

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

李松涛^{1,2,3}, 刘建中^{3,4*}, 夏勇⁵, 谢卓君⁵, 谭亲平⁵, 王泽鹏^{2,3}, 周光红¹, 杨成富^{2,3}, 蒙明华², 谭礼金², 汪小勇², 李俊海^{2,3}, 徐良易², 王大富²

1. 贵州师范学院地理与资源学院, 贵州 贵阳 550018;
2. 贵州省地质矿产勘查开发局105地质大队, 贵州 贵阳 550018;
3. 自然资源部基岩区矿产资源勘查工程技术创新中心, 贵州 贵阳 550081;
4. 贵州省地质矿产勘查开发局, 贵州 贵阳 550004;
5. 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



摘要:黔西南卡林型金矿聚集区作为滇黔桂“金三角”最重要的组成部分,其深部和外围找矿工作面临窘境。为突破传统化探找矿方法在深部矿产资源探寻中的难点,本研究选择泥堡金矿床外围区域进行1:5万土壤地球化学和1:5万构造地球化学弱信息提取对比研究。研究表明:构造地球化学方法能更有效地提取深部弱矿化信息,同时具有经济、实用且高效的特点。基于地质和构造地球化学特征,在研究区圈定4个综合异常,对成矿条件较好的Ⅱ号异常进行工程验证,取得了显著找矿成果。综合地质与化探研究成果认为,构造地球化学弱信息提取方法对泥堡金矿外围的找矿工作具有很好的指导作用,为研究区开展深部找矿工作提供了科学依据;经过进一步完善和推广应用,该方法可望在黔西南卡林型金矿找矿方面发挥重要作用。

关键词:构造地球化学;土壤地球化学;卡林型金矿;弱矿化信息;泥堡金矿床;黔西南

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2021)01-0053-11 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2021.01.182
引用格式:LI Songtao, LIU Jianzhong, XIA Yong, et al. Tectono-geochemistry Weak Mineralization Information Extraction Method and Its Application in the Carlin-type Gold Accumulation Area of Southwestern Guizhou[J]. Gold Science and Technology, 2021, 29(1):53-63. 李松涛, 刘建中, 夏勇, 等. 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, 2021, 29(1):53-63.

卡林型金矿(Carlin-type Gold Deposit)作为全球黄金资源的重要来源之一,最早发现于美国内华达州Carlin镇,尔后在我国滇黔桂地区也发现了特征与之相似、成群成带分布的金矿床(Hu, et al., 2002)。内华达卡林型金矿聚集区金累计查明资源量已超过7 930 t(Muntean, et al., 2018),而滇黔桂

卡林型金矿聚集区金累计查明资源量仅突破900 t(Su et al., 2018; 刘建中等, 2020),可见我国卡林型金矿的探明储量远低于美国。黔西南作为我国最早发现卡林型金矿的地区,是滇黔桂“金三角”最重要的组成部分(涂光炽, 1990; 何立贤等, 1993; 刘东升等, 1994; 高振敏等, 2002; 夏勇, 2005)。迄今为

收稿日期:2020-10-10; 修订日期:2020-11-14

基金项目: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)、国家重点研发计划项目“深地资源勘查开采”(编号:2017YFC0601500)和贵州省科技厅项目“华南陡山沱组盖帽碳酸盐岩中保留的古喀斯特结构研究”(编号:黔科合平台人才[2018]5778-04)联合资助

作者简介:李松涛(1987-),男,四川巴中人,副教授,从事卡林型金矿成矿规律与找矿预测研究工作。lisongtaozgh@163.com

*通信作者:刘建中(1966-),男,贵州务川人,研究员,从事金矿和磷矿成矿与找矿研究工作。2585364825@qq.com

止,黔西南地区已发现200余处卡林型金矿床及金矿点,累计查明金资源量720 t,占滇黔桂“金三角”金资源量总量的80%以上(刘建中等,2017a;2017b;2020)。然而,与美国卡林型金矿勘查深度相比(部分深度已超过2 000 m),以贵州为主的我国滇—黔—桂地区的金矿勘查深度大多偏浅(多数深度小于500 m),这可能是我国卡林型金矿储量明显低于美国的主要原因之一。因此,深部找矿技术的发展与突破关乎我国卡林型金矿的资源前景,也是打造我国西南地区千吨黄金资源基地的关键制约因素。

早期,贵州省1:20万土壤地球化学扫面成果在黔西南地区卡林型金矿找矿中发挥了至关重要的作用,区内早期发现的金矿均位于土壤地球化学的Au-As-Sb-Hg(Tl)组合异常中(骆地伟,2015)。然而,随着找矿工作的不断推进,黔西南浅表金矿几乎找寻殆尽,已有金矿区深部与外围以及勘查工作程度较低的地区,其地层覆盖厚度往往都比较大,深部隐伏金矿在浅表的矿化信息通常很微弱,传统化探测量已经不能够满足隐伏矿找矿需求。因此,如何提升和改善地球化学找矿方法,有效提取隐伏弱矿化信息,是黔西南金矿找矿工作中亟需解决的一个科学问题。近年来,项目组成员采用构造地球化学扫面测量在黔西南最大的、以层控型矿体为主的水银洞卡林型金矿床外围的东段地区有效提取深部成矿信息,发现了埋深大于1 000 m的金矿体,进而扩大了矿床储量规模(Tan et al.,2015;徐良易,2016;刘建中等,2016;2017c;谭亲平等,2020)。泥堡金矿是以断控型矿体为特征的金矿床,其赋矿地层、容矿岩石、控矿构造和矿体形态等方面都有别于以水银洞为代表的层控卡林型金矿床(祁连素等,2014a;2014b;李俊海等,2015;陈发恩等,2019)。泥堡金矿床累计探明金资源量已超过70 t(郑禄林等,2019),但其外围地区的地质与化探找矿工作程度较低,成矿潜力尚不清楚。

本文重点选择泥堡金矿的外围区域,在构造蚀变专项地质填图和土壤化探工作的基础上,通过构造地球化学找矿方法的试验研究,有效提取成矿信息,为该找金潜力及深部勘查提供科学依据,同时为区域金矿的找矿工作提供技术支撑。

1 地质概况

研究区位于泥堡金矿床北东方位的外围区域,受控于泥堡—潘家庄褶皱断裂,区域上位于南盘江—右江成矿区北段之兴仁—安龙金矿带。泥堡—潘家庄褶皱断裂带走向NE,西起普安县泥堡,经兴仁县潘家庄镇,东至晴隆县紫马镇,断裂带宽1~3 km,长约35 km。该褶皱断裂带中金、锑矿化较发育,带内分布有泥堡、虎场、三道沟和紫马等金矿床(点)和大厂锑矿床。

