

文章编号: 1009-6248 (2003) 02-0035-08

辽西义县旋回火山岩的稀土元素特征

彭艳东^{1,3}, 张立东^{1,3}, 张长捷³, 郭胜哲³, 邢德和^{2,3}
贾斌^{1,3}, 陈树旺^{1,3}, 秋红^{1,3}

(1. 东北大学, 辽宁 沈阳 110004; 2. 吉林大学, 吉林 长春 110061;
3. 中国地质调查局东北地区地质调查中心, 辽宁 沈阳 110033)

摘要: 义县火山旋回可分为4个亚旋回。从早期至晚期, 义县旋回火山岩逐渐由基性向中基性、中性和酸性演化。义县旋回火山岩稀土总量较高, 稀土分布模式呈右倾型, 轻稀土分馏作用高于重稀土的分馏作用, 为轻稀土富集型, 总体显示弱负铈异常、弱的正铈异常。稀土元素具有陆内火山岩的基本特征。成因分析表明: 义县旋回火山岩的形成, 受地幔热流和壳幔物质的再循环制约, 火山岩的成因以部分熔融为主。

关键词: 义县旋回; 火山岩; 稀土元素; 部分熔融
中图分类号: P58 **文献标识码:** A

辽西地区是我国中生代火山岩主要分布区之一。对辽西地区中生代火山岩的研究, 在20世纪80年代以前基本上应用传统地层学方法。之后, 岩石学、地球化学、同位素年代学研究逐步展开。曹丛周^[1]、王国桢^[2]、李兆霖^[1]、张招崇等^[3]、郭洪中^[4]、陈义贤等^[5]及李伍平等^[6]先后对区内中生代火山岩进行了较深入系统的研究, 为继续深入研究奠定了良好的基础。作者通过承担中国地质调查局K51E014004(北票)、K51E015005(义县)、K51E015004(上园)、K51E016004(地藏寺)等4幅1:5万区域地质调查项目, 对义县、北票地区义县组火山-沉积岩系, 尤其对含珍稀化石的沉积层进行了深入细致的野外调查和室内研究工作, 对义县组火山-沉积岩系和含珍稀化石沉积层的地质特征、时空分布规律以及火山作用的周期性有了较清晰的认识, 首次厘定了义县组的段级岩石地层单位。在

此基础上, 对义县组火山岩进行了系统的稀土元素采样测试工作, 以期确定义县组火山岩特征、成因及火山作用的规律性。

1 义县组的基本地质特征

本次区调将义县组分为4个岩性段(图1)。与此相对应, 根据义县组的火山活动周期性、火山岩的时空分布规律、火山-沉积作用和生物群组合等特征, 将义县火山旋回划分为4个亚旋回。

1.1 第一亚旋回

第一亚旋回可以进一步分成4个小旋回, 将小旋回形成的岩石称为岩相组合。包括第一小旋回至第四小旋回的爆发-沉积相、溢流相、爆发相和潜火山岩相的岩相组合, 岩性主要为基性、中基性和少量偏碱性的基性岩。每个小旋回火山岩以火山爆发-

