

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



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⁾, 刘婧珂²⁾, 汪小勇²⁾

- 1) 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵阳 550004;
- 2) 贵州省地质矿产勘查开发局一〇五地质大队, 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, 贵阳 550081;
- 4) 贵州大学, 贵阳 550025; 5) 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550081;
- 6) 贵州省土地矿产资源储备局, 贵阳 550081

内容提要: 南盘江—右江成矿区作为中国南方集中产出卡林型金矿的地区, 是我国最重要的金资源产地之一。笔者等通过沉积系统、地层系统、岩石系统、构造系统、年代系统、物质系统、就位系统、动力学系统的研究, 拓展了构造蚀变体的内涵, 建立其判别指标, 明确其既可产于整合面之间, 亦可在能干性差异大的岩层之间, 构建了中国南方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区域找矿预测综合模型。笔者等基于构建的成矿系统和预测模型, 开展了区域成矿预测, 圈定找矿靶区, 进行了理论指导下的找矿实践, 实现了贵州卡林型金矿的历史性突破。

关键词: 构造蚀变体; 成矿系统; 卡林型金矿; 中国南方

中国是除美国以外最重要的卡林型金矿分布区 (Hu Ruizhong et al., 2002; Cline et al., 2013)。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”。其东以凭祥—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 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (刘增铁等, 2015) (图 1)。

2000 年以前, 滇黔桂地区累计查明金资源量大约 420 t, 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 (刘建中等, 2006, 2017; 陈懋弘等, 2007; Su Wenchao et al., 2009; 夏勇等, 2009; Peng Yiwei et al., 2014; Hou Lin et al., 2016; Xie Zhuojun et al., 2018)。自 2002 年提出构造蚀变体

(structural alteration body, SBT) 以来 (刘建中等, 2006, 2010), 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 t。水银洞金矿床累计查明金资源量 295 t, 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 t) 及大麦地金矿 (6 t) 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。

截止 2020 年, 滇黔桂地区探明水银洞、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 t, 成为我国最重要

注: 本文为国家自然科学基金资助项目“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), 贵州省地质勘查资金资助项目“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)”的成果。

收稿日期: 2022-03-03; 改回日期: 2022-08-16; 网络首发: 2022-08-20; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2022.08.065

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; Email: 2585364825@qq.com。

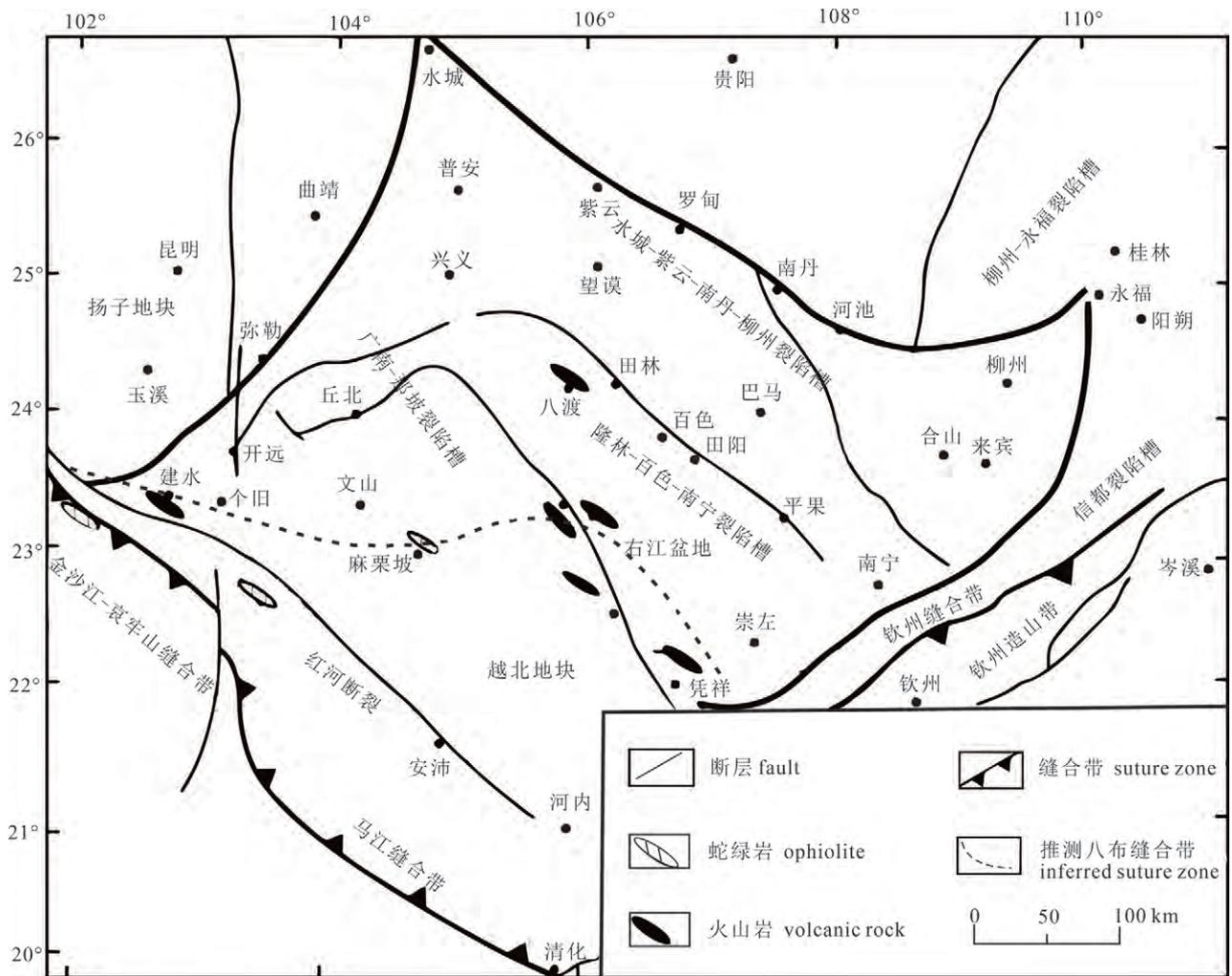


图 1 中国南方卡林型金矿区大地构造图(转引自刘增铁等 2015)

Fig.1 Geotectonic map of the Carlin-type gold deposits area in South China(from Liu Zengtie et al. , 2015&)

的金资源产地之一(刘建中等 2020)。

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,成矿与找矿往往各自开展,理论与实践未能融合。本次研究从成矿系统论出发,在细致系统地阐述了构造蚀变体的定义、类型和判别指标的基础上,对南盘江—右江成矿区与卡林型金矿成矿相关的沉积系统及其沉积岩序列、岩石系统、构造系统、年代系统、物质系统、就位系统和动力学系统进行总结和论述。基于上述研究构建南盘江—右江卡林型金矿成矿模式和综合找矿预测模型,指导找矿预测和靶区圈定,并展示了在该理论指导下在黔西南地区的找矿勘查成果,结果说明该成矿系统和

