

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

# 论金矿床成矿年代的确定

——以丹东地区成岩成矿 Rb-Sr、U-Pb 同位素年代为例

魏俊浩<sup>1,2)</sup> 刘丛强<sup>1)</sup> 李志德<sup>2)</sup> 赵永鑫<sup>2)</sup>

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

**内容提要** 丹东地区是中国重要的金矿集中区, 到目前为止还没有较准确的成岩成矿年代数据报道。本文采用 Rb-Sr 等时线法和单颗粒锆石 U-Pb 法分别测出了丹东三股流花岗岩成岩年龄为  $131 \pm 5$  Ma 和  $129 \pm 3$  Ma, 因此三股流花岗岩综合同位素年龄定为 130 Ma。五龙金矿主成矿阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为  $120 \pm 3$  Ma。这一组年龄数据理顺了该地区构造—岩浆—成矿的时序关系, 对中国东部金矿成矿对比研究提供了有效的年龄数据。Sr、Nd 同位素的示踪结果表明三股流花岗岩的成岩物质与下地壳物质有关。三股流花岗岩和矿体(含金石英脉)相似的 Sr 同位素初始比值, 说明成矿和成岩物质可能来自深部同一岩浆源区。

**关键词** Rb-Sr、U-Pb 同位素 成矿时代 三股流花岗岩 五龙金矿 辽宁

准确的成岩成矿年代测定是矿床研究和对比的基础。近十几年来, 随着测试技术的发展, 一些新的测试方法得到了应用, 如: 以测定蚀变矿物及石英为主要对象的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法[吴尚全等, 1991; 徐启东等, 1998; 朱嘉伟等, 1999(同时测了方铅矿); 周涛发等, 2000; 江思宏等, 2000; 邵世才等, 2001; 王义天等, 2001; 刘玉琳等, 2002; 李强之等, 2002], 石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线法(陈富文等, 1999; 王秀璋等, 1999; 李华芹等, 2000), 白钨矿的 Sm-Nd 等时线法, 单颗粒水热锆石(李俊健等, 1996; 李惠民等, 1997)、金红石、榍石、磷灰石的 U-Pb 法和硫化物的 Re-Os 法等, 使金矿成岩成矿年代学研究取得了长足的进展。但是近几年来, 由于研究者对矿床内主要地质体的先后关系的基本地质事实重视不够, 而致使不同的研究者采用不同的测年方法对同一矿床得出十分悬殊的成矿年龄。如: 吉林夹皮沟金矿的含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为  $263 \pm 21$  Ma(李华芹等, 1993), 吴尚全(1991)的含金石英脉  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法三个年龄为  $1824 \pm 24$  Ma、 $1253 \pm 17$  Ma、 $203 \pm 60$  Ma, 而矿体单颗粒锆石 U-Pb 年龄主成矿期为 2469~2475 Ma(李俊建等, 1996), 显然, 到目前为止这些数据很难反应夹皮沟金矿的真实成矿年龄。张家口东坪金矿的成矿年代也存在上述问

题, 莫测辉等(1997)测定的含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为  $103 \pm 8$  Ma, 江思宏等(2000)利用  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法测定的成矿年龄为 172~188 Ma, 李惠民等(1997)测定的锆石 U-Pb 年龄为  $350.9 \pm 0.9$  Ma。看来同一矿床采用不同的定年方法测出不同的成矿年代是一个较为普遍的问题。为了得到较准确的年代学数据, 笔者认为必须确定矿床(区)内标志性地体与成矿的先后关系, 在选择测年样品时必须进行岩石学、矿物学等基础性地质研究, 选择合适的测年方法确定标志性地体成岩年代和矿床成矿年代, 使标志性地体的成岩年代与成矿年代互为限定。丹东地区金矿床(点)围绕三股流花岗岩体分布, 岩体侵位明显早于矿体定位, 到目前为止该地区还没有理想的成岩成矿年龄报道。本文选用 Rb-Sr 等时线法、单颗粒锆石 U-Pb 法确定了三股流花岗岩体成岩年代, 选用石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法确定五龙金矿的成矿年代, 得到了丹东金矿集中区高质量的年代学数据。Sr、Nd 同位素的示踪结果表明三股流花岗岩的成岩物质和成矿物质与下地壳物质有关, 并且均来自深部同一岩浆源区。

## 1 地质特征

五龙金矿在构造位置上位于中朝地台东部, 鸭绿江断裂的西侧。倪培等(1999)、魏俊浩等(2001)对

注: 本文为国家杰出青年基金(编号 049625304)和“九五”攀登预选项目(编号 95-预-39)的成果。

收稿日期: 2002-05-13; 改回日期: 2002-11-08; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 魏俊浩, 男, 1961 年 12 月生。博士, 教授。分别于 1994 年和 1999 年在中国地质大学(武汉)获得硕士和博士学位。主要从事矿床地球化学和矿产勘查学研究。通讯地址: 430074, 武汉, 中国地质大学资源学院; 传真: 027-87436746。

该矿床的成矿特征曾有专门研究。成矿受 NNE 向和 NW 向构造控制(图 1)。矿区主要出露的地层为古元古界( $Pt_1$ )辽河群浅变质岩。容矿围岩为印支期黑云母花岗岩,矿体和脉岩密切伴生,该矿床为一典型的石英脉型金矿。五龙金矿成矿具有多期多阶段的特征,依据石英脉的先后关系及金属硫化物产状可将五龙金矿的内生成矿期划分为 5 个阶段:(I)纯石英阶段;(II)黄铁矿-浅灰色石英阶段;(III)自然金-辉铋矿-硫化物阶段;(IV)深灰色石英-多金属极细粒硫化物阶段;(V)碳酸盐阶段。其中第 II、III 阶段为主成矿阶段。

