

准噶尔盆地哈拉阿拉特山地区风城组烃源岩的发现及石油地质意义

张善文

(中国石化 胜利油田分公司, 山东 东营 257001)

摘要:准噶尔盆地北缘油气地质条件复杂,勘探难度大。通过哈拉阿拉特山地区开展了盆地构造属性、地层分布和勘探潜力等方面的研究,认为在裂陷-拉张构造背景下,早二叠世为半封闭残留海相沉积环境,并伴有火山活动,为优质烃源岩的发育提供了条件。受海西晚期-印支期构造运动影响,哈山向盆地方向强烈逆掩,造成了下二叠统的多期推覆叠加和上二叠统的大规模抬升剥蚀,现今盆地边界较沉积期大大萎缩。运用断层-褶皱构造解析技术,建立了哈山逆冲推覆+后期走滑的构造解释模式,发现了哈山推覆构造带之下发育风城组烃源岩,并且其分布向北至少可以延伸至达尔布特断裂附近,有利分布面积较前期扩大了1 000 km²;烃源岩有机质丰度高,热演化程度适中。油源对比结果显示,研究区白垩系、侏罗系、二叠系以及石炭系不同层系的原油主要来自该套烃源岩。推覆体下部下二叠统生油层系的发现,扩大了找油范围,乃至对整个北疆地区油气勘探具有重要影响。

关键词:构造地质模型;盆地性质;风城组;二叠系;哈山地区;准噶尔盆地北缘

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Identification and its petroleum geologic significance of the Fengcheng Formation source rocks in Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin

Zhang Shanwen

(Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257001, China)

Abstract: The petroleum geological conditions are very complex in the northern margin of the Junggar basin, imposing great challenges to petroleum exploration. Based on the research of the tectonic attribute, stratigraphic distribution and exploration potential of the basin recently, it is concluded that the sedimentary environment in the Early Permian was an semi-enclosed remnant sea that was formed on the background of rifting and extensional tectonics movements and associated with volcanic activity, providing favorable conditions for the deposition of high-quality source rocks. Influenced by the tectonic movements of the Late Hercynian and Indosinian, the Hashan thrust towards to the basin, resulting in the superimposition of multi-phase thrust nappes in the Lower Permian and extensive uplifting and erosion of the Upper Permian. As a result, the present boundary of the basin is significantly smaller than that of the depositional period. The structure interpretation model of thrust nappe and later strike-slip of Hala'alt is established with the technology of fault-fold structural analysis. Source rocks of the Fengcheng Formation are identified in the Hala'alt nappe structure belt. And it is believed that the source rocks can extend northward to the Daerbute fault, enlarging the distribution area of source rocks by 1 000 km². The source rocks have high organic content and moderate thermal maturity, and their oil-source correlation reveals that the oil in the Cretaceous, Jurassic, Permian and Carboniferous all are derived from this set of source rocks. The identification of this source sequence underlying the Lower Permian thrust nappe enlarges the area of exploration and even is of great significance for hydrocarbon exploration in the whole northern Junggar Basin.

Key words: structure geological model, basin nature, Fengcheng Formation, Permian, Hala'alt area, northern margin of Junggar Basin

准噶尔盆地为早海西期变形基底上发育的典型多旋回复合叠加盆地^[1]。二叠系既是主要源岩层系,也

是重要的勘探目的层^[2-5]。准噶尔盆地西北缘是准噶尔盆地主要的油气聚集区之一,目前已发现克拉玛依、

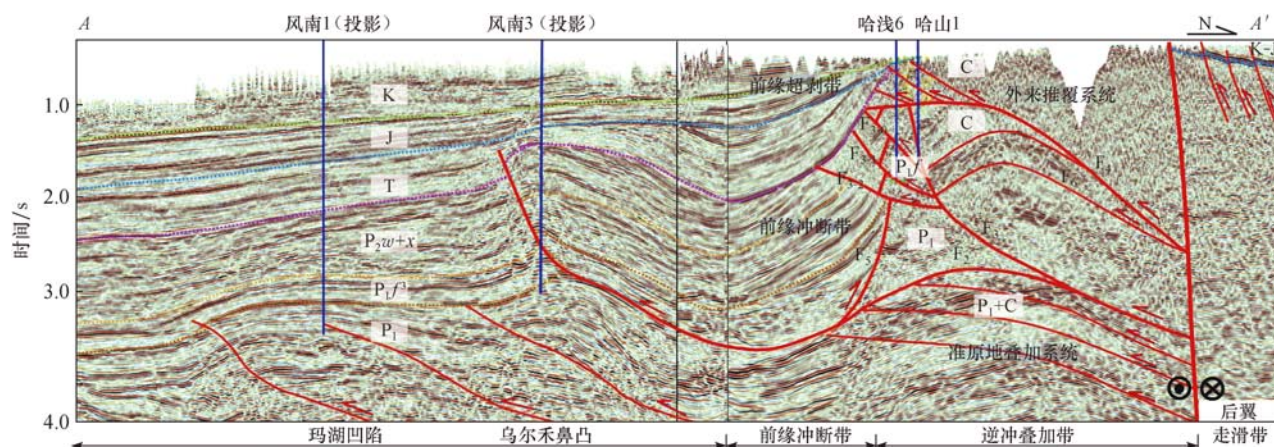


图2 准噶尔盆地北缘哈山地区山前带构造地质解释方案

Fig. 2 Structural geological interpretation scheme of the foothill belt in Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin

加形成双重构造。剖面上划分为上、下两套地层结构,两者之间以大型的逆冲推覆断裂相分隔,下部地层主要为下二叠统,上部地层主要为石炭系。以 F_2 双重叠加构造顶板滑脱断层、 F_3 逆冲推覆断裂、 F_5 逆推反冲断裂和达尔布特断裂为界,可细分为前缘超剥带、外来推覆系统和前缘冲断带、准原地叠加系统4个地质结构单元(图2)。

前缘超剥带表现为南东倾斜坡,白垩系和侏罗系呈“底部超覆、顶部削截”特征。外来推覆系统主体为石炭系火成岩直接覆盖于准原地叠加系统下二叠统之上,前翼端局部残留下二叠统,其中 F_{3-2} 、 F_3 和 F_4 断层之间的结构单元主要为下二叠统风城组(P_1f),孢粉化石分析以冷杉多肋粉属 *Striatoabietes*、单束多肋粉属 *Protophloxypinus*、哈姆粉属 *Hamiapollenites* 和叉肋粉属 *Vittatina* 为主,属我国新疆北部早二叠世的典型孢粉化石组合^[9]。因此,逆冲推覆断裂 F_3 、 F_4 及伴生断裂可构成油源断裂,具备“下生上储”型成藏组合。前缘冲断带地层主要为三叠系和二叠系,在深部准原地双重构造楔入过程中被动抬升,被 F_3 逆冲断裂切割形成倾向南东的“帽檐”构造,可形成“下生上储”或“自生自储”型成藏组合。准原地叠加系统表现为下二叠统和石炭系多个推覆体叠加的双重构造,发育背斜、断鼻、断块构造圈闭,具备“自生自储”和 F_2 顶板膏泥质岩滑脱断层涂抹有利保存条件。

1.2 多口探井获油流

在构造地质模型指导下部署了多口探井,目前完钻探井8口,在白垩系、侏罗系、二叠系和石炭系多个层系见到良好的油气显示。在浅层前缘超剥带下白垩统清水河组(K_1q)和下侏罗统八道湾组(J_1b)获得稠油工业油流,上报控制及预测石油地质储量5300多万吨。哈浅6和哈山1井在外来推覆系统石炭系凝灰岩、火山角砾岩与前缘冲断带下二叠统风城组云质岩、泥岩裂缝型储层中

油气显示活跃。哈山1井钻遇石炭系厚度2038 m,油气显示累计544.1 m/49层;钻遇风城组厚度440 m,油斑310 m/68层;风城组2077.46~2205.0 m井段常规试油,日产原油1.31 t,密度0.8927 g/cm³,粘度58.7 mPa·s(50℃),凝点-12℃,含硫0.24%,属低含硫中质原油。哈浅6钻遇石炭系厚度1165 m,富含油23.86 m/5层,油斑422.34 m/46层;钻遇下二叠统风城组厚度1494 m,油斑210.8 m/38层,油迹219.7 m/41层;对2717~2749 m和2757~2780 m井段酸化压裂试油,日产原油1.92~6.87 t,密度0.907~0.9086 g/cm³,粘度314~411 mPa·s(50℃)。部署探井的成功,在一定程度上也表明了所建立的构造地质模型的合理性与正确性。

1.3 推覆体下发现优质烃源岩

哈浅6、哈山1井在 F_3 逆冲推覆断裂之下揭示风城组近1500 m的暗色泥质岩地层。岩心观察及薄片鉴定,主要为深灰色粉砂质显微晶白云岩、泥质微晶白云岩、白云质泥岩、泥质粉砂岩和泥岩,与玛湖凹陷风城组钻遇岩性组合特征相似。区域上风城组整体表现为灰色、深灰色泥质岩类(泥岩、白云质泥岩、粉砂质泥岩)与白云质岩类(泥-粉晶白云岩、泥质白云岩、粉砂质白云岩和凝灰质白云岩)互层,底部见火山岩类(凝灰质泥岩、凝灰岩、流纹质弱熔结角砾凝灰岩、安山岩、流纹岩),其中,风城1、风南5、风7等多口井中上部发育厚层的膏质粉砂岩和膏质泥岩。上述岩性组合整体显示出陆源碎屑岩、爆发相火山岩与化学沉积的碳酸盐岩叠合组成的混合沉积特征^[10],且常见水平层理、微波状层理和纹层理,表明为还原条件的低能安静水体沉积环境。乌40、风7、风9等井岩石薄片鉴定,见有孔虫、棘皮、藻类(葛万藻、管状藻、伊万诺夫藻)等海相生物化石和海绿石。电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)岩石样品光谱分析表明,风城组中下部硼

