

贵州卡林型金矿成矿系列及找矿方向

刘建中^{1, 2, 4)}, 徐良易^{3, 4)}, 宋威方⁵⁾, 王泽鹏^{2, 3)}, 王大福³⁾,
杨成富^{2, 3)}, 李俊海^{2, 3)}, 郑禄林⁴⁾, 李松涛^{2, 6)}, 谭亲平⁷⁾,
谢卓君⁷⁾, 刘婧珂³⁾, 杨毓红^{2, 8)}, 谭礼金³⁾,
陈发恩³⁾, 谭代卫³⁾, 汪小勇³⁾

- 1) 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州贵阳 550004;
- 2) 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;
- 3) 贵州省地质矿产勘查开发局一〇五地质大队, 贵州贵阳 550018;
- 4) 贵州大学, 贵州贵阳 550025; 5) 湖北省地质局第六地质大队, 湖北孝感 432000;
- 6) 贵州师范学院地理与资源学院, 贵州贵阳 550018;
- 7) 中国科学院地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州贵阳 550081;
- 8) 贵州省土地矿产资源储备局, 贵州贵阳 550004

摘要: 卡林型金矿为华南低温成矿域重要的矿产。贵州为南盘江—右江卡林型金矿聚集区最重要的组成部分, 是我国重要的金资源产地之一, 其大地构造位处江南复合造山带西段。本文采用成矿系列理论研究方法, 深入研究典型矿床特征, 系统总结了卡林型金矿时空规律。建立了贵州卡林型金矿矿床式 10 个、成矿亚系列 5 个、成矿系列 3 个, 建立了基于构造蚀变体的南盘江—右江卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统。建立了贵州卡林型金矿综合找矿预测模型, 据此开展了区域成矿预测, 圈定找矿预测区 24 个, 明确贵州卡林型金矿找矿方向。

关键词: 构造蚀变体; 成矿系列; 卡林型金矿; 找矿方向; 贵州

中图分类号: P618.51 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2023.080302

Metallogenic Series and Prospecting Direction of Carlin-type Gold Deposit in Guizhou Province

LIU Jian-zhong^{1, 2, 4)}, XU Liang-yi^{3, 4)}, SONG Wei-fang⁵⁾, WANG Ze-peng^{2, 3)},
WANG Da-fu³⁾, YANG Cheng-fu^{2, 3)}, LI Jun-hai^{2, 3)}, ZHENG Lu-lin⁴⁾, LI Song-tao^{2, 6)},
TAN Qin-ping⁷⁾, XIE Zhuo-jun⁷⁾, LIU Jing-ke³⁾, YANG Yu-hong^{2, 8)},
TAN Li-jin³⁾, CHEN Fa-en³⁾, TAN Dai-wei³⁾, WANG Xiao-yong³⁾

- 1) Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550004;
- 2) Engineering Technology Innovation Center of Mineral Resources Explorations in Bedrock Zones, Ministry of Natural Resources, Guiyang, Guizhou 550081;
- 3) 105 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550018;
- 4) Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025;
- 5) Six Geological Team of Hubei Geological Bureau, Xiaogan, Hubei 432000;
- 6) School of Geography and Resources, Guizhou Education University, Guiyang, Guizhou 550018;
- 7) State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550081;
- 8) Guizhou Provincial Bureau of Land and Mineral Resources Reserves, Guiyang, Guizhou 550004

本文由国家自然科学基金项目“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)、贵州省科技计划项目“贵州省卡林型金矿成矿与找矿科技创新人才团队建设”(编号: 黔科合平台人才-CXTD[2021]007)和贵州省地质勘查资金项目“黔西南金矿多层次构造滑脱成矿系统研究与找矿预测”(编号: 520000214TLCOG7DGTNRG)联合资助。

收稿日期: 2022-12-23; 改回日期: 2023-07-15; 网络首发日期: 2023-08-11。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 刘建中, 男, 1966年生。研究员, 博士生导师。长期从事金矿和磷矿成矿与找矿研究工作。E-mail: 2585364825@qq.com。

Abstract: Carlin-type gold deposit is an important mineral in the low-temperature metallogenic domain of South China. It is the most important part of the Nanpanjiang–Youjiang Carlin-type gold deposit gathering area in Guizhou, and one of China’s important gold resources producing areas. Its tectonic location is in the western part of the Jiangnan composite orogenic belt. In this paper, the characteristics of typical deposits are deeply studied using the theoretical research method of metallogenic series, and the temporal and spatial laws of Carlin-type gold deposits are systematically summarized. In Guizhou, there are 10 types of Carlin-type gold deposits, 5 metallogenic subseries and 3 metallogenic series. A multi-level tectonic detachment metallogenic system of Nanpanjiang–Youjiang Carlin-type gold deposits based on structural alteration was established. A comprehensive prospecting prediction model of Carlin-type gold deposits in Guizhou was established. Based on this, the regional metallogenic prediction was made, with 24 prospecting prediction areas delineated, and the prospecting direction of Carlin-type gold deposits in Guizhou was defined.

Key words: structural alteration body; metallogenic series; Carlin-type gold deposit; prospecting direction; Guizhou

矿床的成矿系列, 简称成矿系列, 指在一定的地质历史时期或构造运动阶段, 在一定的地质构造单元及构造部位, 与一定的地质成矿作用有关, 形成的一组具有成因联系的矿床的自然组合(陈毓川等, 2007), 由以下五个序次组成: 第一序次, 即矿床成矿系列组合; 第二序次, 即矿床成矿系列; 第三序次, 即矿床成矿亚系列; 第四序次, 即矿床式/矿床类型; 第五序次, 即矿床。矿床成矿系列的基础是矿床本身, 关键是矿床之间的相关关系(时间、空间、成因)。本文讨论的贵州卡林型金矿成矿系列实际上是指与贵州卡林型金矿有关的在成矿时间、成矿空间、成矿条件、成矿过程有联系的系列矿床的组合, 主要描述卡林型金矿床相应特征, 其他矿种则仅仅在成矿亚系列和成矿系列部分略作阐述。关于土型金矿, 虽单独成型, 但因其实为卡林型金矿体或矿化体的第四系风氧化产物, 故仍一并列入卡林型金矿统一表述。

贵州矿床成矿系列研究始于 2000 年, 冯学仕等(2002, 2004)将贵州矿床划分为 20 个成矿系列、16 个成矿亚系列, 其中与卡林型金矿有关的成矿系列 4 个, 成矿亚系列 7 个; 在全国层面上, 陈毓川等(2004)将贵州与卡林型金矿有关的置于 2 个成矿系列(燕山期 1 个、喜山期 1 个)、4 个成矿亚系列; 陶平等(2019)沿用了陈毓川等(2004)建立的贵州与卡林型金矿有关的 2 个成矿系列, 新增加了 1 个成矿亚系列(共计 5 个)、建立矿床式 8 个; 不同时期的成矿系列和亚系列存在差异, 但其成矿系列和成矿亚系列建立的核心思想均主要体现为容矿岩石和地层时代的差异性方面, 尤其是容矿岩石类型的表述更为明显。近年研究成果显示区域卡林型金矿具有“赋矿地层的多样性(无论什么时代的地层)”和“容矿岩石的多样性(无论什么岩石类型均可以容矿, 尤其是以峨眉山玄武岩作为容矿岩石的盘州架底大型金矿床的发现, 拓展了找矿空间)”(刘建中等, 2021, 2023), 近年

随着构造蚀变体(SBT)研究的深入, 区域卡林型金矿越来越多地因构造蚀变体的有无而表现出矿床的差异性, 矿体的产出形式与成矿环境的关系越来越突出, 区域卡林型金矿实属一个成矿系统。以容矿岩石为核心建立的矿床成矿系列和成矿亚系列, 局限性越来越明显, 贵州作为中国最重要的卡林型金矿产出区, 深入贵州卡林型金矿成矿系列研究, 揭示成矿作用过程, 总结成矿规律, 进而指导找矿勘查, 支撑国家新一轮找矿突破战略行动。

1 典型矿床研究

贵州是除美国西部内华达以外卡林型金矿最为集中分布的区域, 为滇黔桂“金三角”最重要组成部分, 主要分布于黔西南布依族苗族自治州及六盘水市西南部、黔南布依族苗族自治州的西南部(简称“黔西南地区”), 次为分布于黔南三都—丹寨地区(简称“三丹地区”)(图 1)。区内发现卡林型金矿床 47 个, 其中, 超大型 2 处(水银洞、烂泥沟)、大型 6 处(紫木凼、戈塘、丫他、泥堡、架底、老万场)、中型 4 处(大麦地、板其、百地、苗龙)、小型 35 处, 累计查明金资源量 756.09 t(陶平等, 2019), 占贵州金资源总量的 96.43%, 占滇黔桂“金三角”资源总量的 85%。黔西南地区累计查明金资源量 742.46 t, 三丹地区累计查明金资源量 13.63 t。尤以金资源量排名卡林型金矿“世界第十、亚洲第一、中国第一”的水银洞超大型金矿床独具特色(杨成富等, 2020; 刘建中等, 2023)。

贵州卡林型金矿大地构造位处扬子陆块西南缘江南复合造山带西段, 普遍发育中低温热液矿物组合及 Au-As-Sb-Hg-Tl 成矿元素组合, 矿种大多为单一金矿床, 少数为金锑矿床(板其、百地、苗龙)、金汞矿床(宏发厂、丹寨)、金汞铊矿床(烂木厂), 成矿年代为燕山期(胡瑞忠等, 2007; 闫宝文, 2012; 陶平等, 2019)。黔西南地区金矿赋矿地层为二叠系一

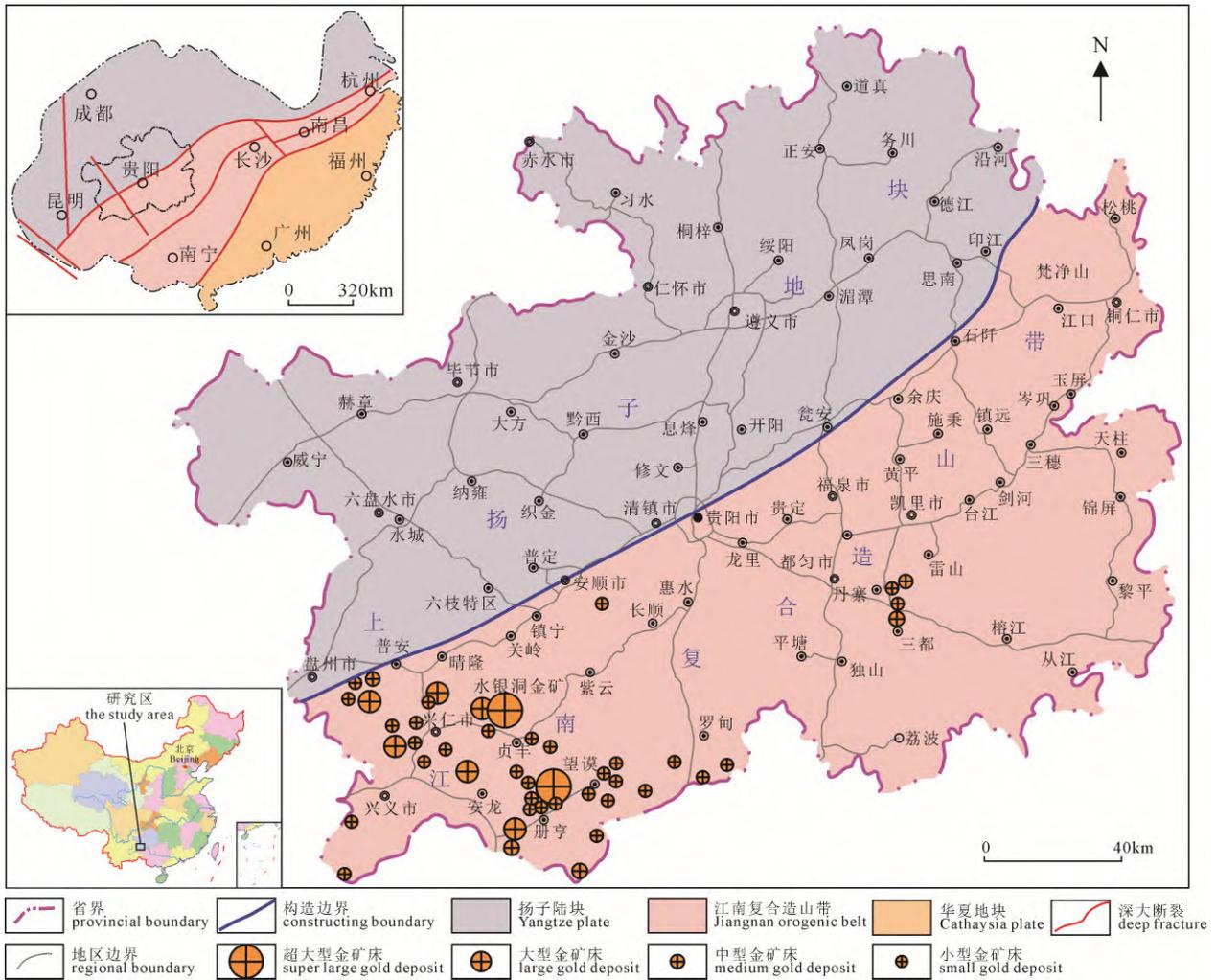


图 1 贵州省卡林型金矿产地分布图(据陶平等, 2019 修编)
 Fig. 1 Distribution of Carlin-type gold deposits in Guizhou Province (modified from TAO et al., 2019)

