

# 准西海相浅层石炭系火山凝灰岩 油气发现的意义

王建勇<sup>1</sup>, 王学忠<sup>2</sup>, 马立群<sup>2</sup>

(1. 中国石油化工集团公司办公厅, 北京 100728; 2. 中国石化股份有限公司胜利油田分公司, 山东东营 257000)

[摘要] 2011年, 准西海相浅层石炭系火山凝灰岩油气勘探取得了突破, 见到了良好的油气显示, 特别是排61井在855.7~949.6 m井段, 常规试油获得日产6 t的工业油流, 50℃地面脱气原油黏度为390 mPa·s。排61地区石炭系稳定的海相沉积层既是深部油源岩, 又是优质储集层。岩浆活动提供了火山岩储层发育和分布的基础。火山凝灰岩经受了强烈的风化作用和有机酸溶蚀作用, 风化壳及次生裂缝很发育, 成为优质储层。深部二叠系油气沿红车断裂带和地层超剥带不整合面向高部位运聚成藏。二叠系和三叠系致密的火山岩或泥岩沉积覆盖作为区域性盖层对石炭系油气后期保存至关重要。针对石炭系储层成像较差的难题发展了地震叠前时间偏移处理技术, 火山岩地震和测井响应特征比较明显, 应用成像测井和核磁共振技术实现了裂缝的定性识别和定量描述。

[关键词] 石炭系; 火山凝灰岩; 海相沉积; 浅层; 准噶尔盆地西缘

[中图分类号] TE1 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)07-0081-06

## 1 前言

近年来, 中国石油化工集团在准噶尔盆地西缘车排子地区的油气勘探开发工作取得可喜进展, 先后找到并高效开发了浅层稀油的春光油田、浅层超稠油的春风油田, 主要含油层系为沙湾组和白垩系, 用高科技战胜了高难度<sup>[1]</sup>。同时, 利用二维地震部署钻探的排1、排103井均钻遇石炭系火山凝灰岩; 2010年利用三维地震资料解释成果部署钻探的排60井在石炭系共见到18 m/7层荧光-油斑级别显示, 蒸汽吞吐后累产油0.5 t。2011年, 准西海相浅层石炭系火山凝灰岩油气勘探取得了突破, 见到了良好的油气显示, 特别是排61井在石炭系火山凝灰岩855.7~949.6 m井段、排66井在955.2~1 062.5 m井段常规试油获得日产6~11 t的工业油流(见图1)。

## 2 地质特征研究

### 2.1 区域构造特点

车排子地区西北部临近扎伊尔山, 南部为四棵树凹陷, 东部以红车断裂带与昌吉凹陷相接。车排子隆起形成于海西晚期, 经历印支期、燕山期强烈隆升, 喜马拉雅期趋于缓慢沉降, 是一个经历多期构造的长期继承性古隆起, 构造特征为典型的斜坡带, 北西方向高, 南东方向低<sup>[1]</sup>。车排子地区石炭系火山岩形成后, 一直裸露于地表, 直到晚二叠世才重新开始接受沉积, 白垩系、古近系和新近系直接超覆在石炭系基岩之上, 形成埋深较浅的石炭系油藏, 如排61地区石炭系油藏埋深878~1 279 m, 而车47井石炭系油藏埋深2 704~2 877 m, 准噶尔盆地腹部的石炭系油藏埋深超过3 500 m, 莫深1井石炭系深达7 500 m。排61井地面原油密度为0.94 g/cm<sup>3</sup>, 50℃地面脱气原油黏度为390 mPa·s。排66井地面

[收稿日期] 2011-08-03

[基金项目] 国家科技重大专项(2011ZX05002-002); 中国石化股份公司科研项目(P03011); 中国石化胜利油田分公司重点科技攻关项目(YKK0808)

[作者简介] 王建勇(1970—), 男, 山东海阳市人, 高级工程师, 从事油田开发研究和管理工作; E-mail: wangjy@sinopec.com

原油密度为  $0.93 \text{ g/cm}^3$ ,  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  地面脱气原油黏度为  $220 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。埋深较浅,降低了开发难度。

