

文章编号: 1000- 6524 (2003) 02- 0125- 06

## 藏北高原金顶山第四纪火山岩特征及构造环境

陈必河<sup>1</sup>, 刘耀荣<sup>1,2</sup>, 肖冬贵<sup>1</sup>, 彭学军<sup>1,2</sup>

(1. 湖南省地质调查院, 湖南湘潭 411100; 2. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 金顶山火山岩位于藏北高原西昆仑东段华北板块与华南板块结合带南缘, 为典型的陆相中心式喷发产物, 存在3次以上火山活动, 呈平缓的被状熔岩覆盖于陡倾斜的古近纪阿克塔什组( $E_3a$ )之上, 轻微剥蚀, K-Ar同位素年龄为0.45~1.93 Ma。主要岩石类型为安粗岩, 属亚碱性系列中的钙碱性系列。SiO<sub>2</sub> 57.88%~60.82%, MgO 1.95%~2.2%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 6.93%~7.27%,  $\delta$ 值2.73~3.1, DI值63.5~64.6。大离子亲石元素强烈富集, 高场强元素富集相对较弱, REE  $650 \times 10^{-6}$ ~ $766 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 14.9~15.7, 为LREE强富集型,  $\delta Eu$  0.75~0.89, ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub> 为0.70970,  $\delta^{18}O$  为10.4‰。综合研究表明, 岩浆来源于下地壳或壳幔过渡带部分熔融的同源岩浆, 形成于碰撞后抬升的拉张构造环境。

**关键词:** 火山岩; 第四纪; 构造环境; K-Ar同位素年龄; 藏北高原; 金顶山

中图分类号: P588.14; P584

文献标识码: A

## Characteristics and tectonic environments of Quaternary volcanic rocks in Jindingshan, North Tibet Plateau

CHEN Bi\_he<sup>1</sup>, LIU Yao\_rong<sup>1,2</sup>, XIAO Dong\_gui<sup>1</sup> and PENG Xue\_jun<sup>1,2</sup>

(1. Geological Survey of Hunan Province, Xiangtan 411100, China; 2. Institute of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Jindingshan volcanic rocks occur in the eastern part of West Kunlun Mountain in North Tibet Plateau, geotectonically on the southern margin of the suture zone between North China plate and South China plate. The rocks originated from typical continental central eruption characterized by more than three times of volcanic activities. They overlie abruptly declining Palaeogene Aletars Formation ( $E_3a$ ) in the form of gentle lava sheet and have been subjected to slight erosion. K-Ar isotopic age is 0.45~1.93 Ma. Latite, the main volcanic rock, is of calc-alkaline series in the sub-alkaline series: SiO<sub>2</sub> 57.88%~60.82%, MgO 1.95%~2.2%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 6.93%~7.27%,  $\delta$  2.73~3.1, and DI 63.5~64.6. The large-ion lithophile elements are highly concentrated, while the high-field intensity elements are comparatively less concentrated. REE  $650 \times 10^{-6}$ ~ $766 \times 10^{-6}$  and LREE/HREE 14.9~15.7 point to intensely concentrated LREE.  $\delta Eu$  values are 0.75~0.89, ( $^{87}Sr/^{86}Sr$ )<sub>i</sub> is 0.70970 and  $\delta^{18}O$  is 10.4‰. A comprehensive study shows that the magma came from partly melting magma in the lower crust or the transitional zone between the crust and the mantle, whereas the volcanic rocks were formed in a post-collision uplifted extensional setting.

