

我国沉积盆地火山岩油气地质与勘探

张光亚, 邹才能, 朱如凯, 袁选俊, 赵霞

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

[摘要] 我国沉积盆地内发育石炭—二叠系、侏罗—白垩系和古近—新近系 3 套火山岩, 火山岩与有效烃源岩近源组合匹配最有利, 远源组合需断层或不整合面沟通, 生烃中心控制油气分布; 以火山熔岩、火山角砾岩和风化壳岩溶型储层为主; 中国东部断陷盆地火山岩油气藏以近源组合为主, 沿断陷高部位爆发相火山岩储层发育, 斜坡部位喷溢相火山岩大面积分布, 主要形成岩性、构造—岩性油气藏; 中西部发育两种成藏组合, 沿不整合面分布的风化淋滤型大型地层油气藏最有利。

[关键词] 火山岩储集层; 火山岩相; 成藏主控因素

[中图分类号] TE122.2 + 22 [文献标识码] A [文章编号] 1009 - 1742(2010)05 - 0030 - 09

1 前言

火山岩储集层作为油气勘探的新领域, 已引起了石油界和学者们的关注和兴趣。目前全球多个国家发现了火山岩油气藏, 其特点是产层厚、产量高、储量规模一般较小, 但也发现了一系列大油气田。

我国沉积盆地内部及其周边地区火山岩广泛分布, 东部燕山期火山岩体分布规模大, 东南沿海燕山期火山岩面积超过 $50 \times 10^4 \text{ km}^2$, 大兴安岭火山岩带面积超过 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$, 有较好的火山岩油气藏勘探基础。我国火山岩油气藏勘探已历经 50 余年, 在准噶尔盆地西北缘和渤海湾盆地等 11 个盆地陆续发现了一批火山岩油气田。特别是 2000 年以来, 相继在松辽盆地、准噶尔盆地、三塘湖盆地等火山岩油气勘探中取得了重大突破^[1,2], 同时浙闽粤东部中生代火山岩分布区及东海陆架盆地中的长江凹陷、海礁凸起、钱塘凹陷和瓯江凹陷等中生代、新生代火山岩发育区也成为寻找油气的新领域^[3,4]。目前火山岩已作为重要的油气勘探领域, 我国东部、北疆两大火山岩油气区初具规模。同时, 初步形成了火山岩分布与储层预测、火山岩油气藏评价等配套技术。

2 国内外火山岩油气藏勘探进展与特点

2.1 国外火山岩油气藏勘探概况

自 1887 年在美国加利福尼亚州的圣华金盆地首次发现火山岩油气藏以来, 目前在世界范围内已发现 300 余个与火山岩有关的油气藏或油气显示。1953 年, 委内瑞拉发现了拉帕斯油田, 其单井最高产量达到 $1\ 828 \text{ m}^3/\text{d}$, 这是世界上第一个有目的地勘探并获得成功的火山岩油田。国外火山岩油气藏勘探、研究程度总体较低, 多为偶然发现或局部勘探, 尚未作为主要领域进行全面勘探和深入研究, 目前全球火山岩油气藏探明油气储量仅占总探明油气储量的 1% 左右。

国外火山岩油气藏储集层时代新, 从已发现的火山岩储集层时代统计, 在新近系、古近系、白垩系发现的火山岩油气藏数量多, 在侏罗系及以前地层中发现的火山岩油气藏较少; 勘探深度一般从几百米到 2 000 m 左右, 3 000 m 以深较少。形成的构造背景, 以被动大陆边缘盆地为主, 也有陆内裂谷盆地。如北美、南美、非洲发现的火山岩油气藏, 主要分布在被动大陆边缘盆地。火山岩油气藏储集层岩石类型以中基性玄武岩、安山岩为主; 储集层空间以

[收稿日期] 2010 - 03 - 12

[作者简介] 张光亚(1962 -), 男, 河南商城县人, 教授级高级工程师, 主要从事盆地分析与石油地质综合研究; E-mail: zgn@petrochina.com.cn

原生或次生型孔隙为主,普遍发育的各种成因裂缝对改善储集层起到了决定性作用。

国外火山岩油气藏规模一般较小,但也有高产大油气田(见表1)。从国外代表性火山岩油气田产

量统计看,石油日产量最高者为古巴 North Cuba 盆地的 Cristales 油田,天然气日产量最高者为日本 Niigata 盆地的 Yoshii—Kashiwazaki 气田(见表2)。

表1 全球火山岩大油气田储量统计^[1]

Table 1 Reserve of the giant oil and gas fields in the volcanic reservoirs in the world^[1]

