

中国火山岩油气藏控制因素及分布规律

侯连华, 朱如凯, 赵霞, 庞正炼, 罗霞, 毛治国

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

[摘要] 中国沉积盆地内主要发育石炭—二叠系、侏罗—白垩系和古近—新近系 3 套火山岩, 火山岩大面积分布, 烃源岩与火山岩伴生, 形成良好的生储盖组合。东部盆地以中酸性岩为主, 主要发育原生型火山岩储层; 西部盆地以中基性岩为主, 主要发育风化壳型储层, 火山岩风化壳储层物性好于原生型储层物性, 各种岩性、岩相均能形成有效储层。东部盆地主要发育岩性、断层—岩性油气藏; 西部盆地主要发育地层型、构造—地层型、构造—岩性—地层复合型油气藏。松辽盆地深层持续沉降型断陷控制天然气区域分布, 生烃断槽控制断陷内天然气分布, 近邻生烃断槽的断裂构造带是天然气富集区带, 优质火山岩储层控制天然气富集; 新疆北部石炭系残留生烃凹陷控制油气平面分布, 风化壳规模控制油气富集程度和规模, 风化壳地层型有效圈闭控制油气成藏, 正向构造背景控制油气运聚。指出中国火山岩有利勘探面积 36 万 km², 预测火山岩中总资源量 60 亿 t 油当量以上, 勘探潜力大。

[关键词] 火山岩储层; 火成岩油气藏; 成藏控制因素; 油气藏分布规律

[中图分类号] TE13 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)06-0077-10

1 前言

火山岩作为油气勘探的新领域, 已引起勘探家和地质学家的广泛关注^[1]。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, 全球 100 多个国家或地区发现了 160 多个火山岩油气藏^[2]。国外火山岩油气藏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。中国从古生界到新生界的沉积盆地内发育大面积的火山岩^[3-5], 具有良好油气地质条件, 1957 年在准噶尔盆地西北缘首次发现火山岩油气藏^[6,7], 历经 50 多年勘探, 在准噶尔和渤海湾等 13 个盆地陆续发现了一批火山岩油气田。2005 年以来, 相继在松辽盆地、新疆北部等火山岩勘探中取得重大突破, 新增探明天然气地质储

量 4 730 亿 m³、石油地质储量 2.16 亿 t, 目前中国已形成东、西部两大火山岩油气区^[8-11]。同时, 在塔里木、四川等盆地新发现多口火山岩油气流井, 展现出良好勘探局面。

2 中国火山岩油气勘探阶段及特点

中国火山岩油气勘探大致经历了三个阶段。以兼探为主的偶然发现阶段(1957—1990 年): 主要集中于准噶尔盆地西北缘和渤海湾盆地辽河、济阳等拗陷。以针对性为主的局部勘探阶段(1990—2002 年): 随着地质认识和勘探技术的不断提高, 开始在渤海湾和准噶尔等盆地的个别地区开展针对性勘探。全面勘探阶段(2002 年后): 中国已将火山岩油气藏作为重要新领域开展全面勘探, 勘探领域不断扩展, 相继在渤海湾、松辽、准噶尔、三塘湖等盆地发现了一批规模油气藏。

[收稿日期] 2012-04-06

[基金项目] 中国工程院重大咨询研究项目“我国非常规天然气开发利用战略研究”(2011-ZD-19-2); 国家科技重大专项“岩性地层油气藏成藏规律、关键技术及目标评价”(2011ZX05001, 2011B-03)

[作者简介] 侯连华(1970—), 男, 山东博兴县人, 高级工程师, 主要从事岩性地层油气藏、非常规油气地质、综合勘探研究等工作;
E-mail: houlh@petrochina.com.cn

中国已发现的火山岩油气藏中,东部主要分布于中生界、新生界的大陆裂谷盆地,以中酸性火山岩的岩性油气藏为主,多个火山岩体控制的油气藏可叠合连片大面积分布;西部主要分布于古生界的碰撞后裂谷、岛弧环境,以中基性火山岩风化壳地层型为主,可形成大型整装油气田。

3 中国火山岩储层特征及控制因素

3.1 中国火山岩储层岩性、岩相特征

中国陆上含油气盆地火山以中心式喷发为主,火山岩储层岩石类型多,东部盆地中生代以酸性岩为主^[12],新生代以中基性岩为主;西部盆地以中基性岩为主,具体见图1,其中TAS是total alkalis (sodium and potassium) graphed versus silica的缩写,即火山岩钠钾与二氧化硅分类图解。主要有玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩、粗面岩等。

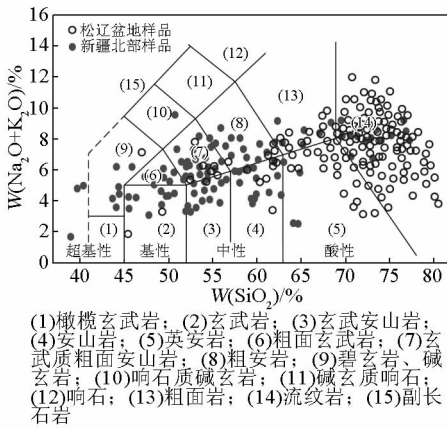


图1 新疆北部、松辽盆地火山岩TAS图解
Fig. 1 TAS diagram of volcanics from the north of Xinjiang and Songliao Basin

