

黔西南两类容矿围岩金矿对比及对深部找矿勘查的指示

李俊海^{1,2}, 吴攀^{3,4*}, 刘建中^{2,5}, 张双菊⁶, 王泽鹏^{1,2}, 谢卓君⁷, 杨成富^{1,2}, 陈发恩¹, 张兵强¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局—0五地质大队; 2. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心;
3. 喀斯特地质资源与环境教育部重点实验室; 4. 贵州大学资源与环境工程学院; 5. 贵州省地质矿产勘查开发局;
6. 贵州理工学院资源与环境工程学院; 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)

摘要:黔西南是中国著名的卡林型金矿集区,已查明金资源量约750 t,特别是近年来在该地区新发现了玄武岩容矿金矿,以架底大型金矿床、大麦地中型金矿床为典型代表,取得了新的找矿突破和认识,至此,该地区原生金矿容矿围岩主要有玄武岩和沉积岩两类。通过对黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿进行对比分析研究,认为:①卡林型金矿的定义可能存在一定局限性,需进一步拓展,黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿典型特征相似,可能形成于同一区域成矿事件,是同一区域岩浆热液成矿作用形成的卡林型金矿,在深部勘查与研究工作中应系统考虑;②构造(背斜、穹隆、断裂、SBT)+有利岩石组合(厚度大于100 m的碳酸盐岩与上覆厚度大于50 m的碎屑岩或玄武岩/凝灰岩)+Au-As-Sb-Hg-Tl组合异常+围岩蚀变(硅化、黄铁矿化、毒砂化),可能指示深部存在卡林型金矿;③玄武质岩石也是卡林型金矿很好的赋矿围岩,卡林型金矿容矿岩石、容矿地层具有多样性,几乎区内所有岩石和地层均可以成为卡林型金矿的容矿岩石和容矿地层,但具体到某一个特定的矿床时,往往有特定的就位地层和特殊的容矿围岩。

关键词:玄武岩容矿金矿;沉积岩容矿金矿;卡林型金矿;深部找矿勘查;黔西南;SBT

中图分类号:TD11 P618.51

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1001-1277(2023)07-0029-08

doi:10.11792/hj20230705



引言

1978年,首次在黔西南册亨县发现板其金矿床,其地质特征与美国卡林型金矿有诸多类似,被认为是中国最早发现的卡林型金矿^[1]。之后,在黔西南发现了大量卡林型金矿,使黔西南成为滇黔桂“金三角”乃至全国、全球卡林型金矿的重要组成部分及黄金产地^[2]。贵州省地质矿产勘查开发局—0五地质大队根据黔西南地区金成矿与找矿建立的成矿模式^[3-4],认为黔西南玄武岩分布区具有与黔西南卡林型金矿相似原生金矿的找矿潜力,并开展相关勘查与研究,通过大量深部钻探工程验证,于近年新发现了赋存于玄武质岩石中的原生金矿,相继新发现了大麦地中型金矿床和架底大型金矿床,在贵州西部玄武岩分布区乃至全国玄武岩分布区实现了原生金矿的重大找矿突破。至此,该地区原生金矿容矿围岩主要有玄武岩和沉积岩两类,经过前人多年对黔西南卡林型金矿的研究及勘查工作,在矿床地质特征、分布

规律、矿床成因、成矿预测等方面取得了诸多研究进展^[5-15],本文将对其进行归纳、总结,并将黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿进行对比分析研究,探讨近年来新发现的玄武岩容矿金矿与其他沉积岩容矿金矿的异同,是否属于同一成矿系统,期望对该地区卡林型金矿深部勘查及成矿预测提供帮助。

1 研究区成矿地质背景

研究区大地构造位置处于特提斯—喜马拉雅与滨太平洋两大全球构造域接合部位东侧的扬子陆块与华夏陆块2个次级构造单元接合部位,位于由北东向弥勒—师宗、北西向南丹—昆仑关、东西向个旧—宾阳3条区域性深大断裂所围限的滇黔桂“金三角”北部(见图1)。研究区主要出露泥盆系至三叠系地层,以三叠系广布为特征,二叠系次之,泥盆系和石炭系仅见于少数背斜核部,泥盆系至二叠系地层发育显示了浅海陆棚台盆、台沟、台槽相交替的沉积特色,岩性均以碳酸盐岩为主,夹细碎屑岩和硅质岩。在三叠

