

中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统的构建

刘建中^{1,3}, 王泽鹏^{2,3}, 宋威方⁴, 王大福², 杨成富^{2,3}, 李俊海^{2,3}, 郑禄林⁴, 李松涛^{2,3}, 谭亲平⁵, 谢卓君⁵, 陈发恩², 覃永军^{1,3}, 杨毓红^{3,6}, 谭礼金², 徐良易², 汪小勇²

1. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550004; 2. 贵州省地质矿产勘查开发局—0五地质队, 贵州 贵阳 550018; 3. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心, 贵州 贵阳 550081; 4. 贵州大学, 贵州 贵阳 550025; 5. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081; 6. 贵州省土地矿产资源储备局, 贵州 贵阳 550004

摘要: 基于构造蚀变体的系统研究, 明确了内涵, 建立了判别指标, 划分了类型。通过与成矿作用密切相关的沉积、地层、岩石、构造、年代学、就位空间、成矿过程等研究, 构建了基于构造蚀变体多层叠置的中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统, 建立成矿模式、预测模型及构造蚀变体判别指标, 以期指导区域找矿。

关键词: 构造蚀变体; 卡林型金矿; 成矿系统; 南方; 中国

1 引言

南盘江—右江成矿区作为中国南方卡林型金矿集中产出区, 是我国最重要的金资源产地之一。早期研究多集中于单矿床地质特征、成矿作用、物质来源、成因探讨, 较少研究矿床之间的相关关系, 成矿系统研究薄弱。

2 研究背景

中国是除美国以外最重要的卡林型金矿分布区^[1-2]。中国南方卡林型金矿集中产于南盘江-右江地区, 形成著名的滇黔桂“金三角”。东以凭祥—邕宁和武宣—永福断裂为界, 西以红河—弥勒—盘县断裂为界, 北以水城—紫云—南丹—宜州—永福断裂为界, 南以国界为界, 总面积约 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[3]。

2000 年以前, 南盘江-右江地区查明金资源量大约 420 吨, 其中大型矿床 8 个, 无超大型矿床。研究工作则仅针对单矿床开展, 基于单矿床研究成果, 提出了多种成因模式^[4-9]。

自 2002 年提出构造蚀变体 (SBT) 以来^[6], 逐步开始将区内部分金矿床作为同一成矿体系的产物进行研究并开展应用示范, 黔西南地区找矿取得重大突破, 新增金资源量 500 吨。水银洞金矿床累计查明金资源量 295 吨, 跃居世界同类型金矿床金资源量排名第十位。新发现的以峨眉山玄武岩为容矿岩石的架底金矿 (64 吨) 及大麦地金矿 (6 吨) 突破了传统的卡林型金矿赋矿围岩为沉积岩的认识, 备受业界关注。区域探明水银洞、烂泥沟、泥堡、紫木凶、架底、戈塘、大麦地、雄武、老万场、砂锅厂、板其、丫他、央友、隆或、高龙、马雄、金牙、巴平、浪全、金龙山、岩旦、明山、鸡公崖、林旺、龙塘、革档、堂上、老寨湾、下格乍、桥头和那能等数十个卡林型金矿床, 累计获得金资源 920 吨, 成为我国最重要的金资源产地之一^[10]。

3 构造蚀变体

3.1 定义

构造蚀变体 (SBT): 含矿热液沿 $D/$ 、 D/O 、 T_2/P_{1+3} 、 P_3/P_2 不整合面和 C/D 、 P_1/C 、 T_2/T_1 能干性差异大的岩层面之间的区域滑脱构造面, 运移交代周缘岩石系统而形成的构造蚀变岩石 (原始定义为产于 P_{2m} 和 P_{3l} 或 P_3 之间), 是沉积作用、构造作用和热液蚀变作用的综合产物, 是与金矿成矿相关的蚀变岩石单元, 是成矿作用的产物。其为一跨时的地质体, 包含了滑脱构造面上下的岩石, 向下依蚀变强度由强硅化角砾状岩-强硅化碳酸盐-弱硅化碳酸盐岩-正常的碳酸盐岩呈渐变关系, 向上由硅化角砾状粘土岩 (角砾状凝灰岩、角砾状凝灰质玄武岩)-硅化碎裂化粘土岩 (玄武岩) 向正常粘土岩 (玄武岩) 过渡。弱硅化碳酸盐岩-强硅化碳酸盐岩-强硅化角砾状碳酸盐岩-硅化角砾状粘土岩 (角砾状凝灰岩、角砾状凝灰质玄武岩)-硅化碎裂化粘土岩 (玄武岩) 即划入构造蚀变体 (SBT)。岩石中常见斑块状及细脉状白色、绿色石英、辉锑矿及片状石膏, 普遍具硅化、黄铁矿化、萤石化、雄 (雌) 黄化、锑矿化、金矿化等^[6, 10]。

