

Transfer Structure Characteristics of Dehui Fault Depression and Its Petroleum Geological Significance

Pan Wang^{1,3} Xiaoliang Lian³ Qin Ke³ Lei Wang³

1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

2. Shaanxi Provincial Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

3. Geological Research Center, Geophysics Research Institute, Bureau of Geophysical Prospecting INC., Zhuozhou, Hebei, 072750, China

Abstract

Transfer structure is a tectonic form generated in order to maintain the conservation of shortening amount, extension amount and vertical displacement amount in the process of spatial deformation of tectonic bodies in basins. Recent studies of petroliferous basins in eastern China show that hydrocarbon accumulation and enrichment are closely related to the transformation structure. Therefore, it is of great significance to study the transformation structure of Dehui fault depression in southern Songliao Basin to clarify the fault structure and select favorable exploration areas and zones. Based on the continuous structural interpretation of the newly processed 3D seismic data in Dehui area, the existence of the eastern boundary transformation structure of the Dehui fault depression is confirmed, and its characteristics are described by using seismic data and geophysical techniques. The Dedong fault consists of a series of NE oblique boundary faults. As a result, the structure, structural characteristics and stratigraphic development of Dehui fault Depression are different from south to north. In addition, the influence of the transfer structure on Dehui fault depression Dehui sedimentary characteristics and oil and gas accumulation is studied. The Dedong transfer structure controls the migration of the Dehui fault depression settlement center, the supply of sediment sources, the good sources-reservoir allocation relationship and the formation of structural traps, which indicates the direction for the next oil and gas exploration in Dehui fault depression.

Keywords

southern Songliao Basin; Dehui fault depression; Baojia Sag; trough transfer structure.

德惠断陷变换构造特征及其油气地质意义

王潘^{1,2,3} 连晓亮³ 柯钦³ 王雷³

1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 中国·陕西 西安 710065

2. 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 中国·陕西 西安 710065

3. 东方地球物理公司研究院地质研究中心, 中国·河北 涿州 072750

摘要

变换构造是盆地构造地质体在空间变形过程中, 为保持缩短量、伸展量以及垂向位移量的守恒而产生的构造形式。近年来对于中国东部含油气盆地的研究表明, 油气的成藏、富集与变换构造具有紧密联系, 因此在松辽盆地南部德惠断陷开展变换构造研究对于搞清单陷结构、优选有利勘探领域及区带具有重要意义。通过对德惠地区新处理三维地震资料开展连片构造解释, 证实了德惠断陷东边界变换构造的存在, 利用地震资料及地球物理技术手段描述了其特征, 德惠断陷由一系列NE向斜列边界断层组成, 这也导致了德惠断陷的结构、构造特征及地层发育情况等南北向具有一定差异性。此外研究了变换构造对德惠断陷沉积特征及油气成藏的影响, 德惠变换构造控制了德惠断陷沉降中心的迁移、沉积物源的供给, 也控制着良好的源储配置关系及构造圈闭的形成, 为德惠断陷下一步油气勘探指明了方向。

关键词

松辽盆地南部; 德惠断陷; 鲍家洼槽; 变换构造

1 引言

变换构造 (Transfer Structure) 是盆地构造地质体在空间变形过程中, 为保持缩短量、伸展量以及垂向位移量的守

恒而产生的构造形式。Dahlstrom (1969) 年首先将变换带 (Transfer Zone) 的概念应用于挤压构造体系的应变守恒的研究之中。他指出, 当逆冲断层带沿走向变化时, 可以见到一条主逆冲断层通过其他型式的构造 (如分支断层或褶皱) 传递到或者变换为另一条主逆冲断层。该挤压构造体系中的应变和位移量在区域上是守恒的, 但逆冲断层带各段中的单个构造样式不是一成不变的^[1]。Morley (1990) 将其应用

