

小秦岭太古宙 TTG 质片麻岩的地球化学

李俊建 沈保丰

(天津地质矿产研究所)

提 要 小秦岭太古宙花岗岩—绿岩带由 TTG 质和分布其中的绿岩带所构成。TTG 质片麻岩以底辟方式侵入绿岩带,以高铝型($Al_2O_3 > 15\%$)为主,大约占花岗岩—绿岩带组成的 83%。TTG 质片麻岩富 Sr、Ba 等 LIL 元素,贫 Rb、Cr、Co、Ni,较低 K/Rb 和 Rb/Sr 为特征。具较强烈分馏的稀土元素分配模型, LREE 强烈富集和 HREE 显著亏损,正 Eu 异常,无 Eu 异常或弱负 Eu 异常。REE 模拟计算表明, TTG 质片麻岩是斜长角闪岩经 10~30% 部分熔融形成的。

关键词 TTG 质片麻岩 地球化学 部分熔融

TTG 质片麻岩广泛分布在由早前寒武纪岩石组成的地区,对其进行研究是查明最古老大陆壳形成和演化的最重要因素之一,因而自七十年代以来一直为世人所重视。国外许多研究工作集中在西格陵兰、北美、南部非洲、西澳、芬兰、加拿大、印度和苏联科拉半岛等古老太古宙地体中。中国冀东、清原、登封等地也陆续进行了系统研究。本文详细论述了小秦岭地区太古宙奥长花岗岩—英云闪长岩—花岗闪长岩质片麻岩(简称 TTG 质片麻岩)的地球化学特征,并利用 REE 模拟计算对其成因进行了探讨。至于小秦岭金矿的成矿地质背景——小秦岭太古宙花岗岩—绿岩带和金矿的成矿作用,作者已另文专述。

1 地质概况

小秦岭大地构造位置属于华北陆台西南缘,豫陕交界的灵宝、潼关一带,面积约 1200km²。以其丰富的金矿资源而成为我国新兴的黄金生产基地。

据近年来研究表明,本区为太古宙花岗岩—绿岩带^{①②},由占岩石出露总面积约 83% 的花岗质岩石和分布其中的透镜状、条带状绿岩带(约占 17%)组成,呈东西向狭长带状展布,其南、北两侧各以寻马河—小河—朱阳深断裂和太要—故县—阳平深断裂为界。区内还出露有中

① 沈保丰、李俊建、骆辉,豫西小秦岭金矿的成矿地质特征,秦岭地区金矿地质研讨会论文,待刊,1989。

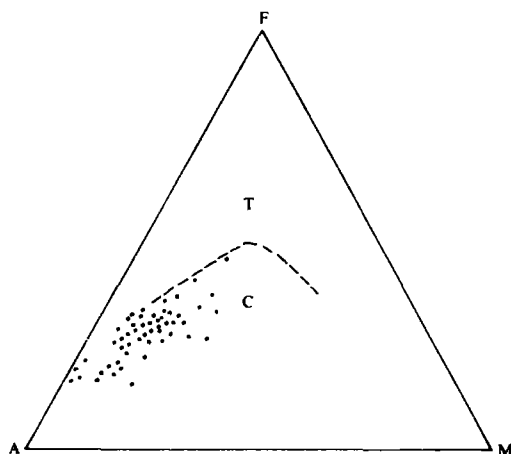
② 沈保丰等,华北陆台太古宙绿岩带地质与成矿,地矿部七·五科技攻关项目第 13 项课题研究报告,1990。

岳期桂花峪角闪黑云花岗岩和燕山期华山、文峪、娘娘山黑云二长花岗岩体,周边有中元古界和新生界地层零星出露。绿岩带地层为太古宇太华群变质岩系。根据我们的工作结果,认为 TTG 质片麻岩的原岩为 TTG 岩系,它与绿岩带为底辟侵入接触关系。因此我们在前人工作基础上,首先将绿岩带和 TTG 质片麻岩进行了圈定,将 TTG 质片麻岩从原地层层序中删除,重新厘定了本区绿岩层序,为尊重前人工作,仍沿用了原地层名称。本区太华群分上、下亚群,下亚群为闫家峪组,主要由斜长角闪岩组成,上亚群包括下部观音堂组和上部焕池峪组,观音堂组由石英岩、长石石英岩、磁铁石英岩、斜长角闪岩、黑云变粒岩和少量大理岩组成,焕池峪组以蛇纹石化白云石大理岩、白云石大理岩、蛭石化大理岩为主,少量斜长角闪岩,黑云变粒岩,含石榴变粒岩和浅粒岩,各组之间由 TTG 质片麻岩焊接。原岩建造为镁铁质火山岩,长英质火山岩、火山碎屑沉积岩和沉积岩。变质相为角闪岩相,形成时代为晚太古代。太古宙花岗质岩石主要为奥长花岗岩—英云闪长岩—花岗闪长岩质片麻岩,晚期发育少量钾质花岗岩,花岗伟晶岩。陕西地矿局地质六队(1982)采自东桐峪的片麻岩,经西北冶金地质研究所测定 Rb—Sr 等时线年龄为 $2549 \pm 169\text{Ma}$ 。

