

土壤地球化学测量在陕西宁强县辛家咀金矿区的应用

田渊^{1,2}, 王占彬^{1,2*}, 寇少磊^{1,2}, 刘基^{1,2}, 纪冬平^{1,2}, 张翼翔^{1,2}, 潘元^{1,2}, 李磊^{1,2}, 陈灏^{1,2}, 高超^{1,2}, 刘栋^{1,2}

1. 中国地质调查局西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710100;
2. 中国地质调查局金矿勘查技术创新中心, 陕西 西安 710100



摘要:后龙门山构造带金成矿条件有利,近年来金矿勘查取得良好成效,先后发现了太阳坪、丁家林和董家院等金矿床。辛家咀金矿区位于该构造带北东段,区域水系沉积物金异常发育较好,但找矿未取得突破。为快速有效查明辛家咀地区成矿潜力,圈定找矿有利空间,在参考前人工作经验的基础上,选择1:1万土壤地球化学测量技术作为该区找矿的先行手段。运用数理统计方法对元素富集离散规律和组合特征进行分析总结,圈定了元素地球化学异常并开展查证,在Ht-5综合异常区发现金矿体2条,探获金推断资源量3.72 t,在Ht-2综合异常区发现金矿化体1条。结果表明:区内土壤主要由原地基岩分化形成,受外来物质干扰少,土壤综合异常以Au为主,As、Sb、Ag与Au关系密切,是寻找金矿的主要指示元素。金矿(化)体均产于NE向牛蹄塘组与茂县群接触部位的脆—韧性剪切带内。土壤地球化学测量方法找矿效果显著,是后龙门山植被覆盖景观区条件下找金的高效手段之一。

关键词:土壤地球化学测量;元素异常;找矿效果;辛家咀金矿区;后龙门山构造带

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2025)06-1047-15 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2025.06.157
引用格式:田渊,王占彬,寇少磊,等.土壤地球化学测量在陕西宁强县辛家咀金矿区的应用[J].黄金科学技术,2025,33(6):1047-1061. TIAN Yuan, WANG Zhanbin, KOU Shaolei, et al. Application of Soil Geochemistry Survey in the Xinjiazu Gold Mining Area of Ningqiang County, Shaanxi Province[J]. Gold Science and Technology, 2025, 33(6): 1047-1061.

后龙门山构造带位于扬子板块西北缘,处于青川—阳平关断裂和北川—映秀断裂之间,分为基底岩系和沉积盖层2个部分,基底由轿子顶穹隆和刘家坪穹隆核部的新元古代通木梁群和刘家坪群火山岩及花岗岩组成,沉积盖层以南华纪—早古生代的沉积岩为主(李佐臣,2009)。自晚印支期以来,该构造带经历了多期构造运动,区域脆—韧性或韧性构造带和次级断裂带发育,成矿热动力条件有利,具备良好的成矿条件(王富东等,2015)。带内金矿资源丰富,发育有黄泥坪、丁家林、太阳坪和董

家院等多个金矿床,具有良好的金矿资源找矿前景(周新春等,2005;付于真等,2014;仇金林等,2025),但该区域地表植被覆盖严重,基岩露头较差,为矿产勘查工作带来挑战。

研究发现,丁家林、太阳坪和董家院金矿床受NE向脆—韧性剪切带控制,以发育鸡窝状石英脉型金矿体为特征,连续性较差(魏立勇,2008;钟俊,2012),带内金主要以裂隙金和包体金的形式赋存在黄铁矿中(周新春等,2005;魏立勇,2008;钟俊,2012),金矿形成年龄约为200 Ma(Liu et al, 2023),

收稿日期:2025-05-08;修订日期:2025-07-01

基金项目:中国地质调查局项目“陕西宁强青木川—阳平关一带金多金属找矿靶区优选与评价”(编号:DD20230369)和“金锑锂铍矿产找矿靶区调查评价”(编号:DD20230057)联合资助

作者简介:田渊(1992—),男,陕西咸阳人,高级工程师,从事数据处理分析等方面的研究工作。E-mail:670584979@qq.com

*通信作者:王占彬(1987—),男,陕西延安人,高级工程师,从事地球化学方面的研究工作。E-mail:406604601@qq.com

© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

带内矿体分布与1:20万水系沉积物金异常套合较好(龚克礼等,1989)。1:1万土壤地球化学测量作为快速缩小找矿目标,圈定矿化区域的有效手段(刘永彪等,2024;娄元林等,2024;张勇等,2024),在丁家林和太阳坪等金矿勘查中取得了良好成效(樊战军,2000)。

辛家咀地区位于丁家林—太阳坪—董家院金矿带NE向约8 km处,与丁家林、太阳坪和董家院等金矿位于同一脆—韧性剪切带内,处于1:20万水系沉积物金异常范围内。前人在该地区开展了一些矿产地质调查工作,仅发现少量金矿化线索(樊战军,1999;张宏如等,2017),未取得金矿找矿突破,与该区高强度金异常规模不相称。鉴于此,为了快速查明该区元素分布规律,进一步缩小找矿范围,结合该区地球化学景观条件和化探工作经验,在辛家咀一带部署开展1:1万土壤地球化学测量,测量面积为11 km²,通过对该地区开展元素地球化学特征分析和土壤地球化学异常筛查,以期快速寻找矿化线索,实现找矿突破。

1 地质背景

1.1 区域地质背景

辛家咀金矿区地处后龙门山构造带北东段(图1),阳平关—勉县深大断裂南侧,扬子地块、碧口地块及松潘—甘孜造山带夹持部位,其北部为碧口地块,南部为扬子地块,西部为松潘—甘孜造山带(付于真等,2014),属于扬子板块北缘龙门山—大巴山铁—铜—铅—锌—锰—磷—硫—重晶石—铝土矿成矿带,勉略宁金矿集区青木川—茶店铜金多金属成矿区。区域上金、铜、铅、锌、锰、银和铁等矿床较多,有丁家林、太阳坪、董家院(王柘等,2015)、乌鸦坑、旧房梁(陈剑祥等,2013)、玉泉坝(王元等,2019)和青木川(廖时理等,2015)等金矿床(点),中坝锰矿床(纪冬平等,2021)以及大茅坪(赵福来等,2020)和刘家坪(唐子林,1976)等铜多金属矿床。

区域出露地层由老到新分别为中—新元古代碧口群,新元古代王家河组,震旦系陡山沱组和灯影组,寒武系牛蹄塘组、长江沟组和磨刀垭组,奥陶系陈家坝组,志留系新滩组、罗惹坪组和茂县群,局部地段为以陆相喷发为主的新元古代刘家坪组火

山岩。中—新元古代碧口群和志留系茂县群为区域主要地层。碧口群为一套浅变质海相陆源碎屑—火山喷发沉积岩系,岩性主要为角斑岩、角斑质凝灰岩、细碧岩和凝灰岩,局部夹石英角斑岩、岩屑凝灰岩、凝灰质板岩和石英砂岩。志留系茂县群岩石以千枚岩为主,局部含少量铁菱镁矿斑点,该地层中金含量较高,为重要的金矿源层(孙树浩,2009)。

