文章编号: 1007-2861(2003)04-0313-05

晋北吕梁群含石榴石变质岩的地质地球化学特征*

卢保奇[1], 王赐银[2], 翁臻培[1]

(1. 上海大学 材料科学与工程学院, 上海 201800; 2. 南京大学 地球科学系, 南京 210093)

摘要: 该文系统地研究了山西吕梁群含石榴石变质岩的地质地球化学特征. 研究表明该变质岩的原岩为泥、砂质和富铝的粘土质沉积岩, 其特点为 SiO_2 > 65%; Al_2O_3 平均为 14%, 且 Al_2O_3 > MgO; K_2O 的含量较高(平均为 2. 8), 且 $K_2O > Na_2O$, $K_2O/(K_2O + Na_2O) > 0.5$; CaO < MgO. 不同样品的稀土配分曲线较相似, 表明稀土元素对中高级变质作用的惰性. 稀土元素 Ce 表现出正异常或基本无异常, 表明其形成环境为浅海相、边缘海或被陆地封闭的海相环境

关键词: 含石榴石变质岩; 稀土元素; 稀土配分模式; 形成环境; 吕梁群

中图分类号: P 619. 28; P 511. 5　　**文献标识码**: A

Geological and Geochemical Features of Metamorphic Rocks Containing Garnets in Lüliang District Shanxi Province

LU Bao-qi[1], WANG Ci-yin[2], WENG Zhen-pei[1]

(1. Shool of Material Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 201800, China;
2. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Geological and geochemical features of metamorphic rocks containing garnets in Lüliang District Shanxi Province are studied in this paper. The results show that the metamorphic rocks originated from mud rocks are characterized by relatively higher aluminum (Al_2O_3) and kalium ($K_2O > Na_2O$, $K_2O/(K_2O + Na_2O) > 0.5$), and lower caicium ($CaO < MgO$). The REE distribution pattern is similar to each other, indicating that REE is inactive in the metamorphism. Distribution of Ce in REE indicates that the sediment of mud rocks was formed in a shallow sea environment or in seawater near land.

Key words: metamorphic rock; rare earth element (REE); REE distribution pattern; original environment; Lüliang District

晋北吕梁群广泛发育石榴石[1], 与其共生的是蓝晶石和十字石. 其中可见板状蓝晶石单晶体, 长约 30 cm, 宽约 3～5 cm, 呈集合体形式存在. 十字石呈金黄色的巨大团块状集合体, "X"双晶发育. 石榴石部分晶形完好, 呈六边形, 多数已退变为绿泥石、绢云母, 仅保留了石榴石的假象. 因此, 研究赋存这些矿物的母岩的地球化学特征, 对了解其母岩的形成环境及石榴石、蓝晶石和十字石的形成条件都有非常重要的意义

* 收稿日期: 2003-03-14　基金项目: 国家自然科学基金(49372102)资助项目
作者简介: 卢保奇(1967～), 男, 陕西宝鸡人, 讲师, 博士生, 主要从事宝石学的教学与研究

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1 晋北吕梁群含石榴石变质岩的地质特征

1.1 地质特征

吕梁群变质岩系分布于山西省中部太原市西部的吕梁山区,它北起岚县袁家村一带,南至娄烦县的尖山铁矿及西川河西侧,总体呈南北向展布.在大地构造上处于太行断裂和鄂尔多斯断裂接触部位的太行断裂的西部,隶属于华北断块的太行——吕梁断块[2],为五台期构造运动所致.区内吕梁群由早元古代的五个地层组成[3],从东向西依次为:宁家湾组、袁家村组、裴家庄组、近周营组和杜家沟组.这五个地层从北向南都表现出变质程度递增的趋势.

1.2 含石榴石变质岩岩石学特征

袁家村组和裴家庄组,其岩性为一套变泥质岩系,原岩为富铝的泥、砂质沉积岩类.这一套等化学系列的变质泥岩[4],在不同的变质温度、压力条件下具有不同的变质矿物组合.北段主要为变质砂岩、绢云千枚岩、硬绿泥石千枚岩和绢云绿泥石英片岩等.这类岩石基本上保留了原岩的结构和构造特征;中部榆树掌—尖山一带岩性主要为云母石英片岩、石榴十字片岩、蓝晶十字黑云石英片岩等,其中以蓝晶十字黑云石英片岩为特征;西川河南岸岩性主要为石榴二云母片岩、石榴矽线云母片岩和含榴红柱石云母片岩等(见表1).