**Key words:** volcanic rock; Quaternary; tectonic setting; K-Ar isotopic age; North Tibet Plateau; Jindingshan

金顶山火山岩位于青藏高原北缘的西昆仑东段 北麓, 地理位置为 $86^{\circ}01' \sim 86^{\circ}08' E$ ,  $36^{\circ}40' \sim 36^{\circ}44'$

收稿日期: 2002-04-29; 修订日期: 2003-01-08

基金项目: 中国地质调查局资助项目(19991300009051)

作者简介: 陈必河(1958-), 男, 高级工程师, 长期从事区域地质、岩浆岩与矿产调查研究。

N, 海拔 4 800~ 5 075 m, 自然条件差, 属地质调查空白区。笔者通过野外地质调查和样品的室内分析测试, 在阐明该火山岩基本特征的基础上, 对其形成的构造环境进行了探讨。

### 1 区域地质概况

研究区位于华北板块与华南板块结合部位, 耸石山- 可支塔格大断裂的南缘。由老至新, 出露主要地层有(图 1): 早石炭世托库孜达坂群, 属华北板块南缘地层, 为一套浅海斜坡相碎屑岩、碳酸盐岩、火山岩, 出露厚度 > 6 000 m, 变形变质较强烈; 三叠纪巴颜喀拉群, 属华南板块北缘地层, 为巴颜喀拉海槽复理石类复理石碎屑岩沉积, 岩性较单一, 褶皱较发育; 侏罗系、古近纪阿克塔什组, 为一套陆内湖相碎屑岩, 二者之间呈角度不整合(新疆地矿局,

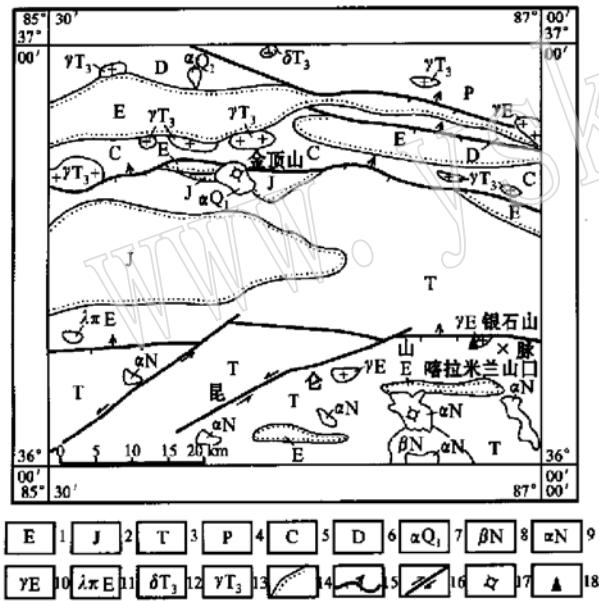


图 1 研究区区域地质简图

Fig. 1 Schematic regional geological map of the study area  
1—古近系; 2—侏罗系; 3—三叠系; 4—二叠系; 5—石炭系; 6—泥盆系; 7—第四纪粗安岩; 8—新近纪玄武岩; 9—新近纪安山岩; 10—古近纪花岗岩; 11—古近纪石英斑岩; 12—晚三叠世闪长岩; 13—晚三叠世花岗岩; 14—不整合; 15—断层; 16—走滑断层; 17—火山口; 18—山峰

1—Paleogene; 2—Jurassic; 3—Triassic; 4—Permian; 5—Carboniferous; 6—Devonian; 7—Quaternary trachyandesite; 8—Neogene basalt; 9—Neogene andesite; 10—Paleogene granite; 11—Paleogene quartz porphyry; 12—Late Triassic diorite; 13—Late Triassic granite; 14—unconformity; 15—fault; 16—strike-slip fault; 17—crater; 18—mountain peak

1993)。区内构造复杂, 三叠纪末, 规模较大的印支运动结束了本地区海相沉积历史, 转入陆相盆地沉积。新生代, 强烈的喜山运动使本地区隆升造山, 形成现在的青藏高原。

区内岩浆岩较为发育, 其中新生代火山岩分布最广, 规模较大的有金顶山、蚕眉山等火山岩, 形成时代有古近纪、新近纪和第四纪, 主要岩性为玄武岩类、粗安岩类(图 1)。