松辽盆地营城组火山主要为中酸性岩,火山岩沿区域大断裂呈串珠状分布,横向厚度变化较大,喷溢相发育;火石岭组火山以裂隙喷发为主,厚度相对较均匀,喷溢相发育。火山岩主要有流纹岩、安山岩、英安岩、玄武岩、粗安岩、角砾凝灰岩、玄武岩等,其中中酸性岩占86%,基性岩占14%,主要属于碱性和钙碱性系列。

渤海湾盆地火山岩以中心式喷发成因为主,喷溢相发育,主要岩性有玄武岩、安山岩、粗面岩等,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。冀中凹陷侏罗系以安山岩为主夹凝灰岩;白垩系主要发育玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩。东营坳陷主要发育玄武岩、凝灰岩和

火山角砾岩等。

新疆北部石炭纪火山以裂隙—中心式喷发为主,发育中钾中基性火山岩。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;西北缘地区石炭系主要为安山岩、玄武岩、火山角砾岩等。三塘湖盆地石炭系主要有玄武岩、安山岩、英安岩、凝灰岩、火山角砾岩等。

3.2 中国火山岩储层类型与特征

火山岩储层形成有火山、成岩和构造3种作用,依据其成因可划分为熔岩型、火山碎屑岩型、溶蚀型、裂缝型4类(见表1),不同类型在孔隙类型、物性及渗流特征等方面存在明显差异。

表1 火山岩储层形成作用与类型

Table 1 Formation role and type of volcanic reservoir		控制作用	储集空间	储层类型	分布与产状	储层分类
火山作用	原生型孔	火山熔岩	喷溢相,层状	熔岩型储层,		
		潜火山岩	浅成侵入相,筒状	火山碎屑岩		
		火山碎屑岩	爆发相,堆状、环状	型储层		
成岩作用	次生型孔	风化壳岩溶	内幕储层,厚度可达300 m	溶蚀型储层,裂缝型储层		
		埋藏岩溶	酸性流体溶蚀,深度不限			
		蚀变	岩床、岩株,蚀变带			
构造作用	裂缝	裂缝	构造高部位,断裂带	裂缝型储层		

中国含油气盆地古生界和中、新生界广泛发育火山岩,各种岩性、岩相均能发育良好储层,如松辽盆地营城组、二连盆地阿北油田兴安岭群、渤海湾盆地中生界、苏北盆地中生界、北疆石炭系、四川盆地二叠系等火山岩储层(见表2)。

火山岩骨架较其他岩石坚硬,抗压能力强,埋藏过程中受机械压实作用影响小,孔隙受埋藏深度影响不大,因此中国陆上火山岩勘探深度下移1 000~2 000 m。埋藏较深时,碎屑岩比火山岩孔隙度小,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,平均为14.4%,而碎屑岩孔隙度平均约7.13%。

3.3 火山岩储层控制因素

火山岩储集空间中原生孔隙和裂缝主要受原始喷发状态控制。火山岩原生气孔的连通性、渗透性较差,经后期改造才具有较好渗透性。火山作用,构造运动和风化淋蚀作用是火山岩储层储集空间形

表2 中国含油气盆地火山岩储层特征

Table 2 Characteristics of volcanic reservoir in petroliferous basins of China

界	系	群、组、段	盆地、凹陷	岩性	孔隙度/%	渗透率/($10^{-3} \mu\text{m}^2$)
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
			东营凹陷	橄榄玄武岩	25	80
		馆陶组底	惠民凹陷	橄榄玄武岩	25	80
			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
			惠民凹陷	橄榄玄武岩	10.1	13.2
	古近系	沙三段	辽河东部凹陷	玄武岩、安山玄武岩	20.3 ~ 24.9	1 ~ 16
			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
			潍北凹陷	玄武岩、凝灰岩	20.8	90
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
	侏罗系	兴安岭群	二连盆地	玄武岩、安山岩	3.57 ~ 12.7	1 ~ 214
			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
	古生界	石炭—二叠系	巴塔玛依内山组、风城组	准噶尔盆地	安山岩、玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩	4.15 ~ 26.8
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
		二叠系	三塘湖盆地	安山岩、玄武岩	2.71 ~ 32.3	0.01 ~ 112
			四川盆地	玄武岩	5.9 ~ 20	0.01 ~ 36

成和发育的主要成因机制。受多种成因作用共同控制,可形成多种储集空间类型(见图2)。

3.3.1 火山作用控制原生储集空间形成

火山作用不仅控制了储集体形态、规模,也控制着储集空间类型和岩石矿物组分特征。原生型火山岩储层的储集性能,主要受岩性和岩相控制。如准噶尔盆地五彩湾凹陷原生型火山岩中,火山碎屑岩、安山岩、凝灰岩、玄武岩平均孔隙度依次为9.84%、8.14%、7.92%、5.89%。

岩相是影响原生型火山岩储层的重要因素,不同岩相、亚相具有不同的储集物性^[13,14]。火山通道相储集空间主要为孤立的气孔及火山碎屑间孔;火山爆发相中砾间孔及气孔发育;火山喷溢相中熔岩原生气孔发育,次生孔隙主要表现为长石溶蚀和经脱玻化收缩后产生的孔隙;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。

3.3.2 火山喷发环境影响原生储集空间发育程度

喷发环境对火山岩储集空间形成有很大影响。深水喷发时,岩浆中的挥发成分不容易逃逸难以形成气孔,故原生气孔不发育,加之水体的共同作用,火山岩发生明显蚀变和充填,使原生孔隙减少。浅水环境或陆上喷发时,特别是喷发时遇大气降水,一方面熔浆中的挥发成分可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淬火作用形成大量原生微裂隙,把原生气孔很好地连通起来,构成良好的原始储集空间。