1.1 泥堡金矿地质特征

泥堡金矿床出露及钻遇地层主要是二叠系和三叠系,其中赋金地层主要为二叠系峨眉山玄武岩组(李松涛,2019)。区内构造较发育,主要发育NEE向泥堡背斜,伴有NE向二龙抢宝断层、三道沟断层、潘家庄断层、谢家寨断层和NW西向红岩断层、母猪坪断层、竹桶断层(祁连素等,2014a;2014b)。此外,在中—上二叠统地层中发育多个层间滑脱构造所构成的层间滑脱构造系统(刘建中等,2020)。NE向泥堡背斜、二龙抢宝断层及其上盘牵引褶曲(二龙抢宝背斜)是区内金矿体的主要控矿构造,金矿化带基本与断裂走向及背斜轴向一致。二龙抢宝逆冲断层是重要的垂向导矿构造及容矿构造(戢兴忠等,2018),泥堡背斜和二龙抢宝背斜核部及近核部的岩层产状由缓变陡的扩容空间以及层间滑脱断层是很好的横向容矿空间(祁连素等,2014a;2014b;戢兴忠等,2018;李松涛,2019)。

按金矿体的产状、空间位置和控制因素,矿床内金矿体可划分为断裂型、层控型及残坡积型3类,其中以断裂型金矿资源规模最大,单个矿体分别达中型矿床规模,层控型矿体规模次之,氧化矿体规模最小(祁连素等,2014a;2014b)。

1.2 研究区地质特征

研究区出露岩性主要有二叠系茅口组(P_2m)中厚层至块状生物屑灰岩、峨眉山玄武岩组($P_2\beta$)凝灰岩、火山角砾岩夹粉砂岩和黏土岩,龙潭组(P_3l)含煤碎屑岩、泥灰岩和硅化灰岩,长兴+大隆组(P_3c+d)薄层至厚层粉砂岩、粉砂质黏土岩、泥灰岩夹灰岩,三叠系飞仙关组(T_3f)黏土岩、粉砂岩和泥灰岩,永宁镇组(T_3yn)灰岩、白云岩和黏土岩,关岭组(T_3g)灰岩和白云岩,第四系冲积物和残坡积物。

研究区内构造以NE向为主,其次呈NW向展布。NE向构造主要有潘家庄、三道沟、谢家寨、耙把铺、梅子、雨木和猫猫坪断层以及泥堡背斜,NW向构造以马古地背斜为特征(图1)。区内蚀变主要包括

硫化(黄铁矿—毒砂—辉锑矿—雄/雌黄等)、硅化(石英—似碧玉岩)、碳酸盐化(白云石—方解石)、去碳酸盐化(溶解白云石和方解石)、萤石化(萤石)和黏土岩化(伊利石—高岭石)等低温热液蚀变。

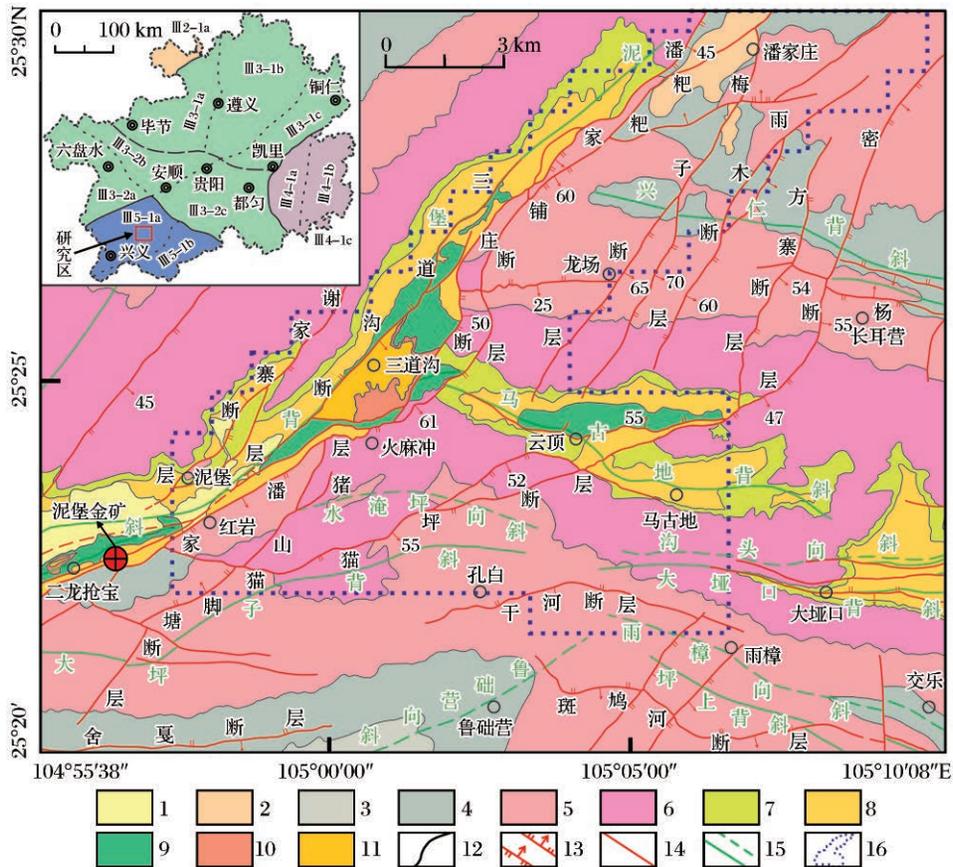


图1 泥堡金矿及其外围区域地质矿产图(据戴传固等,2015;谭礼金等,2017;陶平等,2018修改)

Fig.1 Geological and mineral map of Nibao gold deposit and its surrounding area (modified after Dai et al., 2015; Tan et al., 2017; Tao et al., 2018)

