

不同矿化伟晶岩矿物包裹体的研究

储同庆 王鹤年

(南京大学地质系)

内容提要: 本文通过对伟晶岩矿物包裹体的研究,发现伟晶岩和似伟晶岩的矿物包裹体均以气液包裹体为主,不同矿化伟晶岩的包裹体不相同。包裹体的气体成分以水蒸气为主,有一定量的 CH_4 、 N_2 、 O_2 及 CO 。成矿伟晶岩包裹体的电导率较高,富 Na^+ 、 K^+ 而贫 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,阴离子成分有较大差异,这与矿化元素在成矿溶液中的不同迁移形式有关。作者还测定了包裹体溶液中成矿金属元素和稀土元素的含量,这对于探讨成矿物质来源和地化找矿标志均有一定意义。

主题词: 伟晶岩 似伟晶岩 包裹体 气液包裹体 三相包裹体 成矿金属元素 稀土元素

伟晶岩矿物包裹体的研究,虽然有些报导,但比较零星,往往又只局限于某一个矿区,各种矿化伟晶岩矿物包裹体的系统研究和详细对比至今很少见有报导。本文研究了不同矿化伟晶岩矿物包裹体的形态、成因类型、常见造岩元素及主要阴离子的含量、成矿金属元素的含量及稀土元素配分特点等等;探讨了伟晶岩形成的条件,似伟晶岩与一般伟晶岩形成条件的差异,矿化伟晶岩成矿溶液特征,各类不同矿化伟晶岩成矿溶液的区别;以及包裹体溶液稀土元素分布型式在探讨伟晶岩成矿物质来源等方面应用的可行性等。

一、样品的采集

选择了几种常见的矿化伟晶岩及似伟晶岩,样品的产地、矿化特征见表1。

表中所列的伟晶岩全是花岗伟晶岩。经各方面的研究,其成岩物质均来自地壳上部,属浅源型。供分析的样都是石英,只有67号样为绿柱石。

二、包裹体的一般特征

将矿物磨制成两面光薄片,在显微镜下观察包裹体特征,并用国产XPA-I型加热台测定均一化温度,其结果见表2。从表中可看出:

1. 各类矿化伟晶岩及似伟晶岩的包裹体主要为气液包裹体,也有少数气相及含 NaCl 子晶或液态 CO_2 的三相包体。流体包体测温结果主要为 $140-270^\circ\text{C}$,低于一般岩浆花岗岩的形成温度。因而这些含矿伟晶岩及似伟晶岩可能是含矿花岗岩浆经过多次分异的晚期富含挥发分的残余岩浆-流体在封闭性较好的环境下结晶而成。由于封闭条件较好,又处于富含挥发分的条件下,降低了岩浆的熔点,减少了粘度,加速了矿物生长所需的离子传递、补给;另一方

表1 样品类型
Table 1. Sample types

样号	伟晶岩类型	矿化特征	采样地点
62	含稀土花岗伟晶岩	为黑云母花岗伟晶岩, 稀有元素矿物种类较多, 有褐帘石、独居石、磷钇矿, 还有多种铌钽矿物	内蒙大青山
63	含铌花岗伟晶岩	属钠长石-锂辉石型, 含铌钽铁矿, 并与锂辉石等伴生	福建西坑
64	含铍花岗伟晶岩	为白云母花岗伟晶岩, 由白云母、钾长石、石英组成, 含绿柱石等	福建某地
66	含金花岗伟晶岩	含金花岗岩囊包体, 由钾长石、石英及硫化物组成	山东焦家
67	含铍花岗伟晶岩	伟晶岩由白云母、微斜长石及石英组成, 分异较好, 钠长石化发育, 主要有绿柱石、锂辉石及钨铁矿等	新疆阿尔泰
65	钨矿化似伟晶岩	发育在钨矿化花岗岩顶部, 主要由块状石英组成, 含黑钨矿、少量锡石及辉钼矿	赣北大湖塘
68	铌(钽)矿化似伟晶岩	发育在含铌花岗岩顶部, 由块状石英及长石组成, 含有铌铁矿、少量锡石, 还有硫化物	江西松树岗

表2 不同矿化伟晶岩的特征及形成温度

Table 2. Characteristics and formation temperatures of different mineralized pegmatites

