

文章编号: 1000-0550(2008)06-0913-12

四川西南部周公山及邻区“峨眉山玄武岩” 特征及储集性能研究^①

冯仁蔚¹ 王兴志¹ 张帆¹ 杨跃明²
李跃纲² 庞艳君² 张若祥³

(1 西南石油大学资源与环境学院 成都 610500 2 西南油气田分公司川西北气矿 四川江油 643000

3 中国海洋石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452)

摘要 川西南部周公山及邻区上二叠统“峨眉山玄武岩”厚 40~500 m 由 12 个旋回性玄武质火山岩构成。每一旋回底部的火山角砾岩和上部的气孔-杏仁状玄武岩常具有一定的储渗能力, 储渗空间以气孔、柱状节理缝、构造裂缝为主, 属于低孔、中渗或低孔、高渗型储层; 其余层段如无构造作用的叠加, 多构成非储集岩类。在该套储层的形成与演化过程中, 岩浆的冷凝收缩、构造断裂和大气淡水、地层水溶蚀作用和有机质成熟过程都促进了储渗空间的形成, 而热液蚀变作用、四期胶结作用和三期充填作用对储集空间起着明显的破坏作用。

关键词 峨眉山玄武岩 特征 成岩作用 储层

第一作者简介 冯仁蔚 男 1982 年出生 沉积学及储层地质学 E-mail: frwsvip@126.com

中图分类号 TE122.2⁺22 **文献标识码** A

0 引言

玄武岩是分布最广泛的火山岩, 遍及各大洋和各大洲。主要呈熔岩产出并伴生一些玄武质火山碎屑岩。玄武岩主要有裂隙式和中心式两种方式, 前一种喷发往往构成大面积的泛流玄武岩。我国西南地区川、黔、滇诸省大面积分布的“峨眉山玄武岩”, 由赵亚曾先生 1929 年首次命名, 原指四川西南部峨眉山山区覆盖于含 *Neoschwagerina* 的茅口灰岩之上的玄武岩, 后泛指西南三省大面积分布的以晚二叠世玄武岩为主的暗色岩, 并作为上二叠统的一个岩石单位广泛使用(四川省地质矿产局, 1991)。早晚二叠世期间的东吴运动不仅使四川盆地大幅整体抬升接受大气淡水的淋滤改造, 而且还伴随有强烈的地裂拉张作用^[1-3], 在川、滇、黔接壤地带产生了近南北向展布的安宁河、小江-龙门山和东川等深大断裂。这些深大断裂使得上地幔基性玄武岩浆大量喷发^[4,5], 在深大断裂带及其附近分布的玄武质火山岩为一长轴近南北向的菱形, 面积达 $2.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。体积为 $0.3 \times 10^6 \sim 0.6 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。峨眉山玄武岩的喷发是晚古生代扬子板块西缘最重要的热事件和东吴运动在上扬子古陆西缘最显著的表现。

由于峨眉山玄武岩是世界上几个主要大火成岩省之一、且为我国唯一被国际学术界认可的大火成岩省^[6-8], 并且可能导致了全球气候环境变化和生物大绝灭事件^[9], 因此该套玄武岩引起了国内外学者的广泛的研究并完成大量的工作, 但多集中于其形成机制、深部动力学、构造地质学、岩石地球化学、地层学、沉积学、水文地质和金属矿产资源等方面的研究^[10-15] 并取得了注目的成果; 但对峨眉山玄武岩油气储集性能的研究还涉及很少。近年来, 随着四川盆地天然气勘探力度的加大, 川西南部地区雅安一带二叠系峨眉山玄武岩气藏的发现, 为该方向的研究提供了契机。

川西南部地区“峨眉山玄武岩”与下伏下二叠统茅口组碳酸盐岩和上覆龙潭组煤系地层呈假整合接触^[11]。现今埋深一般 1 000~4 500 m 南部出露于地表, 厚 40~500 m 由西南向东北方向, 厚度具有逐渐变薄的趋势(图 1)。其储层在纵横向上的储集性能差异大、非均质性明显。究其原因, 主要是该套储层的储集性能受到岩石类型、成岩作用和构造等多种因素的控制^[16,17]。岩石类型与玄武质岩浆的喷发特征、冷凝先后和快慢密切相关, 而岩石类型又直接影响着后期成岩作用和构造作用的进行。

^①教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0911)和四川省重点学科建设项目(SZD0414)的资助。
收稿日期: 2008-01-22 收修稿日期: 2008-04-17

1 岩石类型及储集性

宏观、微观及地化特征研究表明,川西南部地区“峨眉山玄武岩”主要属于拉斑玄武岩^[18],由玄武质

熔岩类和火山碎屑岩类构成。岩石类型不同,所经历的后期成岩作用改造和储集性能也有一定的差异(表 1)。

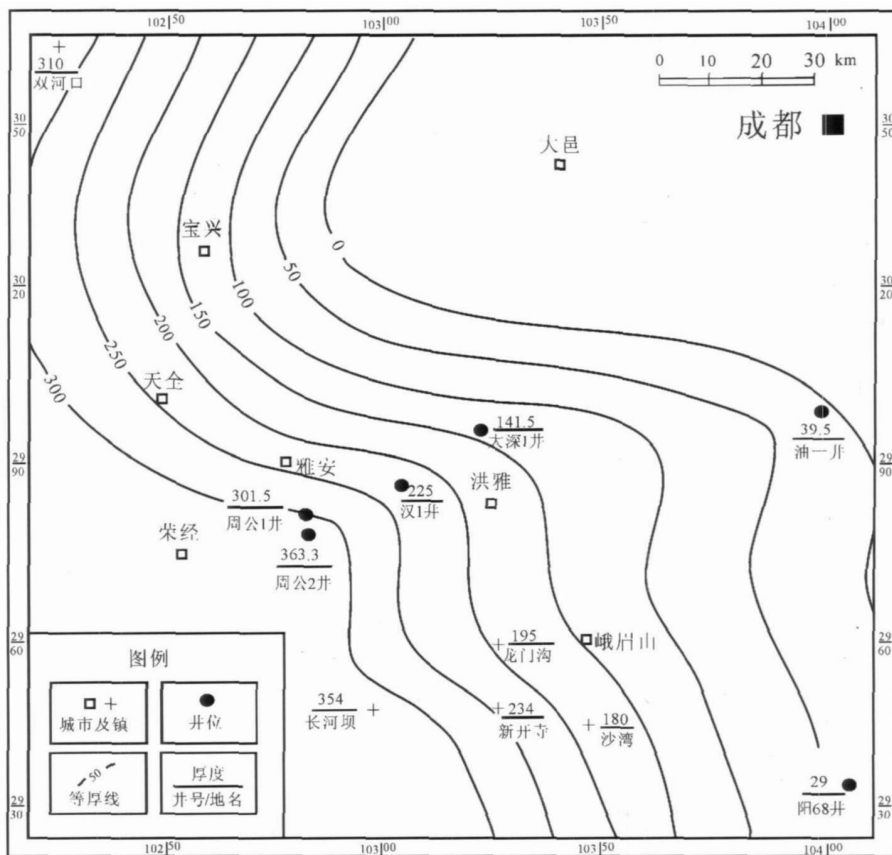


图 1 川西南部地区“峨眉山玄武岩”厚度分布图

Fig 1 Emeishan basalt thickness distribution in the southwest Sichuan

表 1 川西南部周公山地区“峨眉山玄武岩”全直径岩心物性分析表

Table 1 Whole diameter drilling core physical property of the Emeishan basalts

样品号	岩性	主要成岩变化	孔隙度 /%	渗透率 / (10 ⁻³ μm ²)		构造作用
				垂直	水平	
2-1	无斑玄武岩	斜长石和辉石的蚀变	1.32	7.05 × 10 ⁻²	3.82 × 10 ⁻¹	
2-2	无斑玄武岩		0.72	2.09 × 10 ⁻¹	22.6	
3-1	气孔-杏仁状玄武岩	气孔的充填	5.98	1.70	—	
3-2	气孔-杏仁状玄武岩		5.68	—	—	
1-4	火山角砾岩	角砾间的溶蚀和充填	1.01	3.86 × 10 ⁻²	6.48 × 10 ⁻¹	裂缝发育
1-3	火山角砾岩		2.80	24.0	43.0	
1-2	火山角砾岩		2.14	1.06 × 10 ⁻³	1.93 × 10 ⁻²	
1-1	火山角砾岩		1.08	4.01	10.7	
4-1	火山凝灰岩		脱玻化	0.37	—	

