

川西南部周公山地区峨眉山玄武岩有利储层分析

邓敏¹ 侯明才^{1,2} 张本健³ 李秀华¹

(1.成都理工大学沉积地质研究院,四川成都 610059;

2.油气藏地质与开发工程国家重点实验室(成都理工大学),四川成都 610059;

3.中国石油西南油气田分公司川西北气矿,四川江油 621709)

摘要:川西雅安地区周公山构造周公2井玄武岩取心较长、较完整,并且其紧邻高产气井——周公1井,是研究玄武岩气藏的典型井。以岩石学特征为基础,宏观和微观相结合,从岩心、电性、物性、微观特征入手将周公2井取心段峨眉山玄武岩中储层段岩石学特征、孔隙类型、流体特征及其纵向上的分布发育特征进行归纳总结并与1井产层段进行了对比研究。分析认为,川西南部地区玄武岩有利储层分布于2处,一处为顶部普遍发育的数米厚风化壳,另一处是旋回中上部的富含杏仁体角砾化玄武岩。第二类储层中发育沥青并伴随发育石英,溶孔、溶洞、裂缝普遍,但渗透率较小;其有效储集空间大多数由次生作用产生,喷溢间歇期的构造作用、风化及溶蚀作用良好的匹配关系至关重要;后期形成的构造裂缝与垂直于层面的节理缝较易形成开放体系,极可能就是破坏周公2井气藏保存条件的主要因素。

关键词:峨眉山玄武岩;风化壳;流体特征;次生作用;开放体系

中图分类号:P584;P618.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)02-0378-09

火山岩储层为一类特殊的油气储集体,中国多个盆地二叠纪的火山岩是油气的重要储层^[1]。诸多学者^[2-14]对不同研究区的火山岩储集空间类型和成因、形成和演化、演化阶段划分、成岩作用类型以及火山岩储层发育的控制因素,火山岩储层发育机理进行了探讨^[15-18]。众多研究表明,玄武岩储层是其中一类比较典型的储集体^[19]。

川西南部广泛发育了上二叠统“峨眉山玄武岩”(图1),仅周公山构造带一口井峨眉山玄武岩组中钻遇天然气,前人对周公1、周公2井进行了精细的评价和系统的总结:熊舜华^[20]将峨眉山玄武岩分为斜斑玄武岩和斑状玄武岩,并将其划分为3个旋回;黄籍中^[21]对玄武岩作为特殊油气藏的勘探前景做了分析,牛善政^[22]评价了玄武岩储层并拟定了评价标准,宋文海^[23]对玄武岩的含气性进行了评价并归纳了川西南部峨眉山玄武岩分布范围,张若祥^[24]

在详述了玄武岩裂缝、孔隙等储集空间的形成分布,冯仁慰^[25]对玄武岩的特征和其储集性能进行了一次解析,杨毅^[26]等对其成藏模式进行了探讨。而前人缺少对周公2井取心段纵向储层分布做完整的解剖,即单剖面宏观上的系统认识,也没有与周公1井产层段岩石、孔隙特征进行对比,缺少充分的微观证据。玄武岩储层宏观与微观结合研究,能更明确玄武岩形成气藏的根本原因,本次在大量的岩石薄片及与之对应的分析测试手段基础上,系统分析了周公山构造中玄武岩有利储层特征和流体、沥青分布规律,补充完善了玄武岩储层岩石学特征,同时也为川西南部地区玄武岩气藏的成藏条件研究提供更充分的地质依据。