包裹体特征 矿化类型	形态	大小	类型	气液比 (%)	均一化温度 (°C)	备注
稀土伟晶岩	正方形、六边形、椭圆形	数 μm	气相为主, 含液态 CO_2 , 三相包裹体	>90	270	零星分布, 次生包裹体很多, 气液比约10%
含铌伟晶岩	不规则形态为主, 近正方形、多角形	20—40 μm	气液包裹体, 偶见含NaCl子晶三相包裹体	25—30	220—260	零星分布, 次生、假次生包裹体, 气液比为10%左右
含铍伟晶岩	多角形、长方形	10—20 μm , 少数约30 μm	气液包裹体	15—20	180—200	零星分布
含金伟晶岩	长方形、椭圆形	数 μm	气液包裹体	10—15, 少数可达30—50	140	零星分布, 有时呈面型分布
含铌(钽)似伟晶岩	长圆形为主, 不规则形态、六边形	10—30 μm	气液包裹体	15—30	180	零星分布, 次生包裹体, 沿裂隙分布
含钨(铍)似伟晶岩	方形、菱形、椭圆形、近六边形	数 μm	气液包裹体	20 \pm	200	大小不等, 面型分布

面由于温度下降缓慢,有利于矿物生长,因而形成了粗晶状态。

2. 各类伟晶岩包裹体的气液比不同, 稀土伟晶岩的气液比最大, 有时可大于90%, 有气相包体出现, 其余的均为气液包体。气液比按下列顺序减小: 含稀土伟晶岩→含铈伟晶岩→含铍伟晶岩→含金伟晶岩。其均一化温度也按相同顺序降低。这一规律符合伟晶岩中成矿元素析出的顺序, 也与华南地区稀有金属花岗岩的矿化顺序完全一致, 即稀土矿化一般均位于岩体的下部, 向上是铈、铍, 最上面则是钨、铍、锡等, 而金的矿化一般远离岩体分布, 形成的温度也最低。

3. 不同矿化伟晶岩包裹体的类型也不一样。稀土伟晶岩以气相包体为主, 并见有含液态CO₂的三相包体。铈伟晶岩以气液包裹体为主, 但有时见有含NaCl子晶的三相包裹体。含铍及金的伟晶岩则是一般的气液包体。这一规律与相应矿化花岗岩石英中包裹体特征非常相似, 如苏州含铈花岗岩中就出现含NaCl子晶物的三相包体, 江西大田稀土矿化花岗岩中就有含液态CO₂的三相包体。

从以上几点明显可以看出, 伟晶岩中成矿溶液的特征与相应的矿化花岗岩有相似之处, 它们具有一定的继承性。

三、包裹体的气相成分

用我系自制的CXT型气相色谱仪测定。样品经过镜下挑纯, 用超声波洗净, 低温烘干, 以后再加热使其爆裂, 释放出气体, 送入仪器进行测定, 检出限为1/1000ml, 其结果见表3。从表看出:

1. 包裹体的气体成分多种, 但以水蒸气为主, 有一定的CO₂, 少量的CH₄, 此外还有N₂、O₂及CO。

表3 不同矿化伟晶岩矿物包裹体的气相组成(ml/100g)

Table 3. Gas composition of inclusions in different mineralized pegmatites (in ml/100g)

矿床类型	CO ₂	CH ₄	H ₂ O	CO+N ₂ +O ₂
稀土伟晶岩	15.36	1.01	44.74	96.94
铈伟晶岩	8.01	1.25	80.88	158.73
铍伟晶岩	12.32	0.61	53.23	52.09
含金伟晶岩	11.68	1.01	50.51	35.46
含铈似伟晶岩	11.62	5.97	70.64	63.71
含铍(铍)似伟晶岩	10.12	4.66	184.90	100.47

2. 稀土伟晶岩包裹体的CO₂含量最高, 与包裹体中出现液态CO₂相吻合, 这可能与稀土元素在内生作用过程中常与CO₃²⁻、HCO₃⁻形成络合物形式进行迁移有关。