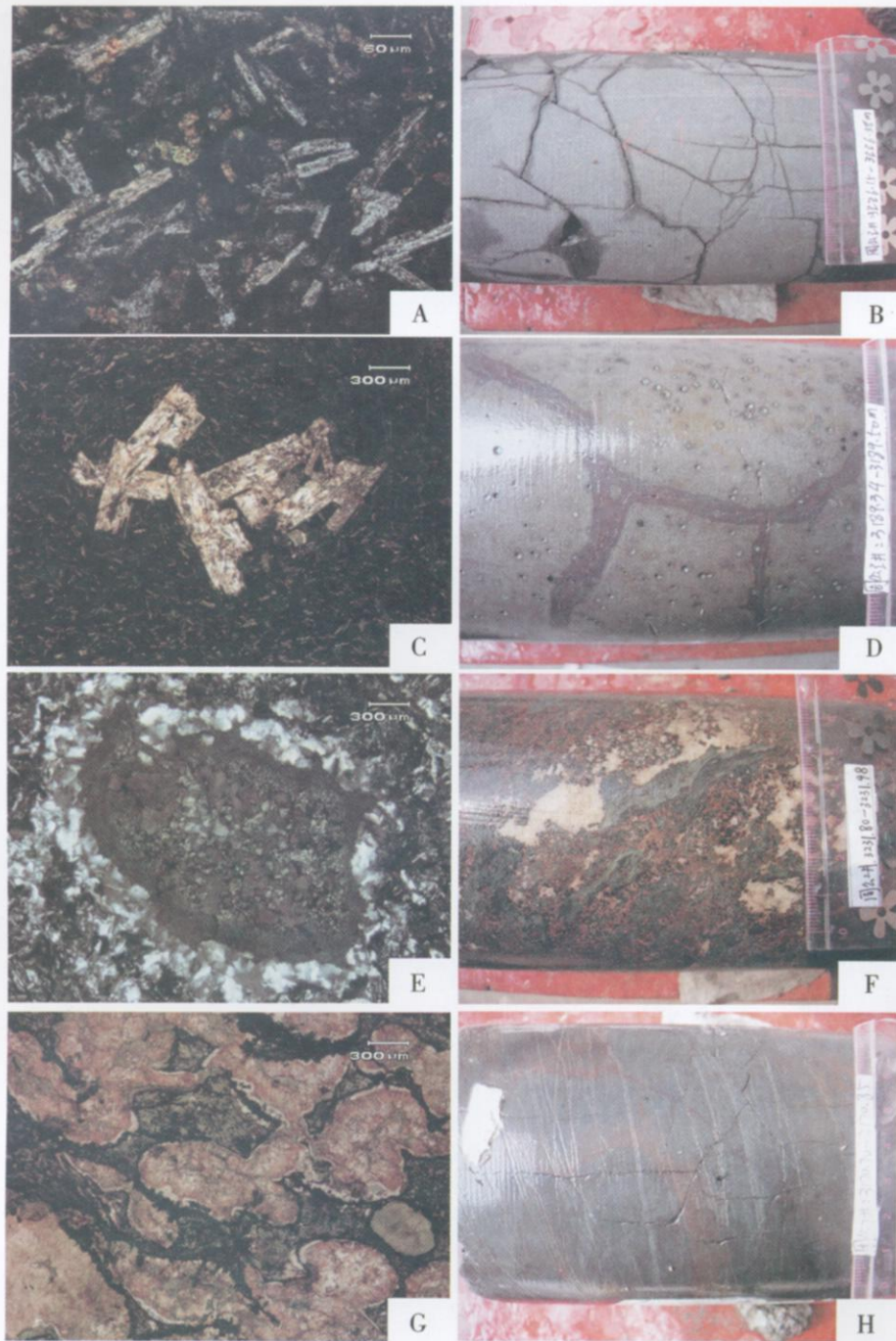


图 2 川西南部周公山地区“峨眉山玄武岩”类型及特征图

A. 拉斑玄武岩, 由板条状长石构成的三角形孔隙被粒状辉石、铁质等矿物充填, 形成间粒—间隐结构。周公 2 井, 井深 3 228.84 ~ 3 229.04 m, 正交光; B. 深灰色拉斑玄武岩, 未充填微裂缝发育。周公 2 井, 井深 3 226.15 ~ 3 226.38 m, 岩心直径 70 mm; C. 斑状玄武岩, 斑晶为基性斜长石, 具有收缩裂缝, 弱水云母化。周公 2 井, 井深 4 943.86 ~ 4 943.98 m, 单偏光; D. 暗紫色气孔—杏仁状玄武岩。气孔被硅质、绿泥石、方解石等矿物半充填。周公 2 井, 井深 3 189.34 ~ 3 189.50 m, 岩心直径 70 mm; E. 杏仁状玄武岩。玄武岩气孔被微晶硅质和纤状绿泥石全充填, 形成杏仁状构造。周公 2 井, 井深 3 213.40 ~ 3 213.62 m, 正交光; F. 紫红、杂色玄武质火山角砾岩。角砾由灰绿色气孔(杏仁)状玄武岩构成, 具有不规则状和撕裂状外形, 塑性变形明显; 砾间由紫红色铁质、玻璃质充填。周公 2 井, 井深 3 155.66 ~ 3 155.82 m, 岩心直径 70 mm; G. 玄武质火山角砾岩。角砾为气孔状玄武岩, 边缘具有铁质氧化边, 角砾间由铁质、方解石等充填。周公 2 井, 井深 3 234.38 ~ 3 234.50 m, 单偏光; H. 凝灰岩, 火山玻璃质经过脱玻化形成球状矿物集合体。周公 2 井, 井深 3 210.21 ~ 3 210.33 mm, 岩心直径 70 mm

Fig. 2 Lithology types and characteristics of Emeishan basalt in the southwest Sichuan

1.1 熔岩类

熔岩产生于火山活动的平稳阶段,由含挥发成分相对较少的岩浆从火山通道缓慢溢出地表冷凝而成。区内熔岩为基性玄武岩,色暗,晶体一般细小,常具流动构造和柱状节理。按其结构和构造特征,可将区内“峨眉山玄武岩”熔岩类进一步分为斑状玄武岩、拉斑玄武岩和气孔(杏仁)状玄武岩等多种类型,该岩类以厚层块状为主,颜色较暗,一般呈灰绿、绿灰色,局部暗褐色。它们的矿物和化学成分基本一致(表 2),仅结构和构造有着较大的差异。

表 2 峨眉山玄武岩化学成分统计表(据宋文海, 1995)

Table 2 Statistics of chemical compositions of Emeishan basalt (after Song Wenhai 1995)

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
拉斑玄武岩	48.42	14.23	13.57	8.66	4.36	1.67	1.10
气孔(杏仁)状玄武岩	47.11	13.81	14.04	6.95	4.56	2.71	1.62
斑状玄武岩	48.37	13.69	13.77	7.44	4.04	2.48	1.86

