

引用格式: 谭礼金, 刘建中, 谭亲平, 等, 2024. 黔西南卡林型金矿隐伏矿找矿中弱信息提取方法研究 [J]. 地质力学学报, 30 (1): 57-71. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2023115

Citation: TAN L J, LIU J Z, TAN Q P, et al., 2024. Research on weak information extraction methods in the exploration of hidden Carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou, China [J]. Journal of Geomechanics, 30 (1): 57-71. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2023115

黔西南卡林型金矿隐伏矿找矿中弱信息提取方法研究

谭礼金¹, 刘建中², 谭亲平³, 李松涛⁴, 宋威方⁵, 李俊海¹, 王泽鹏¹, 徐良易¹,
张兵强¹, 刘平¹, 蒙明华¹

TAN Lijin¹, LIU Jianzhong², TAN Qinping³, LI Songtao⁴, SONG Weifang⁵, LI Junhai¹, WANG Zepeng¹,
XU Liangyi¹, ZHANG Bingqiang¹, LIU Ping¹, MENG Minghua¹

1. 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队, 贵州 贵阳 550018;
2. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550004;
3. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081;
4. 贵州师范学院, 贵州 贵阳 550018;
5. 湖北省地质局第六地质大队, 湖北 孝感 432000

1. 105 Geological Brigade of Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Guiyang 550018, Guizhou, China;
2. Guizhou Provincial Bureau of Geological and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550004, Guizhou, China;
3. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, Guizhou, China;
4. Guizhou Normal University, Guiyang 550018, Guizhou, China;
5. Six Geological Team of Hubei Geological, Xiaogan 432000, Hubei, China

Research on weak information extraction methods in the exploration of hidden Carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou, China

Abstract: [Objective] The southwestern Guizhou region is a concentrated distribution area of Carlin-type gold deposits in China, with superior geological conditions for gold mineralization and enormous potential for mineral exploration. However, the shallow gold resources in the region have been largely exhausted, and the exploration work has entered the stage of "exploration in deep and blind areas". Due to the deep burial depth of the ore body, the mineralization information on the surface of hidden gold mines is inevitably very weak or may not even be displayed, making it challenging to obtain deep mineralization information. How to accurately identify and obtain geochemical information related to deep mineralization has become a key factor restricting exploration breakthroughs. [Methods] Conventional geochemical prospecting methods are susceptible to the influence of surrounding rocks or cover materials, making it difficult to acquire information related to deep mineralization. The formation and emplacement of Carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou are mainly controlled by anticlines and fault structures, and the distribution, differentiation, and mineralization of elemental geochemistry are also influenced by tectonic stress. Based on the theory of tectonic geochemistry, this study conducts an in-depth analysis of the geological conditions for gold mineralization and the migration and enrichment patterns of corresponding element combinations in the southwestern Guizhou region. The sampling principles, sampling

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFC2906802); 国家自然科学基金项目 (U1812402); 贵州省科技计划项目 (黔科合平台人才-CXTD [2021] 007); 贵州省地矿局地质科研项目 (黔地矿科合 [2023] 2 号)

This research is financially supported by the Key Research and Development Projects of China (Grant No. 2023YFC2906802), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. U1812402), the Science and Technology Plan Projects in Guizhou (Grant No. CXTD [2021] 007), and the Geological Research Projects of Guizhou Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources (Grant No. [2023]2).

第一作者: 谭礼金 (1982-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事矿产勘查与找矿预测工作。Email: 41619619@qq.com

通讯作者: 刘建中 (1966-), 男, 研究员, 主要从事金矿成矿规律与找矿预测研究工作。Email: 2585364825@qq.com

收稿日期: 2023-07-10; 修回日期: 2023-09-10; 录用日期: 2024-01-10; 网络出版日期: 2024-01-18; 责任编辑: 范二平

media, and data selection of weak information extraction in tectonic geochemistry are restricted to a certain extent. Various high permeability conductive shallow structural rock samples are collected to test their ore-forming indicator elements. This method can identify and extract weak information on the formation of deep-hidden ore bodies on the surface. **[Results]** Deep mineralization information is related to the shallow and surface through faults and fractures, and the geochemical anomalies in the shallow structural rocks can somewhat reflect the deep mining-induced anomalies. The sampling object for weak information extraction in tectonic geochemistry is tectonic altered rocks, which highlights information related to mineralization and weakens other interference information, thus enabling the extraction of weak geochemical anomalies formed by deep-hidden mineralization on the surface. In the formation process of hydrothermal deposits, the structure is not only a good channel for the migration of ore-forming fluids but also a favorable space for mineral precipitation and enrichment of ore-forming. The element geochemical anomalies obtained from collecting structural rock samples can indicate the ore-forming properties of the corresponding structure, indirectly indicating the ore-forming center and providing a scientific basis for the preliminary positioning prediction and engineering verification of hidden deposits. The weak information extraction method of structural geochemistry has been proven effective in the exploration of hidden Carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou. This method can be extended to more exploration practices of hidden deposits in hydrothermal deposits, showing broad application prospects. **[Conclusion]** The weak information extraction technology of structural geochemistry is applicable to the exploration of hydrothermal deposits, which can effectively extract weak mineralization information of deep-hidden deposits, help invert the structural control type, infer the approximate occurrence of hidden deposits, select key exploration target areas, and conduct preliminary positioning and prediction of hidden deposits. **[Significance]** The research results on identifying and extracting weak geochemical information have specific academic value for enriching the ore-forming theory of Carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou. At the same time, this method can effectively delineate and optimize the exploration target areas for hidden hydrothermal mineral deposits, which has positive practical significance for implementing a new round of breakthrough strategic action tasks in mineral exploration.

Keywords: tectono-geochemistry; weak information extraction; hidden ore; Carlin-type gold deposits

摘要: 黔西南地区是中国卡林型金矿的集中分布区, 金矿成矿地质条件优越, 找矿潜力巨大。但区内浅表金矿资源已基本找寻殆尽, 找矿工作全面进入“攻深找盲”阶段。隐伏金矿由于矿体埋深较大, 地表的矿化信息必然非常微弱甚至没有信息显示, 深部成矿信息获取困难。如何识别并获取与深部成矿作用有关的地球化学信息, 成为制约找矿突破的关键因素。黔西南卡林型金矿的形成及就位主要受背斜及断裂构造的控制, 元素地球化学的分布、分异和成矿同样受到构造应力的影响, 深部成矿信息通过断裂、裂隙与浅部及地表相联系, 浅部构造岩石中的地球化学异常能在一定程度上反映深部的矿致异常。因此, 以构造地球化学理论为基础, 分析黔西南地区成矿地质条件和相应元素组合的迁移和富集规律, 对卡林型金矿隐伏矿找矿地球化学弱信息提取的关键环节进行深入剖析, 总结构造地球化学弱信息提取方法指标参数, 有效提取深部成矿元素沿构造裂隙向上渗滤扩散形成的弱异常, 对深部隐伏矿进行初步定位预测。弱信息识别及提取的相关研究成果对丰富黔西南地区卡林型金矿的成矿理论具有一定的学术价值, 同时使用该方法在黔西南金矿隐伏矿找矿上能有效圈定并优选找矿靶区, 对落实新一轮找矿突破战略行动任务具有积极的现实意义。

关键词: 构造地球化学; 弱信息提取; 隐伏矿; 卡林型金矿

中图分类号: P54; P632 文献标识码: A 文章编号: 1006-6616 (2024) 01-0057-15

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2023115

0 引言

卡林型金矿是世界主要的金矿类型, 是 20 世纪 60 年代初期在美国西部内达华州卡林镇发现而得名的一种主要产于碳酸盐岩建造中的微细粒浸

染型金矿床 (Wells et al., 1969)。目前发现的卡林型金矿主要分布于美国和中国 (Muntean et al., 2011), 其中以黔西南卡林型金矿为典型代表的滇黔桂地区是仅次于美国内华达州的卡林型金矿聚集区, 分布着一系列卡林型金矿床, 具有优越的成矿地质条件 (Cline et al., 2005; Hu et al., 2017; Cline, 2018; Muntean,

2018), 目前累计查明金资源量已超过 900 t, 近 10 年新增金资源量超 380 t, 显示该区卡林型金矿的巨大找矿潜力(刘建中等, 2017)。

随着金矿找矿勘查的持续进行, 黔西南地区的浅表金矿资源已基本被找寻殆尽, 金矿找矿全面进入“攻深找盲”新阶段(刘建中等, 2022)。找矿方法由以经验找矿为主转向理论指导找矿为主(吕志成等, 2022)。隐伏矿由于其埋深较大, 与其成矿作用有关的信息反映到地表时必然非常微弱(简称弱信息)、甚至没有信息显示。而隐伏矿找矿的首要目标就是寻找这种跟深部成矿作用有关, 但在地表显示较微弱的成矿作用信息。隐伏矿找矿勘查的地球化学方法主要涉及原生晕和次生晕圈定, 而原生晕和次生晕中的矿化信息和元素分带异常容易受到围岩或覆盖沉积物中元素特征、后期风化和外来运积物的影响, 难于真正获取与深部成矿作用有关的信息, 深部地质地球化学信息的获取极为困难(唐利等, 2021), 隐伏矿找矿工作面临巨大挑战。如何识别并获取与深部成矿作用有关的地球化学信息, 成为制约找矿突破的关键因素。

