

# 准噶尔盆地四棵树凹陷古近系沉积体系及演化分析

张新见,张曰静,穆玉庆,商丰凯,杨东根,陈 林

(中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院,山东 东营 257015)

**摘要:**通过对露头及岩心的观察和研究后发现,准噶尔盆地四棵树凹陷古近系主要接受来自北部扎伊尔山以及南部依林黑比尔根山两大物源体系的供给。发育的沉积相类型多样:紫泥泉组沉积时期广泛发育滨浅湖亚相,仅在凹陷北部发育小型扇三角洲扇群,在南部山前带发育冲积扇相、辫状河流相以及辫状河三角洲相;安集海河组沉积时期古气候由干旱转湿润,受湖盆扩张的影响,在凹陷北部继承性发育退积型扇三角洲,而南部山前带仅发育辫状河三角洲相,凹陷中央在XH1井—T1井一线开始出现半深湖亚相。本文明确了四棵树凹陷古近系不同物源沉积体系的展布及演化规律,对该地区有利勘探方向的优选具有一定的借鉴意义。

**关键词:**沉积体系 沉积演化 古近系 四棵树凹陷 准噶尔盆地

**中图分类号:**TE122 **文献标志码:**A

## Analysis on sedimentary system and evolution of Paleogene in Sikeshu Sag, Junggar Basin

ZHANG Xinjian, ZHANG Yuejing, MU Yuqing, SHANG Fengkai, YANG Donggen, CHEN Lin

(Exploration and Development Research Institute of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257015, China)

**Abstract:** According to the observation and study of outcrops and cores, it was found that the Paleogene in Sikeshu Sag, Junggar Basin, mainly received supplies from Zaire Mountain in the north of the sag and Eren Habirga Mountain in the south of the sag. The sedimentary facies in this area are various. Shore – shallow lake subfacies are widely developed in the sedimentary period of the Ziniquanzi Formation, while small fan delta group is only developed in the north of the Sag, and alluvial fan facies, braided fluvial facies and braided river delta facies are developed in the southern piedmont zone. The paleoclimate changed from drought to wet in the sedimentary period of Anjihaihe Formation which led to the expansion of the lake basin. So retrogradation type fan deltas are developed inherently in the northern of the sag, and braided river delta facies are only developed in the southern piedmont zone. Semi – deep lacustrine subface began to appear in the area between well XH1 to well T1. In this study, the distribution and evolution of sedimentary systems of the Paleogene in Sikeshu Sag have been clarified. The results provide some reference for the optimal selection of favorable exploration direction in this area.

**Key words:** sedimentary system; sedimentary evolution; Paleogene; Sikeshu Sag; Junggar Basin

准噶尔盆地四棵树凹陷的勘探最早可追溯到上世纪30年代。1937年即在该地区发现了中国最早的油田之一——独山子油田。受勘探技术的限制,彼时对于四棵树凹陷的勘探进程较为缓慢。新中国成立后,在凹陷南部山前带发现了一系列背斜构造带,具有良好的聚油背景。针对该背斜构造带,中石油在古近系发现了多个油气田(含油气构造带):1996年发现了呼图壁气田,2000年发现卡因迪克油田,2002年发现了吐谷2井油藏,2003年发现了霍

尔果斯背斜油气藏,2005年发现安集海河背斜油气藏,2006年发现玛河气田。近年来,中石化在四棵树凹陷北部针对古近系部署的多口探井见到了油气

收稿日期:2018-12-17;改回日期:2019-01-28。

第一作者简介:张新见(1982—),硕士,工程师,主要从事石油地质综合解释研究。E-Mail: tedy.zhang@163.com。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05002-002);中国石油化工股份有限公司项目(P13021)。

显示,且部分井获得油流。例如 C114E 井在古近系试油获得 40 t/d 多的高产工业油流,并据此上报了  $1\,000 \times 10^4$  t 多的控制储量。