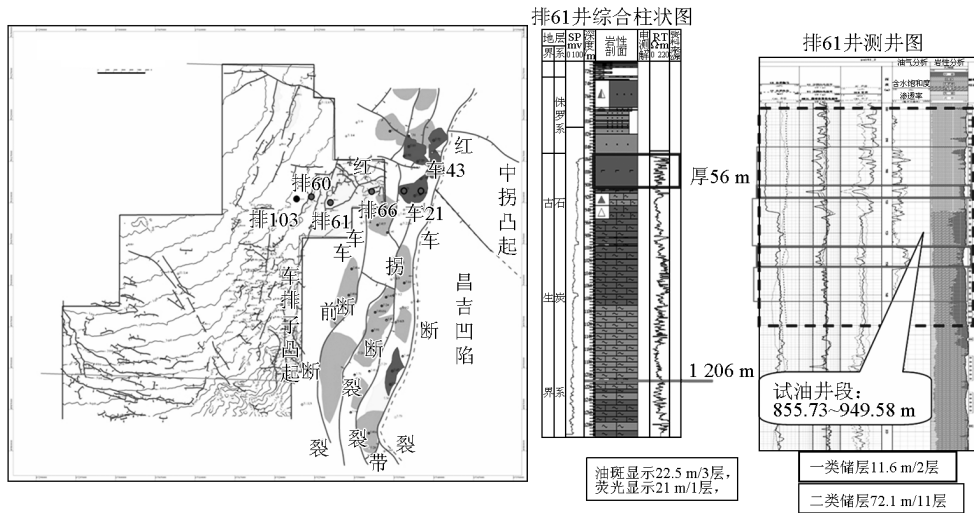


图1 车排子凸起石炭系勘探成果图

Fig 1 Exploration results of Carboniferous in the Chepaizi uplift

## 2.2 储层发育特点

车排子地区早石炭世以海相沉积为主,晚石炭世发育海陆交互相与火山岩建造,区域构造作用及火山活动奠定了储层形成与分布的基础。车排子斜坡带在石炭系发生大规模的火山活动,形成  $2\ 000 \sim 3\ 000 \text{ m}$  巨厚的火山岩,火山岩分布广泛。火山凝灰岩作为一种特殊类型储集层,往往分布在火山附近,当与烃源岩、烃源断裂及区域盖层构成良好配置时,就可以聚烃成藏。

石炭系是该区最古老的地层,沉积年代距今  $295 \sim 354 \text{ Ma}$ 。作为准噶尔盆地的基底,处于长期继承性凹陷沉积状态。车排子斜坡带莫氏面深,地壳厚度  $45 \sim 50 \text{ km}$ 。地温梯度  $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$ ,表明沉积厚度很大。石炭系火山凝灰岩在有机酸作用下易于溶解,产生次生孔隙,经风化淋滤作用,形成了优质储集层<sup>[2]</sup>。排61井区石炭系岩性以油迹灰黑色火山

凝灰岩为主,由粒径  $0.01 \sim 0.05 \text{ mm}$  的细粒火山碎屑及火山灰组成,外貌疏松多孔,粗糙,有层理。

排61井测井解释钻遇石炭系一类层  $11.6 \text{ m}/2$  层,二类层  $72.1 \text{ m}/11$  层,三类层  $102.1 \text{ m}/19$  层(见表1),属于孔隙-裂缝型储层。测井解释有效孔隙度  $3.9\% \sim 12.4\%$ ,平均为  $7.1\%$ ;渗透率  $0.01 \times 10^{-3} \sim 1.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均为  $4.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。排61井石炭系取心发现,井深  $915.7 \text{ m}$  处存在严重破碎带,表明经受了强烈的风化作用。应用成像测井和核磁共振检测发现,排61井  $902 \sim 905 \text{ m}$  井段,裂缝密度  $3 \text{ 条}/\text{m}$ ,裂缝长度  $4 \text{ m}/\text{m}^2$ ,裂缝水动力宽度  $0.1 \text{ mm}$ ,裂缝孔隙度  $0.005\%$ ,集中发育区域构造作用形成的网状裂缝和层面裂缝系统<sup>[3-5]</sup>,改善了储层储集性能。通过核磁共振流体分析、时间域分析、扩散分析发现排61井的  $902 \sim 905 \text{ m}$ 、 $926 \sim 930 \text{ m}$ 、 $996 \sim 1\ 010 \text{ m}$  井段为有利储集层。

