

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 辽东五龙地区燕山期侵入岩类同源岩浆演化 微量元素、同位素证据与金矿成矿

魏俊浩<sup>1,2)</sup> 刘丛强<sup>2)</sup> 唐红峰<sup>2)</sup>

1) 中国地质大学, 武汉, 430074; 2) 中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002

**内容提要** 辽东五龙地区中生代燕山期侵入岩类在时空上与金矿关系密切。该类侵入岩具有接近的微量元素 Th/U、Zr/Hf、Nb/Ta 值。随着不同岩石类型中的 SiO<sub>2</sub>、MgO 的含量的变化, (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> 和 (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>i</sub> 值保持不变, 说明岩浆在侵位过程中没有明显受到围岩物质混染, 且该类侵入岩有着相同的岩浆源区。Sr、Nd 同位素组成表明成岩物质以下地壳为主。三股流花岗岩和矿石有相似的 Pb 同位素组成, 结合含金石英脉(矿体)切穿已固结三股流花岗岩的地质事实, 暗示了三股流花岗岩不太可能是直接的矿质提供者, 推测成矿物质与成岩物质主体来自深部的同一岩浆源区, 金矿成矿是同一岩浆源区岩浆演化不同阶段的产物。

**关键词** 微量元素 同位素 同源岩浆 金矿成矿 辽东五龙地区

中国华北地台周边中生代金矿集中区有着某些相似的地质特征, 其中金矿床(点)围绕花岗岩体分布, 成矿前后脉岩的高密度、高频率产出是一个普遍的地质事实。前人对类似地区花岗岩成因、成岩成矿年代均做了大量的报道(胡世玲等, 1987; 李俊健等, 1996; 陈衍景等, 1998; 倪培等, 1999; 李华芹等, 2000), 单一脉岩岩石学及同位素组成特征(刘辅臣等, 1984; 包志伟等, 1996), 但对类似地区花岗岩和成矿有关的各类脉岩的联系知之甚少。对辽东五龙地区五龙金矿的成因(李兆龙等, 1987)、石英脉的标型特征(刘桂芝, 1994)、容矿构造(杨春福, 1997)、三股流花岗岩的成因(刘义德, 1987)作了较深入的研究, 而对与金矿有关的岩体及脉岩的成生联系报道的不多。本文以辽东五龙地区为例, 探讨中生代燕山期侵入岩类的渊源关系及与金矿成矿的联系。这对解释类似地区的地壳演化和成矿演化有着重要的理论意义。

## 1 地质概况

辽东五龙地区中生代侵入岩类按其侵位顺序(依据穿插关系)主要有大面积分布的印支期黑云母花岗岩(彭艳东, 1994), 燕山期花岗岩中的闪长岩包体(包体成浑圆状, 长、宽分别多为10cm、20cm左右, 主体为闪长质岩石), 燕山期呈岩株状产出的花

岗岩、各类脉岩。脉岩的侵位顺序(依据穿插关系)为浅色闪长岩脉、花岗斑岩脉、成矿期的含金石英脉以及含金石英脉定位之后的煌斑岩脉和深色闪长岩脉(图1)。本文主要研究燕山期三股流花岗岩至含金石英脉定位之前的各类脉岩。

三股流花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为  $129 \pm 2.9$  Ma, Rb-Sr 等时线年龄为  $131 \pm 4.5$  Ma, 故暂取三股流花岗岩的同位素年龄为 130 Ma<sup>①</sup>, 成矿期含金石英脉 Rb-Sr 等时线年龄为 120 Ma(魏俊浩等, 2001), 据此可以估计成矿前脉岩的侵位时间在 130~120 Ma 之间。

三股流花岗岩和有关脉岩均侵位于印支期的黑云母花岗岩(图1)和辽河群的变质岩中。依据岩石的结构、构造、矿物特征可将三股流花岗岩分为三个相带: ① 边缘相, 为石英二长闪长岩, 主体为中细粒结构, 致密块状构造。② 过渡相, 为花岗闪长岩, 中细粒似斑状结构、块状构造。③ 中心相, 为似斑状花岗岩, 具有似斑状结构, 块状构造, 矿物颗粒比过渡相粗大。与成矿时空关系比较密切的脉岩主要有成矿前的浅色闪长岩脉、花岗斑岩脉。在空间上不同方向脉状金矿体的产出均受成矿前脉岩的限制, 矿体多定位于脉岩的两侧, 紧邻脉岩产出, 这些脉岩均有不同程度的蚀变, 甚至有些脉岩的局部地段已构成了工业矿体。这些脉岩在侵位时间上有先

注: 本文为国家杰出青年基金项目(编号 049625304)的成果。

收稿日期: 2002-10-10; 改回日期: 2002-12-18; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 魏俊浩, 男, 1961年12月生。博士后, 现为 中国地质大学教授, 主要从事矿床地球化学和矿产勘查学教学和研究工作。通讯地址: 430074, 湖北武昌喻家山, 中国地质大学资源学院。