Ⅲ2-1a-赤水—习水NEE向构造区;Ⅲ3-1a-毕节—桐梓NE向构造区;Ⅲ3-1b-务川—开阳NNE向构造区;Ⅲ3-1c-松桃—福泉NE向构造区;Ⅲ3-2a-威宁—六枝NW向构造区;Ⅲ3-2b-赫章—修文NEE向构造区;Ⅲ3-2c-长顺—丹寨SN向构造区;Ⅲ4-1a-雷山—榕江NNE向构造区;Ⅲ4-1b-天柱—黎平NE向构造区;Ⅲ4-1c-从江—融水NNE向构造区;Ⅲ5-1a-普安—贞丰NE及NW向构造区;Ⅲ5-1b-册亨—罗甸EW向及NW向构造区;1.第四系;2.古近系石脑组;3.三叠系杨柳井组;4.三叠系关岭组;5.三叠系永宁镇组;6.三叠系飞仙关组;7.二叠系长兴组+大隆组;8.二叠系龙潭组;9.二叠系峨眉山玄武岩组;10.二叠系茅口组;11.构造蚀变体;12.地层界线;13.正断层/逆断层;14.性质不明断层;15.向斜轴/背斜轴;16.构造地球化学测量范围

2 构造地球化学研究依据及方法

2.1 构造地球化学理论基础

构造作用是地壳化学元素分配、迁移、分散和富集的驱动力,因而化学元素及其物质成分的变化是与构造作用导致的物理变形相联系和对应的。

成矿热液在断裂、裂隙和节理等构造发育的岩石中活动性较强,使得热液在构造发育的岩石中垂直渗透性显著提高,导致成矿元素向地表强烈迁移,而一系列构造体系则是含矿流体运移的良好通道和矿质沉淀的有利部位。构造经历强烈的气液活动后,其中留下许多气液活动的“痕迹”,这些“痕迹”

包含丰富的成矿信息,从而使得构造体系及其周围形成特殊的地球化学晕,即元素构造地球化学异常(韩润生等,2003;李惠等,2010;宋威方等,2019)。相对于构造不发育的围岩而言,提取的构造部位的地球化学异常(原生晕)明显且梯度大,最能代表矿致异常(韩润生等,2003;宋威方等,2019)。因此,深部矿(化)体能够通过断裂、裂隙和节理等构造与地表的矿化原生晕相联系,并具有一致性和对应性。

2.2 构造地球化学研究方法

构造地球化学找矿方法一般包含6个方面。
①目的:根据成矿信息的“有”和“无”,发现深部成矿信息。
②前提与核心:通常要对区域上已发现的多个典型矿床的矿床类型、成矿模式、矿体就位空间和成矿元素组合等有较深入的研究。
③采样原则:样品采集的“有”和“无”,若发现构造(节理、裂隙、小揉皱、断裂、背斜及背形)和蚀变即采样,否则不采样。
④采样介质:断层角砾岩、断层泥、碎裂岩、糜棱岩、节理和裂隙充填物、穿层细脉、背斜和背形核部岩石以及蚀变岩石。
⑤采样尺度:一般采用1:5万和1:1万尺度,但不拘泥于传统化探中的固定式网格取样,主要遵循“近构造蚀变带密”和“远构造蚀变带疏”的重点性原则。以1:1万尺度为例,大致采用100 m×40 m网格,图面采样点位周围20 m范围内采集构造和蚀变样品,若单点位附近构造和蚀变较发育,可采集多个样品,若单点位附近未发现上述介质则停止采样,同理进行1:5万的采样工作。
⑥样品测试:根据元素组合特征,选择与成矿相关的元素进行分析(刘建中等,2017c;苑顺发等,2018)。

3 构造地球化学与土壤地球化学特征对比

本文在构造蚀变专项地质填图和1:5万土壤地球化学测量的基础上,重点选择泥堡—潘家庄褶皱断裂带北东段140 km²的区域开展构造地球化学找矿试验研究。区域土壤地球化学测量研究表明,Au、As、Sb、Hg和W元素相关性较好,显示出成矿元素的特征(李松涛,2019),因此,本次构造地球化学研究主要分析以上5种元素。

综合分析研究区内1 635件土壤地球化学样品和同区域936件构造地球化学样品的测试数据(表1),结果表明:①除Sb元素之外,后者中Au、As和Hg元素最高含量明显大于前者,尤其是Au元素,悬殊达10倍;②后者中各元素的高值点数量及样品比例远高于前者;③后者中Au、As和Sb元素的平均值和富集系数都明显高于前者,Hg和W元素则略微偏高;④Au、As和Hg元素在后者中的变化系数高于前者,而Sb和W元素显示出相反的特征;⑤在研究区南东部云顶—马古地一带,土壤地球化学测量并未发现Au、As、Sb、Hg和W元素高值点,但经过构造地球化学测量,在该区域发现各元素的高值点,其中Au最高达 52×10^{-9} ,As为 7.417×10^{-6} 、Sb为 1.802×10^{-6} 、Hg为 22.34×10^{-6} 、W为 15.66×10^{-6} 。

构造地球化学图和土壤地球化学图既显示出一些相似之处,也反映出较大的差别。本文以Au元素地球化学图为例进行探讨(图2),相同点体现在:①二者均显示出Au背景值区和高值区,高值区一般呈椭圆状、串珠状和带状分布,其形态和规模受构造控制;②二者高值区的主体位置和范围比较一致,均位于火麻冲—三道沟一带,与NE向泥堡背斜和沿核部发育的轴向断层(三道沟断层、潘家庄断层)套合较好;③二者高值区域的面积大、梯度分带明显且峰值中心显著。区别主要体现在:①土壤地球化学测量在区内反映出的高值区域具有“高、大、全”的特征,而构造地球化学对这些“高、大、全”区块具有明显的放大作用,其获得的高值区域的面积更大,对某些高值点也有明显的加强作用;②构造地球化学的峰值中心更加显著,浓度分带更加明显;③在研究区南东部云顶—马古地一带,主要分布三叠系飞仙关组,地层覆盖厚度较大,土壤地球化学测量并未提取出地球化学异常,显示出弱矿化信息的特征。通过构造地球化学测量,在该区域发现了高含量的采样点,圈定出珠串状和带状异常沿马古地背斜核部呈NE向分布,说明构造地球化学方法能有效提取深部弱矿化信息。

综上所述,相较于传统的土壤地球化学方法,构造地球化学方法主要具有以下特点:①高值区域具有很好的重现性,在土壤地球化学圈定的高值范围内,构造地球化学同样显示出高值特征;②细节更加明显,在土壤地球化学测量的高值区域,构造

表1 土壤地球化学和构造地球化学的 Au、As、Sb、Hg、W 元素参数对比统计
Table 1 Comparative statistics of Au, As, Sb, Hg, W element parameters between soil geochemistry and tectonic geochemistry