三叠系, 黔南三都—丹寨地区金矿赋矿地层为寒武系—奥陶系。区域上(南盘江—右江成矿区)几乎每一个时代地层(寒武系、奥陶系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系)均有卡林型金矿产出, 展示了赋矿地层的多样性; 容矿岩石主要为碳酸盐岩、陆源细碎屑岩、火山碎屑岩, 几乎所有岩石(火山岩-玄武岩、侵入岩-辉绿岩、沉积岩)均可以作为容矿岩石, 展示了容矿岩石的多样性; 控矿构造主要为背斜、穹隆、切层断裂、顺层断裂, 以背斜和穹隆核部附近的滑脱构造控矿为最典型特征, 以区域多层次滑脱构造控矿而独具特色(刘建中等, 2021, 2023)。

研究发现, 区域上含矿热液沿背斜和穹隆核部附近的滑脱构造运移交代形成的构造蚀变体(SBT)大多直接控制了金矿的产出(刘建中等, 2021, 2023), 区内绝大多数矿床与构造蚀变体密切相关, 以构造蚀变体控制的层控型矿体为区域最主要产出形式。直接赋存于构造蚀变体中的金资源量即达区域金总资源量的 40%, 加上水银洞产出于层状碳酸盐岩和架底金矿产出于峨眉山玄武岩层间破碎带等顺层矿

体, 则层控型金矿资源量占总资源量的 70%。尚未发现与构造蚀变体有直接关系的金矿床资源量仅占总资源量的 30%(刘建中等, 2022)。

构造蚀变体(SBT)是指含矿热液沿岩石能干性差异大的 D/ϵ 、 D/O 、 C/D 、 P_3l/P_2m (龙潭组/茅口组)、 $P_3\beta/P_2m$ (峨眉山玄武岩组/茅口组)不整合面和岩石能干性差异大的 P_1ly/CP_1n (龙吟组/南丹组)、 P_2-3lh/P_1-2sd (领蓐组/四大寨组)、 T_1z/P_3w (紫云组/吴家坪组)、 T_1l/P_3w (罗楼组/吴家坪组)、 T_2xy/T_1a (新苑组/安顺组)岩层界面之间的滑脱构造运移交代而形成的构造蚀变岩石(原始定义仅为 P_3l/P_2m 之间), 是沉积作用、构造作用和热液蚀变作用的综合产物, 为一跨时代的地质体, 是与金矿成矿相关的蚀变岩石单元, 是成矿作用的产物。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(刘建中等, 2010, 2014, 2017, 2020, 2023)。最新研究成果表明, 构造蚀变体产出的最根本原因在于岩石的能干性差异。根据构造蚀变体(SBT)产出特征划

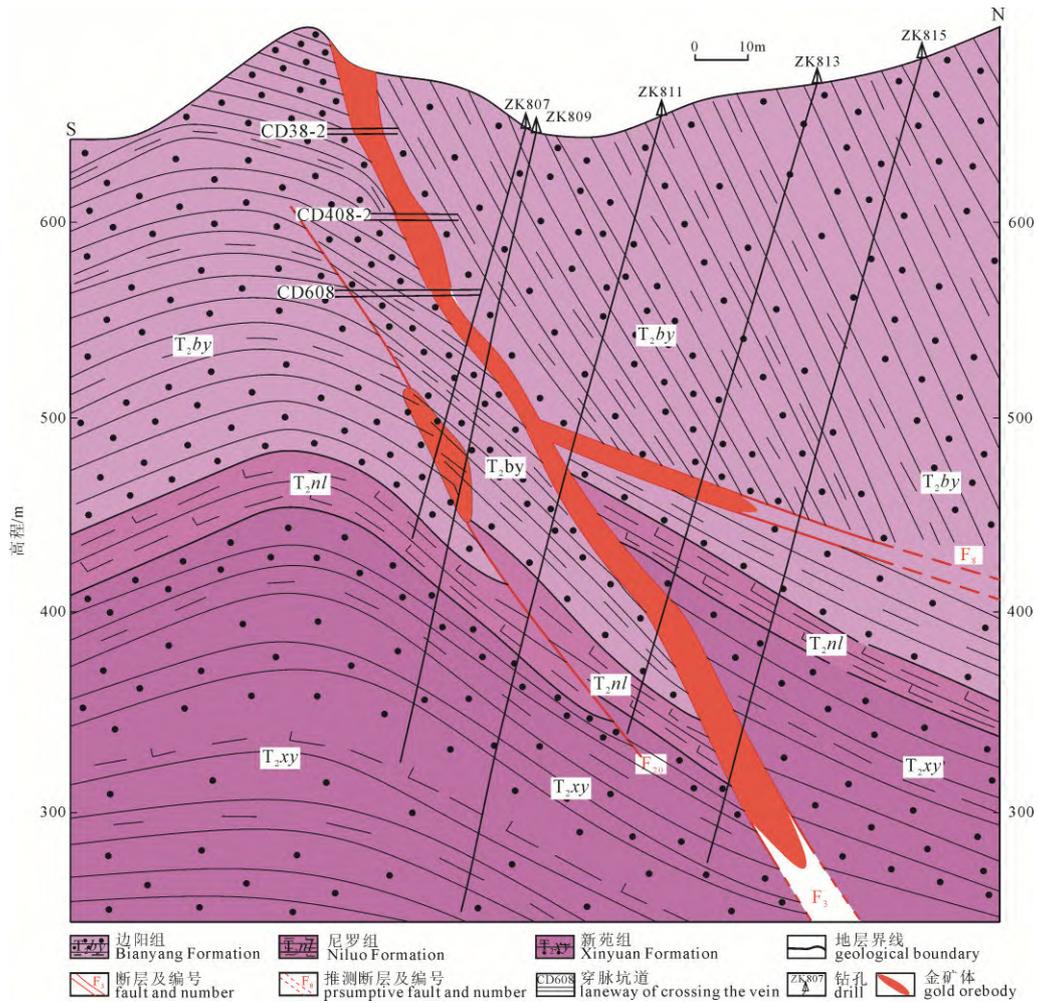


图3 贵州烂泥沟金矿8勘探线剖面图(据贵州省地质矿产勘查开发局117地质大队, 2004 修编)

Fig. 3 Profile of exploration line 8 in Lannigou gold deposit, Guizhou Province

(modified from 117 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, 2004)

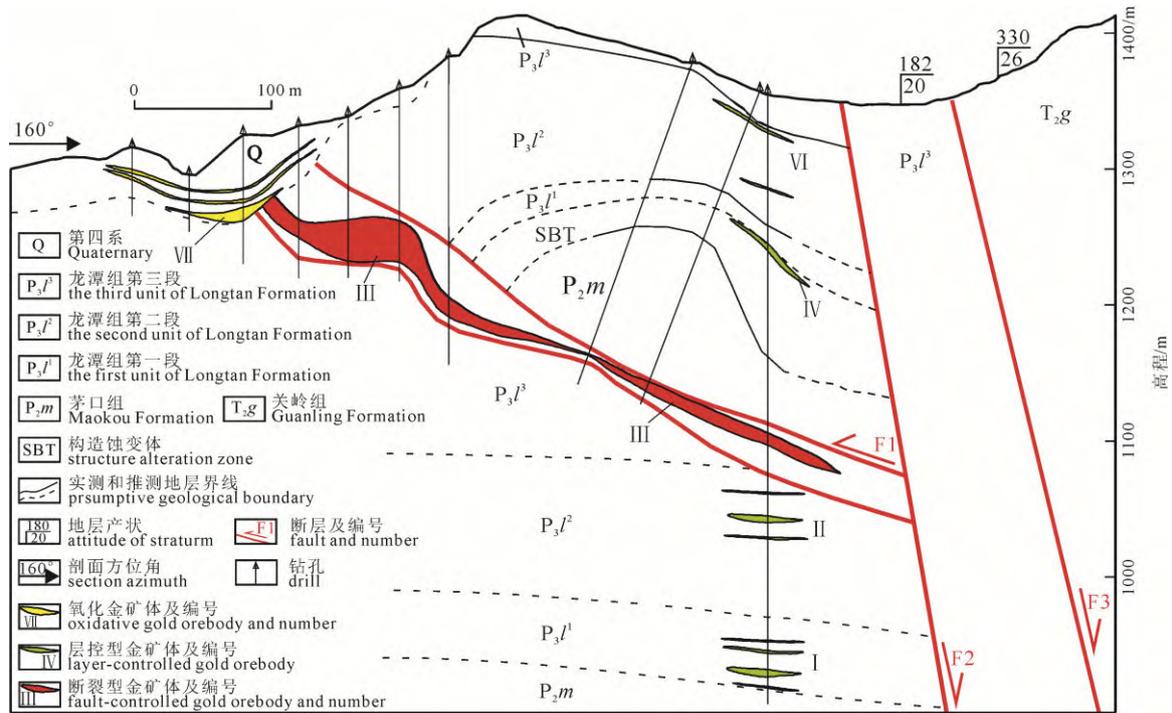


图4 贵州泥堡金矿9460勘探线剖面图(修改自刘建中等, 2014; 郑禄林, 2017)

Fig. 4 Profile of exploration line 9460 in Nibao gold deposit, Guizhou Province

(modified from LIU et al., 2014, and ZHENG, 2017)

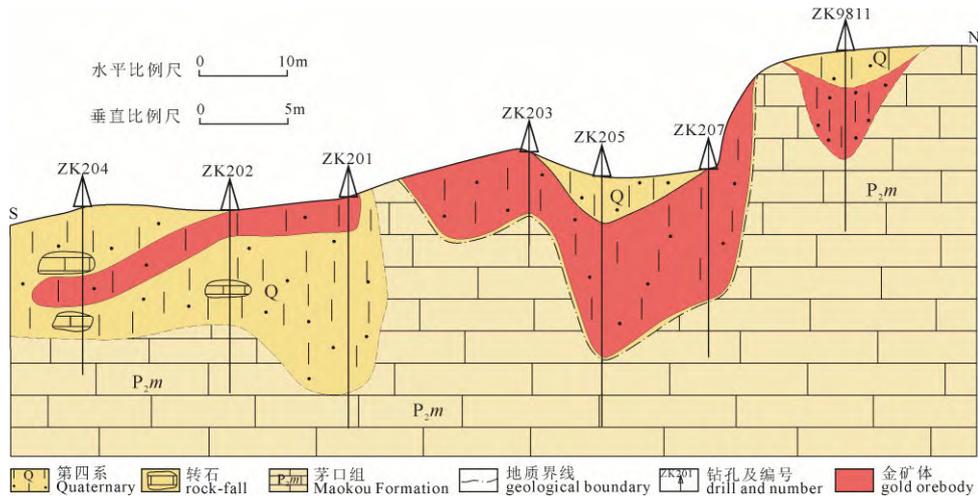


图5 贵州老万场金矿2勘探线剖面图(据贵州省地质矿产勘查开发局109地质大队,2013修编)

