

# 四川周公山-汉王场地区峨眉山玄武岩中流体类型及活动期次\*

侯明才<sup>1,2</sup> 王文楷<sup>1,2</sup> 张本健<sup>3</sup> 王维<sup>3</sup> 李秀华<sup>2</sup> 邓敏<sup>2</sup> 裴森奇<sup>3</sup> 杨毅<sup>3</sup>

HOU MinCai<sup>1,2</sup>, WANG WenKai<sup>1,2</sup>, ZHANG BenJian<sup>3</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>, LI XiuHua<sup>2</sup>, DENG Min<sup>2</sup>, PEI SenQi<sup>3</sup> and YANG Yi<sup>3</sup>

1. 油气藏地质与开发工程国家重点实验室 成都理工大学, 成都 610059

2. 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059

3. 中国石油西南油气田分公司川西北气矿, 江油 621709

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

3. Northwest Sichuan Gas Field, Southwest oil & Gas Field Company, PetroChina, Jiangyou 621709, China

2012-08-30 收稿, 2013-05-01 改回.

Hou MC, Wang WK, Zhang BJ, Wang W, Liu XH, Deng M, Pei SQ and YangY. 2013. Fluid types and activities of Emeishan basalt in Zhougong mountain-Hanwang field of Sichuan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 29(8):2709–2718

**Abstract** Samples from Zhougong 2 well and Han 6 well in Zhougong mountain-Hanwang field show that the Emeishan basalt can be divided into 9 types, cryptocrystalline basalt, amygdaloidal basalt, tuff, volcanic breccia, tuff-breccia, epidosite rock, hematite-basalt, weathered basalt and vein rock. Minerals and with their combinations such as hematite, epidote, quartz-chlorite, opal-hematite, magnetite-hematite, sphene-chalcedony, epidote-prehnite-chlorite, and ilmenite-chalcedony-chlorite-chalcedony are observed in amygdalas. There are 15 kinds veins in the Emeishan basalt such as: feldspar vein, hematite vein, quartz vein, epidote vein, chlorite vein, sphene vein, calcite vein, chalcedony-allophane vein, calcite-hematite vein, calcite-chlorite vein, quartz-calcite vein, quartz-epidosite vein, quartz-bituminous vein, hematite-chalcedony-chlorite vein and epidosite-chlorite-chalcedony vein. These veins and amygdalas were formed in different stages during the evolution of the Emeishan basalt. Fluid formed in the volcanic eruption stage was mainly influenced by the magmatic components rather than the atmospheric precipitation. It had mid-high temperature which is positively related to the salinity. The representative product is hematite vein. The fluid mainly originated from the meteoric water when weathering, and veins are strongly affected by oxidation and hydrolysis at the same time. The result shows lower-mid negative  $\delta^{13}\text{C}$ , with the low salinity and temperature, the allophane vein is of main feature. When it comes to the burial period, the rocks were transformed by the overlying strata water and deep brine. The fluid had lower-mid temperature with negatively relation to the salinity, and was controlled by the organic matter. The  $\delta^{13}\text{C}$  revealed a high negative value and epidosite vein is the most typical one.

**Key words** Emeishan basalt; Fluid; Inclusion; Isotope; Active stages

**摘要** 来自汉王场-周公山地区周公2井和汉6井峨眉山玄武岩钻井岩心样品显示峨眉山玄武岩有: 隐晶玄武岩、杏仁状玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩、凝灰角砾岩、绿帘石岩、赤铁矿染玄武岩、红土化玄武岩和脉岩等九种岩石类型。其中发育的杏仁体成分有: 赤铁矿杏仁体、绿帘石杏仁体、石英-绿泥石杏仁体、蛋白石-赤铁矿杏仁体、磁铁矿-赤铁矿杏仁体、榍石-玉髓杏仁体、绿帘石-葡萄石-绿泥石杏仁体、钛铁矿-玉髓-绿泥石-玉髓杏仁体等8种, 脉体有: 长石脉、赤铁矿脉、石英脉、绿帘石脉、绿泥石脉、榍石脉、方解石脉、玉髓-水铝英石脉、方解石-赤铁矿脉、方解石-绿泥石脉、石英-方解石脉、石英-绿帘石脉、石英-沥青脉、赤铁矿-玉髓-绿泥石脉、绿帘石-绿泥石-玉髓脉等15种。这些脉体和杏仁体形成于峨眉山玄武岩形成演化的不同阶段, 喷溢期流体受岩浆原生组分影响, 大气降水影响程度低, 温度属高-中温, 脉体包裹体盐度-温度为正相关, 代表性产物为赤铁矿脉; 风化期流体主要来源于大气降水, 氧化作用和水解作用对脉体的发育产生了很大影响, 这一时期  $\delta^{13}\text{C}$  为低-中负值, 包裹

\* 本文受高等学校博士学科点专项科研基金项目(20115122110002)和四川省重点学科“构造地质学”建设基金项目(SZD0408)联合资助。  
第一作者简介: 侯明才, 男, 1968年生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事沉积地质学方面的教学和科研工作, E-mail: houmc@cdu.edu.cn

体盐度、温度低,以水铝英石脉最为典型;进入埋藏期以后,上覆地层水和深部的卤水对岩石进行改造,这一时期的流体属低-中温,包裹体盐度与温度呈负相关,受有机质影响, $\delta^{13}\text{C}$ 呈高负值,以绿帘石脉最为典型。

**关键词** 峨眉山玄武岩;流体;包裹体;同位素;活动期次

**中图法分类号** P588.145

## 1 引言

峨眉山玄武岩于1929年被赵亚曾先生命名,是我国目前唯一为国际学术界所认可的大火成岩省(ELIP)(Mathoney honey JJ, 1997; Courtillot *et al.*, 1999; Wignall, 2001),并认为当时的全球气候变化和瓜德鲁普统生物大灭绝与峨眉山玄武岩的喷发相关(Wignall, 2001; Liu and Zhu, 2009; He *et al.*, 2010a, b)。前人对峨眉山玄武岩的喷发时限(宋谢炎等, 2001; Boven *et al.*, 2002; 侯增谦等, 2006; Liu *et al.*, 2012)、展布空间(宋谢炎等, 2002; 何斌等, 2003; Shellnutt and Jahn, 2011)、成因(He *et al.*, 2003; Xiao *et al.*, 2004; 张招崇等, 2006; 严再飞等, 2006; Liang and Zhou, 2008; Song *et al.*, 2008; He *et al.*, 2010a, b; Lai *et al.*, 2012)、古地磁特征(Huang and Opdyke, 1998)、岩石地球化学特征(汪云亮, 1994; 张招崇等, 2001; 林建英, 1987; 郝艳丽等, 2004; 罗震宇等, 2006; Hou *et al.*, 2011)及其与区域构造(Ali *et al.*, 2004)和成矿作用的关系(刘家铎等, 2003; 聂爱国等, 2007; 张正伟等, 2004; 张成江等, 2009; Zhang *et al.*, 2008; 廖震文, 2010)等进行了详细、深入的研究,取得了以下几点共识:1)峨眉山玄武岩的喷发时限为259Ma左右,和二叠纪晚瓜德鲁普生物灭绝事件有一定联系;2)峨眉山玄武岩为基性-超基性镁铁质侵入岩,是地幔柱与岩石圈相互作用的结果;3)峨眉山玄武岩中根据Ti的含量不同,可划分为高钛玄武岩和低钛玄武岩。但是,前人的这些研究工作都是基于地表露头样品所获得的研究成果,而经历长时间风化的地表露头样品信息当然不能够真正代表峨眉山玄武岩的本来面目,侯明才等(2011)通过对雅安地区周公2井岩心岩石地球化学的分析和矿物学、岩石学特征的研究,首次发现了峨眉山高钛玄武岩中钛元素另一种新的赋存矿物——榍石,丰富了前人关于钛元素赋存在玄武岩中的认识。