收稿日期:2023-04-07;修回日期:2023-04-18

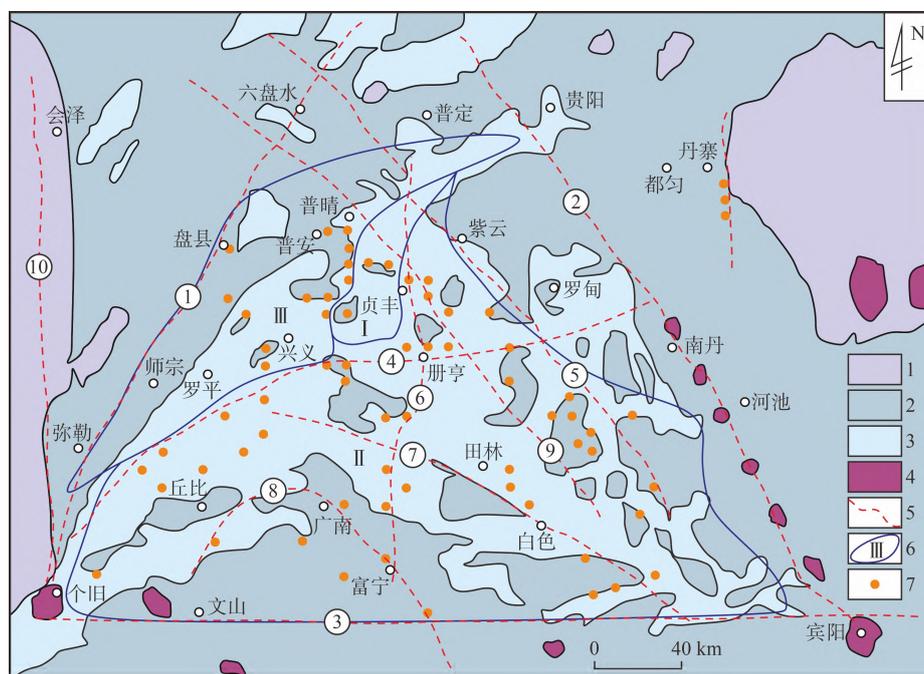
基金项目:国家自然科学基金联合基金项目(U1812402);国家自然科学基金青年科学基金项目(41802088);贵州省科技计划项目(黔科合平台人才-CXTD[2021]007,黔科合平台人才[2018]765);贵州省地质勘查资金项目(520000214TLCOG7DGTNRG)

作者简介:李俊海(1983—),男,正高级工程师,博士,从事金矿成矿与找矿研究工作;E-mail:963886064@qq.com

*通信作者:吴攀(1973—),男,教授,博士,从事矿床地球化学、矿山环境污染过程与控制、水/土壤环境重金属污染与治理修复等研发及教学工作;E-mail:pwu@gzu.edu.cn

纪,大致沿关岭、贞丰、安龙及云南罗平一线,台地相和盆地相的沉积分界渐趋明显,西北部(台地相区)的上二叠统为潮坪相含煤细碎屑岩系,三叠系主要是碳酸盐岩;南东部(盆地相区)的上二叠统仍为碳酸盐岩,三叠系则以细碎屑岩为主,盆地边缘的斜坡相带发育钙屑重力流及浊流沉积。研究区构造变形活动强烈,构造线展布方向复杂,主要为形成于印支期—燕山期的造山型褶皱和断裂,地表轮廓主要定型于燕山期构造活动,构造线展布方向明显受弥勒—师宗、南丹—昆仑关、个旧—宾阳等区域性深大断裂的影响和控制,后期褶皱和断裂展布方向与附近区域深大断裂的展布方向大体一致,并呈现多期构造叠加的特征。研究区内的岩浆岩主要为伴随峨眉山山地幔热柱活动形成的峨眉山玄武岩,假整合于中二叠统茅口

组灰岩之上,分布较广泛,其次为凝灰岩和辉绿岩。根据重磁数据研究的相关资料^[16],研究区隐伏数十个大小不等的岩体,以中酸性岩体为主,另有少量基性—超基性岩体,已发现的金矿床除百地金矿床以外,其他金矿床均位于中酸性岩体的分布区内,无中酸性岩体分布的位置,几乎没有金矿产出,显示黔西南卡林型金矿的成矿作用可能与深部隐伏中酸性岩体密切相关。此外,重磁推断研究区内隐伏断裂非常发育,并表现出多期构造叠加组合的特点,这为深部流体向上运移提供了有利条件。研究区内大多数已知矿床(点)均分布在 Au-As-Sb-Hg 组合异常区内,另外,在多个 Au-As-Sb-Hg 组合异常区或 Au 异常区内还未发现具有一定规模的矿床,说明研究区仍有较好的深部找矿潜力^[17]。



1—元古宇—震旦系 2—古生界 3—三叠系 4—花岗岩体 5—深大断裂 6—金成矿区带及编号

7—金矿床(点) ①—弥勒—师宗深大断裂 ②—南丹—昆仑关深大断裂 ③—个旧—宾阳深大断裂 ④—开远—平塘深大断裂

⑤—紫云—娅都深大断裂 ⑥—普定—册亨深大断裂 ⑦—右江深大断裂 ⑧—文山—广南—富宁弧形深大断裂 ⑨—晴隆—册亨深大断裂

⑩—小江深大断裂 I—兴仁—安龙金矿带 II—右江金矿带 III—晴隆—罗平金矿带

图1 滇黔桂“金三角”地质简图(据文献[15]修改)

黔西南位于中国26个重点成矿区(带)之一的南盘江—右江成矿区北段,为华南低温成矿域重要的多金属矿床富集地,产出了金、锑、汞、砷、铅锌等一系列中低温热液矿床,以金矿床最具特色。研究区卡林型金矿成群成带分布,形成了卡林型金矿集区,主要包含水银洞和烂泥沟2个超大型金矿床和泥堡、架底、紫木凶、太平洞、丫他、戈塘等特大型、大型金矿床和若干中、小型金矿床^[18-19],已查明金资源量约750 t。其中,架底大型金矿床、大麦地中型金矿床是近年来在玄武岩分布区新发现的以玄武质岩石为主

要容矿围岩的典型矿床代表,查明金资源量约65 t,显示该区具有很好的找矿潜力。

2 典型矿床地质特征

黔西南原生金矿按容矿岩石划分,主要有两种类型:一是玄武岩容矿金矿,以架底大型金矿床和大麦地中型金矿床为典型代表,因其是近年新发现的,相关研究较少;二是沉积岩容矿金矿,以水银洞和烂泥沟2个超大型金矿床和泥堡特大型金矿床为典型代表,相关研究较多。各典型矿床地质特征简述如下。