金顶山火山岩平面上呈不规则四边形, 南北长约 9 km, 东西宽约 7.5 km, 面积约 70 km<sup>2</sup>(图 2), 为典型的陆相中心式喷发产物, 地貌上呈中间高四周低缓的盾形火山(图 3), 高差约 300 m, 地表及卫片影像上呈黑色, 标志十分明显。火山口位于中部, 直径近 1 km。野外观察显示该火山至少发生过 3 次喷发, 规模由大变小。火山岩呈产状平缓的被状熔岩覆盖于产状较陡倾的古近纪阿克塔什组(E<sub>3</sub>a)紫红色碎屑岩之上, 顶部大部分保存完好, 局部可见熔岩上部特有的岩浆流动构造和表壳构造, 如绳状构造、翻花状构造等, 说明岩石剥蚀程度较浅。从第 1、2 次及火山口中心采取块状安粗岩进行全岩 K-Ar 同

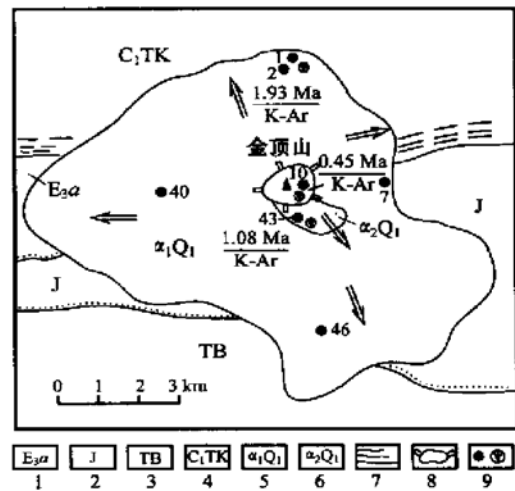


图 2 金顶山火山岩地质简图

Fig. 2 Schematic geological map of Jindingshan volcanic rocks

1—新近纪阿克塔什组; 2—侏罗系; 3—三叠纪巴颜喀拉山群; 4—石炭纪托库孜达坂群; 5—第四纪第一期粗安岩; 6—第四纪第二期安山岩; 7—深大断裂; 8—火山口; 9—组合样及同位素年龄采样点及编号

1—Neogene Aketashi Formation; 2—Jurassic; 3—Triassic Bayan\_karashan Group; 4—Carboniferous Tuokuzidaban Group; 5—1st stage trachyandesite of Quaternary; 6—2rd stage trachyandesite of Quaternary; 7—deep-seated fault; 8—crater; 9—composite sample, location of isotopic sample and its serial number

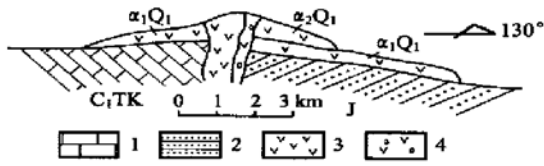


图 3 金顶山火山岩剖面图

Fig. 3 Profile of Jindingshan volcanic rocks

1—灰岩; 2—砂岩; 3—粗安岩; 4—粗安质火山角砾岩; 其他图例同图 1、图 2

1—limestone; 2—sandstone; 3—trachyandesite; 4—trachyandesitic volcanic breccia; other symbols are same as those in Fig. 1 and Fig. 2