三股流花岗岩呈岩株状产出,出露面积约 50  $km^2$ ,岩体具有较好的环状岩相分带,中心相和过渡相为斑状花岗岩,边缘相为中细粒花岗闪长岩,主要造岩矿物为斜长石(30%~45%)、石英(17%~26%)、钾长石(12%~28%),其次为黑云母和角闪石,副矿物有榍石、磷灰石、锆石和磁铁矿等。三股流花岗岩主量元素  $SiO_2$  的含量变化范围为 65.99%~67.71%, $K_2O > Na_2O$ , $K_2O + Na_2O$  的平均值为 6.92%。在主量元素—微量元素判别图解中,三股流花岗岩落于 I 型花岗岩区内<sup>①</sup>。

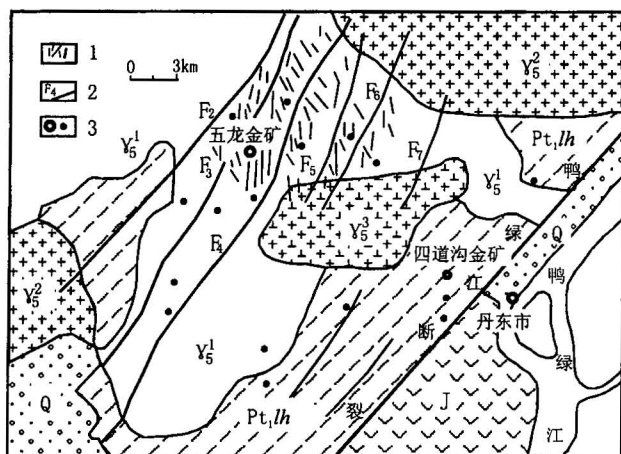


图 1 丹东地区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Dandong area

Q—第四系;J—侏罗系火山岩; $Pt_1/lh$ —古元古代辽河群浅变质砂岩; $Y_5^1$ —燕山晚期三股流花岗岩; $Y_5^2$ —燕山早期五龙背花岗岩; $Y_5^3$ —印支期黑云母花岗岩;1—五龙金矿地区容矿断裂及脉岩;2—矿区及外围主要断裂;3—金矿床(点)

Q—Quaternary; J—Jurassic volcanic rocks;  $Pt_1/lh$ —metamorphic sandstone of Liahe Group, Paleoproterozoic;  $Y_5^1$ —Late Yanshanian Sanguli granite;  $Y_5^2$ —Early Yanshanian Wulongbei granite;  $Y_5^3$ —Indosinian biotite granite; 1—ore hosted fault or dyke; 2—main fault in ore-district; 3—gold deposit (occurrence)

## 2 样品的采集及分析方法

样品分别采自三股流花岗岩体地表不同位置,采样点主要分布在岩体的中央相和边缘相,并且避开裂隙带、脉岩,离地表近 30 m 深的采石坑中,样品为中粗粒花岗岩,块状构造。含金石英脉测年样品采自坑下同一条矿体第二成矿阶段含金石英脉,样品采自同一成矿标高,每个样品点相隔 20~30 m,目的使同位素的组成有所不同,得到较理想的同位素年龄。所采样品新鲜,无任何蚀变和风化,保证了采样的有效性。样品的处理与分离采用了一般的处理方法(李华芹等,1993)。 $^{87}Sr/^{86}Sr$  的比值采用  $^{86}Sr/^{88}Sr=0.1194$  进行标准化,对美国的 Sr 同位素标准样(标样推荐值为  $0.71034 \pm 26$ )测定  $^{87}Sr/^{86}Sr=0.710387 \pm 8(2\sigma)$ , $^{87}Rb/^{86}Sr$  的分析误差( $2\sigma$ )为  $\pm 1\%$ 。Sr 全流程本底小于  $1 \times 10^{-9}$ 。Rb-Sr 等时线年龄采用 Ludwig 的 ISOPLOT 程序(Version 2.90)计算,衰变常数  $\lambda_{Rb}=1.42 \times 10^{-11} a^{-1}$ 。年龄误差用  $2\sigma$  表示。样品  $^{143}Nd/^{144}Nd$  比值用  $^{146}Nd/^{144}Nd=0.7219$  标准化,LaJolla;  $^{143}Nd/^{144}Nd=0.511846 \pm 12(2\sigma)$ ,全过程本底  $Sm=3 \times 10^{-11}$ , $Nd=1.2 \times 10^{-10}$ 。Sm-Nd、Rb-Sr 同位素分析在宜昌矿产地质研究所 MAT261 多接收质谱仪上完成。

U-Pb 同位素的测定:所测锆石自形程度较高,可见多种晶形,主要有长柱状和短柱状,长一般 0.15~0.35 mm,宽 0.05~0.15 mm,长宽比为 2:1~3:1,柱面{110}、{100}和锥面{111}均发育,在自然光下锆石的颜色多数为无色,少量为浅棕色、淡粉色,玻璃光泽。锆石 U-Pb 定年用同位素稀释法测定。所用试剂的 Pb 空白:HCl 和 HF 为 2~5  $\mu g/mL$ ,超纯水为 1~3  $\mu g/mL$ ,7N  $HNO_3$  为 10~20  $\mu g/mL$ ,全流程的平均空白值:Pb 为 40  $\mu g$ ,U 为 2  $\mu g$ 。测试方法、流程和精度已有李惠民等(1997)进行了报道。U-Pb 同位素分析在天津地质矿产研究所同位素室完成。同位素分析结果见表 1~4。

