

· 贵金属矿床 ·

文章编号: 1002-4182(2000)03-0129-05

## 新疆萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床的确认及其意义

刘家军<sup>1,2</sup>, 郑明华<sup>2</sup>, 龙训荣<sup>2</sup>, 张寿庭<sup>2</sup>, 尹怀信<sup>3</sup>, 王 进<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 成都理工学院 矿床地质研究所, 四川 成都 610059;

3. 新疆地质矿产开发局第二地质大队, 新疆 喀什 844002)

摘 要: 位于新疆南天山冒地槽褶皱带西段的萨瓦亚尔顿金矿床, 无论其产出地质背景、赋矿岩石、矿化形式、矿物组合及元素组合, 还是成矿作用, 均可与邻国的穆龙套型金矿床进行对比。它是我国在西南天山发现的首例大规模、低品位, 并具有细脉浸染和蚀变特征的典型穆龙套型金矿床。

关键词: 萨瓦亚尔顿; 穆龙套型金矿床; 新疆; 西南天山

文献标识码: A

中图分类号: p618.51

超大型矿床成矿地质条件的研究和找矿是当代矿床学和地质勘查的热点。目前国内外对超大型金矿床的研究正方兴未艾。据统计, 在世界上 9 个千吨级超大型金矿床中, 穆龙套型金矿床就占有两个<sup>[1]</sup>。可见, 穆龙套型金矿床在世界主要金矿床中占有多么重要的地位。鉴于穆龙套型金矿床的巨大价值以及在靠近我国新疆西部边境的邻国(哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦)发现了一系列穆龙套型金矿床, 特别是在离新疆边境不过 40 km 的哈尔克他乌西延部分库姆托尔超大型金矿床的发现, 大大激发了我国地质工作者在西南天山地区寻找同类金矿床的广泛兴趣。因此, 在新疆西南天山探索穆龙套型金矿床的成矿地质条件和找矿方向, 乃是我国金矿地质工作者的一项迫切任务。

我国金矿床类型繁多, 对一些金矿床类型已有较深入的研究, 并已取得了重要成果, 如卡林型(微细浸染型)金矿床。但世界上某些重要金矿床类型, 在我国一直未有突破。兰德型、穆龙套型金矿床即属此例。但近年萨瓦亚尔顿金矿床的发现, 使新疆西南天山穆龙套型金矿床的找矿取得了重大突破<sup>①</sup>。

## 1 矿床地质概况

萨瓦亚尔顿金矿床, 是新疆地质矿产开发局第二

地质大队通过 1: 20 万化探异常检查而发现的。经几年的科研工作, 作者及其他研究者对此矿床相继作了报道和研究<sup>[1-9]</sup>。该矿床位于南天山冒地槽褶皱带费尔干纳大断裂西侧的东阿赖复背斜中, 其北部紧邻吉尔吉斯斯坦共和国。区域上, 断裂和褶皱构造十分发育, 构造线总体方向为北东-南西向。在大断裂中有蛇绿混杂岩块和少量基性岩脉产出。矿区内走向断裂发育, 以南北向和北北东向为主。赋矿地层主体为上石炭统浅变质碎屑岩夹碳酸盐岩组成的复理石建造<sup>[2,3]</sup>, 具典型浊流沉积特征。

在面积约 27 km<sup>2</sup> 矿区范围内(图 1), 现已发现 11 个金矿带<sup>①</sup>。其中以 IV 号矿带规模最大, 金储量超过 70 t, 次为 I、II、V、IV 号金矿带。IV 号金矿带长 4200 m, 宽 15~48 m, 主矿体长达 3000 m, 宽 6~18 m, 延深较大。在金矿石中, 常见毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉锑矿、闪锌矿和方铅矿等金属矿物以及石英等非金属矿物。矿石中金的含量大多在  $2 \times 10^{-6}$  左右, 但局部较富, 可达  $5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-5}$ 。除 Au 外, 矿石中 Sb、Ag、W 含量也较高。如矿石中 Ag 含量普遍为  $20 \times 10^{-6} \sim 70 \times 10^{-6}$ , 最高可达  $600 \times 10^{-6}$ ; W 含量高达  $149. \times 10^{-6}$ ; Sb 含量最高可达 70%, 并在局部地段可圈出独立的锑矿体。

## 2 确认依据

近几年来, 作者在实施原地质矿产部定向基金和国家科技攻关 305 项目的过程中, 对萨瓦亚尔顿金矿床进行了具体研究, 并确认其为穆龙套型金矿床。主要依据如下。

收稿日期: 2000-04-25. 张哲编辑。

基金项目: 中国科学院“百人计划”; 原地质矿产部定向基金(地直发 1993-010); 国家科技攻关 305 项目(专题号 04-03-01); 国家基础发展规划(G1999043208); 国家自然科学基金(批准号 49773197)。

① 郑明华, 刘家军, 龙训荣, 等. 新疆南天山穆龙套型金矿成矿地质条件及找矿靶区研究. 成都理工学院, 1996, 1-133.

