

球粒状铁绿纤石(?)的形貌结构特征与成因

张良钜¹, 饶 灿¹, 张昌龙², 阮青锋¹, 雷 威¹, 廖宝丽¹, 何 涛¹

(1. 桂林工学院 资源与环境工程系, 广西 桂林 541004; 2. 桂林矿产地质研究院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 球粒状铁绿纤石(?) 产于云南昭通玄武岩晶洞中, 与其共生的矿物有绿帘石、硅铁灰石、水晶、葡萄石及方解石等矿物。扫描电镜(SEM)下, 该矿物呈扁平长柱状, 沿柱体方向呈不同程度的弯曲, 并绕球粒中的包裹体聚合生长成不同形状的球粒, 聚合生长的方式取决于包裹体在球体中的位置与距离, 越近球粒表面, 越趋于平行排列。水晶的流体包裹体测温及拉曼光谱分析表明, 铁绿纤石(?) 属低温(148 ~ 169℃) 热液产物, 热液的盐度为 11% ~ 12%, 富含 H₂O 及微量 CH₄, 铁绿纤石(?) 的形成可能与有机质(CH₄) 有关。

关键词: 玄武岩晶洞; 铁绿纤石(?); 球粒; 形貌结构; 低温热液; 云南昭通

中图分类号: P578.9; P618.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)01-0045-06

The morphological textural features and genesis of pelletoidal pumpellyite(Fe²⁺)(?)

ZHANG Liang-ju¹, RAO Can¹, ZHANG Chang-long², RUAN Qing-feng¹, LEI Wei¹, LIAO Bao-li¹ and HE Tao¹

(1. Department of Resource and Environment Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. Guilin Institute of Mineral Resources and Geology, Guilin 541004, China)

Abstract: The pelletal grained pumpellyite(Fe²⁺)(?) occurs in basaltic druses of Zhaotong area, Yunnan Province. The associated minerals include epidote, babingtonite, quartz, prehnite, calcite etc. Scanning electron microscopy reveals that pumpellyite(Fe²⁺)(?) is tabular and somewhat bended in the direction of cylinder and forms grains around the inclusions. The growth modes depend on the position of inclusions in grains, and the nearer it is to the surface of grains, the more parallel its arrangement. The fluid inclusion thermography and Raman spectra of quartz indicate that pumpellyite(Fe²⁺)(?) is a product of low temperature hydrothermal activity(148 ~ 169℃), with the salinity being 11% ~ 12% and the ore-forming fluids enriched in H₂O and minor CH₄. In addition, the formation of pumpellyite(Fe²⁺)(?) grains is possibly related to organic material(CH₄).

Key words: basaltic druse; pumpellyite(Fe²⁺)(?); pelletal grain; morphologic texture; low temperature hydrothermal activity; Zhaotong in Yunnan Province

铁绿纤石曾被认为属绿帘石族中的一个矿物种,是绿帘石含铁的端员组分(中国地质科学院地质矿产所,1977;王濮等,1984;许传诗等,1987)。在新的矿物种命名中,铁绿纤石属绿帘石族中的一个矿物种,根据晶体结构八面体配位中阳离子成分的

Fe²⁺、Fe³⁺、Al³⁺、Mg²⁺、Mn²⁺的含量划分出铁绿纤石、高铁绿纤石、镁绿纤石、铝绿纤石、锰绿纤石等6个矿物种(Passaglia *et al.*, 1973; Wise *et al.*, 1990; Jambor, 1992; 何明跃, 2007)。笔者采用X射线粉晶衍射、红外光谱、电子探针波谱分析(EPM)、扫描电

收稿日期: 2008-07-30; 修订日期: 2008-12-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40572026); 广西自然科学基金资助项目(0640177); 广西地质工程中心重点实验室主任资助项目(桂科能0710901-Z01); 广西高校人才小高地“地质资源与地质工程”建设项目(桂教人[2005]80)

作者简介: 张良钜(1949-), 男, 教授, 研究方向: 成因矿物学与宝石学, E-mail: zljggig@yahoo.com.cn.

