

# 陕西金堆城花岗岩类主要造岩矿物特征 及其岩石学意义

聂风军

(中国地质科学院矿床地质研究所)

**主题词:** 含钼花岗岩类; 矿物标型; 稀土元素地球化学; 异常晶胞; 陕西

**提 要:** 本文依据大量测试数据, 对金堆城地区花岗岩类主要造岩矿物学特征同钼迁移富集成矿关系进行了探讨。研究表明: 异常晶胞条纹长石和正长石以及富重稀土和具明显负锫异常的黑云母是含钼花岗岩类标型矿物, 并且可作为花岗岩类岩石发育地区寻找隐伏钼矿体的指示性矿物。钾钠长石和斜长石的结构状态和成分不仅可以提供有关花岗岩类成因演化的信息, 其矿物本身亦可成为钼的载体矿物。岩浆期后, 强烈的热液蚀变作用可造成钾钠长石和斜长石分解, 并且引起钼的释放, 从而形成高品位钼矿石。

陕西金堆城斑岩钼矿床自五十年代中期发现以来, 一直受到许多学者的广泛关注。笔者曾对矿区范围内含钼花岗岩类岩体进行过较系统的岩石学、地球化学和主要造岩矿物学研究, 旨在建立含钼花岗岩类矿物标型, 并且为钼矿床找矿勘探提供理论依据。

## 一、岩体产出的地质背景和岩石学特征

研究区的大地构造位置属中朝准地台南缘的豫陕断隆区<sup>[1]</sup>。区内主要花岗岩类岩体有: 老牛山黑云母二长花岗岩基, 石家湾二长花岗斑岩和金堆城花岗斑岩岩株。

老牛山岩体受北东向断裂构造控制, 呈北70°东方向展布, 侵位于太古界太华群混合岩和斜长片麻岩, 中上元古界熊耳群变细碧岩和蓟县系高山河组石英岩地层中, 出露面积约44 km<sup>2</sup>。从北向南, 岩体可大致划分为细粒片麻状花岗岩相, 中粒黑云母二长花岗岩相和中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩相, 各岩相带呈渐变过渡关系(图1)。岩石主要由钾钠长石、斜长石、石英和少量黑云母组成, 副矿物见有磁铁矿、榍石、锆石和磷灰石。岩体形成时代据黑云母钾-氩法年龄确定为130 Ma<sup>[2]</sup>。

石家湾二长花岗斑岩体位于老牛山岩体东南侧, 受北东和北西两组断裂交汇部位控制, 出露长度约230 m, 宽14—140 m, 面积约0.06 km<sup>2</sup>。岩体呈扁豆状侵入于熊耳群变细碧岩和高山河组石英岩地层中。岩石具全晶质聚斑结构, 斑晶为钾钠长石、斜长石、石英和少量黑云母。基质中的矿物有: 石英、斜长石、钾钠长石和黑云母, 副矿物为锆石、磷灰石、磁铁矿、辉钼矿和黄铁矿等。

金堆城花岗斑岩体位于石家湾斑岩体西南侧约12 km处, 呈岩株状侵入到熊耳群变细碧岩地层中, 长约1800 m、宽400 m, 厚度变化范围450—20 m, 在深部同老牛山岩体呈断层接触关系。岩石具全晶质聚斑状结构, 斑晶主要由钾钠长石、斜长石、石英和少许黑云母组成。基质主要为钾钠长石、斜长石和石英。副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石和辉钼矿。斑岩

体黑云母钾-氩法年龄测定结果为124 Ma<sup>(2)</sup>。

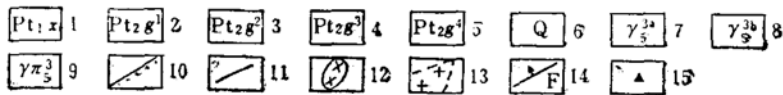
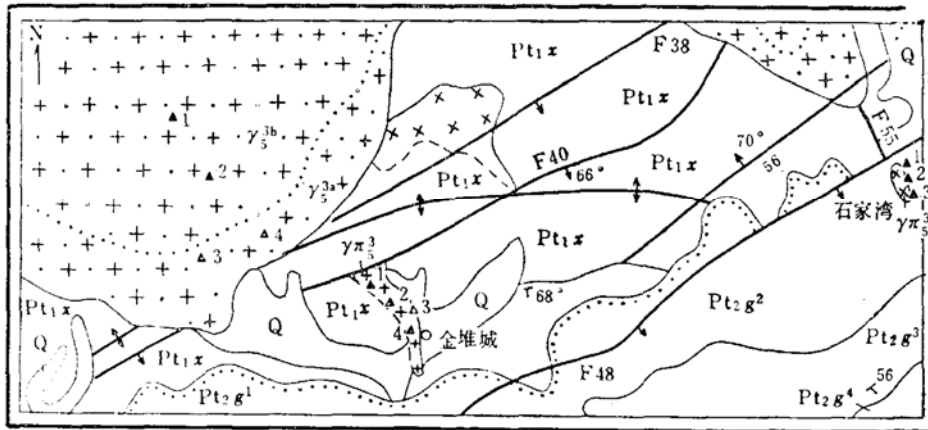


