

# 贵州锦丰（烂泥沟）金矿成矿年代学研究新进展

——兼论滇黔桂“金三角”卡林型金矿成矿时代和动力学背景\*

## New advance in chronological study of the Jinfeng (Lannigou) gold deposit in Guizhou Province, with special reference to the metallogenic epoch and dynamic background of the “Golden Triangle” Carlin-type gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi area

陈懋弘<sup>1,2</sup>, 毛景文<sup>1</sup>, 吴六灵<sup>2,3</sup>, PHILLIP J. Uttley<sup>2</sup>, 郑建民<sup>4</sup>, 秦运忠<sup>3</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 Sino Gold Limited, Sydney, NSW 2000, Australia; 3 广西地勘局 271 地质队, 广西 临桂 541100; 4 中国地质大学, 北京 100083)

CHEN MaoHong<sup>1,2</sup>, MAO JingWen<sup>1</sup>, WU LiuLing<sup>2,3</sup>, PHILLIP J. Uttley<sup>2</sup>, ZHENG JianMin<sup>4</sup>

and QIN YunZhong<sup>3</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Sino Gold Limited, Sydney, NSW 2000, Australia; 3 No. 271 Geological Party, Guangxi Bureau of Geological Exploration, Lingui 541100, Guangxi, China; 4 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**摘要** 贵州锦丰（烂泥沟）特大型金矿成矿年代学的研究主要集中于 20 世纪 90 年代，虽采用了多种测年方法，但所获数据分歧较大，尚缺乏令人信服的高精度测年数据。作者最近运用黄铁矿 Re-Os 同位素法获得等时线年龄为(193±13) Ma，反映该矿床成矿时代为早侏罗世。通过对比分析滇黔桂“金三角”同类矿床的同位素测年数据和地质特征，认为滇黔桂“金三角”卡林型金矿的大规模成矿发生在从印支期挤压造山向燕山期伸展转变的构造转换期，是后碰撞造山成矿作用的产物。

**关键词** 黄铁矿 Re-Os 年龄；成矿年代；动力学背景；卡林型金矿；贵州锦丰（烂泥沟）

贵州锦丰（烂泥沟）金矿是滇黔桂“金三角”已知最大的卡林型金矿床之一，资源储量大于 126.25 t（Sino Gold Limited, 2006），达到超大型规模。

自该矿床发现以来，许多学者采用了多种测年方法，试图获得准确的成矿时代数据。但由于矿床类型的限制（此类矿床中难以挑选出适合于精确测年的矿物），以及测年技术的限制，到目前为止，该矿床同整个滇黔桂“金三角”其它卡林型金矿床一样，仍缺乏令人信服的高精度测年数据。

鉴于该矿床在整个滇黔桂“金三角”卡林型金矿成矿年代学研究中的代表性，本文简要概述了该矿床成矿年代学的研究历史和现状，并介绍了作者最近获得的黄铁矿 Re-Os 测年结果，藉此对整个滇黔桂“金三角”卡林型金矿成矿时代和动力学背景进行初步的讨论。

### 1 矿床简要地质特征

贵州锦丰（烂泥沟）金矿位于右江盆地西北部，毗邻扬子陆块西南边缘。矿床出现在由北北东向的赖子山背斜、北西向板昌逆冲断层和册亨东西向构造带组成的小三角形构造变形区北部顶点。

\*本文得到国家自然科学基金重点基金（40434011）与 Sino Gold Limited（Australia）的资助  
第一作者简介 陈懋弘，男，1971 年生，博士研究生，矿床学及构造地质学专业。E-mail: mhchen666@163.com

矿区内出露地层主要为中三叠统许满组、尼罗组和边阳组,主体岩性为深水盆地相陆源碎屑浊积岩。西部赖子山背斜为石炭系、二叠系及下三叠统,岩性为台地相浅水碳酸盐岩及台缘相礁灰岩及盆缘斜坡相碳酸盐岩。