上述勘探成果显示四棵树凹陷古近系具有较大的勘探潜力。但整体来看针对该层系构造圈闭部署的探井成功率较低。统计后发现,虽然圈闭条件较为落实,但储层不发育是导致钻探失利的根本原因。如何预测有利储层成为制约该地区勘探部署的关键。本文拟通过钻井资料分析结合露头剖面的实地踏勘,对古近系沉积体系类型、平面展布及演化特征进行研究,以期为古近系有利勘探方向的优选提供一定的指导。

## 1 地质概况

四棵树凹陷位于准噶尔盆地西南缘,隶属于北天山山前冲断带,是一个在石炭系火成岩基底之上发育起来的中新生代凹陷,勘探面积约  $6\,300\text{ km}^2$ 。凹陷整体呈北西西走向,北部为车排子凸起缓坡区,东部为车排子主凸起区,西南方向紧邻依林黑比尔根山(图1)。前人研究证实,四棵树凹陷在古近纪主要接受来自北部扎伊尔山以及南部依林黑比尔根山两大物源体系的供给<sup>[1-5]</sup>。凹陷历经晚三叠世晚期—中侏罗世早期凹陷初形成阶段、中侏罗世晚期—古近纪渐新世凹陷沉降停止及缓慢沉降交替阶段以及新近纪中新世—第四纪凹陷剧烈沉降阶段等三个构造演化阶段<sup>[6]</sup>,使得该地区构造面貌较为复杂。

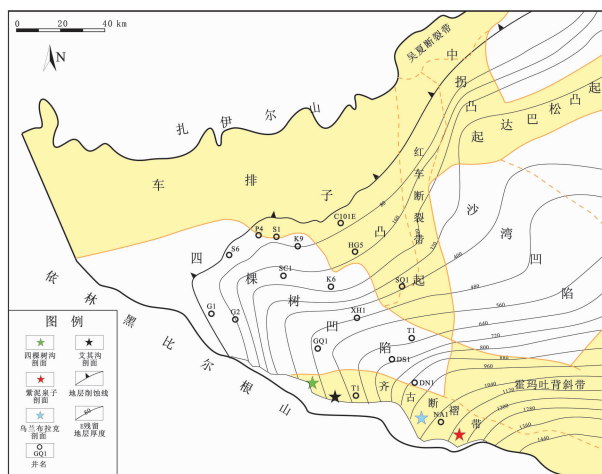


图1 准噶尔盆地四棵树凹陷构造区划

研究区内古近系自下而上发育紫泥泉子组和安集海河组。新近纪以来,来自特提斯构造域的强大挤压力使得北天山快速隆升,并向盆地冲断,在山前带形成一系列褶皱和断裂的同时<sup>[7]</sup>,在凹陷北部古

近系遭受强烈剥蚀,最终形成了地层由南向西、北方逐渐减薄至尖灭的展布特征。而厚度中心位于南缘山前断褶带,该处古近系厚度超过  $1\,400\text{ m}$ 。

## 2 沉积相类型

通过对四棵树凹陷南部山前带多条露头剖面的实地踏勘,结合研究区多口钻井资料的分析,认为研究区古近系沉积相类型丰富,主要发育有冲积扇相、河流相、扇三角洲相、辫状河三角洲相以及湖泊相等多种沉积相类型。

### 2.1 冲积扇相

冲积扇相主要发育于南部山前带古近系紫泥泉子组,在四棵树沟、艾其沟以及紫泥泉子等多个露头剖面中可观察到扇根亚相、扇中亚相以及扇端亚相三个亚相类型。虽然同一沉积亚相在不同观察点处的砾石粒径差别较大,但在岩石结构特征以及岩石相类型等方面均具有较高的相似性。

