

辽宁西部中生代火山岩的基本特征*

郭洪中

张招崇

(北京大学地质系, 北京 100871)

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

主题词 辽西火山岩 岩石化学 稀土配分 锶同位素 不成熟地壳重熔型火山岩

提 要 辽西中生代火山岩主要分布于燕辽台褶带, 由兴隆沟、兰旗和义县旋回构成。火山岩的岩石化学特征为 SiO_2 平均 60.2%、富 Na_2O 、介于钙碱性和弱碱性系列之间。稀土总量低, 铈的负异常弱, I_{Sr} 在 0.70546—0.70653 之间。其特征与源区基底 太古代建平群变质岩十分相似, 反映了它们之间的成因联系。将太古代建平群变质岩和亏损地幔作为端员组分, 由 G. Faure 二元混合模拟公式求得辽西中生代火山岩由 65.8%—82.1% 的源区物质——建平群变质岩和 34.2%—7.9% 的亏损地幔混合组成, 表明辽西中生代火山岩主要是由源区物质——晚太古代建平群变质岩经部分熔融后形成的, 成因上属于典型的不成熟地壳重熔类型。

1 区域地质

辽西地区构造位置处于华北地台的北缘, 内蒙—兴安地槽的东端。古生代以前, 区内构造线方向主要为东西向。自晚古生代起, 该区受太平洋板块、古蒙古洋板块俯冲所造成的幔隆、幔拗和基底构造等复杂机制的影响, 古陆核开始活化, 构造—岩浆活动及成矿作用均很强烈, 此时形成的构造线方向为北东和北北东向。新老构造相互交汇构成了本区基本构造格架。它们直接影响着辽西地区中生代火山岩的空间展布。

辽西地区所出露的基底地层主要为晚太古代建平群的中深变质杂岩, 主要岩石类型为斜长片麻岩、斜长角闪岩、麻粒岩、浅粒岩—变粒岩等。据王长秋 (1989)^①、田昌烈 (1983)^[1] 研究, 本区变质原岩为一套基性和中基性火山岩及少量超基性和酸性火山岩组成, 夹有一些陆源碎屑和化学沉积物, 其中基性熔岩属拉斑系列, 中酸性熔岩属钙碱性系列。

辽西地区 Pb、Zn、Cu、Mo、Au、Ag 等矿产丰富, 朝阳的二道沟金矿、义县的红石砬子金矿都产于火山岩中。因此, 从岩石学与地球化学详细研究辽西地区的中生代火山岩的基本特征不仅具有理论意义, 而且对于寻找新的火山岩型金矿和其它矿产都具有重要的实际意义。

2 辽西中生代火山岩的喷发旋回

辽西地区火山岩的喷发旋回已有许多专文论述^[2-4], 所划分出的旋回因人而异。我们

* 国家自然科学基金资助项目

① 王长秋, 1989, 辽西—赤南一带太古代变质杂岩的地质特征和矿物学, 北大硕士论文。

研究后认为,辽西中生代火山岩由三个主喷发旋回构成,这三个旋回的火山岩分布面积广,岩层厚,间断明显,具有完整的成分演化系列(如表1),其分布情况见图1。每个

表1 辽西中生代火山岩的喷发旋回

Table 1 The volcanic eruption cycles of the Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning

纪	世	旋回(组)	火山岩及次火山岩组合	年龄(Ma)
白垩纪	早白垩世 (包括部分晚侏罗世)	义县旋回	英安岩—流纹岩、安山岩—玄武岩、流纹斑岩等	127 ± 3
侏罗纪	中侏罗世	兰旗旋回	英安岩—流纹岩、粗面岩—安山岩、安山玢岩—闪长玢岩、闪长岩等	156.06 ± 17.74
	早侏罗世	兴隆沟旋回	安山岩—英安岩、粗安岩—粗面岩、玄武岩、英安玢岩等	$198 \pm 25^{(5)}$

旋回的特征简述如下:底部的早侏罗世兴隆沟旋回,主要出露于马友营—黑山科盆地的东部。该旋回火山岩系呈北东向带状展布,分布于盆地的周边,岩性由老到新由基性变为中性,且以中性的安山岩类为主,没有酸性岩类。

中侏罗世兰旗旋回,出露十分广泛,几乎遍及整个辽西地区。以马友营—黑山科盆地、北票盆地出露面积较大,岩性主要由中性到中酸性的安山岩、辉石安山岩、英安岩组成,局部地段出露有玄武岩及流纹岩。

晚侏罗世、早白垩世的广义义县旋回,早期以爆发相占优势,形成了各种火山碎屑岩类,晚侏罗世末期火山活动达到了高峰,喷出和侵出极为强烈,其火山岩遍及全区各盆地,以阜新一义县盆地、朝阳盆地、建昌盆地出露面积较大,岩石类型早期为中基性,晚期演化为中酸性,主要岩石组合为玄武岩—粗安岩—粗面岩—安山岩—英安岩—流纹岩。

早白垩世以后,辽西地区火山活动随着燕山造山活动的减弱而基本结束,张少华等(1990)^[6]认为,中白垩世仍有一个以侵出和次火山侵入为主的大兴庄旋回,由于该旋回分布面积及演化系列均不完整,本文暂不作研究。

3 火山岩岩石化学特征

辽西地区出露的中生代火山岩,岩性种类多,产状复杂,喷发—侵入时间跨度近百万年。为了探讨其火山活动规律,作者分析了大量的火山岩和基底建平群变质岩样品,取得了一批岩石化学和稀土分析数据,同时也收集了已有的前人分析资料^① [2,3],综合整理列于表2,从中可以看出,辽西中生代火山岩具有如下特征:

(1) 辽西火山岩的 SiO_2 含量反映了时代从老到新增高的趋势,辽西中生代火山岩 SiO_2 (平均含量为60.2%)与建平群变质岩 SiO_2 平均含量(54.8%)比较接近。