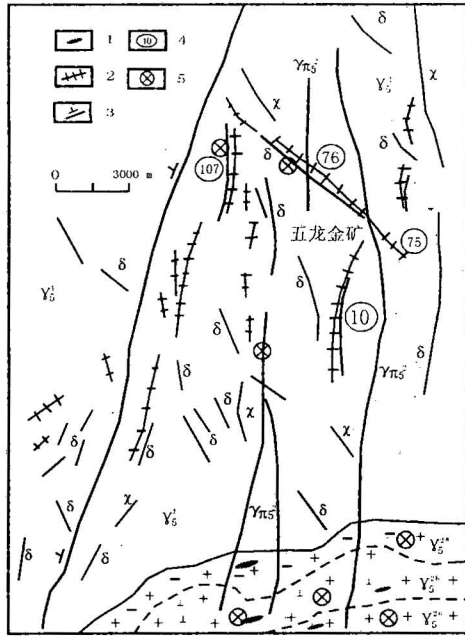


图1 辽东五龙地区地质及主要金矿体分布图

Fig.1 Sketch map showing the distribution of gold occurrences in Wulong area, eastern Liaoning

1—闪长岩包体; 2—含金石英脉; 3—断裂; 4—含金石英脉(或矿体)编号; 5—采样点;  $\gamma_3^a$ —印支期黑云母花岗岩;  $\gamma_3^b$ —三股流花岗岩边缘相;  $\gamma_3^c$ —三股流花岗岩过渡相;  $\gamma_3^d$ —三股流花岗岩中央相;  $\gamma_2^a$ —燕山期花岗斑岩脉;  $\delta$ —浅色细粒闪长岩脉;  $\chi$ —煌斑岩脉

1—Diorite enclosure; 2—Au-bearing quartz vein; 3—fault; 4—No. of Au-bearing quartz vein (or ore body); 5—sampling location;  $\gamma_3^a$ —Indo-Sinian biotite granite;  $\gamma_3^b$ —marginal phase of Sanguli granite;  $\gamma_3^c$ —transitional phase of Sanguli granite;  $\gamma_3^d$ —central phase of Sanguli granite;  $\gamma_2^a$ —Yanshanian granite-porphphy dyke;  $\delta$ —bleached fine-grained diorite dyke;  $\chi$ —lampoiphyre dyke

后差异。上述脉岩走向近SN或NW向,脉厚0.8~3m之间最多,延长数十米到上千米。其中花岗斑岩

脉规模最大,延长可达数千米。

## 2 样品采集与分析方法

三股流花岗岩的样品主要采自地表以下30m的采石场,采样点分布在岩体的中央相(似斑状花岗岩)、过渡相(花岗闪长岩)和边缘相(石英二长闪长岩),样品新鲜,无任何蚀变。闪长岩包体主要采自过渡相和中央相的采石场。浅色闪长岩脉和花岗斑岩脉样品均采自地下坑道五中段标高,同一种岩性的样品均采自同一条岩脉,所采集样品均新鲜无任何蚀变,所有样重一般为1000g左右,按照分析项目在室内分别对不同样品进行了加工分析。

微量元素分析用中国科学院地球化学研究所的ICP-MS完成;Sr、Nd、Pb同位素分析在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所,采用高压密封熔样及阳离子交换技术分离和提纯,然后在MAT-261固体同位素质谱仪上测定,其中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值采用 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ 进行标准化,并用NBS-987作标准样, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值采用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 进行标准化,并用BCR-1作标准样,以下所涉及的有关符号及定义如下:

$$\epsilon_{\text{Sr}}(t) = \left[ \frac{(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_s(t)}{(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}}(t)} - 1 \right] \times 10000$$

$$\epsilon_{\text{Nd}}(t) = \left[ \frac{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_s(t)}{(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{UR}}(t)} - 1 \right] \times 10000$$

式中下脚标S代表样品,UR代表均一储库,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_s(0)$ 、 $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_s(0)$ 为样品的现今观测值,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}}(0) = 0.7045$ ,  $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR}}(0) = 0.0827$ ,  $\lambda_{\text{Rb}} = 0.142 \times 10^{-10} \text{a}^{-1}$ ; CHUR代表球粒陨石的均一储库,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_s(0)$ ,  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_s(0)$ 为样品的现今测试值,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}(0) = 0.512638$ ,  $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}(0) = 0.1967$ ,  $\lambda_{\text{Sm}} =$