成矿模式的构建对于黔西南地区甚至整个南盘江—右江成矿区成矿理论研究和找矿预测具有重大意义。

1 构造蚀变体研究

1.1 构造蚀变体的定义

构造蚀变体 (SBT): 含矿热液沿C—D、O—D、P₂—P₃、P₃—T₂不整合面和 D—C、C₂p₁n—P₁、T₁—T₂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 P₂m 和 P₃l 或 P₃β 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,向上由硅化角砾状黏土岩(角砾状凝灰岩、角砾状凝灰质玄武岩)—硅化碎裂化黏土岩(玄武岩)向正常黏土岩(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—硅化角砾状黏土岩(角砾状凝灰岩、角砾状凝灰质玄武岩)—硅化碎裂化黏土岩(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(刘建中等, 2010, 2014, 2017, 2020)。

1.2 构造蚀变体的类型

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(图 2)。

1.3 构造蚀变体的判别指标

南盘江—右江成矿区广泛发育构造蚀变体(SBT),直接产于构造蚀变体中的金矿资源量大约占总资源量的 45%,准确识别和判别构造蚀变体,对成矿研究和找矿勘查至关重要(表 1)。

2 成矿系统研究

2.1 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(刘宝珺等,1994;杜远生等,2014)。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—早三叠世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世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”。

2.2 地层系统

区域金矿就位的地层有:泥盆系郁江组、坡脚组、融县组,石炭系英塘组,石炭系—二叠系南丹组,二叠系龙吟组、四大寨组、栖霞组、茅口组、合山组、吴家坪组、领薨组、龙潭组、长兴组、峨眉山玄武岩组,三叠系安顺组、夜郎组、百逢组、许满组、新苑组、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(刘建中等,2021)。

2.3 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、黏土岩、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。

2.4 构造系统

褶皱—断裂系统成为区域金矿床的成矿构造。褶皱系统主体为背斜和穹窿,断裂系统包含滑脱构造和与背斜配套的逆断层。背斜或穹窿与滑脱构造相互依存,区域(C—D、O—D、P₂—P₃、P₃—T₂不整合面和 D—C、C₂p₁n—P₁、T₁—T₂能干性差异大的岩层面)滑脱构造往往形成背斜或穹窿,逆断层的形成则往往与褶皱紧闭程度密切相关。滑脱构造为区域成矿最关键因素,背斜或穹窿与 SBT 密不可分(实为一体)。水银洞金矿以背斜为主,逆断层次之;烂泥沟金矿为逆断层;紫木函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

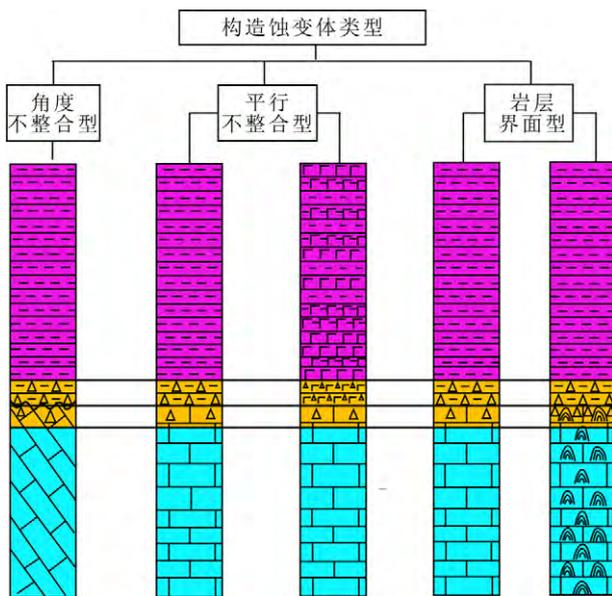


图 2 构造蚀变体(SBT)类型示意图
Fig.2 Schematic diagram type of the structural alteration body (SBT)

表1 构造蚀变体(SBT)判别指标
Table 1 Discriminant indicators of the structural alteration body (SBT)

判别指标	主要特征	典型矿床
产出背景	南盘江—右江成矿区	
产出形态	层状,与地层产状一致	
构造部位	背斜	水银洞、泥堡、戈塘、卡务、沙子井、大麦地、架底、大观、高龙、紫木凶、老寨湾、革档
	穹窿	高龙、板其、马雄、隆或、大厂
构造面	不整合面(平行不整合、角度不整合)	革档、马雄、巴平、老寨湾、隆或、水银洞、紫木凶、戈塘、泥堡、架底、大麦地、卡务、堂上、板其、大观、高龙
	能干性差异大的岩层面	风堡、浪全、平桥、隆或
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)	水银洞、泥堡、戈塘、板其、卡务、高龙、马雄、老寨湾、平桥、大观
	峨眉山玄武岩(上)+碳酸盐岩(下)	架底、大麦地、大厂、堂上
界线	交代作用形成的蚀变有由强到弱直至趋于正常的变化,其界线为元素增减而体现,故界线是起伏的,难以宏观直接圈定,图面往往表达为虚线	
层次	区域上在D—C、D—O、C—D、T ₂ —P ₃ 、P ₃ —P ₂ 不整合面和P ₁ —C ₂ 、P _{1n} 、T ₂ —T ₁ 能干性差异大的岩层面形成多层次构造蚀变体(SBT),但区域上存在多层次的构造蚀变体,不等于在矿区尺度上能够形成多层SBT的叠加,往往一个矿区仅仅形成一层构造蚀变体	D—C不整合面(革档、马雄、巴平),D ₁ —O ₁ 不整合面(老寨湾),P ₃ —P ₂ 不整合面(水银洞、紫木凶、戈塘、泥堡、架底、大麦地、卡务、堂上),T ₂ —P ₃ 不整合面(板其、大观、高龙),C—D能干性差异大的岩层面(隆或),T ₂ —T ₁ 能干性差异大的岩层面(风堡、浪全),P ₁ —C _{pn} 能干性差异大的岩层面(平桥)
控制因素	构造蚀变体的产出,不受时代和地层制约,而主要受控于岩石,一般往往产出于超百米厚的厚层灰岩或者白云岩或者礁灰岩与厚度超过50m的泥质钙质碎屑岩系或峨眉山玄武岩(凝灰岩)之间。多层薄层碎屑岩与灰岩组合的岩石沉积系统(比如二叠系山组),内部或者与其上覆或下伏地层之间往往难以形成构造蚀变体	

