

文章编号: 1000-6524(2003)03-0273-06

福建加良山寿山石的矿物学特征及成因

孙 旒, 崔文元, 徐 湘

(北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871)

摘 要: 应用电子探针、化学分析、X射线衍射、红外光谱、拉曼光谱等分析手段对加良山寿山石进行了研究, 结果表明其主要组成矿物是叶蜡石, 并含有硬水铝石和石英, 大部分叶蜡石以2M型为主。该矿区为火山热液矿床, 成矿明显分为早、中、晚3个阶段, 成矿温度285~405℃, 压力小于0.26 GPa。

关键词: 矿物学; 寿山石; 叶蜡石; 硬水铝石; 石英; 热液矿床; 福建省

中图分类号: P578.958

文献标识码: A

Mineralogical characteristics and genesis of Shoushan Stone in Jialiangshan, Fujian Province

SUN Ni, CUI Wen-yuan and XU Xiang

(Earth and Space Science College, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Based on such analytical means as EMPA, chemical analysis, XRD, IR and LRM, the authors have extensively studied Shoushan Stone from Jialiangshan in Fujian Province. The results show that Shoushan Stone in Jialiangshan area is a kind of rock mainly composed of pyrophyllite, diaspore and quartz. Most of the stones have perfect 2M type of pyrophyllite. The Shoushan Stone in Jialiangshan area was formed by hydrothermal activities and the ore-forming process can be divided obviously into three stages. The metallogenic temperature is about 285~405℃ and the ore-forming pressure is lower than 0.26 GPa.

Key words: mineralogy; Shoushan Stone; pyrophyllite; diaspore; quartz; hydrothermal deposit; Fujian Province

加良山寿山石俗称芙蓉石, 但为了避免与宝石学中芙蓉石(成分为SiO₂)混淆, 本文称其为加良山寿山石。加良山寿山石产于福州市北部寿山村东南8 km的月洋加良山, 初产于明青年间, 清乾隆后渐闻名于世, 至光绪年间已被誉为“印石三宝”之一, 近代鉴赏家也给予极高的评价。虽然人们对其喜爱已久, 但是对其矿物组成及其成因等方面的深入研究却很少。笔者运用电子探针、化学分析、X射线衍射、红外光谱和拉曼光谱等现代分析手段对加良山寿山石进行了较为深入的矿物学研究, 认为它与产于寿山村周围的原生、次生寿山石的矿物组成(武新逢等, 1999)完全不同。

1 矿区地质概述

福建加良山地区的寿山石矿床位于闽东沿海火山喷发带中部的寿山-峨嵋沉积盆地的南缘。矿区为一残存的破火

山口构造, 南北长2 000 m, 宽600~1 800 m, 面积约2 km²。破火山堆积物与基底地层为截切接触, 产状陡立, 接触带往往有晚期岩脉充填(宋叔和等, 1994)。矿区是福建东部叶蜡石矿的重要组成部分, 位于环太平洋古火山岩带的西段, 以中生代陆相中酸性火山岩广泛分布为特征(宋祥铨, 1981)。矿区内主要分布晚侏罗世南园组第IV岩性段流纹质晶屑玻屑凝灰岩、含火山角砾凝灰岩、凝灰火山角砾岩和熔结凝灰岩等。中生代构造以断裂为主, 且多被叶蜡石及明矾石交代充填。围岩蚀变分带明显, 自上而下有: 硅化、高岭石化、叶蜡石化、硬水铝石化、明矾石化、绢云母化和黄铁矿化等^①。

2 矿石结构构造

矿石具块状、条带状、脉状穿插状、角砾状、残余砾状等构造, 以块状构造常见, 具鳞片状、隐晶状、交代残余状、变余凝

收稿日期: 2002-07-19; 修订日期: 2003-01-21

基金项目: 教育部博士点基金资助项目(200110001017, 20020001108)

作者简介: 孙旒(1979-), 女, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。

① 福建省地质五队. 1977. 福州峨嵋叶蜡石矿床地质特征及其成因, 1~4.