3.3.3 构造作用控制裂缝发育

构造运动对断裂、裂缝形成与发育程度起着主导作用^[15,16],不同火山岩岩性均能形成裂缝(见图3)。裂缝对储层有3方面影响:a. 在气孔—杏仁发育带形成裂缝,提高气孔连通程度,增加渗透性;b. 在致密段形成裂缝,可形成裂缝型储层,且在一定条件下,可发育溶孔、溶洞;c. 裂缝的存在可改善地层水分布和流动特点,促使溶解作用发生和发展。

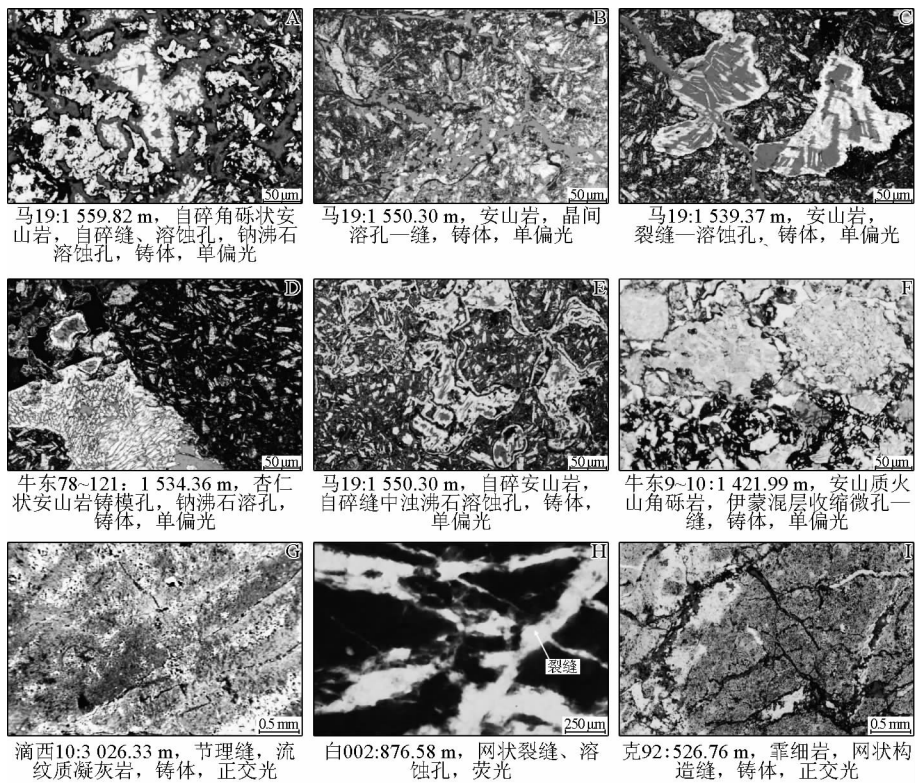


图2 火山岩储层储集空间类型

Fig. 2 The type of reservoir space in volcanic reservoir

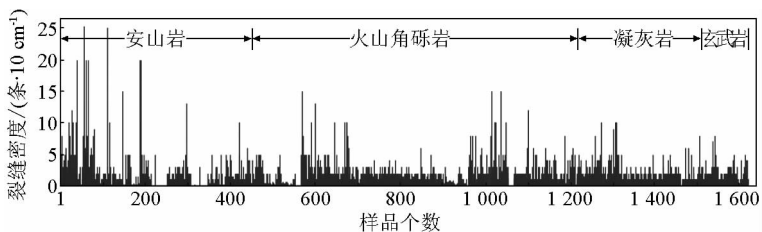


图3 准噶尔盆地西北缘各岩性发育微裂缝示意图

Fig. 3 Micro-cracks development of various volcanic rocks in the northwest of Junggar Basin

3.3.4 风化淋蚀作用控制风化壳储层发育

完整火山岩风化壳具有5层结构,即土壤层、水解带、淋蚀带、崩解带和母岩^[17,18]。土壤层中多为次生矿物,成土状;水解带以泥岩和火山岩细小颗粒为主,多数风化解破碎为泥土,以蚀变作用为主;淋蚀带中溶蚀孔和裂缝发育,风化淋蚀、构造碎裂和热液蚀变作用强;崩解带以火山岩碎块为主,块体较大,见少量气孔,微裂缝较发育;母岩中火山岩块体完整,孔洞缝不发育。

对新疆北部石炭系钻穿风化壳的28口井中不同结构层的6854个孔隙度样品分析,发现储层物性由好到差的顺序为淋蚀带、崩解带、水解带、母岩、

土壤层,平均孔隙度分别为16.8%、12.7%、5.4%、4.6%、2.6%。该区火山岩油气藏提交探明储量孔隙度下限为6.4%。可见,淋蚀带和崩解带能够形成有效储层,其他结构层和母岩不能形成有效储层。

火山岩风化壳储层物性明显好于同时代的原生型火山岩,但相同表生环境下不同岩性形成的储集性能存在差别。对1241块不同蚀变程度的玄武岩、安山岩、火山角砾岩、凝灰岩样品储层孔隙度研究表明,未蚀变火山角砾岩平均孔隙度最大,为8.3%,其他岩性孔隙度均小于6%;弱蚀变玄武岩、安山岩、火山角砾岩平均孔隙度均大于6%,而

