

岚皋金云角闪辉石岩类捕虏体特征*

徐学义

黄月华

(中国地质大学, 北京 100083)

(西北大学地质系, 西安 710069)

夏林圻 夏祖春

(地质矿产部西安地质矿产研究所, 西安 710054)

主题词 金云角闪辉石岩 交代地幔捕虏体 地幔交代作用 地幔热柱

提要 陕西岚皋地区碱质基性-超基性潜火山杂岩中的金云角闪辉石岩类捕虏体, 主要由透辉石、富钛韭闪石、高Ti金云母、磷灰石及钛铁矿组成。捕虏体发育三联晶、碎裂边、扭折变形等固相线下变形变质结构, 与正常地幔尖晶石二辉橄榄岩成分相比, 捕虏体富 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O , 贫 MgO ; 其稀土元素具富集特征, 尤其富集LREE; 微量元素配分型式显示富亲石不相容元素的特征。岩相学、矿物学及岩石化学特征表明, 该类捕虏体为交代地幔捕虏体, 它代表了北大巴山早古生代裂谷作用时期的异常地幔。交代营力可能源于地幔热柱的上升, 在地幔深处可能以熔体交代作用为主, 往上逐渐以流体交代作用为主。

1 前言

陕西岚皋境内分布着一套早古生代(431.9Ma)^[1]碱质基性-超基性潜火山杂岩^[2]。岩体具侵入产状, 火山角砾发育, 是一套超浅成隐爆成因的潜火山杂岩。包括金伯利岩、似金伯利岩, 白榴金云透辉煌斑岩及辉石玢岩三大类。后两种岩石中含有大量捕虏体, 捕虏体基本上可分为五类, 第一类为煌斑杂岩所包括的各种岩石; 第二类为围岩碎屑, 即沉积岩碎屑; 第三类为金云角闪辉石岩类捕虏体; 第四类为绿色辉石岩捕虏体; 第五类为碱质基性火山岩。第一类岩石和第四类捕虏体已进行过较为详细的探讨^[2,3]。黄月华(1993)曾对第三类捕虏体的矿物学特征进行过探讨^[4]。

由于金云角闪辉石岩类捕虏体矿物组成的独特性, 加之其可与东非裂谷西支乌干达地区超钾质熔岩中的含水碱性辉石岩交代地幔捕虏体^[5]相对应, 因此它的研究对了解本区潜火山杂岩的成因无疑具有很大的意义。本文将着重从岩相学、矿物学(重点突出辉石、角闪石、金云母三种矿物)、岩石化学三个方面探讨金云角闪辉石岩类捕虏体特征, 并进而探讨其可能的形成机制。

金云角闪辉石岩类捕虏体主要产于辉石玢岩、金云透辉煌斑岩及橄辉玢岩三种岩石之中。这些岩石均具斑状结构, 角砾构造; 斑晶分别为透辉石、透辉石和金云母、透辉石及橄榄石(已蚀变为蛇纹石), 基质由细晶一脱玻化玻璃组成。

* 本文为国家自然科学基金资助项目(49192201, 49402035)成果之一。
本文于1995年11月收到。

2 岩相学特征

捕虏体在前述寄主岩中呈角砾状碎块产出,一般个体较小,最大不超过 10cm,呈浑圆形,黑—黑绿色,与寄主岩界线截然。典型的矿物组成为单斜辉石±角闪石±金云母±磷灰石±钛铁矿,个别捕虏体中含铬尖晶石。依照捕虏体中不同矿物的百分含量,可分为角闪岩、角闪辉石岩、辉石角闪岩、磷灰角闪岩、金云角闪辉石岩、金云母辉石岩、金云辉石角闪岩、金云角闪岩、钛铁金云母岩、钛铁辉石岩、辉石角闪金云母岩、铬尖晶石辉石岩等十二种类型,通称为金云角闪辉石岩类捕虏体。

捕虏体以粒状、板状镶嵌结构及交代结构为主要特征。镶嵌结构主要见于角闪辉石岩、金云辉石岩、钛铁辉石岩中。辉石颗粒呈粒状镶嵌,一般接触面平直,三联晶结构常见。辉石矿物发育碎裂边结构,可见波状消光现象。交代结构发育的岩石,辉石呈残存孤岛状,角闪石、金云母常见扭折—膝状变形。

捕虏体中交代结构十分发育。按照矿物之间交代的顺序,可分为三期:第一期是角闪石、金云母交代单斜辉石。交代不强烈的一般沿辉石矿物颗粒之间分布;交代强烈时可使单斜辉石成孤岛状甚至完全消失,形成角闪岩及金云母岩。可见角闪辉石岩重结晶后形成角闪石、单斜辉石镶嵌的结构及金云母交代角闪石的现象;第二期为磷灰石、钛铁矿交代单斜辉石、角闪石、金云母。磷灰石常呈它形细小粒状,沿矿物颗粒边缘及岩石裂隙交代,最大含量可达 20%。钛铁矿呈不规则或细脉状沿矿物颗粒边缘交代;第三期为碳酸盐对上述矿物的交代,代表了最晚期的交代现象。

3 矿物学特征

单斜辉石 单斜辉石呈不规则粒状—半自形板柱状,薄片无色,常被角闪石、金云母、磷灰石等交代。其矿物化学成份列于表 1。从图 1 可知单斜辉石主要为透辉石,少数为普通辉石。与正常地幔二辉橄榄岩中含铬透辉石^[6]相比,此种单斜辉石富 TiO₂ (0.41%—1.51%)、FeO (4.07%—8.32%), 贫 MgO (11.44%—16.40%)、Cr₂O₃ (0.00%—0.89%); 与寄主岩中的单斜辉石成份相比^[2], 则明显贫 TiO₂、FeO、Al₂O₃、CaO, 而富 MgO。此种单斜辉石成份与乌干达西南部 (Lloyd, 1981)^[6]、德国