1 有利储层类型及特征

有利的岩石组构是形成优势储集体的前提与

收稿日期:2013-05-10;改回日期:2013-12-13

基金项目:高等学校博士学科点专项科研基金(20115122110002)、川西南部地区玄武岩含油气地质评价与勘探目标选择项目(20100302)联合资助。

作者简介:邓敏,男,1985年生,博士生,主要研究方向为层序地层学及含油气盆地分析;E-mail:dengmin911@126.com。

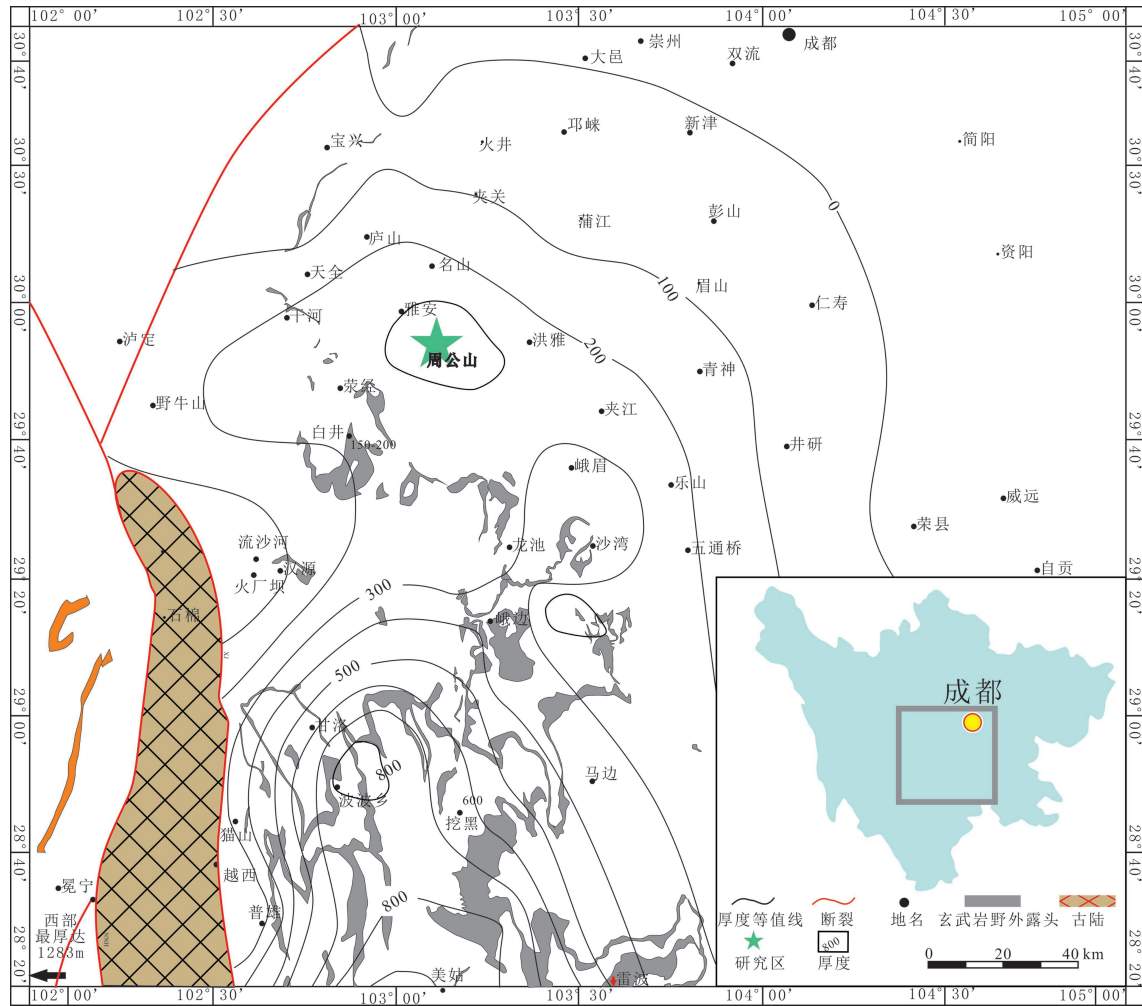


图1 川西南部地区峨眉山玄武岩平面分布图

Fig.1 Plan view of Emeishan basalt in southwest Sichuan Province

储层储集性能的主控因素^[27]。川西南部地区玄武岩储层发育风化型、蚀变型、构造破裂型及复合型4种储集空间类型,复合型在区内最具优势,由于喷发旋回作用造成有利储层垂向(图2K~A)分带性明显而且物性差异较大(图2)。

1.1 风化型

1.1.1 风化壳

玄武岩的风化现象代表了喷发作用的结束,火山作用停止后的的暴露(风化作用、淋滤作用)使岩石受氧化而为红色,经过风化的岩石易碎,不易保存。一直以来风化壳都是良好的储集空间,是很多火山岩油田高产带^[28-29],但火山岩风化型储层的研究存在一定的困难^[10]。

为了证实在雅安周公山地区周公2井玄武岩组

风化壳的存在,本次研究在测井识别的玄武岩组顶部界线位置上下20 m以1 m为间隔取岩屑40袋,以多颗粒岩屑薄片的磨片方法进行统计,以增加岩石识别的可靠性^[30]。岩屑薄片观察统计结果显示,周公2井井深3093.2 m开始出现玄武岩屑,向底部含量逐渐增多并见出现水铝英石(图3-A),至3104 m以下开始,薄片95%以上岩屑为玄武岩岩屑,此现象表明周公2井存在风化壳层且厚10.8 m(图3-B)。其镜下识别主要特点:基质赤铁矿化、长石晶体高岭石化。受风化带分带性直接影响^[31-33],对应自然伽马、井径、声波时差呈阶梯状逐渐降低,密度逐渐增大。