Fig. 5 Profile of exploration line 2 in Laowanchang gold deposit, Guizhou Province (modified from 109 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, 2013)

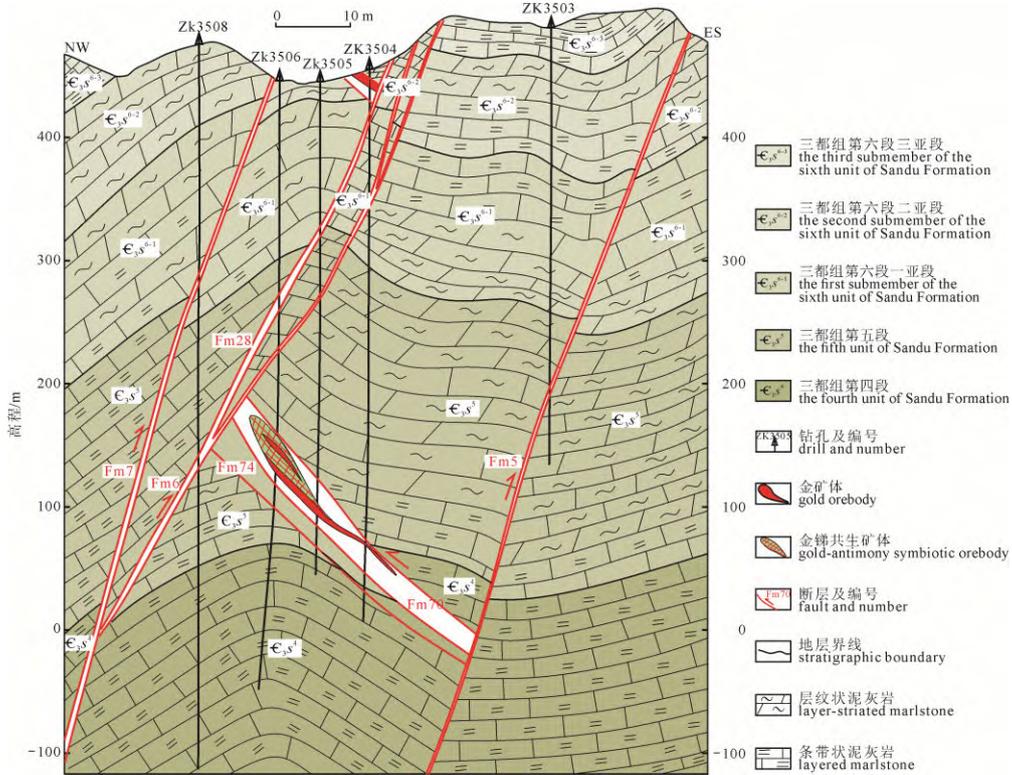


图6 贵州苗龙金矿35勘探线剖面图(据贵州省地质矿产勘查开发局104地质大队,1990修编)

Fig. 6 Profile of 35 exploration line in Miaolong gold deposit, Guizhou Province (modified from 104 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province, 1990)

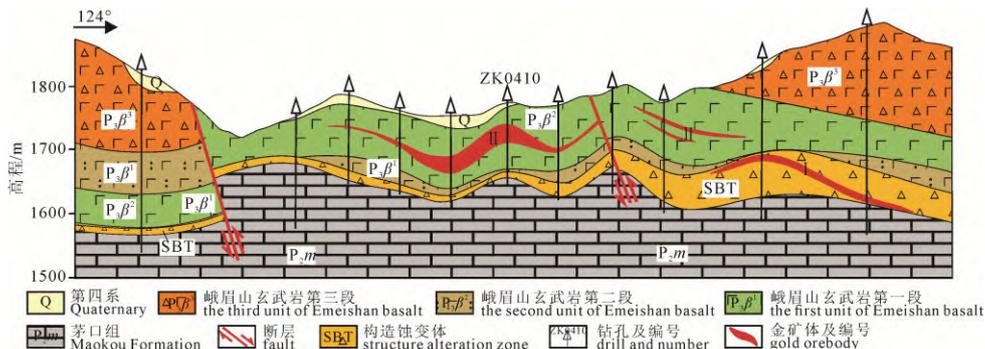


图7 贵州架底金矿4勘探线剖面图(Li et al., 2021)

Fig. 7 Profile of 4 exploration line in Jiadi gold deposit, Guizhou Province (modified from Li et al., 2021)

表 2 贵州卡林型金矿床式主要特征
Table 2 Main characteristics of Carlin-type gold deposits in Guizhou

区分要素	水银洞式	紫木函式	架底式	泥堡式	烂泥沟式	板其式	烂木厂式	老万场式	宏发厂式	苗龙式
分布区域	贞丰、兴仁、安龙、兴义、普安	兴仁	盘州	普安、兴仁	兴义、册亨、贞丰、册亨、望谟、罗甸	贞丰、望谟、册亨	兴仁	晴隆、安龙、盘州、安顺	丹寨	三都
成矿构造环境	南盘江—右江裂陷(晚古生代)-拗陷(中生代)盆地									
成矿单元	华南金成矿省南盘江—右江成矿区									
赋矿地层	贞丰—普安金矿带和册亨—望谟金矿带	贞丰—普安金矿带	晴隆—罗平金矿亚带	贞丰—普安金矿带	册亨—望谟金矿带	册亨—望谟金矿带	贞丰—普安金矿带	贞丰—普安金矿带	上扬子金成矿省江南复合造山带西段金成矿区三都—丹寨金矿带	P_{2m} 、 P_{2q} 、 P_{3l} 、 P_{1-2sd} 、 P_{3lh}
控矿构造	背斜、 P_{3l}/P_{2m} 、 P_{3lh}/P_{1-2sd} 、 P_{2q}^d/P_{2q} 之间的滑脱构造	背斜、断层、 P_{3l}/P_{2m} 之间的滑脱构造、背斜核部层间破碎带	背斜、 P_{3l}/P_{2m} 之间的滑脱构造、背斜核部层间破碎带	背斜、断层、 T_{2xy} 、 T_{1a} 、 P_{3lh}/P_{1-2sd} 之间的滑脱构造、背斜核部层间破碎带	背斜、断层、 T_{1z}/P_{3w} 、 T_{1l}/P_{3w} 之间的滑脱构造	穹窿、断层、 T_{1z}/P_{3w} 、 T_{1l}/P_{3w} 之间的滑脱构造	背斜、 P_{2m} 、 P_{3l}	背斜、穹窿	复背斜、断裂	ϵ_{2w} 、 ϵ_{2d} 、 ϵ_{3-4s} 、 ϵ_{4O1g}
矿体特征	层状、似层状、透镜状	脉状、似板状、似层状、透镜状	层状、似层状	脉状、似板状、透镜状、透状、似层状	似层状、透状	似层状、透状	似层状、透状	透状、囊状	透状、扁豆状、囊状	脉状、透状、透状、囊状、囊状
成矿元素组合	Au-As-(Sb-Hg)	Au-As-Hg-Sb	Au-As-Hg-Sb	Au-As-Sb	Au-As-Hg	Au-As-Sb	Au-As-Sb-Hg-Tl	Au	Au-As-Sb-Hg	Au-As-Sb-Hg
矿种组合	金、砷	金、汞	金	金、砷、少砷、金、汞	金、砷、少砷、金、汞	金、砷、神	金、汞、砷	金	金、汞	金、砷
主要矿床	水银洞、戈塘、万人洞、雄武、卡务、央友	紫木函、核桃树	架底、大麦地、三道沟、虎场	泥堡、大沟、乐康、交贯	烂泥沟、丫他、百地、陇纳、新寨、洛郎、弄朗、上德、拉怀、新场、庆坪、长坪、华新、坝赖	板其、上大观、杨家堡上、那郎、老王山、塘新寨	烂木厂	老万场、砂锅厂、豹子洞、油菜冲、红岩洞、躲牛洞	丹寨、宏发厂	苗龙、排庭

3 矿床成矿亚系列研究

据前述研究,一方面区域卡林型金矿最显著特征表现为以构造蚀变体为核心的多层次产出,层状产出的矿体占主导地位;另一方面区域卡林型金矿展示了赋矿地层多样性和容矿岩石多样性。基于此,矿床成矿亚系列以金矿体产出形态为基辅以赋矿地层来进行划分,与与其相关的脉状、层状、脉+层状的其他矿床一道构成卡林型金矿成矿亚系列。伴生组分不进入矿床亚系列的矿种表述,矿点不列入矿床亚系列。据此,将贵州与卡林型金矿有关的矿床划分为五个成矿亚系列。

3.1 黔西南二叠系及三叠系地层赋矿的层控型金、锑、汞、铊、萤石、贵翠矿床成矿亚系列

本亚系列包括 17 个金矿床,4 个金矿床式(水银洞式、板其式、架底式、烂木厂式)。其他矿种有大厂式锑矿、大厂式萤石矿、大厂式贵翠、大坝田式汞矿。

金矿:包括 17 个金矿床(水银洞、戈塘、万人洞、雄武、卡务、央友、架底、大麦地、三道沟、虎场、板其、上大观、杨家堡上、那郎、老王山、烂木厂、塘新寨),4 个金矿床式(水银洞式、板其式、架底式、烂木厂式),累计查明金资源量 414.74 t,占总资源量的 54.85%。金矿体主要受控于背斜核部的构造蚀变体,矿体呈层状、似层状、透镜状产出。锑矿:包括 1 个锑矿床,2 个矿床式(大厂式、板其式)。锑矿体主要受控于背斜核部的构造蚀变体,包括独立锑矿体和金锑矿体,矿体呈层状、似层状、透镜状产出。与金矿体呈同体共生和异体共生。

汞矿:包括 1 个汞矿床(烂木厂大型),1 个矿床式(烂木厂式)。为烂木厂金汞铊矿床的一部分,与金、铊共生,为独立汞矿体和汞铊矿体。汞矿体主要受控于背斜近核部的层间破碎带和节理裂隙带,矿体呈似层状、透镜状、扁豆状、囊状产出。与金矿体呈异体共生。

铊矿:包括 1 个铊矿床(烂木厂大型),1 个矿床式(烂木厂式)。为烂木厂金汞铊矿床的一部分,独立铊矿床,达大型铊矿床规模,与金、汞共生,独立铊矿体和铊汞矿体。铊矿体受控于背斜近核部的层间破碎带和断裂裂隙带,矿体呈似层状、透镜状、囊状产出。与金矿体呈异体共生。

萤石矿:包括 4 个萤石矿床(晴隆后坡、关岭坡贡、望谟老王山、贞丰小屯),1 个矿床式(大厂式)。晴隆后坡与大厂锑矿共生,贞丰小屯与金、锑矿共生,其他为独立萤石矿,受控于穹窿或背斜核部的构造蚀变体,矿体呈层状、似层状、透镜状产出。与金矿体呈同体共生和异体共生。

贵翠矿:构造蚀变体下部灰岩的次生石英岩化成矿,包括 1 个矿床(大厂贵翠矿),1 个矿床式(大厂式)。与大厂锑矿共生,受控于穹窿的构造蚀变体,矿体呈层状、似层状、透镜状产出。与金矿体呈同体共生和异体共生。

3.2 黔西南三叠系地层赋矿的断控型金、锑、铊矿床成矿亚系列

本亚系列包括 14 个金矿床,1 个金矿床式(烂泥沟式);其他矿种有百地式锑矿、丫他式锑矿。

金矿:包括 14 个金矿床(烂泥沟、丫他、百地、陇纳、新寨、洛郎、弄朗、上饶、拉怀、新场、庆坪、长坪、华新、坝赖),1 个金矿床式(烂泥沟式),累计查明金资源量 143.10 t,占总资源量的 18.92%。金矿体主要受控于背斜近轴部的高角度逆断层及层间破碎带,矿体呈层状、似层状、脉状、透镜状、囊状产出。

