

云南哀牢山伟晶岩矿床稀土元素地球化学特征*

Geochemical Characteristics of REE in Pegmatite Field, Ailaoshan, Yunnan

李文^{1,2} 李兆麟^{1,2} 石贵勇¹

(1 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275; 2 南京大学金属成矿作用国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

Li Wen^{1,2}, Li Zhaolin^{1,2}, Shi Guiyong¹

(1 Department of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 2 The State Key Laboratory for Research of Mineral Deposits, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

摘要 对云南哀牢山伟晶岩矿床的变质岩、混合岩、花岗岩、伟晶岩及其他脉岩进行稀土元素分析, 指出该区的岩石为富轻稀土型, 稀土元素的活动性不同, 轻稀土为较活泼组分, 而重稀土为较惰性组分, 归纳出哀牢山伟晶岩的成矿组分按变质岩、混合岩、花岗岩、伟晶岩顺序, 有分散、集中、再分散、再集中的演化特点。

关键词 伟晶岩 混合岩 稀土元素 哀牢山

1 地质概况

哀牢山位于云南省中南部, 北起大理州弥勒县, 向南东方向延伸至红河州河口市及金平县出国境, 全长约 400 km, 该区处于印度板块与欧亚板块接触地带, 是一个构造活动与成岩成矿作用关系密切的地区。该区位于丽江台缘褶皱带哀牢山断裂南段, 东北面以红河断裂为界与扬子准地台相邻, 西南面以哀牢山断裂为界与兰坪—思茅褶皱带相邻(云南省地质矿产局, 1990)。云南地矿局在区域调查的基础上, 对该地区的变质成岩成矿作用作了一些研究(云南省地质矿产局, 1965; 翟明国, 1990), 但该区研究程度总的来说并不高, 还需要作大量的工作。

研究区为古元古界哀牢山群地层, 自北西向南东呈楔状展布于红河及哀牢山断裂之间, 为 NW-SE 走向的单斜, 地层已发生由低到中深程度的变质, 据变质程度和所含特征变质矿物, 将该区自南西向北东划分为 3 个变质带: 黑云母变质带、石榴石-十字石变质带和矽线石变质带, 3 带从南西向北东递增排列, 呈长条状沿北西-南东向展布, 变质递增顺序与地层新老顺序相反, 反映为由优地槽复理石建造沉积经变质而得到一套浅到中深热动力变质岩系列。同时在变质岩中也广泛发育各种混合岩, 自南西向北东还可以分为 3 个递增的混合岩带: 条纹状混合岩带、条带状混合岩带、眼球状混合岩带, 混合岩与变质岩交互产出, 混合岩带与变质岩带相互重叠, 两者界线并不一致。区内组成岩石有: 板岩、变质砂岩、变质砾岩、变质泥灰岩、大理岩、角闪岩、片岩、片麻岩、变粒岩、麻粒岩、透辉岩、混合岩、混合花岗岩等, 最常见的岩性为变粒岩、片麻岩、片岩及混合岩, 偶尔穿插花岗岩岩株和岩墙, 岩性为黑云母花岗岩和二长花岗岩。在南段则有大面积的花岗岩基出露, 侵入体与构造发育方向一致。该区曾发生多期构造运动, 最近期的也是对本区改造最深的构造运动为喜马拉雅运动(胡长寿, 1995)。

在变质岩、混合岩、花岗岩中广泛发育各种脉岩, 有石英脉、长石石英细晶岩脉、花岗伟晶岩脉。伟晶岩型矿床是本区重要的矿床类型, 产有水晶、绿柱石、海蓝宝石、碧玺、刚玉等宝石。

2 伟晶岩地质

根据野外产状, 可将本区伟晶岩分为 2 种类型, 即简单伟晶岩和复杂伟晶岩。

简单伟晶岩主要产于变质岩及混合岩中, 岩脉规模较小(长十几米~几米, 厚几分米~几厘米), 但数量众多, 发育密集, 顺层或穿层产出, 粒度几毫米~2 cm, 分带性差, 成分简单, 主要为长英质, 接近于混合岩中的浅色脉体。从野外产状

