

塔里木盆地塔中地区火山岩识别及其油气成藏意义

杨辉^{1,2}, 徐怀民^{1,2}, 黄娅^{1,2}, 孙盼科^{1,2}, 牛玉杰³, 李辉^{1,2}

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249
2. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249
3. 中国石油塔里木油田公司石油勘探开发研究院, 新疆库尔勒 814000

摘要 早二叠世末期,塔中地区的火山活动对下伏石炭系油气的形成和演化至关重要。火山活动促进烃源岩的成熟排烃;形成断裂、裂缝等广泛发育的油气疏导体系;形成岩颈刺穿、火山岩脉侧向遮挡等不同类型的油气藏。此外,火山活动还可以对原来形成的油气藏进行改造,从而形成次生气藏。本文利用钻井资料、测井资料、地震属性、地震反射结构、时间切片等方法,对火山岩的剖面 and 平面分布进行识别与预测,明确了塔中地区石炭系火山岩在剖面上主要以岩墙岩盖的形式产出,活动强度自西北向东南逐渐减弱,厚度自西北向东南逐步变薄直至尖灭。在此基础上,揭示了石炭系火山岩的油气成藏意义,对塔中地区油气滚动勘探开发具有一定指导意义。

关键词 塔里木盆地;塔中地区;火山岩;油气藏

中图分类号 TE122

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.01.005

Identification of Magmatic Rocks and Their Hydrocarbon Accumulation Significance in the Central Tarim

YANG Hui^{1,2}, XU Huaimin^{1,2}, HUANG Ya^{1,2}, SUN Panke^{1,2}, NIU Yujie³, LI Hui^{1,2}

1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. State Key Laboratory of Petroleum and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
3. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla 814000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Abstract At the end of the early Permian, the volcanic activities have a great impact on the formation and the evolution of the underlying Carboniferous hydrocarbon in the central Tarim. The volcanic activities promote the maturation and the hydrocarbon expulsion of the source rock; and also help the conducting systems to develop, such as the fault and the crack, meanwhile, make it possible to form different types of reservoirs such as the neck piercing and the volcanic dike lateral occlusion reservoirs; moreover, the volcanic activities can deform the original reservoirs to form secondary hydrocarbon reservoirs. This paper uses drilling, logging, seismic methods (including seismic attributes, reflection configurations and time slices) to identify and predict the Carboniferous volcanic rocks and the plane distribution characteristics of the volcanic rocks in the central Tarim. It is shown that the volcanic rocks in the central Tarim are mainly output in the form of the laccolite and the rock wall, and the intensity of activity gradually weakens from northwest to southeast. What is more, the thickness from the northwest to the southeast gradually decreases until check out. This study may provide some guidance for the rolling exploration and the development of petroleum in the central Tarim.

Keywords Tarim Basin; central Tarim; volcanic rock; reservoir

0 引言

随着深部找油和油气勘探开发力度的加大^[1-3],许多国家

和地区在火山岩内部及其周围发现了油气藏或者油气显示,例如,在美国大盆地(Great Basin)鹰泉(Eagle Springs)油气田

收稿日期:2012-09-24;修回日期:2012-11-12

基金项目:国家油气重大专项项目(2011ZX05001)

作者简介:杨辉,博士研究生,研究方向为油藏地质评价、油气田开发地质,电子信箱:edwalik@163.com;徐怀民(通信作者),教授,研究方向为油藏地质评价、油气田开发地质,电子信箱:xhm905@163.com

的流纹质凝灰岩中发现了储量(150~204)×10⁴t 的油藏,可见火山岩的成藏潜力很可观。继 2002 年在松辽盆地徐深 1 井白垩纪火山岩中的重大发现^[9]后,中国开始了在火山岩及其周围火山岩控藏的碎屑岩储层中寻找油气的新里程。要寻找有利的火山岩控藏目标,首先必须对火山岩进行识别。目前,国内外常用地震属性技术、叠前深度偏移处理技术、波阻抗反演技术、多波多分量勘探技术等来识别与预测火山岩。有关火山岩控藏机理,在中国松辽、渤海湾、准噶尔、三塘湖等盆地进行的研究比较深入^[9],但对塔里木盆地石炭系火山岩的预测及其对石炭系油气成藏的影响尚缺乏系统研究。