镜(SEM)的能谱分析(EDS)等分析方法,对产出在云南昭通莲峰峨眉山玄武岩层间滑动(破碎)晶洞中具球粒结构的铁绿纤石(?)进行了多方面的研究。由于样品条件的限制,本文暂时未能对矿物球粒做亚铁(Fe^{2+})、高铁(Fe^{3+})含量的化学分析,目前只能根据球粒的结构成分判断该矿物的定名更接近铁绿纤石,准确的定名有待进一步工作。该矿物的球粒形貌结构与成因的研究至今未见报道,本文即从该角度入手,重点研究球粒的形貌结构及球粒的成因,这对今后该矿物的深入研究有重要意义。

1 地质概况

铁绿纤石产于云南昭通莲峰上二叠统峨眉山玄武岩($\text{P}_3\beta$)的晶洞中,其下为下二叠统(P_2)碳酸盐岩,其上为上二叠统(P_3)的硅质岩夹泥岩、粉砂岩。根据野外和镜下研究,矿区的玄武岩为杏仁斑状玄武岩,斑晶为斜长石与半自形的辉石,基质具典型的交织和间隙、间粒结构,由自形的斜长石搭成的三角架之间被隐晶质、玻璃质、他形粒状辉石、橄榄石充填。在基质中普遍见有板条状铁黑色镜铁矿,其含量可达10%以上(图1a),条状斜长石约占60%,辉石占10%,他形粒状橄榄石占15%。野外玄武岩中普遍见有气孔、杏仁体、晶腺等由火山作用所形成的气孔构造,它们都被后期热液蚀变的绿泥石所充填,杏仁体中的球粒具明显的圈层构造。辉石普遍绿帘石化,橄榄石伊丁石化,基质中的隐晶质、玻璃质也普遍脱玻化或绿泥石化、绿帘石化,板条状镜铁矿普遍遭受溶蚀,部分已氧化成红色赤铁矿,整个岩石铁染(?)较明显。研究表明,矿区的玄武岩应为喷发旋回顶部的表面熔岩,板条状镜铁矿是火山升华作用的产物。

2 玄武岩晶洞中的矿物组合及其特征

云南昭通莲峰上二叠统峨眉山玄武岩中产出的晶洞有两种。第1种是由玄武岩中较大的气孔所形成的晶腺或晶洞。这种晶洞规模较小,一般为10~12 cm见方。第2种晶洞产出在玄武岩的层间滑动的构造裂隙中,洞的形状或延伸基本上与玄武岩的层理一致,层理的产状为 $256^\circ \angle 8 \sim 10^\circ$,晶洞多呈扁圆形,长1.5~1.7 m、宽约0.8~1.1 m。根据野外和镜下研究,第1种晶洞中的矿物组成相对较简单,

主要有绿帘石、淡紫色水晶、玛瑙及葡萄石等。第2种晶洞中的矿物组成相对较复杂,且同种矿物有不同的世代,从晶洞壁至晶洞中心矿物的生成顺序为:绿帘石化玄武岩→黄铜矿→呈粗大的自形板状第一世代硅铁灰石与晶簇状产出的第一世代柱状水晶→绿帘石与墨绿色球粒状铁绿纤石(?)→无色自形板状浅色葡萄石与浅绿色灯笼状葡萄石→细粒亮黑色自形板状第二世代硅铁灰石、透明黄绿色自形尖舌状绿帘石及透明清亮的平卧双锥柱状水晶→球粒状方解石→假立方状方解石(晶洞中心)→绿色孔雀石或蓝铜矿。第一世代水晶为几何对称性较好的柱状水晶,六方柱单形晶面(m)与大、小菱面体单形晶面(R,r)几乎发育相近,晶体内部有较多的雾点状包裹体,致使晶体的透明度较差。双锥柱状水晶晶体,常常平卧生长在灯笼状绿色葡萄石晶体的球面上,水晶晶体的锥状面上由较多的单形晶面组成,致使端面呈圆滑状或R型水晶,并出现有三方双锥单形晶面。墨绿色球粒状铁绿纤石(?)由扁平柱状铁绿纤石(?)单晶体以不同的集合方式堆积而成,常常是多个球粒连生聚合在一起呈团块或层状,其下为绿帘石,其上为葡萄石(图1b、1c)。