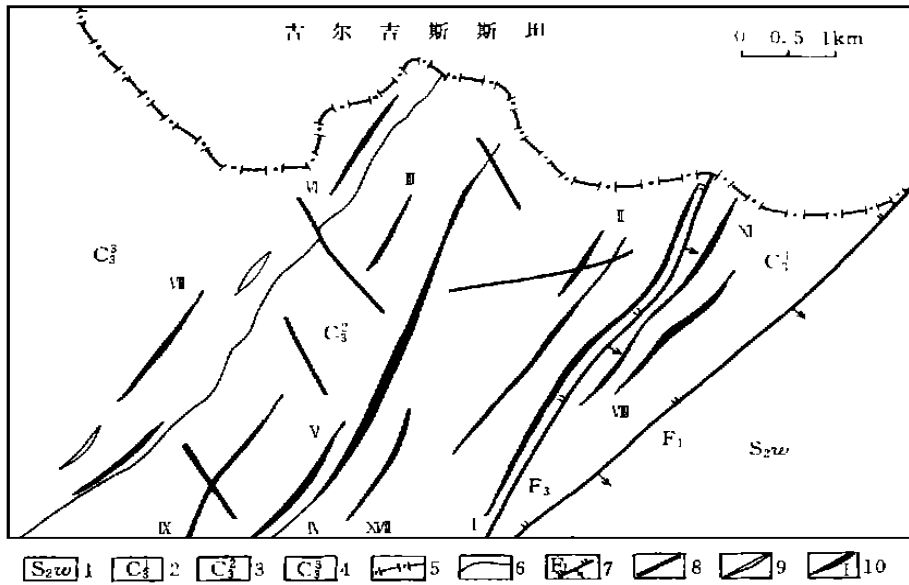


图 1 萨瓦亚尔顿金矿地质略图

(据新疆地质矿产局第二地质大队内部资料修编)

Fig. 1 Geological sketch map of Sawaya ʻerdun gold deposit

(modified from Xinjiang Bureau of Geology and Exploration, unpublished)

1- 中志留统碳酸盐岩建造 (Middle Silurian carbonate rock formation); 2- 上石炭统下段 (lower formation of Upper Carboniferous); 3- 上石炭统中段 (middle formation of Upper Carboniferous); 4- 上石炭统上段 (upper formation of Upper Carboniferous); 5- 国界线 (national boundary); 6- 地层界线 (stratigraphic boundary); 7- 逆断层及编号 (reverse fault and number); 8- 横断层 (transverse fault); 9- 基性岩脉 (宽度夸大显示) (basic dyke with exaggerated width); 10- 矿带及编号 (宽度夸大显示) (ore belt, with exaggerated width, and number)

(1) 萨瓦亚尔顿金矿床所处的大地构造位置和区域地质构造条件与邻国穆龙套型金矿床的产出位置<sup>[10]</sup>一脉相承。

我国境内的天山构造带分为北、中、南 3 个带, 它们分别对应于中亚天山构造带的北天山、中天山和南天山 3 个带<sup>[1]</sup>。新疆萨瓦亚尔顿金矿床所处的南天山构造带是穆龙套、库姆托尔等穆龙套型金矿床所在的中—南天山构造带向东的直接延伸部分, 它们所呈现的地质构造特征和成矿条件等均具有可对比性。

(2) 萨瓦亚尔顿金矿床赋存于一套浅变质碎屑岩夹碳酸盐岩建造中<sup>[2,3]</sup>, 按岩性变化, 自下而上可分为下、中、上 3 个岩性段。下段为灰色中—薄层细粒石英砂岩、粉砂岩, 夹碳质板岩。其底部有薄层泥灰岩和生物碎屑灰岩; 中段是最重要的赋矿岩性段, 此段主体由深灰色—黑色薄层粉砂岩和碳质板岩互层构成数不胜数的韵律层; 上段由一套灰色—深灰色的中—薄层粉砂质板岩、粉砂岩夹黑色碳质板岩和硅质岩组成, 且向上碳质板岩明显增多。在此岩性段下部出现典型的鲍马序列。

