

云南哀牢山带蛇绿岩中的变质橄榄岩及其岩石系列

沈上越 魏启荣 程惠兰 莫宣学

(中国地质大学材料系, 武汉 430074)

摘要 哀牢山蛇绿岩带中的变质橄榄岩主要由二辉橄榄岩和方辉橄榄岩组成, 前者具有原始地幔岩特征, 后者具有亏损(残留)地幔岩特征. 二辉橄榄岩经部分熔融后形成二种原生岩浆: 拉斑玄武岩浆和苦橄玄武岩浆; 前者演化成辉长岩_辉绿岩_辉石玄武岩系列, 具有洋脊型玄武岩特征; 后者演化成辉石岩_辉长闪长岩_钠长玄武岩_苦橄玄武岩系列, 具有准洋者玄武岩特征.

关键词 云南 哀牢山带 蛇绿岩 变质橄榄岩 岩石系列

云南哀牢山带位于横断山脉南缘, 哀牢山断裂与墨江—滕条河断裂之间, 是世界著名的构造岩浆带之一. 自1981年段新华等^[1]报道该带存在有蛇绿岩以来, 不少作者在此做过卓有成效的研究^[2~11], 并提出过不同的见解. 但他们的工作主要集中在新平县双沟一带, 而对全区的蛇绿岩尚缺乏系统的细致研究. 笔者^{[1][12]}“八五”期间对该区蛇绿岩带做了深入细致的研究. 根据若干剖面和部分地段填图研究, 恢复了哀牢山蛇绿岩组成, 由下往上依次是: 变质橄榄岩、镁铁_超镁铁侵入杂岩、基性熔岩和放射虫硅质岩单元; 层状辉长岩与辉绿岩墙群不发育. 本文着重对本区具有特色的二种变质橄榄岩与二套岩浆演化岩石系列做详细的讨论.

1 岩相学特征

变质橄榄岩: 本区的变质橄榄岩主要由二辉橄榄岩和方辉橄榄岩组成. 二辉橄榄岩由橄榄石、斜方辉石、单斜辉石及少量的液滴状熔融物组成, 具典型的熔融结构和块状构造, 橄榄石、斜方辉石、单斜辉石三种矿物中均见到扭折带和波状消光现象. 液滴状熔融物中见有单斜辉石、斜长石、尖晶石、蛇纹石、绿泥石、钙铝榴石、水钙铝榴石及玻璃质等. 方辉橄榄岩由蚀变橄榄石、蚀变斜方辉石组成, 含有微量的尖晶石和不透明矿物, 蚀变残留结构, 膝折构造及片理化构造.

镁铁_超镁铁侵入杂岩: 本区的镁铁_超镁铁侵入杂岩有辉石岩、辉长岩、辉长闪长岩、辉绿岩等. **辉石岩:** 主要由斜方辉石、金云母组成, 另有微量的橄榄石、钛铁矿及磁铁矿, 较自形的镶嵌结构, 斜方辉石强烈的蛇纹石化后构成希列构造. **辉长岩:** 由纤闪石化辉石和钠黝帘石化斜长石组成, 含有少量的后期蚀变的黝帘石、纤闪石细脉, 蚀变残留半自形粒状结构. **辉长闪长岩:** 由角闪石和斜长石组成, 含微量蚀变绢云母、石英等. **辉绿岩:** 由长条状斜长石和粒状单斜辉石、普通角闪石及粒状钛铁矿组成, 辉绿结构, 局部含长结构.