【作者简介】王潘 (1991-), 男, 中国河北涿州人, 本科, 工程师, 从事地震资料解释及地质综合研究。

于伸展盆地构造体系中，将所有这类构造或区带统称为“变换带”或“变换构造”，将其定义为“为保持区域伸展应变守恒而产生的调节伸展变形的构造体系”。根据边界断层的倾向关系，他将其分为同向系和共轭系，同向表示相同倾向边界断层间的位移变换，共轭则表示倾向相反的，共轭又可分为发散型（倾向相背）和汇聚型（倾向相向），根据平面上的接触关系，又可区分出趋近、叠覆、平行和共线4类^[2]。Faulds和Varga（1998）针对变换构造的应变、位移特征，将变换构造分为变换带（Transfer Zones）和调节带（Accommodation Zones）两类。变换带指具有较大走滑位移分量的横向断层，转换不同断层或伸展构造之间的应变，通常与区域构造线走向近于垂直或以大角度斜交；而调节带则是斜列断层及其间区域的应变、位移调节区，通常沿区域构造线的走向方向或与之呈小角度斜交^[3]。

对于变换构造的研究，起初主要以介绍、编译相关理论为主^[4]，国内学者胡望水（1994）最早将转换构造的概念引入，后胡望水、王燮培（1994）、刘德来（1994）等学者首先在松辽盆地北部进行了应用，分析了变换断层及其特征、变换断层成因等，主要引用了Morley的分类，并对松辽盆地北部变换带进行了归类^[5-6]。随后十几年间，国内学者结合我国各含油气盆地实例开展这类构造的研究，其中以渤海湾盆地的研究成果最为丰富，针对伸展盆地中不同尺度的变换构造进行了研究，并在其对于沉积或油气成藏的控制作用与影响方面取得了丰硕的成果^[7-13]。包括黄骅拗陷（周建生等，1997；郭光辉和漆家福，1999；王家豪等，2010）、临清拗陷（刘剑平等，2004）、济阳拗陷（张林等，2012）及整个渤海湾盆地（余一欣等，2008；杨明慧，2009）等。但在研究及应用过程中，出现了概念混淆的情况，国内一些学者多次提出了对于这类构造的定义及分类观点，如刘剑平等（2000）、陈发景等（2003，2011），基本借鉴了Morley、Faulds等人的观点，漆家福（2007）在总结了Morley和Faulds等人的研究成果基础之上，结合中国东部盆地实际情况，提出了更加切实可行的分类并广泛为研究人员接受。可以说，关于变换构造的研究始于松辽盆地，但在随后其得到长足发展的二十余年时间，却鲜有关于松辽盆地变换构造的研究成果发表。

前人曾对德惠断陷开展过多轮次构造解释，认为火石岭组、沙河子组是主要生烃层系，德惠断陷的勘探成果主要集中在中部凸起带；2018年，针对德惠断陷三维连片地震资料开展解释性目标处理取得较好效果，东部控陷断层及营城组内幕成像状况有了极大改善，笔者通过对重新处理连片三维资料开展精细解剖，落实了德东断层的分段性特征及其对断陷期地层，特别是营城组地层的控制作用，使得德惠断陷鲍家洼槽营城组作为具有巨大潜力的原生致密气勘探领域进入我们的视野。

2 地质概况

德惠断陷位于松辽盆地深层东部断陷带，北与王府断陷相邻，南与梨树断陷相接，向西受中央隆起带分隔与西部断陷带的长岭断陷相望，东部为盆地边界。德惠断陷是一个东西边界分别受德惠东断裂和德惠西断裂控制的不对称双断型断陷，发育有农西-龙王洼槽、华家构造带、鲍家洼槽等二级构造单元。松辽盆地南部深层断陷期普遍发育有火石岭组、沙河子组、营城组3套沉积地层，德惠断陷也不例外，并在登娄库组沉积时期进入向拗陷盆地的转换期（图1）。

