

# 豫西太华群混合岩特征及其 与金钼矿化的关系

胡志宏 周顺之 胡受奚 陈泽铭

(南京大学地质系)

太华群(变质年龄20—26亿年)出露于华北地台南缘的老牛山、小秦岭、崤山等地,它自吕梁运动成为地台的结晶基底以后,经历了多期地壳运动,产生了相应的变质、混合岩化及花岗岩化作用,形成了广泛分布的混合岩。在豫西,百分之八十以上的金矿床(点)直接产于太华群中,与混合岩在空间上密切相关。在东秦岭,全部大、中型钼矿床和大部分小型钼矿皆产于栾川—固始断裂以北的地台边缘,矿床可直接产于太华群(雷门沟)中,也可产于其上的地台盖层(金堆城、南泥湖、黄龙铺)<sup>[1]</sup>。而断裂以南的秦岭褶皱带钼矿则极少,地层含钼背景也较低。这两个构造单元的最重要差异就是后者没有太华群基底。这就表明该区金、钼矿床的形成与太华群及其混合岩化有着密切联系。许多研究表明太华群为金、钼的成矿提供了物质来源。

## 一、混合岩的岩石学及岩石化学特征

岩石的混合岩化程度具有明显的不均匀性,它主要受原岩类型及地质构造所控制。宏观上,从背斜翼部向轴部,从构造断裂带两侧向中部,混合岩化有明显增强。混合岩以交代结构为主,只有在高度混合岩化时才出现部分熔融,在裂隙特别发育时出现一些外貌似“注入”的矿体。这些现象显示了混合岩化“岩汁”的溶液特征和混合岩以交代为主的成岩方式。

1. 岩石的混合岩化过程(以原岩为斜长角闪片麻岩为例)。按照岩石的矿物组合、化学成分及结构构造变化可将混合岩化过程分为如下五阶段:

(1) 黑云母-(斜长石)化阶段 大量黑云母交代角闪石、辉石,钠-更长石交代斜长石。从而使角闪石大量消失,斜长石酸化,石英含量略有减少,岩石的 $K_2O$ 急剧升高, $Na_2O$ 略有升高, $SiO_2$ 则略降低,形成黑云-斜长片麻岩。

(2) 斜长石-(石英)化阶段 钠-更长石大量增加,黑云母、角闪石则大量减少,石英略有增加。化学成分 $SiO_2$ 、 $Na_2O$ 含量明显增加, $K_2O$ 则降低,以钠长石、石英交代角闪石、斜长石、绿帘石、黑云母等结构为特征。形成混合岩化黑云-斜长片麻岩。

(3) 钠长石-钾长石化阶段 斜长石总量近于不变,但 $Ab/An$ 比值大大升高,钾长石大量增加,石英略有增加,其它矿物减少乃至消失。岩石的 $Na_2O$ 、 $SiO_2$ 稳定升高, $K_2O$ 脉动地升高,形成条带-条痕状混合岩。该阶段既有不同矿物之间的相互交代,也有同种矿物之间的相互交代现象。常见钠-更长石、钾长石、石英之间的相互交代及它们自身的相互交代

现象，角闪石等仅呈残留。

(4) 钾长石-(钠长石)化阶段 钾长石含量大大增加，石英、钠长石含量略有降低，Ab/An比值继续增大，形成阴影状-均质混合岩及混合花岗岩等。岩石的 $K_2O$ 含量再次急剧升高， $SiO_2$ 变化不大， $Na_2O$ 则显著降低。岩石中常出现一些部分熔融形成的花岗-伟晶岩团块，岩石结构以钾长石交代其它所有矿物为主。

(5) 晚期钠长石-白云母阶段 岩石进一步混合岩化产生网状、脉状钠长石及白云母。以钠长石交代钾长石形成的条纹结构为特征。

综上所述，混合岩化过程是一个低密度、小比重的长英质矿物取代高密度、大比重的暗色矿物及基性斜长石的过程。在这一过程中， $SiO_2$ 、 $Na_2O$ 的变化趋势及变化量比 $K_2O$ 稳定得多， $K_2O$ 的脉动性标志着混合岩化溶液的脉动性成分变化， $SiO_2$ 的相对稳定则可指示岩石混合岩化程度的相对高低。

表 1 混合岩造岩氧化物相关阵  
Table 1. Correlation matrix of rock-forming oxides from migmatites

	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	FeO	MnO	MgO	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$P_2O_5$
$SiO_2$		-0.85	0.11	-0.88	-0.89	-0.57	-0.93	-0.91	0.48	0.48	-0.65
$TiO_2$			-0.39	0.84	0.87	0.45	0.70	0.81	-0.50	-0.47	0.65
$Al_2O_3$				-0.28	-0.27	-0.19	-0.13	-0.25	0.59	0.13	-0.08
$Fe_2O_3$					0.72	0.49	0.81	0.83	-0.53	-0.46	0.56
FeO						0.55	0.82	0.87	-0.54	-0.51	0.65
MnO							0.57	0.53	-0.58	-0.08	0.36
MgO								0.88	-0.44	-0.54	0.51
CaO									-0.51	-0.67	0.54
$Na_2O$										0.00	-0.22
$K_2O$											-0.31
$P_2O_5$											

