

文章编号:0258-7106(2001)04-0367-11

# 论我国微细浸染型金矿床与沉积盆地演化的关系\*

——以右江盆地为例

刘建明 叶杰

(中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100101)

刘家军 顾雪祥

(中国科学院地球化学研究所,贵州 贵阳 550002)

**摘要** 对华南右江盆地中某些微细浸染型金矿床开展了系统的地质学、组构学以及矿床地球化学研究。地质学和组构学研究表明,这类矿床具有大量的沉积阶段—成岩阶段的成因特征,在沉积物沉积—成岩期间就已经成矿。矿化与碳酸盐岩孤台的密切联系和丰富的成岩期软变形组构,表明成矿与控制海底地形的同沉积期断裂活动密切相关。而大量泄水构造和液化层理的出现则表明,在沉积物成岩阶段,沉积柱中曾有大量流体的活动,而且这种盆地流体的活动与成矿有密切关系。丰富的生物-有机成因组构则显示,成矿与沉积有机质的演化有着密切的内在联系。另外,矿床没有显示出与岩浆活动的任何关系。因此,右江盆地的微细浸染型金矿床与美国的卡林型金矿床不同,可能是离散大陆边缘张性盆地演化过程中盆地流体活动的产物之一。这一认识也得到地球化学研究不同程度的支持。

**关键词** 微细浸染金 碳酸盐岩台地 同沉积断裂 盆地流体 右江盆地

**中图分类号**: P618.51

**文献标识码**: A

近二十年来,我国南方三叠纪和晚古生代地层中相继发现了上百个产在沉积岩系中的微细浸染型金矿床。最近在华北克拉通的沉积-沉积变质地层中也发现了类似矿床(图1),赋矿地层从三叠系到古元古界辽河群,显示了巨大的潜力,引起了广泛关注。“微细浸染”是指矿石中的金和硫化物颗粒细微且弥散分布,与美国卡林型金矿相似,因而被称为卡林型金矿。大多数人认为它们是在同生沉积初步富金的基础上,经后期(主要指燕山期)下渗环流的大气降水热液改造再富集而成(李文冗等,1989;国家辉等,1992;刘东升,1994;郑明华等,1994;谭运金,1994),强调后生热液改造占主导地位。

笔者对这类矿床的研究始于1985年,曾先后研究过川西北松潘盆地的东北寨、桥桥上、马脑壳、哲波山、郎盖、天池、阿西、团结,右江盆地的戈塘、板其、丫他、紫木凶、三岔河、烂木厂、烂泥沟、塘新寨、金牙、高龙、隆或、马雄、者隘、逻楼、百乐、那审、龙田,西南秦岭的金龙山、丘岭、二台子、双王(太白)、八卦庙、坪定、三岔、大水,湘中盆地的高家坳、东江以及华北燕辽盆地的尖宝山等矿床。经过系统研究

和对比,发现这是一大类十分复杂、既有共性又各具特色的金矿床,统称其为“沉积岩容矿的微细浸染型金矿床(Sediment-hosted Micro-disseminated Gold,简称为SMG)”。它们都具有以下共性:①沉积岩容矿;②金和硫化物的微细浸染;③低温热液成矿特征。根据矿床之间的差异可大致分出构造岩浆后生控矿和盆地沉积同生控矿两个亚类。前者类似美国的卡林型金矿床,主要出现在松潘盆地和南秦岭盆地中,对此已经有了大量的论述;后者与沉积盆地演化密切相关而与岩浆活动无关,具有典型的同生成矿特征(刘建明等,1997a,1998),主要分布在我国右江盆地和湘桂粤盆地中,但其与盆地演化的密切关系尚未被人们所认识。正因为如此,本文选右江盆地为例进行相关研究,而且其所受到的盆地后构造-岩浆改造相对较弱,盆地期的特征尚清晰可见。

## 1 含矿沉积盆地的演化特征

我国南方众多SMG矿床集中分布在扬子克拉

\* 本研究受科技部攀登预选项目(95-预-39)和基础研究重大项目(G1999043210)资助  
第一作者简介 刘建明,男,1958年生,博士,教授,从事矿床学、矿床地球化学研究。  
收稿日期 2001-06-07;改回日期 2001-08-29。张绮玲编辑。

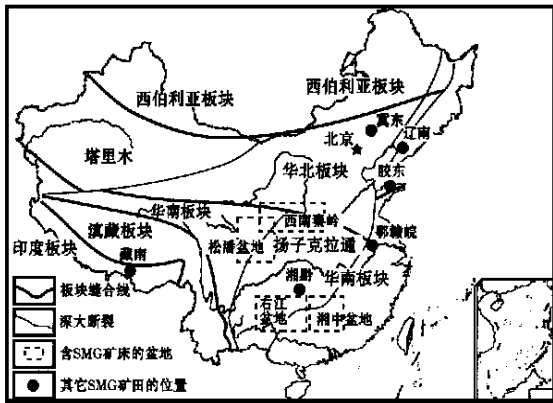


图1 显示扬子克拉通周缘含SMG型矿床的盆地及其他SMG矿田位置的中国大地构造略图(底图据程裕淇,1994)

Fig. 1 Plate-tectonic scheme of China, showing the four SMG-hosting rift basins around the Yangtze Craton and other SMG occurrences in China

通周缘的晚古生代张裂盆地内,包括克拉通南缘的湘桂粤盆地、西南缘的右江盆地、西缘的松潘盆地以及北-北西缘的西南秦岭盆地(图1)。这4个盆地均是在扬子克拉通边缘大陆型地壳基底上发育起来的泥盆纪—三叠纪张裂型盆地,时间上正好与古特提斯洋的演化吻合。

可能与局部地幔上隆有关(曾允孚等,1993),泥盆纪初,右江地区的地壳开始张裂,产生一系列北西向及北东向张性断裂带(同沉积断裂),使得海底地形复杂化,沉积物明显分异为:①断块隆起区浅水碳酸盐岩台地相(象州型、北流型);②深水-半深水泥质-硅质岩和深色燧石灰岩的槽盆相(南丹型、桂西型)。两者相间排列,形成鲜明对照。尔后,张裂带继续扩大,地垒随盆地的裂陷下沉进一步发展成边缘较陡的碳酸盐岩孤台,台地的边缘往往就是正在活动的同沉积断裂,再向外则是以碎屑沉积为主的槽盆相。右江地区在早、晚二叠世之间存在一个区域型的不整合面,可能与盆地东南缘的东吴运动有关。进入晚二叠世后,与扬子克拉通西部的峨嵋地裂(峨眉山玄武岩)相呼应,右江地区开始了新一轮的裂陷造盆旋回,并以较强烈的火山活动和更多的陆源硅质碎屑沉积为特色而区别于前一次裂陷造盆。与古特提斯洋的逐步关闭同步,右江盆地的西缘和南东缘受印支运动的影响而强烈抬升,右江盆地在早中三叠世具有了前陆盆地的特征(覃建雄等,2000),数千米厚的硅质碎屑沉积(经常是重力流沉