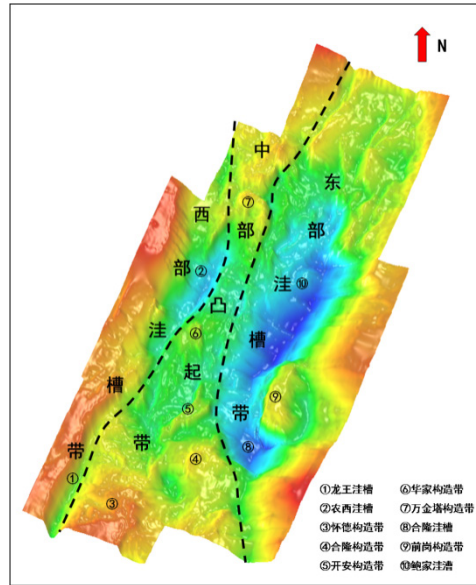


图1 德惠断陷构造单元划分

3 德东边界断层的变换构造特征

德惠断陷东西两侧分别受控于德东断裂和德西断裂，具有不对称双断式结构特征。通过对新连片三维地震资料精细解释发现，德东断层并非一条连续的边界断层，而是具有分段特征、呈NE向斜列分布的一组断裂，每段之间的地层以连续的“岩桥”相连接，两条边界断层叠覆部分具有走向斜坡的特征（图2）。按照Morley的分类^[2]，此类构造属于为保持区域伸展应变守恒而产生的调节伸展变形的构造体系，即存在伸展环境下的变换构造。由南向北，断陷东部边界分别受F1、F2、F3和F4几条控陷断层的控制，由AA’到EE’5条主测线方向的地震剖面可以看出，东部边界断层具有明显的分段性特征（图3）。

AA’剖面：德惠断陷受东、西两条边界断层控制，边界断层走向NNE，自火石岭组早期开始活动，消亡于营城组沉积时期。两条边界断层呈不对称状，西陡东缓，F1断层活动强度高于西边界断层，火石岭组沉积时期德惠断陷的边界断层强烈伸展裂陷，形成了巨厚的火石岭组地层；后又沉积了沙河子组和营城组地层，沙河子和营城组沉积时期，

东部边界断层 F1 活动强度明显高于西部边界断层；营城组末期发生了挤压反转，导致火石岭组、沙河子组及营城组地层被广泛剥蚀，与 T4 界面呈明显角度不整合相交。

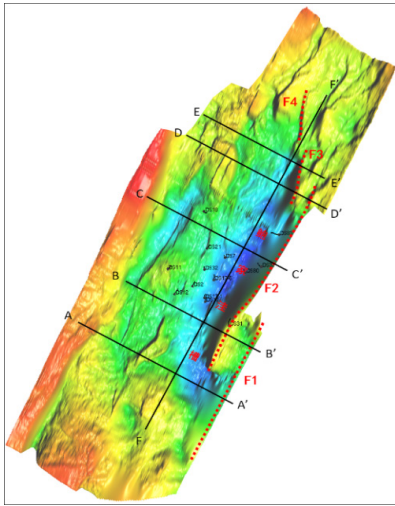


图 2 德惠断陷 T₅ 反射层立体显示图

BB' 剖面：东部边界由 F1、F2 两条控陷断层控制，控陷断层由火石岭组早期开始活动，活动强度及时间均有所不同，东部边界断层活动强度较高，下降盘地层厚度明显增加，F1 断层活动时间一直持续到拗陷期，F2 断层营城组停止活动；西部边界断层活动程度相对较低，但持续时间较长，一直持续到泉头组末期。火石岭组沉积时期裂陷作用强烈，形成了巨厚的沉积地层；沙河子组和营城组沉积时期华家构造带处于隆升状态，接受地层沉积厚度较小。另外农安断层的挤压走滑作用明显，致使农西洼槽地层倾角较大。