2. 混合岩化过程中造岩元素行为：对45个混合岩化学成分分析资料进行元素间相关分析表明(表1)， $SiO_2$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $Al_2O_3$ 在混合岩化过程中具有相对独立活动的特点，其余氧化物则明显随 $SiO_2$ 含量升高而呈线性降低。

随混合岩化的增强， $Al_2O_3$ 经历了一个由含量升高到降低的过程(图1)，这和混合岩化过程中的长石化有着密切的关系，在早期，随着 $Na_2O$ 的带入(有时还有少量Ca的加入)，岩石中产生了Ca的再分配，形成An较低的斜长石，致使斜长石总量大大增加，伴随有Al的大量加入。当岩石中的Ca被稀释到一定限度，形成的长石为钠长石时，Al的带入便达到高峰，随混合岩化的进一步增强，

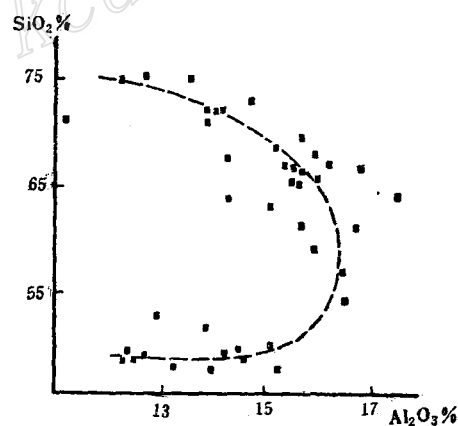


图 1 混合岩的 $SiO_2$ 对 $Al_2O_3$ 图解

Fig. 1.  $SiO_2$  versus  $Al_2O_3$  diagram of migmatites.

$Al_2O_3$ 便和Ca一起被稀释或带出。这一过程的最终结果是,混合岩化早期, $Al_2O_3$ 和 $Na_2O$ 显示正相关关系,而混合岩化晚期, $Al_2O_3$ 则与CaO呈正相关,这一特征已为胡志宏(1984)的研究所证实。因此, $Al_2O_3$ 也并非独立活动的组分,而只有 $SiO_2$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 才是在混合岩化过程中独立活动的。它们的活动最终使岩石的石英、斜长石、钾长石的含量升高,并使岩石成分逐渐靠近低温共结槽。

上述结果表明:①富含 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $SiO_2$ 的溶液渗入原岩并对其产生强烈的交代活动是太华群发生混合岩化的根本原因。联系变质作用过程中,从浅变质带到深变质带 $SiO_2$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 大量降低的现象<sup>[2]</sup>,我们推断混合岩化溶液主要来自于下部地壳和上地幔的去硅、去碱和去气作用<sup>[2][3]</sup>。②混合岩化过程是一个 $K \rightarrow Na$ 在前, $Si(Al)$ 随后的溶液体系对岩石不断地、多阶段地交代过程。

## 二、混合岩中U、Th、Sr、Rb和La/Yb比值的成岩意义

随混合岩化加强,岩石的U、Th含量皆明显升高(表2)。在岩石产生部分熔融之前,Th的升高幅度总大于U的升高幅度,而到混合花岗岩阶段,U的升高幅度变大,而Th仍稳定升高。因此,Th/U比值先升高,到形成混合花岗岩时降低。将此和变质过程Th、U的变化(表3)对比可知,它和地槽堆积物随造山深埋而产生的前进变质作用中U、Th的变化关系是互补的。这就表明,混合岩化带来脉体物质的溶液主要来自于随地槽物质深埋在下部地壳及上地幔的去硅、去碱、去气作用中产生的上升物质。

表2 太华群中混合岩的U、Th含量表(ppm)

Table 2. Concentrations of U and Th in migmatites from Taihua Group

岩石名称	样品数	U	Th	Th/U
斜长角闪片麻岩	1	1.6	2.0	1.25
条带状混合岩	1	1.9	3.5	1.84
条痕状混合岩	1	2.0	22.0	11
混合花岗岩	2	4.0	39.3	9.8

样品承南京大学放射性矿产专业教研室分析

表3 U、Th、K在变质岩中的含量

Table 3. U, Th and K contents of metamorphic rocks

变质相	样品数	Th (ppm)	U (ppm)	Th/U	K (%)
高级麻粒岩相	7	0.93	0.39	2.38	2.92
低级麻粒岩相	5	4.09	0.88	4.46	2.05
高级角闪岩相	3	9.39	1.22	7.67	1.97
绿帘角闪岩相—低级角闪岩相	4	26.48	3.45	7.68	3.38

据 Heler (1965) 资料整理

随交代作用加强, 岩石出现部分熔融, 所形成的岩石中原岩所占的比例增大 (原岩——斜长角闪片麻岩的Th、U含量及Th/U比值均较低), 从而使Th/U比值降低。可以预料, 如果部分熔融比例升高, Th、U、Th/U值将全部降低。

表4列出了混合岩Rb、Sr和Ca的分析结果。随混合岩化作用的增强, Rb、Sr含量大幅度升高, 而CaO含量则降低, Rb/Sr比值先升高后降低。这一特征表明, 在混合岩化的“岩汁”源区, Sr和Rb一样具有不相溶元素的特征, 斜长石在这里不能作为稳定相存在, 从而推断这一位置应在下部地壳或上地幔。