锑矿:包括 1 个锑矿床,1 个锑矿床式(丫他式)。矿体受控于背斜近轴部的高角度逆断层,矿体呈脉状、透镜状、囊状产出。与金矿体呈同体共生和异体共生。

铊矿:包括 1 个铊矿床,1 个铊矿床式(百地式)。矿体受控于背斜近轴部的高角度逆断层,矿体呈脉状、透镜状、囊状产出。与金矿体呈同体共生和异体共生。

3.3 黔西南二叠系及三叠系地层赋矿的复合型金、汞矿床成矿亚系列

本亚系列包括 4 个金矿床,2 个金矿床式(紫木函式、泥堡式);其他矿种有大坝田式汞矿。

金矿:包括 6 个金矿床(紫木函、核桃树、泥堡、大沟、交贯、乐康),2 个金矿床式(紫木函式、泥堡式),累计查明金资源量 150.74 t,占总资源量的 19.94%。金矿体主要受控于背斜核部构造蚀变体和背斜近轴部产出的与背斜轴走向一致的逆断层,矿体呈层状、似层状、似板状、脉状、透镜状产出。

汞矿:包括 1 个汞矿式(大坝田式)。大坝田汞矿与紫木函金矿床太平洞矿段的金矿体共生,为独立汞矿体,主要受控于背斜近核部的层间破碎带和节理裂隙带,矿体呈似层状、透镜状、扁豆状、囊状产出。与金矿体呈异体共生。

3.4 黔南寒武系及奥陶系地层赋矿的断控型金、汞、锑、硫铁矿床成矿亚系列

本亚系列包括 4 个金矿床,2 个金矿床式(宏发厂式、苗龙式);其他矿种有丹寨式汞矿,苗龙式锑矿,排带式硫铁矿。金矿:包括 4 个金矿床(丹寨、宏发厂、排庭、苗龙),2 个金矿床式(宏发厂式、苗龙式),累计查明金资源量 13.63 t,占总资源量的

1.80%。金矿体主要受控于复背斜及与其相关的纵向横向逆断层,产出独立金矿体、金汞矿体、金锑矿体,金矿体呈脉状、透镜状、囊状、扁豆状产出(注:丹寨金矿床为丹寨汞矿山冶炼炉渣中圈定,矿体以似层状为主,透镜状次之)。汞矿:包含2个汞矿床(丹寨和宏发厂),1个汞矿床式(丹寨式)。金矿体主要受控于王司复背斜及与其相关的纵向横向逆断层,产出独立汞矿体及金汞矿体,与金矿床一道构成金汞矿床,汞矿体呈脉状、透镜状、囊状、扁豆状产出。累计查明汞资源量 11 065 t, 达超大型矿床规模。与金矿体呈同体共生和异体共生。

锑矿:包含1个锑矿床(苗龙),1个锑矿床式(苗龙式)。锑矿体主要受控于苗龙复背斜及与其相关的纵向横向逆断层,产出金锑矿体,与金矿床一道构成金锑矿床,锑矿体呈脉状、透镜状、囊状、扁豆状产出。累计查明锑资源量 4 662 t, 小型。与金矿体呈同体共生。

硫铁矿:有排带式硫铁矿,为脉状充填型和交代型并存的浅成中-低温热液型矿床,分布于三都一独山地区,以三都县排带式硫铁矿床为代表。独立硫铁矿床。

3.5 黔西南第四系地层赋矿的金、磷矿床成矿亚系列
本亚系列包括6个金矿床,1个金矿床式(老万场式);另外产出板其式磷矿。

金矿:包括6个金矿床(老万场、砂锅厂、豹子洞、油菜冲、红岩洞、躲牛洞),1个金矿床式(老万场式),累计查明金资源量 35.43 t, 占总资源量的 4.69%。卡林型金矿的矿体或矿化体(往往是构造蚀变体)遭受风化剥蚀,崩塌堆积及成壤、富集作用形成土型金矿体,产于岩溶洼地、漏斗等负地形中,其基底一般为茅口组灰岩。土型金矿按矿体或矿化体(往往是构造蚀变体)容矿原岩的差异性,可以分为以沉积岩为主的豹子洞、躲牛洞类型和以峨眉山玄武岩为主的老万场、砂锅厂、油菜冲、红岩洞类型。

磷矿:包括1个磷矿床(板其),1个磷矿床式(板其式)。为贵州首次发现的风化淋滤型磷矿,矿体呈似层状、透镜状、囊状出于二叠系吴家坪组礁灰岩分布区的古溶洞和第四系残坡积物中,为富含磷质的原岩(吴家坪组礁灰岩)风化成矿,可进一步分为溶洞堆积型和风化-淋滤残积型两种类型。

4 矿床成矿系列研究

华南大面积低温成矿是全球独特的重要成矿事件,华南地区扬子地块西南部的广大范围,低温矿床广泛发育,包括卡林型金矿床、MVT型铅锌矿床和脉型锑、汞、砷等矿床,构成华南低温成矿域。该成矿域由川滇黔接壤区的 Pb-Zn、右江盆地

Au-Sb-As-Hg 和湘中盆地 Sb-Au 等三个矿集区组成(Hu et al., 2017)。浅成中低温热液成矿作用矿床归属于“含矿流体作用矿床(非岩浆-非变质作用矿床)”(中国矿产地质志项目办公室,中国地质科学院矿产资源研究所,2016),是贵州及其周边地区极为重要和富有特色的一类内生矿床,尤以贵州广泛发育的卡林型金矿最具特色(陶平等,2007)。

最新研究表明,贵州卡林型金矿集中分布区(黔西南和黔南三都一丹寨地区)位处江南复合造山带西段,最显著的大地构造特征表现为武陵以来多次碰撞拼贴,大地构造经历了从活动型地壳向稳定型地壳演化,从洋陆活动阶段向板内活动阶段的地壳演化历程(戴传固等,2005,2013),相应的地层系统为碰撞拼贴不同时间段的产物,江南复合造山带西部边界受限于哀牢山构造体系,南盘江一右江受控于江南复合造山带和哀牢山造山带的构造演化。基于前述卡林型金矿典型矿床、矿床式、成矿亚系列研究,贵州卡林型金矿为华南低温成矿域中的重要矿种,作为成矿系列不能仅仅考虑贵州,而应体现成矿的核心思想即构造单元、地质作用、成矿过程等,因此贵州的成矿系列应置于全国尺度而不仅考虑贵州的地域范畴。成矿系列研究的目的是要树立起一个整体观念,根据已知矿床,找寻未知矿床,起到拓展找矿思路,明确找矿方向的作用,故成矿系列的建立还要充分考虑“区域”尺度不应该太大。鉴于黔西南地区与黔南三都地区的差异性(赋矿地质时代和沉积环境),建立贵州与卡林型金矿有关的成矿系列2个,另外一个为与喜山期风化作用有关的成矿系列(表3)。

4.1 黔南地区(三都一丹寨)与燕山期浅层中低温热液成矿有关的 Au、Hg、Sb、硫铁矿矿床成矿系列

本成矿系列的成矿时代为燕山期,为燕山旋回末期成矿。成矿的大地构造环境为江南造山带(燕山旋回)前陆拗陷盆地,动力机制为汇聚,成矿作用主要为浅层中低温热液成矿作用,形成的矿种较为丰富,有汞、金、锑等。黔南三都一丹寨地区为卡林型金矿重要产出区,主要产出金、锑、汞、硫铁矿等,卡林型金矿赋矿地层为早古生代岩石,与黔西南地区卡林型金矿属于同一个成矿系统,其成矿作用主要受燕山期造山运动远程效应控制。

4.2 黔西南地区(南盘江一右江盆地北段)与燕山期浅层中低温热液成矿有关的 Au、Sb、Hg、As、Ti、萤石、贵翠矿床成矿系列

本成矿系列的成矿时代为燕山期,为燕山旋回末期成矿。南盘江一右江地区在新元古代以来经历的手风琴式三期的“开-合”演化过程及哀牢山造山

表 3 贵州与卡林型金矿有关的矿床成矿系列
Table 3 Metallogenic series of deposits related to Carlin-type gold deposits in Guizhou

序号	成矿系列	成矿亚系列	金矿床式	典型金矿床
1	黔南地区(三都—丹寨)与燕山期浅层中低温热液成矿有关的 Au、Hg、Sb、As、Pb、Zn、萤石、重晶石矿床成矿系列	黔南(三丹地区)寒武系及奥陶系地层赋矿的断控型金、汞、锑、硫铁矿床成矿亚系列	宏发厂式、苗龙式	宏发厂、丹寨、排庭、苗龙
2	黔西南地区(南盘江—右江盆地北段)与燕山期浅层中低温热液成矿有关的 Au、Sb、Hg、As、Tl、Pb、Zn、萤石、重晶石矿床成矿系列	黔西南二叠系及三叠系地层赋矿的层控型金、锑、汞、铊、萤石、贵翠矿床成矿亚系列	水银洞式、板其式、架底式、烂木厂式	水银洞、戈塘、万人洞、雄武、卡务、央友、板其、上大观、杨家堡上、那郎、老王山、架底、大麦地、三道沟、虎场、烂木厂、交贯、塘新寨
		黔西南三叠系地层赋矿的断控型金、锑、硫铁矿床成矿亚系列	烂泥沟式	烂泥沟、丫他、百地、陇纳、新寨、洛郎、弄朗、上饶、拉怀、新场、庆坪、长坪、华新、坝赖
3	黔西南地区(南盘江—右江盆地北段)与喜山期风化作用有关的稀有、分散元素、镍、金、铝土矿、重晶石、铂族元素、钛铁矿、砂锡成矿系列	黔西南第四系地层赋矿的金、磷矿床成矿亚系列	泥堡式、紫木函式	泥堡、大沟、紫木函、核桃树、乐康
			老万场式	老万场、砂锅厂、豹子洞、油菜冲、红岩洞、躲牛洞

作用和峨眉山地幔柱活动, 导致华南板块拼贴带位置深部地壳物质的多次重组, 同时造成矿化元素的预富集, 形成体积非常庞大的富金特殊地壳(刘建中等, 2023)。燕山期太平洋板块向西俯冲, 扬子与华夏拼贴形成的华南地块沿拼贴带再次复活, 深部地幔物质上涌, 岩石圈减薄, 富金地壳重融, 与花岗岩有关的含矿流体沿着穿壳深大断裂向地壳浅部迁移形成中低温热液矿床(矿化), 区域构成金、汞、锑、铊、砷、萤石矿床成矿域。黔西南地区主要产出金、汞、锑、铊、砷、萤石、重晶石、贵翠等。

4.3 黔西南地区(南盘江—右江盆地北段)与喜山期风化作用有关的 Au、磷矿成矿系列

本成矿系列的成矿时代主要为喜山期, 成矿的大地构造环境为板内隆升活动。燕山运动之后区域进入板内隆升活动阶段, 形成一系列地垒-地堑式构造组合, 明显切割先期构造形迹和地质体, 控制了古近纪渐新世、新生代地层呈山间磨拉石盆地产出, 并造就了表生成矿作用环境, 导致早期形成的黔西南卡林型金矿的矿体或矿化体以及含磷岩石, 遭受风化剥蚀, 崩塌堆积及成壤、富集而成, 产于岩溶洼地、漏斗等负地形中, 其基底一般为灰岩。黔西南地区仅仅产出土型金矿、板其磷矿等。

5 找矿方向

5.1 成矿模式

贵州卡林型金矿集中分布于黔西南和三丹地

区, 黔西南为最主要产出区。近年研究成果显示, 区内金矿床为同一成矿系统的产物, 三丹地区为黔西南卡林型金矿的远程效应。

构造蚀变体产出的最根本原因在于岩石的能干性差异。构造蚀变体的产出, 不受时代和地层制约, 厚度大于 100 m 的厚层灰岩或白云岩或礁灰岩(下部)与厚度大于 50 m 的泥质钙质碎屑岩系或峨眉山玄武岩(凝灰岩)(上部)之间往往是构造蚀变体产出的最佳部位, 黔西南地区薄层碎屑岩与薄层灰岩组合的沉积系统(比如二叠系合山组, 三叠系罗楼组), 内部或与其上覆或下伏地层之间往往难以形成构造蚀变体(刘建中等, 2021, 2022); 三丹地区沉积的是一套斜坡相薄层碎屑岩与薄层灰岩组合的沉积系统(寒武系第二统变马冲组、乌训组、寒武系第三统杨家湾组、寒武系第三统一芙蓉统三都组、寒武系芙蓉统一奥陶系下统锅塘组), 有可能是未能形成构造蚀变体的原因, 与黔西南甚至整个南盘江—右江地区中三叠系内部罕有构造蚀变体产出而多与断裂系统含矿相当。