① 权恒等, 1990, 辽西—冀北地区与中生代火山—侵入岩有关的多金属成矿条件及成矿远景研究。

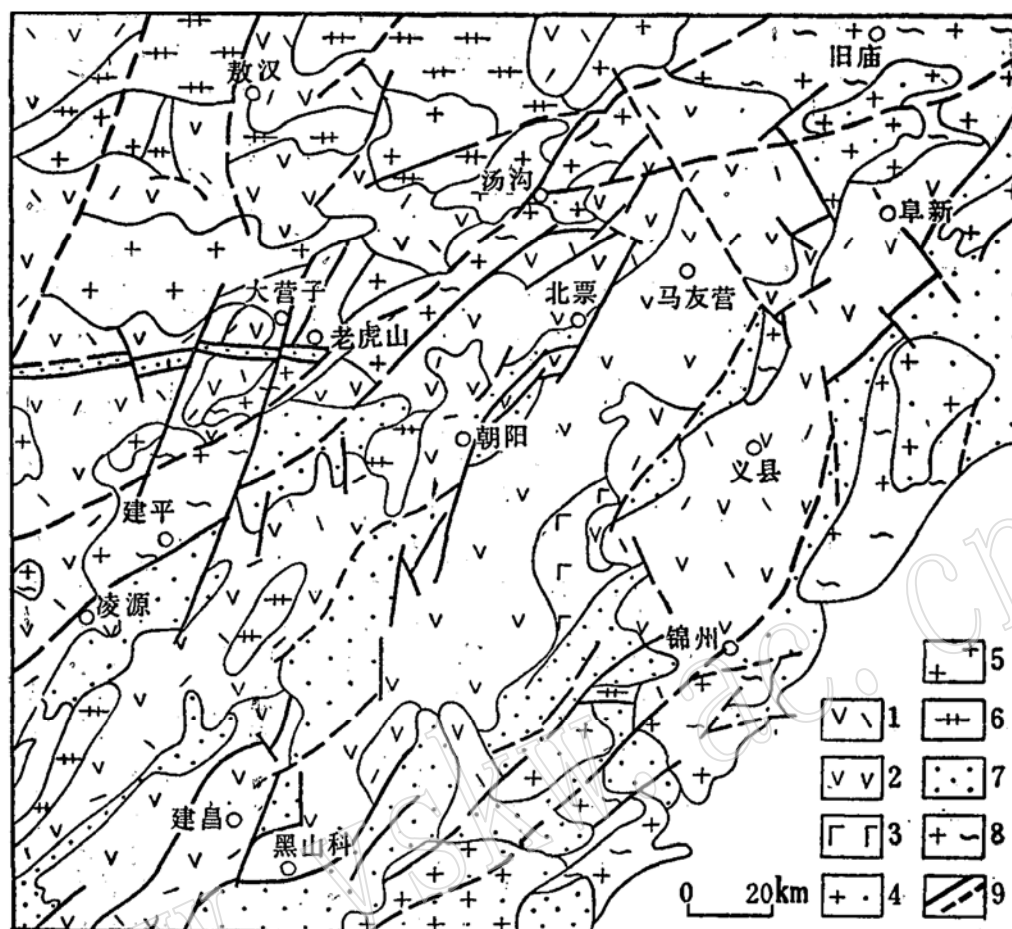


图1 辽西地区地质简图

Fig. 1 Sketch geological map in western Liaoning area

1—白垩系；2—侏罗系中统；3—侏罗系下统；4—燕山期侵入岩；5—海西期侵入岩；6—古生界；7—元古界；8—太古界；9—断裂

(2) 在碱度率 $A \cdot R$ ($A \cdot R = \frac{Al_2O_3 + CaO + \text{全碱}}{Al_2O_3 + CaO - \text{全碱}}$) 对 SiO_2 的变异图上 (图2), 辽西

火山岩基本上都落在钙碱性与弱碱性系列的分界线附近。它们间的微小差别表现在兴隆组的点均落于钙碱性区或分界线上, 而兰旗及义县旋回的基性—中基性岩的点落在钙碱性区, 而酸性岩则落于弱碱性区, 反映了岩浆的物质成分从早期的钙碱性向晚期的弱碱性系列分异演化的特征。为了进一步划分, 我们采用久野^[7]的 $SiO_2 - K_2O + Na_2O$ 图解对岩系的分类方案 (图3)。本区除义县旋回中的流纹岩分布在高铝玄武岩区外, 其余各点均落在碱性玄武岩或碱性玄武岩区与高铝玄武岩区的界线附近。

(3) 在 $Na - K$ 图解 (图4) 上, 火山岩及建平群均分布在 $Na > K$ 的区域内。 A/NKC 值在 0.77—1.06 之间。CIPW 标准矿物计算结果表明 (Fe_2O_3/FeO 依 Le Maitre 公式校正), 各旋回火山岩均出现有标准石英、长石和辉石, 无标准橄榄石及似长石, 应属 SiO_2 饱和系列。标准刚玉极少出现, 最高为 0.65; 里特曼组合指数 δ 在 1.77—5.02 之间, 处于弱碱性与钙碱性分界值 ($\delta = 3.3$) 附近, 属于里特曼划分的钙碱质太平洋岩系。

表 2 辽西中生代火山岩平均化学成分及主要岩石化学参数
Table 2 Average chemical compositions and major petrochemical parameters of Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning

时代	旋回	序号	岩性	样品数	氧化物含量 (wt%)										岩石化学参数								
					SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	H ₂ O	总和	K ₂ O + Na ₂ O	Al/NKC	NKA	OX	Al'	
早白垩世	义县	1	玄武安山岩	4	50.31	15.48	5.54	3.52	5.62	6.34	3.69	2.37	1.46	0.57	1.03	2.32	98.25	6.06	2.42	0.77	0.56	0.61	-91
		2	安粗岩	15	59.45	16.88	3.85	1.31	3.38	4.57	4.27	2.81	0.75	0.38	0.09	1.92	99.66	7.08	2.28	0.92	0.60	0.75	-28.8
		3	安粗岩	9	55.73	15.42	3.05	4.02	4.94	5.54	4.21	2.73	1.31	0.72	0.08	1.56	99.31	6.94	2.26	0.78	0.63	0.43	-86
		4	英安岩	27	65.14	15.41	3.53	0.86	1.69	2.92	3.84	3.86	0.54	0.27	0.05	2.46	100.57	7.7	1.52	0.98	0.68	0.80	-7.2
		5	流纹岩	18	77.64	11.21	0.88	0.65	0.01	0.20	3.08	4.75	0.12	0.02	0.06	0.74	99.36	7.83	0.98	1.06	0.91	0.58	+12
		6	平均		61.66	14.88	3.37	2.07	3.13	3.91	3.82	3.30	0.84	0.39	0.26	1.80	99.43	7.12	1.75	0.88	0.66	0.62	-41.4
中侏罗世	兰旗	7	玄武安山岩	2	51.12	17.39	6.98	1.69	3.80	7.01	3.78	2.34	1.06	0.20	0.12	1.82	97.31	6.12	2.49	0.81	0.50	0.81	-79
		8	安山岩	13	58.61	17.43	5.72	1.75	2.91	4.96	4.34	2.58	0.62	0.34	0.08	1.75	101.09	6.92	2.51	0.92	0.57	0.77	-29
		9	安粗岩	6	56.39	17.32	5.18	1.74	2.71	4.42	4.59	2.92	0.98	0.31	0.13	1.42	98.11	7.51	2.37	0.92	0.62	0.75	-28.2
		10	英安岩	6	63.68	16.69	2.22	2.36	1.21	1.77	4.50	5.20	0.73	0.28	0.06	1.56	100.26	9.7	1.33	1.03	0.78	0.49	+9
		11	流纹岩	13	71.21	14.49	1.92	0.67	0.09	0.28	4.69	5.67	0.23	0.13	0.05	0.85	99.66	10.36	1.25	1.00	0.96	0.74	+1.8
		12	平均		60.20	16.66	4.40	1.64	2.14	3.69	4.38	3.74	0.72	0.25	0.09	1.48	99.39	8.12	1.79	0.93	0.67	0.73	-24.4
早侏罗世	兴隆沟	13	玄武安山岩	4	52.48	18.86	7.25	1.73	3.11	6.54	4.22	2.16	0.78	0.89	0.12	1.35	99.49	6.38	3.02	0.89	0.49	0.81	-46
		14	安粗岩	19	61.34	17.82	5.01	0.84	2.08	4.36	5.22	3.41	0.62	0.21	0.10	1.88	102.89	8.63	2.33	0.88	0.69	0.86	-46.6
		15	安粗岩	9	56.70	17.98	4.78	1.59	1.94	5.06	4.66	2.81	0.76	0.23	0.14	2.11	98.76	7.47	2.50	0.90	0.60	0.75	-37.4
		16	安粗岩	8	61.16	17.19	4.51	1.18	1.63	3.72	4.75	3.53	0.57	0.21	0.11	1.45	100.01	8.28	2.05	0.94	0.67	0.79	-22.6
		17	英安岩	11	62.21	17.48	2.06	2.51	1.37	3.95	4.87	2.04	0.42	0.09	0.19	2.13	99.22	6.91	3.66	1.02	0.58	0.45	+5
		18	平均		58.78	17.87	4.18	1.57	2.03	4.73	4.74	2.79	0.63	0.33	0.11	1.78	100.14	7.53	2.55	0.92	0.61	0.75	-30.4
火山岩平均	建平群	19			60.21	16.47	4.18	1.76	2.43	4.11	4.31	3.28	0.73	0.32	0.15	1.69	98.95	7.59	1.99	0.91	0.64	0.70	-31
		20	变质岩	21	54.80	14.23	3.28	6.35	6.75	6.41	3.06	1.84	1.07	0.25	0.76	1.68	100.49	4.90	2.54	0.76	0.49	0.34	-87

续表 2

时代	旋回	序号	岩性	样品数	岩石化学参数					CIPW (wt%)													
					D.I	S.I	A.R	δ	FMC	ap	il	mt	or	ab	an	wo	en	fs	hy	C	hm	q	
早白垩世	义县旋回 (广义)	1	玄武安山岩	4	46.82	27.1	1.77	5.02	15.04	1.4	2.87	8.31	14.49	32.31	19.32	5.36	4.30	0.43	10.18				0.03
		2	安粗岩	15	63.84	21.64	1.99	3.05	9.14	0.92	1.45	2.38	16.90	36.79	18.93	1.63	1.41		7.17		2.38	10.15	
		3	安粗岩	9	55.55	26.07	1.99	3.78	12.31	1.73	2.52	4.48	16.35	36.11	15.32	5.04	3.70	0.86	8.77			3.09	
		4	英安岩	27	76.01	12.26	2.45	2.68	6.70	0.65	1.04	1.39	23.16	33.01	13.62	0.38	0.33		3.95		2.63	19.84	
		5	流纹岩	18	96.37	0.11	5.37	1.77	1.64	0.05	0.23	1.29	28.44	26.42	0.99				0.03	0.65		31.51	
		6	平均		68.11	19.95	2.22	2.72	8.96	0.94	1.63	4.98	19.87	32.94	13.97	2.31	1.98	0.03	5.97			15.3	
中侏罗世	兰旗旋回	7	玄武安山岩	2	49.88	20.44	1.67	4.61	14.08	0.49	2.10	2.89	14.44	33.41	24.62	4.83	4.17		5.71		5.30	2.03	
		8	安山岩	13	61.59	16.82	1.90	3.07	11.41	0.81	1.18	4.11	15.28	36.81	20.51	1.64	1.42		5.85		2.90	9.50	
		9	安粗岩	6	63.86	15.81	2.06	4.21	10.47	0.76	1.92	3.29	17.77	40.01	18.58	1.50	1.37		5.58		3.07	6.08	
		10	英安岩	6	81.03	7.81	3.22	4.56	6.07	0.67	1.40	3.25	31.01	38.44	8.68				3.04	0.52		11.57	
		11	流纹岩	13	95.11	0.69	5.70	3.81	2.78	0.31	0.44	1.66	33.63	39.85	1.31				0.23	0.16	0.78	21.63	
		12	平均		70.54	13.13	2.33	3.83	8.96	0.60	1.39	3.56	22.49	37.73	15.02	1.44	1.24		4.18		2.03	10.31	
早侏罗世	兴隆沟旋回	13	玄武安山岩	4	51.37	16.84	1.69	4.29	13.81	2.12	1.49	3.73	12.86	35.98	26.34	2.41	2.08		5.72		4.73	2.53	
		14	安粗岩	19	70.35	12.56	2.27	4.06	9.07	0.49	1.16	1.22	19.89	43.62	14.93	2.62	2.27		2.85		4.10	6.84	
		15	安粗岩	9	64.28	12.29	1.96	4.07	9.87	0.56	1.49	3.49	17.12	40.68	20.47	2.20	1.90		3.08		2.53	6.48	
		16	安粗岩	8	72.27	10.45	2.31	3.78	8.37	0.55	1.45	2.06	20.9	40.29	17.05	0.54	0.47		3.60		3.10	10	
		17	英安岩	11	69.73	10.66	1.95	2.49	7.23	0.22	0.82	3.07	12.40	42.39	20.09				3.51	0.1		14.94	
		18	平均		65.74	12.76	2.00	3.59	9.73	0.79	1.21	3.64	16.69	40.61	19.48	1.69	1.46		3.66		2.33	8.44	
火山岩平均	19			68.15	15.23	2.17	3.35	9.21	0.77	1.41	4.11	19.7	37.09	16.18	1.81	1.57		4.59		1.41	11.36		
建平群	20	变质岩	21	42.04	31.72	1.62	2.03	16.21	0.50	2.05	4.80	10.97	26.12	19.83	5.04	3.14	1.60	13.82			4.96		