国家	油气田	盆地	流体性质	储量		储集层岩性
				气/($\times 10^8$ m ³)	油/($\times 10^4$ t)	
澳大利亚	Scott Reef	Browse	油,气	3 877	1 795	溢流玄武岩
印度尼西亚	Jatibarang	NW Java	油,气	764	16 400	玄武岩,凝灰岩
纳米比亚	Kudu	Orange	气	849		玄武岩
巴西	Urucu area	Solimoes	油,气	330	1 685	辉绿岩岩床
刚果	Lake Kivu		气	498		
美国	Richland	Monroe Uplift	气	399		凝灰岩
阿尔及利亚	Ben Khalala	Triassic/Oued Mya	油		>3 400	玄武岩
阿尔及利亚	Haoud Berkaoui	Triassic/Oued Mya	油		>3 400	玄武岩
俄罗斯	Yaraktin	Markovo - Angara Arch	油		2 877	玄武岩,辉绿岩
格鲁吉亚	Samgori		油		>2 260	凝灰岩
意大利	Ragusa	Ibleo	油		2 192	辉长岩岩床

表2 全球火山岩油气田产量统计^[1]

Table 2 Output of the giant oil and gas fields in the volcanic reservoirs in the world^[1]

国家	油气田名称	盆地	流体性质	产量		储层岩性
				油/(t·d ⁻¹)	气/($\times 10^4$ (m ³ ·d ⁻¹))	
古巴	Cristales	North Cuba	油	3 425		玄武质凝灰岩
巴西	Igarape Cuia	Amazonas	油	68 ~ 3 425		辉绿岩
越南	15 - 2 - RD 1X	Cuu Long	油	1 370		蚀变花岗岩
阿根廷	YPF Palmar Largo	Noroeste	油,气	550	3.4	气孔玄武岩
格鲁吉亚	Samgori		油	411		凝灰岩
美国	West Rozel	North Basin	油	296		玄武岩,集块岩
委内瑞拉	Totumo	Maracaibo	油	288		火山岩
阿根廷	Vega Grande	Neuquen	油,气	224	1.1	裂缝安山岩
西兰	Kora	Taranaki	油	160		山凝灰岩
日本	Yoshii - Kashiwazaki	Niigata	气		49.5	流纹岩
巴西	Barra Bonita	Parana	气		19.98	溢流玄武岩,辉绿岩
澳大利亚	Scotia	Bowen - Surat	气		17.8	碎裂安山岩

2.2 我国火山岩油气藏勘探进展

2.2.1 勘探发展阶段

我国沉积盆地火山岩油气藏于1957年首次在准噶尔盆地西北缘发现。目前在渤海湾、松辽、准噶尔、二连、三塘湖等11个含油气盆地发现了火山岩油气藏(见图1)。

我国火山岩油气勘探也大致经历了3个阶段:

1)偶然发现阶段(1957—1990年):主要集中在准噶尔盆地西北缘和渤海湾盆地辽河、济阳等坳陷。

2)局部勘探阶段(1990—2002年):随着地质认识的不断提高和勘探技术的不断进步,开始在渤海湾和准噶尔等盆地个别地区开展针对性勘探。

3)全面勘探阶段(2002年后):在渤海湾、松辽、准噶尔等盆地全面开展了火山岩油气藏的勘探部署,取得了重大进展和突破。

2.2.2 我国火山岩油气藏主要勘探特点

1)我国现已把火山岩油气藏作为重要的新领域进行全面勘探。进入21世纪以来,我国加强了火

山岩油气藏的勘探,勘探领域不断扩展,相继在渤海湾盆地辽河东部凹陷、松辽盆地深层、准噶尔盆地、

三塘湖盆地石炭系—二叠系发现了一批规模油气藏。

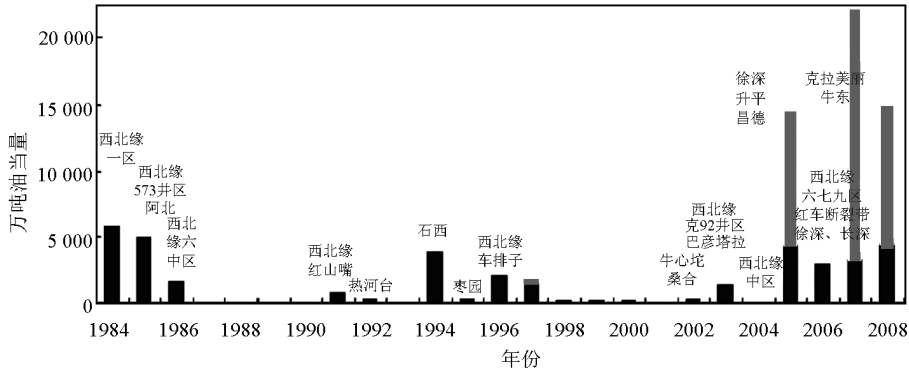


图1 中国陆上火山岩储量增长与勘探历程图

Fig. 1 Exploration stage and reserve growth in volcanic reservoirs in the mainland of China^[5,6]

2)我国已发现的火山岩油气藏,东部主要在中生界、新生界,以中酸性火山岩为主,西部主要发育在古生界,以中基性火山岩为主,但所有类型火山岩都有可能形成油气藏。火山岩主要发育在大陆裂谷盆地,如渤海湾、松辽等盆地,但在碰撞后裂谷、岛弧环境中也普遍发育,如准噶尔、三塘湖盆地。东部以岩性型油气藏为主,可叠合连片大面积分布,如松辽深层徐家围子的徐深气田;西部以地层型为主,可形成大型整装油气田,如准噶尔盆地克拉美丽大气田等。