随着国内外油气勘探工作近年在不同层系火山岩中取得重大突破(王仁冲等, 2008; 蔡东梅等, 2010; 侯启军, 2011),火山岩作为一种重要油气储层引起了石油勘探家们的关注,自1992年在雅安地区周公山构造1号井峨眉山玄武岩中首次获得无阻流量达 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的天然气(杨毅等, 2010)之后,对峨眉山玄武岩的研究从基础地质和固体矿产领域拓展到了油气勘探领域,前人(牛善政和庞家黎, 1994; 张若祥等, 2006; 冯仁蔚等, 2008a, b; 杨毅等, 2010)因此对峨眉山玄武岩的岩性、岩相、储层特征和成岩作用等进行了研究。而火山岩之所以能够作为储层,一则是因为火山岩本身富含气孔,除此之外,重要的是在成岩期,各种成岩作

用对岩石和孔隙中的充填物的改造,重塑了火山岩的储集空间类型和连通性,因此,成岩作用是火山岩储层形成的主要成因,而揭示火山岩成岩作用的窗口就是保存在现今岩石孔-缝中的各类脉体和杏仁体,因为它们的类型和期次是地质历史时期成岩流体活动的结果。基于此,本文以周公2井和汉6井钻井岩心作为研究对象,通过对脉体和杏仁体的类型、期次、流体包裹体成分以及所揭示出的成岩温度的研究,重塑峨眉山玄武岩成岩流体活动历史,诠释峨眉山玄武岩储层形成机制。

## 2 地质背景

峨眉山火成岩省系指主要在晚二叠世大规模喷发的以峨眉山玄武岩为主体的、广泛分布于扬子地台西缘及邻区的巨量的火成岩套(侯增谦等, 1999),主要包括峨眉山玄武岩系、华力西期镁铁-镁铁层状侵入体及碱性岩类,总体积超过 $50 \times 10^4 \text{ km}^3$ (何斌等, 2003)。世界上大火成岩省的形成多与地幔柱的活动有关,峨眉山火成岩省的形成是否与地幔柱有关引起了众多专家学者的关注,由于缺乏显著的地幔柱作用机制的证据,早期大多倾向于裂谷或裂陷观点(Luo *et al.*, 1990; Thompson *et al.*, 2001)。随着地质学家们的深入研究发现峨眉山玄武岩喷发前扬子西缘快速地壳抬升和隆起导致茅口灰岩存在差异剥蚀,整个剥蚀范围与玄武岩分布区基本一致(He *et al.*, 2003)。此外,峨眉山玄武岩的主要元素、微量元素以及Sr-Nd-Pb同位素特征均显示出幔源区的特点(Song *et al.*, 2008; Xiao *et al.*, 2004; 张招崇等, 2006; 严再飞等, 2006; Liang and Zhou, 2008; Lai *et al.*, 2012),为峨眉山大火成岩省的地幔柱成因提供了有力的证据,也获得了众多学者的支持。作为区域上最大的一次构造-岩浆热事件,除了形成著名的Fe-Ti-V(PGE)矿床外,还发现有铜矿、铜镍矿、铌钽矿、铅锌矿、金矿等众多具有重要价值的矿床(刘家铎等, 2003; 张成江等, 2009, 廖震文, 2010)。宋谢炎等(2001)通过对盐源-丽江和攀西地区峨眉山玄武岩的微量元素地球化学特征、地层层序的研究认为峨眉山玄武岩喷发时限大致为259~257Ma,侯增谦等(2006)通过对峨眉大火成岩省内的一套大陆溢流玄武岩进行激光 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法研究认为峨眉山玄武岩喷发于 $258.9 \pm 3.4 \text{ Ma}$ ,其喷发年限小于3Myr, Liu *et al.* (2012)通过对云南地区峨眉山玄武岩的古地磁研究也证实了这一观点。

周公2井和汉6井位于川西南部汉王场-周公山地区(图1),区域上隶属于扬子地台西南缘,为两条断层夹持形成的断垒式背斜构造。通过对四川雅安汉王场-周公山地区

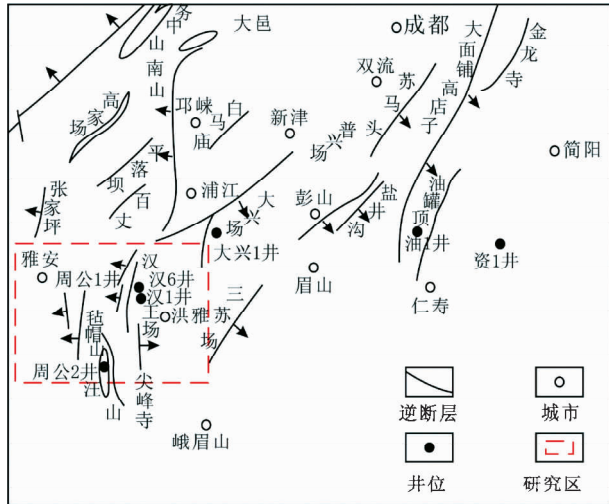


图1 周公山-汉王场地区构造区位图(据冯仁蔚等, 2008b)

Fig. 1 Tectonic location map of Zhongong mountain-Hanwang field (after Feng *et al.*, 2008b)

汉6井(40.1m)和周公2井(90.97m)钻井岩心的仔细观察和描述,结合显微镜下观察认识到区内玄武岩主要有以下岩石类型:隐晶玄武岩,杏仁状玄武岩,凝灰岩,火山角砾岩,凝灰角砾岩,绿帘石岩,赤铁矿染玄武岩,红土化玄武岩和脉岩。王文才等(1982)认为峨眉山玄武岩形成之后,经历了长时间的暴露、风化,形成了一套以红土化玄武岩为主的古风化壳。结合前人研究认为峨眉山玄武岩经历了喷溢-风化-埋藏三个阶段的演化。

峨眉山玄武岩中还发育有成分复杂、类型多样的脉体和杏仁体,这表明在峨眉山形成演化过程中,经历了多期次不同性质流体的改造,这些流体对玄武岩的储集性能有着重要的影响,在很大程度上影响着玄武岩储层的发育,为此,我们对峨眉山玄武岩中流体的类型及活动期次进行了研究,旨在查明流体的形成演化与储层发育的联系,明确峨眉山玄武岩储层发育控制因素。

### 3 样品采集及分析方法

本次实验样品全部取自周公2井和汉6井钻井岩心,所有样品均根据钻井数据进行了深度归位(图2),保证了样品的真实性和代表性。玄武岩的矿物学、岩石学的研究系采用岩石地球化学和偏光显微镜鉴定相结合的手段,岩石地球化学相关数据的测试由国土资源部成都地质调查中心实验室完成,岩石学研究所使用的偏光显微镜为 Nikon ECLIPSE LV00POL,各类脉体内包裹体的分析由“油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学)”采用英国 Linkam 公司设计制造的 THMS-600 型冷热台进行包裹体岩相学及冷冻均一法测温研究,温度范围 -196 ~ 600℃。用作 C、O 同位