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(始富金地壳-古富金地壳-新富金地壳)发生重熔, 形成与隐伏花岗岩有关的 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O} - \text{F}^- - \text{S}^{2+} - \text{Au}^+ - \text{As}^{3+} - \text{Hg}^{2+} - \text{Sb}^{3+} - \text{Ti}^+ \pm \text{CO}_3^{2-} \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$ 含矿热液(Hu et al., 2002, 2017; 彭建堂等, 2003; 刘建中等, 2014, 2017, 2020;

Peng et al., 2014; 靳晓野, 2017; Jin et al., 2020; 宋威方, 2022)沿深大断裂上涌, 含矿热液在燕山期构造驱动下沿深大断裂上涌, 一部分含矿热液沿岩石能干性差异大的 D/€、D/O、C/D、P₃l/P₂m、P₃β/P₂m 不整合面和岩石能干性差异大的 P₁ly/CP₁n、P₂₋₃lh/P₁₋₂sd、T₁z/P₃w、T₁l/P₃w、T₂xy/T₁a 岩层界面之间的滑脱构造运移, 与滑脱构造带内岩石交代形成构造蚀变体, 因温度-压力-酸碱度-氧逸度变化及流体不混溶作用, 在背斜核部附近狭窄范围内往往富集形成赋存于构造蚀变体中的层控型金矿体; 另一部分含矿热液则沿与背斜同期形成的逆断层上升并交代断裂破碎带内岩石形成断控型金矿体。区域上多层次层控型金矿体和断控型金矿体的有机组合, 构成了中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿模式(刘建中等, 2017, 2018, 2020, 2023; 宋威方, 2022)(图 8)。

三丹地区卡林型金矿成矿与南盘江—右江地区卡林型金矿的相关性还有待更深入研究, 故目前建立的区域成矿模式尚未植入三丹地区卡林型金矿。

5.2 综合找矿预测模型

通过对研究区地质背景和成矿规律的分析, 结合区域成矿系统和典型矿床研究, 构建贵州卡林型金矿综合找矿预测模型(表 4, 刘建中等, 2023), 本模型不包括土型金矿, 因土型金矿为卡林型金矿或者矿化体的风化产物, 卡林型金矿或构造蚀变体分布区的第四系即为找矿范围。

5.3 找矿方向

基于勘查区找矿预测理论基础和建立的综合找矿预测模型, 重点总结成矿构造、成矿结构面、成矿作用特征标志等, 据此开展贵州卡林型金矿成矿预测(表 5), 圈定 24 个卡林型金矿找矿预测区块(刘建中等, 2023; 图 9, 图 10)。

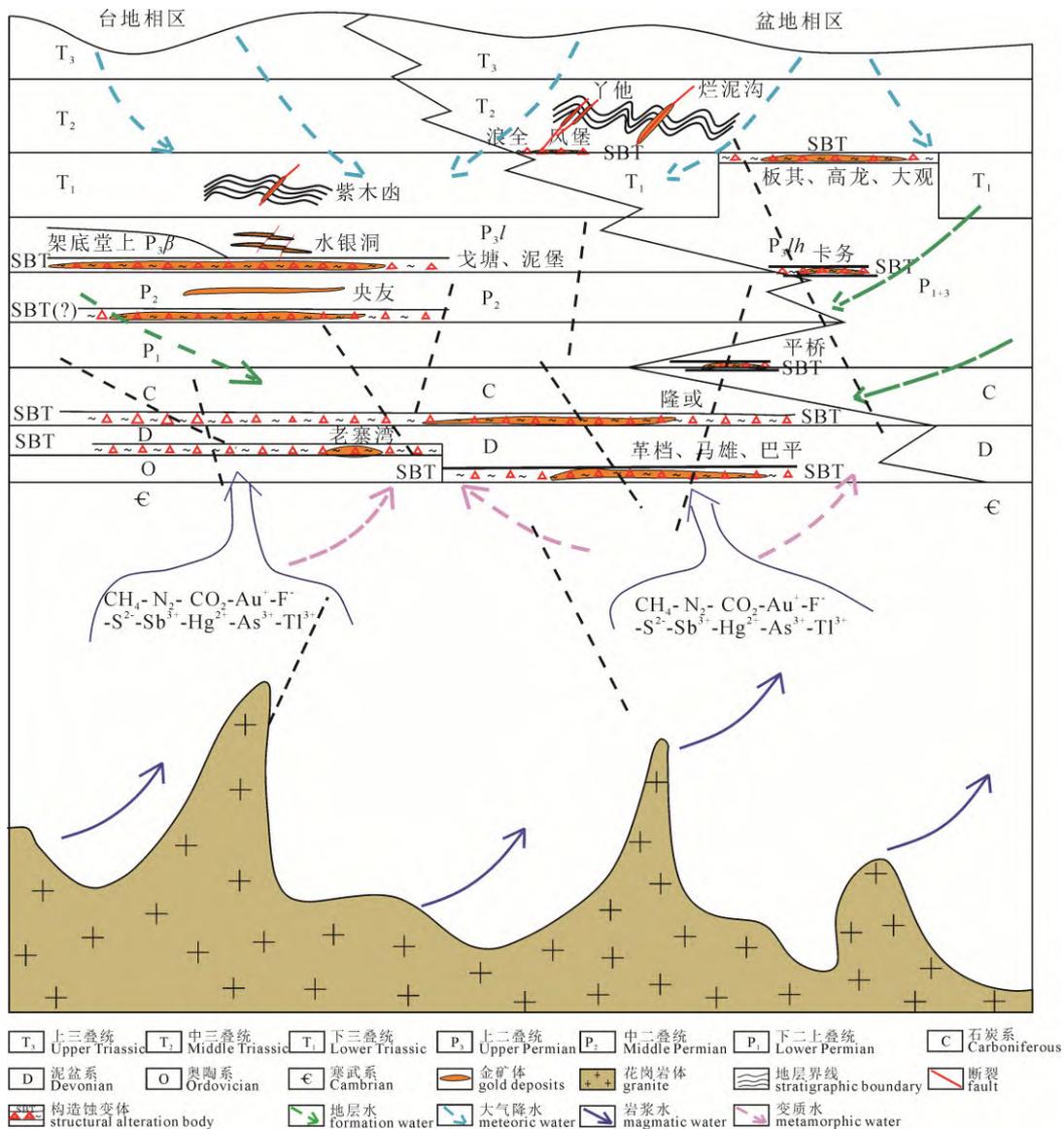


图 8 中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统(刘建中等, 2020, 2023)
 Fig. 8 Multi-level structural detachment metallogenic system of Carlin-type gold deposits in southern China (LIU et al., 2020, 2023)

表 4 贵州卡林型金矿综合找矿预测模型
Table 4 Comprehensive prospecting and prediction model for Carlin-type gold deposits in Guizhou

找矿模型要素	主要标志	主要特征
成矿地质背景	大地构造背景	扬子陆块与华夏陆块的结合部位, 扬子板块西南缘南盘江—右江前陆盆地、鄂渝湘黔前陆褶断带, 发育碎屑岩-泥岩建造及火山-碎屑岩建造、碳酸盐岩建造
	成矿动力学	太平洋板块俯冲效应
成矿地质体	岩体形态	推测隐伏岩基
	形成时代	燕山期
	岩体类型	中酸性花岗岩类
	矿体空间位置	距离岩体与围岩接触面 3~5 km、岩突部位
成矿构造与成矿结构面特征	控矿构造系统	“褶皱-断裂”复合系统 背斜: 灰家堡背斜、莲花山背斜、泥堡背斜、赖子山背斜、纳板穹窿、丫他背斜、雄武背斜、戈塘-洒雨背斜、包谷地背斜、大观背斜、乐康背斜、卡务背斜、新寨背斜、白层穹窿、岩架背斜、包树背斜、贞丰背斜、新屯背斜、打尖背斜、王司复背斜、苗龙复背斜及次级褶皱 断裂: 滑脱构造、与背斜同期形成的逆断层
	成矿结构面类型	多层次滑脱构造和断裂裂隙构造。 滑脱构造面(P ₃ l/P ₂ m、P ₃ β/P ₂ m、P ₂₋₃ lh/P ₁₋₂ sd、P ₁ ly/CP ₁ n ₁ 、T ₂ xy/T ₁ a、T ₁ z/P ₃ w、T ₁ l/P ₃ w)和P ₂ q、P ₃ l、P ₃ β中部层间构造与有利的岩层; 断裂、裂隙
	矿体类型	断控型、层控型、复合型
	典型矿物组合	黄铁矿+砷黄铁矿+毒砂+辉锑矿+辰砂+雄(雌)黄
典型矿物组合及成矿分带	矿化阶段	硅化-白云石化-黄铁矿化-毒砂化-泥化阶段→石英-方解石-辉锑矿-雄黄-雌黄-辰砂阶段
	矿化分带	黄铁矿、砷黄铁矿、毒砂在矿体中下部更富集, 金品位亦较高; 辉锑矿、辰砂、雄黄、雌黄等低温矿物组合一般在矿体上部和外围更富集
热液蚀变	蚀变类型	硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、雄(雌)黄化、辰砂化、白云石化、萤石化、方解石化、重晶石化、泥化
成矿流体性质及流体包裹体特征	成矿流体	NaCl-H ₂ O-F ⁻ -S ²⁻ ±CO ₂ ±N ₂ ±CH ₄ 体系
	包裹体特征	纯液相包裹体为主, 可见气液两相包裹体、纯气相包裹体、富CO ₂ 包裹体
	流体物理化学参数	成矿流体均一温度 140~250 °C, 盐度 0.32~10 wt%NaCl, 密度 0.73~0.99 g/cm ³ , pH=4.3~6.87
	稳定同位素特征	δ ¹⁸ O=-9.6‰~13.5‰, δD=-114.1‰~-31.5‰, δ ³⁴ S=1.2‰~3.4‰
物化探异常	地球化学异常	Au、As、Sb、Hg、Tl
	地球物理异常	重力异常: 局部重力低异常上(特别是重力低异常边部)磁异常: 局部变化激烈的手指异常区或串珠状磁异常带附近电阻率: 垂向上低阻与高阻的接触部位
容矿地层	二叠系—三叠系; 寒武系—奥陶系	茅口组(P ₂ m)、四大寨组(P ₁₋₂ sd)、吴家坪组(P ₃ w)、龙潭组(P ₃ l)、峨眉山玄武岩组(P ₃ β)、领姆组(P ₂₋₃ lh)、夜郎组(T ₁ y)、安顺组(T ₁ a)、许满组(T ₂ xm)、新苑组(T ₂ xy)、边阳组(T ₂ by)、紫云组(T ₁ z)、罗楼组(T ₁ l)、乌训组(€ ₂ w)、都柳江组(€ ₂ d)、三都组(€ ₃₋₄ s)、锅塘组(€ ₄ O ₁ g)
容矿岩石	主要	灰岩、泥灰岩、钙质粉砂岩、凝灰岩、玄武岩
	次要	钙质砂岩、辉绿岩
矿体就位空间	断控型	断裂破碎带
	层控型	背斜: 核部附近 1 500 m、翼间角 100°~160°、轴面倾角 70°~90°、轴倾伏角 5°~15°; 穹窿: 核部附近 2 000 m
		构造蚀变体(SBT): 本身就是矿化体, 矿体呈层状、似层状赋存其中; 厚度: 5~35 m
成矿年代	130~160 Ma	
典型矿床		水银洞、烂泥沟、紫木函、泥堡、架底、戈塘、板其、丫他、烂木厂、大沟、百地、上大观、大麦地、雄武、乐康、卡务、白层、万人洞、那郎、排庭、宏发厂、苗龙