灰状等结构。叶蜡石具极细的鳞片状、扇状、短纤维状、束状、花瓣状集合体,硬水铝石多呈板状、柱状、粒状、束状。常见叶蜡石交代长石和硬水铝石,并呈现其假象,说明硬水铝石先形成,随着温度和酸度的降低,生成叶蜡石;另外,在显微鳞片结构的叶蜡石周围有呈梳状结构排列的石英颗粒,这是典型热液充填成因的证据。还有少量的叶蜡石呈眼球状集合体分布于含铁条带中,为后期的叶蜡石充填火山凝灰岩中的气孔重结晶而成的。石英晶体具有火山成因的标志:内部有原生爆裂状结构,边部有明显的熔蚀,含大量多期次的流体包裹体。

3 矿石特征

3.1 物理性质

矿石颜色各异,有白色、黄色、红色、灰色等,有的呈条带状分布;密度大,为2.70~2.80 g/cm³;硬度小于2.5;透明度稍差(汤德平等,1999)。因叶蜡石的粒度太小未能测定其折射率和密度。硬水铝石的密度是3.194 g/cm³,折射率 $N_g =$

1.742, $N_m = 1.717$, $N_p = 1.698$ 。

3.2 化学成分

根据薄片观察选取了有代表性的样品进行硅酸盐化学全分析,同时和福建寿山老岭地区的叶蜡石矿(样品24_02_03)进行了对比,分析结果见表1。从分析结果可以看出,样品27_01_01和样品24_02_03主要是由较纯的叶蜡石组成,样品27_05_02为叶蜡石和硬水铝石。另外,加良山地区的叶蜡石矿中有益组分Al₂O₃含量较高,而公认有害组分TiO₂、Fe₂O₃、MnO等含量低,对耐火材料、无碱玻璃、白水泥等行业有害的组分Na₂O、K₂O也很低,故该区的叶蜡石矿在工业上有着广泛的应用。

3.3 稀土元素

稀土分析数据(表1)和稀土元素球粒陨石标准化配分模式(图1)显示其属轻稀土元素富集型,与陆志刚等(1997)的流纹岩稀土元素模式的比较表明,样品的稀土元素可能来源于蚀变原岩,具有继承性。

表1 加良山寿山石的化学全分析(w_B/%)和稀土元素分析(w_B/10⁻⁶)数据

Table 1 Major petrochemical analytical (w_B/%) and REE (w_B/10⁻⁶) data of Shoushan Stone from Jialiangshan

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂	总计
27_01_01	64.60	0.03	29.15	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.04	0.06	0.14	0.12	5.52	0.12	99.82
27_05_02	34.27	0.03	54.87	0.13	1.10	0.01	0.03	0.06	0.04	0.04	0.04	9.48	0.12	100.22
24_02_03	61.72	0.07	31.57	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.04	0.15	1.10	0.05	5.52	0.16	100.42
叶蜡石理论值	66.67	-	28.33	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	-	100.00
样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
27_01_01	64.13	61.36	3.36	10.89	3.33	0.6	2.15	0.16	0.42	0.03	0.09	0.01	0.08	0.01
27_05_02	20.64	25.14	1.45	2.90	0.48	0.14	0.67	0.07	0.30	0.05	0.10	0.02	0.16	0.03