前人^[32]研究表明:在川西南峨眉山地区玄武岩与底部宣威组(沙湾组)之间为不整合接触,之间存

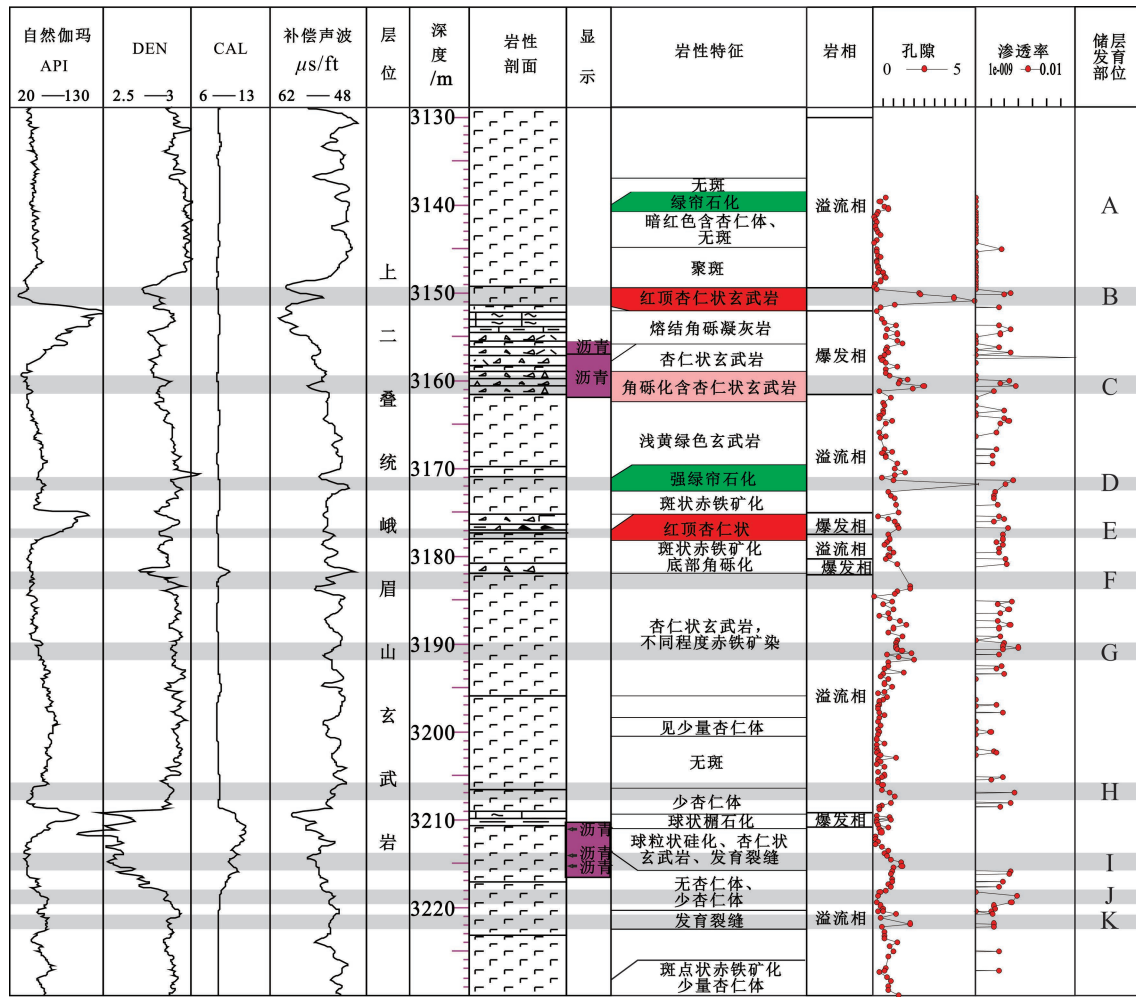


图2 周公2井岩心段储层发育分布特征

Fig.2 The development and distribution characteristics of core drilling reservoirs of Zhougong 2 well

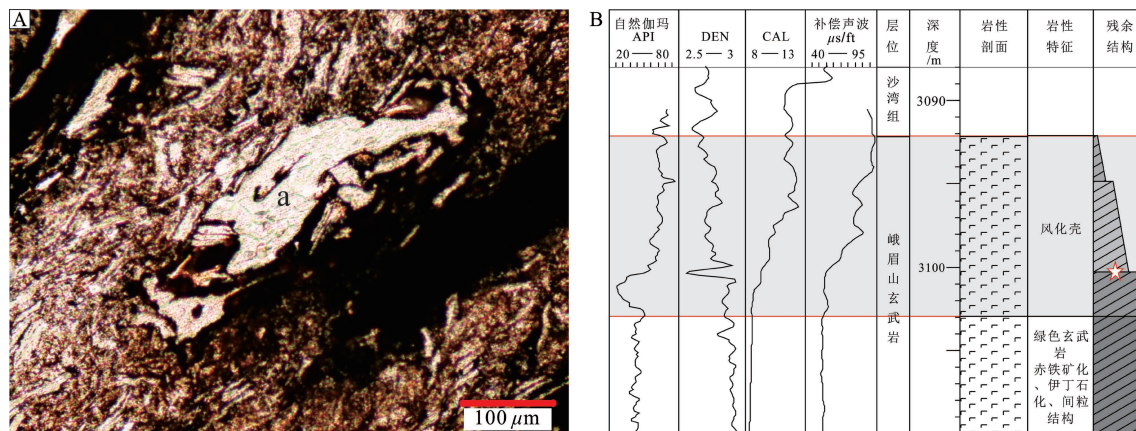


图3 周公2井风化壳特征矿物及发育部位

A—Zg2井3110 m,单偏光,a—水铝英石;B—Zg2井顶部风化壳分带性特征,☆—薄片取样位置

Fig.3 The representative minerals of the weathering crust(A) and its developmental part(B) in Zhougong 2 well

在10余米厚玄武岩风化壳,其氧化分带性明显,呈区域性分布。同为东岩区的贵州等地,玄武岩顶部同样存在风化壳,主要含高岭质粘土、大量植物化石、有机质丰富,是固体矿产的储集空间^[33],体现了此类储集空间的良好能力。基于上述认识,本次研究认为川滇黔地区玄武岩顶部都应广泛发育这套十余米厚的风化壳层,且在不同地区必然形成不同矿产的储集体^[34]。

1.1.2 红顶杏仁状玄武岩(红顶)

熔岩类岩相顶部的气孔状玄武岩常常具有良好的储集性,风化作用有益于储层性能的改善。峨眉山玄武岩属于大陆溢流型玄武岩,在玄武岩形成过程中溢流次数多、时间长、规模大而爆发规模小。所以每次溢流出的熔岩层之顶部,具有“红顶”,即红色圆形-不规则气孔带(图4-a),它是在熔岩溢流的间隙期因为暴露受到了短暂的风化、氧化、淋滤,相对于熔岩流中下部的岩石属性发生改善。也有学者将受到同样后期改善而成红色的凝灰岩称作“红顶”^[35],它的形成环境跟红色杏仁状玄武岩所处环境相同但时间更晚,作为爆发间歇的产物。在熔岩流的底部,常因为处于还原环境而出现灰绿色、绿色玄武岩。每个单一的喷发熔岩流从底部到顶都有由“绿-红”的特征,表明底部处于还原态而顶部暴露氧化。“红顶”镜下主要特点为:基质赤铁矿化,长石晶体保存完整,含有较多杏仁体(图4-b)。作为风化淋滤的产物,全直径分析结果显示其顶部氧化带物性较好底部较差,但是裂缝不发育的情况下其渗透率欠佳(表1)。

1.2 蚀变型

蚀变玄武岩:玄武岩熔岩喷出后,在表生作用下会蚀变^[4],研究区最为发育的主要是绿帘石岩,其垂直于节理破裂面产出代表了此类岩石是成层性发育(图4-c)。蚀变后体积缩小会留下部分原生孔隙,蚀变岩体较易被溶蚀还会产生少量次生孔隙(图4-d);同时,原岩向绿帘石蚀变的过程,剩余的SiO₂进入岩石形成硅质酸性流体,而酸性介质的形成更有可能使原岩储集性提高,这也是峨眉山玄武岩中的SiO₂来源之一^[36]。