基性熔岩: 其熔岩化学成分投TAS图, 主要为玄武岩^[1]. 根据火山岩命名原则^[13], 主要岩石类型为辉石玄武岩、钠长玄武岩(含玄武安山岩)、苦橄玄武岩及由钠长玄武岩变质而来的变质玄武岩. **辉石玄武岩:** 由个别的斑晶和大量的基质组成斑状结构, 基质为间隐间粒结构; 斑

1) 莫宣学、沈上越, 等. “三江”地区火山岩蛇绿岩与成矿关系若干关键问题的研究. 地质矿产部“八五”找矿科技攻关课题报告, 中国地质大学, 1995

晶为单斜辉石, 基质由微晶斜长石、单斜辉石及隐晶质矿物组成. 钠长玄武岩: 由斑晶(20%~25%)和基质(75%~80%)组成, 典型的斑状结构, 基质为间隐结构, 局部地方的岩石为球状结构(即球粒玄武岩), 斜长石强烈钠化蚀变成钠长石. 苦橄玄武岩: 蚀变残留间隐结构及杏仁构造, 岩石中隐约可见长条状斜长石组成格架, 其间为玻璃质所充填; 气孔中被绿泥石和微量硅质所充填构成杏仁构造.

2 岩石化学及地球化学

2.1 岩石化学

变质橄榄岩: 其化学成分组成见表1. 从表1看, 二辉橄榄岩 MgO 和 Mg' 值较方辉橄榄岩低, 平均为 38.24% 和 0.89, 而 CaO (平均 2.54%)、 Al_2O_3 (平均 4.17%)、 TiO_2 (平均 0.17%) 相对较高, 与大洋中脊二辉橄榄岩相似^[4], 接近原始地幔二辉橄榄岩. 方辉橄榄岩 MgO 和 Mg' 值较高, 平均为 41.56% 和 0.90, CaO (平均 0.41%)、 Al_2O_3 (平均 1.92%)、 TiO_2 (平均 0.08%) 较低, 接近强烈亏损的方辉橄榄岩^[4], 类似亏损的地幔岩.

表1 哀牢山带蛇绿岩岩石化学成分平均含量表(%)

序号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Mg'
1(2)	45.44	0.17	4.17	1.71	7.01	0.13	38.24	2.54	0.10	0.01	0.02	0.89
2(7)	46.29	0.08	1.92	1.79	7.04	0.11	41.56	0.41	0.26	0.06	0.04	0.90
3(1)	51.23	1.24	15.89	1.99	6.40	0.15	9.27	10.67	2.91	0.08	0.17	0.68
4(1)	49.25	1.54	16.16	2.88	1.89	0.19	8.34	9.89	3.09	0.63	0.13	0.77
5(4)	51.12	1.31	15.78	2.11	8.03	0.17	8.09	9.20	3.79	0.19	0.14	0.66
6(1)	42.76	1.87	10.88	2.42	8.12	0.16	32.00	0.21	0.95	0.56	0.07	0.88
7(1)	50.00	0.76	19.90	2.38	4.97	0.15	7.71	9.22	1.84	2.75	0.24	0.66
8(12)	51.53	1.53	19.00	2.60	8.16	0.20	7.20	4.85	3.31	1.13	0.21	0.57
9(1)	42.22	2.10	21.12	2.78	8.90	0.20	19.04	1.74	1.09	0.56	0.26	0.75

分析单位: 湖北省地质局中心实验室; 括号内数字为样品个数.

1. 二辉橄榄岩(双沟); 2. 方辉橄榄岩(浪泥塘、老王寨、金山丫口、双沟、金厂); 3. 辉长岩(白腊度); 4. 辉绿岩(双沟); 5. 辉石玄武岩(浪泥塘、老王寨、平掌); 6. 辉石岩(老王寨); 7. 辉长闪长岩(大坪); 8. 钠长玄武岩(老王寨、金山丫口、帽盒山、老金山、大坪、老猛); 9. 苦橄玄武岩(帽盒山)

镁铁_超镁铁侵入杂岩: 由表1可见, 镁铁_超镁铁侵入杂岩中的辉石岩与变质橄榄岩相比, MgO (32.00%) 和 Mg' (0.88) 较低, Al_2O_3 (10.88%)、 TiO_2 (1.87%)、 K_2O (0.56%) 更高, $m/f=5.48$, 为铁质超基性岩; 镁铁_超镁铁侵入杂岩中的辉长岩、辉绿岩的特征与下述辉石玄武岩特征相似; 堆晶杂岩中的辉长闪长岩与下述钠长玄武岩特征相似.