含矿建造中层理构造 (如粒序层理、平行层理、砂纹交错层理和水平层理)、层面构造 (如槽模、沟模、剥离线理)、准同生变形构造 (如重荷模、碟状构造) 等相当发育。沉积相分析表明, 含矿建造是一套典型的浊流作用的产物。其与穆龙套金矿床的赋矿地层相

似。尽管穆龙套型金矿床的赋矿地层时代 (大都认为属奥陶—志留纪<sup>[11-17]</sup>, 也有认为属寒武—奥陶纪<sup>[10]</sup>或前寒武纪—下古生代<sup>[18]</sup>) 与萨瓦亚尔顿金矿床的赋矿地层时代 (晚石炭世<sup>[2,3]</sup>) 有一定差异, 但就岩性而言, 两者均为粉砂岩、砂岩、千枚岩和碳质千枚岩互层产出, 具有极佳的韵律性, 属典型的浊积岩。

(3) 矿化受构造破碎带控制, 热液蚀变明显。矿化形式以细脉、网脉和浸染状为主要特征。主要矿石类型为: 条带状毒砂—黄铁矿—金矿石; 块状黄铁矿—毒砂—金矿石; 石英—黄铁矿—辉铋矿—金矿石; 黄铁矿—菱铁矿—金矿石; 石英—金矿石。在个别金矿带中可见石英—辉铋矿—金矿石和石英—黄铁矿—金矿石。不同矿带中产出的矿石类型不尽相同。如 I、IV 矿带以石英—黄铁矿—辉铋矿—金矿石为主; II 矿带主要为条带状毒砂—黄铁矿—金矿石和块状黄铁矿—毒砂—金矿石; III 矿带为黄铁矿—菱铁矿—金矿石; IV 矿带则主要是石英—金矿石和石英—黄铁矿—金矿石。显然, 矿床中矿化特征及矿石类型与穆龙套型金矿床所具有的特征<sup>[9,16]</sup>大体一致。

(4) 矿石中矿物组成较复杂, 金属矿物中除常见的毒砂、黄铁矿、白铁矿、辉铋矿、闪锌矿和方铅矿外, 还可见脆硫铋铅矿、方钴矿、银黝铜矿、辉铁铋矿、辉铋矿、自然铋、硫铋铅矿和锡石等。矿石中主要脉石矿物为石英和菱铁矿, 尚可见少量的方解石、铁

白云石和钠长石。矿石矿物组合特征也与穆龙套金矿床<sup>[14, 17, 19]</sup>类似, 尤其是存在较多贱金属硫化物和铋的矿物, 构成了此类金矿床的一大特色, 而明显不同于卡林型金矿床所具有的毒砂- (砷) 黄铁矿- 雄黄- 雌黄- 辰砂等矿物组合特征。

就元素组合而言, 萨瓦亚尔顿金矿区存在 Au-As-Sb-Hg-Ag-Bi 地球化学异常, 且异常面积大, 元素组合好, 分带清晰<sup>[1]</sup>。尽管矿区尚未发现穆龙套型金矿床中的典型矿物——白钨矿<sup>[14, 15]</sup>, 但 40 件样品的中子活化分析结果表明, 矿石中钨含量较高 ( $16.2 \times 10^{-6} \sim 149.4 \times 10^{-6}$ )。因此, 矿区元素组合特征也与穆龙套型金矿床的元素组合特征<sup>[17]</sup>类似。

(5) 穆龙套金矿床以产出众多明金为特征, 金呈微小包裹体散布于石英和硫化物矿物中, 金的粒度较小 (一般为 0.001~0.99 mm), 也见呈微细脉产出<sup>[11, 16]</sup>。在萨瓦亚尔顿金矿中亦发现众多的显微状金的细脉, 金的析出体分布在石英和毒砂或黄铁矿的压碎部位或其颗粒的边缘。穆龙套金矿床金的成色不高, 为 890~910<sup>[11]</sup>, 也有报道为 545~739 (同一金粒内部成色为 635~845)<sup>[11]</sup>; 而萨瓦亚尔顿金矿床中金多以银金矿产出, 成色多在 800 左右<sup>[3]</sup>。说明两者亦大体相似。