本文在前人研究的基础上,通过井震结合、点线面多维互动的方式对塔里木盆地石炭系火山岩进行了识别与预测,并在此基础上明确火山岩的分布特征及其控藏作用,以期最终指导油气的勘探。

1 区域地质特征

塔中地区构造位置位于塔里木盆地中央隆起带之上,整体呈现东南收敛—西北发散的指状构造形态,其古生代地层中油气资源丰富。早二叠世末期,塔中地区发生大规模岩浆侵入和火山喷发事件,形成厚度不等、分布广泛的层状基性岩浆岩。目前正值烃源岩的生烃高峰,并且石炭系圈闭已经形成,因此早二叠世末期大规模岩浆活动对下伏石炭系地层中的油气成藏影响很大,加强对石炭系火山岩及其油气成藏研究有利于塔中地区石炭系的油气勘探。

2 钻测井资料识别火山岩

2.1 钻井资料直接识别火山岩

通过对整个塔中地区 143 口井的统计发现,有 14 口井的岩屑录井资料显示存在火山岩,4 口井钻遇了石炭系的火山岩,这些井主要集中在塔中西北部的塔中 40 井区和塔中 10 井区。通过岩屑录井资料可以发现,二叠系、石炭系的火山岩颜色为深灰色、灰黑色,以基性的玄武岩、凝灰岩、安山岩、辉绿岩为主,表 1 为具有代表性的 TZ21、TZ18、TZ47 和 TZ471 的火山岩层段。表中,P 为二叠系,T 为三叠系,C 为石炭系,D

表 1 录井资料显示的火山岩层段统计数据

Table 1 Statistical data of volcanic rock by well logging

井名	顶深/m	底深/m	厚度/m	层名	岩性
TZ21	3505.4	3641.6	136.2		凝灰岩
	3641.6	3706.8	65.2		玄武岩
	3706.8	3763	56.2		安山岩
	3813.5	3862	48.5		玄武岩
	3862	3880	18	P	凝灰岩
	3880	3887.6	7.6		玄武岩
	3887.6	3892	4.4		凝灰岩
	3892	3951.4	59.4		玄武岩
TZ47	3951.4	3967.2	15.8		凝灰岩
	3733	3736	3		玄武岩
	3736	3739	3	P	安山岩
	3739	3803	64		玄武岩
	4084	4096	12		凝灰岩
	4096	4165	69	C	玄武岩
TZ471	4165	4192	27		辉绿岩
	3815	3831	16		凝灰岩
	3835	3848	13		凝灰岩
	3848	3912	64		玄武岩
	3912	3917	5	C	凝灰岩
	3917	3926	9		玄武岩
	3926	3979	53		凝灰岩
	3979	4169	190		玄武岩
TZ18	4169	4176	7		凝灰岩
	3338	3480	142	P	凝灰岩
	3480	3518	38		玄武岩
	4030	4202	172	C	玄武岩