1.3 构造破碎型

碎裂角砾岩:自碎角砾岩玄武岩为我国含油气盆地中火山岩优质储层之一,由自碎作用或者隐爆

作用产生的砾间裂隙而发育储集空间,有还原性,可能有油气充注^[13,37]。本次在峨眉山玄武岩中发现一段碎裂角砾的存在,系玄武岩喷出后冷凝未埋葬时期,处于风化淋滤影响下,遭受构造抬升时自碎作用产物,裂隙宽1~5 cm,被原始围岩破碎物充填后后期固结成岩(图4-e),岩心与扫面电镜表明其边缘附满绿泥石、伊利石,见石英在其孔隙边缘次生加大(图4-f-g),孔隙度达到好储层级别^[2],说明此时期周公山地区具备了产生此类型储集空间的构造动力机制。

1.4 综合型

周公1井产气段岩屑薄片结构类型特征反应此段峨眉山玄武岩受到了强烈的构造、溶蚀作用的影响,缝、洞、孔都彼此连通,周公2井C段、I段与其特征相同,为综合型。周公1井片理化、糜棱化、碎裂化多(图4-h-i),溶缝、溶孔发育(见杏仁体被完全溶蚀),沥青丰富,缝、洞中都未见充填矿物被错动,拉开的现象,表明未埋藏期前的构造作用对此段的影响为主要因素,对本区对油气储集空间的形成起了主要的贡献作用,同时成岩期伴生的流体的进入也大大促进了溶蚀作用的进程,并且镜下未见类似周公2井的后期构造运动改造的证据(图4-j)。

2 流体作用

2.1 沥青段特征及分布

炭沥青是油气深变质的产物,它的特征和分布规律不仅仅对油气来源、运移、聚集有一定意义。滇黔交界处峨眉山玄武岩中的沥青直接来自石油^[38],根据其SJQ03钻孔图比较,其发育分布位置与周公山地区相似,亦说明本区内玄武岩中固态沥青很可能也为古油藏受热液流体的影响裂解残留物,同样,也可以推测周公1井中天然气藏部分为古油藏裂解后的气态产物聚集。

周公1井产层沥青丰富(图4-k-l),周公2井取心段仅见两层段发育沥青(C段、I段),分布特征多样,以充填于杏仁孔、溶蚀孔多见而少数为侵染状,但几乎全部沥青均与石英共生产出(图4-m-n)。前人对此沥青有两种看法:①石英-沥青脉发育在杏仁体玄武岩中,早期的石英脉体在原有空间的基础上对基体进行改造、溶蚀扩大,并“吞并”了部分杏仁体,形成一些圆弧边缘,在这些弧形边缘还残