黔西南卡林型金矿的形成及就位主要受背斜及断裂构造的控制(刘建中等, 2023), 岩石的形成和变形过程也受构造应力的控制, 元素地球化学的分布、分异和成矿同样受到构造应力的影响(刘泉清, 1981; 涂光炽, 1984; 孙岩和戴春森, 1993; 吴学益, 1998; 郭涛等, 2003; 吕古贤等, 2011)。成矿热液在构造发育的岩石中渗透性较强, 有利于成矿元素沿构造通道向上进行长距离迁移(韩润生, 2005; 韩润生等, 2006, 2012)。因此构造裂隙既是含矿流体运移的良好通道, 又是矿质沉淀的有利空间(贾润幸和方维萱, 2021)。构造破碎带(断裂、节理、裂隙等)经过强烈的气液活动, 必然会留下丰富的成矿元素信息(方维萱等, 2021)。相对于构造不发育的围岩而言, 地表(浅部)的构造裂隙可能直接与深部矿化中心相连通, 构造岩石中蕴藏着丰富的相关成矿物质信息(孙家骢等, 1987; 龚红胜等, 2020)。深部成矿信息通过断裂、裂隙与浅部及地表相联系, 其构造岩中元素地球化学异常具有对应性(韩润生, 2003; 雷小林等, 2012)。因此, 提取浅部构造岩石中的地球化学异常能在一定程度上反映深部的矿致异常, 从而能够对深部隐伏矿进行初步定位预测(谭亲平等, 2020)。

在黔西南地区开展构造地球化学弱信息提取

方法的探索性工作发现, 在深入分析构造的基础上, 精细采取地表构造裂隙带上不同部位、不同介质的样品进行地球化学分析, 所获取的地球化学异常往往与金矿的成矿作用关系密切, 能在一定程度上捕捉深部矿化信息、并提取深部隐伏金矿体前部原生异常沿断裂构造裂隙向上渗滤扩散形成的弱异常(韩润生, 2005; 谭礼金和黄利平, 2016; 李松涛等, 2021; 宋威方等, 2022)。因此, 文章以构造地球化学理论为基础, 探讨卡林型金矿隐伏矿找矿弱信息提取方法中的构造分析、样品采集、数据选择等关键环节, 对构造地球化学弱信息识别及提取方法进行综合分析, 以期指导区域金矿隐伏矿找矿勘查。

1 黔西南卡林型金矿成矿地质背景

1.1 含矿地层

黔西南地区出露地层主要为泥盆系至三叠系(陶振鹏, 2016)。泥盆系至二叠系中统及三叠系下统至三叠系中统以台地碳酸盐岩沉积为主, 二叠系上统为潮坪相、海陆交互相沉积, 三叠系上统以为台地碳酸盐岩沉积为主, 部分为深海陆棚相浊流沉积、海陆交互相沉积。

黔西南地区是世界著名的低温成矿域之一, 产出一系列特色的低温矿床(胡瑞忠等, 2007)。其中以金矿床最具特色, 拥有水银洞、烂泥沟、泥堡、架底等多个特大型金矿床。含矿地层主要有石炭系南丹组, 二叠系龙潭组、峨眉山玄武岩组、龙吟组、领薨组, 三叠系许满组、夜郎组、罗楼组等。区内几乎大部分地层都可以作为卡林型金矿的赋矿地层, 显示出赋矿地层的多样性(刘建中等, 2021)。同时代不同的地层组大多数是由于地区性地层命名的差异性造成的, 部分属于相变范围。具体到矿区或矿床尺度, 则往往表现为 1~2 套地层是主要的赋矿地层, 一般而言, 断裂切穿的地层均可以成为“断控型”矿体的赋矿地层, 而“层控型”矿体则往往主要由 1 个地层控制。

1.2 控矿构造

黔西南地区靠近特提斯-喜马拉雅与濒太平洋两大全球构造域的接合部位(郑禄林, 2017), 属滇黔桂“金三角”的重要组成部分。受北西-南东向紫云-南丹断裂、北东向弥勒-师宗断裂以及近东西向右江断裂等深大断裂所围限, 褶皱、断裂发育, 构成了复杂有序的褶皱-断裂体系(图 1)。已有研究

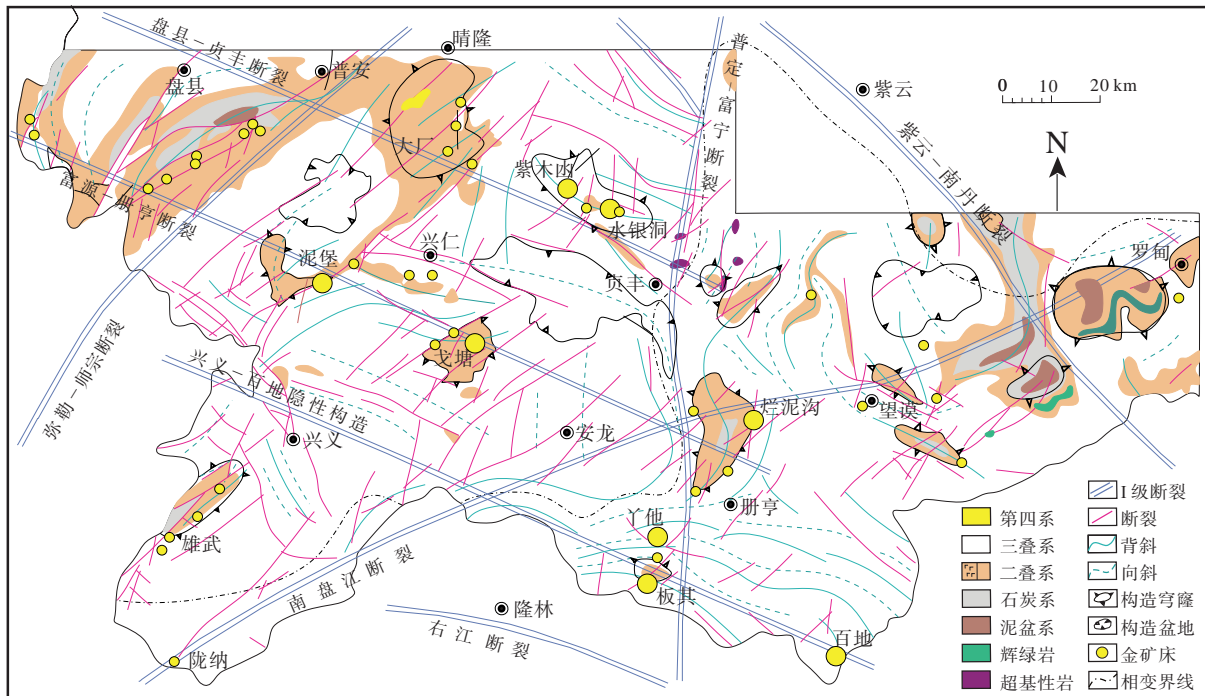


图 1 黔西南地区断裂-褶皱体系 (据骆地伟等, 2016 修改)
 Fig. 1 Fault-fold system in southwestern Guizhou (modified after Luo et al., 2016)

显示, 这些深大断裂构造的活动期从泥盆纪开始直至燕山期, 其中, 在海西-印支期其最为活跃(曾国平, 2018)。

黔西南地区多发育复杂的褶皱构造, 这些复杂的褶皱构造多是区内金矿床的重要控/容矿构造, 其经历了多级构造叠加形成复杂的穹-盆构造、蛇形褶皱和环状褶皱等, 如戈塘穹窿、灰家堡叠加背斜、赖子山叠加背斜、包谷地复式背斜等。

特别应指出的是, 黔西南地区卡林型金矿床均产于背斜(穹窿)附近及与其近于平行展布的逆断层中, 例如, 泥堡和泥堡南金矿产出于泥堡背斜, 水银洞和太平洞金矿产出于灰家堡背斜, 架底和砂锅厂金矿产出于莲花山背斜, 戈塘和豹子洞金矿产出于戈塘穹窿。褶皱、断裂构造及不整合面构造往往联合控矿, 在穹窿构造或短轴背斜与断裂构造或不整合面的复合部位往往是矿床产出的最佳部位。背斜核部的次级穹窿状闭合构造(即背斜高点)是背斜构造应力集中的部位, 往往直接控制着矿床的空间产出。背斜高点通常是由叠加褶皱形成的, 所以叠加褶皱是重要的控矿构造类型。

1.3 成矿系统

黔西南卡林型金矿成矿时代主要为燕山中-晚期(刘建中等, 2017, 2023; 闵壮等, 2022)。区内自印支期开始至燕山期经历了多期构造运动, 导致控

矿的褶皱、断裂也多为多期次的构造作用叠加。在强烈的燕山运动影响下, 岩浆沿深大断裂上侵产生大量热能(谭亲平等, 2017), 促使富金含矿溶液沿斜切层面的断裂、节理裂隙上涌, 沿区域性沉积间断面及岩石能干性差异大的岩层界面流动渗透并卸载成矿。

近年来, 通过对黔西南地区水银洞、烂泥沟、架底、丫他、板其、大观, 广西隆或、马雄、高龙、林旺等金矿床的系统调研发现, 集中产出于南盘江-右江地区的卡林型金矿床具有高度的相似性, 研究认为印支期华夏板块和扬子板块碰撞以及受峨眉地幔柱影响而形成的富金地壳发生重熔, 形成了与隐伏花岗岩有关的 $Na^+-Cl^-H_2O-F-S^{2-}-Au^+-As^{3+}-Hg^{2+}-Sb^{3+}-Ti^{\pm}CO_3^{2\pm}N_2\pm CH^4$ 含矿热液(彭建堂等, 2003; 刘建中等, 2014, 2017, 2020; 靳晓野等, 2016), 其在燕山期构造作用下沿深大断裂上涌, 一部分热液在背斜核部附近沿不整合面(如二叠系上统龙潭组与中统茅口组界面 P_3/P_{2m} 、二叠系中-上统峨眉山玄武岩组与中统茅口组界面 $P_{2,3em}/P_{2m}$)或岩石能干性差异大的岩层面(如二叠系中-上统领麟组与二叠系中-下统四大寨组界面 $P_{2,3lh}/P_{1,2sd}$ 、三叠系中统新苑组与三叠系中-下统安顺组界面 $T_{2x}/T_{1,2a}$)之间形成的构造蚀变体中侧向运移, 并与围岩交代富集形成层控型金矿体, 如架底金矿、水银洞金矿等; 另一