2.1 盘州市架底金矿床

架底金矿床受北东向的莲花山背斜及构造蚀变体(SBT)控制,处于莲花山背斜中段的南东翼次级揉褶带中(见图2),矿体主要有2种类型:一是产于中二叠统茅口组与中—上二叠统峨眉山玄武岩组之间沉积间断面—不整合界面附近的构造蚀变体中(I矿体),二是产于峨眉山玄武岩组第二段的层间破碎蚀变带中(II矿体),矿体呈层状、似层状,产状与岩层产状基本一致。I矿体与II矿体在平面上呈不规则状展布于次级揉褶带的600~1000 m宽的范围内,2层含矿体之间的垂直间距为4~98 m,在空间上呈上、下叠置关系且基本重叠(见图3)。I矿体容矿岩石主要为角砾状凝灰岩,其次为角砾状玄武质火山角砾岩,局部为角砾状玄武岩、角砾状灰岩,矿体长55~1930 m,宽50~330 m;II矿体容矿岩石主要为玄武质火山角砾岩,局部为凝灰岩、玄武岩。矿体长

170~2940 m,宽30~570 m。金属矿物主要有含砷黄铁矿、毒砂、磁铁矿、钛铁矿、钙—镁菱铁矿、金红石、雄黄、辉锑矿、雌黄、赤铁矿、褐铁矿;非金属矿物主要有斜方辉石、单斜辉石、斜长石、磷灰石、方解石、石英、伊利石、(铁)白云石、绿泥石。矿石结构主要有自形—半自形—他形粒状结构、隐晶质结构、莓状结构、球状结构、胶状结构、自形晶结构、交代结构、假象结构、碎裂结构;矿石构造主要有稀疏浸染状构造、脉(网脉)状构造、晶洞状构造、生物遗迹构造、角砾状构造、块状构造。围岩蚀变类型以硅化、黄铁矿化为主,次为毒砂化、白云石化、黏土化、雄雌黄化、绿泥石化等。其中,与成矿关系密切的有硅化、黄铁矿化、毒砂化、黏土化、白云石化。金主要以不可见金形式赋存于含砷黄铁矿和毒砂中,部分矿体因受后期风化—氧化作用,金以游离金形式存在。该矿床具有Au—As—Sb—Hg—Tl组合异常。

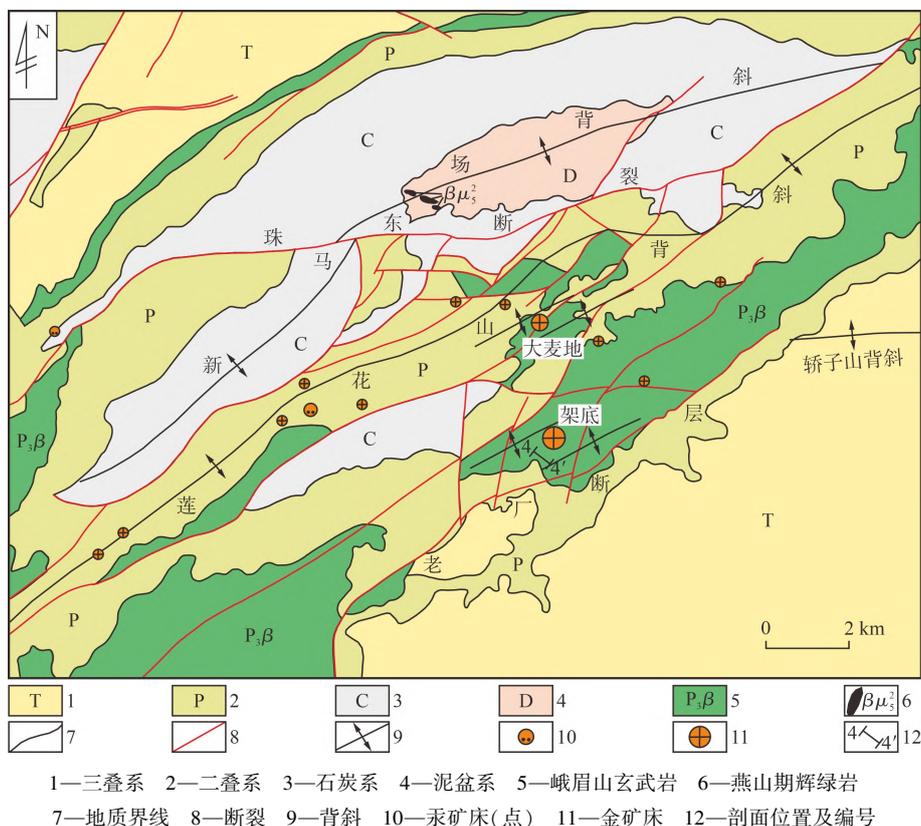
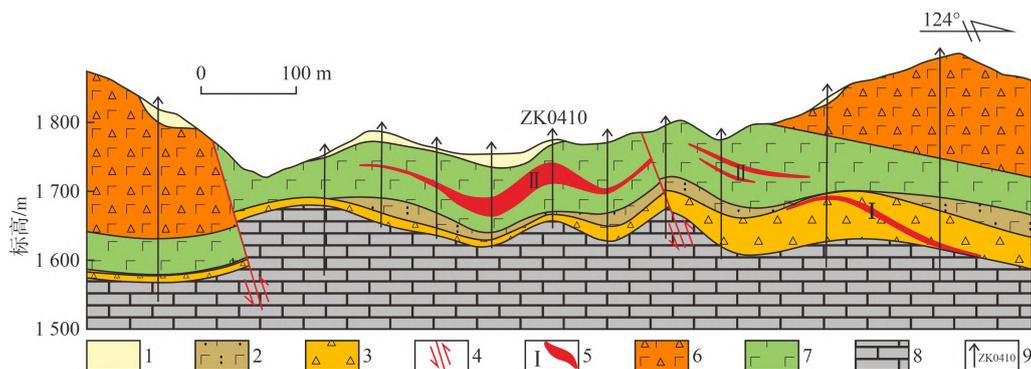


