—721 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Xia, Q. L., Shi, H. S., et al., 2015. Geomorphological Evolution, Source to Sink System and Basin Analysis. *Earth Science Frontiers*, 22(1): 9—20 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Q. H., Zhu, X. M., Li, S. L., et al., 2016. Pre-Palaeogene Bedrock Distribution and Source-to-Sink System Analysis in the Shaleitian Uplift. *Earth Science*, 41(11): 1935—1947 (in Chinese with English abstract).doi:10.3799/dqkx.2016.134
- Miall, A. D., 1984. Principles of Sedimentary Basin Analysis. Springer, New York, 490.
- Nilsen, T. H., McLaughlin, R. J., 1985. Comparison of Tectonic Framework and Depositional Patterns of the Hornelen Strike-Slip Basin of Norway and the Ridge and Little Sulpher Creek Strike-Slip Basins of California. In: Biddle, K. T., Christie-Blick, N., eds., Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation. *SEPM Spec. Publ.*, 37: 79—104.
- Nilsen, T. H., Sylvester, A. G., 1995. Strike-Slip Basins. In: Busby, C. J., Ingersoll, R. V., eds., Tectonics of Sedimentary Basins. Blackwell Science, Cambridge, 425—457.
- Qi, J. F., Zhou, X. H., Wang, Q. S., 2010. Structural Model and Cenozoic Kinematics of Tan-Lu Deep Fracture Zone in Bohai Sea Area. *Geology in China*, 37(5): 1231—1239 (in Chinese with English abstract).
- Reading, H. G., 1980. Characteristics and Recognition of Strike Slip Fault Systems. In: Balance, P. F., Reading, H. G., eds., Sedimentation in Oblique-Slip Mobile Zones. Blackwell Scientific Publications, U.S.A., 7—26.
- Ridgway, K. D., Decelles, P. G., 1993. Stream-Dominated Alluvial Fan and Lacustrine Depositional Systems in Cenozoic Strike-Slip Basins, Denali Fault System, Yukon Territory, Canada. *Sedimentology*, 40(4): 645—666.
- Walton, M. A., Gulick, S. P., Reece, R. S., et al., 2014. Dynamic Response to Strike-Slip Tectonic Control on the Deposition and Evolution of the Baran of Fan, Gulf of Alaska. *Geosphere*, 10(4): 680—691. doi: 10.1130/ges01034.1
- Wei, S. L., 2016. “ Source-Transportation-Sink ” Analysis Method and Application in Continental Lacustrine Basin Sedimentary System Based on 2D Seismic Data: An Example from Wenchang Formation of Long Axis Direction, Kaiping Sag, Pearl River Mouth Basin. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 23(4): 414—418 (in Chinese with English abstract).doi:10.6056/dkyqt201604002
- Wysocka, A., Swierczewska, A., 2003. Alluvial Deposits from the Strike-Slip Fault Lo River Basin (Oligocene/Miocene), Red River Fault Zone, North-Western Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(10): 1097—1112.
- Xu, C. G., 2006. Genetic Types of Paleogene Slope-Break Zones and Their Controls on Depositional System in Bohai Offshore. *China Offshore Oil and Gas*, 18(6): 365—371 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., 2013. Controlling Sand Principle of Source-Sink Coupling in Time and Space in Continental Rift Basins: Basic Idea, Conceptual Systems and Controlling Sand Models. *China Offshore Oil and Gas*, 25(4): 1—11 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C. G., 2016. Strike-Slip Transfer Zone and Its Control on Formation of Medium and Large-Sized Oil Fields in Bohai Sea Area. *Earth Science*, 41(9): 1548—1560 (in Chinese with English abstract). doi: 10.3799/dqkx.2016.508
- Xu, G. F., Lin, C. S., Liu, Y. F., et al., 2016. Evolution of Palaeo-Uplift and Its Controlling on Sedimentation of Kapushaliang Group of Early Cretaceous in Western Tabei Uplift. *Earth Science*, 41(4): 620—630 (in Chinese with English abstract).doi:10.3799/dqkx.2016.051

#### 附中文参考文献

- 范秋海, 吕修祥, 李伯华, 2008. 走滑构造与油气成藏. 西南石油大学学报(自然科学版), 30(6): 76—80.
- 高丹, 程日辉, 沈艳杰, 2016. 北黄海盆地东部坳陷侏罗纪西南物源—沉积体系与源区构造背景. 地球科学, 41(7): 1171—1187.
- 蒋子文, 王嗣敏, 徐长贵, 等, 2013. 渤海海域辽东带中南部郑

- 庐断裂走滑活动的沉积响应. 现代地质, 27(5): 1005—1012.
- 李铁刚, 曹奇原, 李安春, 等, 2003. 从源到汇: 大陆边缘的沉积作用. 地球科学进展, 18(5): 713—721.
- 林畅松, 夏庆龙, 施和生, 等, 2015. 地貌演化、源—汇过程与盆地分析. 地学前缘, 22(1): 9—20.
- 刘强虎, 朱筱敏, 李顺利, 等, 2016. 沙垒田凸起前古近系基岩分布及源—汇过程. 地球科学, 41(11): 1935—1947.
- 漆家福, 周心怀, 王谦身, 2010. 渤海海域中郯庐深断裂带的结构模型及新生代运动学. 中国地质, 37(5): 1231—1239.
- 魏山力, 2016. 基于地震资料的陆相湖盆“源—渠—汇”沉积体系分析——以珠江口盆地开平凹陷文昌组长轴沉积体系为例. 断块油气田, 23(4): 414—418.
- 徐长贵, 2006. 渤海古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制作用. 中国海上油气, 18(6): 365—371.
- 徐长贵, 2013. 陆相断陷盆地源—汇时空耦合控砂原理: 基本思想、概念体系及控砂模式. 中国海上油气, 25(4): 1—11.
- 徐长贵, 2016. 渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用. 地球科学, 41(9): 1548—1560.
- 徐桂芬, 林畅松, 刘永福, 等, 2016. 塔北西部早白垩世卡普沙良群沉积期古隆起演化及其对沉积的控制作用. 地球科学, 41(4): 620—630.