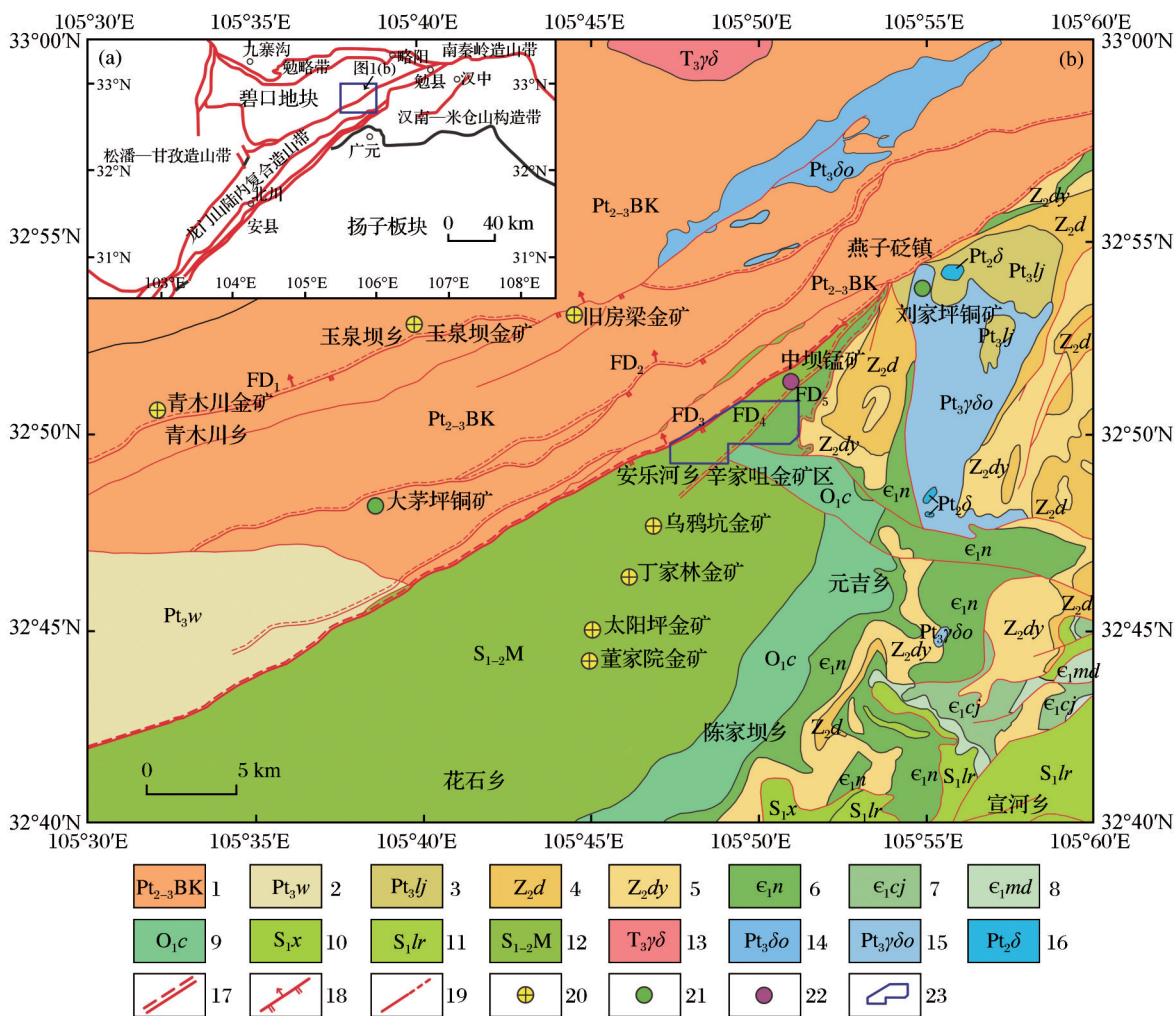
区域经历多次构造活动,其中晋宁运动、印支运动和燕山运动最为强烈,区域脆—韧性(或脆性)构造带和次级断裂带及背、向斜褶皱构造作用十分强烈,层间褶曲、揉皱、挤压片理化带及强挤压裂隙和节理也非常发育,主要以向东南推覆的脆—韧性剪切带为主。区域断裂活动较强,主要以推覆的脆—韧性剪切带为主,规模较大,倾向NW,走向约为60°。由北向南依次为杨家沟—潘家坝—清河坎脆—韧性剪切带、仓子坝—潘家坝脆—韧性剪切带、青川—阳平关断裂、燕子砭—花石沟断裂和马家沟—李家湾脆—韧性剪切带。区域褶皱以青川—阳平关断裂为界,分为南北两侧。北侧褶皱主要表现为紧闭同斜褶皱,构造线方向为240°,褶皱枢纽向东倾伏,倾角为20°~30°,轴面劈理以北倾为主。南侧褶皱构造线方向为210°~240°。区域断裂十分发育,大部分褶皱残缺不全(陕西省地质矿产局,1994)。

区域内发育有3期岩浆作用:第一期为中元古界,岩性为英云闪长岩和石英闪长岩;第二期为新元古界,岩性为闪长岩;第三期为三叠纪,岩性为花岗闪长岩。

1.2 矿区地质特征

矿区出露地层主要为寒武系牛蹄塘组、志留系茂县群和震旦系灯影组(图2)。志留系茂县群岩性主要为粉砂质绢云千枚岩,局部含少量铁菱镁矿斑点,为主要的铜、金矿层位;寒武系牛蹄塘组岩性主要为含碳硅质岩、碎屑岩和硅质灰岩,该地层为锰的主要赋矿层位;震旦系灯影组岩性主要为浅灰—深灰色中厚层纹层隐藻白云岩、硅质白云岩及皮壳状、葡萄状白云岩。区内地层总体呈NE向展布,倾向NW或SE(刘基等,2022;王斌等,2025)。

矿区内褶皱和断裂广泛发育,主要有燕子砭—金山寺断裂、志留系与寒武系接触部位的燕子砭—花石沟断裂、寒武系与震旦系接触部位的马家沟—李家湾断裂和NW向断裂(Yan et al, 2011; 寇少



1. 中—新元古代碧口群; 2. 新元古代王家河组; 3. 新元古代刘家坪组; 4. 震旦系陡山沱组; 5. 震旦系灯影组; 6. 寒武系牛蹄塘组; 7. 寒武系长江沟组; 8. 寒武系磨刀垭组; 9. 奥陶系陈家坝组; 10. 志留系新滩组; 11. 志留系罗惹坪组; 12. 志留系茂县群; 13. 花岗闪长岩; 14. 英云闪长岩; 15. 石英闪长岩; 16. 闪长岩; 17. 韧性剪切带; 18. 逆断层; 19. 推测性质不明断层; 20. 金矿点; 21. 铜矿点; 22. 锰矿点; 23. 辛家咀矿区; 重要断裂: FD₁-杨家沟—潘家坝—清河坎脆—韧性剪切带; FD₂-仓子坝—潘家坝脆—韧性剪切带; FD₃-青川—阳平关断裂; FD₄-燕子砭—花石沟断裂; FD₅-马家沟—李家湾脆—韧性剪切带

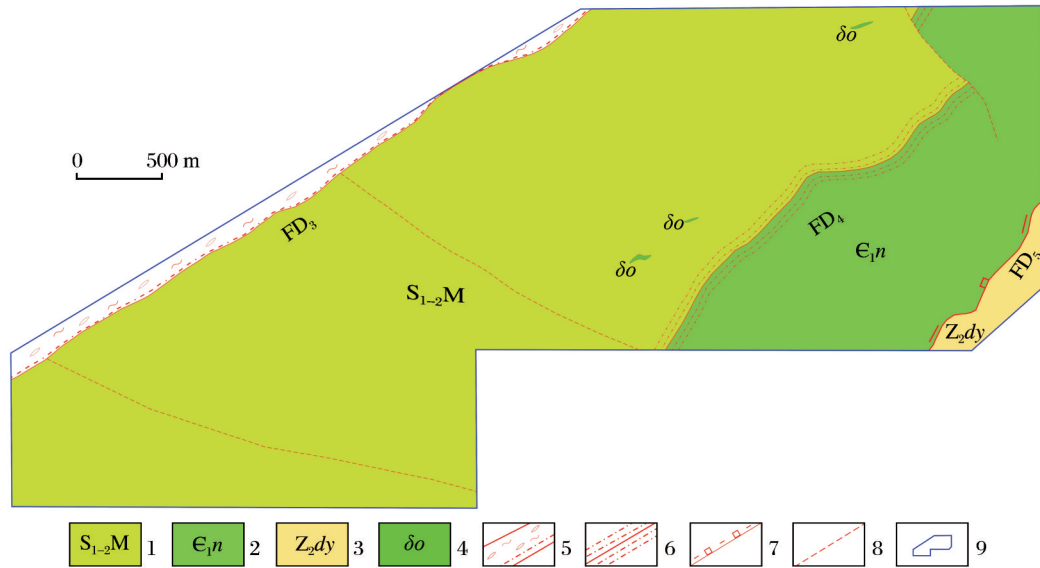
图1 龙门山复合造山带大地构造图(a)(修改自李佐臣, 2009)和后龙门山北东段地质简图(b)(修改自龚克礼等, 1989)
 Fig. 1 Tectonic map of the Longmenshan composite orogenic belt(modified after Li, 2009)and geological diagram of the northeastern section of the Back-Longmenshan(modified after Gong et al, 1989)

磊等, 2024)。青川—阳平关大断裂为该区主要断裂, 出露宽度为 100~500 m, 呈近 NE-SW 向展布, 总体走向 55°, 倾向 NW, 倾角为 50°~70°, 为龙门山褶皱带与南秦岭褶皱带的拼接带。该断裂具有多期活动特征, 控制了龙门山和南秦岭两大构造单元的岩石建造, 至今仍有浅表层次的构造活动。断裂造成部分地层缺失, 使地层间接触关系多为断裂接触。

含矿构造以 NE 向燕子砭—花石沟断裂为主。

该断裂倾向 NW, 倾角为 60°~80°, 为一逆断层, 主要表现为石英复脉带、石英单脉及片理化带, 具有韧—脆性剪切的特征, 岩石发育糜棱岩化。断裂带内石英脉产出不连续, 且走向多与剪切带走向具有一定的夹角, 呈不规则状、团块状和透镜状等。金属矿化主要为黄铁矿化, 其次为方铅矿化和闪锌矿化; 蚀变主要为硅化, 其次为碳酸盐化和绿泥石化。

矿区岩浆活动较弱, 仅出露少量石英闪长岩脉, 成岩时代鲜有研究。



1. 志留系茂县群; 2. 寒武系牛蹄塘组; 3. 震旦系灯影组; 4. 石英闪长岩脉; 5. 燕子砭—金山寺断裂; 6. 燕子砭—花石沟断裂; 7. 马家沟—李家湾断裂; 8. 推测断层; 9. 辛家咀矿区