凝灰岩孔隙度为 3.6 % ;强蚀变的不同岩性火山岩均能形成有利储层,且各种岩性平均孔隙度均超过同时代原生型火山角砾岩储层的平均孔隙度 8.3 % (见图 4)。

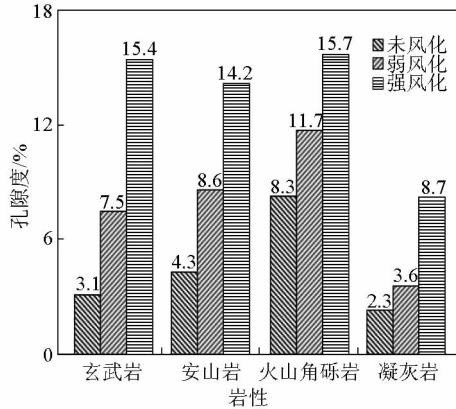


图 4 不同岩性、蚀变程度火山岩平均孔隙度分布图

Fig. 4 Average porosity of different lithology and alteration degree of volcanic rocks

火山岩风化壳厚度主要决定于风化淋蚀时间。通过风化壳残余物形成和剥蚀速率关系推导、钻孔和野外剖面测量、风化淋蚀时间恢复,提出风化壳厚度与风化淋蚀时间的正向非线性指数模式(见式(1))。利用该式可预测不同风化程度地区的风化壳厚度。

$$d = a \ln t + b \quad (1)$$

式(1)中, d 为风化壳厚度, m; t 为风化淋蚀时间, Ma; a 、 b 为参数,如新疆北部石炭系火山岩 $a = 81.427$, $b = 101.81$ 。

4 火山岩油气成藏控因与分布规律

4.1 火山岩油气藏类型

中国火山岩主要发育 6 种类型油气藏,即地层型、岩性—地层型、构造—地层型、断层—岩性—地层复合型、岩性型、断层—岩性型(见图 5)。

4.1.1 地层型油气藏

储层以火山岩风化壳为主,其周围受非渗透地层所限,上覆非渗透性新地层遮挡形成有效圈闭。其含油气面积和油气高度受火山岩风化壳范围和厚度控制,具有统一油气水界面和压力系统。

4.1.2 岩性—地层型油气藏

有效圈闭受火山岩风化壳和岩性双重因素控制,以风化壳为主,上覆非渗透性新地层遮挡。其油气面积和油气高度受火山岩风化壳范围和厚度控制。具有统一油气水界面和压力系统。

4.1.3 构造—地层型油气藏

有效圈闭受构造和风化壳双重因素控制,以风化壳控制为主。具有统一油气水界面和压力系统,油气藏边界受风化壳和溢出点控制。

4.1.4 断层—岩性—地层复合型油气藏

储层受岩性、岩相和风化壳多重因素控制,同时,火山喷发间歇期的短暂风化淋蚀,形成呈层状分布储层,其周围被非渗透性地层、断层所限形成有效圈闭。每个断块内部具有统一油气水界面和压力系统,油气藏面积和油气高度受火山岩风化壳、岩性、岩相综合因素控制。

4.1.5 岩性型油气藏

以层状、透镜状或其他不规则状火山岩体为储层,其周围被非渗透性地层所限形成有效圈闭。无统一油气水界面和压力系统,油气藏面积和高度受火山岩外部形态和厚度控制。

4.1.6 断层—岩性型油气藏

有效圈闭形成受地层和岩性双重因素控制,以岩性控制为主。具有统一油气水界面和压力系统,油气藏边界受岩性边界和溢出点控制。

4.2 松辽盆地深层火山岩气藏控制因素与富集规律

松辽盆地深层持续沉降型断陷控制天然气区域分布,生烃断槽控制断陷内天然气分布,近邻生烃断槽的断裂构造带是天然气富集区带,优质火山岩储层控制了天然气富集(见图 6)。