## 3 结果与讨论

### 3.1 三股流花岗岩的 Sr、Pb 同位素年龄

采自三股流花岗岩 7 件样品的 Rb-Sr 同位素分析结果见表 1,由表 1 知,Rb 和 Sr 的含量分别在  $86.7 \times 10^{-6} \sim 188.1 \times 10^{-6}$  和  $254.8 \times 10^{-6} \sim 558.3$

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。

表 1 丹东地区三股流花岗岩 Rb-Sr 同位素组成

Table 1 Rb-Sr isotopic compositions of Sanguli granite, Dandong area

| 样号    | 岩石名称   | Rb( $\times 10^{-6}$ ) | Sr( $\times 10^{-6}$ ) | $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(\pm 2\sigma)$ | $I_{\text{Sr}}$ |
|-------|--------|------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|
| Sgy-1 | 三股流花岗岩 | 145.2                  | 285.4                  | 1.5951                          | $0.71779 \pm 0.00003$                        | 0.714843        |
| Sgy-2 | 三股流花岗岩 | 86.7                   | 346.6                  | 0.7204                          | $0.71619 \pm 0.00004$                        | 0.714859        |
| Sgy-3 | 三股流花岗岩 | 154.2                  | 386.9                  | 1.1102                          | $0.71688 \pm 0.00002$                        | 0.714829        |
| Sgy-4 | 三股流花岗岩 | 172.9                  | 501.4                  | 1.2958                          | $0.71721 \pm 0.00007$                        | 0.714816        |
| Sgy-5 | 三股流花岗岩 | 169.4                  | 254.8                  | 1.9256                          | $0.71845 \pm 0.00004$                        | 0.714892        |
| Sgy-6 | 三股流花岗岩 | 89.5                   | 283.1                  | 0.9088                          | $0.71650 \pm 0.00005$                        | 0.714821        |
| Sgy-7 | 三股流花岗岩 | 188.1                  | 558.3                  | 1.1874                          | $0.71702 \pm 0.00003$                        | 0.714826        |

表 2 丹东地区三股流花岗岩锆石 U-Pb 同位素数据

Table 2 U-Pb isotopic compositions in zircons from Sanguli granite, Dandong area

| 点<br>号 | 重量<br>( $\times 10^{-6}$ ) | U   | Pb | 同位素原子比率                                   |                                           |                                          |                                          |                                           | 表面年龄(Ma)                                 |                                          |                                           |
|--------|----------------------------|-----|----|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
|        |                            |     |    | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ | $\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ | $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ | $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ |
| 1      | 30                         | 497 | 11 | 4069                                      | 0.2056                                    | $0.0204 \pm 0.0034$                      | $0.1378 \pm 0.0037$                      | $0.04893 \pm 0.0095$                      | 130.3                                    | 131.1                                    | 144.7                                     |
| 2      | 18                         | 390 | 10 | 363                                       | 0.1963                                    | $0.0203 \pm 0.0040$                      | $0.1368 \pm 0.0055$                      | $0.04885 \pm 0.00165$                     | 129.6                                    | 130.2                                    | 140.6                                     |
| 3      | 20                         | 438 | 12 | 247                                       | 0.2048                                    | $0.0199 \pm 0.0031$                      | $0.1348 \pm 0.0037$                      | $0.04896 \pm 0.00102$                     | 127.5                                    | 128.4                                    | 145.7                                     |
| 4      | 25                         | 325 | 8  | 751                                       | 0.2168                                    | $0.0212 \pm 0.0035$                      | $0.1446 \pm 0.0048$                      | $0.03945 \pm 0.00132$                     | 135.2                                    | 137.1                                    | 169.4                                     |

$\times 10^{-6}$  之间;  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  和  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值分别在 0.7204~1.9256 和 0.71619~0.71845 之间,数据值分布均匀,MSWD=0.656,说明等时线相关性较好(图 2),由斜率获得岩体的 Rb-Sr 等时线年龄为  $131.1 \pm 4.5 \text{ Ma}$ ,  $I_{\text{Sr}}=0.71482$ 。

三股流花岗岩锆石 U-Pb 同位素分析结果及表面年龄计算值列于表 2,由表 2 知,每一组锆石的表面年龄基本接近,但每一组类型的锆石表面年龄均表现为  $t_{206} < t_{207} < t_{207-206}$ ,具有不一致锆石年龄的特征。其最可能的解释是,锆石中的放射成因的 Pb 在后期地质作用过程中发生了微弱的丢失,四组锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄有一个小的变化范围,为 127.5~135.2 Ma,也说明存在一定放射成因 Pb 的丢失。前三组锆石的表面年龄变化范围小,为 127.5~130.3 Ma,加权平均值为  $129 \pm 2.9 \text{ Ma}$ (图 3),这个数据可以作为锆石结晶的近似年龄,即三股流花

岗岩侵位年龄。后一组锆石的透明度略差,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄为 135.2 Ma,年龄略偏高。所测锆石的晶形完好,颜色单一,排除了古老地层中残留锆石的可能性。