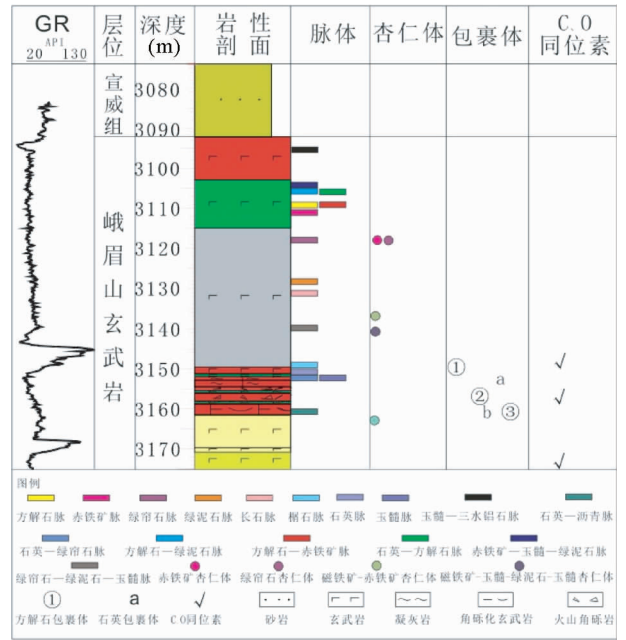


图2 周公2井样品分布图

Fig. 2 Zhongong 2 well sample distribution

素测试的样品系在用分析级乙醇洗涤烘干之后,用玛瑙研钵磨至过200目筛,然后将粉末样品与100%的磷酸反应提取CO<sub>2</sub>供质谱测量,测试工作由四川省石油管理局分析测试中心完成,测试仪器为MAT-252型质谱仪,实验温度为22℃、湿度为50%,所得数值的千分差以PDB标准计算,分析精度优于0.2‰。

### 4 杏仁体特征

杏仁体是流体在杏仁孔中活动、聚集进而结晶形成的各种矿物。周公2井和汉6井峨眉山玄武岩中见到数个杏仁体玄武岩层段,杏仁体大小不等、且形状各异,但多数被全充填或者半充填,极少见未被充填的剩余杏仁孔。按成分进行划分,杏仁体有以下几种类型:赤铁矿杏仁体(图版I-1)、绿帘石杏仁体(图版I-2)、石英-绿泥石杏仁体(图版I-3)、蛋白石-赤铁矿杏仁体(图版I-4)、磁铁矿-赤铁矿杏仁体(图版I-5)、榍石-玉髓杏仁体(图版I-6)、绿帘石-葡萄石-绿帘石杏仁体(图版I-7)、钛铁矿-玉髓-绿泥石-玉髓杏仁体(图版I-8)。从多成分杏仁体可以看出(表1),流体的活动具有多期次、多成分的特点。

### 5 脉体特征

脉体是流体作用于玄武岩中的构造缝、冷凝收缩缝、柱状节理缝、溶蚀缝的产物。汉王场-周公山地区峨眉山玄武岩中的脉体具有成分复杂、类型多样、多期次充填的特点,根

表1 周公山-汉王场地区周公2井、汉6井峨眉山玄武岩杏仁体特征

Table 1 Characteristics of the Emeishan basalt in the amygdala of Zhougong 2 well and Han 6 well in Zhougong mountain-Hanwang field

杏仁体类型	特征
赤铁矿杏仁体	杏仁体近于圆形,气孔被杏仁体完全充填,赤铁矿对孔壁有交代现象
绿帘石杏仁体	杏仁体形状不规则,且嵌有微晶长石
石英-绿泥石杏仁体	石英以粒状镶嵌于气孔壁上,随后在气孔内充填了大量的绿泥石,绿泥石含量超过90%
蛋白石-赤铁矿杏仁体	蛋白石呈“弯月”状对气孔进行充填;后期赤铁矿呈“扇状”对气孔进行了完全的充填;具基底构造
磁铁矿-赤铁矿杏仁体	同心圆环状,磁铁矿为“蛋清”,将“蛋黄”赤铁矿包围于其中
榍石-玉髓杏仁体	榍石贴气孔壁形成了一个等厚环边将玉髓包于其中
绿帘石-葡萄石-绿泥石杏仁体	相互间没有明显的界限,同一期流体化学分异作用的产物
钛铁矿-玉髓-绿泥石-玉髓杏仁体	各矿物结晶的先后顺序易于识别,钛磁铁矿贴于气孔壁边缘,而后沉淀了第一期的玉髓,绿泥石流体进入气孔,形成了一个近于圆状的夹层,最后玉髓进行完全充填

表2 周公山-汉王场地区周公2井、汉6井峨眉山玄武岩脉体特征

Table 2 Characteristics of the Emeishan basalt veins of Zhougong 2 well and Han 6 well in Zhougong mountain-Hanwang field

脉体类型	特征	成因探讨
长石脉	长石脉发育在灰黑色玄武岩中,形成于较早时期,长石颗粒晶型完整,自形程度高,在显微镜下清晰可辨。与基体之间界限清楚,脉体的宽度不一,在部分晶体间存在溶蚀现象	化学结晶
赤铁矿脉	赤铁矿脉在致密隐晶玄武岩和红土化玄武岩中均有发现,在单偏光下观察呈暗红色,有混染现象,与基体界线较模糊,在反光条件下观察呈可见细小赤铁矿颗粒	大气淡水将玄武岩中的 $Fe^{2+}$ 氧化成 $Fe^{3+}$ ,并在缝隙中富集而形成
石英脉	组成脉体的石英颗粒大小不一,颗粒表面洁净,脉体与基体之间界线清晰可见偶夹黄绿色的绿帘石颗粒	化学结晶
绿帘石脉	绿帘石脉发育在具间粒结构的隐晶玄武岩中,脉体与基体边界清晰,由于富Fe绿帘石干涉色异常,粒状,晶体呈自形-半自形	与热液作用有关(相当于中温热液阶段)
绿泥石脉	绿泥石脉体的边缘可见赤铁矿衬垫	热水的分异作用形成
榍石脉	脉体与基体之间混染作用较强,边界不清,局部有蚀变扩大现象	化学结晶 蚀变作用
方解石脉	脉体与基体之间有混染现象,边界不清	大气淡水淋滤作用
玉髓-水铝英石脉	呈纤状,负突起脉体之间呈现明显的分期次充填特征;第一期为粒状玉髓,仅对裂缝的边缘进行了充填,水铝英石在第一期末充填的空间里进行结晶,形成第二期的充填	低温低压的风化环境中
方解石-赤铁矿脉	两种脉体并无穿切关系,且两种脉体之间存在一条分割线,仅在局部存在交代现象,同时期产物	化学分异作用
方解石-绿泥石脉	早期方解石脉体充填以后,后期流体进入对方解石脉进行溶蚀,可见部分溶蚀残余,绿泥石脉体呈插入状进行二次充填	化学分异
石英-方解石脉	脉体与基体之间边界规则,近于直线状方解石颗粒呈嵌入状存在于石英脉体中	化学分异
石英-绿帘石脉	绿帘石颗粒以斑状集合体的形式分布于石英颗粒之间,脉体与基体之间发生了浸染作用,脉体呈三角状插入基体中	化学分异
石英-沥青脉	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存有原杏仁体的成分	石英:化学结晶 沥青:后期充填
赤铁矿-玉髓-绿泥石脉	第一期为赤铁矿衬底,第二期的玉髓颗粒垂直于赤铁矿边缘生长,经过这两期的充填,部分地方已经被完全充填,另外一部分地方呈半充填状态,这些地方在随后被第三期绿泥石所充填	化学分异
绿帘石-绿泥石-玉髓脉	呈“段式”发育,与基体浸染,且有交代基体的现象。这种分段结晶的脉体,石英脉体和绿泥石脉体段成分均有混杂,绿帘石脉体段成分较纯,脉体形成的先后难以确定	化学分异

据显微镜下观察,识别出以下成分脉体(表2):长石脉(图版 II-1)、赤铁矿脉(图版 II-2)、石英脉(图版 II-3)、绿帘石脉(图版 II-4)、绿泥石脉(图版 II-5)、楣石脉(图版 II-6)、方解石脉(图版 II-7)、玉髓-水铝英石脉(图版 II-8)、方解石-赤铁矿脉(图版 II-9)、方解石-绿泥石脉(图版 II-10)、石英-方解石脉(图版 II-11)、石英-绿帘石脉(图版 II-12)、石英-沥青脉(图版 II-13)、赤铁矿-玉髓-绿泥石脉(图版 II-14)、绿帘石-绿泥石-玉髓脉(图版 II-15)。