3. 似伟晶岩与伟晶岩相比, H₂O及其它气体的含量均高, CH₄的含量表现尤为明显, 这可能与似伟晶岩的形成紧靠岩体的顶部有关, 它未经运移, 封闭性更好, 所以造成H₂O及挥发性气体——CH₄含量较高。

根据气体成分中CO₂与CH₄的含量计算出各种矿化伟晶岩形成的氧逸度值(表4)。氧逸

表4 不同矿化伟晶岩形成时的氧逸度值
Table 4. f_{O_2} values during the formation of different mineralized pegmatites

伟晶岩	氧逸度	lgf_{O_2}
稀土伟晶岩		-36.2
铍伟晶岩		-41.2—-39.1
铌伟晶岩		-42.8
金伟晶岩		-49.8
铌(锡)似伟晶岩		-45.6
钨(铍)似伟晶岩		-43.3

度值按稀土伟晶岩→铌伟晶岩→铍伟晶岩→金伟晶岩的顺序降低。也就是说,金伟晶岩是在相对较还原条件下形成,稀土等伟晶岩是在相对较氧化条件下形成。似伟晶岩与伟晶岩相比,氧逸度值较小,这可能与它们封闭性较好有关。

四、包裹体的液相成分

石英样品经镜下挑纯,超声波洗净,低温烘干,称取5g样,置于玻璃管中,封闭,置于马福炉中加热,在高于包裹体均一化温度条件下将其爆裂,释放出包裹体溶液,再用去离子水淋洗并稀释到100ml,采用微量方法分析,最低检出限为0.0n ppm,结果见表5。从表中可以看出:

表5 不同矿化伟晶岩矿物包裹体液相成分(ppm)

Table 5. Liquid composition of inclusions in different mineralized pegmatites

矿床类型	离子浓度										
	pH	Eh(mV)	电导率 $\Omega^{-1}cm^{-1}$ $\times 10^{-4}$	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Fe^{3+}	HCO_3^-	F^-	Cl^-	SO_4^{2-}
稀土伟晶岩	6.85	49.75	0.22	6.534	0.8625	0.1569	0.662	5.7	0.18	0.6	0.1
含铌伟晶岩	4.22	86.43	0.34	6.195	1.870	0.1624	0.2962	未测	0.32	0	0.050
含铍伟晶岩	6.23		0.05	6.711	0.4929	0.1848	0.599	0.4	0.09	0.1	0.1
含金伟晶岩	4.35		0.275	6.033	2.019	0.1809	0.0126	未测	0.22	0.5	0.038
含铌(锡)似伟晶岩	5.29	103.00	0.75	6.499	0.5961	0.1747	0.1032	0.33	1.70	0.2	1.5
含钨(铍)似伟晶岩	5.95	142.04	0.09	5.844	0.7106	0.1643	0.3223	0.048	0.10	0.3	0.3

(除含铍伟晶岩去离子水 pH=5.82外,其余去离子水pH=6.12)

1. 稀土伟晶岩的成矿溶液显碱性(与去离子水比较),铍伟晶岩显弱碱性,其余均为酸性。
2. 含矿伟晶岩包裹体溶液的电导率均较高,比一般去离子水高出数十倍或更多,说明它们具有较高的离子浓度。
3. 各类伟晶岩包裹体均富 K^+ 、 Na^+ ,贫 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及 Fe^{3+} 。
4. 各类伟晶岩阴离子含量有所不同。稀土伟晶岩富 HCO_3^- ,铌伟晶岩富 F^- ,含金伟晶岩富 Cl^- ,铍伟晶岩既含有一定量的 F^- ,又含有一定量的 HCO_3^- 。这些差异的造成,与内生作用过程中,这些元素的不同迁移形式有关。稀土元素常以 CO_3^{2-} 或 HCO_3^- 的络合物形式迁移;铌、钽常与 F^- 形成络合物;铍既可与 HCO_3^- 形成络合物,又可与 F^- 形成络合物;而金的迁移形式与环境的酸碱性有关,酸性条件下与 Cl^- 形成络合物,碱性条件下与 HS^- 组成络合物。本矿床的成矿溶液是酸性,所以溶液中富 Cl^- 是可以理解的。上述的各类络合物均以 K^+ 或 Na^+ 为配位阳离子,所以溶液中富 K^+ 、 Na^+ ,贫 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 。

