滇东南桂西北微细粒型金矿成矿作用探讨

Mineralizing Process of Micrograin-type Gold Deposits in Southeastern Yunnan and Northwestern Guangxi

国家辉
（沈阳地质矿产研究所，辽宁 沈阳 110032）

Guo Jiahui
(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110032, Liaoning, China)

摘 要 该文基于 1988－1992 年国家重点黄金科技攻关《桂西北地区超微粒型金矿成矿条件及其成矿预测》、1996－2000 年《滇东南金坝金矿区及其外围成矿远景预测》项目研究成果，对我国微细粒金矿集中区——滇黔桂金三角地区微细粒型金矿床产出的地质构造背景、成矿条件、控矿因素、矿化特征进行了概括，对其成矿规律、成矿作用进行了分析探讨。

关键词 微细粒型金矿 成矿作用 滇东南 桂西北

1 成矿地质构造背景、赋矿层位及矿化特征

桂西北地区迄今发现微细粒金矿床、点近 40 处，其中具工业意义、较有前景的有田林县高龙，凤山县金牙 ，凌云县罗楼、明山，乐业县浪全、平山，隆林县隆等金矿床。滇东南地区迄今也发现该类型金矿床十余处，其中具工业意义、较有前景的如富宁县金坝、革当，广南县堂上、老寨湾等金矿床。所有这些金矿床、点产出的地质构造背景、赋矿层位、矿化特征、控矿因素大同小异，归纳概括如下。

1.1 成矿地质构造背景

两地区的微细粒型金矿床、点均产于晚古生代-三叠纪桂西拗陷中的晚古生代隆起边缘（内外）部位。如桂西北地区高龙金矿床产于高龙隆起边缘，金牙、明山、罗楼等金矿床产于凌云隆起周边，浪全、平山金矿床产于乐业隆起边缘；滇东南地区金坝金矿床产于者桑隆起边缘，革当金矿床产于富宁隆起的西北边缘，堂上金矿床产于堂上隆起边缘，老寨湾金矿床产于珠街隆起边缘。另外，更重要的是矿床产出部位均发育隆起边缘基底断裂及与其有成生联系的褶皱、断裂构造系统，其具多期性、继承性活动特征，分别构成良好的导矿通道、布矿空间（国家辉等，1992，2001a）。

1.2 赋矿层位及容矿岩石特征

桂西北地区赋矿层位主要为中三叠统百蓬组，次为下三叠统罗楼组，在二叠系不纯碳酸盐岩地层中也发现矿化；滇东南地区赋矿层位则主要为上二叠统，次为下三叠统罗楼组，而在中三叠统仅发现矿化。两地区赋矿层位的最大特征是发育中基性火山碎屑岩夹层，系一套伴随海底火山喷发的浅海相半深水碎屑沉积建造。容矿岩石多为泥质粉砂岩、粉砂质凝灰岩、凝灰岩、凝灰质粉砂岩、砂岩及不纯碳酸盐岩、辉绿岩脉，破碎、含黄铁矿及有机质为其特征。

1.3 矿化特征

综合两地区该类型金矿床的矿化特征如下：矿体一般呈似层状、透镜体状、脉状及串珠状；围岩蚀变主要有黄铁矿化、毒砂化、硅化及碳酸盐化，一般分带不明显；矿石类型分为原生矿石、氧化矿石，其岩石类型视容矿岩石类型而定；原生矿石金属矿物有黄铁矿、毒砂及少量黄铜矿，在氧化矿石中则氧化为褐铁矿，见少量臭葱石、孔雀石，脉石矿物因容矿岩石不同而异；矿石结构以细碎屑、凝灰结构为主，辉绿结构、粒状结晶结构为次，尤以黄铁矿的环带环边结构为其标型特征。矿石构造以浸染状构造、网脉状构造、碎裂构造为主；金多以微包体金形式赋存在黄铁矿、毒砂中，或呈微粒吸附于褐铁矿、