冲积扇扇根亚相发育的是一套粒度粗、分选差、基质支撑、局部含钙质的砾岩层。砾石粒径从数厘米到二十几厘米均有出现,磨圆好—差均可见到,说明不同来源的沉积物经历的搬运过程差异较大。砾岩层多呈块状,层理不甚发育,与下伏地层的冲刷界面清晰可见(图版1)。

冲积扇扇中亚相岩石类型多为泥质含量较高的杂色、褐色细砾岩、砂砾岩。砾石杂乱堆积无定向性排列。虽然该亚相地层在宏观上成层性差,但向上变细的正韵律特征清晰,可见多套正粒序砂砾岩叠加出现(图版2)。

冲积扇扇端亚相砾石的叠瓦状排列特征清晰,韵律性更加明显。在多个剖面点处观察到大型的槽状或板状交错层理。反映出冲积扇末期,水动力环境开始由重力流向牵引流过渡(图版3)。

### 2.2 河流相

凹陷南部艾其沟剖面及紫泥泉子剖面的紫泥泉子组中可识别出河床亚相、河漫亚相。河床亚相属于辫状河流相的底部沉积,可进一步划分为河床滞留和心滩两种沉积微相;而河漫亚相属于顶部沉积,可进一步划分为泛滥平原以及决口扇两种沉积微相。

河床滞留微相岩性多为灰色、褐灰色、杂色含砾砂岩及细砾岩。该微相在野外露头剖面多表现为不连续的透镜体,底冲刷界面特征清晰,砾石具定向排列(图版4)。

心滩微相底部为灰色含砾粗砂岩,向上逐渐变

细过渡为中—细砂岩,正粒序特征十分典型。沉积构造类型丰富多样,砂岩底部板状、楔状交错层理常见,顶部可见流水成因的波状层理、砂纹层理,植物碎屑以及虫孔构造十分常见(图版5)。在野外露头剖面中多期心滩砂体叠置连片发育,整体上呈条带状顺流分布。

泛滥平原微相由辫状河道间的泥质沉积物以及洪水期形成的越岸细粒沉积物组成(图版6)。岩石类型主要是灰色、褐灰色泥岩、粉砂质泥岩,局部可见灰黑色炭质泥岩以及薄层粉砂岩。断续的水平层理较发育,为典型的低能环境。

决口扇微相是洪水期河水冲出河床发育在泛滥平原之上的由粉细砂岩组成的薄层正粒序沉积物。沉积构造可见小型波状层理、流水成因的砂纹层理以及水平纹层,底部可见冲刷泥砾(图版7)。

### 2.3 扇三角洲相

来自北部扎伊尔山的碎屑物质冲出口后在四棵树凹陷北部斜坡区沉积了范围广大的扇三角洲扇群。扇群在平面上表现为多个小型扇三角洲齐头并进、互相叠置、连片发育的特点。从钻井取心上可识别出扇三角洲平原辫状水道、水道间以及扇三角洲前缘辫状分支水道、水下分流间湾四种沉积微相。

