

文章编号: 1000-0550(2004)01-0176-07

# 郯庐断裂带中段幔源包体单矿物中的气体释放特征与成因<sup>1</sup>

马锦龙<sup>1,2</sup> 陶明信<sup>1</sup> 叶先仁<sup>1</sup> 张小军<sup>1</sup>

1(中国科学院兰州地质研究所气体地球化学重点实验室 兰州 730000)2(兰州大学资源环境学院 兰州 730000)

**摘要** 地幔流体对探讨地球深部地质作用意义重大。对山东境内幔源包体矿物的分步加热表明其气体的释放有一定的规律性:随温度升高,总释气量逐渐增加,至650~800℃出现释气峰,随后释气量逐渐降低。气体各主要组分的释放特征是:500℃总有CH<sub>4</sub>释气峰;随温度升高,H<sub>2</sub>释放呈增加趋势,而CO<sub>2</sub>呈降低趋势,反映其各自赋存状态的差异和加热过程中可能发生的相互转化作用。根据各温度段气体组成特征,单矿物的释气特征可明显分为三个阶段,它们可能代表了矿物中不同演化阶段的气体。

**关键词** 幔源矿物 分步加热 释气特征 郯庐中段

**第一作者简介** 马锦龙 1971年出生 男 回族 博士 讲师 地球化学

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

地幔流体研究是地学领域的热点之一,对认识地球深部地质作用有重要意义。我国东部地区分布有量含包体的玄武岩,这些幔源超镁铁包体被认为是来自地幔的天然样品,其中常有大量挥发分流体,因而成为认识东部陆下地幔流体的主要研究对象,20世纪80年代以来,已有大量关于东部幔源流体组成特征的研究<sup>[1~13]</sup>。

郯庐断裂带中段又称沂沭断裂带,位于山东中部,其东是胶东台隆,其西是鲁西台背斜。中、新生代以来该区构造岩浆作用活跃,导致新生代玄武岩分布广泛,并有大量幔源包体,是研究郯庐断裂的重要区域。这些火山岩可分为栖霞-蓬莱、临朐-昌乐、沂水-安丘和无棣大山四个分布区,其岩性以碱性玄武岩为主,并含大量包体,包体以尖晶石二辉橄榄岩为主,次有辉石岩、辉橄岩等。目前尚未见山东地区幔源包体流体方面的系统研究工作,国内地幔流体释放特征方面的研究也不多见。笔者通过对栖霞、昌乐地区的实地采样,选取新鲜样品,利用分步加热对幔源包体中单矿物的流体释放特征做了研究。

## 1 样品处理与测试

与全岩比较,单矿物更好地记录了流体演化特征,因而样品处理的第一步是单矿物的挑选和净化。其具体步骤如下:将新鲜包体破碎后选取20~40目、40~

60目样品足量,样品用水洗除去附着碎末以便于挑选,烘干后先在肉眼初步挑选,后在体视镜下逐个细选以保证单矿物纯度。挑出的单矿物颗粒依次通过以下处理:纯净水洗数次(除去附着细末)——5% HCl清洗浸泡12小时(除去次生CaCO<sub>3</sub>)——蒸馏水洗约30分钟——丙酮清洗约30分钟——105℃烘烤12小时以上——密封保存备用。

样品采用石英玻璃管分步加热,首先在200℃恒温加热2小时,同时保持抽真空以彻底排掉吸附气。其后关掉阀门升温,以150℃为间隔,在每一温度点恒温45分钟集气,收集的气体先经过酒精液氮冷阱以除去水分,然后通过抽真空管道输入MAT271分析。分析温度范围为350~1100℃。实验分析误差同文献<sup>[5]</sup>。

## 2 气体释放特征

沂沭地区包体单矿物不同温度段释出气体百分组成、阶段释气量及不同组分释出总量见表1。

由表1可知,随温度升高,沂沭地区幔源矿物具如下释气特征:

### 2.1 释气峰

由包体单矿物的释气特征图(图1)可知,不论橄榄石还是辉石,以650~800℃释放气量最大。随温度升高其释放气量具低-高-低的变化过程,呈单峰释

<sup>1</sup> 国家973项目(编号:G1999043309)和国家自然科学基金项目(批准号:49972081)资助  
收稿日期:2003-03-07 修改稿日期:2003-08-25

表 1 不同温度段释出气体的组成(%)

Table 1 Gas compositions released from mantle-derived separates at different temperatures