2 岩石学特征

太古宙 TTG 质片麻岩,即前人所称的混合岩、混合片麻岩,为多期侵入的古老复式岩浆岩体,主要岩石类型为黑云斜长片麻岩,角闪黑云斜长片麻岩等,其中常见斜长角闪岩,少量角闪岩包体,包体边部大都有一黑云母退化变质带。在杨寨峪和文峪矿区北见到 TTG 质片麻岩与绿岩带斜长角闪岩呈清楚的底辟侵入接触关系。

TTG 质片麻岩一般为中到中粗粒花岗变晶结构,片麻状,似斑状构造。主要矿物组合为 $\text{Pl} + \text{Q} + \text{Mic} + \text{Bi} + \text{Hor}$ 。各矿物平均含量为 Pl 44%, Q 21%, Bi , Mic 含量变化较大, Bi 7~20%, 平均 12%, Mic 5~30%, 平均 17%, Hor 5%。副矿物组合为 $\text{Mt} + \text{Ap} + \text{Zr} + \text{Sp}$ 。斜长石主要为奥长石、中长石和钠长石。斜长石的聚片双晶,微斜长石的格子双晶、交代蠕虫结构,交代条纹结构、交代残留结构比较发育。



说明: T—拉斑玄武岩系 C—钙碱性火山岩系

图 1 TTG 质片麻岩的 AFM 图

Fig. 1 AFM diagram of TTG gneisses

3 地球化学

3.1 主要元素

表 1 太古宙花岗质岩石的主要元素平均成分(%)

Table 1 Average major element composition of
Archean granitic rocks

	奥长花岗岩—英云闪长岩				花岗闪长岩		花岗岩	
	1(38)	2	3	4	5(7)	6	7(5)	8
SiO ₂	70.85	69.4	74.5	69.1	70.66	70.0	70.93	70.3
TiO ₂	0.32	0.35	0.39	0.29	0.25	0.3	0.3	0.46
Al ₂ O ₃	14.52	15.8	14.2	15.9	14.54	14.5	14.14	14.0
Fe ₂ O ₃	1.42	1.18	0.36	0.72	1.49	0.88	2.9	1.03
FeO	2.31	1.79	1.92	1.34	1.77	1.23	1.92	1.83
MgO	1.29	1.14	0.45	1.14	0.88	0.47	0.66	0.63
CaO	2.33	3.37	2.43	3.32	2.21	2.03	1.15	2.04
Na ₂ O	4.36	4.68	4.08	5.28	4.0	4.83	3.09	3.57
K ₂ O	1.83	1.58	1.95	1.35	2.5	3.35	5.07	5.18
MnO	0.012	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.017	0.05
P ₂ O ₅	0.16	0.11	0.03	0.09	0.12	0.02	0.11	0.12
K ₂ O/Na ₂ O	0.42	0.34	0.48	0.26	0.63	0.69	1.64	1.5

注:1—小秦岭奥长花岗岩—英云闪长岩质片麻岩平均值;2—太古宙高铝型片麻岩平均值(K. C. Condie, 1981);3—太古宙低铝型片麻岩平均值(K. C. Condie, 1981);4—太古宙高铝型底辟平均值(K. C. Condie, 1981);5—小秦岭花岗闪长岩质片麻岩平均值;6—巴伯顿达尔迈花岗闪长岩(K. C. Condie, 1981);7—小秦岭太古宙花岗岩平均值;8—南非姆帕格尼型花岗岩(K. C. Condie, 1981)。括号内数字为样品数。

TTG 质片麻岩的岩石化学(表 1)和标准矿物成分特征如下:

a、在 AFM 图上,TTG 质片麻岩呈钙碱性—奥长花岗岩演化趋势(图 1)。

b、岩石化学成分不均, SiO₂ 含量变化为 60.88~76.76%, Al₂O₃ 的含量变化为 11.9~19.66%,按 Condie(1981)的划分标准,本区存在高铝型(Al₂O₃ 为 15.03~19.66%)和低铝型(Al₂O₃ 9.36~14.99%)两类片麻岩,以高铝型为主,但 Al₂O₃ 平均值仍较低(14.52%)。Na₂O/K₂O 比值的变化范围为 1.2~7.6。

c、各主要成分相对于 SiO₂ 含量的变异图显示出(图 2),随 SiO₂ 含量的增加, Ti、Ca、Mg、Fe 的氧化物含量呈规律的线性减少。

d、根据标准矿物分子计算,在 An—Ab—Or 三角图上(图 3),TTG 质片麻岩的大部分投影点落在奥长花岗岩区,少部分落在英云闪长岩和花岗闪长岩区。晚期的钾质花岗岩落在花岗岩区。