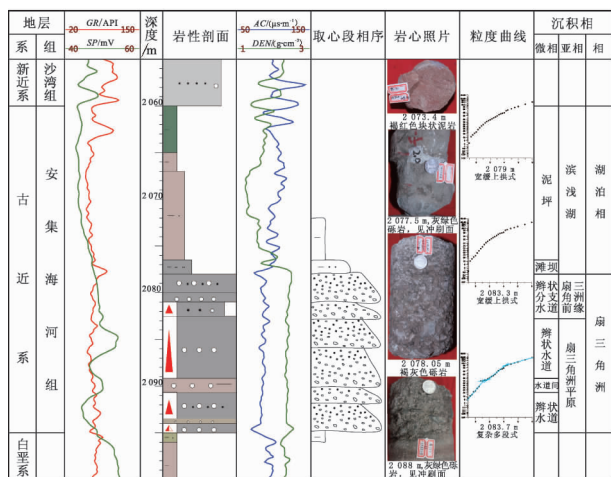


图2 S101井古近系安集海河组单井沉积相

从钻井取心的资料看,辫状水道砂体以反映快速充填的棕色、褐色砾岩、砂砾岩为主,砾石大小混杂分选差,磨圆度低,以棱角状、次棱角状为主,底冲刷界面清晰(图版12)。自然电位曲线呈高幅锯齿状特征(图2)。在大套辫状水道砂体之间发育的褐色、褐灰色砂质泥岩和薄层炭质泥岩为残存的水道间微相(图版8)。受辫状水道频繁改道、冲刷的影响,该微相较难完整保存下来,多以夹层的形式分布

于辫状水道砂体之间。

扇三角洲前缘亚相辫状分支水道是平原亚相辫状水道的水下延伸部分。水道入湖之后向前搬运的阻力增大,河道规模随之降低。沉积了以灰色、灰绿色砂砾岩、含砾砂岩、中细砂岩为主的辫状分支水道砂体(图版9)。砂岩的结构成熟度较高,底冲刷界面清晰,发育以粒序层理、块状层理为主的牵引流成因沉积构造。水下分流间湾微相是前缘辫状分支水道之间沉积的一套以灰色、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩为主的细粒沉积物。反映一种以还原为主的低能浅水沉积环境。

### 2.4 辫状河三角洲相

在四棵树凹陷南部的艾其沟、乌兰布拉克、紫泥泉子三条露头剖面的安集海河组以及乌兰布拉克剖面的紫泥泉子组发育辫状河三角洲,从岩性组合特征可划分为辫状河三角洲平原以及辫状河三角洲前缘两种亚相类型。

辫状河三角洲平原亚相岩性组合特征为灰色中、细砂岩、含砾砂岩、粉砂岩与紫红色泥岩、粉砂质泥岩互层沉积。“灰砂红泥互层”的岩性组合特征反映出以氧化作用为主的陆上沉积环境。包括水上分支河道和分流间湾两种微相类型。

水上分支河道微相砂体单层厚度可达十几米,岩性以中、细砂岩及含砾砂岩为主,结构成熟度高,具有较好的分选和磨圆。底部砾石叠瓦状排列,底冲刷构造常见,向上正粒序特征清晰。在露头剖面中表现为多套、多期透镜状河道砂体叠置连片的特征(图版10-11),可见较大型的板状交错层理以及槽状交错层理。分流间湾微相岩石类型主要以灰色、褐灰色泥岩、粉砂质泥岩以及灰黑色炭质泥岩为主。受水上分支河道频繁改道、冲刷的影响,分流间湾微相较难完整保存下来,常以薄层状断续分布于水上分支河道砂体之间。

辫状河三角洲前缘亚相岩石组合特征为灰色、绿灰色泥岩、砂质泥岩夹灰色中、细砂岩。在露头剖面中,前缘亚相地层颜色表现出明显的还原特征,与下部平原亚相地层颜色有明显的区别。在前缘亚相中可识别出水下分支河道、水下支流间湾以及席状砂三种微相类型。水下分支河道微相岩石类型以灰色中、细砂岩为主,局部可见粗砂岩。砂岩正粒序特征明显,底冲刷界面清晰,可见楔状以及槽状交错层理(图版15)。水下支流间湾以灰色及深灰色泥岩、砂质泥岩为主,碳屑及植物根茎常见。席状砂微相岩性以粉砂岩为主,偶见细砂岩(图版13),粒度适