位素稀释法测试, 得到表面年龄值分别为 1.93、1.08、0.45 Ma, 据此认为金顶山火山岩属第四纪更新世的产物。

## 2 岩石学特征

金顶山火山岩岩石类型较单一, 主要为火山熔岩, 少量为火山角砾岩。熔岩层由下往上出现明显的结构构造与颜色分带: 下部为紫红色、灰紫色气孔状熔岩, 气孔含量约 10%~30%, 呈椭圆形, 定向排列较明显; 中部为浅灰色—灰色块状安粗岩, 气孔不发育; 上部为紫红色、灰紫色、黑色气孔状安粗岩、浮岩, 气孔发育, 一般 30%~70%, 呈不规则形、椭圆形、次圆形, 定向排列不明显。上述岩石呈过渡关系。据 26 块岩矿薄片鉴定资料统计, 气孔状安粗岩气孔含量 20%~60%, 部分 > 70%; 块状安粗岩气孔很少, 斑状结构, 斑晶含量在 10%~20%, 由斜长石、角闪石及少量透长石组成, 基质为斜长石 (30%~40%,  $A_n$  值 48~60, 为中拉长石)、角闪石 (10%~20%)、玻璃质 (15%~60%, 一般 30%~50%), 含极

少量辉石。火山角砾岩呈紫红色、灰紫色, 分布于火山口附近。角砾呈棱角状, 直径 2~10 cm, 个别达 30 cm, 其中同源屑 (岩屑、浆屑、玻屑) 约 90%, 异源屑及晶屑 2%~5%。

火山岩中包体较发育且复杂, 主要为深源包体, 常见有闪长岩类、变粒岩类、黑云母片麻岩类, 少量辉长岩、橄辉岩及麻粒岩 (另文讨论), 另有少量浅源包体。深源包体的发现说明火山岩浆来源深度较大, 相当于下地壳或壳幔过渡带范围。

## 3 地球化学特征

对金顶山火山熔岩不同部位、不同期次采取新鲜无蚀变样品, 由原地矿部武汉综合岩矿测试中心进行了常量、微量、稀土元素、同位素分析。

### 3.1 主量元素

金顶山火山岩的岩石化学成分变化不大 (表 1),  $SiO_2$  57.88%~60.82%,  $MgO$  1.95%~2.2%,  $Na_2O + K_2O$  6.93%,  $K_2O > Na_2O$ , 二者比值 1.19~1.39,  $\delta$  值 2.73~3.10,  $DI$  值 63.5~64.4。在 TAS 图解 (图 4) 中, 样点较集中地落在  $S_3$  区, 为粗安岩类中的安粗岩。如进一步划分, 属亚碱性系列 (图 5) 中的钙碱性系列 (图 6)。在  $SiO_2 - K_2O$  图解 (图 7) 上则属向钾玄岩系列过渡的高钾钙碱性系列, 与岩矿鉴定基本相符。

### 3.2 微量元素

金顶山火山岩微量元素 (表 2) 与同类岩石相比, 大部分元素有不同程度的富集。在以原始地幔岩 (Wood, 1979) 标准化元素蜘蛛网图 (图 8) 上更为明显。总体上, 从左至右, 从强不相容元素到弱不相容元素, 富集程度由高至低, 一般达几十至几百倍, 其

表 1 金顶山火山岩的岩石化学成分

$w_B / \%$

Table 1 Petrological and chemical compositions of Jindingshan volcanic rocks

样号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	灼失	Total
10-1	60.62	1.95	14.46	1.32	5.32	0.1	2.2	4.96	2.92	4.01	0.85	0.37	99.08
43-1	60.82	1.82	14.63	2.68	3.65	0.1	1.95	5.29	3.03	4.12	1.02	0.06	99.14
46-2	60.17	2.06	14.77	2.18	4.63	0.1	2.1	5.12	3.05	4.05	0.88	0.02	99.13
40	60.54	2.00	14.46	0.99	5.63	0.1	2.02	4.86	2.99	4.16	0.89	0.39	99.03
7	57.88	2.13	14.6	5.49	2.02	0.1	2.06	6.32	3.09	3.7	1.04	0.85	99.28
2	60.56	2.03	14.77	1.21	5.37	0.1	1.99	4.98	3.12	4.15	0.88	0.01	99.17
1	59.06	2.01	14.78	1.1	5.83	0.09	2.05	5.62	3.18	3.88	0.99	0.38	98.97

