

准噶尔盆地五彩湾凹陷基底火山岩 储集性能及影响因素

余淳梅¹, 郑建平¹, 唐勇², 杨召², 齐雪峰²

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 新疆油田公司勘探开发研究院, 新疆克拉玛依 834000

摘要: 含油气火山岩储层的研究为石油勘探开拓了更广阔的前景. 利用岩心、薄片及成像测井(FMI)等手段对准噶尔盆地五彩湾凹陷基底火山岩储层的岩性特征、岩相分布、岩石物性(包括孔隙度和渗透率)进行了研究. 该区含油气的火山岩主要为中石炭世巴山组(C_2b), 包括熔岩(安山岩和玄武岩)和火山碎屑岩. 熔岩的平均孔隙度和渗透率分别为7.42%和 $0.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 火山角砾岩类的平均孔隙度和渗透率分别为9.84%和 $0.33 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. 这些火山岩储集空间类型以次生孔、缝为主. 与盆地内基底火山岩储集性能最好的腹部石西油田相比, 东部五彩湾凹陷的储集性能略差. 火山喷发时的环境、火山岩的岩性岩相、以及火山岩的次生改造是影响基底火山岩储集性能的重要因素.

关键词: 火山岩; 基底古潜山; 储集空间; 准噶尔盆地.

中图分类号: P588.14

文章编号: 1000-2383(2004)03-0303-06

收稿日期: 2003-07-12

Reservoir Properties and Effect Factors on Volcanic Rocks of Basement beneath Wucaiwan Depression, Junggar Basin

YU Chun-mei¹, ZHENG Jian-ping¹, TANG Yong², YANG Zhao², QI Xue-feng²

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, Karamay 834000, China

Abstract: The researches on oil- and gas-bearing volcanic rocks have largely developed the foreground of oil exploration. Types, facies distribution and physical properties (mainly porosity and permeability) of volcanic rock of the basement beneath the Wucaiwan depression, the eastern part of Junggar basin, are studied, based on the data of petrography and FMI. Oil- and gas-bearing volcanic rocks in this area belong to the Bashan group (C_2b). The rocks are mainly lava (including andesites and basalts) and pyroclastic ones. The average porosity and permeability are 7.42% and $0.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ in lavas, and are 9.84% and $0.33 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ in volcanic breccias respectively. The reservoir-spaces of the rocks are mainly composed of secondary pores and fissures. The reservoir property in the Wucaiwan area is slightly poorer than that of the basement beneath the Shixi oilfield, the center part of the basin, where there is the best reservoir property in volcanic rocks. The environment during the volcanic eruption, types and facies of the rocks, and subsequent modification play important roles on the reservoir properties of the basement rocks.

Key words: volcanic rock; paleo-buried hill in basement; reservoir space; Junggar basin.

火山岩作为油气储层近年来越来越受到石油地质学界的关注. 在美国、日本等地均有火山岩油气藏(Prinon, 1995), 我国在20世纪70年代末也相继在下辽河、二连、冀中、黄骅、济阳、临清、苏北等凹陷发现含油气的火山岩储层(张日华等, 1994; 郭齐军等, 1995; 陶奎元等, 1998; 赵澄林等, 1999; 马乾等,

2000);90 年代中期,在准噶尔盆地腹部(陆梁)发现了与基底古潜山晚石炭世火山岩储层有关的大型石西油田(杨雁至,1997,新疆油田公司勘探研究院研究成果报告).近年的勘探发现,盆地东部五彩湾凹陷的基底火山岩中也有油气显示(李新兵,1997,新疆油田公司勘探研究院研究成果报告).通过与石西油田储层火山岩在火山岩喷发环境、岩性岩相、物性参数、储集空间、盖层/基底地层时差等方面进行对比研究,试图了解五彩湾凹陷基底火山岩的储集性能,并对有利储集空间的影响因素进行探讨.