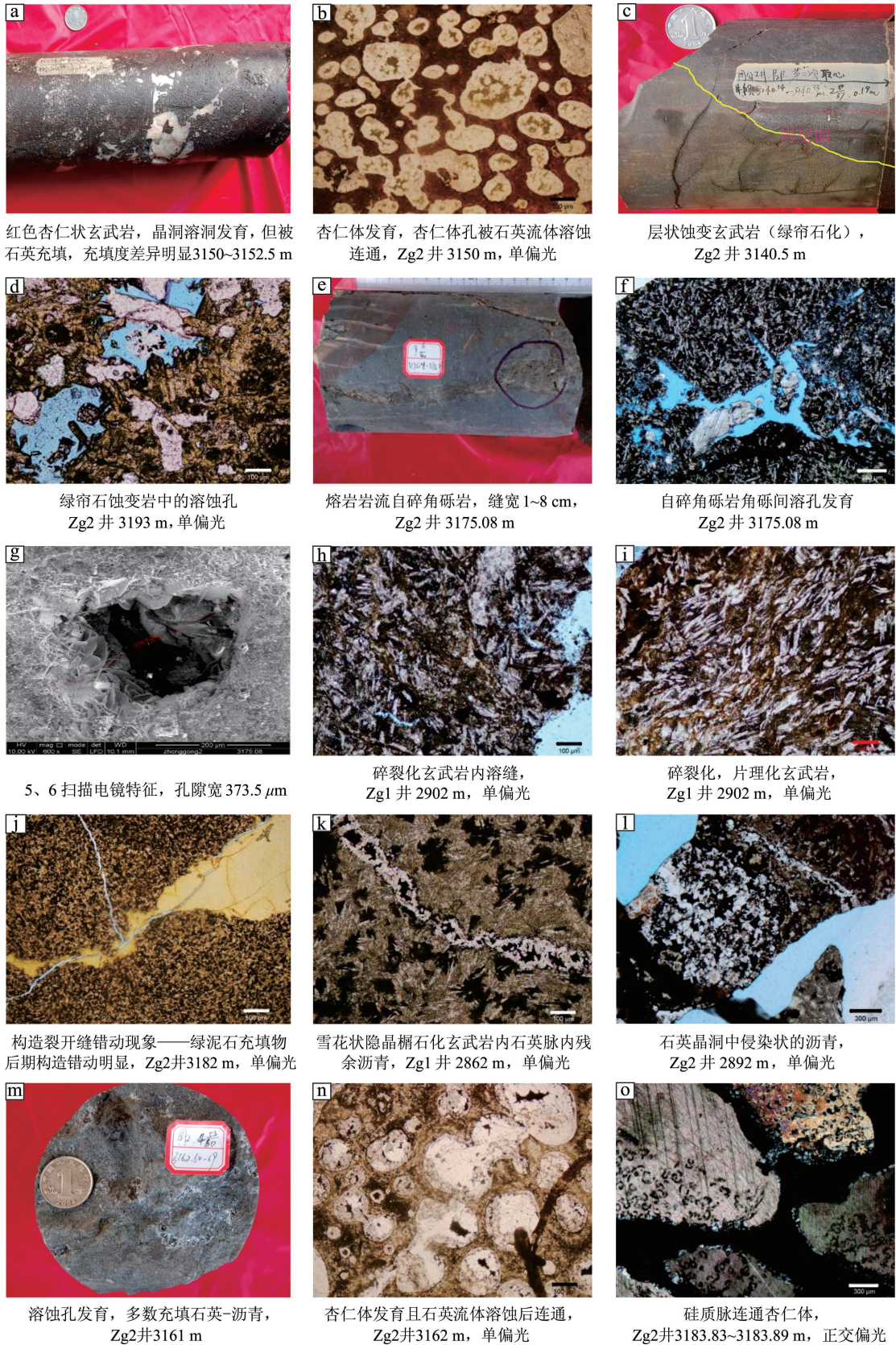


图4 周公山构造峨眉山玄武岩储集空间类型及流体特征

Fig.4 Pore types and fluid characteristics in Emeishan basalt of Zhougongshan structure

表1 不同峨眉山玄武岩物性分析(部分资料来自[25])
Table 1 Physical analysis of different types of Emeishan basalt (data partly after [25])

样品编号 (深度/m)	岩石类型	孔隙度 /%	渗透率/(10 ³ μm ²)		发育 部位
			水平方向	垂直方向	
3-59/69-B	红色杏仁状玄武岩	5.34	0.1104	0.0633	B
3-59/69-D	红绿色杏仁状玄武岩	3.64	0.0794	0.0215	
4-49/60	深灰色角砾岩	-	6.48	0.0386	C
5-13/30	灰色杏仁状玄武岩	0.14	0.000107		
13-53/61	棕色凝灰岩	1.32	0.382	0.0705	H
17-15/26	花斑状棕色角砾岩	1.08	10.7	4.01	L
(3193)	绿帘石蚀变玄武岩	2.79	-	-	G
(3175.08)	岩流白碎角砾状熔岩	11.49	-	-	E

存有原杏仁体的成分,在早期石英脉体形成以后,后期流体沿晶间孔(缝)对脉体进行溶蚀扩大,而后发育沥青充填物;②此处早期发育一古油藏,沥青为受富含SiO₂酸性热液流体影响裂解残留物,少数沥青在孔、洞、溶缝边缘的残留赋存可以较好地支持这个观点,同时也代表早期这两层段就已经具备了油气成藏的良好条件。

2.2 酸性流体特征及分布

火山活动和构造运动以及排烃作用等都会引起大规模的热液活动,即使后期埋藏后流体作用也在一直发生。流体对火山岩的直接影响会引起物质交换,流体活动导致的溶解、蚀变、胶结、充填作用在火山岩中是十分普遍的,它们对火山岩储集性能的影响十分复杂^[5]。本地区玄武岩中的流体作用十分普遍,在孔、洞、缝中充填了至少四期热液矿物^[25],大多数的流体对储集性能起破坏作用,如:赤铁矿、榍石、长石、绿帘石;少部分的流体充填破坏储集空间后,其本身亦为易熔矿物,后期的改造使其孔隙发育,如:绿泥石、方解石、绿帘石、沸石;硅质流体破坏性与建设性并存,区内多数的空间中充填为硅质流体产物,但玄武岩熔岩中众多孤立的孔隙,也因为酸性溶液的溶蚀作用而连通(图4-o),酸性流体进入火山岩后容易发生溶蚀作用从而形成储层^[13];并且,区内多数的残留沥青都是与硅质流体呈多期互生,是排烃作用与其同时期引起的流体活动作用的结果,或者是后期的相对晚时间进入的热液流体对原油作用后的产物。

对石英脉中包裹体的均一温度分析发现,包裹体均一温度区间大致在100~150℃,包裹体的均一

温度集中在100~130℃、140~150℃这两个区间,它们有明显的间隔。数据表明汉旺场一周公山地区峨眉山玄武岩中石英流体活动至少有2个高峰期,均属低温热液流体。说明本区内可能既有排烃时期与之同期的酸性流体,也有后期注入的流体活动,都是埋藏期后的作用结果。

3 储层形成机制及油气意义

岩浆性质、喷溢相带、成岩作用、构造作用影响储集空间的演化^[9]。现今所见的玄武岩是经过了喷溢期、风化期、埋藏期^[6]3期作用的结果。前人研究结果显示,作为特殊的油气藏,在玄武岩中成藏的关键为风化淋滤过程和构造作用^[24],也有的主控因素以溶蚀作用为主^[39];火山岩中,孔隙为主的储层由构造作用与溶蚀作用共同控制^[5,34-35],而也有人^[6]认为中酸性火山岩中构造作用和风化剥蚀才是主要因素,而火山岩的储集性能不受成岩压实的影响,不受埋深影响,最有利部位为断裂附近。

由于3期作用的影响,玄武岩储层的形成经历了以下几个阶段:喷溢冷凝后原始空间形成→喷溢期热液充填→喷溢间断期暴露、构造作用次生孔隙形成→大气水淋滤→埋藏期流体对储层的充填→埋藏期酸性流体及淋滤作用→后期构造作用破坏。

峨眉山玄武岩溢流相带最为发育,绵延数百千米且旋回多,其上部的气孔带、自碎角砾岩带、“红顶”与火山岩喷发结束后的风化壳带极其发育。总体上各个阶段流体的分期进入使原生孔-洞-缝集体消失,次生作用形成了区内主要储集空间,薄片溶蚀孔隙相对较少,表明溶蚀作用并非为研究区储层主控因素,热液流体溶蚀作用和蚀变作用都发生在节理缝和岩层面上,从周公1井储层段的特征和周公2井碎裂岩储集体的发现以及沥青、石英富集充填次序来看,未埋藏前的构造、溶蚀作用至关重要,在7个过程中,第一期构造作用和后期流体进入是形成有利储集空间和气藏保存最为关键的两个因素。