五、包裹体溶液中成矿金属元素

成矿溶液中往往含有与矿床有关的高含量成矿金属元素，因为从溶液中析出的矿物总量与溶液处于一种平衡状态，所以即便矿物沉淀以后，溶液中总会残留部分成矿元素。因而包裹体溶液中成矿金属的含量可以是一种很直接的良好地球化学找矿标志。但是与造岩元素相比，成矿元素往往含量较低，一般的测试方法都不能检测，所以有关这方面的报导甚少。1980年我们曾用激光光谱法在不打包裹体的情况下，测定了一些包裹体溶液中的成矿金属元素，但此法对比较大的包裹体才适用，它有一定的局限性，所以应用不广。这次我们采用美国产J-A真空1100型等离子发射光谱仪测定了包裹体溶液中成矿金属元素，最低检出限为0.00ppm。

由于溶液经过稀释，加之去离子水的纯度不够要求，所以其含量还不能完全代表包裹体溶液的真实含量。尽管如此，不同矿化伟晶岩还是显示出了明显的变化规律（表6）。从表6可以明显看出，不同矿化伟晶岩的包裹体溶液都具有高含量的相应成矿元素。

表6 不同矿化伟晶岩矿物包裹体中成矿金属元素含量 (ppm)
Table 6. Contents of metallogenic elements in inclusions of different mineralized pegmatites (in ppm)

矿化类型 \ 元素	Au	Cu	Be	Nb	Ta	W	Sn	REE
稀土伟晶岩	0.0215	0.0165	<0.001	0.0235	0.0256	<0.0733	<0.015	1.2015
含铌伟晶岩	0.0219	0.0298	<0.001	0.022	0.027	<0.05	<0.015	1.0993
含铍伟晶岩	0.0206	0.0175	<0.001	0.024	<0.02	<0.05	<0.015	1.1757
含金伟晶岩	0.0184	0.0152	0.001	0.021	0.02	<0.05	<0.015	1.1115
含铌(锡)似伟晶岩	0.0214	0.031	0.031	0.024	<0.02	<0.05	<0.015	1.1431
含铍(铍)似伟晶岩	0.0179	0.0605	<0.001	0.021	<0.02	<0.05	<0.015	1.0395
绿柱石伟晶岩	0.0195	0.0205	<0.001	0.021	<0.02	<0.05	<0.015	1.0772

六、包裹体溶液的稀土元素含量

稀土元素在自然界广泛分布，其性质稳定，均一化程度高，且不易受变质作用等的干扰，一经记录到地质体中就被保存下来，是一种良好的地球化学指示剂。现在人们常用其来研究成岩成矿物质来源，探讨岩石及矿床的成因，但目前仅限于岩石或矿物中稀土元素的研究。

我们认为要研究矿床的成因和成矿物质的来源，用包裹体溶液测定稀土元素应该说更为合适。但要取得足够量的包裹体溶液供常用的稀土分析方法用，这是一件非常困难的工作，所以至今还未见有这方面的报导。这次我们采用了测定包裹体中成矿金属元素的同样方法，测定了稀土元素（最低检出限为0.00n—0.000n ppm）。样品虽然经过一定的稀释，稀土总量受到影响，但各稀土元素的相互比值将不受影响，用来作一些地化标志，探讨地质地化问题将是有效的。样品分析结果见表7。

表 7 不同矿化伟晶岩矿物包裹体中稀土元素含量 (ppm)

Table 7. REE contents of inclusion solution in different mineralized pegmatites (in ppm)