图 1 陕西金堆城地区花岗岩类岩体地质略图

Fig.1 Schematic geological map showing distribution of granitoids in Jinduicheng area, Shaanxi province

1—熊耳群变细碧岩；2—5—高山河组石英岩、变石英砂岩、泥质板岩和变质凝灰岩；6—第四系河流冲积砂砾；7—中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩；8—中粗粒黑云母二长花岗岩；9—花岗斑岩；10—地层层不整合界线；11—地层界线；12—辉绿岩体；13—据钻孔资料圈定的地质界线；14—断层；15—采样位置

## 二、花岗岩类造岩矿物成分和结构状态

### (一) 钾钠长石成分和结构状态

钾钠长石X射线粉末衍射和电子探针分析结果表明：它们具正长石系列-最大微斜长石之间的过渡型结构状态(表1和图3)。钾钠长石光学数据投绘在 A. C. Марфунин(1962) 图解

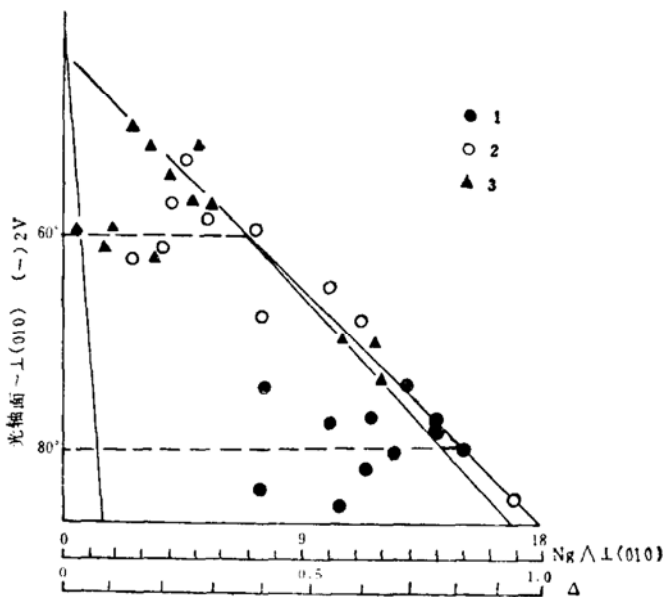


图 2 钾钠长石2V—Δ图解

Fig. 2 Plot of 2V against

Δ for K-Na-feldspar

- 1—老牛山黑云母二长花岗岩；
- 2—石家湾二长花岗斑岩；
- 3—金堆城花岗斑岩

表 1 钾钠长石 X 射线粉末、电子探针和旋转台分析结果 (重量%)  
 Table 1 X-ray powder, electron probing and universal stage analyses of K-Na-feldspar (wt%)