3.2 五龙金矿成矿年龄

五龙金矿第 II 成矿阶段 5 件样品的 Rb、Sr 同位素分析结果见表 3,由表 3 可知,成矿流体的 Rb 含量为  $0.8232 \times 10^{-6} \sim 1.998 \times 10^{-6}$ ,Sr 含量为

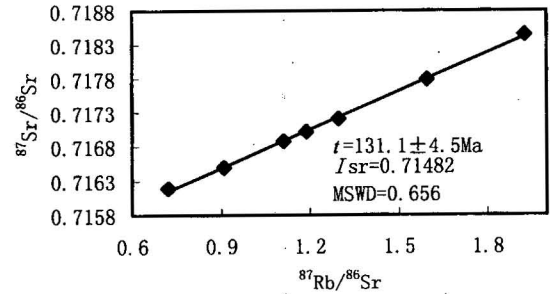


图 2 三股流花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄  
Fig. 2 Rb-Sr isochron of Sanguli granite

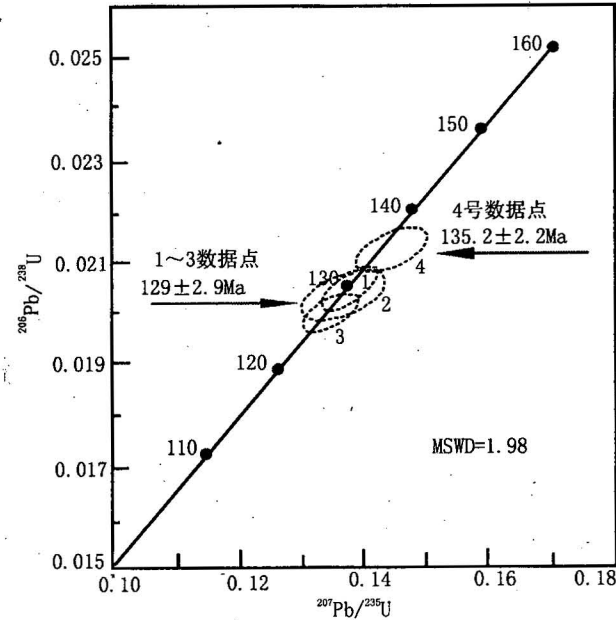


图 3 三股流花岗岩锆石 U-Pb 谱和年龄  
Fig. 3 U-Pb concordia diagram for zircons from Sanguli granite

表 3 五龙金矿含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 同位素组成

Table 3 Rb-Sr isotopic compositions of fluid inclusions in Au-bearing quartz of the Wulong gold deposit

| 样号   | 测定矿物 | Rb( $\times 10^{-6}$ ) | Sr( $\times 10^{-6}$ ) | $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(1\sigma)$ | $I_{\text{Sr}}$ |
|------|------|------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|-----------------|
| 76-1 | 石英   | 1.620                  | 1.923                  | 2.431                           | $0.71965 \pm 0.00005$                    | 0.715504        |
| 76-2 | 石英   | 1.998                  | 1.976                  | 2.919                           | $0.72037 \pm 0.00001$                    | 0.715392        |
| 76-3 | 石英   | 0.8232                 | 3.024                  | 0.7856                          | $0.71677 \pm 0.00015$                    | 0.715430        |
| 76-4 | 石英   | 0.8759                 | 2.985                  | 0.8468                          | $0.71686 \pm 0.00003$                    | 0.715416        |
| 76-5 | 石英   | 1.3190                 | 2.016                  | 1.888                           | $0.71850 \pm 0.00004$                    | 0.715280        |

表 4 丹东地区三股流花岗岩岩体 Sm-Nd 同位素组成

Table 4 Sm-Nd isotopic compositions of Sanguli granite, Dandong area

| 样号    | 测定对象 | Sm( $\times 10^{-6}$ ) | Nd( $\times 10^{-6}$ ) | $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ | $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ | $\pm 2\sigma$ | $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ | $t_{\text{DM}}$ (Ma) |
|-------|------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------------------|----------------------|
| Sgy-1 | 花岗岩  | 7.799                  | 48.759                 | 0.09668                           | 0.511761                          | 0.000011      | -15.53                    | 2181                 |
| Sgy-2 | 花岗岩  | 7.781                  | 48.475                 | 0.09703                           | 0.511762                          | 0.000032      | -17.03                    | 2178                 |
| Sgy-3 | 花岗岩  | 7.164                  | 45.955                 | 0.09423                           | 0.511758                          | 0.000017      | -17.17                    | 2181                 |
| Sgy-4 | 花岗岩  | 7.470                  | 50.775                 | 0.08893                           | 0.511750                          | 0.000008      | -17.32                    | 2187                 |
| Sgy-5 | 花岗岩  | 1.634                  | 5.734                  | 0.17218                           | 0.511816                          | 0.000008      | -16.03                    | 2191                 |
| Sgy-6 | 花岗岩  | 2.038                  | 7.157                  | 0.17213                           | 0.511816                          | 0.000011      | -15.93                    | 2191                 |

注： $\epsilon_{\text{Nd}}$ 值是相对 CHUR 计算，CHUR 的现今值为 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512638$ 和 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.1967$ ，表中的模式年龄采用两阶段模式计算。