为泥盆系,S 为志留系,O 为奥陶系。

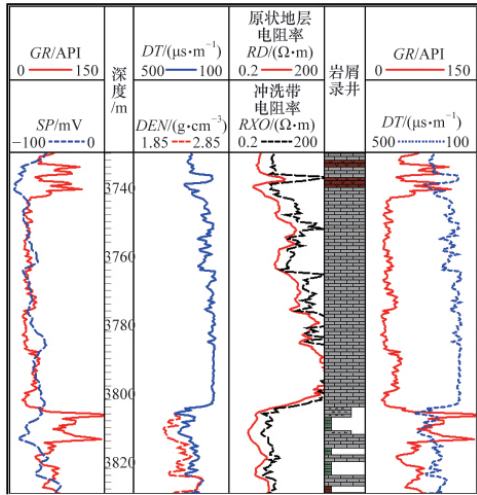
2.2 测井识别火山岩

通过观察岩屑录井显示的火山岩测井曲线特征,发现不同岩性火山岩测井响应特征不尽相同(表 2)。在定性识别的基础上,选取火山岩相对较集中的塔中 40 井区、塔中 10 井区的 245 个火山岩样本层,读取样本层所对应测井响应值,建立火山岩的定量识别图版(图 1),可以看出火山岩表现出低

表 2 各类岩石的测井响应特征

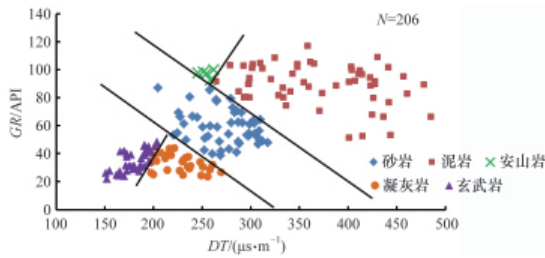
Table 2 Logging response characteristics of various kinds of rocks

岩石	层位	颜色	测井响应				
			自然伽马 GR/API	自然电位 SP/mV	电阻率/(Ω·m)	声波时差 DT/(μs·m ⁻¹)	密度 DEN/(g·cm ⁻³)
泥岩	P		高值 90~120	基线	低值<2	高值>295	
砂岩	P,C		中值 45~90	负异常	中低值 2~10	中值 230~295	
火山岩	玄武岩	P 深灰色	低值 25~50	负异常	中低值 2~8	中值 197~262	高值≈3
		P,C 灰黑色	低值 20~45		高值 45~70	低值 148~197	
	凝灰岩	P,C 深灰色	低值 20~45	负异常	中低值 3~20	低值 180~246	高值≈3
		C 灰色	低值 30~45		中值 10~50	低值 164~230	
安山岩	P	褐色	高值 90~120	负异常	低值 1~3	中值 262~295	
辉绿岩	C	深灰色	低值 30~45	负异常	高值>200	低值 148~164	剧烈变化



(a) TZ47 井火山岩定性识别

(a) Qualitative identification chart of volcanics in Well TZ47



(b) 塔中地区火山岩测井定量识别

(b) Quantitative identification chart of volcanics by well logging in central Tarim

图 1 测井火山岩识别

Fig. 1 Identification chart of volcanics by well logging

GR、低 AC 的特征,并且 2 曲线重叠后具有高幅度差。综合应用定性和定量的方法对全区所有井进行识别。

3 地震资料识别火山岩

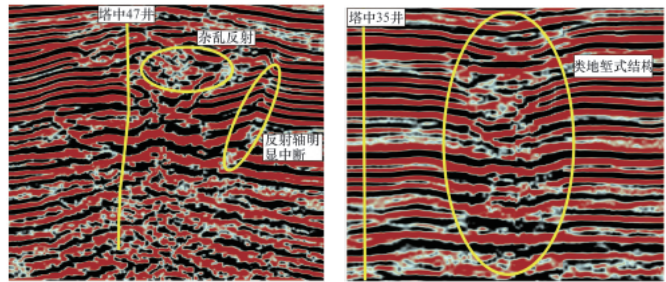
由于塔中地区钻井资料较少,早期钻井资料不全,密度测井资料较少,所以仅利用测井资料来识别火山岩具有局限性,只能实现点上的识别,而地震资料在横向上具有很大的优势,能实现点到线-面的识别。因此,本文利用地震反射结构、地震属性等多种地震方法从剖面上和平面上对火山岩进行识别和预测。