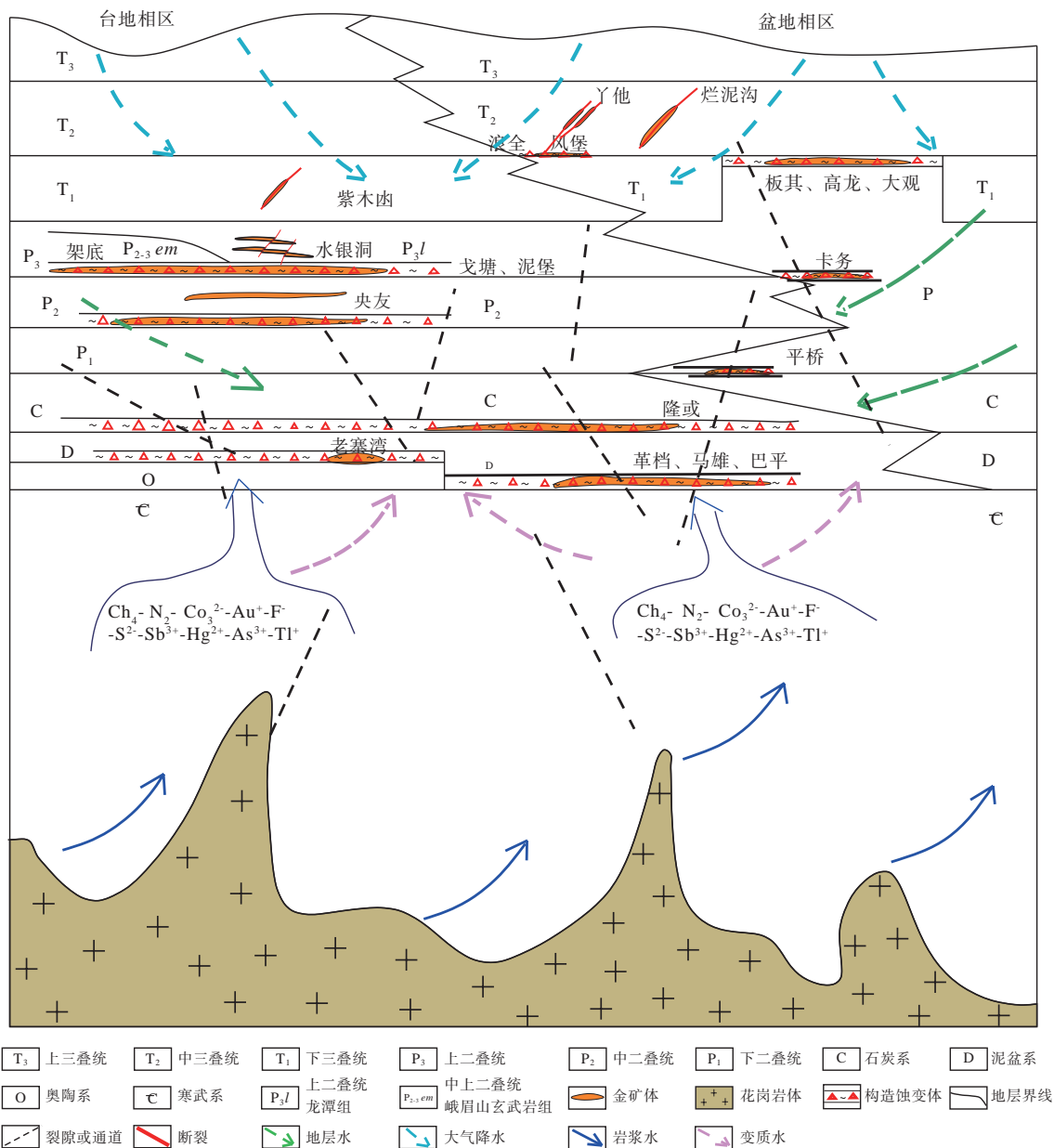


图 2 卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统示意图 (据刘建中等, 2020 修改)

Fig. 2 Multi-level tectonic detachment mineralization system of Carlin-type gold deposits (modified after Liu et al., 2020)

部分热液沿背斜核部附近的断层上侵并与构造岩交代形成断裂型金矿体, 如泥堡金矿上矿段、紫木函金矿等。区域上多层次层控型矿体和断裂型矿体的有机组合, 构成了南盘江-右江地区独具特色的卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统(图 2)。

综合以上资料表明, 背斜核部附近斜切层面的断裂及区域性的沉积间断面或能干性差异大的岩层界面生成的层间滑脱构造带为富含矿热液的运移提供了良好的通道及赋存空间(刘建中等, 2008, 2023)。背斜轴部或穹窿核部的一定范围(2000 m 以内)是构造蚀变体最发育的部位, 也是金

等成矿元素最有利的沉淀就位空间。黔西南地区不整合界面和能干性差异大的岩性界面较多, 背斜/穹窿及相伴构造裂隙发育, 成矿地质条件优越。在金矿流体运移、沉淀成矿过程中, 构造对金矿床的富集、改造、保存及定位等过程起着重要作用, 构造兼具导矿、配矿、容矿三大功能, 既是成矿流体运移的主要驱动力量, 又是矿体最终沉淀成矿的主要场所空间, 同时是各成矿地质体之间耦合关系的控制因素, 与成矿流体、成矿作用等构成了密切联系的系统, 这为构造地球化学研究及弱信息提取工作奠定了良好的基础。

2 隐伏矿找矿弱信息提取方法

2.1 控矿构造分析研究

黔西南卡林型金矿的产出及就位受背斜或穹隆的控制,背斜或穹隆是黔西南金矿的主要成/容矿构造,金矿均产出于背斜或穹隆及其近平行展布的逆断层中,背斜或穹隆核部附近(2000 m以内)与区域性沉积间断面或能干性差异大的岩层界面生成的层间滑脱构造带的耦合部位(刘建中等, 2023)是主要的赋矿空间。因此,对构造的精细识别是黔西南卡林型金矿隐伏矿找矿突破的基础(宋威方等, 2022),也是隐伏矿找矿弱信息识别的先期条件。首先要从构造、成矿系统研究出发,将典型矿床解剖与区域成矿系统、成矿预测与成矿规律研究相结合,深入认识勘查区的成矿地质条件及成矿构造,确定主体控/容矿背斜或穹隆。其次要深入开展构造、蚀变的专项填图,查明褶皱、断裂及蚀变带的形态、产状及规模,反映构造与蚀变的关系以及构造蚀变与矿化的关系,查明主体控/容矿构造及其格架(埋藏较深的构造格架可通过物探方法来辅助确定),综合圈定成矿有利区段(找矿远景区)。

在黔西南卡林型金矿找矿勘查中,构造、蚀变专项填图一般以1:10000地质图和1:5000地质图为基础,以追索结合穿越法重点针对褶皱形态、断裂特征、蚀变类型、蚀变组合和蚀变分带等进行填制。将对找矿有指导意义的地层(如 P_3l 、 $P_{2,3em}$)或特殊地质体(如 T_2/P_3 、 P_3/P_2 不整合面上形成的构造蚀变体、 P_3l 地层中的硅化灰岩层、 $P_{2,3em}$ 地层中的火山角砾岩层)重点划分和表示;查明主体控矿背斜或穹隆的构造格架;查明与含矿有关的地层、构造和蚀变带等地质体的空间分布、规模、组合形态及相互关系;精细填制出构造格架及不同蚀变带的分布范围,以便后续有针对性地进行精准布点采样。

2.2 弱信息提取方法的选择

圈出的成矿有利区段(找矿远景区)一般具有较好的成矿地质条件,但不是所有的找矿远景区都客观存在深部隐伏矿体,因此需要在找矿远景区实施成矿指示元素信息的提取工作。在金属矿山找矿中应用较多的常规地球化学提取方法有岩石地球化学测量、土壤地球化学测量和水系沉积物测量等原生晕、次生晕的提取方法。黔西南浅表卡林型金矿产出区均伴随有Au-As-Hg-Sb地球化学异常,

以往的金矿床大多基于水系沉积物金地球化学异常而发现,所圈定的异常区范围目前均发现规模不等的金矿床(点),金异常与金矿床在空间上高度吻合(图3),充分说明在黔西南金矿的找矿过程中地球化学测量发挥了至关重要的作用(李松涛等, 2021),是寻找热液型金矿的一个有效途径。但是根据水系沉积物金地球化学异常发现的金矿床大多埋深为300m以浅,如晴隆老万场金矿,矿体埋深为0~200 m,其Au元素异常普遍大于 50×10^{-9} (高值点大于 1000×10^{-9}),随着矿体埋深的增加,地表地球化学异常或成矿信息往往逐渐变弱甚至消失。例如,水银洞超大型金矿床的矿体埋深为200~1400 m,地表仅在金矿体埋藏较浅(200~300 m)的岩上地区有微弱的水系沉积物金地球化学异常(Au元素异常强度普遍小于 10×10^{-9}),而对于埋深大于300 m的深部矿体,后期发现深部厚大矿体的地区其水系沉积物及土壤地球化学测量均无异常显示,这说明常规地球化学手段在深部隐伏矿找矿上作用有限。