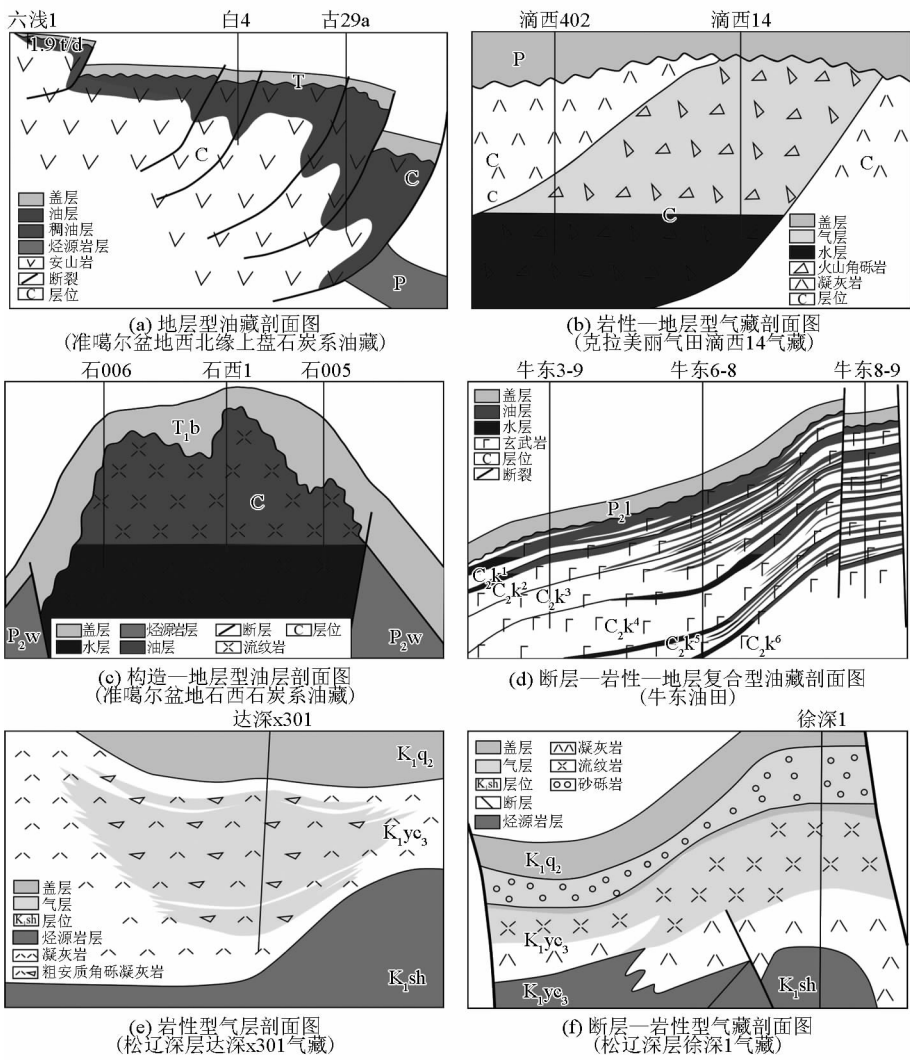


图 5 火山岩油气藏类型图

Fig. 5 Types of volcanic rock reservoir

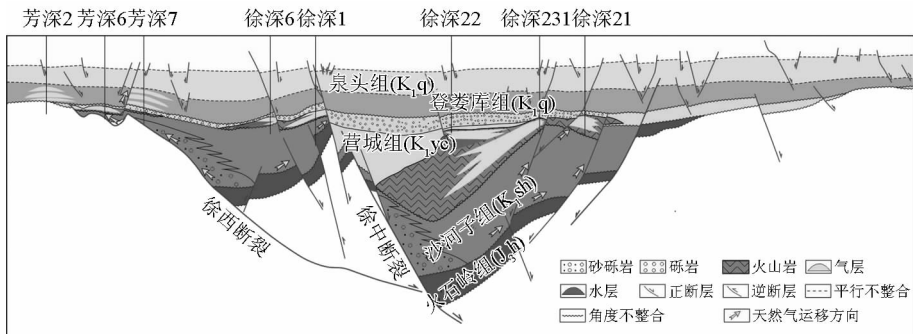


图 6 徐家围子中生代火山岩气藏剖面图

Fig. 6 Mesozoic volcanic gas reservoirs of Xujiaweizi

4.2.1 持续沉降型断陷控制天然气区域分布

松辽盆地深层断陷按构造演化特征可分为持续沉降型、晚期反转型和后期抬升型,其中以持续沉降

型断陷天然气最丰富。这类断陷构造活动相对比较和缓,沉降较深,沉积环境较稳定,湖相地层发育,烃源层厚度大,有机质丰度高,埋藏深。具有“一好、

三高”特点,即烃源岩质量好、生气速率高、聚集程度高、近源产量高。这类断陷天然气占已探明储量的95%以上。

油气运移距离一般较近,沙河子烃源岩生成的天然气运移距离一般不超过10 km。根据69口井的统计,距源岩距离小于10 km的52口井中,仅有4口为干层,失利原因是储层致密;距源岩距离10~20 km的14口井中,有6口井见气显示,4口井为水层,4口井为干层;而距源岩距离大于20 km的3口井中,均无气显示,其中1口井为水层,2口井为干层。可见,一般距生烃中心距离小于10 km,有利于天然气富集。

4.2.2 生烃断槽控制断陷内天然气分布

断陷盆地边界断裂走向、延伸长度和断距大小变化控制断槽发育,一个断陷往往被分割为若干个断槽(洼槽)。36个大小不等的断陷,共发育74个断槽。断槽面积最大为1443 km²,最小为131 km²,大于500 km²的断槽有32个。断陷内生烃断槽控制了天然气分布,每一个断槽是一个独立沉积湖盆,也是一个独立成藏单元。断陷只要存在生烃断槽,同样具有良好勘探前景。

天然气围绕生烃断槽呈环状分布,受岩性、岩相强非均质限制,决定了油气短距离运移,围绕生烃断槽附近呈环带聚集。如长岭断陷围绕长岭断槽发现了长岭1号气田、东岭气田、双坨子油气田、伏龙泉气田、大老爷府气藏、长深8气藏共6个气田(藏)。

4.2.3 邻近生烃断槽断裂构造带是天然气富集区

基底大断裂控制了火山岩分布,也控制了火山岩体圈闭形成。沿断裂形成了不同类型的火山岩圈闭,如火山岩体背斜(昌德气田等)、断鼻(兴城气田等)、火山岩岩性(汪家屯气藏等)、火山岩裂缝性(汪家屯气藏等)等类型圈闭。

基底大断裂有利于油气运移和储集性能改善。断裂是油气运移重要通道;同时断裂带附近裂缝发育,沟通储层内孔隙,扩大有效储集空间;裂缝又是地下水渗流通道,促使次生溶蚀孔缝发育,改善储集性能。可见,断裂—构造带控制断陷内天然气聚集,如徐家围子断陷天然气藏沿徐西、徐中和宋站基底大断裂分布。