3.1 剖面上识别火山岩

根据已钻遇火山岩的井,通过合成地震记录标定后可以发现,本区火山岩在剖面上多呈现一种蘑菇状的地震相特征。其火山体内部为杂乱反射,反射轴为不连续、局部有扭曲的强反射短轴(图 2)。火山岩体和周围岩体之间界限明显,在地震剖面上可以看到反射轴明显中断,且有上翘的特征,这有可能是火山喷发时对周围的围岩产生了拖曳作用。此外,由于火山喷发物的重力作用,在地震剖面上火山口附近的反射轴一般是下凹的,本区出现的很多小火山口,如塔中 40 井区联络侧线 713 的火山口,在地震剖面上与地堑的断裂组合

形状类似(图 2(b))。

在地震反射结构识别的基础上,对该地区的属性进行了优选,发现瞬时相位、瞬时频率等属性对火山岩的识别比较敏感。瞬时相位强调了事件的连续性,同相轴在火山口边上有明显的错断;火山口内反射轴起点和终点明显,呈现不连续的强反射,同相轴多呈弯曲状,分叉合并现象明显。瞬时频率反映了地层频谱特性,火山岩地层对高频成分的发散现象比较严重,从而使得火山岩地层呈现低频特征。



(a) 主侧线 706

(b) 联络侧线 713

(a) Seismic profiles of inline 706

(b) Seismic profiles of crossline 713

图 2 地震剖面识别火山岩(塔中 40 井区)

Fig. 2 Identification chart of volcanics by seismic profiles in Well TZ40 area

3.2 平面上识别火山岩

火山岩在水平切片上的特征:火山锥的边缘显示为强振幅反射,表现为黑色。火山岩在平面上呈现低频的特征;相位在火山口处也有突变,说明其地层与周围地层不连续;方差也与周围的地层有区别(图 3)。

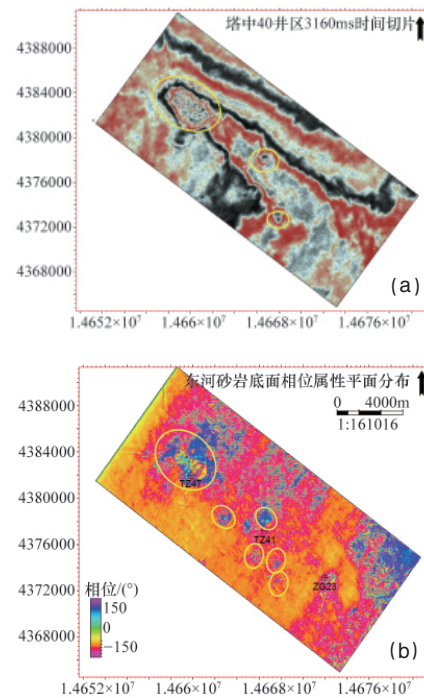


图 3 地震属性识别火山岩

Fig. 3 Identification chart of volcanics by seismic attributes

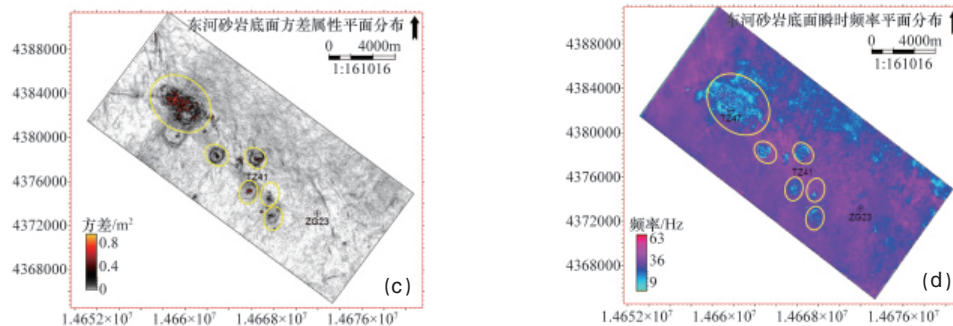


图3 地震属性识别火山岩(续)

Fig. 3 Identification chart of volcanics by seismic attributes (continued)