样号及产地	岩性	样品	温度/℃	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	μl/g
TL-Q-F-014 栖霞方山	二辉 橄 榄 岩	橄 榄 石	350	15.13	8.17	17.89	0	8.27	0.5	50	0	0	3.31
			500	35.18	10.9	11.14	0	11.7	1.1	30.1	0	0	6.71
			650	37.63	4.24	32.36	1.24	0	0	24.5	0	0	7.44
			800	40.57	1.89	48.3	1.34	0	0	7.88	0	0	11.76
			950	56.26	0.34	41.3	1.09	0	0	1.01	0	0	12.31
			1100	52.3	0	44.43	1.97	0	0	1.27	0	0	10.93
TL-CH-Q-25 昌乐团山子	二辉 橄 榄 岩	橄 榄 石	350	3.44	5.86	24.77	1.42	2.27	0	62.2	0	0	18.24
			500	0.69	10.5	21.58	0	0	0	67.2	0	0	14.05
			650	1.19	3.23	24.86	0	0	0	70.7	0	0	27.76
			800	3.2	2.47	13.03	2.03	0	0	79.3	0	0	20.03
			950	11.54	0.09	30.15	0	0	0	58.2	0	0	7.73
			1100	24.01	0.09	21.25	7.1	0	0	47.6	0	0	6.32
TL-CH-Q-37 昌乐乔山	二辉 橄 榄 岩	橄 榄 石	350	5.02	10.6	14.37	28	0	0	42	0	0	11.28
			500	1.44	10.3	14.01	1.57	2.08	0.1	70.5	0	0	16.92
			650	7.05	4.6	19.04	1.34	0	0	68	0	0	21.03
			800	16.86	2.21	14.6	1.57	0	0	64.8	0	0	24.5
			950	22.21	0.05	34.23	1.95	0	0	41.6	0	0	17.06
			1100	42.74	0.16	31.01	12.4	0	0	13.7	0	0	14.69
TL-CH-B-39 昌乐卧虎山	二辉 橄 榄 岩	橄 榄 石	350	5.08	4.73	38.64	4.39	5.64	0.1	41.4	0	0	10.82
			500	18.11	14.9	16.75	0	3.07	0.4	46.8	0	0	12.61
			650	19.28	7.16	11.7	0	0	0	61.9	0	0	21.06
			800	45.79	1.58	16.6	0.75	0	0	35.3	0	0	33.48
			950	33.16	0.1	37.34	1.42	0	0	28	0	0	18.16
			1100	24.23	0.02	49.45	2.35	0	0	24	0	0	17.96
TL-CH-B-40 昌乐桃花山	二辉 橄 榄 岩	橄 榄 石	350	2.64	35.5	15.62	9.5	4.09	0	32.6	0	0	7.08
			500	1.92	58.7	8.94	0	2.36	0	28.1	0	0	17.37
			650	6.65	39.7	16.81	1.7	0	0	35.2	0	0	16.32
			800	17.01	13.1	36.31	0	0	0	33.6	0	0	23.16
			950	21.19	2.15	42.9	1.53	0	0	32.2	0	0	12.11
			1100	32.47	0.06	31.32	2.13	0	0	34	0	0	7.89
TL-CH-Q-25 昌乐团山子	二辉 橄 榄 岩	橄 榄 石	350	5.01	6.35	25.63	0	2.64	0.2	60.2	0	0	38.98
			500	13.02	7.98	26.21	0	0	0	52.8	0	0	42.11
			650	33.33	1.37	27.75	0.62	0	0	36.9	0	0	84.69
			800	48.62	0.72	40.95	1.56	0	0	8.14	0	0	112.24
			950	32.36	0.02	58.56	2.67	0	0	6.4	0	0	101.2
			1100	59.67	0.01	33.87	2.98	0	0	3.47	0	0	44.56
TL-CH-W-30 昌乐五图	辉 石 岩	辉 石	350	3.23	2.22	24.18	1.16	3.54	0	65.7	0	0	24.51
			500	0.02	2.81	6.78	0	0	0	90.2	0.16	0	28.38
			650	0.34	1.85	7.07	0	0	0	90.5	0.26	0	31.91
			800	1.66	2.42	4.41	1.35	0	0	87.4	2.73	0	24.42
			950	1.05	0.09	2.53	3.2	0	1.8	83.7	7.63	0	11.04
			1100	0.39	0.13	0	5.83	0	16	71.3	6.75	0	12.22
TL-CH-B-40 昌乐桃花山	二辉 橄 榄 岩	辉 石	350	4.27	3.55	21.96	0.93	12.4	0	56.9	0	0	41.97
			500	0.61	4.99	2.78	2.15	1.52	0	88	0	0	44.2
			650	1.24	1.63	0.29	4.97	0	0	91.9	0	0	63.44
			800	3.16	1.06	0	3.88	0	0	91.7	0.2	0	54.64
			950	13	0.09	5.42	5.13	0	0	76	0.44	0	13.82
			1100	58.29	0.32	16.72	0	0	0	20.5	4.25	0	12.98