积)广泛发育,超覆了大多数长期发育的碳酸盐岩台地。

作为盆地内正地形的碳酸盐岩台地对海平面的变化十分敏感,可能多次出现台地暴露、喀斯特化(低水位期)→台地淹没埋藏(海进期)旋回。台地淹没埋藏事件是指碳酸盐岩台地由于海平面上升,构造沉降而被硅质碎屑岩所超覆掩埋的过程,可能与控制台地发育的台地边缘断裂(同沉积断裂)体系的活动有关。本文将台地顶部的不整合面及其直接上覆的那部分硅质碎屑沉积(数十至数百米厚)定义为台地掩埋层序或掩埋段,实际上是海侵体系域底部的退积式准层序组。这个不整合面(是或不是古喀斯特面)既是一个I型层序界面,也是一个沉积相变界面(台地碳酸盐→硅质碎屑沉积)。台地掩埋段的底部经常包含数米至数十米厚的硅质岩-硅化角砾岩,直接覆盖在古喀斯特面上。重要的是,SMG矿化就经常产在这种台地掩埋层序中。

晚三叠世右江盆地全面封闭进入盆地反转期,许多盆地沉积期的张性正断层反转成逆冲断层,地层普遍褶皱。但不同沉积相的褶皱形态有较大区别。槽盆深-半深水相地层形成紧密线型褶皱,断块隆起区的台地相地层则以宽缓褶皱为特征。两者的接触带(即沉积相变带)则往往出现特别强烈的断裂和褶皱变形。经常能见到台地周围的碎屑岩层的褶皱轴产状围绕台地变化(参见图3b中高龙穹隆周围地层产状的变化),表明相对较老、较硬的台地相碳酸盐岩在变形过程中起了砥柱的作用。因此,经常产在两者相变部位(即台地掩埋段)的SMG矿体也遭受了强烈的改造。但是,盆地封闭后的岩浆活动很弱,因此右江盆地SMG矿区内及其外围均极少见到岩浆侵入体。

## 2 SMG矿床的主要地质特征

右江盆地SMG矿床具显著的层控性,主要产在 $P_2$ 和 $T_{1+2}$ 地层中。SMG矿床往往具有矿化标志不明显、矿体与围岩的界限不清、金为次显微不可见金、金品位低等特征,因此其找矿和研究工作难度都很大。所谓的SMG矿石主要由含矿主岩的造岩矿物组成(90%以上),只有百分之几或不到1%的所谓“热液矿物”,包括黄铁矿、低温毒砂、辉锑矿、白铁矿、雄黄、雌黄、辰砂、玉髓、石英、碳酸盐矿物等。矿石具典型的低温热液成矿元素共生组合(Au-Sb-As-

Hg) 低温矿物组合以及中等-弱的低温热液蚀变组合(低温硅化-泥化-碳酸盐化-绿泥石化)。测定的流体包裹体均一温度亦较低,大多数在 200 °C 上下(李文元等,1989;国家辉等,1992;刘东升,1994;郑明华等,1994)。根据直接含矿主岩岩性,可分出硅质岩型和碎屑岩型两大类矿石,前者产在台地淹没层序底部的硅质岩-硅质(角)砾岩中,后者则产在碳酸盐含量和有机质含量较高的硅质细碎屑岩中(粉砂岩、细砂岩、泥岩或页岩)。此外,当矿化沿强烈变形的断裂破碎带发育时则形成破碎带型和网脉状矿石,两者大都位于硅质碎屑岩系中。

右江盆地 SMG 矿床最引人瞩目的宏观特征是,

矿床的产出位置受沉积相带和盆地古地形的控制,经常产在盆地边缘或盆地内碳酸盐岩孤台的边部或斜坡带的台地掩埋段中。这一特征在区域矿床分布图(图 2)和矿床的平面图及剖面图上(图 3)都表现得十分突出。这种碳酸盐岩孤台受控于台地边缘的同生断裂体系,大小和形状差异很大,但都显示相似的岩石地层结构,从内向外或从下往上依次为:较老的台地碳酸盐岩(以 P<sub>1</sub> 和 C 为主,部分为 D 或 P<sub>2</sub>) → 不整合面或相变面(经常是古喀斯特面) → 台地掩埋段 → 巨厚硅质碎屑沉积(经常是 P<sub>2</sub> 或 T<sub>1+2</sub>) (图 2, 图 3)。因此,根据矿化与台地的关系可分出 3 种矿化类型:直接盖在碳酸盐岩台地顶部古喀斯特不整