拉斑玄武岩 本区该岩类中不含有明显的斑晶,灰黑、灰绿色常见,厚层块状结构。结构组分中,主要由板条状的细晶基性斜长石(拉长石)组成,含量 50%~70%。粒状辉石(普通辉石和贫钙的易变辉石)5%~10%、铁质 10%~15%、玻璃质 10%~20%,由斜长石杂乱排列形成的多角形孔隙中常被细粒辉石、隐晶质的铁质和玻璃质等近全充填,形成间粒-间隐结构即拉斑玄武结构(图 2A)。其中辉石和长石常发生或强或弱的蚀变作用,形成绿泥石、铁质和伊利石类矿物。该岩类大多致密,晶间-晶内溶孔和未充填的气孔几乎不发育,孔隙度一般小于 1%,如无后期构造作用的改造,垂直渗透率可低至 $7.05 \times 10^{-5} \mu\text{m}^2$,则属于非储集岩类;当构造作用改造强烈时,水平渗透率可达 $2.26 \times 10^{-2} \mu\text{m}^2$ 可构成裂缝型储层(图 2B)。

斑状玄武岩 含有 10%~40%的斑晶,以板条状基性斜长石为主,辉石和铁质矿物偶见,大小一般 3~15 mm 常具有明显的收缩裂纹(图 2C)和港湾状溶蚀现象;基质含量 60%~90%,由微-细晶板条状基性斜长石、粒状辉石和隐晶质的磁铁矿、玻璃质组成,常构成间粒间隐和交织结构等。其中不稳定矿物次生变化较为明显,常见的是辉石向绿泥石、绿帘石、硅质、铁质和方解石等矿物转变,斜长石向水云母转变等。该类岩石大多致密,仅在高倍显微镜和扫描电镜下见少量晶间孔和晶内蚀变孔,未充填气孔偶见,

孔隙度一般小于 1%,多属于非储集岩类^[17]。

气孔-杏仁状玄武岩 其结构组分特征与拉斑玄武岩相似,不同的仅是矿物晶体相对细小和富含气孔。气孔以次圆、椭圆和串珠状为主,局部不规则状,大小一般 0.3~1 cm 未充填前的面孔率一般 5%~25%。多数气孔被硅质、绿泥石、沸石、方解石和沥青等充填一半充填,形成杏仁状玄武岩(图 2D、E、图 6)。未充填一半充填的气孔-杏仁状玄武岩面孔率一般 1%~5%,平均孔隙度大于 1%,最高可达 5.98%,具有一定的储集性能;全充填的杏仁状玄武岩平均孔隙度小于 1%,储集性能欠佳,多属于非储集岩类(表 3)。

表 3 周公 2 井峨眉山玄武岩全直径岩心物性分析表

(据川西北气矿, 1995)

Table 3 Physical properties of Emeishan basalt in Well Zhongong 2 (after Chuanxibeigas field 1995)

样品号	岩性	孔隙度 / %	渗透率 / ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)		备注
			垂直	水平	
12-37/42	斑状玄武岩	0.72	2.09×10^{-1}	22.6	裂缝发育
13-53/61	拉斑玄武岩	1.32	7.05×10^{-2}	3.82×10^{-1}	—
14-24/38	气孔状玄武岩	5.98	1.70	—	—
16-27/34	气孔玄武岩	5.68	—	—	—
5-13/30	杏仁状玄武岩	0.14	1.07×10^{-4}	—	—
3-46/59	火山角砾岩	2.14	1.06×10^{-3}	1.93×10^{-2}	—
4-28/60	火山角砾岩	0.09	7.91×10^{-3}	—	—
4-49/60	火山角砾岩	1.01	3.86×10^{-2}	6.48	—
10-14/55	火山角砾岩	2.80	24.0	—	裂缝发育
17-15/26	火山角砾岩	1.08	4.01	10.7	裂缝发育

1.2 火山碎屑岩

火山碎屑岩属于火山爆发形成的空降堆积产物,在区内研究层段中主要包括玄武质的火山角砾岩和凝灰岩两种。

火山角砾岩 一般中-厚层块状,褐红、紫红和杂色为主。角砾多由灰绿、暗绿色气孔-杏仁状玄武岩和拉斑玄武岩构成,含量一般 40%~70%,略具定性排列,多呈不规则状、撕裂状,大小杂乱,一般 0.5~10 cm(图 2F),角砾边缘常具有铁质氧化边(图 2G);砾间充填物以紫红、暗褐色玻璃质、铁质、绿泥石和方解石常见,含量 30%~60%。局部晚期溶孔、溶洞较为发育,但多被灰白色粗晶方解石和微晶硅质充填(图 2F),仅见有少量未充填一半充填的砾内孔、角砾间孔、洞,面孔率多小于 2%,孔隙度一般在 1%~5%,如无后期构造作用的改造,垂直渗透率可低至 $1.06 \times 10^{-6} \sim 3.86 \times 10^{-5} \mu\text{m}^2$,则属于非储集岩类;

当构造作用改造强烈时, 水平渗透率可达 $1.07 \times 10^{-2} \sim 4.3 \times 10^{-2} \mu\text{m}^2$ 可构成具有一定的储集性能的裂缝型储层。

凝灰岩 多呈中—薄层状, 紫红色为主 (图 2H), 由隐晶—微晶结构的火山玻璃、铁质和粘土矿物构成, 凝灰结构常见; 局部火山玻璃发生脱玻化, 形成纤状微晶和似球粒结构。这类岩性在区内“峨眉山玄武岩”中分布少, 物性极差, 孔隙度一般小于 0.5%, 多属于非储集岩类。

2 岩相组合及成因

野外剖面、钻井岩心及电性特征等表明川西南部地区的“峨眉山玄武岩”在纵向上表现为岩相的旋回性, 在平面上表现为分带性。根据“峨眉山玄武岩”岩性、结构和构造特征将岩相主要分为 3 类^[19]: 爆发相、溢流相和火山沉积相 (图 3)。爆发相: 由火山口附近下落的各种形状的火山弹、火山集块、火山角砾等火山碎屑组成, 角砾大小混杂, 棱角未经磨损, 无搬运痕迹, 角砾间孔洞发育, 地形上呈火山锥。溢流相: 产生于火山活动的平稳阶段, 由火山周围的岩浆流冷凝而成的熔岩, 地貌上呈熔岩台地。岩性在纵向上呈韵律层, 中下部为块状致密层。冷凝收缩裂缝发育, 上部为气孔发育层段。火山沉积相: 属异地火山碎屑堆积, 为正常火山岩向沉积岩过渡类型, 是火山爆发作用叠加陆源沉积作用的产物, 通常分布于离火山口较远的地方, 多在火山作用间歇期形成。

2.1 纵向上

川西南部地区该套玄武岩厚 40~500 m 由 12 个岩相旋回构成。单岩相旋回厚 5~60 m 代表一次火山喷发的产物 (图 4)。每次火山喷发前, 岩浆房中集聚有大量气体, 压力极高。当富含气体的玄武岩浆沿深大断裂喷出地表后, 随压力的降低, 体积急剧膨胀, 并发生爆炸。爆炸作用将火山口及周围早期形成

的各种玄武岩和涌出的岩浆破碎, 形成多种大小不均的火山角砾和火山灰尘。大的角砾在重力作用的影响下, 首先降落于火山口周围及附近, 与其它火山物质一起堆积形紫红、杂色的火山角砾岩。大规模岩浆爆发后, 岩浆房中的压力得到有效释放。随后的玄武质岩浆只能从火山口中缓慢溢出 (无爆炸作用) 形成熔岩流, 每次岩浆爆发后溢出的熔岩流厚度一般在 5~60 m 之间。单一熔岩流中下部处于还原环境之中, 温度下降缓慢, 常结晶形成颗粒相对较粗 (粉—细晶) 的灰绿、墨绿色的斑状玄武岩和拉斑玄武岩; 上部熔岩流温度下降较快, 熔岩流中的气体尚未溢出就冷却成岩, 形成晶粒相对较细的灰绿、黄绿色气孔状玄武岩, 后期成岩改造可将其转变为杏仁状玄武岩。随后, 悬浮在空中的细粒火山灰尘降落, 与其它细粒粘土物质堆积形成褐红色的凝灰岩。一次大规模的熔岩流流出地表, 岩浆房中的压力得到释放后, 火山处于停滞期, 并酝酿下一次火山的爆发, 形成又一旋回性岩相组合。由此可见, 单一旋回的玄武质火山岩在纵向上由下至上的岩相组合规律一般是: 氧化色 (暗紫、杂色) 的火山角砾岩 → 还原色 (灰绿、墨绿) 的斑状玄武岩、无斑玄武岩 → 过渡色 (绿灰、黄绿色) 的气孔—杏仁状玄武岩 → 氧化色 (褐红色) 的凝灰岩 (图 4)。正是由于“峨眉山玄武岩”这种旋回性的裂缝式喷发作用^[8], 导致川西南部地区该套地层中的储层在纵向上具有层数多、单层厚度不大的特征。

