第33卷 第3期
2003年7月

吉林大学学报(地球科学版)
JOURNAL OF JILIN UNIVERSITY(EARTH SCIENCE EDITION)

Vol. 33 No. 3
Jul. 2003

文章编号:1671-5888(2003)03-0290-06

一种典型的同生沉积型微细浸染型金矿床——桂西北高龙金矿床

陈翠华[1],何彬彬[2],顾雪祥[3],刘建明[4]

(1.成都理工大学 地球科学学院,四川 成都 610059;2.中国矿业大学 环境与测绘学院,江苏 徐州 221008;
3.中国科学院 地球化学研究所,贵州 贵阳 550002;4.中国科学院 地质与地球物理研究所,北京 100101)

摘要:桂西北高龙微细浸染型金矿床位于广西田林县高龙乡。含矿硅质岩与热水沉积作用有关,而非前人认为的断裂破碎-热液硅化交代岩。矿床的典型地质特征以及地球化学特征显示该矿床具有典型的同生沉积-准同生成岩的成因特征,矿床属同生沉积型,而不是前人认为的后生热液改造型。矿床的形成与右江沉积盆地演化关系密切,含矿流体为以大气降水为主要补给源的深循环盆地卤水和与沉积物发生了同位素交换的埋藏古海水,流体的运移方式以压实驱动流为主,含矿流体主要以沉积喷流方式成矿。

关键词:同生沉积;微细浸染型金矿床;广西田林高龙;热水沉积;盆地演化

中图分类号:P618.51 **文献标识码**:A

0 引言

高龙金矿床位于广西田林县高龙乡。矿区位于桂西坳陷西林—百色断褶带中高龙水下隆起边缘,由鸡公岩、金龙山、龙爱三个矿段构成。矿区构造以不完整的背斜构造——穹隆构造为特征,此穹隆系东面八渡背斜的西延部分,后被断层破坏所致[1]。穹隆核部为水下隆起上二叠统碳酸盐岩,周围为三叠系砂、泥岩,下统以泥灰岩为主,中统为成熟度较高的并具鲍玛序列的浊积岩。隆起区紧靠碳酸盐岩的周围为一硅质岩带,金矿体产在该硅质岩带中及其紧邻的中三叠统百蓬组砂泥岩中(图1)。

有关该矿床的成因,目前倾向性的观点是在同生沉积初步富金的基础上经后期改造再富集而成矿[1,2],强调后生热液改造占主导地位。在国家自然科学基金项目资助下,我们对高龙金矿床的赋矿地层和矿石进行了较详细的组构学和地球化学研究,发现该矿床具有大量同生沉积-准同生成岩阶段的成因特征,矿床在沉积物沉积-成岩期间形成。

1 含矿硅质岩特征及其成因

有关该矿床含矿硅质岩的成因,大多数地质学者把它视为断裂破碎-热液硅化交代岩,而不认为是一个地层层位。由于该层硅质岩与金矿化关系密切,所以深入讨论该区硅质岩的成因,对于研究高龙金矿床的形成机制是十分重要的。通过野外观察、室内镜下鉴定分析以及稀土元素分析,作者认为该矿区硅质岩的形成主要与热水沉积作用有关。

首先,从野外和镜下观察到的现象看,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;硅质岩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;矿体位于硅质岩下凹处和由陡变缓处,这种部位正是微型坳陷位置,这一特征与热水沉积特征相吻合,热水喷涌出来之后往往趋向于流到盆地凹处沉淀;硅质岩中的角砾成分复杂,既有下伏碳酸盐岩角砾(有一定磨圆,相当于底砾岩),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 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

收稿日期:2002-08-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49872038)

作者简介:陈翠华(1972-),女,湖北孝感人,讲师,博士研究生,主要从事矿床地球化学研究,
E-mail:chencuihua@etang.com.