样品类型及数量	元素	含量最小值	含量最大值	含量平均值	标准偏差	变化系数	富集系数
土壤地球化样品(1635件样品)	Au	0.3	292	2.92	12	4.11	2.37
	As	0.74	12 736	78.41	359	4.58	15.08
	Sb	0.23	4 839	15.63	129	8.25	2.40
	Hg	0.02	33.3	0.47	1	2.13	0.04
	W	0.48	68.2	2.46	3	1.22	2.05
构造地球化学样品(936件样品)	Au	0.1	2 670	7.42	92	12.40	6.03
	As	0.2	21 948	226.69	1 046	4.61	43.59
	Sb	0.05	2 571	26.21	150	5.72	4.03
	Hg	0.01	55.1	0.48	3	6.25	0.04
	W	0.01	464	3.06	17	5.56	2.55

注: Au元素含量单位为 10^{-9} , As、Sb、Hg和W元素含量单位为 10^{-6}

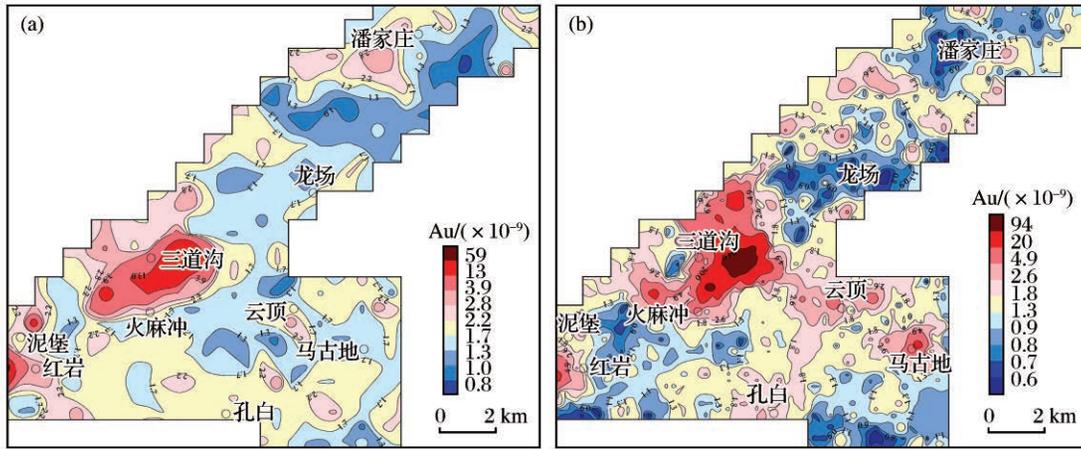


图2 泥堡金矿外围地区金的土壤地球化学(a)与构造地球化学(b)对比图

Fig.2 Comparison map of soil geochemistry(a)and tectonic geochemistry(b)of gold in the periphery of Nibao gold deposit

地球化学获得的面积更大,对“高、大、全”异常有明显的放大作用,对某些高值点有明显的加强作用;③高值点量值成倍增长,构造地球化学获得的 Au 最高含量比土壤地球化学含量高出数十倍,更能够凸显高异常;④弱矿化信息提取更有效,构造地球化学方法的分析对象均为构造蚀变样,因而突出了与成矿有关的信息并弱化其他干扰信息,使地球化学信息得到强化,能够提取土壤地球化学方法不能识别的弱矿化信息;⑤具有经济、实用、高效的特点,由于构造地球化学采样的布置没有被传统的网格密度限制,因此在获得更好异常效果的情况下,构造地球化学的采样数量更少,仅为同比例尺土壤样的 60%(甚至更低),显著提高了样品的可利用

率,不仅减少了样品数量,而且提高了工作效率和经济效益;⑥采样介质的确定需要相当的技术水准,特别是精细判断与成矿有关的采样介质,要求具有一定程度的专业技术水平。

4 找矿预测

4.1 构造地球化学综合异常特征

Au、As、Sb、Hg 和 W 元素的异常下限(C_a)根据公式($C_a=C_0+k\delta$)计算,式中 C_0 为元素背景值(C_0), δ 为标准差, k 一般取值 1~3,通过对比试验,本次工作最终确定为 2。计算表明 Au、As、Sb、Hg 和 W 元素异常下限分别为 4.9×10^{-9} 、 737×10^{-6} 、 59.7×10^{-6} 、 1.0×10^{-6} 和 7.59×10^{-6} ,以异常下限的 1、2、4 倍为异常

的外、中、内带。在此基础上,利用MapGIS软件制作Au、As、Sb、Hg和W元素地球化学异常图,按各

元素空间分布的一致性归并为I、II、III和IV号综合异常(图3)。

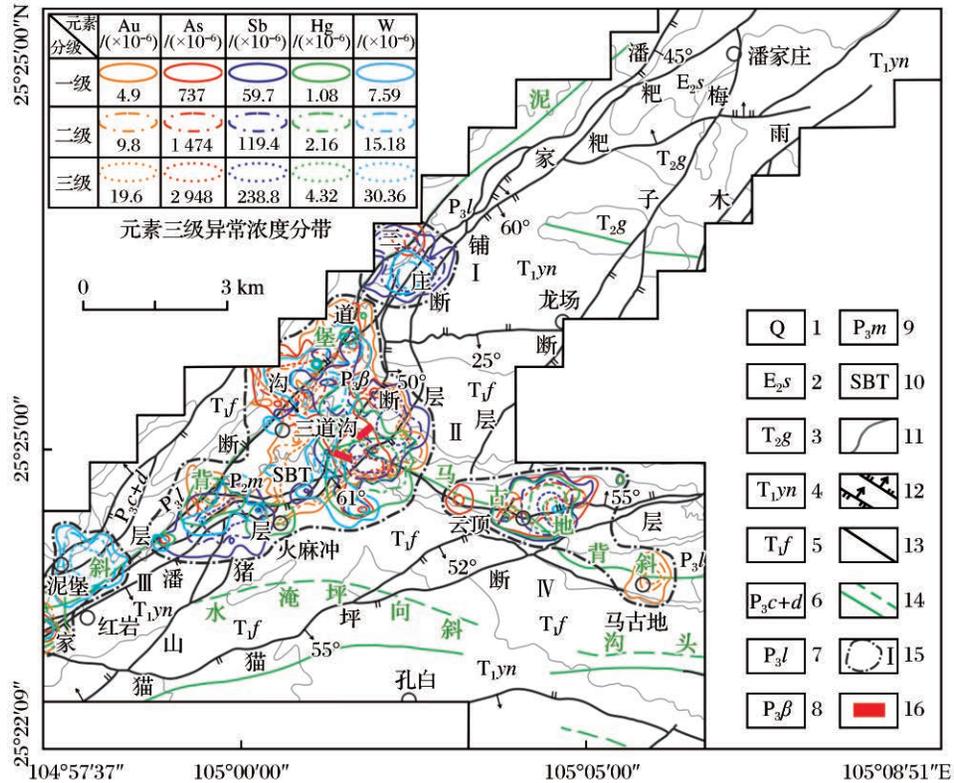


图3 泥堡金矿外围地区构造地球化学样品Au、As、Sb、Hg和W综合异常

Fig. 3 Comprehensive anomalies of Au, As, Sb, Hg and W in tectono-geochemical samples in the periphery of the Nibao gold deposit