* 本文由国家自然科学基金(49673189、49873018)、高等学校博士学科点专项科研基金(98055807)及南京大学金属成矿作用国家重点实验室资助
第一作者简介 李文, 男, 1967年生, 博士研究生, 讲师, 从事矿床地球化学教学及科研工作。

看,混合岩脉体与伟晶岩脉相连通,该部分伟晶岩脉是由混合岩脉体串连或汇聚成的大脉体。很明显,这种伟晶岩主要是变质岩部分交代或部分熔融形成的熔体,在岩石应力驱动下,在层内流动或越出层面汇聚成较大的熔体,并常含较多的母岩挥发分,直接形成独立的伟晶岩浆,在原地附近形成伟晶岩,因为所含挥发分数量相对仍然不多,熔融体体积不大且分散,物质来源有限,加上冷却速度较快,所形成的伟晶岩粒度不大,分带性不明显。这种伟晶岩与混合岩脉体部分在成因上十分相近,只是相对规模和位移量不同。

另一种类型的伟晶岩是与花岗岩及大理岩密切相关的复杂伟晶岩,部分产于花岗岩岩株、岩墙的上部和边部,部分产于变质岩中,但仍能观察到与花岗岩侵入体有密切的联系,还有少部分产于混合岩化程度较深、规模较大的混合花岗岩中。这些伟晶岩呈岩墙状、巢状、囊状、透镜状、串珠状单生或连生,规模大(长几十米~几米,厚几米~几分米),带状构造明显,由边部向中部分为文象伟晶岩带、黑(白)云母花岗伟晶岩带、块状长石石英伟晶岩带、石英核带、晶洞,这种类型的伟晶岩常产出水晶、绿柱石、海蓝宝石、电气石、刚玉等粒度较大的晶体,构成有工业意义的宝石伟晶岩矿床。常见多量产出复杂伟晶岩的花岗岩体及变质岩附近,同时存在大理岩层,在只有花岗岩体及变质岩而无大理岩层的地方,复杂伟晶岩脉产出较少。

3 岩石稀土元素特征

哀牢山群岩石的温压条件按变质岩、混合岩、花岗岩顺序增高,对哀牢山的各种岩石进行稀土元素含量分析并进行分类整理,得到各类岩石稀土元素参数(表 1)和球粒陨石标准化图(图 1)。

各类岩石的稀土元素曲线总体向右倾斜,表现为富轻稀土的类型,变质岩的稀土元素总量 TREE 为 $(76.1\sim 223.9)\times 10^{-6}$,混