中、分选好,单层厚度 3 ~ 5 m,具有较好的储集性能。

## 2.5 湖泊相

四棵树凹陷古近系发育范围广大的滨浅湖亚相,深凹区在安集海河组发育以暗色泥岩为主的半深湖亚相<sup>[8]</sup>。滨浅湖亚相砂地比介于 18.1% ~ 22.5% 之间,可进一步细分为滨浅湖泥坪以及滩坝两种沉积微相。滨浅湖泥坪主要由灰色、灰绿色以及褐灰色泥岩、粉砂质泥岩组成,沉积构造以反映较弱水动力条件下形成的砂纹层理、波痕以及水平纹理为主,可见薄层碳质泥岩或煤线。滩坝砂岩粒度较细,以粉砂岩为主,分选较好、磨圆度较高,多以薄层滩砂的形式出现。发育各种波浪成因的砂纹层理、波痕以及生物扰动等多种沉积构造(见图版 18-19)。

安集海河组沉积时期,凹陷深凹区在 XH1 井—T1 井一线发育以大套富含有机质的暗色泥岩为主的半深湖亚相。从钻井揭示的地层岩性序列来看,该套暗色泥岩最厚可达 600 m 多。前人对其生烃潜力进行过诸多有益研究<sup>[9-12]</sup>,虽然在烃源岩面积及资源量等方面的认识不尽相同,但普遍认为是四棵树凹陷最为重要的烃源岩之一。

## 3 沉积体系展布及演化特征

### 3.1 古气候条件

气候条件是控制沉积作用的主要因素之一。气候变化通过对温度和降雨量的控制,影响了剥蚀区的物理、化学以及生物风化作用,最终控制了物源区碎屑物质供应量。同时,由气候变化引起的湖平面

升降对于沉积体系的展布起到了重要的控制作用。

李博通过对四棵树凹陷南缘多个古近系露头剖面样品的微量元素特征进行分析后认为,紫泥泉子组沉积时期气候炎热干旱,以淡水沉积环境为主<sup>[13]</sup>;李骞等人综合沉积相分析与氧碳同位素试验结果,得出了安集海河组大部分时期气候以温暖湿润为主,末期气候干旱寒冷的结论<sup>[14]</sup>;邵雨等人通过碎屑岩颜色特征及古生物化石组合研究后认为,古近纪紫泥泉子组沉积时期为半干旱气候条件,而安集海河组沉积时期为湿润—半湿润气候条件<sup>[15]</sup>。虽然不同学者对古近纪古气候的研究手段不尽相同,但基本都得出了较为一致的结论:紫泥泉子组沉积时期古气候呈现炎热干旱的特点,而安集海河组沉积时期古气候整体以湿润—半湿润特征为主。

### 3.2 沉积体系展布及演化

前文述及,古近纪四棵树凹陷主要接受北部扎伊尔山以及南部依林黑比尔根山两大物源体系供给。受炎热干旱气候环境影响,紫泥泉子组沉积时期物源供给匮乏,凹陷内整体以滨浅湖亚相为主。北部物源沿凹陷边缘发育多个小型扇三角洲,扇体推进距离短,相变迅速(图 3),整体上表现为多个小型扇三角洲叠置而成的扇群沿凹陷北部近北北东方向展布。来自南部伊林黑比尔根山的物源沿山前带发育多个冲积扇,在冲积扇末端辫状水道冲出扇体形成了范围广泛的冲积平原背景下的辫状河流相。在四棵树沟、艾其沟以及紫泥泉子剖面中均可完整观察到冲积扇相—辫状河流相沉积体系。其中山前带东部物源供给相对充足,辫状河流携碎屑物质入湖在 NA1 井—DN1 井一线发育辫状河三角洲(图 4)。