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。

2.5 年代系统

区域卡林型金矿的年代学研究方面,著述颇丰(彭建堂等,2003;皮桥辉等,2016;董文斗,2017;Hu Ruizhong et al.,2017;高伟,2018),大多数数据集中于97~172 Ma,主体显示为205~225 Ma和130~148 Ma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(高伟,2018)。南盘江地区中三叠统与上三叠统之间整合接触,沉积了中三叠统边阳组 and 上三叠统黑苗湾组,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。区内金矿体均产出于背斜—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(160~130 Ma)(Zheng Lulin et al.,2019;刘建中等,2021)。

2.6 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(朱赖民,1998;谢卓熙,2000;王登红,2000;贾大成等,2001;夏勇,2005;刘建中,2006;聂爱国,2007;陈懋弘,2007;Hou Lin et al.,2016;靳晓野,2017;董文斗,2017;高伟,2018;曾国平,2018)。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(刘建中等,2017,2020;Jin Xiaoye et al.,2020;Li Junhai et al.,2021;Song Weifang et al.,2022;李松涛等,2022),大规模成矿作用与大区域构造关系密切。

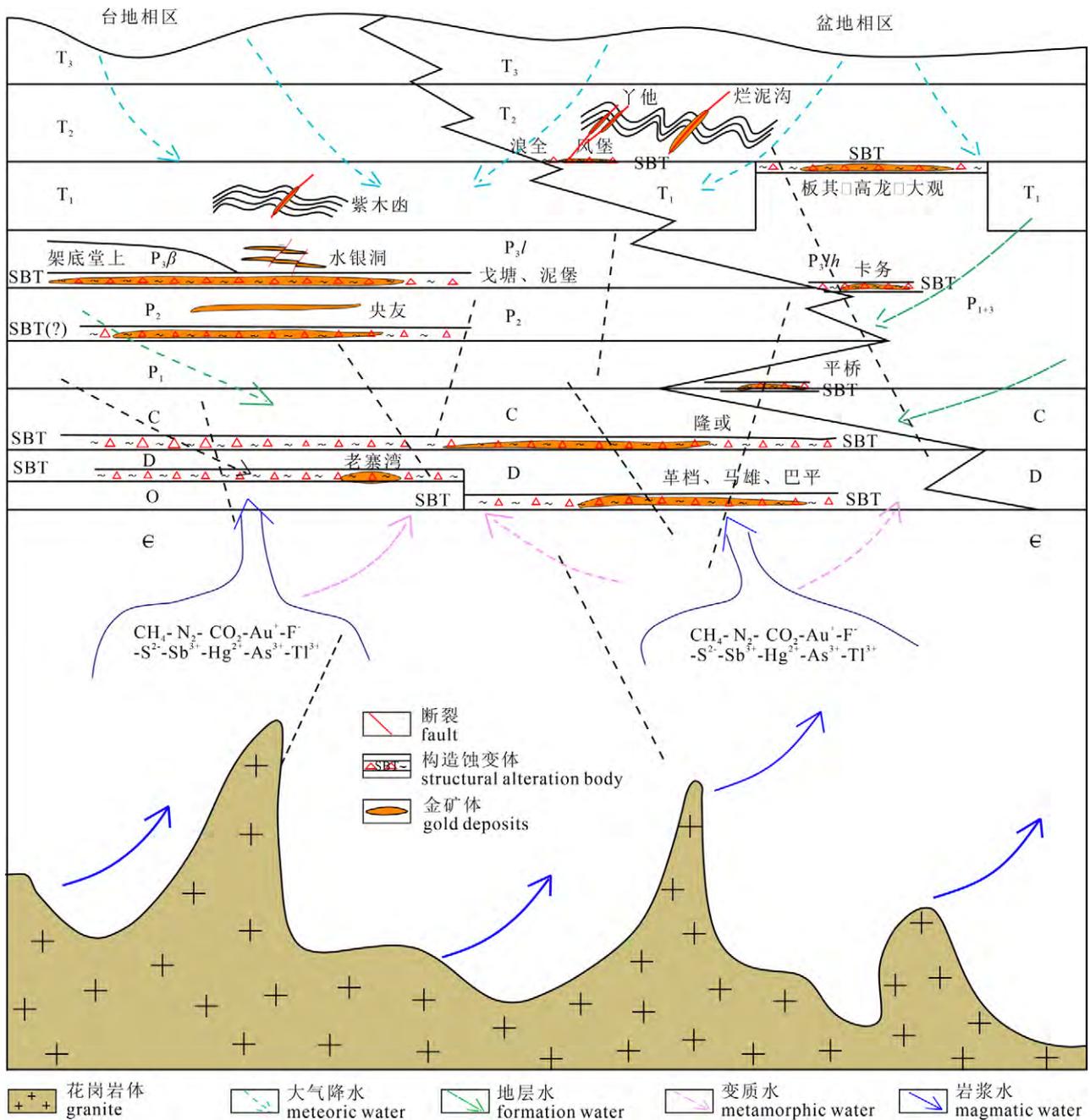


图 3 中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿模式(据刘建中等 2020 修编)

Fig.3 Multi-level structural detachment metallogenic model of Carlin-type gold deposits in southern China (modified from Liu Jianzhong et al. , 2020&)

2.7 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。金矿体往往产出于背斜轴部附近 800~1500 m 狭窄范围。翼间角小于 80° 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, 金矿体往往仅产出于构造蚀变体。穹窿边缘 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(刘建中等, 2019 2020)。