(6) 成矿物质来源。萨瓦亚尔顿金矿床矿石中微量元素组成, 稀土元素配分模式大都反映了成矿金属物质主要来自赋矿地层本身<sup>[3]</sup>。金属硫化物的  $W^{34}S = -3.4\% \sim +2.6\%$ , 比较集中, 呈塔式分布, 且主峰值接近 0, 属陨硫。鉴于西南天山地区下古生界地层中广泛存在各类火山岩, 它们可能是该矿床的主要硫源, 部分可能有深部物质的参与。矿石中主要脉石矿物石英和菱铁矿中包裹体水的氢氧同位素组成为:  $WD = -72\% \sim -62\%$ ,  $W^8O = -11.6\% \sim +5.4\%$ 。对大气水、岩浆水与围岩的理想交换演化的计算结果表明, 成矿流体主要为大气降水补给的地下卤水, 并有少量岩浆水的混合<sup>①</sup>。可见萨瓦亚尔顿金矿床的成矿物质来源比较复杂。至于穆龙套型金矿床, 其成因一直存在争议。归纳起来主要有以下几种观点: ① 岩浆热液交代成因<sup>[10, 18, 20, 21]</sup>; ② 变质热液成因<sup>[14, 15, 17, 19]</sup>; ③ 大气降水热液成因<sup>[22]</sup>; ④ 变质-岩浆热液叠加改造成因<sup>[16]</sup>。矿床成因的争议, 反映了穆龙套型金矿床成矿物质来源的复杂性。因此, 萨瓦亚尔顿金矿床与穆龙套型金矿床均具有复杂的成矿物质来源。

(7) 萨瓦亚尔顿金矿床的成矿过程, 根据矿物组合及脉体穿插关系可将其划分为 4 个阶段, 即无矿石英阶段、石英-毒砂-黄铁矿阶段、金-多金属-石英阶段和碳酸盐阶段。研究表明<sup>[4]</sup>, 成矿流体中液相成分以  $Na^+$ 、 $Cl^-$  和  $SO_4^{2-}$  为主, 气相成分中富含  $CO_2$  和

$CH_4$ 。成矿时温度 100~290°C (大多集中在 120~210°C), 压力 7.1~28.4 MPa, 氧逸度  $lgf_{O_2} = -54.67 \sim -49.61$ , 硫逸度  $logf_{S_2} = -21.86 \sim -16.58$ ,  $pH = 6.6 \sim 8.5$ ,  $Eh = -0.349 \sim -0.272$ 。金在成矿溶液中以  $[Au(HS)_2]$  形式迁移。金沉淀富集的主要机制是成矿流体沸腾酸化与混合冷却。尽管萨瓦亚尔顿金矿床的成矿物理化学条件与穆龙套型金矿床形成的物理化学条件<sup>[22]</sup>存在一定差异, 但两者的成矿过程及成矿阶段均大体相似, 且成矿时代也大体一致: 穆龙套金矿床成矿时代为 219~278 Ma<sup>[23, 24]</sup>, 其中 4 个阶段矿化时代分别为 272.6、256.2、230.2、219.4 Ma; 而对于萨瓦亚尔顿金矿床的成矿时代, 作者通过含金石英脉的  $^{39}Ar-^{40}Ar$  分析获得的年龄为 207~210 Ma, 而叶锦华等 (1998, 1999, 2000) 通过对石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线分析获得的年龄为 231~241 Ma<sup>[6, 8, 25]</sup>。

### 3 研究意义

穆龙套超大型金矿床, 是世界上最大的金矿床之一<sup>[11, 16, 18, 26]</sup>, 举世瞩目。近年加拿大地质调查所提出所谓“沉积岩容矿的脉状和剪切带中的金矿床”, 如加拿大新斯科舍的戈登维尔 (Goldenville), 澳大利亚的巴拉腊特 (Ballarat)、本迪戈 (Bendigo) 和波丁顿 (Boddington) 等金矿床, 均认为与穆龙套型金矿床类似<sup>①</sup>。我们确信, 产于浊积岩中的萨瓦亚尔顿金矿床, 无论从何种角度加以审视, 均与穆龙套型金矿床类似, 应属典型的穆龙套型金矿床。

众所周知, 十多年前, 我国曾在卡林型金矿床方面着手找矿和科学研究工作, 在全国各地发现了一批规模可观的卡林型金矿床。这些矿床的勘查成功、理论上的深入研究和陆续投产, 对改善我国金矿资源起了巨大作用。当前在西南天山起步开展穆龙套型金矿床的找矿与科学研究工作, 应被视为与十多年前起步开展卡林型金矿床的找矿和研究具有同等重要的意义。它的成功, 必将为改善我国金矿资源面貌起到更加巨大的作用, 为我国的经济腾飞作出贡献。