元 素	样 号	62	63	64	66	67	68
	岩 石	稀土伟晶岩	铈伟晶岩	铈伟晶岩	金伟晶岩	钨似伟晶岩	铋(锡)似伟晶岩
La		0.0343	0.0404	0.0338	0.0347	0.0356	0.0304
Ce		0.1772	0.1584	0.1669	0.1449	0.1693	0.1435
Pr		0.1094	0.1031	0.1082	0.1202	0.1120	0.0972
Nd		0.4998	0.4493	0.4950	0.4725	0.4959	0.4301
Sm		0.1175	0.1066	0.1140	0.1040	0.1183	0.1050
Eu		0.0060	0.0052	0.0060	0.0052	0.0060	0.0052
Gd		0.0744	0.0681	0.0710	0.0683	0.0743	0.0725
Tb		1.0510	0.0484	0.0502	0.0438	0.0522	0.0447
Dy		0.0170	0.0164	0.0168	0.0152	0.0170	0.0155
Ho		0.354	0.0343	0.0348	0.0340	0.0364	0.0323
Er		0.0361	0.0333	0.0354	0.0321	0.0360	0.0321
Tm		0.0297	0.0283	0.0295	0.0354	0.0322	0.0260
Yb		0.113	0.0909	0.112	0.0097	0.0121	0.0097
Lu		0.0019	0.0016	0.0020	0.0016	0.0019	0.016
Y		0.0052	0.0085	0.0052	0.0047	0.0055	0.0051
ΣCe		0.9442	0.863	0.9239	0.8815	0.9371	0.8114
ΣY		0.6786	0.2498	0.3569	0.2448	0.2676	0.2395
$\Sigma Ce/\Sigma Y$		1.39	3.45	2.59	3.60	3.50	3.39
ΣREE		1.62	1.1128	1.2808	1.1263	1.20	1.0509
δEu		0.1939	0.1849	0.2006	0.1882	0.1930	0.1824

表中的稀土伟晶岩包裹体成分以 Ce、Nd 为主, $\Sigma Ce/\Sigma Y$ 比值为 1.39, 也就是说是以 ΣCe 为主, 这与褐帘石中稀土的分布完全一致。说明包裹体溶液中稀土的分布完全反映了当时的成矿溶液的特点。

新疆的绿柱石伟晶岩, $\delta Eu=0.2020$, 这与该伟晶岩的全岩 δEu 值 (0.05—0.17) 相近。含铈伟晶岩 $\delta Eu=0.1849$, 与苏州含铈花岗岩 ($\delta Eu<0.2$, 全岩) 相近。稀土伟晶岩 $\delta Eu=0.1939$, 与江西大田稀土花岗岩 (δEu 为 0.11 及 0.24) 也相近。王中刚同志研究华南花岗岩中稀土分布的文章中曾指出, 一些具有稀土矿化的花岗岩, 其 $\delta Eu<0.2$, 与本文各稀有金属伟晶岩的结果 (均 <0.2) 非常相近。

综上所述, 包裹体溶液中稀土配分的特点能够反映当时成矿溶液的特点, 也与同类伟晶岩全岩的分布模式, 与相应矿化花岗岩的分布模式可以对比, 用其来探讨成矿物质的来源, 研究矿床的成因是完全可能的。

七、几点结论

1. 伟晶岩、似伟晶岩矿物中包裹体以气液包裹体为主, 也有气相包裹体及少数含 NaCl 子晶或液态 CO_2 的三相包体, 均一化温度一般为 $140^\circ C-270^\circ C$, 低于一般岩浆花岗岩所形成

的温度, 故推测所研究的伟晶岩是含矿花岗岩浆经多次分异, 晚期富含挥发分的残余岩浆-气液在封闭性较好的条件下缓慢结晶而成。

2. 似伟晶岩与伟晶岩相比, 包裹体的气液比稍大, 形成温度稍高, 水蒸气及挥发分含量更高, 氧逸度更低, 因而似伟晶岩的形成环境比起伟晶岩来封闭性更好。这一点与似伟晶岩一般发育在岩体的顶部, 而伟晶岩则是发育在岩体或围岩的裂隙中有关。

3. 稀土、铍、金、铌等含矿伟晶岩矿物包裹体溶液一般都具有较高的电导率, 富钾、钠, 贫钙、镁, 并且都具有与矿床相应的高含量成矿元素, 可以作为一种地球化学找矿标志。

4. 不同矿化伟晶岩包裹体的类型、均一化温度、气相及液相成分、成矿金属元素的含量及氧逸度等方面均有明显的不同: ①气液比、均一化温度、氧逸度均按稀土伟晶岩→铌伟晶岩→铍伟晶岩→金伟晶岩的顺序降低。②稀土伟晶岩包裹体以气相包裹体为主, 有含液态CO₂的三相包体, 气相成分富CO₂, 液相成分富HCO₃⁻, 成矿溶液为碱性。③铌伟晶岩以气液包裹体为主, 有时见含NaCl子晶的三相包裹体, 富F⁻, 为酸性。④金伟晶岩主要含气液包裹体, 富Cl⁻, 成矿溶液为酸性。⑤铍伟晶岩以气液包体为主, 既富HCO₃⁻, 又含一定量的F⁻, 溶液为弱碱性。