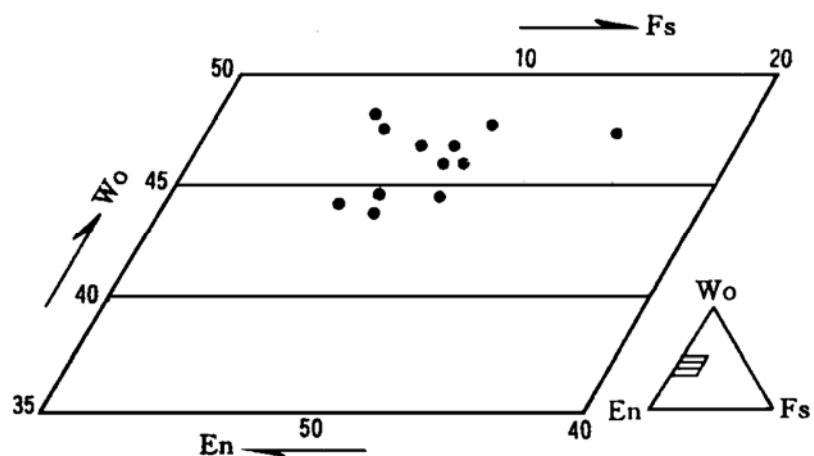


图 1 单斜辉石化学成份图

(据 Morimoto 等, 1988)

Fig. 1 Chemical compositions of clinopyroxene

Eifel 裂谷(Dudaetal., 1985)^[7]和美国怀俄明州白榴石山^[8]等地碱性熔岩中含水辉石岩捕虏体中单斜辉石成份十分相似。采用 Mercier(1976)^[9]单斜辉石温压计计算其压力范围为 1.17—4.4GPa, 温度范围为 770—1040℃。由压力推算其形成深度为 56—147km 左右。属于地幔范畴。

表1 金云角闪辉石岩类捕虏体单斜辉石化学成份

Table 1 Chemical compositions of clinopyroxene in phlogopite-amphibole pyroxenite xenoliths

捕虏体名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
辉石角闪岩	* 52.40	1.32	2.55	0.00	7.01	0.00	13.98	0.00	23.41	0.60	0.00	101.27
	* 51.41	1.51	4.56	0.00	8.32	0.28	11.41	0.19	21.70	1.24	0.00	100.62
	* 53.92	0.89	3.68	0.78	4.42	0.16	15.00	0.17	20.76	0.98	0.05	100.81
	* 51.10	1.46	5.16	0.04	5.38	0.04	13.77	0.22	20.41	1.15	0.00	98.73
金云辉石角闪岩	* 51.06	1.70	3.50	0.13	5.79	0.13	15.08	0.00	21.43	0.88	0.00	99.70
	54.55	0.41	1.37	0.03	4.07	0.11	16.30	0.00	23.10	0.68	0.00	100.62
	* 51.31	1.08	3.68	0.02	6.02	0.00	15.51	0.00	20.05	1.32	0.00	98.99
	* 51.97	1.46	3.33	0.00	6.41	0.03	14.40	0.06	22.97	0.77	0.00	101.59
金云母辉石岩	* 52.61	1.11	2.10	0.11	5.51	0.17	15.40	0.02	22.44	0.51	0.00	99.98
	51.55	1.23	2.64	0.11	5.29	0.08	15.12	0.06	22.38	0.87	0.00	99.33
铬尖晶石辉石岩	* 51.95	0.96	1.92	0.89	3.72	0.09	16.36	0.15	23.05	0.47	0.00	99.56
	52.63	0.97	2.12	0.81	3.41	0.06	16.40	0.00	23.14	0.40	0.02	99.96

注: 捕虏体矿物化学成份系采用 JXA-733 电子探针测定。测定者: 西安地矿所刘文峰。

* 选用 Mercier(1976) 温压计方法进行温压计算。

目前, 我们在岚皋基性-超基性潜火山杂岩区还未发现正常的地幔二辉橄榄岩捕虏体。所发现的金云角闪辉石岩捕虏体中的辉石全为单斜辉石, 这种辉石是否代表了原始地幔岩经受交代作用的残余? 本区发现的铬尖晶石辉石岩中的单斜辉石化学成份接近于原始地幔中的含铬单斜辉石, 它可能代表了原始地幔岩经受地幔交代的残余。贫 MgO、Cr₂O₃ 的单斜辉石可能经受了比铬尖晶石辉石岩更强的交代作用。

角闪石 薄片呈红褐色、棕褐色, 多为不规则状, 交代单斜辉石, 同时又被金云母交代。其矿物化学成份列于表 2, 从表中可知其成份与我国东部上地幔捕虏体中的富钛韭闪石成份^[10] 十分相似。TiO₂ (1.85%—3.87%)、FeO (6.95%—13.66%), 应属富钛韭闪石范畴。在角闪石 Na+K—Si 图(图 2)^[11] 中全落入上地幔韭闪石范畴。与寄主岩中角闪石捕虏晶成份^[2] 相比, TiO₂、FeO 含量低, MgO、Na₂O 含量明显增高, 如与产于幔源二辉橄榄岩捕虏体中的脉