2 岩石化学特征

为了查明本区变质岩原岩的性质,笔者选取袁家村组和裴家庄组北段、中段、南段以及西川河南岸8个有代表性的样品进行岩石化学分析及相关计算(表2).结果表明,该区变质岩原岩的特征为:$Al_2O_3 > MgO$;$K_2O > Na_2O$,且$K_2O/(K_2O + Na_2O) > 0.5$;$SiO_2 > 65\%$.利用岩石化学图解法将分析和计算数据进行投影(图1、图2),结果均表明本区变质岩的原岩为泥、砂质和富铝的粘土质沉积岩.

3 稀土元素地球化学特征

为了查明本区原岩的形成环境、稀土元素的分布及稀土元素在变质作用过程中的地球化学特征,笔者选取了本区袁家村组和裴家庄组北段、中段、南段以及西川河南岸4个有代表性的样品进行了稀土元素分析(表3).

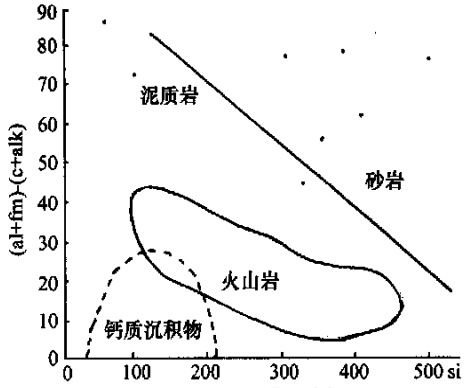

图1 (al+fm)-(c+alk)～si的投影图

Fig.1 The graph of the relation between (al+fm)-(c+alk) and si

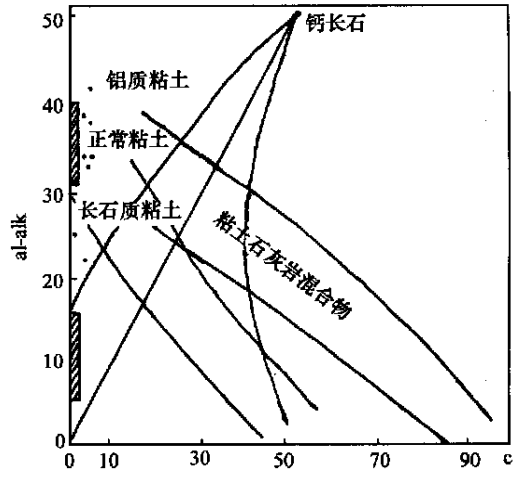

图2 (al-alk)～c的图解

Fig.2 The graph of the relation between al-alk and c

从稀土元素分析数据可知:(1)稀土总量较低,变化范围较大(7.362×10^{-5}～2.0331×10^{-4});(2)轻重稀土分离程度较高,轻稀土富集,LREE/HREE=3.91～5.00,因此稀土配分曲线向右倾斜;(3)稀土配分曲线表现出较强的Eu负异常,Eu/Eu^{*}=0.60～0.97;(4)不同样品的稀土配分曲线基本相似,但稀土含量变化较大,故在分配曲线上为一组近于平行的曲线(图3).

由于各样品之间稀土元素模式较相近,所以不论稀土元素以何种形式搬运沉积,岩石中富集稀土的组分应有较为相似的稀土组成模式[5],由此推知这些沉积物应具有较相似的物源区和沉积环境.