图2 莲花山地区地质简图(据文献[8]修改)

2.2 盘州市大麦地金矿床

大麦地金矿床地质特征与架底金矿床基本一致,受北东向的莲花山背斜及构造蚀变体控制,处于莲花山背斜核部中段南东翼次级揉褶带中,矿体主要有2种类型:一是产于中二叠统茅口组与中—上二叠统峨眉山玄武岩组之间沉积间断面—不整合界面附近的构造蚀变体中(I矿体);二是产于峨眉山玄武岩组第一段地层中(II矿体),矿体呈层状、似层状,产状与岩层产状基本一致;2层含矿体之间的垂直间距

为10~40 m。I矿体容矿岩石主要为角砾状灰岩、角砾状凝灰岩、角砾状玄武岩、火山角砾岩,矿体长40~600 m,宽30~250 m;II矿体容矿岩石主要为凝灰岩、玄武质火山角砾岩,矿体长50~150 m,宽30~110 m,矿体连续性较差,规模较小,走向和倾向上延伸小于200 m。金属矿物主要有含砷黄铁矿、毒砂、磁铁矿、钛铁矿、钙—镁菱铁矿、金红石、雄黄、辉锑矿、雌黄、赤铁矿、褐铁矿;非金属矿物主要有斜方辉石、单斜辉石、斜长石、磷灰石、方解石、石英、伊利石、



1—第四纪 2—凝灰岩 3—角砾岩 4—断裂 5—矿体及编号 6—火山角砾岩 7—拉斑玄武岩 8—灰岩 9—钻孔及编号

图3 架底金矿床4 勘探线剖面图(据文献[8]修改)

(铁)白云石、绿泥石。矿石结构主要有碎裂结构、半自形—他形结构和交代结构;矿石构造主要有浸染状构造、块状构造、条带状构造和脉状构造。与成矿关系密切的围岩蚀变类型主要有硅化、黄铁矿化、毒砂化、黏土化。金主要以包裹金形式赋存于含砷黄铁矿和毒砂中,其次赋存于硅酸盐矿物中,另有少量为游离金。该矿床具有 Au - As - Sb - Hg - Tl 组合异常。

2.3 贞丰县水银洞金矿床

水银洞金矿床受近东西向的灰家堡背斜及构造蚀变体控制,矿体主要赋存于上二叠统龙潭组中,以及中二叠统茅口组与上二叠统龙潭组之间沉积间断面—不整合界面附近的构造蚀变体中,其次是赋存于下三叠统夜郎组一段地层中。矿体形态受有利岩性和构造组合控制,主要有2类:一是呈似层状产于龙潭组、构造蚀变体及夜郎组一段地层中,主矿体分布于灰家堡背斜核部及两翼近 800 ~ 1 000 m 内,产状与岩层产状一致,走向上呈波状起伏并向东倾伏,有多个矿体在空间上呈上下叠置,具有矿层多、品位高、厚度薄的显著特点;二是呈似板状、脉状、透镜状产于龙潭组至夜郎组的切层隐伏断裂破碎蚀变带中。容矿岩石主要为不纯碳酸盐岩(生物碎屑灰岩、泥质灰岩、泥灰岩)及构造蚀变体中的角砾岩,其中以不纯生物碎屑灰岩最为重要。金属矿物主要有黄铁矿、毒砂、赤铁矿、辉锑矿、辰砂、雄黄;非金属矿物主要有石英、方解石、白云石、水云母、绢云母、高岭石、萤石、海绿石、沸石、有机碳、变质沥青。矿石结构主要有草莓状结构、球状结构、胶状结构、自形晶结构、交代结构、假象结构、碎裂结构;矿石构造主要有星散浸染状构造、缝合线构造、脉(网)状构造、晶洞状构造、生物遗迹构造、角砾状构造、条纹状构造、薄膜状构造。金主要呈包裹金、裂隙金,少数以类质同象形式存在于硫化物中,以含砷黄铁矿和毒砂最为重要。围岩蚀变主要有黄铁矿化、白云石化、硅化、毒砂化、雄(雌)黄化、方解石化、辉锑矿化、萤石化、滑石化、辰砂化。其中,黄铁矿化、白云石化、硅化“三化”组合是成矿的