矿区范围无岩浆岩活动,仅在矿区北北东直距 27 km 远的贞丰县白层有燕山期偏碱性超基性岩小岩体出露。

矿区构造线可分为 3 组。其中南北向构造线主要为  $F_1$ ,  $F_7$  断层,这两条断层均为在同生断层基础上发展起来的长期活动断层。另外两组分别为北西向和北东向的断层和褶皱。北西向构造由强烈的倒转褶皱和逆冲断层(如  $F_3$ )组成,形成明显的断-褶构造组合;北东向构造由宽缓状叠加褶皱和走滑断层组成。

矿体主要赋存于北西向断层  $F_3$  及其与北东向断层  $F_2$  的交叉部位,矿体形态受断层控制。赋矿岩石为许满组至边阳组的细砂岩和泥岩。

蚀变类型主要为硅化、黄铁矿化、毒砂矿化、辉锑矿化、汞矿化、碳酸盐化、粘土化等,其中最主要的是硅化和黄铁矿化。

矿石构造主要为浸染状构造,即金属矿物黄铁矿、毒砂、辰砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等含量较少且呈星点状、浸染状分布。少量为脉状、网脉、条带状构造,表现为石英、黄铁矿、毒砂等金属矿物沿节理或裂隙富集。

金主要呈显微-次显微状赋存于黄铁矿富砷环带和毒砂中(关秀群,1992)。

## 2 成矿年代学研究现状

近 10 多年来,许多研究者对滇黔桂“金三角”卡林型金矿成矿年代学进行了研究,采用的测年方法有蚀变矿物及流体包裹体 Rb-Sr 法,硫化物 Pb-Pb 法,石英裂变径迹法等,获得了 276~259 Ma, 206 Ma, 157~82 Ma 等 3 组数据(陈懋弘,2006)。由于上述 3 种测年方法的可靠性均有较大的争议(刘建明等,1998),且不同矿床之间年龄分歧较大,甚至同一矿床采用不同的定年方法得出了十分悬殊的成矿年龄。因此,滇黔桂“金三角”卡林型金矿尚缺乏令人信服的高精度成矿年龄数据。

锦丰(烂泥沟)金矿也不例外,该矿床分别采用 Rb-Sr 法和石英的裂变径迹法获得了(259±27) Ma、105.6 Ma、82~83 Ma 等三组数据。

胡瑞忠等(1995)对其获得的(259±27) Ma 数据解释为成矿初始流体(古流体)的年龄,并认为这些古流体在向金的成矿流体演化过程中 Rb-Sr 体系保持不变,流体包裹体年龄不代表成矿年龄。成矿年代应大致在 140~75 Ma 之间,相当于燕山晚期,与岩浆活动有关。苏文超等(1998)利用同样的数据,经过对样品的重新筛选后,获得一条新的等时线年龄 105.6 Ma,并认为该数据代表了金矿化的时间。但整个“金三角”采用 Rb-Sr 法获得的数据涵盖了从 276 Ma 到 105.6 Ma 的数据,比较杂乱。老于赋矿围岩的数据,多由此方法获得,亦从侧面反映了该方法在此类型金矿床上应用的局限性。

张峰等(1992)用石英裂变径迹法测得黄铁矿-石英脉中石英的年龄值为 82~83 Ma,并认为代表了成矿时代的上限值。由于统计古径迹人为因素比较大,并易受后期热液事件的影响。且这一数据是整个“金三角”地区该类型金矿年龄值最低的数据,因此是否受后期热液影响值得考虑。

可见,包括贵州锦丰(烂泥沟)金矿在内的整个滇黔桂“金三角”卡林型金矿床的成矿时代仍未完全解决。目前多数学者依据综合地质分析,把滇黔桂卡林型金矿的成矿时间与燕山运动联系起来,认为与造山后的伸展及相关的幔源基性-超基性岩浆活动有关(毛景文等,2005)。