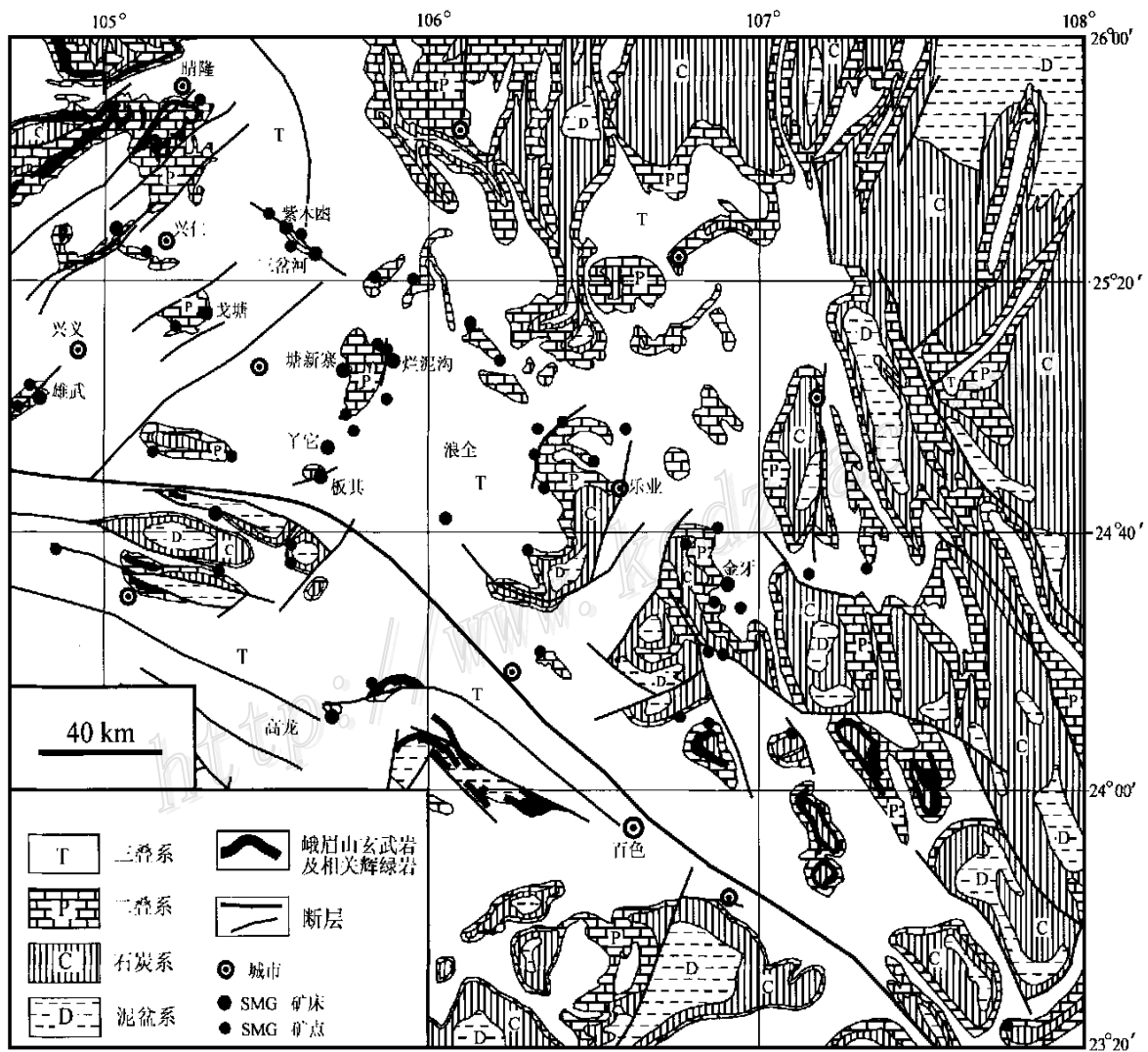


图 2 右江盆地 SMG 矿床的区域分布特征及其与水下碳酸盐岩高地和同沉积断裂的关系(底图据贵州和广西区域地质志简化)

Fig. 2 Simplified geological map of Youjiang basin region, showing the SMG distribution and the association of SMG deposits with carbonate platforms

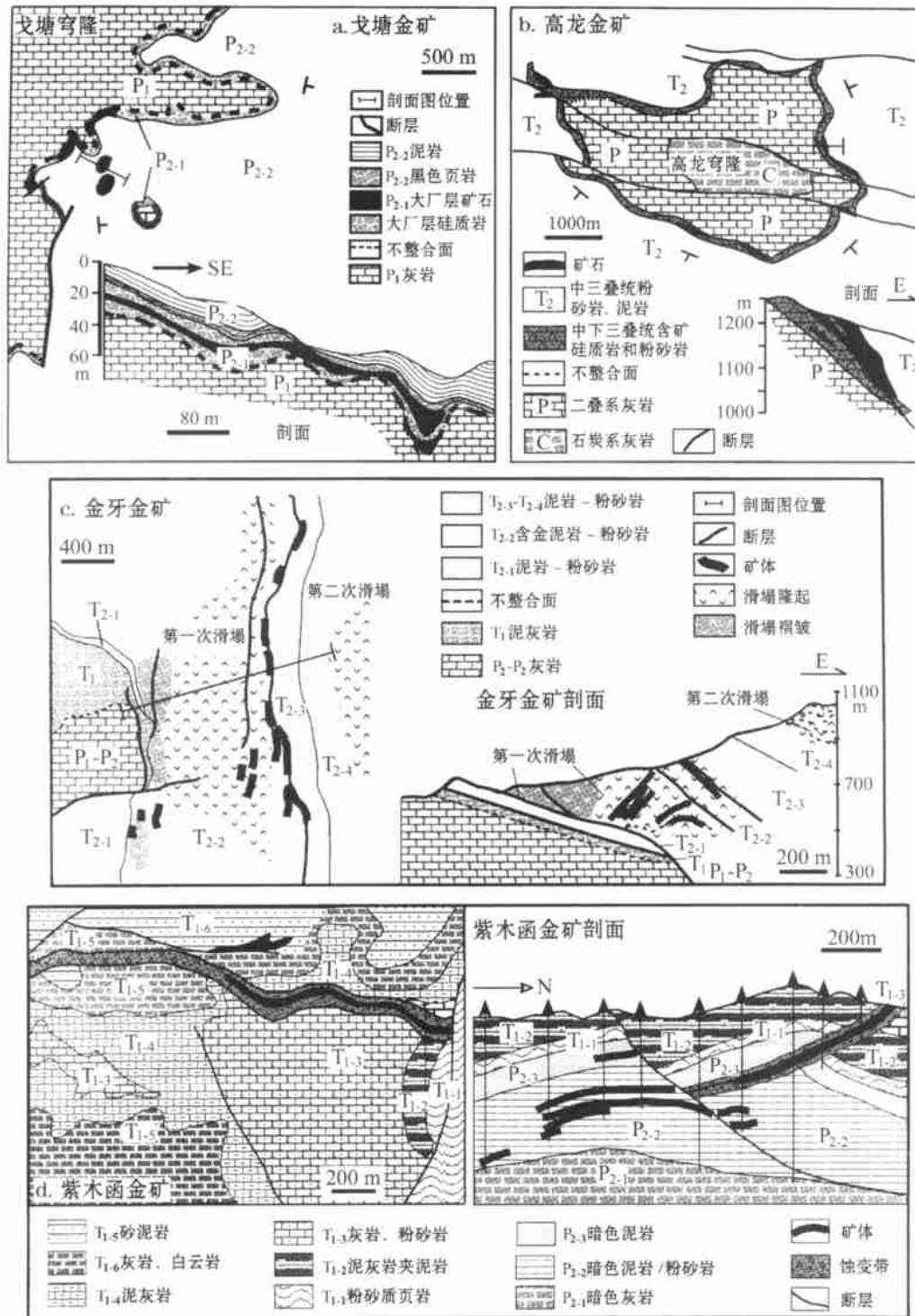


图3 右江盆地三类SMG矿床典型矿例的平面和剖面地质图

a—戈塘穹隆上的戈塘金矿,典型的近台型SMG; b—高龙穹隆上的高龙金矿,典型的近台型SMG。注意穹隆边缘断裂和四周三叠纪地层产状的变化; c—凌云隆起上的金牙金矿,过渡型SMG。注意有两个不整合面和两次同沉积滑塌; d—紫木函金矿,典型的远台型SMG。注意深部的整合矿化和浅部沿断裂发育的不整合矿化

Fig. 3 Geological maps and cross sections of three SMG types

a and b—The Getang and Gaolong deposits on Getang and Gaolong domes respectively, as typical platform-proximal SMG deposits. Note the platform marginal faults and the change of rock attitudes around Gaolong dome; c—The Jinya deposit on Lingyun dome, a transitional-type SMG deposit. Note two syndepositional slumping events; d—The Zimudang deposit as an example of platform-distal SMG deposits