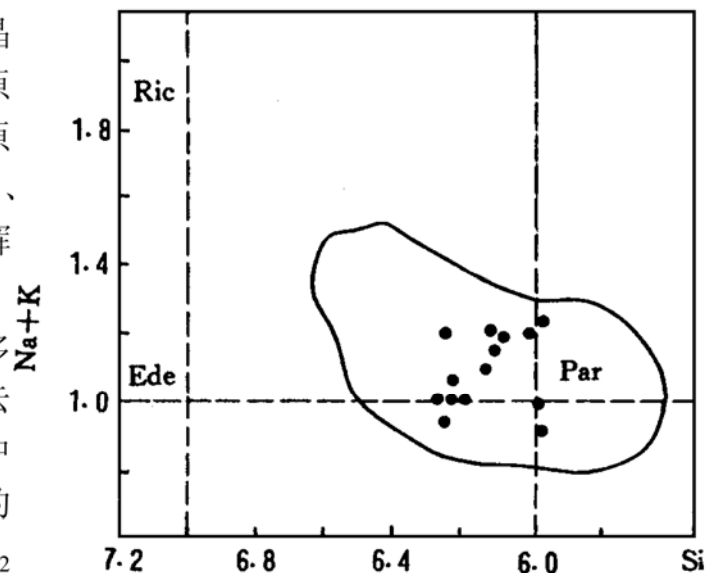


图2 角闪石 Na+K—Si 图

Fig. 2 Na+K—Si diagram of amphibole

(据 Menzies, 1987)

Ric—碱镁闪石; Ede—浅闪石; Par—上地幔韭闪石

状角闪石^[12]相比,则成份十分相似。黄月华(1993)^[4]测得此种角闪石的氧同位素值为 4.97 ‰^[4],位于地幔氧同位素范围之内(4.65%—6.00%)^[13]。角闪石的一系列特征表明此种角闪石属幔源成因。

表 2 金云角闪辉石岩类捕虏体角闪石化学成份

Table 2 Chemical compositions of amphibole in phlogopite amphibole pyroxonite xenoliths

捕虏体名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
角闪岩	40.37	3.12	11.39	0.10	13.66	0.15	12.74	0.00	10.54	3.12	1.56	96.75
	39.39	3.20	12.04	0.00	13.32	0.16	13.80	0.00	12.91	2.12	1.50	98.44
辉石角闪岩	41.83	3.37	12.77	0.00	9.46	0.11	14.32	0.68	10.88	2.92	1.72	98.06
	41.80	3.45	12.17	0.02	10.50	0.14	13.76	0.00	10.99	2.67	1.66	97.16
	41.79	3.57	12.99	0.02	11.92	0.18	11.91	0.08	10.67	2.15	1.55	96.83
	42.46	3.57	12.75	0.00	10.97	0.00	12.66	0.11	10.87	2.43	1.75	97.57
	41.19	3.44	14.27	0.18	9.87	0.15	15.06	0.00	10.09	2.33	1.36	97.94
	42.59	3.16	12.62	0.32	12.27	0.00	11.78	0.05	10.83	2.32	1.51	97.45
	41.76	3.74	12.89	0.03	10.47	0.18	13.57	0.09	10.53	3.03	1.72	98.01
金云辉石角闪岩	42.92	3.02	11.02	0.02	10.29	0.15	14.77	0.00	11.57	3.50	1.24	98.50
	41.64	4.06	12.87	0.02	8.15	0.01	14.70	0.05	11.03	3.19	1.65	98.40
	39.46	3.77	12.57	0.00	12.54	0.12	12.29	0.07	11.23	3.20	1.75	97.00
	42.56	3.42	12.20	0.09	8.66	0.04	15.31	0.06	10.08	2.77	1.48	96.67
	44.72	1.85	10.33	0.24	6.95	0.11	17.80	0.00	11.24	3.51	0.96	97.71
金云角闪岩	41.64	3.87	11.58	0.01	9.84	0.14	14.20	0.00	10.95	2.61	1.72	96.56
富 Ti 型非闪石 ^[10]	40.18	3.14	15.21	0.06	12.04	0.19	12.94	0.00	10.78	2.28	1.29	98.16

测试条件及测试者同表 1。

金云母 捕虏体中的金云母呈红褐色不规则片状至鳞片状。其矿物化学成份列于表 3。在云母矿物分类图中(图 3),全部位于金云母区。本区金云母成份富 TiO₂ (1.95%—4.70%)、FeO (7.91%—13.31%), 贫 MgO (16.86—22.41%), 应划为高 Ti 金云母系列^[11]。与寄主岩中金云母成份^[2]相比,则明显贫 TiO₂、富 Al₂O₃, 它与地幔橄榄岩中呈脉状产出的金云母成份^[12]类似。

