

中国东部中生代 火山碎屑凝灰岩储层研究综述^①

王宏斌 王璞^{王君} 陈弘

白晶哲

(长春科技大学地球科学学院, 长春 130026)

(吉林省黄金管理局, 长春 130021)

摘要 主要论述了中国东部中生代火山岩储层的发育状况及赋存方式, 对这些储层进行了区域对比, 讨论了火山岩储层的发育规律, 并在此基础上详细讨论了火山岩储层的研究状况, 包括火山岩储层的孔隙研究、相带研究及其与油气关系。

关键词 火山碎屑凝灰岩 储层 中国东部

0 前言

储层是形成油气藏的基本条件之一, 对储层的研究和评价, 从来就是石油地质工作者的一项十分重要的任务, 近年来, 随着石油勘探工作的深入, 对火山岩储层的研究愈来愈引起人们的重视。日本对火山岩储层的研究表明: 后弧盆地是以中新世火山活动为特征, 不论在日本列岛, 还是在整个太平洋地区 (即火山环带), 火山岩尤其是流纹岩将是油气勘探中的一个新而重要的目标^[1]。除日本外, 世界上其他一些国家也发现了一些火山岩油气田, 如美国得克萨斯的兹日尔和卢通斯帕闰油田、亚利桑那的得涅伯-克亚油田以及近期印度尼西亚发现的得加梯伯热苏迪气田等, 都以火山岩油气层而著称^[1]。我国东部地区中生界广泛发育火山岩, 其中作为良好储层的也不乏其例, 如位于中蒙边界的银根盆地苏红图组火山岩储层^[2]、位于内蒙古自治区中部的二连盆地阿北油田兴安岭群火山岩储集层等^[3]。

1 中国东部火山岩储层的时代特征与大地构造背景特征

中国东部火山岩储层主要由中生代火山喷发作用形成, 其中发育中生代火山岩储层的盆地 (或拗陷) 的有银根盆地、二连盆地、海拉尔盆地^[4]以及渤海湾盆地和松辽盆地等, 这些盆地火山岩储层都比较集中地形成于中生代晚侏罗世 (J_3) 至早白垩世 (K_1) 这一较短的时间段内, 如海拉尔盆地的兴安岭群 (J_{3x}) 形成于晚侏罗世 (J_3), 渤海湾盆地冀中拗陷 (石家庄凹陷和北京凹陷) 的辛庄组和芦沟桥组分别形成于晚侏罗世 (J_3) 和早白垩世 (K_1), 还有银根盆地的苏红图组也形成于早白垩世 (K_1) 等。发育新生代火山岩储层的拗陷主要有江汉盆地的江陵拗陷, 渤海湾盆地济阳拗陷中的潍北拗陷、惠民拗陷、东营拗陷以及下辽河拗陷的东

① 本文为“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室资助项目 (No. 9602)

第一作者简介 王宏斌 男 26岁 硕士生 沉积学专业

收稿日期 1997-03-13

部凹陷等,以上这些新生代火山岩储层主要形成于新生代早第三纪^[2~6]。

1.1 中国东部中生代火山岩储层特征

中国东部中生代火山岩储层集中形成于晚侏罗世至早白垩世,岩性从基性到酸性均有发育,但以酸性为主。以海拉尔盆地兴安岭群为例来说明之:海拉尔盆地兴安岭群自上而下可分为三段:下部为中酸性火山岩段,主要为一套中酸性熔岩、火山碎屑岩、灰黄色流纹斑岩、粗面岩、灰绿色凝灰岩;中酸性火山岩段的上部是假整合其上的中酸性火山岩夹煤层段,岩性为灰紫色安山岩、安山玄武岩夹煤层,此层厚度为0~1.5 m;中基性火山岩段位于兴安岭群最上部,岩性为厚层黑、灰黑玄武岩,夹薄层黑色泥岩^[2]。现将中国东部中生代火山岩储层对比如下(表1)。

