

文章编号: 1000-0550(2014)01-0148-11

# 塔里木盆地二叠纪火山—岩浆活动对古生界 生储条件的影响<sup>①</sup> ——以塔中47井区为例

张巍<sup>1,2</sup> 关平<sup>1</sup> 简星<sup>1</sup>

(1. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室 北京大学地球与空间科学学院 北京 100871; 2. 中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘要** 塔里木盆地古生界地层是油气勘探的重要层段,勘探开发实践证明,古生界地层中的生储盖组合及油气体系受到了二叠纪大量、长期、多阶段火山—岩浆活动的强烈影响,然而,其影响规律尚不清楚。研究选取塔中47井区的三口重点油气探井,对志留系—石炭系油砂样品进行气相色谱—质谱分析,并完成了砂岩的成岩作用及储集空间研究,结合井区三维地震解释,从有机质、储层、成藏等方面研究了二叠纪火山—岩浆活动对古生界生储条件的影响。结果表明,塔中47井所钻遇的大型火山机构,其火山—岩浆活动可以提高下伏地层中有机质的成熟度,增强储层中酸性流体对钙质胶结物的溶蚀作用,促进次生孔隙形成进而发育优质储层。靠近火山机构的油气储层受改造作用更强烈,其储集性能更好,以火山机构为中心,横向上依次分布储层显著改善区域、储层破坏区域和储层基本未受影响区域,储层改善作用的影响范围大约为6 km。储层演化与油气综合成藏与二叠纪火山—岩浆活动有一定的对应性和关联性,火山—岩浆活动直接促进了油气运移和油气藏的形成。

**关键词** 塔里木 二叠纪 火山—岩浆活动 古生界 有机质 储层改造 成藏

**第一作者简介** 张巍 女 1987年出生 博士研究生 沉积学与石油地质学 E-mail: zhangwei6387@163.com

**通讯作者** 关平 男 教授 E-mail: pguanl@pku.edu.cn

中图分类号 P588.14 文献标识码 A

## 0 引言

塔里木盆地二叠系火山岩分布广泛,前人从构造背景、成因机理、年代学等方面针对火山岩做过大量的研究<sup>[1-14]</sup>,并将其归为全球第12个大火成岩省<sup>[10]</sup>。在这种地质背景下,大量、长期、多阶段的火山—岩浆活动必然会对下伏古生界沉积地层及油气体系产生强烈的影响。前人针对火山岩对生烃、碳酸盐岩储层、油气运移成藏以及圈闭的破坏及形成等方面的影响进行过研究<sup>[14-19]</sup>,但是结论存在争议,包括火山活动对油气成藏具有促进作用<sup>[14-17]</sup>、破坏作用<sup>[18]</sup>及不造成影响<sup>[19]</sup>等几种不同的观点。塔里木盆地古生界主要的碎屑岩储层发育于志留系、泥盆系、石炭系,是重要的产油气层段及主力勘探层段<sup>[20-29]</sup>,前人针对其展布、沉积相与层序地层学、成因类型及成岩作用等展开了大量的研究<sup>[20-29]</sup>,但是二叠纪火山—岩浆活动对古生界碎屑岩生储条件的影响规律尚不清楚。塔里木

盆地塔中47井钻遇了火山机构<sup>[18,19]</sup>,为研究生储条件受火山—岩浆活动影响提供了材料。本文选取塔中47井区作为研究区,通过三维地震解释,研究二叠系火成岩的空间分布,并通过薄片及铸体薄片观察、面孔率统计及气相色谱—质谱等方法,研究火山活动对古生界的有机质、碎屑岩储层及成藏等方面的改造作用,探讨火山活动对沉积地层的影响规律,为塔里木盆地深层油气勘探开拓思路。

## 1 地质背景及样品采集

二叠纪塔里木盆地处于全球地幔柱岩浆活动频繁的构造背景下<sup>[13]</sup>,广泛发育了大量的岩浆岩,岩石类型丰富,年龄大多集中在272~291 Ma<sup>[1-14]</sup>,基性岩和酸性岩大量发育,而中性岩非常稀少,反映了塔里木二叠系火山岩是典型的板内裂谷作用产物<sup>[10]</sup>。前人的研究认为盆地内部在时间和空间上存在着两类不同的二叠系火山岩,大致以乌什—阿瓦提—满参

①国家科技重大专项(编号:2011ZX05009-002-403)、国家科技重大专项(编号:2011ZX05004-004-005)与国家重点基础研究发展计划项目(编号:2012CB214801)联合资助  
收稿日期:2012-10-14;收修改稿日期:2013-02-04

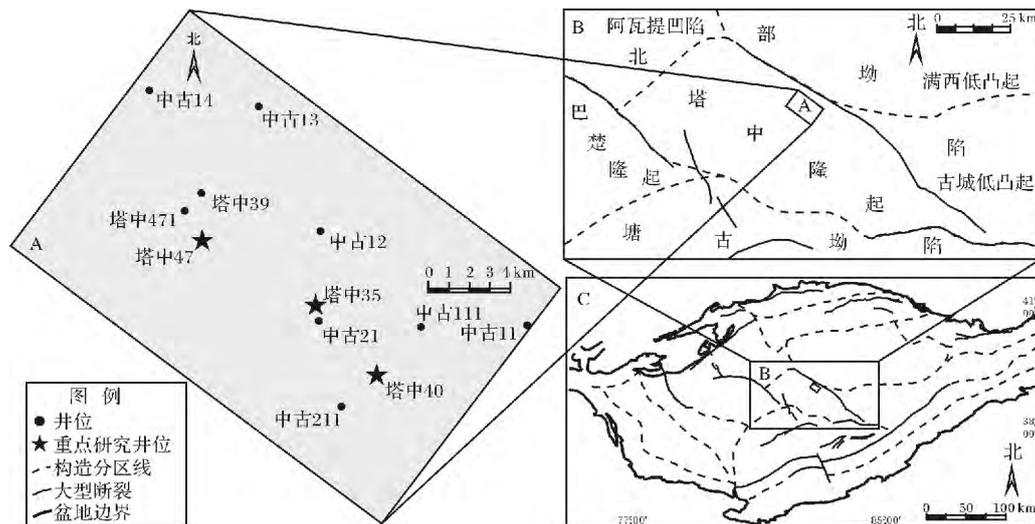


图1 研究区构造纲要及研究井位分布图

Fig. 1 Map showing outline structure and well positions of the study area

1井一线为界,南部发育基性火山岩类,北部发育中—酸性火山岩类<sup>[30,31]</sup>。以玄武岩为代表的基性岩一般呈层状展布,分布于柯坪隆起、巴楚隆起、满加尔凹陷南部、塔中隆起、和田河地区以及塔西南等广大地区;岩性以玄武岩和辉绿岩为主,夹少量中酸性侵入岩。以流纹岩为代表的中—酸性岩一般为局限性分布的巨大岩体,分布于库车坳陷、塔北隆起、满加尔东北部以及孔雀河斜坡;岩性包括流纹岩、安山岩、英安岩、粗面岩、粗安岩以及英安质、流纹质凝灰岩、火山角砾岩,伴有侵入岩和火山碎屑岩<sup>[30,31]</sup>。前人<sup>[31,32]</sup>根据露头、钻井、航磁、测井、地震等资料估算盆地内二叠系残余玄武岩覆盖面积约为 $2.46 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,残余流纹岩覆盖面积约为 $4.04 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。由于盆地内北部和东部二叠系大范围缺失,盆地内二叠系火山岩原始喷发面积和喷出量可能远大于残余量。