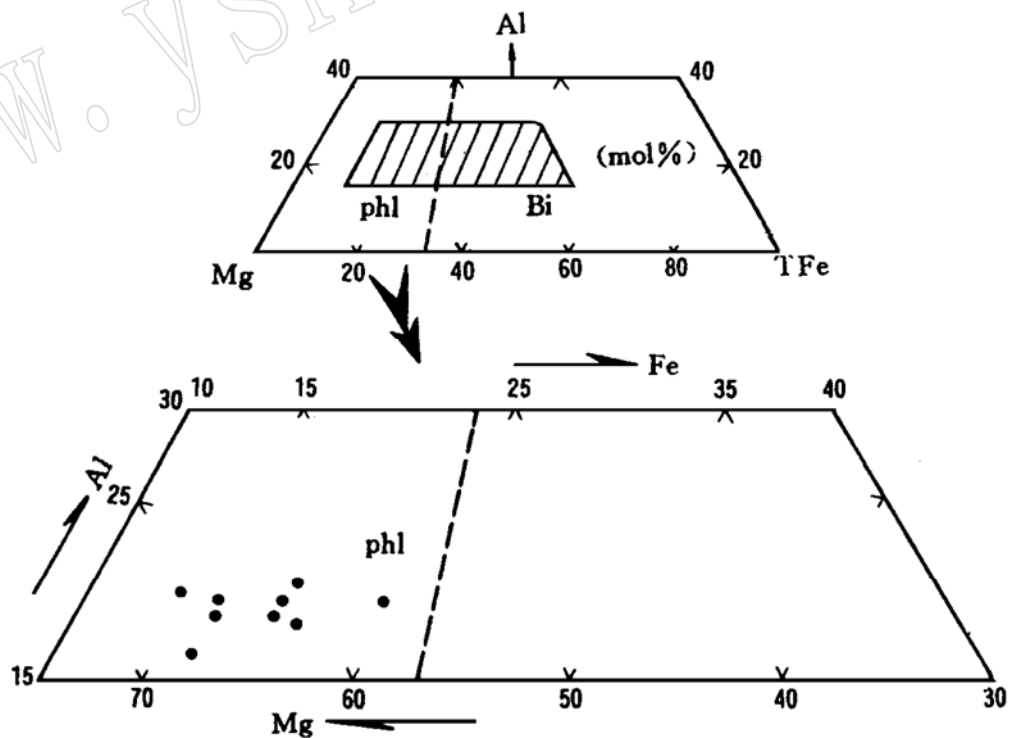


图 3 云母化学成份分布图

(据 Hamilton, 1990)

Fig. 3 Distribution of chemical compositions of mica

Phl- 金云母; Bi- 黑云母

表3 金云角闪辉石岩类捕虏体金云母化学成份

Table 2 Chemical compositions of phlogopite in phlogopite-amphibole-pyroxenite xenoliths

捕虏体名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	总量
金云辉石角闪岩	38.43	3.43	16.02	0.00	13.31	0.10	16.86	0.12	0.08	0.23	8.27	96.84
	37.97	4.36	15.49	0.08	11.43	0.11	18.81	0.12	0.05	0.57	8.43	97.42
	42.13	2.25	14.15	0.00	9.77	0.10	22.41	0.15	0.12	0.84	4.97	96.89
	40.20	3.46	14.73	0.10	10.11	0.12	18.87	0.00	0.10	0.52	8.50	96.70
	39.15	4.40	15.70	0.10	9.27	0.12	19.85	0.02	0.04	0.62	7.62	97.30
金云母辉石岩	36.17	4.45	15.84	0.02	11.02	0.11	18.92	0.13	0.00	0.46	10.19	97.38
	39.66	4.70	14.15	0.25	9.88	0.06	17.56	0.00	0.05	0.64	8.24	95.18
	40.25	3.25	14.45	0.09	9.09	0.04	19.85	0.11	0.00	0.41	8.99	96.53
辉石角闪 金云母岩	40.54	1.95	15.63	0.00	7.91	0.04	20.83	0.17	0.00	0.30	9.06	96.43

测试条件及测试者同表1。

磷灰石、钛铁矿 本文将其划分为第二期交代矿物。黄月华认为(1993)^[14]磷灰石为氟磷灰石,钛铁矿为锰钛铁矿。据Watson(1980)实验研究,氟磷灰石的稳定压力为2.5GPa^[14],属地幔范畴。

4 岩石化学特征

4.1 主量元素特征

所分析的五种捕虏体主元素成份列于表4。把它与我国东部玄武岩中尖晶石二辉橄榄岩的成份^[15]相比较(图4),由于捕虏体中包含了前述一、二、三期交代矿物,此种比较仅从整体上显示了本区金云角闪辉石岩类捕虏体相对于地幔岩的成份变异。从图4可知,本区金云角闪辉石岩类捕虏体相对较地幔岩富TiO₂、Fe₂O₃、CaO、Na₂O、K₂O,而亏损MgO。磷灰角闪岩中磷异常是由于磷灰石含量高的缘故。

表4 金云角闪辉石岩类捕虏体全岩化学分析数据

Table 4 Whole-rock chemical compositions of phlogopite-amphibole-pyroxenite xenoliths

捕虏体名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	CO ₂	总量
角闪岩	40.02	3.12	10.35	3.48	6.14	0.18	13.10	13.85	1.85	1.29	1.69	0.02	0.20	4.60	99.84
磷灰角闪岩	35.10	4.67	10.06	4.17	7.09	0.19	9.10	17.00	1.41	1.04	1.32	0.15	4.00	4.38	99.70
金云角闪辉石岩	38.13	0.67	12.74	4.30	6.21	0.22	13.70	13.30	1.73	1.05	1.07	0.01	0.25	6.09	99.47
辉石角闪岩	41.22	3.11	10.61	3.13	6.64	0.19	13.00	13.10	1.87	1.27	1.44	0.01	0.12	4.13	99.84
角闪辉石岩	41.71	3.33	8.75	4.56	7.24	0.21	10.20	16.00	2.08	0.91	1.17	0.07	0.18	3.09	99.50