表1 中国东部中生代火山岩储层对比表

系	统	组	代号	盆地名称	岩性描述	储层物性
白 垩 系	中 统	青山 口组	K _{2q}	松辽盆地 (齐家-古龙凹陷)	中酸性火山角砾岩,以凝灰岩为其特征	平均孔隙度为22.1%,平均渗透率为 $136 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$
		芦沟 桥组	K _{1l}	渤海湾盆地 (冀中拗陷的北京凹陷)	下部为杂色火山角砾岩,上部为灰色凝灰质砂砾岩,砂岩,安山质角砾岩	有6口井于该组火山岩中见油斑及原油显示
	下 统	苏红 图组	K _{1x}	银根盆地	灰黑、褐灰色玄武岩,安山岩为主夹褐色火山角砾岩,火山凝灰岩	气孔、杏仁及裂隙构造,气孔孔径为0.3~3 cm,孔隙度为17.9%,渗透率 $11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$
		辛 庄 组	J _{3x}	渤海湾盆地 (冀中拗陷石家庄凹陷)	暗紫红色、灰色安山岩为主夹凝灰岩,顶部为玄武岩,安山质角砾岩,火山碎屑砂岩	二口井在安山岩中见油斑及荧光
侏 罗 系	上 统	兴安 岭 群	J _{3x}	二连盆地	灰黑、褐灰玄武岩,安山岩	两组垂直裂缝,可见宽度4 cm,孔隙度3.57~12.7%,渗透率为 $(1~214) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 褐色原油
				海拉尔盆地	火山碎屑岩,灰黄色流纹斑岩,粗面岩,灰绿色凝灰岩,灰紫色安山岩,安山玄武岩,黑、灰黑玄武岩,气孔、杏仁构造	裂缝宽10~2220 μm ,面气孔0.1%~1%,气孔总量占总孔隙50%以上

1.2 中国东部新生代火山岩储层特征

中国东部新生代火山岩储层主要有江汉盆地的江陵凹陷火山岩储层,济阳拗陷诸凹陷的火山岩储层以及下辽河拗陷东部凹陷的火山岩储层,新生代的火山岩储层主要由早第三

纪火山喷发作用形成,岩性从酸性到基性均有发育,但以中基性岩居多^[4,5](表 2)。

表 2 中国东部新生代火山岩储层对比表

系 统	组	代号	盆地名称	岩性描述	储层物性
上 第 三 系	盐成群 一段	N _{y1}	高邮凹陷 (苏北盆地东台拗陷)	灰黑、灰绿、灰紫色 玄武岩	平均孔隙度 20%, 平均渗透率 37× 10 ⁻³ μm ²
			东营凹陷 (济阳拗陷)	橄榄玄武岩	平均孔隙度为 23% 平均渗透率为 80× 10 ⁻³ μm ²
	馆陶组 底	N _{1g2}	惠民凹陷 (济阳拗陷)	橄榄玄武岩	平均孔隙度为 23%, 平均渗透 率为 80× 10 ⁻³ μm ²
下 第 三 系	三垛组	E _{3s}	高邮凹陷 (苏北盆地东台拗陷)	玄武岩	平均孔隙度为 22%, 平均渗透 率为 19× 10 ⁻³ μm ²
	渐 新 统		惠民凹陷 (济阳拗陷)	玄武质火山岩 (水下喷发)	气泡含量为 40%~ 70%, 一般 大小为 0.03~ 0.1 mm
	沙一段	E _{3s1}	东营凹陷 (济阳拗陷)	玄武岩、安山玄武岩、 玄武质火山角砾岩	平均孔隙度为 25.3%, 平均渗 透率为 7.4× 10 ⁻³ μm ²
			沾化凹陷 (济阳拗陷)	玄武质火山岩 (水下喷发)	气泡含量为 40%~ 70%, 一般 大小 0.03~ 0.1 mm
			惠民凹陷 (济阳拗陷)	橄榄玄武岩	平均孔隙度为 10.1%, 平均渗 透率为 13.2× 10 ⁻³ μm ² ,
	沙三段	E _{2s3}	下辽河拗陷 东部拗陷 (热 河台油田, 黄金带油田)	玄武岩、安山玄武岩	孔隙度为 20.3%~ 24.9%, 平 均渗透率为 (1~ 16)× 10 ⁻³ μm ²
	沙四段	E _{2s4}	沾化凹陷 (济阳拗陷)	玄武岩、安山玄武岩、 玄武质火山角砾岩	平均孔隙度为 25.2%, 平均渗 透率为 18.7× 10 ⁻³ μm ²
	新沟咀顶	E _{2x}			节理性裂面上原油面积达
	至荆沙组	-E _{2j}	江陵凹陷 (江汉盆地)	灰黑、灰绿、灰紫色 玄武岩	40%~ 60%, 孔隙度为 18%~ 22.6%, 渗透率为 (3.7~ 8.4) × 10 ⁻³ μm ²
	孔店组	E _{1-2k}	潍北凹陷 (济阳拗陷)	玄武岩、凝灰岩	平均孔隙度为 20.8%, 平均渗 透率为 90× 10 ⁻³ μm ²