注: $Al' = Al - Na - K - 2Ca$; $NKA = (Na + K)/Al$; $Ox = Fe_2O_3/(FeO + Fe_2O_3)$; $FMC = Fe_2O_3 + FeO + \frac{1}{2}(CaO + Mg)$

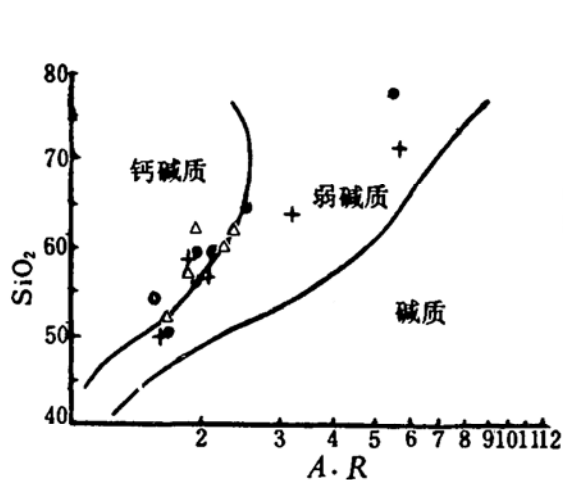


图 2 辽西火山岩 $A \cdot R - SiO_2$ 图解

Fig. 2 $A \cdot R$ vs SiO_2 diagram of volcanic rocks in western Liaoning

(据 J. B. Wright, 1969)

△—兴隆沟旋回；+—兰旗旋回；●—义县旋回；○—建平群

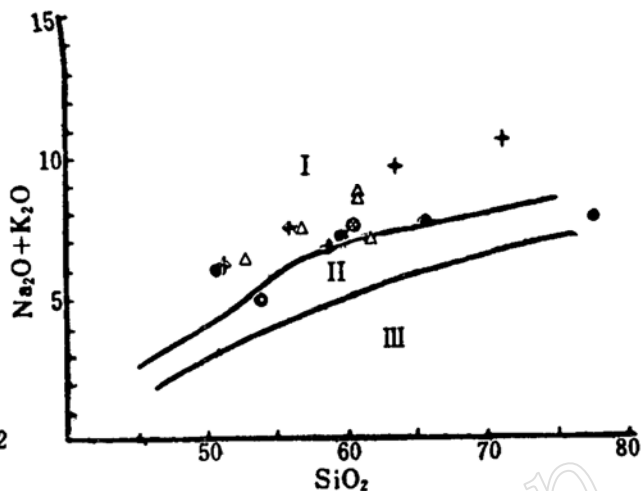


图 3 辽西中生代火山岩 $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$ 图解

(据 Kuno, 1965)

Fig. 3 Diagram of $(Na_2O + K_2O)$ vs SiO_2 for the Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning

符号意义同图 2

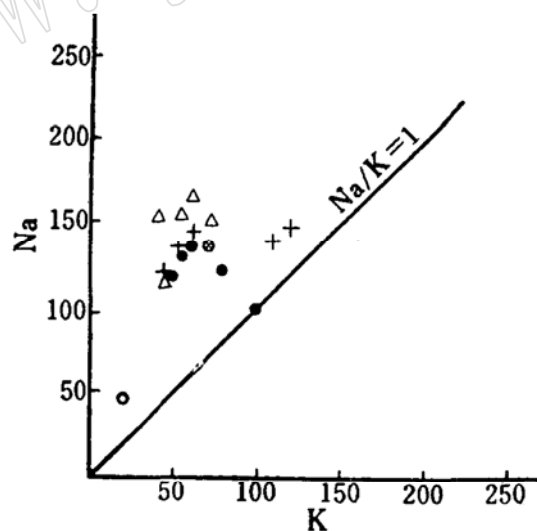


图 4 辽西火山岩 $Na - K$ (原子数 $\times 1000$)

图解

Fig. 4 Diagram of Na vs K (atom $\times 1000$) of volcanic rocks in western Liaoning

(符号意义同图 2)