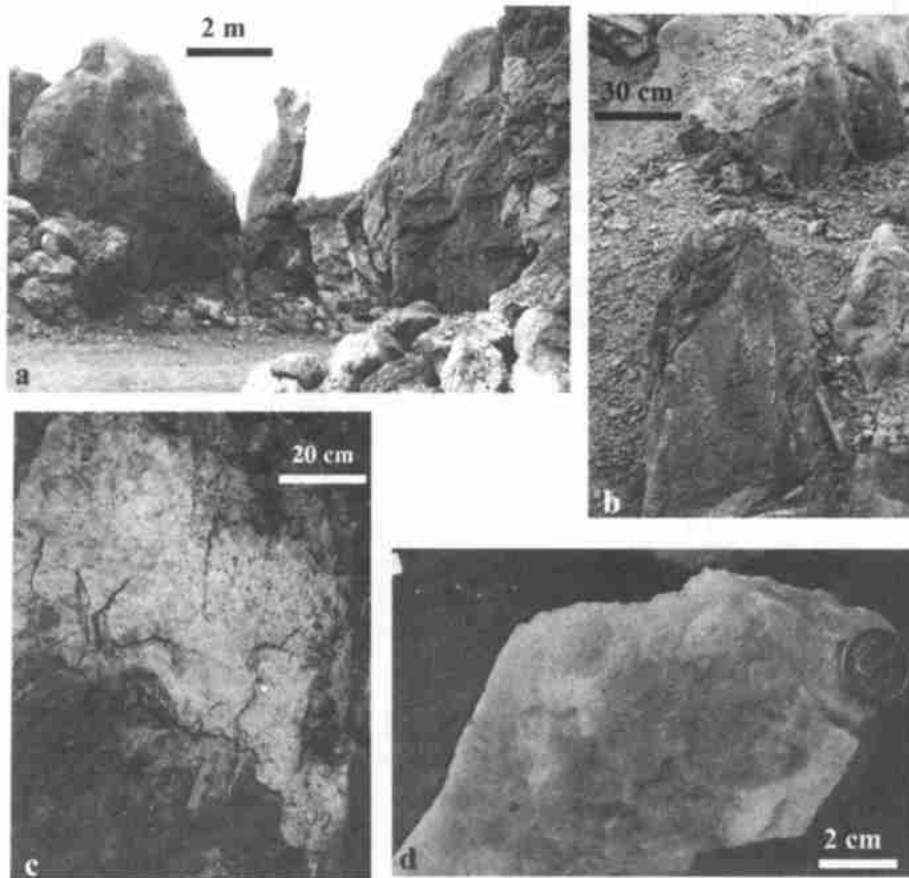


图 4 含矿碳酸盐台地的古喀斯特地貌景观和近台型 SMG 含矿硅质岩-硅质角砾岩的热水沉积特征  
 a—中三叠统的含金硅质岩采完后露出下伏二叠纪灰岩及其漂亮的古喀斯特地貌(广西高龙金矿); b—上二叠统大厂层含金硅质岩剥净后露出下二叠统茅口组灰岩及其古喀斯特地貌(贵州戈塘金矿); c—含矿硅质岩的热水沉积特征,包括水下侵蚀间断、角砾和纹层(详见文字描述)(贵州戈塘金矿); d— $\text{SiO}_2$  胶状沉积物经重结晶后形成的石英菊花状构造(广西高龙金矿)

Fig. 4 Paleo-karst of SMG-hosting carbonate platforms and exhalative auriferous chert

a and b—Paleo-karst surface on SMG-hosting carbonate platforms with beautiful stalagmites covered by auriferous chert and exposed by miners (Gaolong deposit, Guangxi and Getang deposit, Guizhou); c—Typical hydrothermal sedimentary chert (auriferous) with subwater erosional surface, sedimentary breccias, and fine lamination (Getang deposit, Guizhou); d—Chrysanthemum-like quartzite resulting from recrystallization of colloform chert (Gaolong deposit, Guangxi)

合面上的近台型、远离台地的远台型以及两者之间的过渡型(图 3)。

近台型 SMG 矿床产在台地掩埋层序底部的硅质岩-硅质(角)砾岩中(硅质岩上覆的碎屑岩中也常有部分矿化),矿体常呈整合的层状。含矿硅质岩被认为属于后生热液成因,但与卡林型金矿床的碧玉岩对比,却发现了大量热水沉积成因的证据:①右江盆地 P-T 地层中经常夹有沉积成因的燧石岩层,如人们熟知的含金层——“大厂层”(P<sub>2</sub> 底部)可沿层追索数十公里,并沿层产出有多个 SMG 矿床、辉铋矿矿床和块状黄铁矿矿床;②金矿化只产在不整合面以上的台地掩埋层序中,而不整合面以下的碳酸

盐岩中蚀变(硅化)都很弱,更无金矿化,这与卡林型金矿完全不同(卡林型金矿以各种碳酸盐岩为优选矿化主岩);③硅质岩经常直接覆盖在古岩溶风化面上,底板形态和产状随古岩溶面的起伏而变化(图 3a)。矿工将古岩溶面以上的含金硅质岩采走后,揭露出了漂亮的古喀斯特景观(图 4a, 4b);④热水硅质岩沉积过程中由于水下地震、热水喷发等构造事件而出现局部水下侵蚀间断,间断面以上的后续硅质沉积中有下伏硅质层的角砾,沉积纹层近于水平,指示着构造变动过后又是一种较为平静的热水沉积环境(图 4c)。硅质岩中的角砾成分复杂,既有下伏碳酸盐岩砾石(有一定磨圆,相当于底砾岩,见图 4b)

或古溶洞垮塌角砾(大多已硅化),也有早期硅质岩——石英角砾,角砾大小不一、无分选、无定向,胶结物成分为  $\text{SiO}_2$ ,是一种较为典型的、与水下热液流体喷发有关的喷发角砾岩;⑤原生硅质岩是一种燧石质胶体沉淀物。有趣的是在高龙金矿,硅质岩经重结晶成为石英岩,具漂亮的菊花状构造。详细的组构研究确认,这是由原生的凝胶状沉积物经重结晶而成的放射状组构(图4d),标志着一种低温快速的沉积过程;⑥在戈塘金矿,直接盖在古风化面上的硅质(底)砾岩常因富含褐铁矿而显红色色调(图4b),向上由于黄铁矿逐渐取代褐铁矿而由红变成灰黑色,再向上则出现富黄铁矿的黑色页岩。这实际上是一个比较典型的海侵层序。但过去从后生热液成矿的角度,则较难理解为什么难选冶的还原型矿石接近现代地表,而氧化型矿石反而出现在深部。

典型的远台型 SMG 矿床产在横向上远离、纵向上高于碳酸盐岩台地的硅质碎屑岩系的断裂破碎带内,以破碎带型、网脉状以及碎屑岩型矿石为主。矿床产出位置未显示与碳酸盐岩台地的直接关系。矿体大多数沿切穿地层的断裂带发育(图3d),也有少量整合层状矿体。经常出现网脉状-角砾状矿化和泥化、硅化和碳酸盐化。

右江盆地大量的 SMG 矿床是介于两者之间的过渡型,产在台地外侧边缘斜坡带或台地上方,以碎屑岩型矿石为主,既有整合层状矿体,又有穿层的脉状矿体,如广西的金牙金矿(图3c)。

