

辽宁五龙金矿主成矿阶段成矿持续时限

魏俊浩¹⁾²⁾ 刘丛强¹⁾ 赵永鑫²⁾ 李志德²⁾

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

内容提要 在矿床地质研究的基础上, 将五龙金矿的内生成矿作用从早到晚划分为5个成矿阶段, 分别为纯石英阶段(I)、黄铁矿—石英阶段(II)、黄铁矿—辉铋矿—石英阶段(III)、多金属硫化物—灰色石英阶段(IV)、碳酸盐阶段(V)。对其中具有工业矿化的第二(II)和第四(IV)主成矿阶段进行了石英流体包裹体 Rb-Sr 法测年, 上述两个阶段年龄值分别为 $120 \pm 3\text{Ma}$ 和 $112 \pm 1\text{Ma}$, 说明一个中、大型金矿的形成, 其主成矿阶段可能要持续 8 Ma 左右。Sr 同位素的初始值 ($II; I_{\text{Sr}} = 0.71541 \pm 0.00008$, $IV; I_{\text{Sr}} = 0.71603 \pm 0.00006$) 表明, 不同成矿阶段的成矿物质来自同一源区, 且以壳源为主。

关键词 流体包裹体 Rb-Sr 等时线 成矿持续时限 五龙金矿

成矿年代学和成矿物质来源示踪一直是矿床学研究中的热点, 利用流体包裹体同位素测年技术是近十几年发展起来的一项微区测试新技术, 比较成熟的方法有流体包裹体 Rb-Sr 法和 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法(莫测辉, 1997b; Hanes et al., 1992; Norman et al., 1983; 邱华宁等, 1989; 李华芹等, 1993)。近十几年来, 在矿床学中利用同位素技术对成岩成矿时差做了大量研究(胡世玲等, 1987; 骆万成等, 1987; 栾世伟等, 1985; Wong et al., 1991; Claoue-long et al., 1992; Kerrich et al., 1984) 和对比。国外绿岩带地区金矿成岩成矿时差多在几亿年至几千万年之间, 中国东部地区金矿成岩成矿时差多数在几千万年至几百万年之间(柳少波等, 1996; 莫测辉, 1997a; 王秀璋等, 1994)。然而, 一个矿床主成矿阶段形成的持续时限至今报道较少。一个中、大型矿床的形成是一个地区地壳演化综合作用的结果, 像岩浆演化、构造演化和变质作用一样, 矿床的形成也需要持续一定的地质时间。但长期以来在矿床定年方面多侧重某一成矿阶段的成矿年龄, 用来代表矿床形成的年代。研究矿床的形成时限, 可以考察在成矿时限内发生了那些地质作用, 对进一步确定成矿作用和不同地质作用之间的关系具有重要的指导意义。本文在多年的五龙金矿地质科研的基础(倪培等, 1999)上, 详细研究了五龙金矿地质特征, 并确定了五龙金矿5个成矿阶段, 进而运用流体包裹体 Rb-Sr 法界定了五龙

金矿主成矿阶段成矿持续时限, 并初步讨论了矿床的成矿物质来源。

1 矿床地质概况

五龙金矿位于辽宁省丹东市西 30km 处, 定位于鸭绿江大型走滑断裂的西侧, 其容矿围岩为印支期黑云母花岗岩(倪培等, 1999)。矿床受控于 NNE 向近于平行的断裂之间, 矿体定位于近 SN 向和 NW 向次级断裂之中。矿床内细粒闪长岩脉、花岗斑岩脉, 闪长玢岩脉、煌斑岩脉十分发育, 其中细粒闪长岩脉和花岗斑岩脉为成矿前的脉岩, 其他脉岩为成矿后脉岩。石英脉型矿体以脉状、透镜状为主, 矿体总体呈近南北向和北西向展布(局部 NE 向展布, 图1)。主要矿石矿物为黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉铋矿、方铅矿、银金矿、自然金。根据脉体的穿插关系、结构构造及矿物组合, 可将五龙金矿划分为5个成矿阶段: 第一成矿阶段(I)石英以乳白色为主(图2中没标出无矿化的第一阶段石英脉), 石英断面表现为典型的油脂光泽, 无任何金属硫化物和金属氧化物矿物, 该石英脉主要分布在矿区的西部, 脉幅宽度在 1m 左右, 延长多在 30 ~ 80m 之间, 规模不大, 走向以 NW 向为主。巷道中可见到该期石英脉被第二阶段的粗粒黄铁矿—石英脉切割。第二成矿阶段(II)石英以乳白色为主, 油脂光泽弱, 金属硫化物以中粗粒黄铁矿为主, 其他金属硫化物含量极少, 黄铁