塔里木盆地古生界储层主要发育于志留系、泥盆系、石炭系。塔中地区志留系储层以柯坪塔格组砂岩为主,岩性为沥青质细砂岩、中砂岩等,是一套潮坪相沉积<sup>[23,24]</sup>①。泥盆系储层岩性以细砂岩为主,是一套滨海相沉积<sup>①</sup>。石炭系储层主要包括下石炭统巴楚组东河砂岩段、含砾砂岩段及卡拉沙依组砂泥岩段<sup>[23,24]</sup>。东河砂岩段是晚泥盆世至早石炭世海平面上升背景下沉积的一套海侵砂(砾)岩,主体为滨岸海滩相砂岩,是一套矿物成熟度和结构成熟度都很高的中—细粒石英砂岩及少量岩屑石英砂岩<sup>[33~35]</sup>。在

全盆地范围内东河砂岩段是个明显的穿时沉积砂体,在盆地西部为晚泥盆世沉积,在塔中地区(图1)为早石炭世沉积(图2),盆地范围内自西向东向北从古地貌低部位向高部位逐层超覆变薄<sup>[33~35]</sup>。巴楚组合砾砂岩段是低水位晚期陆架河谷充填沉积物,主要为河流相沉积,岩性以含砾粗—中砂岩、砂质砾岩、粉细砂岩夹泥岩为主。卡拉沙依组砂泥岩段储层主要是低水位期河流相砂体和高水位期三角洲相和河流相砂体<sup>[23,24]</sup>。

塔中47井区位于塔里木盆地中央隆起带塔中隆起北坡中部(图1),是塔中三维地震区的一部分,具有高品质的三维地震数据,主要探井包括塔中47井、塔中39井、塔中35井、塔中40井、中古11井、中古12井、中古13井、中古14井、中古21井等。通过详细的三维地震解释,刻画出该井区火山机构的平面分布(图3C),并依据距离火山机构的远近不同,选取塔中47井、塔中35井、塔中40井(图1,2)的志留系、泥盆系、石炭系油砂样品进行气相色谱—质谱分析,砂岩样品铸体薄片进行观察及面孔率统计。

## 2 塔中47井区二叠系火山岩特征

塔中47井区内所有探井都钻遇二叠系火山岩,主要岩性为玄武岩和凝灰岩。通过对塔中47井、塔中39井、塔中35井和塔中40井等进行单井岩性岩相分析、测井标定和解释<sup>[31]</sup>,识别出多套玄武岩和凝

① 陆爱华,陈德华,袁克学,等.塔里木盆地塔中47号构造塔中47井完井地质总结报告,2001:11-36

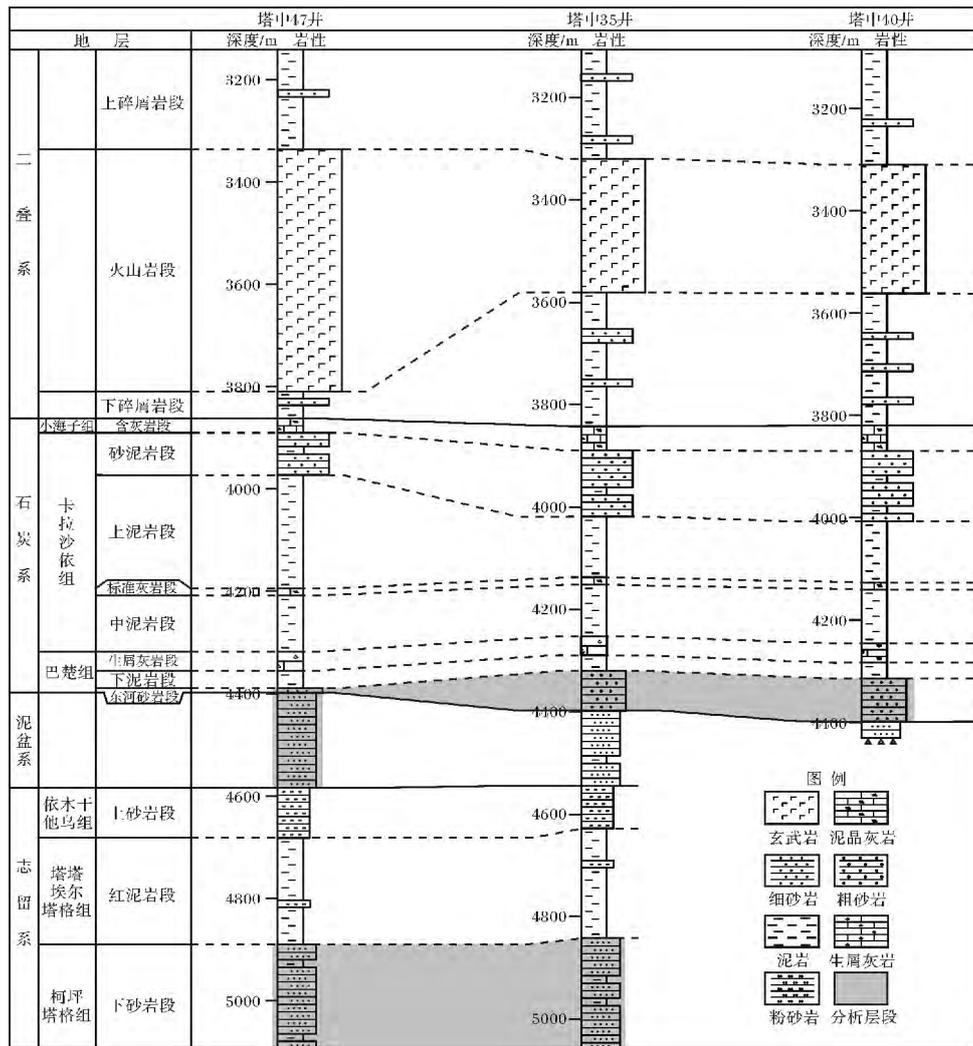


图 2 塔中 47 井区重点研究探井岩性柱状图及分析层段位置

Fig. 2 Locations of analysis layers on columns of crucial research wells in Tazhong 47 well area

灰岩。通过合成记录将岩性分层标定到地震剖面上，从过塔中 39 井—塔中 47 井—塔中 35 井—塔中 40 井的连井地震剖面上(图 3A)，可以识别出玄武岩层横向延展性强，成层性好，高振幅、强连续的典型地震反射特征。凝灰岩在玄武岩喷发之后沉积，横向上呈楔状，局部呈透镜状，自火山机构向四周减薄、尖灭，而凝灰岩上部的沉积岩则向火山机构方向超覆(图 3A)。

从地震剖面上可以明显的看到，塔中 47 井钻遇一个大型火山机构，其火山通道在地震剖面上的特征明显，并具有较大的规模，横向宽度约为 3~4 km(图 3A)。火山通道相具有弱杂乱反射的特征，火山通道使得二叠系以下的地层在横向上不连续，并在部分地层中有侵入相的发育。火山通道可以分为主火山通道和次火山通道(火山喷气锥)，岩浆主要从主火山通道中喷发，在次火山通道中以喷发火山灰和火山气

体为主。次火山通道(火山喷气锥)在地震特征上明显的展示了火山通道的穿刺现象，其外形轮廓清晰，内部反射杂乱，在平面上沿着断裂的延伸方向呈条带状或串珠状分布。

在平面上，通过井区内地震剖面的解释，发现火山口主要分布在二叠系底界之上 150~200 ms 处，因而通过对该层位的属性提取，可以刻画出火山口的平面分布。通过对均方根振幅、平均能量、最大波峰振幅、相关长度、互相关的协方差系数、互相关的时移等 6 种属性的提取和分析，发现均方根振幅、平均能量、相关长度(图 3B)三种属性在空间上对火山口和火山通道的识别性最好。通过对几种属性的综合分析得到了塔中 47 井区火山口的平面分布(图 3C)，可见塔中 47 井钻遇的大型火山机构在平面上也得以清晰的体现，其中“X”型裂隙是浅部的火山通道，而塔中 35