气。其中橄榄石释气高峰多在 800℃, 个别为 650℃; 辉石释气高峰多为 650℃, 个别在 800℃。

## 2.2 流体主要组分释放特征

由流体主要组分释气特征图(图 2)可以看出, 不

同温度段释出气体组分构成的变化具有一定规律性, 其总体特征是: 几乎所有单矿物在 500℃都有 CH<sub>4</sub> 释气高峰(图 2a), 这个特征已在玄武岩、幔源包体全岩和单矿物的分段加热实验中被多次验证<sup>[4-5]</sup>; 大多数单

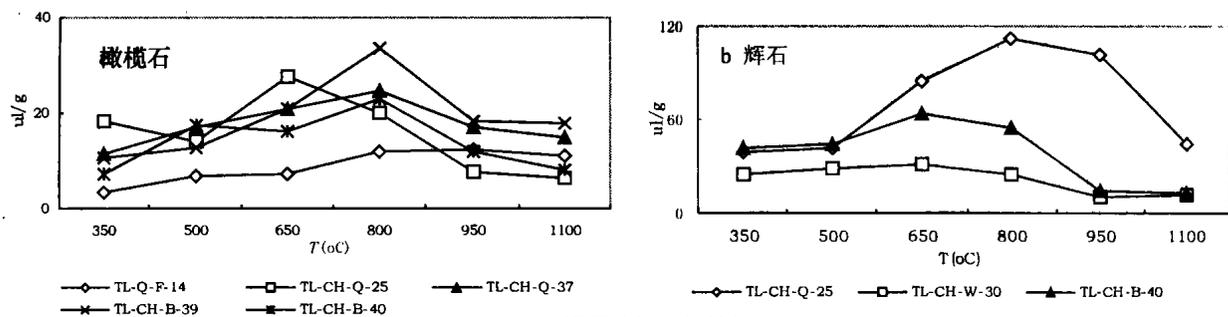
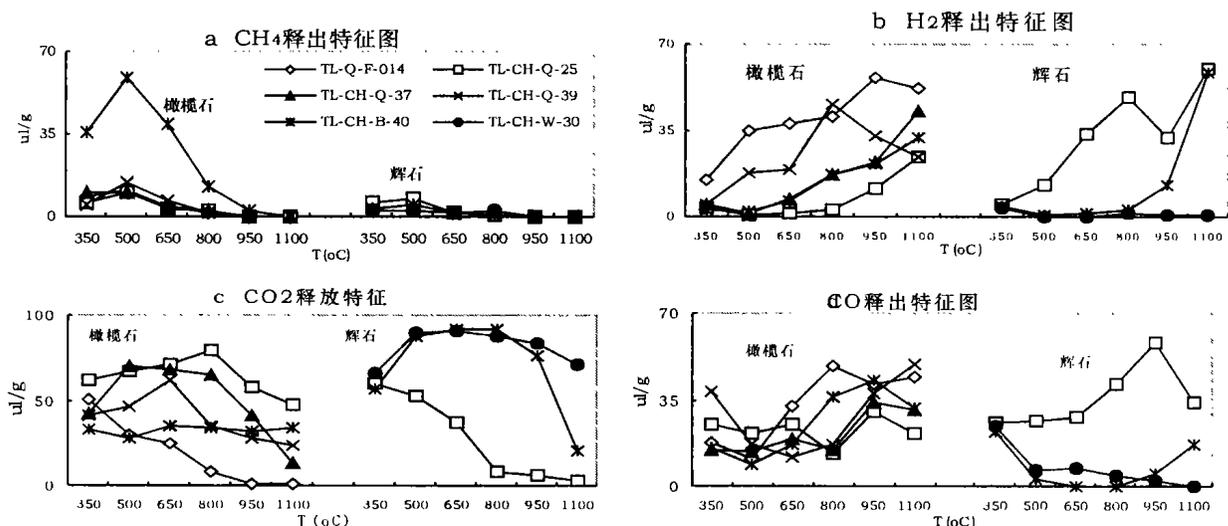


图1 幔源矿物释气特征图

Fig. 1 Degassing characteristics of mantle-derived separates

图2 橄榄石(前)和辉石(后)单矿物CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>释出特征(b、c、d图例符号同a)<sup>1</sup>Fig. 2 Degassing characteristics for CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub>

矿物中H<sub>2</sub>释放量随温度升高而增加(图2b); CO<sub>2</sub>释气的总趋势是随温度升高, 释放量降低(图2c); 不同样品CO释放特征变化复杂, 但多数样品在500~650℃有一释气低谷(图2d)。