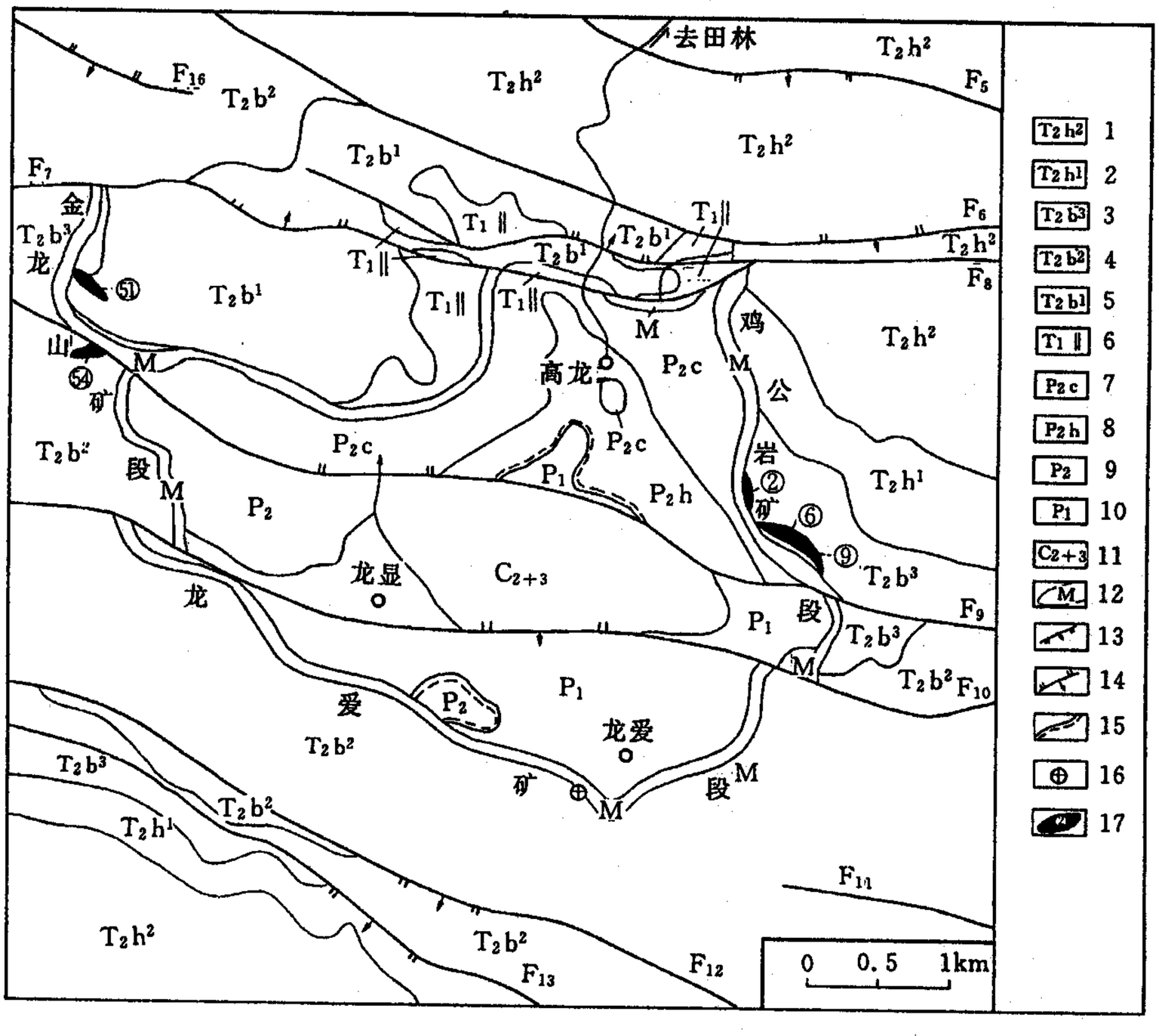


图 1　高龙金矿床地质图（据文献[1]修改，1992）

Fig. 1　Geological map of Gaolong gold deposit

1. 中三叠统河口组二段；2. 中三叠统河口组一段；3. 中三叠统百蓬组三段；4. 中三叠统百蓬组二段；5. 中三叠统百蓬组一段；6. 下三叠统罗楼群；7. 上二叠统长兴组；8. 上二叠统合山组；9. 上二叠统；10. 下二叠统；11. 石炭系中、上统；12. 硅质岩带；13. 实测、推测正断层及编号；14. 实测、推测逆断层及编号；15. 实测、推测地层界线及平行不整合界线；16. 金矿点；17. 金矿体及编号

岩；原生硅质岩是一种燧石质胶体沉淀物，经重结晶成为石英岩，具菊花状构造，这是由原生的凝胶状沉积物经重结晶而成的放射状组构，标志着一种低温快速的沉积过程。

另外，硅质岩的稀土元素特征和铈异常也是区分热水沉积和非热水沉积的重要标志。海相热水沉积物稀土元素总量较低，经北美页岩标准化后有负铈异常，模式曲线近水平或向左倾[3,4]。通过对该矿区 6 个硅质岩样品的稀土元素分析，发现其稀土配分模式曲线（图 2）向左倾或近水平，硅质岩具有负铈异常（$\delta Ce=0.68\sim0.86$），HREE 有富集趋势（$w(LREE)/w(HREE)=6.57\sim47.48$；$w(La)_N/w(Yb)_N=0.21\sim2.73$），具有热水沉积硅质岩的特征。