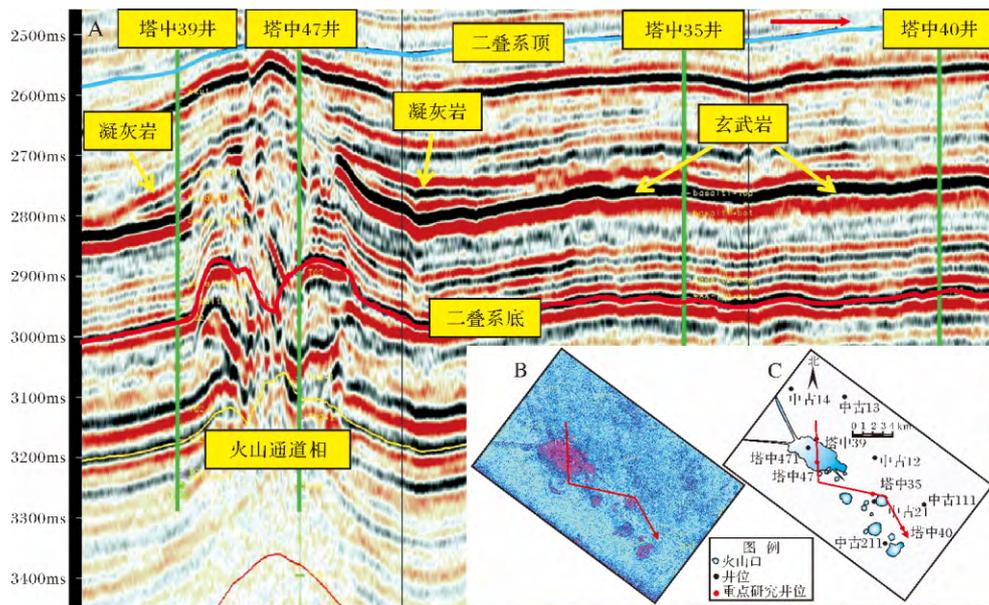


图 3 塔中 47 井区典型三维地震剖面及火山机构平面分布

Fig. 3 Typical 3D seismic profile and horizontal distribution of volcanic apparatus in Tazhong 47 well area

井和塔中 40 井距火山机构分别为约 6.2 km 及 10.4 km。相关长度属性(图 3B)能很好的反映地层的断裂系统,因而可以认为构造因素为发育火山机构的主控因素。

### 3 火山—岩浆作用对沉积有机质的影响

选取塔中 47、塔中 35、塔中 40 三口探井志留系和石炭系的油砂样品进行气相色谱—质谱分析,选取生物标志化合物指标,尤其是反映热成熟度方面的指标,来判断沉积地层中的有机质受火山活动影响的程度。

塔中 47 井区油砂中的有机质普遍处于成熟到过成熟阶段<sup>[37, 38]</sup>,且由于岩浆作用带来大量热,属于热

作用高演化样品,因此对微生物作用较为敏感的成熟度指标藿烷  $T_s/T_m$  值、 $C_{30} \alpha\beta/\beta\alpha$  值及甾烷  $C_{29} \beta\beta/(\beta\beta + \alpha\alpha)$  值失效<sup>[39]</sup>。我们选用在热作用成熟度评价中最为普遍和可靠的参数藿烷  $C_{31} \alpha\beta-22S/22(S + R)$  值和甾烷  $C_{29}-\alpha\alpha\alpha-20S/(20S + 20R)$  值进行不同层位三口井之间的对比。计算结果表明总体看来石炭系藿烷  $C_{31} \alpha\beta-22S/22(S + R)$  值和甾烷  $C_{29}-\alpha\alpha\alpha-20S/(20S + 20R)$  值均呈现塔中 47 井 > 塔中 35 井 > 塔中 40 井的特征。志留系藿烷  $C_{31} \alpha\beta-22S/22(S + R)$  值塔中 47 井与塔中 35 井相差不是很大,甾烷  $C_{29}-\alpha\alpha\alpha-20S/(20S + 20R)$  值呈现塔中 47 井 > 塔中 35 井的特征。在其他条件基本相同的情况下,造成三口井间这种差异的原因只能是塔中 47 井区的岩浆活动产生大量的

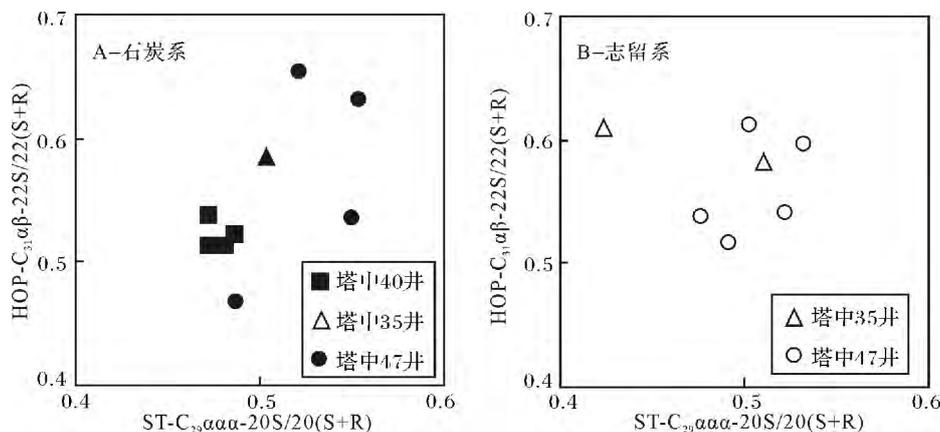


图 4 塔中 47 井区志留系、石炭系油砂样品有机地化参数相干图

Fig. 4 Coherence chart of organic geochemical parameters of oil sand samples in Tazhong-47 Well area

热,导致距离火山机构越近的地方,有机质热成熟度越大。

利用生物标志化合物有机质成熟度指标藿烷  $C_{31} \alpha\beta-22S/22(S+R)$  值和甾烷  $C_{29}-\alpha\alpha\alpha-20S/(20S+20R)$  值作相干图(图 4)可见,样品数据点大致具有线性关系,即有机质成熟度石炭系呈现塔中 47 井 > 塔中 35 井 > 塔中 40 井的特征,志留系呈现塔中 47 井 > 塔中 35 井的特征。塔中 47 井区距离火山机构越近的地方,有机质热成熟度越大(图 5),火山—岩浆活动对沉积地层中的有机质确实存在影响。另外,塔中 47 井的样品数据十分分散,说明有机质经受的热作用是不均匀的、随机的,推测与岩浆岩体分布不均匀有关,也成为塔中 47 井区有机质成熟度异常是由于火山活动影响的另一佐证。

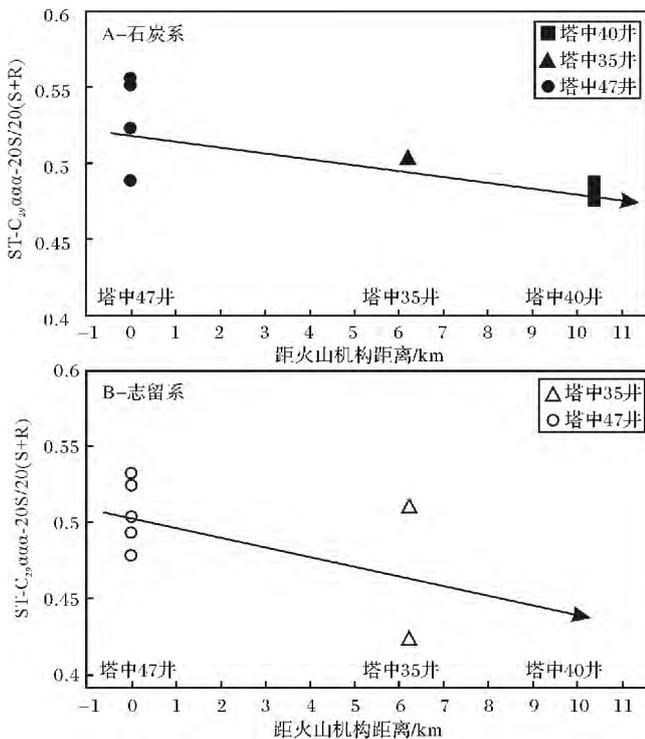


图 5 塔中 47 井区油砂样品成熟度与火山机构位置的关系  
Fig. 5 Relevance of crater location and maturity of oil sand samples in Tazhong 47 well area