1. 第四系; 2. 古近系石脑组; 3. 三叠系关岭组; 4. 三叠系永宁镇组; 5. 三叠系飞仙关组; 6. 二叠系长兴组+大隆组; 7. 二叠系龙潭组;
8. 二叠系峨眉山玄武岩组; 9. 二叠系茅口组; 10. 构造蚀变体; 11. 地层界线; 12. 正断层/逆断层; 13. 性质不明断层; 14. 向斜轴/背斜轴;
15. 综合异常范围及编号; 16. 探槽

(1) I号异常为As、Sb、W综合异常,呈不规则圆状分布。其中,As异常面积为0.37 km²,异常均值为3 341 $\times 10^{-6}$,最大值为6 060 $\times 10^{-6}$,异常衬度为4.53,NAP值为1.68,元素剩余量和面金属量分别为2 604和963.48,异常分带明显,但只发育外带和中带;Sb异常面积为1.95 km²,异常均值为1 000.3 $\times 10^{-6}$,最大值为2 571 $\times 10^{-6}$,异常衬度为16.75,NAP值为32.67,元素剩余量和面金属量分别为940.6和1 843.17,具三级浓度分带,浓集中心明显;W异常面积为0.57 km²,异常均值为41.37 $\times 10^{-6}$,最大值为70.1 $\times 10^{-6}$,异常衬度为5.45,NAP值为3.11,元素剩余量和面金属量分别为33.78和19.25,异常发育外带和中带。该综合异常位于泥堡—潘家庄褶皱断

裂带北东段,大致呈NE向展布,出露岩性主要为龙潭组含煤碎屑岩和硅化灰岩以及峨眉山玄武岩组火山碎屑岩,各元素异常套合较好,但规模和强度均较小。

(2) II号异常为Au、As、Sb、Hg、W综合异常,沿NE向呈椭圆状分布。其中,Au异常面积为10.31 km²,异常均值为122.78 $\times 10^{-9}$,最大值为2 670 $\times 10^{-9}$,异常衬度为25.06,NAP值为258.34,元素剩余量和面金属量分别为117.88和1 215.34,异常分带明显,具三级浓度分带;As异常面积为5.51 km²,异常均值为2 592.43 $\times 10^{-6}$,最大值为21 948 $\times 10^{-6}$,异常衬度为3.52,NAP值为19.38,元素剩余量和面金属量分别为1 855.43和10 223.42,异常分带明显,具三级浓

度分带;Sb异常面积为7.88 km²,异常均值为268.22×10⁻⁶,最大值为1 897×10⁻⁶,异常衬度为4.49,NAP值为35.4,元素剩余量和面金属量分别为208.52和1 643.14,异常分带明显,具三级浓度分带;Hg异常面积为5.48 km²,异常均值为6.35×10⁻⁶,最大值为55.1×10⁻⁶,异常衬度为5.88,NAP值为32.22,元素剩余量和面金属量分别为5.27和28.88,异常分带明显,具三级浓度分带;W异常面积为5.73 km²,异常均值为22.9×10⁻⁶,最大值为117×10⁻⁶,异常衬度为3.02,NAP值为17.28,元素剩余量和面金属量分别为15.31和87.73,异常分带明显,具三级浓度分带。该综合异常带位于NE向泥堡—潘家庄褶皱断裂带和NW向马古地背斜的结合部位,出露岩性主要为三叠系飞仙关组粉砂质黏土岩和二叠系长兴—大隆组黏土质粉砂岩、龙潭组含煤细碎屑岩及峨眉山玄武岩组火山角砾岩和凝灰岩,5个元素的异常均闭合,异常规模大,异常强度高,具有明显的三级浓度分带,浓集中心套合明显。

(3)Ⅲ号异常为Au、As、Sb、Hg和W综合异常,由3个次级异常组成,沿NE向呈带状分布,其中Au在Ⅲ-1、Ⅲ-2和Ⅲ-3中均分布有异常点,以Ⅲ-3中异常最为显著,异常面积为1.07 km²,异常均值为28×10⁻⁹,最大值为52×10⁻⁹,异常衬度为5.71,NAP值为6.11,元素剩余量和面金属量分别为23.1和24.72,异常分带明显;As在Ⅲ-1和Ⅲ-2中均分布有异常点,异常面积为2.38 km²,异常均值为4 118.13×10⁻⁶,最大值为7414×10⁻⁶,异常衬度为5.59,NAP值为13.3,元素剩余量和面金属量分别为3 381.13和8 047.09,具三级浓度分带,浓集中心明显;Sb异常只分布在Ⅲ-2中,异常面积为2.08 km²,异常均值为418.38×10⁻⁶,最大值为1 802×10⁻⁶,异常衬度为7,NAP值为14.58,元素剩余量和面金属量分别为358.68和746.05,异常分带明显,具三级浓度分带;Hg异常分布在Ⅲ-2中,异常面积为1.76 km²,异常均值为6.66×10⁻⁶,最大值为23.34×10⁻⁶,异常衬度为6.17,NAP值为10.85,元素剩余量和面金属量分别为5.58和9.82,异常分带明显,具三级浓度分带;W只有一个异常点,位于Ⅲ-2中,异常数值为15.66×10⁻⁶。该综合异常带位于NW向马古地背斜核部附近,出露岩性主要为三叠系飞仙关组粉砂质黏土岩、二叠系长兴—大隆组黏土质粉砂岩、龙潭