2.2 平面上

在遍布云、贵、川 50 万 km^2 的范围内, 喷发的“峨眉山玄武岩”熔岩流厚度从几米至数千米不等, 喷发是大面积沿深大断裂溢出, 主要喷发区在滇东及西昌地区^[20-24]。受小江—龙门山深大断裂 (火山口) 南北向展布、地形和距火山口远近的影响, 在川西南部周公山、汉王场、大兴场、油罐顶一带地区堆积

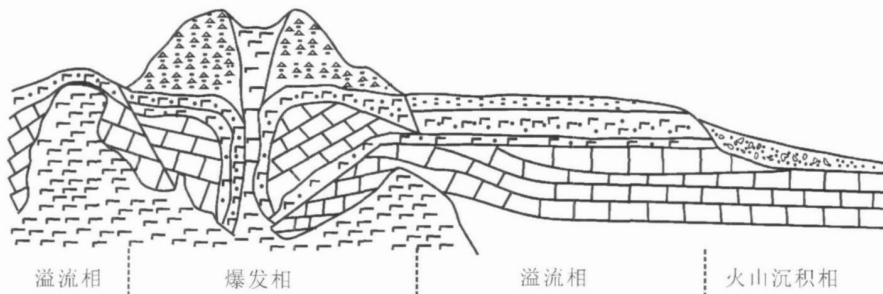


图 3 川西南部周公山及邻区峨眉山玄武岩岩相分布示意图

Fig 3 The distribution cartogram of lithofacies of Emeishan basalt in the southwest Sichuan

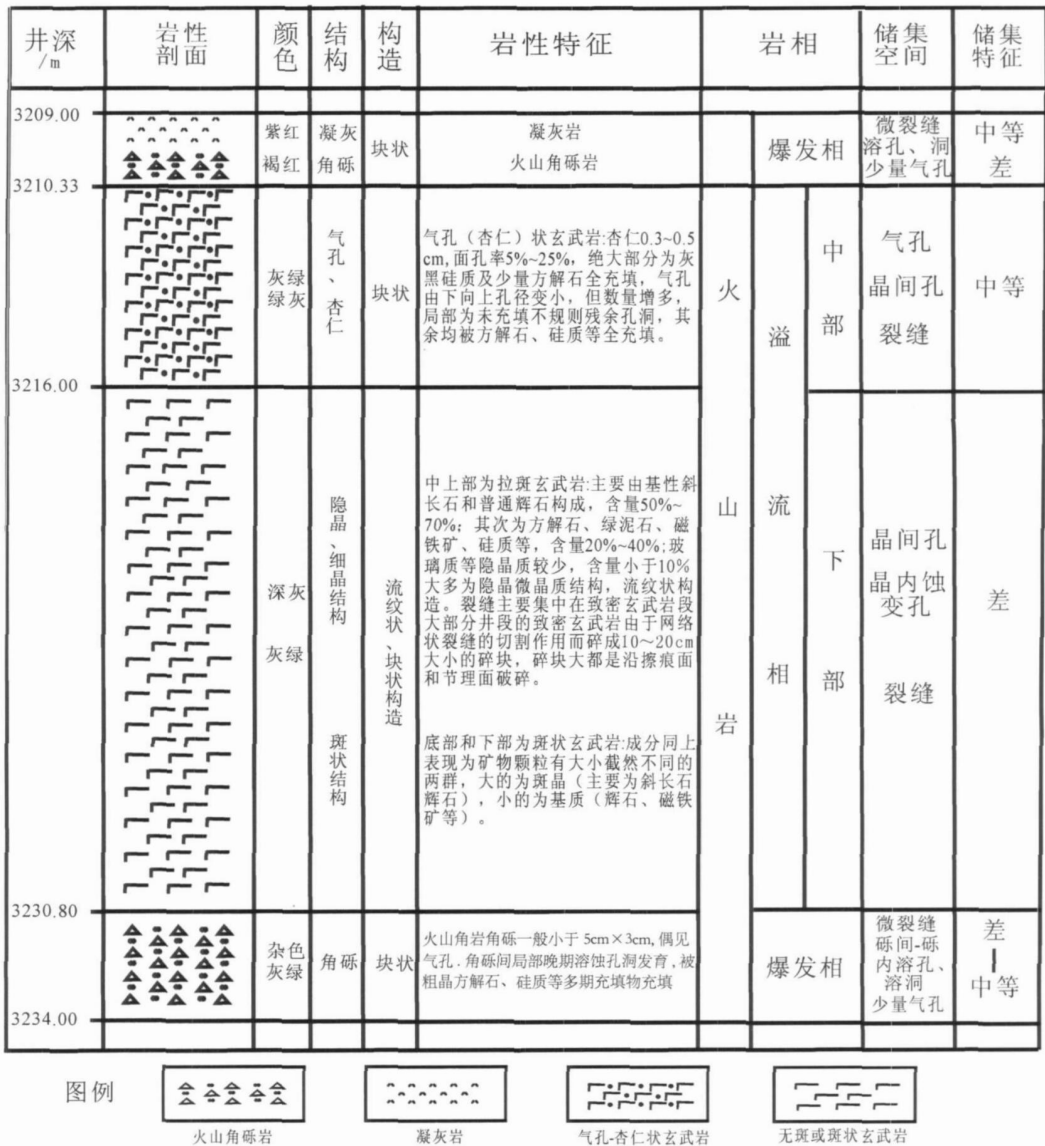


图 4 川西南部地区周公 2 井上二叠统“峨眉山玄武岩”单旋回岩相组合

Fig 4 Single cyclicity lithofacies of Emeishan basalt in the Upper Permian Formation, Well Zhongong 2 in the southwest Sichuan

的“峨眉山玄武岩”厚度在 40 ~ 500 m 之间,具有西南厚,向东北方向逐渐减薄的趋势(图 1 图 5);并沿此方向上,火山角砾岩和熔岩类厚度变薄、火山凝灰岩厚度相对增加。因此,由火山喷发裂缝带向周边地区,储层层数及厚度明显减少和变薄。

3 储集空间的形成与演化

3.1 储集空间类型

3.1.1 气孔

气孔 岩浆内的挥发组分集中之后再散逸出去而留下的空间,其形状是圆形一椭圆形、长形、不规则

形等,其空间小的只能在显微镜下看到,孔径一般 2 ~ 40 μm。分布于峨眉山玄武岩的气孔(杏仁状)玄武岩中,以次圆、椭圆、串珠状为主,局部不规则状。大小一般 0.3 ~ 1 cm 未充填前面的孔率一般 5% ~ 25%;多数气孔被硅质、绿泥石、方解石和沥青充填一半充填,全充填者称之为杏仁状构造。未充填一半充填的气孔状玄武岩面孔率一般 2% ~ 5%,孔隙度平均值大于 1%,最高可达 5.98%,具有一定的储集性能。