4 几点认识

(1)相对周公2井而言,周公1井储层段多见糜棱化,沥青多见且产状多样,碎裂化明显,溶蚀作用发育,见杏仁体完全被溶蚀现象。

(2)在周公2井300 m岩心剖面中共10个层段物性较好,其中风化壳储集性能可观,红顶杏仁状玄武岩、角砾化含杏仁状玄武岩、绿帘石化玄武岩段孔渗匹配较好。

(3)周公2井取心段共见两层沥青段,沥青赋存状态多样,上段多见下段偶见。沥青的出现给天然气藏带来了两个方面影响:①烃类流体及SO₂酸性流体对该段储集空间的建设作用巨大,它溶蚀了孤立的杏仁体使其连通,形成储集天然气的空间;②玄武岩中天然气的形成必定伴随发育沥青,即见沥青,才可能见气。

(4)深部来源、大气水来源及玄武岩自身蚀变来源的酸性流体是研究区溶蚀作用发生的关键前提,多期沥青与其伴生也代表了玄武岩气藏与其有着非常紧密的联系。

(5)喷溢间歇期的构造抬升活动伴随后期流体注入产生大量物性适中的储集空间,而后期的构造作用虽然起到了较好的连通作用,但较易形成开放体系,破坏天然气聚集成藏。

致谢:感谢马润则老师和川西北气矿几位老专家的诸多意见,感谢王文楷博士和李振兴同学在岩心观察、样品处理时的帮助。

参考文献(References):

- [1] 刘祥,郎建军,杨清福. 火山碎屑沉积物是油气的重要储层[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(54): 859-866.
Liu Xiang, Lang JianJun, Yang Fuqing. Pyroclastic deposits: An important reservoir for hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 859-866(in Chinese with English abstract).
- [2] 赵海玲. 火山岩储层[J]. 现代地质, 1991: 62.
Zhao Hailing. The resource of volcanic[J]. Geoscience, 1991: 62(in Chinese).
- [3] 罗静兰,曲志浩,孙卫,等. 风化店火山岩岩相、储集性与油气的关系[J]. 石油学报, 1996, 17(1): 32-39.
Luo Jinglan, Qu Zhihao, Sun Wei, et al. The relations between lithofacies, reservoir lithology and oil and gas of volcanic rocks in Fenghuadian area[J]. Acta Petrolei Sinica, 1996, 17(1): 32-39(in Chinese with English abstract).
- [4] 任作伟,金春爽. 辽河坳陷洼609井区火山岩储集层的储集空间特征[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 53-56.
Ren Zuowei, Jin Chunshuang. Reservoir space feature of the volcanic rocks in the area of Well Wa-609, Liaohesag[J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(4): 53-56(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘万洙,王璞珺,门广田,等. 松辽盆地北部深层火山岩储层特

- 征[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(1): 28-31.
Liu Wanzhu, Wang Pujun, Men Guangtian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in northern Songliao basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, 24(1): 28-31(in Chinese with English abstract).
- [6] 蒙启安,门广田,赵洪文,等. 松辽盆地中生界火山岩储层特征及对气藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 285-292.
Meng Qi'an, Men Guangtian, Zhao Hongwen, et al. Characteristics of mesozoic volcanic rocks and its controlling effect on gas reservoir in Songliao basin[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(3): 285-292(in Chinese with English abstract).
- [7] 王成,邵红梅,洪淑新. 徐深1井火山岩、砾岩储层特征研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(5): 1-4.
Wang Cheng, Shao Hongmei, Hong Shuxin. Reservoir space feature of the volcanic rocks and volcanic conglomerate in Xushen 1well[J]. G. O. D. D, 2003, 22(5): 1-4(in Chinese with English abstract).
- [8] 曲延明,舒萍,王强. 兴城气田火山岩储层特征研究[J]. 天然气勘探与开发, 2006, 29(3): 13-16.
Qu Yanming, Su Ping, Wang Qiang. Characteristics of volcanic rock reservoirs in Xingcheng gas field[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2006, 29(3): 13-16(in Chinese with English abstract).
- [9] 郭沫贞,朱国华. 三塘湖盆地石炭系火山岩油藏储集空间特征及成因机理[J]. 吐哈油气, 2008, 21(3): 234-245.
Guo Mozhen, Zhu Guohua. Reservoir space characteristics and genesis mechanism of carboniferous volcanic reservoir in Santanghu basin[J]. Tuha Oil & Gas, 2008, 21(3): 234-245(in Chinese with English abstract).
- [10] 朱如凯,毛治国,郭宏莉,等. 火山岩油气储层地质学-思考与建议[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 7-3.
Zhu Rukai, Mao Zhiguo, Guo Hongli, et al. Volcanic oil and gas reservoir geology: Thinking and forecast [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22(2): 7-3(in Chinese with English abstract).
- [11] 蔡东梅,孙立东,齐景顺,等. 徐家围子断陷火山岩储层特征及演化规律[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 401-407.
Cai Dongmei, Sun Lidong, Qi Jingshun, et al. Reservoir characteristics and evolution of volcanic rocks in Xujiaweizi fault depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 401-407(in Chinese with English abstract).
- [12] 李霞,董成,胡志方. 松辽盆地南部深层火山岩储层成岩作用类型及特征[J]. 断块油气田, 2010, 17(4): 393-396.
Li Xia, Dong Cheng, Hu Zhifang. Diagenesis types and characteristics for deep volcanic reservoir in southern Songliao Basin[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2010, 17(4): 393-396(in Chinese with English abstract).
- [13] 李小燕,王琪,史基安,等. 准噶尔盆地路西地区石炭系火山岩储层发育主控因素分析[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(3): 449-457.
Li Xiaoyan, Wang Qi, Shi Ji'an, et al. Principal controls on the