5. 花岗伟晶岩成矿溶液特征与相同矿化的花岗岩有某些相似之处, 有一定的继承性。

6. 包裹体溶液中稀土元素的分布能反映成矿溶液的特征, 可用来探讨成矿物质的来源。

参 考 文 献

- [1] 王鹤年 储同庆 蒋浩深 1980 华南不同成因花岗岩矿物中包裹体的特征 中国科学 第2期
 [2] 王鹤年 储同庆 1984 矿物包裹体成分的激光光谱法研究 《全国矿物中包裹体成分及爆裂法会议论文集》
 (二) 地质出版社
 [3] 何知礼 1982 包裹体矿物学 地质出版社

A STUDY OF INCLUSIONS IN MINERALS FROM DIFFERENT MINERALIZED PEGMATITES

Chu Tongqing, Wang Henian

(Department of Geology, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

Abstract

Genetic types of mineral inclusions, homogenization temperatures, composition of cations and anions, contents of metallogenic elements and REE distribution patterns of different mineralized pegmatites (containing REE, Nb, Be, and Au respectively) and some pegmatoids have been studied in this paper. On such a basis, the authors further discuss the formation conditions of pegmatites, the difference in formation conditions between pegmatites and pegmatoids, the characteristics of ore-forming solutions for mineralized pegmatites, the distinction in ore-forming solutions between different mineralized pegmatites and the pos-

sibility of using REE distribution patterns of liquid inclusions to investigate the ore-forming material sources of pegmatites.

Although the inclusions in minerals from pegmatites and pegmatoids are mainly gaseous-liquid ones, they show different characteristics in different mineralized pegmatites. Gaseous and liquid CO₂-containing triphase inclusions are mainly contained in REE pegmatite, while triphase inclusions with NaCl daughter crystal occur in the Nb pegmatite, which is somewhat similar to things with the corresponding mineralized granites. The homogenization temperature of the pegmatites ranges between 140°C and 270°C, lower than the formation temperature of granites. This suggests that the mineralized pegmatites and pegmatoids must have resulted from the residual magmatic fluids differentiated from mineralized granites under a more closed condition.

The gas components of inclusion are mainly water vapors, with some CO₂ and small amounts of CH₄, N₂, O₂ and CO. The inclusions in the REE pegmatite are enriched in CO₂. Compared with pegmatite, pegmatoid contains more gases, especially CH₄ gas, caused probably by the factor that pegmatoid usually occurs at the top of a rock body under more closed condition and without any migration. The oxygen fugacity under which each pegmatite was formed varies in the range of $\lg f_{O_2} = -36.2 \text{--} -49.8$. REE pegmatite was formed under relatively oxidizing condition, while the gold-bearing pegmatite occurred under relatively reductive condition.

As for the liquid phase components, the inclusion solutions of mineralized pegmatite with comparatively high electroconductivity have relatively high ion contents. They are also enriched in Na⁺ and K⁺ but depleted in Ca²⁺ and Mg²⁺. Different sorts of pegmatites are noted for diverse anion components: REE pegmatite is enriched in HCO₃⁻; Nb pegmatite is abundant in F⁻; gold-bearing pegmatite is rich in Cl⁻; and Be pegmatite contains certain amounts of both F⁻ and Cl⁻. These differences must have had something to do with the migration forms of these mineralizing elements in the ore-forming fluids. In this study, the authors have also determined the contents of metallogenic elements in the inclusions. Each sort of mineralized pegmatite is characterized by high content of the corresponding metallogenic element, and this serves as a good indicator in geochemical ore prospecting.

In REE distribution, the inclusion solution is similar to the bulk rock and every mineralized pegmatite is similar to corresponding mineralized granite. This suggests that REE distribution of the inclusion solution might be used to investigate the sources of ore-forming materials.