砾内残余气孔 见于火山角砾岩中,当火山角砾岩中的角砾由气孔状玄武岩构成时,在其角砾内部可见少量半充填的气孔,但连通性较差。

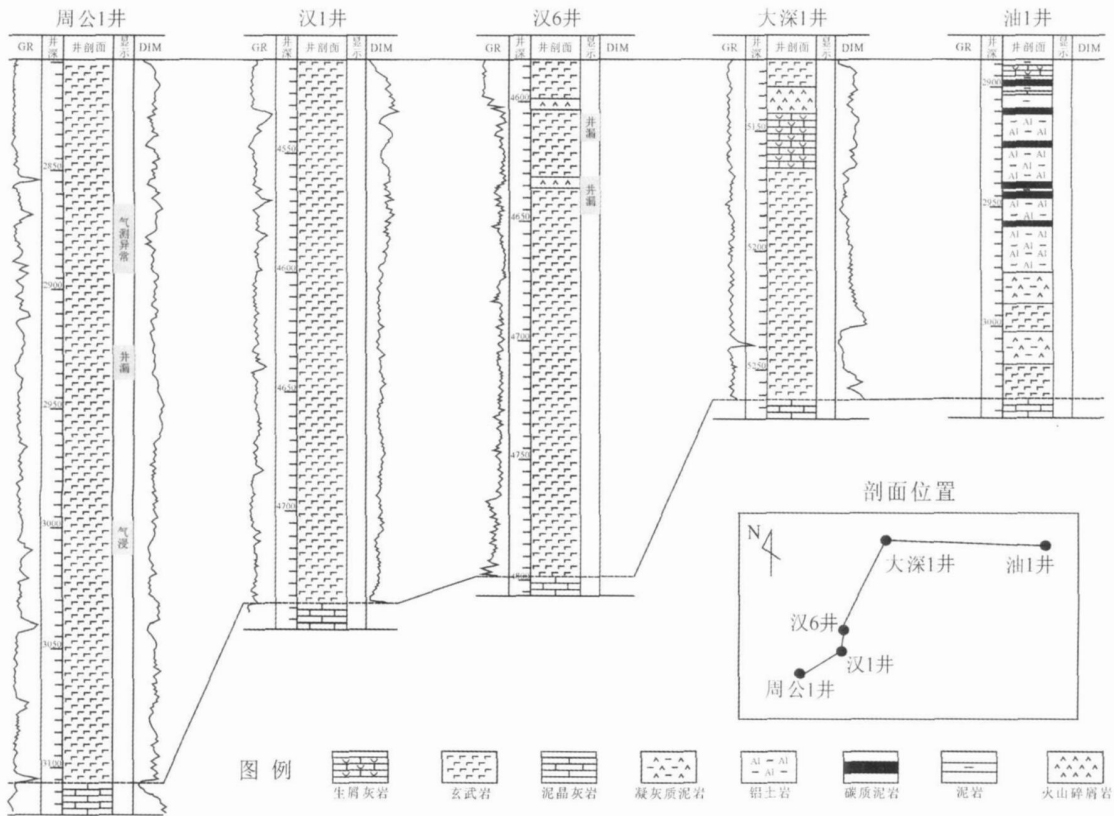


图 5 川西南部周公山及邻区上二叠统峨眉山玄武岩横向对比图

Fig 5 The horizontal correlation map of Emeishan basalt(Upper Permian) in the southwest Sichuan

晶间孔 偶见于斑状玄武岩和拉斑玄武岩中,属于板片状长石构成的多角形孔隙,但多被辉石、铁质和绿泥石等半充填—全充填,连通性极差,多为无效孔隙。

晶内孔 多见于斑晶内,主要为沿晶内破裂面(如解理、裂理)溶蚀作用形成。无储集性。

溶蚀孔 是矿物部分或全部被熔蚀而留下的孔隙,显示明显的溶蚀作用,主要发育在充填方解石、沸石的孔洞缝中和蚀变玄武岩的蚀变矿物附近。孔径一般 1~10 μm。对储集性有一定的贡献。

微孔隙 发育于玄武岩基质中,多属于微晶晶间孔,量多但孔径小,一般 ① 1 μm。对储渗意义不大。

收缩孔缝 火山玻璃质或充填某种空间的物质,在急剧冷却过程中,早期结晶的矿物冷凝、结晶而收缩产生的冷凝收缩缝、柱状节理、气孔—杏仁构造等,孔、缝,形态常呈放射状。①柱状节理缝:在斑状玄武岩和拉斑玄武岩中出现较多,多垂直岩层面分布,纵向上延伸较远,密度可达 10 条 /m²。属于玄武岩储层中重要的储渗空间之一。②晶内收缩缝:仅在斑状玄武岩中有少量分布,延伸范围多局限在单一斑晶内

部,多属于无效缝。

3.1.2 洞

上二叠统峨眉山玄武岩地层仅在火山角砾岩中见到有一定数量的角砾间洞,但多被硅质和方解石全部充填。

3.1.3 裂缝

成岩裂缝 是由于熔浆冷凝过程中构造运动反复出现,冷凝、未冷凝的熔岩在底部熔浆继续上涌时破坏其上部熔岩,以及冷凝的熔浆因重力作用由高处向低处移动形成。裂缝均呈开张式,虽呈面状裂开,但裂开规模不大;裂开部分只呈拉开而不错动,裂开面可见柔性变形痕迹。在区内喷出熔岩内多见或比较发育。

构造裂缝 由构造断裂运动形成,有局部性的,也有规模很大的。大裂缝裂开很宽,而低序次的裂缝裂开程度极小,在岩体内呈面状延伸,并可能是多方向的。在部分井区的拉斑玄武岩中极为发育,如周公 2 井井深为 3 216~3 231 m 的缝密度达 10~20 条 /m。其中的高角度微裂缝基本未充填,是拉斑玄武岩中最主要的储渗空间。

风化裂缝 喷出地表的熔岩或因抬升露出而接近地表的岩体,因风、降水、气温的变化等作用使岩石、矿物发生裂开,这种裂缝在工区内规模较小。

按形态可将上述三种裂缝分为较为直观实用的水平缝、斜交缝、垂直缝三种类型。据岩心统计,水平缝、斜交缝、垂直缝三者数量比例大致为 1:2:2 其中垂直缝和斜交缝较宽(最宽可达 2 cm),水平缝较窄(宽 0.2 cm 以上大多为全充填缝)。岩石裂缝发育程度不均,一般 2~5 条/m,也有个别段大于 10 条/m 最多可达 12.4 条/m 岩石裂缝的发育与岩石的硬度和所受应力有关,构造缝多发育于致密玄武岩和断层附近;成岩缝、风化缝常与蚀变玄武岩有关。裂缝多数已被全充填或部分充填,充填物有方解石、绿泥石、沸石及炭沥青等。炭沥青是油气深变质产物,它是本次研究中经成都地质矿产研究所首次利用电子探针和 X 光衍射分析确定的非晶质深度变质炭,它的发现,对研究玄武岩中油气来源及运移、聚集时间均有一定意义。

3.2 控制因素及演化

川西南部地区“峨眉山玄武岩”喷发至今已有 2 亿年的地质历史,在这漫长的地质历史中,该套玄武岩经历了从地表到地下数千米的埋藏过程,先后受到大气淡水、混合水和地层水的影响,并接受了数次大的构造运动改造。此过程中,强烈的冷凝成岩、次生成岩和构造作用使该玄武岩的部分层段被改造成为低孔、中渗或低孔、高渗型储层。根据影响储集空间的主要因素和时间的先后,可将区内玄武岩储层内储集空间的形成与演化过程分为以下几个阶段。

3.2.1 建设性成岩作用

3.2.1.1 冷凝及收缩作用

岩浆的冷凝固晶和收缩过程是一个及其复杂的物理化学过程,它涉及到热量的散失、挥发气体的逸出、与下伏地层突然接触时产生的气流以及冷却收缩等,由于这些因素的存在就会使区内玄武质火山岩在冷凝收缩过程中形成了包括气孔、角砾间孔洞、晶间孔、收缩缝和柱状节理等在内的原生孔隙和裂缝,其原始面孔率一般 2%~25%。但这些储渗空间在后期成岩过程中经多期化学物的充填后大幅缩小,现今面孔率一般小于 5%。