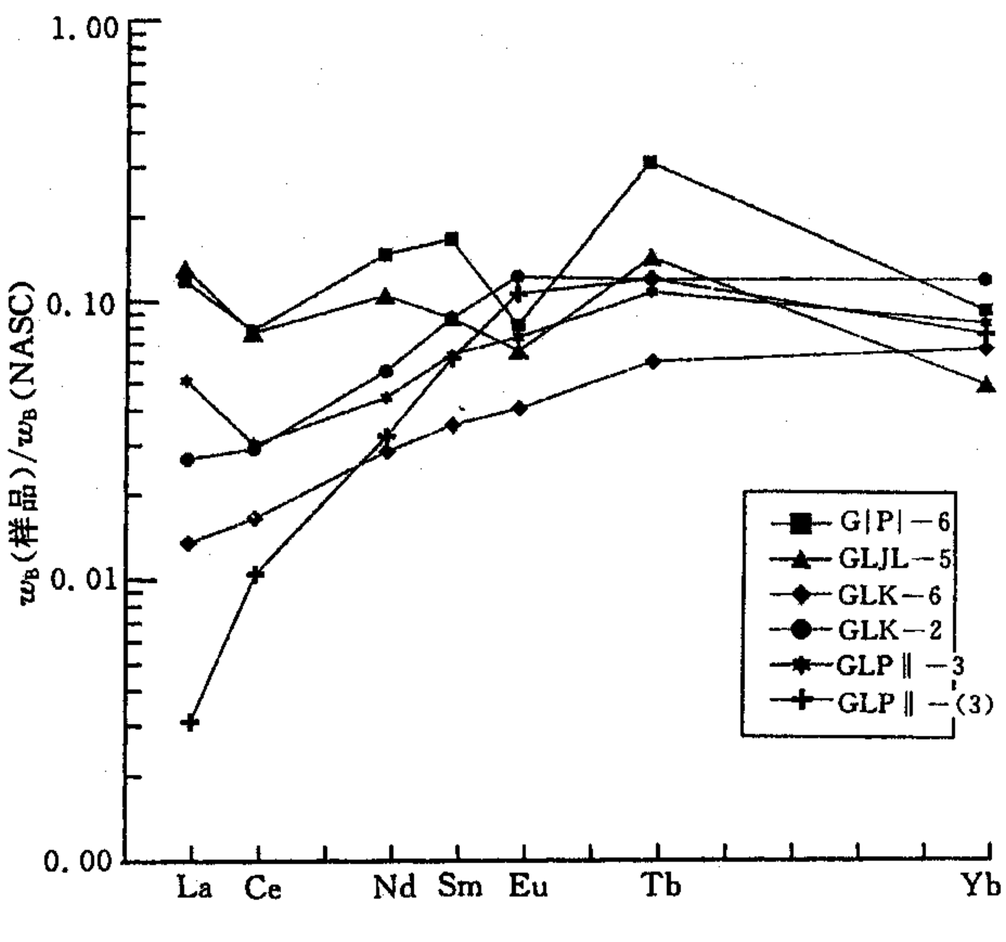


图 2　高龙金矿床硅质岩稀土元素配分模式图

Fig. 2　REE distribution pattern of siliceous rocks in Gaolong gold deposit

2　矿床的典型地质特征

矿床主要产在中三叠统地层中，具有明显的层控特征；矿床的产出位置受沉积相带的控制，主要产在台地边缘斜坡相带等相变地段；矿床具显著的岩性控制特征，产在浊积岩系的下部或边缘（含矿主岩为细碎屑岩），或产在假整合面之上海进超覆堆积柱的底部，含矿主岩为热水沉积硅质岩—硅质角砾岩；矿体主要呈层状、似层状顺层整合产出，脉状、透镜状矿体则主要产在同沉积断裂中，矿石和岩石无明显区别，只能靠化学分析数据来圈定矿体。矿石中

的黄铁矿同生沉积层纹状构造,层纹严格与地层层理整合(图 3);成岩期的软变形,包括包卷层理、重荷模、滑塌、枕状构造等发育[5];矿石和含矿岩石中具大量的泄水构造和液化层理[5];矿石和赋矿围岩中常存在生物成因组构,如草莓结构等(图 4)。