致谢: 在野外工作期间, 得到了新疆地质矿产局张良臣、刘德权、王福同三位前、后任总工程师以及新疆第二地质大队领导和工作人员的帮助, 在此深表谢意。

### 参考文献:

[1] 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 新疆穆龙套型金矿的找矿方向 [J]. 黄

① 郑明华, 刘家军, 龙训荣, 等. 新疆南天山穆龙套型金矿成矿地质条件及找矿靶区研究. 成都理工学院, 1996. 8~78

- 金科学技术, 1998, 6 (1): 18- 22.
- [2] 刘家军, 郑明华, 龙训荣, 等. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床赋矿地层时代的重新厘定及其意义 [J]. 科学通报, 1999, 44 (6): 653- 656.
- [3] 郑明华, 刘家军, 龙训荣, 等. 我国首例穆龙套型金矿床的发现 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (增刊): 381- 384.
- [4] 龙训荣, 郑明华, 张寿庭, 等. 萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床流体包裹体研究 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (增刊): 973- 976.
- [5] 张寿庭, 郑明华, 龙训荣, 等. 萨瓦亚尔顿穆龙套型金矿床构造控矿特征 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (增刊): 961- 964.
- [6] 叶庆同, 叶锦华. 新疆萨瓦亚尔顿金矿床的成矿机制和成因 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (增刊): 287- 290.
- [7] 叶锦华, 叶庆同, 孟祥金, 等. 中国西南天山地区穆龙套型金矿成矿地质条件和找矿远景 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (增刊): 41- 42.
- [8] 叶锦华, 叶庆同, 王进, 等. 萨瓦亚尔顿金(锑)矿床地质地球化学特征与成矿机理探讨 [J]. 矿床地质, 1999, 18 (1): 63- 72.
- [9] 李新生, 罗卫东. 中国首例穆龙套型金矿——新疆萨瓦亚尔顿金矿地质特征 [J]. 甘肃地质, 1997, 6 (1): 62- 66.
- [10] Drew L J, Kurbanov N K. Geology and structural evolution of Muruntau gold deposit, Kyzylkum Desert, Uzbekistan [J]. *Ore Geology Reviews*, 1996, (11): 175- 196.
- [11] 谭克仁. 穆龙套型金矿田超深钻地质研究新进展 [J]. 黄金科技动态, 1993, (3): 17- 28.
- [12] Котов Н В, Полицкая Л Г. Особенности геологического строения, минеральные ассоциации метасоматитов и вошпруды генезиса золота рудно о месторождения Мунтау (Центральные Кызылк - Умы) [J]. *Эпизоды Всесоюзного Минералогического Общества*, 1991, 125: 59- 69.
- [13] Loshchinin V P. The problem of gold genesis at the Ordovician-Silurian deposits of Muruntau ore field (Western Uzbekistan) [A]. 30th International Geological Congress Abstracts, 1996, 1/3: 780.
- [14] Алешин А П, Успенский Е И. Закономерности развития полигенной швелитовой минерализаций на золоторудном месторождении Мунтау [J]. *Геология Рудных Месторождений*, 1991, 33 (2): 58- 71.
- [15] Uspenskiy Ye I, Aleshin A P. Patterns of scheelite mineralization in the Mruuntau gold deposit, Uzbekistan [J]. *International Geology Reviews*, 1993, 35 (11): 1037- 1051.
- [16] 蔡宏渊, 郑跃鹏, 李福春, 等. 穆龙套金矿地质考察 [J]. 矿产与地质, 1993, 7 (6): 408- 413.
- [17] Скрябин В Ф, 等. 穆龙套金矿床的原生地球化学晕 [J]. *国外地质勘探技术*, 1998, (2): 17- 23.
- [18] Малякашцев А А, Хоклов В А. Петрологическая модель формирования золоторудно о месторождения Мунтау (Западный Узбекистан) [J]. *Геология Рудных Месторождений*, 1992, 34 (1): 38- 57.
- [19] Шаякубов Т Ш, Цой Р В, Голованов И М, и др. Мунтау ская свейклубкая скважин [J]. *Советская Геология*, 1991, (10): 10- 22.
- [20] Kostitsyn Yu A. Rb-Sr isotopic studies on the Muruntau ore deposit, ore-bearing metasomatites [J]. *Geokhimiya*, 1994, (4): 486- 498.
- [21] Kostitsyn Yu A. Rubidium-Strontium isotopic investigations of the Muruntau deposit: dating of ore veins by the isochronal method [J]. *Geokhimiya*, 1993, (9): 1308- 1319.
- [22] Zairi N M, Kurbanov N K. Isotopic-geochemical model of ore genesis in the Muruntau ore field [J]. *International Geology Reviews*, 1992, 34 (1): 88- 94.
- [23] Зайи Н М, Курбанов Н К. Изотопно-геохимическая модель рудогенеза на рудном поле Мунтау [J]. *Советская Геология*, 1991, (8): 64- 69.
- [24] Иванкин П Ф, и др. Особенности отложения золота и чернотемных зонах [J]. *Советская Геология*, 1985, (11): 52- 60.
- [25] 叶锦华, 王立本, 叶庆同, 等. 西南天山萨瓦亚尔顿金(锑)矿床成矿进代与赋矿地层时代 [J]. *地球学报*, 1999, 20(3): 1549- 1550.
- [26] Karson J. Muruntau: the world's largest gold producing mine complex [J]. *Mining Engineering*, 1984, 36 (11): 1549- 1550.