### 4 火山—岩浆作用对碎屑岩储层的影响

火山活动中的岩浆携带大量的流体和热量,通过火山通道喷发到地表,在下伏沉积地层中能够留下很多记录<sup>[14,16]</sup>,影响其成岩作用和储集空间。通过对比塔中 47 井、塔中 35 井和塔中 40 井的古生界志留系、泥盆系、石炭系砂岩储层的特征及成岩作用,研究火山活动对碎屑岩储层的影响规律。

### 4.1 储层岩相学特征

通过对储层砂岩铸体薄片的鉴定发现,塔中 47 井区志留系和石炭系的砂岩薄片显示储层经历了中等—较强的压实作用,碎屑颗粒间以点—线接触为主。其主要胶结作用类型为钙质胶结和石英次生加大的硅质胶结两种类型(图 6a-f)。塔中 47 井石英次生加大的硅质胶结在胶结物中所占比例普遍在 70%~100% 范围内(图 6a,d、表 1),钙质胶结物较少。塔中 35 井和塔中 40 井石炭系砂岩胶结类型以钙质胶结为主,发育极少数的石英次生加大胶结物(图 6b,e,f、表 1)。结合塔中 47 井区火山机构的分布情况,这些砂岩储层中的石英次生加大的硅质胶结物可能有如下两种解释:①是直接受火山—岩浆活动的影响形成;②是与火山活动相关的热液流体改造储层的特征产物。塔中 47 井区志留系和石炭系的砂岩经历了较为强烈的溶蚀作用,主要表现为钙质胶结物的溶解,产生孔隙,石英次生加大的硅质胶结物普遍未受到溶蚀作用的影响(图 6a-f),推测储层经历了酸性流体的溶蚀。塔中 47 井溶蚀作用最为强烈,塔中 40 井次之,塔中 35 井受溶蚀作用影响较小(图 6a-f)。

### 4.2 储集空间特征

研究层段砂岩储层的储集空间类型多样,主要包括粒间原生孔隙、粒间溶蚀孔隙、粒内原生孔隙和粒内溶蚀孔隙(图 6a,b,c)。通过观察砂岩储层中胶结物类型和面孔率的关系可知,方解石胶结物极其发育的砂岩孔隙度很低(图 6b,e),方解石胶结物中等—弱发育,含少量石英次生加大的硅质胶结的砂岩孔隙度较高(图 6a,c,d,f)。塔中 47 井区内砂岩钙质胶结十分发育,使得砂岩的孔隙度明显降低,而发育石英次生加大硅质胶结的砂岩孔隙度反而较高(表 1)。总体而言,塔中 47 井储层面孔率最高,以硅质胶结为主,塔中 35 井储层面孔率很低,发育大量钙质胶结,塔中 40 井储层面孔率较高,以钙质胶结为主(表 1)。

通过胶结物与面孔率的相关图(图 7)可以看出,随胶结物比例增高,面孔率减小,储层变差。钙质胶结物比例与面孔率呈负相关关系,而石英次生加大的硅质胶结与面孔率之间并无明显的关系(图 7),说明钙质胶结是抑制优质储层发育的主控因素,而石英次生加大的硅质胶结并未破坏优质储层。

## 5 讨论

利用热作用成熟度评价中最为普遍和可靠的参数藿烷  $C_{31} \alpha\beta-22S/22(S+R)$  值和甾烷  $C_{29}-\alpha\alpha\alpha-20S/$

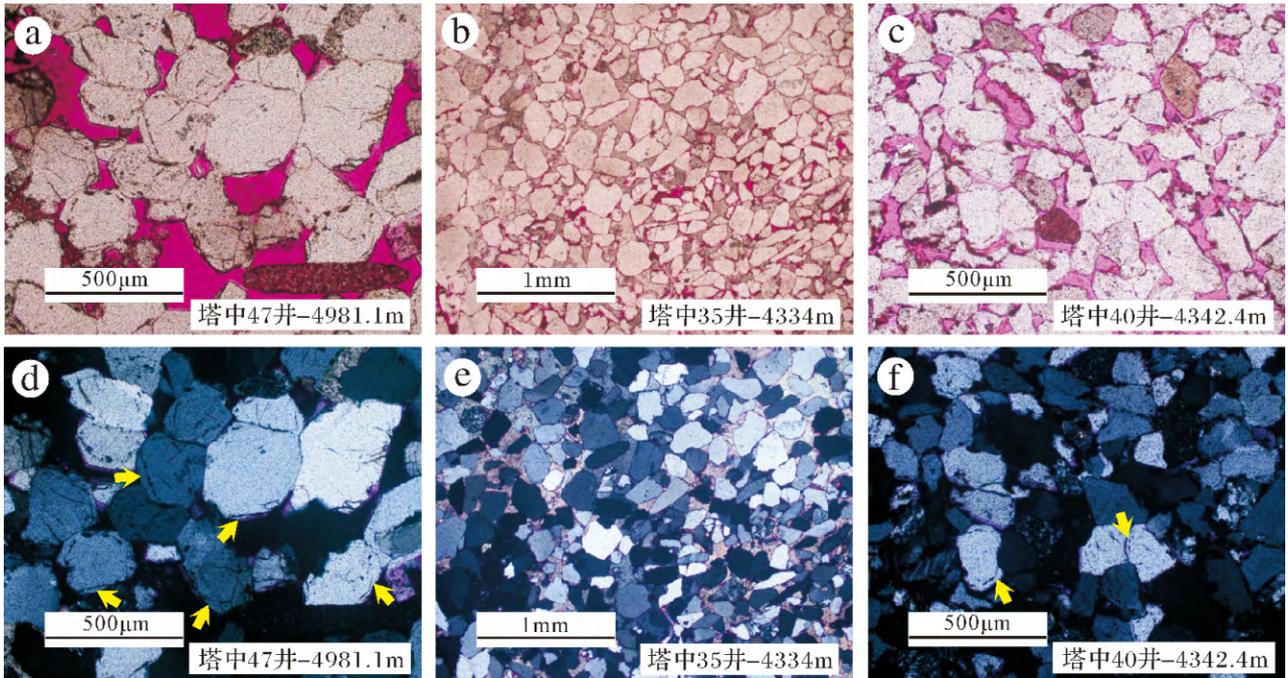


图 6 塔中 47 井区古生界碎屑岩储层典型铸体薄片照片

Fig. 6 Representative casting thin sections photos of Paleozoic clastic rock reservoir in Tazhong-47 well area

表 1 塔中 47 井区碎屑岩储层铸体薄片鉴定统计表

Table 1 Identification and statistics of casting thin sections of clastic rock reservoir in Tazhong 47 well area