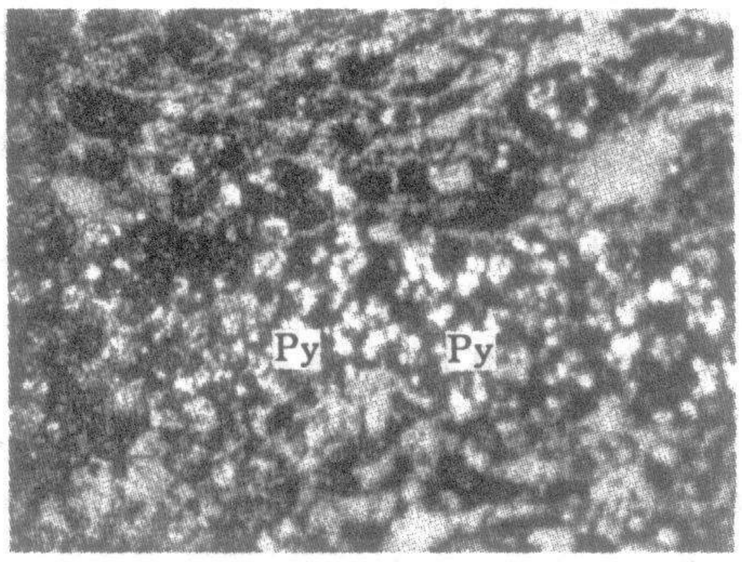


图 3 矿石中的黄铁矿层纹状构造

Fig. 3 Fine stratiform structure of pyrite in ores

光片,单偏光:0.62 mm×0.42 mm

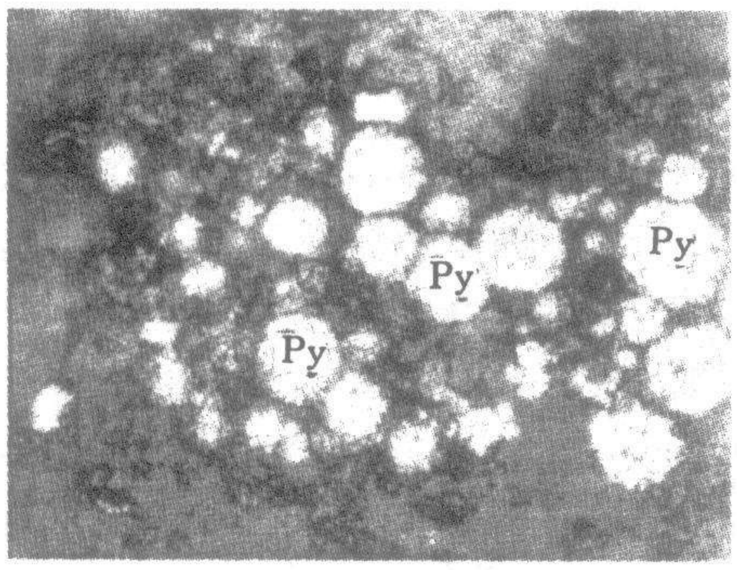


图 4 矿石中黄铁矿的草莓状结构

Fig. 4 Straberry fabrics of pyrite in ores

光片,单偏光:0.16 mm×0.11 mm

3 矿床的地球化学特征

3.1 稀土元素特征

对高龙金矿床代表性岩矿石及矿物的稀土元素数据作了配分模式(图 5)和多种特征参数研究,认为矿石和赋矿主岩具有统一的物源并经受了一致的成岩-成矿作用过程,后期组分叠加的可能性不明显。

3.2 硫同位素特征

根据我们测定和收集的 22 个硫同位素样品数据,高龙金矿区含矿地层中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值变化范围为 2.90‰～13.77‰,平均值为 10.00‰,矿石中黄铁矿和毒砂的 $\delta^{34}S$ 值变化于 4.41‰～22.52‰之间,平均值为 11.96‰(图 6),两者 $\delta^{34}S$ 值很相近,

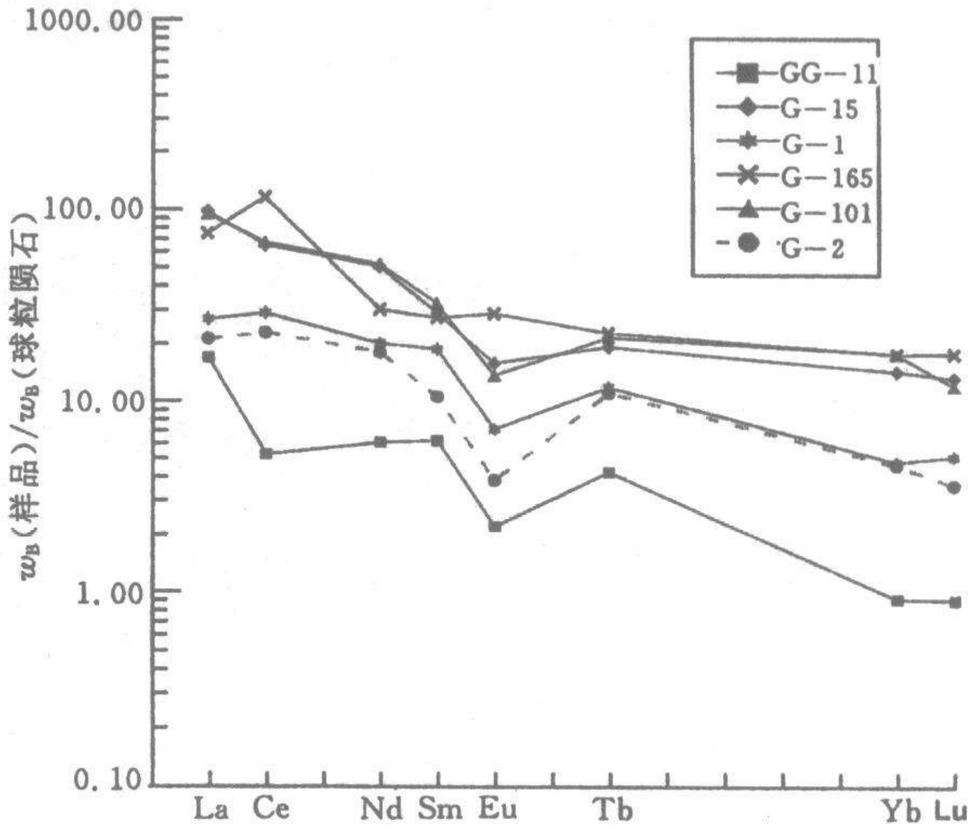


图 5 高龙金矿床稀土元素配分模式图

Fig. 5 REE distribution pattern of Gaolong gold deposit

GG-11. 生物碎屑灰岩;G-15. 砂泥岩;G-1. 地层中的黄铁矿;G-165. 辉绿岩(八渡);G-101. 原生矿石;G-2. 原生矿石中的黄铁矿

都属于变化范围较宽的"重硫型"。Ohmoto[6]认为,在半封闭的沉积环境下,厌氧细菌还原海水硫酸盐速率大于海水硫酸盐供给率,早阶段由细菌还原海水硫酸盐生成的硫化物,其 $\delta^{34}S$ 值比海水硫酸盐约低 25‰,随着细菌作用的进行,所生成的相应硫化物 $\delta^{34}S$ 值将逐渐增加,直至与初始海水相当。而中三叠世海水硫酸盐的 $\delta^{34}S$ 值约为 22‰[7]。因此,可以认为高龙矿区地层黄铁矿和矿石中含金硫化物是半封闭的海洋盆地中生物作用中晚期阶段的产物。这些硫化物是生物成因的观点,还可以从含矿层中富含有机质的事实得到佐证,据数件样品镜下鉴定,大多数样品含有机质。综上所述,高龙金矿床矿石中的硫源主要为沉积成因,即细菌还原的海水硫酸盐。