表4 太华群混合岩Rb、Sr、Ca含量表

Table 4. Rb, Sr and Ca contents of migmatites from Taihua Group

样品名称	样品数	Rb(ppm)	样品数	Sr(ppm)	CaO(%)	Rb/Sr
斜长角闪片麻岩类	10	43.8	7	165.7	8.13	0.29
混合岩化斜长角闪片麻岩			10	182.8	8.16	
粗条带状混合岩	6	163.3	14	255.4	4.30	0.64
细条带状混合岩	5	159.1	4	240.0	1.46	0.66
均质混合岩			1	454.0	0.99	
混合花岗岩	3	207.4	7	383.1	2.51	0.54

Rb 承南京大学分析中心测试; Sr、Ca 承江苏地质局实验室测试

表5列出了太华群变质-混合岩的稀土元素特征参数。A、B、C、D分别标志由四类不同原岩所形成的, 其岩相特征有明显差异的四组变质-混合岩, 其中A组原岩为变质基性火山

表5 太华群主要岩石类型稀土元素特征参数①

Table 5. REE parameters of main types of Rocks in Taihua Group

系列	岩石名称	样品数	特征参数						
			$\Sigma\text{La-Nd}$	$\Sigma\text{Sm-Ho}$	$\Sigma\text{Er-Lu}$	$\Sigma\text{REE}$	LREE-HREE	La/Yb	Eu/Eu*
A	斜长角闪片麻岩	3 <sup>②</sup>	46.75	13.29	5.89	65.94	3.26	4.75	1.09
	混合岩化斜长角闪片麻岩	2	47.18	6.54	2.95	55.67	7.93	7.50	1.22
	条带-条带状混合岩	4	178.54	16.37	4.47	199.39	13.88	11.80	0.86
	条痕-片麻状混合岩	3	593.91	23.23	2.13	619.27	45.99	107.00	0.69
	均质混合岩	1	1223.64	30.7	2.18	1256.51	86.99	539.34	0.47
B	混合岩化富石英变粒岩	1	9.17	1.01	0.35	10.53	10.70	18.31	2.94
	细条带状混合岩	2	152.10	9.37	1.4	163.27	24.03	46.11	1.12
C	石英云母片岩	1	426.90	52.80	18.98	498.68	8.43	12.91	0.52
	条带状混合岩	1	148.04	16.77	6.33	171.14	9.04	14.24	0.60
	细条带状混合岩	1	222.80	20.95	9.28	253.03	10.21	14.48	0.40
D	条带状混合岩	2	49.49	5.19	1.21	55.88	12.96	25.86	1.02
	细条带状混合岩	1	131.08	10.63	2.53	144.24	16.59	32.69	0.88
	条痕-均质混合岩	2	247.65	17.97	3.90	269.51	17.37	37.37	0.77

① 样品承湖北地质实验室分析; ② 其中有一个样品资料引自蒋敬业 (1982)

岩, B组原岩为长石石英砂岩, C组以酸性火山岩为原岩, D组原岩为杂砂岩类<sup>①</sup>。由表5可知, 在四个系列的变质-混合岩中, La/Yb (或LREE/HREE) 比值无例外地随混合岩化增强而升高, 表明混合岩化溶液具较高的 $\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE比值 (或La/Yb比值), 同样表明混合岩化溶液的深源特征。

### 三、混合岩化过程中的元素行为

#### 1. 稀土元素

对A组13个变质-混合岩样品的REE分析结果进行元素的相关计算表明, 同组样品(即同原岩)的单个稀土元素之间具有明显的线性相关关系(表6)。对B、C、D组分别计算也得

表 6. A组混合岩样品的稀土元素相关阵  
Table 6. Correlation matrix of REE in migmatites of Group A

	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
La		1.00	1.00	0.98	0.00	0.95	0.62	0.78	-0.85	-0.04	-0.15	-0.33	-0.04	-0.55	-0.57
Ce			1.00	0.99	0.00	0.96	0.62	0.80	0.86	-0.03	-0.15	-0.32	0.05	-0.55	-0.57
Pr				0.99	0.00	0.97	0.63	0.82	0.87	-0.01	-0.14	-0.32	0.04	-0.56	-0.58
Nd					0.00	0.99	0.67	0.86	0.89	0.03	-0.10	-0.29	0.07	-0.54	-0.57
Pm						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sm							0.73	0.92	0.92	0.14	-0.01	-0.20	0.14	-0.48	-0.53
Eu								0.85	0.82	0.51	0.47	0.29	0.50	0.05	-0.02
Gd									0.97	0.47	0.36	0.18	0.46	-0.13	-0.23
Tb										0.46	0.36	0.18	0.51	-0.14	-0.25
Dy											0.92	0.88	0.89	0.60	0.39
Ho												0.97	0.95	0.82	0.68
Er													0.92	0.88	0.73
Tm														0.73	0.57
Yb															0.96
Lu															