注: 本文为国家“九五”攀登预选项目(编号: 95-预-39)和中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室基金资助项目的成果。

收稿日期: 2000-12-25; 改回日期: 2001-03-25; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 魏俊浩, 男, 1961年12月生, 副教授, 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: 550002, 贵阳, 中国科学院地球化学研究所。

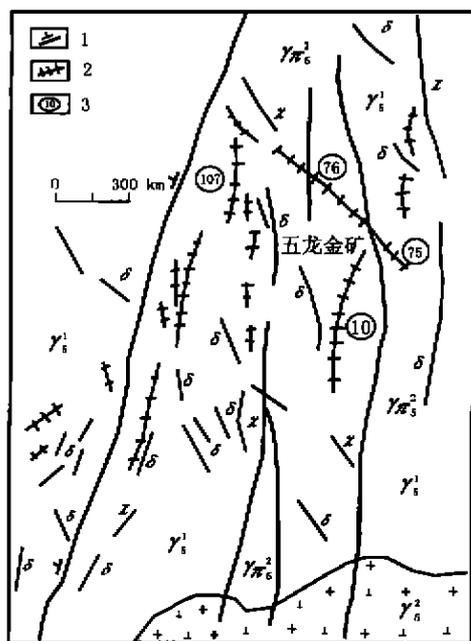


图1 五龙金矿地质图

Fig. 1 Geological sketch map of the Wulong gold deposit
 γ_1^i —印支期黑云母花岗岩; γ_2^i —燕山期花岗闪长岩; γ_3^i —燕山期花岗斑岩脉; δ —细粒闪长岩脉; χ —煌斑岩脉; 1—断裂; 2—含金石英脉; 3—含金石英脉(或矿体)编号
 γ_1^i —Indo-Sinian biotite granite; γ_2^i —Yanshanian granodiorite; γ_3^i —Yanshanian granite-porphphy dyke; δ —fine-granited diorite dyke; χ —lamprophyre dyke; 1—fault; 2—Au-bearing quartz vein; 3—No. of Au-bearing quartz vein (or ore body)

矿多以立方体或他形晶呈浸染状分布于石英脉中, 该阶段含金石英脉分布在整个矿区, 脉幅宽多在1~4m之间, 最宽可达20余米, 延长可达250m, 总体规模较大, 走向以SN和NW向为主, 该类矿体品位多小于 10×10^{-6} 。第三阶段石英呈浅灰色, 金属硫化物以中细粒黄铁矿和星点状辉铋矿为主, 多沿片理或近片理带呈脉状、团块状或浸染状分布于浅灰色石英脉中(图2), 该类矿体多沿第二阶段矿体边部(局部在矿体的中间)平行分布, 是第二阶段矿体经第三阶段成矿叠加的产物, 走向和第二阶段矿体基本一致, 但比第二阶段的含金石英脉(矿体)破碎明显, 矿体的规模不及第二阶段矿体大, 品位多数在百万分之几到十万分之几之间变化, 个别品位可达万分之几。第四阶段石英以深灰色为主, 金属硫化物呈细粒分布于深灰色的石英脉中, 镜下可定出黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和辉铋矿等金属矿物, 该类矿体多沿第二和第三阶段矿体的边部呈透镜状分布或局部斜穿上述两阶段的矿体(图2), 矿体规模一般较小, 延伸在数米至数十米之间, 品位多在5~15

$\times 10^{-6}$ 之间。第五阶段为碳酸盐阶段, 局部夹有极少量石英小脉, 方解石结晶粒度粗大, 多分布于矿体的两侧近矿蚀变岩或矿体的裂隙中, 方解石脉宽多在数厘米至十几厘米之间, 延长几米到十几米, 在矿区范围内分布有限, 无任何矿化。该矿床与矿化有关的是第二到第四成矿阶段含金石英脉(或矿体)。本文以上述两阶段含金石英脉为研究对象, 确定主成矿阶段的成矿持续时限, 初步讨论主成矿阶段的成矿物质来源。