图2 辛家咀矿区地质图

Fig. 2 Geological map of the Xinjiazui mining area

2 工作部署

2.1 样品采集

矿区主构造线方向为 45° ~ 50° ,结合前期开展的工作,本次土壤测线方位为 310° ,根据《土壤地球化学测量规程》(DZ/T0145-2017)(中华人民共和国国土资源部,2017),按照 $100\text{ m}\times 20\text{ m}$ (线距 \times 点距)的网度进行布设,共布设采样点5485个。采样位置选择在土层发育良好,无滑塌物和冲积物等外来物质影响,无工业生活污染的地段。采样物质为基岩上部残坡积物组成的细碎屑物质,即土壤C层(母质层)或B层(淋积层)中的基岩原地风化形成的棱角状和半棱角状细粒级物质。当采样点在山顶和山岗时,土层较薄,采样深度为 $10\sim 20\text{ cm}$;当采样点在山坡和坡脚时,土层较厚,采样深度为 $20\sim 50\text{ cm}$ 。采样时,需彻底剥去地表有机质层,在样点周围 $3\sim 10\text{ m}$ 范围内选择 $2\sim 3$ 处地点组合成1件样品。当野外样品干燥可过筛时,采集样重为 500 g ;当野外样品潮湿不能过筛时,采集样重为 $1000\sim 1500\text{ g}$,以保证单个样品重量符合分析测试要求。

2.2 样品检测

本次样品测试分析了Au、Ag、As、Sb、Cu、Zn、

Mn、Ni、Fe、Pb、Mo、W和Co共13项指标,测试工作由中国地质调查局西安矿产资源调查中心实验室完成。根据《土壤地球化学测量规程》(DZ/T0145-2017)和《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T0130-2006)(尹明等,2006)对于分析质量的要求,选取5种方法进行检验,如表1所示。内部质量控制采用GBW系列的8个国家一级标准物质,对每一个标准物质采用特定的分析方法进行12次分析测试,以对数偏差作为确定分析方法准确度和精密度的指标,以3倍标准偏差作为方法检出限。外部质量控制通过采用分析密码样品来实施。样品化验结束后,由项目组人员在实验室样品库中,均匀抽取加工好的土壤副样160件,编上密码样号,交由实验室进行密码分析,每种元素合格率均大于96%,由此可见样品分析的各项参数符合质量要求,分析结果准确可靠。

3 土壤地球化学异常特征

本区各地层元素地球化学背景差异显著,且富集的地球化学元素种类各不相同(王占彬等,2022),将样品按统一背景值进行统计时会遗漏异

表1 元素测试方法
Table 1 Elements test methods

元素	测试方法
Au	泡塑富集—石墨炉原子吸收法(GF-AAS)
Ag	垂直电极—发射光谱法(ES)
As,Sb	氢化物发生—原子荧光光谱法(HG-AFS)
Cu,Zn,Mn,Ni,Fe	电感耦合等离子体光谱法(ICP-OES)
Pb,Mo,W,Co	电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)

常,因此将样品分地质子区进行统计。

3.1 元素地球化学特征

(1)元素富集特征

利用GeoIPAS软件对13种元素分析结果进行特征参数统计,得到元素含量最大值、最小值、平均

值、标准差和变异系数 Cv_1 ,利用迭代剔除法将平均值加(减)3倍标准差的离群数据迭代剔除后形成元素背景值和背景数据变异系数 Cv_2 (黎彤,1992;缪发金等,2023)。由表2可知,与秦巴地区相比,志留系Au、As、Co、Ni、Cu、Zn、Mo和Fe共8种元素富集系数大于1,相对富集;Ag、Sb、W和Pb共4种元素富集系数小于1,相对贫化,Mn元素与秦巴地区接近,未见明显富集或贫化;寒武系Au、Ag、As、Sb、Ni、Cu、Zn、Mo和Pb共9种元素富集系数大于1,相对富集,Mn、Co、W和Fe共4种元素富集系数小于1,相对贫化;震旦系Au、Ag、As、Sb、Co、Ni、Cu、Zn、Mo和Pb共10种元素富集系数大于1,相对富集,

表2 元素特征参数统计
Table 2 Statistics of elements characteristic parameters

统计参数	Au	Ag	As	Sb	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	W	Pb	Fe
秦巴地区平均值	1.43	103	8.42	1.04	775	14.6	34.3	28.8	103.9	0.32	2.38	38.8	4.87
最大值	2 180	7 920	600	28.8	8 100	66	242	518	552	50.4	8.79	360	8.77
最小值	0.38	30	1	0.2	30	1.38	3	1.5	15	0.2	0.5	5	0.1
平均值	7.00	91.32	22.39	0.80	795.34	22.28	50.05	37.74	120.01	0.69	1.55	31.41	5.08
标准差	0.71	12.91	9.22	0.25	240.36	3.99	7.14	6.55	15.56	0.18	0.38	7.99	0.64
Cv_1	9.11	3.42	1.09	1.50	0.38	0.24	0.22	0.35	0.18	2.79	0.31	0.40	0.15
Cv_2	0.47	0.23	0.51	0.39	0.31	0.18	0.14	0.18	0.13	0.34	0.25	0.26	0.13
背景值	1.50	55.75	18.24	0.65	777.21	21.87	49.60	36.38	120.38	0.53	1.51	30.28	5.09
富集系数	1.05	0.54	2.17	0.63	1.00	1.50	1.45	1.26	1.16	1.66	0.63	0.78	1.05
最大值	760	11 300	600	100	26 900	152	612	3 211	3 200	410	17.5	584	15.9
最小值	1.4	70	8.45	0.43	30	1	4.01	8.93	15	0.5	0.5	7.3	0.28
平均值	23.64	1 834.91	86.62	15.44	824.04	16.84	94.57	172.39	313.29	34.24	2.07	43.99	3.86
标准差	9.05	1 095.94	36.49	6.58	794.88	9.36	44.63	69.61	169.77	16.87	0.62	13.33	1.06
Cv_1	1.79	0.68	0.74	0.89	2.22	1.00	0.85	1.13	0.84	0.90	0.61	0.66	0.35
Cv_2	0.58	0.62	0.50	0.53	1.20	0.67	0.59	0.56	0.63	0.59	0.34	0.34	0.28
背景值	15.73	1 768.83	72.92	12.47	664.10	14.01	76.18	124.42	270.00	28.51	1.83	39.73	3.75
富集系数	11.00	17.17	8.66	11.99	0.86	0.96	2.22	4.32	2.60	89.09	0.77	1.02	0.77
最大值	28.1	3 554	392	100	9 100	148	592	372	1 300	82.6	7.3	1 000	8.34
最小值	0.7	40.2	2.33	0.22	30	1	3	8.34	15	0.5	0.87	7.03	0.38
平均值	5.97	903.87	50.60	10.06	709.52	17.58	92.77	84.18	211.30	15.47	2.77	77.86	3.30
标准差	3.25	604.91	20.17	5.57	320.09	7.85	36.42	49.02	85.86	10.07	0.84	42.62	1.28
Cv_1	0.81	0.81	0.94	1.20	1.00	0.92	0.96	0.74	0.90	1.00	0.51	1.41	0.44
Cv_2	0.62	0.73	0.48	0.70	0.90	0.50	0.53	0.63	0.52	0.79	0.35	0.68	0.40
背景值	5.22	825.34	41.96	8.00	569.82	15.75	69.06	77.30	164.14	12.73	2.39	62.47	3.19
富集系数	3.65	8.01	4.98	7.69	0.74	1.08	2.01	2.68	1.58	39.78	1.00	1.61	0.66

注:富集系数=背景值/秦巴地区平均值; Cv_1 为原始数据变化系数; Cv_2 为背景数据变化系数;Au和Ag元素含量单位为 $\times 10^{-9}$;Fe元素为 $\times 10^{-2}$,其他元素为 $\times 10^{-6}$;秦巴地区平均值引自龚克礼等(1989)

Mn和Fe共2种元素富集系数小于1,相对贫化,W元素未见明显富集或贫化。

(2)元素离散特征

元素原始数据的变化系数(C_{V1})和背景数据的变化系数(C_{V2})分别反映各自数据的离散程度(臧金生等,2014;袁和等,2017),用 C_{V1}/C_{V2} 来反映背景拟合处理时对离散值的削弱程度,将 C_{V1}/C_{V2} 和 C_{V1}

作为变化系数散点图的X轴和Y轴。由图3可以看出:志留系中Au和Ag元素含量变化幅度大,高强数据多,成矿可能性最大;Mo元素含量变化幅度中等,有部分高强数据,有一定成矿可能;其他元素含量变化系数小,高强数据少,成矿可能较低;寒武系中Au和Mn元素存在部分高强数据,有一定成矿可能;震旦系中仅Pb元素有一定成矿可能。