注: 除 1、7 为气孔状安粗岩外, 其余均为块状角闪石安粗岩 (下同)。分析单位: 原地矿部武汉综合岩矿测试中心。

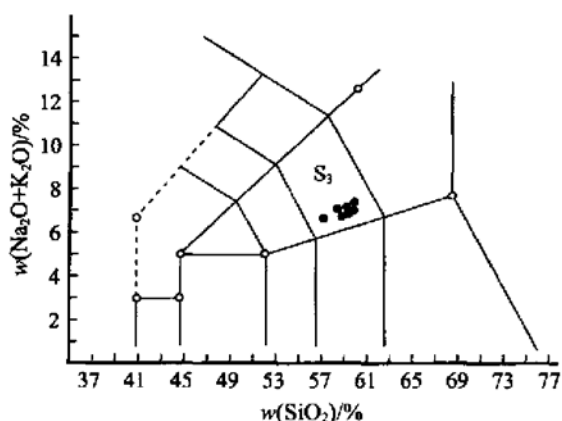


图4 金顶山火山岩 TAS 图解

Fig. 4 TAS diagram of Jindingshan volcanic rocks

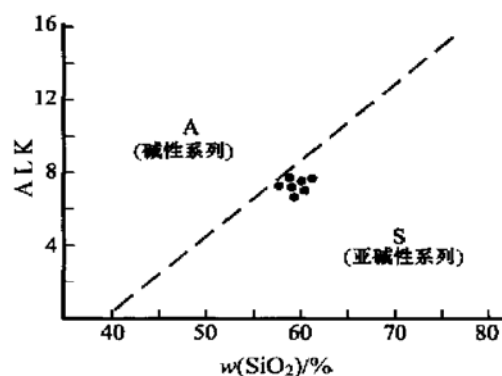


图5 金顶山火山岩硅-碱图(据 Irvine 等, 1971)

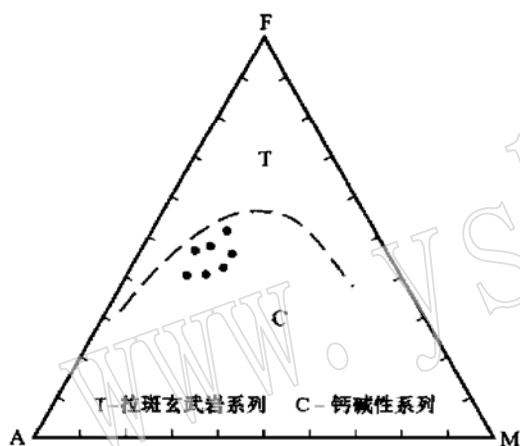
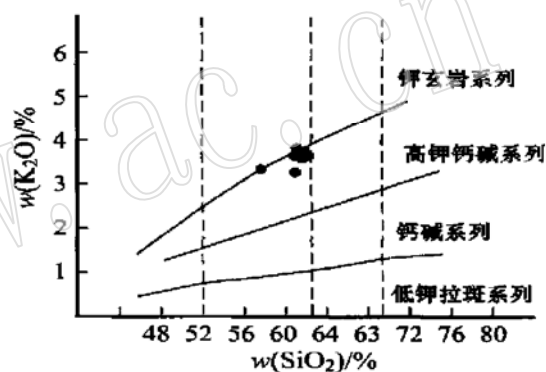
Fig. 5 Silicon-alkaline diagram of Jindingshan volcanic rocks(after Irvine *et al.*, 1971)

图6 AFM 图解(据 Irvine 等, 1971)

Fig. 6 AFM diagram(after Irvine *et al.*, 1971)图7 K<sub>2</sub>O- SiO<sub>2</sub> 关系图解(据 Pecerillo 等, 1976)Fig. 7 K<sub>2</sub>O- SiO<sub>2</sub> diagram(after Pecerillo *et al.*, 1976)