$1.923 \times 10^{-6} \sim 3.024 \times 10^{-6}$ ， $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  比值范围为  $0.7856 \sim 2.919$ ， $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值为  $0.71677 \pm 0.00015 \sim 0.72037 \pm 0.00001$ ，显然 5 件样品无异常显示，构成了一条很好的石英流体包裹体等时线(图 4)，由 5 个样品点构成的等时线斜率所得该阶段成矿年龄为  $120 \pm 3 \text{ Ma}$ (图 4)， $I_{\text{Sr}}$  为 0.715402，MSWD = 3.62。

### 3.3 讨论

本项研究所采样品均在地表采石坑和地下坑道中，避免了因地表风化而可能使 Rb、普通 Sr 和放射成因 $^{87}\text{Sr}$  发生迁移和丢失，可以较好地排除表生作用对同位素计时的影响。本文中三股流花岗岩和矿体的两组 Rb-Sr 同位素定年样品，每组均有相同的 Rb-Sr 同位素初始值(图 5)，说明同位素体系封闭之

后没有受到热事件较大的扰动，因此 Rb-Sr 同位素提供的等时线年龄是可信的。对金矿以及与之有关花岗岩的年龄测定，特别是对于成因复杂和经历过多次地质作用扰动的花岗岩，现代微量、颗粒锆石 U-Pb 法是最为有效的定年方法(Corfu et al., 1984; Claeue-Long et al., 1990; Krong, 1993)。由于花岗岩全岩的 Rb-Sr 封闭温度( $\sim 700^\circ\text{C}$ )接近花岗岩的结晶温度，因此，Rb-Sr 全岩等时线年龄基本上代表了花岗岩的结晶年龄(Harrison, 1979)。三股流花岗岩的 Rb-Sr 年龄为  $131.1 \pm 4.5 \text{ Ma}$ ，锆石 U-Pb 年龄为  $129 \pm 2.9 \text{ Ma}$ ，所以三股流花岗岩的成岩综合同位素年龄应定为 130 Ma。

中国东部地区产出有许多重要金矿集中区。如：胶东、冀东、赤峰、张家口等金矿集中区，金矿主要产于花岗岩或老地层中，并且围绕较年轻的花岗岩体分布，这些花岗岩 SHRIMP U-Pb 年龄范围为  $200 \sim 130 \text{ Ma}$ ，产于花岗岩或老地层中的脉状金矿床年龄范围为  $125 \sim 100 \text{ Ma}$ (Wang et al., 1998; Qiu et al., 2002; Hart et al., 2002)，丹东地区金矿的成岩成矿年代和中国东部地区中生代大规模金矿成矿作用时代相匹配，该地区金矿是这次大规模成矿作用的重要产物。

由表 1 知，三股流花岗岩 7 个样品的  $I_{\text{Sr}}$  同位素初始比值范围为  $0.71482 \sim 0.71486$ ，非常接近。高的铷同位素初始比值和负的  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  值(表 4)均表明三股流花岗岩其成岩物质与古老地壳的同熔或重熔有关。图 6 表明，在  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)-I_{\text{Sr}}$  图解中，其样品点均落在

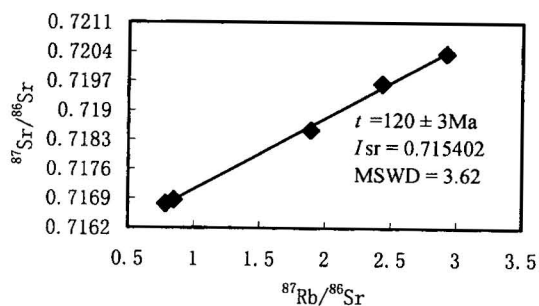


图 4 五龙金矿主成矿阶段含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 等时线

Fig. 4 Rb-Sr isochron of fluid inclusions in Au-bearing quartz of main ore-forming stage from the Wulong gold deposit

了下地壳趋势线附近(吴福元等,1997),说明其成岩物质与下地壳物质有关。三股流花岗岩 6 个样品(表 4)的 Nd 模式年龄平均值为 2184 Ma,和其后同位素综合年龄(130 Ma)相差 2054 Ma,也说明其成岩物质与古老的壳源物质有关。五龙金矿含金石英脉 5 个样品的  $I_{Sr}$  同位素初始比值(按 120 Ma 校正)范围为

0.715280~0.715504,三股流花岗岩的  $I_{Sr}$  同位素初始比值(按 130 Ma 校正)范围为 0.71482~0.71486,显然二者的 Sr 同位素初始比值非常一致,结合含金石英脉切穿三股流花岗岩体的地质事实,说明矿化晚于三股流花岗岩的定位,一致的 Sr 同位素初始比值,只能解释为成岩和成矿物质来自深部的同一岩浆源区。

### 3.4 对金矿成岩成矿定年的建议

金矿成岩成矿定年的同时应加强成矿背景的研究,注意岩浆岩成岩与成矿间的时差(柳少波等,1996)及不同成矿阶段间的时差(魏俊浩等,2001)。随着成岩成矿定年技术的不断发展,金矿的成岩成矿定年一直是矿床学研究的热点。即使这样,在金矿成岩成矿测年中仍存在着地质年代和成矿年代相悖的事实,究其原因主要是忽视了成矿背景的研究。中国金矿成矿年代表现出了明显的时域分布特征,据李俊建(1997)统计,显生宙金矿在中国东部的广东(河台、新洲)、福建(上杭紫金山)、江西(金山)、安徽