1 准噶尔盆地基本地质概况

准噶尔盆地地处中亚腹地,是我国西北大型含油气盆地之一,地理坐标大致在北纬 $43^{\circ}20' \sim 46^{\circ}20'$ 和东经 $82^{\circ}30' \sim 91^{\circ}30'$ 间. 总体形态呈三角形,面积约 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$,四周被褶皱山系所围限. 盆地统一-基底自古生代形成以来,经历了海西期、印支期、燕山期和喜山期等多期构造活动,形成了多个不整合面与构造层. 在这些不同的构造层中发育着数百条规模不等、性质不同的断裂(况军,1993). 从断裂形成时间、性质看,海西期和喜山期以逆掩断层为主,局部发育正断裂;燕山期盆地边缘主要为逆掩断裂,而在盆地内部以正断裂为主. 盆地的构造演化大体上可以划分为裂陷、前陆盆地、拗陷和盆地收缩 4 个阶段(况军,1993;蔡忠贤等,2000). 早古生代裂陷阶段和晚古生代的前陆盆地阶段早期是盆地基底形成和最早接受沉积盖层的阶段,其晚古生代石炭系褶皱基底具大陆边缘弧性质(郑建平等,2000). 自早二叠世开始,盆地发展经历了前陆盆地演化阶段的鼎盛时期,自晚二叠世至三叠世进入统一的拗陷阶段;喜马拉雅运动期间,盆地进入挤压收缩阶段,形成了典型的南倾箕状盆地.

研究区五彩湾凹陷(图 1)内含“三隆两断”,即鼻状隆起、白家海凸起、北缘隆起和滴南、屏风山 2 个断块. 根据地震反射资料和岩心观察,五彩湾凹陷基底以晚古生代石炭系火山岩(熔岩与火山碎屑岩交替出现)为主,夹薄层泥岩、砂岩. 火山活动总体表现为下石炭统相对较弱,上石炭统相对强烈的特征. 基底岩石有低频强—中振幅反射、高频连续平行反射、中高频—中振幅连续反射和杂乱反射等 4 种不同的地震反射特征. 其中,前 3 种以安山岩为主,安山岩、玄武岩呈大陆间歇性火山喷发作用特征,属陆

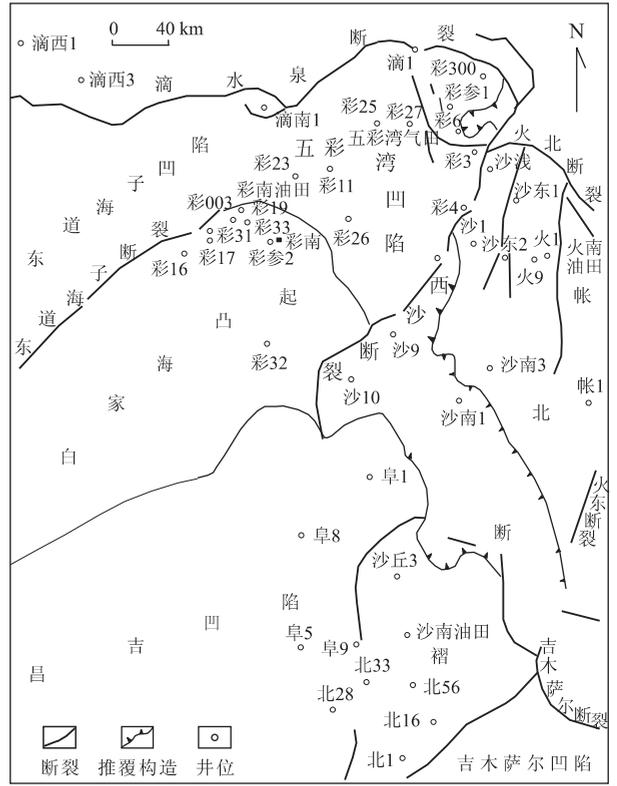


图 1 五彩湾凹陷构造位置

Fig. 1 Structural map of Wucaiwan depression basement

表海火山—沉积环境;第 4 种反射结构更多地反映基底侵入作用,以及断裂、风化等作用对褶皱基底的改造特征.