本表所列数据系X荧光光谱分析;分析者:中国科学院地球化学研究所李荪蓉。

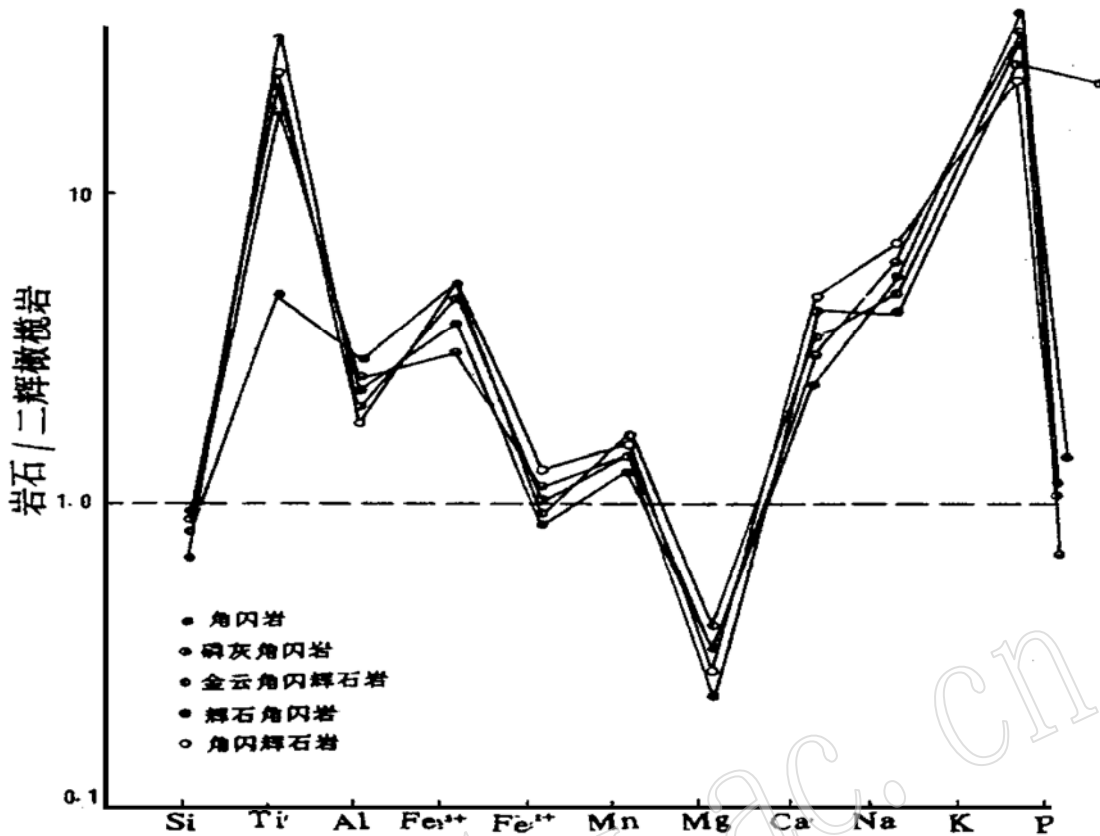


图 4 金云角闪辉石岩类捕虏体与尖晶石二辉橄榄岩成份^[15]比较图

Fig. 4 Comparison in chemical compositions between phlogopite-amphibole pyroxenite xenoliths and spinel lherzolite

4.2 稀土元素及微量元素特征

所分析的五种捕虏体的稀土元素和微量元素数据列于表 5。稀土元素球粒陨石标准化配分型式示于图 5, 图示各种捕虏体均为向右陡倾型, 轻稀土元素富集[(Ce/Yb)_N= 6.23—38.35]。金云角闪辉石岩捕虏体有很微弱的 Eu 负异常, 角闪辉石岩捕虏体有微弱的 Eu 正异常。磷灰角闪岩和金云角闪辉石岩的稀土总量很高(ΣREE = 168.244—175.373 (10⁻⁶)), 轻稀土最为富集; 角闪辉石岩的稀土元素总量最低(ΣREE= 77.339), 轻稀土元素富集程度亦最低。说明稀土元素, 尤其是轻稀土元素主要富集于交代矿物(磷灰石、金云母、角闪石)之中, 其中尤以磷灰石及金云母富集轻稀土元素。

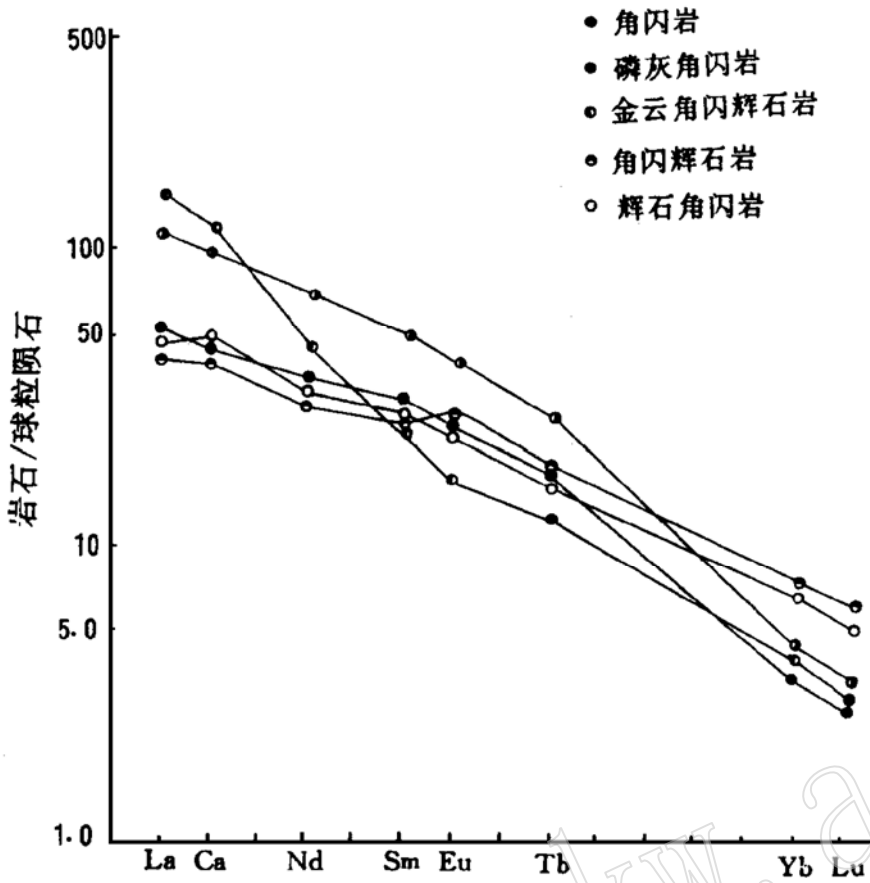
表 5 金云角闪辉石岩类捕虏体稀土元素及微量元素含量(10⁻⁶)