3.2.1.2 溶蚀作用

在“峨眉山玄武岩”形成之后埋藏期至表生成岩阶段的漫长历史中,大气淡水和地层水在断裂带附近活动频繁。在这些水溶液的影响下,玄武质火山岩中

的部分物质(主要包括对气孔中充填绿泥石等物质、斑晶和部分基质)发生溶解,形成沿裂缝及周围分布的溶蚀孔、洞和溶缝。这一点可从取心段中裂缝周围的孔、洞发育程度明显高于其它部位可得到证实。另一方面,被溶解的物质可在其它部位发生沉淀充填作用,如气孔状玄武岩中的部分气孔被硅质、沸石、绿泥石和方解石半充填,从而降低了岩石的储集性能。

3.2.1.3 构造断裂作用

峨眉山玄武岩形成之后,先后经历了印支、燕山和喜山运动的改造,在川西南部地区形成了众多深大断裂和构造圈闭。区内雅安西南边的周公山地区地处川西台陷、峨眉山断拱和荣经断凹三个构造单元的结合部位,构造应力较为集中;加之“峨眉山玄武岩”,特别是无斑玄武岩的岩性致密、刚性强,极易产生裂缝系统,因此裂缝发育,使其玄武岩的部分层段成为较好的裂缝型和孔隙—裂缝型储层,如周公 2 井取心段的裂缝密度一般 2~5 条/m 局部可达 100 条/m 井深 3 216~3 231 m(17-11/26—15-10/43)中发育两组微裂缝:一组为 α 节理,高角度($60^\circ \sim 80^\circ$)和低角度($20^\circ \sim 30^\circ$)相互切割,缝密度 10~20 条/m 充填物为粗—巨晶方解石微充填,另一组为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 早期细晶方解石和硫磺全充填裂缝,宽 1~3 mm (该段结构颗粒组分可能较粗,须镜下证实)。构造作用产生的裂缝不仅大幅提高了玄武岩的渗透性,还为大气淡水和地层水的溶蚀作用提供了良好的基础。

3.2.1.4 有机质成熟过程

区内“峨眉山玄武岩”与下伏巨厚的下二叠统茅口组碳酸盐岩和上覆龙潭组煤系地层呈假整合接触,而茅口组和龙潭组中富含大量的有机质,具有极好的生油条件,茅口组地层中有机质开始成熟,但由于东吴运动使地壳抬升,导致生油期短,生成的有机酸、 CO_2 和石油较少,由腐殖酸引起的溶蚀作用规模小、程度弱而难于识别,但从部分孔隙中有炭质沥青薄膜的存在可证实该阶段溶蚀作用的出现。晚二叠世后地壳又开始下降伴随有玄武岩大规模的活动并对下二叠统地层的加深覆盖,加速促进了龙潭组和茅口组有机质的进一步成熟,目前,这些烃源岩已达到成熟热催化阶段。在其向液态烃和气态烃转换过程中,会产生大量的有机酸性水,当这些有机酸性水沿断裂和裂缝运移时,势必对周围火山物质(主要对气孔中充填物质、斑晶和部分基质)发生溶解作用,从而产生一定数量的溶蚀孔洞和溶蚀裂缝。这一点可从孔、

洞、缝系统中含有较多的沥青残余物可得到证实。进入三叠纪后,受印支运动的影响,下二叠统很快被埋藏到地下 2 000 ~ 3 000 m 的深度,此时区内地层中的有机质进入过成熟—成气高峰期。由构造作用和玄武质岩浆在快速冷却过程中形成的柱状节理缝和晶内收缩缝,形成了可供腐蚀性地层水和油气运移的通道,在一定程度上扩大溶蚀孔隙和提高储层的渗透率;但周围的大部分溶蚀扩大孔隙处则完全被有机质残余物(黑色沥青)或泥质所堵塞。直到进入侏罗纪孔隙水中的有机酸浓度开始降低,此时周公山、汉王场、大兴场、油罐顶等六个古圈闭开始形成,有利于石油的早期聚集,残存的孔缝有利于接受随后进入的液态烃,在储渗体圈闭中形成早期油藏。

3.2.2 破坏性成岩作用

3.2.2.1 热液蚀变作用

在区内玄武岩的取心中,气孔状玄武岩中的气孔和裂缝中常见有被绿泥石—沸石—方解石等热液矿物呈环带状充填的现象(图 6)。从成岩历史来看,绿泥石充填在气孔和裂隙的边缘,常被沸石和方解石交代,未见有绿泥石交代其它矿物的特征,这说明绿泥石是岩石成岩变化过程中形成最早的次生矿物,对孔隙起堵塞作用。火山热液在地表附近与大气淡水混合后,演化为低温热液,并析出低温热液矿物沸石。 CO_2 在热水溶液发展的整个时期均广泛存在,并在中低温条件下溶解度增大,并以 CO_3^{2-} 离子形式出现,易与 Ca^{2+} 形成化合物;当含有这种化合物的低温热液流经裂缝和孔隙系统时,压力减小,从而引起 CO_2 的逸散,导致碳酸盐矿物在这些孔、裂中的沉淀下来,从而堵塞储集空间。由此可见,热液作用对储集空间主要起破坏作用,但也有其积极的一面。与正常的沉积岩类似,早期碳酸盐矿物的充填作用虽然破坏了储层的有效储集空间,但它却可为后期的溶解作用的产生奠定物质基础。

3.2.2.2 胶结作用

峨眉山玄武岩中的气孔(杏仁)状玄武岩在冷却形成时含有较多的气孔,原始面孔率一般 5% ~ 25%,最高可达 40% 左右。这些原生孔隙在后期成岩过程中经过 3~4 期硅质、沸石、绿泥石和方解石等胶结物胶结后明显缩小,现今面孔率一般小于 5%,孔隙度小于 2%。

第一期硅质石英 硅质以微晶质玉髓为主,少量为结晶程度较好的石英。常沿气孔边缘呈环带状生长,向孔隙内部晶体有逐渐变大的趋势,阴极射线下

不发光。其含量一般 2% ~ 8%,充填气孔体积的 10% ~ 85%。

第二期沸石 多呈纤维状、针状、叶片状、放射状或鳞片状,分布于气孔内部。单偏光镜下无色或呈灰褐色,正交镜下干涉色低。含量一般小于 2%,充填气孔体积的 5% ~ 10%。

第三期绿泥石 片状、梳状、放射状和纤状,分布于气孔内部。单偏光镜下呈浅黄色或灰绿色,正交镜下干涉色低,但多具异常干涉色。含量 1% ~ 5%,可充填气孔体积的 5% ~ 50%。

第四期方解石 中—粗晶、连晶状,分布于气孔中心。单偏光下表面常具浅褐色;阴极射线下发光明亮,多呈亮黄红色。含量 10% ~ 20%,充填气孔体积的 10% ~ 100%。

上述四期化学胶结物多属于玄武岩中不稳定矿物,如基性斜长石、辉石在表生和埋藏过程中经溶蚀、淋滤后的蚀变产物,分布于气孔玄武岩的气孔中,构成杏仁状结构。峨眉山气孔状玄武岩中的气孔被四期胶结物充填后也大幅缩小。因此,胶结物是区内研究层段中原生孔隙难于保存下来的主要原因。

3.2.2.3 充填作用

峨眉山玄武岩中的大、中裂缝和火山角砾岩中的砾间溶洞常被多期化学充填物充填,使其储集性能明显降低。其充填物主要有两期。

第一期硅质石英 与气孔(杏仁)状玄武岩中的硅质胶结物特征基本一致。以微晶质玉髓、粒状石英为主,局部构成环边状和皮壳状结构,沿大中裂缝、角砾间洞和大溶洞分布,可充填这些孔隙的 5% ~ 100%。