- formation of volcanic reservoir (Carboniferous) in Luxi area of Junggar basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(3): 449–457 (in Chinese with English abstract).
- [14] 徐宏杰. 松辽盆地长岭断陷火山岩储层特征[J]. *成都理工大学学报*, 2010, 37(4): 432–437.
Xu Hongjie. Characteristics of volcanic rock reservoirs in the Changling rift, Songliao basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 2010, 37(4): 432–437(in Chinese with English abstract).
- [15] Sruoga P, Rubinstein N. Processes controlling porosity and permeability in volcanic reservoirs from the Austral and Neuquén basins, Argentina[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(1): 115–129.
- [16] Sruoga P, Rubinstein N, Hinterwimmer G. Porosity and permeability in volcanic rocks: A case study on the Serie Tobifera, south Patagonia, Argentina[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2004, 132(1): 31–43.
- [17] Kawamoto T. Distribution and alteration of the volcanic reservoir in the Minami-Nagaoka gas field[J]. *The Japanese Association for Petroleum Technology*, 2001, 66(1): 46–55.
- [18] Vernik L. A new type of reservoir rock in volcanoclastic sequences[J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(6): 830–836.
- [19] 张新荣, 王东坡. 火山岩油气储层特征浅析[J]. *世界地质*, 2001, 20(3): 272–278.
Zhang Xinrong, Wang Dongpo. Analysis on oil and gas reservoir characteristics of volcanic rocks[J]. *World Geology*, 2001, 20(3): 272–278(in Chinese with English abstract).
- [20] 熊舜华, 李建林. 峨眉山区晚二叠系大陆裂谷边缘玄武岩系的特征[J]. *成都地质学院学报*, 1984, 3: 43–57.
Xiong Shunhua, Li Jianlin. The characteristics of the late Permian basalts in the margin of continental rift in Emeishan area[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1984, 3: 43–57(in Chinese with English abstract).
- [21] 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): 16–19.
Huang Jizhong, Gou Xuemin. Analysis of gas source and exploration potential of permian basalt unconventional gas reservoir in sichuan basin [J]. *Natural Gas Industry*, 1994, 14(5): 16–19(in Chinese with English abstract).
- [22] 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]. *Natural Gas Industry*, 1994, 14(5): 20–23(in Chinese with English abstract).
- [23] 宋文海, 庞家黎. 四川盆地西南部上二叠统玄武岩含气性研究[J]. *天然气工业*, 1994, 14(5): 11–15.
Song Wenhai, Pang Jiali. Gas-bearing study of P₂ basalt in the southwest part of Sichuan basin [J]. *Natural Gas Industry*, 1994, 14(5): 11–15(in Chinese with English abstract).
- [24] 张若祥, 王兴志, 蓝大樵, 等. 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, Wang Xingzhi, Lan Daqiao, et al. Reservoir evaluation of Emeishan basalts in Southwest Sichuan[J]. *Natural Gas Exploration & Development*, 2006, 29(1): 17–21(in Chinese with English abstract).
- [25] 冯仁慰, 王兴志, 张帆, 等. 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[J]. *沉积学报*, 2008, 26(6): 913–924.
Feng Renwei, Wang Xingzhi, Zhang Fan, et al. The study on reservoir property and characteristics of the Emeishan basalts of Zhongongshan and its neighbour area in the southwest Sichuan[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(6): 913–924(in Chinese with English abstract).
- [26] 杨毅, 张本建, 蒋德生, 等. 四川盆地西南部上二叠统峨眉山玄武岩成藏模式初探[J]. *天然气工业*, 2010, 30(5): 46–49.
Yang Yi, Zhang Benjian, Jiang Desheng, et al. A preliminary study on hydrocarbon pooling patterns of the Upper Permian Emeishan basalts in southwestern Sichuan basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2010, 30(5): 46–49(in Chinese with English abstract).
- [27] 王志强, 柳城志, 王文广, 等. 兴城气田火山岩储层储集特征研究[J]. *科技导报*, 2010, 28(5): 86–90.
Wang Zhiqiang, Liu Chengzhi, Wang Wenguang, et al. Volcanic reservoir characteristics in Xingcheng Gas Field[J]. *Science & Technology Review*, 2010, 28(5): 86–90(in Chinese with English abstract).
- [28] 柳成志, 孙玉凯, 于海山, 等. 三塘湖盆地石炭系火山岩油气储层特征及碱性成岩作用[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 40(6): 1221–1231.
Liu Chengzhi, Sun Yukai, Yu Haishan, et al. Study on characteristic of carboniferous volcanic oil and gas reservoirs and alkaline diagenesis in the Santanghu basin, NW China [J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2012, 40(6): 1221–1231(in Chinese with English abstract).
- [29] 罗静兰, 侯连华, 蒋宜勤, 等. 路东地区火成岩形成时代与构造背景及火山岩储层成因[J]. *石油学报*, 2012, 33(3): 351–360.
Luo Jinglan, Hou Lianhua, Jiang Yiqin, et al. Chronology and tectonic settings of igneous rocks and origin of volcanic reservoirs in Ludong area, eastern Junggar Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 351–360(in Chinese with English abstract).
- [30] 边伟华, 陈玉魁, 唐华风, 等. 火山岩相的岩屑识别——以松辽盆地南部东岭探区为例子[J]. *吉林大学大学学报(地球科学版)*, 2007, 37(6): 1104–1109.
Bian Weihua, Chen Yukui, Tang Huafeng, et al. Volcanic facies identification with cuttings——A case study in Dongling, southern Songliao basin[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2007, 37(6): 1104–1109(in Chinese with English abstract).
- [31] 王正瑛, 李秀华, 王文才, 等. 峨眉龙门峒地区峨眉山玄武岩顶部古风化壳[J]. *矿物岩石*, 1982, 3: 56–70.
Wang Zhengying, Li Xiuhua, Wang Wencai, et al. Ancient weathering crust of the top of Emei Mountain basalt in Emei Lnogmendon areas, Sichuan[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1982, 3: 56–70(in Chinese with English abstract).
- [32] 徐则民, 黄润秋. 基于结构体的峨眉山玄武岩风化程度评价(I): 风化结构体地球化学[J]. *中国地质*, 2013, 40(3): 895–908.
Xu Zemin, Huang Runqiu. The assessment of the weathering intensity of Emeishan basalt based on rock blocks(I): Geochemistry of weathered basalt blocks[J]. *Geology in China*,