作者简介 国家辉，男， 1942 年生，研究员，长期从事贵金属矿床地质及地球化学研究工作。

粘土矿物中。矿石品位一般不太高，介于 1.5×10^{-6}～8.0×10^{-6}（国家辉等，1992，2001a）。

据两地区典型金矿床研究，成矿期均可划分为沉积成岩初步富集期、热液主成矿期和表生氧化期，其中主成矿热液期又分为石英-黄铁矿-毒砂主成矿阶段、石英-多金属次成矿阶段、石英-碳酸盐成矿晚期阶段。

2 成矿作用探讨

通过对桂西北、滇东南地区微细粒金矿典型矿床区域地质概况、矿区和矿床地质特征，尤其对矿化特征的详细研究；特别是通过稳定同位素组成溯源、稀土元素特征类比、微量元素含量示踪及包裹体成分和氢氧同位素特征揭示，对成矿物质及流体来源进行了分析；同时通过成矿期矿物包裹体地球化学的种种研究，对热液主成矿期各阶段成矿流体组分特征和成矿物理化学条件及热力学参数进行了探讨（国家辉等，1992；2001a、b；广西壮族自治地矿局，1985；云南省地矿局，1985）。基于上述研究基础，可以对两区微细粒型金矿床的形成机制进行分析。

2.1 沉积成岩初步富集期

滇黔桂毗邻地区自晚泥盆世、尤其晚二叠世开始，由于地壳拉张造成大面积拗陷，局部相对隆起形成（隆）台（拗）盆相间的古地理格局，同时伴随深大断裂发生频繁的、以基性为主的海底火山喷溢活动。其间，拗陷区既接受了来自四周古陆蚀源区（西侧康滇古陆、东侧云开陆地；北侧江南古陆、南侧越北古陆）含金丰度较高的陆源物质，也接受了来自上地幔、下地壳含金高的火山物质的沉积（广西壮族自治地矿局，1985；云南省地矿局，1985）。其中的金经过海解和浮游生物的吸收，在拗陷区内的隆起区边缘沉积环境变换带，由于滞流、生物等作用发生相对富集形成矿源层。桂西北课题研究已发现地层中的金与基性元素相关密切、矿石中自然金含铂，因此推测矿源层中初步富集的金主要来自海底火山喷溢的火山物质（国家辉等，1992），地层中火山物质的发育程度与其含金丰度具正相关的因果关系。前已述及，两地区主要赋矿层位中三叠统百蓬组、下三叠统罗楼组、上二叠统均不同程度地发育火山碎屑岩建造，其含金丰度较高，在金成矿过程中既是赋矿层位容矿岩石，也作为矿源层提供了部分成矿物质。

矿源层中的金尽管是相对富集、丰度不很高，但一般多呈超微粒、胶粒金，与成岩期黄铁矿及有机质有关。如果岩石化学性质活泼，可溶性、可渗透性好，其中的金易活化迁移，在成矿过程中易被成矿热液萃取，可进一步为富集成矿提供矿源。矿化剂元素 S、As、Sb、Fe 主要来源于赋矿层位的研究结果也佐证了这一点。因此，赋矿层位具备矿源层条件，在成矿过程中提供了部分矿化及矿化剂元素，尽管其含金丰度不很高，未达矿化富集，但作为金矿床形成过程，应包括矿源层形成的初步富集阶段，尤其是矿源层作为赋矿层位、容矿岩石更应如此。

2.2 热液主成矿期——矿化富集

通过对两区微细粒型金矿床矿化特征的详细研究，已确认原生矿主要成矿期是热液期。换句话说，即经过热液成矿作用，方使矿源层在初步富集的基础上进一步达到矿化富集，其中包括矿源层中成矿物质的活化迁移再富集和含矿热液携带来的成矿物质的叠加富集。根据对成矿物质及流体来源和对成矿物理化学条件及热力学参数研究结果（国家辉等，1992；2001a、b；广西壮族自治地矿局，1985；云南省地矿局，1985），对热液主成矿期各阶段的成矿机制进行分析。