3)中国石油初步形成了针对火山岩油气藏的勘探技术系列,包括火山岩地震储集层预测、大型压裂等。

3.1 含油气盆地火山岩储集层概念

文章在中国含油气盆地火山岩相综合研究的基础上,提出火山岩相5相、15种亚相的划分方案(见表3)。建立火山喷发活动用火山韵律、火山旋回、火山—沉积构造层序三级分类体系进行描述。一个火山活动旋回可包括多次基本连续的喷发,可发育多个火山韵律,两个相邻旋回之间则存在一定的间断,常表现为构造不整合、喷发不整合或厚度较大的区域性正常沉积岩夹层。火山—沉积构造层序是指某一构造活动期内,火山活动前—火山活动期—火山活动后3个阶段发育、充填的火山岩、沉积岩系,厚几百至几千米,常见多次喷发与沉陷,可以有多个火山旋回。

3 我国沉积盆地火山岩储集层特征

表3 中国含油气盆地火山岩相划分^[5,6]

Table 3 Classification of volcanic facies in the carboniferous basins of China^[5,6]

相	亚相	形成深度	岩石类型	形成方式	产出状态
火山通道相	火口—火山颈	地表—岩浆层或火山源区	熔岩、火山碎屑熔岩及火山碎屑岩	火山机构被剥蚀, 露出火山通道中的充填物	平面上呈长圆形、圆形、多边形岩颈
	潜火山岩	地表下约3 km	熔岩、角砾熔岩, 角砾岩	同期或晚期的侵入作用	岩床、岩墙、岩株、岩枝以及隐爆角砾岩体
	隐爆角砾岩		隐爆角砾岩	富含挥发分岩浆入侵破碎岩石带产生地下爆发作用	筒状、层状、脉状、枝叉状, 裂缝充填状
爆发相	空落	地表	块状火山碎屑岩	火山喷发产物	火山碎屑、围岩碎屑与水蒸气混合成多相体系
	热基浪	地表	波状构造凝灰岩, 火山角砾凝灰岩		
	热碎屑流	地表	熔结火山碎屑岩	火山爆发	火山喷发炽热碎屑流堆积
喷溢相	上部、中部、下部	地表	各种熔岩	火山喷溢, 泛流产物	岩流、岩被; 绳状、柱状、渣状等

相	亚相	形成深度	岩石类型	形成方式	产出状态
喷出相	中心、过渡、边缘	地表	熔岩及角砾熔岩	火山颈熔岩等挤出地表的产物	岩针、岩塞、岩钟和穹丘
火山喷发 沉积相	沉火山碎屑岩 含外碎屑火山碎 屑沉积 再搬运火山碎屑 沉积	地表	喷出岩, 沉积火山碎屑岩, 火山碎屑沉积岩和沉积岩	火山喷发间隙期、低潮期沉积产物	陆相、盆地相; 层状、透镜状沉积等

3.2 我国含油气盆地火山岩储集层发育模式与分布

3.2.1 陆上含油气盆地火山岩喷发方式

我国陆上含油气盆地以中心式喷发为主, 主要为层火山, 有陆上和水上两种喷发环境, 水下喷发—沉积组合易与烃源岩紧密接触, 油气成藏最为有利。岩石类型主要为基性、酸性岩类, 少量为中性和碱性岩类。

松辽盆地营城组火山岩单个火山机构主要由中心式喷发形成, 整体上又受区域大断裂控制而呈串珠状平面分布。

渤海湾盆地辽河拗陷火山岩沿断裂分布, 为与沉积同时的水下多次喷溢产物, 属于水间歇性、多次沿断裂喷溢。南堡凹陷火山岩为中心式喷发、裂隙式喷发和沿断裂的溢出。东营凹陷火山岩以熔岩流、熔岩被为主, 以喷溢相为主, 以中心式喷发为主。

准噶尔盆地东部五彩湾凹陷石炭系火山活动总体表现为早石炭世相对较弱, 晚石炭世相对强烈, 呈大陆间歇性火山喷发, 属陆表海火山—沉积环境^[7]。

3.2.2 我国含油气盆地不同时代火山岩岩性特征

我国东部含油气盆地中生代火山岩以酸性为主, 新生代火山岩以中基性为主; 西部盆地火山岩以中基性为主。

松辽盆地火山岩主要有流纹岩、安山岩、英安岩、玄武岩、玄武安山岩、粗安岩、流纹质角砾凝灰岩、流纹质火山角砾岩、英安质火山角砾岩、玄武安山质火山角砾岩、安山质晶屑凝灰岩、沉火山角砾岩, 其中中酸性火山岩占样品总数的 86%, 基性火山岩占 14%, 主要属于碱性和钙碱性系列。