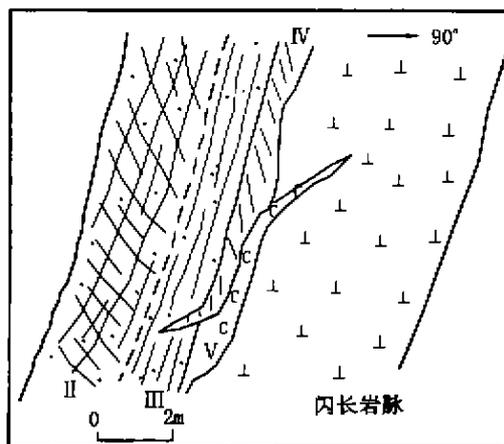


图2 76号矿体8中段不同成矿阶段脉体(矿体)穿插关系剖面素描图

Fig. 2 Geological sketch showing the spatial relation of the veins of different ore-forming stages of No. 76 ore-body at level 8
 I、II、IV、V—分别代表不同成矿阶段的脉体编号(说明见正文)
 I、II、IV、V—ore-body number of difference ore-forming stages

2 样品采集及加工测试

研究对象为该矿床的76号矿体及分支的107号矿体, 两个矿体定位于同一应力场形成的容矿构造中, 具有相似的成矿过程。在空间上, 样品主要采自76号矿体8中段的第二成矿阶段的含金石英脉, 样品点沿沿脉巷道均匀分布(平均30m一个样品点), 样品组成以乳白色石英和中粗粒黄铁矿为主。107号矿体第四成矿阶段的样品主要采自5、7、9三个中段的含金石英脉, 每个中段采两个样品, 分别对应着表2中的107-u-1、107-u-2、107-m-1、107-m-2、107-l-1和107-l-2编号, 样品的组成以深灰色石英和细粒硫

化物为主。上述采样过程既考虑了在时间上成矿作用的一致性,又考虑了在空间上样品点的相对分散,使样品点呈线形分布,提高测年的可信度。

室内将石英样品破碎至0.25~0.5mm,在双目镜下挑纯。将样品放置在石英杯中,加入1:1盐酸,在低温电热板上煮沸60min以除去硫化物等杂质,再用去离子水冲洗数次近中性,在120~160℃的条件下,采用热爆—超声洗涤法除去次生包裹体(李华芹等,1993),而后准确称取0.1~1g样品并置于聚四氟封闭熔样器中,熔样加入适量的(⁸⁷Rb+⁸⁶Sr)混合稀释剂,用HF+HClO₄在微波炉中分解样品后以盐酸溶液为介质用阳离子交换柱分离Rb和Sr。同位素分析在国土资源部宜昌地质矿产研究所MAT-261固体质谱仪上完成。化学流程本底Rb、Sr为2×10⁻¹⁰g,⁸⁷Rb/⁸⁶Sr比值的测定误差在1%~2%之间。

3 结果与讨论

3.1 成矿时代与成矿的持续时限

第二成矿阶段(I)5个样品的Rb、Sr同位素分析结果见表1。由表1可知,成矿流体的Rb含量为0.8232·10⁻⁶~1.998×10⁻⁶,Sr含量为1.923·10⁻⁶~3.024×10⁻⁶,⁸⁷Rb/⁸⁶Sr比值范围为0.7856~2.919,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值为0.71677±0.00015~0.72037±0.00001,很显然4组数据结构变化协调,5个样品无异常显示,构成了一条很好的石英流体包裹体等时线(图3),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±3Ma(图3)*I_s*为0.71541±0.00008。

表1 第二成矿阶段含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 同位素组成

Table 1 Compositions of Rb-Sr isotope of fluid inclusion in Au-bearing quartz vein of mineralization stage II

样品号	测定矿物	Rb (×10 ⁻⁶)	Sr (×10 ⁻⁶)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr (±1σ)
76-1	石英	1.620	1.923	2.431	0.71965±0.00005
76-2	石英	1.998	1.976	2.919	0.72037±0.00001
76-3	石英	0.8232	3.024	0.7856	0.71677±0.00015
76-4	石英	0.8759	2.985	0.8468	0.71686±0.00003
76-5	石英	1.319	2.016	1.888	0.71853±0.00004