岩体	样号	光 学 法 ①				X 射 线 法 ②				电子探针 矿物化学式			
		(-) $\nu$	$Ng \wedge \perp (010) \parallel Nm \wedge \perp (001)$	Or (平均%)	三斜度 (平均)	有序度 (平均)	$2\theta_{000}$	$2\theta_{204}$	$2\theta_{201}$		三斜度 ( $\Delta$ )	有序度 ( $\delta_p$ )	
老牛山	老01	73°—80°	12.5—14	5—7	82—96 (87)	0.69—0.77 (0.73)	0.73—0.90 (0.82)	41.95	50.70	21.20	0.78	0.92	Or <sub>86</sub> Ab <sub>14</sub>
	老02	77°—85°	11.5—17	6—8	79—85 (82)	0.63—0.94 (0.80)	0.83—1.00 (0.91)	41.94	50.70	21.10	0.83	0.89	Or <sub>88</sub> Ab <sub>12</sub>
	老03	82°—84°	7.5—11	7—9	68—86 (77)	0.41—0.61 (0.53)	0.45—6.0 (0.68)	41.89	50.79	21.15	0.51	0.48	Or <sub>86</sub> Ab <sub>14</sub>
	老04	74°—78°	7.5—14	6—8	80—90 (84)	0.42—0.78 (0.58)	0.75—0.85 (0.81)	41.85	50.65	21.05	0.63	0.77	Or <sub>93</sub> Ab <sub>7</sub>
石湾家	石01	60°—62°	2.5—7	7—9	60—80 (70)	0.13—0.39 (0.25)	0.40—0.45 (0.42)	41.89	50.79	21.04	0.30	0.48	Or <sub>87</sub> Ab <sub>13</sub>
	石02	64°—68°	7.5—11	7.5—8.4	68—80 (72)	0.42—0.61 (0.48)	0.50—0.60 (0.56)	41.81	50.80	21.10		0.22	Or <sub>90</sub> Ab <sub>10</sub>
	石03	54°—58°	40—5.5	6.5—8.5	60—80 (69)	0.22—0.31 (0.26)	0.25—0.35 (0.31)	41.85	50.88	21.10		0.10	Or <sub>76</sub> Ab <sub>24</sub>
金堆城	金01	70°—73°	10.5—12	8—9.5	60—68 (64.3)	0.58—0.67 (0.64)	0.65—0.73 (0.68)	41.95	50.85	21.10		0.48	Or <sub>85</sub> Ab <sub>15</sub>
	金02	55°—59°	4—6	7—9	60—80 (73)	0.22—0.33 (0.28)	0.28—0.38 (0.33)	41.90	50.80	21.05		0.48	Or <sub>90</sub> Ab <sub>10</sub>
	金03	51°—52°	2.5—5	7.5—9	50—70 (60)	0.14—0.28 (0.20)	0.18—0.29 (0.19)	41.80	50.79	21.07		0.21	Or <sub>65</sub> Ab <sub>34</sub>
	金04	59°—62°	1—3.5	7.5—8.5	62—72 (68)	0.00—0.19 (0.06)	0.38—0.45 (0.42)	41.79	50.80	21.80		0.16	Or <sub>89</sub> Ab <sub>11</sub>

① 据 B. B. 尼基丁图解; ② 实验条件: CuK $\alpha$ , 30kV, 200mA,  $\delta_p = (9.063 + 2\theta_{000} - 2\theta_{204}) / 0.340$ ,  $\Delta = 12.5(d_{111} - d_{131})^2$

③ 由中国地质科学院矿床地质研究所王文英分析。

上可知它们属三斜正长石和微斜长石(图2)。

老牛山岩体各岩相带岩石的钾钠长石主要是微斜条纹长石、具格子双晶的微斜长石和条纹长石,有序度  $\delta_p = 0.92 - 0.48$ ,三斜度  $\Delta = 0.83 - 0.51$ ,Or组分含量68—96%,显示出较高的Or组分含量和有序度。

石家湾斑岩体钾钠长石斑晶的  $\delta_p = 0.48 - 0.10$ ,  $\Delta = 0.30$ ,Or组分含量60—90%。在 $2V - \Delta$ 图上(图2)、其投影点一般介于老牛山岩体和金堆城斑岩体之间。

金堆城斑岩体以含三斜正长石和条纹正长石斑晶为特征,  $\delta_p = 0.48 - 0.16$ ,  $\Delta = 0.00$ ,Or组分含量50—90%,同上述两岩体相比,有序度和Or组分含量略偏低。

表2 钾钠长石和斜长石中钼含量 (MoO<sub>3</sub>ppm)

Table 2 Mo content of K-Na-feldspar and plagioclase (in ppm)

岩体	样号	MoO <sub>3</sub> (ppm)*		钾钠长石结构状态 $ 2\theta_{A201} - 2\theta_{B201} $
		斜长石	钾钠长石	
老牛山	老01	5	10	0.30°
	老02	8	20	0.39°
	老03	20	30	0.43°
石家湾	石01	20	60	0.55°
	石02	30	50	0.54°
金堆城	金01	30	80	0.56°
	金02	10	80	0.55°
	金03	20	90	0.43°
	金04	15	70	0.43°

\* 用KCNS—SnCl<sub>2</sub>醋酸乙酯和萃取比色法测定。

斜长石内,钼含量并无明显的变化规律。

(二) 斜长石成分和结构状态

老牛山岩体中的斜长石以更长石为主,An含量15—27(表3),有序度1.00—0.75。石家湾斑岩体斜长石斑晶成分变化范围与老牛山岩体斜长石相近,An含量19—24,有序度0.75—1.00。金堆城斑岩体斜长石斑晶一般为更钠长石,An含量9—16,有序度0.73—1.00。此外,石家湾和金堆城斑岩体基质斜长石多为钠长石(An<10)。