## 3 黄铁矿 Re-Os 测年新资料

为直接精确测定贵州锦丰矿床的成矿时代,作者对载金黄铁矿进行了 Re-Os 同位素年龄精测。用于 Re-Os 同位素分析的 9 件样品均取自不同断层控制矿体之中的原生矿石,并且还考虑了样品在走向上和倾向上的分布和矿石品位两个因素。矿石样品送实验室进行黄铁矿单矿物的挑选,挑纯后每件单矿物重 3 克。选纯后的黄铁矿样品送国家地质实验测试中心 Re-Os 实验室进行铼钼化学分离和质谱测定,测试分析流程详见有关文献(杜安道等,1994,2001)。实验结果见表 1。

采用 Ludwig(1999)的 ISOPLOT (Version 2.90)软件对表 1 分析数据进行回归计算,拟合出一条较好的等时线,获得等时线年龄为(193±13) Ma(图 1),初始  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  比值为 1.127±0.043,平均权重方差(MSWD)为 9.4。拟合所得的等时线质量较好(MSWD 值小),精确度较高。

表 1 贵州锦丰（烂泥沟）金矿 Re-Os 同位素测试数据

室内编号	野外编号	m/g	Re/(ng·g <sup>-1</sup> )		Os <sub>#</sub> /(ng·g <sup>-1</sup> )		Os <sup>187</sup> /(ng·g <sup>-1</sup> )		Re <sup>187</sup> /Os <sup>188</sup>		Os <sup>187</sup> /Os <sup>188</sup>	
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
051121-2	F7-10	1.201	0.9173	0.0085	0.00856	0.00012	0.0031	0.00006	512.51	8.39	2.76	0.06
051121-3	F3c-1	1.201	0.1311	0.0018	0.02454	0.00032	0.0038	0.0001	25.55	0.48	1.18	0.03
051121-4	F3d-1	1.201	0.2504	0.0021	0.02212	0.00019	0.00382	0.00006	54.14	0.65	1.31	0.02
051121-5	F3-20	1.201	0.1257	0.0033	0.02558	0.00026	0.00384	0.00007	23.5	0.67	1.14	0.02
051121-8	F12-1	1.2	0.1487	0.0039	0.02554	0.00023	0.00419	0.00006	27.86	0.77	1.25	0.02
051121-9	F3a-20	1.201	0.1508	0.0049	0.00675	0.00014	0.00139	0.00006	106.85	4.1	1.56	0.07
051130-12	F7-10	0.846	1.233	0.013	0.00911	0.00024	0.00387	0.00012	647.3	18.7	3.23	0.132
051130-13	F3c-1	1.206	0.1286	0.0046	0.02939	0.00108	0.00429	0.00028	20.93	1.07	1.11	0.08
051130-14	F3d-1	1.202	0.258	0.0056	0.03029	0.00058	0.00501	0.00015	40.73	1.18	1.259	0.044
051130-16	F2-10	1.206	0.1654	0.0047	0.0604	0.0011	0.00998	0.00027	13.11	0.44	1.257	0.039
051130-17	F12-1	1.2	0.4391	0.0472	0.0335	0.00073	0.00561	0.00021	62.69	6.87	1.275	0.054
051130-18	F3a-20	1.208	0.2132	0.0072	0.00795	0.00029	0.00162	0.00008	128.2	6.3	1.548	0.092

1. 上述结果是用电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 进行测量而得到的。
2. Os<sub>#</sub>是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度，通过 <sup>192</sup>Os/<sup>190</sup>Os 测量比计算得出，总 <sup>187</sup>Os 是 <sup>187</sup>Os 同位素总量。
3. Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。置信水平 95%。
4. <sup>187</sup>Os/<sup>188</sup>Os 的不确定度包括质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差。置信水平 95%。

#### 4 成矿时代讨论

本文通过直接精确测定热液成因硫化物（载金黄铁矿）年龄，首次获得锦丰（烂泥沟）金矿直接成矿年龄为(193±13) Ma。

从方法学而言，金属硫化物 Re-Os 法直接表述了金属矿物形成的年龄，相比蚀变矿物和流体包裹体 Rb-Sr 法，石英裂变径迹法等更为接近成矿年龄。

矿床地质表明该区经历了两次最主要的构造变形，即印支造山期的挤压和随后的伸展。造山期挤压 (T<sub>3</sub>) 形成了矿区最为明显的近南北和北西向构造线，即强烈的倒转褶皱和逆冲断层，赋矿断层 F<sub>3</sub> 于此时形成。造山后伸展 (J) 由于近南北向的挤压（或近东西向的拉伸），一方面使造山