这些脉体不仅在矿物成分上有所差别,其形成的环境也是具有其特殊性的,赤铁矿脉形成于氧化环境,水铝英石脉形成于长时间的风化和大气淡水淋滤环境,而绿帘石脉则是形成于热液环境当中,由此认为,这些脉体发育的时间是有差别的。

## 6 流体包裹体

利用流体包裹体研究流体活动的类型、期次和演化史已成为一种有效的手段在沉积岩中已被广泛应用(刘德汉,1995)。近年来,通过对火山岩中流体包裹体来研究岩石的形成和演化(Zhu and Yang, 2006; Cesare *et al.*, 2007; Jean-Baptiste *et al.*, 2009; Ruzié *et al.*, 2012)、油气地质条件(D'Alessandro *et al.*, 2008)以及脉体形成的温压条件(Ertan and Leeman, 1999)已成为一种成熟的手段被广泛运用。峨眉山玄武岩中流体类型多样,流体的活动时间、流体的温度及来源均具有明显的差别,这些脉体中的包裹体能直接反应这些差异性。

包裹体样品取自汉王场-公山地区周公2井和汉6井峨眉山玄武岩中,共获得8个样品,其中方解石脉中4个,石英脉中4个,共检测出54个包裹体。包裹体分布不均,多呈星散状成群分布,少数呈星散状分布,部分沿微裂隙呈线状分布。形态多为菱形、矩形、椭圆形、三角形,少数为不规则状(图3)。包裹体大小不等,为3~45 $\mu\text{m}$ ,主要集中在6~15 $\mu\text{m}$ 之间;在室温下多数为气液包裹体,见有气液烃包裹体和沥青包裹体。

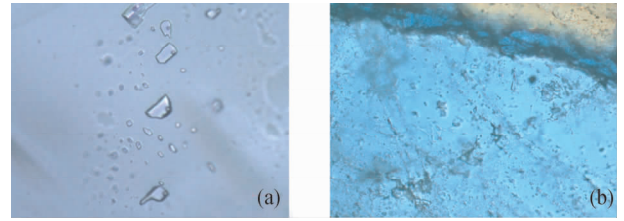


图3 方解石(a)和石英(b)包裹体

Fig.3 Calcite (a) and quartz (b) inclusions

对包裹体的均一温度分析发现(图4a),包裹体均一温度区间在100~83.8 $^{\circ}\text{C}$ 之间,平均值为125 $^{\circ}\text{C}$ ,充填度2%~10%,均一温度集中于110~130 $^{\circ}\text{C}$ 和140~200 $^{\circ}\text{C}$ 两个区间内,以前者为主。

包裹体中盐度为9.07%~24% NaCleqv,平均值为16.44% NaCleqv,主要分布于9%~13% NaCleqv和19%~23% NaCleqv两个区间(图4b),与前人对滇黔交界地区峨眉山玄武岩铜矿中的石英包裹体的测试结果8%~22% NaCleqv非常接近(李厚民等,2011),证实了流体的来源与深部卤水有关。

包裹体均一温度-盐度相关关系可分为两类:一类是正相关型(图5B,C),随温度的升高,盐度也增高;另一类是负相关型(图5A,D),温度越高盐度反而越低。高温高盐度包裹体形成于岩浆喷发期(间歇期),原始流体的温度、盐度均较高,由于间歇期有大气降水的进入,导致流体的温度、盐度有所降低;低温低盐度包裹体形成于火山停止喷发后的风化暴露期,流体以大气淡水为主,呈低温低盐度;高盐度低温及低盐度高温包裹体形成于被上覆地层覆盖以后,流体来源于深部地层水和盆地卤水,流体进入玄武岩后与玄武岩发生了水岩交换作用。

## 7 C、O 同位素

利用碳氧同位素组成来判别方解石的形成环境已日渐被大家所利用,并作为一种行之有效的方法应用在火山岩、

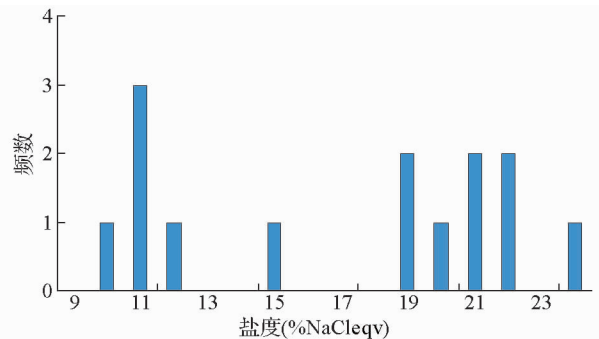
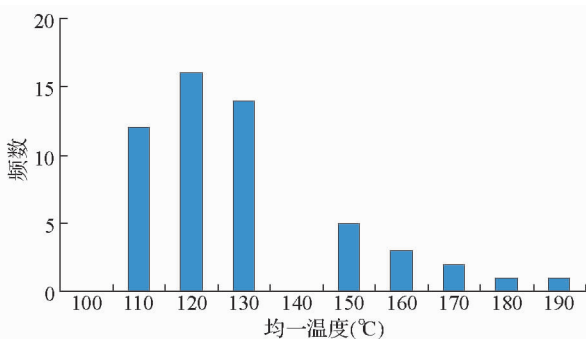


图4 包裹体均一温度分布直方图(a)和盐度分布直方图(b)

Fig.4 Inclusions uniform temperature distribution histogram (a) and salinity distribution histogram (b)



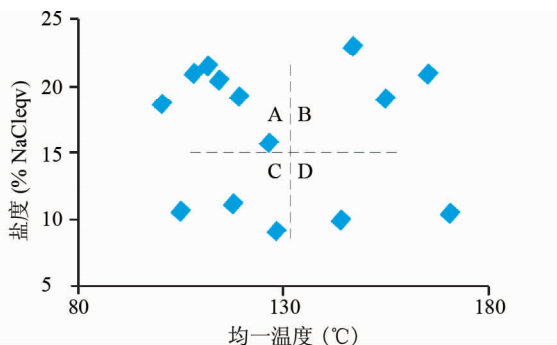


图5 包裹体均一温度-盐度相关图

Fig. 5 Inclusions temperature uniformity salinity related figure

表3 周公山-汉王场地区峨眉山玄武岩方解石脉碳、氧同位素特征

Table 3 Carbon-oxygen isotopic characteristics of Emeishan basalt calcite vein in Zhougong mountain-Hanwang field

$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	-18.14	-16.37	-16.66	-16.94	-4.76	-4.31	-11.88
$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	-7.24	-8.2	-9.48	-7.63	-8.2	-10.76	-12.42

沉积岩中。一般认为,有机质来源  $\delta^{13}\text{C}$  是高负值;淡水沉积的碳酸盐矿物  $\delta^{13}\text{C}$  为低-中负值;海水沉积的碳酸盐矿物  $\delta^{13}\text{C}$  为 0 左右。

为了查明汉王场-周公山地区峨眉山玄武岩中的流体类型,我们对周公2井和汉6井方解石脉体进行了C、O同位素测试,对获取数据分析发现(表3),样品  $\delta^{13}\text{C}$  值主要集中在  $-4\text{‰} \sim -5\text{‰}$  和  $-15\text{‰} \sim -20\text{‰}$  两个范围内,表明形成方解石脉的C可能来源于淡水及有机质。李厚民(2009)对滇黔交界地区峨眉山玄武岩铜矿方解石脉中的C、O同位素进行测试,方解石  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  为  $-13.5\text{‰} \sim -18.4\text{‰}$ ,并结合包裹体均一温度和盐度分析认为成矿流体有盆地卤水、大气降水和有机流体等三种不同来源的流体。综合分析认为,汉王场-周公山地区峨眉山玄武岩中的流体来源于大气降水、盆地卤水和有机流体。