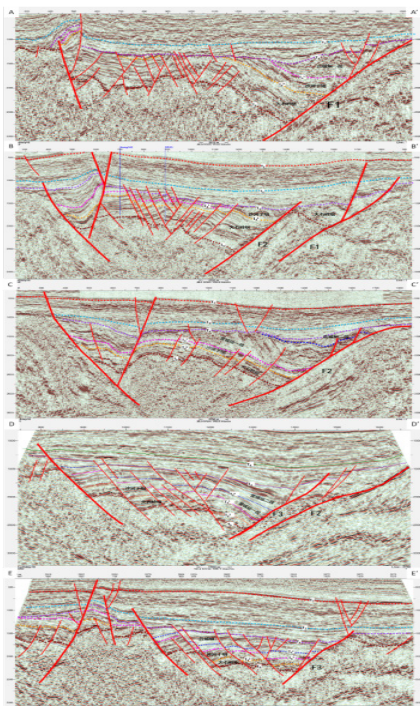


图 3 德惠断陷变换构造地震剖面特征

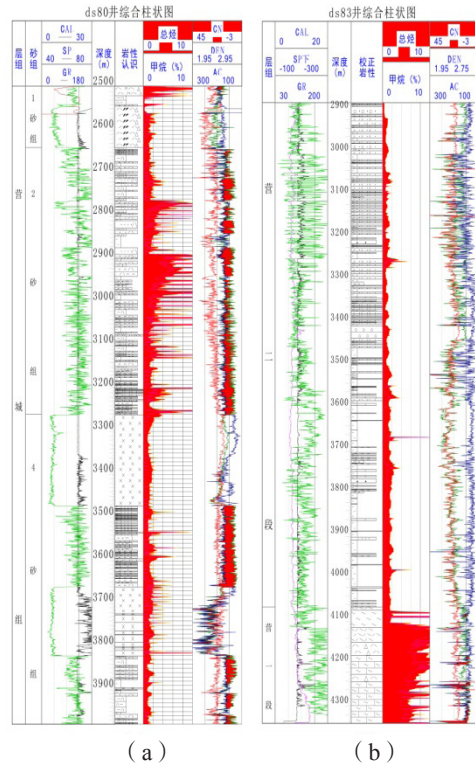


图 4 ds80 (a)、ds83 (b) 井综合柱状图

CC' 剖面：F2 断层变为东部边界的控陷断层，由火石岭早期开始活动，至营城组时期结束活动，上部由多条分支断层组成，向下合并为一条主断裂。西部边界断层由火石岭组早期开始活动，一直持续到泉头组末期。火石岭组和沙河子组沉积时期，两侧控陷断裂活动强度相当，至营城组沉积时期，东边界 F2 断裂开始强烈伸展裂陷作用，并伴随强烈的火山作用，形成了巨厚的营一段地层并包含了大量的火成岩，断陷东部局部地区还发育营二段地层（图 4）。

DD' 剖面：在德惠断陷北部，东部边界的控陷断层转换成了由 F3 和 F2 两条断裂控制。西部控陷断裂在火石岭组早期—拗陷期泉头组末期持续活动，东部控陷断裂则是火石岭组早期—营城组时期活动。火石岭组—沙河子组沉积时期，西部边界断层较为活跃，控制断陷的主要结构；营城组沉积时期东部控陷断裂 F3 活动强度较高，控制了断陷的结构及地层发育情况。此外，断陷的北部普遍发育营城组二段沉积，这是与断陷南部显著的区别。

EE' 剖面：继续向北鲍家洼槽的范围持续减小，郭家构造带将东、西两侧洼槽分隔开来，鲍家洼槽的东部由 F3 作为控陷断层，结构依旧表现为不对称的双断型断陷。东部控陷断层的活动强度减弱，西部控陷断层对沉积的控制作用逐渐显现。

从联络线方向（盆地轴向）来看（图 2 所示 FF' 线），变换带对于盆地结构及地层分布具有明显的控制作用。鲍家洼槽南段，控陷断裂在火石岭组沉积时期活动强度较大，在下降盘沉积了巨厚的火石岭组地层，营城组末期发生的挤压

反转导致火石岭组、沙河子组、营城组地层褶皱变形、抬升剥蚀。鲍家洼槽中段后期的挤压反转强度比南段低，该段最大的特征是形成了巨厚的营一段地层，并且伴随强烈的火山作用。鲍家洼槽北段在火石岭和沙河子组沉积时期东部控陷断层的活动相对较弱，营城组以后断裂活动开始增强，沉积了一定厚度的营城组地层（图5）。

4 变换构造的油气地质意义

4.1 对沉积作用的控制

4.1.1 控制沉降中心的迁移

变换带对于盆地结构及地层分布具有明显的控制作用，从断陷期各时期的地层残余厚度图来看（图6），火石岭组沉积时期，沉降中心在德惠断陷中南部的 ds1~ds4 附近，沉积厚度最大可达 1800m。到沙河子组沉积时期，地层厚度的厚值区分为南北两部分，南部在 ds4、ds8 附近地层厚度最大；北部厚度最大分布在 ds7~ds80 附近，面积较南部更大，地层厚度最大 700 余米。至营城组沉积时期，沉降中心迁移至断陷北部的 ds80~ds83 附近，地层厚度可达 1600m，而在断