从老牛山岩体、石家湾斑岩体到金堆城斑岩体,随着斜长石An组分含量降低, K<sub>2</sub>O/

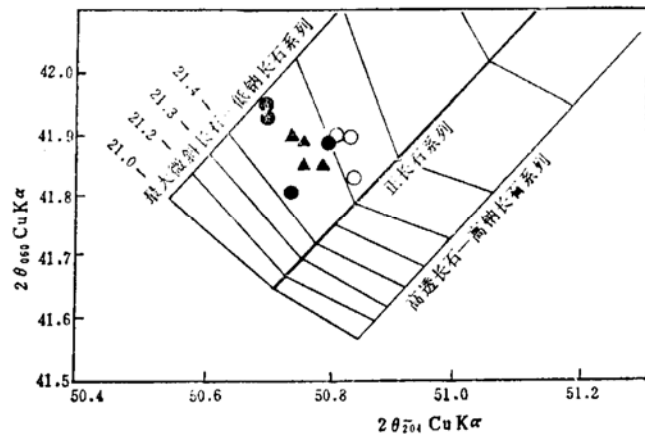


图3 钾钠长石结构状态图解<sup>(3)</sup>

Fig. 3 Diagram showing structure state of K-Na-feldspar based on X-ray powder data (after Wright, 1968)

笔者利用(060)、(204)和(201)X射线三峰图对每一测试样品的 $2\theta_{201} CuK\alpha$ 理论值与实测值进行了对比,发现各样品的理论值和实测值绝对误差均在 $0.30^\circ$ 以上,所测钾钠长石均具晶胞异常。为了进一步探讨晶胞异常原因,笔者对钾钠长石中的MoO<sub>3</sub>含量进行了详细测定。测定结果表明:从老牛山岩体、石家湾斑岩体到金堆城斑岩体,钾钠长石晶胞异常程度随着其MoO<sub>3</sub>含量增加而增长(表2),钾钠长石内的MoO<sub>3</sub>含量可从10 ppm增加到90 ppm,而在同一样品的

表3 斜长石成分和结构状态  
Table 3 Composition and structure state of plagioclase based on electron probing and universal stage analyses

岩体	样号	有序度 <sup>①</sup>	电子探针分析结果 (wt%) <sup>②</sup>													K <sub>2</sub> O CaO
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFeO	MnO	MgO	CaO	Ni <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	总量	分子式		
老牛山	老01	0.80—0.94	63.05	0.00	23.04	0.17	0.05	0.00	4.92	8.24	0.25	0.08	99.80	An <sub>28</sub> Ab <sub>78</sub>	0.05	
	老02	0.75—1.0	63.20	0.01	22.80	0.15	0.00	0.01	4.74	8.65	0.36	0.00	99.92	An <sub>23</sub> Ab <sub>77</sub>	0.07	
	老03	0.82—1.0	62.36	0.01	23.27	0.20	0.00	0.00	5.52	8.08	0.44	0.04	99.92	An <sub>27</sub> Ab <sub>78</sub>	0.08	
	老04	0.75—0.90	64.46	0.00	21.69	0.13	0.00	0.01	3.02	9.28	0.22	0.01	99.82	An <sub>15</sub> Ab <sub>88</sub>	0.07	
石家湾	石01	0.85—1.0	62.32	0.01	23.02	0.22	0.00	0.00	4.88	8.40	0.60	0.06	99.51	An <sub>24</sub> Ab <sub>76</sub>	0.12	
	石02	0.75—0.90	62.09	0.01	23.37	0.21	0.00	0.01	4.49	8.98	0.46	—	99.62	An <sub>22</sub> Ab <sub>78</sub>	0.10	
	石03	0.80—1.0	62.64	0.00	22.50	0.15	0.01	0.02	4.41	9.38	0.65	—	99.76	An <sub>21</sub> Ab <sub>79</sub>	0.15	
金堆城	金01	0.90—1.00	63.74	0.05	21.78	0.11	0.00	0.00	2.81	9.66	0.62	—	98.77	An <sub>12</sub> Ab <sub>88</sub>	0.22	
	金02	0.75—0.9	63.91	0.01	22.00	0.07	0.00	0.00	3.34	9.94	0.63	—	99.90	An <sub>11</sub> Ab <sub>89</sub>	0.190	
	金03	0.73—1.0	64.01	0.00	21.84	0.14	0.00	0.01	3.39	9.59	0.24	0.02	99.24	An <sub>16</sub> Ab <sub>88</sub>	0.070	
	金04	0.90—1.0	66.73	0.01	20.84	0.07	0.00	0.01	1.93	10.12	0.21	0.00	99.92	An <sub>9</sub> Ab <sub>91</sub>	0.10	
	金05*	0.90—1.0	68.60	0.01	19.33	0.16	0.01	0.05	0.11	11.65	0.45	—	100.37	An <sub>1</sub> Ab <sub>99</sub>	4.09	

① 斜长石有序度是在费氏台上测定并根据B. B. 尼基丁图解确定的; \* 基质斜长石成分;