1.3 中国东部中新世火山岩储层的形成与发育的大地构造背景

中国东部中新世火山岩储层的形成和发育,与中国东部的大地构造背景具有许多相关性。由于受燕山构造作用的影响,太平洋板块向西俯冲作用加强,使得东亚沿太平洋喜山槽褶皱封闭,在中国东部大陆边缘活动带则主要表现为强烈的褶皱作用、断裂作用和岩浆活动^[7]。

中国东部燕山火山岩可分成三个亚带,即大兴安岭—燕山亚带、张广才岭—山东亚带、东南沿海亚带。三个亚带都呈北北东方向延伸。大兴安岭—燕山亚带以晚侏罗世及早白垩世中基性或中酸性火山岩为主,也有早、中侏罗世火山岩。张广才岭—山东亚带则以白垩纪

中酸性火山岩为主。及至喜山运动期,中国东部的火山岩也同样沿北北东或北东向的断裂带分布,成带成片地形成厚度很大的第三系玄武岩层,这些火山岩层往往形成良好的储层(图1)^[8,9]。

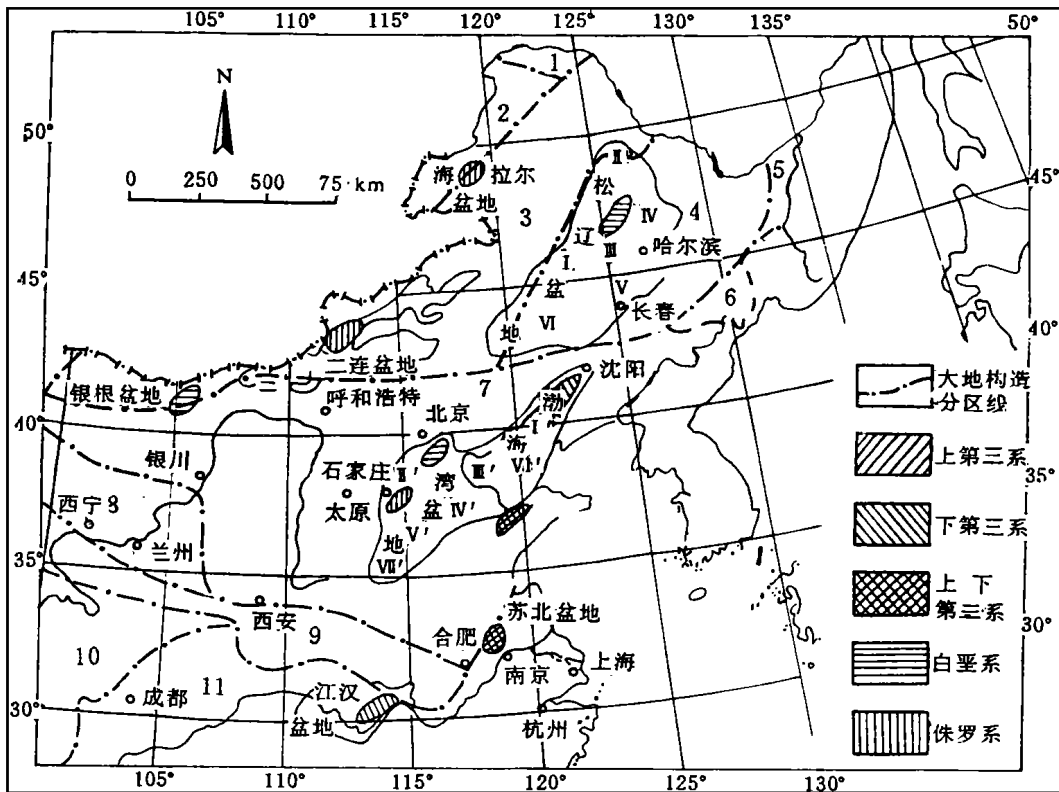


图 1 中国东部含中生代火山岩储层盆地分布图

1-黑龙江盆地褶皱带(属蒙古-鄂霍次克褶皱系);2-额尔古纳褶皱系;3-内蒙大兴安岭褶皱系;4-吉黑褶皱系;5-那丹达达优地槽褶皱带(属锡霍特褶皱系);6-延边褶皱系;7-中朝准地台;8-祁连褶皱系;9-秦岭褶皱系;10-松潘甘孜褶皱系;11-扬子准地台;I-松辽盆地西部斜坡区;II-松辽盆地北部倾没区;III-松辽盆地中央坳陷区;IV-松辽盆地东部隆起区;V-松辽盆地东南隆起区;VI-松辽盆地西南隆起区;I'-渤海湾盆地辽河坳陷区;II'-渤海湾盆地冀中坳陷区;III'-渤海湾盆地黄骅坳陷区;IV'-渤海湾盆地济阳坳陷区;V'-渤海湾盆地临清坳陷区;VI'-渤海湾盆地渤中坳陷区;VII'-渤海湾盆地东濮开封坳陷区

2 火山岩储层孔隙类型及其含油性