## IDENTIFICATION OF SAWAYA ERDUN GOLD DEPOSIT OF MURUNTAU-TYPE IN XINJIANG, SOUTHWESTERN TIANSHAN MOUNTAINS AND ITS SIGNIFICATION

LIU Jia-jun<sup>1,2</sup>, ZHENG Ming-hua<sup>2</sup>, LONG Xun-tong<sup>2</sup>, ZHANG Shou-ting<sup>2</sup>, YIN Huai-xin<sup>3</sup>, WANG Jin<sup>3</sup>

(1. OLOGD, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550003, China;

2. Institute of Mineral Deposits, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. Geological Team 2, Xinjiang Bureau of Geology and Exploration, Kashi 844002, China)

**Abstract** Sawaya érdun gold deposit, situated in the hinterland of southwestern Tianshan near the northwestern Tarim Basin, is characterized by large reserves, lower grade and intense alteration. In the ways of geological setting, ore-hosting rock, mineral and element paragenesis, as well as metallogenic mechanism, the gold deposit is pretty similar to and comparable with Murunatu gold deposit. It is the first example of Muruntau-type gold deposit found in Xinjiang, southwestern Tianshan of China.

**Key words** Sawaya érdun; Muruntau-type gold deposit; Xinjiang; Southwestern Tianshan Mountains

(下转第 143页)

infiltrated meteoric water, and secondly from magmatic water. The heat sources are geotherm, concealed magmatic activities and structural stress heat.

The tectonic evolution, especially magmatic activities, of the area shows an obvious correlation to the mineralization of ultramicro-grained gold deposits. The submarine basic magmatic intrusion and eruption during Variscan-Indosinian period is corresponding to the depositional-diagenetic primary enrichment stage, in which the source bed formed. That means, by etching and transporting of sea-water, the Au from basic magma precipitates and concentrates in the sedimental environment transformation belt on the margin of upwelling area, forming relatively enriched derivative source bed. The acid magmatic activities developed in continental marginal mobile belt during late Indosinian-Yanshanian epoches corresponds to the main hydrothermal mineralization stage. The multiphase inherited reactivation of basement faults at the margin of upwelling area results in upwelling and mineralizing of ore fluid. The acid magmatic activities not only contribute to part heat source for the ore fluid, but the magmatic hydrothermal may also be involved in mineralization by supplying a part of ore-forming material and fluid.

**Key words** magmatic activity; ultramicro-grained gold deposit; Northwest Guangxi Province

**作者简介:** 国家辉 (1942-), 男, 研究员, 1966年毕业于长春地质学院矿产地质及勘探系, 主要从事金矿地质研究工作; 通讯地址: 沈阳市北陵大街 25 号, 邮政编码 110032.

---

(上接 132页)

**作者简介:** 刘家军 (1963-), 男, 研究员, 博士, 1986年、1991年、1996年分别于成都理工学院获学士、硕士、博士学位, 1996-1998年于中国科学院地球化学研究所做博士后, 现于中国科学院地球化学研究所实施中国科学院“百人计划”的科研工作, 主要研究方向为层控矿床和矿床地球化学; 通讯地址: 贵州省贵阳市中国科学院地球化学研究所地球化学开放研究实验室, 邮政编码 550002, Email: jiajun@public1.gy.gz.cn