渤海湾盆地火山岩主要为玄武岩、安山岩、粗面岩, 如辽河盆地中生代火山岩以安山岩为主, 古近纪火山岩以玄武岩和粗面岩为主。东营凹陷广泛发育有基性玄武岩、玄武玢岩、凝灰岩和火山角砾岩等。黄骠拗陷风化店地区火山岩主要为碱流岩、英安流

纹岩、流纹岩和流纹英安岩。南堡凹陷主要为基性火山碎屑岩、中性火山碎屑岩和玄武岩。

准噶尔盆地陆东—五彩湾地区主要有玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩、火山角砾岩、凝灰岩等。三塘湖盆地二叠系火山岩主要有玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰岩、火山角砾岩等^[8]。

3.3 我国沉积盆地火山岩储集层成因及特征

3.3.1 储集空间类型及成因

按成因可将火山岩储集层的储集空间分为原生孔隙(气孔、粒间孔、晶间孔)、次生孔隙(溶孔、溶洞)和裂缝(冷凝收缩缝、炸裂缝、构造拱张裂缝、剪切缝、风化裂缝)三大类。

风化剥蚀、溶蚀作用和构造应力对火山岩体的剥蚀与破坏作用互相叠加改善储层, 即使火山岩被上覆地层覆盖, 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。火山岩储集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、溶蚀孔及其他储集空间的作用, 在油气运移中主要起输导作用, 其本身也可成为储油空间, 但储油规模较小, 各类储集空间一般不单独存在, 而是以某种组合形式出现。

3.3.2 我国含油气盆地火山岩储集层类型

我国大部分含油气盆地中发育火山岩类, 且分布范围较大、岩层较厚, 其形成作用包括 3 种: 火山作用、成岩作用、构造作用, 依据其成因特征可以划分为熔岩型储集层、火山碎屑岩型储集层、溶蚀型储集层、裂缝型储集层 4 类(见表 4), 各种类型在产出部位、展布形态、孔隙类型和孔渗性特点等方面存在明显差异。

3.3.3 火山岩储集层物性

我国含油气盆地古生界和中、新生界广泛发育火山岩, 具有分布范围广、地质时代延续时间长的特征, 不具岩石类型的专属性, 不论是基性岩、中性岩还是酸性岩, 不论是火山岩还是侵入岩, 也不论是熔

岩还是火山碎屑岩,自新生界到太古宇都有好的储集层。如松辽盆地营城组、银根盆地苏红图组、二连盆地阿北油田兴安岭群、渤海湾盆地中生界、江汉

盆地中生界、苏北盆地中生界、新疆克拉玛依油田石炭系、陆东五彩湾石炭系及塔里木、三塘湖、四川盆地二叠系等火山岩储集层(见表5)。

表4 火山岩储集层形成作用与类型

Table 4 Type of volcanic reservoirs in the basins of China

控制作用	储集空间	储集层类型	分布与产状	储集层分类
火山作用	原生型孔	火山熔岩	喷溢相,层状	熔岩型储集层
		潜火山岩	浅成侵入相,筒状	火山碎屑岩型储集层
		火山碎屑岩	爆发相,堆状、环状	
成岩作用	次生型孔	风化壳岩溶	内幕储集层,厚度可达300 m	溶蚀型储集层
		埋藏岩溶	酸性流体溶蚀,深度不限	裂缝型储集层
		蚀变	岩床、岩株,蚀变带	
		裂缝	构造高部位,断裂带	裂缝型储集层

表5 我国含油气盆地火山岩储集层特征

Table 5 Characteristics of volcanic reservoirs in the basins of China

界	系	群、组、段	盆地、凹陷	岩性	孔隙度/%	渗透率 /($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	
新 生 界	新 近 系	盐城群	高邮凹陷	灰黑、灰绿、灰紫色玄武岩	20	37	
			馆陶组底	东营凹陷	橄榄玄武岩	25	80
			惠民凹陷	惠民凹陷	橄榄玄武岩	25	80
	古 近 系	三垛组	高邮凹陷	玄武岩	22	19	
			沙一段	东营凹陷	玄武岩、安山玄武岩、火山角砾岩	25.5	7.4
			沙三段	惠民凹陷	橄榄玄武岩	10.1	13.2
				辽河东部凹陷	玄武岩、安山玄武岩	20.3~24.9	1~16
			沙四段	沾化凹陷	玄武岩、安山玄武岩、火山角砾岩	25.2	18.7
			新沟咀组	江陵凹陷	灰黑、灰绿、灰紫色玄武岩	18~22.6	3.7~8.4
	中 生 界	白 垩 系	营城组	松辽盆地	玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰岩、火山角砾岩	1.9~10.8	0.01~0.87
				齐家—古龙凹陷	中酸性火山角砾岩、凝灰岩	22.1	136
			苏红图组	银根盆地	玄武岩、安山岩、火山角砾岩、凝灰岩	17.9	111
二连盆地				玄武岩、安山岩	3.57~12.7	1~214	
侏罗系			兴安岭群	海拉尔盆地	火山碎屑岩、流纹斑岩、粗面岩、凝灰岩、安山岩、安山玄武岩、玄武岩	13.68	6.6
				准噶尔盆地	安山岩、玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩	4.15~16.8	0.03~153
				塔里木盆地	英安岩、玄武岩、火山角砾岩、凝灰岩	0.8~19.4	0.01~10.5
古 生 界	二叠系	三塘湖盆地	安山岩、玄武岩	2.71~13.3	0.01~17		
		四川盆地	玄武岩	5.9~20			