### 2.3 流体释放的阶段性和

对不同阶段释放气体特征图的比较表明, 所有样品在不同温度段的气体构成特征并非完全一致, 而有明显差异, 特别是流体主要组分CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>等的变化最为突出。对样品释气特征比较表明, 岩石释气特征都可以大致地归并为三组(图3a-h), 虽然不同样品不相同, 但均可归结为: 低温、中温和高温三组。每组通常由1~3个温度段构成, 同一组内, 各温度段释放气体组成特征极为相似, 而与相邻组各温度段气体组成特征明显不同。

## 3 释气特征讨论

真正认识和研究地幔流体是从Roedder<sup>[14]</sup>开始

的, 目前, 地幔流体及其主导的地幔交代作用的研究已成为地学研究的热点。流体的研究为我们认识地幔组成及其演化提供了途径。

### 3.1 不同温度段释放流体的成因类型

矿物中的流体可分为以下几类: 表面及裂隙吸附气; 包裹体气和矿物晶格或晶格缺陷气。通常情况下, 加热至200℃保持恒温抽真空1小时即可将岩矿表面吸附气完全排掉<sup>[15]</sup>; 矿物晶格或晶格缺陷气的量通常较少, 主要在较高温度或样品融化时放出, 因而依据我们实验所收集的气体当为矿物包裹体气。夏林圪等<sup>[8, 16]</sup>研究表明, 流体包裹体可分为两类: 早期包裹体和晚期包裹体。早期包裹体为纯或近乎纯的CO<sub>2</sub>液相, 晚期包裹体中除CO<sub>2</sub>(57%~60.9mol%)外, 还有H<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等, 这与Roedder<sup>[14]</sup>所提原生及次生包裹体相当。