综合运用地质、地球物理与地球化学相结合的方法和类比求异的分析思路提取弱信息(姚书振等, 2020),是热液矿产隐伏矿找矿突破的有效途径。构造地球化学弱信息提取方法是通过分析构造和矿体的相关关系,并采集各种高渗透性的导通性构造浅部构造岩石样品,分析其成矿指示元素,提取地球化学异常来对深部隐伏矿进行初步定位预测(彭省临等, 2011)。该方法在许多方面优于传统地球化学测量的原生晕、次生晕技术,对热液活动有关的各种矿床类型的隐伏矿的找矿有较好的效果。

2.3 构造地球化学弱异常提取流程

构造地球化学弱信息提取的本质是重视覆盖区低缓构造地球化学异常之下隐伏矿找矿研究(钱建平等, 2017),通过布置采样点采集构造部位的地球化学样品进行分析测试,提取相关成矿元素信息,了解深部矿化与构造的相关性,划定含矿构造,预测含矿构造深部矿(化)体的展布,为圈定并优选可供实施工程验证的找矿靶区,达到准确对深部隐伏矿进行定位预测的目的。具体流程包括以下几个方面。

2.3.1 采样原则

黔西南卡林型金矿找矿的构造地球化学弱信息提取工作通常采用1:10000比例尺,一般选用100 m×40 m的间距布设采样节点,以单个采样节点为中心,以40 m为搜索半径,在形成的圆形区域内根据

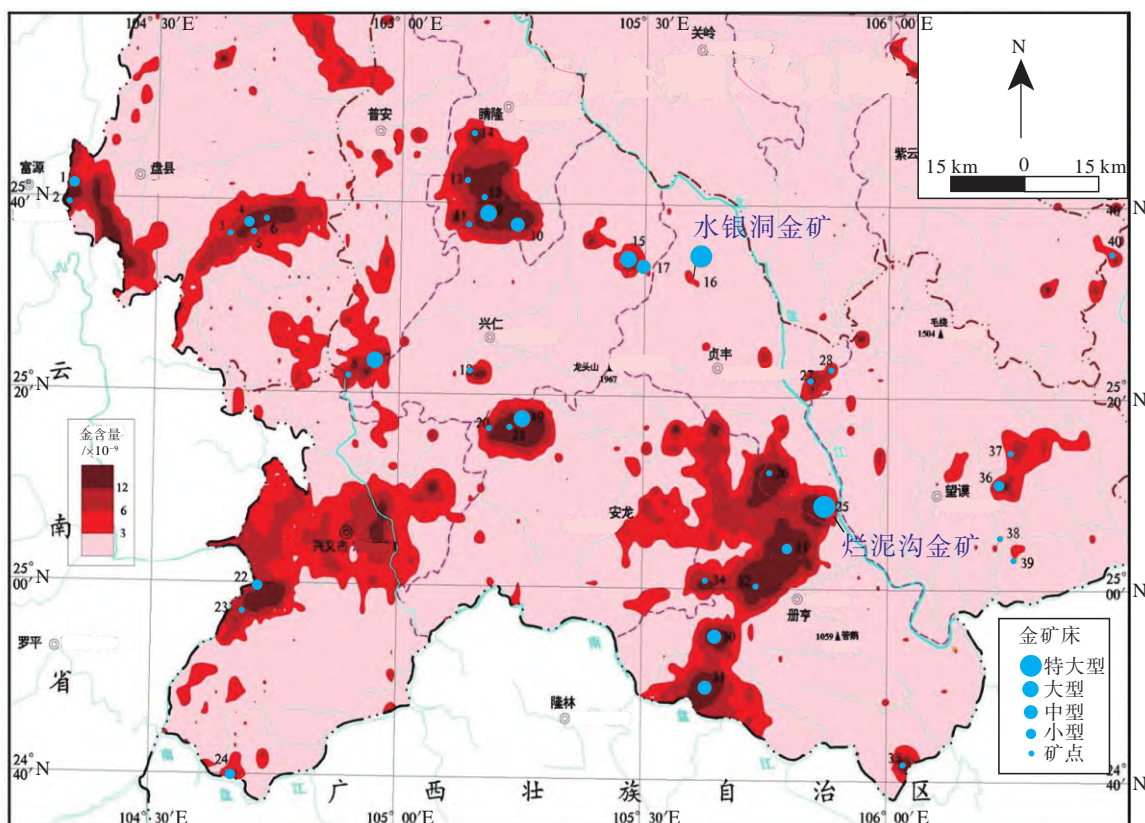


图 3 黔西南水系沉积物金异常与矿床位置图 (据冯济舟等, 2008 修改)

Fig. 3 Gold anomaly and deposit location map of water system sediments in southwestern Guizhou (modified after Feng et al., 2008)

构造展布情况布置具体采样点并采集样品(图 4)。采样点布置遵循“近构造带密, 远构造带疏”的原则, 在构造发育部位需要适当加密布点和采样。采样时要以单个网格点为圆心, 以 40 m 为搜索半径进行全面查找和系统采样, 采样对象主要为构造岩、断层泥、胶结物、角砾、节理和裂隙充填物、各种穿层脉体及蚀变岩石, 突出样品的“有”和“无”, 即在圆形区域内发现构造及蚀变岩石即采样, 未发现则

不采样。对出露的所有类型构造控制的介质均需进行单独采样, 所有样品不组合。采样原则的依据是单个采样节点形成的圆形区域内各采样介质的来源及含矿性可能存在较大差异, 采集的样品的地球化学异常值也差异明显, 大多数样品一般不存在异常, 如果进行组合很大程度上会将异常值降低或没有异常显示, 从而不能有效提取成矿元素的地球化学弱信息(宋威方等, 2022)。

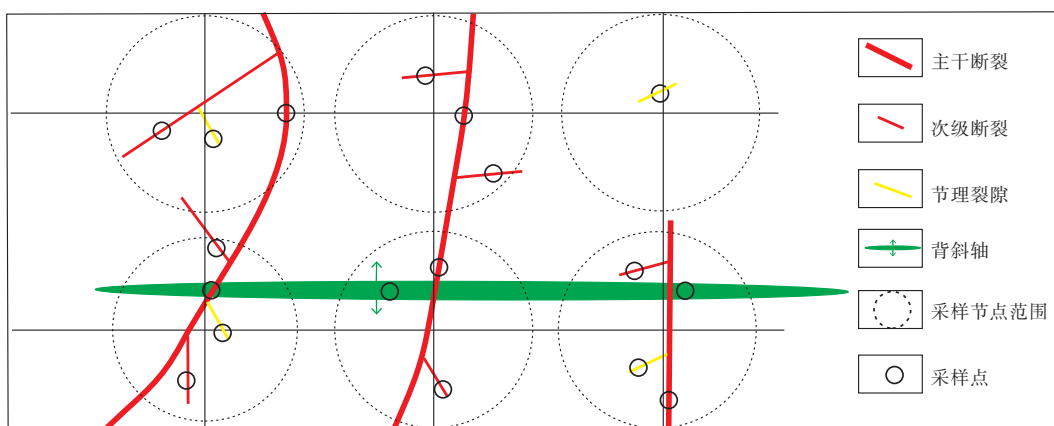


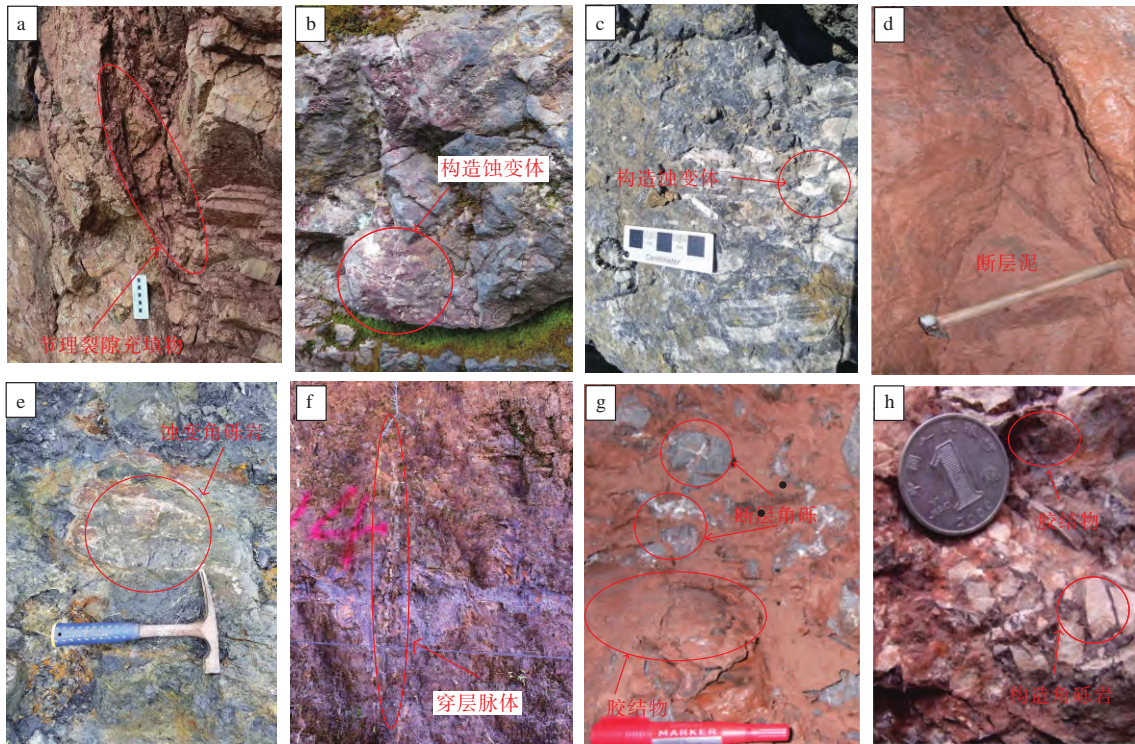
图 4 构造地球化学采样点布置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the layout of geochemical sampling points