陷的中南部，营城组广泛被剥蚀。可以看出，受边界断层活动和变换构造的控制，德惠断陷鲍家洼槽断陷期的沉降中心在逐步向北迁移。

吉海涛（2018）通过岩石样品和单井测井信息统计了德惠断陷深层各个时期暗色泥岩的平面展布特征；王新（2016）利用 Log (RT) /AC—波阻抗联合反演预测了德惠断陷深层泥岩的发育情况，又通过 TOC 反演预测了优质源岩的分布情况。二者的研究成果均表明德惠断陷火石岭组、沙河子组、营城组均具备生烃条件，并且生烃中心从火石岭组到营城组沉积时期逐步向北迁移^[18-19]。

由于变换构造在伸展盆地发展的过程中，控制着沉降中心的迁移，从而影响着生烃洼槽的展布规律；并且在断陷盆地中，边界断层通常以地堑或半地堑的构造样式控制着源岩的发育与成熟。因此导致了德惠断陷南、北勘探层系的不同，早期在鲍家洼槽南段、中部凸起带的华家构造带获得突破的井位均是以火石岭组、沙河子组为主要生烃层系，而目前在鲍家洼槽北段获得突破的 ds80、ds83 井均由营城组提供了良好的气源条件。

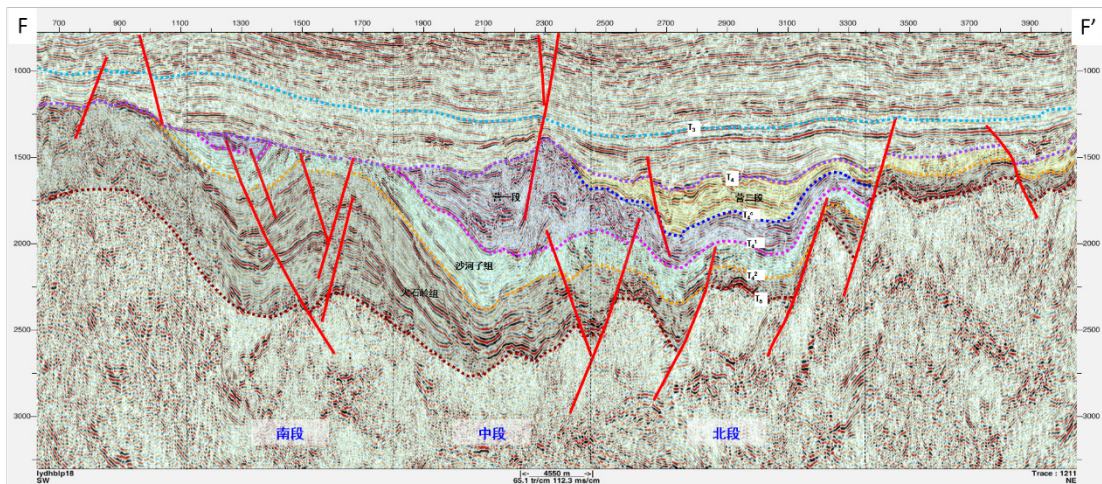
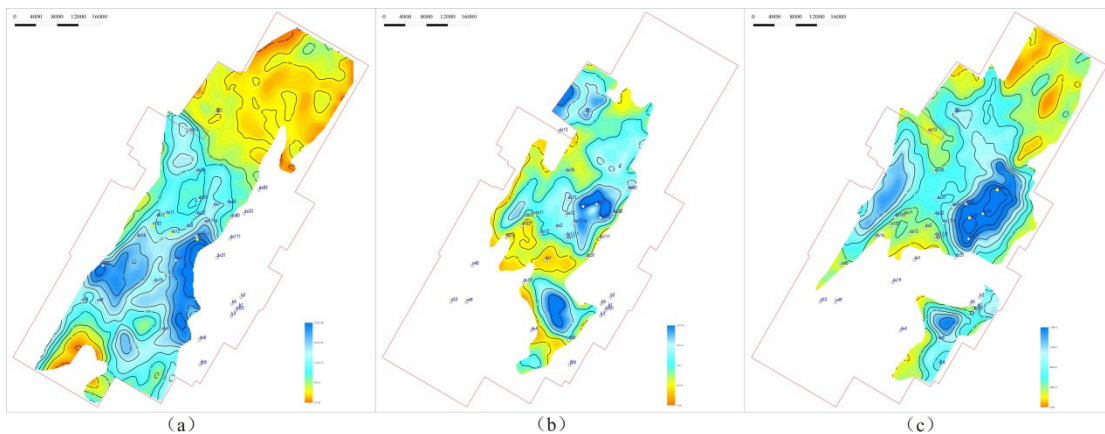