基性熔岩: 辉石玄武岩通过岩石化学成分及残留辉石的化学成分进行判别^[12], 为亚碱性拉斑系列, 其化学成分与洋脊拉斑玄武岩的平均成分非常接近^[14], 只是 SiO_2 (51.12%)、 Na_2O (3.79%)、 K_2O (0.19%) 稍高一些(仍为低钾型), CaO (9.20%) 稍低点; 化学成分投入 AFM、 $MgO_CaO_Al_2O_3_FeO^*/MgO_TiO_2_TiO_2_P_2O_5$ 及 ATK 图, 几乎全部落在洋脊玄武岩区¹⁾. 钠长玄武岩与苦橄玄武岩通过岩石化学成分及微量元素投图^[14], 为亚碱性拉斑系列, 其化学成分与洋脊拉斑玄武岩的平均成分相比, Al_2O_3 (19.00%~21.12%)、 K_2O (0.56%~1.13%) 较高, 而 CaO (1.71%~4.85%) 较低, 与准洋脊玄武岩相似^[15]; 化学成分投入 AFM、 $MgO_CaO_Al_2O_3_FeO^*/MgO_TiO_2_TiO_2_P_2O_5$ 及 ATK 图, 几乎全部落在洋脊玄武岩区¹⁾.

1) 同 438 页脚注

Al_2O_3 、 FeO^* / MgO 、 TiO_2 、 TiO_2 、 P_2O_5 和 ATK 图中, 绝大部分落于洋脊玄武岩区或靠近洋脊玄武岩区¹⁾.

2.2 稀土元素和微量元素特征

根据哀牢山蛇绿岩带的稀土元素(表2)、微量元素分析结果¹⁾, 做出稀土元素配分模式及微量元素配分模式(图1和图2).

表2 哀牢山带蛇绿岩稀土元素丰度(10^{-6})

序号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE
1(2)	0.53	1.43	0.21	0.84	0.32	0.118	0.435	0.100	0.574	0.137	0.385	0.070	0.371	0.064	2.94	8.50
2(6)	0.85	1.82	0.21	0.71	0.19	0.072	0.172	0.033	0.157	0.032	0.099	0.014	0.082	0.014	0.83	5.27
3(1)	2.29	7.71	1.39	7.49	2.33	0.879	3.57	0.696	4.33	0.903	2.53	0.378	2.31	0.349	23.70	60.31
4(1)	5.12	13.65	2.61	14.21	4.54	1.729	5.933	1.093	7.592	1.522	4.479	0.639	3.885	0.535	42.35	109.90
5(4)	3.54	9.95	1.63	8.42	2.64	1.018	3.600	0.678	4.766	1.000	2.900	0.434	2.781	0.412	26.67	70.44
6(1)	4.86	15.59	2.64	14.80	4.30	0.579	4.704	0.811	4.733	0.828	2.100	0.300	1.550	0.220	20.50	78.53
7(2)	12.33	29.90	3.64	13.69	2.69	0.810	2.31	0.351	1.92	0.361	0.98	0.157	0.86	0.131	9.10	76.20
8(9)	11.89	23.44	3.51	15.64	4.03	1.637	4.694	0.848	5.15	1.060	2.935	0.454	2.665	0.402	27.27	107.49
9(1)	12.64	30.07	4.17	17.70	4.54	1.317	4.696	0.794	5.193	1.052	2.944	0.435	2.673	0.391	27.70	116.31