3.2 类型

最新研究表明, 根据滑脱构造形成特征, 构造蚀变体进一步划分为平行不整合型、角度不整合型和岩层界面型。

3.3 判别指标

中国南方卡林型金矿区广泛发育构造蚀变体 (SBT), 直接产出于构造蚀变体中的金矿资源量大约占总资源量的 45%。构造蚀变体判别指标: 产出背景 (南盘江-右江成矿区)、产出形态 (与地层产状一致)、构造部位 (背斜、穹窿)、构造面 (不整合面、能干性差异大的岩层面)、构造特征 (滑脱构造)、变形特征 (角砾+碎裂+滑动+揉褶)、岩石特征 (角砾岩+碎裂岩)、蚀变特征 (硅化+黄铁矿化+毒砂化+萤石化+雄 (雌) 黄化+辉锑矿化)、元素组合 (Au-As-Sb-Hg-Tl)、层序组合 (泥质钙质碎屑岩系/上+碳酸盐岩/下)、界线、层次、控制因素 (超百米厚的厚层灰岩或者白云岩或者礁灰岩与厚度超过五十米的泥质钙质碎屑岩系或峨眉山玄武岩/凝灰岩之间)。

4 成矿系统

4.1 沉积系统

众多学者研究认为, 南盘江-右江地区晚古生代-早三叠世处于台盆分野, 以盆地深水碎屑岩为主, 间夹海盆孤立碳酸盐台地^[11-12]。近期研究显示, 板其-烂泥沟-卡务大片地区, 石炭系为碳酸盐岩沉积, 二叠系为碳酸盐岩沉积, 隆林-高龙大片地区, 泥盆系为碳酸盐岩沉积, 石炭系为碳酸盐岩沉积, 二叠系为碳酸盐岩沉积。仅仅将这两个区域投影至早期绘制的南盘江-右江沉积古地理图上, 清楚地表现为区域晚古生代-早三叠纪的沉积格局为以台地为主的台-槽-沟系统, 区内金矿床主要分布于台地区块, 而非早期所言之孤立碳酸盐台地边缘。区域盆地系统主要表现为中三叠纪的深水盆地沉积物几乎广布于南盘江-右江地区一半的区域, 呈现出台盆各半的展布特征, 形成传统表述的“盆地相区金矿”和“台地相区金矿”^[10]。

4.2 地层系统

区域金矿就位的地质层有: 泥盆系郁江组、泥盆系坡段组、泥盆系融县组、石炭系英塘组、石炭-

二叠系南丹组、二叠系龙吟组、二叠系四大寨组、二叠系栖霞组、二叠系茅口组、二叠系河山组、二叠系吴家坪组、二叠系领蓐组、二叠系龙潭组、二叠系长兴组、二叠系峨眉山玄武岩组、三叠系安顺组、三叠系夜郎组、三叠系百逢组、三叠系许满组、三叠系新苑组、三叠系边阳组。含矿地层丰富，表现为区内所有地层几乎均可以成为容矿地层，显示了容矿地层的多样性。

4.3 岩石系统

卡林型金矿被定义为主要产于沉积碳酸盐岩中的金以不可见形式赋存在含砷黄铁矿中，具有 As、Sb、Hg、Tl 等元素组合的特殊金矿类型。近年系列研究成果显示，区内金矿床容矿岩石多样性特征明显，容矿岩石有：灰岩、白云岩、粉砂岩、粘土岩、硅质岩、辉绿岩、玄武岩、凝灰岩。几乎所有的岩石均可以成为卡林型金矿的容矿岩石，展现了卡林型金矿容矿岩石的多样性。

4.4 构造系统

褶皱-断裂系统成为区域金矿床的成矿构造，而背斜或穹窿往往是最主要的控矿构造。背斜或穹窿、逆断层或其组合，成为金矿区主体构造。水银洞金矿以背斜为主，逆断层次之；烂泥沟金矿为逆断层；紫木凶金矿为背斜和逆断层；泥堡金矿以逆断层为主，背斜次之；架底金矿为背斜；戈塘金矿为穹窿；板其金矿为穹窿；丫他金矿为背斜+逆断层；高龙金矿为穹窿；隆或金矿为穹窿；马雄金矿为背斜；堂上金矿为背斜+逆断层；大观金矿为背斜+逆断层；林旺金矿为逆断层；金牙金矿为逆断层；张家湾金矿为背斜。