## 8 讨论与结论

(1)汉王场-周公山地区峨眉山玄武岩有:隐晶玄武岩、杏仁状玄武岩,凝灰岩,火山角砾岩,凝灰角砾岩,绿帘石岩,赤铁矿染玄武岩,红土化玄武岩和脉岩等九种岩石类型。其中发育的杏仁体成分有:赤铁矿杏仁体、绿帘石杏仁体、石英-绿泥石杏仁体、蛋白石-赤铁矿杏仁体、磁铁矿-赤铁矿杏仁体、榍石-玉髓杏仁体、绿帘石-葡萄石-绿泥石杏仁体、钛铁矿-玉髓-绿泥石-玉髓杏仁体等8种,脉体成分有:长石脉、赤铁矿脉、石英脉、绿帘石脉、绿泥石、榍石脉、方解石脉、玉髓-水铝英石脉、方解石-赤铁矿脉、方解石-绿泥石脉、石英-方解

石脉、石英-绿帘石脉、石英-沥青脉、赤铁矿-玉髓-绿泥石脉、绿帘石-绿泥石-玉髓脉等15种。这些杏仁体和脉体形成于玄武岩形成和演化的不同阶段,其对玄武岩的储集性能的影响大相径庭。

(2)在岩浆喷溢到冷凝结晶的过程中,流体来源于岩浆原始组分(石英、长石等),有间歇的大气降水参与,流体属中-低温,脉体中发育高温、高盐度包裹体,以赤铁矿脉(杏仁体)最为典型;火山停止喷溢以后,经历了长时间的暴露和风化,流体来源于大气淡水,这一时期的脉体和杏仁体均为氧化作用和水解作用的产物, $\delta^{13}\text{C}$ 为低-中负值,包裹体盐度、温度低,以水铝英石脉最为典型;进入埋藏期以后,上覆地层水和深部的卤水对岩石进行改造,浅埋时流体盐度高,而温度低,随着埋深的增加,流体温度也随之增加,这一时期邻近烃源岩层有机质已成熟,并进入玄武岩中, $\delta^{13}\text{C}$ 呈高负值,以石英-沥青脉和绿帘石脉最为典型。

(3)不同阶段的流体对峨眉山玄武岩储集性能的改造是不同的:玄武岩喷溢期,流体在进入岩石孔(空)隙以脉体和杏仁体的形式进行充填,玄武岩的物性条件变差;进入风化期以后,受大气淡水的改造,最直接的产物便是位于玄武岩顶部的风化壳,产生了大量的溶蚀孔隙和粘土矿物间的微孔隙,在很大程度上改善了岩石的储集性;埋藏期的流体在对剩余空间进行充填的同时,对先成脉体也进行了改造,在充填孔、缝的同时,也形成了一些以晶间孔、溶蚀孔为主的储集空间,总体而言,对岩石的储集性能影响不大。

## References

- Ali JR, Lo CH, Thompson GM and Song XY. 2004. Emeishan basalt Ar-Ar overprint ages define several tectonic events that affected the western Yangtze platform in the Mesozoic and Cenozoic. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(2): 163-178
- Boven A, Pasteels P, Punzalan LE, Liu J, Luo X, Zhang W, Guo Z and Hertogen J. 2002.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological constraints on the age and evolution of the Permo-Triassic Emeishan Volcanic Province, Southwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(2): 157-175
- Cai DM, Sun LD, Qi JS, Dong JH and Zhu YK. 2010. Reservoir characteristics and evolution of volcanic rocks in Xujiaweizi fault depression. *Acta Petrologica Sinica*, 31(3): 400-408 (in Chinese with English abstract)
- Cesare B, Maineri C, Toaldo AB, Pedron D and Vigil AA. 2007. Immiscibility between carbonic fluids and granitic melts during crustal anatexis: A fluid and melt inclusion study in the enclaves of the Neogene Volcanic Province of SE Spain. *Chemical Geology*, 237(3-4): 433-449
- Courtilot V, Jaupart C, Manighetti I, Tapponnier P and Besse J. 1999. On causal links between flood basalts and continental breakup. *Earth and Planetary Science Letters*, 166(3-4): 177-195
- D'Alessandro W, Brusca L, Kyriakopoulos K, Michas G and Papadakis G. 2008. Methana, the westernmost active volcanic system of the south Aegean arc (Greece): Insight from fluids geochemistry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178(1): 818-828
- Ertan IE and Leeman WP. 1999. Fluid inclusions in mantle and lower crustal xenoliths from the Simcoe volcanic field, Washington. *Chemical Geology*, 154(1-4): 83-95