3.3 氢、氧同位素特征

收集了矿床数个样品的氢氧同位素数据,数据点很分散,并不显示明显的规律性(图 7)。由于新鲜沉积物中的粘土矿物和有机物含较多的氢,所以流体水-岩反应不仅有氧同位素交换,还有较明显的氢同位素交换。由于水的氧同位素总是低于沉积物(包括矿物和有机质)的氧同位素,因此水-岩反应后水的氧同位素漂移总是正向的。但水的氢同位素并非总是低于沉积物(如粘土矿物的 δD 值变化在 −80‰～−20‰之间),因此水-岩反应后水的氢同

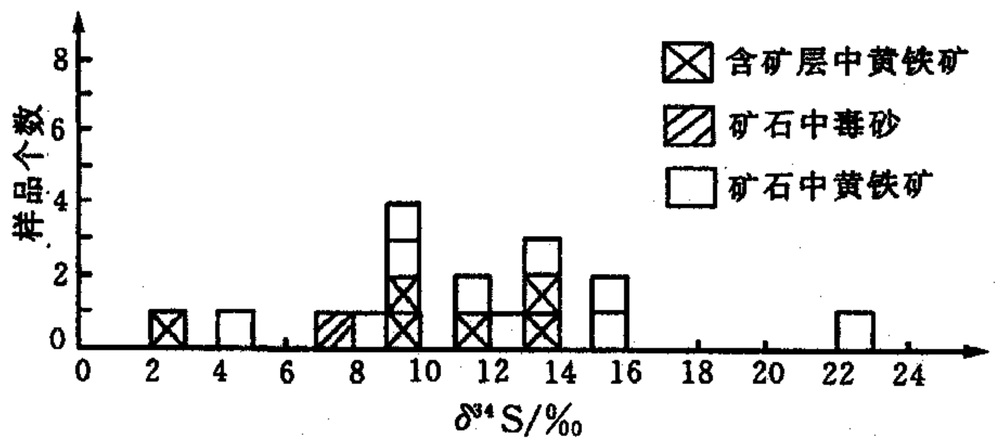


图 6　矿床硫同位素组成直方图

Fig. 6　Vertical quadrilateral chart of sulfur isotope in the deposit

位素视具体情况不同而有正向漂移和负向漂移两种可能性。海水的 δD 接近零，总是高于粘土矿物和沉积有机质，因此水-岩反应后海水的 δD 值总是发生负向漂移，从而在 $\delta D-\delta^{18}O$ 图解上勾绘出一条从海水源区出发的下降线。大气降水的氢同位素在大多数情况下低于沉积物，因此经常出现氢同位素的正向漂移，从而在 $\delta D-\delta^{18}O$ 图解上勾绘出一条从雨水线出发的上升线。一般而言，在沉积盆地演化早期的沉积水文地质阶段以交换海水占优势，而在沉积盆地演化晚期的渗入水文地质阶段以交换大气降水为主。所以，根据矿床氢、氧同位素组成特征和上述分析，可以推测成矿流体的来源主要是以大气降水为主要补给源的深循环盆地卤水和与沉积物发生了同位素交换的埋藏古海水。