Table 5 REE and trace elements of phlogopite-amphibole pyroxenite xenoliths(10⁻⁶)

捕虏体类型	La	Ca	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Rb	Ba	Th
角闪岩	16.8	37.5	23.2	6.1	1.95	0.837	0.788	0.0889	27	298	0.577
磷灰角闪岩	36.6	79.9	43.0	10.3	3.13	1.33	1.01	0.103	20.1	1680	1.82
金云角闪辉石岩	49.7	82.5	28.4	4.74	1.32	0.616	0.874	0.0941	25.5	2.300	2.43
辉石角闪岩	16.3	38.2	51.4	5.58	1.85	0.807	1.40	0.168	22.5	796	0.442
角闪辉石岩	14.6	33.5	19.5	5.16	1.96	0.844	1.58	0.195	14.2	734	0.198
捕虏体类型	Cr	Ta	Nb*	Sr	Zr	Hf	Y*	Sc	V*	Se	V*
角闪岩	0.349	2.08	13.20	388	134	3.89	12.41	33.9	285.7	214	1210
磷灰角闪岩	0.354	3.98	7.80	459	112	5.61	16.66	30.4	338.3	121	105
金云角闪辉石岩	0.787	1.01	10.30	425	69	0.721	3.86	26.4	124.6	195	193
辉石角闪岩	0.813	2.29	13.20	388	75.8	3.64	12.03	34.4	307.4	226	955
角闪辉石岩	0.351	1.79	28.40	434	89.6	5.92	11.53	40.7	329.5	86.7	232

X 荧光法分析: 分析者: 地矿部测试技术研究所, 谭元媛。

其它数据系用中子活化法分析; 分析者: 中科院高能物理研究所韩松, 黄忠祥。



5 金云角闪辉石岩捕虏体 REE 球粒陨石标准配分图
(标准化值据 Boynton, 1984)
Fig. 5 Distribution patterns of chondrite-normalized REE of phlogopite-amphibole pyroxenite xenoliths

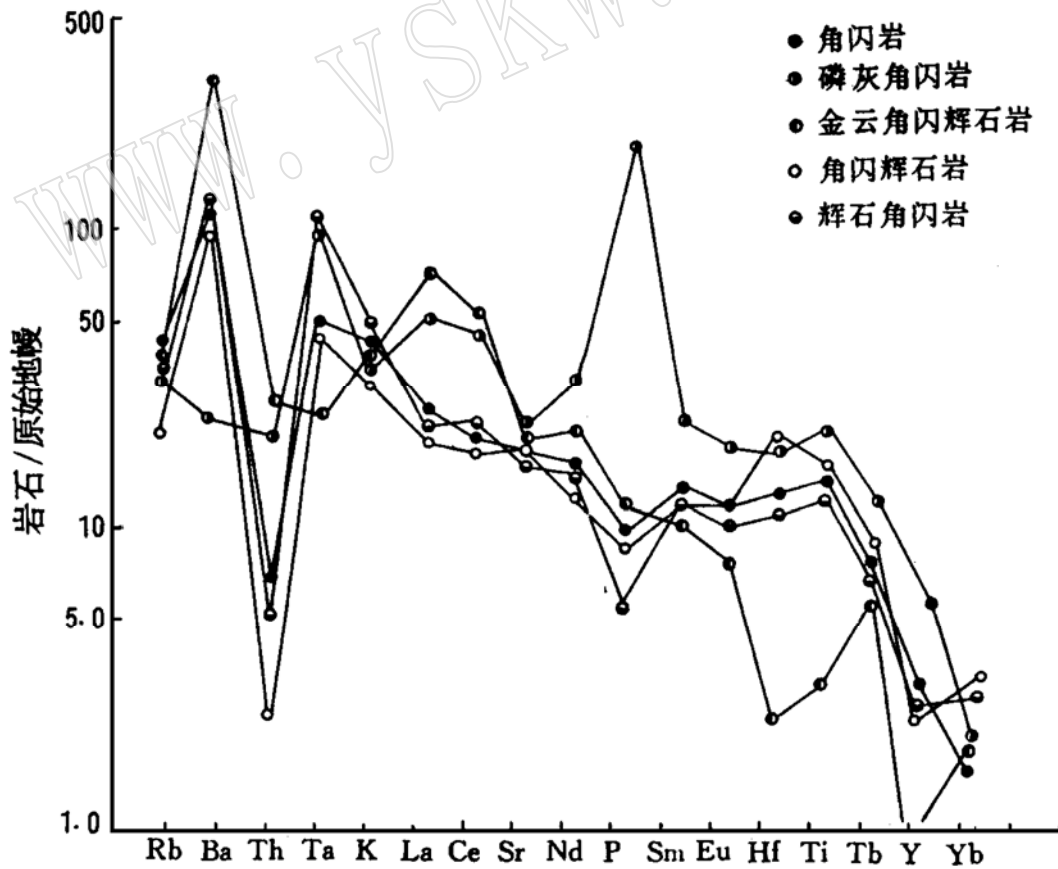


图 6 金云角闪辉石岩捕虏体微量元素原始地幔标准化配分图
(标准化值据 Wood and Sun, 1982)