收稿日期: 2003-03-07; 修回日期: 2003-04-03

基金项目: 中国地质调查局K51E04004(北票)K51E015005(义县)等1:5万区域地质调查项目。

作者简介: 彭艳东(1963-), 男, 副研究员, 1984年毕业于中南工业大学地质系, 1990年获东北大学硕士研究生学位。

①李兆霖、王富宝、王盛君等, 辽西义县中生代陆相火山岩地区金矿控矿条件及找矿靶区的研究, “七五”国家科技攻关项目研究成果报告, 1990。

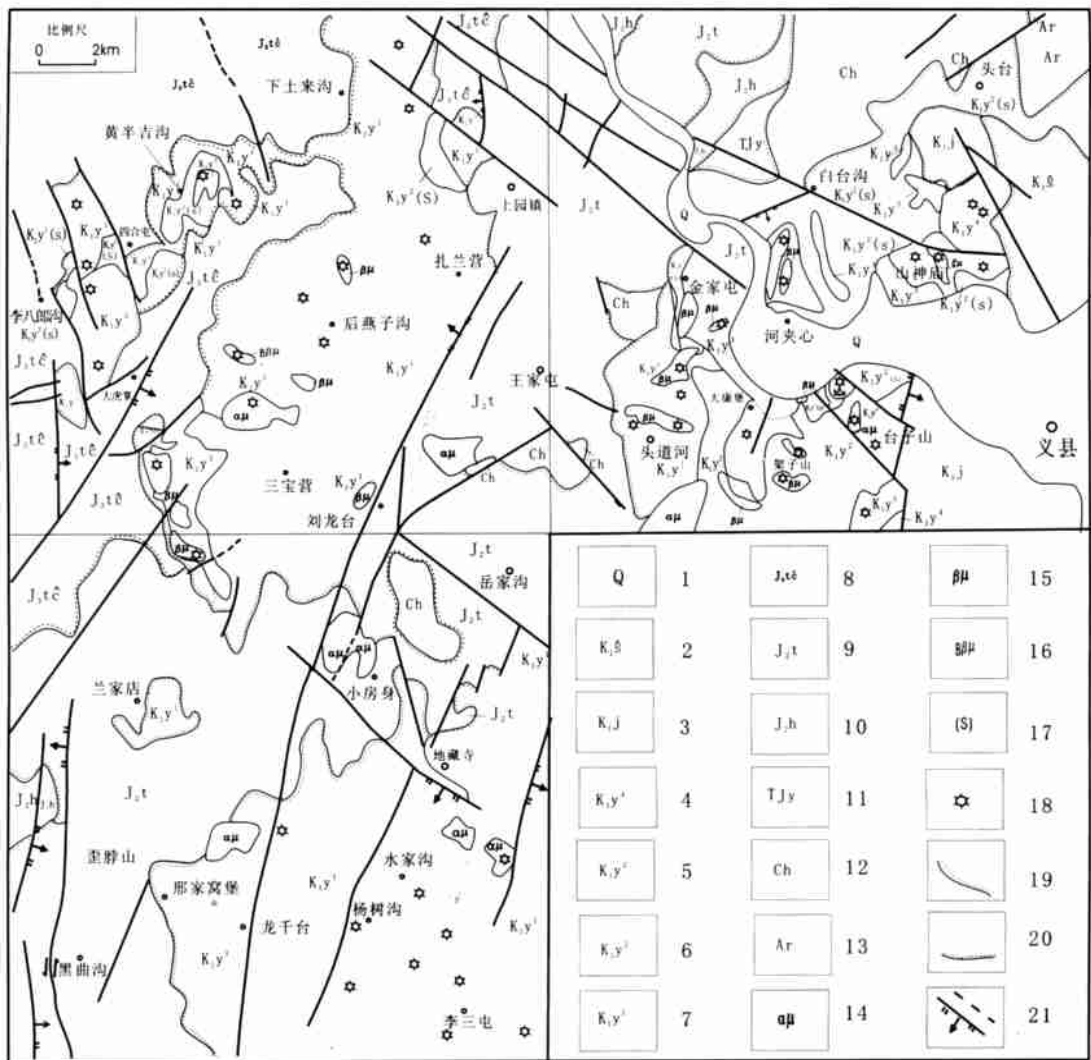


图1 辽西北票、义县地区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Beipiao and Yixian area in West Liaoning

1. 第四系; 2. 沙海组; 3. 九佛堂组; 4. 义县组四段; 5. 义县组三段; 6. 义县组二段; 7. 义县组一段; 8. 土城子组; 9. 髫髻山组; 10. 海房沟组; 11. 羊草沟组; 12. 长城系; 13. 太古宇; 14. 安山玢岩; 15. 玄武玢岩; 16. 碧玄玢岩; 17. 火山岩中的沉积夹层; 18. 火山喷发中心; 19. 角度不整合界线; 20. 平行不整合界线; 21. 断裂及推测断裂

沉积相相隔。第一小旋回火山岩仅分布于上园幅新开岭一带, 直接压盖在义县底砾岩上。其余3个小旋回分布广泛; 第二、第三小旋回火山活动的主体岩石由多个爆发相-溢流相小韵律组成。各个小旋回潜火山岩相岩石局部出露。第一小旋回岩石类型包括下部的橄榄玄武岩和上部杏仁状玄武岩安山岩, 局部出露灰黑色致密块状橄榄玄武玢岩; 第二小旋回岩石类型包括沉凝灰岩、含杏仁橄榄玄武安山岩、含杏仁辉石玄武安山岩、玄武安山质集块岩、玄武安山质集块凝灰岩、橄榄玄武安山岩等; 第三小旋

回岩石类型包括晶屑岩屑凝灰岩、橄榄玄武岩、玄武安山岩、碧玄(玢)岩、杏仁状橄榄玄武岩、碧玄质熔结集块岩、碧玄质含集块角砾岩、安山质熔结集块岩等; 第四小旋回岩石类型包括岩屑晶屑凝灰岩、气孔-杏仁状玄武安山岩及其次火山岩、玄武安岩和安山岩等。

1.2 第二亚旋回

该亚旋回以火山-沉积作用为主, 形成了一套含珍稀化石的湖相沉积层, 间夹不稳定的中基性湖相枕状熔岩(气孔-杏仁状玄武安山岩)^[7], 顶部为少量

分布局限的酸性火山碎屑岩。分布在四合屯、伍代沟、大北沟、黄半吉沟、架子山、腰马山沟、白台沟、杨家沟等地。

1.3 第三亚旋回

该亚旋回中下部为橄榄玄武(玢)岩, 分布普遍, 常呈次火山岩相产出。上部为多斑粗安岩及其火山碎屑岩, 分布于义县幅东部地区。与上覆九佛堂组假整合或断层接触。

1.4 第四亚旋回

该亚旋回为酸性和少量偏碱性岩类, 岩性有流纹岩、杏仁状英安岩、粗面岩、粗面英安质凝灰岩, 顶部为黄花山角砾岩, 分布于义县幅东部地区。与上覆九佛堂组假整合或断层接触。

第一亚旋回火山岩以中基性为特征, 从早期到晚期, 岩石的碱性显示增高趋势, 在火山机构附近岩石较远离火山机构的岩石碱性更强; 第二亚旋回火山岩早期以中基性偏碱性为特征, 到晚期形成的酸性火山碎屑岩碱质含量也较高; 第三亚旋回火山岩早期以基性钙碱性为特征, 到晚期形成中性火山岩及其火山碎屑岩, 碱质含量较高; 第四亚旋回火山岩则以偏酸、偏碱为特征。义县旋回火山岩属于高钾钙碱性系列, 其地球化学特征显示大陆板内火山岩的特征^[6]。从早期至晚期, 义县旋回火山岩逐渐由基性向中基性、中性和酸性演化。在空间分布上, 从北票市四合屯—新开岭一带, 向南东至义县的宋八户—枣刺山一带, 分别发育第一至第四亚旋回火山岩, 显示了由北西向南东火山作用由老到新的火山活动迁移性。