2.3.2 采样介质

构造地球化学弱信息提取的采样介质主要为各种类型的构造岩石介质,主要包括断层泥、胶结物、角砾岩、各种穿层脉体、节理和裂隙充填物及各类蚀变岩石等(图5)。样品采集不是传统的包含构造样品的大块构造岩石样品,而是严格分别采取构造带上的断层泥、角砾岩、胶结物和穿层脉体等各类介质,不采集无构造蚀变的纯围岩样品。一般单个采样节点可能同时存在多个采样介质,如断层

破碎带出露较好的节点一般会同时存在胶结物、角砾和蚀变岩石等,节理和裂隙点会存在充填物或者穿层的脉体,对于每个采样节点附近采集到的多件样品不组合,分别进行测试分析,没有构造、蚀变的采样节点不采样,允许存在有空白区。在黔西南卡林型金矿找矿中还应该重点注意不整合面附近形成的构造蚀变体中的硅化岩石,往往多为区内矿(化)体在地表的露头,是黔西南地区金矿找矿的一种重要找矿标志。



a—采样介质为节理裂隙充填物; b、c—采样介质为构造蚀变体中硅化岩石; d—采样介质为断层泥; e—采样介质为蚀变的角砾岩; f—采样介质为穿层脉体; g—h—采样介质为断层破碎带上的胶结物及断层角砾

图5 采样节点范围内的采样介质示意图

Fig. 5 Schematic diagram of sampling medium within the sampling node range

(a) Joint fissure filling material; (b, c) Silicified rocks in structural alteration variants; (d) Fault gouge; (e) Altered breccia; (f) Transdermal vein; (g, h) Cement and fault breccia on the fault fracture zone

2.3.3 数据选择

在整个黔西南卡林型金矿区,分析的成矿指示元素组合主要为 Au-Sb-Hg-As。以每个采样节点为中心采集到的多件样品的地球化学分析数据,以地球化学异常梯度最高的样品代表本采样点,如所有样品都没有成矿指示元素异常则进行舍弃,突出地球化学异常的“有”和“无”。这里强调的地球化学异常信息指的是成矿元素的地球化学含量与容矿岩石的背景值的比值接近或低于岩石背景值为无

异常,一般高于背景值3倍以上视为存在异常。舍弃没有异常值的点是为了更好突出和放大有信号的位置和强度。

构造地球化学弱信息提取方法强调样品的“有”和“无”,强调地球化学异常的“有”和“无”,突出和放大有信号的位置和强度,突出不同采样介质对于异常信息的代表性。能有效屏蔽干扰信息并发现矿致异常,同时对不同介质分布进行采样分析,有利于分析研究何种采样介质能够更有效提取

深部成矿弱信息。舍弃没有构造及蚀变的样品,也在一定程度上减少了样品的采集数量,有效降低了测试分析的费用,这也是该方法的优越性之一。

3 方法应用

3.1 者相二金矿

者相二金矿位于兴仁-安龙金矿成矿带的灰家堡金矿田东段倾伏端。区域成矿构造深入剖析表明,灰家堡背斜是区内主要的控矿及导矿构造,自西向东控制了紫木函金矿、太平洞金矿和水银洞等大型、超大型金矿床的产出。者相二金矿与水银洞超大型金矿的簸箕田矿段毗邻,簸箕田矿段(评审备案金资源量大于100 t;杨成富等,2023)中控矿的灰家堡背斜、F₁₀₁断层以及中-上二叠统界面附近形成的构造蚀变体均延伸至者相二矿区,区内深部龙潭组地层中存在孔隙度相对较高的层状生物屑灰岩及砂岩,且上下岩性均为结构致密的碎屑岩,利于含矿流体侧向运移并富集成矿,具备较好的成矿地质条件(李应辉,2022)。

早期者相二金矿开展了地质测量、水系沉积物测量及土壤地球化学测量,但没有发现矿化信息。2013年通过调整找矿思路,围绕区内灰家堡背斜以100 m×40 m网度开展了构造地球化学弱信息提取工作。在地表出露的断层破碎带及蚀变岩石上发现部分采样点有As元素异常,异常强度较低,最高不超过 10×10^{-6} ;Au元素普遍没有异常显示,个别点存在微弱异常,一般不超过 6×10^{-9} ;Sb、Hg元素基本没有异常显示。经与邻区对比,金矿体主要产于灰家堡背斜轴两侧近的一定范围内的龙潭组(P₃l)地层以及龙潭组(P₃l)与茅口组(P₂m)之不整合面附近形成的构造蚀变体及断层破碎带中,而该区地表出露地层为三叠系中统关岭组(T₂g)、嘉陵江组(T₁-j),与含矿层垂直距离大于700 m。综合分析认为断层破碎带上提取的As元素弱异常及Au元素微弱异常为深部成矿作用中成矿指示元素沿构造通道向上长距离迁移后留下的“痕迹”,是与深部成矿信息通过构造迁移到地表的弱信息显示。根据弱信息的分布范围结合物探方法辅助确定深部构造格架,经钻探工程验证后发现了埋深750~1100 m的金矿体(图6)。经后续勘查,探获金资源量28.39 t,达大型矿床规模,取得卡林型金矿隐伏矿找矿的重大突破。

在者相二金矿后续勘查中,不但发现P₃l地层中的层状矿体以及P₃l与P₂m地层之间形成的构造蚀变体中似层状矿体,同时在断层破碎带中还发现了厚大金矿体(李应辉,2022)。这充分说明在金矿床的形成过程中,构造既是流体运移的良好通道,同时也是矿质沉淀及富集成矿的有利场所。从而证实构造地球化学的元素异常可以指示相应断裂构造的含矿性,进而间接指明成矿中心,为隐伏矿的定位预测及实施工程验证提供了科学依据。

3.2 包谷地背斜

包谷地背斜位于贞丰-普安金矿成矿带南西部,区内金矿勘查及研究程度较低,2010年以前仅在龙潭组底部地层出露区域零星发现金矿化点,金矿找矿一直未有实质性找矿进展。2014年,笔者在该区开展找矿勘查及研究工作,认为包谷地复式背斜是区内主要导容矿构造,背斜核部附近(1000 m以内)是主要的成、容矿空间,具有较好的金矿成矿地质条件(谭礼金等,2016)。2014—2017年,在包谷地背斜全区(464 km²范围)开展土壤地球化学测量,在包谷地背斜西段三道沟-马古地一带(140 km²范围)、东段轿子山一带(50 km²范围)开展构造蚀变专项填图及构造地球弱信息提取工作,根据异常分布情况结合构造的展布圈定了泥堡-潘家庄找矿靶区及蒋家大地-包谷地找矿靶区(图7)。

在泥堡-潘家庄找矿靶区中三道沟矿点东侧及蒋家大地-包谷地找矿靶区东侧轿子山一带,构造地球化学发现了Au、As、Sb、Hg异常,Au异常强度多集中与为 $8\times 10^{-9}\sim 18\times 10^{-9}$ 。异常分布区中岩石蚀变强烈,普遍见硅化、黄铁矿化等热液蚀变现象,且异常的分布跟区内控矿构造形态的耦合较好,综合认为是成矿指示元素通过构造迁移到地表形成的异常。在异常区经实施工程验证后发现了沟头、轿子山、水井湾、安者及猴子坡等金矿点。预测金资源量达大型规模(谭礼金等,2017),为新一轮找矿突破战略行动提供了可供勘查的找矿靶区。

包谷地背斜西段三道沟-马古地一带(140 km²范围)曾开展了土壤地球化学测量,并实施了构造地球化学弱信息提取(李松涛等,2022)。土壤地球化学测量以500 m×200 m的间距按网格化方式(自由测网)布设采样点,1 km²为基本采样单元,在每个基本采样单元中划分为4个小格(0.25 km²),原则上每个采样小格(0.25 km²)内都应有2~3个采样点控制,采样介质为土壤(残积、坡积物),共采集