图5 变换构造对地层发育、断陷结构的控制作用



(a) 火石岭组残余厚度图；(b) 沙河子组残余厚度图；(c) 营城组残余厚度图

图6 松辽盆地南部断陷期地层残余厚度图

4.1.2 提供充足的物源供给

以德惠断陷东边界断层为例(图7),其由一系列NE向展布、NW倾的正断层构成,受伸展应力作用,断层上盘向下发生错动,而断层下盘则相对向上运动,发生抬升剥蚀,尤其是在变换带范围内尤为明显,断层下盘剥蚀产生的碎屑物质被水流搬运,沿变换带的走向斜坡注入湖盆,在断层上盘卸载、接受沉积,该过程可以认为是变换构造为盆内提供物源供给的过程。控陷断层分段连接处是沉积物源进入湖盆的重要通道,倾向相同的两条边界断层间的变换带表现为走向斜坡构造,是沉积物源由短轴方向注入湖盆的重要通道,加之边界断层下盘抬升剥蚀提供了充足的物源,因此大量碎屑物质由走向斜坡区被携带进入断陷湖盆。从德惠断陷的勘探实例来看,德东边界断层的各分段连接处在古地貌图上表现为古沟槽控砂的特征(图8a),对营二段地层进行地震属性预测也显示了同样的特征:营二段发育多个扇体,注入通道即为变换构造连接处的走向斜坡区(图8b);沿变换构造连接处走向斜坡方向的地震剖面可以看出,营二段地层具有明显前积特征(图9)。

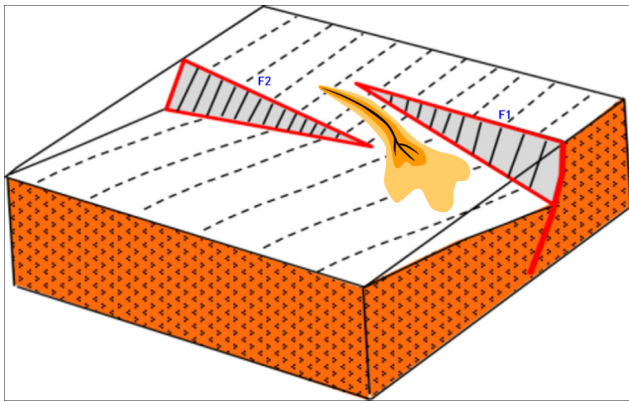


图7 构造变换带对沉积的控制作用

4.1.3 形成有利的源储配置关系

前已述及,变换构造在伸展盆地发展的过程中,不但控制了沉降中心及生烃中心的分布,还提供了充足的物源供给及沉积物源注入湖盆的通道,边界断层上升盘遭受剥蚀,碎屑物质沿断层间的走向斜坡注入湖盆,覆盖在边界断层下降盘富烃洼陷的源岩之上,形成良好的源储配置关系。

4.2 有利于构造圈闭形成

前人通过大量研究表明,变换构造带可以形成丰富的构造圈闭(Morley, 1990; 胡望水, 1994; 漆家福, 2007; 杨明慧, 2009; 王海学等, 2013)。以德惠断陷东部边界的同向边界断层间的变换构造为例,边界断层在伸展裂陷过程中的掀斜作用,可以形成上倾方向受反向断层遮挡的翘倾断块,这类构造是有利于油气聚集的构造圈闭(图10)。除此类构造外,与区域构造线方向平行(或小角度相交)的调节断层以及与区域构造线方向垂直(或大角度相交)的变换断层也广泛发育,形成丰富的局部构造,有利于多种类型的构造圈闭形成。