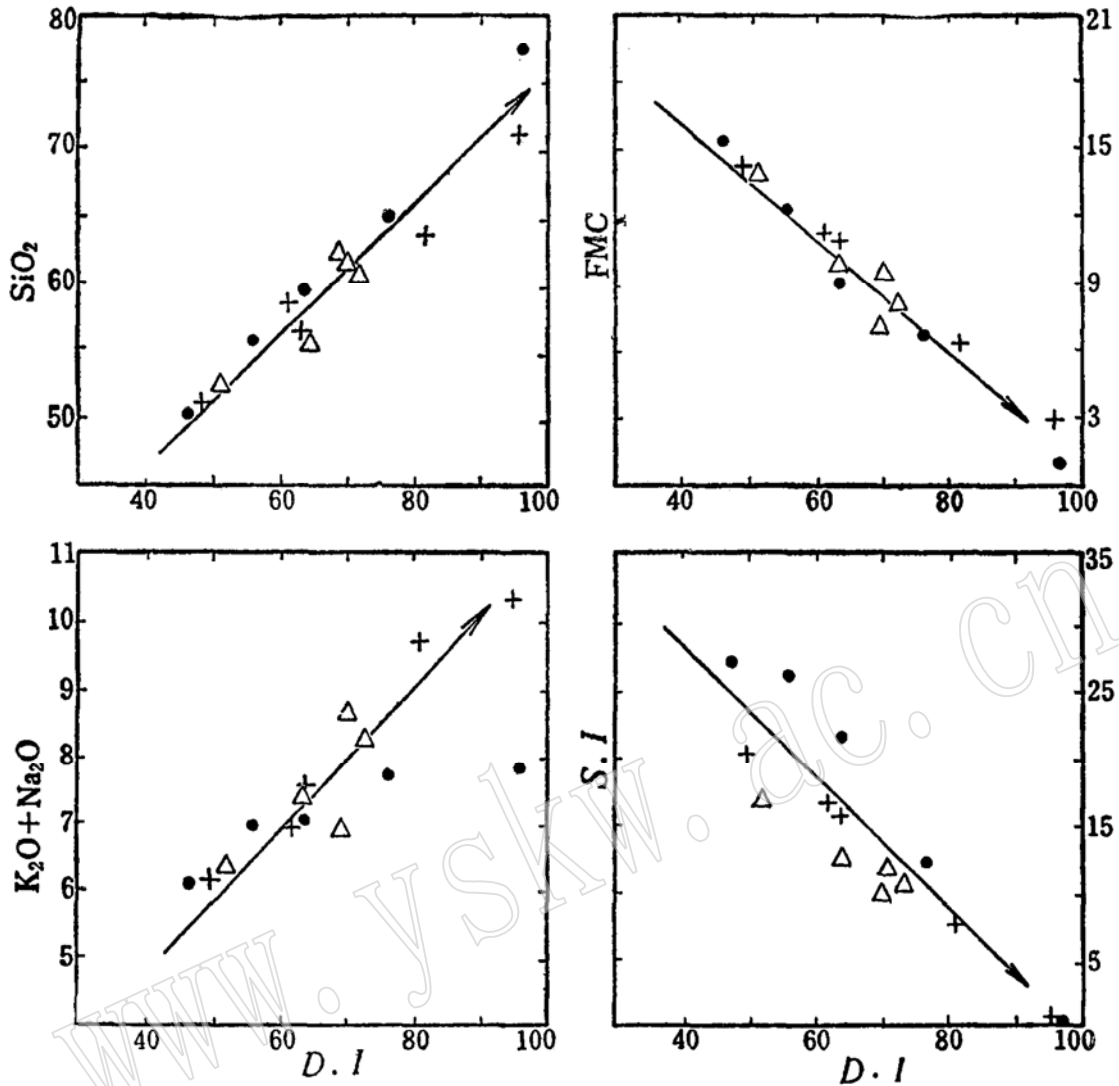


图5 辽西火山岩 $D \cdot I$ 对其主要岩石化学参数图解

Fig. 5 Diagram of $D \cdot I$ vs the major petrochemical parameters of volcanic rocks in western Liaoning

(图中箭头表示演化方向, 其它符号意义同图2)

(4) 在分异指数($D \cdot I$)对 SiO_2 、 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 、 FMC 、 $\text{S} \cdot \text{I}$ 所作的变异图(图5)中十分清楚地看到,随着分异指数 $D \cdot I$ 的增高,各旋回火山岩的 SiO_2 、 $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 、 FMC 、 $\text{S} \cdot \text{I}$ 呈现有规律的线性消长(图中箭头所示),反映出各旋回火山岩是从同一源岩浆中分异演化出来的。从表2及图2、3、4中不难看出,基底建平群正变质岩也有与火山岩相似的岩石化学特征。

综合上述分析,辽西中生代火山岩属于一套以中性火山岩为主的富钠、 SiO_2 饱和的弱碱性—钙碱性火山岩组合,其岩石化学参数与基底晚太古代建平群变质岩系的相似性,反映了它们之间内在的成因联系。

4 稀土元素特征

辽西中生代火山岩和晚太古代建平群变质岩的稀土元素含量及某些地球化学参数如表

表 3 辽西中生代火山岩稀土元素含量(ppm)及参数

Table 3 REE contents(ppm) and major parameters of Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning

项目	旋回 岩石名称	兴隆沟旋回				兰旗旋回				义县旋回				辽西	建平群
		玄武岩	安山	安山岩		安山岩	英安岩	流纹岩		玄武岩	安山岩	英安岩	流纹岩		
		(4)*	(3)	(8)	平均值	(4)	(5)	(6)	平均值	(2)	(6)	(8)	(11)	平均值	斜长角闪片麻岩(16)
La		37.8	30.4	36.8	35.0	35.65	34.48	30.28	33.47	14.99	68.66	46.13	61.36	47.79	24.54
Ce		60.1	61.3	66.28	62.56	78.81	59.28	61.29	66.46	35.15	113.01	89.34	119.07	89.14	54.98
Pr		10.2	11.1	7.38	9.56	7.93	6.68	5.92	6.84	4.01	12.17	8.61	11.81	9.15	6.54
Nd		26.8	26.7	33.09	28.86	38.24	25.83	22.16	28.74	17.41	51.46	30.95	42.78	35.65	29.95
Sm		4.72	6.04	5.92	5.56	8.34	4.82	3.99	5.72	3.20	9.09	4.99	7.35	6.16	6.21
Eu		1.84	2.2	1.88	1.97	2.71	0.81	0.69	1.40	0.98	2.01	1.00	0.11	1.03	1.82
Gd		4.63	5.87	5.72	5.41	6.91	3.44	3.09	4.48	3.00	6.76	3.69	5.46	4.73	5.13
Tb		0.49	0.65	0.90	0.68	0.9	0.53	0.49	0.64	0.37	0.99	0.6	1.01	0.74	0.76
Dy		2.70	4.28	3.16	3.38	4.36	2.96	2.83	3.38	2.51	3.85	2.32	4.25	3.23	4.13
Ho		0.48	0.47	0.46	0.47	0.64	0.64	0.62	0.63	0.49	0.78	0.43	0.84	0.64	0.81
Er		1.23	2.34	1.07	1.55	1.58	1.84	1.77	1.73	1.30	2.11	1.15	2.10	1.67	2.19
Tm		0.22	0.13	0.32	0.19	0.44	0.31	0.30	0.35	0.17	0.32	0.15	0.28	0.23	0.32
Yb		1.03	2.12	0.94	1.36	1.44	2.07	2.03	1.85	1.08	1.76	0.94	1.77	1.39	1.81
Lu		0.14	0.12	0.28	0.18	0.30	0.32	0.32	0.31	0.10	0.23	0.13	0.26	0.18	0.30
Y		11.06	10.13	10.2	10.46	14.90	17.36	16.91	16.39	10.74	13.41	10.20	18.51	13.22	20.45
$\Sigma \text{REE} + \text{Y}$		163.44	163.82	174.4	167.19	203.15	161.37	152.69	172.39	95.5	286.1	200.63	276.96	214.95	159.94
ΣCe		141.46	137.74	151.35	143.51	171.68	131.9	124.33	142.63	75.74	256.4	181.02	242.48	188.92	124.04
ΣY		21.98	26.08	23.05	23.68	31.47	29.47	28.36	29.76	19.76	30.21	19.61	34.48	26.03	35.90
$\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y}$		6.44	5.28	6.57	6.06	5.46	4.48	4.38	4.79	3.83	8.49	9.23	7.03	7.26	3.46
δCe		0.74	0.803	0.97	0.82	1.13	0.94	1.10	1.06	1.09	0.94	1.08	1.07	1.03	1.05
δEu		1.20	1.13	0.99	1.10	1.09	0.61	0.60	0.85	0.97	0.78	0.71	0.05	0.58	0.99
$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$		24.74	9.67	26.39	17.35	16.69	11.23	10.06	12.20	9.36	26.30	33.09	23.37	23.14	9.14
$(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$		5.03	3.17	3.91	3.96	2.69	4.50	4.77	3.68	2.94	4.75	5.82	5.25	4.88	2.49
$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$		3.62	2.23	4.91	3.21	3.87	1.34	1.23	1.95	2.24	3.10	3.17	2.49	2.75	2.29

*注: 括号内数字代表样品数。

3, 图6为它们的稀土的配分模式。其稀土元素特征归纳如下:

(1) 稀土总量 $\Sigma\text{REE} + \text{Y}$, 建平群为159.94 (ppm), 兴隆沟旋回为167.19 (ppm), 兰旗旋回为172.39 (ppm), 义县旋回为214.95 (ppm), 辽西中生代火山岩的 $\Sigma\text{REE} + \text{Y}$ 平均为188.78 (ppm), 低于或接近 Taylor(1979)^[8]晚太古代上部陆壳的平均值210 (ppm)。

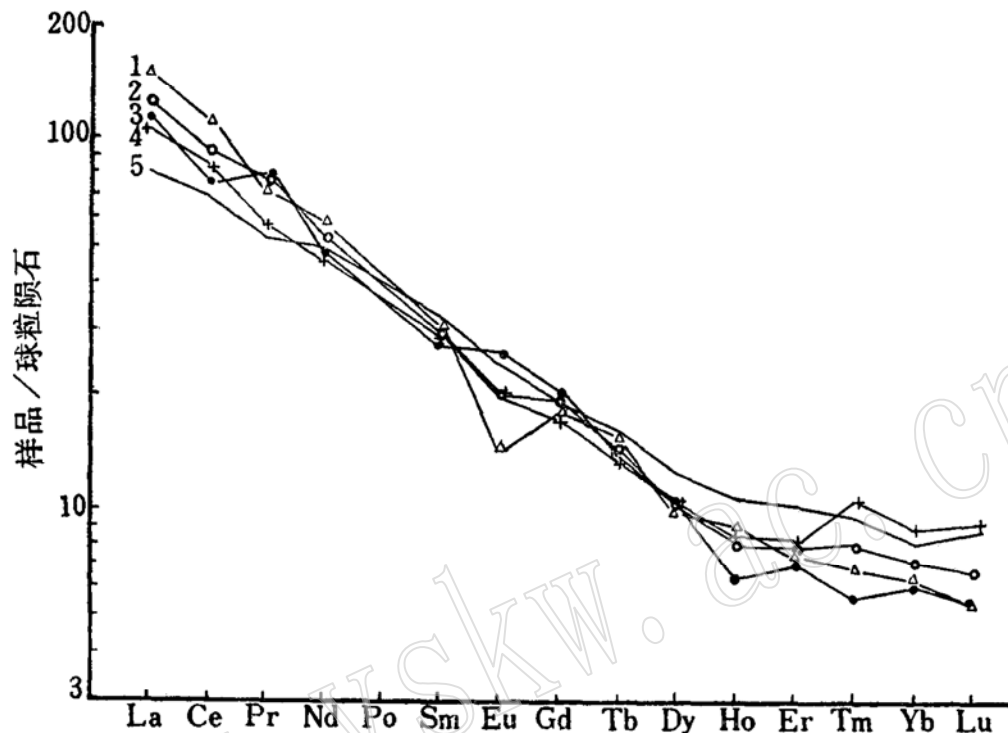


图6 辽西火山岩稀土元素配分模式

Fig. 6 REE patterns of volcanic rocks in western Liaoning

1—兰旗旋回; 2—建平群; 3—义县旋回; 4—兴隆沟旋回; 5—辽西火山岩平均值

(2) 铈异常 δCe 和铕异常 δEu 不明显(表3)。

(3) 从表3可看出辽西火山岩的 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 、 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值分别高于上部陆壳的平均值3.74和13.57; 建平群的 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 和 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 略低于上部地壳平均值, 这些特征表明它们属于重稀土亏损轻稀土富集型。