说明同表1

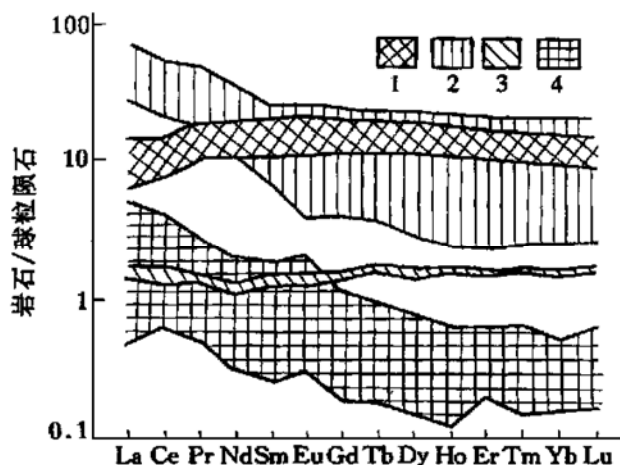


图1 哀牢山蛇绿岩带稀土元素配分模式

1. 洋脊型; 2. 准洋脊型; 3. 二辉橄榄岩; 4. 方辉橄榄岩

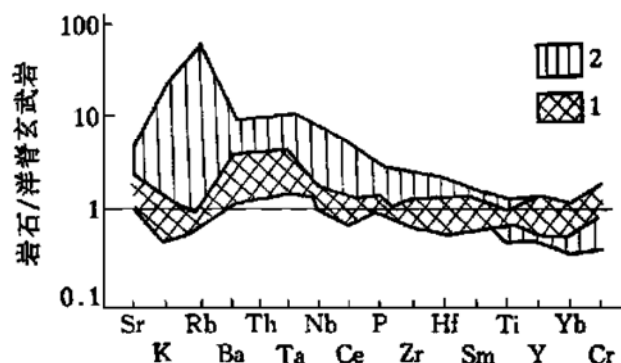


图2 哀牢山蛇绿岩带微量元素配分模式

1, 2 说明同图1

2.2.1 稀土元素特征

变质橄榄岩单元: 由表2及图1看出, 变质橄榄岩的稀土元素特点可明显分为两类; 一类以典型二辉橄榄岩为代表, 其稀土元素特点是 ΣREE 相对方辉橄榄岩较高, 是球粒陨石的 1.5 ~ 2 倍, 变化范围较小, ΣREE 为 5.57×10^{-6} , 轻重稀土分馏不明显, La_N/Yb_N 为 0.94, 配分模式近平坦型, 为国内外所罕见^[16], 显示了一种原始地幔岩的特征. 另一类以方辉橄榄岩为代表, ΣREE 相对较低, ΣREE 平均为 4.44×10^{-6} , 但变化范围较大, 轻、重稀土分馏明显, La_N/Yb_N 为 8.15, 配分模式总趋势呈右倾斜式, 反映了一种残留地幔岩的特点.

镁铁_超镁铁侵入杂岩及基性熔岩: 由表2及图1可知, 该二单元的稀土元素丰度变化较大, 稀土元素配分特点可分为二类; 一类以辉长岩_辉绿岩_辉石玄武岩系列为代表, 稀土元素

1) 同 438 页脚注

总量较低, 稀土元素配分模式总趋势为轻稀土略亏损的平坦型, 与洋脊玄武岩类似^[15]; 另一类以辉石岩_辉长闪长岩_钠长玄武岩_苦橄玄武岩系列为代表, 稀土总量较前者高, 稀土配分的总的趋势呈轻稀土右倾斜型, 与准洋脊型玄武岩类似^[15]; 其中辉石岩有明显的负铕异常($\delta_{Eu} = 0.4$), 而钠长玄武岩即有明显的正铕异常($\delta_{Eu} = 1.27$), 表明该岩石系列发生过明显的结晶分异作用.