出了同样的结论。值得注意的是, 这种线性关系并不恒定, 例如, La 和其它元素的相关性从Ce到La依次从高度正相关到不相关直到明显负相关, 其它元素亦同样如此。所以, 这种相关性不是由REE本身相似的地球化学性质决定的。进一步对混合岩的REE比值协变图分析可知(图2), 相同原岩的混合岩样品点在图上的分布与双曲线函数  $ax + bxy + cy + d = 0$  的理论曲线(图2中的实线)吻合较好, 方程的系数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  对不同的元素比值是不同的(图2A、B)。这就表明, 混合岩化过程中REE行为符合沃尔默(Vollmer, 1976)<sup>[6]</sup>和兰缪尔(Langmuir et al, 1978)<sup>[7]</sup>指出的两元体系混合模式, 即任何两种物质相混合, 在其元素协变图上表现为直线, 而在其元素比值协变图上则表现为  $ax + bxy + cy + d = 0$  的双曲线。式中  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  取决于二相混合体系中元素的浓度。由于元素含量总为正值, 故样品点不可能落于第三象限, 图2A、B均只画出了双曲线理论曲线的第一象限部分。作为混合岩化过程

① 作者对“混合岩化过程中稀土元素行为及混合岩成因”另有专述。

REE行为符合两体系混合模式的直观反映,在混合岩化过程中,稀土元素含量变化与未(或浅)混合岩化变质岩中对应元素含量有关,如变质岩的 $\Sigma$ REE或某单个元素含量高,则混合岩化使之降低,反之则使之升高(表5)。

由于REE行为符合两体系混合模型,因此,它在混合岩化过程中的平衡方式并非带一带来,而是带一稀释;不同类型混合岩中REE含量是原岩和带一脉体两体系对应元素按不同比例混合的结果。因此,随混合岩化作用的增强,元素的变化幅度、趋势,取决于该两体系元素的浓度差,浓度差越大,变化幅度越大,称这一元素变化规则为“浓度差规则”。显然,符合这一规则的元素在混合岩化过程中成矿可能性极小。

必须指出,由于元素分布的不均匀性导致的取样误差和分析误差,在客观上造成了元素的相关性变差或在其协变图上离散性变大。这在混合岩化过程中元素的变化量较小时(如表6中的Dy、Ho、Er、Tm等)将显得特别明显。

## 2. 微量元素及部分造岩元素

由于恢复混合岩原岩的“微量元素模型”<sup>①</sup>只具有统计意义,加上原岩本身的不均匀性和样品较大的分析误差,这就使得我们不可能用数学方法来验证微量元素和常量元素是否符合浓度差规则,而只能通过正负混合岩中元素含量变化的对比来似近讨论。

图3显示了正负两组(A、B)变质-混合岩样品随混合岩化增强元素的变化趋势。据此,可把元素分为六类:①在两组中同步升高元素,如Ba、Be、Ga、Sr、K<sub>2</sub>O等。②同步降低元素,如Co、Cr、Sc、Ti、V、MgO等。③不同步变化元素,如Mn、Ni、Y及CaO等,它们在B组中升高的最高值不高于A组中降低的最低值。就这三类元素而论,混合岩化作用在不同岩石中产生均匀化,随混合岩化增强,各元素的变化趋势、幅度取决于其在原岩中的含量,最终在两组均质-伟晶状混合岩中趋于相等,它们是符合浓度差规则的。④同步升降元素,如Li、Nb等,它们和Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>一样,在混合岩化早期含量明显升高,而在晚期含量降低,在混合岩化过程中没有明显的富集趋势,其行为本质上是受K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>等元素之间平衡关系制约的,因此成矿可能性亦小。⑤元素Zn(Cu、Pb)在混合岩化过程中并不产生均匀化,相反,它向基性原岩的混合岩化产物中富集,这一现象的意义有待研究。由于其迁移的定向性,在该地区有矿化的可能性。⑥先降后升元素Mo、Au(详后),它们随混合岩化作用增强,首先被从岩石中带出,并在一定的构造裂隙部位,或在混合岩化最终形成的低融组分聚集产物(如花岗状-伟晶状混合岩)中产生富集。因此,它们在混合岩化过程中,在合适的

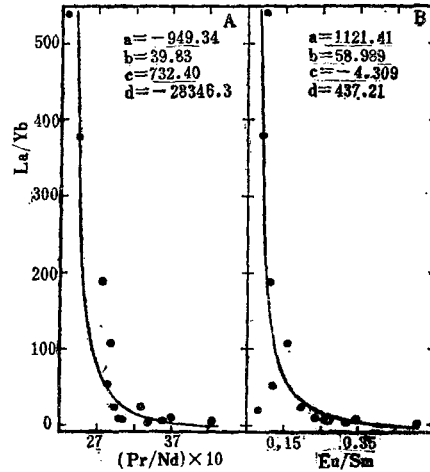


图2 混合岩的REE比值协变图

(样品资料来源同表5;标准混合方程为双曲线:  $ax + bxy + cy + d = 0$ )

Fig. 2. Ratio-ratio plots of REE in migmatite.

(The mixing equation being a hyperbola in the form of  $ax + bxy + cy + d = 0$ ).