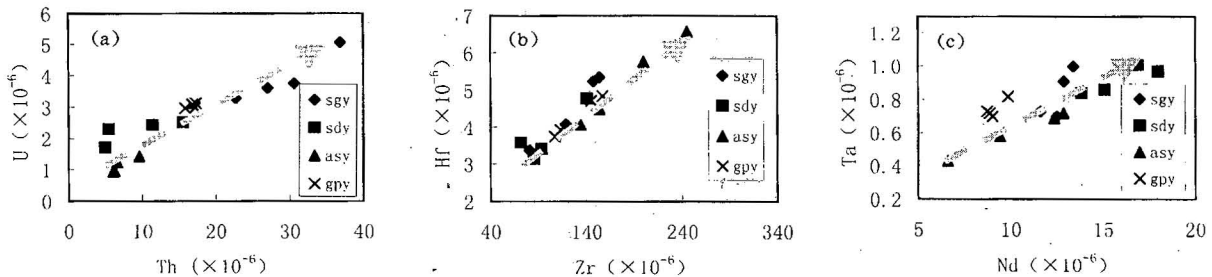


图2 辽东五龙地区侵入岩类部分微量元素比值

Fig.2 Ratios of trace elements of intrusive rocks in Wulong area, eastern Liaoning

图例说明见表1

Legend caption see Table 1

表 1 辽东地区三股流花岗岩及脉岩部分微量元素组成( $\times 10^{-6}$ )

Table 1 Trace element compositions( $\times 10^{-6}$ ) of Sanguliu granite and dykes in eastern Liaoning

岩石名称	样品编号	Zr	Hf	Zr/Hf	Nb	Ta	Nb/Ta	Th	U	Th/U
花岗岩	sgy-1	147.06	5.24	28.1	12.88	0.91	14.2	27.05	3.26	8.30
	sgy-2	153.50	5.35	28.7	12.51	0.70	17.9	36.92	5.07	7.28
	sgy-3	118.52	4.09	29.0	11.60	0.73	15.9	22.75	3.28	6.94
	sgy-4	80.84	3.39	23.8	13.41	1.00	13.4	30.68	3.77	8.14
闪长岩包体	sdv-1	93.11	3.42	27.2	15.10	0.66	22.9	14.97	1.71	8.75
	sdv-2	71.52	2.59	27.6	17.99	0.97	18.6	15.58	2.52	6.18
	sdv-3	85.32	3.15	27.1	13.84	0.84	16.5	11.43	2.44	4.68
	sdv-4	140.45	4.78	29.4	16.87	1.01	16.7	15.46	2.30	6.72
浅色闪长岩脉	asy-1	154.21	4.50	34.3	9.43	0.58	16.3	6.20	0.97	6.39
	asy-2	199.78	5.76	34.7	12.87	0.72	17.9	6.59	1.24	5.31
	asy-3	134.06	4.07	32.9	6.60	0.43	15.4	9.65	1.43	6.75
	asy-4	245.35	6.58	37.3	12.35	0.69	17.9	6.06	0.95	6.38
花岗岩斑岩脉	gpy-1	145.23	4.73	30.7	8.72	0.73	11.9	16.85	3.09	5.45
	gpy-2	156.95	4.85	32.4	9.02	0.70	12.9	15.88	2.97	5.35
	gpy-3	107.22	3.75	28.6	9.86	0.82	12.0	17.23	2.99	5.76
	gpy-4	113.51	3.93	28.8	8.87	0.72	12.3	17.32	3.12	5.55

注:样品在中国科学院地球化学研究所用 ICP-MS 法分析。

$6.45 \times 10^{-12} a^{-1}$ ,  $t$  代表成岩或成矿年龄。

### 3 分析结果和讨论

#### 3.1 Zr/Hf、U/Th、Nb/Ta 值特征

利用微量元素,特别是强不相容元素的含量比值来讨论岩浆演化备受人们的关注。岩浆演化过程对强不相容元素(总分配系数  $D \approx 0$ )和分配系数  $D$  相等的微量元素的影响是一致的(郑海飞等,1993;石林等,1997),也就是说,在不受外来物质(以地壳物质为主)混染的前提下,它们的比值不受岩浆演化方式的影响,都应等于岩浆源区该两元素的浓度比值,这些强不相容元素有 Th、U、Nb、Ta 等,  $D$  值相近的元素如 Zr、Hf、Sm 等。表1中列出了三对元素(U/Th、Zr/Hf、Nb/Ta)在不同类型岩石中的含量,并作出了相应元素比值图(图2),从表1、图2中可以看出,

辽东五龙地区在130~120Ma 之间,与成矿有密切时空关系的酸性岩体(三股流花岗岩)和中基性、酸性脉岩类,其 U/Th 值范围为5~8,平均值为6.43, Zr/Hf 值范围为27~38,平均值为31.95, Nb/Ta 值范围为12~16,平均值15.08,不同岩石类型中微量元素比值的变化范围主要是由于岩浆结晶分异作用和与微量元素赋存的矿物相有关。比较接近的 U/Th、Zr/Hf、Nb/Ta 值,表明在一个相对较短的时间(10Ma)内,上述侵入岩类在侵位过程中没有明显受到地壳物质的混染,同时也暗示了上述侵入岩类具有一致的岩浆源区。