2 五彩湾火山岩岩石类型及特征

五彩湾凹陷基底石炭系火山岩主要见于巴山组(C_2b),包括熔岩类及火山碎屑岩. 熔岩主要为安山岩—玄武岩组合,其中安山岩所占比例高达 69%,主要发育于彩 25 井、彩 203 井区附近;火山碎屑岩包括火山角砾岩和凝灰岩,其中火山角砾岩主要发育在彩 27、彩 29、彩 201、彩 202 等井区附近(郑建平,2002,准噶尔盆地重点目标区火山岩岩相及储集性能研究报告). 这些火山岩的化学成分均显中钾钙碱性岩系列特点(郑建平,2000). 根据岩心和薄片观察,五彩湾凹陷代表性火山岩岩石类型及特征如下.

安山岩:岩石多为灰绿色,具斑状结构、聚斑结构,基质为安山结构. 斑晶主要为斜长石(约 10%),少量辉石斑晶. 辉石多已绿泥石化、碳酸盐化. 基质微晶斜长石多呈杂乱分布,局部半定向排列,其间充填有绿泥石、磁铁矿、玻璃质和辉石等. 少数安山岩

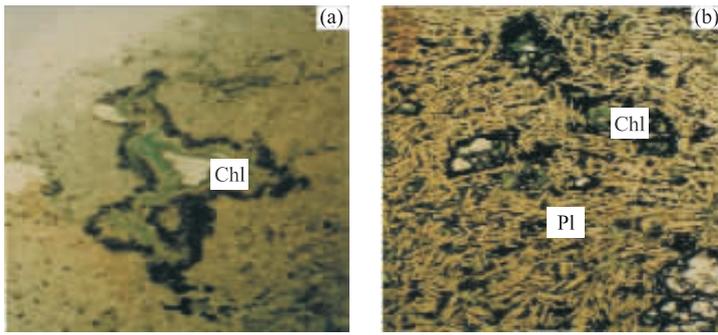


图 2 五彩湾凹陷基底火山岩岩石结构及孔隙特征

Fig. 2 Characters of texture and pores in volcanic rocks from Wucaiwan depression basement

a. 安山岩, $4 \times 10(-)$; b. 玄武岩, $4 \times 10(-)$

可见气孔构造、杏仁构造。杏仁体呈不规则状, 充填绿泥石和碳酸盐矿物(图 2a)。岩石发育裂缝, 局部被方解石充填。

玄武岩: 岩石多为深灰色, 斑状结构, 斑晶(约 5%)主要为辉石、斜长石。基质为拉斑玄武结构, 微晶斜长石结晶程度较高并呈杂乱分布, 其间充填少量粒状辉石, 以及较多的绿泥石和绿色玻璃。岩石主要为块状构造, 偶见气孔构造呈不规则状, 并多被绿泥石和少量沸石充填(图 2b)。

火山角砾岩: 岩石主要为灰色、灰绿色, 由火山角砾岩屑(砾径 2~64 mm 者多于 50%)、晶屑及凝灰质等组成。火山角砾(岩屑)多为安山质岩石碎块, 晶屑多为棱角状长石碎片, 这些碎屑物被火山灰胶结。由于受热液的影响, 火山灰多由霏细状长英质颗粒和绿泥石组成。

凝灰岩: 灰褐色, 由凝灰质(颗粒直径小于 2 mm 且多于 50%)、晶屑、岩屑和胶结物组成。岩屑以安山岩为主, 次为凝灰岩。晶屑主要为斜长石。火山灰常受热液改造重结晶, 被微粒石英、长石及方解石取代。

与盆地腹部同种岩石相比, 东部五彩湾凹陷基底火山岩的颜色总体较深, 多为灰绿色, 而在腹部褐色、红褐色火山岩所占的比率明显增高(郑建平, 2002, 准噶尔盆地重点目标区火山岩岩相及储集性能研究报告)。五彩湾凹陷很少角砾熔岩、熔结角砾岩, 而这些岩石在腹部非常普遍。五彩湾凹陷基底火山岩中原生气孔构造、原生裂缝均不如腹部发育(表 1)。

3 火山岩物性特征及储集空间类型

3.1 火山岩物性特征

五彩湾凹陷基底火山岩中, 熔岩平均密度为

表 1 五彩湾与腹部陆梁区原生孔、缝统计对比

Table 1 Percent comparison on original pore and fracture between Wucaiwan and Luliang area