Fig. 6 Primordial mantle normalized trace element patterns of phlogopite-amphibole pyroxenite xenoliths

微量元素原始地幔标准化配分如图 6 所示,由图可知,捕虏体中的微量元素丰度比原始地幔丰度富集,尤其富集大多数不相容元素, Th 的富集程度相对较低。这种微量元素配分型式与 Menzies(1987)所示的地幔岩经受富铁钛交代作用后的微量元素配分型式^[11]一致。磷灰角闪岩和金云角闪辉石岩较为富集 Rb、Ba、Th、K、La、Ce、Sr、Nd、P、Sm、Eu、Ti 等元素,角闪辉石岩捕虏体不相容元素富集程度最低。磷灰角闪岩由于含磷灰石的缘故,在 P 处形成尖峰。所有捕虏体均在 Th 处形成低谷。Menzies(1987)^[11]认为这是钛交代作用的一种反映。

总之,主量、微量及稀土元素特征表明,金云角闪辉石岩类捕虏体具富集 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、稀土元素(尤其是轻稀土)及大多数不相容元素的特征。交代矿物磷灰石、金云母、角闪石是 LREE 和不相容元素的主要载体。

5 讨论

金云角闪辉石岩捕虏体发育固相线下的变形变质结构(三联晶、碎裂边、扭折变形)、主要造岩矿物(单斜辉石、角闪石、金云母、磷灰石)的地幔来源及富碱、富 LREE 及不相容元素的特征,表明其为交代地幔捕虏体。交代矿物角闪石、金云母、磷灰石等的出现正是原始地幔岩发生交代作用的一种反映。

早古生代时,扬子板块北缘北大巴山地区为大陆边缘裂谷带^[1,2],碱质基性-超基性潜火山杂岩正是裂谷期火山作用的产物。这种潜火山杂岩十分富集不相容元素^[2],难以用起源于正常地幔二辉橄榄岩的部分熔融加以解释,这就需要在源区发生部分熔融前,存在着某种源富集作用,即地幔交代作用。金云角闪辉石岩捕虏体的发现,正是本区存在地幔交代作用的直接证据。它可能代表了北大巴山早古生代裂谷作用时期的异常地幔。

根据金云角闪辉石岩类捕虏体的岩相学特征,尤其是交代作用发生的期次来推断捕虏体形成有如下两种可能:(1)原始地幔二辉橄榄岩首先被富碱富钛富铁的熔浆交代,使原始地幔岩转变成含水辉石岩,随着交代熔浆的固结,衍生出流体交代含水辉石岩而形成第二期、三期的交代现象。(2)原始地幔岩首先被富钛、铁、稀土元素及不相容元素的地幔流体交代,同时萃取或稀释了原始地幔岩中的 Mg、Cr、Ni,使斜方辉石和橄榄石消失,形成含水辉石岩。随着流体的不断加入,含水辉石岩更加富集 Fe、Ti、碱、稀土元素及不相容元素,交代强烈时可使含水辉石岩完全变成角闪岩及金云母岩。第二期的流体富 Ti、Fe、Ca、P 等元素,它对含水辉石岩的交代将产生磷灰石、钛铁矿等矿物。第三期为富含碳酸

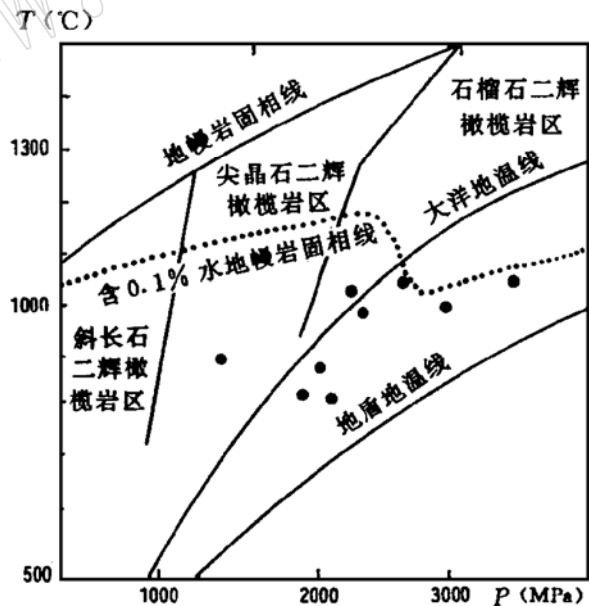


图 7 不同地幔相二辉橄榄岩温压平衡图
(引自 Ringwood, 1975)

Fig. 7 Temperature-pressure equilibrium diagram of lherzolite of different mantle facies

盐的流体对含水辉石岩的交代。

本区金云角闪辉石岩捕虏体富 TiO_2 、 Fe_2O_3 及主要造岩矿物的高 TiO_2 、 FeO 特征, 均说明熔体可能是产生此种捕虏体的重要营力^[11]。因为熔体能大量溶解 Fe 和 Ti。如果我们把单斜辉石温压计算结果投在地幔二辉橄榄岩平衡温压图上(图 7)^[16], 所有投点均位于地质地温线以上。大部分靠近大洋地温线, 说明岚皋地区早古生代为一热异常区, 这与本区早古生代时的裂谷环境相吻合, 热异常可能来源于地幔热柱上升。从图还可以看出, 高压时($\approx 3.0\text{GPa}$), 投点可达含 0.1% 水橄榄岩固相线, 说明熔体可能是深部地幔交代作用的主要营力; 低压时, 投点逐渐远离含 0.1% 水橄榄岩固相线, 表明流体逐渐变为地幔交代作用的主要营力。