火山岩储集层孔隙度受埋藏深度影响不大,这是因为火山岩骨架较其他岩石坚硬,抗压实能力强,在埋藏过程中受机械压实作用影响小,因此火山岩的孔隙比其他岩石更容易保存下来,使得我国陆上整体勘探深度下移1 000~2 000 m。在同一深度下,碎屑岩孔隙度较火山岩孔隙度小,如准噶尔盆地

石西油田石炭系火山岩在深度大于3 800 m时,火山岩孔隙度为8.46%~19.78%,平均为14.4%,而碎屑岩孔隙度平均约为7.13%^[7]。

3.4 我国沉积盆地火山岩储集层形成主控因素

3.4.1 火山作用

火山作用不仅控制了储集体的形态规模及相互

间的联系,也控制着储集空间类型和储集层岩石的矿物组分特征。同一地区火山岩储集层的储集性能主要受火山岩岩石类型和岩相的控制,不同岩石类型的火山岩储集层发育不同类型的储集系统,如准噶尔盆地五彩湾凹陷火山岩中,火山碎屑岩最高孔隙度为30.08%,平均9.84%,其次是安山岩(孔隙度为8.14%)、凝灰岩(孔隙度为7.92%),玄武岩的孔隙度最低(5.89%);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($0.89 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)^[7]。

火山岩相是影响储集层的重要因素,不同岩相、亚相具有不同的孔隙类型,同岩相的不同亚相储集层物性可能差别很大,因为各相中亚相之间岩石结构和构造存在较大差别。岩石结构和构造控制着原生和次生孔、缝的组合和分布,火山岩储集层物性和储集空间类型、特征和变化主要受到火山岩亚相控制。火山通道相储集空间主要为孤立的气孔及火山碎屑间孔;火山爆发相以火山碎屑岩的产出为特征,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;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,能够形成有利储集区域。火山喷溢相形成于火山喷发的各个时期,熔岩原生气孔发育,次生孔隙主要表现为长石的溶蚀和玻璃质经过脱玻化形成长石、石英等矿物后,发生体积缩小产生的孔隙。据统计,喷溢相上部亚相是松辽盆地兴城和升平地区储集层物性最好的岩相带。侵入相中心带亚相储集空间主要为裂缝、溶孔、晶间孔等微孔隙,储集物性较好,是有利的储集相带。

3.4.2 火山喷发环境

以准噶尔五彩湾凹陷为例,其火山岩与沉积岩互层,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,由于在水体中溶解于岩浆中的挥发成分不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。

3.4.3 成岩作用

火山岩成岩作用类型主要有压实作用、充填作用、溶解作用、交代作用等,他们对储集层形成的作用不尽相同。充填作用降低储集层的孔渗性,不利于火山岩储集层的发育;压实作用不利于储集层的

形成、保存及发展,特别是对于火山碎屑岩影响显著。较常见的成岩蚀变包括绿泥石化、方解石交代、沸石化等,其对火山岩储集层形成既有消极影响,也有积极作用,火山岩中的气孔往往不直接成为储集空间,而是先被绿泥石、沸石、方解石等充填,然后被地下水溶蚀,再由裂缝连通才能成为储集层。

火山活动和构造运动以及排烃作用等都会引起大规模的流体活动,流体对火山岩的直接作用是引起物质的带入和带出,使火山岩体处于开放体系下。

所有火山岩几乎都要经历不同程度的风化淋滤作用,对多数火山岩而言,孔隙发育程度与淋滤作用密切相关,淋滤作用不但可以使岩石破碎,也可以使岩石的化学成分发生显著的变化,如发生矿物的溶解、氧化、水化和碳酸盐化等。如升深2井营城组顶部的紫色安山质熔结凝灰岩,由于风化淋滤作用使得原本致密的爆发相凝灰质熔岩变得极为疏松,在岩心中呈豆腐渣状,其孔隙度大于15%,渗透性好。因此,淋滤作用不仅是影响火山岩储集性能的一个重要因素,而且也是火山岩中普遍存在的地质现象,火山岩顶面到不整合面的距离成为风化淋滤溶蚀储集层储集空间发育的重要控制因素。溶蚀作用主要表现为物质的带出过程,总的效应是使孔隙增加,次生孔隙都与溶蚀有关,它是控制火山岩储集性能的另一重要因素,在酸性水(有机酸和无机酸)的作用下,溶蚀作用使火山岩中的不稳定组分发生溶解,形成次生孔隙。