必备条件。该矿床具有 Au - As - Sb - Hg - Tl 组合异常。

2.4 贞丰县烂泥沟金矿床

烂泥沟金矿床受近南北向的赖子山背斜控制,矿体主要赋存于高角度逆冲断裂与背斜的耦合部位、背斜的近轴部层间构造断裂带或滑脱带,其次为层间挤压构造破碎带中,矿体呈似层状、透镜状、脉状,赋矿地层及岩性为中三叠统边阳组 and 许满组陆源碎屑岩。矿石类型以硫化矿石为主,氧化矿石较少且仅分布于浅表风化带。容矿岩石主要为钙质细砂岩和泥岩。金属矿物主要有黄铁矿、毒砂、雄黄、雌黄、辉锑矿、辰砂等;非金属矿物主要有石英、黏土矿物、方解石、白云石、白云母等。矿石结构主要有自形结构、半自形—他形粒状结构、环带结构、交代残余结构;矿石构造主要有浸染状构造、细脉状构造、条带状构造、角砾状构造。金主要以不可见金形式赋存于含砷黄铁矿和毒砂中。围岩蚀变类型有硅化、黄铁矿化、毒砂化、雄雌黄化、辰砂化、辉锑矿化、碳酸盐化、黏土化等,以硅化和黄铁矿化最为普遍且与成矿关系密切。该矿床具有 Au - As - Sb - Hg - Tl 组合异常。

2.5 普安县泥堡金矿床

泥堡金矿床受控于北东向的泥堡背斜、 F_1 断裂及其上盘牵引形成的二龙抢宝背斜、构造蚀变体。矿体主要赋存于 F_1 断裂、二龙抢宝背斜核部附近的中二叠统茅口组与上二叠统龙潭组之间沉积间断面—不整合界面附近的构造蚀变体中,其次赋存于第四系残坡积物和龙潭组地层中,主要有断裂型、层控型和残坡积型3种矿体。断裂型矿体的容矿岩石主要为角砾状砾屑砂岩,其次为角砾状沉凝灰岩、角砾状黏土质粉砂岩、角砾状灰岩;层控型矿体的容矿岩石主要为沉凝灰岩,其次为粉砂岩、粉砂质黏土岩、硅质岩、角砾岩;残坡积型矿体的容矿岩石主要为强风化黏土岩,土黄色、浅黄色、灰白色黏土、砂质黏土等土状矿石,褐铁矿化普遍,矿石较疏松。金属矿物主要有黄铁矿、毒砂、磁铁矿、钛铁矿、锐钛矿、白铁矿、闪

锌矿、磁黄铁矿、菱铁矿；非金属矿物主要有石英、方解石、白云石、高岭石、绢云母、水云母、绿泥石、重晶石。矿石结构主要有砂状结构、岩屑-凝灰碎屑结构、不等粒结构、交代结构、泥晶结构、生物碎屑结构、泥质结构、粉砂泥质结构、凝灰-泥质结构；矿石构造主要有浸染状构造、块状构造、角砾状构造、条带状构造、网脉状构造、气孔状构造、疏松块状构造。围岩蚀变类型主要有硅化、黄铁矿化，其次为毒砂化、绢云母化、辉锑矿化、萤石化、白云石化、绿泥石化、黏土化等。其中，与成矿关系密切的有硅化、黄铁矿化、黏土化。断裂型、层控型矿体中的金主要以不可见金形式赋存于含砷黄铁矿和毒砂中，其次赋存在硅酸盐矿物中，残坡积型矿体中的金主要以游离金形式存在，其次是碳酸盐矿物中的包裹金和硅酸盐矿物中的包裹金。该矿床具有 Au-As-Sb-Hg-Tl 组合异常。

3 玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿对比

黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿典型

表 1 黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿典型特征对比结果

项目	玄武岩容矿金矿	沉积岩容矿金矿
构造背景	该区域经历了早期拉张裂隙、沉积被动边缘海相沉积地层、后期造山及造山后伸展	该区域经历了早期拉张裂隙、沉积被动边缘海相沉积地层、后期造山及造山后伸展
容矿岩石	主要为玄武质火山角砾岩和凝灰岩	主要为生物碎屑灰岩和钙质粉砂岩
控矿构造	莲花山背斜、SBT	背斜、SBT、高角度断裂
矿体类型	主要为层控型	层控型、断控型、复合型(层控型+断控型)
地球化学异常	Au-As-Sb-Hg-Tl 组合异常	Au-As-Sb-Hg-Tl 组合异常
成矿流体特征	低温(190 °C~210 °C), 中低盐度(8%~12%), 富 CO ₂	低温(190 °C~300 °C), 低盐度(<5%), 富 CO ₂ (6%~75%), 还原, 未沸腾
载金矿物	主要为黄铁矿和毒砂, 载金矿物富集 Au、As、Sb、Hg、Tl 和 Cu; 金呈不可见金赋存于黄铁矿和毒砂中	主要为黄铁矿, 少量毒砂, 载金矿物富集 Au、As、Sb、Hg、Tl 和 Cu; 金呈不可见金赋存于黄铁矿和毒砂中
蚀变矿物及蚀变过程	成矿流体与玄武岩岩石发生水-岩反应, 单斜辉石、斜方辉石和斜长石溶解形成似碧玉石英、(Fe-)白云石、伊利石和磷灰石; 流体主要硫化斜方辉石、单斜辉石、磁铁矿、钛铁矿、斜长石中的 Fe, 形成载金黄铁矿和毒砂, 同时形成金红石	成矿流体与富碳酸盐矿物地层发生水-岩反应, 导致去碳酸盐化(方解石溶解)、硅化(似碧玉石英交代碳酸盐矿物)、黏土化(含 K 矿物蚀变为伊利石)、硫化和白云石化; 流体主要硫化 Fe-白云石中的 Fe, 形成载金含砷黄铁矿和毒砂, 同时形成白云石
成矿晚阶段矿物	雄黄、方解石、石英、辉锑矿、雌黄	雄黄、方解石、石英、辉锑矿、雌黄
元素带入带出	Si 含量不变, K 被带入	Si 被带入, K 含量不变
与成矿相关矿物的 S、C-O、H-O、Pb 及全岩 Hg 同位素组成	辉锑矿 S 同位素: -1.90‰~-0.90‰; 白云石 C-O 同位素: C 同位素组成为 -3.24‰~-6.15‰, O 同位素组成为 18.71‰~22.50‰; 石英 H-O 同位素: H 同位素为 -81‰~-56‰, δ ¹⁸ O _{H₂O} (据石英 O 同位素计算) 为 10.9‰~12.5‰。辉锑矿铅同位素, ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb: 19.179~19.292, ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb: 15.589~15.665, ²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb: 39.299~39.356; 全岩汞同位素: δ ²⁰² Hg: -0.63‰~1.38‰, Δ ¹⁹⁹ Hg: -0.02‰~-0.12‰	硫化物 S 同位素: -5‰~5‰, 主要集中在 0‰, 部分矿床为 ~10‰; 方解石 C-O 同位素: C 同位素组成小于 0‰, O 同位素组成为 10‰~25‰; 石英 H-O 同位素: H 同位素为 -75‰~90‰, δ ¹⁸ O _{H₂O} (据石英 O 同位素计算) 为 10‰~14‰; 硫化物铅同位素, ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb: 18.3~19.2, ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb: 15.5~15.7, ²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb: 38.7~39.2; 全岩汞同位素: δ ²⁰² Hg: -1.0‰~0.5‰, Δ ¹⁹⁹ Hg: -0.1‰~0.1‰
成矿机制	硫化围岩中的 Fe 导致形成载金黄铁矿和毒砂	硫化围岩中的 Fe 导致形成载金黄铁矿和毒砂
主要参考文献	[20-24], 本研究	[18-19, 25-31]