元素含量较高,为 $100 \times 10^{-6} \sim 500 \times 10^{-6}$,平均为 250×10^{-6} ,局部含量可达 $1\,200 \times 10^{-6}$,镓含量为 $5 \times 10^{-6} \sim 70 \times 10^{-6}$,平均为 29×10^{-6} ,铈/钡比值为 6.6,硼/镓比值为 6~13,反映出该时期为海水介质沉积环境特征^[11-12]。综合上述分析,风城组很可能为半封闭残留海相环境的产物。此外,风城组垂向岩性组合也反映出该时期火山活动逐渐减弱的演化过程:早期火山活动较为强烈,火成岩在研究区普遍发育;中期火山活动减弱,火山沉积物主要集中在研究区东部夏子街—红旗坝地区;晚期火山活动基本消失。火山活动带来的火山营养物质带来了古生产力的繁盛,火山周期性喷发将水体生物周期性快速埋藏及火山物质蚀变的粘土矿物共同为有机质的富集、保存及烃类的转化提供了条件,为风城组优质烃源岩的发育提供了极为有利的生成环境和成岩环境^[10-12]。

哈浅 6 井风城组暗色泥质岩样品地化分析表明,有机碳含量为 0.65%~1.89%,氯仿沥青“A”含量 0.017 8%~0.167 2%。实测镜质体反射率 R_o 为 0.82%~0.89%,成熟度适中,处于生油高峰阶段。干酪根显微组分镜鉴分析,具有腐泥组占绝对优势(含量为 86%~92.3%)、壳质组发育、惰性组含量很低(含

量仅为 0.7%~3.0%)的特点,干酪根碳同位素值较轻, $\delta^{13}C$ 值为 $-29.7\text{‰} \sim -32.3\text{‰}$,反映出 I、II₁ 型的干酪根面貌(图 3)。烃源岩生物标志化合物分析,饱和烃气相色谱具有明显的植烷优势,Pr/Ph 比值为 0.53~0.66,富含 β -胡萝卜素;伽马蜡烷含量较高, C_{30} 藿烷/伽马蜡烷比值为 0.24~0.35,三环二萜烷 C_{20} , C_{21} 和 C_{23} 呈上升型分布,微含 Ts;规则甾烷 C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 为上升型分布。上述地化指标总体反映了风城组强还原、咸水-半咸水、腐泥型母质来源沉积环境特征,与区域上风城组烃源岩地化参数特征基本一致^[3-4]。综合评价,推覆体下风城组为一套优质的烃源岩。

研究区深浅不同层系原油地球化学指标综合分析, C_{20} , C_{21} 和 C_{23} 三环二萜烷呈上升型分布,伽马蜡烷含量较高,族组分碳同位素值较轻,烷烃、芳烃、非烃和沥青质 $\delta^{13}C$ 值分别为 $-29.9\text{‰} \sim -32.3\text{‰}$, $-29.2\text{‰} \sim -31.0\text{‰}$, $-28.8\text{‰} \sim -30.4\text{‰}$ 和 $-28.6\text{‰} \sim -29.1\text{‰}$,与风城组烃源岩地化特征相似,而与乌尔禾组烃源岩 C_{20} , C_{21} 和 C_{23} 三环二萜烷呈山峰型分布、伽马蜡烷含量低、干酪根碳同位素 $\delta^{13}C$ 值较重差异较大^[3-4](图 4)。分析认为,研究区原油主要来源于风城组烃源岩,只是浅部原油后期遭受不同程度的生物降解表现为稠油-