表 5 贵州卡林型金矿预测成果
Table 5 Prediction results of Carlin-type gold deposits in Guizhou

序号	名称	预测要素
1	莲花山预测区	成矿构造: 莲花山背斜; 成矿结构面: 北东向褶皱、断裂及层间构造破碎带、 $P_3\beta/P_{2m}$ 之间 SBT; 赋矿地层: $P_3\beta$; 容矿岩石: 构造角砾岩、凝灰岩、凝灰质黏土岩、玄武质火山角砾岩; 矿体类型: 层控型为主, 有断控型矿体; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、毒砂化、白云石化、方解石化、辉锑矿化、雄(雌)黄化、黏土化; 已有矿床(点): 架底(52 t)、大麦地(6.03 t)等; 矿体埋深: 0~500 m。
2	灰家堡预测区	成矿构造: 灰家堡背斜; 成矿结构面: 背斜轴、平行背斜轴发育逆断层、 P_3/P_{2m} 之间 SBT; 赋矿地层: P_3l 、 P_{3c} 、 P_{3d} 、 T_{1y} ; 容矿岩石: 生物屑灰岩、钙质砂岩、钙质粉砂岩、泥灰岩、构造角砾岩; 矿体类型: 顺层矿化的层控矿体、逆断层蚀变矿化断控矿体、区域滑脱构造控制矿体; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、白云石化、雄(雌)黄矿化、毒砂化、方解石化、辉锑矿化、辰砂化; 已有矿床(点): 水银洞(295 t)、紫木函(75 t); 矿体埋深: 0~1 500 m。
3	龙井预测区	成矿构造: 贞丰背斜; 成矿结构面: P_3l/P_{2m} 之间 SBT、北西向断裂; 赋矿地层: P_3l ; 容矿岩石: 构造角砾岩、生物屑灰岩、钙质粉砂岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、萤石化、辉锑矿化、方解石化; 已有矿床(点): 鸭平田金(锑); 矿体埋深: 0~500 m。
4	泥堡预测区	成矿构造: 泥堡背斜、二龙枪宝背斜、 F_1 ; 成矿结构面: P_3/P_{2m} 之间 SBT; 赋矿地层: P_3l ; 容矿岩石: 构造角砾岩、凝灰岩、钙质砂岩、粉砂岩; 矿体类型: 断控型为主, 层控型为辅; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、雄(雌)黄矿化、方解石化、白云石化; 已有矿床(点): 泥堡(70 t)、三道沟(1.83 t)等; 矿体埋深: 0~1 200 m。
5	包谷地预测区	成矿构造: 包谷地复式背斜; 成矿结构面: 背斜轴、断裂、 P_3l/P_{2m} 或 $P_3\beta/P_{2m}$ 之间 SBT; 赋矿地层: $P_3\beta$ 、 P_3l 、 T_{1y} ; 容矿岩石: 构造角砾岩、钙质砂岩、粉砂岩、生物屑灰岩、凝灰岩、凝灰质黏土岩、玄武岩质火山角砾岩; 矿体类型: 断控型、层控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、辉锑矿化、褐铁矿化; 已有矿床(点): 核桃树(0.05 t)、虎场(0.04 t)、油菜冲(0.04 t); 矿体埋深: 0~1 200 m。
6	戈塘预测区	成矿构造: 戈塘—洒雨背斜; 成矿结构面: P_3l/P_{2m} 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: P_3l ; 容矿岩石: 构造角砾岩、生物屑灰岩、钙质粉砂岩、砂岩; 矿体类型: 层控型矿体; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、白云石化、方解石化、辉锑矿化、雄(雌)黄矿化、黏土化; 已有矿床(点): 戈塘(33.63 t)、万人洞(2.02 t)、豹子洞(2.46 t)等; 矿体埋深: 0~1 000 m。
7	烂泥沟预测区	成矿构造: 赖子山背斜、断裂; 成矿结构面: 断裂; 赋矿地层: T_{1l} 、 T_{2xy} 、 T_{2by} ; 容矿岩石: 钙质砂岩、钙质粉砂岩、钙质黏土岩、泥灰岩; 矿体类型: 断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、方解石化、辰砂化、白云石化、黏土化; 已有矿床(点): 烂泥沟(106 t); 矿体埋深: 0~1 500 m。
8	雄武预测区	成矿构造: 雄武背斜; 成矿结构面: P_3l/P_{2m} 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: P_3l 、 P_{3c-d} 、 T_{1y} ; 容矿岩石: 构造角砾岩、钙质砂岩、粉砂岩、生物屑灰岩、泥灰岩; 矿体类型: 层控型为主、断控型为辅; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、黏土化、方解石化; 已有矿床(点): 雄武(1.35 t); 矿体埋深: 0~800 m。
9	新寨预测区	成矿构造: 百层背斜、断裂; 成矿结构面: T_{1l}/P_{3w} 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: T_{1l} 、 T_{2xm} 、 T_{2by} ; 容矿岩石: 构造角砾岩、钙质砂岩、钙质粉砂岩、黏土质粉砂岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、方解石化、白云石化、黏土化; 已有矿床(点): 那郎(1.58 t)、新寨(2.83 t)等; 矿体埋深: 0~500 m。
10	卡务预测区	成矿构造: 卡务背斜; 成矿结构面: $P_{2-3}lh/P_{1-2}sd$ 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: $P_{2-3}lh$; 容矿岩石: 构造角砾岩、玄武岩质屑砂岩、凝灰质黏土岩、粉砂岩; 矿体类型: 断控型为主, 层控型为辅; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、方解石化、白云石化; 已有矿床(点): 卡务(0.26 t)等; 矿体埋深: 0~500 m。
11	包树预测区	成矿构造: 包树背斜; 成矿结构面: T_{1l}/P_{3w} 之间 SBT; 赋矿地层: T_{1l} ; 容矿岩石: 钙质粉砂岩、泥灰岩; 矿体类型: 层控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、萤石化、方解石化; 已有矿床(点): 包树; 矿体埋深: 0~300 m。
12	洛东预测区	成矿构造: 赖子山背斜; 成矿结构面: T_{1l}/P_{3w} 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: P_{3w} 、 T_{1l} ; 容矿岩石: 粉砂黏土岩、泥灰岩、钙质黏土岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、黏土化、方解石化、白云石化; 已有矿床(点): 塘新寨(2.04 t)、庆平(0.52 t); 矿体埋深: 0~800 m。
13	风堡预测区	成矿构造: 赖子山背斜; 成矿结构面: T_{2xy}/T_{1a} 和 T_{1l}/P_{3w} 之间 SBT、断层; 赋矿地层: T_{1l} 、 T_{2xy} ; 容矿岩石: 钙质粉砂岩、粉砂岩、构造角砾岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、方解石化、黏土化; 已有矿床(点): 大沟等(3.74 t); 矿体埋深: 0~500 m。
14	尾怀预测区	成矿构造: 东西向和南北向构造叠加部位; 成矿结构面: T_{1l}/P_{3w} 之间 SBT、断层; 赋矿地层: T_{1l} 、 T_{2xm} 、 T_{2by} ; 容矿岩石: 钙质黏土岩、粉砂岩、砂岩; 矿体类型: 断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、方解石化、泥化; 已有矿床(点): 华新(0.96 t); 矿体埋深: 0~800 m。
15	丫他预测区	成矿构造: 黄厂沟复式背斜; 成矿结构面: T_{1z}/P_{3w} 之间 SBT、断层; 赋矿地层: T_{1z} 、 T_{2xy} 、 T_{2by} ; 容矿岩石: 钙质黏土岩、钙质粉砂岩、砂岩、泥灰岩; 矿体类型: 断控型、层控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、雄(雌)黄化、方解石化; 已有矿床(点): 丫他(23.20 t); 矿体埋深: 0~1 500 m。

续表 5

序号	名称	预测要素
16	板其预测区	成矿构造: 板其背斜; 成矿结构面: T_{1z}/P_{3w} 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: T_{1z} 、 T_{2xy} ; 容矿岩石: 钙质砂岩、钙质粉砂岩、砂岩、泥灰岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、方解石化、雄(雌)黄化、毒砂化; 已有矿床(点): 板其(7.71 t)等; 矿体埋深: 0~500 m。
17	百地预测区	成矿构造: 弄丁背斜; 成矿结构面: T_{1z}/P_{3w} 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: T_{1z} 、 T_{2xm} 、 T_{2by} ; 容矿岩石: 钙质砂岩、钙质粉砂岩、泥灰岩、构造角砾岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、雄(雌)黄化、褐铁矿化、方解石化; 已有矿床(点): 百地(5.61 t); 矿体埋深: 0~800 m。
18	上大观预测区	成矿构造: 大观背斜; 成矿结构面: T_{1l}/P_{3w} 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: T_{1l} 、 T_{2xm} ; 容矿岩石: 钙质砂岩、钙质粉砂岩、泥灰岩、构造角砾岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、方解石化、白云石化、黏土化; 已有矿床(点): 上大观(3.26 t)、杨家堡上(1.99 t); 矿体埋深: 0~500 m。
19	乐康预测区	成矿构造: 北西向乐康背斜; 成矿结构面: 断裂、 $P_{2,3lh}/P_{1,2sd}$ 之间 SBT; 赋矿地层: P_{3lh} 、 T_{2xm} ; 容矿岩石: 凝灰岩、玄武质粉砂岩、砂岩、辉绿岩、构造角砾岩; 矿体类型: 断控型为主, 层控型次之; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、毒砂化、方解石化; 已有矿床(点): 乐康(1.74 t)、洛郎(0.08 t); 矿体埋深: 0~500 m。
20	打郎预测区	成矿构造: 北西向打郎背斜; 成矿结构面: $P_{2,3lh}/P_{1,2sd}$ 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: $P_{2,3lh}$ 凝灰质黏土岩、玄武质岩屑砂岩; 容矿岩石: 粉砂岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、方解石化; 已有矿床(点): 无; 矿体埋深: 0~500 m。
21	交烈预测区	成矿构造: 北西向交烈背斜; 成矿结构面: $P_{2,3lh}/P_{1,2sd}$ 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: $P_{2,3lh}$; 容矿岩石: 粉砂岩、凝灰岩、玄武质粉砂岩、砂岩、构造角砾岩; 矿体类型: 层控型、断控型; 热液蚀变: 黄铁矿化、硅化、方解石化、褐铁矿化; 已有矿床(点): 无; 矿体埋深: 0~300 m。
22	宏发厂预测区	成矿构造: 排庭背斜、王司复背斜、麻夜复向斜; 成矿结构面: 断裂; 赋矿地层: ϵ_{2w} 、 ϵ_{2d} 、 $\epsilon_{3,4s}$; 容矿岩石: 泥质粉砂岩、水云母黏土岩、粉砂岩、泥晶灰岩、构造角砾岩; 矿体类型: 断控型; 热液蚀变: 硅化、毒砂化、铋化、黄铁矿化、白云石化、铁方解石化、重晶石化、萤石化、沥青化等; 已有矿床(点): 丹寨(0.30 t)、宏发厂(3.17 t)、排庭(4.16 t); 矿体埋深: 0~500 m。
23	苗龙预测区	成矿构造: 苗龙复背斜; 成矿结构面: 断裂; 赋矿地层: $\epsilon_{3,4s}$ 、 ϵ_4O_{1g} ; 容矿岩石: 灰岩、泥灰岩、砾屑灰岩、砂(泥)质灰岩、生物屑灰岩、黏土页岩、泥晶白云岩、白云岩角砾岩、泥质白云岩角砾岩; 矿体类型: 断控型; 热液蚀变: 硅化、毒砂化、辉铋矿化、黄铁矿化、方解石化、白云石化、重晶石化、萤石化等; 已有矿床(点): 苗龙(5.41 t); 矿体埋深: 0~800 m。
24	坝桥预测区	成矿构造: 坝桥背斜; 成矿结构面: 断裂; 赋矿地层: $\epsilon_{3,4s}$; 容矿岩石: 灰岩、泥灰岩、砾屑灰岩、砂(泥)质灰岩、生物屑灰岩、黏土页岩、泥晶白云岩、白云岩角砾岩、泥质白云岩角砾岩; 矿体类型: 断控型; 热液蚀变: 硅化、黄铁矿化、毒砂化、方解石化、白云石化、重晶石化、萤石化、炭化等; 已有矿床(点): 坝桥; 矿体埋深: 0~800 m。