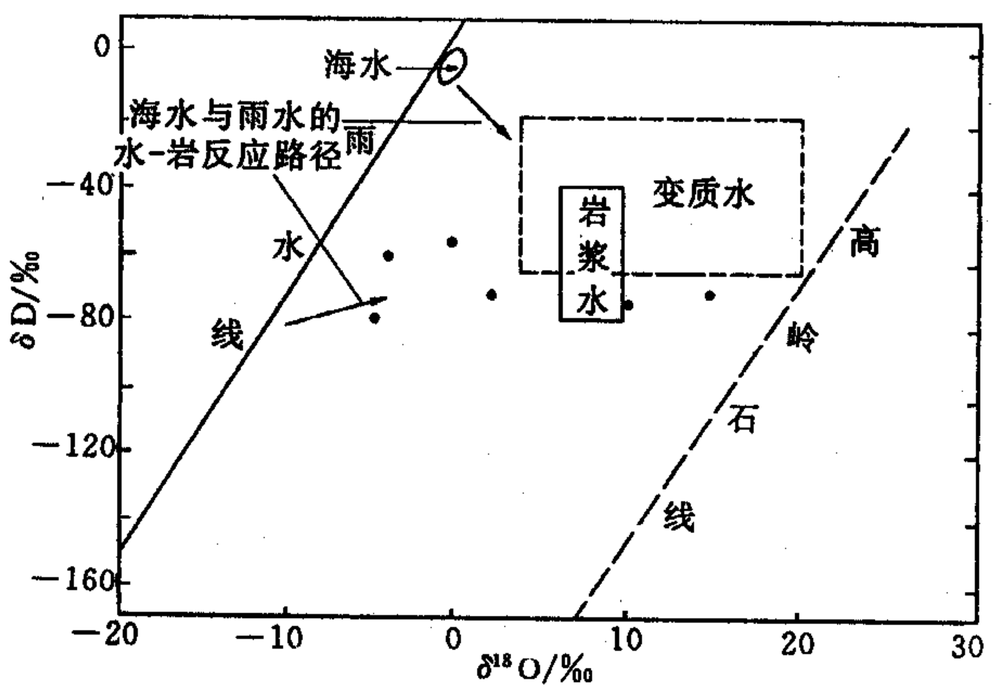


图 7　矿床矿物包裹体水 $\delta D-\delta^{18}O$ 相关图

Fig. 7　$\delta D-\delta^{18}O$ diagram of fluid inclusion in the deposit

各类源区的氢、氧同位素组成及其水-岩反应路径据文献[5]

此外，矿床中尚未见铅的独立矿物出现，矿石中的铅主要为正常铅。为追索铅的初始来源，分别将高龙金矿铅同位素分析数据投于 Doe 和 Zartman (1979)不同地质环境铅同位素演化曲线图上，样品都落在造山带铅与上地壳铅之间及其附近，说明矿床矿石铅的初始来源为造山带和上地壳。

4　讨论

通过上述对高龙金矿床的含矿硅质岩分析、对比矿床的典型地质特征和矿床的地球化学特征，可以看出该矿床具有同生沉积成因特点，而不是前人认为的后期热液改造型矿床。最近几年，对该类金矿床的成因，也有了一些新的认识，如 Poul Emsbo 等[8]在卡林金矿带发现了有别于典型卡林型金矿床的沉积喷流型金矿床，为探讨该类金矿床的成因提供了启发性的思路。

4.1　含矿流体的生成

沉积盆地可看成一个巨大的开放-动态化学反应器。其上部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、有机沉积物颗粒和各种流体组成的多相反应体系。沉积物在埋藏压实过程中释放出大量流体(孔隙水、吸附水、结晶水)，这些流体被封存在地下，由于右江盆地在三叠纪是快速沉积沉降[9]，导致沉积物的“压实滞后”，大量的孔隙水在扩散、渗滤和毛细管力等作用下聚集于欠压实的高渗透性的砂质岩层中形成具有高于静水压力的超压热流体。随着上覆沉积物的加厚，同时由于地幔柱上升、有机质裂解等原因造成地热异常使流体温度升高而引起体积膨胀，蒙脱石等含水粘土矿物的脱水作用等将进一步加剧异常高压效应。这些被封存的高温高压流体经过一系列水-岩相互作用使沉积物中的金属组分释放出来，生成高温、高压、较高盐度、酸性、还原的成矿热流体，这些成矿热流体被不透水层封存在地下，形成热水房。一般来说，沉积物厚度越大，可以产生的热水量也就越大，可向热水提供成矿元素的原始物质越多。

4.2　含矿流体的运移

含矿流体的运移方式有两种：压实驱动流和重力驱动流，但主要以压实驱动流为主。沉积盆地演化早期的沉积水文地质阶段，含矿超压热流体在压力驱动下沿同沉积断裂向压力较低的台地边缘方向运移。美国地质调查所的 Hsieh[10]研究发现由压实作用引起的流体流动的速率量级一般为 mm/a，Harrison 和 Summa[11]对墨西哥湾沉积盆地的压实流研究认为，压实作用的最大流速为 6.5 cm/a，向

上的流速为 0.2～0.22 cm/a,虽然流速很慢,但流体的生成和运移是一个很长的时间,所以其运移的数量和距离还是很大的。

盆地演化晚期的渗入水文地质阶段,含矿流体主要是在重力驱动下沿透水层砂岩和同沉积断裂向盆地中心运移,其运移速度快,一般为 m/a[10],流体往下渗入的深度可用如下公式计算:

$$H = h \cdot \rho_{mw}/(\rho_{ws} - \rho_{mw})。$$

式中:H 代表海平面下重力流渗入的深度;h 代表隆起区面高出海平面的高度;ρ_{mw}代表重力流的初始密度;ρ_{ws}代表成矿流体的密度。按 $\rho_{mw}=1.00\ g/cm^3$,$\rho_{ws}=1.025\ g/cm^3$,则 $H=40\ h$。如果 $h=50$ m,则 $H=2\ 000$ m,可见大气降水和海水在重力驱动下可以运移到地下深部,在这种长距离的运移过程中,流体的成分和物化性质也在不断变化。

桂西北高龙金矿床的含矿流体运移方式以第一种方式(压实驱动流)为主。

4.3 流体卸载成矿方式

(1)高压热流体上升到达海底,以沉积喷流方式成矿。热流体喷出海底后与海水混合,被稀释、降温、pH 值变高、压力下降,这些作用破坏了热流体中所含化合物的平衡和稳定性,使金属组分及硅质等沉淀下来。当流体进入水深较大的海底时,由于其低温、高密的特性,一般不发生沸腾,而是在局部洼地中汇聚成相对稳定的卤水池。由于与海水间发生物质和能量交换,卤水的温度降低、Eh 值和 pH 值升高,于是沿物理化学条件变化方向发生各种矿物的沉淀聚集(热水沉积)。结果在距喷口较远处,较还原的条件下以热水沉积方式形成热水沉积岩和层纹状、条带状矿石。高龙微细浸染型金矿床中热水沉积硅质岩型矿体和多数层状、似层状的砂泥岩型矿体的形成可能与此相关。