3.4.4 构造作用

构造运动和构造部位对断裂的形成和裂缝的发育程度起着主导作用。裂缝的形成对储集层发育有三方面的影响:a. 在气孔—杏仁发育带形成裂缝,提高气孔的连通程度,增加渗透率,更重要的是,地表淡水或地下水沿裂缝对火成岩进行溶解改造,在原来气孔、残余气孔及基质晶间孔的基础上形成大量的溶蚀孔隙,甚至溶洞;b. 在致密段形成裂缝,可形成单纯的裂缝型储集层,且在一定条件下,还可发育溶孔,甚至溶洞;c. 裂缝的存在可以改善地层水分布和流动的特点,从而促使溶解作用的发生、发展,如岩心或显微镜下所见沿构造裂缝发育的次生溶孔,就是该作用的结果。如三塘湖盆地石炭系火山岩至少发育两期构造裂缝,其中I期裂缝形成时间较早,规模较大,对储集层影响较大(是溶孔、溶洞发育的成岩水渗透流通道),但裂缝本身绝大部分已被充填;II期裂缝规模较小,对储集层改造作用

不如 I 期,但因该期裂缝大部分为开启缝,充填物质少,故对储集层质量提高有较大意义。

4 我国沉积盆地火山岩油气地质及分布规律

4.1 火山岩油气藏形成的地质条件

4.1.1 烃源岩与火山岩圈闭空间配置是成藏关键

火山岩形成、分布机理与沉积岩有很大差异,因火山岩本身不能生成有机烃类,故火山岩油气藏形成的首要条件是是与烃源岩伴生,即火山岩位于烃源岩系之中或位于烃源岩系之上下,或附近有生烃凹陷,这样火山岩储集层才具有较多的机会与沉积层中的烃源岩构成良好匹配关系。

充足的油源供给是火山岩成藏的必要条件,我国发育火山岩的主要含油气盆地如松辽、渤海湾、准噶尔盆地,火山岩层系与沉积层系交互,形成有利的火山—沉积层序成藏组合,有利于形成近源型油气藏,因而火山岩油气资源较为丰富。与沉积岩(烃源岩)共生或相邻形成的火山岩油气藏,油气源于沉积岩中的成熟烃源岩。在裂谷盆地发育早期,强烈的地裂运动一方面导致火山喷发,另一方面也使盆地迅速下沉,水体变深,沉积物快速堆积,形成烃源岩,使火山岩的形成与烃源岩的发育几乎同期进行,造成火山岩与烃源岩相邻或位于烃源岩层系之中,对火山岩成藏十分有利。

火山岩油气藏的形成也必须具备生、储、盖、运、圈、保的条件及其在时空上的有利配置,只是其成藏规律和分布更具特殊性。目前发现的火山岩油气藏类型多样,以构造—岩性地层油气藏为主。如松辽盆地徐家围子断陷火山岩油气藏为多个气藏叠置,无统一气水界面,气层连通性差,气柱高度超出构造幅度,为岩性气藏;准噶尔盆地西北缘二叠系火山岩风化壳孔洞缝储集层发育,各种岩类均可形成好储集层,油气富集受不整合面(风化壳)控制,属地层油气藏。邻近烃源岩的火山岩近源成藏,油气最富集。从成藏机理分析,火山岩主要有两种成藏模式: a. 近源型(源内、源下),为主要的火山岩成藏模式,如渤海湾盆地古近系、中生界,二连、海拉尔盆地白垩系,银根盆地白垩系,松辽盆地深层,准噶尔盆地内部、三塘湖盆地石炭系—二叠系。近源组合中,烃源岩位于火山岩储集层之上下或侧缘,火山岩储集层分布在生烃凹陷内或附近,烃源岩生成的油气与储集层有最大的接触机会,一般来说,近源组合使火山岩具有“近水楼台先得月”的条件,最有利于油气的富集。b. 远源型(源上),如四川盆地、塔里木盆地。中国东部断陷以近源组合为主,高部位形成以爆发相为主的构造—岩性油气藏,斜坡部位形成以喷溢相为主的岩性油气藏;中西部发育两种成藏组合,近源大型地层油气藏最为有利(见图 2)。