### 3 矿石和赋矿围岩的组构学及地球化学特征

#### 3.1 矿石和围岩的组构学特征

右江盆地的 SMG 矿石显示大量不同尺度的沉积-成岩阶段的组构特征,包括:①金属硫化物、石英、碳酸盐矿物的同生沉积层纹-层理构造(厚 0.1 ~ 10 mm),严格与地层层理整合(图5a);②成岩期的软变形,包括揉皱(图5b)、包卷层理、重荷模、滑塌、枕状构造(图5c)等,硫化物仍然沿软变形后的层理分布,或围绕砂枕的边缘成环带(图5c);③同生沉积角砾岩-准同生滑塌角砾岩,有时见有多次喷发的硅质角砾岩(图4c)。这不仅表明本类矿床在沉积物沉积-成岩期间就已经形成,而且指示了当时水下高地边缘斜坡带强烈的同沉积断裂活动,以及由此引

发的水下滑塌、地震、流体喷发等过程(Jones et al., 1994)。

矿石和围岩常富含有机组分和有机生物成因组构,包括显微莓群、菌藻组构等。本次研究首次在显微镜下观察到了板其金矿和金牙金矿原生矿石中的细粒自然金,而金粒与一种有机碳质的微细条带密切共生(图5e),可能暗示成矿过程与沉积有机质的演化有关(刘建明等,2000)。

矿石和含矿岩石显示丰富的流体运移构造和液化构造。液化构造是指沉积柱中一些因富含流体而在力学上极不稳定的夹层,在种种外因(哪怕是极微弱的外因)的影响下发生类似塑性流动的复杂变形后留下的组构现象(图5e和5f)。这种变形一般只能通过层理-层纹的挠动来确认,很可能与沉积柱中的超压流体囊和同沉积断裂活动的扰动有关。流体运移构造是指富含流体的沉积物在其成岩压实过程中,由于流体运移而留下的组构现象,类似沉积岩石学中的泄水构造。如富含细粒分散有机质的泥岩中的流体向孔隙度相对较高的砂岩邻层流动时,黑色有机质沿途扩散而勾画出的流动路径(图5g);泥岩中的流体沿着重荷模构造中伸入砂岩的尖端部位排入砂岩,流体沿途沉淀下一些矿物(碳酸盐和  $\text{SiO}_2$ )而留下的细微脉体等。这一切都表明当时沉积柱中含大量的流体,而且这些流体曾发生强烈的运动并与 SMG 成矿有着密切的关系。

#### 3.2 矿床地球化学研究

笔者还对矿石及其围岩开展了硫、铅、碳、氧、氢同位素以及稀土元素和其他微量元素的地球化学研究。由于篇幅所限,这里仅概述了其中的部分重要结论(刘建明等,1998):矿石中黄铁矿的硫同位素组成变化很大( $\delta^{34}\text{S}$ 值以 +16‰ ~ -8‰ 为主,少数达 -28‰),显示沉积成因硫的特征;复杂的矿石铅同位素组成可能显示成矿物质来源于上地壳和造山带;矿石中石英和碳酸盐矿物的氧同位素及其中流体包裹体的氢同位素组成均很分散,笔者认为这是沉积盆地流体的一个典型特征;矿石中碳酸盐矿物的碳、氧同位素组成表明成矿流体中的  $\text{CO}_2$  主要由海相沉积碳酸盐经溶解作用产生;稀土元素和其他微量元素资料一致表明,矿石及其主岩具有统一的物源并经历了一致的地质作用过程,后期曾经有外来组分叠加的现象不明显。但值得指出的是,SMG 矿床地球化学研究的难度很大,因为矿石和非矿石很难区别(往往只能靠化验品位),矿石中含很少量

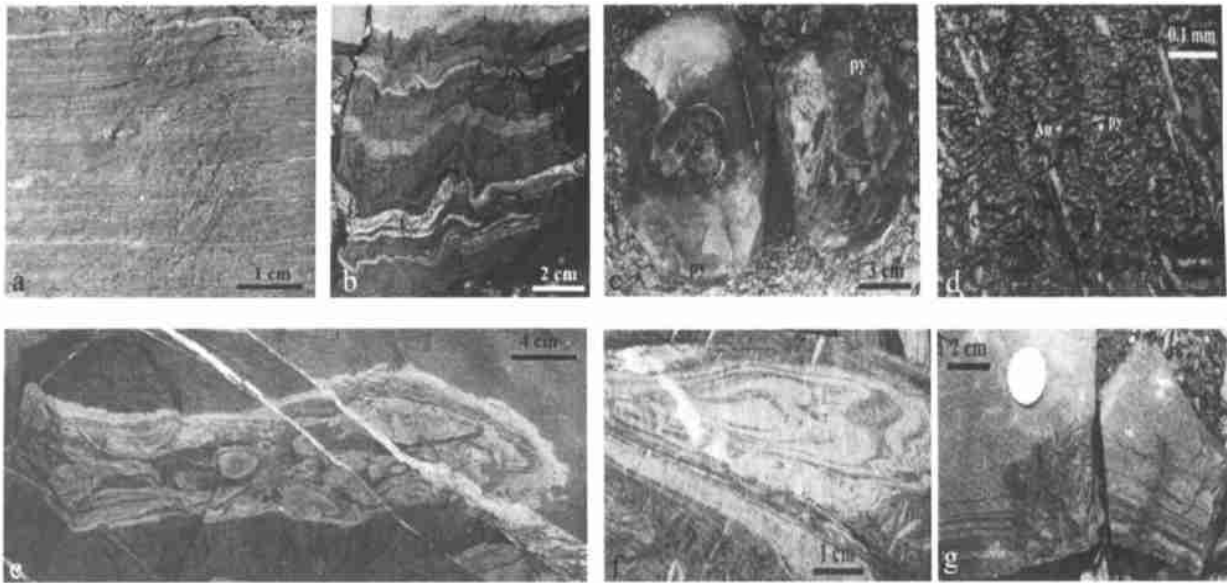


图 5 SMG 矿石和含矿主岩的某些典型组构照片

a—贵州三岔河金矿黄铁矿-石英-方解石的微细层纹整合地夹在粉砂岩层纹中,典型的碎屑岩型矿石;b—贵州板其金矿石英-黄铁矿细层的软变形,与上下地层同步褶皱;c—广西金牙金矿第一滑塌带(见图 3c)的砂枕构造,黄铁矿沿砂枕的同心枕面(即包卷后的层面)分布;d—广西金牙金矿产在黑色粉砂质泥岩中的微粒自然金(Au)与一种碳质条带(c)密切共生。单偏光;e—贵州紫木函金矿矿石中典型的液化层理,在暗色细砂岩中的浅色粉砂岩呈复杂的流动变形构造。黄铁矿沿层理分布,且有后期方解石脉体的穿插;f—贵州塘新寨金矿含矿细/粉砂岩中典型的液化层理;g—贵州丫它金矿富有有机质黑色泥岩层中的流体向相邻砂岩层迁移时留下的泄水构造