(2)高压热流体未到达海底还在海底以下的沉积柱中运移时,通过渗透作用或沿断裂带、破碎带、滑塌岩带等进入软沉积物或通道及通道旁侧围岩中,通过交代、充填、动力等作用成矿。尤其是当发育了新的沉积盖层(如泥砂质浊流沉积),掩盖了上升通道和喷口,热流体无力冲破覆盖层时,更会趋向于进入软沉积物、上升通道和通道旁围岩中成矿。在这些地方,温度压力比热水房低,pH、Eh 及其它物理化学条件也不同,使热水中的金属元素失去稳定,沉淀下来。也可以发生沸腾和水爆,使物质沉淀。高龙金矿床中某些脉状、网脉状、透镜状矿体可能与此相关。

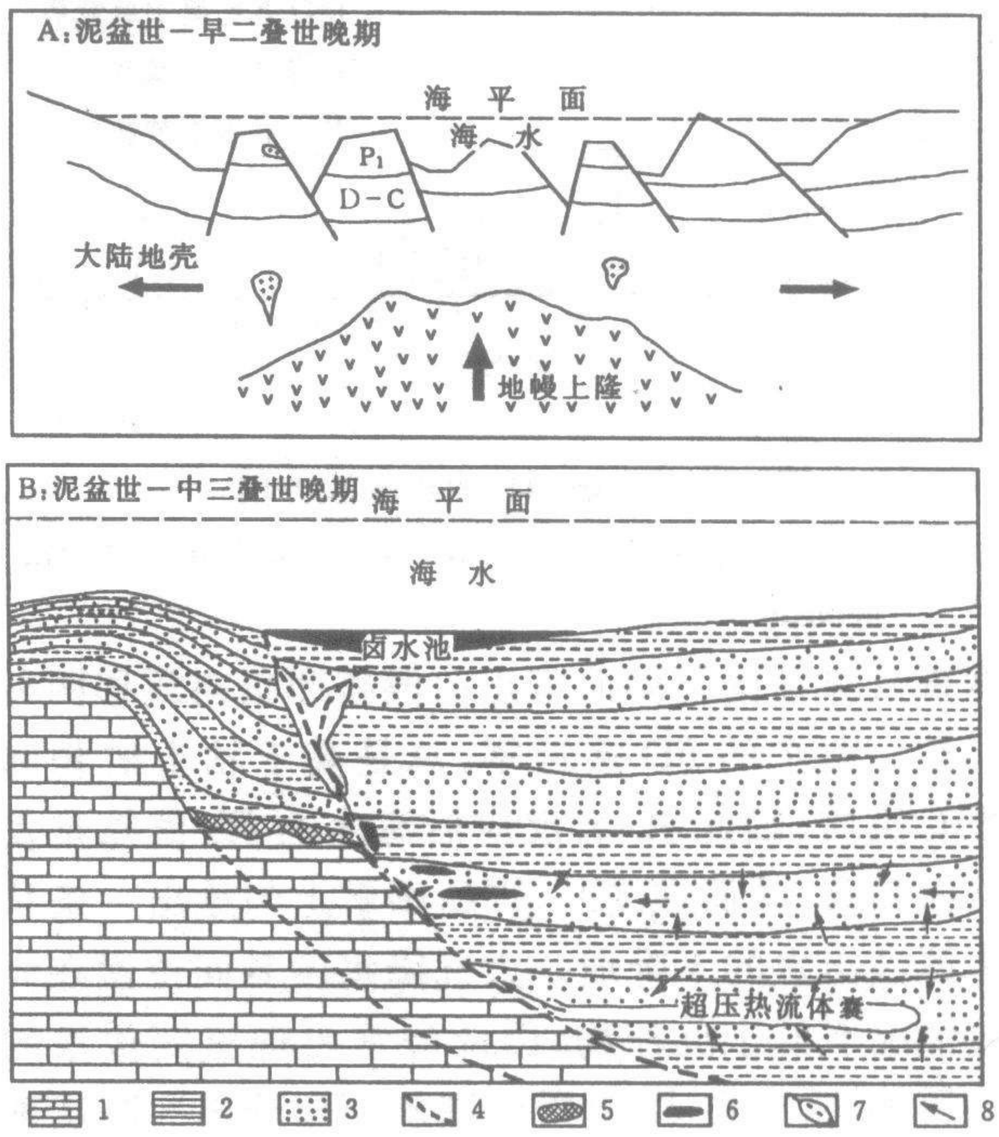


图 8 高龙微细浸染型金矿床成矿模式图

Fig. 8 Metallogenetic model of Gaolong micro-disseminated gold deposit

1. 碳酸盐岩台地;2. 盆地相碎屑岩系中低渗透率的泥岩和砂泥岩;3. 盆地相碎屑岩系中较高渗透率的砂岩和粉砂岩;4. 同沉积断裂;5. 紧靠碳酸盐岩台地的热水沉积硅质-硅质角砾岩型矿体;6. 赋存于斜坡相的具有同生沉积特征的层状、似层状矿体;7. 赋存于同沉积断裂及其周围碎屑岩中的脉状、网脉状、透镜状矿体;8. 流体运移路径