地区	原生气孔/%	原生裂缝/%
五彩湾	12.7	10.5
腹部陆梁	32.9	24.1

2.52 g/cm^3 , 其中玄武岩的密度平均为 2.61 g/cm^3 , 高于其他岩性密度, 这与玄武岩具较高的镁铁质矿物含量和孔隙不发育有关。在所有火山岩中, 火山角砾岩密度较低(平均 2.42 g/cm^3), 这可能与其孔隙较发育有关。图 3 对比了五彩湾凹陷与腹部陆梁(石西)安山岩的孔隙度和渗透率。从图 3 中可以看出, 五彩湾凹陷火山岩的孔隙度(8.14%)、渗透率($1.14 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)均不及腹部(分别为 14.77% 和 $2.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。

五彩湾凹陷基底所发育的安山岩、玄武岩、火山角砾岩和凝灰岩的物性参数有如下差别(图 4): (1)

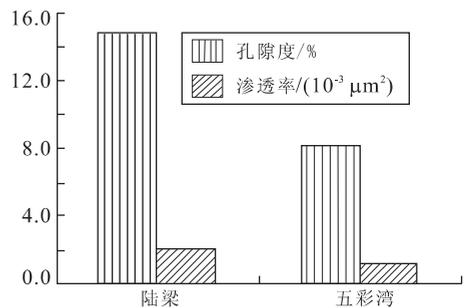


图 3 准噶尔盆地五彩湾与腹部(陆梁)安山岩孔隙度(%)、渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$)对比

Fig. 3 Comparison on porosity (%) and permeability ($10^{-3} \mu\text{m}^2$) of andesites between Luliang (Shixi) and Wucaiwan

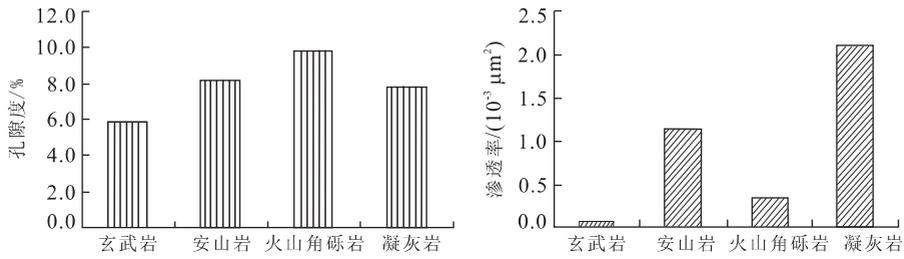


图 4 五彩湾凹陷不同火山岩孔隙度(%)、渗透率($10^{-3} \mu\text{m}^2$)对比

Fig. 4 Comparison on porosity (%) and permeability ($10^{-3} \mu\text{m}^2$) in different volcanic rocks from Wucaiwan

表 2 五彩湾火山岩储集空间类型、形成机理及主要分布

Table 2 Reservoir space types, genesis and distribution of volcanic rocks in Wucaiwan depression

储集空间类型		形成机理	对应岩性	代表井
原生	原生气孔	岩浆中挥发份在冷凝过程中逸出而形成气孔	火山角砾岩、熔岩	彩 201、202、27
	原生孔隙	残余气孔	玄武岩、火山角砾岩	彩 25
		晶间晶内孔	矿物颗粒之间的孔隙;辉石、斜长石等斑晶矿物多是有解理的矿物,它们本身就是晶内孔	熔岩、火山碎屑岩
	原生裂缝	冷凝收缩缝	火山角砾岩	彩 202
次生	次生孔隙	斑晶溶蚀孔	安山岩	彩 25
		杏仁体溶蚀孔	熔岩	彩 25
	次生裂缝	构造裂缝	安山岩	彩 25
		风化裂缝	常与溶蚀孔、缝和构造裂缝交错相连,将岩石切割成大小不同的碎块	火山角砾岩
孔缝组合	构造缝—溶蚀缝—溶孔	是准噶尔盆地基底火山岩储层最主要的孔缝组合类型	安山岩、粗面岩	彩 25、203
	原生气孔—构造缝—溶蚀缝—溶蚀孔		玄武岩	彩 25
	晶间孔—原生孔—构造缝—溶蚀孔	为火山碎屑岩中的主要组合类型	火山碎屑岩	彩 201