特征对比结果见表 1。由表 1 可知, 玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿具有很多相似性, 主要包括: ①构造背景一致, 该区域经历了早期拉张裂隙、沉积被动边缘海相沉积地层、后期造山及造山后伸展的构造演化背景; ②除了受背斜控制, 架底金矿床和大麦地金矿床还受 SBT 控制, 在黔西南 SBT 控制了大量卡林型金矿; ③都具有 Au-As-Sb-Hg-Tl 组合异常、贱金属元素含量低的特征; ④成矿流体总体都具有低温、低盐度特征, 架底金矿床和大麦地金矿床盐度稍高; ⑤蚀变矿物都有似碧玉石英、伊利石、(Fe-)白云石; ⑥载金矿物都有含砷黄铁矿和毒砂, 但架底金矿床和大麦地金矿床中的毒砂较多, 金均以不可见金形式赋存于浸染状载金矿物中, 主要载金矿物均形成于硫化过程; ⑦成矿晚阶段均形成脉状充填的雄黄、方解石、石英、辉锑矿和雌黄; ⑧与成矿相关的矿物 H-O、C-O、S、Pb 及矿石 Hg 同位素组成基本一致, 可能反映了统一的成矿流体来源, 成矿流体可能主要是深部岩浆释放形成的岩浆热液。

黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿的不同之处主要有4个方面:①容矿岩石类型不同,甚至差别较大,一类为岩浆岩,一类为沉积岩;②蚀变矿物不同,玄武岩容矿金矿常含有成矿期金红石和磷灰石,这在沉积岩容矿金矿中较少见;③蚀变过程不同,当成矿流体与玄武岩发生水-岩反应时,流体主要硫化斜方辉石、单斜辉石、磁铁矿、钛铁矿、斜长石中的Fe,形成载金含砷黄铁矿和毒砂,同时形成金红石、似碧玉石英(局部为石英)、(Fe-)白云石(局部为Ca-Mg菱铁矿)、伊利石和磷灰石;当成矿流体与沉积岩发生水-岩反应时,流体主要硫化Fe-白云石中的Fe,形成载金含砷黄铁矿、毒砂、白云石,并产生去碳酸盐化(方解石溶解)、硅化(似碧玉石英交代碳酸盐矿物)及黏土化(含K矿物蚀变为伊利石);④成矿过程中元素的带入带出情况不同,当成矿流体与玄武岩反应时,Si含量不变,K则需要被带入;当成矿流体与沉积岩反应时,Si被带入,而K含量不变。

4 对比结果对卡林型金矿深部找矿勘查的指示作用

1)对比结果表明,虽然玄武岩容矿金矿与黔西南沉积岩容矿金矿具有一些差异性,但主体非常相似。黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿,以及滇黔桂“金三角”其他卡林型金矿可能属于同一成矿系统,它们形成于同一区域成矿事件,这些金矿可能是同一区域岩浆热液成矿作用形成的卡林型金矿,是同一区域岩浆热液成矿作用下的产物,在深部勘查与研究工作中应系统考虑。

2)通过对比研究,结合前人研究成果^[5],区域卡林型金矿就位的地质层有泥盆系郁江组、坡段组、融县组,石炭系英塘组,石炭系一二叠系南丹组,二叠系龙吟组、四大寨组、栖霞组、茅口组、峨眉山玄武岩组、合山组、吴家坪组、领薨组、龙潭组、长兴组,三叠系夜郎组、安顺组、百逢组、许满组、新苑组、边阳组。几乎区内所有地质层均可以成为卡林型金矿的容矿地层,显示了容矿地层的多样性。