2.2.2 微量元素特征

据微量元素分析结果, 变质橄榄岩单元的大离子亲石元素 K, Rb, Sr, Ba 的丰度普遍较低, 不活动元素 Nb, Ta, Zr, Hf 的丰度亦较低, 而放射性生热元素 U, Th 丰度较高. 此外, 方辉橄榄岩较二辉橄榄岩更富集 Cr, Ni, 贫不相容元素. 镁铁_超镁铁侵入杂岩及基性熔岩单元, 从图2看出, 辉长岩_辉绿岩_辉石玄武岩系列模式近平坦型, 与洋脊玄武岩特征类似^[15]; 而辉石岩_辉长闪长岩_钠长玄武岩_苦橄玄武岩系列的配分模式为大离子(Rb, Sr, K, Ba)上隆的近似平坦型, 略具有大陆玄武岩特征, 与准洋脊玄武岩特征类似^[15]. 将二个系列岩石中的有关 V, Ti, Zr 分别投 V-Ti 与 Zr-Ti 图, 几乎全落于或十分靠近洋脊玄武岩和洋底玄武岩区¹⁾.

3 蛇绿岩的演化过程分析

3.1 原始岩浆的判别

根据判别原始岩浆的标准(M 值为 68~72, Cr 380×10^{-6} , Co $27 \sim 80 \times 10^{-6}$, Sc $15 \sim 28 \times 10^{-6}$, 固结指数 SI 约为 40 或更大), 本区辉石玄武岩 M 67.85, Cr 346×10^{-6} , Co 28×10^{-6} , Sc 38.3×10^{-6} , SI 40; 苦橄玄武岩 M 79.28, Cr 274×10^{-6} , Co 24×10^{-6} , Sc 29.3×10^{-6} , SI 58.82; 与判别标准比较, 其中辉石玄武岩为原始岩浆, 而苦橄玄武岩非常接近原始岩浆; 结合上述岩相学研究, 表明该区存在着二种原始岩浆_拉斑玄武岩浆和苦橄玄武岩浆.

3.2 部分熔融程度的估算

利用批式熔融公式和杠杆图解法计算¹⁾本区的拉斑玄武岩浆是二辉橄榄岩经过近 11% 部分熔融的产物, 而苦橄玄武岩浆是二辉橄榄岩经过近 17% 部分熔融的产物.

3.3 蛇绿岩的形成过程

从上面的研究表明, 蛇绿岩的形成过程综合归结为:

具有熔融结构的原始二辉橄榄岩 $\rightarrow$ 熔出后形成残留方辉橄榄岩.

熔出 11% 土形成拉斑玄武岩浆, 演化成辉石玄武岩_辉绿岩_辉长岩系列; 熔出 17% 左右形成苦橄玄武岩浆, 演化成苦橄玄武岩_钠长玄武岩_辉长闪长岩_辉石岩系列.

4 结论

(1) 蛇绿岩中的二种变质橄榄岩, 即二辉橄榄岩和方辉橄榄岩无论在矿物成分、结构构造、岩石化学、稀土元素和微量元素等方面均有明显的区别. 其中二辉橄榄岩为原始地幔岩, 其平坦型稀土元素模式特征为国内外罕见; 方辉橄榄岩为亏损(残留)地幔岩.

(2) 研究表明, 该区原始地幔岩_二辉橄榄岩经不同程度的部分熔融产生了二种原始岩浆及其派生的两套岩石系列, 其中原生拉斑玄武岩浆及其演化的岩石系列具有洋脊型玄武岩特征; 而原生苦橄玄武岩浆及其演化的岩石系列具有准洋脊玄武岩的特征.

1) 见 438 页脚注

(3) 哀牢山蛇绿岩的形成过程, 为我们研究地幔转化为洋壳提供了一个极好的范例.

致谢 本工作为国家自然科学基金(批准号: 49772122)及“八五”地质矿产部找矿科技攻关项目(编号: 85_01_003_08)资助课题.