分析单位:国土资源部宜昌地质矿产研究所,1999。

第四成矿阶段(IV)6个样品的Rb、Sr同位素分析结果见表2,由表知,流体中Rb的含量为0.1221×10⁻⁶~3.689×10⁻⁶,Sr的含量变化范围为0.8672×10⁻⁶~1.569×10⁻⁶,⁸⁷Rb/⁸⁶Sr比值为0.4046~

6.794,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值为0.71659±0.00009~0.72678±0.00002。6个样品无异常显示,据6个样品构成的等时线斜率所得该阶段的成矿年龄为:112±1Ma(图4),*I_s*为0.71603±0.00006。

不难看出,上述两个成矿阶段的成矿流体Rb-Sr保持一个相对封闭的体系,流体中同位素达到了均一化,流体包裹体的Rb-Sr年龄直接记录了该金矿不同成矿阶段的成矿作用时代。

表2 第四成矿阶段含金石英脉流体包裹体 Rb-Sr 同位素组成

Table 2 Compositions of Rb-Sr isotope of fluid inclusion in Au-bearing quartz vein of mineralization stage IV

样品号	测定矿物	Rb (×10 ⁻⁶)	Sr (×10 ⁻⁶)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr (±1σ)
107-u-1	石英	1.303	1.256	2.995	0.72092±0.00004
107-m-1	石英	0.1485	0.8672	0.494	0.71679±0.00003
107-l-1	石英	3.689	1.569	6.794	0.72678±0.00002
107-u-2	石英	1.381	1.115	3.575	0.72176±0.00003
107-m-2	石英	0.1221	0.8708	0.4046	0.71659±0.00009
107-l-2	石英	3.202	1.437	6.436	0.72619±0.00003

分析单位:国土资源部宜昌地质矿产研究所,1998。

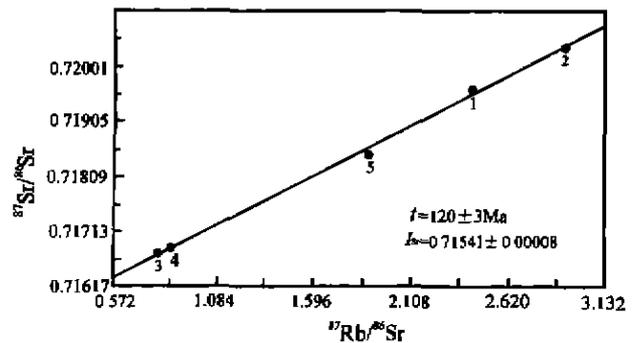


图3 五龙金矿第二成矿阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线

Fig. 3 Rb-Sr isochron of fluid inclusion in quartz vein of mineralization stage I of Wulong gold deposit

两个主成矿阶段的成矿持续时限约8Ma(120Ma~112Ma)。由图3和图4知,第二和第四成矿阶段的年龄误差分别为±3Ma和±1Ma,因此两个成矿阶段的最大和最小时限分别为12Ma和4Ma,很显然两个主成矿阶段的成矿持续时限是存在的。

3.2 成矿持续时限的讨论

前已述及本文石英流体包裹体Rb-Sr等时线法测得五龙金矿其成矿年龄范围120±3Ma~112±1Ma,为燕山晚期。该时期本区构造岩浆活动强烈,为

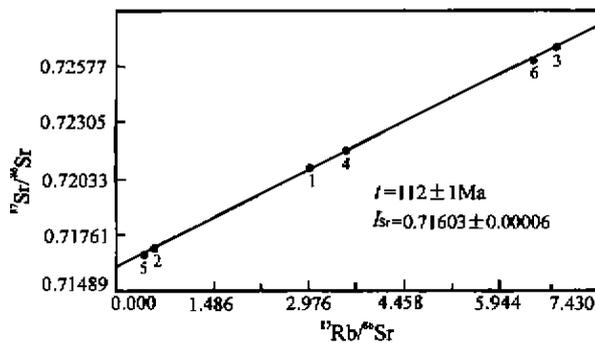


图4 五龙金矿第四成矿阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线

Fig. 4 Rb-Sr isochron of fluid inclusion in quartz vein of mineralization stage IV of Wulong gold deposit