#### 3.2 Sr、Nd 同位素比值特征及对成岩物质的指示

由于同位素比值一般不受岩浆源区部分熔融程度和岩浆演化程度的影响,残余岩浆的同位素比值与其源区的同位素比值几乎相同,所以它能有效地

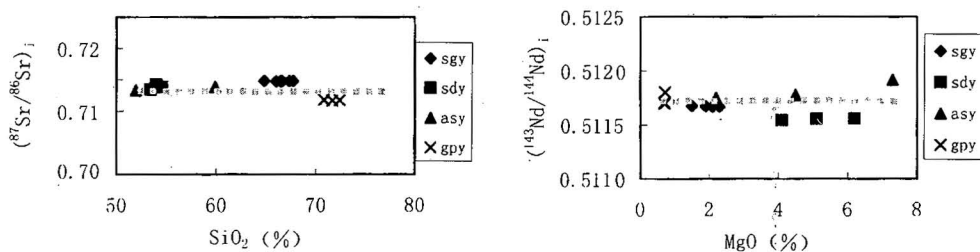


图3 辽东五龙地区侵入岩类 Sr、Nd 同位素初始比值

Fig. 3 Primary ratios of Sr、Nd isotopes of intrusive rocks in Wulong area, eastern Liaoning

图例说明见表1

Legend caption see Table 1

表2 辽东地区三股流花岗岩及岩脉 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素组成

Table 2 Rb-Sr, Sm-Nd isotopic compositions of Sanguliu granite and dykes in eastern Liaoning

岩石名称	年龄 (Ma)	样品号	Rb ( $\times 10^{-6}$ )	Sr ( $\times 10^{-6}$ )	$\frac{87\text{Rb}}{86\text{Sr}}$	$\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}} \pm 2\sigma$	$\left(\frac{87\text{Sr}}{86\text{Sr}}\right)_i$	$\epsilon_{\text{Sr}}(t)$
三股流花岗岩	130	sgy-1	145.2	285.4	1.5951	$0.71779 \pm 0.00003$	0.714843	148.98
		sgy-2	86.7	346.6	0.7204	$0.71619 \pm 0.00004$	0.714859	149.21
		sgy-3	154.2	386.9	1.1102	$0.71688 \pm 0.00002$	0.714829	148.78
		sgy-4	172.9	501.4	1.2958	$0.71721 \pm 0.00007$	0.714816	148.60
		sgy-5	169.4	254.8	1.9256	$0.71845 \pm 0.00004$	0.714892	149.68
		sgy-6	89.5	283.1	0.9088	$0.71650 \pm 0.00005$	0.714821	148.67
包体 闪长岩	130	sdv-4	173.1	353.8	1.4125	$0.71613 \pm 0.00003$	0.713521	130.21
		sdv-5	141.6	319.8	1.2780	$0.71664 \pm 0.00001$	0.714279	140.97
		sdv-3	158.2	337.5	1.3620	$0.71643 \pm 0.00004$	0.713913	135.79
岩脉 浅色闪长	120	asy-4	110.9	278.4	1.1502	$0.71536 \pm 0.00002$	0.713398	128.31
		asy-5	215.0	363.1	1.7093	$0.71723 \pm 0.00002$	0.714315	141.32
		asy-3	187.4	348.7	1.4321	$0.71641 \pm 0.00003$	0.713968	136.39
斑岩脉 花岗岩	120	gpy-4	97.78	304.4	0.9265	$0.71335 \pm 0.00003$	0.711770	105.19
		gpy-5	99.23	326.8	0.8758	$0.71331 \pm 0.00007$	0.711816	105.85
		gpy-3	103.41	318.7	0.9142	$0.71342 \pm 0.00005$	0.711861	106.48
岩石名称	年龄 (Ma)	样品号	Sm ( $\times 10^{-6}$ )	Nd ( $\times 10^{-6}$ )	$\frac{147\text{Sm}}{144\text{Nd}}$	$\frac{143\text{Nd}}{144\text{Nd}} \pm \sigma$	$\frac{143\text{Nd}}{144\text{Nd}}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$
三股流花岗岩	130	sgy-1	7.799	48.475	0.09668	$0.511760 \pm 0.000011$	0.51178	-15.473
		sgy-2	7.781	48.475	0.09703	$0.511762 \pm 0.000032$	0.511679	-15.394
		sgy-3	7.164	45.955	0.09423	$0.511758 \pm 0.000017$	0.511678	-15.471
		sgy-4	7.470	50.775	0.08893	$0.511750 \pm 0.000008$	0.511674	-15.539
		sgy-5 <sup>①</sup>	1.634	5.735	0.17218	$0.511750 \pm 0.000008$	0.51167	-15.633
		sgy-6 <sup>①</sup>	2.038	7.157	0.17213	$0.511816 \pm 0.000011$	0.51167	-15.632
包体 闪长岩	130	sdv-4	5.969	29.023	0.1244	$0.511652 \pm 0.000005$	0.511546	-18.040
		sdv-5	3.545	17.947	0.1196	$0.511662 \pm 0.000007$	0.51156	-17.765
		sdv-3	5.932	28.293	0.1269	$0.511667 \pm 0.000006$	0.511561	-17.756
岩脉 浅色闪长	120	asy-4	7.202	44.407	0.0980	$0.511995 \pm 0.000009$	0.511918	-11.035
		asy-5	3.137	15.516	0.1221	$0.511874 \pm 0.000012$	0.511778	-13.765
		asy-3	4.243	24.502	0.1046	$0.511835 \pm 0.000009$	0.511753	-14.253
斑岩脉 花岗岩	120	gpy-4	2.963	14.863	0.1206	$0.511794 \pm 0.000012$	0.511699	-15.303
		gpy-5	6.046	31.000	0.1178	$0.511896 \pm 0.000014$	0.511804	-13.269
		gpy-3	2.874	14.818	0.1170	$0.511799 \pm 0.000015$	0.511707	-15.150