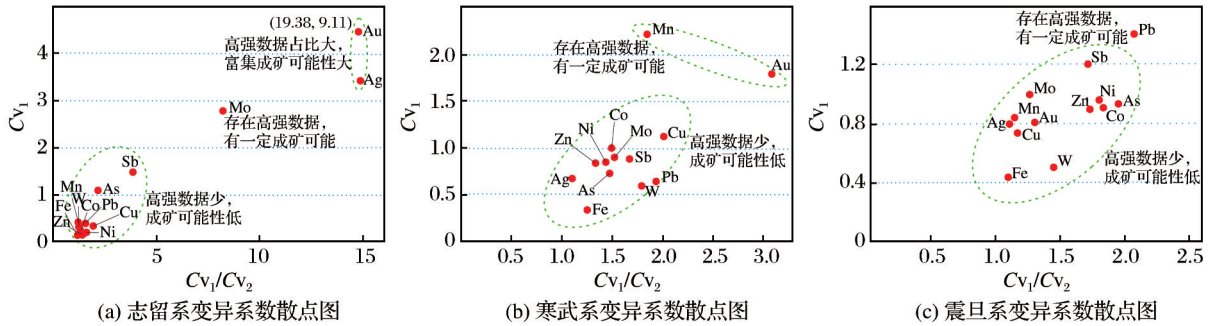


图3 变异系数散点图

Fig. 3 Scatter plots of variation coefficient

(3)元素组合特征

在地质地球化学作用过程中,各元素总是有着千丝万缕的联系,通过元素R型聚类分析特征,研究探索各元素间的亲疏关系,揭示其地质意义(董毅,2008;田跃斌等,2013)。

由图4(a)可以看出,在相关系数为0.35的水平上,可将13种志留系元素划分为6组,分别为Sb-Mo-Ag、Au-As、W、Pb、Mn和Co-Ni-Fe-Cu-Zn。从聚类分析结果来看,该区As与Au元素关系密切,可根据As异常来帮助寻找金矿化线索。

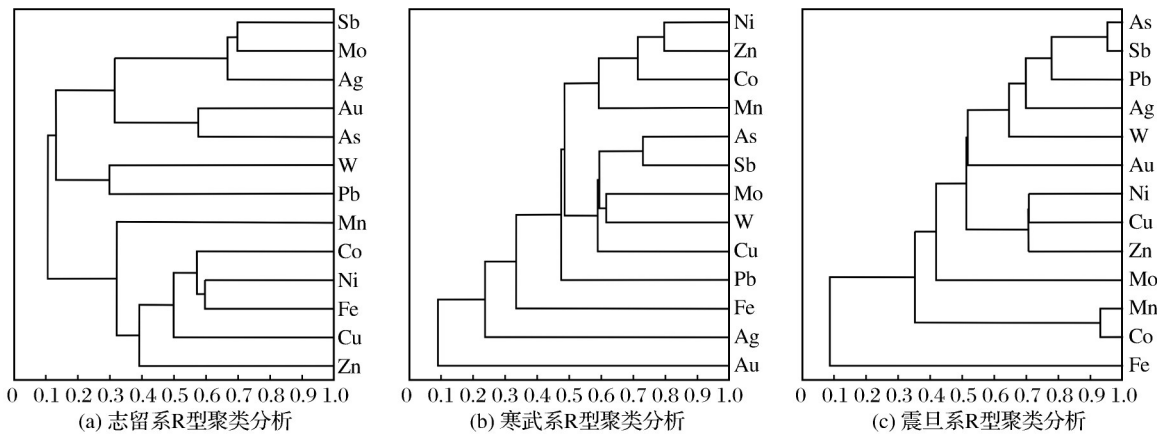


图4 R型聚类分析

Fig. 4 R-type clustering analysis

在相关系数为0.4的水平上,可将13种寒武系元素划分为4组,分别为Ni-Zn-Co-Mn-As-Sb-Mo-W-Cu-Pb、Fe、Ag和Au[图4(b)]。其中第一组元素组合众多,与寒武系牛蹄塘组黑色页岩特殊的

地球化学元素富集组合有关,且Mn、Zn和Mo等元素浓集程度较高,有局部成矿的潜力;Au和Ag等元素,受区域变质作用及断裂活动的影响,元素在局部富集,有成矿可能。

在相关系数为0.4的水平上,可将震旦系元素划分为4组,分别为As-Sb-Pb-Ag-W-Au-Ni-Cu-Zn、Mo、Mn-Co和Fe[图4(c)]。震旦系灯影组岩性较单一,主要为白云岩,元素聚合性较好,反映该区较为单一的元素地球化学属性。

3.2 单元素地球化学异常

不同地质分区中元素含量不同,为避免遗漏异常,以各地质分区中各元素的背景值加上2倍标准差并经人工适当调整作为异常下限值,结果见表3。分别按照异常下限值的1倍、2倍和4倍划分为外带、中带和内带3个浓度分带,圈定出各元素的异常,结果见表4。将3个地质分区的单元素异常结合并经人工适当调整绘制出矿区单元素异常图(图5)。

由图5可以看出,Au、Ag、As、Sb、Mn、Ni和Cu等元素异常3级异常分带明显,Zn、Mo、W、Pb和Fe等元素多数仅有外浓度分带。Au异常在志留系中以分散的团块状异常为主,大致呈NE向串珠状分布,局部地区呈NE向条带状分布;在寒武系中分布较独特,异常多产于寒武系顶部与志留系接触部位,或寒武系底部靠近震旦系附近,呈NE向条带状分布。FD₃附近Co、Ni、Cu和Fe异常明显,主要是由于FD₃北侧紧邻元古宇碧口岩群,其岩性以中基性变火山岩为主,是一套富含Cu、Cr、Ni、Co和Fe等元素的地层,由于FD₃断裂带内混入了部分碧口岩群物质,导致断裂带附近的铁族元素异常较为明显,主要为地层高背景所导致,找矿意义不大。

表3 元素异常分带
Table 3 Element anomaly zone

元素异常分带	Au	Ag	As	Sb	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	W	Pb	Fe	
志留系	异常外带	5	90	32	1.3	1 200	27	60	50	150	0.8	2.1	40	6
	异常中带	10	180	64	2.6	2 400	54	120	100	300	1.6	4.2	80	12
	异常内带	20	360	128	5.2	4 800	128	240	200	600	3.2	8.4	160	24
寒武系	异常外带	20	1 900	100	20	1 000	30	150	200	400	60	3	60	6
	异常中带	40	3 800	200	40	2 000	60	300	400	800	120	6	120	12
	异常内带	80	7 600	400	80	4 000	120	600	800	1 600	240	12	240	24
震旦系	异常外带	10	2 000	80	20	1 000	30	130	175	300	30	4	140	5
	异常中带	20	4 000	160	40	2 000	60	260	350	600	60	8	280	10
	异常内带	40	8 000	320	80	4 000	120	320	700	1 200	120	16	560	20

注:Au和Ag元素含量单位为 $\times 10^{-9}$;Fe元素为 $\times 10^{-2}$,其他元素为 $\times 10^{-6}$

表4 单元素异常个数
Table 4 Number of single element anomalies

元素	异常个数	元素	异常个数
Au	49	Cu	29
Ag	32	Zn	52
As	30	Mo	52
Sb	33	W	33
Mn	41	Pb	59
Co	39	Fe	46
Ni	42		