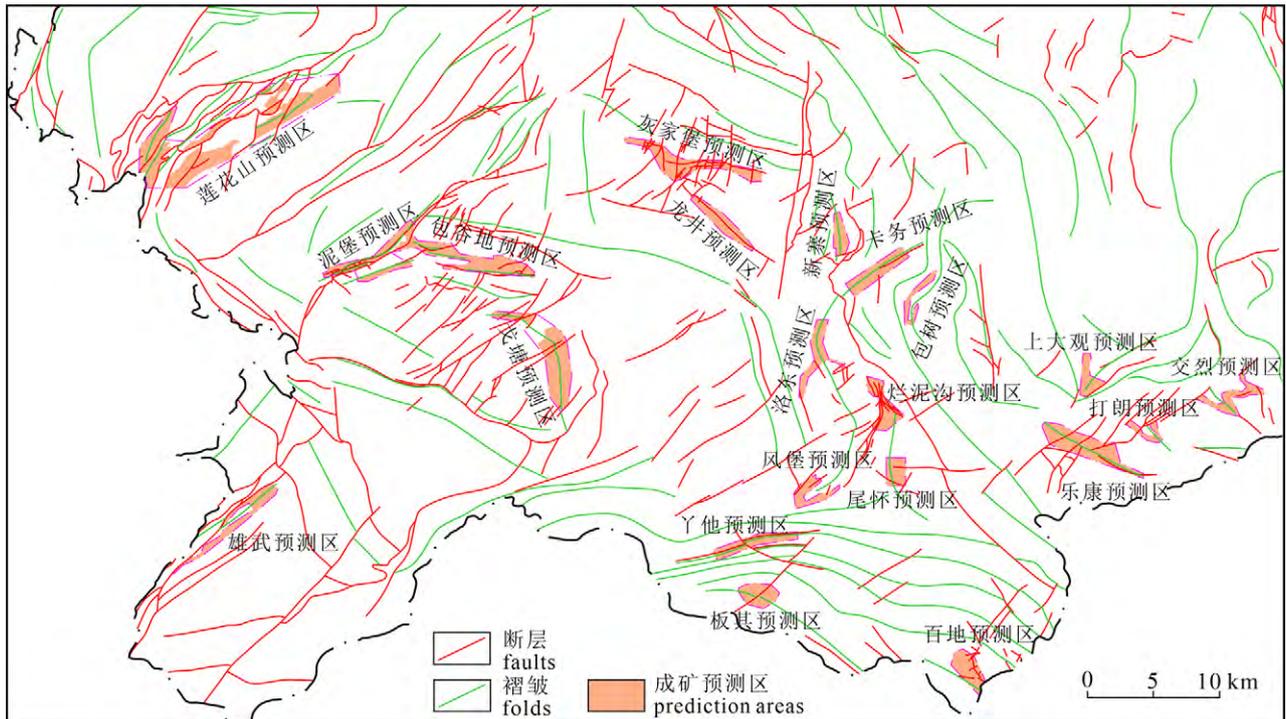


图4 贵州西南部卡林型金矿预测区分布图

Fig.4 Distribution of Carlin-type gold deposits in southwest Guizhou province

2.8 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(Hu Ruizhong et al., 2017; 靳晓野, 2017; 高伟, 2018)。燕山期太平洋板块向欧亚板块发生平板俯冲过程中,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(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含矿热液,可能是区内金成矿最主要的动力学过程(刘建中等, 2015, 2016, 2020)。

3 区域成矿模式

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 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O} - \text{F}^- - \text{S}^{2+} - \text{Au}^+ - \text{As}^{3+} - \text{Hg}^{2+} - \text{Sb}^{3+} - \text{Tl}^+ \pm \text{CO}_3^{2-} \pm \text{N}_2 \pm \text{CH}_4$ 含矿热液(Hu Ruizhong et al., 2002, 2017; 彭

建堂等, 2003; 刘建中等, 2014, 2017, 2017, 2020; Peng Yiwei et al., 2014; 靳晓野, 2017; Jin Xiaoye et al., 2020)沿深大断裂上涌,一部分热液在背斜核部附近沿滑脱构造($\text{C}-\text{D}$ 、 $\text{O}-\text{D}$ 、 P_2-P_3 、 P_3-T_2 不整合面和 $\text{D}-\text{C}$ 、 $\text{C}_2\text{P}_1\text{n}-\text{P}_1$ 、 T_1-T_2 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(刘建中等, 2017, 2018, 2020)(图3)。

4 贵州卡林型金矿成矿预测

4.1 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研究,基于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2)

4.2 预测成果

基于建立的找矿预测模型,采用地质、地球物理、地球化学综合方法,在贵州黔西南地区圈定预测区21个(表3,图4),区内探明金资源量720 t,预测2000 m以浅金资源量1510 t(刘建中等^①)。

表 2 贵州卡林型金矿综合找矿预测模型

Table 2 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, 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、打尖背斜及相关背斜之次级褶皱 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_3l-P_2m 、 $P_3\beta-P_2m$ 、 $P_{2-3}lh-P_{1-2}sd$ 、 P_1ly-CP_{1n} 、 T_2xy-T_1a 、 T_2xm-P_3w) 和 P_2q 、 P_3l 、 $P_3\beta$ 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
典型矿物组合及成矿分带	典型矿物组合	黄铁矿+砷黄铁矿+毒砂+辉锑矿+辰砂+雄(雌)黄
	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、白云石化、萤石化、方解石、重晶石化、泥化
成矿流体性质及流体包裹体特征	成矿流体	$NaCl-H_2O-F^- -S^{2-} \pm CO_2 \pm N_2 \pm CH_4$ 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% NaCl, 密度 0.73~0.9 g/cm ³ , pH=4.3~6.87
	稳定同位素特征	$\delta^{18}O = -9.6\text{‰} \sim 13.5\text{‰}$, $\delta D = -114.1\text{‰} \sim -31.5\text{‰}$, $\delta^{34}S = 1.2\text{‰} \sim 3.4\text{‰}$
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	茅口组(P_2m)、四大寨组($P_{1-2}sd$)、吴家坪组(P_3w)、龙潭组(P_3l)、峨眉山玄武岩组($P_3\beta$)、领薨组($P_{2-3}lh$)、夜郎组(T_1y)、安顺组(T_1a)、许满组(T_2xm)、新苑组(T_2xy)、边阳组(T_2b)、罗楼组($T_{1-2}ll$)、乐康组(T_1lk)
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 1500 m、翼间角 100°~160°、轴面倾角 70°~90°、轴倾伏角 5°~15°; 穹窿: 核部附近 2000 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、紫木凶、泥堡、架底、戈塘、板其、丫他、老万场、烂木厂、沙子井、风堡、百地、大观、大麦地、雄武、乐康、林楼、陇英大地、卡务、白层、万人洞	

5 找矿实践

基于系统研究成果, 区内实施工程化示范, 近年新增金资源量 363 t, 实现卡林型金矿找矿的历史性突破。

5.1 水银洞

基于 P_2m-P_3l 之间构造蚀变体(SBT) 呈“面状”展布及背斜核部狭窄空间控矿的规律, 2006 年开展灰家堡背斜东段水银洞(中矿段) 以东“大尺

度—大深度—大面积”(8000 m 长—1400 m 深—30 km²) 隐伏矿成矿预测并工程化验证, 设计 35 个钻孔, 见矿 34 个, 矿体埋深 200~1400 m, 开启贵州二度空间找矿历程。水银洞超大型金矿床累计查明金资源量 295 t, 新增 240 t(刘建中等, 2017), 跃居同类型金矿中国第一、世界第十。