注:主量元素由国家地质实验测试中心采用X荧光法测定,REE由国家地质实验测试中心采用JA1160等离子光谱仪测定。

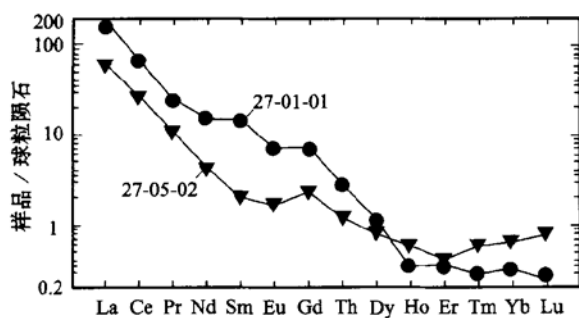


图1 加良山寿山石的稀土元素配分模式

Fig. 1 REE patterns of Shoushan Stone from Jialiangshan

4 矿物学研究

4.1 矿物组成

矿石的主要矿物为叶蜡石、硬水铝石和石英,次要矿物有

黄铁矿、褐铁矿、绢云母、红柱石、重晶石、金红石、赤铁矿等。加良山寿山石根据其矿物组成可以分为叶蜡石型、石英-叶蜡石型和硬水铝石-叶蜡石型三类^①。

4.2 矿物化学

加良山寿山石的矿物化学成分电子探针分析结果见表2。由分析结果看出主要矿物是叶蜡石和硬水铝石。样品27_01_01中含有红柱石颗粒。叶蜡石中的Al可以被少量的Fe²⁺、Mg²⁺所代替,还有部分Al替代Si,替代量小于0.1分子数。此外还有少量的K、Na、Ca等离子。

4.3 X射线衍射分析

从X射线衍射物相分析数据(表3、表4)来看,矿石的主要组成矿物是叶蜡石。典型的叶蜡石有3个特别强的峰,分别是9.204 nm/10、4.602 nm/10和3.068 nm/10。该叶蜡石有2M型和1Tc型两种多型存在,以2M型为主。2M型与1Tc型的主要区别在于:在19~22°(2θ)之间时,它只有4.44

① 杨泰铭,林 达. 1987. 福建省峨嵋蜡石矿的物质组分研究和蜡石矿工业利用初步研究报告,5~7.

表 2 加良山寿山石的电子探针分析数据($w_B/\%$)及其矿物结构式计算结果

Table 2 Electronic microprobe analytical data and structural formulae of minerals in Shoushan Stone from Jialiangshan

样品	27_06_04_2	27_03_02_1	27_02_08			27_03_06			27_01_01		
			点 1	点 2	点 3	点 1	点 2	点 3	点 1	点 2	点 3
SiO ₂	65.23	65.97	66.78	64.37	56.58	0.03	0.13	66.14	37.63	37.49	65.95
TiO ₂	0.04	0.01	0.00	0.05	0.20	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00
Al ₂ O ₃	28.33	27.99	28.55	29.21	32.97	84.66	85.07	28.21	61.89	61.62	28.92
FeO	0.39	0.01	0.01	0.06	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
MnO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
MgO	0.00	0.02	0.03	0.01	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
CaO	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03
Na ₂ O	0.25	0.04	0.10	0.09	0.18	0.01	0.03	0.09	0.01	0.02	0.04
K ₂ O	0.03	0.01	0.05	1.08	5.44	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.28
总量	94.31	94.10	95.56	94.90	95.56	84.76	85.30	94.51	99.55	99.18	95.27
Si	3.959	3.996	3.986	3.905	3.544	0.000	0.001	3.990	1.018	1.019	3.957
Ti	0.002	0.000	0.000	0.002	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
^{IV} Al	0.041	0.004	0.014	0.095	0.456			0.010			0.043*
^{VI} Al	1.984	1.933	1.993	1.992	1.976	0.998*	0.997*	1.944	1.973	1.972*	2.000*
Fe ²⁺	0.020	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Mn	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.002	0.003	0.001	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002
Cr	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Ca	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002
Na	0.029	0.005	0.012	0.011	0.022	0.000	0.001	0.011	0.001	0.001	0.005
K	0.002	0.001	0.004	0.084	0.435	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.021
O	10	10	10	10	10	1	1	10	5	5	10
OH	2	2	2	2	2	1	1	2	0	0	2
成分	叶腊石	叶腊石	叶腊石	叶腊石	叶腊石	硬水铝石	硬水铝石	叶腊石	红柱石	红柱石	叶腊石