3.2 微量元素

TTG 质片麻岩(表 2)以较富 Sr、Ba,贫 Rb、Cr、Co、Ni、Cu、Pb、Zn,低 Rb/Sr 为特征,而其中奥长花岗岩—英云闪长岩 Ba/Sr(0.99)、K/Rb(161)较低,花岗闪长岩 Ba/Sr(3.09)、K/Rb(225)比较高。地球化学性质反映出, Sr 与 Ca 含量正相关, Ba、Rb 与 K 含量正相关,反映在矿物上就是钾长石、斜长石及黑云母在不同岩石中的含量变化导致了上述微量元素的变化。

晚期的钾质花岗岩以富 Rb、Ba、Zr、Sr,贫 Cr、Co、Ni、Cu、Pb、Zn,较高 Rb/Sr(0.47), Ba/Sr

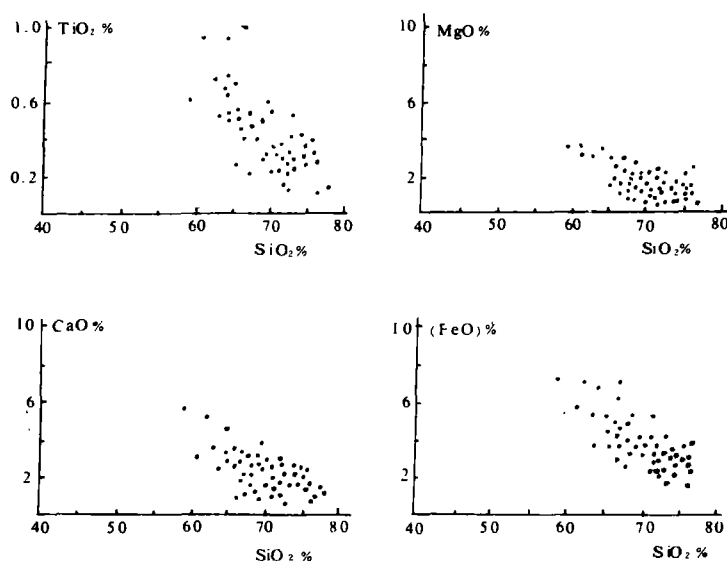


图 2 小秦岭 TTG 质片麻岩二氧化硅相对于主要元素变异图

Fig. 2 Variation diagram of SiO_2 and main elements
of TTG gneisses in Xiaoqinling district

(4.10), 较低 K/Rb (137) 为特征。反映出 Rb 、 Sr 、 Ba 等 LIL 元素 (大离子亲石元素) 在晚期花岗岩中更为富集。这主要是由于花岗岩中钾长石含量明显增高所致。

3.3 稀土元素

奥长花岗岩—英云闪长岩的稀土元素总量较低 (100.21ppm) (表 2, 图 4), 据 leedey/1.2 球粒陨石标准化的稀土元素分布呈中等倾斜型, LREE 较富集 ($\text{Ce}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ 为 6.51) 和较显著分馏 ($\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ 为 3.38), HREE 中等程度亏损和分馏 ($\text{Yb}_\text{N}/\text{Gd}_\text{N}$ 为 0.66), 正铕异常 (Eu/Eu^* 为 1.25)。结合低 Ba/Sr 、 K/Rb , 低 Rb 含量, 大致相当于 Condie (1981) 的高铝型英云闪长岩—奥长花岗岩。

花岗闪长岩的稀土元素总量较低 (107.82ppm), 稀土元素分布呈陡倾斜型 (图 5), LREE 富集 ($\text{Ce}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ 为 10.21) 和显著分馏 ($\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ 为 5.02), HREE 强烈亏损和中等程度分馏 ($\text{Yb}_\text{N}/\text{Gd}_\text{N}$ 为 0.64), 弱负铕异常 (Eu/Eu^* 为 0.84) 或铕异常不明显, 结合其高 Ba/Sr 、低 Rb 含量特点, 大致相当于 Condie (1981) 的南非巴伯顿太古宙花岗岩—绿岩带中达尔迈型花岗闪长岩。

花岗岩的稀土元素总量较高 (530.11ppm), 稀土元素分布呈陡倾斜型 (图 6), 明显的 LREE 富集 ($\text{Ce}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}$ 为 50.84) 和强烈的分馏 ($\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ 为 8.61), HREE 强烈亏损和分馏 ($\text{Yb}_\text{N}/\text{Gd}_\text{N}$ 为 0.28), 明显的负铕异常 (Eu/Eu^* 为 0.51)。结合高 Ba 、 Rb 含量和高 Ba/Sr , 大致相当于 Condie (1981) 的南非太古宙姆帕格尼型花岗岩。