- Feng RW, Wang XZ, Zhang F and Pang YJ. 2008a. Influence of diagenesis of Lower Permian carbonate on reservoir performance in Zhongongshan and the near districts in the Southwest Sichuan. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 23(3): 223–229 (in Chinese with English abstract)
- Feng RW, Wang XZ, Zhang F, Yang YM, Li YG, Pang YJ and Zhang RX. 2008b. The study on reservoir property and characteristics of the Emeishan basalts of Zhongongshan and its neighbour area in the Southwest Sichuan. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(6): 912–924 (in Chinese with English abstract)
- Hao YL, Zhang ZC, Wang FS and Mahoney JJ. 2004. Petrogenesis of high-Ti and low-Ti basalts from the Emeishan Large Igneous Province. *Geological Review*, 50(6): 587–592 (in Chinese with English abstract)
- He B, Xu YG, Chung SL, Xiao L and Wang YM. 2003. Sedimentary evidence for a rapid, kilometer-scale crustal doming prior to the eruption of the Emeishan flood basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 213(3–4): 391–405
- He B, Xu YG, Xiao L, Wang KM and Sha SL. 2003. Generation and spatial distribution of the Emeishan Large Igneous Province: New evidence from stratigraphic records. *Acta Geologica Sinica*, 77(2): 194–202 (in Chinese with English abstract)
- He B, Xu YG, Zhong YT and Guan JP. 2010a. The Guadalupian-Lopingian boundary mudstones at Chaotian (SW China) are clastic rocks rather than acidic tuffs: Implication for a temporal coincidence between the end-Guadalupian mass extinction and the Emeishan volcanism. *Lithos*, 119(1–2): 10–19
- He Q, Xiao L, Balta B, Gao R and Chen JY. 2010b. Variety and complexity of the Late-Permian Emeishan basalts: Reappraisal of plume-lithosphere interaction processes. *Lithos*, 119(1–2): 91–107
- Hou MC, Deng M, Zhang BJ, Wang W, Li XH, Wang WK, Pei SQ and Yang Y. 2011. A major Ti-bearing mineral in Emeishan basalts: The occurrence, characters and genesis of sphene. *Acta Petrologica Sinica*, 27(8): 2487–24999 (in Chinese with English abstract)
- Hou QJ. 2011. Main controlling factors of volcanic reservoirs in the southern Songliao Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 32(5): 749–754 (in Chinese with English abstract)
- Hou T, Zhang ZC, Kusky T, Du YS, Liu JL and Zhao ZD. 2011. A reappraisal of the high-Ti and low-Ti classification of basalts and petrogenetic linkage between basalts and mafic-ultramafic intrusions in the Emeishan Large Igneous Province, SW China. *Ore Geology Reviews*, 41(1): 133–143
- Hou ZQ, Lu JR, Wang YL, Xia LX, Li HY and Yang LJ. 1999. Emei Large Igneous Province: Characteristics and origin. *Geological Review*, 45(7): 885–891 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Chen W and Lu JR. 2006.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronological constraints on the age of Emeishan Large Igneous Province of Sichuan Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(8): 1130 (in Chinese)
- Huang KN and Opdyke ND. 1998. Magnetostratigraphic investigations on an Emeishan basalt section in western Guizhou Province, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 163(1–4): 1–14
- Jean-Baptiste P, Allard P, Coutinho R, Ferreira T, Fourré E, Queiroz G and Gaspar JL. 2009. Helium isotopes in hydrothermal volcanic fluids of the Azores archipelago. *Earth and Planetary Science Letters*, 281: 70–80
- Lai SC, Qin JF, Li YF, Li SZ and Santosh M. 2012. Permian high Ti/Y basalts from the eastern part of the Emeishan Large Igneous Province, southwestern China: Petrogenesis and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47: 216–230
- Li HM. 2009. Study on Emeishan basalt copper three kinds of ore-forming fluid. *Acta Mineralogica Sinica*, 29(Suppl. 1): 219–220 (in Chinese)
- Li HM, Mao JW and Zhang CQ. 2011. Geochemistry of fluid inclusions of the basalt copper deposits in adjacent area of northeastern Yunnan and western Guizhou, China. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 33(1): 14–25 (in Chinese with English abstract)
- Liang Q and Zhou MF. 2008. Platinum-group elemental and Sr-Nd-Os isotopic geochemistry of Permian Emeishan flood basalts in Guizhou Province, SW China. *Chemical Geology*, 248(1–2): 83–103
- Liao ZW. 2010. Comparison of geological characteristics of the copper and gold deposits related to Emeishan basalt in the borders area between Yunnan and Guizhou. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(4): 821–827 (in Chinese with English abstract)
- Lin JY. 1987. Rock association and geological character of the emeishan basalts. *Bull. Chengdu Inst. Geol. M. R., Chinese Acad. Geol. Sci.*, 8: 109–122 (in Chinese with English abstract)
- Liu CY and Zhu RX. 2009. Geodynamic significances of the Emeishan Basalts. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 52–69
- Liu CY, Pan YX and Zhu RX. 2012. New paleomagnetic investigations of the Emeishan basalts in NE Yunnan, southwestern China: Constraints on eruption history. *Journal of Asian Earth Sciences*, 52: 88–97
- Liu DH. 1995. Fluid inclusion studies: An effective means for basin fluid investigation. *Earth Science Frontiers*, 2(3–4): 149–153 (in Chinese with English abstract)
- Liu JD, Zhang CJ, Liu XF, Yang ZX, Li YG and Wu DC. 2003. Discussion about relation between ORE deposits of copper, lead, zinc, gold and silver in contiguous region between Sichuan, Yunnan and Guizhou provinces, and Emei Igneous Province. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 23(4): 74–80 (in Chinese with English abstract)
- Luo ZL, Jin YZ and Zhao XK. 1990. The Emei taphrogenesis of the Upper Yangtze Platform in South China. *Geological Magazine*, 127(5): 393–405
- Luo ZY, Xu YG, He B, Shi YR and Huang XL. 2006. Geochronologic and petrochemical evidence for the genetic link between the Maomaogou nepheline syenites and the Emeishan large igneous province. *Chinese Science Bulletin*, 51(15): 1802–1810 (in Chinese)
- Mathoney JJ and Coffin MF. 1997. Large igneous provinces: Continental, oceanic, and planetary flood volcanism. *AGU Geophysical Monograph Series*, 100: 1–438
- Nie AG, Qin DX, Guan DY, Huang ZY and Zhang ZR. 2007. A research on regional metallogenic contribution to gushing Emeishan basalt magma in western of Guizhou Province. *Geology and Prospecting*, 43(2): 50–54 (in Chinese with English abstract)
- Niu SZ and Pang JL. 1994. Evaluating the Permian basalt reservoir of Zhou-1 well. *Natural Gas Industry*, 14(5): 20–23 (in Chinese with English abstract)
- Ruzié L, Moreira M and Crispi O. 2012. Noble gas isotopes in hydrothermal volcanic fluids of La Soufrière volcano, Guadeloupe, Lesser Antilles arc. *Chemical Geology*, 304–305: 158–165
- Shellnutt JG and Jahn BM. 2011. Origin of Late Permian Emeishan basaltic rocks from the Panxi region (SW China): Implications for the Ti-classification and spatial-compositional distribution of the Emeishan flood basalts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 199(1–2): 85–95
- Song XY, Hou ZQ, Cao ZM, Lu JR, Wang YL, Zhang CJ and Li YG. 2001. Geochemical Characteristics and Period of the Emei Igneous Province. *Acta Geologica Sinica*, 75(4): 488–506 (in Chinese with English abstract)
- Song XY, Hou ZQ, Wang YL, Zhang CJ, Cao ZM and Li YG. 2002. The mantle plume features of Emeishan basalts. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 22(4): 27–32 (in Chinese with English abstract)
- Song XY, Qi HW, Robinson PT, Zhou MF, Cao ZM and Chen LM. 2008. Melting of the subcontinental lithospheric mantle by the Emeishan mantle plume: Evidence from the basal alkaline basalts in Dongchuan, Yunnan, southwestern China. *Lithos*, 100(1–4): 93–111
- Thompson GM, Ali JR, Song XY and Jolley DW. 2001. Emeishan basalts, SW China: Reappraisal of the formation's type area stratigraphy and a discussion of its significance as a large igneous province. *Journal of the Geological Society*, 158(4): 593–599