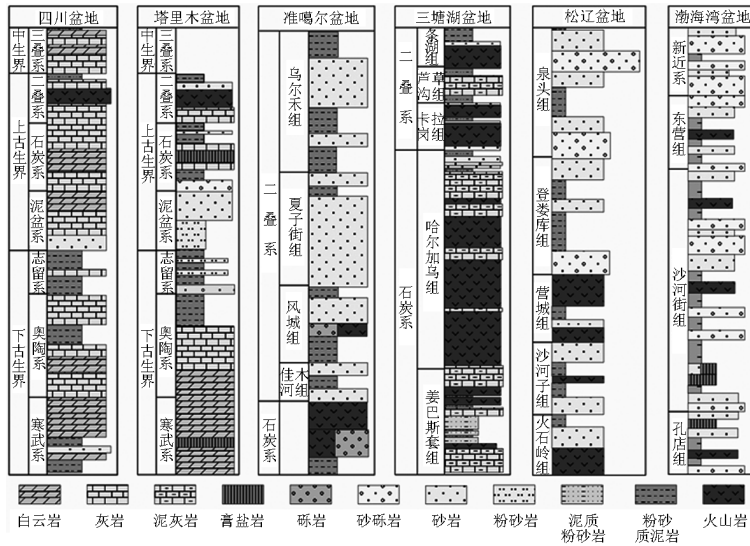


图 2 我国主要含油气盆地火山岩油气藏成藏组合

Fig. 2 Generation – reservoir – cap series for oil/gas pools in volcanic rocks in the main basins of China

4.1.2 良好的储集体是火山岩油气富集高产的重要条件

火山岩储集层类型多属于裂缝—孔隙型。储集空间主要是不同成因的孔隙(洞)、裂缝。孔隙(洞)的形成不仅受火山岩相控制,在很大程度上还取决于次生作用,如溶蚀、裂缝作用。裂缝是形成有效储集体的重要因素,不同尺度的裂缝沟通了不同类型的孔隙(洞),形成孔缝网络,是火山岩油气藏形成的必要条件。裂缝还促进了油气的运移和聚集。风化淋滤作用可有效地改造储集层,形成的溶蚀孔隙发育带厚度可达数百米至上千米。总之,有利的火山岩储集体是火山岩油气藏富集高产的主要原因。

4.1.3 良好的盖层条件是油气成藏的前提

覆盖在火山岩之上的泥岩可作为优质盖层,若该套泥岩同时是烃源岩,还可为火山岩提供油气,对油气聚集十分有利。另外,火山岩本身也有致密段,可与孔缝发育段构成有利的储盖组合。

4.1.4 构造部位与有利岩性、岩相带匹配控制油气富集

火山岩油气主要富集在大断裂附近的构造高部位与近火山口爆发、喷溢相叠置的区域。近火山口相多沿大断裂分布,断裂带附近是裂缝集中发育的部位,断陷盆地正断层下盘为构造高部位,同时火山爆发的堆积作用可进一步造成近火山口部位的高地貌。构造高部位长期暴露,易受风化淋滤溶蚀形成好储集层,构造高部位同时又是油气运移的指向区,因此断裂带、构造高部位与近火山口相火山岩叠置的区域为油气最富集区。

在断陷盆地,一般处于近火山口继承性高部位的火山岩爆发相较发育,且近断裂处易发育构造裂缝,故储集物性一般较好,是油气聚集的有利部位。而在斜坡部位,喷溢相火山岩发育,更近油源,主要形成岩性油气藏。

在中西部地区克拉通内或陆内拗陷盆地,在构造相对高部位,往往风化溶蚀作用较强,形成大面积分布的溶蚀型储集层,可形成大型整装油气田。如在准噶尔及三塘湖盆地,古鼻隆带风化溶蚀强,有较大规模断裂发育,有利于产生裂缝,形成好储集层,且具有长期捕获油气的有利条件,是寻找火山岩油气藏的主要方向。在准噶尔盆地西北缘和三塘湖盆地已发现了与火山岩风化淋滤有关的大型地层油气藏。

4.2 我国沉积盆地火山岩油气藏分布规律

我国东部主要发育岩性油气藏,西部主要发育

大型地层油气藏。东部断陷盆地火山岩沿断裂呈条带状分布,火山岩储集体多保持原位,后期改造较弱,近断裂爆发相储集层发育,斜坡部位喷溢相大面积分布。一般在每一旋回的早期火山活动强度大,火山岩分布广泛,喷溢相玄武岩发育,还形成潜火山岩相辉绿岩及爆发相的火山角砾岩和凝灰岩,面积和厚度大,以裂隙式喷发为主。而晚期岩浆活动变弱,表现为以中心式喷发占优势,火山岩分布相对局限,厚度薄,潜火山岩相相对发育,其次为喷溢相,少见火山碎屑岩。一般裂谷边部火山岩时代老,向裂谷中心时代变新,这与断裂演化特征有关。东部断陷盆地中,断陷边界断裂控制盆地发育,同时控制火山岩的发育及其相带展布。在大断裂附近的爆发相、近火山口喷溢相较发育,而向斜坡和凹陷部位,喷溢相大面积分布。一般而言,近断裂储集层易受断裂改造形成裂缝,从而改善储集层。喷溢相储集层发育除与喷溢和成岩作用有关外,还受到溶蚀等次生作用控制。由于近断裂部位一般也是构造相对较高的部位,因此以构造—岩性油气藏为主,斜坡部位主要形成岩性油气藏。