4.5 年代系统

区域卡林型金矿的年代学研究方面，著述颇丰^[12-16]，大多数数据集中于 97-172Ma，主体显示为 205-225Ma 和 130-148Ma 两个区间，表现出成矿时代既有印支期又有燕山期的成矿特点^[15]。南盘江地区中三叠与晚三叠之间整合接触，沉积了中三叠世的边阳组和晚三叠世的黑苗湾组，贵州沉积了晚三叠世至早侏罗世的二桥组地层，二桥组以后为陆相沉积，表明印支运动在区内影响甚微。南盘江-右江地区的主体构造格架中，侏罗系地层卷入褶皱系统，而控矿断裂均与褶皱相伴而生。区内金矿体均产于背斜-穹窿及与期相伴的逆断层，宏观年代学证据显示成矿年龄应该晚于中侏罗世早于晚白垩世（160-130Ma）^[17-18]。

4.6 物质系统

成矿物质来源研究方面，主要认识有：沉积地层、变质基底、深部岩浆、基性超基性岩、花岗岩、地层与深部岩浆混合源、峨眉地幔热柱等等^[4-6, 15-16, 18-26]。最近越来越多证据表明，成矿物质来源于深部地壳花岗岩岩浆作用^[5, 10, 27-28]，大规模成矿作用与大区域构造关系密切。

4.7 就位系统

矿体就位空间是找矿核心。最新研究成果显示：矿体产出往往与背斜紧闭程度、枢纽起伏、穹窿、背斜同生逆断层密切相关。金矿体往往产于背斜轴部附近 800-1500 m 狭窄范围。翼间角小于 30° 或大于 160° 的背斜则不利于成矿，翼间角在 100-160° 之间的背斜有利于成矿。背斜枢纽倾伏角 10°-15° 的地段，见多层叠置金矿体产出；背斜枢纽倾伏角小于 5° 的地段，金矿体往往仅产于构造蚀变体。穹窿周缘 2000m 范围内构造蚀变体是金矿体产出的最有利空间；与背斜轴平行展布的同生

逆断层往往是金矿的控矿断层，断层下盘的背斜核部及构造蚀变体是金矿体产出的有利部位^[10]。

4.8 动力学系统

基于获得的同位素年代学数据，认为第一期成矿作用可能与沿松马缝合带印支期碰撞造山后的伸展作用相关，而第二期成矿作用可能与燕山期华南板块内大规模伸展作用相关^[14-15, 25]。燕山期太平洋板块向西平板俯冲过程中，华夏与扬子拼贴带西南段（江南复合造山带）历经武陵-加里东-印支多次碰撞以及受峨眉地幔柱的影响而形成的特殊富金地壳发生重熔，形成与隐伏花岗岩有关的含矿热液，可能是区内金成矿最主要的动力学过程^[5, 10]。

5 成矿模式

燕山期区域构造作用下，太平洋板块向西俯冲过程中，华夏与扬子拼贴带西南段（江南复合造山带西段）历经武陵-加里东-印支多次碰撞以及受峨眉地幔柱的影响而形成的特殊富金地壳发生重熔，

形成与隐伏花岗岩有关的 NaCl-H₂O-F-S²⁺-Au⁺-As³⁺-Hg²⁺-Sb³⁺-Tl⁺±CO₂±N₂±CH₄ 含矿热液，沿深大断裂上涌，一部分热液在背斜核部附近沿滑脱构造（D/、D/O、T₂/P₁₊₃、P₃/P₂ 不整合面和 C/D、P₁/C、T₂/T₁ 能干性差异大的岩层面）侧向运移，因温度-压力-酸碱度-氧逸度变化及流体不混溶作用，金等成矿元素往往在背斜核部附近一定范围内富集形成赋存于构造蚀变体中的层控型金矿体，一部分热液沿与背斜同期形成的逆断层上升并交代周缘岩石而形成断裂型金矿体^[10]（图 1）。