前人已注意到不同温度段气体组分的差异<sup>[1, 5]</sup>,

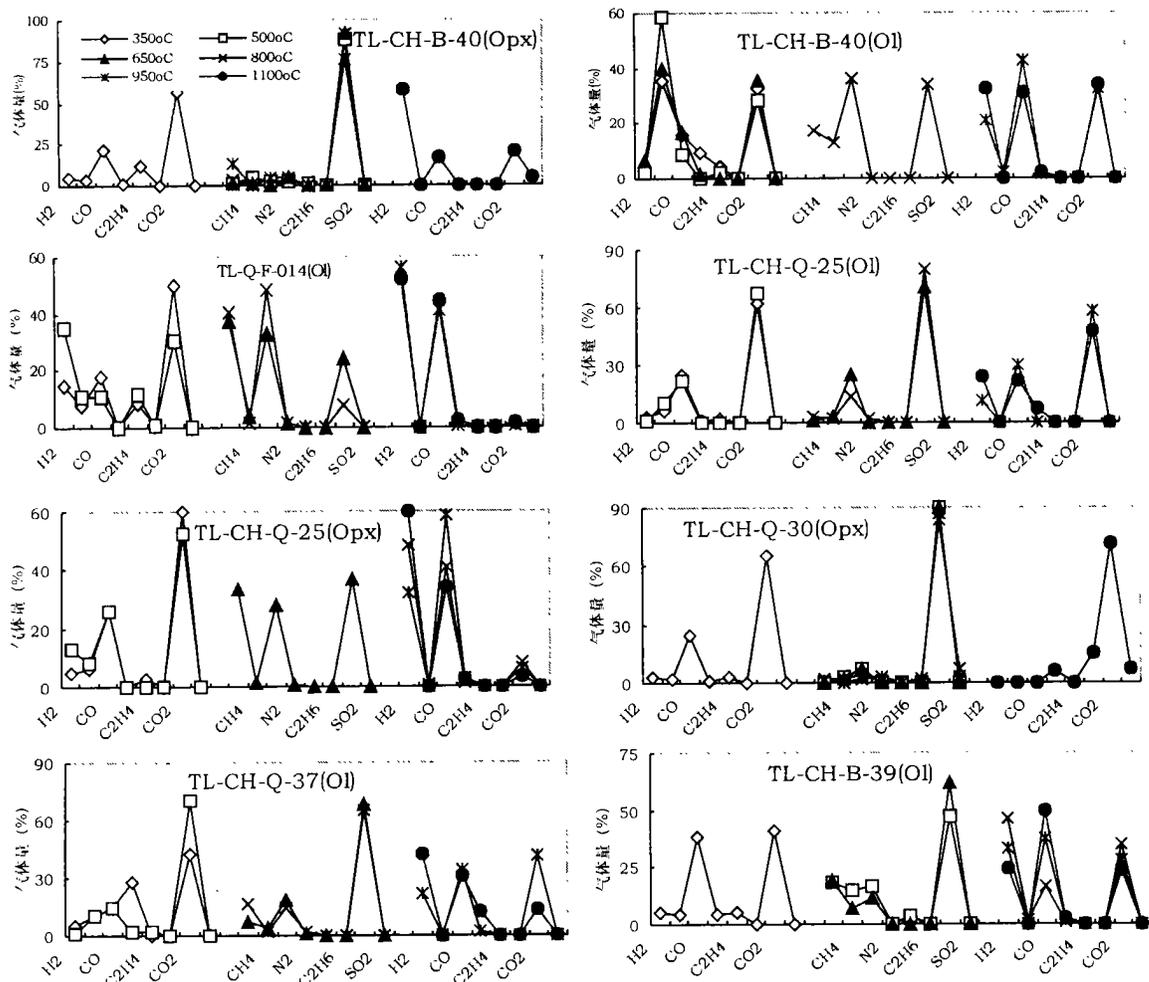


图 3 单矿物不同温度段释放气体组成特征图

图例符号同首图, Ol- 橄榄石, Cpx- 单斜辉石; 图中 X 轴上流体组分依次是 H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 等

Fig. 3 Diagram showing degassing characteristics in different temperature intermissions

并认为导致这种差异的因素较复杂, 但包裹体的类型及其演化过程无疑是起支配地位的。国内外分步加热所得流体包裹体同位素分析表明<sup>[17-21]</sup>, 热爆裂实验中, 800~900℃以前与其后释出 N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 等气体的稳定同位素有明显不同的相对集中范围, 研究者认为高温气主要为原生/早期包裹体气, 低温气主要为次生/晚期包裹体气。这些研究表明, 流体类型与释放温度密切相关。

从本文分步加热释气特征图(图 2)可以看出, 橄榄石和辉石释出气体都可分作低温、中温和高温三组, 橄榄石分段特征相对清晰, 分别为 350~500℃、650~800℃、950~1100℃, 而辉石相对杂乱。但它们释气的共同特征是: 每一分段释放气体组成特征非常一致, 高温与低温段差异更大, 中温多具过渡性质。流体组成上的这种变化主要表现在 H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub> 及 CH<sub>4</sub> 等组分上, 通常在低温段 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 含量较高, H<sub>2</sub>、CO 较低; 而高温段 H<sub>2</sub>、CO 含量较高, CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub> 总量常常很低。分组内各温度段释放气体组成特征非常一致,

表明它们成因上相同或相近; 三个分组中, 高温与低温组差异更大, 中温多具过渡性质。特别值得注意的是, 所有样品 >800℃时气体构成与较低温度明显不同, 与稳定同位素研究<sup>[17-21]</sup> 结果类似, 也与李立武等<sup>[4]</sup> 对单矿物 H<sub>2</sub> 的实验分析结果类同。从这种可对比性可以看出, 岩石释放气体组成特征的变化流体包裹体的类型密切相关。

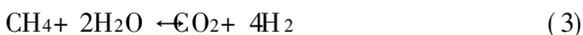
对于不同温度段释放的气体的成因, 有两种不同的认识。基于幔源岩中 CO<sub>2</sub> 的碳同位素, Pineau 等<sup>[19]</sup>、Trull 等<sup>[20]</sup> 和 Nadeau 等<sup>[21]</sup> 认为低温 (<800℃ 或 900℃) 释放的低 δ<sup>13</sup>C 值 (<-20‰) 的气体主要来自矿物粒间或裂隙有机和无机物, 高温 (>1000℃ 或 1200℃) 高 δ<sup>13</sup>C (>-10‰) 者才是包裹体气。同样基于 CO<sub>2</sub> 的碳同位素, 樊祺诚等<sup>[17]</sup> 却在中国东部地幔岩中得到了与前述研究者近乎相反的结果, 低温 (<800℃) 释出气中 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值介于 -16‰~-22‰, 高温 (1100℃) 释出气中 δ<sup>13</sup>C<sub>CO<sub>2</sub></sub> 值介于 -21‰~-29‰, 也

就是说,高温释出气更富有机成因特征,其后的研究<sup>[22]</sup>进一步证实了中国东部地幔的这个特征。这是难以用次生有机混染来解释的。因而研究者认为幔源岩在 200 °C 以后释出的气体都属于包裹体气,其中  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  值的变化反映了地幔演化的不同阶段,这一观点也是国内一些学者<sup>[1,8,16]</sup> 共同持有的。

以上分析表明,通过分析分步加热中释出气体的组成特征的变化,可以有效地判断流体包裹体的类型或成因。就本文矿物流体包裹体而言,950~1100 °C 释出气体主要为原生包裹体气,350~500 °C 主要为次生包裹体气,而 650~800 °C 则可能为原生与次生包裹体混合气。