（1）金的热液地球化学性状：金为变价元素，常见 Au^0、Au^+、Au^{3+}，具有很强的极化络合能力，能与热液中多种配位体形成稳定的络合物随热液迁移。具体迁移形式取决于介质溶液的组分和物理化学性质。在不同组分、不同物理化学条件溶液中金可以不同的形式活化迁移，并能随溶液组分、物理化学条件的改变，迁移形式可相互转换。也正是成矿溶液组分和物理化学条件随溶液的运移、渗透过程中的演化，导致了成矿物质的迁移、沉淀聚集成矿。

（2）成矿热液的形成、活动方式。成矿物质及流体来源研究已初步得出结论，成矿物质来源于矿源层及基性岩浆期后热液，成矿流体主要来自大气降水、部分来自印支期基性岩浆侵入期后热液。那么，成矿热液是怎样形成的，具备什么样的活动方式？根据矿化特征提供的断裂构造导矿、控矿、布矿和矿化蚀变带特征及各阶段成矿热液性质、成矿方式等具体情况可作如下具体分析：① 成矿热液的形成。大气降水要随下渗深度的逐渐加大，温压才能逐步升高。因此，在地壳浅部下渗经矿源层时为低温低压条件，对其中的金只能是冷浸活化迁移。冷浸流体部分滞留浅部，部分沿断裂裂隙下渗直到深部、因地热增温而成为较高温的含矿溶液。印支期基性岩浆期后热液本身含一定的成矿物质，同时富含挥发份，系一种温压较高的含矿热液。上述两种含矿热液在地壳较深处汇合形成高温高压含矿热液，当隆起边缘基底断裂发生继承性复活时，由于应力释放减压，高温高压的含矿热液沿断裂上涌，并在上涌过程中不断萃取所流经矿源层中的成矿物质，同时与原滞留在地壳浅部的、经过冷浸的下渗雨水混合构成成矿热液。当其达到地壳浅部低压扩容带时，由于物理化学条件的突变，发生成矿作用；

② 成矿热液的活动方式。根据热液主成矿期划分含黄铁矿毒砂石英脉主成矿阶段、含多金属硫化物石英脉次成矿阶段及含碳酸盐石英脉成矿后期阶段，各阶段成矿热液组分特征、各种物理化学条件及热力学参数大同小异的特征，推测各成矿阶段热液来源相同、上涌途径相同，之所以出现阶段性缘于导矿断裂多次的继承性复活，即地壳深部高温高压含矿热液伴随基底断裂阶段性复活发生“脉动式”上涌的活动方式（类似“泵”）。根据矿石具典型浸染状、稠密浸染状及网脉状构造，蚀变矿化叠加无明显分带及蚀变矿化过程中元素的带入带出规律，推测成矿热液在赋矿层位低压扩容带中的主要活动方式为渗透扩散（即由成矿热液的压力差和浓度差引起），其次为充填。因而发生的成矿作用方式以渗透扩散交代为主，网脉充填为辅。