火山岩储层存在的孔洞和裂缝是油气储存的空间和通道,火山岩储层的孔隙结构研究是火山岩储层研究的一个重要内容^[10],根据中国东部火山岩储层的大量资料及岩心、岩石薄片及铸体薄片的观察和研究,考虑到火山岩储层的形成和演化机制,可将火山岩储层的孔隙分为原生孔隙和次生孔隙两大类,其中原生孔隙主要为火山物质喷出地表形成的气孔、冷凝收缩和火山角砾间孔等,次生孔隙的形成主要是火山岩体遭受风化剥蚀和构造应力作用的结果,由于表生成岩作用,物理风化和大气水的淋滤溶蚀,产生了大量的溶蚀孔、洞、缝,同时,又由于构造应力的作用使火山岩体发育了较大规模的断层,其中与断层相伴生的大量构造裂缝,可以成为火山岩的主要渗流通道和部分储集空间,风化剥蚀和构造应力对火山岩体

的剥蚀与破坏作用相辅相成,互相叠加,即使火山岩被上覆地层覆盖后,大量水或有机酸溶液也会沿断层或裂缝渗流到火山岩体中,发生深部溶蚀作用,产生溶蚀孔和溶蚀缝^[7]。

2.1 原生孔隙

气孔 气孔是熔浆喷出地表时,压力降低,所含挥发分逃逸后留下的孔洞,在火山岩储层中,气孔往往是一种重要的

储集空间,在裂隙改造下,能形成良好的裂隙气孔型储层,如山东滨南沙三段火山岩储层,经研究发现,该储层高产区主要由经风化、构造裂隙改造过的富气孔火山岩组成,气孔构成主要储集空间,二连盆地阿北油田兴安岭群火山岩储层中气孔也很发育,胜利石油管理局地质科学研究所董冬曾对中基性富气火山岩活动所形成的

岩相组合	模式剖面 气孔含量(%) 10 20 30 40 50	孔形 序列	孔径分布 (cm)		岩石 结构特征	岩石构造	贮集 优势	
			0	1 2				
E					间 隐 半	细泡状	优	气孔-裂隙型
D						粗泡状		
C						粗泡状		
B						致密块状	差	裂隙型
A						间隐-玻质	良	同D

图 2 中基性熔岩单元剖面气孔分布规律^[11]