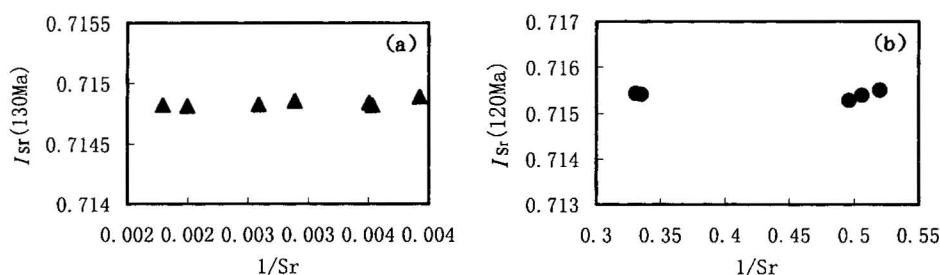


图 5 丹东地区三股流花岗岩  $I_{Sr}$ -1/Sr 图解  
Fig. 5  $I_{Sr}$ -1/Sr map of Sanguliou granite, Dandong area  
(a)—三股流花岗岩体; (b)—含金石英脉  
(a)—Sanguliou granite; (b)—Au-bearing quartz vein

(鸡笼山)、胶东(玲珑—焦家)、辽东(五龙、四道沟)和吉南(海沟、二道沟、红旗沟)等地金矿床主要形成于燕山期。中国中西部的西秦岭(拉日玛、安家岔)、新疆(阿希、西准噶尔、康古尔)等地金矿,其成矿期主要为华力西晚期和印支期。而华北地台北缘部分金矿形成于新太古代末至古元古代(2500~1800 Ma)。因此在金矿定年时要重视成矿背景的研究分析,结合成矿背景对同位素测年结果作出合理的解释。

重视地质体间的先后关系,确定标志性地质体成岩年代对成矿年代的制约。地质体间穿插关系虽然只能给出它们之间相对先后关系,不能给出绝对年代,但仍然是确定成岩成矿年代的基础,不管什么方法都不能比地质体间的穿插关系所给出地质体间先后关系的绝对可靠。翻阅近十年来成岩成矿年代的报道,我们会发现同一个问题,在报道成岩成矿同位素年代的同时,很少论述矿床内不同地质体之间的先后关系,作为同位素年代可靠性的佐证,这是一个明显的不足,应当引起足够的重视。标志性地质体选择一般要考虑下列条件:①标志性地质体与矿床形成从地质上判断可能存在着较小的时差;②在地质方面标志性地质体与矿床形成存在着十分明显的先后关系;③标志性地质体一般没有或很少受到后期明显的地质改造。

## 4 结论

丹东地区三股流花岗岩的 Rb-Sr 等时线和单颗粒锆石 U-Pb 年龄分别为  $131 \pm 5$  Ma 和  $129 \pm 3$  Ma,因此将三股流花岗岩的综合同位素年龄定为 130 Ma。

五龙金矿主成矿阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为  $120 \pm 3$  Ma。这一组年龄数据理顺了该

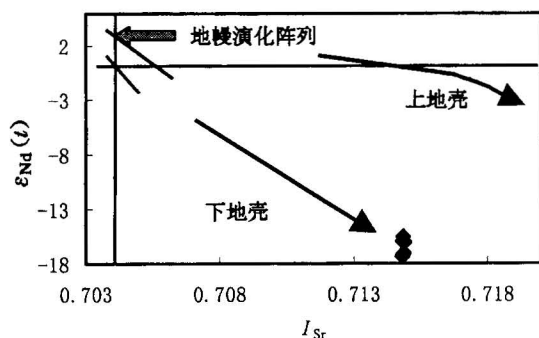


图 6 丹东地区三股流花岗岩的  $\epsilon_{Nd}(t)$ - $I_{Sr}$  图解  
(图廓据吴福元等,1997)

Fig. 6  $\epsilon_{Nd}(t)$ - $I_{Sr}$  map of Sanguliou granite, Dandong area  
(map outline after Wu Fuyuan et al., 1997)



地区构造—岩浆—成矿的时序关系,对中国东部金矿成矿对比研究提供了有效的年龄数据。

Sr、Nd 同位素的示踪结果表明三股流花岗岩的成岩物质与下地壳物质有关。三股流花岗岩和矿体(含金石英脉)相似的 Sr 同位素初始比值,说明成矿和成岩物质可能来自深部同一岩浆源区。