### 3.2 分步加热中岩石气体释放特征

热爆裂释气被认为是包裹体内压恢复过程,但低压集气时各种流体组分之间可能存在的转化是不可避免的,高温恒温时流体间可能存在着如下的可逆化学反应<sup>[5,23]</sup>:



本文分步加热释出气体的重要特征是:500~600 °C 出现  $\text{CH}_4$  释气高峰,尔后  $\text{CH}_4$  量迅速降低,这种现象在前人工作中都曾出现<sup>[4]</sup>;大多数单矿物中  $\text{H}_2$  释出量随温度升高而增加,同样的结果也有报道<sup>[4,13]</sup>;  $\text{CO}_2$  释气的总趋势是随温度升高,释出量逐渐降低。

$\text{CH}_4$  气释出的前述特征有两种可能:一是反映  $\text{CH}_4$  主要存在于晚期包裹体中,因而低温即已大部释出,高温时释出量自然降低;另一种可能是  $\text{CH}_4$  本身在加热过程中参与某些化学反应所致,这种情况更值得讨论。

Macdonald<sup>[24]</sup> 曾对不同氧逸度( $f_{\text{O}_2}$ )下  $\text{CH}_4$  的稳定性做过讨论,认为即便在高压、低  $f_{\text{O}_2}$  条件下,  $\text{CH}_4$  在温度超过 800 °C 时也会被氧化为  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ ; 而低压、低  $f_{\text{O}_2}$  时  $\text{CH}_4$  稳定温度更低。化学实验也表明<sup>[25]</sup>, 常压下  $\text{CH}_4$  在 800 °C 左右可与  $\text{H}_2\text{O}$  发生反应,在 1000 °C 左右  $\text{CH}_4$  开始分解并产生 C 和  $\text{H}_2$ 。本文样品释气高峰在 650~950 °C, 释出流体组成可能通过反应(3)、(4)对其组成造成影响,这对我们解释 500 °C 后  $\text{CH}_4$  释放量的突减和  $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$  的相对释气高峰期有益。更高温时(>950 °C)  $\text{CO}_2$  释气较少,矿物晶格  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{H}_2$  的释放以及  $\text{CH}_4$  的分解是导致  $\text{CH}_4$  量减少、 $\text{CO} + \text{H}_2$  增加的可能因素。从这个机理我们可以推断,当前以

还原性流体组分为主的包裹体,高温高压下流体可能存在更多  $\text{CH}_4$  等还原性气体。这一机理也是造成热爆裂释出气较激光拉曼法<sup>[7]</sup> 释出气中  $\text{CH}_4$  少、 $\text{H}_2$  多的原因。

但热爆裂法是对包裹体内压的恢复过程<sup>[12]</sup>, 而分步加热可以保证低温释出组分迅速隔离,从而使不同类型流体交叉反应的可能性降低,因而流体组成还是具有较好的成因特征代表性。同时应该指出,分段加热高温释出气及一次性加热释出气中都有  $\text{CH}_4$  存在的事实也表明,加热过程中流体组分的变化程度是有限的。

## 4 结论

① 不论橄榄石还是辉石,均为单峰释气。释气高峰为 650~800 °C。

④ 气体主要组分随温度升高呈现不同规律性,总体特征是:几乎所有单矿物在 500 °C 都有  $\text{CH}_4$  释气高峰;大多数单矿物中  $\text{H}_2$  释出量随温度升高而增加; $\text{CO}_2$  释气的总趋势是随温度升高,释出量降低;不同样品  $\text{CO}$  释出特征变化复杂,但多数样品在 500~650 °C 有一释气低谷。

④ 矿物释气特征可明显地分为三组,这种分组特征可能反映了流体包裹体演化的阶段性。

### 参考文献(References)

- 杜乐天. 地幔岩中自然元素和还原气体. 见:杜乐天等,主编. 地幔流体与软流层(体)地球化学. 北京:科学出版社,1996. 409~435 [Du Letian. Natural elements and reducing-gases in mantle-derived rocks. In: Du Letian, *et al.* ed. *Geochemistry of the mantle fluids and the asthenosphere*. Beijing: Science Press, 1996. 409~435]
- 樊祺诚,刘若新,彭礼贵. 我国东南沿海地区地幔流体性质及其意义. 科学通报, 1992, 37(17): 1584~1587 [Fan Qicheng, Liu Ruoxin and Peng Ligui. Characters and significance of the mantle fluid for the shore of Eastern China. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(17): 1584~1587]
- 樊祺诚,刘若新,杨瑞英. 地幔橄榄岩矿物中富稀土元素的  $\text{CO}_2$  流体包裹体及其地球化学意义. 岩石学报, 1993, 9(4): 411~417 [Fan Qicheng, Liu Ruoxin and Yang Ruiying. LREE-rich  $\text{CO}_2$  fluid in mantle minerals of Eastern China and their geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 1993, 9(4): 411~417]
- 李立武,王先彬,张铭杰. 橄榄石热解氢释放过程的分析. 地球化学, 1998, 27(5): 514~515 [Li Liwu, Wang Xianbin and Zhang Mingjie. Analysis of hydrogen  $\text{H}_2$  released by heating olivine. *Geochimica*, 1998, 27(5): 514~515]
- 刘刚,王先彬,李立武. 张家口大麻坪碱性玄武岩内地幔岩包体气体成分的初步研究. 科学通报, 1996, 41(19): 1775~1777 [Liu Gang, Wang Xianbin and Li liwu. Preliminary study on the xenoliths of mantle-rocks from alkaline basalt of Damaping, Zhangjiakou. *Chinese Sci-*