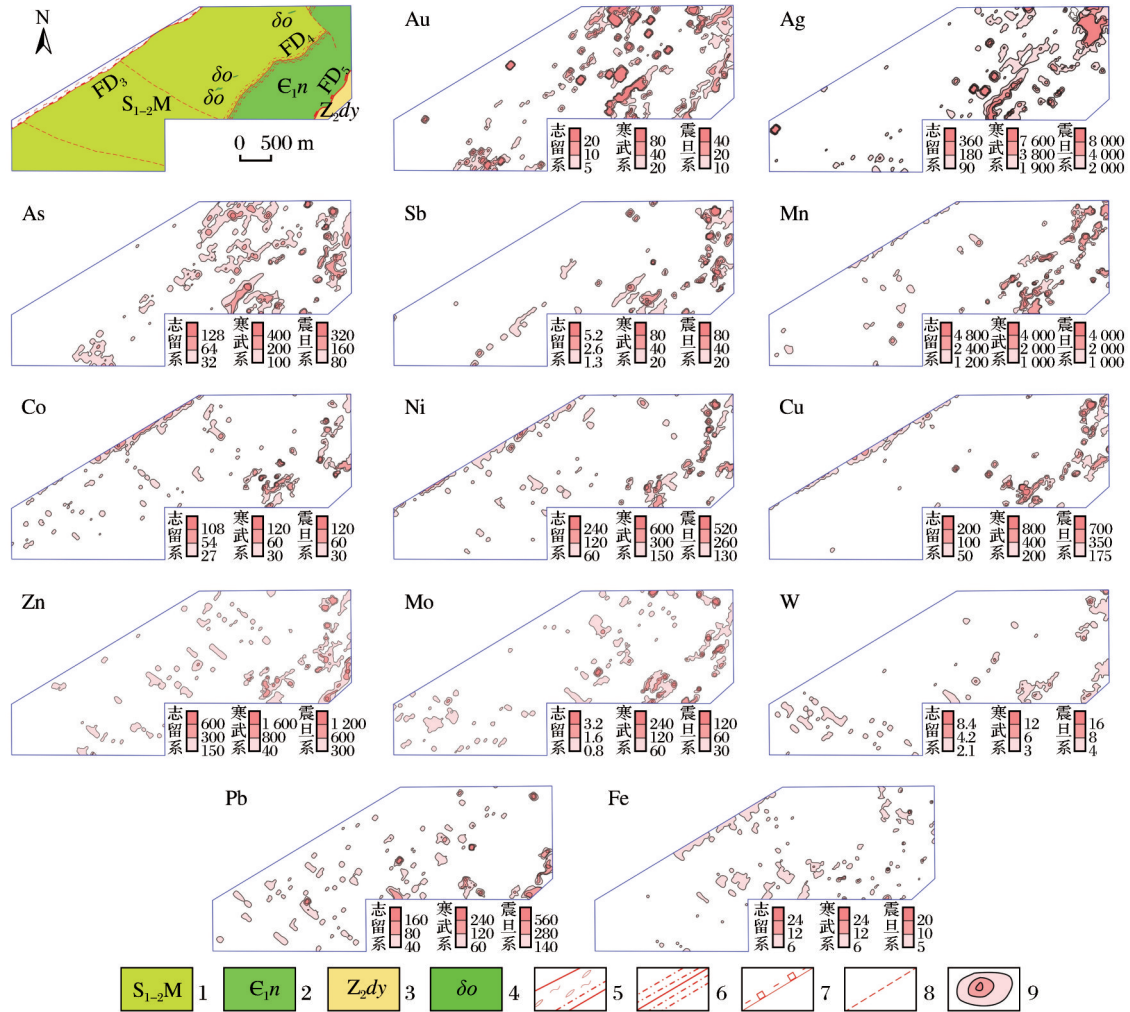
3.3 元素综合异常

通过对矿区元素地球化学特征和异常特征进行分析,结合成矿地质条件,将成因相同且空间分

布上紧密相关的单元素异常,归并为一个综合异常(郭小刚等,2023)。依据异常区已知成矿矿种及成矿元素面金属量(NAP)确定综合异常主元素,共圈定8处综合异常,按照Ht-1、Ht-2的顺序依次编号。采用相同主元素对比排列法对综合异常进行排序,即将同一主元素的各个综合异常放置在一起,依其评序指数由大到小进行排序,评序指数值为主元素规模、其余元素衬度平均值和修正系数三者的乘积。综合异常排序结果见表5。

4 异常特征与找矿效果

矿区综合异常以Au为主,主要位于志留系与寒武系接触面以及志留系内部,如图6所示,接触面



1. 志留系茂县群; 2. 寒武系牛蹄塘组; 3. 震旦系灯影组; 4. 石英闪长岩脉; 5. 燕子砭—金山寺断裂; 6. 燕子砭—花石沟断裂; 7. 马家沟—李家湾断裂; 8. 推测断层; 9. 元素异常浓度分带

图5 辛家咀矿区单元元素异常图

Fig. 5 Single element anomaly maps of the Xinjiazui mining area

表5 综合异常排序

Table 5 Comprehensive anomaly sort

异常编号	异常特征组合		主元素规模	衬度平均值	修整系数	评序指数	主元素排序
	主元素	其他元素					
Ht-1	Au	As-Ag-Sb	15.72	3.28	0.8	41.25	3
Ht-2	Au	As-Ag	12.12	3.76	0.8	36.46	4
Ht-3	Mn	Ag-Au-As-Sb-Cu-Zn-Ni-Co-Mo-W	488.69	2.00	0.8	782.22	1
Ht-4	Au	As-Ag	22.00	2.85	1.0	62.70	2
Ht-5	Au	Ag-As-Sb-Mn	27.60	2.63	1.0	72.59	1
Ht-6	Mo	Cu-Zn-Mn-Co-Ni-As-Sb-W-Pb-Ag	7.41	2.15	0.8	12.75	1
Ht-7	Au	As-Cu-Sb-Mo-Zn	3.78	3.49	0.8	10.55	5
Ht-8	Au	As-Sb-Ag	3.50	1.88	0.8	5.26	6

注: 主元素规模、衬度平均值、修正系数和评序指数均无量纲

附近的金综合异常特征如下:金异常显著,面积大,强度高,Au与As、Sb、Ag元素关系密切,其他元素发育一般。志留系内部的金综合异常多呈团块状或串珠状分布,异常稍弱,一般与发育在其中的韧性剪切带及石英脉有关。根据综合异常排序和该

区主成矿类型,选择对主元素为Au的排序为1的Ht-5异常和排序为4的Ht-2异常进行检查。Ht-2异常位于矿区东北部,异常呈椭圆状分布;Ht-5异常位于矿区中部,异常呈条带状分布,向西南未封闭。

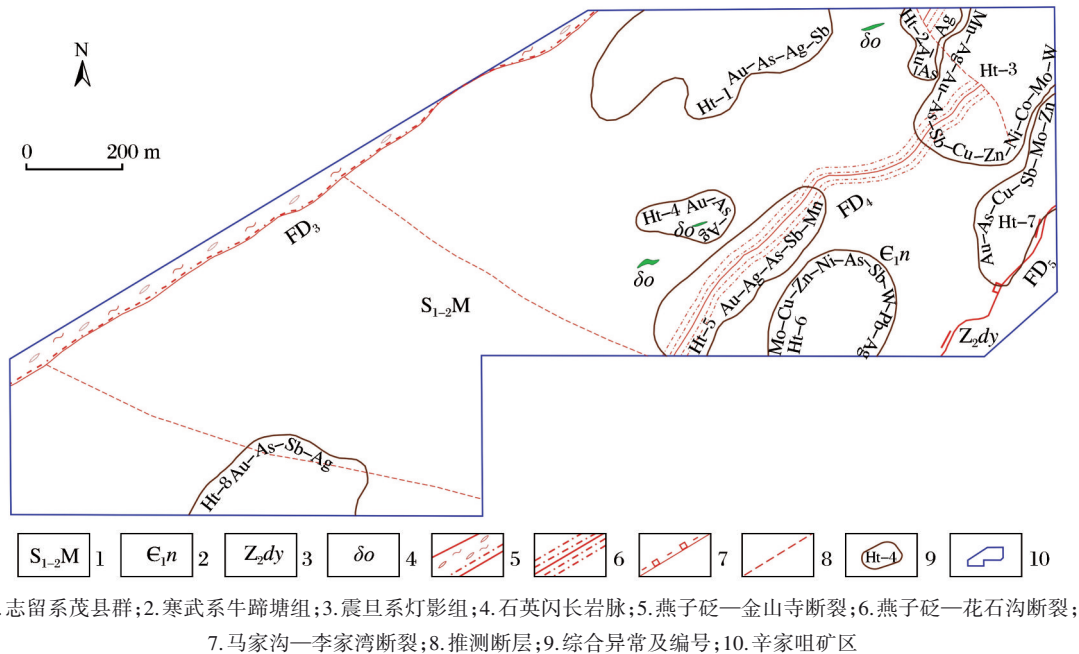
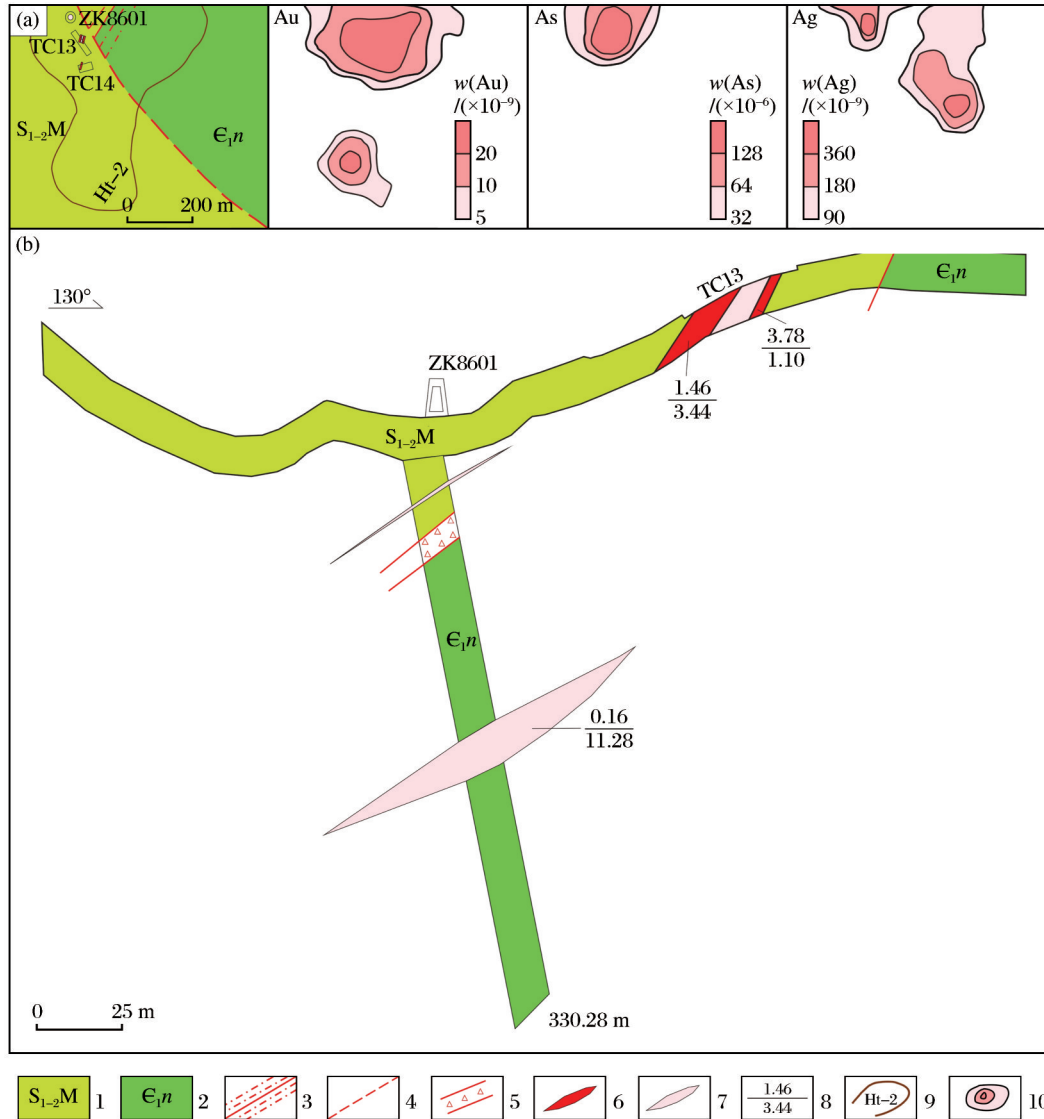