从本区岩浆岩石的 SiO_2 频率分布直方图 (图 7), 显示出以 TTG 质片麻岩和镁铁质火山岩 (斜长角闪岩) 之间的双峰式分布特征, SiO_2 在 55~65% 基本缺失, 这与野外中性岩石 (闪长岩类) 的缺失相一致。在 AFM 图上 (图 1), TTG 质片麻岩呈钙碱性—奥长花岗岩趋势, 这与正常钙碱系列的不同在于随 SiO_2 的增加, K_2O 无相应的增加, 而 Na_2O 则有增加的趋势。镁铁质火

表 2 太古宙花岗质岩石的微量和稀土元素平均成分 (ppm)

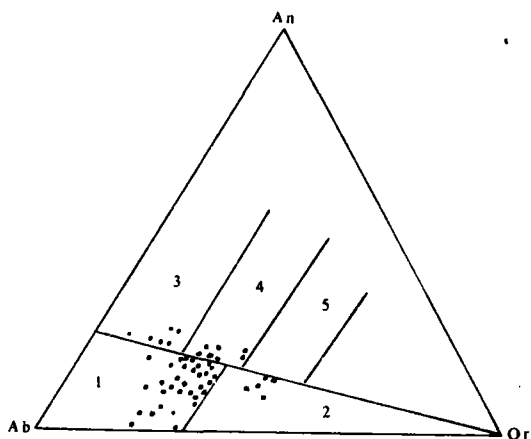
Table 2 Average minor and rare earth element composition of
Archean granitic rocks

	奥长花岗岩—英云闪长岩				花岗闪长岩		花岗岩	
	1(4)	2	3	4	5(3)	6	7(4)	8
Rb	47	44	75	45	46	88	153.5	230
Sr	406	460	110	470	277	540	327	306
Ba	400	400	420	350	855	750	1340	1150
K(%)	1.83	1.58	1.95	1.35	2.5	3.35	5.07	5.18
Zr	2.00	175	290	90	125	120	201	161
Cu	18				17		10	
Pb	15				11		30	
Zn	67						45	
V	69				28		18	
Cr	25	12	8	14	20	7	25	7
Co	5	5	2	7	4	5	5	3
Ni	5	13	7	15	8	7	5	
La	28.75	25	45	15	25.6	41	152.76	129
Ce	44.8	42	91	18	53.03	82	278.14	229
Nd	18.33	15	42	8.5	17.89	30	73.53	78
Sm	3.92	2.9	7.6	1.7	3.11	5.8	10.82	14
Eu	1.51	0.82	1.0	0.5	0.79	1.2	1.49	1.9
Gd	3.32	1.9	5.2	1.5	2.60	3.2	6.33	9.0
Dy	2.8	1.4	6.7	0.9	2.01	2.9	3.73	8.8
Er	1.76	0.86	4.0	0.4	1.26	1.3	1.71	4.2
Yb	1.76	0.82	4.0	0.46	1.33	1.0	1.40	3.5
Lu	0.26	0.12	0.54	0.07	0.20	0.16	0.20	0.54
K/Rb	161	290	216	250	225	330	137	187
Rb/Sr	0.12	0.12	0.68	0.10	0.17	0.18	0.47	0.75
Ba/Sr	0.99	0.87	3.8	0.75	3.09	1.5	4.10	3.8
(Ce/Yb) _N	6.51	13.11	5.83	10.01	10.21	20.98	50.84	16.74
(La/Sm) _N	3.38	4.7	3.2	4.8	5.02	3.9	8.61	5.10
(Yb/Gd) _N	0.66	0.54	0.96	0.38	0.64	0.39	0.28	0.48
Eu/Eu*	1.25	1.1	0.5	0.96	0.84	0.85	0.51	0.72

注：岩石名称及产地同表 1 测试单位：湖北地矿局中心实验室

山岩则显示出拉斑玄武岩演化趋势(图 8)。对比二者的稀土元素分布(图 9、图 10),拉斑玄武岩(斜长角闪岩)REE 分布为一较平坦的曲线,不明显负锕异常,Ce_N/Yb_N 较低(2.71),La_N/Sm_N