- Wang RC, Xu HM, Shao Y, Li L and Wei LY. 2008. Reservoir characteristics of Carboniferous volcanic rocks in Ludong area of Junggar Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 350–355 (in Chinese with English abstract)
- Wang YL, Zhang WL and He WT. 1994. Estimation on primary magma compositions of igneous rock series petrogenetically associated with fractional crystallization by approach of element abundance relationships. *Earth Science*, 19(2): 235–241 (in Chinese with English abstract)
- Wang ZY, Li XH, Wen WC, Liu JY and Liu AY. 1982. Ancient weathering crust of the top of Emei mountain basalt in Emei Lngmengdong areas, Sichuan. *Journal of Mineralogy and Petrology*, (3): 56–64 (in Chinese with English abstract)
- Wignall PB. 2001. Large igneous provinces and mass extinctions. *Earth-Science Reviews*, 53(1–2): 1–33
- Xiao L, Xu YG, Mei HJ, Zheng YF, He B and Franco P. 2004. Distinct mantle sources of low-Ti and high-Ti basalts from the western Emeishan large igneous province, SW China: Implications for plume–lithosphere interaction. *Earth and Planetary Science Letters*, 228(3–4): 525–546
- Yan ZF, Huang ZL, Xu C, Wen CQ and Zhang ZL. 2006. Geochemical feature of Emeishan basalts from Ertan area. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 26(3): 77–84 (in Chinese with English abstract)
- Yang Y, Zhang BJ, Jang DS, Pei SQ and Zhou ZY. 2010. A preliminary study on hydrocarbon pooling patterns of the Upper Permian Emeishan basalts in southwestern Sichuan Basin. *Natural Gas Industry*, 30(5): 46–49 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CJ, Liu JD, Liu XF, Li YG and Yang ZX. 2009. Metallization systems in the Panzihua-Xichang area of Sichuan, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 36(4): 387–408 (in Chinese with English abstract)
- Zhang M, O'Reilly SY, Wang KL, Hronsky J and Griffin WL. 2008. Flood basalts and metallogeny: The lithospheric mantle connection. *Earth-Science Reviews*, 86(1–4): 145–174
- Zhang RX, Wang XZ, Lan DQ and Kang BP. 2006. Reservoir evaluation of Emeishan basalts in southwest Sichuan. *Natural Gas Exploration and Development*, 29(1): 17–20 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZC, Wang FS, Fan WM, Deng HL, Xu YG, Xu JF and Wang YJ. 2001. A discussion on some problems concerning the study of the Emeishan basalts. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 239–246 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZC, Mahoney JJ, Wang FS, Zhao L, Ai Y and Yang TZ. 2006. Geochemistry of picritic and associated basalt flows of the western Emeishan flood basalt province, China: Evidence for a plume-head origin. *Acta Petrologica Sinica*, 22(6): 1538–1552 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZW, Cheng ZD, Zhu BQ, Zhang Q, Zhu XQ and Hu YG. 2004. The relationship between the horizon of the Emeishan basalt formation and copper mineralization. *Acta Geoscientia Sinica*, 25(5): 503–508 (in Chinese with English abstract)
- Zhu KG and Yang JW. 2006. Numerical investigation of the influence of volcanic facies architecture on hydrothermal fluid migration: Example of the Mount Read Volcanics, western Tasmania, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 89(1–3): 474–479
- 王仁冲, 徐怀民, 邵雨, 李林, 魏凌云. 2008. 准噶尔盆地东地区石炭系火山岩储层特征. *石油学报*, 29(3): 350–355
- 汪云亮, 张万林, 何文通. 1994. 丰度关系法估算分离结晶岩浆岩系原始岩浆成分. *地球科学*, 19(2): 235–241
- 王正瑛, 李秀华, 王文才, 刘集银, 刘爱玉. 1982. 峨眉龙门洞地区峨眉山玄武岩顶部古风化壳. *矿物岩石*, (3): 56–64
- 严再飞, 黄智龙, 许成, 温春齐, 张振亮. 2006. 峨眉山二滩玄武岩地球化学特征. *矿物岩石*, 26(3): 77–84
- 侯启军. 2011. 松辽盆地南部火山岩储层主控因素. *石油学报*, 32(5): 749–754
- 侯增谦, 卢纪仁, 汪云亮, 夏林妍, 李红阳, 国连杰. 1999. 峨眉火成岩省: 结构、成因与特色. *地质评论*, 45(7): 885–891
- 侯增谦, 陈文, 卢纪仁. 2006. 四川峨眉山火成岩省259Ma大陆溢流玄武岩喷发事件: 来自激光<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar测年证据. *地质学报*, 80(8): 1130.
- 李厚民. 2009. 峨眉山玄武岩铜矿的三种成矿流体. *矿物学报*, 39(增刊): 219–220
- 李厚民, 毛景文, 张长青. 2011. 滇黔交界地区玄武岩铜矿流体包裹体地球化学特征. *地球科学与环境学报*, 33(1): 14–25
- 廖震文. 2010. 滇黔邻区与峨眉山玄武岩有关的铜矿、金矿地质特征对比. *吉林大学学报(地球科学版)*, 40(4): 821–827
- 林建英. 1987. 峨眉山玄武岩系的岩石组合及其地质特征. *中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊*, 8: 109–122
- 刘德汉. 1995. 包裹体研究——盆地流体追踪的有力工具. *地学前缘*, 2(3–4): 149–153
- 刘家铎, 张成江, 刘显凡, 阳正熙, 李佑国, 吴德超. 2003. 川滇黔相邻区域铜铅锌金银矿床与峨眉火成岩省的关系探讨. *矿物岩石*, 23(4): 74–80
- 罗震宇, 徐义刚, 何斌, 石玉若, 黄小龙. 2006. 论攀西猫猫洞霞石正长岩与峨眉山大火成岩省的成因联系: 年代学和岩石地球化学证据. *科学通报*, 51(15): 1802–1810
- 聂爱国, 秦德先, 管代云, 黄志勇, 张竹如. 2007. 峨眉山玄武岩浆喷发对贵州西部区域成矿贡献研究. *地质与勘探*, 43(2): 50–54
- 牛善政, 庞家黎. 1994. 周1井二叠系玄武岩储层评价. *天然气工业*, 14(5): 20–23
- 宋谢炎, 侯增谦, 曹志敏, 卢纪仁, 汪云亮, 张成江, 李佑国. 2001. 峨眉大火成岩省的岩石地球化学特征及时限. *地质学报*, 75(4): 488–506
- 宋谢炎, 侯增谦, 汪云亮, 张成江, 曹志敏, 李佑国. 2002. 峨眉山玄武岩的地幔热柱成因. *矿物岩石*, 22(4): 27–32
- 王仁冲, 徐怀民, 邵雨, 李林, 魏凌云. 2008. 准噶尔盆地东地区石炭系火山岩储层特征. *石油学报*, 29(3): 350–355
- 汪云亮, 张万林, 何文通. 1994. 丰度关系法估算分离结晶岩浆岩系原始岩浆成分. *地球科学*, 19(2): 235–241
- 王正瑛, 李秀华, 王文才, 刘集银, 刘爱玉. 1982. 峨眉龙门洞地区峨眉山玄武岩顶部古风化壳. *矿物岩石*, (3): 56–64
- 严再飞, 黄智龙, 许成, 温春齐, 张振亮. 2006. 峨眉山二滩玄武岩地球化学特征. *矿物岩石*, 26(3): 77–84

## 附中文参考文献

- 蔡东梅, 孙立东, 奇景顺, 董景海, 朱映康. 2010. 徐家围子断陷火山岩储层特征及演化规律. *石油学报*, 31(3): 400–408
- 冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 庞艳君. 2008a. 川西南周公山及邻区下二叠统碳酸盐岩成岩作用对储集性的影响. *地质找矿论丛*, 23(3): 223–229
- 冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 杨跃明, 李跃刚, 庞艳君, 张若祥. 2008b. 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



杨毅, 张本建, 蒋德生, 裴森奇, 周子琰. 2010. 四川盆地西南部上二叠统峨眉山玄武岩成藏模式初探. 天然气工业, 30(5): 46-49

张成江, 刘家铎, 刘显凡, 李佑国, 阳正熙. 2009. 攀西地区金属成矿系统. 成都理工大学学报(自然科学版), 36(4): 387-408

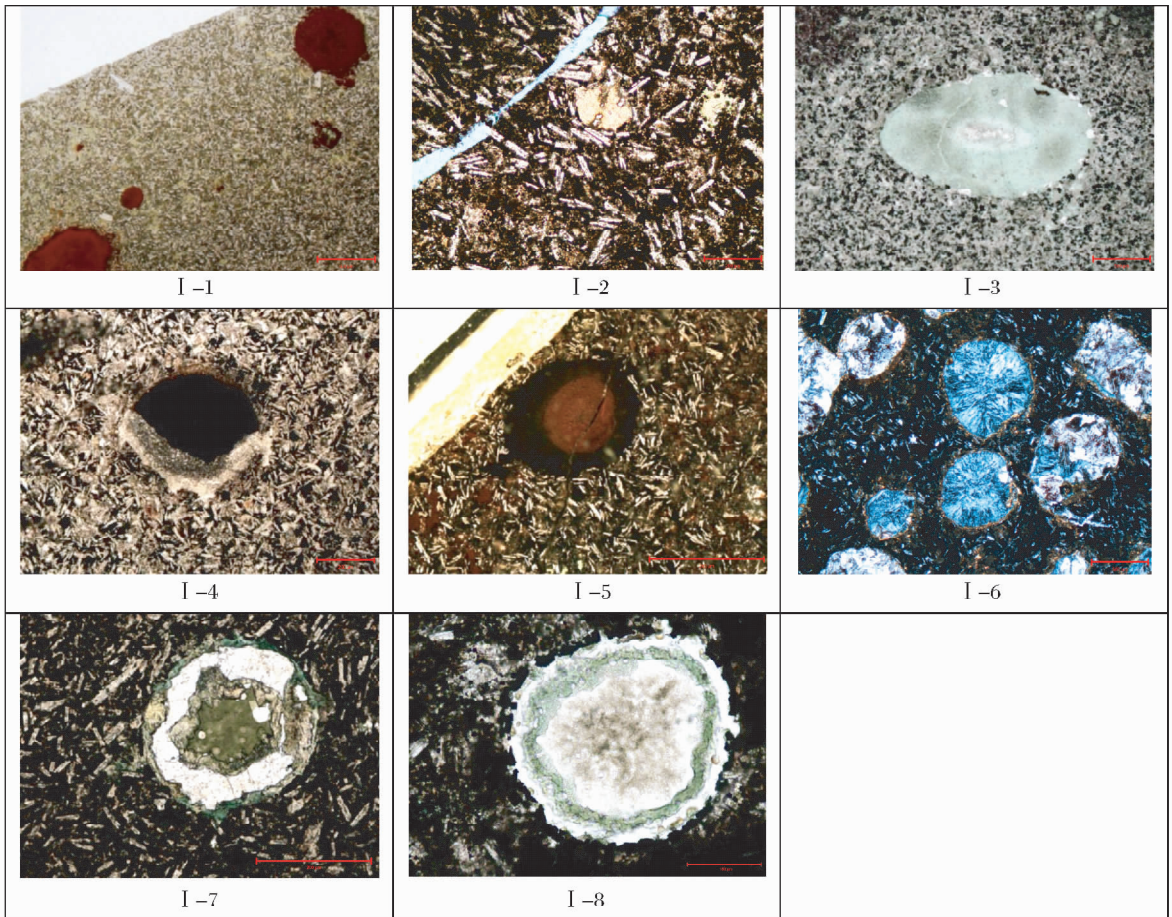
张若祥, 王兴志, 蓝大樵, 康保平. 2006. 川西南地区峨眉山玄武岩储层评价. 天然气勘探与开发, 29(1): 17-20