3 水晶晶体中的流体包裹体测温与激光拉曼光谱分析

根据矿物组合的特点,挑选与铁绿纤石(?)共生的双锥柱状水晶晶体在南京大学地球科学系内生金属矿床成矿机制国家重点实验室流体包裹体室进行流体包裹体的均一温度及激光拉曼光谱分析测试(表1与图2),结果表明水晶的结晶温度属低温热液成矿温度($148.3 \sim 165.8^\circ\text{C}$),成矿流体的气液比为5%,盐度 $W(\text{NaCl}) = 11.70\% \sim 12.39\%$,气液包裹体主要由 H_2O 及微量的 CH_4 组成。

4 铁绿纤石(?)特征

4.1 形貌结构与镜下特征

铁绿纤石(?)呈不同形貌的球粒,其球径1.2~2.5 mm,有圆球形、扁球形、椭球形与其它形貌,少数球粒单个产出,常常是多个球粒连生聚合在一起呈团块或夹层状产出,球粒的下部为自形绿帘石晶体或与绿帘石连生,其上为灯笼状葡萄石(图1b、1c),即铁绿纤石(?)的形成是在绿帘石之后、葡萄石之

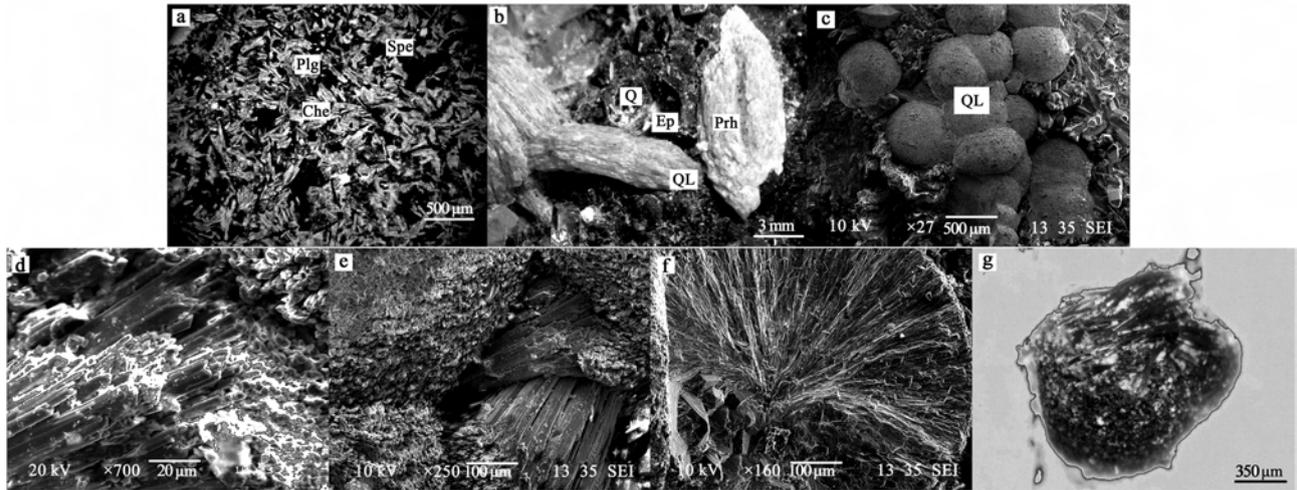


图 1 样品的显微照片

Fig. 1 Microphotos of samples

a—峨眉山玄武岩;b—球粒与其共生矿物;c—铁绿纤石(?)球粒的连生与水晶(SEM);d—扁平长柱状铁绿纤石(?)晶体的平行生长(SEM);e—不同形状球粒与柱状晶体弯曲(SEM);f—铁绿纤石(?)绕绿帘石(Ep)包裹体生长(SEM);g—球粒表面铁绿纤石(?)晶体横切面与纵切面;Plg—斜长石;Spe—条状镜铁矿;Chl—绿泥石;Ep—绿帘石;Q—水晶;Prh—葡萄石;QL—铁绿纤石球粒;Pum—铁绿纤石
a—Emeishan basalt; b—pelletoidal particles and their paragenetic minerals; c—pumpellyite (Fe²⁺) (?) pelletoidal particle intergrowth and rock crystal (SEM); d—parallel growth of tabular pumpellyite (Fe²⁺) (?) (SEM); e—pelletoidal particles with different shapes and bended columnar crystal (SEM); f—pumpellyite (Fe²⁺) (?) around the inclusions of epidote (SEM); g—cross section and longitudinal section of pumpellyite (Fe²⁺) (?) pelletoidal particles; Plg—plagioclase; Spe—specularite; Chl—chlorite; Ep—epidote; Q—rock crystal; Pum—pumpellyite (Fe²⁺); Prh—prehnite; QL—pumpellyite (Fe²⁺) spherical particles