中 Cs、Th 达 400 倍以上, Ti、Y 相对较低, 也有 13、14 倍。相对而言, Cs、Th、La、P 富集更明显, 而 Rb、Ba、Nb、Ta、Ti、Y 亏损, 其特征介于岛弧火山岩与大陆火山岩之间, 为典型陆内造山带火山岩特征(李昌年, 1992; 张旗等, 1999; 赖绍聪, 2000; 夏林圻, 2001)。Nb、Ta 的亏损说明了岩浆具部分上地壳物质的混染, 火山岩中浅源包体的发现便是印证。

### 3.3 稀土元素

由表 3 可知, 金顶山火山岩  $\Sigma\text{REE}$  达  $650 \times 10^{-6} \sim 766 \times 10^{-6}$ , LREE/HREE 约为 15,  $\delta\text{Eu}$  0.8~0.9。稀土元素配分型式图(图 9)上, 多呈左陡倾斜右较平缓曲线, 属 LREE 富集型。Eu 的弱亏损暗示岩浆缺乏斜长石的结晶分异作用或较微弱, 岩浆形成后, 来不及结晶分异便快速到达地表。

### 3.4 同位素

于金顶山火山岩中心部位采致密块状安粗岩, 经中国地质调查局同位素研究与测试中心(宜昌)分析,  $\delta^{18}\text{O}$  值为 10.9‰, ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 为 0.70960, 略高于由上地幔分异的玄武岩类, 反映了岩浆来源于下地壳或壳幔过渡带部分熔融同源岩浆, 并有部分上地壳物质混染。

从表 1、2 及相关图可看出, 金顶山不同期次喷发的火山岩其主量元素、微量元素、稀土元素含量较均匀, 变化很小, 显示出同源岩浆的特点, 且火山岩之间喷发相隔时间很短, 岩浆来不及结晶分异, 这与野外观察及同位素年龄资料是一致的。

## 4 构造环境分析

一般认为, 青藏高原形成的隆升机制是多阶段、

表 2 金顶山火山岩微量元素和稀土元素分析结果

$w_B/10^{-6}$

Table 2 Analytical results of trace elements and REE in Jindingshan volcanic rocks

样号	Bi	Be	Li	Cu	Pb	Zn	Ag	Au	F	Cr	Ni
10- 1	3.11	4.3	35.2	26.0	35.0	139	0.065	1.5	2 628	51.2	16.9
43- 1	0.14	4.2	30.9	17.7	24.7	147	0.054	2.1	2 372	35.4	14.3
46- 2	0.10	4.2	29.3	18.3	46.7	140	0.059	3.8	2 446	41.1	13.6
40	0.10	4.3	31.0	18.3	43.5	146	0.086	0.9	2 669	43.5	12.1
7	0.29	4.1	33.3	56.2	41.4	152	0.134	0.9	2 431	72.2	22.2
2	0.15	4.4	30.1	18.1	31.8	143	0.046	3.5	2 556	26.5	14.2
1	0.20	4.2	31.4	24.5	43.2	142	0.152	1.0	2 644	104	18.6

样号	Co	V	Rb	Sr	Ba	Cs	Sc	Ga	Zr	Hf	Nb	Ta	Th	U
10- 1	12.8	121	159	821	1 610	8	8.9	29.4	532	14.3	42.6	2.2	40.5	6.34
43- 1	11.3	123	136	856	1 720	11	8.2	29.5	570	15.6	39.4	2.0	43.4	5.97
46- 2	13.2	139	166	882	1 710	8	9.3	26.0	583	16.0	46.1	3.1	43.6	5.96
40	12.6	139	170	890	1 760	9	8.5	27.4	562	15.3	44.0	2.7	42.8	6.05
7	18.7	156	152	975	1 740	7	7.3	25.8	582	15.6	45.9	2.9	30.5	6.12
2	14.5	139	174	874	1 790	5	7.5	29.9	544	14.4	47.0	3.1	39.1	6.37
1	15.6	145	152	975	1 750	8	8.2	24.8	580	16.1	46.5	2.9	42.0	6.43