4.2.4 优质火山岩储层控制了天然气富集

火山岩岩性、岩相、裂缝控制了优质储层发育,从而控制了天然气富集。如流纹岩、流纹质熔结凝灰岩的裂缝线密度分别为5.70条/m、5.27条/m。

溢流相酸性岩中的流纹岩、流纹质晶屑熔结凝灰岩物性好,是有利储层。相对优质储层对天然气富集起到明显控制作用,一般爆发相中凝灰岩储层物性最好,如徐深1井3440~3450 m的流纹质熔结凝灰岩段,孔隙度平均达7.2%,最高可达15%;渗透率平均可达 $2.4 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$,最高可达 $8.1 \times 10^{-4} \mu\text{m}^2$,该段压后自喷日产气19.57万m³。溢流相的原地溶蚀角砾岩和上部亚相的流纹岩含气饱和度70%~80%,溢流相中部亚相和爆发相的熔结凝灰岩物性差,束缚水饱和程度高,含气饱和度30%~50%。近火山口相储层物性好,含气饱和度较高,远火山口相储层物性差,含气饱和度低。勘探证实,徐家围子断陷的徐深1、徐深3、升深2-1井等工业气流井大都分布在火山口或近火山口附近,而远火山口的徐深16井则未获成功。

4.3 新疆北部石炭系火山岩风化壳油气分布富集规律

新疆北部石炭系残留生烃凹陷控制油气平面分布,风化壳规模控制油气富集程度和规模,正向构造背景控制油气运聚,风化壳地层型有效圈闭控制油气成藏。

4.3.1 残留生烃凹陷控制油气平面分布

新疆北部石炭系已发现的火山岩油气藏具有近源成藏特点。该区单个火山岩体规模较小,平面上分布变化大,非均质性强,连通性差,受火山岩间沉积岩分隔,油气在其中横向运移距离一般较短,油气藏主要围绕有效烃源岩中心附近分布。断裂是油气纵向输导体系,可在纵向上形成多套含油气层系。该区上石炭统火山岩形成于碰撞造山后松弛垮塌环境^[19,20],火山岩沿断裂带分布,在烃源岩分布范围内发育的断裂带是油气成藏有利地区,如三塘湖盆地马朗凹陷发现的牛东油田,准噶尔盆地滴水泉凹陷发现的克拉美丽气田、五彩湾凹陷发现的五彩湾气田,均是围绕上石炭统有效烃源岩中心分布。

4.3.2 风化壳规模控制油气富集程度和规模

新疆北部石炭系火山岩风化壳淋蚀带和崩解带内的优质储层控制风化壳型油气富集高产。长期风化淋蚀区形成的火山岩风化壳厚度可达550 m以上(断裂带附近风化壳厚度更厚)。火山岩风化壳优质储层平面上受控于岩相^[21]、岩性^[22]、风化时间、断裂、古地貌等,在古地貌高部位和斜坡带处,火山岩风化强度较大,能够形成有利储层。有利储层的形成同时受控于断裂发育程度,断裂附近能够形成

裂缝,增加储层渗流能力,同时在风化过程中表生环境下的地表水沿断裂向下渗流,也能够增加次生溶蚀孔隙,裂缝及次生溶蚀孔隙控制着有利储层的分布,这些区域的油气井产量一般较高,如牛东油田探

明面积范围内各井产能差别很大,马 17、nd4-13、nd4-131 等高产井分布于断裂带附近和有利岩相发育带内,nd89-9、nd89-10 等较高产井分布于断裂带附近,而低产和干井产能影响因素较多(见图 7)。