火山碎屑岩具最高的孔隙度(1.26%~30.08%,平均9.84%),其次是安山岩(8.14%)、凝灰岩(7.92%),玄武岩的孔隙度最低(5.89%);(2)凝灰岩具最高的平均渗透率($2.09 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),其次是安山岩、火山角砾岩,玄武岩的渗透率最低($0.89 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。由于凝灰岩在分布上很分散,难以形成厚度规模,因此从孔隙度、渗透率的综合物性特征看,安山岩和火山角砾岩是较好的储层。

3.2 火山岩储集空间类型

在大量岩心、薄片观察和成像测井(FMI)研究的基础上,对五彩湾凹陷基底火山岩的储集空间(孔、缝)进行了初步分类(表2),并结合火山学原理讨论了它们的形成机制。基底火山岩的储集空间表现为孔隙和裂缝的形式,可以分为原生和次生两大类。熔浆喷出地表和冷却结晶过程是个很复杂的物理和化学过程,涉及到热量的散失、挥发气体的大量逸出,与下伏地层突然接触时也会产生气流,这会使火山岩在成岩过程中产生气孔。另外,岩浆冷凝与

凝缩过程中又会形成裂缝和晶面孔隙。对于火山碎屑岩,由于爆发过程所形成的各种碎屑物在压实作用过程中的支撑作用,也要留下大量原生孔、缝。

先期形成的火山岩经后期热液、地表水或埋深后的盆地流体等因素作用,使岩石成分、结构构造受到一定改造,加之风化和地质构造运动,岩石矿物发生溶解和水解,形成溶蚀孔隙,使原生孔隙结构发生变化。次生储集空间往往叠加在原生储集空间之上,所以大大改善了火山岩储层的物性,使火山岩储集空间类型复杂化了。但总的趋势是在风化剥蚀带和破碎带的次生孔缝发育更加完善。

4 火山岩储集性能的影响因素

4.1 岩性、岩相

岩性、物性及储集空间是火山岩能否作为油气储层的评价指标。其中,岩性是影响火山岩储层好坏的直接因素,无论是原生孔隙还是次生孔隙,在一定

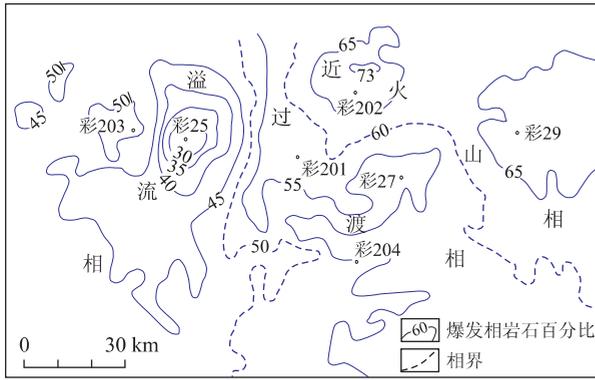


图5 五彩湾凹陷基底火山岩岩相分布[据李新兵(1997)内部报告修改]

Fig. 5 Sketch map showing facies distribution of volcanic rocks in Wucaiwan depression basement

图中标出的井号为采样井

程度上皆受岩石类型的影响。在五彩湾凹陷,除火山碎屑岩的孔、渗条件明显好于熔岩外,正常火山岩要比沉火山碎屑岩储集性能好。正如岩石物性参数所反映的那样,安山岩和火山角砾岩是较好的储层。作为综合考虑,经风化、断裂改造的安山质火山角砾岩或安山质角砾熔岩应该是好的储层。

图5所表示的是在岩心观测、测井描述基础上,经岩性、岩相与地震属性关系所处理出来的五彩湾凹陷石炭系基底火山岩岩相分布。彩202、彩29均位于近火山口相,主要岩性为安山质火山角砾岩,被认为具较好的储存空间,但有待于勘探的进一步验证。

4.2 火山喷发时的环境

从准噶尔盆地不同区块火山岩的颜色、气孔发育情况看,五彩湾凹陷的基底火山岩多为灰绿色,表现强的绿泥石化,火山岩原生气孔极不发育;而腹部陆梁火山岩气孔很发育,且火山岩的颜色也以棕色为主。这种“东绿西红”的差异,反映出从东向西,火山岩喷发环境有自水下向水上转换的趋势:东部五彩湾凹陷火山岩以深水下喷发为特点,腹部陆梁(石西)则主要为陆上特别是喷发时遇大气降水或浅水下喷发。