金矿定年时要重视成矿背景的研究分析,结合具体地质体间的先后关系,确定标志性地质体成岩年代对成矿年代的制约,只有这样才能对同位素测年结果做出合理的解释。

### 参 考 文 献

- 陈富文,李华芹,蔡红,刘娟群. 1999. 新疆东部金窝子金矿成因讨论——同位素地质年代学证据. 地质论评, 45(3): 247~254.
- 江思宏,聂凤军. 2000. 冀西北水泉沟杂岩体及其有关金矿床的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素年代学研究. 地质论评, 46(6): 621~627.
- 李华芹,陈富文,蔡红. 2000. 新疆西准噶尔地区不同类型金矿床 Rb-Sr 同位素年代研究. 地质学报, 74(2): 181~192.
- 李华芹,刘家齐,魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社, 80~102.
- 李惠民,李怀坤,陆松年,杨春亮. 1997. 用矿脉中热液锆石的 U-Pb 定年确定东坪金矿的成矿时代. 地球学报, 18(增刊): 176~178.
- 李俊建,沈保丰,毛德宝,李双保,周慧芳,程玉明. 1996. 吉林夹皮沟金矿成矿时代的研究. 地质学报, 70(4): 335~341.
- 李俊建. 1997. 初论中国金矿床的成矿时代. 前寒武纪地质进展, 20(1): 17~26.
- 李强之,陈衍景,钟增球,李文良,李绍儒,郭晓东,金宝义. 2002. 小秦岭东沟金矿成矿作用的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年代学研究. 地质论评, 48(增刊): 122~126.
- 刘玉琳,丁式江,张小文,傅杨荣. 2002. 海南乐东抱伦金矿床成矿时代研究. 地质论评, 48(增刊): 84~87.
- 柳少波,王联魁. 1996. 金矿床成岩成矿时代差述评. 地质论评, 42(2): 154~165.
- 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.
- 毛景文,张作衡,简平,王志良,杨建民,张招崇. 2000. 北祁连西段花岗岩质岩体的锆石 U-Pb 年龄报道. 地质论评, 46(6): 616~620.
- 莫测辉,王秀璋,程景平,梁华英. 1997. 冀西北东坪金矿含金石英脉石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄及其地质意义. 地球化学, 26(3): 20~27.
- 邵世才,汪东波. 2001. 南秦岭三个典型金矿床的 Ar-Ar 年代及其地质意义. 地质学报, 75(1): 106~110.
- 王秀璋,梁华英,单强,程景平,夏萍. 1999. 金山金矿成矿年龄测定及华南加里东成金期的讨论. 地质论评, 45(1): 19~25.
- 王义天,毛景文,卢欣祥. 2001. 嵩县祁雨沟金矿成矿时代的 Ar-Ar 年代学证据. 地质论评, 47(5): 551~555.
- 魏俊浩,刘丛强,赵永鑫,李志德. 2001. 辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时限. 地质论评, 47(4): 433~437.
- 吴福元,江博明,林强. 1997. 中国北方造山带造山后花岗岩的同位素特点与地壳生长意义. 科学通报, 42(20): 2188~2192.
- 吴尚全. 1991. 吉林夹皮沟金矿床含金石英脉的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  快中子活化年龄测定. 矿床地质, 10(4): 349~357.
- 徐启东,钟增球,周汉文,杨发城,唐学超. 1998. 豫西小秦岭金矿区的一组  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年数据. 地质论评, 44(3): 323~327.
- 周涛发,袁峰,岳书仓,袁旭音. 2000. 新疆阿克提什坎金矿床石英  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  快中子活化年龄及其意义. 地质论评, 46(5): 466~471.
- 朱嘉伟,张天义,薛良伟. 1999. 豫西崆山地区金矿成矿年龄的测定及其意义. 地质论评, 45(4): 418~422.

### References

- Chen Fuwen, Li Huaqin, Cai Hong, Liu Houqun. 1999. The origin of the Jinwozi gold deposit in eastern Xinjiang—Evidence from isotope geochronology. Geological Review, 45(3): 247~254 (in Chinese with English abstract).
- Claue-Long J, King R W, Kerrich R. 1990. Archean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: constraints on the timing of gold mineralization. Earth Planet Sci. Lett., 98: 109~128.
- Corfu F, Ayres L D. 1984. U-Pb age and genetic significance of heterogeneous zircon population in rocks from the Favourable Lake area, Northwestern Ontario. Contrib. Miner. Petrol., 88: 86~101.
- Hart Craig J R, Goldfarb Richard J, Qiu Y M, Snee Lawrence, Miller Lance D. 2002. Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: multiple late Paleozoic—Mesozoic mineralizing events. Mineralium Deposita, 37: 326~351.
- Harrison T M. 1979. Geochronology and thermal history of the coast plutonic complex, near Prince Rupert, British Columbia. Can. J. Earth Sci., 16: 400~410.
- Jiang Sihong, Nie Fengjun. 2000.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Shuiquangou alkaline complex and related gold deposits, Northwestern Hebei, China. Geological Review, 46(6): 621~627 (in Chinese with English abstract).
- Krong T E. 1993. High precision U-Pb age for granulite metamorphism and deformation in the Archean Kapuskasing Structural zone, Ontario; implications for structure and development of the lower crust. Earth Planet. Sci. Lett., 119: 1~18.
- Li Huaqin, Chen Fuwen, Cai Hong. 2000. Study on Rb-Sr isotopic ages of gold deposits in west Junggar area, Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 74(2): 181~192 (in Chinese with English abstract).
- Li Huimin, Li Huaikun, Lu Songnian, Yang Chunliang. 1997. Determination of age of gold mineralization of Dongping gold deposits by U-Pb dating hydrothermal zircons from ore veins. Acta Geoscientia Sinica, 18(Supp.): 176~179 (in Chinese with English abstract).
- Li Junjian, Shen Baofeng, Mao Debao, Li Shuangbao, Zhou Huifang, Cheng Yuming. 1996. Metallogenic epochs of the Jiapigou gold deposit, Jilin. Acta Geologica Sinica, 70(4): 335~341 (in Chinese with English abstract).
- Li Junjian. 1997. A primary discussion on metallogenic epoch of Chinese gold deposit. Progress in Precambrian Research, 20(1): 17~26 (in Chinese with English abstract).
- Li Qiangzhi, Chen Yanjing, Zhong Zengqiu, Li Wenliang, Li Shaoru, Guo Xiaodong, Jin Baoyi. 2002. Ar/Ar dating on the metallogenesis of the Dongchuang gold deposit in the Xiaoqinling area.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of the ore-forming processes of the Dongchuang gold deposit in the Xiaoqinling district, China. Acta Geologica Sinica (English edition), 76(4): 488~493.
- Liu Shaobo, Wang Liankui. 1996. The time gap between rock and