注: 中国地质科学院矿产资源所测定, 仪四型号: JEOL JXA_8800R; * 表示该数据为^{IV}Al和^{VI}Al之和。

表 3 加良山寿山石中石英和硬水铝石的 X 衍射数据

Table 3 XRD data of diaspore and quartz in Shoushan Stone from Jialiangshan

石英(标准值)			27_02_02			硬水铝石(标准值)			27_03_06		27_06_04	
<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>hkl</i>	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>hkl</i>	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	
4.257	22	100	4.259	23	4.71	13	020	4.711	19	4.696	11	
3.342	100	101	3.346	67	3.99	100	110	3.990	41	3.983	16	
2.457	8	110	2.457	7	3.214	10	120	3.218	6	3.213	3	
2.282	8	102	2.283	5	2.317	56	111	2.317	18	2.313	9	
2.237	4	111	2.236	3	2.131	52	121	2.131	18	2.129	8	
2.127	6	200	2.128	5	2.077	49	140	2.077	32	2.075	14	
1.979 2	4	201	1.980	3	1.712	15	211	1.712	5	1.710	2	
1.817 9	14	112	1.819	9	1.633	43	221	1.633	17	1.631	9	
1.671 9	4	202	1.673	5	1.608	12	240	1.680	6	1.608	3	
-	-	-	-	-	1.570	4	060	1.570	6	1.569	1	
-	-	-	-	-	1.480	20	160, 151	1.480	13	1.479	5	
-	-	-	-	-	1.431	7	250	-	-	1.431	3	
-	-	-	-	-	1.423	12	002	1.422	7	1.422	3	
-	-	-	-	-	1.400	6	320	1.399	3	1.399	2	
-	-	-	-	-	1.376	16	061	1.375	12	1.375	7	

注: 由北京大学化学系 X 衍射实验室测定, 仪器为 Rigaku D/max_2400 型粉晶衍射仪, Cu 靶, Ni 滤波片, 电压 30 kV, 电流 30 mA, 发散狭缝 1, 接收狭缝 0.04, 防散射狭缝 2, 步进宽度 0.02°。

表4 加良山寿山石中叶蜡石的X衍射数据

Table 4 XRD data of pyrophyllite in Shoushan Stone from Jialiangshan

叶蜡石(标准值)			27_04_07		27_05_02		27_01_01		27_02_02		27_03_06	
<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>hkl</i>	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀	<i>d</i> /nm	<i>I</i> / <i>I</i> ₀
9.21	40	002	9.205	96	9.225	100	9.186	100	9.225	100	9.225	100
4.58	50	004	4.595	44	4.609	44	4.595	43	4.609	41	4.605	40
4.40	20 _B	110	4.449	16	4.449	9	4.445	10	4.449	14	4.449	11
4.17	16 _B	112, 111	4.156	11	4.187	7	4.153	7	4.191	11	4.187	7
3.08	100	006	3.066	100	3.070	91	3.064	94	3.070	87	3.068	85
2.97	2	114	2.951	4	-	-	2.953	3	2.994	4	2.953	3
2.59	6	100, 131	2.569	9	2.570	5	2.570	6	2.570	8	-	-
2.55	10	202, 130	2.550	10	2.550	6	2.531	8	2.552	9	2.557	19
2.44	16	210, 133	2.415	14	2.416	9	2.415	10	2.57	7	2.416	10
2.31	6	008	2.300	6	2.302	5	2.328	2	2.303	5	2.317	18
2.17	6	042	2.165	5	2.169	3	2.163	4	2.149	5	2.150	4
2.09	6	243	2.084	6	2.086	4	2.083	5	2.087	5	-	-
2.07	6	222, 204	2.057	6	2.060	5	2.060	4	2.063	7	-	-
1.895	2	136, 045	1.893	3	1.895	2	1.863	2	1.893	3	1.891	2
1.848	6	0010, 029	1.840	11	1.843	9	1.839	10	1.842	8	1.840	8
1.692	6	0210	1.691	3	1.687	2	1.689	2	1.673	5	-	-
1.650	10 _B	314, 241	1.644	7	1.646	4	1.646	5	1.649	5	1.650	5
1.542	6	0012, 246	1.533	3	1.535	2	1.533	2	1.542	7	1.533	2
1.492	10	060	1.492	8	1.192	4	1.492	5	1.493	7	1.493	6
1.475	2	-	1.471	3	1.487	3	1.487	3	-	-	-	-
1.388	10	-	1.383	7	1.386	5	1.388	6	1.383	8	1.384	6
1.373	10	-	1.371	6	1.371	6	1.368	6	1.375	8	1.375	12