- 2013, 40(3): 895–908(in Chinese with English abstract).
- [33] 徐则民, 黄润秋. 基于结构体的峨眉山玄武岩风化程度评价(IV): 风化指数FF[J]. 中国地质, 2013, 40(6): 1941–1948.
Xu Zemin, Huang Runqiu. The assessment of the weathering intensity of Emeishan basalt based on rock blocks(IV): A proposed weathering index(FF) [J]. *Geology in China*, 2013, 40(6): 1941–1948(in Chinese with English abstract).
- [34] 朱炳泉. 关于峨眉山溢流玄武岩省资源勘查的几个问题[J]. 中国地质, 2003, 30(4): 407–412.
Zhu Bingquan. On mineral exploration in the Emeishan flood basalt province[J]. *Geology in China*, 2003, 30(4): 407–412(in Chinese with English abstract).
- [35] 王文才, 李秀华. 峨眉山地区“峨眉山玄武岩”顶部发现古风化壳[J]. 矿物岩石, 1982, 1: 14.
Wang Wencai, Li Xiuhua. Ancient weathering crust were found on the top of Emei mountain basalt in Emei Areas[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 1982, 1: 14(in Chinese).
- [36] 杨瑞东, 鲍森, 廖理, 等. 贵州西部中、上二叠统界线附近风化壳类型及成矿作用[J]. 矿物学报, 2007, 27(1): 41–48.
Yang Ruidong, Bao Miao, Liao Li, et al. Ancient weathering crust and its mineralization near the middle upper Permian boundary in western Guizhou Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2007, 27(1): 41–48(in Chinese with English abstract).
- [37] 刘家铎, 张成江, 等. 扬子地台西南缘成矿规律及找矿方向[M]. 地质出版社, 2002.
Liu Jiaduo, Zhang Chengjiang, et al. *The Metallogenic Regularities and Prospecting Direction in Southwest Margin of Yangtze Platform*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002 (in Chinese).
- [38] 李厚民, 毛景文, 张冠, 等. 滇黔交界地区玄武岩铜矿蚀变分带和有机包裹体特征及其地质意义[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 1026–1034.
Li Houmin, Mao Jingwen, Zhang Guan, et al. Isotopic geochemistry of Emeishan basalt copper deposits in northeastern Yunnan and Western Guizhou[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2006, 80(7): 1026–1034(in Chinese with English abstract).
- [39] 雷天柱, 石新璞, 孔玉华, 等. 溶蚀在形成碱性火山岩优质储集层中的作用—以准噶尔盆地陆西地区石炭系火山岩为例[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(3): 305–308.
Lei Tianzhu, Shi Xinpu, Kong Yuhua, et al. Effect of dissolution on forming high-quality reservoir in alkaline volcanic rocks—An example from Carboniferous volcanic rocks in Luxi area in Junggar basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2008, 29(3): 305–308(in Chinese with English abstract).

Favorable reservoir analysis of Emeishan basalt in Zhongongshan area of southwest Sichuan Province

DENG Min¹, HOU Ming-cai^{1,2}, ZHANG Ben-jian³, LI Xiu-hua¹

(1. *Research Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;*
2. *State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;* 3. *Northwest Sichuan Gas Field, Southwest Oil & Gas Field Company, Petro China, Jiangyou 621709, Sichuan, China*)

Abstract: The Zhongong 2 well that drilled Emeishan basalt of Zhongongshan structure in Ya'an area of western Sichuan is a typical well in basalt gas reservoirs, whose core is relatively long, fairly complete and close to the high-yield well Zhongong 1 well. Based on the petrological characteristics, the combination of macroscopic and microscopic phenomena and starting with the core, electrical, physical, and microscopic characteristics of Emeishan basalt reservoir in Zhongong 2 well core, the authors summarized its petrological characteristics, porosity type, fluid features and the distribution in the longitudinal direction in comparison with production intervals of Zhongong 1 well. The results show that the favorable reservoirs of basalt are distributed in two intervals in southwest Sichuan: one is the weathering crust, which is extensively developed at the top with the thickness of a few meters, and the other is the amygdale-rich brecciated basalt in the upper part of the cycle. The second type of reservoir has well-developed asphalt associated with quartz and extensive dissolved pores, caves and cracks, but with less permeability; the majority of its efficiency reservoir space was generated by the secondary actions. The good matching relationship between tectonism in the dormant period of eruption and the weathering and dissolution is of great importance. The open system was generally quite easily formed by the aggregation of later period tectonic cracks and joint fissures perpendicular to the bedding, and this may also be the main factor that has undermined the gas reservoir storage conditions of Zhongong 2 well.

Key words: Emeishan basalt; weathering crust; fluid features; secondary action; open system

About the first author: DENG Min, male, born in 1985, doctor candidate, engages in the study of sequence stratigraphy and petroliferous basin analysis; E-mail: dengmin911@126.com.