② 中国地质科学院矿床地质研究所王文瑛分析。

CaO 值可从0.065 (平均值) 变化为0.12和0.15 (表3), 暗示了花岗质熔浆向富钾和贫钙方向演化的特点。

### (三) 黑云母矿物化学特征

金堆城地区花岗岩类岩体中的主要镁铁矿物是黑云母, 其体积含量变化范围7—2.6%, 黑云母多呈半自形片状, 多色性显著; 老牛山岩体和石家湾斑岩体黑云母的Ng—黄褐色至暗棕褐色, Np—黄至浅黄色, 金堆城斑岩体所含黑云母同上述两岩体略有不同, Ng—红褐色, Np—黄褐色。各岩体的黑云母均属铁黑云母<sup>[2]</sup>, 并且包裹有磷灰石、磁铁矿、锆石和萤石等矿物。

黑云母化学分析及电子探针分析结果列于表4, 黑云母的矿物化学式是以氧原子数为12

表4 黑云母化学成分及有关比值(wt%)

Table 4 Chemical composition and related ratios of biotites (in wt%)

岩性 含量 组分	老牛山				石家湾			金堆城			
	老01*	老02	老03	老04	石01*	石02	石03	金01*	金02	金03	金04
SiO <sub>2</sub>	36.29	39.38	37.46	39.54	35.36	36.89	37.42	36.86	36.32	36.70	40.87
TiO <sub>2</sub>	2.20	1.16	2.42	2.42	2.38	2.80	2.65	2.62	2.61	2.73	3.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.63	13.05	15.66	14.81	16.67	13.70	13.76	14.53	14.67	15.22	16.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.00	—	—	—	3.31	—	—	3.31	—	—	—
FeO	15.12	17.31	19.22	17.01	15.77	21.33	21.02	15.09	20.57	20.34	18.88
MnO	1.53	0.56	1.26	1.30	1.21	0.43	0.44	0.55	1.56	1.66	1.03
CaO	0.52	0.08	0.02	0.07	1.36	—	0.06	1.26	0.01	0.02	0.20
MgO	11.27	14.47	10.04	11.04	11.97	13.26	13.74	12.54	10.95	10.73	9.59
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.16	0.05	0.08	1.32	0.15	0.28	1.56	0.13	0.16	0.15
K <sub>2</sub> O	7.30	9.00	8.93	9.23	5.55	6.44	6.14	6.93	9.59	9.30	7.35
Li <sub>2</sub> O	0.30	—	—	—	0.07	—	—	0.05	—	—	—
H <sub>2</sub> O	4.35	—	—	—	4.62	—	—	0.01	—	—	—
F	1.40	—	—	—	1.44	—	—	2.02	—	—	—
总量	99.98	96.17	95.06	95.50	101.03	95.00	95.51	97.33	96.41	96.86	97.53
Al <sup>N</sup> / ∑Al	0.99	0.64	0.25	0.54	0.64	0.69	0.69	0.93	0.67	0.64	0.49
Al <sup>N</sup> / Si	0.45	0.25	0.28	0.24	0.35	0.30	0.29	0.43	0.32	0.32	0.23
∑Fe / ∑Fe + Mg	0.48	0.40	0.52	0.46	0.42	0.47	0.46	0.47	0.51	0.52	0.52
$\frac{Mg}{\sum Fe + Mg + Mn}$	0.49	0.59	0.47	0.52	0.57	0.52	0.53	0.55	0.47	0.46	0.46
$\frac{\sum Al}{\sum Al + Mg + \sum Fe}$	0.32	0.29	0.37	0.36	0.39	0.30	0.30	0.34	0.34	0.35	0.39
Mg / ∑Fe	0.26	1.49	0.93	1.16	1.35	1.11	1.17	0.87	0.95	0.94	0.91

\* 为化学分析结果, 其余为电子探针分析结果。测试单位: 加拿大不列颠哥伦比亚省地调分局岩矿测试部。

∑Fe = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO; Mg = MgO。

计算的, 黑云母单矿物稀土元素(REE)含量测定结果列于表5。从表中可以看出黑云母成分具有以下变化规律:

(1) 老牛山岩体黑云母Mg/∑Fe 比值为0.26—1.49, 石家湾和金堆城斑岩体黑云母云

表5 黑云母稀土元素含量及有关比值(ppm)  
Table 5 REE contents and related ratios of biotites (in ppm)

样品	稀土元素含量								
	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Er	Yb
老01	22.72	56.40	78.60	5.20	0.27	2.73	1.89	0.88	0.74
老03	17.60	44.18	22.20	4.10	0.31	3.01	1.64	0.82	0.55
金01	11.52	29.14	15.00	3.41	0.21	3.65	3.41	1.93	1.71
金02	9.92	29.16	15.60	2.10	0.23	3.72	2.95	2.31	1.73