（3）矿源层中金的冷浸活化迁移。两地区的金矿区域内，导矿断裂两侧矿源层多为含火山碎屑岩的滨海相碎屑岩--浅海相碳酸盐岩交互的沉积建造，凝灰岩、凝灰质粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂岩呈互层状，夹火山熔岩及硅质岩和不纯灰岩透镜体，其中多含有机质、黄铁矿。据广西王国田（1989）资料，金在砂泥岩地层中分布不均匀，主要赋存在黄铁矿等硫化物中，部分与有机质、粘土矿物有关，其赋存状态主要为超微粒自然金包体和胶粒吸附金，少量呈离子晶格金（国家辉等，1992）。一般认为硫化物中的金和胶粒吸附金易被活化迁移。上述矿源层均为高渗透性、可溶性岩性组合，同时较富含黄铁矿及有机质，地表下渗雨水作用易形成弱酸—弱碱性、还原性较强的介质条件，地表裂隙水多为 HCO_3^--Ca^{2+}-.Mg^{2+}或 Na^+型、pH = 6.2～7.8。这种条件下，其中的金冷浸活化迁移形式应主要为$[Au(HS)_2]^-$、$[AuS_2]^-$络离子，考虑 As 也来源于矿源层，$[AuAsO_4]^0$、$[Au(AsS)_3]^{3-}$ 络离子也可能大量存在，此外尚会有胶体形式。需指出，冷浸活化迁移虽因温压低、效果不佳，但时间长、范围广也能淋出足够量的成矿物质。当导矿断裂复活深部高温高压含矿热液上涌时，冷浸的含矿流体与其混合形成成矿热液，共同参与低压扩容带的成矿作用。

（4）赋矿部位金的沉淀聚集。沿导矿断裂带上涌的高温高压含矿热液在其上涌过程中，虽时间较短、流经范围较窄，但具有很大的能量，对金的各种络合物具有很高的溶解度，能够通过溶蚀交代大量萃取所流经矿源层中的金及其他成矿物质，到达地壳浅部又和滞留在浅部的冷浸流体混合，大大增加了矿质浓度，形成成矿热液。这种成矿热液上涌到地壳浅部遇到低压扩容带时，物化条件发生显著变化，降温、减压，pH、E_h值增大，气体逸度降低，并与低压扩容带的容矿岩石、介质发生一系列反应，原平衡被破坏，含金络合物解离引起金的沉淀聚集。结合赋矿部位的容矿岩石岩性、介质条件和矿石矿物组合，对热液期各成矿阶段成矿热液的演化、金的沉淀聚集情况探讨分析如下：① 赋矿部位容矿岩石特征及介质条件。赋矿部位岩石节理、裂隙十分发育，岩石破碎，且多为高渗透性可溶性岩性组合，是理想的低压扩容带布矿空间。其内赋存丰富的大气降水，同时尚保存部分封闭的同生水。此外，有些层位富含有机质（煤线）和金属硫化物。因此赋矿部位具备成矿热液流动和渗透扩散交代作用进行的低压扩容和介质条件；② 各成矿阶段成矿热液在赋矿部位的演化及金的沉淀聚集。应强调微细粒型金矿床成矿作用以渗透扩散交代为主、充填为辅，而且在主成矿阶段及次成矿阶段中，渗透扩散交代作用在先、充填作用置后。因此，以充填脉体石英为样品所测试出的温度（均一及爆裂温度）和矿物包裹体成分资料及基于此计算和图解的各种物理化学参数，均应代表各阶段晚期充填时的成矿热液，而非阶段早期的成矿热液，故温压条件、热液特征及热力学参数，均应依热液演化规律做相应参考，如各阶段成矿热液温压条件要提高，热液浓度、密度、矿化度及气体逸度要提高，pH、E_h值则相应降低。

A. 主成矿阶段：该阶段成矿热液温压较高、密度较大，矿化度较高、盐度较大、pH ≤ 5.55、$E_h \leq -0.83$，为 Na^+-K^+-Mg^{2+} -Cl^--SO_4^{2-}- H_2O 型，富含各种含金络合物，含 SiO_2 少、运移速度快，易于渗透扩散交代作用。到达赋矿部位低压扩容带，各种含金络合物受不同物化条件改变的影响而发生解离，致使金释放还原、沉淀聚集成矿。渗透扩散交代过程中出现的化学反应略。

B. 次成矿阶段：该阶段成矿热液除 CO_2 含量较高、CH_4 较少与主成矿阶段差异较大外，温压条件、密度、矿化度、盐度稍低外，其他特征基本相似，为 CO_2-Na^+-K^+-Cl^--SO_4^{2-}-H_2O 型。该阶段以出现多金属硫化物、碳酸盐矿物为特征。