单期火山岩体,在剖面和平面上分别建立模式(图 2 3),认为剖面上经过一定风化的 G D E 岩相带气孔储油。

火山角砾间孔 银根盆地、松辽盆地火山岩储层中的火山角砾岩中大量发育火山角砾间孔,这种孔隙由火山角砾相互支撑形成,主要分布于火山爆发相带。

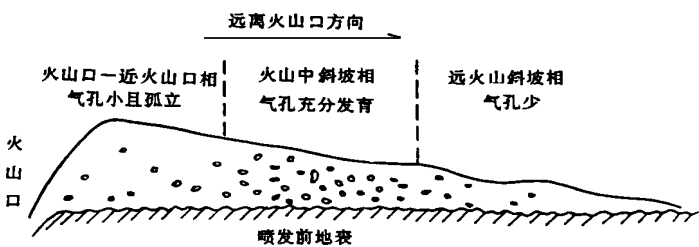


图 3 远离火山口方向气孔量变化示意图^[11]

冷凝收缩孔 江陵凹陷金家场构造的火山岩储层中的玄武岩中可见冷凝收缩孔,它是熔浆喷出地表,在冷凝过程中发生体积收缩形成的孔和缝,这种孔无一定方向,形状常常不规则,常与气孔伴生,与其它裂缝相互交切,起连通气孔与其它储集空间的作用,当它们与气孔连通时,其中有浸染状或半充填状原油。

晶间及晶内孔 晶间及晶内孔是矿物在结晶过程中形成的孔,主要见于岩石斑晶内及基质微晶之间,基质微晶间的孔隙更为常见,如江陵凹陷金家场构造火山岩储层中长石晶体颗粒间的一些微小的晶间孔等。这种孔隙规模较小,一般 10~15 μ m,但大部分孔隙含油性较好^[5]。

2.2 次生孔隙

溶蚀孔(洞) 火山岩矿物颗粒间、结晶颗粒内或原生孔洞内的一些矿物成分或充填矿物被水溶解及携带后形成的孔洞,在金家场构造新沟咀组玄武岩岩矿及铸体薄片,经常可见到蚀变玄武岩中的拉长石及斜长石经风化蚀变生成的粘土及方解石被水溶解携带后形成

的孔洞或辉石、橄榄石等矿物风化蚀变生成的孔隙,钱凯、周自立等人^[12]研究了济阳拗陷的火山岩储层后得出溶蚀孔具有追踪叠加裂缝带发育,与围岩接触部位易富集的特点,镜下部分斑晶溶蚀孔中可见原油呈半充填状或浸染状,特别是当有次生微裂缝将气孔与溶蚀孔连通时含油性更好。

构造裂缝 一般呈多组系广泛分布于火山岩中,构造裂隙延伸远,切割较深,特别是缝宽 0.1~ 0.5 mm 的裂缝往往将气孔、溶蚀孔等储集空间连通,是重要的渗流通道,本身也能储一定量的油,但规模较小。

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,这类裂隙有时充填紫红色铁泥质物,储集意义不大,但是,风化裂缝为后期构造缝或深埋热液溶蚀创造了条件。

火山岩储层的气孔和溶蚀孔一般含油较多,而构造裂隙和风化裂隙主要起连通气孔、溶蚀孔及其它储集空间的作用,在油气运移中主要起输导管的作用,本身也可成为储油空间,但储油规模较小。最新的资料表明:根据测井曲线的形态、数值与组合参数的特征,运用计算机技术,可对火山岩裂缝发育段进行准确识别,该技术在裂缝级别判定和储层级别判定中已得到较好的应用^[13]。

3 火山岩相带划分及其与油气关系

根据火山活动特点,火山岩的产出形态、岩石类型及其分布规律,可将火山岩储层划分为三个火山岩相:火山爆发相,火山溢流相和火山沉积相。

3.1 火山爆发相

火山爆发相以火山碎屑岩的产出为特征,它是火山发生强烈喷发的产物。火山爆发相一般位于火山岩中心区,爆发时的冲力将顶板及围岩破碎形成大量的裂缝裂纹,同时形成火山角砾岩,火山角砾间孔及气孔发育,如济阳拗陷火山岩储层中的玄武质火山角砾岩,另外,由于火山爆发相一般都处于古侵蚀高地,容易遭受风化淋滤作用,因此溶蚀孔(洞)和溶蚀裂缝发育,能够形成有利储集地段。对银根盆地苏红图组、冀中拗陷、济阳拗陷的研究表明,火山活动一般有强烈爆发与相对宁静交替作用,在岩石类型上表现出爆发期形成的火山碎屑岩和宁静期形成的溢流相熔岩共存现象,这可以用爆发指数 E 来区别:

$$E = H_p \times 100 / (H_p + H_l)$$

式中, H_p ——火山碎屑岩的厚度; H_l ——火山熔岩的厚度。

爆发指数越大,说明火山爆发强度越大,并可能成为火山喷发中心,若 $E > 0.5$,则属于爆发相, $E < 0.5$,则划为溢流相。

3.2 火山溢流相

火山溢流相形成于火山喷发的各个时期,但以强烈爆发之后出现为主,火山溢流带在纵向上和横向上均表现出明显的差异,现以内蒙二连盆地为例说明之^[11],该火山熔岩流在垂向上可以分为四个带(图 4)

火山渣状带 位于熔岩流的顶部,由自碎的角砾状熔岩构成,角砾往往是气孔状、杏仁状熔岩,岩浆溢出火山口,在地表上流动,表面的一层直接与空气接触,冷凝快,首先硬结,熔岩流继续流动就会将这层硬壳搓碎,形成渣状带。

上部气孔状、杏仁状熔岩带 位于自碎角砾熔岩之下,富含气孔、杏仁,常呈拉长现象,

可指示流动方向,该带位于熔岩流之上部,压力较小,岩浆中所含气体容易游离出来,形成气孔构造^[14]。

中部致密块状熔岩带 该带位于上部气孔状杏仁状熔岩带之下,岩性致密,气孔杏仁不发育,如有则为圆形,该带岩浆冷却较慢,压力较大,气体不易游离,因而几乎无气孔,杏仁构造。

下部气孔杏仁状熔岩带 这是熔岩流的最下部的一个带,气孔和杏仁构造很发育,由于熔岩流沿潮湿的地表或水底流动,形成大量气孔。

上部和下部气孔、杏仁带及中部致密块状带中有裂缝,但中部带裂缝的密度还不及上下气孔、杏仁带,同一岩层中不同带的裂缝发育程度和方向都不一致,可见裂缝不是构造成因的,裂缝从形态上看属张性缝,应是岩浆冷凝收缩的产物,裂缝常被方解石、玉髓和绿泥石等矿物充填

溢流相火山岩储层的储集性能主要受岩带控制,其次是次生变化作用的改造,好的储集层必须有大量裂缝,熔岩流层序的四个带,顶部的自碎角砾岩带中角砾间的孔洞较大,往往不能完全充填,一般具有较大的孔隙度和较高的渗透率,上部和下部气孔杏仁带中往往保留部分气孔未被完全充填,而且这两个带内发育收缩缝等各种裂缝,沟通部分气孔,因此这两个带也常常具有较好的孔渗性^[10],在埋藏条件下,三个有利相带也会有所变化,中部致密块状带既不发育气孔,也少见裂缝,不能成为储层。

3.3 火山沉积相

中国东部火山岩储层中的火山沉积相以二连盆地的哈南油田火山岩储层、松辽盆地齐家—古龙凹陷火山岩储层以及冀中坳陷芦沟桥组上部火山岩储层为代表,火山沉积相一般位于喷发主体的边缘,该相带火山岩层薄,多为凝灰质火山岩或沉积凝灰岩夹于正常沉积岩系中,一方面由于火山熔岩层薄,原生气孔不发育,另一方面由于该相一般位于古侵蚀洼地带,次生溶蚀孔及风化裂缝不发育,储集层一般较差,但若遇构造应力及淋滤溶蚀作用,也可能成为好的储集层,如二连盆地的哈南油田,其火山岩储层的岩性为基性和中性凝灰岩,属火山沉积相,由于构造应力及淋滤作用形成大量的溶洞溶孔及构造裂缝,虽经多期脉石矿物充填裂隙,如蛇纹石、绿泥石、叶腊石以及方解石和石膏等,但在构造顶底及断裂带内,仍保留了大量裂隙以及沿裂缝和裂隙的溶蚀和溶解痕迹,这些由构造裂隙和溶蚀孔洞构成的储集空间,具有良好的含油性。