4 火山岩的分布

塔中地区晚海西期发生了大规模的火山活动,早二叠纪末期火山在全区广泛分布且侵入下伏地层中,而石炭系的火山岩就是这个时期形成的。

4.1 火山岩剖面分布

从沿着中央断垒带走向(图4(a))与塔中10号构造带走向(图4(b))的火山岩剖面分布图可以看出,石炭系的火山岩在剖面上主要以岩墙岩盖的形式产出,而岩墙发育在二叠系以下奥陶系到石炭系的地层中,主要分布于西部地区如塔中18井和21井;塔中35~47井区石炭系的火山岩也以岩墙居多;塔中4井区个别发育,岩墙在垂向上的数目随着与火山口距离的增加而减少,侵入岩多以岩墙形式产出。岩盖在火山口附近有分布,如塔中10井石炭系与二叠系中的火山岩岩盖。早二叠世末期的火山活动自西北向东南逐渐减弱,厚度从西北向东南逐步变薄直到尖灭,在塔中422井和161井附近尖灭^[5]。

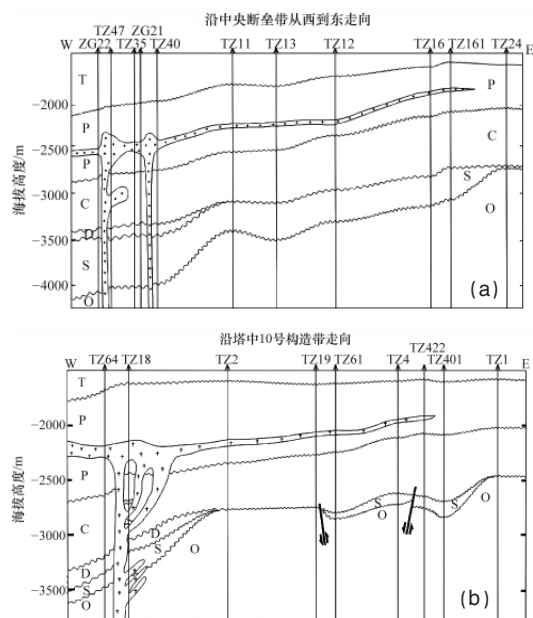


图4 火山岩剖面分布

Fig. 4 Profile distribution of magmatic rocks

4.2 火山岩平面分布

综合利用钻测井、地震资料对塔中全区的火山岩进行了

识别,发现早二叠世末期的火山活动自西北向东南逐渐减弱^[6],因此火山岩的厚度分布特征也表现出从西北向东南逐步变薄直到尖灭的趋势。从西北部到塔中4井区都有火山口分布,但其密集度逐渐减少,主要集中在塔中40井区和塔中10井区。对石炭系而言,主要表现为火山通道特征,受二叠系火山分布影响,在平面上主要以不规则火山口形态分布。

5 火山岩的控藏作用

5.1 火山活动对烃源岩和储层的影响

塔里木盆地模拟结果显示,二叠纪时期塔里木大部分地区的古地温梯度在整个地质历史时期是最高的^[6-12],这与早二叠世末期深部的火山活动密不可分。岩浆活动产生的高温岩浆与热液对围岩产生热影响,进而使生油岩短期达到成熟或高成熟。

塔中地区的油气储层主要是碎屑岩储层,以砂岩储层为主,自下而上主要包括均质段、含砾砂岩段和I组细砂泥岩段这3套主力含油层系。火山活动能够加速烃源岩的成熟,促进油气的生成和运移,这个过程中生成的有机酸对石炭系的储层进行酸化改造。此外,高温会导致储层性质发生变化,由于岩浆岩的充填,火山口附近的石炭系储层物性变差。如塔中471井东河砂岩储层的物性较差,不能形成油气藏,可能与火山活动有关。