测试方法说明同表3。

和4.17 nm/10两个稍弱而钝的峰,在28~31°附近只有3.07 nm/10一个强峰(表4)。另外,从有些加良山寿山石的X射线衍射图谱还可以查出石英和硬水铝石的衍射峰,说明加良山寿山石中含有较多的石英和硬水铝石(表3)。

4.4 红外光谱分析

在北京大学化学系红外光谱实验室分别对3个典型的样品进行了分析,实验仪器是 Nicolet Magna_IR750 傅立叶变换红外光谱仪,分辨率 4 cm^{-1} ,扫描次数 128 次,波速范围为 $600\sim 4000\text{ cm}^{-1}$ 。典型的红外光谱图见图2。从图2中可见加良山寿山石的主要组成矿物是叶蜡石。样品 27_01_01 在 3675 cm^{-1} 左右出现1个尖锐的吸收峰,它是 OH 伸缩振动所致,属于 Al_2OH 吸收。另外,在 $950\sim 800\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现了 OH 摆动, 950 cm^{-1} 谱带窄而尖锐,强度中等,属于 Al_2OH 面内摆动, $854, 814\text{ cm}^{-1}$ 的弱带属面外摆动。在 1070 cm^{-1} 有1个强的尖锐的吸收峰, 1120 cm^{-1} 有1个中等强度的尖锐吸收带,它们都是 Si—OH 伸缩振动的标志谱带。有些样品中混有硬水铝石和石英,样品 27_02_02 在 800 cm^{-1} 和 781 cm^{-1} 处的弱的吸收峰就是石英引起的。样品 27_03_06 中,硬水铝石在 $2925\sim 2921\text{ cm}^{-1}$ 处有1个平缓的吸收峰,在 $2125\sim 1990\text{ cm}^{-1}$ 有2个连续的吸收峰。从图中也可以看出样品中的主要矿物组成是叶蜡石,并含有硬水铝石和石英。

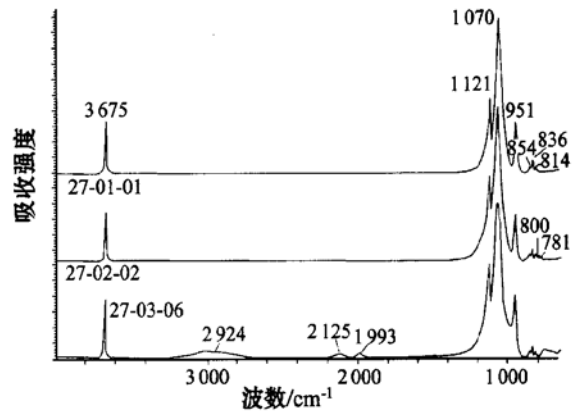


图2 样品的红外光谱图

Fig. 2 IR patterns of the samples

4.5 激光拉曼光谱分析

加良山寿山石的激光拉曼光谱图见图3。由于探针片中矿物包裹体太小及较强的荧光效应影响,该区寿山石中矿物包裹体的测试未能完成。实验仪器为: RENISHAW RamanScope_1000 型激光拉曼分子微探针,积分时间为 $50\sim 100\text{ s}$,扫描范围为 $100\sim 1200\text{ cm}^{-1}$ 和 $3400\sim 3900\text{ cm}^{-1}$,其中高波数区功率为10%,低波数区功率为25%。图3a中196