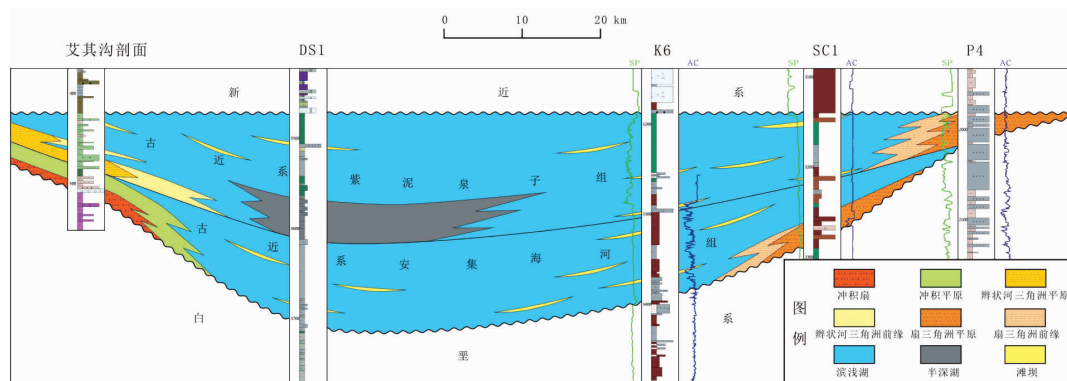


图 3 过艾其沟剖面—DS1 井—K6 井—SC1 井—P4 井近南北向古近系沉积相剖面

安集海河组沉积时期,在湿润—半湿润气候环境影响下,湖盆范围明显扩张。北部扎伊尔山提供的物源在凹陷边缘继承性发育退积型扇三角洲(图 3),扇体的展布范围明显缩小。凹陷南部此时由于

基准面上升,不再发育冲积扇—辫状河沉积体系,主要发育辫状河三角洲沉积体系。而凹陷南部此时主要发育辫状河三角洲相。艾其沟剖面、紫泥泉子剖面以及 T1、T6 井处均以辫状河三角洲平原亚相为

主, 乌兰布拉克剖面处发育辫状河三角洲前缘亚相, 四棵树沟剖面处则发育的是滨浅湖亚相。受湖盆扩张的影响, 在凹陷深凹区的 XH1 井—T1 井一线发育以暗色泥岩为主的半深湖亚相(图5)。

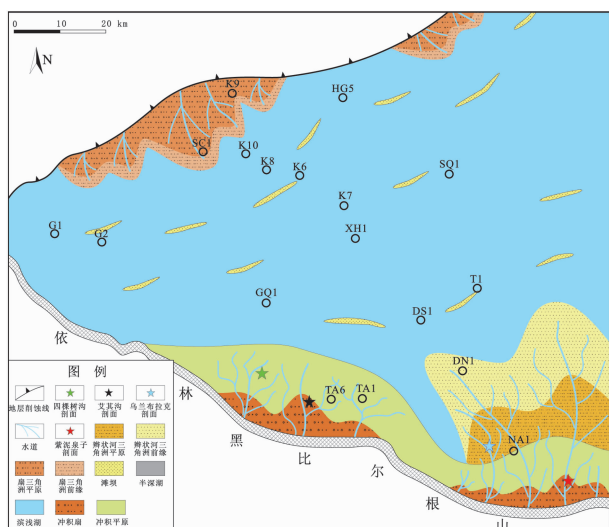


图4 研究区紫泥泉子组沉积体系

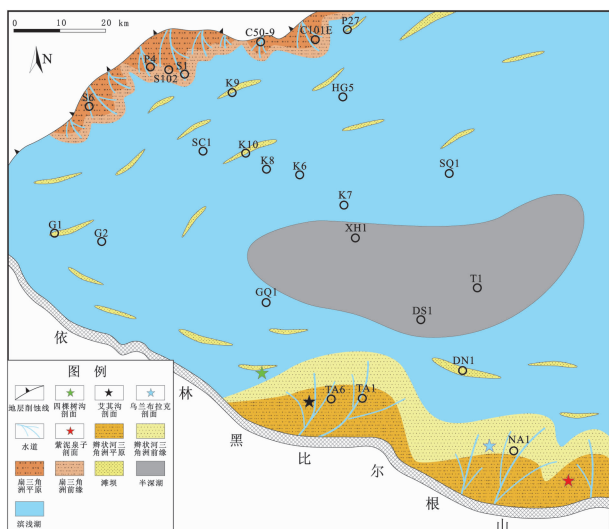


图5 研究区安集海河组沉积体系

## 4 结论

(1) 四棵树凹陷在古近纪主要接受北部扎伊尔山以及南部依林黑比尔根山两大物源体系的供给。野外露头及岩心观察可知该时期发育多种沉积相类型: 湖泊相、扇三角洲相、冲积扇相、辫状河流相以及辫状河三角洲相。