组含煤细碎屑岩和硅化灰岩以及峨眉山玄武岩组凝灰岩,异常规模和强度一般。

(4)Ⅳ号异常为Au、As、Hg和W综合异常,沿NE向呈椭圆状分布,其中Au异常面积为0.53 km²,异常均值为29.7×10⁻⁹,最大值为59×10⁻⁹,异常衬度为6.06,NAP值为3.21,元素剩余量和面金属量分别为24.8和13.14,异常分带明显,具三级浓度分带;As异常面积为0.13 km²,异常均值为2 336×10⁻⁶,最大值为4 239×10⁻⁶,异常衬度为3.17,NAP值为0.41,元素剩余量和面金属量分别为1 599和207.87,异常分带明显,但只发育外带和中带;Hg异常面积为0.59 km²,异常均值为7.42×10⁻⁶,最大值为10.78×10⁻⁶,异常衬度为6.87,NAP值为4.05,元素剩余量和面金属量分别为6.34和3.74,异常分带明显,具三级浓度分带;W异常面积为1.79 km²,异常均值为125.59×10⁻⁶,最大值为464×10⁻⁶,异常衬度为16.55,NAP值为29.62,元素剩余量和面金属量分别为118和211.22,异常分带明显,具三级浓度分带。该综合异常带位于NE向泥堡—潘家庄褶皱断裂带中部,出露岩性主要为二叠系长兴—大隆组黏土质粉砂岩、泥灰岩和龙潭组含煤细碎屑岩夹硅化灰岩,异常规模和强度均较小。

4.2 找矿效果

综合研究区地质和构造地球化学异常特征,对成矿条件较好的Ⅱ号异常进行了槽探验证工作(图3),分析结果显示2个探槽(TC5、TC15)均见矿。通过探槽揭露控制,圈定2个金矿体(XⅡ-1、XⅡ-2),其最大见矿厚度为5.86 m,最高品位为4.53×10⁻⁶(谭礼金等,2017)。依据《固体矿产推断的内蕴经济资源量和经工程验证的预测资源量估算技术要求》(中国地质调查局,2002),估算2个矿体的金资源量(333+334)分别为2 129.59 kg和751.68 kg。由于该异常区发现的2个金矿体主要受断裂控制,浅表发现的金矿体大多延伸至深部,因此,今后若有深部工程进一步控制,可望扩大靶区资源量规模。

5 结论及展望

(1)与土壤地球化学方法相比,构造地球化学方法更能有效地提取深部弱矿化信息,同时具有经

济、实用、高效的特点。

(2)综合分析地质和地球化学资料,在研究区圈定了4个构造地球化学综合异常区,对成矿条件较好的Ⅱ号异常进行工程验证,取得了很好的找矿效果,说明构造地球化学方法对泥堡金矿外围的找矿工作具有很好的指导作用,为研究区开展深部找矿工作奠定了基础。

(3)本次研究主要是采用构造地球化学方法和土壤地球化学方法在成矿信息提取方面进行对比分析,以后需要加强对构造地球化学测量中的不同采样介质所蕴含的矿化信息进行统计和对比分析,还需对除了成矿元素含量以外的其他找矿信息加以探讨,进一步提炼可能的找矿信息,构建多重找矿指标,同时对不同采样介质的各项矿化信息进行综合对比研究,优选最佳采样介质,以期提升该方法的可操作性和有效性。

参考文献(References):

Chen Fa'en, Liu Jianzhong, Yang Chengfu, et al, 2019. Geological characteristics and structural ore control analysis of Shuiyindong super large gold deposit in Zhenfeng County, Guizhou Province[J]. *Guizhou Geology*, 36(1): 18-27.

China Geological Survey, 2002. Technical requirements for estimation of intrinsic economic resources inferred by solid mineral resources and predicted resources verified by engineering: DD2002-01[S]. Beijing: Development Research Center of China Geological Survey.

Dai Chuangu, Hu Mingyang, Chen Jianshu, et al, 2015. The important geologic events of Guizhou Province and its geologic significance[J]. *Guizhou Geology*, 32(1): 1-9, 14.

Gao Zhengmin, Li Hongyang, Yang Zhusen, et al, 2002. Mineralization and Prospecting of Main Types of Gold Deposits in Yunnan and Guizhou[M]. Beijing: Geological Publishing House.

Han Ruisheng, Chen Jin, Gao Derong, et al, 2003. Application of tectono-geochemical ore-finding method in orientation prognosis of concealed ores[J]. *Geology and Prospecting*, (6): 25-28.

He Lixian, Zeng Ruolan, Lin Liqing, 1993. *Geology of Gold Deposits in Guizhou* [M]. Beijing: Geological Publishing House.

Hu R Z, Su W C, Bi X W, et al, 2002. Geology and geochemistry of carlin-type gold deposits in China[J]. *Mineralium De-*

posita, 37(3/4): 378-392.

Ji Xingzhong, Chen Maohong, Liu Xu, et al, 2018. Structure analysis and structural ore-controlling role of Nibao gold deposit in southwestern Guizhou Province[J]. *Mineral Deposits*, (6): 1296-1318.

Li Hui, Yu Bin, Li Deliang, et al, 2010. Research results of a new method of structural superimposed halo in deep prospecting for blind deposits in crisis mines[J]. *Mineral Deposits*, (Supp.1): 709-710.

Li Junhai, Zhang Shuangju, He Yannan, et al, 2015. Study progress of Nibao gold deposit in southwestern Guizhou[J]. *Gold*, 36(7): 9-12.

Li Songtao, 2019. *Metallogenic Regularity and Prospecting Prediction for Nibao-Baogudi Carlin-type Gold Area, Southwest Guizhou, China* [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences.

Liu Dongsheng, Tan Yunjin, Wang Jianye, 1994. *Carlin-type (Micro-Disseminated) Gold Deposits in China* [M]. Nanjing: Nanjing University Press.

Liu Jianzhong, Li Jianwei, Hou Lin, et al, 2016. The special mapping and technical application demonstration report of the gold mine exploration area in Zhenfeng-Pu'an, Guizhou Province[R]. Guiyang: Guizhou Geology and Mineral Bureau 105 Geological Team.

Liu Jianzhong, Li Jianwei, Zhou Zonggui, et al, 2017a. New progress of exploration and research of Zhenfeng-Pu'an gold fully equipped exploration area[J]. *Guizhou Geology*, 34(4): 244-254.

Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Yang Chengfu, et al, 2017b. Metallogenic model of gold deposits in Nanpanjiang-Youjiang metallogenic area[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 37(Supp.1): 139-140.

Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Yang Chengfu, et al, 2017c. Application demonstration system of "five in one" technology in prospecting concealed gold deposits in Guizhou[C]// China Geoscience Union Symposium. Beijing: Chinese Geophysical Society.

Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Yang Chengfu, et al, 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.

Luo Diwei, 2015. *Metallogenic System and Prediction of Carlin Type Gold Deposits in Southwest Guizhou, China* [D]. Wuhan: China University Geosciences(Wuhan).