2 火山岩岩石稀土元素特征

义县旋回火山岩稀元素测试值及参数值见表 1、表 2。

2.1 第一亚旋回

第一亚旋回的 4 个小旋回火山岩稀土总量为 93.56~567.56, 稀土元素配分曲线(图 2)为向右倾斜的曲线, Eu 略显凹状, Ce 略显谷型, 轻稀土部分曲线较陡, 重稀土部分曲线相对平缓, 曲线形态相似, 相互平行, 显示轻稀土富集特征。稀土参数 LREE/HREE 为 4.74~19.05, $(La/Yb)_N = 9.99 \sim 79.68$, $(Ce/Yb)_N = 6.45 \sim 69.59$, La/Sm 为 4.63~10.72, Gd/Yb 为 2.18~8.00, 表明轻稀土分馏作

用高于重稀土的分馏作用。Sm/Nd 为 0.13~0.23, 以 REE 未发生分馏的球粒陨石的 Sm/Nd=0.333 为界, Sm/Nd<0.333 者为轻稀土富集型。 δEu 值为 0.79~1.10, δCe 值为 0.76~1.16, 总体上为不明显的负铈异常, 正铈异常, 仅有少量样品显示正铈异常。随着岩石碱性增加, 稀土元素总量和轻稀土含量增高, 稀土元素配分曲线变陡, 产于火山机构附近的碧玄玢岩和杏仁状橄榄碧玄岩很好地反映了这种特征。

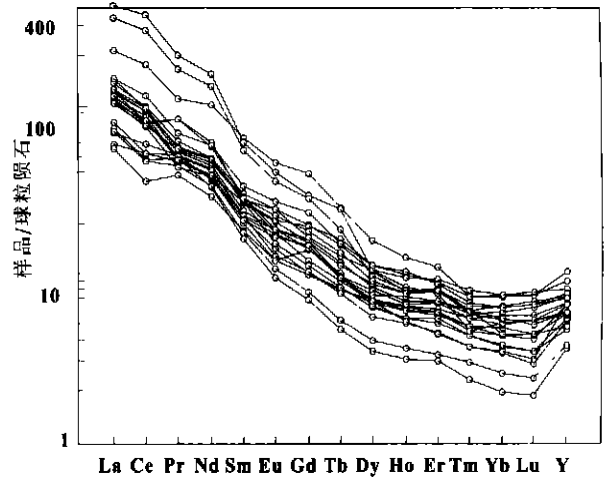


图 2 义县旋回第一亚旋回稀土元素配分曲线

Fig. 2 REE distribution pattern of the first Yixian subcycle

2.2 第二亚旋回

火山岩稀土元素配分曲线(图 3)为向右倾斜的曲线, 6 个样品的曲线形态、斜率相近, 属轻稀土富集型。气孔-杏仁状玄武安山岩(湖相枕状熔岩)的稀土总量较高, 为 187.84、331.25, 稀土参数 LREE/HREE 为 6.77、10.51, La/Sm 为 9.26、10.63, Gd/Yb 为 3.26、4.92, 表明轻稀土分馏作用高于重稀土的分馏作用; 碱度较高的玄武安山岩和钙质玄武安山岩稀土总量为 142.58、74.08, LREE/HREE 为 6.94、3.94, La/Sm 为 6.3、3.99, Gd/Yb 为 4.51、3.84; 晚期的酸性岩石稀土总量为 183.14、185.57, LREE/HREE 为 7.68、6.31; La/Sm 为 11.96、9.14, Gd/Yb 为 2.58、4.24; 6 个样品的 Sm/Nd 为 0.16~0.24, 为轻稀土富集型。 δEu 值介于 0.61~1.01, 总体为弱负铈异常, 湖相枕状熔岩 δCe 值为 1.01, 显示弱正铈异常。其余 $\delta Ce = 0.63 \sim 0.87$, 显示负铈异常。

表1 义县旋回火山岩稀土元素测试值 (10^{-6})