注:样品在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所分析。① 花岗岩中的钾长石。

区分出壳源物质的混染。当岩浆来源于地幔时,岩浆中同位素比值近似等于幔源源区的同位素比值,而当岩浆中加入了地壳物质,将会使其同位素比值发生明显的变化,而与地壳中含量较高的  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、Rb、Ba、Th 等元素的含量变化呈正相关(郑海飞等, 1993; 石林等, 1997)。本研究区不同类型的侵入岩 Sr、Nd 同位素分析结果列于表2, 并作出图3。由图3可知, 随着  $\text{SiO}_2$ 、MgO 含量的变化, 不同类型岩石的  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  值稳定在 0.712~0.715 之间,  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$  值在 0.5116~0.5118 之间变化, 二者基本为一常数, 说明辽东五龙地区中生代与金矿成矿有密切关系的侵入岩类, 在侵位过程中没有受到明显的地壳物质混染, 证实了它们之间为一同源岩浆源区不同岩浆演化阶段的产物。对上述时空关系密切的4

类侵入体分别求得  $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 、 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  并作出图4, 侵入体的 Sr、Nd 同位素组成比较集中, 分布在下地壳岩系附近, 这暗示了辽东五龙地区中生代与金矿成矿关系密切的侵入岩类(尤其是 130~120Ma 之间定位的侵入岩类)的成岩物质主体来自下地壳。

### 3.3 Pb 同位素对成矿物质的指示

黑云母花岗岩、三股流花岗岩及矿体(含金石英脉)的23个 Pb 同位素数据见表3, 并作出图5, 由图5可知, 矿石铅和三股流花岗岩 Pb 同位素组成有着明显的相似性, 说明二者有明显的亲缘关系, 但铅同位素数据点线性特征, 也暗示了矿石铅至少是一个二元混合的产物, 而另一个端元很可能是基底岩系中富放射成因铅的那一部分。矿石铅和黑云母花岗岩铅同位素组成有着较明显的差异。结合野外地质

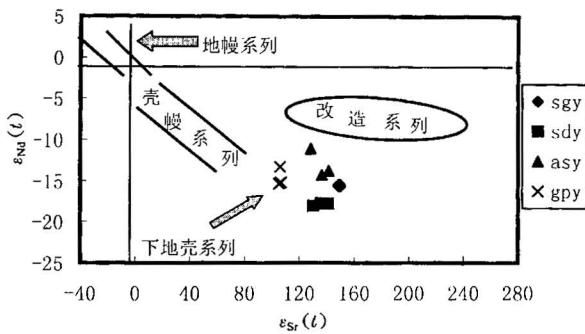


图4 辽东五龙地区侵入岩类  $\epsilon_{Sr}(t) - \epsilon_{Nd}(t)$  图解

Fig. 4  $\epsilon_{Sr}(t) - \epsilon_{Nd}(t)$  diagram of intrusive rocks in Wulong area, eastern Liaoning

图例说明见表1

Legend caption see Table 1

产状,含金石英脉(矿体)切穿三股流花岗岩体的地质事实,也就是说,矿化晚于三股流花岗岩体的定位,因此,固结以后的三股流花岗岩不太可能为成矿提供铅源,矿体和三股流花岗岩体相似的 Pb 同位素组成,可能表明三股流花岗岩成岩物质和成矿物质来自深部的同一岩浆源区。少部分成矿物质来自基底的变质岩系。