井号	薄片编号	层位	深度 /m	面孔率/%	胶结物比例 /%	钙质胶结物比例 /%	硅质胶结物比例 /%		
塔中 35 井	TZ35-7	石炭系东河砂岩段	4 334	2	17	17	0		
	TZ35-8		4 336	14	8	7.6	0.4		
塔中 40 井	TZ40-55	石炭系东河砂岩段	4 319.4	3	20	19.2	0.8		
	TZ40-80		4 322.24	8	10	10	0		
	TZ40-91		4 323.89	10	7	7	0		
	TZ40-97		4 324.8	11	5	4.9	0.1		
	TZ40-114		4 326.5	17	3	2.4	0.6		
	TZ40-138		4 329.32	5	15	9.75	5.25		
	TZ40-193		4 335.4	4	15	12	3		
	TZ40-204		4 336.41	16	4	1.6	2.4		
	TZ40-223		4 338.07	20	2	0	2		
	TZ40-284		4 344.04	18	3	0	3		
	TZ40-319		4 348.22	10	10	10	0		
	TZ40-333		4 350.92	21	2	1.6	0.4		
	塔中 47 井		TZ47-113	石炭系东河砂岩段	4 393.54	11	13	3.9	9.1
			TZ47-136		4 397.5	10	10	1	9
TZ47-195		4 406.19	15		5	0	5		
TZ47-198		4 406.51	17	5	0.25	4.75			
TZ47-200		泥盆系	4 406.73	19	2	0	2		
TZ47-204			4 407.13	15	6	0	6		
TZ47-223			4 409.4	1	25	20	5		
TZ47-224			4 409.53	14	7	1.4	5.6		
TZ47-341		志留系柯坪塔格组	4 985.21	6	12	0	12		
TZ47-363			4 988.04	5	15	0	15		

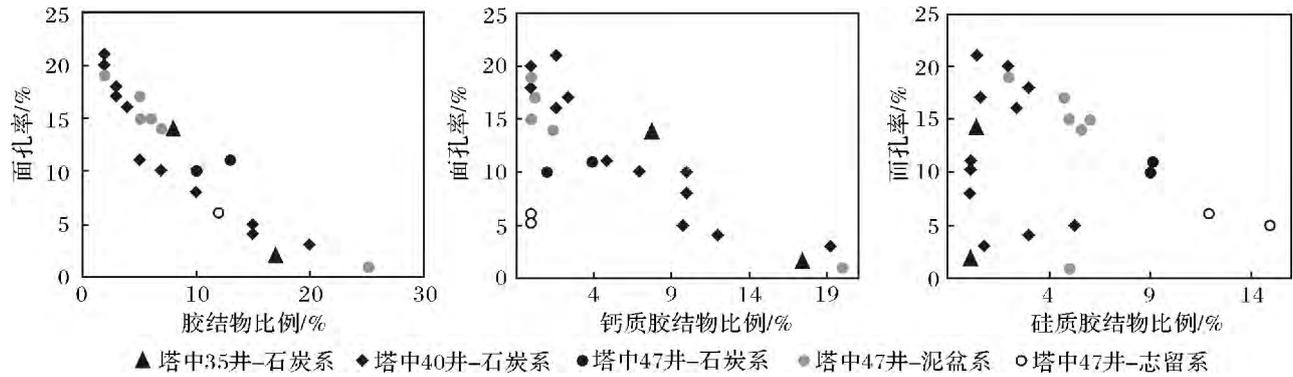
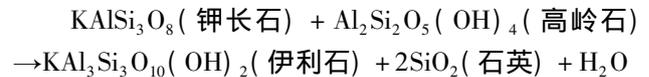
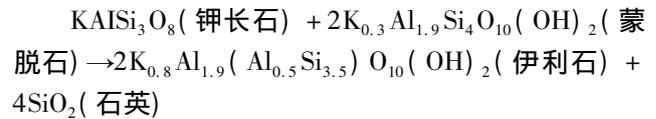
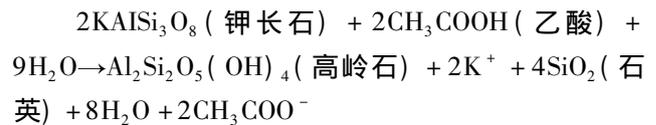


图7 塔中47井区碎屑岩储层面孔率与胶结物比例相干图

Fig. 7 Coherence chart of thin section porosity and cement proportion of clastic rock reservoir in Tazhong-47 well area

(20S + 20R) 值对比了塔中47井区三口探井的古生界沉积有机质成熟度变化,可见有机质成熟度石炭系呈现塔中47井 > 塔中35井 > 塔中40井的特征,志留系呈现塔中47井 > 塔中35井的特征(图4)。根据同层位沉积有机质的成熟度横向差异,认为塔中47井区的火山—岩浆活动产生大量的热,导致距离火山机构越近的地方,有机质热成熟度越大(图5),尽管塔中35井和塔中40井也靠近一些小型火山活动中心或火山通道(图3c),但是本文认为大型火山机构的影响要远远大于这些小火山通道。因此,二叠纪火山—岩浆活动可以提高下伏沉积地层中的有机质成熟度,距离火山机构越近影响越强烈。

塔中47井区距离火山机构最近的塔中47井砂岩整体面孔率大于塔中35井和塔中40井(表1,图7),说明受火山活动影响越大,面孔率越高,储层越好。塔中地区古生界碎屑岩储层是一套优质储层,平均孔隙度和平均渗透率均为石炭系最大、泥盆系次之、志留系最小<sup>[23-28]</sup>,已有研究表明塔里木盆地古生界志留系—石炭系储层在二叠纪时经历了强烈的溶蚀作用<sup>[23-28]</sup>,即烃源岩中的有机质(或干酪根)在埋藏过程中随温度增加产生的大量有机酸对岩石中的长石和部分岩屑等进行强烈的溶蚀作用,其中石炭系溶蚀程度更高一些。由于二叠纪火山活动中的岩浆携带大量热量<sup>[16]</sup>,可以直接导致烃源岩的成熟<sup>[14]</sup>,释放出大量有机酸,同时岩浆自身也可携带大量流体<sup>[16]</sup>,这些酸性流体溶解沉积后期形成的方解石胶结物,从而促进了孔隙形成及优质储层的发育。储层的好坏主要取决于酸性流体溶蚀作用的强烈程度,同时普遍发育了石英次生加大的硅质胶结物。储层中发育伊利石、高岭石、绿泥石、伊/蒙混层等黏土矿物,不含蒙脱石<sup>[26]</sup>。硅质胶结物形成的成岩反应<sup>[25,39,40]</sup>为:



通过薄片观察,胶结物含量的定量统计,综合分析总结出塔中47井区碎屑岩储层的演化模式(图8)为:首先沉积后期广泛的钙质胶结作用抑制孔隙发育,同时存在有机酸对储层中胶结物的溶蚀作用,其次火山—岩浆活动控制下的酸性流体进一步溶解方解石,促进孔隙发育,最后石英次生加大的硅质胶结物形成。我们通过塔中47井区三口井储层的横向对比可以发现,受火山活动影响的溶蚀作用在塔中47井附近最强烈,即距离火山机构越近溶蚀作用越强烈,说明火山活动强烈的地区,下伏地层烃源岩释放的有机酸越多,酸性流体总量越大,对储层的溶蚀作用越强烈,储层物性越好(图6a)。塔中地区二叠系火山岩以基性玄武岩为主<sup>[10]</sup>,岩浆中酸性成分较少,因此硅质胶结物总体含量均很小,相比很强烈的溶蚀作用微不足道,对储层不会起到破坏的作用。塔中35井距离火山机构约6.2 km,结果显示砂岩储层的钙质胶结非常发育,面孔率很小,推测从塔中47井附近溶解的原始钙质胶结物成分,随着流体性质变化在塔中35井附近大量沉淀,因此该井附近储层受火山活动的影响反而是破坏作用。塔中40井距离火山机构约10.4 km,储层以钙质胶结为主,几乎不发育石英次生加大的硅质胶结物,说明其基本未受火山活动的影响,该井面孔率大于塔中35井,小于塔中47井