Tab. 1 The REE elements analyses of Yixian volcanic cycle

时代	样品	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
K _{1y} ⁴	p7x5	流纹质凝灰岩	62.88	112.90	9.73	43.68	8.03	1.87	5.65	1.34	4.55	0.91	2.40	0.35	2.22	0.35	22.03
	p7x6	英安岩	66.14	77.88	9.63	38.80	6.19	1.48	4.96	0.63	3.02	0.52	1.65	0.22	1.23	0.20	13.93
	p7x8	球粒状流纹岩	41.30	70.27	5.20	19.59	3.07	0.80	2.15	0.30	1.04	0.21	0.61	0.10	0.24	0.10	2.78
	p7x11	杏仁状流纹岩	46.86	72.08	6.29	24.79	3.99	1.03	2.23	0.45	1.82	0.29	0.76	0.10	0.56	0.10	7.05
	p7x17	粗面岩	45.72	72.64	6.50	26.70	4.31	1.04	3.05	0.47	2.08	0.36	1.07	0.15	0.80	0.14	8.60
	p7x18	杏仁状英安岩	39.89	67.99	5.57	21.94	3.53	0.85	2.44	0.31	1.46	0.28	0.74	0.10	0.44	0.10	4.91
K _{1y} ³	p2x47	橄榄玄武岩	31.36	61.73	5.25	23.53	4.35	1.45	2.28	0.68	3.45	0.73	1.93	0.26	1.67	0.27	16.21
	p6x11	橄榄玄武玢岩	26.22	52.58	4.51	19.38	3.95	1.23	4.18	0.63	3.12	0.61	1.63	0.21	1.22	0.20	12.70
	p24x0	多斑安山岩	33.2	52.8	5.86	21.4	4.14	1.12	3.32	0.46	2.51	0.52	1.42	0.18	1.02	0.15	15.4
	p7x2	安山质角砾凝灰岩	67.36	130.80	10.30	44.29	7.92	2.09	6.82	1.00	4.23	0.78	2.16	0.27	1.52	0.27	16.68
	p7x3	安山质角砾凝灰岩	69.73	123.40	10.62	44.71	7.70	1.86	5.74	1.02	4.16	0.71	2.12	0.26	1.52	0.26	16.89
K _{1y} ²	124x1	玄武安山岩	82.29	150.10	11.99	48.38	7.74	1.98	6.05	0.81	3.32	0.63	1.79	0.21	1.23	0.20	14.53
	1274x2	玄武安山岩	42.14	79.39	6.86	29.28	4.55	1.44	4.11	0.58	2.80	0.51	1.62	0.21	1.26	0.20	12.89
	p9x12	流纹质凝灰岩	51.99	60.21	8.12	33.11	5.69	1.08	5.09	0.77	3.02	0.57	1.60	0.20	1.20	0.20	12.72
	p9x13	流纹质凝灰角砾岩	49.77	73.16	7.34	26.78	4.16	0.84	3.46	0.43	2.25	0.49	1.55	0.23	1.34	0.21	11.13
	p21x11	玄武安山岩	29	53.3	7.56	29.1	4.6	1.07	3.07	0.4	1.89	0.36	0.94	0.12	0.68	0.093	10.4
	p23x11	钙质玄武安山岩	13	25.1	3.42	13.6	3.26	0.71	2.19	0.3	1.55	0.31	0.8	0.11	0.57	0.08	9.08
K _{1y} ¹	p17x5	橄榄玄武岩	17.4	29	4.39	17.1	3.45	0.85	2.51	0.37	2.23	0.46	1.29	0.18	1.15	0.18	13
	p17x13	玄武安山岩	34.7	63.4	9.52	36.3	5.28	1.25	3.09	0.42	2.22	0.45	1.23	0.16	0.87	0.13	12.8
	p17x28	橄榄玄武岩	18.7	42.1	5.85	21.6	4.04	1.01	26	0.38	2.17	0.43	1.18	0.16	0.97	0.14	11.2
	p17x60	橄榄玄武岩	21.8	47.6	5.86	25	4.21	0.92	2.63	0.36	1.79	0.36	0.94	0.12	0.69	0.093	10.3
	p17x70	辉石安山玢岩	23.3	39.2	5.61	19.2	3.06	0.68	1.78	0.22	1.12	0.22	0.64	0.078	0.41	0.06	6.93
	p17x72	安山岩	22.1	37.8	5	19.8	3.32	0.76	1.99	0.25	0.13	0.26	0.69	0.097	0.52	0.076	7.34
	p17x79	玄武安山岩	25.2	42.4	5.37	22.3	5.16	1.08	2.87	0.39	2.03	0.39	1.06	0.14	0.76	0.11	10.5
	p2x11-2	橄榄玄武岩	37.82	75.51	6.50	29.31	5.66	1.73	5.05	0.70	3.32	0.56	1.66	0.19	1.22	0.20	14.13
	p2x4	橄榄玄武岩	67.79	144.30	12.78	60.17	12.38	3.31	10.13	1.16	5.07	0.89	2.29	0.24	1.49	0.24	20.11
	p2x9	玄武安山岩	45.78	77.70	6.49	28.76	5.16	1.49	4.91	0.76	3.58	0.71	1.88	0.24	1.55	0.24	17.72
	p2x13	橄榄玄武岩	38.23	74.86	6.10	25.98	4.52	1.32	4.16	0.55	2.70	0.49	1.45	0.19	1.09	0.17	11.48
	p2x15	玄武安山岩	33.45	66.62	5.71	24.55	4.10	1.23	3.66	0.44	2.24	0.43	1.24	0.15	0.88	0.14	9.49
	p2x20	玄武安山岩	43.47	80.55	7.06	29.00	5.06	1.46	3.96	0.45	2.54	0.47	1.40	0.18	1.02	0.17	10.90
	p2x24	玄武安山岩	33.52	60.34	4.97	22.38	4.21	1.31	3.93	0.53	2.80	0.54	1.64	0.20	1.33	0.22	14.18
	p3x4	辉石玄武岩	32.38	62.86	6.18	27.19	5.21	1.73	4.23	0.60	3.38	0.67	1.95	0.26	1.52	0.25	15.71
	p3x8	橄榄玄武安山岩	39.56	78.56	6.38	28.76	5.33	1.58	4.58	0.63	2.93	0.55	1.68	0.21	1.29	0.21	13.72
	p3x20	碧玄玢岩	125.50	282.90	22.89	93.36	11.71	2.89	7.54	1.14	3.38	0.59	1.60	0.15	1.04	0.17	12.70
	p3x21	杏仁状橄榄碧玄岩	106.00	231.60	18.92	78.17	10.42	2.55	7.20	0.86	3.09	0.57	1.71	0.20	0.90	0.141	1.123
	p3x44	杏仁状玄武安山岩	45.67	93.84	7.98	34.47	6.34	1.92	5.95	0.71	3.64	0.74	1.83	0.22	1.29	0.21	14.73
	p3x49	杏仁状玄武安山岩	36.55	67.02	5.54	23.15	3.97	1.18	3.83	0.44	2.40	0.52	1.45	0.20	1.11	0.16	11.32
p31x3	橄榄玄武岩	38.8	65.3	9.52	34.1	5.5	1.31	3.63	0.44	2.22	0.37	0.92	0.12	0.71	0.1	12.9	