五龙金矿每个成矿阶段的发展提供了热、流体、物质来源。魏俊浩等^①用 Sm-Nd 等时线法确定了矿床外围三股流花岗岩体形成时间为 126Ma。野外地质调查发现,五龙金矿含金石英细脉在三股流岩体内部也有广泛分布,这充分说明金矿成矿晚于三股流岩体的定位,通过上面分析可以认为,五龙金矿两个主成矿阶段的成矿时代是符合地质事实,有地质意义的。

李献华等(1992)曾对广东高风金矿第一成矿阶段和第三成矿阶段的含金石英脉分别用了⁴⁰Ar-³⁹Ar 和 Rb-Sr 法年龄测定,结果表明第一成矿阶段的成矿年龄为 225Ma ± 2Ma,第三成矿阶段的成矿年龄为 217 ± 7.7Ma,也就是说高风金矿第一成矿阶段和第三成矿阶段的成矿持续时限为 8Ma 左右,通过对比分析可以初步认为一个中、大型热液矿床的形成持续时限可能要有 10Ma 左右。

3.3 Sr 同位素对成矿物质的指示意义

通过数据分析,认为该矿床 Sr 同位素对成矿物质的指示意义主要表现在两个方面:其一,从 Sr 同位素的初始比值可以发现,五龙金矿第二(II)和第四(IV)成矿阶段 Sr 同位素初始比值非常接近(II: $I_{Sr} = 0.71541 \pm 0.00008$, IV: $I_{Sr} = 0.71603 \pm 0.00006$),说明两个成矿阶段的成矿物质来自同一个源区。另一方面,该矿床两个成矿阶段的 Sr 同位素的初始比值与地壳相似,可以初步推测五龙金矿主成矿阶段的成矿物质以壳源物质为主。

参 考 文 献

胡世玲,王松山. 1987. 山东玲珑和郭家岭岩体的同位素年龄及其地质意义. 岩石学报, 3(3): 63~89.
 骆万成,伍勤生. 1987. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的形成年龄. 科学

通报, 32(16): 1245~1248.

栾世伟,曹殿春,方耀奎. 1985. 小秦岭金矿床地球化学. 矿物岩石, 5(2): 11~18.

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意义. 北京:地质出版社, 12~91.

柳少波,王联魁. 1996. 金矿成岩成矿时差评述. 地质论评, 42(2): 154~165.

李献华,桂训唐,程景平. 1992. 广东高风金矿形成时代的 Rb-Sr, ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄测定. 矿床地质, 11(4): 367~373.

莫测辉,王秀璋. 1997a. 关于侵入岩体中金矿床成因研究若干问题的讨论. 地质论评, 43(2): 139~145.

莫测辉,王秀璋,程景平. 1997b. 冀西北东坪金矿含金石英脉石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线及其地质意义. 地球化学, 26(3): 20~26.

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.

邱华宁,戴植波. 1989. ⁴⁰Ar/³⁹Ar 法测定矿物流体包裹体年龄. 科学通报, 34(9): 687~689.

王秀璋,程景平. 1994. 国内外太古宇中金矿床的地质及地球化学特征对比及成因分析. 地球化学, 23(3): 211~225.

References

- Clauou-long T C, King R W, Kerrich R. 1992. Reply to comment by F. Corfu and D. W. Davis on "Archean hydrothermal zircon in the Abitibi greenstone belt: constrains on the timing of gold mineralization". Earth Planet. Sci. Lett., 109: 601~609.
- Hanes J A, Archibald D A, Hdgson C J. 1992. Dating of Archean auriferous quartz vein deposits in the Abitibi greenstone belt. Canada; ⁴⁰Ar-³⁹Ar evidence for a 70- to 100-m. y-time gap between plutonism-metamorphism and mineralization. Econ. Geol., 87: 1849~1861.
- Hu Shiling, Wang Songshan. 1987. Isotopic 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).
- Kerrich R, Watson R. 1984. The Massca Mine Archean lode gold deposit, Kirkland lake, Ontario: geology, patterns of alteration, and hydrothermal regime. Econ. Geol., 79: 1104~1130.
- Li Huaqin, Liu Jiaqi, Wei Lin. 1993. Study of fluid inclusion Chronology of hydrothmal deposit and their geological application. Beijing: Geological Publishing House, 12~91 (in Chinese).
- Li Xianhua, Gui Xuntang, Cheng Jingping. 1992. Rb-Sr and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of Gaofeng gold deposit. Mineral Deposit, 11(4): 367~373 (in Chinese with English abstract).
- Luan Shiwei, Cao Dianchun, Fang Yaokun. 1985. Geochemistry of Xiaocunling gold deposits. Minerals and Rocks, 5(2): 11~18 (in Chinese with English abstract).
- Liu Shaobo, Wang Liankui. 1996. The time gap between rock and gold formation. Geological Review, 42(2): 154~165 (in Chinese with English abstract).
- Luo Wancheng, Wu Qinsheng. 1987. Dating of gold deposits in east-