表1 排61井石炭系测井解释成果

Table 1 Pai 61 well logging interpretation of carboniferous

解释序号	井段/m	厚度/m	渗透率/ $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度/%	含水饱和度/%	视地层电阻率/ $(\Omega \cdot \text{m})$	声波时差/ $(\mu\text{s} \cdot \text{ft}^{-1})$	密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	泥质含量/%	解释结论
18	878.6 ~ 892.5	13.9	0.1	3.9	99.1	118	52	2.7	4.8	III
19	892.5 ~ 904.3	11.8	1.4	7.8	84.1	94	53	2.6	4.5	II
20	904.3 ~ 908.5	4.2	4.6	10.2	77.0	70	65	2.3	3.8	I
21	908.5 ~ 924.0	15.5	0.5	6.0	92.6	127	62	2.5	4.0	II
22	924.0 ~ 931.4	7.4	11.1	12.4	66.8	61	70	2.4	7.0	I
48	1 272.6 ~ 1 278.8	6.2	1.5	7.7	55.2	270	61	2.2	13.7	II

在火山凝灰岩识别方面取得积极进展<sup>[6-8]</sup>。如在克拉美丽石炭系火山岩大气田发现过程中综合分

析选择突破口;开展火山岩岩性岩相研究,建立火山岩序列结构;解剖已知气藏,确定控藏因素与气藏类

型;开展地震采集处理攻关,改善石炭系成像质量;井震结合识别火山岩体,优选钻探井位成藏的主控因素。陈波利用地震数据分频相干技术检测火山岩裂缝,为井位设计找到了新依据<sup>[9]</sup>。应用叠前时间偏移处理技术解决了石炭系火山凝灰岩成像较差的难题<sup>[10]</sup>。车排子斜坡带火山岩发育带的地震反射强度整体偏弱,频率较低,成像较差,为此,应用连片三维地震数据体经过叠前时间偏移处理,提高了信噪比和同相轴连续性,石炭系顶界波组反射清楚,储层及岩相特征明显。再按照地震资料的常规解释流程和反射波特征进行对比追踪解释,基本确立了石

炭系火山岩的发育模式和展布形态。车排子斜坡带排61井石炭系火山岩与下二叠统地震响应特征明显区别于上覆沉积盖层,岩相呈爆发相特征,外部反射表现为席状外形,内部反射呈中振幅、中频、中等连续,平行反射特征(见图2)。由于火山岩密度较大,明显高于围岩沉积岩密度值,其地震响应波阻抗值也较大,能够较好地识别火山岩岩体与沉积围岩。排61井火山凝灰岩具有低电阻率、低密度、高自然伽马电性特征。I层视地层电阻率为 $61 \Omega \cdot m$ ,电阻率形态较平稳;密度为 $2.4 \text{ g/cm}^3$ ;声波时差为 $70 \mu\text{s/ft}$ 。

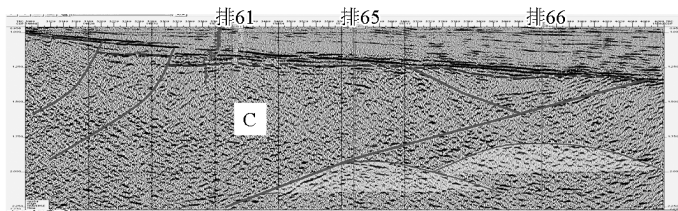


图2 过排61井东西向地震解释剖面图  
Fig. 2 EW seismic section pass by Pai 61 well

### 2.3 烃源岩发育特点

广泛发育的烃源岩是石炭系油藏形成的基础。车排子斜坡带石炭系是准噶尔盆地构造地质环境的转换时期,陆块的拼合与大量的海湾相伴而生,生油岩系沉降速度很大,在沉降中心形成了巨厚的生油岩系,二叠系烃源层有机碳含量高、类型好。石炭系烃源岩有机质丰度高,成熟度高。烃源岩纵向上分布于不整合面上下的地层中,一方面,为石炭系油藏形成提供了油源保证,另一方面,为油气富集奠定了物质基础。克拉玛依、红山嘴、车排子油田、石西油田、五彩湾油田等石炭系火山岩油藏均源于深部油源。因此,车排子斜坡带石炭系海相沉积层既是深

部油气源岩,又是优质储集层。

### 2.4 油气输导体系特点

优越的油气运移体系控制了排61地区石炭系油藏的形成。红车断裂带长期活动,二叠系生出的油沿红-车断裂垂向运移进入石炭系火山岩中聚集藏(见图3)。二叠系生出的油沿石炭系顶面与上覆地层的非整合面向高部位侧向运移。在非整合面形成过程中,在半风化岩石中形成的裂缝和溶蚀孔隙,既是运移油气的主要通道,又是聚集油气的主要场所。车排子斜坡带石炭系火山岩油藏分布于距石炭系顶面 $30 \sim 200 \text{ m}$ ,局部古地貌高部位更为有利,受石炭系顶面风化壳和风化淋滤带控制作用明显。