(2) 受干旱气候环境影响, 紫泥泉子组沉积时期湖盆范围较小, 广泛发育滨浅湖亚相。在凹陷北部沿湖岸线发育小型扇三角洲, 扇体具有延伸距离短、横向彼此叠置连片发育的特点; 凹陷南部山前带

发育东、西两个冲积扇群, 西部冲积扇物源供给较弱, 发育冲积扇—辫状河流沉积体系。东部冲积扇物源供给相对充足, 发育冲积扇—辫状河流—辫状河三角洲沉积体系。

(3) 安集海河组沉积时期为湿润—半湿润气候环境, 湖盆范围逐渐扩大。整体仍以滨浅湖亚相为主, 在凹陷深凹区的 XH1 井—T1 井一线开始出现半深湖亚相。凹陷北部继承性发育小型扇三角洲扇群。而凹陷南部受湖侵影响则主要发育辫状河三角洲相。

### 参考文献:

- [1] 沈玉林, 郭英海, 李壮福, 等. 准南山前断褶带紫泥泉子组层序地层及岩相古地理[J]. 新疆石油地质, 2006, 27(2): 169-172.
- [2] 杨勇, 陈世悦, 王桂萍, 等. 准噶尔盆地车排子地区古近系沉积相研究[J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(3): 5-9.
- [3] 高志勇, 韩国猛, 朱如凯, 等. 准噶尔盆地南缘古近纪—新近纪前陆盆地沉积格局与演变[J]. 古地理学报, 2009, 11(5): 491-502.
- [4] 沈玉林, 郭英海, 李壮福, 等. 准噶尔盆地南缘山前断褶带紫泥泉子组沉积相[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(6): 716-734.
- [5] 肖立新, 陈能贵, 张健, 等. 准噶尔盆地南缘古近系紫泥泉子组沉积体系分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(3): 426-431.
- [6] 庄新明. 准噶尔盆地四棵树凹陷石油地质特征及勘探方向[J]. 新疆地质, 2006, 24(4): 429-433.
- [7] 哈丽娅, 喻春辉, 热依汗古丽, 等. 准噶尔盆地北天山山前主要勘探目的层沉积格架[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(6): 476-479.
- [8] 覃军, 林小云, 潘虹, 等. 准噶尔盆地南缘四棵树凹陷及周缘油源关系研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2014, 33(3): 395-400.
- [9] 黄彦庆, 侯读杰. 准噶尔盆地四棵树凹陷原油地球化学特征分析[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(2): 282-286.
- [10] 程欣. 准噶尔盆地四棵树凹陷油气资源评价[D]. 荆州: 长江大学, 2013: 16-29.
- [11] 郭春清. 准噶尔盆地四棵树凹陷生油潜力评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2005: 45-46.
- [12] 张枝焕, 向奎, 秦黎明, 等. 准噶尔盆地四棵树凹陷烃源岩地球化学特征及其对车排子凸起油气聚集的贡献[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 326-337.
- [13] 李博. 准噶尔盆地南缘紫泥泉子组沉积特征研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2011: 70-75.
- [14] 李骞, 田孝茹, 胡瀚文, 等. 天山北缘安集海河组湖相灰岩氧碳同位素变化的古环境意义[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(3): 398-409.
- [15] 邵雨, 雷德文, 纪有亮, 等. 准噶尔盆地南缘古近—新近系沉积相及储层特征[M]. 北京: 石油工业出版社, 2016: 68-69.

(编辑 杨芝文)