4.4 成矿模式

通过前面的分析,可以初步构建出高龙微细浸染型金矿床的成矿模式(图 8):

A:泥盆世—早二叠世晚期,因大陆伸展作用、地幔上隆造成右江盆地的地热异常,为往后的金成矿作用储备了充分的热源;

B:晚二叠世—中三叠世晚期,右江盆地快速沉降、沉积,盆地中下部发育超压热流体,并在沿同沉积断裂上升到压力较低的碳酸岩盐台地边缘和同沉积断裂附近,沉淀卸载成矿。

参考文献:

[1] 国家辉,黄德保,施立达,等.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,1992.11-

13.
Guo Jiahui, Huang Debao, Shi Lida, et al. The micro-disseminated gold deposits in northwestern Guangxi and its ore-forming and ore-finding model[M]. Beijing: Earthquake Press, 1992. 11 - 13.

[2] 吴江，李思田，王灿，等. 桂西北微细粒浸染型金矿成矿作用分析[J]. 广西地质，1993，**6**(2)：38 - 49.
Wu Jiang, Li Sitian, Wangcan, et al. Analysis on mineralization of micro-disseminated gold deposits in northwestern Guangxi[J]. Guangxi Geology, 1993, **6**(2): 38 - 49.

[3] 刘家军，郑明华. 热水沉积硅质岩的地球化学[J]. 四川地质学报，1993，**31**(2)：110 - 118.
Liu Jiajun, Zheng Minghua. Geochemistry of hydrothermal sedimentary silicalite[J]. Acta Geologica Sichuan, 1993, **31**(2): 110 - 118.

[4] 周永章，涂光炽，Chown E H. 粤西古水剖面震旦系顶部层状硅岩的热水成因属性：岩石学和地球化学证据[J]. 沉积学报，1994，**12**(3)：1 - 10.
Zhou Yongzhang, Tu Guangzhi, Chown E H. Hydrothermal origin of top Sinian chert formation at Gushui, western Guangdong, China: Petrologic and geochemical evidence[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, **12**(3): 1 - 10.

[5] 刘建明，刘家军. 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，1997，**17**(4)：448 - 455.
Liu Jianming, Liu Jiajun. Basin fluid genetic model of sediment-hosted micro-disseminated gold deposits in the gold-triangle area between Guizhou, Guangxi and Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1997, **17**(4): 448 - 455.

[6] Ohmoto H, Rye R O. Isotopes of sulfur and carbon [A]. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. 2nd Edn[C]. New York: Wiley Interscience, 1979. 509 - 567.

[7] Holser W T. Catastrophic chemical events in the history of the ocean[J]. Nature, 1977, **267**: 403 - 408.

[8] Poul Emsbo, Rixhard W. Hutchinson, et al. Syngenetic Au on the Carlin trend: Implications for Carlin-type deposits[J]. Geology, 1999, **27**(1): 59 - 62.

[9] 曾允孚，刘文均，陈洪德，等. 右江复合盆地的沉积特征及其构造演化[J]. 广西地质，1992，**5**(4)：1 - 13.
Zeng Yunfu, Liu Wenjun, Chen Hongde, et al. The sedimentary characteristics and structural evolution of the Youjiang composite basin[J]. Guangxi Geology, 1992, **5**(4): 1 - 13.

[10] 卢焕章. 成矿流体[M]. 北京：北京科学技术出版社，1997. 79 - 119.
Lu Huanzhang. Ore-forming fluids[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1997. 79 - 119.

[11] Harrison W J, Summa L L. Paleohydrology of the gulf of Mexico basin[J]. American Journal of Science, 1991, **291**: 109 - 176.

A TYPICAL SYNSEDIMENTARY MICRO-DISSEMINATED GOLD DEPOSIT ——GAOLONG GOLD DEPOSIT IN NORTHWESTERN GUANGXI

CHEN Cui-hua[1], HE Bin-bin[2], GU Xue-xiang[3], LIU Jian-ming[4]

(1. *Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*; 2. *China University of Mining and Technology, Xuzhou* 221008, *China*; 3. *Institue of Geochemistry, CAS, Guiyang* 550002, *China*; 4. *Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing* 100101, *China*)

Abstract: Gaolong micro-disseminated gold deposit is located in Tianlin County in northwestern Guangxi Province. The immediate host siliceous rocks are of hydrothermal sedimentary origin, not of fault breaking-hydrothermal silicified origin. The characteristics of geology and geochemistry of deposit indicate that it is of typical synsedimentary-syndiagenetic characteristics and that the deposit is syngenetic in origin, not later hydrothermal deposit. Gold mineralization in the studied area is closely related to the evolution of the Youjiang basin. The fluids were predominantly derived from deep circulated basin brines, recharged by meteoric water, and ancient seawater. The transporting pattern of fluids is compaction driving. The ores were formed by sedimentary exhalation.

Key words: synsediment; micro-disseminated gold deposit; Gaolong village of Tianlin county in Gangxi Province; hydrothermal sediment; basin evolution