### 3.4 侵入岩类与金矿成矿的关系

在时间上,该地区三股流花岗岩成岩年龄约为130Ma<sup>①</sup>,代表性的金矿——五龙金矿成矿年龄为120Ma,成岩成矿时差为10Ma。在如此小的地域和如此短的时间内,金矿床(点)围绕三股流花岗岩体产出,矿体和浅色闪长岩脉密切伴生,花岗斑岩脉有明显的矿化,局部地段形成了工业矿体。三股流花岗岩与矿体具有接近的 U/Th、Zr/Hf、Nb/Ta 值,一致 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 和 ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>i</sub> 初始值和相似的 Pb 同位素组成。上述地质事实和微量元素、同位素证据皆表明在深部随着岩浆分异作用的进行,本区断裂脉动式活动频繁,这种活动使深部分异作用形成的岩浆和含金流体逐次从同一岩浆区中分离出来,最终脉岩和矿体定位于同构造中(Wyman et al., 1988)。三股流花岗岩体的侵位、各类脉岩的贯入以及矿体(含金石英脉)的定位有着同一的构造应力场和成矿流体运移的构造通道,该地区岩浆演化和成矿演化是在统一的地壳演化过程中完成的。在空间上,五龙金矿

位于该岩体北西侧,四道沟金矿产出于该岩体的南东侧(同时有多处金矿点围绕三股流花岗岩产出)。在两个矿床的深部几乎所有矿体均向三股流花岗岩体的方向侧伏,靠近三股流花岗岩体的矿体规模变大,并且矿体向下延伸越深。通过地表和坑道地质调查发现,离岩体由近及远,脉岩的发育密度由密变稀。地表最佳成矿地段为三股流花岗岩体外接触带0~6km 范围内,在这个范围内,发育有工业意义的大、中、小型金矿。

## 4 结论与认识

中生代燕山期(尤其在130~120Ma 之间),辽东五龙地区与金矿化有着密切时空关系不同类型的侵入岩其 U/Th、Zr/Hf、Nb/Ta 值以及 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub> 和 ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>i</sub> 值随着不同岩石类型 SiO<sub>2</sub> 和 MgO 含量的变化,均表现为一变化范围很窄的相对稳定值,这充分说明研究区内燕山期的侵入岩类在侵位过程中没有受到明显的地壳物质混染,不同类型岩石是同一岩浆源区岩浆演化不同阶段的产物。

Sr、Nd 同位素组成特征表明,侵入岩类的成岩

表3 辽东地区黑云母花岗岩、三股流花岗岩及金矿体铅同位素组成  
Table 3 Pb isotopic compositions of ores, Sanguliu granite and biotite granite in eastern Liaoning

样号	采样地质体	测试矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
A1	黑云母花岗岩	斜长石	17.288	15.565	38.694	本文
A2	黑云母花岗岩	斜长石	17.467	15.566	38.220	
A3	黑云母花岗岩	斜长石	17.406	15.586	38.472	
A4	黑云母花岗岩	斜长石	17.432	15.542	38.283	
A5	黑云母花岗岩	斜长石	17.389	15.489	38.376	
A6	黑云母花岗岩	斜长石	17.325	15.473	38.421	
A7	黑云母花岗岩	斜长石	17.193	15.464	38.342	
B1	三股流花岗岩	钾长石	17.712	15.595	38.739	彭艳东, (1994)
B2	三股流花岗岩	钾长石	17.717	15.580	38.749	
B3	三股流花岗岩	钾长石	17.649	15.556	38.521	
B4	三股流花岗岩	钾长石	17.675	15.552	38.659	
B5	三股流花岗岩	钾长石	17.582	15.621	38.725	本文
B6	三股流花岗岩	钾长石	17.496	15.617	38.698	
W107	含金石英脉	黄铁矿	17.569	15.572	38.533	彭艳东, (1994)
W79	含金石英脉	黄铁矿	17.628	15.627	38.738	
W123	含金石英脉	黄铁矿	17.596	15.587	38.598	
W23	含金石英脉	闪锌矿	17.639	15.660	38.836	李兆龙等, (1987)
W26	含金石英脉	黄铁矿	17.560	15.610	38.688	
W6	含金石英脉	磁黄铁矿	17.487	15.514	38.269	
W9	含金石英脉	黄铁矿	17.625	15.659	38.831	
W21	含金石英脉	黄铁矿	17.694	15.736	39.121	
W29	含金石英脉	黄铁矿	17.793	15.860	39.521	
W46	含金石英脉	黄铁矿	17.689	15.704	38.985	