① 胡志宏(1984),小秦岭金矿带成矿地质背景、成矿物质来源及金的迁移沉淀机理研究。

构造岩浆条件下可能成矿。

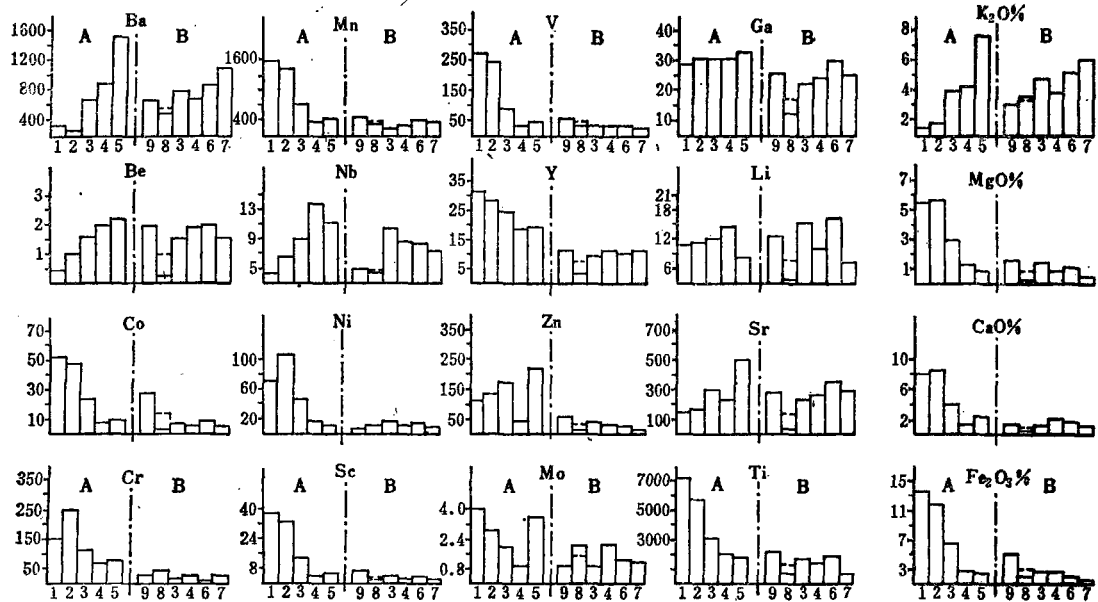


图3 混合岩化过程中元素变化图解

(A—原岩为基性火山岩的混合岩组, B—原岩为沉积岩的混合岩组)

- 1—斜长角闪片麻岩类; 2—混合岩化斜长角闪片麻岩类; 3—粗条带状混合岩; 4—细条带状混合岩; 5—均质-伟晶状混合岩; 6—均质混合岩; 7—伟晶状混合岩; 8—石英岩-富石英变粒岩; 9—石英云母片(麻)岩类;  
 ---变质沉积岩类平均值(8和9平均)(图中单位为ppm)

Fig. 3. Histogram showing variation of elements in the process of migmatitization.

(A—Migmatites from basic volcanic rocks; B—Migmatites from sedimentary rocks.)

- 1—Plagioclase hornblende gneisses; 2—Migmatized plagioclase hornblende gneisses; 3—Coarse striped migmatites; 4—Fine striped migmatites; 5—Homogenic-pegmatoid migmatites; 6—Homogenic migmatites; 7—Pegmatoid migmatites; 8—Quartzite—quartz-rich granulite; 9—Quartz-mica gneisses; ---Averages of metamorphosed sedimentary rocks (averages of 8 and 9).

#### 四、混合岩化与金钼矿化的关系

1. 钼 表7A列出了太华群斜长角闪片麻岩、混合岩化的钼含量变化, 显示了钼从岩石中转移并最终向混合岩化形成的低熔组分聚集或再生岩浆中富集的明显趋势, 显示了混合岩化过程中钼矿化的可能性。

在东秦岭钼矿带, 钼矿化主要有碳酸岩脉型及斑岩型两类。据黄典豪等(1984)<sup>[4]</sup>、孙晓明(1985)的研究, 脉型钼矿以出现大量碳酸盐矿物为特征, 其矿化时代为200Ma左右, 与花岗岩体无直接的时空联系。矿石富含Th、U等大离子半径元素, 但Nb含量低,  $\Sigma$ REE达2560 ppm, LREE高度富集, La+Ce为1900ppm, 而HREE则很低。方解石中富含Ba(59.17ppm)及Sr(386.46ppm)。这些现象均与太华群高度混合岩化产生的低熔组分聚集产物中元素的分布特征相一致。矿脉中方解石的  $(Sr^{87}/Sr^{86})_i = 0.706^{[4]}$ , 与太华群斜长角闪岩0.707基本一致; 辉钼矿具高的Re含量(360ppm), 表明它与以基性火山岩为主要原岩的太华群之间的内在联系。成矿溶液  $\delta^{34}S_x = +1\%$ <sup>[4]</sup>,  $\delta^{18}O = -2\text{---}+1.93\%$ , 方解石的  $\delta^{13}C = -5\text{---}7\%$ , 成矿温