表 1 水晶晶体中两相流体包裹体测温数据及盐度

Table 1 Measured temperature data and salinities by two-phase fluid inclusions

编号	包裹体类型	点号	气液比	完全均一化温度	
				$t_h/^\circ\text{C}$	盐度 $w(\text{NaCl})/\%$
L-6	L+V	1	5%	165.8	12.28
	L+V	2	5%	152.3	11.93
	L+V	3	5%	161.3	11.70
	L+V	4	5%	148.3	12.39
	L+V	5	5%	154.8	12.28
平均				156.5	12.12

前。根据扫描电镜(SEM)及镜下研究,每个球粒由扁平长柱状晶体聚合形成,柱体长约 1~2 mm、柱径约 20~30 μm ,沿柱体长轴方向常有不同程度的弯曲或扭曲,球粒表截面的铁绿纤石(?)柱状晶体的排列方式与平行的篦条极为类似(图 1d、1e)。研究还表明,球体内常包裹有一颗或数颗早先晶出的绿帘石或水晶晶体包裹体,后晶出的扁平柱状铁绿纤石晶体则绕包裹体弯曲生长(图 1f)。球粒内包裹体数量及位置不同,铁绿纤石(?)柱状晶体绕包裹体的排列生长方式也有明显的区别,致使其弯曲程度与形态有显著差异,如单个包裹体不在球粒中心而是位于球体的一端,柱状晶体绕包裹体呈螺旋状生长排列,形成向包裹体一端收敛而另一端向外散开的椭圆球

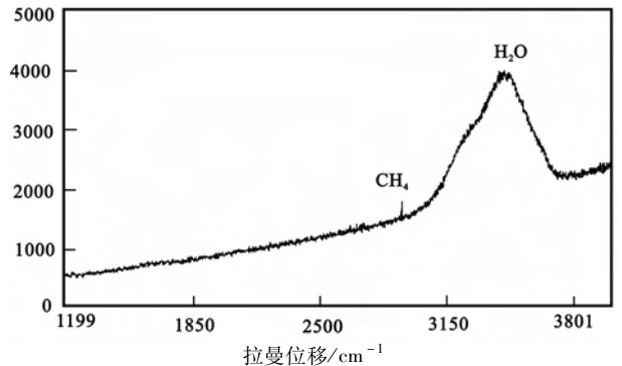


图 2 水晶晶体中流体包裹体的激光拉曼光谱图

Fig. 2 Laser Raman spectra of fluid inclusions in rock crystal

粒。如果球粒中有两颗相隔较近且位于近中心的包裹体,柱状晶体则分别绕包裹体背向弯曲排列生长,弯曲收敛方向分别指向球心。如包裹体较大时,铁绿纤石(?)晶体柱状方向则垂直包裹体的边呈放射状排列生长而形成圆球(图 1f、1g)。因此,铁绿纤石柱状晶体的排列生长方式不同其球粒的形貌也不同,柱状晶体的弯曲程度及排列生长的方式又与球粒内的包裹体(绿帘石)大小、数量及位置有关。铁绿纤石柱状单晶体镜下无色,正高突起,单偏光下具强多色性,为深翠绿、浅褐绿与浅褐色。

4.2 X 射线粉晶衍射分析

对球粒样品进行了粉晶 X 射线衍射分析。仪器为中国地质大学(北京)晶体结构实验室的德国 Bruker Smart APEX-CCDX 射线单晶衍射仪,测试条件:管压 45 kV,管流 35 mA,MoK α 靶, $\lambda = 0.70930 \text{ \AA}$, $2\theta = 3^\circ \sim 56.2^\circ$,步长 $2\theta = 0.02^\circ$,测得粉晶的晶胞参数: $a_0 =$