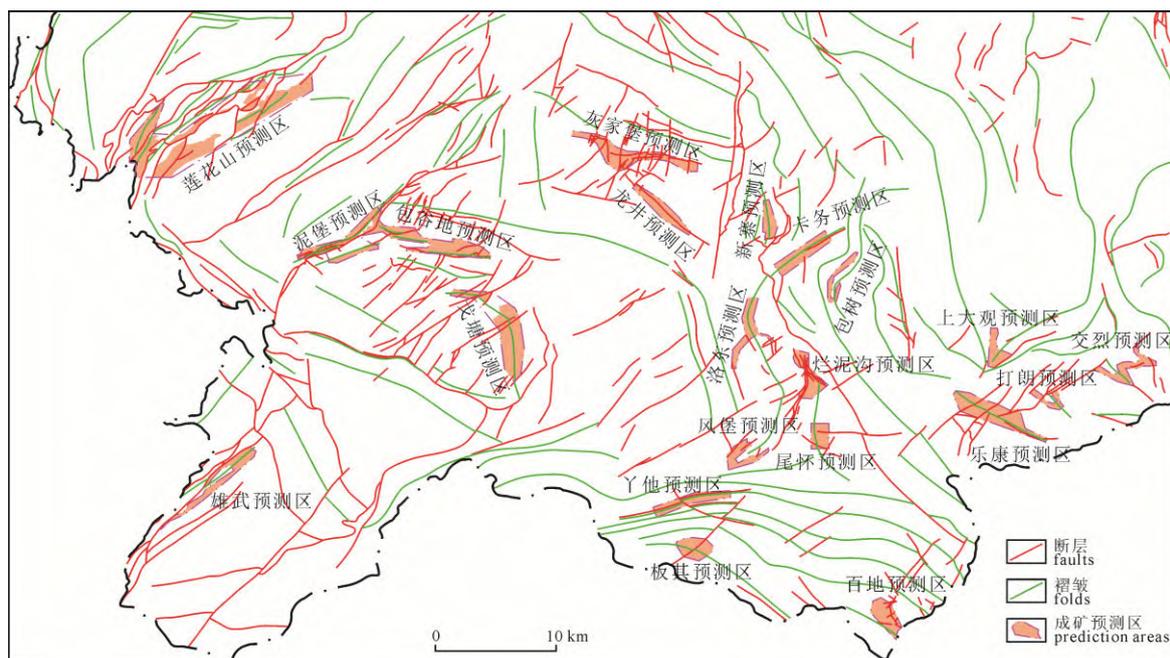


图 9 黔西南地区卡林型金矿预测区分布图(刘建中等, 2023)

Fig. 9 Prediction and distribution of Carlin-type gold deposits in southwest Guizhou (LIU et al., 2023)

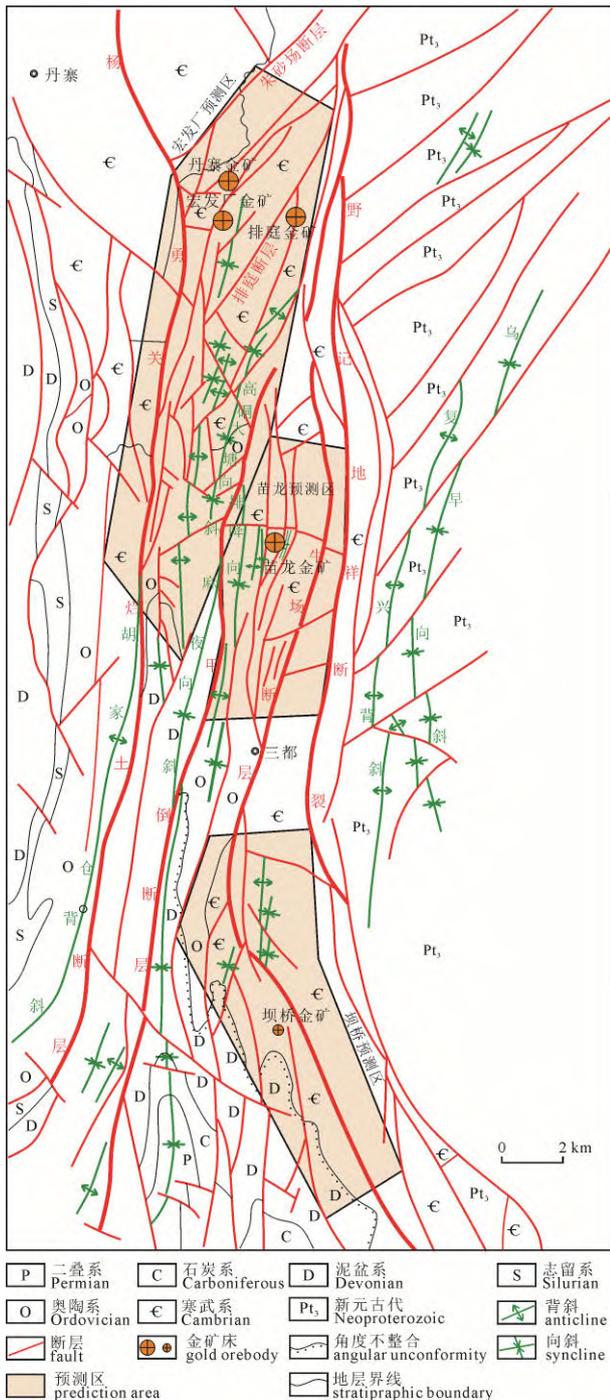


图 10 黔南三丹地区卡林型金矿预测区分布图

Fig. 10 Prediction and differentiation layout of Carlin-type gold deposits in Sandan area, southern Guizhou

6 结论

(1)通过研究,认为贵州卡林型金矿分布隶属江南复合造山带西段,卡林型金矿成矿与江南复合造山带和哀牢山造山带形成演化以及峨眉山地幔柱活动关系密切;

(2)贵州卡林型金矿为同一成矿系统的产物,为华南大面积低温成矿域中生代大规模成矿作用的重要组成部分;

(3)建立贵州卡林型金矿成矿系列 3 个、成矿亚系列 5 个、矿床式 10 个;

(4)建立贵州卡林型金矿综合找矿预测模型,据此圈定卡林型金矿预测区 24 个,明确找矿方向。

Acknowledgements:

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (No. U1812402), Department of Science and Technology of Guizhou Province (No. Platform of Science and Technology and the Construction of Talent Team of Guizhou Province-CXTD [2021]007), and the Geological Exploration Fund Project of Guizhou Province (No.520000214TLCOG7DGTNRG).

参考文献:

陈毓川,王登红,徐志刚,朱裕生,邓晋福,胡云中,任天祥,沈保丰,王世称,肖克炎,张晓华,钱壮志,梅燕雄,杜建国,施俊法. 2004. 中国成矿体系与区域成矿评价成果报告[R]. 北京: 中国地质科学院.

陈毓川,王登红,朱裕生,徐志刚,任纪舜,翟裕生,常印佛,汤中立,裴荣富,藤吉文,邓晋福,胡云中,任天祥,沈保丰,王世称,肖克炎,彭润民,钱壮志,梅燕雄,杜建国,施俊法,张晓华,朱明玉,徐珏,薛春纪. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社.

戴传固,李硕,张慧. 2005. 试论江南造山带西南段构造演化——以黔东及邻区为例[J]. 贵州地质, 22(2): 98-102.

戴传固,王雪华,陈建书,王敏,卢定彪,秦守荣,张明发,林树基,焦惠亮,王立亭,叶念曾,郑启铃,刘爱民,朱大友,刘应忠,谯文浪,肖加飞,马会珍. 2013. 贵州省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.

冯学仕,罗孝桓,邓小万,王砚耕,张麟,王常薇. 2002. 贵州主要矿床成矿系列[J]. 贵州地质, 19(3): 141-147.

冯学仕,王尚彦,邓小万,王砚耕,张麟. 2004. 贵州省区域矿床成矿系列与成矿规律[M]. 北京: 地质出版社.

贵州省地质矿产勘查开发局 104 地质大队. 1990. 贵州省三都县苗龙金矿详查报告[R]. 贵州: 贵州省地质矿产勘查开发局 104 地质队.

贵州省地质矿产勘查开发局 109 地质大队. 2013. 贵州省晴隆县老万场金矿详查报告[R]. 贵州: 贵州省地质矿产勘查开发局 109 地质队.

贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队. 2004. 贵州省贞丰县烂泥沟金矿区磺厂沟矿段补充勘探地质报告[R]. 贵州: 贵州省地质矿产勘查开发局 117 地质大队.

胡瑞忠,彭建堂,马东升,苏文超,施春华,毕献武,涂光炽. 2007. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代[J]. 矿床地质, (6): 583-596.

靳晓野. 2017. 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]. 武汉: 中国地质大学(武汉).

刘建中,王泽鹏,宋威方,王大福,杨成富,李俊海,郑禄林,李松涛,谭亲平,谢卓君,陈发恩,覃永军,杨毓红,谭礼金,徐良易,汪小勇. 2021. 中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统的构建[C]//石家庄: 首届全国矿产勘查大会.

刘建中,王泽鹏,宋威方,王大福,杨成富,李俊海,郑禄林,李松涛,谭亲平,谢卓君,陈发恩,覃永军,杨毓红,谭礼金,徐良易,汪小勇. 2020. 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, 21(4): 49-51.