注: 剖面 p17、p21、p23、p24 和 p31 的样品由国家地质实验测试中心测试, 其余样品由沈阳地质矿产研究所测试 (2001 年)。

表 2 义县旋回火山岩稀土元素测试值

Tab. 1 The REE elements analyses of Yixian volcanic cycle

时代	样品	岩性	ΣREE	LREE/HREE	La/Yb	La/Sm	Gd/Yb	Sm/Nd	Eu/Sm	δEu	δCu	(Yb) _N	(La/Yb) _N	(Ce/Yb) _N	(La/Sm) _N
K _{1Y} ⁴	p7x5	流纹质凝灰岩	278.89	6.01	28.32	7.83	2.55	0.18	0.23	0.81	0.98	10.67	18.70	13.01	4.77
	p7x6	英安岩	226.48	7.59	53.77	10.68	4.03	0.16	0.24	0.80	0.65	5.91	35.51	16.20	6.51
	p7x8	球粒状流纹岩	147.76	18.62	172.08	13.45	8.96	0.16	0.26	0.91	0.98	1.15	113.63	74.91	8.20
	p7x11	杏仁状流纹岩	169.40	10.80	83.68	11.74	5.77	0.16	0.26	0.86	0.87	2.69	55.25	32.93	7.16
	p7x17	粗面岩	173.63	9.38	57.15	10.61	3.81	0.16	0.24	0.84	0.89	3.85	37.74	23.23	6.47
	p7x18	杏仁状英安岩	150.55	12.97	90.66	11.30	5.55	0.16	0.24	0.85	0.96	2.12	59.86	39.53	6.89
K _{1Y} ³	p2x47	橄榄玄武岩	157.15	4.33	18.78	7.21	2.56	0.18	0.33	1.03	1.05	8.051	2.40	9.46	4.39
	p6x11	橄榄玄武玢岩	132.37	4.40	21.49	6.64	3.43	0.20	0.31	0.93	1.06	5.87	14.19	11.03	4.05
	p24x0	多斑安山岩	143.5	4.74	32.55	8.02	3.25	0.19	0.27	0.9	0.83	4.90	21.49	13.24	4.89
	p7x2	粗安质角砾凝灰岩	296.49	7.79	44.32	8.51	4.49	0.18	0.26	0.86	1.06	7.31	29.26	22.02	5.18
	p7x3	粗安质角砾凝灰岩	296.49	7.90	45.88	9.06	3.78	0.17	0.24	0.83	0.97	7.31	30.29	20.77	5.52
K _{1Y} ²	124x1	玄武安山岩	331.25	10.51	66.90	10.63	4.92	0.16	0.26	0.86	1.01	5.91	44.18	31.22	6.48
	1274x2	玄武安山岩	187.84	6.77	33.44	9.26	3.26	0.16	0.32	1.01	1.01	6.06	22.08	16.12	5.65
	p9x12	流纹质凝灰岩	185.57	6.31	43.33	9.14	4.24	0.17	0.19	0.61	0.63	5.77	28.61	12.84	5.57
	p9x13	流纹质凝灰角砾岩	183.14	7.68	37.14	11.96	2.58	0.16	0.20	0.66	0.81	6.44	24.53	13.97	7.29
	p21x11	玄武安山岩	142.58	6.94	42.65	6.3	4.51	0.16	0.23	0.83	0.83	3.27	28.16	20.05	3.84
	p23x11	钙质玄武安山岩	74.08	3.94	22.81	3.99	3.84	0.24	0.22	0.77	0.87	2.74	15.06	11.27	2.43
K _{1Y} ¹	p17x5	橄榄玄武岩	93.56	3.38	15.13	5.04	2.18	0.2	0.25	0.85	0.76	5.87	9.99	6.45	3.07
	p17x13	玄武安山岩	171.82	7.04	39.89	6.57	3.55	0.15	0.24	0.88	0.81	3.85	26.34	18.64	4.01
	p17x28	橄榄玄武岩	112.53	4.85	19.28	4.63	2.68	0.19	0.25	0.9	0.94	5.53	12.73	11.1	2.82
	p17x60	橄榄玄武岩	122.67	6.1	31.59	5.18	3.81	0.17	0.22	0.79	0.97	1.97	20.86	17.65	3.16
	p17x70	辉石安山玢岩	102.51	7.95	56.83	7.61	4.34	0.16	0.22	0.83	0.79	2.50	37.53	24.46	4.64
	p17x72	安山岩	100.13	7.82	42.5	6.66	3.83	0.17	0.23	0.84	0.82	3.65	28.06	18.6	4.06
	p17x79	玄武安山岩	119.76	5.56	33.16	4.88	3.78	0.23	0.21	0.79	0.82	3.27	21.89	14.27	2.98
	p2x11-2	橄榄玄武岩	183.56	5.79	31.00	6.68	4.14	0.19	0.31	0.98	1.05	5.24	20.47	15.83	4.07
	p2x4	橄榄玄武岩	342.35	7.23	45.50	5.48	6.80	0.21	0.27	0.89	1.09	7.16	30.04	24.78	3.34
	p2x9	玄武安山岩	196.97	5.24	29.54	8.87	3.17	0.18	0.29	0.90	0.95	7.45	19.50	12.83	5.41
	p2x13	橄榄玄武岩	173.29	6.78	35.07	8.46	3.82	0.17	0.29	0.92	1.06	4.42	23.16	17.57	5.16
	p2x15	玄武安山岩	154.33	7.27	38.01	8.16	4.16	0.17	0.30	0.96	1.05	25.10	4.23	19.37	4.97
	p2x20	玄武安山岩	187.69	7.90	42.62	8.59	3.88	0.17	0.29	0.97	0.99	4.90	28.14	20.20	5.24
	p2x24	玄武安山岩	152.10	5.00	25.20	7.96	2.95	0.19	0.31	0.98	0.99	4.20	16.64	11.61	4.85
	p3x4	辉石玄武岩	164.12	4.74	21.30	6.21	2.78	0.19	0.33	1.10	0.99	7.31	14.07	10.58	3.79
	p3x8	橄榄玄武安山岩	185.97	6.21	30.67	7.42	3.55	0.19	0.30	0.96	1.07	6.20	20.25	15.58	4.52
	p3x20	碧玄玢岩	567.56	19.05	120.67	10.72	7.25	0.13	0.25	0.89	1.16	4.33	79.68	69.59	6.53
	p3x21	杏仁状橄榄碧玄岩	473.46	17.35	117.78	10.17	8.00	0.13	0.24	0.86	1.14	6.39	77.77	65.84	6.20
	p3x44	杏仁状玄武安山岩	219.54	6.49	35.40	7.20	4.61	0.18	0.30	0.95	1.08	3.99	23.38	18.61	4.39
	p3x49	杏仁状玄武安山岩	158.84	6.41	32.93	9.21	3.45	0.17	0.30	0.92	1.00	3.32	21.74	15.45	5.61
p31x3	橄榄玄武岩	175.94	7.22	54.65	7.05	5.11	0.16	0.24	0.85	0.78	3.41	36.08	23.53	4.3	