喷发环境对火山岩储集空间的形成有很大影响。以东部五彩湾凹陷的彩参2井为例,石炭系主要为火山岩与沉积岩互层,并有一定量的凝灰质角砾岩和凝灰岩。沉积岩层中含海相化石,属陆表海沉积环境。火山岩在水体深部喷发,由于深水的静水压力大,溶解于岩浆中的挥发份不容易逃逸难以形成气孔,故原生气孔极不发育。加之水体的共同作用,火

山岩发生明显的蚀变(绿泥石化)和充填作用,使本来就少的原生孔隙减少。与此对比,腹部石西广泛分布的角砾熔岩因在浅水环境或陆上特别是喷发时遇大气降水喷发,一方面溶解于熔浆中的挥发份可以大量逃逸形成原生气孔,另一方面由于炽热岩浆突遇水体产生的淬火作用形成大量原生微裂隙并把原生气孔很好地连通起来,可以构成良好的原始储集空间。

4.3 风化和断裂的改造作用

火山岩储集性能的另一根本控制因素是风化作用和构造破碎作用。海西期形成的石炭系火山岩遭受了强烈的挤压断裂作用和长期的风化剥蚀作用(张明洁,2000),构成了准噶尔盆地的海西褶皱基底(王尚文,1983)。在此不整合面之上,不同层位的新地层直接覆盖在石炭系火山岩风化壳之上(张明洁和杨品,2000),形成了石炭系火山岩上覆盖层时代不一的特征。从盆地基底与盖层的时间差看,腹部(陆梁)的基底主要为下石炭统,而盆地内上覆的盖层为三叠纪地层。东部五彩湾凹陷基底是上石炭统火山岩,盖层时代为二叠纪。显然腹部的盖层与基底的时差明显长于东部五彩湾区。我们把这种差别与两区的物性差别进行联系:腹部基底火山岩所具有的高孔隙度、渗透率特征,除与两地当时的喷发环境有关外,长的盖层/基岩时代差使得基岩有足够的时间风化、淋滤,从而储集性能大为改善。

含油气火山岩所处的构造位置及油气成藏前的断裂改造都可对火山岩储集性能产生影响。腹部和五彩湾石炭系火山岩均位于深大断裂带附近或大的构造单元转换部位,被认为是处于火山剧烈活动地带(张明洁和杨品,2000)。尽管五彩湾凹陷的基底火山岩主要喷发于水下环境,熔岩原生孔缝极不发育,但受后期挤压断裂构造作用及溶蚀作用的影响而产生的大量次生溶蚀孔及构造裂缝(图6),大大

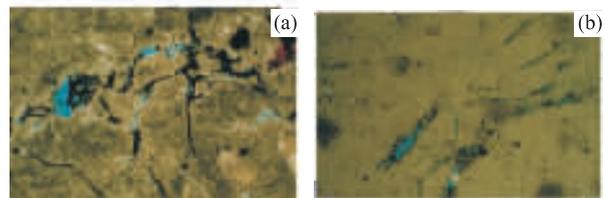


图6 五彩湾凹陷基底火山岩中溶蚀孔与构造裂缝,4×10(—)

Fig. 6 Dissolved pore and structural fracture in volcanic rocks from Wucaiwan depression basement

改善了火山岩的储集性能。总之,有利的基底古潜山型火山岩储层要有合理的时空配置。风化作用和断裂作用对于储集空间的形成、改造和连通孔隙起关键作用。

5 主要认识

准噶尔盆地五彩湾凹陷基底火山岩具有良好的储集性能,但比腹部石西油田略差。火山岩的岩性岩相、火山喷发时的环境以及火山岩的次生改造是影响基底火山岩储集性能的重要因素。基底古潜山型火山岩有利储集空间的影响因素主要表现为:(1)火山角砾岩储集空间好于熔岩、近火山口相是有利的储集相带;(2)浅水下或陆上喷发时遇大气降水的火山岩优于水下相喷发的火山岩;(3)长的盖层与基底的时代差(有效的风化)和有利构造部位(良好的断裂改造)可进一步改善储集空间。