为 2.06, Yb_N/Gd_N 为 0.81。但 TTG 质片麻岩的 REE 分布为一较陡倾斜曲线, Ce_N/Yb_N 为 7.51, La_N/Sm_N 为 3.85, Yb_N/Gd_N 为 0.65, LREE 富集, HREE 亏损, Eu 异常不明显到正 Eu 异常。结合微量元素 Sr、Ba 等 LIL 元素含量高等特征, 表明 TTG 质片麻岩的来源区亏损了 LIL 元素, 同时在其形成过程中, 必定有角闪石、石榴石等对 HREE 分配系数大于 1 并具 Eu 负异常的矿物的分离或残留 (Hanson, 1978; Barker, 1981)。上述特征表明 TTG 质片麻岩相对于拉斑玄武岩有较高的分异程度, 同时其自身轻、重稀土亦有较强烈的分馏。TTG 质片麻岩与镁铁质火山岩之间表现出的双峰式特征, 与绿岩序列中的双峰式火山岩特征相当, 表明 TTG 质片麻岩与绿岩序列中的长英质火山岩为同源异象岩。这与郭安林 (1988) 在登封花岗岩—绿岩地体中的研究结论相类同。



说明: 1. 奥长花岗岩 2. 花岗岩 3. 英云闪长岩
4. 花岗闪长岩 5. 石英二长岩

图 3 小秦岭太古宙 TTG 质片麻岩的 An—Ab—Or 图
(据奥康诺, 1965)

Fig. 3 An—Ab—Or diagram of Archean TTG gneisses
in Xiaqingling district

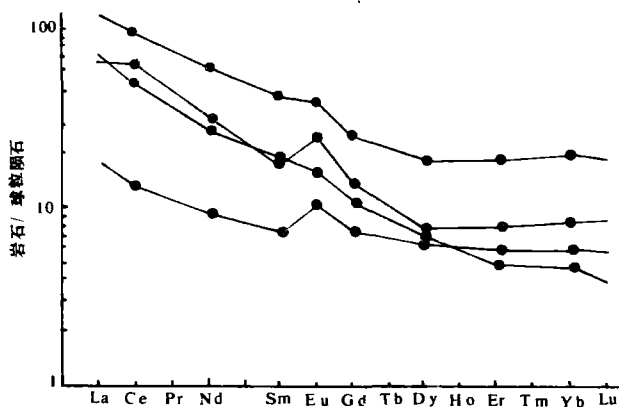


图 4 奥长花岗岩—英云闪长岩稀土元素分配模型

Fig. 4 Chondrite—normalized REE distribution of trondhjemite—tonalite

Jahn, 1981; Windley, 1976, 1984)。

本区 TTG 质片麻岩的 Rb 含量低, 8 件样品的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始比值较低 (0.703), 与本区斜长角闪岩相近 (0.701), 说明其来源区是 Rb 含量低的玄武质母体, 而不是硅铝质重熔的。另外,

4 TTG 质片麻岩的成因

对 TTG 质岩浆的成因, Barker 等认为是从玄武质的来源区衍生而来的, 可能是斜长角闪岩或榴辉岩的部分熔融产生, 也可能是由玄武质的熔体分异而成 (Barker 和 Arth 等, 1976, 1979, 1981; Hanson, 1978, 1981; Condie, 1981, 1986, 1989; Kroner, 1983, 1986; Martin, 1983; Tarney, 1982;

SiO₂ 的频率分布直方图显示出缺乏与 TTG 质片麻岩密切共生的中性岩类(闪长岩类)(图 7),因此本区片麻岩也不是玄武质岩浆分异的结果。推测其可能的形成方式是由于变拉斑玄武岩发生沉陷,在相对湿的条件下发生了部分熔融,衍生了 TTG 岩浆,留下了富含角闪石,石榴石的角闪岩或石英榴辉岩的残留。在本区 TTG 质片麻岩中存在有与之同源的角闪岩包体,就是对部分熔融模式很好的补充说明。为此,进行了变拉斑玄武岩经部分熔融产生 TTG 岩浆的稀土元素模拟计算。

利用 Shaw(1970)提出的平衡部分熔融的公式:

$$\frac{C_L}{C_0} = \frac{1}{D + F(1 - D)}$$

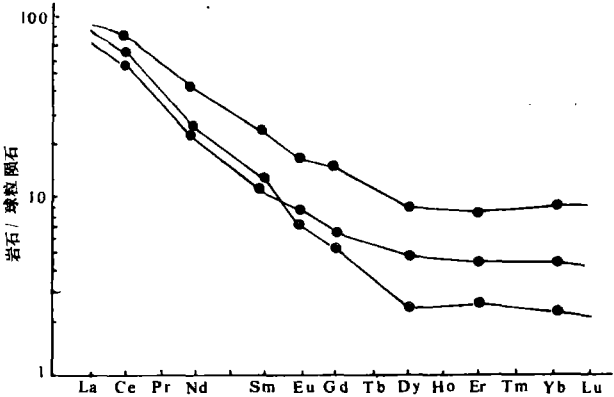


图 5 花岗闪长岩稀土元素分配模型
Fig. 5 Chondrite—normalized REE distribution of granodiorite

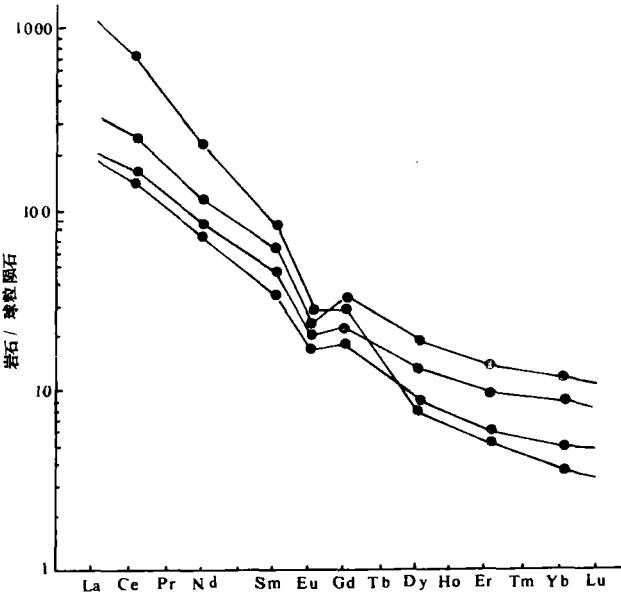


图 6 花岗岩稀土元素分配模型
Fig. 6 Chondrite—normalized REE distribution of granite

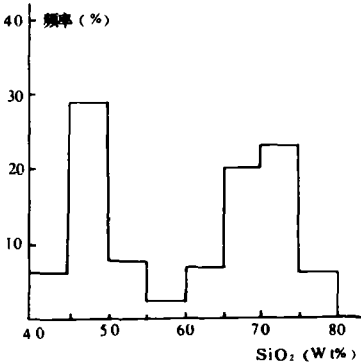


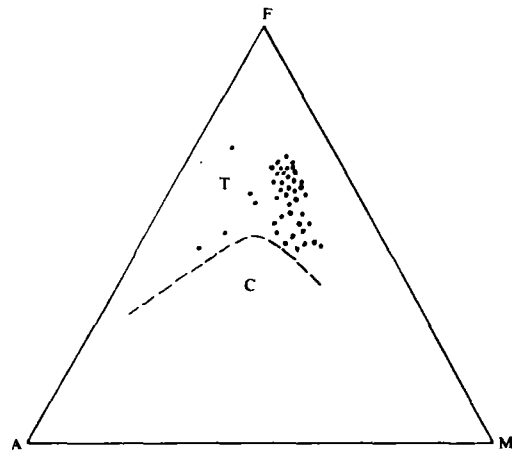
图 7 绿岩带火山岩与 TTG 质片麻岩 SiO₂ 频率分布直方图
Fig. 7 Histogram of SiO₂ distrioution of greenstone volcanics and TTG gneisses

式中 C_L 是通过熔融产生的熔体的某一稀土元素的浓度;C₀ 是在开始熔融时固体源区的同一

稀土元素的浓度;D 是熔体分离时残留固相集合体和产生熔体之间的总分配系数,它由公式 $D = \sum a_k d_k$ 求得,a 是残留固体中各矿物所占的百分数, K_d 是矿物—熔体间的分配系数;F 是熔融程度,它等于熔体的质量与最初固体集合体的质量之比。

首先以拉斑玄武岩转变成的斜长角闪岩 (Hor 70%, PL 30%) 作母岩,以本区斜长角闪岩的 REE 3 个样品平均值来模拟 C_t^{REE} ,F 值分别选定 0.1, 0.2 和 0.3,各有关矿物的分配系数采用 Hanson (1980) 给出的英安质岩石的分配系数。模拟计算所得的 REE 分配模型位于本区 TTG 质片麻岩实测值范围之内 (图 11), 且与 TTG 质片麻岩 REE 平均成分分配模式比较一致 (图 10)。

同样,TTG 岩浆也可能源于石英榴辉岩的部分熔融 (Barker 等, 1979)。为此,我们也以拉斑玄武岩转变成的石英榴辉岩 (Gar 30%, Cpx 55%, Q 15%) 作母岩,F 值分别选作 0.2, 0.3 和 0.4, 模拟计算结果表明 (图



说明: T—拉斑玄武岩系 C—钙碱性火山岩系

图 8 斜长角闪岩的 AFM 图

Fig. 8 AFM diagram of plagioclase—amphibolite

12), 分配曲线呈陡倾斜型, 超出了本区 TTG 质片麻岩 REE 实测值的演化范围。

上述 TTG 质片麻岩的地质地球化学特征和 REE 的模拟计算结果, 表明本区奥长花岗岩—英云闪长岩—花岗闪长岩质片麻岩是由拉斑玄武岩转变成的斜长角闪岩部分熔融形成的, 部分熔融程度在 10~30%。