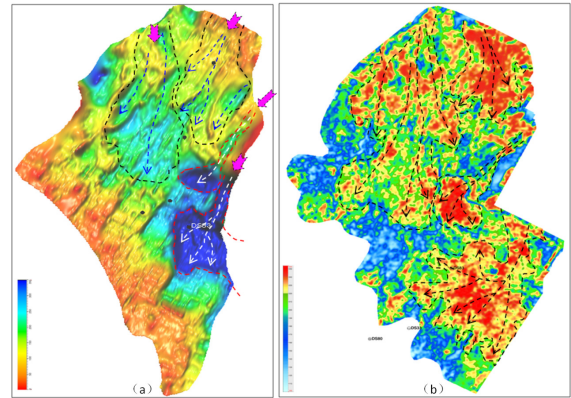


图8 德惠断陷营二段沉积时期古地貌立体显示图(a)及营二段地震属性预测图(b)

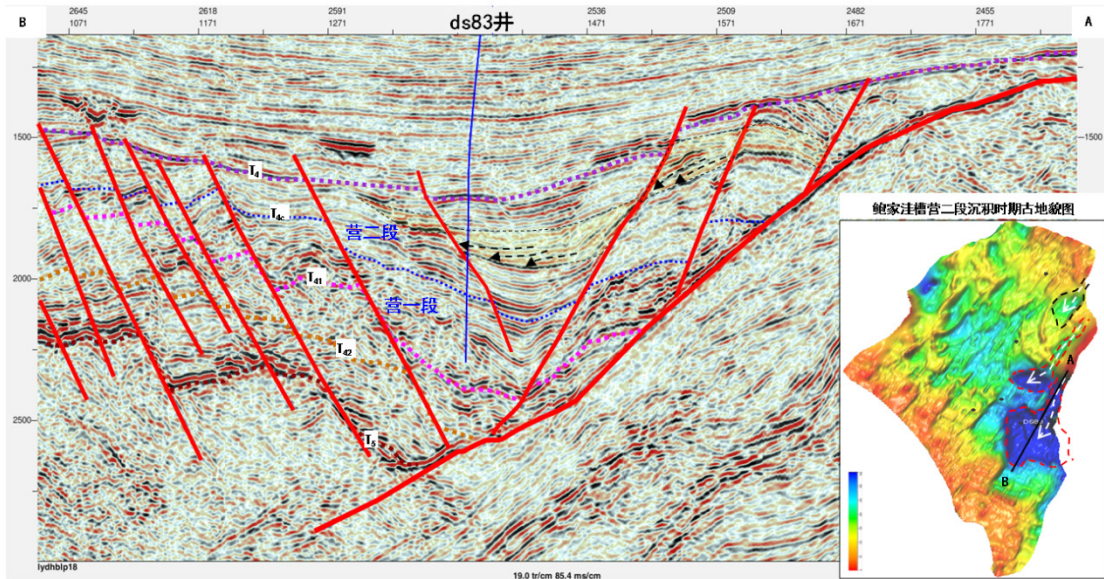


图9 沿变换构造的走向斜坡方向地震剖面

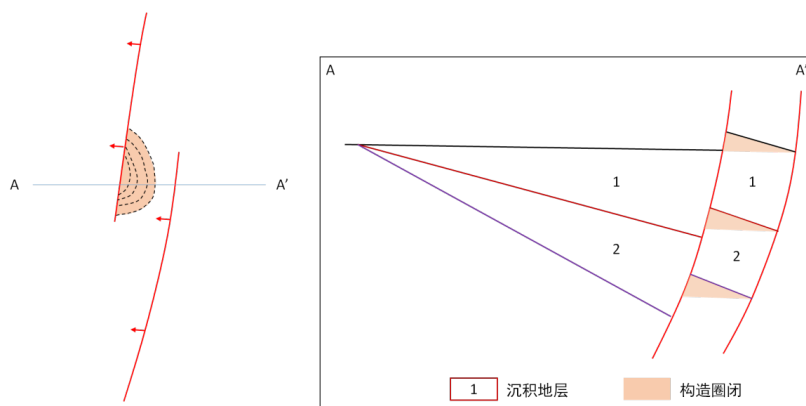


图 10 德东变换构造控制构造圈闭形成示意图

5 勘探成效

ds80、ds83 两大岩性目标勘探取得成功，得益于对鲍家洼槽营城组石油地质条件的重新认识，受德东变换构造的控制，鲍家洼槽北部营城组具备良好的生烃条件、储层及源储配置关系，证实了变换构造对于油气富集具有积极作用，坚定了下一步围绕变换构造勘探的信心。变换构造的勘探成果可进一步扩大，边界断层上升盘受反向断层遮挡的翘倾断块是有利的构造目标，而边界断层下降盘与生烃洼槽叠置的扇体储层是致密气勘探有利的构造 - 岩性目标。

6 结论

①德惠断陷东边界断层并非一条连续的断层，沿断陷走向方向具有明显的分段性，具有变换构造特征，各段结构与地层发育特征明显不同。

②德东边界断层控制着沉降中心的迁移，从火石岭组到营城组沉积期，德惠断陷鲍家洼槽的沉降中心逐步北移，并且构造变换部位也是沉积物源由短轴方向注入湖盆的重要通道。

③变换构造控制生烃洼槽的展布，沉积物源沿构造变换部位进入湖盆后覆盖在优质源岩之上，形成良好的源储配置关系；另外作为伸展盆地中构造运动较为活跃的区域，可形成多种类型的构造圈闭，有利于油气的聚集成藏。

参考文献

[1] Dahlstorm C D A. Balanced cross sections[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969(6):743-757.

[2] Morley C K, Nelson R A, Patton T L, et al. Transfer zones in the East African Rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts[J]. AAPG Bull, 1990, 74(8):1234-1253.

[3] Faulds J E, Varga R J. The role of accommodation zone and transfer zone in the regional segmentation of extended terranes[A]. In: Faulds J E, Stewart J H. Accommodation zones and transfer zones: the regional segmentation of the basin and range provinces[C]. Geology Society of America Special Paper,