5.2 万人洞

万人洞金矿为开采茅口灰岩喀斯特凹山中氧化矿体的小企业, 为规范生产, 矿山已投入相当大的资

表3 贵州卡林型金矿预测成果

Table 3 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: 层控为主, 有断控矿体; 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(64 t)、大麦地(6 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_3l-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(80 t); 矿体埋深: 0~1500 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: 层控型和断控型; 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)(1 t); 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、F1; 成矿结构面: P_3l-P_2m 或 $P_3\beta-P_2m$ 之间 SBT; 赋矿地层: $P_3\beta, P_3l$; 容矿岩石: 构造角砾岩、凝灰岩、钙质砂岩、粉砂岩、玄武质火山角砾岩; 矿体类型: 断控为主, 层控为辅; 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、火麻冲等; 矿体埋深: 0~1200 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: $P_3\beta, P_3l, T_{1y}$ 或 T_{1f} ; 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、玄武质火山角砾岩; 矿体类型: 断控、层控; 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): 三道沟、云顶、铁厂坳、大丫口、包谷地、狮子山等(3 t); 矿体埋深: 0~1200 m
6	戈塘预测区	成矿构造: 戈塘一洒雨背斜; 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: 层控为主, 有断控矿体; 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(25 t)、万人洞等; 矿体埋深: 0~1000 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: $T_{1-2}l, T_{2xm}, T_{2b}$; 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; 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(101 t); 矿体埋深: 0~1500 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: 层控为主、断控为辅; 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 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: $T_{1-2}l-P_{3w}$ 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: $T_{1-2}l, T_{2xm}, T_{2b}$; 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、断控; 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、新寨(5 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、玄武质岩屑砂岩、凝灰质黏土岩、粉砂岩; 矿体类型: 断控为主, 层控为辅; 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): 纳哥、卡务(3 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: $T_{1-2}l-P_{3w}$ 之间 SBT; 赋矿地层: $T_{1-2}l$; 容矿岩石: 钙质粉砂岩、泥灰岩; 矿体类型: 层控; 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: $T_{1-2}l-P_{3w}$ 之间 SBT、断裂; 赋矿地层: $P_{3w}, T_{1-2}l$; 容矿岩石: 粉砂黏土岩、泥灰岩、钙质黏土岩; 矿体类型: 层控、断控; 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): 烂泥沟(101 t)、塘新寨、庆平、洛东(2 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: $T_{2x}-T_{1-2}a$ 和 $T_{1-2}l-P_{3w}$ 之间 SBT、断层; 赋矿地层: $T_{1-2}l, T_{2x}$; 容矿岩石: 钙质粉砂岩、粉砂岩、构造角砾岩; 矿体类型: 层控、断控; 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): 风堡、沙子等(2 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: $T_{2xm}-P_{3w}$ 之间 SBT、断层; 赋矿地层: T_{2xm}, T_{2b} ; 容矿岩石: 钙质黏土岩、粉砂岩、砂岩; 矿体类型: 断裂型(断控); 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): 尾怀(1 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: $T_{2xm}-P_{3w}$ 之间 SBT、断层; 赋矿地层: T_{2xm}, T_{2b} ; 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、脉状矿体、层控; 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 t); 矿体埋深: 0~1500 m

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: $T_{1-2}l-P_3w$ 之间 SBT、断裂;赋矿地层: $T_{1-2}l、T_{2xm}$;容矿岩石:钙质砂岩、钙质粉砂岩、砂岩、泥灰岩;矿体类型:层控、断控;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、大寨、金山(6 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: $T_{2xm}-P_3w$ 之间 SBT、断裂;赋矿地层: $T_{2xm}、T_2b$;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、断控;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 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: $T_{1-2}l-P_3w$ 之间 SBT、断裂;赋矿地层: $T_{1-2}l、T_2x$;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、断控;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):大观(3 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、 $P_{2-3}lh-P_{1-2}sd$ 之间 SBT;赋矿地层: $P_{2-3}lh$;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:断控为主,层控次之;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 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: $P_{2-3}lh-P_{1-2}sd$ 之间 SBT、断裂;赋矿地层: $P_{2-3}lh$ 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、断控;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: $P_{2-3}lh-P_{1-2}sd$ 之间 SBT、断裂;赋矿地层: $P_{2-3}lh$;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、断控;热液蚀变:黄铁矿化、硅化、方解石化、褐铁矿化

金,但资源不明,潜力不清,生产无助。为破解难题,团队受邀开展研究。通过调查研究,识别出矿山正在开采部分不是构造蚀变体风化残留与茅口灰岩喀斯特凹冲中氧化矿体,而更应该是龙潭组中的层状碳酸盐岩型矿体的氧化产物。基于 P_3l-P_2m 之间构造蚀变体(SBT)呈“面状”展布及背斜核部狭窄空间控矿规律,认为工作区位于背斜近核部,深部具有找矿潜力。2016年开展工程化验证,发现龙潭组中的层状碳酸盐岩型矿体和 SBT 中的角砾岩型矿体,矿体埋深 20~100 m,为矿山企业提供了资源保障,预测资源量 5 t。

5.3 大麦地

20世纪90年代发现区内存在赋存于茅口灰岩喀斯特凹冲中的氧化矿体,研究认为金矿体为峨眉山玄武岩风化残留次生淋滤富集的产物(王砚耕等,2000)。基于 $P_3l-P_2\beta$ 之间存在构造蚀变体(SBT)的新认识,认为莲花山背斜发现的茅口灰岩喀斯特凹冲中的氧化矿体为构造蚀变体(SBT)之风化氧化产物,背斜近轴部可能存在原生金矿体,据此于2008年实施工程化验证,发现了矿体埋深 100~300 m 的原生金矿体,估算资源量 6 t,实现峨眉山玄武岩分布区金矿找矿新突破,拓展找矿空间(吴小红等,2013;Li Junhai et al.,2021)。

5.4 架底

基于大麦地金矿新突破,分析莲花山背斜架底地区成矿条件,识别出早期发现的金矿化点实为构

造蚀变体的出露点,位于莲花山背斜之次级揉褶带,2010年实施工程化验证,发现赋存于构造蚀变体中的矿体和峨眉山玄武岩层间破碎带中的原生金矿体(王大福等,2014;Li Junhai et al.,2021),矿体埋深 100~500 m,初步估算金资源量 64 t,实现峨眉山玄武岩分布区金矿找矿重大突破。

5.5 泥堡

20世纪90年代初发现金矿体,2007年提交勘探报告,提交金资源量 22 t。为实施深部找矿,2010年,项目组接受委托并开展系统研究,发现早期勘探之二龙抢宝背斜为牵引褶皱,矿体为赋存于 P_3l-P_2m 之间的构造蚀变体(SBT)中,形成牵引褶皱的断裂具有矿化信息,区内低缓地带分布的氧化矿体为卷入滑坡体中的构造蚀变体(SBT)的风化氧化产物,认为断裂带及其下盘构造具有良好的找矿空间,2010年实施工程化验证(刘建中等,2017)。发现断裂型金矿体和断层下盘的层状矿体,矿体埋深 200~800 m,仅对断裂型矿体进行勘探,新增金资源量 48 t,实现老矿区和最高勘查阶段区块范围内找矿的重大突破。

6 结论

(1) 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。构造蚀变体(SBT)类型包含平行不整合型、角度不整合型和岩层界面型,该地质体既是最直观的找矿

预测标志,又是重要的容矿空间。

(2) 区内几乎所有沉积地层均可以成为容矿地层,几乎所有的岩石均可以成为容矿岩石,具体到某个矿区又对地层具有选择性,既展现了卡林型金矿容矿地层的多样性和容矿岩石的多样性,又突出了其区域成矿的特殊性。

(3) 燕山期太平洋板块向西平板俯冲过程中,华夏地块与扬子地块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的体积极其庞大的富金地壳发生重熔,形成与隐伏花岗岩有关的含矿热液,可能是金成矿最主要的动力学过程。

(4) 近年来基于系统研究成果,指导找矿实践,贵州实现卡林型金矿找矿历史性突破,新增金资源量 363 t。贵州黔西南地区圈定预测区 21 个,预测 2000 m 以浅金资源量 1510 t,找矿前景广阔。

致谢:在本文撰写过程,多位专家和教授提出了宝贵的意见和建议,审稿专家对本文提出了建设性的修改意见,在此一并致谢!