的特征说明井区内普遍存在有机酸的溶蚀作用,火山活动影响下的储层进一步改造叠加在有机酸溶蚀作用基础之上(图 9)。总而言之,火山活动对碎屑岩优质储层的发育具有不容忽视的影响,推测火山活动能够改善距离火山机构大约 6 km 之内的碎屑岩储层。

塔里木盆地野外露头 and 钻井取心的大量火山岩地球化学年代学数据<sup>[1~10]</sup>显示,塔里木盆地大火成岩省的主体玄武岩喷发时间为 291~283 Ma,晚期岩浆作用的时间为 287~272 Ma(图 8)。塔里木盆地古生界碎屑岩储层中油气成藏时间大约为 275~245 Ma<sup>[14,29]</sup>,略晚于二叠纪的火山活动。结合碎屑岩储层的演化模式(图 8),可以看出储层的演化与火山活动有一定的关联性。330~300 Ma 沉积后期广泛发

育钙质胶结作用,抑制孔隙发育;291~272 Ma 二叠系火山活动,包括早期玄武岩喷发及晚期中—酸性岩浆作用,在大量酸性流体及热量的作用下,溶解早期形成的钙质胶结物,促进孔隙发育,大大改善了储层;275~245 Ma 油气充注成藏与石英次生加大的硅质胶结物大致同期形成。

火山活动提供的热量及富含各类物质的流体,对盆地形成演化、有机质成熟度、储集层性能、油气藏形成与破坏都有较大的影响<sup>[14~19]</sup>。前文已经证明火山活动对下伏沉积地层中有机质存在明显的影响,能够促进优质储层的发育。同时,在火山活动中,岩浆沿断层、裂缝喷发或侵入,形成许多次一级的小断层和裂缝,往往有利于油气的运移<sup>[14~17]</sup>,即火山喷发或岩

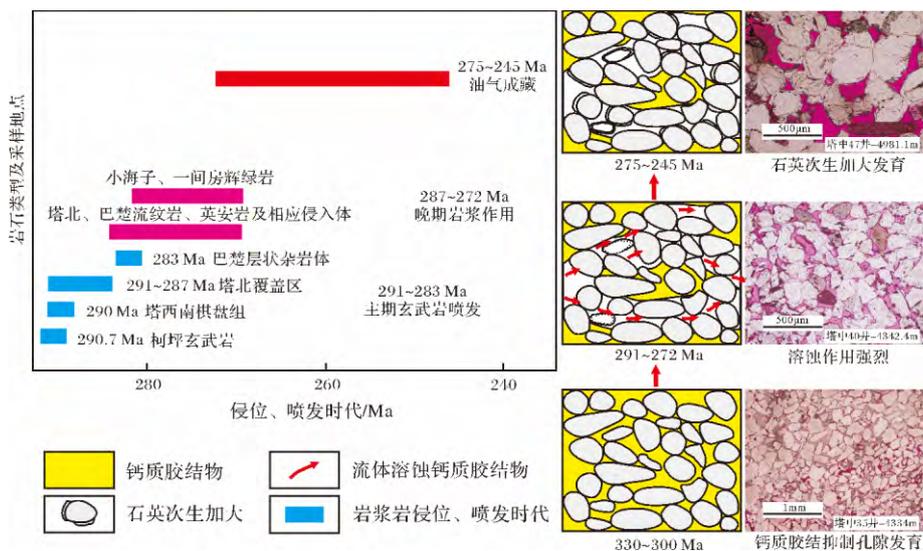


图 8 塔中 47 井区碎屑岩储层的演化模式

Fig. 8 Evolution model of clastic rock reservoir in Tazhong-47 well area

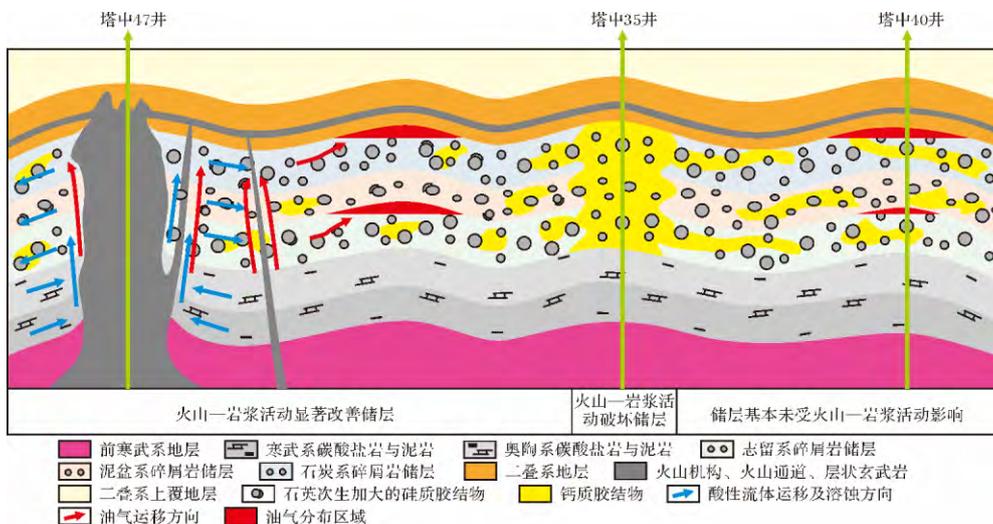


图 9 塔里木盆地受二叠纪火山—岩浆活动影响的古生界碎屑岩储层油气成藏模式

Fig. 9 Accumulation model of the Paleozoic clastic rock reservoir effected by Permian volcanic-magmatic activity in Tarim Basin

浆侵入的通道也常是油气运移的良好通道。因此,综合火山活动对有机质及储层的影响规律,以及其喷发或侵入通道对油气运移的积极作用,总结出塔里木盆地受火山活动影响的古生界碎屑岩储层油气成藏模式(图9)。我们认为塔里木盆地二叠纪广泛的火山活动,直接促进了油气运移和油气藏的形成,对油气成藏具有利作用。

## 6 结论

通过对塔里木盆地塔中47井区三口重点探井的烃源岩和储层研究,结合井区的三维地震数据及相应解释,探讨二叠纪火山—岩浆活动对古生界生储条件的影响,得出以下结论:

(1) 塔里木盆地二叠系火山岩分布广泛,塔中地区主要岩性为玄武岩和凝灰岩,塔中47井钻遇一个大型火山机构,本文刻画出了该井区火山机构的平面分布。

(2) 火山—岩浆活动可以提高下伏地层中的有机质成熟度,距离火山机构越近的有机质具有越高的热成熟度。

(3) 火山—岩浆活动影响下伏碎屑岩储层的成岩作用,大大地降低了钙质胶结物的含量,同时也增加了硅质胶结物的含量,以石英次生加大的形式出现。这种影响可以归因于火山活动加速烃源岩成熟,释放大量有机酸,进而与岩浆携带的酸性流体一同溶蚀钙质胶结物。

(4) 火山活动促进孔隙形成及优质储层的发育,并且受火山活动影响越大,储层改造作用越强烈,储集性能越好。火山活动能够改善距离火山机构大约6 km之内的碎屑岩储层。