6.09 \AA , $b_0 = 11.585 \text{ \AA}$, $c_0 = 19.37 \text{ \AA}$, $\beta = 97.50^\circ$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$,单斜晶系。粉晶 X 射线衍射数据及图谱见表 2 与图 3。与 JCPDS24-198 号卡片对比,样品主要粉晶谱线 2.952 6(100)、3.838 6(54)、4.868 5(46) 与 JCPDS24-198 号卡片的主要粉晶谱线 2.95(100)、3.84(80)、4.80(70) 基本一致,表明所测样品很有可能为铁绿纤石。

表 2 样品的粉晶衍射数据
Table 2 XRD data for the sample

$2\theta/(\circ)$	$d/\text{\AA}$	I/I_0	hkl	$2\theta/(\circ)$	$d/\text{\AA}$	I/I_0	hkl
4.375	9.291 0	17	002	25.775	1.590 1	43	$\bar{4}19$
5.635	7.215 0	4	$\bar{1}02$	27.266	1.504 7	30	042
6.610	6.151 9	12	102	28.215	1.455 0	3	044
8.355	4.868 5	46	004	29.134	1.410 1	6	$\bar{6}06$
9.339	4.356 7	4	200	30.140	1.364 0	3	40.10
10.602	3.838 6	54	202	31.310	1.314 3	10	$\bar{2}1.13$
11.761	3.461 7	8	211	32.932	1.251 2	15	$\bar{6}01$
13.797	2.952 6	100	300	35.375	1.167 3	3	$\bar{1}3.13$
14.897	2.735 7	34	122	37.830	1.094 0	8	$\bar{8}11$
16.332	2.496 8	20	215	40.032	1.036 1	2	$\bar{6}2.10$
17.343	2.352 3	15	313	42.050	0.988 5	2	$\bar{5}55$
18.501	2.206 2	40	026	43.392	0.959 3	4	$\bar{2}5.11$
19.623	2.081 1	14	$\bar{4}11$	45.815	0.911 1	2	$\bar{1}3.19$
21.648	1.888 5	24	028	47.661	0.877 8	2	$\bar{4}1.21$
23.731	1.724 8	15	422	50.389	0.833 1	3	$\bar{2}1.23$
24.333	1.682 8	10	20.10	54.134	0.779 4	1	$\bar{2}5.19$