中西部叠合盆地火山岩大多经历了多次构造运动,沿不整合面分布着大面积风化淋滤型储集层,可形成大型整装地层型油气藏。中西部地区盆地内火山岩的发育与古亚洲洋、古特提斯洋的形成及其闭合、造山密切相关。如在准噶尔盆地西北缘,不同岩性的石炭系火山岩经历风化淋滤作用后,均可形成好储集层,在风化面以下 600 m 范围内储集层最发育,储集层发育厚度超过 1 000 m,形成风化淋滤大型地层油气田。准噶尔盆地陆东地区,火山岩以中性熔岩为主,有基性和酸性熔岩,火山碎屑岩较发育,分布受断裂控制,火山岩体沿断裂呈串珠状分布。

5 我国沉积盆地火山岩油气藏勘探

沉积盆地充填物中,火成岩占相当大的比例,在各类盆地中对沉积物总量的贡献可达 25 %。因此,沉积盆地火山岩易接受来自沉积岩的油气,火山岩中的油气勘探具有广阔的前景。

我国沉积盆地内火山岩分布广泛,近期勘探不断有新发现,勘探领域亦不断扩展,火山岩油气藏已逐渐成为重要的勘探目标和油气储量的增长点。我国沉积盆地内发育石炭—二叠系、侏罗—白垩系和第三系 3 套火山岩。火山岩主要形成于大陆内裂谷

和碰撞后伸展裂谷环境,以沿断裂的中心式、复合式喷发为主,主要形成层火山,爆发相和喷溢相较发育。火山岩体一般为中小型,成群成带大面积展布,有陆上和水上两种喷发环境,水下喷发—沉积组合最为有利。我国东部沉积盆地内火山岩以中酸性为主,西部以中基性为主。

我国目前火山岩的油气勘探,出现了6个新的发展趋势:a. 在地区上,从东部渤海湾盆地、松辽盆地、准噶尔盆地、三塘湖盆地等地区由点到面快速发展;b. 在勘探层位上,由东部中生界、新生界向西部上古生界发展;c. 在勘探深度上,由中浅层向中深层甚至深层发展;d. 勘探部位,由构造高部位向斜坡和凹陷发展;e. 岩性岩相类型,由单一型到多类型,由近火山口向远火山口发展;f. 油气藏类型,由构造、岩性型油气藏向岩性、地层型油气藏发展。地质研究认为,我国火山岩分布面积广,总面积达 $215.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,预测有利勘探面积为 $36 \times 10^4 \text{ km}^2$,展示了火山岩油气藏勘探领域的巨大潜力。根据目前勘探进展初步预测,火山岩总的石油资源量在 $60 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量以上。因此,含油气火山岩中剩余资源丰富,勘探潜力大,是未来油气勘探的重要新领域。

致谢:在文章写作过程中,得到了中国石油天然

气股份有限公司赵政璋、王道富、赵文智、杜金虎、方朝亮和相关油田公司冯志强、赵志魁、匡立春、梁世君等领导、专家以及中国石油勘探开发研究院专家的支持和帮助,在此一并致谢!

参考文献

- [1] 匡立春,薛新克,邹才能,等. 火山岩岩性地层油藏成藏条件与富集规律——以准噶尔盆地克一百断裂带上盘石炭系为例[J]. 石油勘探与开发,2007,34(3): 285-290
- [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): 274-281
- [3] 林如锦,徐克定. 浙闽粤东部中生代火山岩分布区油气远景探讨[J]. 石油学报,1995,16(4): 23-30
- [4] 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
- [5] 邱家骥,陶奎元,赵俊磊,等. 火山岩[M]. 北京:地质出版社,1996. 10-22
- [6] 王璞珺,迟元林,刘万洙,等. 松辽盆地火山岩相类型、特征和储集层意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2003,33(4): 449-458
- [7] 余淳梅,郑建平,唐勇,等. 准噶尔盆地五彩湾凹陷基底火山岩储集性能及影响因素[J]. 地球科学-中国地质大学学报,2004,29(3): 303-306
- [8] 熊琦华,吴胜和,魏新善. 三塘湖盆地二叠系火成岩储集特征及储集层发育的控制因素[J]. 石油实验地质,1998,20(2): 129-134

Petroleum geology and exploration for volcanic reservoirs in the sedimentary basins of China

Zhang Guangya, Zou Caineng, Zhu Rukai, Yuan Xuanjun, Zhao Xia

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

[Abstract] Carboniferous-Permian, Jurassic-Cretaceous and Paleogene-Neogene volcanic reservoirs have acted as the exploration play in China. Volcanic reservoirs located near the source rocks are the most beneficial for hydrocarbon accumulation, so the hydrocarbon-generation centers control the hydrocarbon distribution, and the volcanic reservoirs located far from the source rocks need through faults and the disconformities surfaces. The lava, volcanic breccia and volcanics located in weathered crust are the dominant reservoirs. In the rift basins of eastern China, volcanic reservoirs are mainly composed of lithologic and structural-lithological type and are formed near the source rock centers; in the basins of central and western China, volcanic reservoirs formed near or far from the source rocks, and stratigraphic reservoirs are formed along the unconformity surfaces.

[Key words] volcanic reservoir; volcanic facies; key factors controlling the reservoir formation