Fig. 5 Some fabric features of SMG ores and SMG-hosting rocks

a—Very fine concordant laminae of calcite-quartz-pyrite in siliciclastic ore (Sanchahe deposit, Guizhou); b—Soft deformation of fine sulfide-quartz-calcite laminae in siliciclastic ore (Banqi deposit, Guizhou); c—Sand-pillow in the first slump zone of the Jinya deposit. Note pyrite around the pillow margin; d—Gold (Au) associated with very fine organic-carbon string (c) (Jinya deposit, Guangxi); e—Liquefaction texture in the form of complex flow deformation with mix-bedded fine sandstone (dark) and silt/mudstone (light) in siliciclastic ore (Zimudang deposit, Guizhou); f—Liquefaction texture in the form of complex flow deformation (Tangxinzhai deposit, Guizhou); g—Fluid-migration structure: fluid migrating from black mud layer into silt layer (Yata deposit, Guizhou)

的热液矿物。

## 4 讨论

### 4.1 张性沉积盆地与 SMG 矿床的关系

如前所述,我国南方 4 个主要的 SMG 含矿盆地,滇黔桂右江盆地、湘桂粤盆地、松潘—甘孜盆地以及西南秦岭盆地,都是在克拉通边缘大陆型地壳基底之上经拉张裂陷而成的张性盆地(图 1),而且都与古特提斯演化历史一致。扬子板块东南缘(江南古陆北西缘)的下古生代地层中也有 SMG 矿床的报道,它们沿湘黔-江南古大断裂(江南古陆北侧的大型同生断裂)分布。这些含矿盆地也是拉张背景下的沉积盆地。藏南浪卡子的 SMG 矿化产在三叠纪黑色砂板岩系中,是印度克拉通北缘被动大陆边缘的沉积岩系。在华北克拉通,辽南青城子矿田以及

猫岭、四道沟、白云、隈子等类似 SMG 的金矿产在早元古代裂谷盆地中,即在太古宙原始克拉通基底上的早期裂陷沉积盆地中;而冀东长城系地层中的尖宝山等 SMG 金矿床则产在中元古代的拗拉槽沉积盆地中。实际上,裂谷等张性沉积盆地对沉积岩容矿的金属矿床的制约早已为人们所注意,包括 SEDEX 型矿床、层控铜铀矿床以及 MVT(密西西比河谷型)型矿床(Large, 1980; Sawkins, 1990; Parnell, 1994; 刘建明等, 1997b, 2000)。但张性盆地对金矿床形成的制约关系则尚无人论述。研究表明, SMG 矿床可能是陆壳基底上张性沉积盆地(尤其是离散大陆边缘的裂陷盆地)演化的产物之一。

### 4.2 盆地流体的成矿作用及其对 SMG 矿床的可能效应

沉积盆地可看成一个巨大的开放-动态化学反应器。其上部边界不断有新沉积物颗粒和以海水为

主的流体的加入,在下部有来自基底的流体、下渗海水以及来自盆地边缘大气降水的渗入。盆地内则是一个由固体无机、有机沉积物颗粒和盆地流体组成的多相反应体系,进行着各种流体—岩石—烃类之间无机、有机和生物化学反应。沉积物的固结成岩、后生变化及其中的油气和金属矿床都是这个巨型化学反应器不同阶段的产物。盆地流体泛指活动于沉积柱内的有机、无机复杂流体相,包括来自盆地内部由沉积物压实和相变所释放出的自生流体和外来流体(下渗海水、大气水和基底补给流体)。在盆地演化早期的沉积水文地质阶段很可能以压实驱动流为主的自生流体占优势,而在晚期的渗入水文地质阶段则以重力驱动流为主的大气降水为主。盆地流体既可以上升到达海底以沉积喷流的方式成矿,也可在海底以下的沉积柱中运移时因遇到合适的地球化学障而发生沉淀卸载。与盆地流体有关的矿床类型主要包括:沉积喷流型矿床、密西西比式铅锌矿床、大陆砂页岩型铜、铀矿床(Large, 1980; Parnell, 1994; Barnes, 1997; 刘建明等, 1997b)。但是,金从未被认为是一个与盆地流体有关的成矿金属元素,SMG矿床也从未被认为是盆地流体成因。

典型的低温热液和富含有机组分是盆地流体的两大特征。丰富的有机组分可与金属元素结合生成稳定的多齿杂环络合物。有机螯合剂,尤其是大环络合物由于其特殊的几何构型,经常表现出对某种金属有明显的选择性。大环配体既有外部的疏水骨架,又有亲水的内腔,内腔只适应特定金属离子的键合。因此,象K、Rb、Cs、Sr、Ba等低电价大半径离子,以及REE、Al、Pb、Au、Ag、Hg等都有可能进入某些螯合配体的大空腔内,形成具有一定稳定性的螯合物〔如 $AuR_3$ 和 $(R_2AuX)_2$ ,其中R为烷基组、X为卤素〕进行迁移(刘建明等, 2000)。可见,金的有机络合物在一定条件下可能是促使金进入盆地流体并迁移成矿的重要机制,而有机络合配体对金属的选择性则可能是造成本类矿床只富集金、不富集铜铅锌等元素的主要原因之一。这种大分子有机络合物具有类似胶体粒子的性能,容易被其他细小颗粒(粘土、有机物等)所吸附,此时促使金沉淀卸载的主要机制可能是各种吸附作用,从而造成微细浸染不可见次显微金的出现。

#### 4.3 盆地地形、同沉积断裂、不整合面、沉积体系等对盆地流体运移的制约

有别于经典的后生热液,盆地流体的运移除了

受断裂控制外,还受盆地地形、不整合面以及沉积体系空间展布等因素的制约,这在油气运移研究中得到了充分的证实。在重力驱动下,沿透水层下渗的海水和盆地边缘下渗的大气降水的总体流动方向是从盆地边缘指向盆地中心的,被称作“向心流”。但盆地自生流体则在压实作用下向压力较小(即覆盖较薄)的部位流动,即主要向上、向盆地边缘和盆地内部的水下高地部位流动。总体上是从盆地中心流向盆地边缘、从凹陷中心流向相对突起的正地形,因此它又被称为“离心流”(Magara, 1978; Bjorlykke, 1993; Parnell, 1994; 刘建明, 2000)。盆地中被掩埋的正地形经常是油气和盆地卤水汇聚的部位。

沉积盆地演化过程中发育的众多不同级别和规模的同沉积断裂体系,在很大程度上控制着盆地的演化(包括盆地地形、相应的充填空间和沉积相带的时空分布),并制约盆地中流体的运移以及有关的金属成矿和油气聚集(Magara, 1978; Bjorlykke, 1993; Ortoleva, 1994; Parnell, 1994; 刘建明, 2000)。同沉积断层与其所控制的盆内高地一道,不仅可能构成盆地流体运移的良好通道,而且还是盆地深凹处排出的流体运移聚集的目的地。从而成为盆地流体同生—准同生成矿最有利的地段。也就是说,孤立碳酸盐岩台地(盆地正地形)、古喀斯特风化面、同沉积断裂体系以及沉积相系的空间展布4个因素相互耦合,制约了盆地流体的运移路径,并最终控制了SMG矿床的空间分布。这可能就是右江盆地内许多SMG矿床在碳酸盐岩台地周缘产出的原因。