注:样品在中国地质调查局宜昌地质矿产研究所分析。



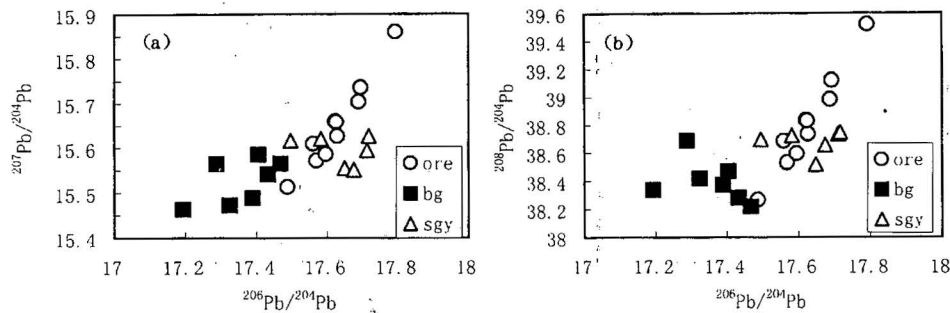


图5 辽东五龙地区黑云母花岗岩、三股流花岗岩及矿体 Pb 同位素组成

Fig. 5 Pb isotopic compositions of biotite granite, Sanguliu granite and ore bodies in Wulong area, eastern Liaoning

ore—矿石铅;bg—黑云母花岗岩铅;sgy—三股流花岗岩铅

ore—Ore Pb isotope; bg—biotite granite Pb isotope; sgy—Sanguliu granite Pb isotope

物质主体来源于下地壳。Pb 同位素的组成表明,主要的成矿物质和三股流花岗岩成岩物质来自同一岩浆源区,因此侵位于成岩和成矿之间的有关脉岩和成矿有一致的源区。在时空方面,岩浆演化对成矿演化有着明显的约束关系。

本项研究的重要认识为:在一个相对不太大的区域范围内(金矿集中区)和相对较小的成岩成矿时差间,侵入岩类对金矿成矿存在着明显的时空关系,金矿成矿是同源岩浆演化的产物,在同源岩浆演化的过程中构成岩浆演化与成矿演化的匹配关系,因此成矿区内的古老岩系不太可能直接提供金的成矿物质来源,古老岩系(构成下地壳的主体)可能要经过一个新的岩浆作用旋回,参与金的成矿作用,这是古老地壳区一部分金矿成矿的一个基本过程,用这种认识去解释中国华北地台周边金矿集中区具有上述相似地质特征的事实可能更具有合理性。

### 注 释

- ① 魏俊浩. 2002. 同源岩浆演化与金矿成矿——以辽宁五龙金矿为例. 中国科学院地球化学研究所博士后出站报告.

### 参 考 文 献

- 包志伟, 赵振华, 周玲隽. 1996. 冀西北水泉沟碱性花岗岩成因. 岩石学报, 12(4): 562~572.
- 陈衍景, 郭光军, 李欣. 1998. 华北克拉通花岗岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景. 中国科学(D辑), 28(1): 35~40.
- 胡世玲, 王松山. 1987. 山东玲珑和郭家岭花岗岩体的同位素年龄及地质意义. 岩石学报, 3(3): 83~89.
- 李华芹, 陈富文, 蔡红. 2000. 新疆准噶尔地区不同类型金矿床同位素年代研究. 地质学报, 74(2): 181~192.
- 李俊健, 沈保丰, 毛德保. 1996. 吉林夹皮沟金矿成矿时代研究. 地质学报, 70(4): 335~341.

- 李兆龙, 许文斗. 1987. 辽宁五龙金矿地质特征及矿床成因. 地质找矿论丛, (3): 245~261.
- 刘辅臣, 卢作祥, 范永香. 1984. 玲珑金矿中基性脉岩与矿化的关系探讨. 地球科学, 27(4): 37~45.
- 刘桂芝. 1994. 五龙金矿含金石英脉石英标型特征及找矿意义. 沈阳黄金学院学报, 13(1): 10~16.
- 刘义德. 1987. 辽宁省三股流花岗岩地质特征及成因探讨. 辽宁地质, (3): 245~260.
- 倪培, 徐克勤. 1999. 辽吉东部前寒武纪结晶基底中金矿床的成因探讨. 地质学报, 73(3): 231~242.
- 彭艳东. 1994. 五龙金矿成因研究. 贵金属地质, 3(1): 21~30.
- 石林, 解广豪, 李华梅. 1997. 南极罗斯岛及泰勒谷地区火山岩的地球化学特征及成因讨论. 岩石学报, 13(4): 488~497.
- 魏俊浩, 刘丛强, 赵永鑫. 2001. 辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时间. 地质论评, 47(4): 433~437.
- 杨春福. 1997. 辽宁五龙金矿容矿断裂构造与金矿体空间赋存特征. 黄金, 18(3): 3~8.
- 郑海飞, 韩吟文, 欧阳建平. 1993. 上地幔物质组成的研究方法. 地球科学进展, 8(2): 53~58.