样品	ΣREE	特征比值				
		LREE	HREE	δEu	Ce/Yb	K+Na+Ca*
老01	169.43	163.19	6.24	0.20	76.22	0.7617
老03	94.41	88.39	6.02	0.27	80.33	0.9653
金01	69.98	59.28	10.7	0.19	17.04	1.0027
金02	67.49	56.78	10.71	0.26	16.86	1.0440

分析单位：加拿大不列颠哥伦比亚省地调分局岩矿测试部。\*黑云母晶体层间阳离子数。

Mg/ΣFe 比值分别为1.35—1.11和0.87—0.95。

(2) 各岩体中黑云母的 Si 含量大致相等，一般<3.25。

(3) 含钼斑岩体黑云母中呈四面体分布的铝含量大于老牛山岩体黑云母。

(4) 同老牛山岩体相比，含钼斑岩体黑云母的 ΣAl/(ΣAl+Mg+ΣFe) 变化范围较小，比值有所增加。

(5) 金堆城地区花岗岩类黑云母的 Mg/(Mg+ΣFe+Mn) 比值不同于华南花岗岩类黑云母镁铁比值 (<0.5)，也有别于长江中下游花岗岩类黑云母镁铁比值 (>0.5)<sup>[4]</sup>反映了本区花岗岩类独特的区域地球化学背景。

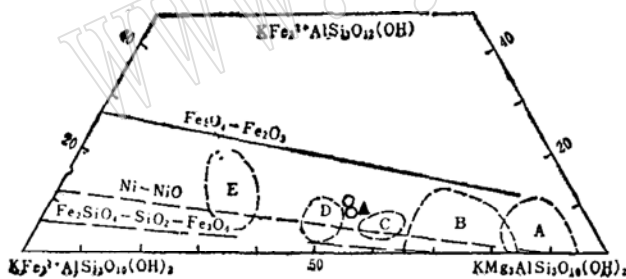


图4 黑云母  $KFe_3^{3+}AlSi_3O_{12}(OH)$  —  $KFe_3^{3+}AlSi_3O_{10}(OH)_2$  —  $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$  三角图解<sup>[5]</sup>

Fig. 4  $KFe_3^{3+}AlSi_3O_{12}(OH)$  —  $KFe_3^{3+}AlSi_3O_{10}(OH)_2$  —  $KMg_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$  triangular diagram of biotites (after Wons and Eugster, 1965)

A—金伯利岩中金云母；B—北美含铜(钼)斑岩体中黑云母；C—江西斑岩(钼)矿床含矿岩体黑云母；D—阳储岭、芦溪岭含钨(钼)斑岩体黑云母；E—含铌钽岩体黑云母<sup>[6]</sup>；金堆城地区花岗岩类中黑云母样品的图例与图2同

老牛山岩体黑云母 ΣREE = 169.43—94.41 ppm, HREE/LREE = 0.04—0.07 和 δEu

= 0.20—0.27。金堆城含钼斑岩体黑云母  $\Sigma\text{REE} = 69.98\text{—}67.49\text{ppm}$ ,  $\text{HREE/LREE} = 0.18\text{—}0.19$  和  $\delta\text{Eu} = 0.19\text{—}0.26$ 。同老牛山岩体相比, 含钼斑岩体黑云母以富 HREE、贫 LREE 和具明显的负钕异常为鉴别特征。黑云母 REE 含量和配分型式的变异特点同全岩 REE 地球化学特征基本吻合<sup>①</sup>。

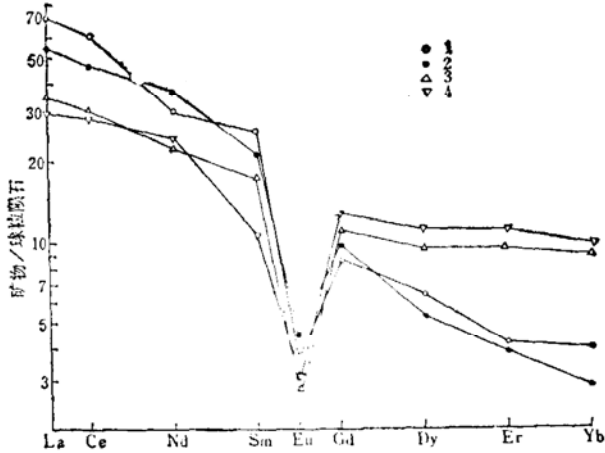


图 5 黑云母稀土元素球粒陨石  
标准化分布型式

Fig. 5 Chondrite-normalized  
REE patterns of biotite

- 1—老牛山黑云母二长花岗岩 (老01);  
2—老牛山黑云母二长花岗岩 (老03);  
3—金堆城花岗斑岩 (金01);  
4—金堆城花岗斑岩 (金02)