C. 成矿后期阶段：该阶段成矿热液除温压条件、密度、矿化度、盐度较前两个阶段明显降低外,最大特点是 pH 较大。溶液呈碱性，SiO_2 含量高，含矿质少。到达赋矿部位低压扩容带，因前两阶段的渗透扩散交代及网脉充填作用已使破碎的容矿岩石形成较致密的矿石，加上含 SiO_2 高、浓度大，不易于渗透扩散交代，仅充填于新形成的裂隙中，构成石英脉。该阶段成矿作用微弱，然而该阶段形成的石英脉在矿化部位发育，为表生期氧化特殊成矿作用及氧化矿石的抗剥蚀、保存提供了特殊作用。

2.3 表生氧化期——特殊的成矿作用

微细粒型金矿床的氧化矿石品位虽低，但规模大、埋深浅，深得地质矿产界的注视。尤其氧化矿浅埋易采、易堆浸，要

求矿石品位低，经济见效快，更博得众人的青睐。

表生氧化期特殊成矿作用的含义主要有两点：其一，矿体和矿化富集地段在地表常温常压下，经表生氧化作用载金矿物黄铁矿、毒砂等金属硫化物淋失，其中赋存的金被裸露、解离、活化、运移，部分加大聚集、部分呈胶粒被褐铁矿及粘土矿物或碳质吸附。金赋存状态的改变使其易通过堆浸提取，加上多近地表易露天开采，因此可降低矿石工业品位要求，使原不够原生矿工业品位的矿化地段也扩大为矿体，扩大了储量，这是一种特殊的次生成矿作用；其二，氧化带经大气降水的下渗、地表水径流，可溶组分及泥质组分大量流失，虽然可能淋失了部分离子金、粘土吸附金，但由于淋失了有机碳、砷，同时又减少了堆浸过程中泥化板结不利因素而利于堆浸、提高浸出率、回收率，可看作是一种特殊的成矿作用。

3 结 论

基于滇东南、桂西北微细粒型典型金矿床形成的地质构造条件、矿化特征及上述成矿机制的初步分析，认为两区微细粒型金矿床的成矿特征、规律大同小异。主要差异是滇东南地区赋矿层位偏低，成矿流体来源以基性岩浆期后热液为主、大气降水为次，容矿岩石增加了辉绿岩脉。至于赋矿层位偏低取决于矿源层形成的古地理环境差异，何况在桂西北课题研究时已预测二叠系、三叠系下统也是不可忽略的矿源层、赋矿层位。至于辉绿岩脉中发生矿化，桂西北地区也找到了该种矿化类型，如世加金矿床。

如此看来，两地区微细粒型金矿床的成矿机制的主要差别是成矿热液的来源和构成问题。金坝金矿床的研究已有比较可靠的资料说明基性岩浆期后热液参与了成矿，而且可能是成矿流体的主要来源，桂西北项目的研究虽也提供了证据但未敲定岩浆热液参与了成矿，仅是指出了可能参与成矿。因此，在已概括桂西北微细粒型金矿床成矿模式的基础上，略加改正充实可作为两区、乃至滇黔桂毗邻地区该类型金矿的成矿模式：隆起边缘矿质多来源，基底断裂矿液泵循环；大气降水、岩浆热液，共同构成成矿热液源。构造系统渗透与扩散，介质环境导致金沉淀，表生氧化淋滤和富集，原生氧化成矿类型全。

参 考 文 献

广西壮族自治地矿局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志. 北京：地质出版社.

国家辉，等. 1992. 桂西北超微粒型金矿及其成矿和找矿模式. 北京：地震出版社.

国家辉，等. 2001. 金坝金矿床地质特征. 地质与资源，10.

国家辉. 2001. 金坝金矿床成矿作用探讨及找矿条件、标志分析. 地质与资源，10.

云南省地矿局. 1985. 云南省地质志. 北京：地质出版社.