注释 / Note

① 刘建中,王大福,王泽鹏,杨成富.2021.黔西南金矿资源潜力评价与深部找矿预测.贵阳:贵州省地质矿产勘查开发局—〇五地质大队。

参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 陈懋弘,吴六灵, Uttley P J, Norman T, 郑建民,秦运忠. 2007. 贵州锦丰(烂泥沟)金矿床含砷黄铁矿和脉石英及其包裹体的稀土元素特征. 岩石学报, 23(10): 2423~2433.
- 董文斗. 2017. 右江盆地南缘辉绿岩容矿金矿床地球化学研究. 导师: 苏文超. 中国科学院大学(中国科学院地球化学研究所) 博士学位论文.
- 杜远生, 杨江海, 黄虎. 2014. 右江造山带海西—印支期沉积地质学. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 高伟. 2018. 桂西北卡林型金矿成矿年代学和动力学. 导师: 胡瑞忠. 中国科学院大学(中国科学院地球化学研究所) 博士学位论文.
- 贾大成, 胡瑞忠. 2001. 滇黔桂地区卡林型金矿床成因探讨. 矿床地质, 20(4): 378~384.
- 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. 导师: 李建威. 中国地质大学(武汉) 博士学位论文.
- 李松涛, 刘建中, 夏勇, 王泽鹏, 谢卓君, 谭亲平, 周光红, 张兵强, 谭礼金, 蒙明华, 郑禄林. 2022. 黔西南泥堡—包谷地卡林型金矿田热液矿物地球化学特征及其地质意义. 地质论评, 68(2): 551~570.
- 刘宝珺, 许效松. 1994. 中国南方岩相古地理图集. 北京: 科学出版社.

- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富, 祁连素, 王大福, 徐良易, 李俊海, 胡承伟, 吴文明. 2015. 贵州西南部 SBT 分布区金锑成矿机制与成矿模式. 矿物学报, 35(S1): 895~896.
- 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. 见: 首届全国矿产勘查大会论文集. 中国地球物理学会金属矿勘查专业委员会: 1061~1066.
- 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. 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 与金锑成矿找矿. 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. 贵州地质, 27(3): 178~184.
- 刘建中, 陈景河, 陈发恩. 2020. 贵州省贞丰县水银洞金矿外围详查. 中国科技成果, 21(2): 78~79.
- 刘建中, 邓一明, 刘川勤, 张兴春, 夏勇. 2006. 贵州省贞丰县水银洞层控特大型金矿成矿条件与成矿模式. 中国地质, 33(增1): 169~177.
- 刘建中, 李建威, 周宗桂, 王泽鹏, 陈发恩, 祁连素, 杨成富, 侯林, 靳晓野, 李俊海, 杨炳南, 徐良易, 张明, 张锦让, 谭礼金, 李松涛, 龙成雄, 付芝康, 何彦南, 蒙明华, 汪小勇. 2017. 贵州贞丰—普安金矿整装勘查区找矿与研究新进展. 贵州地质, 34(4): 244~254.
- 刘建中, 王泽鹏, 李俊海. 2016. 贵州西南部 SBT 与金矿成矿动力学及找矿预测地质模型. 地质论评, 62(增1): 117~118.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富. 2018. 南盘江—右江成矿区多层次构造滑脱与金矿成矿找矿. 见: 第十四届全国矿床会议论文摘要集. 石家庄: 中国地质学会: 1075~1076.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富. 2017. 南盘江—右江成矿区金矿成矿模式构想. 矿物学报, 37(增1): 139~140.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富. 2020. 中国南方卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统. 中国科技成果, 21(4): 49~51.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富等. 2020. 中国南方卡林型金矿成矿区构造蚀变体判别与找矿. 见: 第十五届全国矿床会议论文集(专题19: 大数据与矿产预测评价): 711~713.
- 刘建中, 杨成富, 王泽鹏. 2017. 贵州贞丰县水银洞金矿床地质研究. 中国地质调查, 4(3): 32~41.
- 刘增铁, 刘远辉, 周琦. 2015. 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. 北京: 中国原子能出版社.
- 聂爱国. 2007. 黔西南卡林型金矿的成矿机制及成矿预测. 导师: 秦德先. 昆明理工大学博士学位论文.
- 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. 岩石学报, 19(4): 785~791.
- 皮桥辉, 胡瑞忠, 彭科强, 吴建标, 韦朝文, 黄勇. 2016. 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. 岩石学报, 32(11): 3331~3342.
- 王大福, 刘建中, 熊灿娟. 2014. 贵州省盘县架底金矿矿石特征初步研究. 贵州大学学报, 31(6): 55~60.
- 王登红. 2000. 卡林型金矿找矿新进展及其意义. 地质地球化学, 28(1): 92~94.
- 王砚耕, 陈履安, 李兴中. 2000. 贵州西南部红土型金矿. 贵阳: 贵州科技出版社.
- 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. 贵州地质, 30(4): 283~288.