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	$\Sigma$ REE	$\frac{LREE}{HREE}$	$\delta Eu$	$\delta Ce$
10- 1	154.3	300.6	30.63	106.2	14.86	3.16	9.29	1.11	5.24	0.86	1.94	0.25	1.32	0.19	20.64	650.59	30.19	0.83	0.87
43- 1	162.3	336.2	33.89	119.3	16.55	3.38	10.56	1.21	5.44	0.92	2.01	0.26	1.4	0.2	22.49	716.11	30.53	0.79	0.91
46- 2	179.1	349.4	35.09	124.3	17.36	3.35	11.07	1.32	6.09	0.99	2.24	0.3	1.45	0.21	23.63	755.90	29.94	0.75	0.87
40	178.8	358.5	35.63	126.7	17.33	3.44	10.72	1.29	5.75	0.96	2.1	0.29	1.43	0.2	23.02	766.16	31.68	0.78	0.89
7	169.4	331.9	33.77	122.3	17.02	3.52	10.77	1.25	5.75	0.92	2.08	0.27	1.31	0.19	21.98	722.43	30.08	0.80	0.87
2	172.1	358.3	34.81	124	17.25	3.47	10.89	1.26	5.85	0.95	2.18	0.29	1.4	0.2	22.7	755.65	30.84	0.78	0.92
1	178.6	342	35.33	125.6	17.43	3.55	10.8	1.26	5.78	0.94	2.05	0.27	1.37	0.19	22.8	747.97	31.00	0.80	0.85

分析单位: 地矿部武汉综合岩矿测试中心。

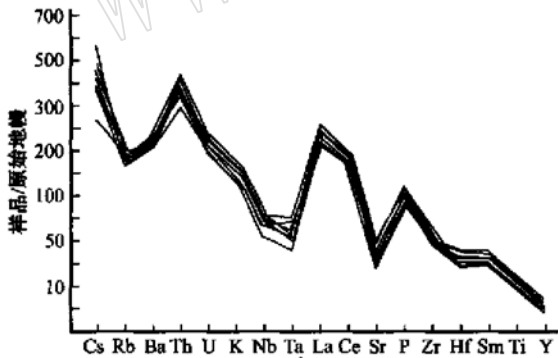


图 8 火山岩微量元素比值蛛网图

Fig. 8 Spider diagrams of trace element ratios of the volcanic rocks

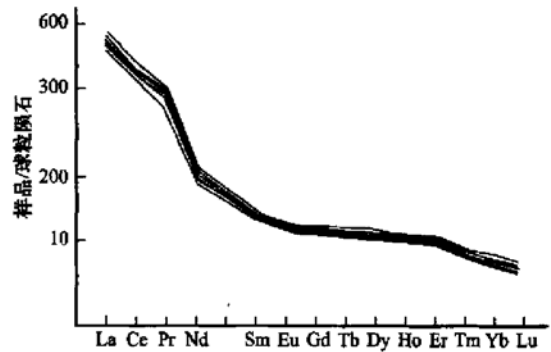


图 9 火山岩稀土元素配分型式图

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns of the volcanic rocks

多机制联合作用的过程, 在古近纪始新世(约 45 Ma) 结束了特提斯洋沉积, 随后转入大规模的陆内造山隆升阶段(潘裕生, 1999; 邓万明, 1998; 肖序常等, 2002)。金顶山地区处于可可西里- 巴颜喀拉地块的北缘, 在三叠纪末, 便结束了巴颜喀拉海槽海相沉积, 进入陆内造山阶段。金顶山火山岩形成于第

四纪更新世, 无疑它形成于碰撞后抬升拉伸阶段的板内构造环境, 在  $\log T- \log \sigma$  图解(图 10) 上也验证了这一观点。

### 5 结论

综上所述, 可以认为:

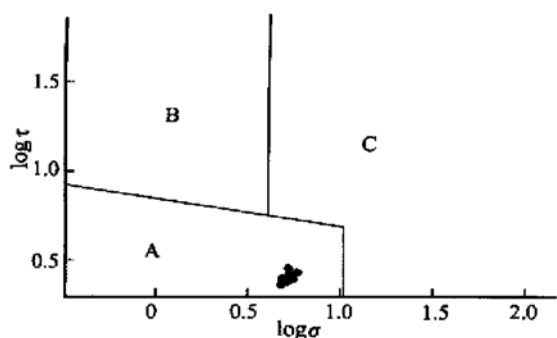


图 10  $\log T - \log \sigma$  图解(据 Rittmann, 1973)

Fig. 10  $\log T - \log \sigma$  diagram(after Rittmann, 1973)

A—板内稳定区火山岩; B—消减带火山岩; C—A、B区演化的碱性火山岩

A—volcanic rocks in intraplate stable area; B—volcanic rocks in the attenuated belt; C—alkaline volcanic rocks evolved in A and B area

(1) 金顶山火山岩为陆相中心式火山喷发产物,属亚碱性系列中的钙碱性系列,来源于下地壳或壳幔过渡带部分熔融同源岩浆,属第四纪更新世火山岩。

(2) 火山岩形成于青藏高原碰撞后抬升阶段,为板内拉伸构造环境。

## References

- Deng Wanming. 1998. Cenozoic Volcanic Rocks in Inner Plate on North Part of Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Press, 159~162 (in Chinese).
- Irvine I N. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks [J]. Can. J. Earth Sci., 8: 532~548.
- Lai Shaocong. 2000. Model types of mountain making elevation of Cenozoic three stages on Qinghai-Tibet Plateau: petrology restriction of igneous rocks[J]. Journal of Minerals, 20(2): 182~189 (in Chinese with English abstract).
- Li Changnian. 1992. Petrology of Minor Elements in Volcanic Rocks [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 97~122 (in Chinese).

- Pan Yusheng. 1999. The forming and elevating of Qinghai-Tibet Plateau[J]. Earth Science Frontiers, 6(3): 153~158 (in Chinese with English abstract).
- Pecerillo A S R and Taylor. 1976. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey [J]. Contrib. Miner. Petrol., 58.
- Rittmann A. 1973. Stable Mineral Assemblages of Igneous Rocks [M]. Springer. Heidelberg.
- Wood D A. 1979. A variably veined suboceanic upper mantle genetic significance for midocean ridge basalts from geochemical evidence [J]. Geology, 7: 499~503.
- Xia Linqi. 2001. A study of volcanic rocks in orogenic belts [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 20(3): 225~232 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Xuchang, Liu Xun, Gao Rui, et al. 2002. Lithospheric structure and tectonic evolution of the West Kunlun and its adjacent areas [J]. Geological Bulletin of China, 21(2): 63~68 (in Chinese with English abstract).
- Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. 1993. Memoirs of Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Press, 366~389 (in Chinese).
- Zhang Qi, Qian Qing, Wang Yan. 1999. Geochemistry research of volcanic rocks in orogenic belt [J]. Earth Science Frontiers, 6(3): 113~118 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 邓万明. 1998. 青藏高原北部新生代板内火山岩[M]. 北京: 地质出版社, 159~162.
- 赖绍聪. 2000. 青藏高原新生代三阶段造山隆升模式: 火成岩岩石学约束[J]. 矿物学报, (20) 2: 182~189.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 97~122.
- 潘裕生. 1999. 青藏高原的形成与隆升[J]. 地学前缘, 6(3): 153~158.
- 夏林圻. 2001. 造山带火山岩研究[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 225~232.
- 肖序常, 刘训, 高锐, 等. 2002. 西昆仑及邻区岩石圈结构构造演化[J]. 地质通报, 21(2): 63~68.
- 新疆地质矿产局. 1993. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 366~389.
- 张旗, 钱青, 王焰. 1999. 造山带火山岩地球化学研究[J]. 地学前缘, 6(3): 113~118.