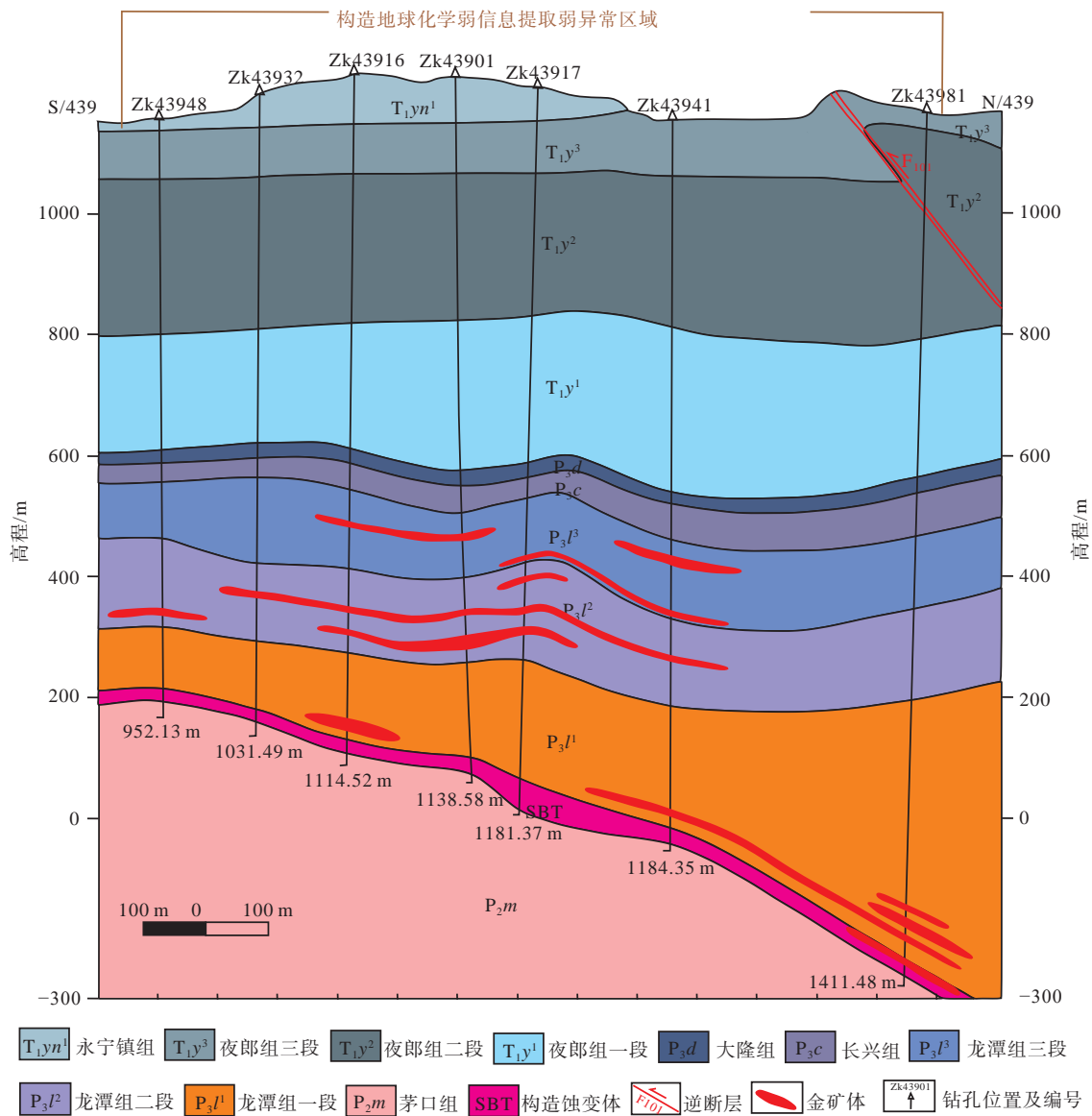


图 6 者相二金矿 43 勘查线剖面图 (据何金坪, 2021 修改)

Fig. 6 Section map of Exploration Line 43 of Zhexiang'er Gold Mine (modified after He., 2021)

1635 件土壤地球化学样品; 构造地球化学测量按网格化方式(自由测网)布设样品点, 基本网度为 500 m×200 m。根据构造规模, 按(200~500 m)×(100~200 m)布设采样点; 无断裂构造地段一般不设计采样点, 采样点位置以褶皱、断裂、节理裂隙为主, 采样介质为构造及蚀变岩石, 同区域共采集 936 件构造地球化学样品。根据该区成矿指示元素 Au、As、Sb、Hg 和 W 元素的分析结果, 通过对测试数据进行正态分布检验、聚类分析和异常下限计算后, 获得指示元素异常下限, 以异常下限的 1、2、4 倍圈定异常的外、中、内带, 形成了 2 种方法的异常对比图(图 8)。

根据土壤地球化学测量与构造地球化学弱信

息提取方法所反映的异常情况(图 8), 结合其在包谷地背斜金矿找矿中的应用实践, 得出如下认识: ①土壤地球化学测量能较好圈定浅部矿体形成的异常, 但不能有效提取深部成矿信息, 对隐伏矿找矿作用有限; 采样介质为残积、坡积的土壤层, 采样难度低, 技术要求低; 样品分布相对较均匀, 其异常图能较好反映整个工作区的整体情况, 在工作前期可以很好帮忙圈定重点工作区。②构造地球化学弱信息提取能发大并凸显异常, 直接发现浅部矿体; 由于样品采集对象为构造岩石, 可以发现并提取深部隐伏矿化在地表形成的微弱地球化学异常; 在不漏掉矿化信息的前提下能有效降低采样数量, 样品数量仅为同比例尺土壤样的 60% 甚至更低, 在

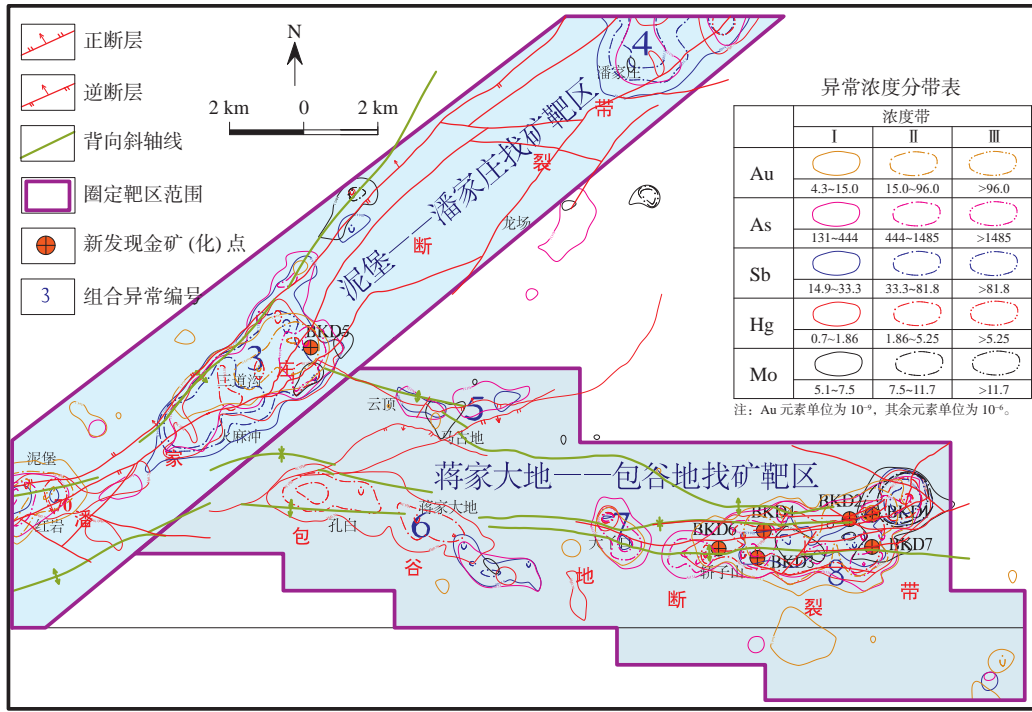
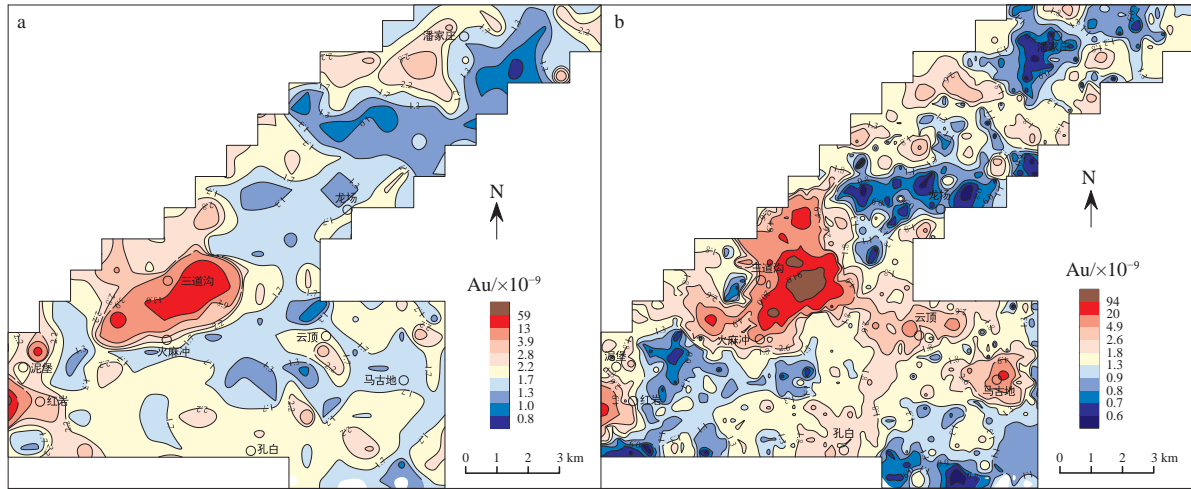


图 7 包谷地背斜构造地球化学异常平面示意图 (据谭礼金等, 2017 修改)

Fig. 7 Plan of geochemical anomalies in the Baogudi anticline structure (modified after Tan et al., 2017)



a—土壤地球化学测量; b—构造地球化学测量

图 8 土壤地球化学测量与构造地球化学测量圈定的金异常对比图 (据谭礼金等, 2017; 李松涛等, 2022 修改)

Fig. 8 Comparison charts of gold anomalies delineated by soil geochemical measurements and structural geochemical measurements (modified after Tan et al., 2017; Li et al., 2022)

(a) Soil geochemical measurements; (b) Tectonic geochemical measurements

一定程度上减少了找矿勘查成本。

4 结论

构造地球化学弱信息提取技术适用于热液矿

床找矿, 可以有效提取深部隐伏矿的弱成矿信息, 帮助反演构造控矿型式, 推断隐伏矿的大致产状, 优选重点找矿靶区, 进行隐伏矿初步定位预测。

(1) 构造地球化学弱信息提取采样对象为构造蚀变岩, 突出与成矿有关的信息并弱化其他干扰信

息,从而可以提取深部隐伏矿化在地表形成的微弱地球化学异常。

(2)在矿床的形成过程中,构造既是含矿流体运移的良好通道,又是矿质沉淀及富集成矿的有利空间,采集构造岩石样品获取的元素地球化学异常可以指示相应构造的含矿性,进而间接指明成矿中心,为隐伏矿的初步定位预测及实施工程验证提供科学依据。