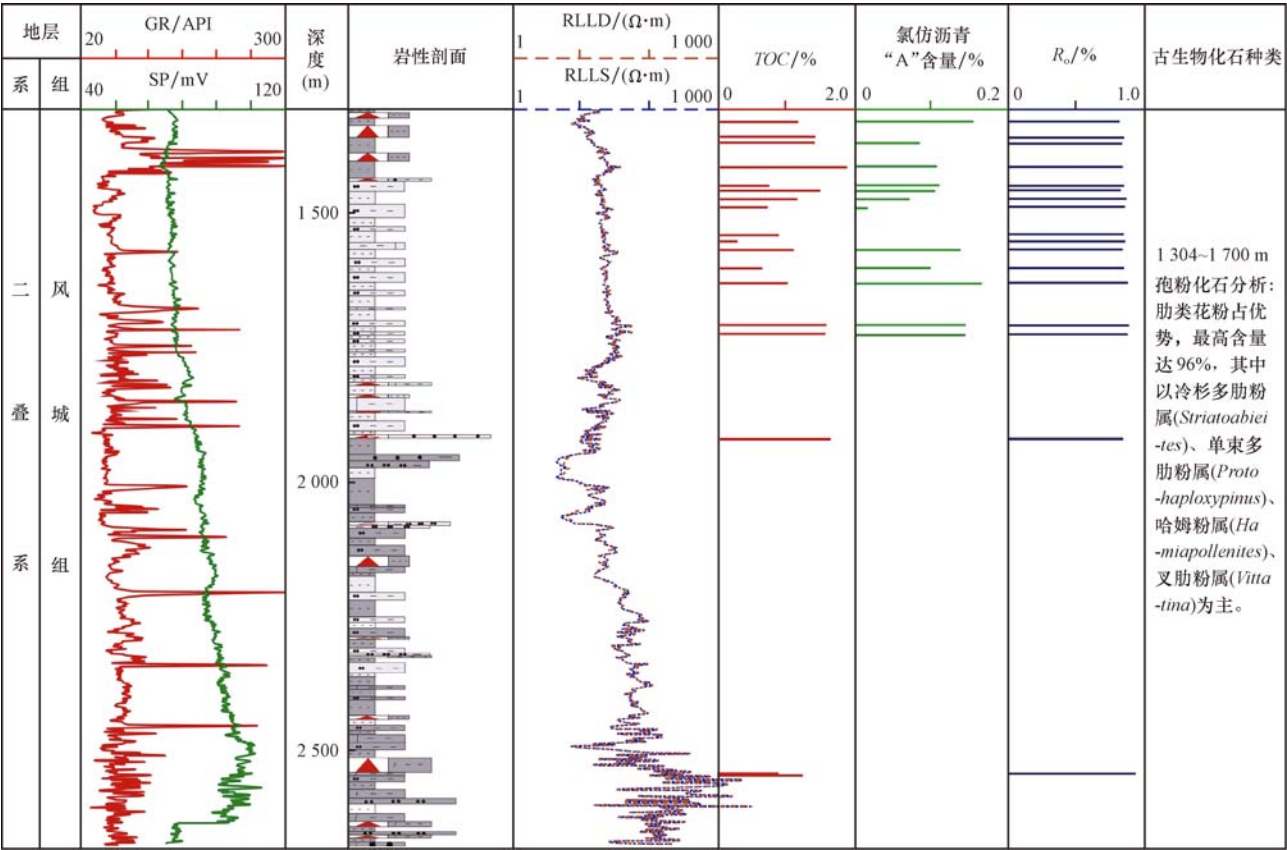


图 3 准噶尔盆地北缘哈山地区哈浅 6 井风城组烃源岩地球化学指标

Fig. 3 Geochemical indexes of the Fengcheng Formation source rocks in Well Haqian 6 in Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin

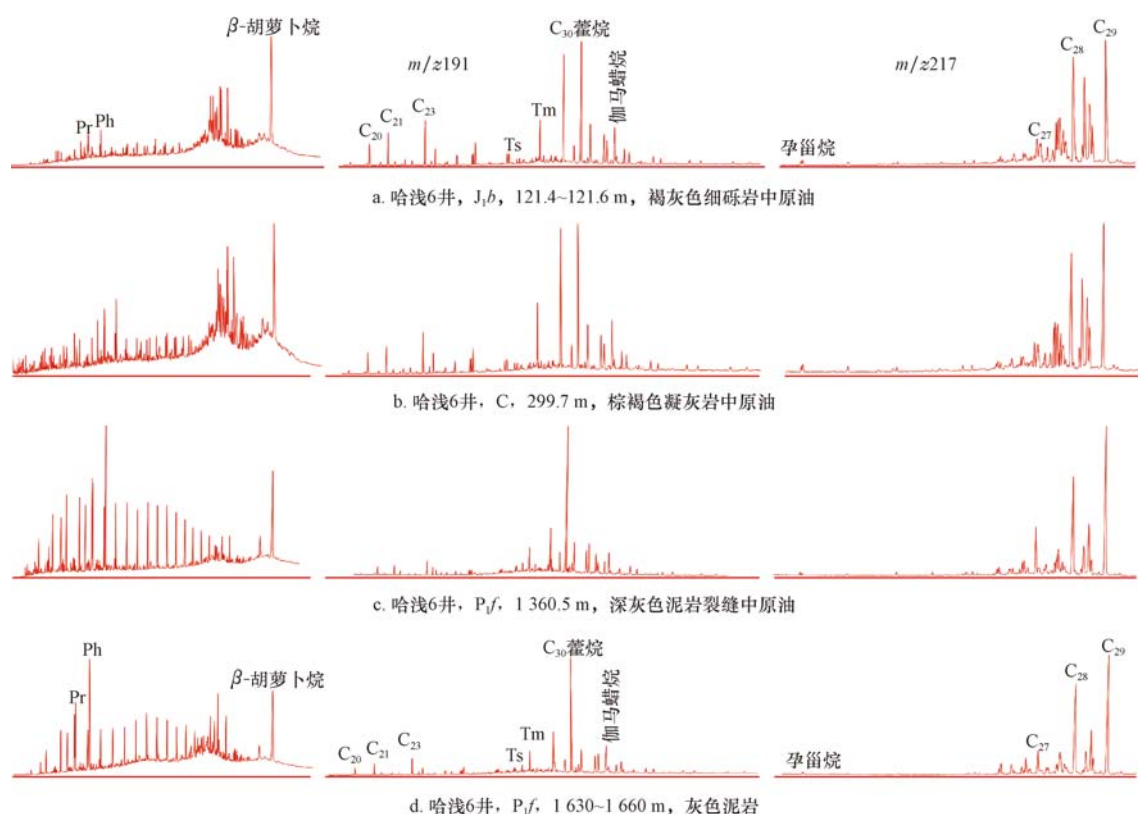


图4 准噶尔盆地北缘哈山地区哈浅6井原油与烃源岩饱和烃气相色谱和甾烷、萜烷质量色谱图

Fig. 4 Gas chromatograms of saturated hydrocarbons and mass spectrograms of steranes and terpanes in oil and source rocks from Well Haqian 6 in Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin

超稠油,而往深部则逐渐演变为正常原油。油源对比分析证实了风城组烃源岩良好的供烃能力,展示出该套烃源岩对研究区油气成藏有着极为重要的作用。

2 关于二叠系几个关键地质问题的再认识

2.1 盆地结构属性及演化

前人主要基于野外露头区花岗岩、蛇绿岩的年代学、岩石学和地球化学证据,对准西北缘二叠纪以来的大地构造环境及演化进行了大量研究,对二叠纪盆地相继提出了洋内俯冲岛弧、弧后盆地、裂陷盆地和前陆盆地等多种观点^[13-16],关于准噶尔洋闭合的最后时限也存在激烈的争论^[14-16]。盆地结构属性及演化认识上的差异,在一定程度上制约了二叠系勘探潜力及方向的认识。

本次根据新建立的构造地质模型,认为早二叠世末哈山地区发生了大规模构造运动,造成上、下二叠统呈区域性角度不整合接触。依据不整合面上下地层构造变形机制、卷入地层变形特征,并结合露头区地质资料分析,推测构造运动前后盆地结构属性发生了显著变化。早二叠世为后碰撞伸展背景下发育的裂陷盆地,该区自下而上沉积了一套以火山碎屑、云质泥岩、白云岩及膏岩为主的海相地层。早二叠世末期构造环

境由伸展变为挤压,阿尔加提山—谢米斯台山—哈山发生逆冲,沿下二叠统风城组膏泥质岩段形成顶板滑脱叠加断层,发育多个冲断叠加片体,使得下二叠统边界大幅度向南推移,海水全部退出。晚二叠世早期进入裂谷期后弱伸展拗陷阶段^[16],沉积范围逐步扩大,不受断层控制;晚二叠世晚期进入陆相沉积环境。根据哈浅6井风城组烃源岩成熟度分析,该套地层现今埋深仅为1300余米,结合盆地区域构造演化及古地温场分析^[17],推测晚二叠世在目前哈山对应构造位置应发育一套厚度较大(厚度2500~3000m)的陆相沉积建造,只是在二叠纪晚期强烈逆冲推覆阶段由深部逆冲抬升至浅部,后期沉积地层厚度有限,使烃源岩现今仍处于当时的热演化程度,二叠纪末期盆地现今的构造单元轮廓已基本定型。三叠纪及以后构造活动明显减弱,局部老断层有所活化,在推覆体前缘沉积地层表现为底部超覆、顶部削截特征,并发育一系列次级断层,形成似花状构造(图5)。

2.2 风城组沉积范围

笔者利用断层相关褶皱几何学和运动学原理对下二叠统构造变形量进行恢复,初步估计下二叠统分布边界向盆地方向推移距离可达数十公里,表明早二叠世沉积期盆地沉积范围远大于现今盆地残留边界(图6)。如哈山1、哈浅6和风11等井钻遇的风城组,依