图6 辛家咀矿区元素综合异常图

Fig. 6 Element comprehensive anomaly map of the Xinjiuzui mining area

Ht-2异常区东部为寒武系牛蹄塘组碳质板岩和含炭硅质板岩,西侧为志留系茂县群千枚岩。异常位于NW和NE向2组断裂交会部位,综合异常面积约为0.1 km²,主元素为Au,特征组合为As-Ag,各元素浓度分带清晰,套合性较好。Au异常极高值达2 180×10⁻⁹,异常均值为128.6×10⁻⁹;Ag异常面积为0.09 km²,极大值为5 560×10⁻⁹;As异常极大值为600×10⁻⁶,均值为125×10⁻⁶[图7(a)]。在该异常布设探槽2条、钻孔1个进行查证,在探槽中见到多层金矿化,Au最高品位为10.7×10⁻⁶,2条金矿体平均品位为3.78×10⁻⁶和1.46×10⁻⁶。检查发现金矿化与蚀变带中的石英脉关系密切,含矿石英脉有多条,最厚处达2.5 m,局部见有铁碳酸盐化,受地表风化淋滤影响,矿脉发育较多蜂窝状构造。钻孔在预定位置见到厚度为11.28 m的金矿化带,但品位较低,最高仅有0.29×10⁻⁶,平均品位为0.16×10⁻⁶[图7(b)]。

Ht-5异常区主要为志留系茂县群千枚岩,仅在异常区东南部出露少量寒武系牛蹄塘组炭质板岩。异常核心位于寒武系与志留系地层接触带上,综合异常面积约为0.39 km²,主元素为Au,特征组合为Ag-As-Sb-Mn,该异常元素强度高,面积大,以Au和Ag异常最为显著。其中Au异常面积为0.2 km²,极大值为1 730×10⁻⁹,均值为119×10⁻⁹;Ag异常面积为0.2 km²,极大值为9 030×10⁻⁹,均值为3 556×10⁻⁹[图8(a)]。对该异常进行检查时发现一条大型NE向韧-脆性剪切带,带内发现金矿体。布设槽探4条、剥土1条、钻孔6个,对该金矿体进行控制,该矿体走向方向长度约为700 m,倾斜方向长度约为160 m,矿脉赋存于志留系茂县群含铁菱镁矿斑点千枚岩与寒武系牛蹄塘组碳硅质板岩断层接触带内,围岩蚀变以黄铁矿化和硅化为主,其次为碳酸盐化、绿泥石化和黄铜矿化等;矿化蚀变



(a)Ht-2综合异常剖析图;(b)86勘探线剖面图;1.志留系茂县群;2.寒武系牛蹄塘组;3.燕子砭—花石沟断裂;4.推测断层;5.断层;6.金矿体;7.金矿化带;8.金品位($\times 10^{-6}$)/厚度(m);9.Ht-2综合异常;10.异常浓度分带

图7 Ht-2综合异常剖析及勘探线剖面图

Fig. 7 Comprehensive anomaly analysis of Ht-2 and profile map of exploration line

地表以褐铁矿化为主,钻孔中以中细粒黄铁矿为主。金矿体产状为 $315^{\circ}\sim 320^{\circ}\angle 35^{\circ}\sim 65^{\circ}$,真厚度为0.87~11.28 m,单工程平均品位为 $0.96\times 10^{-6}\sim 5.19\times 10^{-6}$,平均品位为 2.74×10^{-6} ,厚度为3.59 m,厚度变化系数为80.20%,品位变化系数为71.54%,探获推断金资源量3.72 t[图8(b)、8(c)](杨伟等,2024)。

5 结论

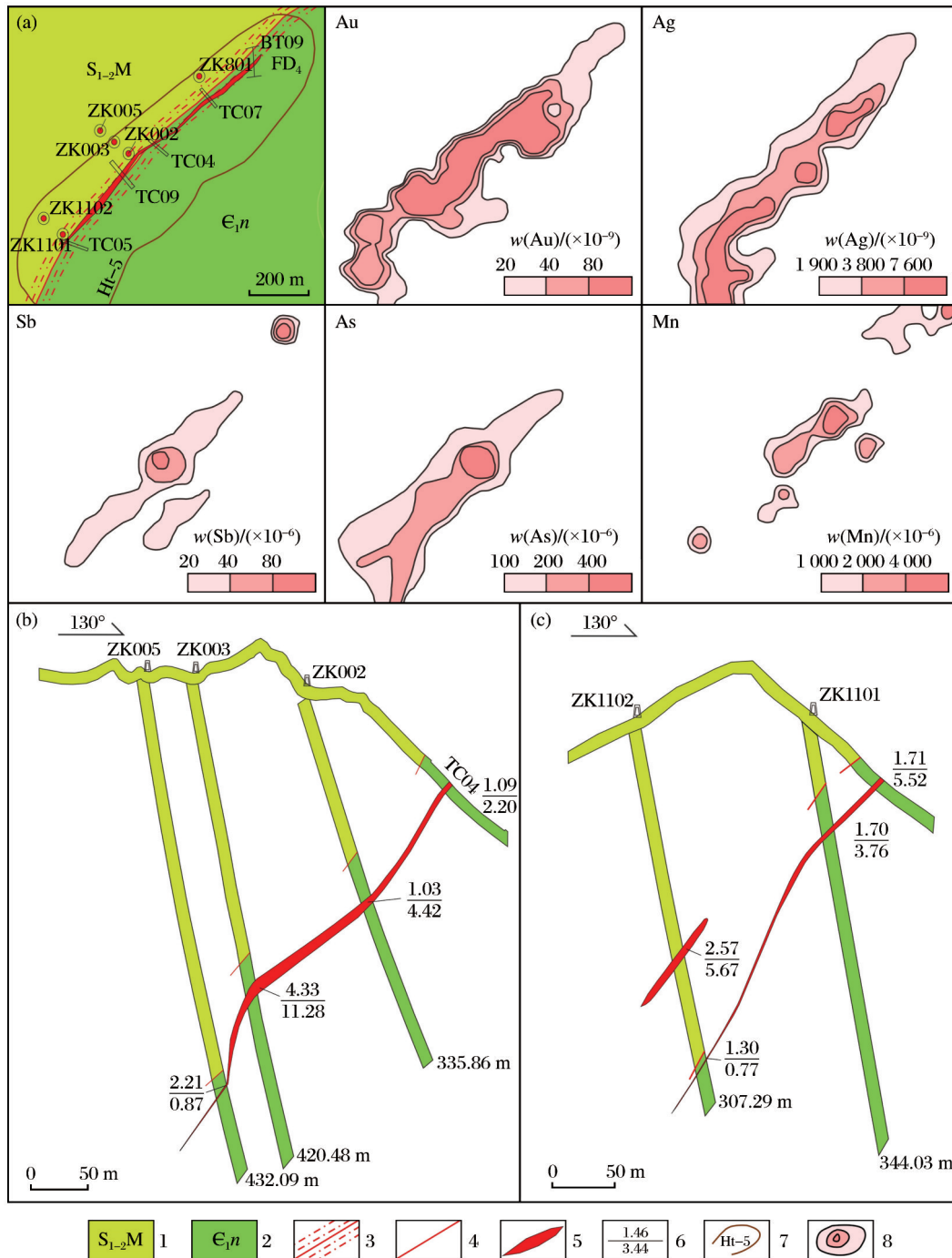
根据对辛家咀金矿区土壤地球化学测量数据

的统计分析研究,得出以下结论:

(1)在秦岭植被厚覆盖和半覆盖区找矿时,通过土壤地球化学测量可以快速圈定找矿靶区,缩小范围,为地质找矿提供重要信息。

(2)在元素分布受地层控制显著的地区,整体进行化探异常处理时往往会遗漏异常,通过分层进行异常处理可以避免异常遗漏。

(3)矿区综合异常以Au为主,见矿金异常大多位于志留系与寒武系地层接触带附近,Au、As、Sb



(a)Ht-5综合异常剖析图;(b)0勘探线剖面图;(c)11勘探线剖面图;1.志留系茂县群;2.寒武系牛蹄塘组;3.燕子砭—花石沟断裂;4.断层;5.金矿体;6.金品位(×10⁻⁶)/厚度(m);7.Ht-5综合异常;8.异常浓度分带

图8 Ht-5综合异常剖析及勘探线剖面图

Fig. 8 Comprehensive anomaly analysis of Ht-5 and profile maps of exploration line

和Ag组合异常是本区找Au的有利标志,在综合异常好的区域通过布设山地工程往往能够实现找金突破。

参考文献 (References):

Liu J, Bao X S, Kou S L, et al, 2023. LA-ICP-MS U-Pb geochronology and geological significance of two types of mona-

- zite in the Xinjiazui gold deposit, northwestern margin of Yangtze Block, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 161: 105626.
- Yan D P, Zhou M F, Li S B, et al, 2011. Structural and geochronological constraints on the Mesozoic-Cenozoic tectonic evolution of the Longmenshan thrust belt, eastern Tibetan Plateau [J]. *Tectonics*, 30 (6) : 6005. DOI: 10.1029/2011TC002867.
- 陈剑祥,高福平,卫中弟,等,2013.陕西北强县青木川—旧房梁一带典型金矿床特征、控矿因素及找矿标志[J].新疆有色金属,36(2):15-18.Chen Jianxiang, Gao Fuping, Wei Zhongdi, et al, 2013. Characteristics, ore-controlling factors and prospecting criteria of typical gold deposits in Qingmuchen-Jiufangliang area, Ningqiang County, Shaanxi Province [J]. *Xinjiang Youse Jinshu*, 36(2) : 15-18.
- 董毅,2008.因子分析在水系沉积物测量地球化学分区中的应用探讨:以青海都兰地区为例[J].矿产与地质,22(1):78-82. Dong Yi, 2008. Discussion of applying factor analysis to the geochemical subareas measurement in stream sediment—a case study of Dulan area in Qinghai Province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 22(1) : 78-82.
- 樊战军,1999.陕西省勉略宁地区南部1/5万水系沉积物测量报告[R].西安:中国人民武装警察部队黄金第十四支队. Fan Zhanjun, 1999. Water sediments survey report for 1/50000 in the Southern Mianluening area, Shaanxi Province [R]. Xi'an: The 14 Branch Team for Gold Exploration of PAP.
- 樊战军,2000.陕西省宁强县丁家林—四川省广元市太阳坪矿区1/1万土壤测量报告[R].西安:中国人民武装警察部队黄金第十四支队. Fan Zhanjun, 2000. Soil survey report for 1/10000 in Dingjialin, Ningqiang County, Shaanxi Province and Taiyangping mining area, Guangyuan City, Sichuan Province [R]. Xi'an: The 14 Branch Team for Gold Exploration of PAP.
- 付于真,方维萱,刘家军,等,2014.陕川丁家林—太阳坪—董家院金矿带的矿田构造—岩相学研究[J].大地构造与成矿学,38(4):787-801. Fu Yuzhen, Fang Weixuan, Liu Jiajun, et al, 2014. Characteristics of tectonic lithofacies in Dingjialin-Taiyangping-Dongjiayuan gold ore belt, Shaanxi and Sichuan Provinces [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(4) : 787-801.
- 龚克礼,滕方孔,刘开洪,等,1989.碧口幅1:20万区域地质调查报告(I48E020013) [R].兰州:甘肃省地质矿产勘查开发局. Gong Keli, Teng Fangkong, Liu Kaihong, et al, 1989. Report on the 1: 200000 regional geological survey of Bikou (I48E020013) [R]. Lanzhou: Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development.
- 郭小刚,路万全,周宏,等,2023.甘蒙北山四道梁南钨矿土壤地球化学异常特征及找矿潜力分析[J].地质与勘探,59(4):774-790. Guo Xiaogang, Lu Wanquan, Zhou Hong, et al, 2023. Soil geochemical anomaly characteristics and prospecting potential of the Sidaoliangnan molybdenum deposit in the Beishan area, Gansu and Inner Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 59(4) : 774-790.
- 纪冬平,王朋,张凯,等,2021.陕西北强县中坝地区发现沉积型锰(钴)矿[J].矿产与地质,35(2):365-369. Ji Dongping, Wang Peng, Zhang Kai, et al, 2021. Discovery of the sedimentary Mn (Co) deposit in Zhongba area, Ningqiang County of Shaanxi [J]. *Mineral Resources and Geology*, 35 (2) : 365-369.
- 寇少磊,刘基,王占彬,等,2024.后龙门山构造带辛家咀金矿床成矿流体特征及其演化:来自流体包裹体与H-O同位素的证据[J/OL].现代地质:1-23(2024-09-30). <https://link.cnki.net/doi/10.19657/j.geoscience.1000-8527.2024.117>. Kou Shaolei, Liu Ji, Wang Zhanbin, et al, 2024. Ore-forming fluid characteristics and evolution of the Xinjiazui gold deposit in back-Longmenshan tectonic belt: evidences from fluid inclusions and H-O isotopes [J/OL]. *Geoscience*: 1-23 (2024-09-30). <https://link.cnki.net/doi/10.19657/j.geoscience.1000-8527.2024.117>.
- 黎彤,1992.地壳元素丰度的若干统计特征[J].地质与勘探,28(10):1-7. Li Tong, 1992. The statistical characteristics of the abundance of chemical elements in the earth's crust [J]. *Geology and Prospecting*, 28(10) : 1-7.
- 李佐臣,2009.扬子地块西北缘后龙门山造山带(北段)物质组成、构造特征及其形成演化[D].西安:长安大学. Li Zuochen, 2009. Composition, structural characteristics and evolution of back-Longmenshan orogen (north section) in the northwest margin of Yangtze Block [D]. Xi'an: Chang'an University.
- 廖时理,陈守余,张利亚,等,2015.陕西青木川—苍社地区韧性剪切带型金矿床地球化学特征及地质意义[J].中南大学学报(自然科学版),46(3):1082-1093. Liao Shili, Chen Shouyu, Zhang Liya, et al, 2015. Geochemistry and its geological significance of gold deposits in ductile shear zone of Qingmuchen-Cangshe area, Shaanxi [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 46(3) : 1082-1093.
- 刘基,杨可,张晓星,等,2022.后龙门山造山带辛家咀金矿