(3)构造地球化学弱信息提取方法只适用于热液矿床,实施该方法前要先开展系统的构造、蚀变填图,才能有针对性地进行布点采样。同时,构造地球化学弱信息提取技术采样要求较高。

(4)构造地球化学弱信息提取方法在黔西南卡林型金矿的隐伏矿找矿中经实践证实具有较好的应用效果,该方法可以推广至更多的热液矿床隐伏矿找矿勘查实践中去,具有广阔的应用前景。

References

- CLINE J S, HOFSTRA A H, MUNTEAN J L, et al., 2005. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and viable models[M]/HEDENQUIST J W, THOMPSON J F H, GOLDFARB R J, et al. One hundredth anniversary volume. Littleton: Society of Economic Geologists: 451-484.
- CLINE J S, 2018. Nevada's Carlin-type gold deposits: what we've learned during the past 10 to 15 years[M]/MUNTEAN J L. Diversity in Carlin-style gold deposits. Colorado: Society of Economic Geologists: 7-37.
- FANG W X, GUO Y Q, JIA R X, et al., 2021. On relationship between the superimposed mineralization systems and the zoning patterns of vertical tectonic lithofacies in the Gejiu concentration area of Sn-Cu-W and three rare metals in Yunnan[J]. *Journal of Geomechanics*, 27(4): 557-584. (in Chinese with English abstract)
- FENG J Z, YANG M Y, HE S L, et al., 2008. Geochemical Atlas in Guizhou Province[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-61. (in Chinese with English abstract)
- GONG H S, HAN R S, LI Z T, et al., 2020. Element association anomaly of tectonites and prediction of concealed deposit in the Xiaozhuqing exploration area on the periphery of Huize lead-zinc mine area, northeastern Yunnan Province[J]. *Journal of Geomechanics*, 26(3): 419-431. (in Chinese with English abstract)
- GUO T, LV G X, DENG J, et al., 2003. Variational characteristics of elements with tectonic stress: an example from Jiaojia gold deposit[J]. *Journal of Geomechanics*, 9(2): 183-190. (in Chinese with English abstract)
- HE J P, LIU G F, LI Y H, et al., 2021. Exploration Report on Zhexiang'er Gold Mine in Zhenfeng County, Guizhou Province[R]. Guiyang: 105 Geological Brigade of Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 1-281. (in Chinese)
- HAN R S, 2003. Preliminary discussion on research contents and methods of tectono-metallogenic dynamics and concealed ore orientation prognosis[J]. *Geology and Prospecting*, 39(1): 5-9. (in Chinese with English abstract)
- HAN R S, 2005. Orefield/deposit tectono-geochemical method for the localization and prognosis of concealed orebodies[J]. *Geological Bulletin of China*, 24(10-11): 978-984. (in Chinese with English abstract)
- HAN R S, CHEN J, HUANG Z L, et al., 2006. Dynamics of tectonic ore-forming processes and localization-prognosis of concealed orebodies: as exemplified by the Huize super-large Zn-Pb-(Ag-Ge) district, Yunnan[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- HAN R S, HU Y Z, WANG X K, et al., 2012. Deposit model of germanium rich silver lead zinc polymetallic ore cluster in northeastern Yunnan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 86(2): 280-294. (in Chinese with English abstract)
- HU R Z, PENG J T, MA D S, et al., 2007. Epoch of large-scale low-temperature mineralizations in southwestern Yangtze massif[J]. *Mineral Deposits*, 26(6): 583-596. (in Chinese with English abstract)
- HU R Z, FU S L, HUANG Y, et al., 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.
- JIA R X, FANG W X, 2021. The migration rule of the ore-forming fluids in the Meso-Cenozoic Basins, Southwestern Tianshan, China[J]. *Journal of Geomechanics*, 27(4): 529-541. (in Chinese with English abstract)
- JIN X Y, LI J W, HOFSTRA A, et al., 2016. Relationship between Carlin-type gold deposits and paleo-petroleum reservoirs in SW Guizhou, China: Evidence from gas compositions of fluid inclusions and Raman spectroscopic characteristics of bitumen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 32(11): 3295-3311. (in Chinese with English abstract)
- LEI X L, WANG R, WEI C, 2012. A review of tectonic geochemical methods and their application in the prediction of hidden orebodies[J]. *Mineral Deposits*, 31(S1): 913-914. (in Chinese)
- LI S T, LIU J Z, XIA Y, et al., 2021. Tectono-geochemistry weak mineralization information extraction method and its application in the Carlin-type gold accumulation Area of South-western Guizhou[J]. *Gold Science and Technology*, 29(1): 53-63. (in Chinese with English abstract)
- LI S T, LIU J Z, XIA Y, et al., 2022. Geological and geochemical significance of hydrothermal minerals from Nibao—Baogudi Carlin-type gold orefield in Southwestern Guizhou[J]. *Geological Review*, 68(2): 551-570. (in Chinese with English abstract)
- LI Y H, 2022. Characteristics and prospecting direction of the Zhexiang II gold deposit in Zhenfeng County, Guizhou Province[J]. *Resource Information and Engineering*, 37(05): 17-20+25. (in Chinese with English abstract)
- LIU J Z, XIA Y, ZHANG X C, et al., 2008. Model of strata Karlin-type gold

- deposit: the Shuiyindong super-scale gold deposit[J]. *Gold Science and Technology*, 16(3): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- LIU J Z, XIA Y, TAO Y, et al., 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 J Z, LI J W, ZHOU Z G, et al., 2017. New progress of exploration and research of Zhenfeng-Puan gold fully equipped exploration area[J]. *Guizhou Geology*, 34(4): 244-254. (in Chinese with English abstract)
- LIU J Z, WANG Z P, YANG C F, et al., 2020. Multi-level tectonic detachment mineralization system of Carlin type gold deposits in southern China[J]. *China Science and Technology Achievements*, 21(14): 49-51. (in Chinese)
- LIU J Z, WANG Z P, SONG W F, et al., 2021. Construction of a multi-level tectonic detachment mineralization system for Carlin type gold deposits in southern China[C]//Collected Papers of the First National Mineral Exploration Conference. Hefei: chinese geophysical society: 201-206. (in Chinese with English abstract)
- LIU J Z, WANG Z P, YANG C F, et al., 2022. Discriminant index and significance of structural body alteration of carlin-type 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 J Z, WANG Z P, SONG W F, et al., 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): 513-525. (in Chinese with English abstract)
- LIU Q Q, 1981. Research and application of tectonic geochemistry[J]. *Geology and Exploration*(4): 53-61. (in Chinese)
- LI V G X, SUN Y, LIU D L, et al., 2011. Tectono-geochemistry: a review[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(4): 479-494. (in Chinese with English abstract)
- LI V Z C, CHEN H, MI K F, et al., 2022. The theory and method of ore prospecting prediction for exploration area: Case studies of the Lala copper deposit in Sichuan, Muhu—Maerkantu manganese ore deposit in Xinjiang and Aonaodaba tin-polymetallic deposit in Inner Mongolia[J]. *Journal of Geomechanics*, 28(5): 842-865. (in Chinese with English abstract)
- LUO D W, YAO S Z, WANG C X, et al., 2016. Evaluation of the degree of erosion of Carlin type gold deposits in southwestern Guizhou[J]. *Earth Science*, 41(02): 199-217. (in Chinese with English abstract)
- MIN Z, CHEN Z L, PAN J Y, et al., 2022. Research on fluid inclusions of the Jiadi gold deposit in southwestern Guizhou[J]. *Journal of Geomechanics*, 28(3): 448-463. (in Chinese with English abstract)
- MUNTEAN J L, 2018. The Carlin gold system: applications to exploration in Nevada and beyond[M]//MUNTEAN J L. Diversity in Carlin-style gold deposits. Colorado: Society of Economic Geologists: 39-88.
- MUNTEAN J L, CLINE J S, SIMON A C, et al., 2011. Magmatic-hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits[J]. *Nature Geoscience*, 4(2): 122-127.
- PENG J T, HU R Z, JIANG G H, 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 S L, SHAO Y J, ZHANG J D, 2011. Prospecting prediction theory and method about concealed ore-deposit in metal mine[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(4): 538-543. (in Chinese with English abstract)
- QIAN J P, ZHANG H Y, DU J X, et al., 2017. Application of tectono-geochemistry prospecting in the Yinan gold mine, Shandong[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(4): 593-601. (in Chinese with English abstract)
- SONG W F, LIU J Z, WU P, et al., 2022. A successful application of the tectono-geochemistry weak information extraction method in the prospecting of Carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou Province[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 46(6): 1338-1348. (in Chinese with English abstract)
- SUN J C, JIANG Z W, LEI Y S, 1987. Basic tecto-geochemical features of malage ore field of Gejiu mining area[J]. *Geochemica*(4): 303-311. (in Chinese with English abstract)
- SUN Y, DAI C S, 1993. Study on the tectonogeochemistry[J]. *Advance in Earth Science*, 8(3): 1-6. (in Chinese with English abstract)
- SUN Y, XU S J, LIU D L, 1998. An introduction of tectonogeochemistry in fault zones[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- TAN L J, HUANG L P, 2016. Discussion on deep prospecting methods for geological and mineral exploration[J]. *Resource Information and Engineering*, 31(4): 45-46. (in Chinese)
- TAN L J, MENG M H, NIE R, 2016. Guizhou XingRen corn anticline geological characteristics and prospecting prospect is analyzed[J]. *World Non-ferrous Metals*(14): 138-139, 141. (in Chinese with English abstract)
- TAN L J, MENG M H, NIE R, 2017. Geological Survey Report on Mineral Resources in Xingren Baogu Anticline, Guizhou[R]. Guiyang: 105 Geological Brigade of Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 1-296. (in Chinese)
- TAN Q P, XIA Y, WANG X Q, et al., 2017. Tectonic model and tectonic-geochemistry characteristics of the Huijiabao gold Orefield, SW Guizhou province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 41(2): 291-304. (in Chinese with English abstract)
- TAN Q P, XIA Y, XIE Z J, et al., 2020. Tectono-geochemistry and concealed ores prospecting in the Shuiyindong Gold deposit of Southwestern Guizhou[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 41(6): 886-898. (in Chinese with English abstract)
- TANG L, ZHANG S T, WANG L, et al., 2021. Exploration of concealed fluorite deposit in shallow overburden areas: A case study in Elimutai, Inner Mongolia, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 28(3): 208-220. (in Chinese with English abstract)