张招崇, 王福生, 范蔚茗, 邓海琳, 徐义刚, 许继峰, 王岳军. 2001.

峨眉山玄武岩研究中的一些问题的讨论. 岩石矿物学杂志, 20(3): 239-246

张招崇, Mahoney JJ, 王福生, 赵莉, 艾羽, 杨铁铮. 2006. 峨眉山大火成岩省西部苦橄岩及其共生玄武岩的地球化学: 地幔柱头部熔融的证据. 岩石学报, 22(6): 1538-1552

张正伟, 程占东, 朱炳泉, 张乾, 朱笑青, 胡耀国. 2004. 峨眉山玄武岩组铜矿化与层位关系研究. 地球学报, 25(5): 503-508

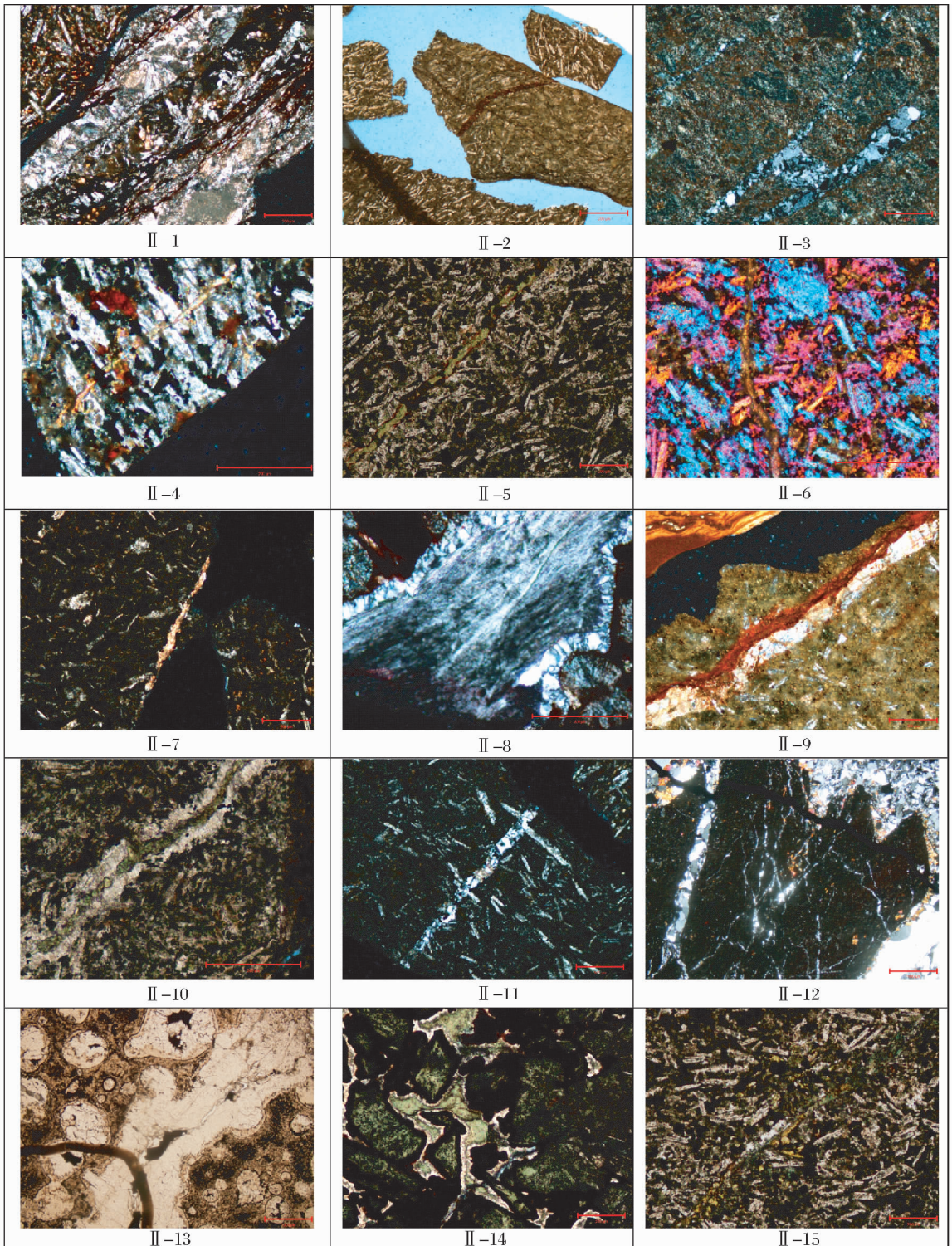


图版 I

I-1 赤铁矿杏仁体, H6 4600 (-, 反光); I-2 绿帘石杏仁体, ZG2 3118m (-); I-3 石英-绿帘石杏仁体, ZG23163.19~3163.94m, (-); I-4 蛋白石-赤铁矿杏仁体, ZG2 3185.64~3185.85m (-); I-5 磁铁矿-赤铁矿杏仁体, ZG2 3137.78~3137.88m (-); I-6 楣石-玉髓杏仁体, ZG2 3232.55~3233.11m (+); I-7 绿帘石-葡萄石-绿帘石杏仁体, ZG2 3138.55~3138.70m (-); I-8 钛铁矿-玉髓-绿帘石-玉髓杏仁体, ZG2 3141.92~3141.99m (-)

Plate I





图版 II

II-1 长石脉,ZG2 3132m (+); II-2 赤铁矿脉,ZG2 3112m (-, 反光); II-3 石英脉,ZG2 3112.40~3112.46m (+); II-4 绿帘石脉,ZG2 3118m (+); II-5 绿泥石脉,ZG2 3140.33~3140.40m (-); II-6 榍石脉,ZG2 3149.32m (+, 石膏); II-7 方解石脉,ZG2 3110m (+); II-8 玉髓-水铝英石脉,3096m (+); II-9 方解石-赤铁矿脉,3110m (+ 反光); II-10 方解石-绿泥石脉,3106m (-); II-11 石英-方解石脉,3106m (-); II-12 石英-绿帘石脉,3122.40~3122.46m (+); II-13 石英-沥青脉,3162.60~3162.69-10m (-); II-14 赤铁矿-玉髓-绿泥石脉,3104m (-); II-15 绿帘石-绿泥石-玉髓脉,3140.33m (-)