期形成的褶皱发生重褶，形成走向北东的叠加褶皱；另一方面随着构造应力在造山期形成的近“X”型断裂系上的分配，形成南北向的挤压区和东西向的拉张区。由于西部为赖子山砥柱，故主要向东拉张，导致 F<sub>3</sub> 的右旋-正滑运动。此时矿液沿着右旋拉张形成的减压扩容区沉淀就位。因此，载金矿物黄铁矿 Re-Os 测年获得的(193±13) Ma 数据，与地质特征基本吻合，可能较为真实地反映了贵州锦丰（烂泥沟）矿床的成矿年龄。

另外，本文利用载金矿物黄铁矿直接获得的成矿年龄为(193±13) Ma，老于用主成矿阶段晚期的石英-方解石测年获得的 105.6~82 Ma 年龄，晚于赋矿围岩（中—上三叠统）。

对比分析滇黔桂“金三角”卡林型矿床的测年数据，可以发现 276~259 Ma，206 Ma，157~82 Ma 等 3 组测年数据（陈

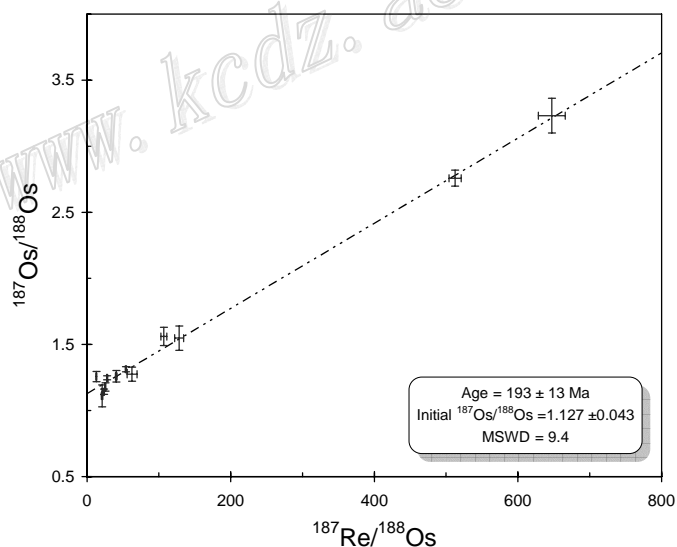


图 1 贵州锦丰（烂泥沟）金矿 Re-Os 等时线图

懋弘, 2006)。276~259 Ma 数据明显老于最新赋矿围岩年龄(中—上三叠统。全国地层委员会, 2002), 与地质事实不符。157~82 Ma 数据大多是用主成矿阶段晚期的石英-方解石等脉石矿物获得, 应该代表主成矿阶段晚期的年龄。而国家辉等(1992)采用矿石绢云母获得的 206 Ma 年龄则与本文新获得的数据基本吻合(即使是沉积成因的绢云母在热液蚀变过程中也可能发生同位素时钟重置而代表热液蚀变年龄)。因此, 193~206 Ma 数据最有可能代表了滇黔桂“金三角”卡林型矿床的成矿年龄。

## 5 成矿动力学背景

就矿体的赋存状态及其与构造的关系而言, 滇黔桂“金三角”卡林型金矿不外乎两种类型: 断裂(切层)型和层控(顺层)型, 有学者形象地称之为“楼上矿”和“楼下矿”。且近年的研究和生产均表明, 顺层矿体间有切层断裂连接(张兴春等, 2004)。因此, 两者之间有一个统一的流体运移体系, 是同一热液系统在不同的具体构造环境下成矿的具体表现。因此, 滇黔桂“金三角”卡林型金矿不论是断裂型还是层控型矿床, 不但具有基本一致的成矿时代, 还应该具有相同的成矿动力学背景。