- TAO Z P, 2016. Enrichment characteristics of trace elements and rare earth elements in late Permian coal from Puan and Qinglong Coalfield, Guizhou province[D]. Guizhou: Guizhou University. (in Chinese with English abstract)
- TU G C, 1984. Tectonics and geochemistry[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 8(1): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- WELLS J D, STOISER L R, ELLIOTT J E, 1969. Geology and geochemistry of the Cortez gold deposit, Nevada[J]. *Economic Geology*, 64(5): 526-537.
- WU X Y, 1998. Introduction to tectonic geochemistry[M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Publishing House Co., Ltd. YAO S Z, DING Z J, ZHOU Z G, et al., 2020. Ore-accumulating structural system and mineral exploration[J]. *Earth Science*, 45(12): 4389-4398. (in Chinese with English abstract)(in Chinese)
- YANG C F, ZHAO F Y, YANG Q H, et al., 2020. Verification Report on Resource Reserve of 2 Jinke Gold Mines (Combined with 1 Jinke Gold Mine) in Zhenfeng County, Guizhou Province[R]. Guiyang: 105 Geological Brigade of Guizhou Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 1-238. (in Chinese)
- ZENG G P, 2018. Study on the structurally controlling on the micro-disseminated gold deposits in the Western of the Southwest Guizhou gold ore concentration area[D]. Beijing: China University of Geosciences. (in Chinese with English abstract)
- ZHENG L L, 2017. Mineralization mechanism and ore-forming process of the Nibao gold deposit in Southwestern Guizhou, China[D]. Guizhou: Guizhou University. (in Chinese with English abstract)
- ### 附中文参考文献
- 方维萱, 郭玉乾, 贾润幸, 等, 2021. 论云南个旧锡铜钨三稀金属矿集区叠加成矿系统与垂向构造岩相学结构的关系[J]. *地质力学学报*, 27(4): 557-584.
- 冯济舟, 杨明应, 何邵麟等, 2008. 贵州省地球化学图集[M]. 北京: 地质出版社: 1-61.
- 龚红胜, 韩润生, 李孜腾, 等, 2020. 滇东北会泽铅锌矿区外围小竹箐勘查区构造岩元素组合异常及隐伏矿预测[J]. *地质力学学报*, 26(3): 419-431.
- 郭涛, 吕古贤, 邓军, 等, 2003. 构造应力对元素分配的控制作用: 以焦家金矿床为例[J]. *地质力学学报*, 9(2): 183-190.
- 韩润生, 2003. 初论构造成矿动力学及其隐伏矿定位预测研究内容和方法[J]. *地质与勘探*, 39(1): 5-9.
- 韩润生, 2005. 隐伏矿定位预测的矿田(床)构造地球化学方法[J]. *地质通报*, 24(10-11): 978-984.
- 韩润生, 陈进, 黄智龙, 等, 2006. 构造成矿动力学及隐伏矿定位预测: 以云南会泽超大型铅锌(银、锑)矿床为例[M]. 北京: 科学出版社.
- 韩润生, 胡煜昭, 王学琨, 等, 2012. 滇东北富锑银铅锌多金属矿集区矿床模型[J]. *地质学报*, 86(2): 280-294.
- 何金坪, 刘光富, 李应辉, 等, 2021. 贵州省贞丰县者相二金矿勘探报告[R]. 贵阳: 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队, 1-281.
- 胡瑞忠, 彭建堂, 马东升, 等, 2007. 扬子地块西南缘大面积低温成矿时代[J]. *矿床地质*, 26(6): 583-596.
- 贾润幸, 方维萱, 2021. 西南天山中新世代盆地成矿流体运移规律[J]. *地质力学学报*, 27(4): 529-541.
- 靳晓野, 李建威, HOFSTRA A, 等, 2016. 黔西南卡林型金矿床与区域古油藏的关系: 来自流体包裹体气相组成和沥青拉曼光谱特征的证据[J]. *岩石学报*, 32(11): 3295-3311.
- 雷小林, 王瑞, 魏成, 2012. 构造地球化学方法评述及其在隐伏矿体预测中的应用[J]. *矿床地质*, 31(S1): 913-914.
- 李松涛, 刘建中, 夏勇, 等, 2021. 黔西南卡林型金矿聚集区构造地球化学弱矿化信息提取方法及其应用研究[J]. *黄金科学技术*, 29(1): 53-63.
- 李松涛, 刘建中, 夏勇, 等, 2022. 黔西南泥堡一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[J]. *地质论评*, 68(2): 551-570.
- 李应辉, 2022. 贵州贞丰县者相二金矿矿体特征及找矿方向[J]. *资源信息与工程*, 37(5): 17-20+25.
- 刘建中, 夏勇, 张兴春, 等, 2008. 层控卡林型金矿床矿床模型: 贵州水银洞超大型金矿[J]. *黄金科学技术*, 16(3): 1-5.
- 刘建中, 夏勇, 陶琰, 等, 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, 李建威, 周宗桂, 等, 2017. 贵州贞丰—普安金矿整装勘查区找矿与研究新进展[J]. *贵州地质*, 34(4): 244-254.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富, 等, 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(14): 49-51.
- 刘建中, 王泽鹏, 宋威方, 等, 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]. //首届全国矿产勘查大会论文集. 合肥: 中国地球物理学会: 201-206.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富, 等, 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, 王泽鹏, 宋威方, 等, 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): 513-525.
- 刘泉清, 1981. 构造地球化学的研究及其应用[J]. *地质与勘探*(4): 53-61.
- 吕古贤, 孙岩, 刘德良, 等, 2011. 构造地球化学的回顾与展望[J]. *大地构造与成矿学*, 35(4): 479-494.
- 吕志成, 陈辉, 宓奎峰, 等, 2022. 勘查区找矿预测理论与方法及其应用案例[J]. *地质力学学报*, 28(5): 842-865.
- 骆地伟, 姚书振, 王成相, 等, 2016. 黔西南卡林型金矿剥蚀程度评价[J]. *地球科学*, 41(2): 199-217.
- 冈壮, 陈正乐, 潘家永, 等, 2022. 黔西南架底金矿床流体包裹体研究[J]. *地质力学学报*, 28(3): 448-463.
- 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.
- 彭省临, 邵拥军, 张建东, 2011. 金属矿山隐伏矿找矿预测理论与方

- 法[J].地质通报,30(4):538-543.
- 钱建平,张海莹,杜继旭,等,2017.构造地球化学找矿方法在山东沂南金矿的应用及效果[J].矿物岩石地球化学通报,36(4):593-601.
- 宋威方,刘建中,吴攀,等,2022.构造地球化学弱信息提取方法在黔西南卡林型金矿找矿中的应用[J].物探与化探,46(6):1338-1348.
- 孙家骢,江祝伟,雷跃时,1987.个旧矿区马拉格矿田构造-地球化学特征[J].地球化学(4):303-311.
- 孙岩,戴春森,1993.论构造地球化学研究[J].地球科学进展,8(3):1-6.
- 谭礼金,黄利平,2016.关于地质矿产勘查深部找矿方法的探讨[J].资源信息与工程,31(4):45-46.
- 谭礼金,蒙明华,聂荣,2016.贵州兴仁包谷地背斜地质特征及找矿前景分析[J].世界有色金属(14):138-139,141.
- 谭礼金,蒙明华,聂荣,2017.贵州兴仁包谷地背斜矿产地质调查报告[R].贵阳:贵州省地质矿产勘查开发局105地质大队,1-296.
- 谭亲平,夏勇,王学求,等,2017.黔西南灰家堡金矿田成矿构造模式及构造地球化学研究[J].大地构造与成矿学,41(2):291-304.
- 谭亲平,夏勇,谢卓君,等,2020.黔西南水银洞卡林型金矿构造地球化学及对隐伏矿找矿的指示[J].地球学报,41(6):886-898.
- 唐利,张寿庭,王亮,等,2021.浅覆盖区隐伏萤石矿找矿预测:以内蒙古赤峰俄力木台为例[J].地学前缘,28(3):208-220.
- 陶振鹏,2016.贵州普安一晴隆一带晚二叠世煤层中微量、稀土元素富集特征研究[D].贵州:贵州大学.
- 涂光炽,1984.构造与地球化学[J].大地构造与成矿学,8(1):1-5.
- 吴学益,1998.构造地球化学导论[M].贵阳:贵州科技出版社.
- 姚书振,丁振举,周宗桂,等,2020.聚矿构造系统与找矿[J].地球科学,45(12):4389-4398.
- 杨成富,赵富远,杨清毫,等,2023.贵州省贞丰县簸箕田2金科(合并簸箕田1金矿)资源储量核实报告[R].贵阳:贵州省地质矿产勘查开发局105地质大队,1-238.
- 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[D].北京:中国地质大学.
- 郑禄林,2017.贵州西南部泥堡金矿床成矿作用与成矿过程[D].贵州:贵州大学.