(4) 图6的稀土配分曲线显示出辽西各旋回火山岩具有负斜率十分相近的右倾分布曲线, 其特征与晚太古代建平群变质岩类的稀土配分曲线十分接近, 体现了它们稀土成分上的继承性。

5 铷同位素特征

辽西地区火山岩的形成时代是划分各旋回火山岩的主要依据之一, 为了更精确地探讨本区各旋回火山岩的成岩时代及岩石成因问题, 作者选择全岩Rb-Sr等时线法, 测定了北票盆地出露的兰旗组火山岩和阜新一义县盆地出露的义县组火山岩的Rb、Sr同位素组成, 各旋回的形成年龄(t)和初始比值(I_{Sr})见表4。

为了进一步说明本区火山岩的成因, 我们测定了太古代建平群小塔子沟组斜长角闪片

表 4 Rb-Sr同位素数据及参数

Table 4 Data and parameters of Rb-Sr isotope

旋回	样品名称	测定对象	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	等时线年龄及初始铷比值
义县旋回	玄武岩	全岩	23	501	0.0727	0.70692	$t = 127 \pm 3\text{Ma}$
	粗面安山岩		40	681	0.1775	0.70680	
	英安岩		75	690	1.2110	0.70743	
	英安岩	岩	87	684	0.3561	0.70713	$I_{\text{Sr}} = 0.70653 \pm 0.00068$
	流纹岩		148	22	19.1042	0.73910	
	流纹岩		156	13	34.7356	0.75670	
	流纹斑岩		202	6	61.0032	0.81208	
兰旗旋回	流纹岩	全岩	170.4	68.9	7.1613	0.7224	$t = 156.06 \pm 17.74\text{Ma}$
	闪长玢岩		83.6	426.2	0.5673	0.70671	
	英安岩		163.7	58.2	8.1515	0.72648	
	流纹英安岩	岩	200.7	38.1	15.270	0.73893	$I_{\text{Sr}} = 0.7062 \pm 0.0021$
	正长斑岩		135.4	354.9	1.1036	6.70832	
兴隆沟旋回*	玄武安山岩	全岩	50.4	891.8	0.16341	0.70590	$t = 198 \pm 25\text{Ma}$
	玄武安山岩		24.3	917.3	0.07664	0.70554	
	玄武安山岩		38.8	1015.6	0.11056	0.70605	
	安山岩	石	39.2	1033.9	0.10966	0.70568	$I_{\text{Sr}} = 0.70546 \pm 0.00009$
	粗安岩		139.7	597.6	0.67659	0.70737	
晚太古代基底建平群	斜长角闪岩	全岩	22.784	271.35	0.2425	0.708715	$t = 2500\text{Ma}$
	闪片麻岩						$I_{\text{Sr}}^* = 0.7000$

*1 资料来源同文献[5]。

*2 由Faure公式求得的表面初始值,时代资料见正文。

除注明者其余数据由核工业部铀矿地质研究院同位素室分析。

麻岩的 Rb、Sr 同位素组成 (表 4), 变质成岩时代选用最新数据 25 亿年^①, 利用 Faure (1972) 公式^[10]:

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t \approx (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 + (^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}) \lambda t$$

求得变质岩的 I_{Sr} 为 0.7000, 200 Ma 时的 $I_{\text{Sr}}' = 0.7080$ 。

我们将晚太古代建平群变质岩作为辽西地壳端员 (A 端员), 其铷同位素参数为 $I_{\text{Sr}}' = 0.7080$, 铷丰度 (X_A) = 271.35 ppm, Faure (1986) 推荐的亏损地幔端员 (B 端员) 的铷同位素参数为 $I_{\text{Sr}} = 0.70264$, 铷丰度 (X_B) = 470 (ppm)。采用 Faure (1986)^[11] 提出的二元混合铷模拟公式:

$$I_{\text{Sr},m}' = \frac{I_{\text{Sr},A}' X_A f_A + I_{\text{Sr},B} X_B (1 - f_A)}{X_A f_A + X_B (1 - f_A)}$$

计算得出辽西中生代火山岩兴隆沟旋回、兰旗旋回、义县旋回中的源区岩石所占的重量百分

① 王长秋, 1989, 辽西赤南一带太古代变质杂岩的地质特征和矿物学, 北大硕士论文。

数分别为65.8%、77.4%、82.1%，亏损地幔端员所占的重量百分数分别为34.2%、22.6%、17.9%，清楚地表明地壳端员岩石占据优势。

6 问题讨论与结论

(1) 辽西地区出露的中生代火山岩，各旋回岩石组合多为玄武岩—安山岩—英安岩或玄武岩—安山岩—安粗岩—粗面岩—流纹岩。每一旋回早期为中基性岩石组合，晚期为中性岩石组合。岩石化学特征是， SiO_2 平均含量为60.2%， $\text{Na} > \text{K}$ ， A/NKC 为0.91，CIPW 计算中没有标准橄榄石及标准似长石出现，有标准石英、长石和辉石，说明岩石属 SiO_2 饱和系列，从演化上看，早期为钙碱性，晚期为弱碱性，体现了源岩浆的分异演化历程。上述特征与区内基底晚太古代建平群的变质岩的岩石化学特征十分相似。