参 考 文 献

- 1 段新华, 赵 鸿. 论哀牢山_滕条河断裂——古板块俯冲带. 地质学报, 1981, 55(4): 258~ 266
- 2 张 旗, 张魁武, 李达周, 等. 云南新平双沟蛇绿岩的初步研究. 岩石学报, 1988, 4(4): 37~ 48
- 3 张 旗, 赵大升, 李达周. 云南新平双沟蛇绿岩中地幔岩初始熔融物. 岩石学报, 1991, 7(1): 1~ 15
- 4 张 旗, 张魁武, 李达周. 横断山区镁铁_超镁铁岩. 北京: 科学出版社, 1992
- 5 张 旗, 周德进, 李秀云, 等. 云南双沟蛇绿岩的特征和成因. 岩石学报, 1995(增刊): 190~ 202
- 6 张 旗, 周德进, 陈 雨. 一种新的洋壳类型及其动力学. 科学通报. 1996, 41(11): 1 025~ 1 027
- 7 周德进, 张 旗, 李秀云, 等. 双沟地幔岩中初始熔体的 REE 地球化学研究. 科学通报, 1993, 38(1), 96
- 8 周德进, 张 旗, 李秀云, 等. 双沟地幔岩中初始熔融物的地球化学. 岩石学报, 1995(增刊): 203~ 211
- 9 黄忠祥, 韩 松, 董金泉, 等. 云南新平县双沟蛇绿岩稀土元素地球化学研究. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(3): 205~ 211
- 10 黄忠祥, 贾秀勤, 董金泉, 等. 云南双沟变质橄榄岩中蛇纹石的稀土元素空间分布. 岩石学报, 1995, 11(1): 16~ 27
- 11 李秀云, 周德进, 张 旗, 等. 云南双沟地幔橄榄岩中部分熔融物的 REE 特征. 岩石学报, 1993, 9(9): 308~ 311
- 12 魏启荣, 沈上越. 哀牢山北段老王寨_浪泥塘一带蛇绿岩及形成环境. 特提斯地质, 1995, (19): 56~ 70
- 13 莫宣学, 路凤香, 沈上越, 等. 三江特提斯火山作用与成矿, 地质专报(三). 北京: 地质出版社, 1993
- 14 李春昱, 郭令智, 朱 夏. 板块构造基本问题. 北京: 地震出版社, 1986
- 15 沈上越, 张保民, 魏启荣, 等. 金沙江带洋脊/准洋脊火山岩特征研究. 特提斯地质, 1994, (18): 130~ 142
- 16 王希斌, 鲍佩声, 戎 合. 中国蛇绿岩中变质橄榄岩的稀土元素地球化学. 岩石学报, 1995(增刊): 24~ 41

(1997-03-21 收稿, 1997-07-23 收修改稿)

功能梯度材料(FGM)温度应力的实验研究

亢一澜 徐千军^④ 余寿文^④

(天津大学力学与工程测试系, 天津 300072; ④清华大学工程力学系, 北京 100084)

摘要 用云纹干涉法测定了 FGM 试件和双材料试件在温度载荷作用下的变形位移场, 给出了温度应力沿界面层上的分布曲线, 讨论了梯度界面对温度应力特别是对界面层端部区域应力集中的影响. 实验结果表明: 与双材料试件相比, FGM 试件中的梯度层有效地缓释了界面端部区域的应力集中, 改善了界面应力的分布, 减缓了界面区域的变形与应变并还将实验结果与有限元数值计数结果进行了比较.

关键词 功能梯度材料 云纹干涉实验 温度应力集中

近年来, 很多新型的复合结构和复合材料在航天航空、核能反应堆、高温发动机等高科技领域得到了应用. 在这些材料或结构中的不同材料的界面处, 由于界面两侧材料的热学与力学性能失配, 在生产和使用过程中的温度变化会产生较大的界面温度应力, 从而可能导致结构破坏或者失效. 为了缓解异质材料间的性能失配, 人们提出了功能梯度材料(FGM), 即在两种不同材料的界面间加上一个材料参数按一定规律变化的梯度层, 以缓释结构在不同载荷工