稀土元素中Sm-La与Ce-La均表现出明显的相关性(图4),表明在外生作用过程中,它们是作为一组元素发生迁移沉积.特别要指出的是,Ce-La直

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　袁家村组和裴家庄组变质岩及特征变质矿物

Tab 1　The major property of metamorphic rocks and minerals in Yuanjiacun and Peijiazhuang

	位置		主要变质岩	代表性矿物组合	特征变质矿物	结构构造
西川河北	北段	袁家村	变质砂岩 绢云千枚岩 硬绿泥石千枚岩 绢英千枚岩 黑云母千枚岩 绢云绿泥石英片岩	绢云母+ 绿泥石+ 黑云母+ 石英+ 硬绿泥石	绿泥石 黑云母 硬绿泥石	变余泥质结构, 变余砂质结构, 千枚状构造
	中段	皇姑山 榆树掌	含榴硬绿泥石片岩 云母石英片岩 石榴二云母片岩	硬绿泥石+ 铁铝榴石+ 白云母+ 黑云母+ 石英	硬绿泥石 铁铝榴石	显微鳞片变晶结构, 斑状结构, 片状构造
	南段	尖山一带	石榴十字片岩 石榴二云母片岩 蓝晶十字黑云石英片岩	十字石+ 蓝晶石+ 铁铝榴石+ 黑云母+ 白云母	十字石 蓝晶石	鳞片变晶结构, 片状构造
西川河南	何家兰-蔡家庄对面		石榴二云母片岩 石榴矽线云母片岩 含榴红柱石云母片岩	矽线石+ 铁铝榴石+ 红柱石+ 白云母+ 石英	矽线石 红柱石	粒状鳞片变晶结构, 片状构造

表 2　袁家村组和裴家庄组变质岩化学成分(wt%)及相关参数*

Tab 2　Chemical composition of the metamorphic rocks and related data in Yuanjiacun and Peijiazhuang

样号		Lw1-8	Lw1-14	Y2-28	LJ1-7-1	JS-9	LH1-3	HQ27	QS710
采样点		王家掌	袁家村	皇姑山-榆树掌	尖山		何家兰	袁家村	王家掌
岩石名称		硬绿泥石千枚岩	绢云千枚岩	云母石英片岩	石榴十字片岩	蓝晶十字黑云石英片岩	石榴二云母片岩	绢英千枚岩	绢云绿泥石英片岩
SiO_2		65.78	70.80	85.98	72.38	83.14	68.26	64.88	67.16
TiO_2		0.57	0.48	0.05	0.49	0.35	0.46	0.77	0.55
Al_2O_3		15.68	14.91	8.48	10.21	8.12	15.32	18.25	11.33
Fe_2O_3		2.65	2.09	0.52	2.91	0.94	1.90	4.65	2.80
FeO		6.27	2.97	0.88	7.34	1.99	2.97	0.46	7.69
MnO		0.11	0.06	0.04	0.16	0.06	0.09	0.03	0.07
MgO		1.61	0.94	0.25	1.34	1.27	1.64	1.30	3.30
CaO		0.65	0.43	0.43	0.43	0.65	1.56	0.28	0.76
Na_2O		0.76	0.24	0.22	0.22	0.32	2.81	0.10	0.00
K_2O		1.95	4.05	2.31	1.63	1.44	2.51	5.95	0.00
P_2O_5		0.04	0.01	0.00	0.00	0.03	0.04	0.11	0.08
烧失量		4.19	2.93	1.28	3.16	1.91	1.85	3.12	3.62
总和		100.26	99.91	100.67	100.27	100.22	99.41	99.44	97.36
岩石特征值	AR	1.40	1.78	1.18	1.42	1.50	1.92	1.97	1.00
	DI	64.27	76.19	22.70	68.64	82.70	74.25	74.59	55.60
尼格里特征值	al	43	50	24	31	43	42	56.8	41.5
	fm	45	31	61.70	58	39	30	21	53.4
	alk	9	16	3	6.9	11	20	20	0
	c	3.2	2.6	11	2.5	6.3	7.8	1.59	5.1
	si	304	403	110	390	754	320	343	44
	ti	2	2	2.7	2	3	1.6	3.1	2.1
	mg	0.9	0.75	2.2	0.57	0.81	1.36	1.54	1.5
	o	0.74	0.84	1	0.63	0.30	0.80	2.7	0.66
	k	2.3	2.7	3	2.5	1.39	1.30	3.16	0