沉积柱内平行层理的侧向渗透率总是大于垂直层理的垂向渗透率。隔水屏蔽层使流体排出受阻,结果出现欠压实异常地层高压(或称超压),甚至出现流体聚集的压力封隔体、超压流体囊(Ortoleva, 1994; Law et al., 1998)。这对于油气和金属的工业聚集极为重要。超压流体聚集到一定程度会由于水力压裂而引发同生断裂活动,结果使流体阵发性集中排泄。这种低密富水带的可塑性(流动性)极高,是沉积柱内的弱化带,沿着这些弱化带很容易发生各种各样的变形、破裂、流体强化排放等灾变性过程,从而引发断裂、水力压裂、不协调褶皱、软变形、包卷层理、液化层理、泄水构造、碎屑岩墙甚至泥火山等现象。如前所述,在许多SMG矿区都能观察到这些现象。



### 5 SMG 矿床的盆地流体模式

据前文所述可归纳出图 6 所示的盆地流体成矿模式：大陆型地壳基底之上的拉伸型沉积盆地，其各个部分的演化和发展主要受控于众多不同级别的同沉积断裂；当盆地流体沿同生断裂向盆地高地汇聚集中时，既可能沿断裂上升到海底卸载而出现海底热水沉积（被同时堆积的正常沉积物不同程度稀释），从而生成具同生沉积成矿特征的近台型矿化，

也可能直接在同生断裂系统（热水通道系统）内发生矿质卸载，从而生成具后生成矿特征的远台型矿化。SMG 矿床的这种形成过程与沉积盆地中油气藏和 SEDEX 型矿床的形成有一定的可比性，是盆地动力学演化的产物之一，与真正的卡林型金矿床差异极大。现有文献中强调的各种后生成矿特征的成因可能很复杂，下述三者可能单独或者共同起作用：①盆地流体在同生断裂系统内卸载成矿；②成岩期—后生期各种作用（如构造变形）对已有矿床的改造；③盆地封闭后确实再次发生过后生热液矿化作用，

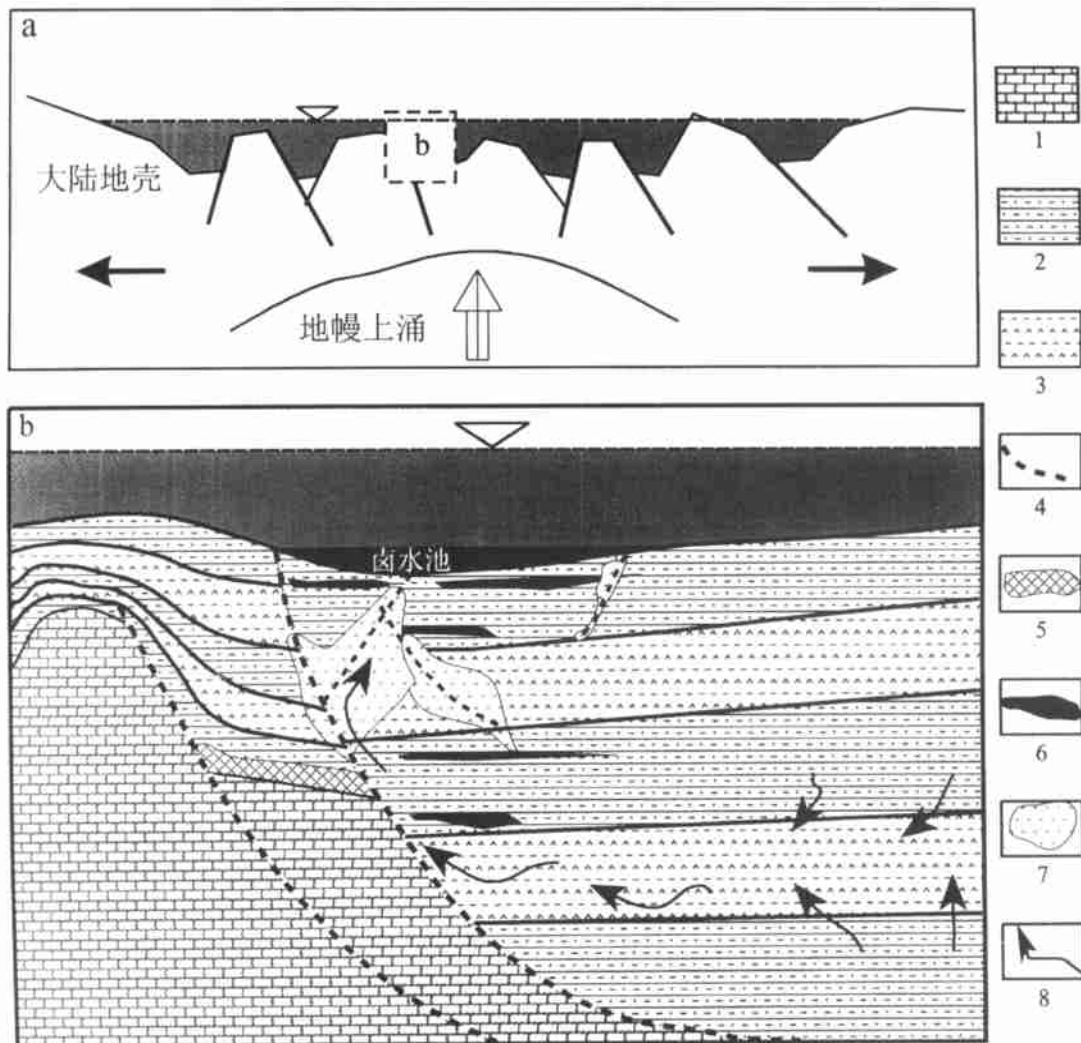


图 6 沉积岩中微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式

1—碳酸盐岩台地及其顶部的古喀斯特风化面；2 和 3—槽盆相碎屑岩系中相对富泥质（低渗透率）和相对富砂（高渗透率）的堆积单元；4—同沉积断裂；5—近台型硅质岩-硅质角砾岩型矿化（如戈塘、高龙、板其）；6—过渡型具同生沉积特征的层状矿化（如金牙、浪全、明山、三岔河）；7—具明显后生热液成矿特征的远台型 SMG 矿化（如丫他、烂泥沟、紫木函）；8—盆地流体的运移路径

Fig. 6 Basin-fluid model of SMG deposits

1—Carbonate platform；2 & 3—Clay-rich (low permeability) and sand-rich (high permeability) sediments；4—Syn depositional faults；5—Platform-proximal cherty ore；6—Stratiform transitional type SMG；7—Platform-distal SMG ore；8—Flow path of basinal fluids

如大部分文献中所推测的那样。因此,远台型矿化可能具有多期次、多成因的成矿特征。过渡型矿化则可能产生了海底热水沉积系统和同生断裂通道系统的矿床,或者是经受了后期改造的近台型矿床。

盆地流体模式对本类矿床的找矿意义总结如下:

- (1) 离散大陆边缘的张性沉积盆地,盆地的发生和演化受控于众多同沉积断裂;
- (2) 矿化沿同沉积断裂体系产出,或在其附近;
- (3) 矿床沿盆地边缘斜坡带或盆地内部的水下高地周缘分布;
- (4) 3种SMG矿化类型具有不同的产出环境和不同的赋矿岩系;
- (5) 水下地震、水下塌塌以及同沉积断裂活动留下的各种组构现象仍是良好的找矿标志;
- (6) 注意矿化的层、相、位和岩性控制,可对近台型和过渡型矿化在一定范围内顺层追索;
- (7) 丰富的盆地流体活动留下的种种组构迹象是良好的找矿标志;
- (8) 丰富的沉积有机质及其有关的组构特征是良好的找矿标志。

## 6 存疑

(1) 尽管已经有大量的文献发表,但对美国卡林型金矿床的成因仍然争论很大,目前至少有4种以上不同的成因观点。我国SMG矿床的情况更为复杂,本文仅是对部分矿床的认识。

(2) SMG矿床是一大类非常复杂的金矿床,可能包含了典型的卡林型金矿床等多个各具特色的亚型,许多问题尚有待进一步研究确认。

(3) 无论卡林型金矿床还是SMG矿床,其矿石中的金为什么呈不可见微细浸染的形式产出,仍然是一个谜。任何一种成因观点都不能回避这个问题。

(4) SMG金矿床与沉积盆地中其它与盆地流体活动有关的金属矿床的关系尚不清楚。

**致谢** 工作过程中,得到郑明华教授、张斌教授、李朝阳研究员、王砚耕高工、杨科伍高工、杨燮处长、黄廷兴工程师、冉瑞德工程师、赵国维工程师、姚望祥工程师、潘光松工程师、刘道明工程师、刘远辉总工程师、魏明拥工程师、冉启洋工程师、王京彬高

工、霍卫国高工的热情帮助,谨致谢忱!野外工作中得到贵州和广西各地质队和金山山的协助和支持,特此致谢!

## 参考文献

- 程裕洪主编. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社, 448~476.
- 国家辉, 黄德保, 施立达, 等. 1992. 桂西北超微粒型金矿及其成矿和找矿模式[M]. 北京:地震出版社, 1~66.
- 李文冗, 姜信顺, 具然弘, 等. 1989. 黔西南微细金矿床地质特征及成矿作用[A]. 见:沈阳地质矿产研究所编. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集(黔西南地区)[C]. 北京:地质出版社, 1~86.
- 刘东升主编. 1994. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[M]. 南京:南京大学出版社, 1~414.
- 刘建明, 刘家军. 1997a. 滇黔桂金三角区微细浸染型金矿床的盆地流体成因模式[J]. 矿物学报, 17:448~456.
- 刘建明, 刘家军, 顾雪详. 1997b. 沉积盆地中的流体活动及其成矿作用[J]. 岩石矿物学杂志, 16:341~352.
- 刘建明, 刘家军, 郑明华, 等. 1998. 微细浸染型金矿床的稳定同位素特征与成因探讨[J]. 地球化学, 27:585~591.
- 刘建明. 2000. 沉积盆地动力学与盆地流体成矿[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 19(2):76~84.
- 刘建明, 叶杰, 刘家军, 等. 2000. 盆地流体中有机组分的成矿效应[J]. 矿物岩石地球化学通讯, 19(3):141~148.
- 覃建雄, 陈洪德, 田景春, 等. 2000. 右江盆地层序充填序列与古特提斯海再造[J]. 地球学报, 21(1):62~70.
- 谭运金. 1994. 滇黔桂地区微细浸染型金矿床的矿床地球化学类型[J]. 矿床地质, 13:340~348.
- 曾允孚, 刘文均, 陈洪德, 等. 1993. 华南右江盆地沉积改造演化[M]. 北京:地质出版社, 1~102.
- 郑明华, 周渝峰, 刘建明, 等. 1994. 喷流型与浊流型层控金矿床[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1~273.
- Barnes H L. Geochemistry of hydrothermal ore deposits (3rd Ed.)[M]. New York: Wiley, 125~189.
- Bjorlykke K. 1993. Fluid flow in sedimentary basins[J]. Sediment Geology, 86:137~158.
- Large D E. 1980. Geological parameters associated with sediment-hosted, submarine exhalative Pb-Zn deposits: An empirical model for mineral exploration[J]. Geologisches Jahrbuch, D/40:59~130.
- Law B E, Ulmishak G F and Slavin G F eds. 1998. Abnormal pressures in hydrocarbon environments[C]. AAPG Memoir 70, 1~456.
- Jones M E and Preston R M F eds. 1994. Deformation of sediments and sedimentary rocks[C]. Geol Soc Spec Publ 29, 1~168.
- Magara K. 1978. Compaction and fluid migration[M]. Developments in Petroleum Sciences 9. Amsterdam: Elsevier, 1~45.
- Ortoleva P J ed. 1994. Basin compartments and seals[C]. AAPG Memoir 61, 1~477.
- Parnell J ed. 1994. Geofluids: Origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins[C]. Geol. Soc. Spec. Publ. 78, 1~372.

Sawkins F. 1990. Metal deposits in relation to plate tectonics (2nd Ed.)

[ M ]. Berlin: Springer-Verlag, 1 ~ 461 .

## Relationship Between Sediments-hosted Micro-disseminated Gold Deposits and Basin Evolution: Case Study in Youjiang Basin, South China

Liu Jianming, Ye Jie

(Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing 100101, China)

Liu Jiajun, Gu Xuexiang

(Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, Guizhou, China)

### Abstract

In the Youjiang basin, South China, numerous sediments-hosted micro-disseminated gold (SMG) deposits occur mainly in Permian-Triassic chert and siliciclastic rocks. Systematic geological, fabric and geochemical researches were carried out. The Youjiang basin is a Devonian-Triassic rift basin on the southern margin of the Yangtze Craton in South China. Strong syndepositional faulting defined the basin-and-range style paleo-topography that further developed into isolated carbonate platforms surrounded by siliciclastic-filled depressions. SMG ores are often auriferous sedimentary rocks with relatively low sulfide contents and moderate to weak alteration. Most of the SMG deposits are remarkably distributed around the carbonate platforms. Accordingly, there are platform-proximal and platform-distal SMG deposits. In the ores and host rocks there are abundant synsedimentary-syndiagenetic fabrics such as lamination, convolute bedding, slump texture, and soft-sediment deformation, indicating submarine hydrothermal deposition and syndepositional faulting. Numerous fluid-escape and liquefaction fabrics imply strong fluid migration during the evolution of sedimentary basin. Magmatic intrusive rocks are rarely found in Youjiang region. Such large-scale geological and fabric evidence implies that SMG ores were formed during basin evolution, probably in connection with basinal fluids. The isolated carbonate platform (as a basin paleo-high) and related syndepositional fault system, together with the unconformity-related facies succession, may have controlled the migration pathway of ore-forming basinal fluids and subsequently determined the location of SMG deposits in the Youjiang basin. SMG mineralization in the Youjiang basin may represent an integral aspect of the dynamic evolution of extensional basins along divergent continental margins. Geochemical study supports this model to various degrees.

**Key words:** Micro-disseminated gold, carbonate platform, syndepositional faulting, basinal fluids, Youjiang basin