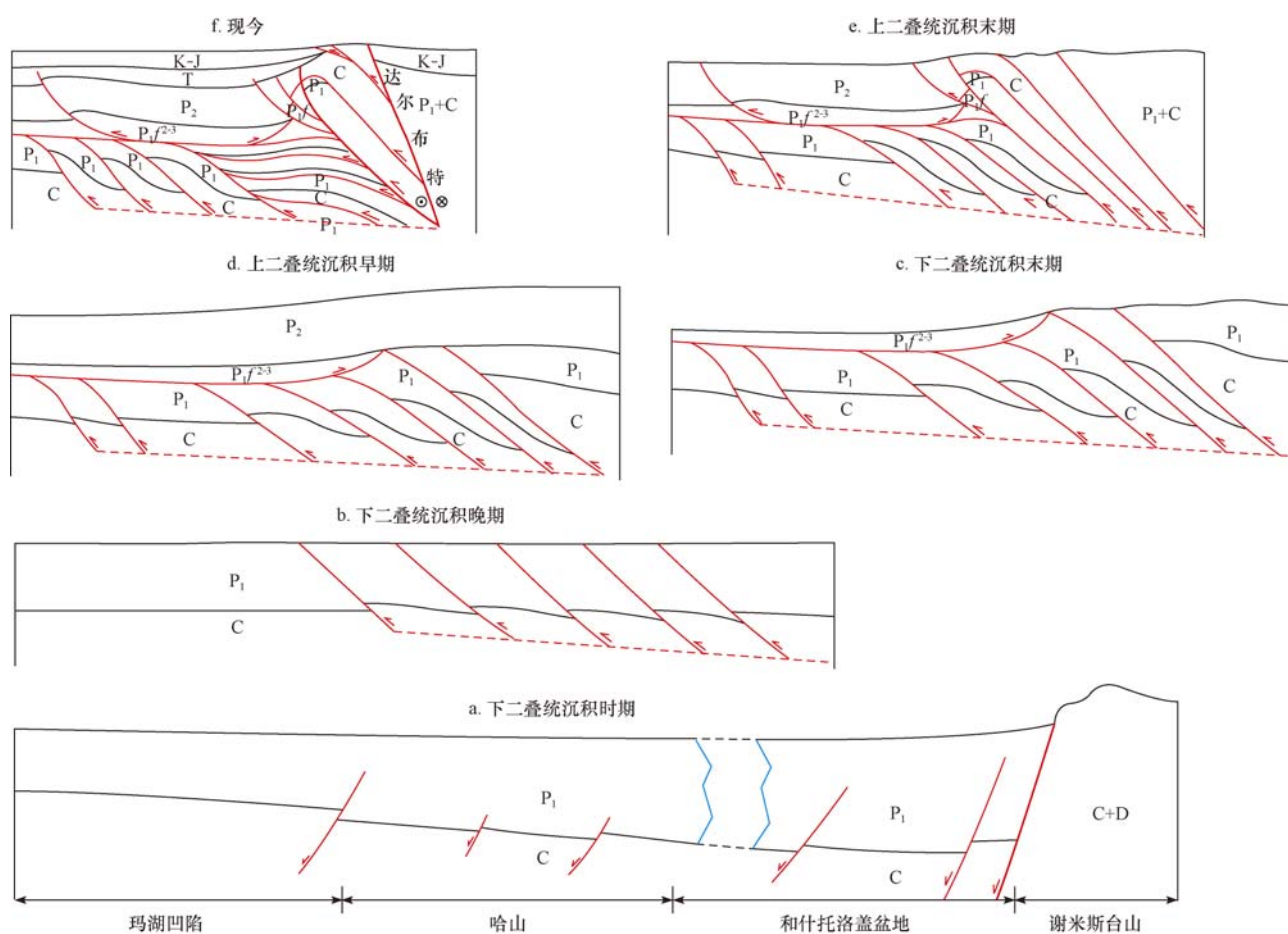


图5 准噶尔盆地北缘哈山地区构造演化模式

Fig. 5 Tectonic evolution model of Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin

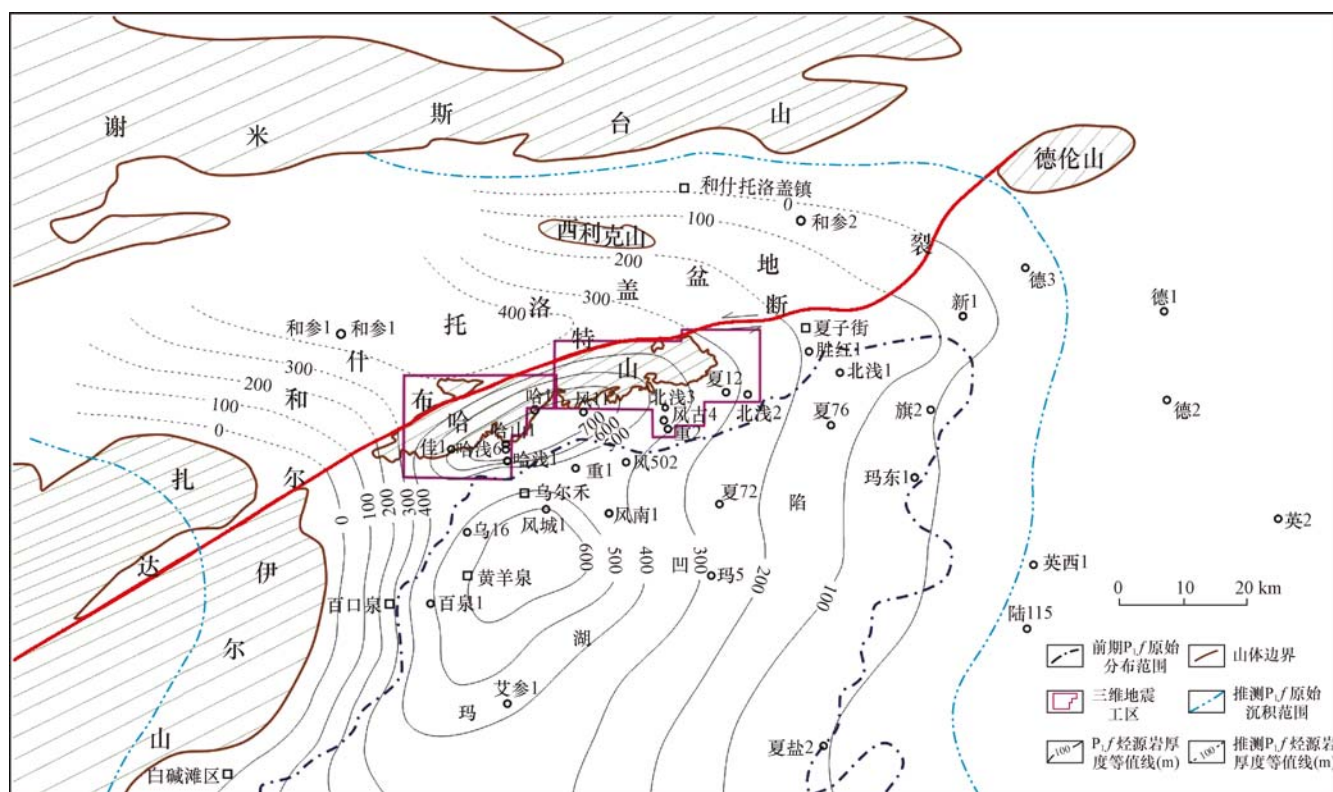


图6 准噶尔盆地北缘哈山地区风城组分布范围

Fig. 6 Distribution map of the Fengcheng Formation in Hala'alt area, the northern margin of Junggar Basin

的下二叠统风城组成烃、成藏创造了极为有利的条件,这无疑扩大了哈山乃至整个准北缘地区的找油领域。今后应重点加强达尔布特断裂带及其两侧构造沉积演化及控制下的石油地质条件研究,这有助于提高该区勘探潜力认识以及确定有利方向和目标。