注: 采用增田 (1973) 的平均值^[8]进行球粒陨石标准化。

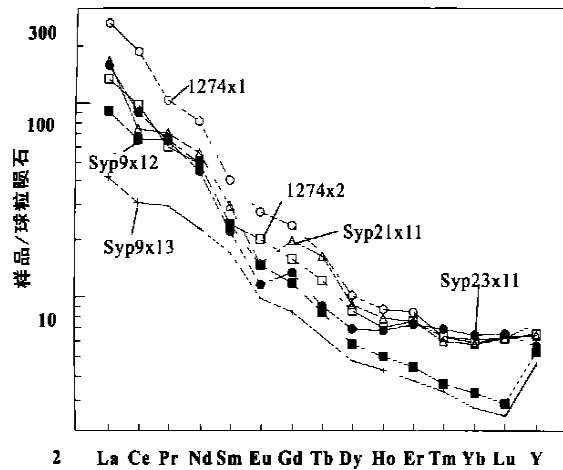


图 3 义县旋回第二亚旋回稀土元素配分曲线

Fig. 3 REE distribution pattern of the second Yixian subcycle

2.3 第三亚旋回

火山岩稀土元素配分曲线(图 4)为向右倾斜的曲线,样品的曲线形态相近,属轻稀土富集型。橄榄玄武(玢)岩的稀土总量(132.37、157.15)较粗安质火山角砾凝灰岩(290.70、296.49)低,前者的曲线斜率也较后者平缓。两者的稀土参数 LREE/HREE 分别为 4.33、4.40 和 7.79、7.90, $(La/Yb)_N = 12.40 \sim 30.29$, $(Ce/Yb)_N = 9.46 \sim 22.02$, La/Sm 为 7.21、6.64 和 8.51、9.06, Gd/Yb 为 2.56、3.43 和 4.49、3.78, 表明轻稀土分馏作用高于重稀土的分馏作用。样品的 Sm/Nd 为 0.17~0.20, 为轻稀土富集型。橄榄玄武(玢)岩 δEu 值为 0.93、1.03, 显示弱铕异常, δCe 值为 1.05、1.05, 显示弱正铈异常。粗安质火山角砾凝灰岩 δEu 值 0.83、0.86, 显示负铕异常, δCe 为 0.97、1.06, 显示弱铈异常。

2.4 第四亚旋回

该亚旋回 5 个样品的岩性为酸性岩类, 1 个样品的岩性为粗面岩, 稀土元素配分曲线(图 5)形态、斜率相近, 为向右倾斜的曲线, 轻稀土明显富集。稀土总量高(150.55~226.48), 稀土参数 LREE/HREE 为 7.59~18.62, $(La/Yb)_N = 13.62 \sim 59.86$, $(Ce/Yb)_N = 13.01 \sim 74.91$, La/Sm=10.61~13.45, Gd/Yb=3.81~8.96, 表明轻稀土分馏作用高于重稀土的分馏作用。Sm/Nd=0.16, 为轻稀土富集型。 $\delta Eu = 0.84 \sim 0.91$, $\delta Ce = 0.87 \sim 0.98$, 显