### 三、造岩矿物特征及其岩石学意义

钾钠长石和斜长石成分及结构状态是岩体形成过程中诸种地质因素的综合反映。许多学者均承认长石成分和结构状态取决于矿物结晶时的物理化学条件(结晶温度、形成深度、构造作用、挥发组分和冷却速度等),但是在涉及到形成过程以及某种因素的影响程度时,在认识上尚有很大分歧。这里笔者试图利用野外地质观察和实验测试数据相结合方法,讨论一些同岩石成因有关的矿物学问题。

老牛山岩体主要造岩矿物——钾钠长石和斜长石成分及结构状态表明:岩体是在一构造环境相对稳定、结晶温度相对较低和围岩压力较大的条件下形成的。矿物结晶时,由于参与结晶的物质带入缓慢,结晶作用持续的时间较长,离子彼此发生分离并向某一特定位置聚集,有利于矿物晶格中Al—Si排列向有序化方向发展,从而形成三斜度和有序度较高的微斜长石和微斜条纹长石。

石家湾和金堆城斑岩体钾钠长石斑晶有序度明显高于基质组分中的钾钠长石和局部地段可存在有微斜条纹长石斑晶( $\Delta = 0.30$ )的地质事实表明:斑岩体内的钾钠长石斑晶是在较深部位形成的。当岩浆一方面继续演化同时又向地壳浅部位侵入时,由于岩浆结晶温度的增高和冷凝速度加快、阳离子活动性也相应增强,从而使阳离子相互置换的可能性提高,形成了有序度很低的三斜正长石。

研究表明<sup>[7]</sup>:酸性岩中的楣石、钾钠长石、斜长石是钼的主要载体。当花岗岩质熔浆中钼含量较高时,由于钼—氧分裂能远大于硅—氧、铝—氧分裂能,所以钼不仅可以同氧、碱金属离子、酸根离子和硅酸根离子形成稳定络合物富集在残余熔浆内,而且可以钼酸钠( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ )和钼酸钾( $\text{K}_2\text{MoO}_4$ )方式分别参与斜长石和钾钠长石的结晶作用。在老牛山岩体形成过程中,岩浆熔体中钼含量较低,因此,钾钠长石和斜长石均具较低的  $\text{MoO}_3$  含量

① 聂凤军、樊建廷, 1988, 金堆城-黄龙铺地区含钼花岗岩类REE地球化学研究。待刊稿。



(表2),随着岩浆分异程度的增高,熔浆中钾、钠、钼含量均有不同程度富集,此时结晶形成的钾钠长石和斜长石含有较高的 $\text{MoO}_3$ 。大量 $\text{MoO}_3$ 及Rb、Cs等元素参与钾钠长石结晶作用,是造成矿物晶胞异常的重要原因。当富钼钾钠长石和斜长石在岩浆期后热液蚀变过程中遭受水解时,钼元素的释放可形成高品位的花岗斑岩型钼矿石。

众所周知,黑云母具有三层型层状硅酸盐结构,上下两个单层是硅氧四面体 $[\text{SiO}_4]$ 层,中间是八面体层,上下两个四面体与八面体层的比值为2:1,四面体的Si:Al比值为3:1。结构单元内多余的负电荷,以层间存在的大半径阳离子 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、和 $\text{Ca}^{2+}$ 加以补偿。由于黑云母晶体的层状结构特点,HREE和LREE同时可参与黑云母的结晶作用,所以花岗岩类岩石黑云母的REE配分型式大都为一具明显负铈异常的“V”型曲线(图5)。老01黑云母样品的REE含量为169.43ppm,层间阳离子数为0.7617( $\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ )、金02黑云母样品内的REE含量为67.49ppm,层间阳离子总数为1.044,其它两件黑云母样品亦存在类似的变化趋势,即随着黑云母晶体层间阳离子数的增加,REE含量明显减少。虽然黑云母层间阳离子数同REE含量的定量关系尚未确定,但两者在含量上的“互补”性变化在某种意义上反映了黑云母层间离子空位对REE较强的容纳能力。

金堆城地区花岗岩类黑云母REE含量和配分型式研究表明:黑云母的HREE含量不仅取决于层间阳离子数多少,而且同黑云母的F含量有关。老01黑云母样品F含量为1400 $\text{ppm}$ ,HREE = 6.24ppm,而金01黑云母样品F含量达2020 $\text{ppm}$ ,HREE = 10.7ppm即黑云母中F含量的增加伴随着HREE富集。各岩体中黑云母 $\delta\text{Eu}$ 异常相似性从一个侧面反映了黑云母是在 $f_{\text{O}_2}$ 相同或相似的物理化学环境条件下结晶形成的。