参 考 文 献

- [1] 何登发,李德生,童晓光.中国多旋回叠合盆地立体勘探[J].石油学报,2010,31(5):695-709.
He Dengfa, Li Desheng, Tong Xiaoguang. Stereoscopic exploration model for multi-cycle superimposed basins in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(5): 695-709.
- [2] 雷德文,阿布力米提·依明,文晓涛,等.地震方法识别乌夏断裂带风城组白云质灰岩裂缝[J].新疆石油地质,2011,32(5):525-527.
Lei Dewen, Abulimiti Yiming, Wen Xiaotao, et al. Seismic detection method for identification of fractures in Fengcheng dolomitic limestone in Wuerhe-Xiazijie fault belt, Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(5): 525-527.
- [3] 张立平,王社教,瞿辉.准噶尔盆地原油地球化学特征与油源讨论[J].勘探家,2000,5(3):30-35.
Zhang Liping, Wang Shejiao, Qu Hui. Geochemistry of crude oil and oil-source analysis of Junggar Basin[J]. Petroleum Explorationist, 2000, 5(3): 30-35.
- [4] 姜向强,柳广弟,高岗,等.准噶尔盆地克百断裂带油源分析[J].石油与天然气地质,2009,30(6):754-767.
Jiang Xiangqiang, Liu Guangdi, Gao Gang, et al. An analysis of oil source in the Kebai fault zone, the Junggar Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(6): 754-767.
- [5] 管树巍,李本亮,侯连华,等.准噶尔盆地西北缘下盘掩伏构造油气勘探新领域[J].石油勘探与开发,2008,35(1):17-22.
Guan Shuwei, Li Benliang, Hou Lianhua, et al. New hydrocarbon exploration areas in footwall covered structures in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(1): 17-22.
- [6] 何登发,管树巍,张年富,等.准噶尔盆地哈拉阿拉特山冲断带构造及找油意义[J].新疆石油地质,2006,27(3):267-269.
He Dengfa, Guan Shuwei, Zhang Nianfu, et al. Shrust belt structure and significance for petroleum exploration in Hala' alat mountain in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2006, 27(3): 267-269.
- [7] 何登发,尹成,杜社宽,等.前陆冲断带构造分段特征——以准噶尔盆地西北缘断裂构造带为例[J].地学前缘,2004,11(3):91-101.
He Dengfa, Yin Cheng, Du Shekuan, et al. Characteristics of structural segmentation of foreland thrust belts—a case study of the fault belts in the northwestern margin of Junggar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 91-101.
- [8] 孙自明,洪太元,张涛.新疆北部哈拉阿拉特山走滑-冲断复合构造特征与油气勘探方向[J].地质科学,2008,43(2):309-320.
Sun Ziming, Hong Taiyuan, Zhang Tao. Strike-slip thrust composite structures and its relationships to hydrocarbon in Hala' alate mountains, northern Xinjiang[J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(2): 309-320.
- [9] 唐文松.准噶尔盆地西北缘晚古生代植物群及其时代问题[J].新疆石油地质,1985,6(3):67-86.
Tang Wensong. Analysis on flora and the age of the Early Paleozoic in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1985, 6(3): 67-86.
- [10] 郭建钢,赵小莉,刘巍,等.乌尔禾地区风城组白云岩储集层成因及分布[J].新疆石油地质,2009,30(6):699-701.
Guo Jiangang, Zhao Xiaoli, Liu Wei, et al. Origin and distribution of dolomite reservoir of Permian Fengcheng Formation in Wuerhe area, Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(6): 699-701.
- [11] 尤兴弟.准噶尔盆地西北缘风城组沉积相探讨[J].新疆石油地质,1986,7(1):47-52.
You Xingdi. Sedimentary facies of Fengcheng Formation in northwestern margin of Junggar Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1986, 7(1): 47-52.
- [12] 孙玉善,白新民,桑洪,等.沉积盆地火山岩油气生储系统分析:以新疆准噶尔盆地乌夏地区早二叠世风城组为例[J].地学前缘,2011,18(4):212-218.
Sun Yushan, Bai Xinmin, Sang Hong, et al. The source and reservoir system analysis of volcanic rock in depositional basin: taking Fengcheng Formation of Lower Permian in Wuxia, Zhungeer, Xinjiang as an example[J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(4): 212-218.
- [13] 苏玉平,唐红峰,侯广顺,等.新疆西准噶尔达布特构造带铝质A型花岗岩的地球化学研究[J].地球化学,2006,35(1):55-67.
Su Yuping, Tang Hongfeng, Hou Guangshun, et al. Geochemistry of aluminous A-type granites along Darabut tectonic belt in West Junggar, Xinjiang[J]. Geochimica, 2006, 35(1): 55-67.
- [14] 尹继元,袁超,王毓婧,等.新疆西准噶尔晚古生代大地构造演化的岩浆活动记录[J].大地构造与成矿学,2011,35(2):278-291.
Yin Jiyuan, Yuan Chao, Wang Yujing, et al. Magmatic records on the Late Paleozoic tectonic evolution of western Junggar, Xinjiang[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2011, 35(2): 278-291.
- [15] 方世虎,贾承造,郭召杰,等.准噶尔盆地二叠纪盆地属性的再认识及其构造意义[J].地学前缘,2006,13(3):108-121.
Fang Shihu, Jia Chengzao, Guo Shaojie, et al. New view on the Permian evolution of the Junggar basin and its implications for tectonic evolution[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(3): 108-121.
- [16] 陈发景,汪新文,汪新伟.准噶尔盆地的原型和构造演化[J].地学前缘,2005,12(3):77-89.
Chen Fajing, Wang Xinwen, Wang Xinwei. Prototype and tectonic evolution of the Junggar basin, northwestern China[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 77-89.
- [17] 邱楠生,杨海波,王绪龙.准噶尔盆地构造-热演化特征[J].地质科学,2002,37(4):423-429.
Qiu Nansheng, Yang Haibo, Wang Xulong. Tectono-thermal evolution in the Junggar Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2002, 37(4): 423-429.
- [18] 何登发,贾承造.冲断构造与油气聚集[J].石油勘探与开发,2005,32(2):55-62.
He Dengfa, Jia Chengzao. Thrust tectonics and hydrocarbon accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 55-62.
- [19] Mitra S. Duplex structures and imbricate thrust systems: geometry, structural position and hydrocarbon potential[J]. AAPG Bulletin, 1986, 70: 1087-1112.