- gold ore formation. *Geological Review*, 42(2): 154~165 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yulin, Ding Shijiang, Zhang Xiaowen, Fu Yangrong. 2002. Ore-forming age of the Baolun gold deposit, Ledong county, Hainan. *Geological Review*, 48(supp.): 84~87 (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).
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Jian Ping, Wang Zhiliang, Yang Jianmin, Zhang Zhaocong. 2000. U-Pb zircon dating of the Yeniuhan granitic intrusion in the Western part of the North Qilian Mountains. *Geological Review*, 46(6): 616~620 (in Chinese with English abstract).
- Mo Cehui, Wang Xiuzhang, Cheng Jingping, Liang Huaying. 1997. Rb-Sr isochron of fluid inclusions in Au-bearing quartz vein of Dongping gold deposit, Northwest Hebei and its geological implications. *Geochemistry*, 26(3): 20~26 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Y M, Groves D I, McNaughton N J, et al. 2002. Nature, age, and tectonic setting of granitoid-hosted, orogenic gold deposits of the Jiaodong Peninsula, eastern North China craton, China. *Mineralium Deposita*, 37: 283~305.
- Shao Shicai, Wang Dongbo. 2001.  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  dating of the three typical gold deposits and its geological significance in the southern Qinling region. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 106~110 (in Chinese with English abstract).
- Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. 1998. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids. *Ore Geology Review*, 13(1~5): 275~291.
- Wang Xiuzhang, Liang Huaying, Shan Qiang, Cheng Jingping, Xia Ping. 1999. Metallogenic age of the Jinshan gold deposit and Caledonian gold mineralization in south China. *Geological Review*, 45(1): 19~25 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yitian, Mao Jingwen, Lu Xinxiang. 2001. Ar-Ar dating and geochronological constraints on the ore-forming epoch of the Qiyugou gold deposit in Songxian county, Henan Province. *Geological Review*, 47(5): 551~555 (in Chinese with English abstract).
- Wei Junhao, Liu Congqiang, Zhao Yongxin, Li Zhide. 2001. Time span of the major ore-forming stages of the Wulong gold deposit, Liaoning. *Geological Review*, 47(4): 433~437.
- Wu Fuyuan, Jahn Bor-ming, Lin Qiang. 1997. Isotopic characteristics post-orogenic granite in orogenic belt in North China and implications in crust formation. *Chinese Sciences Bulletin*, 42(20): 2188~2192 (in Chinese).
- Wu Shangquan. 1991. Dating of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  method of Au-bearing quartz veins in the Jiapigou gold deposit, Jilin. *Mineral Deposits*, 10(4): 349~357 (in Chinese with English abstract).
- Xu Qidong, Zhong Zengqiu, Zhou Hanwen, Yang Facheng, Tang Xuechao. 1998.  $^{40}\text{Ar}/^{30}\text{Ar}$  dating of the Xiaoqinling gold area in Henan Province. *Geological Review*, 44(3): 323~327 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Taofa, Yuan Feng, Yue Shucang, Yuan Xuyin. 2000. The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  fast-neutron activation age of quartz from the Aketishikan gold deposit in northern Altay of Xinjiang and its geological significance. *Geological Review*, 46(5): 466~471 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Jiawei, Zhang Tianyi, Xue Liangwei. 1999. Determination of the ore-forming age of gold deposits in Xiaoshan, western Henan and its geological significance. *Geological Review*, 45(4): 418~422 (in Chinese with English abstract).

## U-Pb, Rb-Sr Isotopic Dating of the Diagenesis and Mineralization of Gold Deposits in the Dandong Area

WEI Junhao<sup>1, 2)</sup>, LIU Congqiang<sup>1)</sup>, LI Zhide<sup>2)</sup>, ZHAO Yongxin<sup>2)</sup>

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

2) *China University of Geosciences, Wuhan, 430074*

### Abstract

Dandong is one of the important gold deposit concentration areas in China. But, up to the present, accurate age data on the diagenesis and ore-forming have not been reported. In this study, the Sanguliu granite from the Dandong area yields a U-Pb zircon age of  $131 \pm 4.5$  Ma and a Rb-Sr isochron age of  $129 \pm 2.9$  Ma, and thus the comprehensive isotope age of the Sanguliu granite is defined to be 130 Ma. The Rb-Sr isochron age of the fluid inclusion in Au-bearing quartz veins of the Wulong gold deposit at the main metallogenic stage is  $120 \pm 3$  Ma. This age group sets up the time-order relationship of structure—magma—mineralization in this region. This work provides valid age data for the comparative study of gold deposits in eastern China. The features of Sr and Nd isotopes display that the diagenetic material of the Sanguliu granite comes from the lower crust. Similar initial ratios of Sr isotopes between the Sanguliu granite and the orebodies suggest that the diagenetic and metallogenic materials may have originated from the deep comagmatic region.

**Key words:** Rb-Sr and U-Pb isotope; ore-forming time; Sanguliu granite; Wulong gold deposit; Liaoning