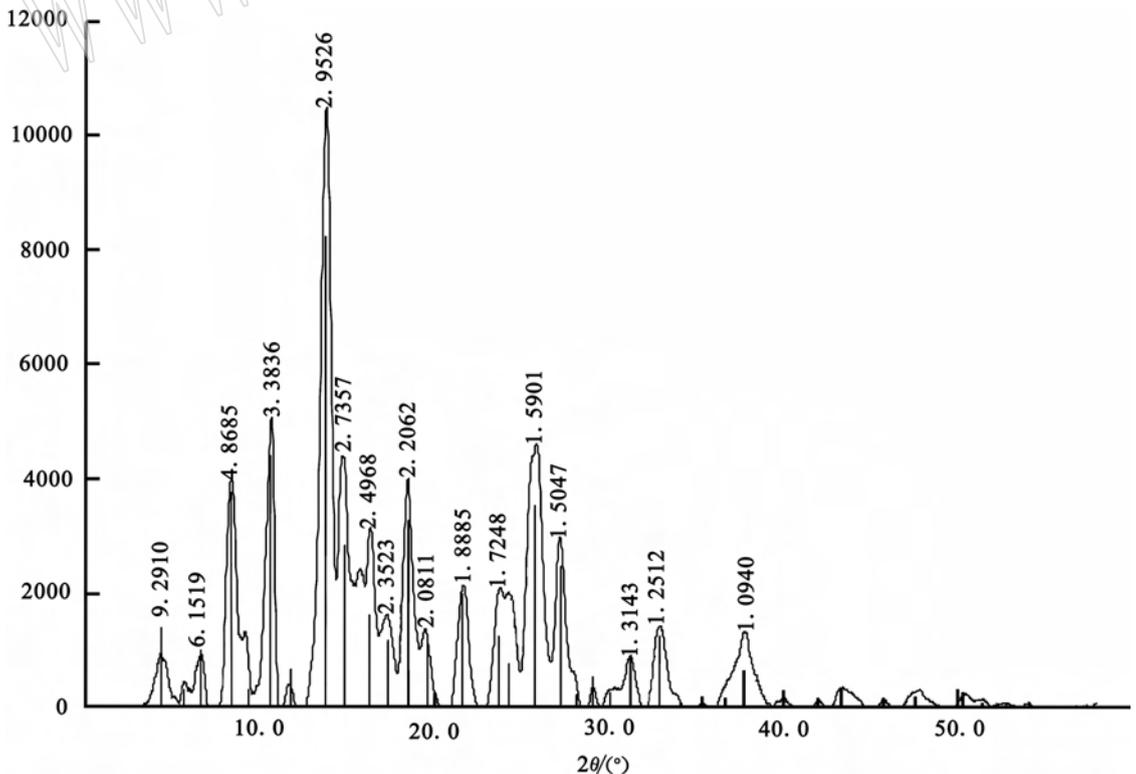


图 3 样品的 X 射线衍射图

Fig. 3 XRD pattern of the sample

4.3 球粒样品的成分

球粒样品的电子探针成分分析由南京大学地球科学系内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室的电子探针测试,分析结果见表3。由表3可见,样品 FeO^* 、 Al_2O_3 的含量($w_B/\%$)均为17%~18%, MgO 的含量极低($<1\%$),与已知资料(Passaglia *et al.*, 1973; 中国地质科学院地质矿产所, 1977; Trzcienski *et al.*, 1982; 王濮等, 1984; 许传诗等, 1987; Wise *et al.*, 1990)对比,黑色球粒的成分更接近铁绿纤石(pumpellyite- Fe^{2+}) (Passaglia *et al.*, 1973),其晶体化学式为: $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{Si}_3(\text{O}, \text{OH})_{14}$ (Passaglia *et al.*, 1973; Trzcienski *et al.*, 1982; Wise *et al.*, 1990; 何明跃, 2007)。由于样品条件的限制,目前暂不能做亚铁(Fe^{2+})和高铁(Fe^{3+})含量分析,因而球粒矿物种的准确定名有待后续进一步研究。

表3 样品的电子探针成分分析结果 $w_B/\%$
Table 3 EPM analyses of the sample

	MgO	SiO ₂	CaO	FeO*	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MnO
L-8-1-1	0.94	36.24	22.21	17.24	17.62	0.008		0.044
L-8-1-2	0.92	37.07	22.20	18.47	17.75	0.030	0.004	
L-8-1-3	0.99	36.73	21.74	18.23	17.18	0.058		0.009
平均值	0.95	36.68	22.05	17.98	17.52	0.032		

4.4 红外光谱

样品的红外光谱由桂林工学院有色金属及材料加工新技术教育部重点实验室虞锦江测试,测试仪器为美国NICOLET NEXUS 470FT-IR型红外光谱仪,试样采用KBr压片法,扫描范围从4 000~4 00 cm^{-1} ,扫描次数为32,分辨率为4 cm^{-1} 。样品的红外光谱曲线见图4。900~1 100 cm^{-1} 系由 $[\text{SiO}_4]$ 中的Si—O、Si—O—Si伸缩振动引起的,3 381.7 cm^{-1} 是(OH)基团的特征频率,3 124 cm^{-1} 是 H_2O 的特征频率,798.1 cm^{-1} 属于 AlO_4 伸缩振动,681 cm^{-1} 属于 AlO_6 伸缩振动,480.2 cm^{-1} 为变形振动。样品的吸收光谱与铝绿纤石极为相似,其区别在500~685 cm^{-1} 范围内铝绿纤石有3个吸收谱带,而样品只出现1个强明显吸收谱带,表明样品成分中的 Al_2O_3 含量明显低于铝绿纤石,而 Fe_2O_3 、 FeO 含量明显高于铝绿纤石(Passaglia *et al.*, 1973; Wise *et al.*, 1990),完全有别于绿帘石的红外光谱。