第二期方解石 与气孔(杏仁)状玄武岩中的方解石胶结物特征基本一致,但晶粒粗大,一般为粗—巨晶,阴极射线下发亮橙黄色光。可充填孔隙的 20% ~ 100%。

第三期炭质沥青 见于蚀变玄武质角砾岩、火山角砾岩的溶蚀孔隙缝中。炭沥青是油气过成熟阶段的产物,形成于深埋藏晚期。

此外,峨眉山玄武岩次生孔隙中还有少量绿泥石、沸石和铁质等物质的存在,但对储集空间的影响不大。

综上所述,区内研究层段的次生储集空间经过上述多期次化学沉淀物充填后明显缩小,储集性能大幅降低。

3.2.3 演化过程

区内上二叠统峨眉山玄武岩储层主要分布多数火山旋回的中、上部,岩心以拉斑玄武岩和气孔(杏仁)状玄武岩为主,储集空间多为原生气孔和次生成因的裂缝为主。储渗空间的形成与演化主要受到岩性、化学充填作用和构造作用的影响,其形成与演化过程如图 7 所示。

早、晚二叠世期间的东吴运动在川西地区堆积了一套旋回性的玄武质火山岩,单旋回中、上部由拉斑玄武岩和气孔(杏仁)状玄武岩构成。其中气孔状玄武岩中气孔含量丰富,面孔率一般 5%~25%,局部扩大 40%以上;拉斑玄武岩中气孔偶见,岩性致密;部分玄武质岩浆因快速冷却,可产生较多的柱状节

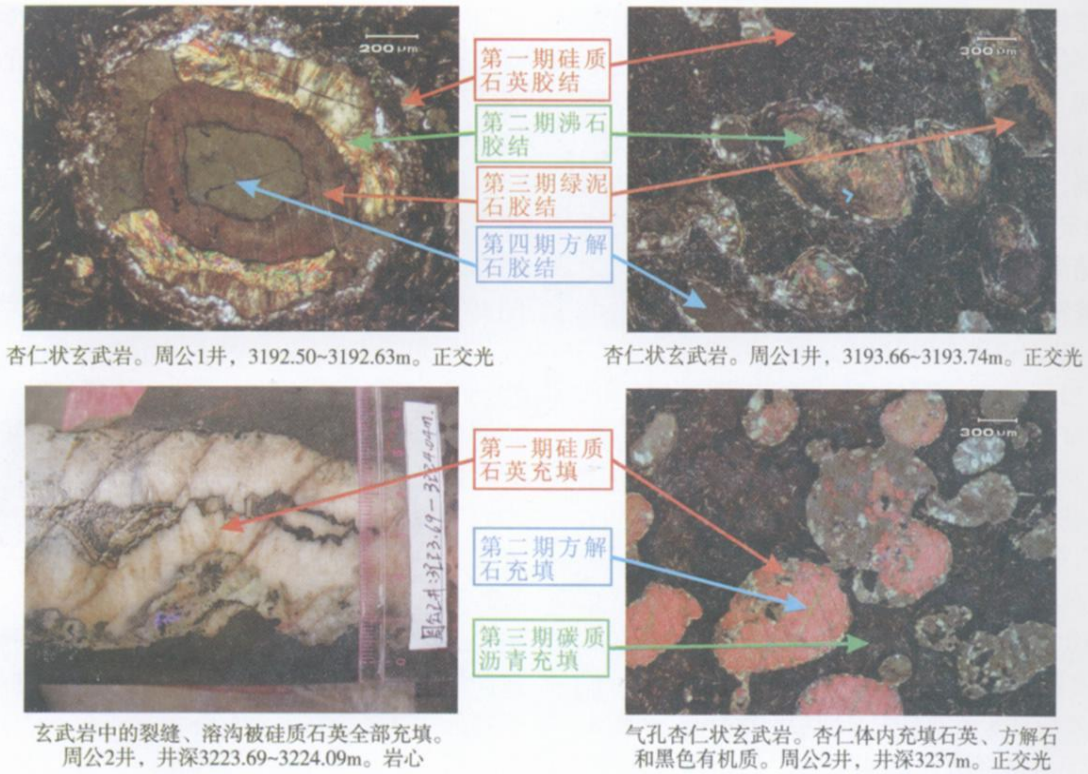


图 6 胶结物和充填物特征

Fig. 6 The feature of cement and fillings

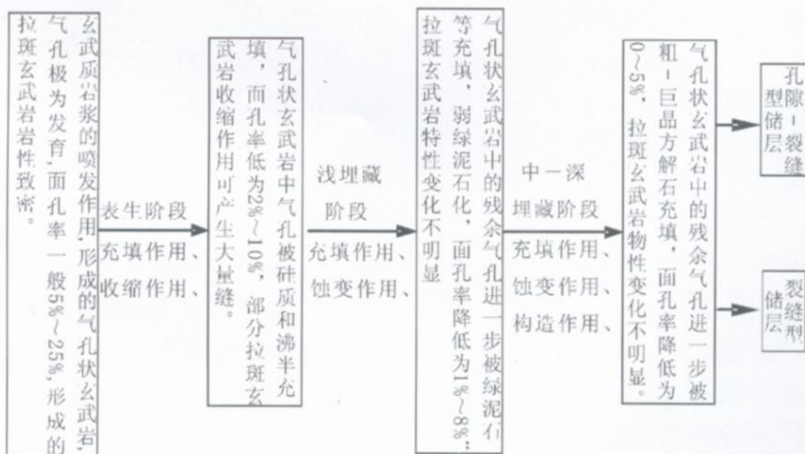


图 7 川西南地区上二叠统峨眉山玄武岩储层储渗空间的形成与演化模式图

Fig. 7 The formation and evolution modal shape of reservoir of Emeishan basalt (Upper Permian) in the southwest Sichuan

理。由于这些玄武岩是在表生环境中形成的, 结晶出的不稳定矿物, 如辉石和基性斜长石等发生蚀变, 向铁质、绿泥石和水云母转变, 转变过程中释放出的二氧化硅可在早期气孔和裂缝中沉淀, 是其孔隙度降低至 2% ~ 10%。随着峨眉山玄武岩的埋藏, 蚀变作用继续进行, 产生的绿泥石充填于早期气孔的内部, 孔隙度继续降低至 1% ~ 8%; 在中—深埋藏阶段, 相邻地层中溶解的碳酸盐物质进入峨眉山玄武岩地层, 并在一定的条件下, 以粗—巨晶方解石的形式沉淀于残余气孔的内部, 极大的降低了地层的储渗性能, 该过程中虽伴随有小规模的溶蚀作用, 但对该套地层的储渗性能影响不明显, 如无后期构造作用的改造, 一般只能形成低孔、低渗的孔隙型储层或非储层。如果该套地层经过构造作用的改造, 可使其储渗性能得到极大的改善, 构成裂缝—孔隙型储层或裂缝型储层。

4 结论

川西南部地区“峨眉山玄武岩”属于拉斑玄武岩, 由 12 次玄武质火山喷发而成的多旋回岩相组合构成, 单一岩相组合底部的火山角砾岩和上部的气孔—杏仁状玄武岩常具有相对较好的储集性能。纵向上, 储层具有层数多、单层厚度不大、非均质性明显的特征; 平面上, 由火山喷发裂缝带向周边地区, 储层层数及厚度明显减少和变薄。储集空间多样, 以构造缝、柱状节理缝和少量气孔为主, 有利于储集空间形成与演化的作用主要是岩浆的冷凝收缩作用、断裂作用和溶蚀作用, 而热液蚀变作用、四期胶结作用和两期充填作用主要降低了储集性能。区内该套地层中储层的寻找重点应放在厚度较大、且应力集中的地区, 即雅安西南边的周公山、汉王场及周边地区。

参考文献 (References)