1998(323):1-45.

[4] 胡望水. 裂谷盆地转换构造及其石油地质意义[J]. 国外油气勘探, 1994, 6(2):145-154.

[5] 胡望水, 王燮培. 松辽盆地北部变换构造及其石油地质意义[J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(2):164-172.

[6] 刘德来, 王伟, 马莉. 伸展盆地转换带分析——以松辽盆地北部为例[J]. 地质科技情报, 1994, 13(2):5-9.

[7] 周建生, 杨池银, 陈发景, 等. 黄骅坳陷横向变换带的构造特征及成因[J]. 现代地质, 1997, 11(4):425-433.

[8] 邬光辉, 漆家福. 黄骅盆地一级构造变换带的特征与成因[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2):125-128.

[9] 王家豪, 王华, 任建业, 等. 黄骅坳陷中区大型斜向变换带及其油气勘探意义[J]. 石油学报, 2010, 31(3):355-360.

[10] 刘剑平, 汪新伟, 汪新文. 临清坳陷变换构造研究[J]. 地质科技情报, 2004, 23(4):51-54.

[11] 张林, 吴智平, 李伟, 等. 济阳坳陷伸展背景下的变换构造研究[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(1):24-31.

[12] 余一欣, 周心怀, 魏刚, 等. 渤海湾地区构造变换带及油气意义[J]. 古地理学报, 2008, 10(5):555-560.

[13] 杨明慧. 渤海湾盆地变换构造特征及其成藏意义[J]. 石油学报, 2009, 30(6):816-823.

[14] 刘剑平, 汪新文, 周章保, 等. 伸展地区变换构造研究进展[J]. 地质科技情报, 2000, 19(3):27-32.

[15] 陈发景. 调节带(或传递带)的基本概念和分类[J]. 现代地质, 2003, 17(2):186.

[16] 陈发景, 汪新文, 陈昭年. 伸展断陷中的变换构造分析[J]. 现代地质, 2011, 25(4):617-625.

[17] 漆家福. 裂陷盆地中的构造变换带及其石油地质意义[J]. 海相油气地质, 2007, 12(4):43-50.

[18] 吉海涛. 松辽盆地德惠断陷深层烃源岩特征[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2018.

[19] 王新. 松南德惠断陷深层优质源岩的识别及资源潜力分析[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2016.