## 四、结 论

1. 金堆城地区花岗岩类以含异常晶胞微斜长石和三斜正长石为特征。从老牛山岩体、石家湾斑岩体到金堆城斑岩体,长石的有序度和Or组分含量均有降低和减少趋势,而 $\text{MoO}_3$ 含量和晶胞异常程度明显增加。

2. 斜长石一般为更长石、更钠长石和钠长石,老牛山岩体和石家湾斑岩体斜长石(斑晶)An组分含量变化范围相似,金堆城斑岩体以富含更钠长石为特征。斜长石结构状态均属低温有序型。

3. 花岗岩类岩体的黑云母均属铁黑云母,矿物化学成分介于含铜(钼)岩体和含钨(钼)岩体之间。

4. 含钼花岗岩类岩体以富HREE和明显的负铈异常为特征,矿物中HREE含量和F含量呈同步增长关系,因此贫LREE、富HREE和具明显负铈异常的黑云母可作为花岗岩类发育地区寻找隐伏钼矿体的标型矿物。

本文是笔者1985年—1986年期间赴加拿大不列颠哥伦比亚省地调分局进修研究工作的一部分,研究工作得到该分局A.潘特列耶夫博士和W. J.麦克米伦博士的关心和指导,国内野外采样期间承蒙黄典豪、王义昌和江秀杰同志大力支持,笔者在此一并致以衷心感谢。

① 聂凤军,1982,金堆城花岗岩类岩石学特征及钼矿床成因探讨,中国地质科学院研究生部。

## 参 考 文 献

- 〔1〕 任纪舜、姜春发、张正坤、秦德余, 1980, 中国大地构造及其演化(1:400万中国大地构造图简要说明), 科学出版社。
- 〔2〕 黄典豪、聂凤军、王义昌、江秀杰, 1985, 陕西金堆城-黄龙铺地区含钼花岗岩类岩石特征、成岩机制及其与钼矿床关系。中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 1985年, 第4号, 第95—126页。
- 〔3〕 Wright, T.L., 1968. X-ray and optical study of alkali feldspar II An X-ray method of determining the composition and structural state from measurement of 2 values for three reflections. *Am. Min.*, vol. 53, no. 1—2.
- 〔4〕 洪大卫, 1982, 华南花岗岩的黑云母和矿物相及其与矿化系列的关系。地质学报, 第56卷, 第2卷, 第149—163页。
- 〔5〕 Wones, D.R. and Eugster, H.P., 1965. Stability of biotite, Experiment, Theory and Application. *Am. Min.*, vol. 50, no. 9.
- 〔6〕 周珣若、吴国忠、白志民, 1986, 湖南千里山花岗岩中黑云母特征及其岩石学意义。矿物岩石学论丛(2), 第121—139页。
- 〔7〕 Beus, A.A. and Grigorian, S.V., 1977. Geochemical exploration for mineral deposits. Applied Publishing Ltd Illinois USA.

## Main Rock-forming Minerals of Jinduicheng Granitoids in Shanxi Province: Their Characteristics and Petrological Significance

Nie Fengjun

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences)

**Key words:** Mo-bearing granitoid; typomorphic peculiarity; REE geochemistry; anomalous unit cell; Shanxi

### Abstract

Jinduicheng granitoids and the it related porphyry Mo deposits lie within the Henan-Shanxi faulted-upwarping area along the southern edge of the Sino-Korean paraplatform. The Yenshanian granitoids (124 to 130 Ma) consist of Laoneushan biotite monzonitic granite batholith and Shijiawan-Jinduicheng granite porphyries.

The Laoneushan granite body intruded into gneiss of Archean Taihua Group and meta-splite of Proterozoic Xionger Group, with an exposed area of some 440 km<sup>2</sup>. The Shijiawan granite porphyry intruded into meta-splite of Xionger Group and metamorphic quartz sandstone as well as quartzite of Gashanhe Formation. The Jinduicheng granite porphyry intruded into meta-splite

of Xfonger Group. Those granite porphyries are all less than 1 km<sup>2</sup> in size.

Mineralogical studies show that not only can the structure state and composition of plagioclase and K-Na-feldspar provide the information on origin and evolution of granitoids, but these minerals themselves might act as Mo-carrier as well. Along with wide and strong hydrothermal alterations of post-granite porphyry period, Mo released from the Mo-carrier was superimposed on the original Mo stockworks, forming high-grade ores of granite type. In addition, the F-, HREE-rich biotite with distinct negative Eu anomaly can be taken as a useful indicator mineral for Mo ore prospecting in granitoid areas.

www.yskw.ac.cn