(2) 辽西地区中生代火山岩的 $\Sigma \text{REE} + \text{Y}$ 为188.78(ppm)，低于上地壳平均值， $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y}$ 为6.15， δEu 为0.81，均较上地壳平均值高，建平群变质岩的 $\Sigma \text{REE} + \text{Y} = 159.94$ ， $\Sigma \text{Ce} / \Sigma \text{Y} = 3.46$ ，低于火山岩的平均值， $\delta \text{Eu} = 0.99$ ，高于火山岩的平均值，反映了稀土元素的演化特征。

(3) 辽西地区中生代火山岩中 I_{sr} 低，在0.70546—0.70653之间，太古代建平群现代 I'_{sr} 为0.708715，利用 Fåure (1972) 公式推得25亿年变质成岩时的 $I_{\text{sr}} = 0.7000$ ，200 Ma 形成火山岩时的 $I'_{\text{sr}} = 0.7080$ ，据二元混合模拟计算公式求得火山岩中源区岩石占65.8%—82.1%，亏损地幔占34.2%—17.9%。

(4) 本区火山岩的成因划分曾有裂谷模式^[12]、同熔模式^①、幔源模式^[2,3]等。本区的构造位置既非裂谷或岛弧环境，其“同熔”也有别于南方的同熔模式。Meen(1988)^[13] 指出，某些具有 $I_{\text{sr}} = 0.703$ —0.706 的花岗岩类可能是从深部斜长角闪岩中演化而来的，极少从浅部花岗质地壳中导出，其熔岩的成分反映了源区岩石的特征。

辽西中生代火山岩类与基底太古代建平群变质岩类在岩石化学上的相似性、稀土成分上的继承性以及锶同位素上的演化性，反映了它们物质成分上的内在成因联系。晚古生代后，本区受太平洋板块及古蒙古洋板块的俯冲，长期处于挤压环境，由此产生的幔隆、幔拗和“热动力”是源岩局部熔融的必要条件，上地幔中少量原生玄武岩浆及“幔汁”的存在是大规模源岩局部熔融的“触媒”，燕山造山运动形成的深断裂是岩浆上升的通道，区内的断陷盆地是火山岩存在的场所，构造的多期活动是区内火山岩具有脉动性和多旋回的直接因素。因此可以认为本区的火山岩应属于混入了少量原生玄武岩浆的不成熟地壳重熔类型。

本文的样品分析工作得到了北京大学地质系 ICP 室的王凤珍、邵宏翔高级工程师，北京铀矿地质研究院同位素室的张贵存、郭虹工程师的大力帮助；在收集资料和成文过程中得到了南京大学地球科学系王德滋教授、北京大学的刘本立副教授、魏菊英教授、刘如曦副教授，沈阳黄金学院任凤翅副教授的热情支持和精心指导，借此作者向他们表示衷心的感谢。

① 权恒等，1990，辽西—冀北地区与中生代火山岩—侵入岩有关多金属成矿地质条件及成矿远景研究。

参考文献

- 1 田昌烈, 杨芳林. 东北地区蛇绿岩岩石学特征. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所刊, 1983, 6: 34—54.
- 2 曹从周. 辽西地区侏罗纪火山岩特征. 中国地质科学院沈阳地矿所刊, 1982, 3: 47—66.
- 3 王国祯. 辽西中生代火山岩岩石化学特征及生成构造环境分析. 辽宁区域地质, 1980, (2): 1—13.
- 4 刀乃昌, 李祥芝. 辽西地区中生代火山岩 K-Ar 同位素年龄的确定. 辽宁地质学报, 1983, (1): 71—83.
- 5 中国同位素地质年表. 1987. 地质出版社.
- 6 张少华, 孙敬书. 辽宁西部中白垩世火山旋回的划分与对比. 辽宁地质, 1990, (2): 157—161.
- 7 玉德滋, 周新民. 火山岩岩石学. 科学出版社, 1990.
- 8 Taylor S R. Chemical composition and evolution of the continental crust: the rare earth element evidence. The earth: its origin, structure and evolution. London and New York: Academic Press. 1979. 353—376.
- 9 王中刚等. 稀土元素地球化学. 科学出版社, 1989. 88.
- 10 福尔 G. 鲍威尔 J L. 铷同位素地质学. 科学出版社, 1972. 20—21.
- 11 Faure G. Principles of isotope geology. John Wiley and Sons, 1986. 141—247.
- 12 王东方, 刀乃昌, 燕辽火山岩带铷、锶、铈同位素特征及其与大地构造的关系. 中国地质科学院沈阳地矿所刊, 1983, 6: 115—120.
- 13 Meen J K. Production of isotope disequilibrium in igneous rocks by crustal contamination—An example from a Laramide volcanic center in Montana, U. S. A. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.), 1988, 72: 299—309.

Essential Characteristics of Mesozoic Volcanic Rocks in Western Liaoning

Guo Hongzhong

(Department of Geology,
Peking University)

Zhang Zhaochong

(Institute of Geology, Chinese Academy of
Geological Sciences)

Key words: volcanic rocks in western Liaoning; petrochemistry; REE patterns; Sr isotope; unmaturred crust remelting-type

Abstract

The Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning Province which include those of the Xinglonggou cycle, the Lanqi cycle and the Yixian cycle, are mainly distributed in the Yan-Liao platformal fold belt. These rocks characterized by having SiO_2 of 60.2% (average), standard alumina and high Na_2O content plot in the range between the alkali-lime series and the weak-alkali series. In addition, their REE total contents ($\Sigma\text{REE} + \text{Y}$) and europium negative anomaly are lower and I_{Sr} is from 0.70546 to 0.70653. From the petrochemical point of view, these rocks are similar the Archean metamorphic rocks of the Jianping Group, which are their basement and source area. So it can be said that there is a genetic connection between them. The results calculated using the binary mixed formula proposed by G. Faure, in which the Archean metamorphic rocks of the Jianping Group and depleted mantle are thought to be the end members, show that the Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning are derived from the metamorphic rocks of the Jianping Group (65.8%—82.1%) and depleted mantle (34.2%—17.9%). Therefore, we shall come to the conclusion that the volcanic rocks were mainly formed by partial melting of source materials—the late Archean metamorphic rocks of the Jianping Group, and belong genetically to the unmaturred crust remelting type.