大多数学者赞同右江盆地在印支期挤压造山(韩至钧, 1999)。贵州锦丰(烂泥沟)金矿倾向盆地的强烈断-褶构造组合即为造山运动的产物。挤压造山期间, 含矿流体沿不整合面和同生断层向上运动, 在有利的构造闭圈下形成超压流体。造山后岩石圈开始伸展, 由于构造应力场近于直交的转化, 导致造山期形成的压性断裂发生张性活动, 形成减压扩容空间, 含矿流体则向减压扩容空间运移。此时成矿热液系统的压力骤降, 快速打破了体系原有的平衡, 从而使成矿元素发生快速沉淀而形成超大型金矿床。因此, 成矿物质的沉淀就位发生在由挤压向拉张过渡的构造体制转换阶段, 属于后碰撞造山成矿作用的产物。

由此可见, 滇黔桂“金三角”卡林型金矿的形成与造山有关, 但又不是与造山同时, 而是滞后于造山。这一结论与陈衍景等(2004)研究我国西秦岭卡林型金矿后得出的结论基本一致, 二者在成矿时间和构造背景上也十分相似, 均为造山后碰撞的产物。不同的是秦岭造山带位于扬子地台的西北缘, 而右江造山带位于扬子地台的南西缘。这两个造山带都是印支期碰撞造山, 侏罗纪开始伸展。

## 6 结论

(1) 贵州锦丰(烂泥沟)金矿载金黄铁矿的 Re-Os 同位素精确测年获得等时线年龄为(193±13) Ma, 反映其成矿时代为早侏罗世。对比分析其它同类矿床的测年数据, 193~206 Ma 数据有可能代表了滇黔桂“金三角”卡林型矿床的成矿年龄。

(2) 滇黔桂“金三角”卡林型金矿大规模成矿发生在从印支期挤压造山向燕山期伸展转变的构造转换期, 是后碰撞造山成矿作用的产物。

## 参 考 文 献

- 陈懋弘, 毛景文, 吴六灵, 郑建民. 2006. 滇黔桂矿集区微细浸染型金矿成矿年代学研究综述. 桂林工学院学报, 26(3): 334~340.
- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 邹晓秋, 孙亚利, 孙德忠, 陈少珍, 屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 68(4): 339~347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄. 岩矿测试, 20(4): 247~252.
- 关秀群. 1992. 烂泥沟金矿金赋存状态及工艺特性研究. 黄金, 13(6): 11~16.
- 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. 北京: 地震出版社. 1~136.
- 韩至钧, 王砚耕, 冯济舟, 等. 1999. 黔西南金矿地质与勘探. 贵阳: 贵州科技出版社. 1~69.
- 胡瑞忠, 苏文超, 毕献武, 等. 1995. 滇黔桂三角区微细浸染型金矿床成矿热液一种可能的演化途径: 年代学证据. 矿物学报, 15(2): 144~149.
- 刘建明, 赵善仁, 沈洁, 等. 1998. 成矿流体活动的同位素定年方法评述. 地球物理学进展, 13(3): 46~55.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 2005. 大陆动力学演化与成矿研究: 历史与现状—兼论华南地区在地质历史演化期间大陆增生与成矿作用. 矿床地质, 24(3): 193~205.
- 全国地层委员会. 2002. 中国区域年代地层(地质年代)表说明书. 北京: 地质出版社. 60~62.
- 苏文超, 杨科佑, 胡瑞忠, 等. 1998. 中国西南部卡林型金矿床流体包裹体年代学研究—以贵州烂泥沟大型卡林型金矿床为例. 矿物学报, 18(3): 359~362.
- 张峰, 杨科佑. 1992. 黔西南微细浸染金矿裂变径迹成矿时代研究. 科学通报, 27(17): 1593~1595.
- 张兴春, 苏文超, 夏勇, 等. 2004. 卡林型金矿不可见金与超压流体(Overpressured fluid)关系探讨—以贵州贞丰水银洞金矿为例. 贵州地质, 21: 274~275.
- Sino Gold Limited. 15/Feb./2006. Announcements: Sino gold announces Jinfeng resource exceeds 4 million ounces gold. <http://sinogold.com.au>.