- ence Bulletin, 1996, 41(19): 1775~ 1777]
- 6 刘若新, 樊祺诚, 彭礼贵, 等. 地幔流体包裹体—地幔部分熔融和化学非均一性的新证据. 见: 刘若新主编. 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社, 1992. 392~ 399 [Liu Ruoxin, Fan Qicheng and Peng Ligui. Mantle fluid inclusion—A new evidence for the partial melt and chemical heterogeneity of the mantle. Liu Ruoxin, ed. Chronology and geochemistry of Cenozoic volcanic rocks, China. Beijing: Seismic Press, 1992. 392~ 399]
  - 7 彭礼贵, 刘若新, 樊祺诚. 中国东南沿海地区地幔岩包体中流体及熔体包裹体研究. 岩石学报, 1994, 10(4): 440~ 448 [Peng Ligui, Liu Ruoxin and Fan Qicheng. Fluid and melt inclusion researches of pyrolyte xenoliths from the shore of south eastern China. Acta Petrologica Sinica, 1994, 10(4): 440~ 448]
  - 8 夏林圻. 我国六合、张家口碱性玄武岩内橄榄岩包体中的高密度二氧化碳流体包裹体. 矿物学报, 1984, 4(2): 133~ 142 [Xia Linqi. High density CO<sub>2</sub> inclusion of olivine xenoliths in alkaline basalt, Zhangjiakou. Acta Mineralogica Sinica, 1984, 4(2): 133~ 142]
  - 9 夏林圻, 徐培苍, 王之海. 岩浆包裹体挥发组分的研究. 地球化学, 1990, (2): 108~ 116 [Xia Linqi, Xu Peicang and Wang Zhihai. Studies of volatiles components in magmatic inclusions. Geochimica, 1990, (2): 108~ 116]
  - 10 杨晓勇, 刘德良, 陶士振. 中国东部典型地幔岩中包裹体成分研究及意义. 石油学报, 1999, 20(1): 19~ 23 [Yang Xiaoyong, Liu Deliang and Tao Shizhen. Compositions and implications of inclusions in the typical mantle rocks from east China. Acta Petrologica Sinica, 1999, 20(1): 19~ 23]
  - 11 张铭杰, 王先彬, 刘刚, 等. 中国东部新生代碱性玄武岩及幔源捕虏体中的流体组成. 地质学报, 1999, 73(2): 162~ 166 [Zhang Mingjie, Wang Xianbin, Liu Gang, et al. The composition of the fluids in alkali basalts and mantle derived xenoliths in eastern China. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(2): 162~ 166]
  - 12 张铭杰, 王先彬, 李立武. 对幔源岩中流体组成的不同测定方法评价. 地质论评, 2000, 46(2): 160~ 166 [Zhang Mingjie, Wang Xianbin, Li Liwu. An appraisal of different experimental methods in the determination of fluid composition in mantle-derived rocks. Geological Review, 2000, 46(2): 160~ 166]
  - 13 张铭杰, 王先彬, 李立武, 等. 幔源矿物中 H<sub>2</sub> 赋存状态的初步研究. 地质学报, 2002, 76(1): 39~ 44 [Zhang Mingjie, Wang Xianbin, Li Liwu, et al. Mode of occurrence of H<sub>2</sub> in mantle-derived minerals. Acta Geologica Sinica, 2002, 76(1): 39~ 44]
  - 14 Roedder E. Liquid CO<sub>2</sub> inclusions in Olivine-bearing nodules and phenocrysts from basalts. America Mineral, 1965, 50: 1746~ 1782
  - 15 Sano Y., Nagao K., Pillingev N P. Carbon and noble gases in Archean Chert. Chemical Geology, 1994, 112: 327~ 342
  - 16 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 地幔橄榄岩捕虏体中的流体包裹体、岩浆包裹体和玻璃. 见: 杜乐天, 等. 地幔流体与软流层(体)地球化学. 北京: 地质出版社, 1996. 230~ 271 [Xia Linqi, Xia Zuchun and Xu Xueyi. Fluid inclusion, magmatic inclusion and glass in the mantle olivine xenoliths. In: Du Letian, et al. eds. Geochemistry of the mantle fluids and the asthenosphere. Beijing: Science Press, 1996. 230~ 271]
  - 17 樊祺诚, 刘若新, 林卓然. 中国东部地幔流体包裹体的碳同位素初步研究. 地球化学, 1996, 25(3): 264~ 268 [Fan Qicheng, Liu Ruoxin, Lin Zhuoran. Preliminary study of carbon isotopes in mantle CO<sub>2</sub> fluid inclusions from eastern China. Geochemistry, 1996, 25(3): 264~ 268]
  - 18 陶士振, 刘德良, 朱文锦, 等. 中国东部幔源气体同位素地球化学. 大地构造与成矿学, 2001, 25(4): 412~ 419 [Tao Shizhen, Liu Deliang, Zhuwenjin, et al. Isotope geochemistry of mantle-derived gas in eastern China. Geotectonic et Metallogenia, 2001, 25(4): 412~ 419]
  - 19 Pineau F, Mathez E A. Carbon isotopes in Xenoliths from the Hualalai Volcano, Hawaii, and the generation of isotopic variability. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54: 217~ 227
  - 20 Trull T, Nadeau S, Pineau F, et al. C-He systematics in hotspot xenoliths: Implications for mantle carbon contents and carbon recycling. Earth Planet Science Letter, 1993, 118: 43~ 64
  - 21 Nadeau S, Pineau F, Javoy M, et al. Carbon concentrations and isotopic ratios in fluid-inclusion-bearing upper mantle xenoliths along the northwestern margin of north America. Chemical Geology, 1990, 81: 271~ 297
  - 22 杨晓勇, 郑永飞, 刘德良, 等. 中国东部橄榄岩包体和榴辉岩中 CO<sub>2</sub> 流体包裹体的碳同位素组成. 岩石学报, 2000, 16(4): 473~ 481 [Yang Xiaoyong, Zhen Yongfei, Liu Deliang, et al. Carbon isotope composition of carbon dioxide in fluid inclusions from peridotite xenoliths and eclogites in eastern China. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16(4): 473~ 481]
  - 23 Giggenbach W F. Geothermal gas equilibria. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1980, 44: 2021~ 2032
  - 24 Macdonald G. The many origins of natural gas. Journal of Petroleum Geology, 1983, 5: 341~ 362
  - 25 张淑民. 基础无机化学(上). 兰州: 兰州大学出版社, 1989. 241 [Zhang Shuming. Basal inorganic chemistry(I). Lanzhou: Lanzhou University Press, 1989. 241]