5 金矿成矿模式

a. 太古宙时期, 原始古陆壳之下

异常地幔的活动, 导致了上覆地壳的裂隙作用, 大量大陆拉斑玄武岩的喷发和沉积, 形成了绿岩堆积, 携带了地球深部的金进入地壳, 构成了原始金的矿源层。晚太古宙时期, 绿岩下部的深埋和变质, 导致了镁铁质火山岩的部分熔融, 产生了奥长花岗岩—英云闪长岩—花岗闪长岩岩浆的底辟侵入, 形成了本区花岗岩—绿岩地体。

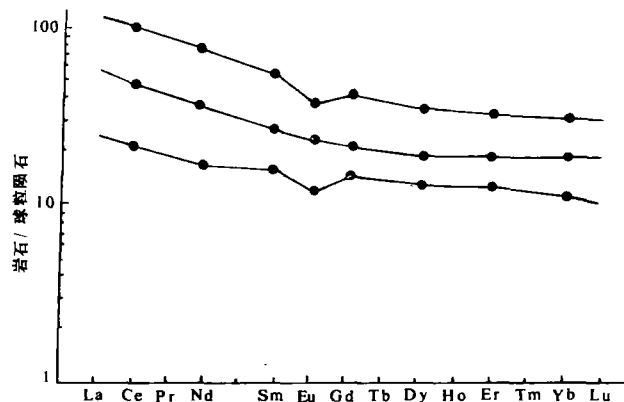
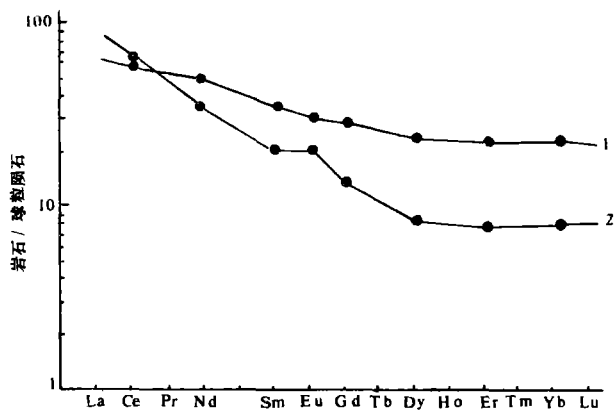


图 9 斜长角闪岩稀土元素分配模型

Fig. 9 Chondrite—normalized REE distribution of plagioclase—amphibolite



说明: 1. 斜长角闪岩(平均) 2. TTG 质片麻岩(平均)

图 10 球粒陨石标准化的斜长角闪岩和 TTG 质片麻岩 REE 分配模型

Fig. 10 Chondrite-normalized REE distribution of plagioclase amphibolite and TTG gneisses

b. 本区大量的 Rb—Sr 全岩等时年龄表明, 在 2200~2400Ma 和 1800~2000Ma 遭受了两次强烈的低角闪岩相—角闪岩相的区域变质作用, 含 CO_2 及少量 SO_4^{2-} 的变质热液开始形成, 成矿物质开始活化迁移。近东西向韧性剪切带的多次活动, 尤其在 1800Ma (据二阶段铅演化模式计算) 处于韧—脆性活动时期, 成矿热液沿剪切带的劈理, 叶理, 裂隙迁移, 并向两侧产生强烈的交代作用, 化学元素间发生各种交换反应, 进一步促使成矿元素 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等的活化迁移, 由于物化条件的改变, 金络合物的稳定性遭到破坏, 在韧性剪切带的断裂构造中富集成矿。

c. 中生代的燕山运动, 导致了深部地壳的重熔, 形成了燕山期文峪, 娘娘山岩体, 对原有金矿进行了叠加、改造, 因此本区为两次富集成矿。

本组骆辉、金文山、李双保、彭晓亮等同志共同参加了野外工作。在工作过程中, 沈阳地质矿产研究所林宝钦副研究员, 河南地质科学研究所张荫树高级工程师, 河南地调一队, 文峪金矿万继红工程师, 秦岭金矿等给予大力支持和帮助, 作者在此一并致谢。

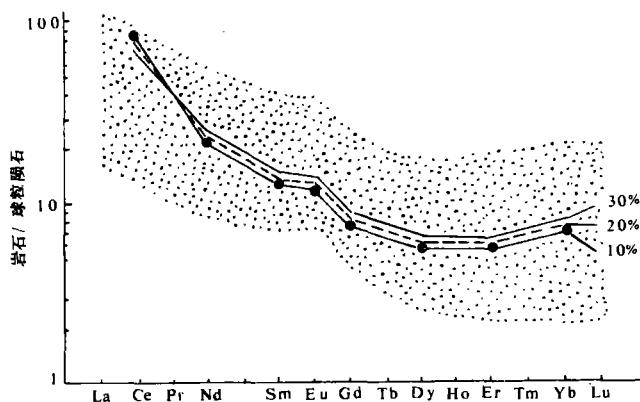


图 11 斜长角闪岩(Hor 70%, PL 30%) 10~30% 部分熔融模拟计算 REE 分配模型与 TTG 质片麻岩实测值 REE 分配模型

Fig. 11 Chondrite-normalized REE distribution of 10~30% partial melting amphibolite (plagioclase 30%, amphibole 70%) compared to that of the TTG gneisses