另据夏林圻、夏祖春等(1994)^[2]对本区潜火山杂岩的 Nd-Sr-Pb 同位素和微量元素地球化学研究, 证明本区碱性火山杂岩与东非裂谷西支的钾质—超钾质火山岩和南非的 I 类金伯利岩相似, 是来源于一种与洋岛玄武岩类似的软流圈上地幔, 说明软流圈地幔热柱上升与本区潜火山杂岩形成密切相关, 前述金云角闪辉石岩类捕虏体可能代表了早古生代岚皋地区的异常地幔, 因此它的形成与裂谷期地幔热柱上升密切相关。地幔热柱上升不仅是本区产生热异常的主要因素, 而且由它衍生的富挥发份的熔体或流体对原始地幔二辉橄榄岩强烈交代, 形成此种独特的捕虏体, 而由此捕虏体进一步熔融, 则产生了本区的碱质基性—超基性潜火山杂岩。

参 考 文 献

- 1 黄月华, 任有祥, 夏林圻等. 北大巴山古生代双模式火山成岩套——以高滩辉绿岩和蒿坪粗面岩为例. 岩石学报, 1992, 8(2): 243—256.
- 2 夏林圻, 夏祖春, 张诚, 徐学义. 北大巴山碱质基性—超基性潜火山杂岩岩石地球化学. 北京: 地质出版社, 1994.
- 3 黄月华, 徐学义, 夏祖春, 夏林圻. 岚皋绿色辉石岩捕虏体及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(2): 141—150.
- 4 黄月华. 岚皋碱性镁铁—超镁铁质潜火山杂岩金云角闪辉石岩类捕虏体矿物学特征. 岩石学报, 1993, 9(4): 367—378.
- 5 Liody F E. Upper mantle metasomatism beneath a continental rift: clinopyroxenes in alkali mafic lavas and nodules from south-west Uganda. *Miner. Mag.* 1981, 44: 315—323.
- 6 Liody F E et al. Regional K-metasomatism in the mantle beneath the west branch of the East African rift: alkali clinopyroxene xenoliths in highly potassic magmas. In: Nixon P. H. (eds.) *Mantle xenoliths*. London: Wiley Interscience Press, 1987, 641—659.
- 7 Duda A et al. Polybaric differentiation of alkali basaltic magmas: evidence from green core clinopyroxenes (Eifel, FRG). *Contrib. Miner. Petrol.*, 92: 345—356.
- 8 Barton M and Bergen M J. Green clinopyroxenes and associated phase in a potassium-rich lava from the Leucite Hills, Wyoming. *Contrib. Miner. Petrol.* 1981, 77: 101—104.
- 9 Mercier J C. Single pyroxene geothermometry and geobarometry. *Amer. Miner.*, 1976, 61: 603—615.
- 10 樊祺诚, 刘若新, 马宝林. 中国上地幔角闪石及成因意义. 矿物学报, 1992, 12(4): 353—358.
- 11 Menzies M A et al. Metasomatic and enrichment processes in lithospheric peridotites, an effect of asthenosphere-lithosphere interaction. In: Menzies M A and Hawkesworth C J. (eds.), *Mantle Metasomatism*, London: Academic Press. 1987, 313—361.
- 12 Wikinson J F G and Le Maitre R W. Upper mantle amphiboles and micas and TiO_2 , K_2O and P_2O_5 abundances and $100\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ratios of common basalts and andesites: implication for modal mantle metasomatism and undepleted

- mantle compositions. *J. Petrol.* 28: 37—73.
- 13 Boettcher A L et al. Stable isotopic chemical and petrographic studies of high pressure amphibole and micas: evidence for metasomatism in the mantle source regions of alkali basalts and kimberlites. *Am. J. Sci.* 1980, 280A: 594—621.
- 14 Watson E B. Apatite and phosphorous in mantle source region: an experimental study of apatite/melt equilibria at pressures to 25k bar. *Earth Plan. Sci. Lett.* 1980, 51: 322—335.
- 15 刘若新等. 中国东部超镁铁质捕虏体的主量元素及微量元素地球化学. 见: 中国上地幔特征与动力学论文集. 北京: 地震出版社, 1990, 45—61.
- 16 Rigwood A E. *Composition and petrology of the earth's mantle.* U. S. A: McGraw-Hill Press, 1975.

Characteristics of Phlogopite-Amphibole Pyroxenite Xenoliths from Langao County, Shanxi Province

Xu Xueyi

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Huang Yuehua

(Northwest University, Xian 710069)

Xia Linqi, Xia Zuchun

(Xian Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Xian 710054)

Key words: phlogopite-amphibole pyroxenite; metasomatized mantle xenoliths; mantle metasomatism; mantle plume

Abstract

Phlogopite-amphibole pyroxenite xenoliths within alkaline basic-ultrabasic subvolcanic complex are composed of diopside, titanium-rich pargasite, high-titanium phlogopite, apatite and ilmenite, exhibiting three-ling, cataclastic and kink-banded textures. Compared with original spinel lherzolite from eastern China, the xenoliths are enriched in TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , with an apparent depletion in MgO . Chondrite-normalized REE patterns and primordial mantle normalized trace elements data show that they are enriched in REE (especially LREE) and incompatible trace elements. Petrographic, mineralogical and chemical characteristics indicate that the xenoliths are metasomatized mantle xenoliths, which represent the anomalous mantle of early Palaeozoic rift in northern Daba Mountain. Mantle plume was the most probable agent for producing the xenoliths. with the ascending of the mantle plume, major metasomatic agents changed from melts to fluids.