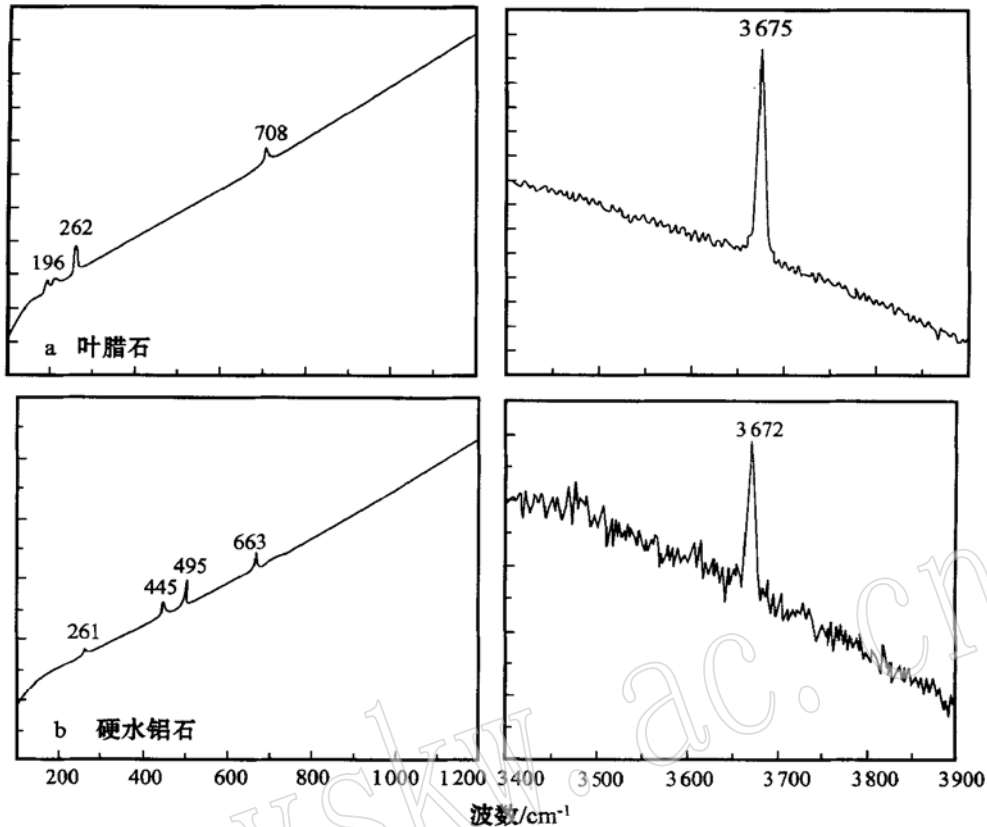


图3 加良山寿山石的激光拉曼光谱图

Fig. 3 LRM spectra of Shoushan Stone

cm^{-1} 、 262 cm^{-1} 和 708 cm^{-1} 处是叶腊石的拉曼特征峰,在高波数区还有 3675 cm^{-1} 的羟基振动峰,该峰可以和该样品的红外光谱图对应——高波数区也有 3675 cm^{-1} 的吸收峰。由此可见,叶腊石矿物的羟基伸缩振动在拉曼光谱和红外光谱中都是活性的,而且拉曼频率和红外频率几乎相同。图3b的 445 cm^{-1} 、 495 cm^{-1} 、 663 cm^{-1} 都是硬水铝石的特征峰,图中 261 cm^{-1} 处的特征峰是由叶腊石引起的。

5 成因讨论

该矿区处于峨嵋-寿山火山喷发地,矿区及其外围有熔结凝灰岩近火山口分布。矿体赋存于叶腊石化凝灰岩中,矿化和蚀变发育,围岩蚀变主要为叶腊石化、水铝石化、硅化(次生石英岩化)等。矿体中有未被交代的不规则透镜状的围岩包体,产状与矿体基本一致^①。综合前人和本次研究成果,认为该矿区为火山热液矿床。

由矿物的共生组合以及交代穿插关系可以将成矿作用分为3个阶段。早期,在酸性介质的热水溶液作用下,凝灰岩等铝硅酸盐矿物发生分解,广泛发育水铝石化、叶腊石化和硅化;中期,受加良山火山口控制的成矿热液使附近地层继续蚀