(5) 储层演化与油气成藏与二叠纪火山活动有一定的对应性和关联性。古生界碎屑岩油气成藏模式显示火山活动直接促进了油气运移和油气藏的形成,对油气成藏具有利作用。

### 参考文献 (References)

- 1 杨树锋,陈汉林,董传万,等. 塔里木盆地二叠纪正长岩的发现及其地球动力学意义[J]. 地球化学, 1996, 25(2): 121-128 [Yang Shufeng, Chen Hanlin, Dong Chuanwan, et al. The discovery of Permian syenite inside Tarim Basin and its geodynamic significance[J]. *Geochimica*, 1996, 25(2): 121-128]
- 2 杨树锋,陈汉林,冀登武,等. 早中二叠世岩浆作用过程及地球动力学意义[J]. 高校地质学报, 2005, 11(4): 504-511 [Yang Shufeng, Chen Hanlin, Ji Dengwu, et al. Geological process of Early to Middle Permian magmatism in Tarim Basin and its geodynamic significance[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11(4): 504-511]
- 3 杨树锋,厉子龙,陈汉林,等. 塔里木二叠纪石英正长斑岩岩墙的发现及其构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1405-1412 [Yang Shufeng, Li Zilong, Chen Hanlin, et al. Discovery of a Permian quartz syenitic porphyritic dyke from the Tarim Basin and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(5): 1405-1412]
- 4 杨树锋,余星,陈汉林,等. 塔里木盆地巴楚小海子二叠纪超基性脉岩的地球化学特征及其成因探讨[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 1087-1096 [Yang Shufeng, Yu Xing, Chen Hanlin, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of Permian Xiaohaizi ultrabasic dyke in Bachu area, Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(5): 1087-1096]
- 5 Yang S F, Li Z, Chen H L, et al. Permian bimodal dyke of Tarim Basin, NW China: geochemical characteristics and tectonic implications[J]. *Gondwana Research*, 2007, 12: 113-120
- 6 Zhang C L, Li X H, Li Z X, et al. A Permian layered intrusive complex in the western Tarim block, northwestern China: Product of a Ca. 275 Ma mantle plume[J]. *Journal of Geology*, 2008, 116(3): 269-287
- 7 Zhang C L, Xu Y G, Li Z X, et al. Diverse Permian magmatism in the Tarim Block, NW China: Genetically linked to the Permian Tarim mantle plume[J]. *Lithos*, 2010, 119: 537-552
- 8 陈咪咪,田伟,张自力,等. 塔里木二叠纪基性—中性—酸性岩浆岩的年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26: 559-572 [Chen Mimi, Tian Wei, Zhang Zili, et al. Geochronology of the Permian basic-intermediate-acidic magma suite from Tarim, Northwest China and its geological implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2010, 26: 559-572]
- 9 李勇,苏文,孔屏,等. 塔里木盆地塔中—巴楚地区早二叠世岩浆岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J]. 岩石学报, 2007, 23(5): 1097-1107 [Li Yong, Su Wen, Kong Ping, et al. Zircon U-Pb ages of the Early Permian magmatic rocks in the Tazhong-Bachu region, Tarim Basin by LA-ICP-MS[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(5): 1097-1107]
- 10 Wei Tian, Ian H. Campbell, Charlotte M. Allen, et al. The Tarim picrite basalt rhyolite suite, a Permian flood basalt from northwest China with contrasting rhyolites produced by fractional crystallization and anatexis[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 2010, 160: 407-425
- 11 陈汉林,杨树锋,贾承造,等. 塔里木盆地北部二叠纪中酸性火成岩带的厘定及其对塔北构造演化的新认识[J]. 矿物学报, 1998, 18(3): 370-376 [Chen Hanlin, Yang Shufeng, Jia Chengzao, et al. Confirmation of Permian intermediate-acid igneous rock zone and a new understanding of tectonic evolution in the northern part of the Tarim Basin[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1998, 18(3): 370-376]
- 12 张洪安,李曰俊,吴根耀,等. 塔里木盆地二叠纪火成岩的同位素年代学[J]. 地质科学, 2009, 44(1): 137-158 [Zhang Hongan, Li Yuejun, Wu Genyao, et al. Isotopic geochronology of Permian igneous rocks in the Tarim Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2009, 44(1): 137-158]

- 13 于峻川,莫宣学,董国臣,等. 塔里木北部二叠纪长英质火山岩年代学及地球化学特征[J]. 岩石学报,2011,27(7):2184-2194 [Yu Junchuan, Mo Xuanxue, Dong Guochen, *et al.* Felsic volcanic rocks from northern Tarim, NW China: Zircon U-Pb dating and geochemical characteristics [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(7): 2184-2194 ]
- 14 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.* Characteristics of Early Permian magmatic rocks and their impact on hydrocarbon accumulation in Tarim Basin [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2006, 27(3): 235-240 ]
- 15 温声明,王建忠,王贵重,等. 塔里木盆地火成岩发育特征及对油气成藏的影响[J]. 石油地球物理勘探,2005,40(增刊):33-39 [Wen Shengming, Wang Jianzhong, Wang Guizhong, *et al.* Characteristics of magmatic rocks and their impact on hydrocarbon accumulation in Tarim Basin [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2005, 40 (Suppl.): 33-39 ]
- 16 朱毅秀,金之钧,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.* Relations between the Early Permian magmatic rocks and hydrocarbon accumulation in the Central Tarim [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(1): 50-61 ]
- 17 Lv Xiuxiang, Yang Haijun, Xu Shilin, *et al.* Petroleum accumulation associated with volcanic activity in the Tarim Basin: taking Tazhong-47 Oilfield as an example [J]. *Petroleum Science*, 2004, 1(3): 30-36 ]
- 18 栾衡,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. The character of the magmatic rock and its influence to the petroleum exploration in the Tazhong area of Tarim Basin [J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2003, 10(1): 5-8 ]
- 19 孙金山,李匡时,黎祖汉,等. 塔中地区古生界石油地质特征及勘探方向[J]. 断块油气田,2004,11(2):10-13 [Sun Jinshan, Li Kuangshi, Li Zuhan, *et al.* Petroleum geologic characteristics and the exploration strategy in Tazhong Low Uplift of Tarim Basin [J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2004, 11(2): 10-13 ]
- 20 王元君,田蒙,王峻. 塔里木盆地于奇东地区东河塘组砂岩成岩作用及其对储层的影响[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2012,39(3):231-237 [Wang Yuanjun, Tian Meng, Wang Jun. Diagenesis of the sandstone of Devonian Donghetang Formation in Yuqidong area, Tarim Basin, China and its influence on the reservoirs [J]. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2012, 39(3): 231-237 ]
- 21 王毅,纪友亮,熊继辉,等. 塔里木盆地上泥盆统与石炭系层序地层分析[J]. 沉积学报,1998,16(2):75-81 [Wang Yi, Ji Youliang, Xiong Jihui, *et al.* Sequence stratigraphic analysis of the Neodevonian-Carboniferous in the Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(2): 75-81 ]
- 22 张翔,田景春,彭军. 塔里木盆地地下志留统塔塔埃尔塔格组沉积体系及沉积模式[J]. 沉积学报,2006,24(3):370-377 [Zhang Xiang, Tian Jingchun, Peng Jun. Study on sedimentary system and models for Tataertage Formation (Lower Silurian) in Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(3): 370-377 ]
- 23 王根长. 塔里木盆地碎屑岩储层基本特征[J]. 石油实验地质,2001,23(1):62-66 [Wang Genchang. Characteristics of clastic reservoirs in the Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(1): 62-66 ]
- 24 顾家裕,宁从前,贾进华. 塔里木盆地碎屑岩优质储层特征及成因分析[J]. 地质论评,1998,44(1):83-89 [Gu Jiayu, Ning Congqian, Jia Jinhua. High-quality reservoir features and genetic analysis of clastic rocks in the Tarim Basin [J]. *Geological Review*, 1998, 44(1): 83-89 ]
- 25 朱筱敏,钟大康,赵澄林,等. 塔里木盆地台盆区古生界优质碎屑岩储层形成机理及预测[J]. 科学通报,2002,47(增刊):30-35 [Zhu Xiaomin, Zhong Dakang, Zhao Chenglin, *et al.* Formation mechanism and prediction of Paleozoic high-quality clastic rock reservoir in Tarim Platform Area [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47 (Suppl.): 30-35 ]
- 26 翟永红,刘生国,郭建华,等. 塔中石炭系碎屑岩成岩作用与孔隙演化[J]. 石油与天然气地质,1995,16(3):252-258 [Zhai Yonghong, Liu Shengguo, Guo Jianhua, *et al.* Diagenesis and pore evolution of Carboniferous clastic rocks in Central Tarim [J]. *Oil & Gas Geology*, 1995, 16(3): 252-258 ]
- 27 钟大康,朱筱敏,周新源,等. 塔里木盆地中部泥盆系东河砂岩成岩作用与储集性能控制因素[J]. 古地理学报,2003,5(3):378-390 [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Zhou Xinyuan, *et al.* Diagenesis and controlling factors of reservoir quality of Devonian Donghe sandstones in Central Tarim Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2003, 5(3): 378-390 ]
- 28 蔡春芳,顾家裕,蔡洪美. 塔中地区志留系烃类侵位对成岩作用的影响[J]. 沉积学报,2001,19(1):60-65 [Cai Chunfang, Gu Jiayu, Cai Hongmei. Effect of hydrocarbon emplacement on diagenesis of Silurian sandstone of Central Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 60-65 ]
- 29 张光亚,王红军,李洪辉. 塔里木盆地克拉通区油气藏形成主控因素与油气分布[J]. 科学通报,2002,47(增刊):24-29 [Zhang Guangya, Wang Hongjun, Li Honghui. Main controlling factors of reservoir formation and oil and gas distribution in Tarim Craton Area [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47 (Suppl.): 24-29 ]
- 30 康玉柱. 新疆两大盆地石炭—二叠系火山岩特征与油气[J]. 石油实验地质,2008,30(4):321-327 [Kang Yuzhu. Characteristics of the Carboniferous-Permian volcanic rocks and hydrocarbon accumulations in two great Basins, Xinjiang area [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2008, 30(4): 321-327 ]
- 31 刘晓,关平,潘文庆,等. 塔里木盆地二叠系火山岩空间展布的精细刻画及其地质意义[J]. 北京大学学报:自然科学版,2011,47(2):315-320 [Liu Xiao, Guan Ping, Pan Wenqing, *et al.* Meticulous characterization of Permian volcanic rocks' spatial distribution and its geological significance in the Tarim Basin [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2011, 47(2): 315-320 ]
- 32 陈汉林,杨树锋,王清华,等. 塔里木盆地早—中二叠世玄武岩岩浆作用的沉积响应[J]. 中国地质,2006,33(3):545-551 [Chen Hanlin, Yang Shufeng, Wang Qinghua, *et al.* Sedimentary response