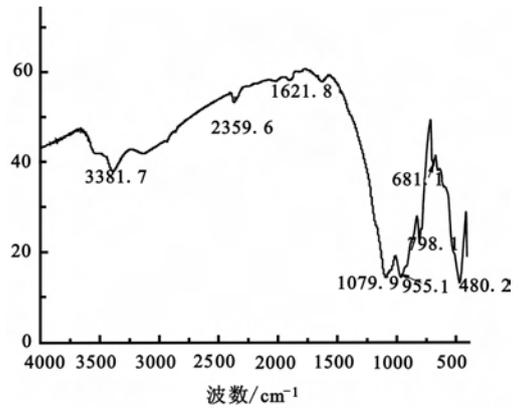


图4 样品的红外光谱图

Fig. 4 Infrared spectrum of the sample

5 讨论

杏仁斑状玄武岩在后期的构造应力作用下,所产生的热水溶液对岩石中的斜长石、橄榄石、辉石、镜铁矿等矿物进行热液蚀变或溶蚀,使斜长石绿帘石化、橄榄石伊丁石化、辉石绿帘石或绿泥石化、基质中的玻璃质普遍绿泥石化,条板状赤铁矿遭到溶蚀或氧化和水化。根据资料,玄武岩中未变质的斜长石、辉石的 SiO_2 含量约55%,它们蚀变为绿帘石时,其 SiO_2 含量约为35%。因此,斜长石、辉石蚀变成绿帘石时,除部分 SiO_2 参加绿帘石形成外,剩余 SiO_2 则转入蚀变热液中,显而易见随蚀变作用不断进行与深入,转入热水溶液的 SiO_2 的含量也不断增加,同时 FeO 的含量也增多,并含有一定量的 CaO 。这些由蚀变作用形成的含Fe、含Ca的 SiO_2 溶液,为矿区的成矿作用提供了物质基础,随成矿作用的物理、化学条件变化,成矿溶液也发生相应的演化,从而形成矿区的玄武岩晶洞中从晶洞壁到晶洞中心不同的矿物种和同种矿物的不同世代。

从晶洞壁至中心依次晶出的矿物为玄武岩的绿帘石化、黄铜矿、绿帘石、晶簇状水晶与第一世代粗粒厚板状硅铁灰石、球粒状铁绿纤石(?)与浅色自形板状葡萄石、淡绿色灯笼状葡萄石、第二世代亮黑色板柱状硅铁灰石与透明黄绿色尖舌状绿帘石及平卧生长双锥状水晶、球粒状与假立方状方解石、孔雀石,表明晶洞中的矿物主要为含Ca、Fe的硅酸盐。其中成矿溶液中的 CaO 参与晶洞中成矿过程的不同硅酸盐矿物成分的结晶,如绿帘石、铁绿纤石、硅铁

灰石、葡萄石等矿物的形成,并构成这些矿物晶体的主要成分,其CaO含量在20%~27%变化,其中葡萄石含量最高,可达27%,最低为硅铁灰石,其含量约为20%左右。到成矿晚(末)期时,即在晶洞中心,成矿溶液中的CaO达到最高值,并与溶液中的CO₂结合,形成球粒状、假立方状的方解石,它们是晶洞中最后结晶的产物,而孔雀石则是氧化作用的次生产物。成矿溶液中的SiO₂含量则在成矿过程中有明显的差异,晶洞壁结晶初期的SiO₂含量相对较低,主要是绿帘石等矿物的结晶形成。随结晶作用不断进行,成矿溶液中的SiO₂含量不断增多,结晶出晶簇状几何对称性较好的柱状水晶与结晶粗大的自形厚板状第一世代硅铁灰石,因硅铁灰石中的SiO₂含量与上述硅酸盐矿物比较其含量是最高的(SiO₂=50%~55%)。随着柱状水晶与第一世代硅铁灰石的不断晶出,成矿溶液中的SiO₂饱和度又相对减少,分别先后结晶出铁绿纤石与葡萄石。同样,成矿溶液中FeO与Fe₂O₃的演变与上述成矿溶液中的SiO₂含量变化基本相似,即成矿溶液中的SiO₂含量高时,FeO、Fe₂O₃含量也高,则晶出SiO₂含量高的硅铁灰石与水晶;反之,即成矿溶液中的SiO₂与FeO、Fe₂O₃含量相对较低时,从晶洞壁往晶洞中心依次结晶出绿帘石、铁绿纤石等钙铁硅酸盐矿物,如环境条件相对较还原,成矿溶液铁含量一定时,结晶出绿帘石,随绿帘石的晶出环境条件进一步氧化,同时FeO与Fe₂O₃含量不断增加时,结晶出铁绿纤石并绕早先晶出的绿帘石晶体弯曲生长而形成不同形状的铁绿纤石球粒,或集成成扭曲的哑铃状、麻花状。无论球粒或扭曲的哑铃状、麻花状,都是扁平长柱状铁绿纤石晶体在生长时沿柱状方向发生不同程度弯曲所致。晶体的弯曲生长主要是晶体结构沿*b*轴方向形成的折线状的链所致,可能也与晶体生长时的环境条件的温度及有机质(CH₄)的参与有关。