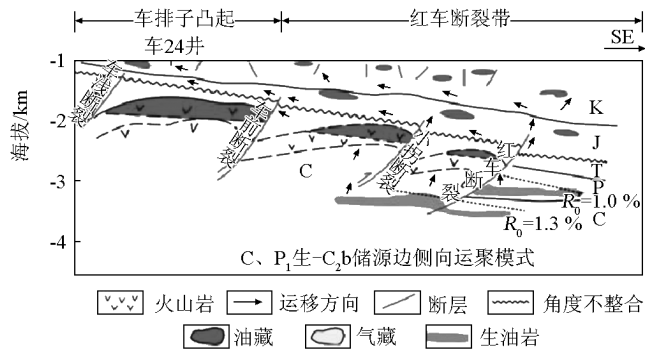


图3 准噶尔盆地车排子地区石炭系成藏模式<sup>[11]</sup>

Fig. 3 Oil and gas pool-formation of Carboniferous of Chepaizi area in Junggar Basin<sup>[11]</sup>

同时,排 61 地区二叠系和三叠系致密的火山岩或泥岩沉积覆盖作为区域性盖层对石炭系油气后期保存至关重要。火山岩层之间夹沉积岩段,不仅能够形成自生自储,也能形成新生古储成藏类型,成藏条件较为优越。

### 3 勘探成效与勘探潜力

#### 3.1 勘探成效

排 1 井位于车排子凸起车 8 圈闭的高部位,车 8 井井口方位  $246^{\circ} \times 3.1 \text{ km}$  处。2003 年 11 月开钻,2003 年钻至井深 945.8 m 完钻,完钻层位为石炭系。排 103 井在 864~870 m 钻遇石炭系凝灰岩,见到 2.3 m/1 层荧光显示,酸化后畅喷,日产水  $68 \text{ m}^3$ 。2009 年部署实施了排 1 井三维地震采集。2010 年秋季在区域地质认识的基础上,提出石炭系成藏的“抓有利火山岩相、找裂缝发育带”研究思路,在排 1 井三维区部署了排 60 井。

排 60 井位于排 1 井井口  $257^{\circ} \times 3.383 \text{ km}$ ,处于车 21 井与车 13 井之间断裂发育带上。2010 年 8 月完钻,完钻井深 1 130.0 m。自 614 m 进入石炭系,揭示石炭系地层 516 m,岩性为灰红色荧光凝灰岩。测井解释三类储层 116 m/12 层。2010 年 11

月,排 60 井采用割缝管完井,对 695.0~800.0 m 热试,井口注汽压力 11.6 MPa,注汽温度  $323^{\circ}\text{C}$ ,注汽干度 73%,注蒸汽 1 000 t,注汽后累产油 0.5 t。2010 年秋季部署了预探井—排 61 井。排 61 井 2011 年 5 月完钻,完钻井深 1 300 m,于 852 m 进入石炭系,测井解释钻遇石炭系 186 m,日产油 6 t,不含水。已连续生产 86 d,累产油 432 t。排 66 井 2011 年 10 月完钻,日产油 11 t,不含水。

#### 3.2 勘探潜力

准噶尔盆地石油资源量为  $10^6 \times 10^8 \text{ t}$  油当量,已探明石油地质储量  $17 \times 10^8 \text{ t}$ ,而且钻探程度较低,每  $10 \text{ km}^2$  还不到 1 口井,勘探潜力巨大<sup>[12]</sup>。石炭系是车排子地区发育最广泛的层系,中石油在车排子地区 71 口井钻遇石炭系,先后发现了车 23、车 72、车 91、车峰 3、车峰 6 等油藏,上报探明石油地质储量  $3\,926 \times 10^4 \text{ t}$ ,上报探明天然气地质储量  $46 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,集中在北部断阶带的基岩顶界风化带(见图 4),南部及内幕勘探程度很低。2011 年排 61 井在石炭系常规试油获得了工业油流,进一步展示了石炭系良好的勘探开发前景。该区块预测圈闭资源量为  $2\,000 \times 10^4 \text{ t}$ ,已部署 3 口评价井,正钻。