* 样品由南京大学地球科学系中心实验室测试; 其中样品 HQ27 和 QS710 据山西省区测队, 1991

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表3 吕梁群裴家庄组和袁家村组稀土元素分析结果*(×10⁻⁶)

Tab 3 The analysis results of REE in Peijiazhuang and Yuanjiacun groups

样号	采样点	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
LH1-3	何家兰	39.22	80.14	8.48	34.24	6.20	1.14	4.71	0.75	3.62	0.79	2.30	0.39
LJ1-7-1	尖山	18.71	39.07	4.21	18.21	3.44	0.92	2.74	0.43	2.06	0.44	1.21	0.20
LY2-28	袁家村	17.08	26.52	3.16	13.22	2.34	0.43	1.2	0.26	1.0	0.25	0.70	0.14
LW1-8	王家掌	10.24	60.94	2.50	9.47	2.30	0.40	2.6	0.39	2.22	0.53	1.81	0.34

样号	采样点	Yb	Lu	Y	ΣREE	LREE	HREE	L/H	Eu/Eu*	Ce/Ce*	LR%	MR%	HR%
LH1-3	何家兰	2.41	0.37	18.55	203.31	169.42	33.89	5.00	0.68	0.88	87.72	9.31	2.96
LJ1-7-1	尖山	1.16	1.18	10.78	104.76	84.56	20.20	4.19	0.97	0.89	85.34	10.67	3.99
LY2-28	袁家村	0.78	0.13	5.95	73.62	62.75	10.87	5.77	0.70	0.71	88.64	8.78	2.59
LW1-8	王家掌	2.36	0.39	11.88	10.78	85.85	21.98	3.91	0.60	2.45	88.66	8.23	5.11

* 样品由南京大学地球科学系中心实验室测试

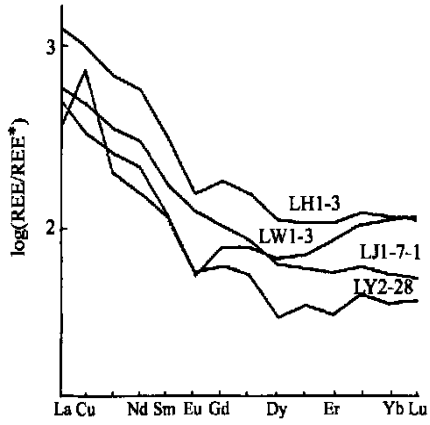

图3 吕梁群裴家庄组和袁家村组稀土元素配分曲线

Fig 3 The REE distribution pattern in Luliang District

线的截距较小,这是由于内生作用和外生作用是两种完全不同的作用过程,Ce是变价元素,作用过程的变化会引起Ce-La直线的截距发生变化.通常外生作用越强,Ce-La直线在元素Ce轴上的截距越大(万渝生,1987).本区变泥质沉积岩Ce-La直线在元素Ce轴上的截距很小,表明外生作用的强度很弱,这时两者的比值可大致代表源区岩石中两元素的比值,由此所求得源区岩石中La/Ce比值平均约为0.43.

本研究区稀土元素中Ce表现出正异常或无异常,表明其形成环境可能为一浅海相或边缘海或被陆地封闭的海中.这与H. Shimizu和A. Masuda研究日本和加拿大出露地表的燧石样品的稀土元素所得出的结论相一致[6](图5).从图中可以看出,这些燧石样品都有Ce的正异常或基本无异常.研究表明,海水明显贫Ce,只是在一些相对封闭的海水中Ce浓度表现出正异常,黑海水中没有发现Ce的异常.因此,上述Ce的异常存在是海相环境的一个指标[7].陆相燧石的稀土元素分布模式(Ce正异常或无异常)表明其形成于一个浅海区域或边缘海或被陆地封闭的海中.在浅海区,Ce被卷入到悬浮的土壤颗粒中,其行为与其它稀土元素相似或富集,而在深海区,Ce相对于其它稀土元素选择性地移出,造成Ce和其它稀土元素的分离,故深海相环境会导致Ce出现负异常.