References

- Cai, Z. X., Chen, F. J., Jia, Z. Y., 2000. Types and tectonic evolution of Junggar basin. *Earth Science Frontiers*, 7(4): 431-440 (in Chinese with English abstract).
- Guo, Q. J., Jiao, S. Q., Wan, Z. M., 1995. Petrology evaluation of volcanic rock reservoirs. *Special Oil and Gas Reservoir*, 2(3): 6-22 (in Chinese with English abstract).
- Kuang, J., 1993. Terranes amalgamation and the forming of Junggar basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 14(2): 126-131 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Q., E, J. J., Li, W. H., et al., 2000. Reservoir evaluation of deep seated igneous rocks in Beipu region, Huanghua depression. *Petroleum and Natural Gas Geology*, 21(4): 337-344 (in Chinese with English abstract).
- Prinon, J., 1995. Organic inclusions in salt. Part 2: Oil, gas and ammonium in inclusion from the carbon margin. *Org. Geochem.*, 23: 739-750.
- Tao, K. Y., Yang, Z. L., Wang, L. B., et al., 1998. Oil-reservoir geological model of basalt in Minqiao, northern Jiangsu Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 23(3): 272-276 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. W., 1983. *Petroleum geology of China*. Petroleum Industry Press, Beijing, 300-306 (in Chinese).
- Zhang, M. J., 2000. The characteristics of the Carboniferous traps in Junggar basin. *Journal of Xinjiang Petroleum*

Institute, 12(1): 1-5 (in Chinese with English abstract).

- Zhang, M. J., Yang, P., 2000. The characteristic and analysis of reservoir-forming conditions of the Carboniferous oil and gas pools in Junggar basin. *Journal of Xinjiang Petroleum Institute*, 12(1): 8-13 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, R. H., Xin, G. L., Liu, X. L., et al., 1994. Research and assessment of oil-gas potential of the Mesozoic era in the coastal of the Jiyang depression. *Shandong Geology*, 10(1): 32-39 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, C. L., Meng, W. G., Jin, C. S., et al., 1999. *Igneous rock and oil of Liaohe basin*. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zheng, J. P., Wang, F. Z., Cheng, Z. M., et al., 2000. Nature and evolution of amalgamated basement of Junggar basin, northwestern China: Sr-Nd isotope evidences of basement igneous rock. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(2): 179-185 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡忠贤, 陈发景, 贾振远, 2000. 准噶尔盆地的类型和构造演化. *地学前缘*, 7(4): 431-440.
- 郭齐军, 焦守途, 万智民, 1995. 火山岩储层的岩石学评价. *特种油气藏*, 2(3): 6-22.
- 况军, 1993. 地体拼贴与准噶尔盆地的形成. *新疆石油地质*, 14(2): 126-131.
- 马乾, 鄂俊杰, 李文华, 等, 2000. 黄骅拗陷北堡地区深层火成岩储层评价. *石油与天然气地质*, 21(4): 337-344.
- 陶奎元, 杨祝良, 王力波, 等, 1998. 苏北闵桥玄武岩储油的地质模型. *地球科学——中国地质大学学报*, 23(3): 272-276.
- 王尚文, 1983. *中国石油地质学*. 北京: 石油工业出版社, 300-306.
- 张明洁, 2000. 准噶尔盆地石炭系圈闭特征. *新疆石油学院学报*, 12(1): 1-5.
- 张明洁, 杨品, 2000. 准噶尔盆地石炭系(油)气藏特征及成藏条件分析. *新疆石油学院学报*, 12(1): 8-13.
- 张日华, 信广林, 刘希林, 等, 1994. 济阳拗陷滨海地区中生界油气研究与评价. *山东地质*, 10(1): 32-39.
- 赵澄林, 孟卫工, 金春爽, 等, 1999. *辽河盆地火山岩与油气*. 北京: 石油工业出版社.
- 郑建平, 王方正, 成中梅, 等, 2000. 拼合的准噶尔盆地基底: 基底火山岩 Sr-Nd 同位素证据. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(2): 179-185.