- 夏勇, 张瑜, 苏文超, 陶琰, 张兴春, 刘建中, 邓一明. 2009. 黔西南水银洞层控超大型卡林型金矿床成矿模式及成矿预测研究. 地质学报, 83(10): 1473~1482.
- 夏勇. 2005. 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. 导师: 涂光炽. 中国科学院地球化学研究所博士学位论文.
- 谢卓熙. 2000. 广西田林高龙金矿地质特征及成因. 黄金科学技术, 8(5): 28~36.
- 曾国平. 2018. 黔西南矿集区西段微细浸染型金矿构造控矿作用研究. 导师: 姚书振. 中国地质大学(武汉)博士学位论文.
- 朱赖民, 金景福, 何明友, 胡瑞忠, 刘显凡. 1998. 黔西南微细浸染型金矿床深部物质来源的同位素地球化学研究. 长春科技大学学报, (1): 39~44.
- Chen Maohong, Mao Jingwen, Phillip J U. 2007&. Structure analysis and structural metallogenesis of Jinfeng(Lanni-gou) gold deposit in Guizhou Province. Mineral Deposits, 26(4): 380~396.
- Cline J S, Muntean J L, Gu Xuexiang. 2013. A comparison of Carlin-type gold deposits: Guizhou Province, golden triangle, southwest China, and northern Nevada, USA. Earth Science Frontiers, 20: 1~18.
- Dong Wendou. 2017&. Geochemistry of diabase host gold deposits in the southern margin of Youjiang Basin. Supervisor: Su Wenchao. University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences), Doctoral Dissertation.
- Du Yuansheng, Yang Jianghai, Huang Hu. 2014&. Hercynian and Indosinian Sedimentary Geology in Youjiang Orogenic Belt. Hubei: China University of Geosciences Press.
- Gao Wei. 2018&. Metallogenic chronology and dynamics of Carlin-type gold deposits in northwestern Guangxi. Supervisor: Hu Ruizhong. University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences), Doctoral Dissertation.
- Hou Lin, Peng H J, Ding J, Zhang J R. 2016. Textures and in situ chemical and isotopic analyses of pyrite, Huijiabao Trend, Youjiang Basin, China: Implications for paragenesis and source of sulfur. Economic Geology, 111(2): 331~353.
- Hu Ruizhong, Su Wenchao, Bi Xianwu. 2002. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China. Mineralium Deposita, 37(3~4): 378~392.
- Hu Ruizhong, Fu Shanling, Huang Yong. 2007. The giant South China Mesozoic low-temperature metallogenic domain: Reviews and a new geodynamic model. Journal of Asian Earth Sciences, 2017. 137: 9~34.
- Jia Dacheng, Hu Ruizhong. 2001&. Genesis of Carlin-type gold deposits in Dian-Qian-Gui area. Mineral deposits, 20(4): 378~384.
- Jin Xiaoye. 2017&. Metallogenic characteristics and genesis of Nipu, Quicksilver Cave and Yata gold deposits in Southwestern Guizhou Province. Supervisor: Li Jianwei. China University of Geosciences (Wuhan), Doctoral Dissertation,
- Li Junhai, Wu Pan, Xie Zhuojun, Liu Jianzhong. 2021. Alteration and paragenesis of the basalt-hosted Au deposits, southwestern Guizhou Province, China: Implications for ore genesis and exploration. Ore Geology Reviews, 131: 1~20.
- Li Songtao, Liu Jianzhong, Xia Yong. 2022&. Geological and geochemical significance of hydrothermal minerals from Nibao—Baogudi Carlin-type gold ore field in Southwestern Guizhou, Geological Review, 68(2): 1~21.
- Liu Baojun, Xu Xiaosong. 1994&. Lithofacies paleogeography atlas of South China. Beijing: Science Press.
- Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Li Junhai. 2015&. Metallogenic mechanism and model of gold antimony deposits in the SBT area of. Acta Mineralogica Sinica, 35(S1): 895~896.
- Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Song Weifang, Wang Dafu, Yang Chengfu, Li Junhai, Zheng Lulin, Li Songtao, Tan Qiping, Xie Zhuojun, Chen Fa'en, Qin Yongjun, Yang Yuhong, Tan Lijin, Xu Liangyi, Wang Xiaoyong. 2021&. Study on the metallogenic regularity and metallogenic regularity of Xilaokou gold deposit, Shandong Province. Special Committee of Metal Ore Exploration, Chinese Geophysical Society: 1061~1066.
- Liu Jianzhong, Xia Yong, Tao Yan, Fu Shaohong, Yang Chengfu, Wang Zepeng, Wu Wenming, Tan Qiping, Chen Rui. 2017&. Study on SBT in Southwest Guizhou. Wuhan: China University of Geosciences Press.
- Liu Jianzhong, Xia Yong, Tao Yan. 2014&. The relation between SBT and Gold—antimony deposit metallogenesis and prospecting in southwest Guizhou. Guizhou Geology, 31(4): 267~272.
- Liu Jianzhong, Yang Chenfu, Xia Yong. 2010&. Sbt study and ideas in platform lithofaices area in the southwest Guizhou. Guizhou Geology, 27(3): 178~184.
- Liu Jianzhong, Chen Jinghe, Chen Fa'en. 2020&. Study on the metallogenic regularity and prospecting direction of Xilaokou gold deposit, Guizhou Province. China's Scientific and Technological Achievements, 21(2): 78~79.
- Liu Jianzhong, Deng Yiming, Liu Chuanqin. 2006&. Metallogenic conditions and metallogenic model of stratabound superlarge gold deposit in Shuixiudong, Zhenfeng County, Guizhou Province, Geology in China, 33(s1): 169~177.
- Liu Jianzhong, Li Jianwei, Zhou Zonggui. 2017&. Metallogenic regularity and prospecting direction of Zhaishang gold deposit, Shandong Province. Guizhou geology, 34(4): 244~254.
- Liu Jianzhong, Wang Dafu, Wang Zepeng, Yang Chengfu. 2021&. Evaluation of gold resource potential and demonstration of deep prospecting prediction in Southwest Guizhou Province. Guiyang: 105th Geological Team of Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development.
- Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Li Junhai. 2016&. The SBT and metallogenic dynamics of gold deposit and prospecting predication geological model in southwest Guizhou. Geological Review, 62(S1): 117~118.
- Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Li Junhai. 2018. Multi level structural detachment and gold ore prospecting in Nanpanjiang—Youjiang metallogenic area. Proceedings of the 14th National Conference on mineral deposits. Shijiazhuang: Geology of China, 1075~1076.
- Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Li Junhai. 2017&. Metallogenic model of gold deposits in Nanpanjiang—Youjiang metallogenic area. Acta Mineralogica Sinica, 37(S1): 139~140
- Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Li Junhai. 2020a. Multi level tectonic detachment metallogenic system of Carlin-type gold deposits in South China. China Science and Technology Achievements, 21(4): 49~51.
- Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Yang Chengfu. 2020b. Structural alteration discrimination and prospecting of Carlin type gold deposit in southern China. Proceedings of the 15th National Conference on Mineral Deposits: 711~713.
- Liu Jianzhong, Yang Chenfu, Wang Zepeng. 2017. Geological research of Shuiyindong gold deposit in Zhenfeng county, Guizhou. Geological