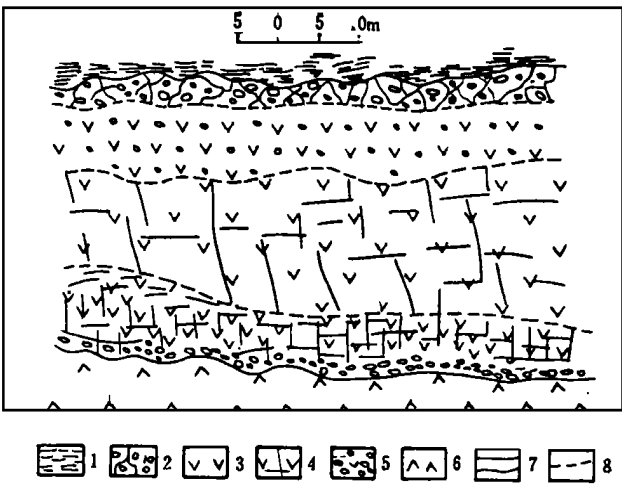


图 4 流状熔岩的典型层序^[12]

- 1凝灰泥质板岩; 2火山渣状带; 3上部气孔状杏仁状熔岩带; 4中部致密块状熔岩带; 5下部气孔状杏仁状熔岩带; 6下伏熔岩流; 7—熔岩流的界限; 8岩流内相带界限

参 考 文 献

- 1 顿铁军. 储层研究现状及发展趋向. 西北地质, 1995, 16(2): 1-15
- 2 翟光明主编. 中国石油地质志卷十二. 长庆油田. 北京: 石油工业出版社, 1987

- 3 翟光明主编. 中国石油地质志卷五. 华北油田. 北京: 石油工业出版社, 1987
- 4 翟光明主编. 中国石油地质志卷二. 大庆. 吉林油田. 北京: 石油工业出版社, 1987
- 5 翟光明主编. 中国石油地质志卷九. 江汉油田. 北京: 石油工业出版社, 1987
- 6 翟光明主编. 中国石油地质志卷六. 胜利油田. 北京: 石油工业出版社, 1987
- 7 黄邦强, 张朝文, 金以钟. 大地构造学基础及中国区域构造概要. 北京: 地质出版社, 1984
- 8 任纪舜, 姜春发, 张正坤等. 中国大地构造及其演化. 北京: 科学出版社, 1983
- 9 张亚范, 邢志贵, 杜华等. 中国油气储层研究图集 (卷三) 岩浆岩. 变质岩. 北京: 石油工业出版社, 1994
- 10 罗静兰, 曲志浩, 孙卫等. 风化店火山岩岩相. 储集层与油气的关系. 石油学报, 1996, 17(1): 32~ 38
- 11 董冬. 火山岩储层中的一种重要储集空间——气孔. 石油勘探与开发, 1991, (1): 89~ 93
- 12 石宝珩主编. 中国油气储层研究论文集. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 13 阎新民. 应用计算机进行准噶尔盆地火山岩裂缝识别. 石油地球物理勘探, 1994, 29(增刊 2): 139~ 144
- 14 余芳权. 江陵凹陷金家场构造的火山岩储集层. 石油勘探与开发, 1990, (2): 56~ 62

A Summary of the Studies on Volcanic-Clastic-Tuff Rock Reservoirs of Mesozoic and Kainozoic in Eastern China

Wang Hongbin Wang Pujun Chen Hong

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130026)

Bai Jingzhe

(Gold Management Bureau of Jilin Province, Changchun 130021)

Abstract The volcanic-clastic-tuff rock reservoirs of Mesozoic and Kainozoic era in Eastern China are mainly accounted in this paper and area comparison about these reservoirs is done, some rules are discussed. Furthermore on the basis of the analysis the study about ventage and facies and their relationship between the two to oil and gas is analyzed in detail.

Key words volcanic-clastic-tuff rock, reservoirs, Eastern China