表7 太华群岩石的金、钼含量

Table 7. Au and Mo contents of rocks from Taihua Group

岩石名称	A		B		C	
	样品数	Mo (ppm)	样品数	Au (ppb)	样品数	Au (ppb)
斜长角闪片麻岩	7	4.06	6	0.95	4	1.30
混合岩化斜长角闪片麻岩 (A)	10	2.83			2	1.50
石英云母片岩 (C)						
粗条带—条带状混合岩	15	1.91	10	0.67	5	0.70
细条带—片麻状混合岩	4	1.00			2	0.50
条痕状混合岩	1	1.00	10	1.00	2	0.80
均质—花岗状—伟晶状混合岩	8	4.10	4	1.50	1	2.60
混合岩化衍生的长石—石英细脉体					1	470

A. 太华群随机样品 (原岩为基性火山岩类); B. 太华群杨紫峪剖面 (混合岩化受背斜控制, 原岩为基性火山岩类); C. 竹峪及枪马剖面 (混合岩化不受背斜控制, 原岩未分)。

度低 (100—300℃) 等则符合混合岩化溶液的基本特征 ( $\delta^{18}\text{O}$  值偏低可能反映有天水加入), 也与太华群中之石英脉型金矿 (如小秦岭) 的成矿溶液同位素组成相一致。矿石铅同位素值大部分落于  $\mu = 8.65$  的铅同位素增长线上, 模式年龄 370—498Ma, 多为 390—460 Ma 之间, 与太华群加里东晚期的一次混合岩化年龄相吻合。铅同位素组成也表明其来自太华群。至于斑岩钼矿, 吴澄宇 (1984) ① 指出, 与钼矿化有关的岩浆由深部上升的岩浆与太华群基底部分熔融产物相混合而成。黄楚秀等 (1984) ② 则认为这些斑岩有壳源的, 也有壳、幔混合源的; 而铅同位素资料则表明, 成岩物质可能主要是来自太华群的。总之, 作为这一地区基底地壳的太华群应当是本区斑岩体重要的岩浆来源区。乔怀栋等 (1984) ③ 的研究表明, 太华群是对该区钼矿化“贡献最大”的矿源层, 矿石铅同位素资料支持了这一点。因此, 对碳酸盐脉型钼矿而言, 成矿溶液的初始来源可能是沿深大断裂上升的幔源流体。对斑岩钼矿而言, 矿床最终形成还需岩浆分异、结晶、蚀变及有利的局部化学条件等许多因素, 但是太华群在深源溶液作用下的混合岩化导致富集钼的流体相或再生岩浆的形成是钼矿化不可缺少的环节。这可能是东秦岭许多钼矿化与太华群基底有密切联系的重要原因。

2. 金 在不同地质背景下, 金随混合岩化增强, 在岩石中的含量变化有所不同。在背斜构造控制下, 混合岩化溶液和溶液中的金则向背斜轴部这一低压带或应力释放中心运移。因此, 从背斜两翼向轴部, 混合岩中的金含量和其混合岩化程度有同步升高的趋势 (表7 B)。在没有背斜等大型构造控制的剖面上, 金在岩石中的含量随岩石的混合岩化程度增强而降低。这一现象在从原岩到条带状混合岩的变化中显得特别明显, 从而表明了金向溶液中运移的特征。这种运移 (而不是稀释) 的证据是大部分剖面中伟晶状—花岗状混合岩有较高的金含量, 在一些低熔组分局部聚集形成的长英质脉体中金有明显富集 (表7 C)。上述两条剖面的共同特征是: 在以交代作用为主的混合岩化过程中, 金大量向溶液中运移; 转移于溶液中

① 吴澄宇 (1984), 河南栾川南泥湖—三道庄钼 (钨) 矿床、成矿岩体地质特征及成矿地质背景分析, 南京大学硕士研究生论文。

② 黄楚秀、黄建军 (1984) 小秦岭地区中生代花岗岩类成因系列及其与成矿关系, 全国钼矿学术讨论会论文集。

③ 乔怀栋、董有、刘长命、彭万夫 (1984), 豫西成钼小岩体成因及其钼质来源, 全国钼矿学术讨论会论文集。



的金可在压力差作用下向低压方向运移，在合适的构造部位富集，也可向再生岩浆中富集，最终随派生的热液运移，并聚集于合适的构造部位。

在小秦岭地区，经地质及地球化学研究表明，自晋宁运动以后，太华群仍产生了包括燕山期在内的多次混合岩化、花岗岩化作用，同时，该区的背斜及其轴部断裂系统又是控制多期地质作用的主要构造。因此，伴随晋宁运动以后的多期混合岩化、花岗岩化产生的多次金的富集作用，必然会在背斜轴部的断裂裂隙系统及其附近产生叠加。在小秦岭金矿带，有加里东期（或更早）的金矿化存在，许多矿脉金的分布服从叠加的对数正态分布。铅同位素表明，该区金矿的矿石铅来自于蓟县运动、加里东运动及印支—燕山运动中的多次铅矿化，与太华群相应的混合岩化年龄相一致，显示了多期矿化继承叠加的特征。矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值多为 $-2\text{—}+6.4\text{‰}$ ，均值为 $2.8\text{‰}$ ，多数值为 $4\text{‰}$ ，与太华群围岩 $\delta^{34}\text{S}$ 值（ $-1.8\text{—}4.6\text{‰}$ 均值为 $2.98\text{‰}$ ，及众值 $4\text{‰}$ ）基本一致，表明硫亦来自太华群。成矿溶液 $\delta^{18}\text{O}=5.24\text{—}1.82\text{‰}$ ，方解石 $\delta^{13}\text{C}=-3.19\text{—}-7.59\text{‰}$ ，具有混合岩化溶液的特征。因此，小秦岭金矿带的形成正