① 魏俊浩,刘丛强等. 辽宁五龙金矿成岩成矿的 Sr-Nd 同位素研究. 待刊.

- ern Shandong using altered minerals. Chinese Science Bulletin. 32 (16):1245~1248 (in Chinese).
- Mo Cehui, Wang Xiuzhang, Cheng Jingping. 1997a. Rb-Sr isochron of quartz fluid inclusion in Au-bearing quartz vein of Dongping gold deposit, Northwest Hebei and its geological implication. Geochimica. 26(3): 20~26 (in Chinese with English abstract).
- Mo Cehui, Wang Xiuzhang. 1997b. Some problems about the genesis of gold deposits in intrusives. Geological Review. 43(2):139~146 (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).
- Norman D I, Landis G P. 1983. Source of mineralizing components in hydrothermal ore fluids as evidenced by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and stable isotope data from the Pasto Bueno deposit, Peru. Econ. Geol., 78:451~465.
- Qiu Huaning, Dai Tongmo. 1989. Using the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method to determine the age of fluid inclusion. Chinese Science Bulletin. 34 (9): 687~689.
- Wang Xiuzhang, Chengjingping. 1994. Genesis analysis and contrast between geological and geochemical features of overseas Archean gold deposits. Geochimica. 23(3):211~225 (in Chinese with English abstract).
- Wong L, Davis D W, Krong T E, Rober F. 1991. U-Pb Zircon and rutile chronology of Archean greenstones formation and gold mineralization in the Val d'Or region, Quebec. Earth Plant. Sci. Lett. 104:325~336.

Time Span of the Major Ore-forming Stages of the Wulong Gold Deposit, Liaoning

WEI Junhao^{1,2)}, LIU Congqiang¹⁾, ZHAO Yongxin²⁾, LI Zhide²⁾

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

2) China University of Geosciences, Wuhan, 430074

Abstract

Based on the study of ore deposit geology, the ore-forming process of the Wulong gold deposit was divided into five stages from early to late, the pure quartz stage (I), pyrite-quartz stage (II), pyrite-bismuthinite-quartz stage (III), polymetallic sulfide-quartz stage (IV) and carbonate stage (V). The Rb-Sr dating of fluid inclusion in quartz of stage I and stage IV gave values of 120Ma and 112Ma. This shows that the time span for the main ore-forming stages of a middle—large scale gold deposit is about 10 Ma. The initial ratios of Sr isotope (stage I; $I_{\text{Sr}}=0.71541\pm0.00008$, stage IV; $I_{\text{Sr}}=0.71603\pm0.00006$) indicate that the ore-forming material of different ore-forming stages came from the same source of continental crust.

Key words: fluid inclusion; Rb-Sr isochron; time span of mineralization; Wulong gold deposit

消息报道

《地质学报》(英文版)在世界地学综合性刊物中排名第45位

据美国科学技术情报研究所(ISI)出版关系—资料采集部主管 Genevieve Gavin 2001年6月11日 Email 告知,《地质学报》(英文版)2000年的影响因子为1.000,在世界117种地学综合性期刊中排名第45位。

《地质学报》编辑部感谢国内外地质界同仁对本刊的支持,使本刊在“科学引文索引”(Science Citation Index 即“SCI”)中有如此良好的开端,编辑部将再接再厉,希各位地质界同仁继续大力地支持,使本刊更上一层楼。

《地质学报》编辑部

2001年6月