### References

- Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua, Zhou Lingdi. 1996. Genesis of Shuiquangou alkali granite in Northeastern part of Hebei province. Acta Petrologica Sinica, 12(4): 562~572 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Guo Guangjun, Li Xin. 1998. Setting of metallogenic dynamics of gold deposits in granite terrane in the North China craton in Mesozoic era. Science in China (Series D), 28(1): 35~40.
- Hu Shiling, Wang Songshan. 1987. Isotope ages of Linglong and Guojialing batholiths of Shandong province and their geological implication. Acta Petrologica Sinica, 3(3): 83~89 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaqin, Chen Fuwen, Cai Hong. 2000. Isotopic age of different type gold deposits in western part of Zhongrur area in Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 74(2): 181~192 (in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Shen Baofeng, Mao Debao. 1996. Metalligenic epochs of the Jiapiougou gold deposit, Jilin. Acta Geologica Sinica, 70(4):

- 335~341(in Chinese with English abstract).
- Li Zhaolong, Xu Wendou. 1987. Genesis and geological characteristics of Wulong gold deposit in Liaoning. *Contributions to Geology and Mineral Resources*, (3): 245~261 (in Chinese with English abstract).
- Liu Fuchen, Lu Zuoxiang, Fan Yongxiang. 1984. On the relations between intermediate—basic dykes and mineralization in Linglong gold ore field. *Earth Science*, 27(4): 37~44 (in Chinese with English abstract).
- Liu Guizhi. 1994. Typomorphic characteristics of quartz in auriferous quartz vein and exploration significance in Wulong gold deposit. *Journal of Shenyang Institute of Gold Technology*, 13(1): 10~16 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yide. 1987. Discussion on the geological characters and genesis of granite in Sanguliu of Liaoning. *Liaoning Geology*, (3): 245~260 (in Chinese with English abstract).
- Ni Pei, Xu Keqin. 1999. On the genesis of gold deposits in Precambrian metamorphic basement, eastern Liaoning and Jilin. *Acta Geologica Sinica*, 73(3): 231~242 (in Chinese with English abstract).
- Peng Yandog. 1994. Genesis of Wulong gold deposit. *Journal of Precious Metallic Geology*, 3(1): 21~30 (in Chinese with English abstract).
- Shi Lin, Xie Guanghong, Li Huamei. 1997. Geochemical characteristics and discussion on genesis of volcanic rocks in Ross islands and Taylor vally, Antarctica. *Acta Petrologica Sinica*, 13(4): 488~497 (in Chinese with English abstract).
- Wei Junhao, Liu Congqiang, Zhao Yongxin. 2001. Time span of the major ore-forming stages of the Wulong gold deposit, Liaoning. *Geological Review*, 47(4): 433~437 (in Chinese with English abstract).
- Wyman D, Kerrich R. 1988. Alkaline magmatism, major structures and gold deposits: implications for greenstone belt gold metallogeny. *Economic Geology*, 83: 454~461.
- Yang Chunfu. 1997. The characteristics of the ore-bearing fracture tectonics and the gold ore-body's spatial occurrence of Wulong gold deposit. *Gold*, 18(3): 3~8 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Haifei, Han Yinwen, Ouyang Jianping. 1993. Study method of composition of upper mantle material. *Advance in Earth Science*, 8(2): 53~58 (in Chinese with English abstract).

## Metallogeny of Gold Deposits and Evidence of Isotopes and Trace Elements for the Comagmatic Evolution of the Yanshanian Intrusive Rocks in the Wulong area, Eastern Liaoning

WEI Junhao<sup>1,2)</sup>, LIU Congqiang<sup>2)</sup>, TANG Hongfeng<sup>2)</sup>

1) *Chinese University of Geosciences, Wuhan, 430074*

2) *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002*

### Abstract

There is a close space—time relation between Mesozoic Yanshanian intrusive rocks and gold deposits in the Wulong area, eastern Liaoning province. This kind of intrusive rocks have similar ratios of trace elements (Th/U, Zr/Hf, Nb/Ta). The ratios of (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> and (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)<sub>i</sub> keep unchanged despite of the change of the SiO<sub>2</sub> and MgO contents in different rocks, which shows that the magma was not obviously contaminated in the emplacement process, and that different rocks have the same magma source. Compositions of Sr and Nd isotopes show that diagenetic materials mainly came from the lower crust. The similar Pb isotopic compositions of the Sanguliu granite and ores in addition to the fact that the Au-bearing quartz veins cut through the Sanguliu granite body indicate that the Sanguliu granite is not a direct supply of metallogenic materials, It is considered that the diagenetic and metallogenic materials mainly came from the same deep sources, and that the gold deposits are products of magmatic evolution of the same provenance but different stages.

**Key words:** trace element; isotope; comagma; gold ore-forming process; Wulong area in eastern Liaoning