5.2 火山活动对油气输导的影响

深大断裂的分布控制了火山岩的分布,火山岩沿着深大断裂侵入到上覆地层中,在与之相伴生的岩浆活动过程中产生了许多新的小断裂和裂缝;同时岩浆岩体自身的冷却收缩也可以形成许多小的裂缝^[6]。这些与火山通道伴生的深大断裂及后期形成的断裂沟通了下部寒武—奥陶系的烃源岩与石炭系的储层,是油气被运移至上部石炭系圈闭中的良好运移通道。塔中40、47和10等井中的油气显示说明,其附近发育的火山通道及伴生的裂隙或断裂在油气运移中起到了重要作用^[6]。

另一方面,岩浆活动所接触的岩性若为塑性地层,可能会使塑性地层发生变形而导致通道封闭^[3]。例如塔中18井,原本对油气运移非常有利的张性断层,因岩浆侵入而使原有地层发生变形,堵塞了油气运移通道。另外,早二叠世末期的一套全区稳定发育的火山岩又可视为一套良好的区域性盖

层,使下伏地层中的油气得以保存并形成大规模油藏^[9]。

5.3 火山活动对油气藏的影响

塔中地区石炭系的油气主要来自下部寒武—奥陶系的烃源岩,油气主要成藏期为晚二叠世。在二叠成藏时期,塔中47油藏下部寒武—奥陶系的油气通过火山通道及其周围伴生的通油源大断裂向上运移至石炭系的有利圈闭中;二叠以后,一系列构造运动的影响使地层发生翘倾运动,南部下降,北部抬升,早期形成的圈闭被改造,与之相关的圈闭类型也由背斜型转化为火成岩侧向封堵的火成岩刺穿遮挡构造圈闭。对塔中10井区的塔中10油藏,二叠油气成藏时,下部寒武—奥陶系的油气通过火山通道及其周围伴生的通油源大断裂向上运移至石炭系后向两边构造高部位的圈闭中运移聚集;二叠后,一系列构造运动的影响使地层发生翘倾运动,由南高北低调整为南低北高,同时塔中10圈闭的圈闭幅度变小,油气从由南向北调整运移形成现今的油藏(图5)。

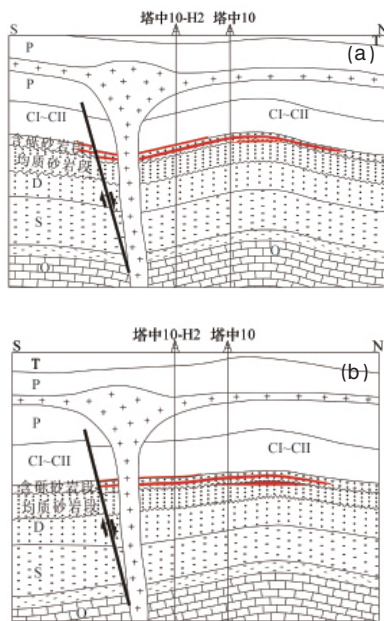


图5 塔中10油藏二叠(a)和现今(b)油气水分布
Fig. 5 Reservoir distribution of TZ10 at the end of Permian (a) and nowadays (b)

火山岩不仅能形成不同类型的火山岩油气藏,同时也会对原先油气藏产生改造和破坏,对原先的油水分布进行再调整。如塔中4油田由统一的油水界面-2610m经过调整为现在的塔中401油藏的-2511m,塔中422井区的-2521m,塔中401井区的-2581m的不同的油水界面,比古油水界面抬高了33~100m^[8],这是岩浆活动对古油藏调整的产物。

6 结论

(1) 利用钻井资料、测井资料、地震属性、地震反射结构、时间切片等方法对塔里木盆地塔中地区火山岩的剖面和平面的分布进行了识别与预测。火山岩在测井上具有低GR、低AC的特征;在地震剖面上火山体内部为杂乱反射,反射轴不