示弱负铕、负铈异常。

综观 4 个亚旋回火山岩的稀土元素特征, 4 个亚旋回火山岩的稀土元素配分曲线特征非常相似, 轻稀土分馏作用高于重稀土的分馏作用, 为轻稀土富集型。义县旋回的基性、中基性岩类的稀土总量低, 稀土参数 LREE/HREE 较小, 酸性、偏碱性岩类的稀土总量及稀土参数 LREE/HREE 较大。火山岩总体显示弱负铕异常、弱的正铈异常。

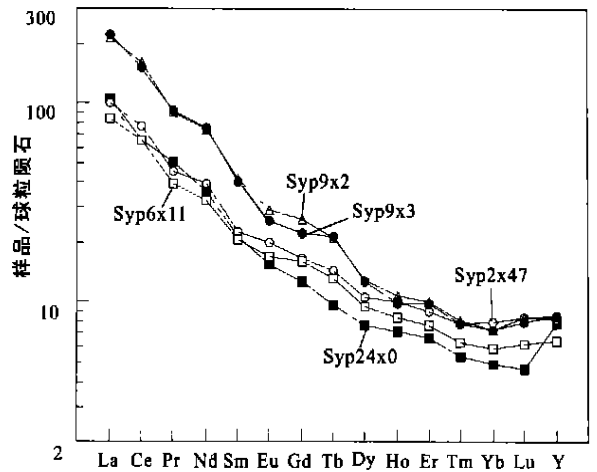


图 4 义县旋回第三亚旋回稀土元素配分曲线

Fig. 4 REE distribution pattern of the third Yixian subcycle

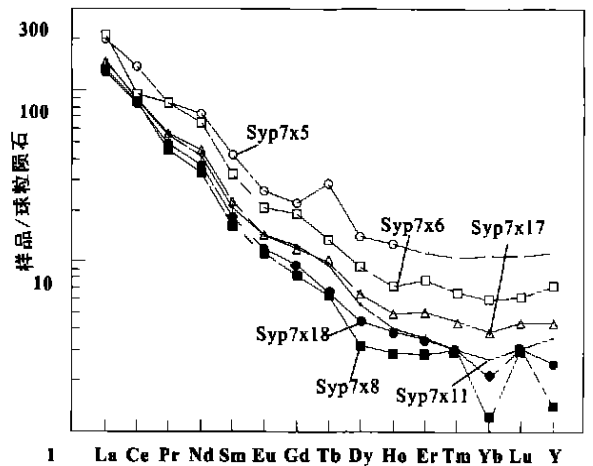


图 5 义县旋回第四亚旋回稀土元素配分曲线

Fig. 5 REE distribution pattern of the fourth Yixian subcycle

3 火山岩成因分析

义县旋回火山岩稀土总量较高, 富轻稀土, 稀土分布模式呈右倾型, 与一般幔源岩石 (如洋脊玄武岩)^[10] 常具有的重稀土富集模式明显不同, 表明其源区不是正常的原始地幔或亏损地幔。本区玄武岩的稀土成分变化很大, $\Sigma\text{REE}/\text{LREE}/\text{HREE}$ 都大于球粒陨石, Eu 异常不明显, δEu 高于沉积岩和花岗岩的 δEu , 并且大部分具有负 Ce 异常, 显示了大陆玄武岩的基本特征^[7]。中性岩类具有大陆型安山岩特征, 稀土元素含量较高, 富集轻稀土, 无明显铕异常, $\text{Eu}/\text{Sm} = 0.22 \sim 0.33$ (大陆型安山岩 $\text{Eu}/\text{Sm} = 0.15 \sim 0.35$, 大洋型 $\text{Eu}/\text{Sm} = 0.19 \sim 0.51$)。Ba/La 介于 0.13 ~ 9.78, 远远低于与板块俯冲作用有关的岛弧火山岩的 Ba/La (大于 30) (Tamimount Ajaji, 1998)。基性-中基性岩类绝大部分样品的 Zr/Y > 3, 具有大陆钙碱性玄武岩的特征。

在 La-La/Sm 图解^[8] (图 6) 上, 大部分样品投影在部分熔融线附近, 仅有少数样品 (主要属第三、第四亚旋回) 投影于分离结晶线附近, 表明义县旋回成岩作用以下地壳的部分熔融为主, 晚期的偏酸、偏碱岩石为分离结晶作用的产物或上部地壳物质混染所致。所有火山岩样品的 Eu 负异常不明显, 表明斜长石的分离结晶不显著。

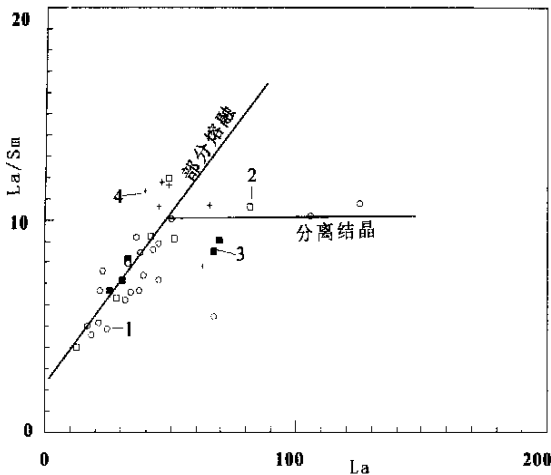


图 6 义县旋回火山岩 La-La/Sm 图解

Fig. 6 The La-La/Sm diagram of the Yixian cycle volcanic rock

据 Faureh, Natalin (1993) 所恢复的晚侏罗—早白垩世古俯冲带的位置, 辽西地区距离中生代古太平洋板块俯冲带水平距离在 1 200 km 以上, 远大于现代板块俯冲带的最大水平距离 600 km (Dolionis

etal, 1999), 因此古大洋板块向欧亚板块的斜向俯冲没有对义县组火山岩的形成造成直接影响。中生代古太平洋板块向欧亚板块的斜向俯冲方向不断改变 (Maruyama, 1997), 华北陆块南部与华南陆块旋转碰撞, 北部受古蒙古洋板块的俯冲、碰撞的影响, 引起地壳/岩石圈处于拉张和挤压的交替变化^[6]。