6 几点认识

(1) 杏仁斑状玄武岩在后期构造应力作用下,所产生热水溶液对岩石中的橄榄石、辉石、镜铁矿等矿物进行热液蚀变或溶蚀,形成含一定量Fe、Ca、Al的SiO₂溶液,为晶洞中的成矿作用提供了物质基础。

(2) 与铁绿纤石(?)共生的主要为绿帘石、硅铁灰石等富Ca、Fe的硅酸盐矿物及葡萄石与水晶。从

晶洞壁往晶洞中心依次结晶出绿帘石、铁绿纤石(?)、硅铁灰石等矿物,表明随结晶作用的进行,成矿溶液中FeO、Fe₂O₃、SiO₂含量不断增加,Al₂O₃含量不断减少。铁绿纤石(?)是在较氧化富铁并有H₂O、CH₄参与的低温热液环境条件下形成。

(3) 铁绿纤石(?)呈扁平长柱状,沿柱体方向呈不同程度的弯曲。晶体的弯曲生长主要是晶体结构沿*b*轴方向形成的折线形的链所致,也与晶体生长时的环境条件的温度及有机质(CH₄)的可能参与有关。

(4) 球粒是铁绿纤石(?)柱状晶体沿*b*轴方向绕球粒中的包裹体弯曲生长所致,球粒的形状取决于包裹体在球体中的位置与距离,越近球粒表面,越趋于平行排列。

References

- He Mingyue. 2007. New English-Chinese Glossary of Mineral Species[M]. Beijing: Geological Publishing House, 85, 143(in Chinese).
Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. 1977. Microscopic Identification of Transparent Minerals[M]. Beijing: Geological Publishing House, 482, 924(in Chinese).
- Jambor J L. 1992. New mineral names[J]. American Mineralogist, 77: 1 305 ~ 1 309.
- Passaglia E and Gottardi G. 1973. Crystal chemistry and nomenclature of pumpellyites and julgoldites[J]. Canadian Mineralogist, 12: 219 ~ 223.
- Trzcinski J R W E and Birkett T C. 1982. Compositional variations of pumpellyite along the western margin of the Quebec Appalachians [J]. Canadian Mineralogist, 2: 203 ~ 309.
- Wang Pu, Pan Zhaolu, Weng Lingbao, et al. 1994. Systematic Mineralogy (2) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 256(in Chinese).
- Wise W S & Moller W P. 1990. Occurrence of Ca-Fe silicate minerals with zeolites in basalt cavities at Bombay, India[J]. Eur. J. Mineral., 2: 875 ~ 883.
- Xu Chuanshi and Zhang Jianzhen. 1987. The first discovery of pumpellyite in the Wenduermiao group, Nei Monggol, China[J]. Acta Mineralogica Sinica, 7(1): 88 ~ 91(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 何明跃. 2007. 新英汉矿物种名称[M]. 北京:地质出版社,85,143.
- 王 濮,潘兆麟,翁玲宝,等. 1984. 系统矿物学(中)[M]. 北京:地质出版社, 256.
- 许传诗,张建珍. 1987. 内蒙古温都尔庙群中首次发现绿纤石[J]. 矿物学报, 7(1):88 ~ 91.
- 中国地质科学院地质矿产所. 1977. 透明矿物显微镜鉴定表[M]. 北京:地质出版社, 482.