表 1 哀牢山岩石的稀土及铍元素丰度

样号	岩石名称	$w_B/10^{-6}$						$(Ce/Yb)_N$	$(La/Sm)_N$	$(Gd/Lu)_N$	$w_{Be}/10^{-6}$
		LREE	HREE	TREE	LR/HR	δCe	δEu				
P3-5-2	板岩	202.865	21.074	223.939	9.626	0.953	0.617	7.150	3.184	1.719	4.12
P3-19-6	片岩	183.805	15.736	199.541	11.680	0.906	0.636	11.781	3.417	2.967	3.562
P3-23-1	片麻岩	68.956	7.168	76.124	9.620	0.878	0.854	8.017	3.460	2.055	0.8750
P1-18-1	条带变粒岩	169.087	17.934	187.021	9.429	0.950	0.618	8.291	3.581	2.295	3.490
P2-12-1	角闪岩	90.969	16.549	107.518	5.497	0.870	1.001	4.353	2.016	2.231	1.899
P1-52-1	条纹混合岩	208.004	27.359	235.363	7.603	0.970	0.579	4.502	3.529	1.205	5.588
P2-9-2	条带混合岩	69.997	7.093	77.089	9.869	0.766	0.832	16.725	3.027	6.720	2.180
Y101	眼球状混合岩	316.781	17.478	334.259	18.125	0.924	0.246	31.857	4.015	5.502	4.040
P3-19-1	片麻状混合花岗岩	145.768	6.325	152.093	23.046	0.850	0.859	33.263	5.471	4.978	5.042
P3-21-2	微片麻状花岗岩	175.860	15.337	191.197	11.466	0.913	0.848	12.018	3.315	3.203	8.289
P1-17-1	花岗伟晶岩	15.306	0.712	16.018	21.512	0.771	8.651	23.090	7.440	2.082	4.147
P3-24-1	混合岩中长英脉	24.611	2.095	26.706	11.749	0.890	0.694	9.704	4.008	1.826	0.1712
P2-23-2	片岩中石英脉	37.405	3.855	41.260	9.703	0.853	1.336	7.951	3.702	2.055	0.9453
P2-4-3	花岗岩细脉	156.259	13.429	169.688	11.636	0.868	0.819	12.328	3.224	3.556	2.436
P1-12-1	绿灰色中粒花岗岩	434.422	17.526	451.948	24.787	0.944	0.876	40.045	5.015	6.359	0.624
P1-12-3	浅灰色细粒花岗岩	191.859	7.225	199.084	26.556	0.900	0.900	49.741	4.968	7.660	2.777
P1-12-5	浅灰色细粒花岗岩	166.332	6.466	172.798	25.725	0.893	0.928	44.654	5.299	6.888	2.991
P1-12-6	浅灰色中粒花岗岩	152.603	6.126	158.729	24.911	0.918	0.998	43.515	4.889	6.771	3.068
Y98080	灰白色石英核	3.207	0.304	3.511	10.564	0.372	0.397	6.039	13.376	0.869	0.663
Y98081	钠化长石伟晶岩	10.726	2.543	13.269	4.218	1.324	0.312	2.889	1.162	1.001	7.297
Y98082	花岗伟晶岩	9.507	3.777	13.283	2.517	0.422	0.261	0.833	4.097	0.661	9.083
Y98083	白云母花岗伟晶岩	62.579	2.467	65.046	25.365	0.965	0.209	28.447	3.398	3.148	17.62
Y98084	粗文象伟晶岩	9.972	0.641	10.613	15.557	0.577	0.461	10.682	10.084	1.350	5.117
Y98085	细晶岩	71.646	2.061	73.708	34.756	0.910	0.190	42.350	4.994	3.831	12.56
Y98056	长石晶体	4.359	0.711	5.070	6.130	0.379	0.579	2.718	5.527	1.058	8.415
Y98063	细粒伟晶白云母	7.877	4.434	12.311	1.777	0.628	0.446	0.751	1.388	0.733	0.751

合岩为 $(77.1\sim 235.4)\times 10^{-6}$, 花岗岩为 $(158.7\sim 451.9)\times 10^{-6}$, 石英脉、长石石英细晶岩脉、花岗伟晶岩脉为 $(3.5\sim 73.7)\times 10^{-6}$, 相对来说, 脉岩稀土元素的含量较低, 由此可以看出稀土元素在演化过程中, 表现为较不活泼的惰性元素性质, 即在变质作用、混合岩化作用过程中, 稀土元素不易迁出进入到脉岩中, 而更多地保留在原岩中。混合岩化使得混合岩比原变质岩稀土元素含量增加, 而混合岩中常见钠交代, 表明REE含量与钠化有直接关系, 考虑到混合岩化使得Ca含量减少, 因而可能有: $REE^{3+}+Na^{+}\rightarrow 2Ca^{2+}$, REE以类质同象置换Ca。