Muntean J L, Cline J S, 2018. Introduction diversity of carlin-

- style gold deposits[J].Muntean J L, eds.Diversity of carlin-style gold deposits.Reviews in Economic Geology, 20: 1-5.
- Qi Liansu, He Yannan, Qi Jie, et al, 2014a.New cognizance of orebody type and formation mechanism of Nibao gold deposit in Guizhou[J].Guizhou Geology, 31(2): 109-115.
- Qi Liansu, He Yannan, Qi Jie, et al. 2014b.Ore-control structure type and its regulation of Nibao gold deposit in Guizhou[J]. Guizhou Geology, 31(1): 1-9.
- Song Weifang, Liu Jianzhong, Li Songtao, et al, 2019.Study on the application of tectonic geochemistry to gold prospecting in Guizhou [C]//The 9th National Symposium on Metallogenic Theory and Prospecting Methods.Zhejiang: Deposit Geochemistry Committee of China Mineral and Rock Geochemistry Society.
- Su W C, Dong W D, Zhang X C, et al, 2018.Carlin-type gold deposits in the Dian-Qian-Gui "Golden Triangle" of southwest China[J].Muntean J L, eds..Diversity of Carlin-style gold deposits.Reviews in Economic Geology, 20: 157-185.
- Tan Lijin, Meng Minghua, Nie Rong, et al, 2017.The mineral geological survey report of the Baogudi anticline in Xingren, Guizhou Province [R]. Guiyang: Guizhou Geology and Mineral Bureau 105 Geological Team.
- Tan Q P, Xia Y, Xie Z J, et al, 2015.Migration paths and precipitation mechanisms of ore-formation fluid at the Shuiyindong carlin-type gold deposit, Guizhou, China[J].Ore Geology Reviews, 69: 140-156.
- Tan Qiping, Xia Yong, Xie Zhuojun, et al, 2020.Tectono-geochemistry and concealed ores prospecting in the Shuiyindong gold deposit of southwestern Guizhou [J].Acta Geoscientica Sinica: 1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3474.P.20200708.1127.002.html>.
- Tao Ping, Chen Jiashu, Chen Qifei, et al, 2018. Division scheme about the metallogenic zones of Guizhou Province [J].Guizhou Geology, 35(3): 171-180, 217.
- Tu Guangzhi, 1990.The SW Qinling and the SW Guizhou uranium and gold metallogenic belts, and their similarites to the carlin-type gold deposits in the western states, USA [J]. Uranium Geology, 6(6): 321-325.
- Xia Yong, 2005.Characteristics and Model for Shuiyinyindong Gold Deposit in Southwestern Guizhou, China [D]. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences.
- Xu Liangyi, 2016. The Characteristics of Tectono-geochemical of the Shuiyindong Gold Deposit and the Application of Tectono-Geochemical Ore-finding in Concealed Ores [D]. Guiyang: Guizhou University.
- Yuan Shunfa, Liu Jianzhong, Song Weifang, et al, 2018.Geologic and tectono-geochemical characteristics of Lanmuchang Au-Hg-Tl deposit in Xingren, Guizhou [J].Guizhou Geology, 35(1): 7-13.
- Zheng Lulin, Yang Ruidong, Liu Jianzhong, et al, 2019.Geological-geochemical characteristics and genesis of the large Nibao gold deposit in southwestern Guizhou [J].Geological Review, 65(6): 1363-1382.
- 陈发恩, 刘建中, 杨成富, 等, 2019.贵州省贞丰县水银洞超大型金矿床地质特征及构造控矿分析[J].贵州地质, 36(1): 18-27.
- 戴传固, 胡明扬, 陈建书, 等, 2015.贵州重要地质事件及其地质意义[J].贵州地质, 32(1): 1-9, 14.
- 高振敏, 李红阳, 杨竹森, 等, 2002.滇黔地区主要类型金矿的成矿与找矿[M].北京:地质出版社.
- 韩润生, 陈进, 高德荣, 等, 2003.构造地球化学在隐伏矿定位预测中的应用[J].地质与勘探, (6): 25-28.
- 何立贤, 曾若兰, 林立青, 1993.贵州金矿地质[M].北京:地质出版社.
- 戴兴忠, 陈懋弘, 刘旭, 等, 2018.黔西南泥堡金矿床构造解析及构造控矿作用[J].矿床地质, (6): 1296-1318.
- 李惠, 禹斌, 李德亮, 等, 2010.危机矿山深部找盲矿的构造叠加晕新方法研究成果[J].矿床地质, (增1): 709-710.
- 李俊海, 张双菊, 何彦南, 等, 2015.黔西南泥堡金矿床研究新进展[J].黄金, 36(7): 9-12.
- 李松涛, 2019.黔西南泥堡一包谷地地区卡林型金矿成矿规律与找矿预测研究[D].贵阳:中国科学院地球化学研究所.
- 刘东升, 谭运金, 王建业, 1994.中国卡林型(微细浸染型)金矿[M].南京:南京大学出版社.
- 刘建中, 李建威, 侯林, 等, 2016.贵州贞丰—普安金矿整装勘查区专项填图与技术应用示范报告[R].贵阳:贵州省地质矿产勘查开发局—〇五地质大队.
- 刘建中, 李建威, 周宗桂, 等, 2017a.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, 2017b.南盘江—右江成矿区金矿成矿模式构想[J].矿物学报, 37(增1): 139-140.
- 刘建中, 王泽鹏, 杨成富, 等, 2017c.贵州金矿隐伏矿找矿“五合一”技术应用示范体系[C]//中国地球科学联合学术年会.北京:中国地球物理学会.
- 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(4): 49-51.

- 骆地伟, 2015. 黔西南卡林型金矿成矿系统及成矿预测[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉).
- 祁连素, 何彦南, 祁杰, 等, 2014a. 贵州省泥堡金矿床矿体类型及其形成机理的新认识[J]. 贵州地质, 31(2): 109-115.
- 祁连素, 何彦南, 祁杰, 等, 2014b. 贵州省泥堡金矿床控矿构造类型及其控矿规律[J]. 贵州地质, 31(1): 1-9.
- 宋威方, 刘建中, 李松涛, 等, 2019. 构造地球化学在贵州金矿找矿中的应用研究[C]//第九届全国成矿理论与找矿方法学术讨论会. 浙江: 中国矿物岩石地球化学学会矿床地球化学专业委员会.
- 谭礼金, 蒙明华, 聂荣, 等, 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一〇五地质大队.
- 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: 1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3474.P.20200708.1127.002.html>.
- 陶平, 陈建书, 陈启飞, 等, 2018. 关于贵州省成矿区带的划分方案[J]. 贵州地质, 35(3): 171-180, 217.
- 涂光炽, 1990. 西南秦岭与西南贵州铀金成矿带及其与美国西部卡林型金矿床的类似性[J]. 铀矿地质, 6(6): 321-325.
- 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[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所.
- 徐良易, 2016. 黔西南水银洞金矿床构造地球化学特征及其在隐伏矿床找矿中应用研究[D]. 贵阳: 贵州大学.
- 苑顺发, 刘建中, 宋威方, 等, 2018. 贵州兴仁县滥木厂金汞铊矿地质及构造地球化学特征[J]. 贵州地质, 35(1): 7-13.
- 郑禄林, 杨瑞东, 刘建中, 等, 2019. 黔西南普安县泥堡大型金矿床地质地球化学特征与矿床成因探讨[J]. 地质论评, 65(6): 1363-1382.
- 中国地质调查局, 2002. 固体矿产推断的内蕴经济资源量和经工程验证的预测资源量估算技术要求: DD2002-01[S]. 北京: 中国地质调查局发展研究中心.