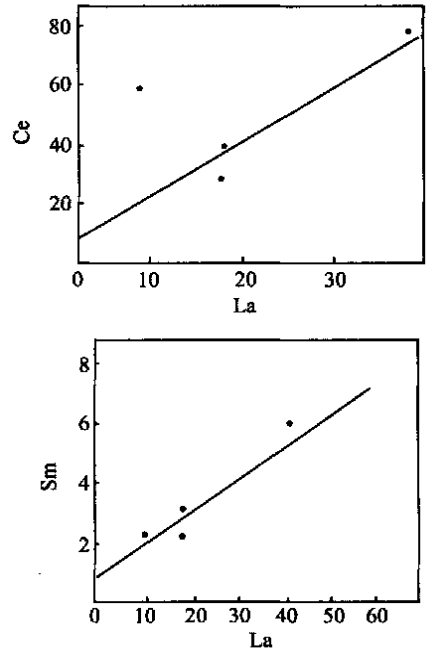

图4 稀土元素Ce~La、Sm~La线性相关图

Fig 4 The graphs of the relation between REE Ce and La, REE Sm and La

4 结 论

(1) 吕梁群含石榴石变质岩的原岩为富铝的泥质和粘土质沉积岩,其特点为: SiO_2 > 65%; Al_2O_3

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

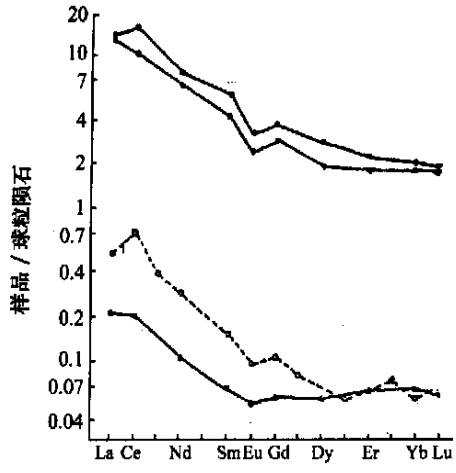

图 5　日本和加拿大出露地表的燧石稀土元素分布模式

Fig. 5　The REE distribution pattern of cherts in Japan and Canada

平均为 14%, 且 $Al_2O_3 > MgO$; K_2O 的含量较高(平均为 2. 8), 且 $K_2O > Na_2O$, $K_2O/(K_2O + Na_2O) > 0.5$; $CaO < MgO$.

(2) 稀土元素总量较低; 轻重稀土分离程度较高, 轻稀土富集, LREE/HREE = 3. 91～5. 00. 因此稀土配分曲线向右倾斜; 稀土配分曲线表现出较强的 Eu 负异常, $Eu/Eu^* = 0.60$～0. 97. 不同样品的稀土配分曲线基本相似, 在配分曲线上为一组近于平行的曲线

(3) 稀土元素表现出正异常或基本无异常, 与日本和加拿大出露地表的燧石的稀土地球化学特征相似, 在成因上同属于浅海相、边缘海或被陆地封闭的海水中.

(4) 不同样品的稀土元素分布特征较相似, 表明稀土元素对中高级变质作用的惰性或不活动性

参考文献:

[1] 卢保奇, 翁臻培. 晋北吕梁群石榴石的特征及意义[J]. 珠宝科技, 2002, **14**(2): 1- 6.

[2] 山西省地矿局. 山西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1982. 125- 126.

[3] 于津海, 王德滋, 王赐银. 山西吕梁群及其主变质作用的锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质论评, 1997, **43**(4): 403- 408.

[4] 王赐银, 马瑞士, 舒良树, 等. 东天山造山带区域变质作用及其构造环境研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1994, **30**(3): 493- 503.

[5] 韩　松, 黄忠祥. 内蒙集宁群麻粒岩相中石榴石的稀土元素特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1989, **8**: 63- 70.

[6] Shimizu H, Masuda A. Cerium in cherts as an indication of marine environment of it's formation [J]. Nature, 1977, **266**: 346- 348.

[7] 王中刚. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 92- 98.

(编辑: 周箴纬)

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net