在稀土元素内部, 轻重稀土还存在分异, 变质岩的轻重稀土比值LREE/HREE为5.5~11.7, 混合岩为7.6~23.0, 花岗岩为24.8~26.6; 曲线斜率 $(Ce/Yb)_N$ 变质岩为4.4~11.8, 混合岩为4.1~33.3, 花岗岩为40.0~49.7; 轻重稀土的活动性有差别, 轻稀土的活动性大于重稀土, 致使轻稀土随着变质岩熔融程度提高而进入活动成分中, 重稀土则趋向于保留在原岩中, 造成轻稀土在混合岩中含量增加, 在花岗岩中更多。伟晶岩的曲线斜率为2.9~42.3, 石英脉和细晶岩脉4.1~44.1, 较为接近混合岩的曲线斜率, 这与野外观察到的脉岩类与混合岩产状关系密切相吻合, 证明了脉岩与混合岩在形成机制上较为接近。

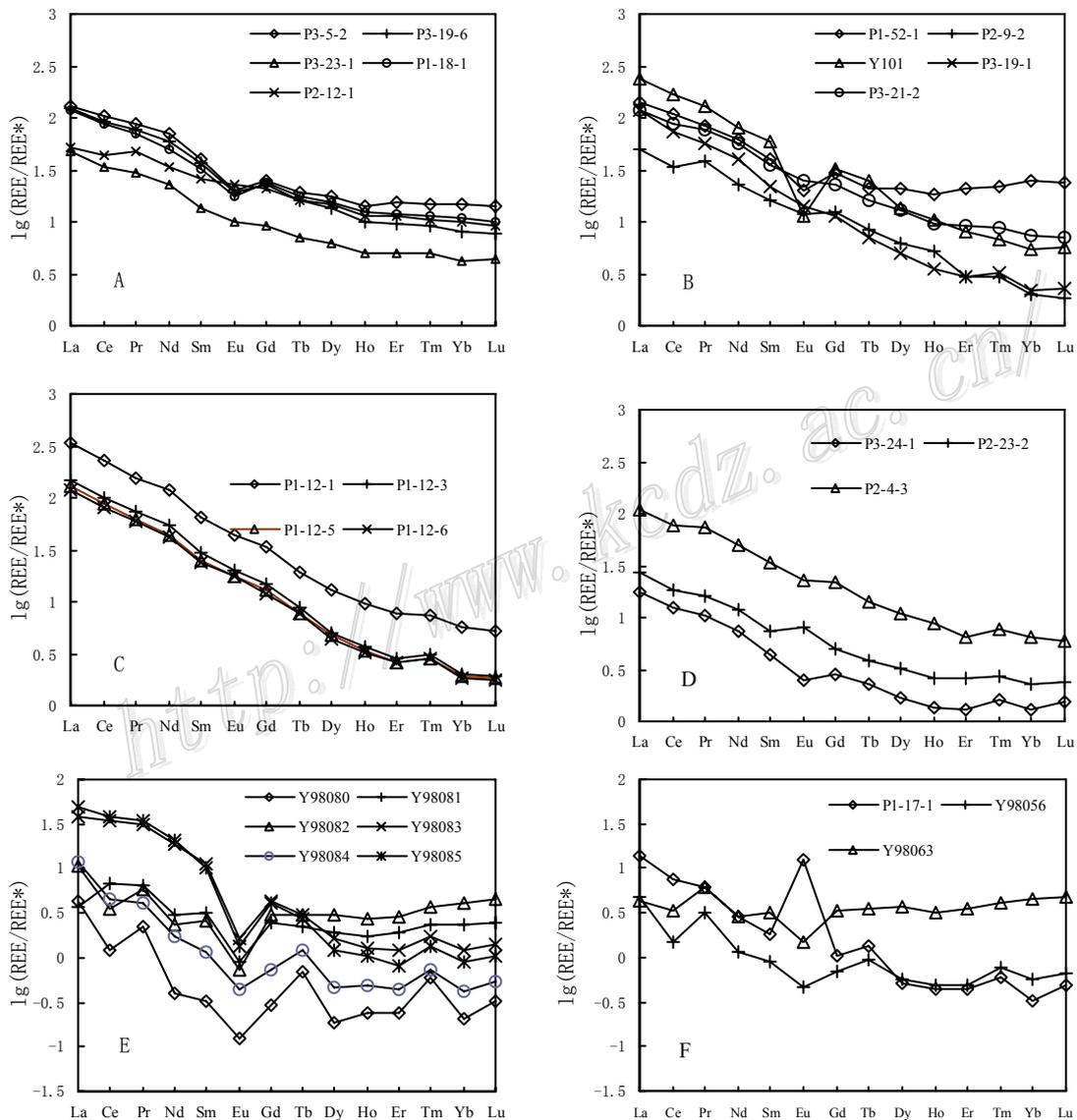


图1 哀牢山伟晶岩矿区岩石稀土元素球粒陨石标准化图

A. 变质岩; B. 混合岩; C. 花岗岩; D. 细岩脉; E和F. 花岗伟晶岩脉。岩性: P3-5-2板岩; P3-19-6片岩; P3-23-1片麻岩; P2-12-1角闪岩; P1-18-1变粒岩; P1-52-1条纹状混合岩; P2-9-2条带状混合岩; Y101眼球状混合岩; P3-19-1片麻状混合花岗岩; P3-21-2微片麻状花岗岩; P1-12-1绿灰色中粒花岗岩; P1-12-3浅灰色细粒花岗岩; P1-12-5浅灰色细粒花岗岩; P1-12-6浅灰色中粒花岗岩; P2-23-2片岩中石英脉; P3-24-1混合岩中石英脉; P2-4-3花岗岩脉; Y98080石英核; Y98081钠化长石伟晶岩; Y98082花岗伟晶岩; Y98083白云母花岗伟晶岩; Y98084粗文象长石伟晶岩; Y98085细晶岩; P1-17-1简单花岗伟晶岩; Y98056长石晶体; Y98063细粒伟晶白云母