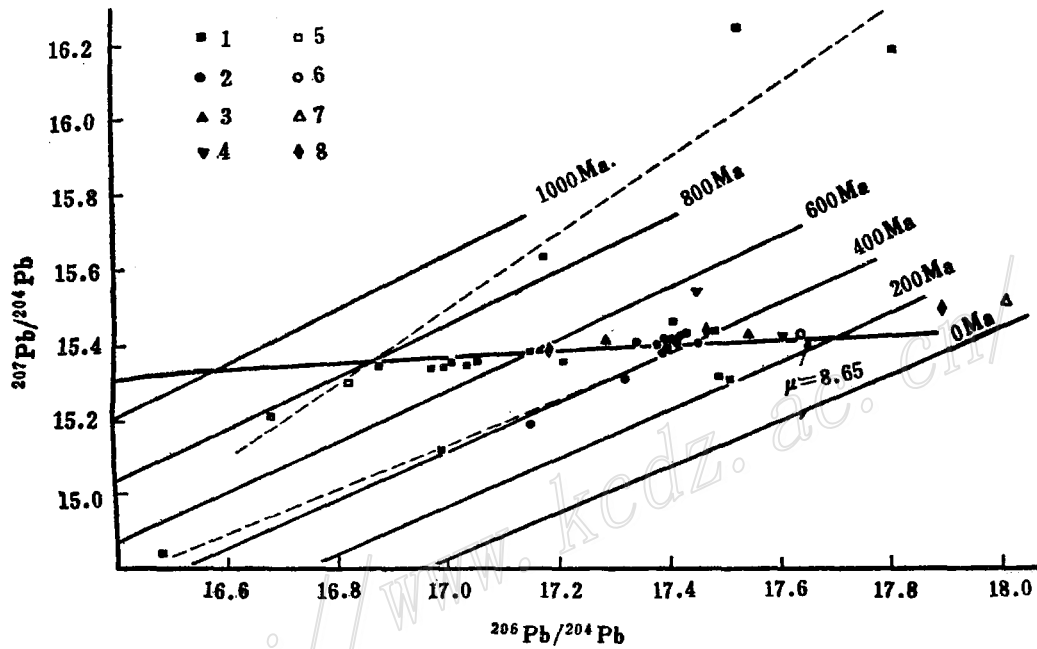


图4  $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{204}$ 与 $\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$ 关系图

(金矿资料据王亨治等1983, 周军1983, 阎竹斌1983, 胡志宏1984; 钼矿资料据黄典豪等1984, 吴澄宇1984)

1—小秦岭金矿中的方铅矿; 2—碳酸岩脉型钼矿中的方铅矿和钾长石; 3—金堆城钼矿中的方铅矿和钾长石; 4—南泥湖钼矿中的方铅矿和黄铁矿; 5—太华群中与金矿化有关的花岗岩中长石铅; 6—老牛山岩体全岩; 7—金堆城斑岩体全岩; 8—南泥湖斑岩体钾长石; 虚线据异常铅拟合的回归直线

Fig. 4.  $\text{Pb}^{207}/\text{Pb}^{204}$  versus  $\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$  diagram.

1—Galena from the Xiaqingling gold deposit; 2—Galena and Potash feldspar from the carbonate vein type molybdenum deposit; 3—Galena and potash feldspar from the Jinduicheng molybdenum deposit; 4—Galena and pyrite from the Nannihu molybdenum deposit; 5—Lead in feldspar from the gold-related granite within Taihua Group; 6—Whole rock of the Laoniushan intrusive body; 7—Whole rock of the Jinduicheng porphyry body; 8—Potash feldspar from the Nannihu porphyry body. (Dash lines refer to regression lines fitted by anomalous lead).

是在构造控制下, 伴随太华群多期混合岩化、花岗岩化产生的多期金的富集作用相互继承、叠加的结果。

**3. 金、钼矿床的铅同位素组成** 无论是碳酸盐岩脉型、斑岩型钼矿、太华群中的石英脉型金矿的矿石铅, 还是与斑岩钼矿有关的斑岩体, 与金矿化有关的太华群中改造型花岗岩的岩石铅, 除少数异常铅外, 绝大部分落于同一条 $\mu=8.65$ 的铅同位素增长线上(图4), 属正常铅, 且来自于同一源区。计算表明: 该源区Th/U比值为3.92—5.30, 多为4.0—4.3, 平均值4.21, 介于早太古代和元古代后地壳铅源平均Th/U(4.65和3.8)<sup>[5]</sup>之间。该源区铅同位素演化 $\mu$ 值为8.45—8.91, 其中大部分为8.52—8.72, 平均8.66, 高于地球历史内地幔铅演化( $\mu=7.8—7.9$ )<sup>[6]</sup>。单阶段铅模式年龄6—8亿年、4—5亿年、1.5—2.5亿年等三个年龄区间, 与太华群在蓟县运动、加里东运动和印支—燕山运动中的三次混合岩化年龄一致。由此推断, 本区金钼矿床绝大部分矿石铅及矿化岩体的岩石铅皆来自太华群混合岩化过程的钼矿化, 从而证实了前面的结论。