- 1 罗志立. 中国西南地区晚古生代一类地裂运动对石油等矿产形成的影响 [J]. 四川地质学报, 1981, 2(1): 1-22 [Luo Zhili. The effect of late Paleozoic taphrogenic movement to the formation of oil and other minerals in the southwestern China [J]. Acta Geoscientia Sinica 1981, 2(1): 1-22]
- 2 罗志立, 金以钟, 朱曼玉, 等. 试论扬子地台的峨眉地裂运动 [J]. 地质论评, 1988, 1(1): 11-24 [Luo Zhili, Jin Yizhong, Zhu Manyu et al. On Emei taphrogenesis of the upper Yangtze platform [J]. Geological Review 1988, 1(1): 11-24]
- 3 罗志立, 雍自权, 刘树根, 等. “峨眉地裂运动”对扬子古板块和塔里木古板块的离散作用及其地质学意义 [J]. 新疆石油地质, 2004, 25(1): 1-7 [Luo Zhili, Yong Ziquan, Liu Shugen et al. Divergent role of “Emei taphrogeny” on Yangtze palaeoslab and Tarim palaeoslab and its significance in geosciences [J]. Xinjiang Petroleum Geology 2004, 25(1): 1-7]
- 4 Ali J R, Thompson G M, Song X et al. Emeishan basalts and the “end-guadalupean” crisis: Magnetobio Stratigraphic constraints [J]. Journal of Geological Society of London 2002, 159: 21-29
- 5 Kamos L, Gananske G K, Amelin Y et al. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for confidence with the Permian-Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma [J]. Earth and Planetary Science Letters 2003, 214: 75-91
- 6 Chung S L, Jahn B M. Plume-lithosphere interaction in generation of the Emeishan flood basalts at the Permian-Triassic boundary [J]. Geology 1995, 23: 889-892
- 7 Courtillot V, Jaupart C, Manighetti I et al. On causal links between flood basalts and continental breakup [J]. Earth and Planetary Science Letters 1999, 166: 177-195
- 8 徐义刚, 钟孙霖. 峨眉山大火成岩省: 地幔柱活动的证据及其熔融条件 [J]. 地球化学, 2001, 30(1): 1-9 [Xu Yigang, Zhong Sunling. The Emeishan large igneous province: evidence for mantle plume activity and melting conditions [J]. Geochimica 2001, 30(1): 1-9]
- 9 Wignall P B. Large igneous provinces and mass extinctions [J]. Earth Science Reviews 2001, 53: 1-33
- 10 李厚民. 滇黔交界地区峨眉山玄武岩铜矿化蚀变特征 [J]. 地球学报, 2004, 25(5): 495-502 [Li Houmin. Copper mineralization characteristics of the Emeishan basalt district in the Yunnan-Guizhou Border Area [J]. Acta Geoscientia Sinica 2004, 25(5): 495-502]
- 11 张招崇, 王福生, 范蔚茗, 等. 峨眉山玄武岩研究中的一些问题的讨论 [J]. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(3): 239-246 [Zhang Zhaochong, Wang Fusheng, Fan Weiming et al. A discussion on some problems concerning the study of the Emeishan Basalts [J]. Acta Petrologica et Mineralogica 20(3): 239-246]
- 12 宋谢炎. 峨眉山大火成岩省的岩石地球化学特征及时限 [J]. 地质学报, 2001, 75(4): 498-506 [Song Xieyan. Geochemical characteristics and period of the Emei igneous province [J]. Acta Geologica Sinica 2001, 75(4): 498-506]
- 13 何斌. 峨眉山大火成岩省的形成机制及空间展布: 来自沉积地层学的新证据 [J]. 地质学报, 77(2): 194-202 [He Bin. Generation and spatial distribution of the Emeishan large igneous province: new evidence from stratigraphic records [J]. Acta Geologica Sinica 2003, 77(2): 194-202]
- 14 肖龙, 徐义刚, 梅厚钧, 等. 云南金平晚二叠纪玄武岩特征及其与峨眉山地幔柱关系——地球化学证据. 岩石学报, 2003, 19(1): 38-48 [Xiao Long, Xu Yigang, Mei Houjun et al. Late Permian flood basalts at Jinping area and its relation to Emei mantle plume: geochemical evidence [J]. Acta Petrologica Sinica 2004, 19(1): 38-48]
- 15 沈军辉. 峨眉山玄武岩的岩相与岩体结构 [J]. 水文地质工程地质, 2001, 6(6): 1-4 [Shen Junhui. The lithofacies and the rock mass structure of Emei Mountain basalt rockmass [J]. Hydrogeology and Engineering Geology 2001, 6(6): 1-4]
- 16 黄籍中, 苟学敏. 四川盆地二叠系玄武岩非常规气藏气源及勘探前景分析 [J]. 天然气工业, 1994, 14(5): 16-9 [Huang Jizhong, Gou Xuemin. Analysis of gas source and exploration prospect of Permian basalt unconventional gas reservoirs in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 1994, 14(5): 16-9]

- Xuening Analysis of gas source and exploration potential of Permian basalt unconventional gas reservoir in Sichuan basin [J]. *Nature Gas Industry* 1994 14(5): 16-9]
- 17 牛善政, 庞家黎, 周公 1 井二叠系玄武岩储层评价 [J]. *天然气工业*, 1994 14(5): 20-23 [Niu Shanzheng Pang Jiali Evaluating the Permian basalt reservoir of Zhou-1 Well [J]. *Nature Gas Industry* 1994 14(5): 20-23]
- 18 黄开年, 杨瑞英, 王小春. 峨眉山玄武岩微量元素地球化学的初步研究 [J]. *岩石学报*, 1988 4(1): 49-60 [Huang Kaijian Yang Ruiying Wang Xiaochun A preliminary study on trace element geochemistry of Emeishan basalts from SW China [J]. *Acta Petrologica Sinica* 1988 4(1): 49-60]
- 19 张若祥. 川西南地区峨眉山玄武岩储层评价 [J]. *天然气勘探与开发*, 2006 29(1): 17-21 [Zhang Ruoxiang Reservoir evaluation of Emeishan basalts in the southwest Sichuan [J]. *Natural Gas Exploration and Development* 2006 29(1): 17-21]
- 20 Campbell I H. Griffiths R W. Implications of mantle plume structure for the evolution of flood Basalts [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 1990 99 79-93
- 21 Loda Chung S L, Lee T Y, et al. Age of the Emeishan flood magnetism and relations to Permian-Triassic boundary events [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 2002 198 449-458
- 22 Richards M A, Dancal R, Courtillot V. Flood basalt sand hot-spot tracks: plume heads and tails [J]. *Science* 1989 246 103-107
- 23 Robert D J, Janusz J W. Geochemistry and plate-tectonic significance of the volcanic rocks of the summer ford group north-central Newfoundland [J]. *Geology* 1998 13(2): 126-130
- 24 Sheth B C. A historical approach to continental flood basalt volcanism: insights into pre-volcanic rifting, sedimentation and early alkaline magnetism [J]. *Earth and Planetary Science Letters* 1999 168 19-26

The Study on Reservoir Property and Characteristics of the Emeishan Basalts of Zhougongshan and Its Neighbour Area in the Southwest Sichuan

FENG Ren-wei¹ WANG Xing-zhi¹ ZHANG FAN¹ YANG Yue-ming²
LI Yue-gang² PANG Yan-jun² ZHANG Ru-xiang³

(1. Resources and Environment Institute, Southwest Petroleum University, Chengdu 610050)

2. Northwest Sichuan Gas Field of Southwest Oil and Gas Field Branch, Jiangyou Sichuan 643000

3. CNOOC (China) Co., Ltd. Tianjin Branch 300452)

Abstract In the southwest of Sichuan, Upper Permian Formation, the thickness of Emeishan basalts of Zhougongshan and its neighbor area is from 40m to 500m, and it is formed by 12 cyclic basaltic volcanic rock. The volcanic breccias in the bottom and the stromatal basalts in the upper have some reservoir capability in cyclicality. The reservoir spaces mainly are air voids, basaltic jointing split and tectoclase. Generally, they form lower porosities, medium permeability or lower porosities, higher permeability reservoirs. In other sections, if there are not the superposition of tectonic movement, most of them can not form reservoir rocks during the formation and evolution of this set of reservoirs. The condensation contract fissure of magmatic melt, tectonic rupture, organic maturation and chemical erosion. All of these have promoted the forming of reservoir spaces. But hydrothermal alterations and 4 stage cementation and 3 stage packing action have obvious damage affection to reservoir spaces.

Key words Emeishan basalt characteristics diagenesis reservoir