3)卡林型金矿的形成与构造密切相关,目前已发现的卡林型金矿无一不与构造(SBT、背斜、穹隆、断裂等)有着密切的内在联系,构造是成矿流体的运移通道,也可以是矿体的就位场所,构造高点(如背斜核部、穹隆等)有利于成矿流体的汇聚及金的富集沉淀,因而是卡林型金矿深部找矿勘查中应关注的对象,特别是背斜核部附近约2 000 m内的构造蚀变体对金矿成矿更为有利,此外,与背斜相关或叠加的逆断裂、次级揉褶带也往往是卡林型金矿的有利产出部

位。莲花山背斜乃至整个玄武岩分布区(具有类似地质特征的区域)具有较好的卡林型金矿找矿前景。

4)卡林型金矿之前被定义为主要产于沉积碳酸盐岩中的、金以不可见金形式赋存于含砷黄铁矿中,具有As、Sb、Hg、Tl等元素组合的特殊金矿类型^[32]。近年来的系列勘查及研究成果显示,玄武质岩石也是卡林型金矿很好的赋矿围岩,区域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、钙质砂岩、泥岩等。几乎区内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,厚度大于100 m的厚层灰岩或白云岩或礁灰岩(下)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)的岩石组合更利于卡林型金矿成矿^[6]。卡林型金矿的定义可能存在一定局限,需进一步拓展。

5)有金矿床(点)分布的地方,均有较明显的Au-As-Sb-Hg-Tl组合异常。Au-As-Sb-Hg-Tl组合异常能够指示深部成矿作用信息,是卡林型金矿找矿的地球化学标志。围岩蚀变均有硅化、黄铁矿化,并且在野外即可快速识别,是卡林型金矿找矿直观的围岩蚀变标志。

5 结论

1)卡林型金矿的定义可能存在一定局限,需进一步拓展。黔西南玄武岩容矿金矿与沉积岩容矿金矿典型特征相似,可能形成于同一区域成矿事件,是同一区域岩浆热液成矿作用形成的卡林型金矿,在深部勘查与研究工作中应系统考虑。

2)构造(背斜、穹隆、断裂、SBT)+有利岩石组合(厚度大于100 m的碳酸盐岩与上覆厚度大于50 m的碎屑岩或玄武岩/凝灰岩)+Au-As-Sb-Hg-Tl组合异常+围岩蚀变(硅化、黄铁矿化、毒砂化)可能指示深部卡林型金矿的存在。

3)玄武质岩石也是卡林型金矿很好的赋矿围岩,卡林型金矿容矿岩石、容矿地层具有多样性,几乎区内所有岩石和地层均可以成为卡林型金矿的容矿岩石和容矿地层,但具体到某一个特定的矿床时,往往有特定的就位地层和特殊的容矿围岩。

致谢:本文撰写过程中,编辑部老师和审稿专家提出了宝贵的修改意见,在此一并感谢!

[参考文献]

- [1] 陈丰,杨科佑,何志海,等.板其金矿原生矿石中发现自然金[J].科学通报,1991,36(23):1 838-1 839.
- [2] 李俊海.贵州西南部架底和大麦地玄武岩中金矿床成矿过程研