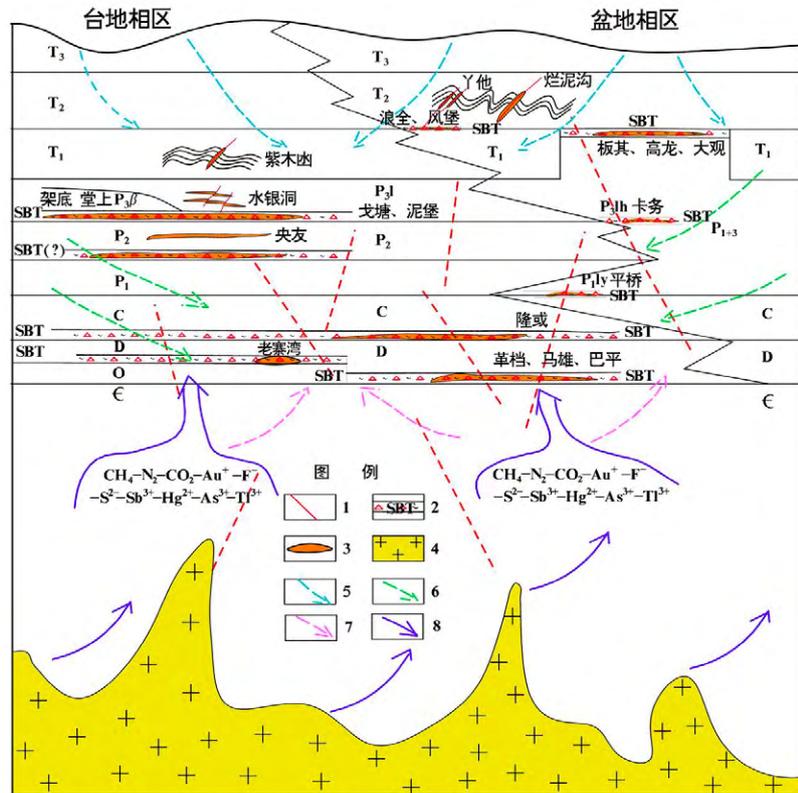


图 1 中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统(刘建中等, 2020, 修编)

1-花岗岩体；2-断裂；3-构造蚀变体；4-金矿体；5-大气降水；6-地层水；7-变质水；8-岩浆水

6 结论

(1) 构造蚀变体 (SBT) 是区域构造作用与热液蚀变作用的产物，其既可以产出于不整合面之间，亦可以在能干性差异大的岩层之间，划分为平行不整合型、角度不整合型和岩层界面型，是重要的找矿预测标志。

(2) 几乎所有的岩石均可以成为卡林型金矿的容矿岩石，展现了卡林型金矿容矿岩石的多样性。

(3) 区内所有地层几乎均可以成为容矿地层，含矿地层丰富，显示了容矿地层的多样性。

(4) 区域金矿床可能为同一成矿系统的产物，为多层次滑脱成矿系统不同层次矿床的表现形式。

(5) 燕山期太平洋板块向西平板俯冲过程中, 华夏与扬子拼贴带西南段历经武陵-加里东-印支多次碰撞以及受峨眉地幔柱的影响而形成的特殊富金地壳发生重熔, 形成与隐伏花岗岩有关的含矿热液, 可能是区内金成矿最主要的动力学过程。

作者简介: 刘建中(1966-), 男, 贵州务川人, 研究员, 长期从事金矿和磷矿成矿与找矿研究工作。

基金项目: 国家自然科学基金“我国西南(贵州)喀斯特地区特色矿产成矿理论及综合利用”(编号: U1812402)、国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项(深部矿产资源三维找矿预测评价示范)(编号: 2017YFC0601500)

参考文献:

- [1] Cline J S, Muntean J L, Gu X X, et al. A comparison of Carlin-type gold deposits: Guizhou Province, golden triangle, southwest China, and northern Nevada, USA[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20: 1-18.
- [2] Hu R Z, Su W C, Bi X W, et al. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China[J]. *Mineralium Deposita*, 2002. 37(3-4): 378-392.
- [3] 刘增铁, 刘远辉, 周琦, 等. 中国重要成矿区带成矿特征、资源潜力和选区部署. 南盘江-右江成矿区[M]. 北京: 中国原子能出版社, 2015.
- [4] 陈懋弘, 毛景文, Phillip J U, 等. 贵州锦丰(烂泥沟)超大型金矿床构造解析及构造成矿作用[J]. *矿床地质*, 2007(26): 380-396.
- [5] Hou L, Peng H J, Ding J, Zhang J R, et al. Textures and In Situ Chemical and Isotopic Analyses of Pyrite, Huijiabao Trend, Youjiang Basin, China: Implications for Paragenesis and Source of Sulfur[J]. *Economic Geology*, 2016. 111(2): 331-353.
- [6] 刘建中, 夏勇, 陶琰, 等. 贵州西南部 SBT 研究[M]. 湖北: 中国地质大学出版社, 2017.
- [7] Peng Y W, Gu X X, Zhang Y M, et al. Ore-forming process of the Huijiabao gold district, southwestern Guizhou Province, China: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014. 93:89-101.
- [8] Su W C, Heinrich C A, Pettke T, et al. Sediment-hosted gold deposits in Guizhou, China: Products of wall-rock sulfidation by deep crustal fluids[J]. *Economic Geology*, 2009a. 104(1): 73-93.
- [9] Xie Z J, Xia Y, Cline J S, et al. Are there carlin-type gold deposits in China? A comparison of the Guizhou, China, deposits with Nevada, USA, Deposits [J]. *Reviews in Economic Geology*, 2018, 20: 187-233.
- [10] 刘建中, 王泽鹏, 杨成富, 等. 中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统[J]. *中国科技成果*, 2020, 21(4): 49-51.
- [11] 刘宝珺, 许效松. 中国南方岩相古地理图集[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [12] 杜远生, 杨江海, 黄虎, 等. 右江造山带海西-印支期沉积地质学研究[M]. 湖北: 中国地质大学出版社, 2014.
- [12] 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 萤石 Sm-Nd 同位素体系对晴隆锑矿床成矿时代和物源的制约[J]. *岩石学报*, 2003. 19(4): 785-791.
- [13] 皮桥辉, 胡瑞忠, 彭科强, 等. 云南富宁者桑金矿床与基性岩年代测定—兼论滇黔桂地区卡林型金矿成矿构造背景[J]. *岩石学报*, 2016. 32(11): 3331-3342.
- [14] Hu R Z, Fu S L, Huang Y, Zhou M F, et al. The giant South China Mesozoic low-temperature metallogenic domain: Reviews and a new geodynamic model[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2017. 137: 9-34.
- [15] 高伟. 桂西北卡林型金矿成矿年代学和动力学 [D]. 博士论文, 中国科学院大学(中国科学院地球化学研究所), 2018.
- [16] 董文斗. 右江盆地南缘辉绿岩容矿金矿床地球化学研究[D]. 博士论文, 中国科学院大学(中国科学院地球化学研究所), 2017.
- [17] Lulin Zheng, Ruidong Yang*, Junbo Gao, Jun Chen, Jianzhong Liu and Depeng Li. Quartz Rb-Sr Isochron Ages of Two Type Orebodies from the Nibao Carlin-type Gold Deposit, Guizhou, China[J]. *Minerals*. 2019: P1-15
- [18] 刘建中, 王大福, 王泽鹏, 杨成富, 等. 黔西南金矿资源潜力评价与深部找矿预测示范[R]. 贵阳: 贵州省地质矿产勘

查开发局—0五地质大队, 2021.

[19]夏勇, 贵州贞丰县水银洞金矿床成矿特征和金的超常富集机制研究[D]. 博士论文, 中国科学院地球化学研究所, 2005.

[20]聂爱国, 黔西南卡林型金矿的成矿机制及成矿预测[D]. 博士论文, 昆明理工大学, 2007.

[21]谢卓熙. 广西田林高龙金矿地质特征及成因[J]. 黄金科学技术, 2000, 8(5): 28-36.

[22]朱赖民, 金景福, 何明友, 等. 黔西南微细粒浸染型金矿床深部物质来源的同位素地球化学研究[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(1): 37-42

[23]王登红. 卡林型金矿找矿新进展及其意义[J]. 地质地球化学, 2000, 28(1): 92-94

[24]贾大成, 胡瑞忠. 滇黔桂地区卡林型金矿床成因探讨[J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 378-384

[25]靳晓野. 黔西南泥堡、水银洞和丫他金矿床的成矿作用特征与矿床成因研究[D]. 博士论文, 中国地质大学, 2017.

[26]曾国平, 黔西南矿集区西段微细浸染型金矿构造控矿作用研究[D]. 博士论文, 中国地质大学(武汉), 2018.

[27]Xiao-Ye Jin, Albert H. Hofstra, Andrew G. Hunt, Jian-Zhong Liu, et al. Noble Gases Fingerprint The Source And Evolution Of Ore-Forming Fluids Of Carlin-Type Gold Deposits In The Golden Triangle, South China[J]. Economic Geology. 2020, 115: 455-469

[28]Junhai Li, Pan Wu, Zhuojun Xie, Jianzhong Liu, et al. Alteration and paragenesis of the basalt-hosted Au deposits, southwestern Guizhou Province, China: Implications for ore genesis and exploration[J]. Ore Geology Reviews. 2021, 131: 1-20.

(全国首届金属矿产资源勘查大会-会议论文)