连续;在方差属性体、相位属性体、平面属性体上,火山岩与围岩之间都表现出不连续的特征,出现突变。

(2) 塔中地区石炭系的火山岩在剖面上主要以岩墙岩盖的形式产出,活动强度自西北向东南逐渐减弱,厚度从西北向东南逐步变薄直到尖灭,在塔中422和塔中161附近尖灭。

(3) 火山活动促进烃源岩的成熟排烃;形成断裂、裂缝等广泛发育的油气疏导体系;形成岩颈刺穿、火山岩脉侧向遮挡等不同类型的油气藏;此外,火山活动还可以对原先形成的油气藏进行改造而形成次生油气藏。

参考文献 (References)

- [1] 汤艳杰, 陈福坤, 彭澎. 中国盆地火山岩特性及其与油气成藏作用的联系[J]. 岩石学报, 2010, 26(1): 85-94.
Tang Yanjie, Chen Fukun, Peng Peng. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(1): 85-94.
- [2] 杨辉, 张研, 邹才能, 等. 松辽盆地深层火山岩天然气勘探方向 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 74-81.
Yang Hui, Zhang Yan, Zou Caineng, et al. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 74-81.
- [3] 吕炳全, 张彦军, 王红罡, 等. 中国东部中、新生代火山岩油气藏的现状与展望[J]. 海洋石油, 2003, 23(4): 9-13.
Lü Bingquan, Zhang Yanjun, Wang Honggang, et al. Offshore Oil, 2003, 23(4): 9-13.
- [4] 邹才能, 赵文智, 贾承造, 等. 中国沉积盆地火山岩油气藏形成与分布 [J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3): 257-271.
Zou Caineng, Zhao Wenzhi, Jia Chengzao, et al. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(3): 257-271.
- [5] 朱毅秀, 林畅松, 吕修祥, 等. 塔里木盆地塔中地区二叠纪岩浆岩特征及其对油气成藏意义初探[J]. 内蒙古石油化工, 2004, 30(2): 83-85.
Zhu Yixiu, Lin Changsong, Lü Xiuxiang, et al. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2004, 30(2): 83-85.
- [6] 陈旭塔, 董玉文, 郝广雷. 塔中地区早二叠世岩浆活动特征及其石油地质意义[J]. 地质科技情报, 2010, 29(5): 78-83.
Chen Xuta, Dong Yuwen, Hao Guanglei. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(5): 78-83.
- [7] 裴衡, 龚奇, 欧阳睿, 等. 塔中地区火山岩特征及其石油地质意义[J]. 石油物探, 2003, 42(1): 49-53.
Chang Heng, Gong Qi, Ouyang Rui, et al. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(1): 49-53.
- [8] 徐汉林, 方乐华, 张昕, 等. 塔里木盆地早二叠世岩浆特征及其对油气成藏关系初探[J]. 地球学报, 2006, 27(3): 235-240.
Xu Hanlin, Fang Lehua, Zhang Xin, et al. Acta Geoscientica Sinica, 2006, 27(3): 235-240.
- [9] 裴衡, 张新艳, 彭鑫岭. 塔里木盆地塔中地区火成岩对油气勘探的影响[J]. 断块油气田, 2003, 10(1): 5-8.
Chang Heng, Zhang Xinyan, Peng Xinling. Fault-block Oil & Gas Field, 2003, 10(1): 5-8.
- [10] 罗静兰, 邵红梅, 张成立. 火山岩油气藏研究方法 with 勘探技术综述[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 31-38.
Luo Jinglan, Shao Hongmei, Zhang Chengli. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(1): 31-38.
- [11] 朱毅秀, 金之均, 林畅松, 等. 塔里木盆地塔中地区早二叠世岩浆岩及油气成藏关系[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 50-61.
Zhu Yixiu, Jin Zhijun, Lin Changsong, et al. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(1): 50-61.
- [12] 郭占谦. 火山活动与石油, 天然气的生成[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(3): 183-185.
Guo Zhanqian. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(3): 183-185.

(责任编辑 孙秀云, 马骁骁)