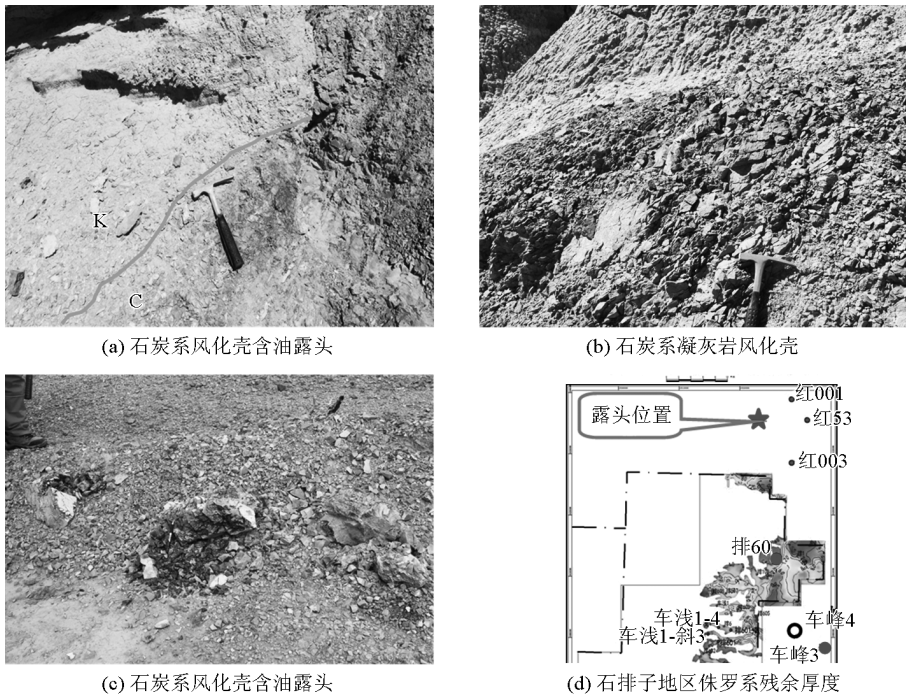


图 4 车排子地区石炭系火山凝灰岩风化壳及含油露头

Fig. 4 Volcanic tuff weathering crust of Carboniferous and oil outcrop in the Chepaizi region

从勘探成果看,车排子斜坡带具有“多油源供给、多期次充注、多层系含油、多类型聚集”的特点和石炭系、侏罗系+白垩系、古近系、新近系均含油的油气成藏模式。车排子斜坡带石炭系火山岩储集体分布广泛、厚度大,具备充足的油气资源、良好的圈闭条件、有利的油气运移指向、畅通的运移通道(红车断裂带和不整合面)、稳定的保存环境和有效的盖层、优质的储层相带、多期次构造运动,总体勘探程度仍较低,具备发现大油田的有利条件。排61井区发育的基底断裂与内幕裂隙、溶孔组合形成石炭系裂隙型地层油藏,石炭系成藏主要控制因素是断裂带、火山岩岩相和不整合面。其中断裂控制火山岩相分布,断裂带附近火山岩裂缝发育,裂缝溶蚀性孔隙发育,储层物性相对较好。排61井与排60井比较,处于石炭系较低部位,产油量却更高,表明构造控藏作用不明显,主要是裂缝等优质储集层控藏,如能找到更好的储集层,必能获得更高的产能。

综上所述,车排子斜坡带石炭系油藏受断裂活动控制,油源源于二叠系,以石炭系火山岩为储层,经过有机酸改造和风化淋滤作用,裂缝发育,形成优质储集层。火山岩层之间夹沉积岩段,不仅能够形成自生自储,也能形成新生古储成藏类型,成藏条件较为优越。

## 4 结语

1)2011年,在准噶尔盆地西缘车排子斜坡带钻探的排61井实现了浅层海相火山凝灰岩新生古储油藏勘探的突破。车排子斜坡带石炭系生油能力的肯定及相关油气藏的发现,再次证实石炭系成为准噶尔盆地西缘重点勘探层系。

2)勘探投入包括三维地震采集和不断部署探井是排61地区石炭系勘探突破的保障,加强油气成藏组合分析是提高石炭系勘探效率的重要保证,落实烃源岩发育区、有利储层发育带、提高单井产能是石炭系勘探的关键。通过压裂等措施改造油层,提高单井产能,也有助于加快勘探开发进程。