- to the Early-Mid Permian basaltic magmatism in the Tarim plate [J]. *Geology in China*, 2006, 33 (3): 545-551 ]
- 33 朱筱敏, 张强, 吕雪雁, 等. 塔里木盆地塔北与塔中地区东河砂岩段沉积特征对比 [J]. *中国地质*, 2005, 32 (4): 648-654 [Zhu Xiaomin, Zhang Qiang, Lü Xueyan, *et al.* Comparison of the sedimentary characteristics of the Donghe sandstone section between the Tabei and Tazhong areas, Tarim Basin [J]. *Geology in China*, 2005, 32 (4): 648-654 ]
- 34 王招明, 田军, 申银民, 等. 塔里木盆地晚泥盆世—早石炭世东河砂岩沉积相 [J]. *古地理学报*, 2004, 6 (3): 289-296 [Wang Zhaoming, Tian Jun, Shen Yinmin, *et al.* Sedimentary facies of Donghe sandstone during the Late Devonian to Early Carboniferous in Tarim Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6 (3): 289-296 ]
- 35 申银民, 贾进华, 齐英敏, 等. 塔里木盆地上泥盆统—下石炭统东河砂岩沉积相与哈得逊油田的发现 [J]. *古地理学报*, 2011, 13 (3): 279-286 [Shen Yinmin, Jia Jinhua, Qi Yingmin, *et al.* Sedimentary facies of Donghe sandstone in the Upper Devonian-Lower Carboniferous and discovery of Hadexun Oilfield in Tarim Basin [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, 13 (3): 279-286 ]
- 36 郭建军, 陈践发, 朱雷, 等. 塔里木盆地塔中天然气的地球化学特征及其成因 [J]. *石油实验地质*, 2007, 29 (6): 577-582 [Guo Jianjun, Chen Jianfa, Zhu Lei, *et al.* Geochemical characteristics and genesis of the natural gas in the Tazhong Uplift, the Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29 (6): 577-582 ]
- 37 朱东亚, 金之钧, 胡文璋, 等. 异常热作用对油藏中原油的影响——以塔里木盆地塔中18井为例 [J]. *中国科学 (D 辑): 地球科学*, 2008, 38 (3): 294-306 [Zhu Dongya, Jin Zhijun, Hu Wenxuan, *et al.* The influence of abnormal thermal effect on reservoir crude oil: a case study of Well Tazhong-18 in Tarim Basin [J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 2008, 38 (3): 294-306 ]
- 38 王作栋, 孟仟祥, 房嬛, 等. 低演化烃源岩有机质微生物降解的指标组合特征 [J]. *沉积学报*, 2010, 28 (6): 1244-1249 [Wang Zuodong, Meng Qianxiang, Fang Xuan, *et al.* The combination characteristics of the biomarkers of microbial degradation of organic matter in low-evolution source-rock [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28 (6): 1244-1249 ]
- 39 De Ros L F. Heterogeneous generation and evolution of diagenetic quartzarenites in the Silurian-Devonian Furnas formation of the Parana Basin, Southern Brazil [J]. *Sedimentary Geology*, 1998, 116: 99-128
- 40 Lima R D, De Ros L F. The role of depositional setting and diagenesis on the reservoir quality of Devonian sandstones from the Solimoes Basin, Brazilian Amazonia [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19: 1047-1071

## Effects of Permian Volcanic-Magmatic Activity on the Paleozoic Oil and Gas Generating and Storing Conditions in the Tarim Basin: A case study of Tazhong-47 well area

ZHANG Wei<sup>1, 2</sup> GUAN Ping<sup>1</sup> JIAN Xing<sup>1</sup>

(1. MOE Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871;  
2. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083)

**Abstract:** Paleozoic clastic sedimentary strata of the Tarim Basin are important oil and gas exploration zones. Permian volcanic rocks are widely distributed in the Tarim Basin, and the abundant, long-term and multistage volcanic-magmatic activities can inevitably and strongly influence the underlying strata and oil and gas generating and storing conditions. However, this influence law is not clear. Based on 3-D seismic interpretation of Tazhong 47 well area, Gas Chromatography-Mass Spectrometry analysis of Silurian-Carboniferous oil sands, as well as detailed observation and thin section porosity evaluation of sandstone casting thin sections of three crucial wells in Tazhong 47 well area, this paper investigated the influence law of volcanic-magmatic activities on Paleozoic oil and gas generating and storing conditions from organic matter, reservoir and accumulation aspects. The results show that a large volcanic edifice was drilled by Well Tazhong 47. Permian volcanic-magmatic activities enhanced the maturity of organic matter in underlying sedimentary strata, boosted the dissolution of the calcareous cements in the reservoir by acidic fluid and promoted pore formation and the development of high quality reservoir. The improvement of reservoir properties can be notable with intenser volcanic activities influences and influence scope of reservoir improvement is within about 6km from the volcanic edifice. From volcanic edifice to outside, good reservoir, poor reservoir and reservoir of background are laterally distributed respectively. Reservoir evolution and integrated accumulation has some correspondence and correlation of Permian volcanic-magmatic activities, which can directly contribute to hydrocarbon migration and oil and gas reservoir forming and can be favorable for hydrocarbon accumulation.

**Key words:** Tarim; Permian; volcanic-magmatic activity; Paleozoic; organic matter; reservoir improvement; hydrocarbon accumulation