本次区调研究表明, 燕山晚期 (早白至世), 测区所处的应力状态发生交替, 由 NW—SE 向的挤压作用变为 NW—SE 向的走滑正断层以及 NW—SE 向伸展作用。伸展作用导致地幔上隆, 当隆起加剧, 壳层上部受张应力形成断陷盆地。辽西地区以中基性和中性岩为主的义县旋回火山岩的形成, 受地幔的热流和壳幔物质的再循环制约。来自地幔的热流不断使壳—幔过渡带升温, 首先促使上地幔物质发生部分熔融形成基性 (偏碱性) 岩浆, 沿燕山运动形成的深断裂上升形成火山喷发。伴随着基性岩浆和深部异常热流的上升, 诱使下地壳和上部地壳物质的部分熔融, 同时, 来自上地幔的岩浆也可能因分离结晶作用及上部地壳物质混染形成中性和少量酸性岩浆。

参考文献:

- [1] 曹丛周. 辽西地区侏罗纪火山岩特征 [J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊, 1982, (3): 47-54.
- [2] 王国帧. 辽西中生代火山岩岩石化学特征及生成构造环境的分析 [J]. 辽宁区域地质, 1980, (2): 1-12.
- [3] 张招崇, 李兆霖, 王富宝, 等. 辽西义县盆地火山岩的基本特征及其成因探讨 [J]. 现代地质, 1994, 8 (4): 441-451.
- [4] 郭洪中, 张招崇. 辽宁西部中生代火山岩的基本特征 [J]. 岩石矿物学杂志, 1992, (3): 193-204.
- [5] 陈义贤, 陈文寄, 等. 辽西及邻区中生代火山岩—年代学、地球化学和构造背景 [M]. 北京: 地震出版社, 1997.
- [6] 李伍平, 李献华, 路凤香, 等. 辽西早白垩世义县组火山岩的地质特征及其构造背景 [J]. 岩石学报, 2002, 18 (2): 193-204.
- [7] 张立东, 郭胜哲, 张长捷, 等. 辽宁西部义县组相枕状熔岩的发现及其意义 [J]. 地球学报, 2002, 6: 491-494.
- [8] 陈德潜, 陈刚. 使用稀土元素地球化学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.

Rare earth element characteristics of volcanic rocks from Yixian formation of Western Liaoning

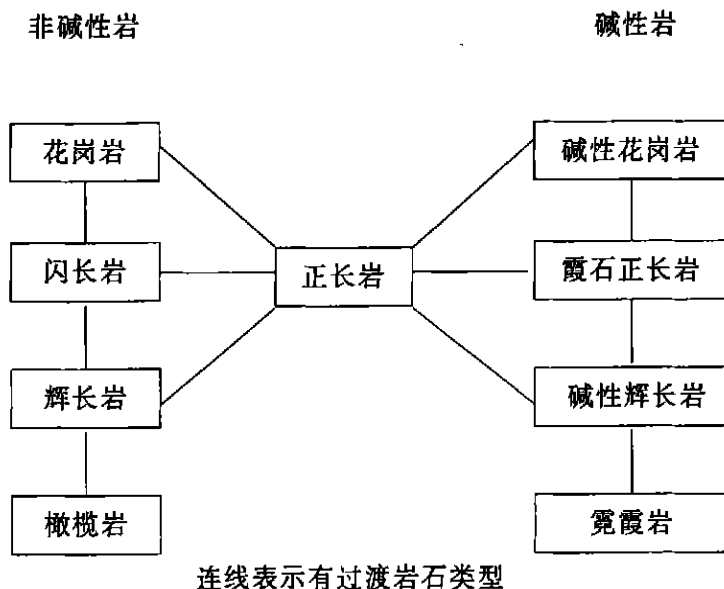
PENG Yan-dong^{1,3}, ZHANG Li-dong^{1,3}, ZHANG Chang-jie³,
GUO Sheng-zhe³, XING De-he^{2,3}, JIA Bin^{1,3},
CHEN Shu-wang^{1,3} DING Qiu-hong^{1,3}

(1. Northeast University, Shenyang 110004, China; 2. Jilin University, Changchun 110061, China;
3. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang 110033, China)

Abstract: Volcanic rocks of mesozoic were widely distributed in Western Liaoning province. Yixian volcanic Cycle of early Cretaceous is divided into four subcycles. From early to late, the magma of Yixian volcanic cycle evolved gradually from basic, intermediate-basic and intermediate to acidic. The Σ REE of volcanic rocks of Yixian volcanic cycle is high and rich in LREE. The spider patterns are the right-incline and there is a slight low Eu negative abnormality and low Ce positive abnormality. REE characteristics show that volcanic rocks of Yixian volcanic cycle were generated in responding to lithosphere extension in the continent intraplate orogenic belt. The lithogenesis take partial melting as a major part.

Key words: Yixian volcanic cycle; volcanic rocks; rare earth elements; partial melting

主要侵入岩谱系图



(西安地质矿产研究所 杨合群编)