## Degassing Characters and Its Origins of Mantle Aenoliths of Yishu Fracture Zone

MA Jiu-long<sup>1,2</sup> TAO Ming-xin<sup>1</sup> YE Xia-ren<sup>1</sup> ZHANG Xiao-jun<sup>1</sup>

1( Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000)

2(School of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000)

**Abstract** It is very important to study the mantle fluids for understanding deep geologic processes within the earth. There are following rules for degassing of mantle fluids by step- heating for the mantle xenoliths of Shandong province: ① the degassing characters of primary mantle fluid components are different and they are: the degassing peak value for CH<sub>4</sub> are always at 500 °C, and while more H<sub>2</sub> were degassed with higher temperature as less CO<sub>2</sub> were released; ② three type fluids degassed in different temperature stage, such as 350~ 500 °C, 650~ 800 °C and 950~ 1100 °C, implying different evolving stage fluids, were recognized.

**Key words** mantle-derived minerals, step- heating, characters of degassing, Yishu fracture zone

## 新一届中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会名单

中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会新一届(2003-2008年)委员名单,已经中国矿物岩石地球化学学会理事会审议通过。现通报如下:

主任: 孙 枢

副主任: 刘宝 傅家谟 李任伟 顾家裕 何起祥

秘书: 李 忠

副秘书长(以姓氏笔画为序):

王 剑 林畅松 高 抒 彭平安

委 员(以姓氏笔画为序):

于兴河 王先彬 王多云 王 剑 王清晨 史基安 关 平 许效松  
 孙龙德 孙 枢 刘宝 刘家铎 刘焕杰 李 阳 李任伟 李 忠  
 李思田 李胜祥 何起祥 宋天锐 张开均 张水昌 张昌民 陈中原  
 陈多福 陈洪德 陈景山 邵龙义 罗 平 金振奎 周志澄 周建民  
 林畅松 郑洪波 姜在兴 柳益群 高 抒 秦蕴珊 顾家裕 彭平安  
 傅家谟 薛良清 薛林福

中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会

2003-12-10