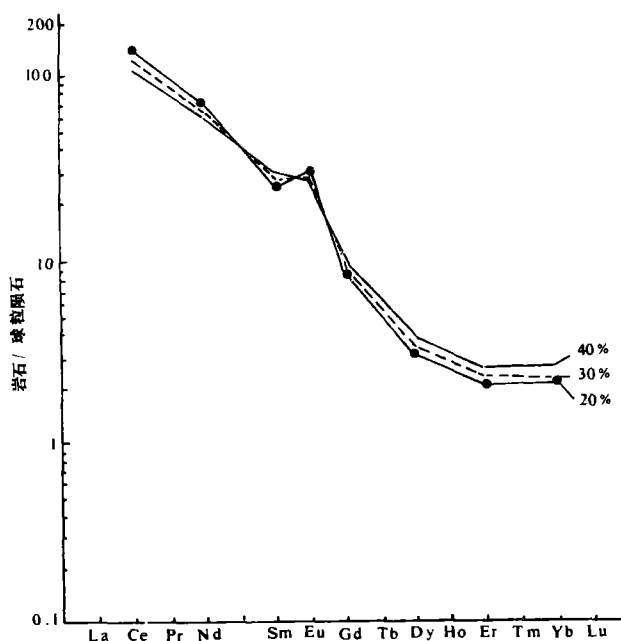


图 12 石英榴辉岩部分熔融 REE 分配模型

Fig. 12 Chondrite—normalized REE distribution of 20~40% partial melting Q—eclogite

参考文献

- 1 沈保丰. 早前寒武纪花岗岩—绿岩地体中金的成矿作用. 地质找矿论丛, 3(2)1988
- 2 沈保丰, 骆辉. 略论中国太古宙绿岩带. 中国区域地质, (1)1991
- 3 胡受奚, 林潜龙等. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿. 南京大学出版社, 1988
- 4 林宝钦, 陶铁镛等. 豫陕小秦岭地区太古代主要含金地层地质特征研究. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集. 第3集, 地质出版社, 1989
- 5 李俊建. 小秦岭杨寨峪金矿含矿变质岩系的原岩. 天津地质学会志, 8(2)1990
- 6 郭安林. 河南中部太古代登封花岗—绿岩地体中 TTG 质片麻岩与绿岩带关系及其地壳演化意义. 地质论评, 34(2) 1988
- 7 Kroner A, 前寒武纪的构造演化及大陆壳的生长. 国际前寒武纪地壳演化讨论会论文集. 第3集, 地质出版社, 1986
- 8 Condie K C, Archaean greenstone belts, Elsevier, Amsterdam, 1981
- 9 Barker F, Trondhjemite, dacites and related rock, Elsevier Scientific Publishing Company, 1979
- 10 Shaw D M, Trace element fractionation during anatexis, Geochim. Cosmochim. Acta, 34(2)1970, 237~296
- 11 Windley B F, The evolving continents, 2nd edn, by John Wiley and Sons, 1984
- 12 Hanson G N, Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems, Annual Review of Earth and planetary Sciences, 8, 1980, 371~406
- 13 Tarney J, Weaver B L and Windley B F, Geological and geochemical evolution of the Archaean continental crust, Revista Brasileira de Geociencias, 12(1-3) 1982, 53~59
- 14 Condie K C, plate tectonics & crustal evolution, 3rd edn, pergamon Press, New York.

GEOCHEMISTRY OF ARCHEAN TTG GNEISSES IN XIAOQINLING DISTRICT

Li junjing

Shen Baofeng

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources)

Abstract

Xiaoqinling Archean granitoid—greenstone belts consists of greenstone belts and surrounding TTG gneisses (trondhjemitic tonalitic—granodioritic gneisses). The TTG gneisses invades the greenstone belts. The dominant gneissic rock type is high Al_2O_3 (more than 15%) gneisses, which commonly comprises ca. 83% of the granitoid—greenstone belts. TTG gneisses is characterized by relatively high LIL elements (Sr, Ba), low contents Rb, Cr, Co, Ni, and low K/Rb ratio and Rb/Sr ratio. The REE patterns of TTG gneisses are relatively strongly fractionated, with LREE highly enriched and HREE remarkably depleted, positive Eu anomalies, non Eu anomalies or minor negative Eu anomalies. REE modelling indicates that TTG gneisses is formed by 10—30% partial melting amphibolite.