变,这是主要的成矿阶段,这个阶段首先生成硬水铝石,接着有大量的叶腊石生成,并交代先生成的硬水铝石,同时伴随着广泛的硅化,这一阶段以交代为主,充填次之;晚期形成一些规模不大的硬水铝石、叶腊石穿插于早期形成的矿石中^①。

因为蚀变矿物中的包裹体较小,无法确定其均一的温度。根据 Hemley 等(1980)对 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 体系进行的系统实验结果及由此得出的温压曲线图可知,在 0.1 GPa 水压下,叶腊石在 $273 \text{ }^\circ\text{C}$ 下不稳定,随着压力降低,叶腊石可能仍然处于亚稳定状态;在相同水压下,高岭石-叶腊石-石英组合形成温度为 $273 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$,叶腊石-水铝石-红柱石组合的形成温度为 $337 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$,水铝石-刚玉组合的形成温度为 $394 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ 。由矿物共生组合利用 Hemley 的温压曲线图得出:红柱石-叶腊石的相平衡转换点的温度为 $405 \text{ }^\circ\text{C} \pm$,压力为 0.26 GPa 。迪开石-叶腊石组合的形成温度为 $285 \text{ }^\circ\text{C} \pm$,石英-迪开石-叶腊石的形成温度为 $260 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,由此进一步推断出:加良山寿山石的成矿温度为 $285 \sim 405 \text{ }^\circ\text{C}$,压力小于 0.26 GPa 。结合本矿区具体情况,根据火山机构演化特征,估计福建加良山寿山石矿床形成的深度小于 500 m ,相应的压力小于 $15 \times 10^6 \text{ Pa}$,成矿作用应以第2阶段为主。

① 福建省地质五队. 1977. 福州峨嵋叶腊石矿床地质特征及其成因, 8~16.

6 结 论

加良山寿山石的主要组成矿物为叶蜡石,并含有硬水铝石和石英,次要矿物有黄铁矿、褐铁矿、绢云母、红柱石等;叶蜡石矿物有2M和1Tc两种多型存在,以2M型为主;该矿区为火山热液矿床,成矿明显分为早、中、晚3个阶段,以第2阶段为主;成矿温度约为285~405℃,压力小于0.26GPa。

References

- Hemley J J, Montoya J W, Marinenko J W, *et al.* 1980. Equilibria in the system $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ and some general implications for alteration mineralization processes [J]. *Econ. Geol.*, 75(2): 210~228.
- Lu Zhigang, Tao kuiyuan, Xie Jiaying, *et al.* 1997. The Geology and Mine of the Continental Volcanos in the Southeast of China [M]. Beijing: Geology Publishing House, 2(in Chinese).
- Song Shuhe, Kang Yongfu, Tu Guangzhi, *et al.* 1994. The Bed in China (Last) [M]. Beijing: Geology Publishing House, 483~487(in Chinese).

- Song Xiangquan. 1981. The geological feature and conditions of the pyrophyllite bed in Fujian Province [J]. *Geology of Fujian*, 3: 1~21 (in Chinese).
- Tang Deping, Zheng Zongtan. 1999. The study of the mineral constitution and the gemology research for Shoushan Stone [J]. *Journal of Gems and Gemology*, 1(4): 28~36(in Chinese).
- Wu Xinfeng, Cui Wenyuan. 1999. A mineralogical and petrographical study of Shoushan Stone (agalmatolite) [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* 18(2): 186~192 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陆志刚,陶奎元,谢家莹,等. 1997. 中国东南大陆火山地质及矿产 [M]. 北京:地质出版社, 2.
- 宋叔和,康永孚,涂光炽,等. 1994. 中国矿床(下) [M]. 北京:地质出版社, 483~487.
- 宋祥铨. 1981. 福建叶蜡石矿床地质特征及成矿地质条件 [J]. *福建地质*, 3: 1~21.
- 汤德平,郑宗坦. 1999. 寿山石的矿物组成与宝玉石研究 [J]. *宝石和宝石学杂志*, 1(4): 28~36.
- 武新逢,崔文元. 1999. 寿山石的矿物学研究 [J]. *岩石矿物学杂志*, 18(2): 186~192.