观察 Eu 的特征, 从 δEu 和图形上可以看出, 除角闪岩外其他变质岩 δEu 为 0.59~0.64, 均有负异常, 混合岩 δEu 为 0.25~0.86, 部分 Eu 负异常增加, 多数情况减小, 花岗岩 δEu 为 0.88~1.00, Eu 异常减小甚至无异常, 说明变质岩随着变质程度加深, 岩石部分熔融, Eu 负异常趋向减小。

哀牢山群变质岩是在元古代优地槽复理石建造基础上经过多期构造运动改造形成的, 其原岩为各种类型的沉积岩。板岩是较为低级的变质岩, 代表变质改造程度较低、成分变化较小的早期岩石, 其配分曲线与变质程度较高的片岩、变粒岩十分吻合, 说明岩石在变质程度加深的情况下, 岩石的组分仅有很小的迁移; 片麻岩的曲线也与其很相似, 但相对要低一些, 说明片麻岩中岩石的组分迁移相对其他变质岩要大, 易于产生变质交代, 这一特点与混合岩多产于片麻岩中相符。另外角闪岩的配分曲线与其他变质岩差别较大, 说明角闪岩的原岩较为特殊, 野外角闪岩成层状稀疏分布, 很可能是由火山喷发物沉积形成的基性火山岩变质而来, 在发现夹于大理岩层之间的角闪岩层之后, 确证了角闪岩的原岩是火山喷发沉积物。

混合岩中以混合花岗岩和眼球状混合岩曲线斜率最高, 分异最好, 条带状混合岩居中, 条纹状混合岩最低, 这与混合岩的部分熔融程度有关, 并且条纹状混合岩与变质岩斜率最为接近, 所以变质岩开始部分熔融产生的应是条纹状混合岩。由于轻稀土在眼球状混合岩中含量增加, 而 Eu 由于性质特殊而改变不多, 造成 δEu 负异常加大, 曲线下凹程度增加。