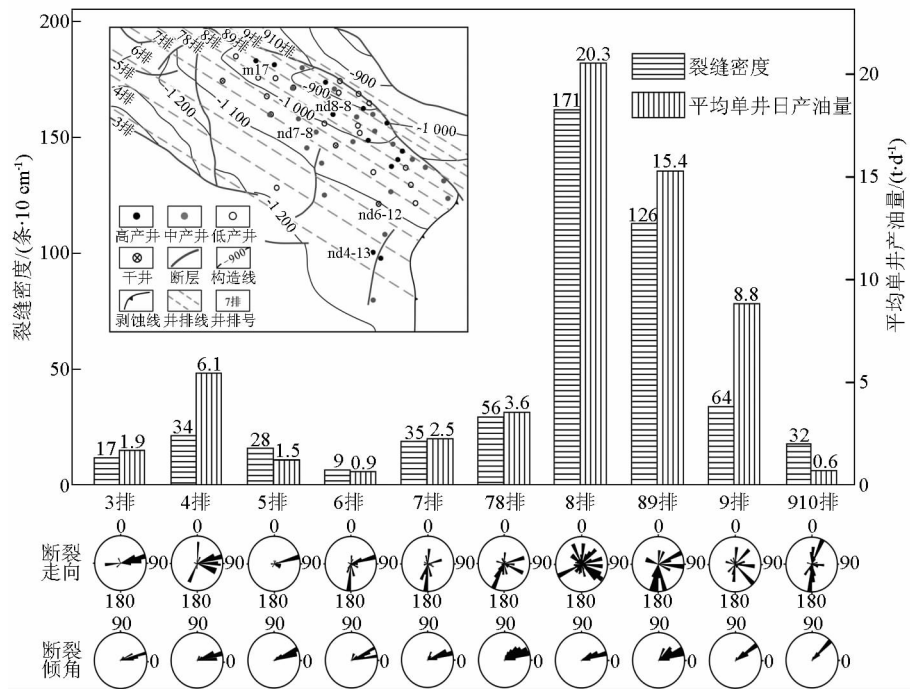


图 7 马朗凹陷牛东油田断裂与油井产能关系图

Fig. 7 Fracture and oil production diagram of Niudong Oilfield

4.3.3 正向构造背景控制油气运聚

构造高部位是油气运聚指向区,油气近源成藏,围绕有效烃源岩中心周缘相对高部位是风化壳地层型油气成藏的主要区域,从已发现的油气藏来看基

本上都分布于古构造和现今构造耦合较好的部位,斜坡带和背斜构造是最有利区。如准噶尔地区西北缘、克拉美丽气田(见图 8)等均具有该特点。

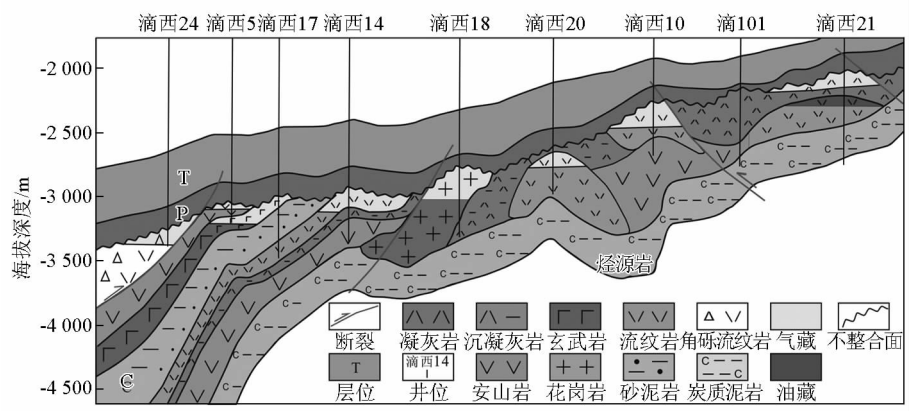


图 8 滴南凸起克拉美丽气田气藏剖面图

Fig. 8 Section of gas reservoirs of Kelameili gas field

断裂控制油气大规模聚集。新疆北部石炭纪经历了多次构造运动,发育多期次断裂。围绕断裂带附近可发育有利储层,断裂带及其周围火山岩发育,断裂在改善火山岩次生溶蚀孔隙的同时,形成裂缝和微裂缝。在烃源岩区断裂能够纵向上沟通烃源岩和储层,对油气运聚起纵向输导作用。因此,近源断裂带为油气聚集有利区,油气围绕断裂带附近富集高产,如牛东油田高产和相对高产井基本上分布于断裂带附近。

4.3.4 风化壳地层型有效圈闭控制油气成藏

上覆盖层岩性、断裂封堵与开启性控制风化壳地层型油气藏的保存。有效圈闭与主成藏期有利配合是成藏关键。通过盆地模拟和烃源岩热演化^[23],确定石炭系烃源岩主要生烃时期为晚二叠世到晚白垩世,如五彩湾凹陷的烃源岩二叠世末达到成熟,到白垩世末烃源岩热成熟度 R_o 达到 2.0%。但不同盆地及盆地内不同区域的烃源岩演化序列不同,生烃期及主生烃期时间存在差别。如三塘湖盆地塘参 3 井的烃源岩生油期距今 250 ~ 60 Ma,主力生油期距今 150 ~ 60 Ma;吐哈地区鄯科 1 井烃源岩生气期距今 265 ~ 110 Ma,主力生气期距今 195 ~ 110 Ma。因此,在白垩世之前形成的有效圈闭都具备油气聚集成藏的可能性。

石炭系上覆直接盖层为泥岩、凝灰岩等分布区,最有利于风化壳地层型油气藏的形成,已发现的风化壳地层型油气藏,包括牛东油田、克拉美丽气田、准噶尔西北缘克一百断裂带上盘石炭系油藏等,均具备良好的上覆直接盖层条件。

5 结语

火山岩油气藏已逐渐成为我国重要勘探目标和油气储量增长点。目前火山岩油气勘探出现了 6 个新的发展趋势:a. 区域上,从东部渤海湾盆地到松辽盆地深层发展,西部准噶尔、三塘湖等盆地由点到面快速发展;b. 勘探层位上,由东部中、新生界向西部上古生界发展;c. 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,由寻找火山机构向风化壳发展;f. 油气藏类型,由构造、岩性型向岩性、地层型发展。

中国火山岩分布面积广,总面积达 215.7 万 km^2 ,预测有利勘探面积 36 万 km^2 ,根据目前勘探预测,中国火山岩中总石油资源量 60 亿 t 油当量

以上,展示了火山岩油气勘探潜力和良好前景。主要勘探领域分布于东部松辽盆地中生界—新生界,以岩性气藏勘探为主。渤海湾、二连和海拉尔等盆地以岩性油藏为主。新疆北部的准噶尔、三塘湖、吐哈等盆地的石炭—二叠系,以及兴蒙海槽,以风化壳地层型油气藏为主。

致谢:在文章写作过程中,得到中国石油天然气股份有限公司赵文智、杜金虎、高瑞祺,相关油田公司匡立春、梁世君、冯志强、江涛及中国石油勘探开发研究院邹才能、顾家裕等领导、专家的支持和帮助,在此一并致谢!