刘建中,王泽鹏,宋威方,王大福,杨成富,李俊海,郑禄林,

- 李松涛, 谭亲平, 谢卓君, 陈发恩, 覃永军, 杨毓红, 谭礼金, 徐良易, 刘婧珂, 汪小勇. 2023. 滇黔桂地区卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统构建和找矿实践[J]. 地质论评, 69(2): 99-111.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富, 李俊海, 徐良易. 2018. 南盘江-右江成矿区多层次构造滑脱与金矿成矿找矿[C]//石家庄: 第十四届全国矿床会.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富, 李俊海, 郑禄林, 陈发恩, 谭亲平, 谢卓君, 宋威方, 徐良易, 李松涛, 王大福, 覃永军, 杨毓红, 汪小勇. 2022. 中国滇黔桂及周邻区卡林型金矿构造蚀变体判别指标及其意义[J]. 黄金科学技术, 30(4): 532-539.
- 刘建中, 夏勇, 陶琰, 付绍洪, 杨成富, 王泽鹏, 吴文明, 谭亲平, 陈睿. 2017. 贵州西南部 SBT 研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 刘建中, 夏勇, 陶琰, 杨成富, 王泽鹏, 谭亲平, 付绍洪, 陈睿, 吴文明. 2014. 贵州西南部 SBT 与金锑矿成矿找矿[J]. 贵州地质, 31(4): 267-272.
- 刘建中, 杨成富, 夏勇, 陈松, 陈发恩, 游彬, 付芝康. 2010. 贵州西南部台地相区 Sbt 研究及有关问题的思考[J]. 贵州地质, 27(3): 178-184.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 蒋国豪. 2003. 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, 19(4): 785-791.
- 宋威方. 2022. 南盘江-右江卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统地球化学研究[D]. 贵阳: 贵州大学.
- 陶平, 曾昭光, 刘建中, 陈启飞, 祁连素, 方策, 杨光忠, 徐良易, 李建黔, 范玉梅, 杨恩林, 王常微, 季国松, 罗建均, 杨友, 熊伟, 王华斌, 钱招军, 石睿. 2019. 中国矿产地质志·贵州卷·金矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 陶平, 马荣, 雷志远, 韩忠华. 2007. 扬子区黔西南金矿成矿系统综述[J]. 地质与勘探, 43(4): 24-28.
- 王大福, 刘建中, 熊焯娟, 刘帅, 张婕, 徐良易. 2014. 贵州盘县架底金矿矿石特征初步研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 31(6): 55-60.
- 吴小红, 程鹏林, 肖成刚, 马健. 2013. 贵州西部玄武岩分布区大麦地金矿成矿地质特征[J]. 贵州地质, 30(4): 283-288.
- 闫宝文. 2012. 贵州三都-丹寨成矿带卡林型金矿地质地球化学特征及成因探讨-以排庭和苗龙矿床为例[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所.
- 杨成富, 刘建中, 顾雪祥, 王泽鹏, 陈发恩, 王大福, 徐良易, 李松涛. 2020. 黔西南水银洞超大型金矿龙潭组赋矿层岩相特征及对金成矿的控制[J]. 地质通报, 39(8): 1221-1232.
- 郑禄林. 2017. 贵州西南部泥堡金矿床成矿作用与成矿过程[D]. 贵阳: 贵州大学.
- 中国矿产地质志项目办公室, 中国地质科学院矿产资源研究所. 2016. 中国矿产地质志省级矿产地质志研编技术要求[R]. 北京: 中国地质科学院.
- tion and Development, Guizhou Province. 2004. Supplementary exploration geological report of Huangchanggou section of Lannigou gold deposit, Zhenfeng, Guizhou Province[R]. Guiyang: 117 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province(in Chinese).
- CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, XU Zhi-gang, ZHU Yu-sheng, DENG Jin-fu, HU Yun-zhong, REN Tian-xiang, SHEN Bao-feng, WANG Shi-chen, XIAO Ke-yan, ZHANG Xiao-hua, QIAN Zhuang-zhi, MEI Yan-xiong, DU Jian-guo, SHI Jun-fa. 2004. Metallogenic system and regional metallogenic evaluation report in China[R]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, ZHU Yu-sheng, XU Zhi-gang, REN Ji-shun, ZHAI Yu-sheng, CHANG Yin-fo, TANG Zhong-li, PEI Rong-fu, TENG Ji-wen, DENG Jin-fu, HU Yun-zhong, REN Tian-xiang, SHEN Bao-feng, WANG Shi-chen, XIAO Ke-yan, PENG Rui-min, QIAN Zhuang-zhi, MEI Yan-xiong, DU Jian-guo, SHI Jun-fa, ZHANG Xiao-hua, ZHU Ming-yu, XU Jue, XUE Chun-ji. 2007. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Chinese Mineral Geology Project Office, the Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences. 2016. Technical requirements for the compilation of provincial mineral geological records of mineral geology of china[R]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese).
- DAI Chuan-gu, LI Shuo, ZHANG Hui. 2005. Initiative discussion on tectonic evolution of southwest segment of Jiangnan Orogenic Belt: Taking an example from East Guizhou and the adjacent areas[J]. Guizhou Geology, 22(2): 98-102(in Chinese with English abstract).
- DAI Chuan-gu, WANG Xue-hua, CHEN Jian-shu, WANG Min, LU Ding-biao, QIN Shou-rong, ZHANG ming-fa, LIN Shu-ji, JIAO Hui-liang, WANG Li-ting, YE Nian-zeng, ZHENG Qi-qian, LIU Ai-min, ZHU Da-you, LIU ying-zhong, QIAO Wen-lang, XIAO Jia-fei, MA Hui-zhen. 2013. Regional geology of Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- FENG Xue-shi, LUO Xiao-huan, DENG Xiao-wan, WANG Yan-geng, ZHANG Lin, WANG Chang-wei. 2002. The mineralogical series of the mineral deposits in Guizhou, China[J]. Guizhou Geology, 19(3): 141-147(in Chinese with English abstract).
- FENG Xue-shi, WANG Shang-Yan, DENG Xiao-Wan, WANG Yan-Geng, ZHANG Lin. 2004. Metallogenic series and metallogenic regularity of regional deposits in Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- HU Rui-zhong, FU Shan-ling, HUANG Yong, ZHOU Mei-fu, FU Shao-hong, ZHAO Cheng-hai, WANG Yue-jun, BI Xian-wu, XIAO Jia-fei. 2017. The giant South China Mesozoic low-temperature metallogenic domain: Reviews and a new geodynamic model[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 137: 9-34.
- HU Rui-zhong, PENG Jian-tang, MA Dong-sheng, SU Wen-chao, SHI Chun-hua, BI Xian-wu, TU Guang-chi. 2007. Epoch of large-scale low-temperature mineralizations in southwestern Yangtze massif[J]. Mineral Deposits, (6): 583-596(in Chinese with English abstract).
- HU Rui-zhong, SU Wen-chao, BI Xian-wu, TU Guang-zhi, HOFSTRA A H. 2002. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China[J]. Mineralium Deposita,

References:

- 104 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province. 1990. Detailed investigation report of Miaolong gold deposit in Sandu, Guizhou Province[R]. Guiyang: 104 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province (in Chinese).
- 109 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province. 2013. Detailed investigation report of Laowanchang gold deposit in Qinglong, Guizhou Province[R]. Guizhou: 109 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guizhou Province (in Chinese).
- 117 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Explora-

- 37(3-4): 378-392.
- JIN Xiao-ye, HOFSTRA A H, HUNT A G, LIU Jian-zhong, YANG Wu, LI Jian-wei. 2020. 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*, 115(2): 455-469.
- JIN Xiao-ye. 2017. Geology, mineralization and genesis of the Nibao, Shuiyindong and Yata gold deposits in SW Guizhou Province, China[D]. Wuhan: China University of Geosciences(Wuhan)(in Chinese with English abstract).
- LI Jun-hai, WU Pan, XIE Zhuo-jun, LIU Jian-zhong, ZHANG shuang-ju, SONG Wei-fang, ZHANG Bing-qiang, LI Song-tao, XU Liang-yi, ZHENG Lu-lin. 2021. Alteration and paragenesis of the basalt-hosted Au deposits, southwestern Guizhou Province, China: Implications for ore genesis and exploration[J]. *Ore Geology Reviews*, 131: 104034.
- LIU Jian-zhong, WANG Ze-peng, SONG Wei-fang, WANG Da-fu, YANG Cheng-fu, LI Jun-hai, ZHENG Lu-lin, LI Song-tao, TAN Qin-ping, XIE Zhuo-jun, CHEN Fa-en, QIN Yong-jun, YANG Yu-hong, TAN Li-jin, XU Liang-yi, LIU Jing-ke, WANG Xiao-yong. 2023. Construction and prospecting practice of multilevel structural detachment metallogenic system of Carlin-type gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi area[J]. *Geological Review*, 69(2): 99-111(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian-zhong, WANG Ze-peng, SONG Wei-fang, WANG Da-fu, YANG Cheng-fu, LI Jun-hai, ZHENG Lu-lin, LI Song-tao, TAN Qin-ping, XIE Zhuo-jun, CHEN Fa-en, QIN Yong-jun, YANG Yu-hong, TAN Li-jin, XU Liang-yi, WANG Xiao-yong. 2020. Multi level tectonic detachment metallogenic system of carlin-type gold deposits in South China[J]. *China Science and Technology Achievements*, 21(4): 49-51(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian-zhong, WANG Ze-peng, SONG Wei-fang, WANG Da-fu, YANG Cheng-fu, LI Jun-hai, ZHENG Lu-lin, LI Song-tao, TAN Qin-ping, XIE Zhuo-jun, CHEN Fa-en, QIN Yong-jun, YANG Yu-hong, TAN Li-jin, XU Liang-yi, WANG Xiao-yong. 2021. On the Construction of multi level tectonic detachment metallogenic system of carlin-type gold deposits in South China[C]//Proceedings of the First National Conference on Mineral Exploration. Hefei: Geological Society of China(in Chinese).
- LIU Jian-zhong, WANG Ze-peng, YANG Cheng-fu, LI Jun-hai, XU Liang-yi. 2018. Multi level structural detachment and gold ore prospecting in Nanpanjiang-Youjiang metallogenic area[C]//Proceedings of the 14th National Conference on mineral deposits, Shijiazhuang: Geology of China: 1075-1076(in Chinese).
- LIU Jian-zhong, WANG Ze-peng, YANG Cheng-fu, LI Jun-hai, ZHENG Lu-lin, CHEN Fa-en, TAN Qin-ping, XIE Zhuo-jun, SONG Wei-fang, XU Liang-yi, LI Song-tao, WANG Da-fu, QIN Yong-jun, YANG Yu-hong, WANG Xiao-yong. 2022. Discriminant index and significance of structural body alteration of Carlintype gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi and its surrounding areas, China[J]. *Gold Science and Technology*, 30(4): 532-539(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian-zhong, XIA Yong, TAO Yan, FU Shao-hong, YANG Cheng-fu, WANG Ze-peng, WU Wen-ming, TAN Qin-ping, CHEN Rui. 2017. Study on the SBT in Southwest Guizhou[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- LIU Jian-zhong, XIA Yong, TAO Yan, YANG Cheng-fu, WANG Ze-peng, TAN Qin-ping, FU Shao-hong, CHEN Rui, WU Wen-ming. 2014. The relation between SBT and gold-antimony deposit metallogenesis and prospecting in Southwest Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 31(4): 267-272(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian-zhong, YANG Cheng-fu, XIA Yong, CHEN Song, CHEN Fa-en, YOU Bin, FU Zhi-kang. 2010. Sbt study and ideas in platform lithofaices area in the Southwest Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 27(3): 178-184(in Chinese with English abstract).
- PENG Jian-tang, HU Rui-zhong, JIANG Guo-hao. 2003. Samarium-neodymium isotope system of fluorites from the Qinglong antimony deposit, Guizhou Province: Constraints on the mineralizing age and ore-forming materials' sources[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(4): 785-791(in Chinese with English abstract).
- PENG Yi-wei, GU Xue-xiang, ZHANG Yong-mei, LIU Li, WU Cheng-yun, CHEN Si-yao. 2014. 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*, 93: 89-101.
- SONG Wei-fang. 2022. Geochemical study on multi-level tectonic slippage metallogenic system of Nanpanjiang-Youjiang Carlin type gold deposit[D]. Guiyang: Guizhou University(in Chinese with English abstract).
- TAO Ping, MA Rong, LEI Zhi-yuan, HAN Zhong-hua. 2007. Review of gold mineralization system in the southwestern Guizhou Province, Yangtze Block[J]. *Geology & Exploration*, 43(4): 24-28(in Chinese with English abstract).
- TAO Ping, ZENG Zhao-guang, LIU Jian-zhong, CHEN Qi-fei, QI Lian-su, FANG Ce, YANG Guang-zhong, XU Liang-yi, LI Jian-qian, FAN Yu-mei, YANG En-lin, WANG Chang-wei, JI Guo-song, LUO Jian-jun, YANG You, XIONG Wei, WANG Hua-bin, QIAN Zhao-jun, SHI Rui. 2019. Mineral geology of China • Guizhou Volume • Gold Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Da-fu, LIU Jian-zhong, XIONG Can-juan, LIU Shuai, ZHANG Jie, XU Liang-yi. 2014. A preliminary study on ore characteristics of the Jiadi gold deposit in Panxian, Guizhou[J]. *Journal of Guizhou University(Natural Sciences)*, 31(6): 55-60(in Chinese with English abstract).
- WU Xiao-hong, CHENG Peng-lin, XIAO Cheng-gang, MA Jian. 2013. Metallogenic geologic characteristics of Damaidi gold deposit in basalt distribution area of western Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 30(4): 283-288(in Chinese with English abstract).
- YAN Bao-wen. 2012. Geology, Geochemistry and Ore Genesis of Carlin-type Gold Deposits in the Sandu-Danzhai Metallogenic Zone, Guizhou Province: Take Paiting and Miaolong Gold Deposits for example[D]. Guiyang: The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences(in Chinese with English abstract).
- YANG Cheng-fu, LIU Jian-zhong, GU Xue-xiang, WANG Ze-peng, CHEN Fa-en, WANG Da-fu, XU Liang-yi, LI Song-tao. 2020. Lithofacies characteristics of the Longtan Formation and its control of gold mineralization in the Shuiyindong gold deposit, southwestern Guizhou Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 39(8): 1221-1232(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Lu-lin. 2017. Mineralization mechanism and ore-forming process of the Nibao gold deposit in southwestern Guizhou, China[D]. Guiyang: Guizhou University(in Chinese with English abstract).