花岗岩的曲线近直线, 十分规则, 并且与多数岩浆岩地区的花岗岩稀土元素曲线 Eu 下凹明显不同, 而这里的花岗岩 Eu 下凹不明显, 且 Eu 异常减小趋于消失, 反映出它们的形成机制存在差异。图 1C 的岩石来自同一花岗岩岩体, 与围岩接触的外带岩石稀土含量较高, 由外向内, 稀土元素含量减少, 从这些曲线看出, 稀土元素为相容性元素, 趋于进入岩浆早期结晶的矿物中。

图 1E 为同一具分带构造的复杂伟晶岩脉的样品。外带的细晶岩和中带的云母伟晶岩较富稀土, 靠外带的文象伟晶岩及靠内带的花岗伟晶岩和钠化长石伟晶岩贫稀土, 核部石英含量降到最低, 可见石英是含稀土元素很低的矿物。从单矿物稀土曲线看, 石英不规则, 长石稍富轻稀土, 云母中轻重稀土几无分异, 各分带伟晶岩稀土元素含量较低, 在这有限的数量里, 依然有稀土优先进入较早矿物的趋势。简单伟晶岩相近于复杂伟晶岩的云母花岗伟晶岩, 不同的是 Eu 为正异常, 从这一特点看, 简单伟晶岩与复杂伟晶岩的成因机制有差别, 推测简单伟晶岩是由变质岩深熔形成的伟晶岩浆形成的, 复杂伟晶岩则由花岗岩浆结晶分异的伟晶岩浆形成。

4 认识

稀土元素在各种岩石中的含量特征, 反映了岩石演化中的变化过程, 从上面的岩石特征看, 可以得到这样的认识, 在原沉积岩变质过程中, 各种沉积岩变质速率不一致, 沉积岩含活动性成分较多 (如粘土岩组分) 改变较快, 较少则稍慢, 但其所形成的变质岩的组分未发生大的迁移, 仅有小的变质分异迁移; 当变质条件升高, 出现混合岩化时, 物质分异程度加大, 活动性稍弱的组分开始活动, 产生交代, 分异程度提高, 混合岩轻重稀土元素的分异即是很好的证明。温压条件进一步提高使得活动性更弱的组分也开始活动时, 一方面使很惰性的元素分异更甚, 另一方面使已活动起来的组分趋于均匀化, 此时已构成重熔岩浆。

岩石的变化也是成矿元素迁移的过程。伟晶岩中经常产有绿柱石, 说明绿柱石通过一系列分异作用在伟晶岩中得到浓集。虽然稀土元素与 Be 的地球化学性质不同, 如稀土元素是相容元素而 Be 是不相容元素, 但从岩石成分的变化, 也可以了解该区的一系列地质过程对成矿的作用, 即在初始变质岩中, Be 的含量很低, 在混合岩中得到一定程度的浓集, 而岩石在大量熔融中, 又发生分散, 之所以在伟晶岩中富集成矿, 是岩浆在冷凝结晶过程中, Be 与挥发分在岩浆末期得到集中, 形成伟晶岩浆, 进一步形成含绿柱石的伟晶岩。由元素的集中分散特征, 可以确认混合岩化阶段和岩浆冷凝阶段是本区伟晶岩矿床的形成时期, 并且两个阶段成矿机制有差异, 造成两机制形成的伟晶岩矿床有诸多不同特点。

参 考 文 献

- 胡长寿. 1995. 云南哀牢山岩群中深变质岩系中矽线石的初步研究. 云南区域地质, (14): 12~15.
- 云南省地质矿产局. 1965. 区域地质调查报告 (元阳幅). 北京: 地质出版社.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京: 地质出版社. 448~523.
- 翟明国. 1990. 中国滇西南造山带变质岩 Sm-Nd 和 Rb-Sr 同位素年代学. 岩石学报, 6(4): 1~11.