3)排61地区具有较好的资源潜力。基底断裂

与裂隙、溶孔组合形成石炭系孔隙-裂缝型油藏,石炭系成藏主要控制因素是红车断裂带、火山岩岩相和不整合面。火山岩储集体分布广泛、厚度大,具备充足的油气资源、良好的圈闭条件、有利的油气运移指向、畅通的运移通道、稳定的保存环境和有效的盖层、优质的储层相带、多期次构造运动,勘探程度很低,每 $10\text{ km}^2$ 还不到1口井,具备发现较大油田的有利条件。已部署第三轮多口探井。

## 参考文献

- [1] 周永康. 弘扬光荣传统创造百年辉煌—纪念胜利油田发现50周年[J]. 中国石化, 2011, 28(11): 4-5.
- [2] 贾承造, 赵政璋, 杜金虎. 中国石油重点勘探领域—地质认识、核心技术、勘探成效及勘探方向[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(4): 385-396.
- [3] Graham S A, Brassell S, Carroll A R, et al. Characteristics of selected petroleum source rocks, Xinjiang Uygur autonomous region, North-west China[J]. A APG Bulletin, 1990, 74(4): 493-512.
- [4] Yian Y. Fault-controlled hydrocarbon distribution in the Juaggar basin, NW China[J]. Journal of Petroleum Geology, 1993, 6(1): 109-114.
- [5] 康玉柱. 新疆两大盆地石炭-二叠系火山岩特征与油气[J]. 石油试验地质, 2008, 30(4): 321-327.
- [6] 匡立春, 薛新克, 邹才能. 火山岩岩性地层油藏成藏条件与富集规律——以准噶尔盆地克-百断裂带上盘石炭系为例[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(3): 285-290.
- [7] Zeng H L, John A, Katherine G J. Frequency dependent seismic stratigraphy[J]. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2009, 28: 93-96.
- [8] 蔡希源. 川东北元坝地区长兴组大型生物礁滩体岩性气藏储层精细刻画技术及勘探实效分析[J]. 中国工程科学, 2011, 13(10): 28-33.
- [9] 陈波, 孙德胜, 朱筱敏. 利用地震数据频干技术检测火山岩裂缝[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(4): 610-613.
- [10] 匡立春, 吕焕通, 王绪龙. 准噶尔盆地天然气勘探实践与克拉美丽气田的发现[J]. 天然气工业, 2010, 30(2): 1-6.
- [11] 何登发, 陈新发, 况军. 准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景[J]. 石油学报, 2010, 31(1): 1-11.
- [12] 康玉柱. 创新石油与战略思考[J]. 中国工程科学, 2012, 14(3): 37-40.

# Petroleum exploration of marine deposit, shallow, Carboniferous and volcanic tuff reservoir in the western margin of Junggar Basin

Wang Jianyong<sup>1</sup>, Wang Xuezhong<sup>2</sup>, Ma Liqun<sup>2</sup>

(1. General Office, China Petrochemical Corporation, Beijing 100728, China; 2. Xinchun Oil Production Plant, Shengli Oil Company, Sinopec, Dongying Shandong 257000, China)

[**Abstract**] In 2011, petroleum exploration of marine deposit, shallow, Carboniferous, and volcanic tuff reservoir realized breakthroughs at Chepaizi slope in the western margin of Junggar Basin, Pai 61 well, with 855.7 ~ 949.6 m section, and the conventional test oil obtained 6 t/d industrial oil flow. The surface viscosity is 390 mPa·s (50 °C). The marine sediments of Carboniferous are both deep oil source rocks and high-quality reservoir. Magma volcanic activity provides the basis for volcanic reservoir development and distribution. The weathering crust and secondary cracks developed volcanic tuff by strong rock weathering and dissolution of organic acids and became top quality reservoir. Deep Permian oil-gas migrated and accumulated to high parts along Hong-Che fault belt and stratigraphic unconformity stripping. Permian and Triassic volcanic rocks or dense mudstone sedimentary cover as a regional seal for the late Carboniferous oil-gas to save critical. The seismic pre-stack time migration processing technologies for the problem of poor inner structures of Carboniferous were developed. Response of volcanic rock seismic and logging are obviously. The application imaging logging and nuclear magnetic technology achieved the qualitative identification and quantification of fracture description.

[**Key words**] Carboniferous; volcanic tuff; marine deposit; shallow; the western margin of Junggar Basin