参考文献

- [1] 刘嘉麒,孟凡超. 火山作用与油气成藏[J]. 天然气工业, 2009, 29(8): 1-4.
- [2] 邹才能,侯连华,陶士振,等. 新疆北部石炭系大型火山岩风化壳体结构与地层油气藏成藏机制[J]. 中国科学地球科学, 2011, 41(11): 1602-1612.
- [3] 张抗. 中国大北方古生界油气勘探新领域[J]. 地质通报, 2011, 30(6): 803-811.
- [4] 赵俊猛,黄英,马宗晋,等. 准噶尔盆地北部基地结构与属性问题探讨[J]. 地球物理学报, 2008, 51(6): 1767-1775.
- [5] 李锦轶,何国琦,徐新,等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(1): 148-165.
- [6] 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]. 石油学报, 2007, 34(3): 285-290.
- [7] 侯连华,邹才能,匡立春,等. 准噶尔盆地西北缘克一百断裂带石炭系油气成藏控制因素新认识[J]. 石油学报, 2009, 30(4): 513-517.
- [8] 赵文智,邹才能,冯志强,等. 松辽盆地深层火山岩气藏地质特征及评价技术[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(2): 129-142.
- [9] 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): 257-272.
- [10] 张光亚,邹才能,朱如凯,等. 我国沉积盆地火山岩油气地质与勘探[J]. 中国工程科学, 2010, 12(5): 30-38.
- [11] 邹才能,侯连华,王京红,等. 火山岩风化壳地层型油气藏评价预测方法研究——以北疆石炭系为例[J]. 地球物理学报, 2011, 54(2): 388-400.
- [12] LeBas M J, Streckeisen A L. The IUGS systematics of igneous rocks[J]. Journal of the Geological Society, 1991, 148: 825-833.
- [13] 黄薇,邵红梅,赵海玲,等. 松辽盆地北部徐深气田营城组火山岩储层特征[J]. 石油学报, 2006, 27(增刊): 47-52.
- [14] 冯子辉,邵红梅,童英. 松辽盆地庆深气田深层火山岩储层控制因素研究[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 760-768.
- [15] 杨正明,郭和坤,姜汉桥,等. 火山岩气藏不同岩性核磁共振

- 实验研究[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 400-403.
- [16] 王京红, 邹才能, 靳久强, 等. 火成岩储集层裂缝特征及成缝控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(6): 708-715.
- [17] 侯连华, 王京红, 邹才能, 等. 火山岩风化体储层控制因素研究——以三塘湖盆地石炭系卡拉岗组为例[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 557-568.
- [18] 王京红, 靳久强, 朱如凯, 等. 新疆北部石炭系火山岩风化壳有效储层特征及分布规律[J]. 石油学报, 2011, 32(5): 757-766.
- [19] 郝建荣, 周鼎武, 柳益群, 等. 新疆三塘湖盆地二叠纪火山岩岩石地球化学及其构造环境分析[J]. 岩石学报, 2006, 22(1): 189-198.
- [20] 吴小齐, 刘德良, 魏国奇, 等. 准噶尔盆地陆东—五彩湾地区石炭系火山岩地球化学特征及其构造背景[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 55-66.
- [21] 李军, 薛培华, 张爱卿, 等. 准噶尔盆地西北缘中段石炭系火山岩油藏储层特征及其控制因素[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 327-336.
- [22] 王仁冲, 徐怀民, 邵雨, 等. 准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩储层特征[J]. 石油学报, 2008, 29(3): 35-41.
- [23] 杨斌, 李建新. 准噶尔盆地东部油区石炭系原油探讨[J]. 新疆石油地质, 1992, 13(2): 171-178.

The control factors and distribution laws of volcanic oil and gas reservoir in China

Hou Lianhua, Zhu Rukai, Zhao Xia,
Pang Zhenglian, Luo Xia, Mao Zhiguo

(Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Petrochina, Beijing 100083, China)

[Abstract] There are mainly 3 sets of volcanic rocks in sedimentary basins of China: the strata of Carboniferous-Permian, the strata of Jurassic-Cretaceous and the strata of Palaeogene-Neogene. Volcanic rocks distributed widely and developed associated with hydrocarbon source rocks form good combination of source-reservoir-cap assemblage. In the eastern basins of China, intermediate-acidic volcanic rocks and primary type reservoir are mainly developed. In the western basins of China, mid-mafic volcanic rocks and weathering crust type reservoir are often developed. Almost all of the lithology and lithofacies of volcanic rocks can form effective reservoir. And the reservoir characteristic of weathering crust type is better than that of primary type. Lithological reservoir and fault-lithological reservoir are often developed in the eastern basins of China. Stratum reservoir, structure-stratum reservoir and structure-lithological-stratum combined reservoir are often developed in the western basins of China. In Songliao Basin, deep continued settlement faults control the distribution of gas regional; hydrocarbon generation faults trough controls the gas distribution in the fault depression; fault structure regions near the hydrocarbon generation faults trough are the gas enriched accumulation region, and high-quality volcanic reservoir controls gas accumulation. In the north part of Xinjiang area, the Carboniferous residual hydrocarbon-generation sags control area distribution of oil and gas; weathering crust scale controls the hydrocarbon accumulating scale and degree; the type of weathering crust-stratum traps could control reservoir forming effectively; the positive tectonic background controls oil and gas migration and accumulation. This paper points out that the area of volcanic rocks for exploration is $3.6 \times 10^5 \text{ km}^2$ in China, and the predicted equivalent reserve in volcanic rocks is above $6 \times 10^9 \text{ t}$.

[Key words] volcanic rock reservoir; igneous reservoir; reservoir formation control factors; reservoir distribution law