- Survey of China ,4(3) : 32~41.
- Liu Zengtie , Liu Yuanhui , Zhou Qi. 2015&. Metallogenic characteristics , resource potential and selection of important metallogenic belts in China. Nanpanjiang —Youjiang metallogenic region. Beijing: China Atomic Energy Press.
- Nie Aiguo. 2007&. Metallogenic regularity and prospecting direction of Xilaokou gold deposit ,Southwest Guizhou Province. Supervisor: Qin Dexian. Kunming University of Science and Technology , Doctoral dissertation.
- Peng Jiantang , Hu Ruizhong , Jiang Guohao. 2003&. Geochemical characteristics and prospecting potential of Xilaokou gold deposit , Shandong Province. Acta Petrologica Sinica ,19(4) : 785~791.
- Peng Yiwei , Gu Xuexiang , Zhang Yimin. 2014. Ore-forming process of the Huijiabao gold district ,southwestern Guizhou Province , China: Evidence from fluid inclusions and stable isotopes. Journal of Asian Earth Sciences ,93: 89~101.
- Pi Qiaohui , Hu Ruizhong , Peng Keqiang. 2016&. Geological characteristics and prospecting potential of the Zesang gold deposit in Funing ,Yunnan province. Acta Petrologica Sinica ,32(11) : 3331~3342.
- Su Wenchao , Heinrich C A , Pettke T. 2009. Sediment-hosted gold deposits in Guizhou , China: Products of wall-rock sulfidation by deep crustal fluids. Economic Geology ,104(1) : 73~93.
- Wang Dafu ,Liu Jianzhong ,Xiong Canjuan. 2014&. Preliminary study on ore characteristics of Jiadi Gold deposit in Panxian County ,Guizhou Province. journal of guizhou university ,31(6) : 55~60.
- Wang Denghong. 2000&. New progress and significance of forest type gold deposit prospecting. Geology and geochemistry ,28(1) : 92~94.
- Wang Yangeng , Chen Lu ' an , Li Xingzhong. 2000&. Laterite Gold Deposit in Southwest Guizhou. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press.
- Song Weifang , Wu Pan , Liu Jianzhong. 2022. Genesis of Gaolong Au deposit northwestern Guangxi Province ,China: Insights from in situ trace elements and sulfur isotope of pyrite. Ore Geology Reviews , 131: 1~50.
- Wu Xiaohong , Cheng Penglin , Xiao Chenggang. 2013&. Geological characteristics of damadi gold deposit in western guizhou province. Guizhou geology ,30 (4) : 283~288.
- Xia Yong , Zhang Yu , Su Wenchao. 2009&. Metallogenic model and prognosis of the Shuiyindong super-large stratabound Carlin-type gold deposit , Southwestern Guizhou Province , China. Acta Geologica Sinica ,83(10) : 1473~1482.
- Xia Yong. 2005&. Metallogenic regularity and prospecting direction of Yuhengtang gold deposit , Shandong Province. Supervisor: TU Guangchi. Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Doctoral dissertation.
- Jin Xiaoye , Albert Hofstra , Andrew Hunt , Liu Jianzhong , Yang Wu , Li Jianwei. 2020. Noble gases fingerprint the source and evolution of ore-forming fluids of Carlin-type gold deposits in the golden triangle , South China. Economic Geology ,115: 455~469
- Xie Zhuojun , Xia Yong , Cline Jean. 2018. Are there Carlin-type gold deposits in China? A comparison of the Guizhou , China , deposits with Nevada , USA , Deposits. Reviews in Economic Geology ,20: 187~233.
- Xie Zhuoxi. 2012&. Geological characteristics and prospecting potential of Yuhengtang gold deposit , Shandong Province. Gold Science and Technology ,20 (4) : 43~51.
- Zeng Guoping. 2018&. Study on the tectonic control of the fine disseminated gold deposit in the western section of the ore concentration area in southwestern Guizhou province. Ph. D. Thesis , China University of Geosciences (Wuhan) .
- Zheng Lulin , Yang Ruidong , Gao Junbo , Chen Jun , Liu Jianzhong , Li Depeng. 2019. Quartz Rb-Sr isochron ages of two type orebodies from the Nibao Carlin-type gold deposit ,Guizhou ,China. Minerals: 1~15.
- Zhu Laimin , Jin Jingfu , He Mingyou. 1998&. Isotope geochemistry of deep material sources of the fine grained disseminated gold deposits in southwestern Guizhou province. Journal of changchun university of science and technology ,28(1) : 37~42.

Construction and prospecting practice of multilevel structural detachment metallogenic system of Carlin-type gold deposits in Yunnan—Guizhou—Guangxi area

LIU Jianzhong^{1,3)}, WANG Zepeng^{2,3)}, SONG Weifang⁴⁾, WANG Dafu²⁾, YANG Chengfu^{2,3)},
LI Junhai^{2,3)}, ZHENG Lulin⁴⁾, LI Songtao^{2,3)}, TAN Qinpeng⁵⁾, XIE Zhuojun⁵⁾,
CHEN Faen²⁾, QIN Yongjun^{1,3)}, YANG Yuhong^{3,6)}, TAN Lijin²⁾,
XU Liangyi²⁾, LIU Jingke²⁾, WANG Xiaoyong²⁾

1) *Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Guiyang, 550004;*

2) *The 105 Geological Team, Guizhou Geology and Mineral Bureau, Guiyang, 550018;*

3) *Technology Innovation Center of Mineral Resources Explorations in Bedrock Zones, Ministry of Natural Resources, Guiyang, 550081;*

4) *Guizhou University, Guiyang, 550025;*

5) *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550081;*

6) *Guizhou Provincial Bureau of Land and Mineral Resources Reserves, Guiyang, 550081*

Abstract: Nanpanjiang—Youjiang metallogenic area is one of the most important gold resources producing areas in China, where Carlin type gold deposits are concentrated in south China. Based on the sedimentary system, formation system, rock system, tectonic system, geochronology system, material system, positioning system dynamic system expand the connotation of tectonic erosion variation, to establish the discriminant index, expounded that they can occur not only between unconformities, but also between rocks with large differences in permeability, build the card cover type of gold deposits in multi-level tectonic slippage metallogenic system of southern China, and a comprehensive model for regional prospecting prediction of Carlin type gold deposit in Guizhou province is established. Based on the constructed metallogenic system and prediction model, the regional metallogenic prediction was carried out, the prospecting target area was delineated, the prospecting practice under the guidance of theory was carried out, and the historic breakthrough of Guizhou Carlin-type gold deposit was realized.

Keywords: structural alteration body; metallogenic system; carlin type gold deposit; South China

Acknowledgments: This paper is a project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. U1812402) and so on. We thank reviewers and many experts and professors who have put forward opinions and suggestions on the writing of this manuscript.

First author: LIU Jianzhong, male, born in 1966, professor, doctoral supervisor, is mainly engaged in gold and phosphate deposits mineralization and prospecting; Email: 2585364825@qq.com

Manuscript received on: 2022-03-03; Accepted on: 2022-08-16; Network published on: 2022-08-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2022.08.065

Edited by: ZHANG Yuxu