- 究[D]. 贵阳:贵州大学,2021.
- [3] 刘建中,刘川勤. 贵州水银洞金矿床成因探讨及成矿模式[J]. 贵州地质,2005,22(1):9-13,49.
- [4] 刘建中,邓一明,刘川勤,等. 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[J]. 中国地质,2006,33(1):169-177.
- [5] 刘建中,王泽鹏,宋威方,等. 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,2023,69(2):513-525.
- [6] 刘建中,王泽鹏,杨成富,等. 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,2022,30(4):532-539.
- [7] 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(14):49-51.
- [8] LI J H, WU P, XIE Z J, 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(6):104034.
- [9] XIE Z J, HUANG K J, XIA Y, et al. Heavy $\delta^{26}\text{Mg}$ values in carbonate indicate a magmatic-hydrothermal origin of Carlin-type Au deposit[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2022, 333:166-183.
- [10] 李俊海,吴攀,刘建中,等. 贵州西南部峨眉山玄武岩分布区架底和大麦地金矿床金的赋存状态[J]. 矿物学报,2021,41(3):234-244.
- [11] 李俊海,吴攀,刘建中,等. 贵州西南部峨眉山玄武岩分布区金矿找矿研究新进展[J]. 黄金,2021,42(6):5-10.
- [12] WANG Z P, TAN Q P, XIA Y, et al. Sm - Nd isochron age constraints of Au and Sb mineralization in Southwestern Guizhou Province, China[J]. *Minerals*, 2021, 11(2):100.
- [13] 李俊海,张双菊,何彦南,等. 黔西南泥堡金矿床研究新进展[J]. 黄金,2015,36(7):9-12.
- [14] 谢卓君,夏勇,CLINE J,等. 中国贵州与美国内华达卡林型金矿对比及对找矿勘查的指示作用[J]. 矿床地质,2019,38(5):1 077-1 093.
- [15] 刘建中,夏勇,陶琰,等. 贵州西南部 SBT 研究[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2017.
- [16] 朱为方,杨科佑,章振根,等. 前景巨大的“右江幔隆金成矿带”[J]. 地质地球化学,1990,18(2):68-70.
- [17] 代传固. 贵州省资源潜力评价报告[R]. 贵阳:贵州省地质调查院,2011.
- [18] HU R Z, FU S L, HUANG Y, 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.
- [19] XIE Z J, XIA Y, CLINE J S, et al. Are there Carlin-type Au deposits in China? A comparison between the Guizhou China and Nevada USA deposits[M] // MUNTEAN J L. Diversity of Carlin-style gold deposits. Littleton: Society of Economic Geologists, Inc., 2018:187-233.
- [20] 王大福. 贵州盘县架底金矿地质地球化学特征初步研究[D]. 贵阳:贵州大学,2015.
- [21] 张兵强,杨清毫,赵富远,等. 贵州西部峨眉山玄武岩区金矿赋矿层位及矿石特征——以盘县架底金矿为例[J]. 地质与勘探,2020,56(6):1 145-1 157.
- [22] 张兵强,杨清毫,赵富远,等. 贵州省盘县架底金矿火山角砾岩微量元素地球化学特征及其与成矿的关系[J]. 世界地质,2020,39(4):755-767.
- [23] 赵富远,肖成刚,张兵强,等. 贵州盘县架底金矿稀土元素和同位素特征及成矿物质来源探讨[J]. 地质与勘探,2018,54(3):465-478.
- [24] ZENG G P, LUO D W, GONG Y J, et al. Structures and implications for fluid migration in the Jiadi Carlin-type gold deposit, Guizhou Province, Southwest China[J]. *Resource Geology*, 2018, 68(4):373-394.
- [25] 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.
- [26] 谭亲平. 黔西南水银洞卡林型金矿构造地球化学及成矿机制研究[D]. 贵阳:中国科学院大学,2015.
- [27] 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*, 2009, 104(1):73-93.
- [28] SU W C, DONG W D, ZHANG X C, et al. Carlin-type gold deposits in the Dian - Qian - Gui “golden triangle” of Southwest China[J]. *Reviews in Economic Geology*, 2018, 20:157-185.
- [29] XIE Z J, XIA Y, CLINE J, et al. Magmatic origin for sediment-hosted Au deposits, Guizhou Province, China; In situ chemistry and sulfur isotope composition of pyrites, Shuiyindong and Jinfeng deposits[J]. *Economic Geology*, 2018, 113(7):1 627-1 652.
- [30] YIN R S, DENG C Z, LEHMANN B, et al. Magmatic-hydrothermal origin of mercury in Carlin-style and epithermal gold deposits in China: Evidence from mercury stable isotopes[J]. *ACS Earth and Space Chemistry*, 2019, 3(8):1 631-1 639.
- [31] HU X L, GONG Y J, ZENG G P, et al. Multistage pyrite in the Getang sediment-hosted disseminated gold deposit, southwestern Guizhou Province, China: Insights from textures and in situ chemical and sulfur isotopic analyses[J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 99:1-16.
- [32] 张义勋,李光岑,肖庆辉,等. 地球科学大辞典:应用科学卷[M]. 北京:地质出版社,2005.

Comparison of two types of ore-hosting surrounding rock gold deposits in Southwestern Guizhou and its implications for deep prospecting

Li Junhai^{1,2}, Wu Pan^{3,4}, Liu Jianzhong^{2,5}, Zhang Shuangju⁶,

Wang Zepeng^{1,2}, Xie Zhuojun⁷, Yang Chengfu^{1,2}, Chen Faen¹, Zhang Bingqiang¹

(1. No. 105 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development;

2. MNR Innovation Center of Ore Resources Exploration Technology in the Region of Bedrock;

3. Key Laboratory of Karst Georesources and Environment, Ministry of Education;

4. College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University;

5. Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development;

6. College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou Institute of Technology;

7. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences)

Abstract: Southwestern Guizhou is a famous Carlin-type gold mineralization area in China, with a known gold resource of approximately 750 tons. In recent years, discoveries of basalt-hosted gold deposits have been made in this area, with the large-scale gold deposit, Jiadi, and the medium-sized gold deposit, Damaidi, as typical representatives, leading to breakthroughs and understanding in mineral exploration. The primary host rocks for native gold mineralization in this area are basalt and sedimentary rocks. Through comparative analysis and research of basalt-hosted gold deposits and sedimentary rock-hosted gold deposits in Southwestern Guizhou, the following conclusions are drawn: ①The definition of Carlin-type gold deposits may have certain limitations and needs further expansion. Basalt-hosted gold deposits and sedimentary rock-hosted gold deposits in Southwestern Guizhou share similar typical characteristics and are the Carlin-type gold deposits resulting from the same regional magmatic fluid metallogenesis, and may have formed in the same regional metallogenic event. Therefore, they should be considered systematically in deep exploration and research work; ②The combination of structures (anticlines, domes, faults, SBT) + favorable rock assemblages (carbonate rocks with a thickness greater than 100 m and overlying clastic rocks or basalt/tuff with a thickness greater than 50 m) + abnormal patterns of Au - As - Sb - Hg - Tl + alterations of surrounding rocks (silicification, pyrite mineralization, arsenopyrite mineralization), may indicate the presence of Carlin-type gold deposits at depth; ③Basaltic rocks are also excellent host rocks for Carlin-type gold mineralization. The host rocks and host stratigraphy of Carlin-type gold deposits exhibit diversity, and almost all rocks and stratigraphy in the region can be considered host rocks and host stratigraphy for Carlin-type gold deposits. However, when it comes to a specific deposit, there are often specific in-situ stratigraphy and ore-bearing rocks.

Keywords: basalt-hosted gold deposits; sedimentary rock-hosted gold deposits; Carlin-type gold deposits; deep mineral exploration; Southwestern Guizhou; SBT