值得指出, 本区异常铅构成两条直线(图4), 一条由金矿和脉型钼矿共同构成, 基本平行400Ma等时线, 可能是加里东晚期深源上升溶液带来的少量铅和太华群混合岩化浸出的铅相混合的产物; 另一条则全由金矿矿石铅组成, 可能来自太华群中少量含钍矿物伟晶岩中钍的衰变产物; 而斑岩矿床的个别异常铅则可能是地台盖层中少量铅加入的反映。

工作中得到河南地矿局卢欣祥、张中迎、姚宗仁等工程师及任启江、武耀诚等老师的协助, 郑意春同志清绘了图件, 特此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 盛中烈、罗铭玖、李良骏 1980 豫西斑岩钼矿带的基本地质特征及主要成矿控制因素 地质学报 第54卷 第4期
- [2] 胡受奚、周顺之、刘孝善、陈泽铭 1981 矿床学(上册) 地质出版社
- [3] 南京大学地质系 1981 华南不同时代花岗岩及其与成矿关系 科学出版社
- [4] 黄典豪、震凤军、王义昌、汪秀杰 1984 东秦岭地区钼矿床铅同位素组成特征及成矿物质来源初探 矿床地质 第3卷 第4期
- [5] 陈毓蔚、朱炳泉 1984 矿石铅同位素组成特征与中国大陆地壳演化 中国科学(B辑) 第27卷 第3期
- [6] Vollmer, R., 1976, Rb-Sr and U-Th-Pb systematics of alkaline rocks; the alkaline rocks from Italy. Geochim. Cosmochim. Acta. Vol. 40 pp. 283—295.
- [7] Langmuir, C. H., Vocke, R. D., Hanson, Jr. G. N., and Hart, S. R., 1978, A general mixing equation with applications to Icelandic basalts. Earth Planet. Sci. Lett. Vol. 37, pp. 380—392.

## CHARACTERISTICS OF MIGMATITES IN TAIHUA GROUP OF WESTERN HENAN IN RELATION TO GOLD AND MOLYBDENUM MINERALIZATIONS

Hu Zhihong, Zhou Shunzhi, Hu Shouxi and Chen Zeming

(Department of Geology, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu)

### Abstract

Along the southern margin of North China platform, i. e., in western Henan, migmatites are extensively developed. Investigation shows that there do exist close genetic relationships of Taihua Group and its migmatization to mo-

lybdenum deposits in this area and gold deposits in this group.

Migmatites are dominated by metasomatic textures. Conditioning the behavior of all other rock-forming elements,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{Na}_2\text{O}$  seem to play a leading role in the process of migmatization which is actually a multistage metasomatic process noted for replacement of primitive rocks by the solutions. The behavior of REE, most minor elements and rock-forming elements is basically in conformity with the simple mixing model of two systems, and the balance mode of elements is characterized by "addition-dilution" instead of by the commonly described "gain-loss". This process is accompanied by the substitution of low-density minerals for high-density minerals and the expansion of the protolith in volume. It is therefore conceivable that the diverse elemental concentrations of different types of migmatites are the result of the mixture of elements from the protolith and those from the "brought-in" vein material in varying proportions. The variation range and tendency of elemental abundances with the intensification of migmatization depend on the difference in elemental concentrations of these two systems, i. e., the larger the difference, the wider the variation range, and this is called "law of concentration difference". Based upon this law, in combination with the variation tendency of elements during the migmatization, the following compositional features of the migmatizing solution might be deduced: (1) the main components are  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  and  $\text{Na}_2\text{O}$ ; (2) it is rich in incompatible elements of upper mantle, and characterized by  $\Sigma\text{LREE} \gg \Sigma\text{HREE}$  and  $\text{Th} \gg \text{U}$ ; (3) like rubidium, strontium also possesses the features of incompatible elements; (4) the solution is exactly deficient in such elements as magnesium, chromium and nickel which are abundant in pyrolyte and katametamorphic rocks of lower crust. All this indicates that the solutions are dominantly derived from lower crust or/and upper mantle.

The elements whose behavior accords with the concentration law has less possibility of mineralization during migmatization. Studies show that as molybdenum and gold do not fall with the law and have most distinct tendency of enrichment in the process of migmatization, they are likely to form ores. This presumption is supported by the extensive distribution of gold deposits in Taihua Group and the close relationship of molybdenum mineralization to the basement of the platform in this area. Plenty of data suggest that the formation of Morich fluid or palingenic magma through the migmatization of the group makes up an indispensable link in porphyry molybdenum mineralization of the area, and the Xiaoqinling gold metallogenic belt is exactly formed by the inheritance and/or superimposition of the multistage gold enrichment derived by multicycle migmatization and granitization of the group.