Tectono-geochemistry Weak Mineralization Information Extraction Method and Its Application in the Carlin-type Gold Accumulation Area of Southwestern Guizhou

LI Songtao^{1,2,3}, LIU Jianzhong^{3,4}, XIA Yong⁵, XIE Zhuojun⁵, TAN Qinqing⁵, WANG Zepeng^{2,3}, ZHOU Guanghong¹, YANG Chengfu^{2,3}, MENG Minghua², TAN Lijin², WANG Xiaoyong², LI Junhai^{2,3}, XU Liangyi², WANG Dafu²

1. School of Geography and Resources, Guizhou Education University, Guiyang 550018, Guizhou, China;

2. 105 Geological Team, Guizhou Geology and Mineral Bureau, Guiyang 550018, Guizhou, China;

3. Technology Innovation Center of Mineral Resources Explorations in Bedrock Zones, Ministry of Natural Resources, Guiyang 550081, Guizhou, China;

4. Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development Guizhou Province, Guiyang 550004, Guizhou, China;

5. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, Guizhou, China

Abstract: The southwestern Guizhou gold ore concentration area is one of the most important parts of the Yunnan-Guizhou-Guangxi “golden triangle” in southwestern China, its deep and peripheral prospecting work is facing a dilemma. At present, traditional geochemical methods face great challenges in the exploration of deep hydrothermal minerals (such as carlin-type gold deposits in southwest Guizhou). In order to break through the difficulties of traditional geochemical prospecting methods in the exploration of deep mineral resources, the peripheral area of Nibao gold deposit was selected for a comparative study on the extraction of weak information of 1:50 000 soil geochemistry and 1:50 000 tectono-geochemistry. Through the comparative study of soil geochemical survey in the same region, it is found that the method of extracting weak information of tectono-geochemistry has the following characteristics: (1) The anomaly has good reproducibility, within the

range of anomalies delineated by soil geochemistry, the extraction of weak information of tectono-geochemistry can also delineate anomalies. (2) The details are more obvious, and the anomaly area obtained by the extraction of tectono-geochemical weak information is larger in the area of soil geochemical anomalies, which can obviously magnify the "high, large and complete" anomalies and strengthen some anomalies. (3) The value of high value point increases exponentially, and the highest content of Au obtained from the weak information of tectono-geochemistry is tens of times higher than that of soil geochemistry, which can highlight the high anomaly. (4) The extraction of weak information is more effective and can form anomalies in the areas where the soil geochemical survey does not show anomalies, indicating that this method plays a good role in the extraction of weak mineralization information and the location and prediction of concealed deposits. (5) The number of tectono-geochemical weak information samples is only 60% of that of the same scale soil samples, the sampling intensity is significantly reduced, and the economy is prominent. In conclusion, the results show that the tectono-geochemistry is not only more effective to extract the weak mineralization information, but also has the characteristics of economy, practicality and efficient. According to the characteristics of geology and tectono-geochemistry, four comprehensive anomalies are delineated. Through the engineering verification of No. 2 anomaly with better metallogenic conditions, the remarkable prospecting results have been obtained. Comprehensive results of geology and geochemistry in the study area show that the tectono-geochemistry weak information extraction provides a scientific basis for deep prospecting in the periphery of Nibao gold deposit. After further improvement and application, tectono-geochemical weak information extraction methods is expected to play an important role in prospecting for carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou.

Key words: tectono-geochemistry; soil geochemistry; carlin-type gold deposit; weak mineralization information; Nibao gold deposit; southwestern Guizhou

内蒙古:草原生态红线内严禁新上矿产项目

内蒙古自治区政府于2021年2月9日发布《关于矿产资源开发中加强草原生态保护的意見》(以下简称《意見》),对草原上新建矿产资源开发项目、已建成矿产资源开发项目及矿山环境治理等作出详细规定,从制度机制上再加码,进一步加强矿产资源开发领域草原保护管理工作,持续筑牢我国北方重要生态安全屏障。

《意見》提出,要严格控制草原上新建矿产资源开发项目。在草原生态红线内严禁乱采滥挖、新上矿产资源开发项目,其他草原除经依法依规批准的保障国家能源战略安全项目外,不得新上矿产资源开发项目。新上矿产资源开发项目在开展前期工作时,应征求林业和草原行政主管部门意见,把先预审、再立项、后建设的源头把控原则落到实处。矿产资源在勘查时确需临时占用草原的,由旗县级以上人民政府林业和草原行政主管部门依据确定的权限分级审批。

《意見》强调,要严格执行矿山生态环境保护与

恢复治理标准,因地制宜开展生态修复,提升废弃矿山、采矿沉陷区和煤田(矸石)火区治理效果。自然资源、生态环境、林草等部门要按照职能职责,督促矿产资源开发企业严格落实矿山地质环境保护与土地复垦方案,切实做好被占用草原的矿山环境综合治理工作。对无责任主体的矿山,旗县(市、区)人民政府要履行修复治理主体责任,在全面调查核实的基础上,分类、分区、分阶段组织实施。鼓励企业修复无主矿山,并依法依规、科学合理利用修复后的土地。自然资源、生态环境部门会同有关部门、科研单位,制定绿色矿山建设标准,健全绿色矿山标准体系,提升矿山生态环境治理水平。

要按照部门职能职责,进一步做好草原矿产资源开发利用事中事后监管,切实形成监管合力。充分利用“天空看、地面查”等现代科技手段,开展全覆盖式监督检查,实现全方位监测监管,督促企业依法依规开发矿产资源。严厉打击矿产资源开发违法占用草原行为。

(来源:中国矿业报)