- 床地质特征及成因探讨[J]. 现代地质, 36(1): 378-388.
- Liu Ji, Yang Ke, Zhang Xiaoxing, et al, 2022. Geological characteristics and genesis of the Xinjiuzui gold deposit in back-Longmenshan orogenic belt[J]. Geoscience, 36(1): 378-388.
- 刘永彪, 李省晔, 杨镇熙, 等, 2024. 甘肃北山破城山东一带铜金矿地球化学勘查及找矿方向[J]. 黄金科学技术, 32(6): 990-1001. Liu Yongbiao, Li Shengye, Yang Zhenxi, et al, 2024. Geochemical exploration and prospecting direction of copper-gold deposit in eastern Pochengshan of Beishan, Gansu Province[J]. Gold Science and Technology, 32(6): 990-1001.
- 娄元林, 钱建利, 朱志平, 等, 2024. 物化遥综合找矿方法在西藏隆子县拉九地区的应用[J]. 黄金科学技术, 32(2): 241-257. Lou Yuanlin, Qian Jianli, Zhu Zhiping, et al, 2024. Application of integrated geophysical, geochemical and remote sensing prospecting methods in Lajiu area, Longzi County, Tibet[J]. Gold Science and Technology, 32(2): 241-257.
- 缪发金, 杨春明, 刘剑武, 等, 2023. 土壤地球化学测量在云南保山鸡飞金异常查证中的应用与找矿效果[J]. 世界有色金属, (24): 155-157. Miao Fajin, Yang Chunming, Liu Jianwu, et al, 2023. The application of soil geochemistry survey to anomalies varify in the Jifei gold anomaly area of western Yunnan Province and its effect[J]. World Non-ferrous Metals, (24): 155-157.
- 仇金林, 纪冬平, 王朋, 等, 2025. 后龙门山北东段黄泥坪地区新发现一处卡林型金矿(8 542 kg)[J/OL]. 中国地质: 1-3 (2025-01-17). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20250117.0957.004>. Qiu Jinlin, Ji Dongping, Wang Peng, et al, 2025. Discovery of a new carlin-type gold deposit (8 542 kg) in Huangniping area, northeastern Back-Longmenshan tectonic belt[J/OL]. Geology in China: 1-3 (2025-01-17). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20250117.0957.004>.
- 陕西省地质矿产局, 1994. I-48-116-A(玉泉坝南半幅)、I-48-116-B(燕子砭幅)、I-48-116-C(广坪北半幅)区域地质调查报告[R]. 西安: 陕西省地质矿产局. Shaanxi Provincial Bureau of Geology and Mineral, 1994. Regional geological survey report for I-48-116-A (south half of Yuquanba), I-48-116-B (Yanzhibian), I-48-116-C (north half of Guangping)[R]. Xi'an: Shaanxi Provincial Bureau of Geology and Mineral.
- 孙树浩, 2009. 中国川北甘南类卡林型金矿床[M]. 北京: 冶金工业出版社. Sun Shuhao, 2009. Carlin-like gold deposits in Gannan, northern Sichuan, China[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press.
- 唐子林, 1976. 刘家坪铜矿火山岩系岩石构造特征及找矿意义[J]. 地质与勘探, 12(4): 28-35. Tang Zilin, 1976. Rock structural characteristics of volcanic rock series in Liujiaping copper mine and its prospecting significance[J]. Geology and Prospecting, 12(4): 28-35.
- 田跃斌, 张涛, 杨青云, 等, 2013. R型因子分析在水系沉积物测量地球化学分区中的应用: 以浙西北地区为例[J]. 黄金科学技术, 21(3): 48-54. Tian Yuebin, Zhang Tao, Yang Qingyun, et al, 2013. The factor analysis and its application to the geochemical subareas based on the stream sediment survey: taking northwestern Zhejiang Province for instance[J]. Gold Science and Technology, 21(3): 48-54.
- 王斌, 高永宝, 任涛, 等, 2025. 龙门山构造带辛家咀金矿三维原生晕特征及深部找矿预测[J/OL]. 地学前缘: 1-22 (2025-02-14). <https://link.cnki.net/doi/10.13745/j.esf.sf.2025.1.17>. Wang Bin, Gao Yongbao, Ren Tao, et al, 2025. 3D primary halo and deep prospecting prediction of Xinjiuzui gold deposit in the Longmenshan tectonic belt, China[J/OL]. Earth Science Frontiers: 1-22 (2025-02-14). <https://link.cnki.net/doi/10.13745/j.esf.sf.2025.1.17>.
- 王富东, 王成辉, 朱余银, 等, 2015. 龙门山构造带金矿成矿潜力探讨[J]. 矿物学报, 35(增刊1): 243. Wang Fudong, Wang Chenghui, Zhu Yuyin, et al, 2015. Discussion on metallogenic potential of gold deposits in Longmenshan structural belt[J]. Acta Mineralogica Sinica, 35 (Suppl. 1): 243.
- 王元, 王晓东, 隋海涛, 2019. 陕西省宁强县玉泉坝金矿成矿特征及找矿标志[J]. 内蒙古科技与经济, (13): 48, 58. Wang Yuan, Wang Xiaodong, Sui Haitao, 2019. Metallogenic characteristics and prospecting criteria of Yuquanba gold deposit in Ningqiang County, Shaanxi Province[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, (13): 48, 58.
- 王占彬, 马承, 杨可, 等, 2022. 元素等量浓集概念及其应用: 以陕西宁强县中坝矿区土壤测量异常解释为例[J]. 西北地质, 55(2): 271-283. Wang Zhanbin, Ma Cheng, Yang Ke, et al, 2022. The concept and application of element equivalent-concentrating: a case study for anomaly interpretation of soil survey from Zhongba mining area, Ningqiang County, Shaanxi Province[J]. Northwestern Geology, 55(2): 271-283.
- 王柘, 阳明, 王本达, 2015. 四川广元市董家院金矿剪切带构造特征及控矿作用[J]. 云南地质, 34(1): 104-108. Wang

- Zhe, Yang Ming, Wang Benda, 2015. The shear zone structure feature and ore control of Dongjiayuan Au deposit in Guangyuan, Sichuan[J]. Yunnan Geology, 34(1):104-108.
- 魏立勇, 2008. 陕川丁家林—太阳坪金矿带地质特征及成因探讨[D]. 西安: 西安科技大学. Wei Liyong, 2008. Geological characteristics and genesis of the Dingjialin-Taiyangping gold metallogenic belt[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology.
- 杨伟, 寇少磊, 杨可, 等, 2024. 后龙门山山东段辛家咀地区新发现一脆—韧性剪切带型金矿[J]. 中国地质, 51(1): 362-363. Yang Wei, Kou Shaolei, Yang Ke, et al, 2024. Discovery of a new brittle-ductile shear zone type gold deposit in Xinjiazui area, northeastern Back-Longmenshan tectonic belt[J]. Geology in China, 51(1): 362-363.
- 尹明, 王苏明, 叶家喻, 等, 2006. 地质矿产实验室测试质量管理规范: DZ/T 0130-2006[S]. 北京: 中国标准出版社. Yin Ming, Wang Suming, Ye Jiayu, et al, 2006. The specification of testing quality management for geological laboratories: DZ/T 0130-2006 [S]. Beijing: Standards Press of China.
- 袁和, 罗先熔, 李武毅, 等, 2017. 西藏邦卓玛地区土壤地球化学特征及找矿预测[J]. 地质与勘探, 53(3): 472-481. Yuan He, Luo Xianrong, Li Wuyi, et al, 2017. Geochemical characteristics of soil and prospecting prediction of the Bangzhuoma Region, Tibet [J]. Geology and Exploration, 53(3): 472-481.
- 臧金生, 王东晓, 赵瑞强, 2014. 化探异常定量评价[J]. 物探与化探, 38(6): 1114-1118. Zang Jinsheng, Wang Dongxiao, Zhao Ruiqiang, 2014. Quantitative evaluation of geochemical anomalies [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 38(6): 1114-1118.
- 张宏如, 鲁坤鹏, 2017. 陕西省宁强县中坝范家山金矿成因初探[J]. 世界有色金属, (10): 45-46. Zhang Hongru, Lu Kunpeng, 2017. On the formation of gold deposit in Shaanxi Province Jiashan Van Dam in Ningqiang County [J]. World Nonferrous Metals, (10): 45-46.
- 张勇, 李水平, 荆鹏, 等, 2024. 河南嵩县九仗沟金矿床地球化学特征与勘查模式[J]. 黄金科学技术, 32(2): 258-269. Zhang Yong, Li Shuiping, Jing Peng, et al, 2024. Geochemical characteristics and exploration model of the Jiuzhanggou gold deposit, Songxian County, Henan Province [J]. Gold Science and Technology, 32(2): 258-269.
- 赵福来, 王长春, 李建, 等, 2020. 陕西省大茅坪铜矿床成矿规律探究[J]. 西部探矿工程, 32(12): 109-112. Zhao Fulai, Wang Changchun, Li Jian, et al, 2020. Study on metallogenic regularity of Damaoping copper deposit in Shaanxi Province [J]. West-China Exploration Engineering, 32(12): 109-112.
- 钟俊, 2015. 四川广元太阳坪金矿床地质特征及成因研究[D]. 绵阳: 西南科技大学. Zhong Jun, 2015. Geological characteristics and genesis of Taiyangping gold deposit, Sichuan Province [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology.
- 中华人民共和国国土资源部, 2017. 土壤地球化学测量规程: DZ/T 0145-2017[S]. 北京: 中国标准出版社. Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China, 2017. Regulations for Soil Geochemical Survey: DZ/T 0145-2017[S]. Beijing: Standards Press of China.
- 周新春, 贾小梅, 刘爽, 等, 2005. 陕川丁家林—太阳坪金矿区金的赋存状态及主要特点分析[J]. 西北地质, 38(1): 64-72. Zhou Xinchun, Jia Xiaomei, Liu Shuang, et al, 2005. Characteristic analysis of occurrences of gold in the Dingjialin and Taiyangping gold field of Shaanxi and Sichuan Province [J]. Northwestern Geology, 38(1): 64-72.

Application of Soil Geochemistry Survey in the Xinjiazui Gold Mining Area of Ningqiang County, Shaanxi Province

TIAN Yuan^{1,2}, WANG Zhanbin^{1,2}, KOU Shaolei^{1,2}, LIU Ji^{1,2}, JI Dongping^{1,2}, ZHANG Yixiang^{1,2}, PAN Yuan^{1,2}, LI Lei^{1,2}, CHEN Hao^{1,2}, GAO Chao^{1,2}, LIU Dong^{1,2}

1. Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an 710100, Shaanxi, China;

2. Technology Innovation Center for Gold Ore Exploration, Xi'an Center of Mineral Resources Survey, China Geological Survey, Xi'an 710100, Shaanxi, China

Abstract: The Back-Longmenshan tectonic belt presents favorable conditions for gold mineralization and has

yielded promising outcomes in gold exploration in recent years. Notable gold deposits, including Taiyangping, Dingjialin, and Dongjiayuan, have been successively identified. The Xinjiazui gold mining area, situated in the northeastern segment of the tectonic belt, exhibits well-developed regional stream sediment gold anomalies. Nevertheless, significant progress in mineral exploration has not yet been achieved. To efficiently and effectively assess the mineralization potential of the Xinjiazui area and delineate favorable zones for mineral exploration, a 1: 10 000 soil geochemical survey methodology was selected as the preliminary approach, drawing on previous work experience. Utilizing mathematical statistical methods to analyze and synthesize the dispersion patterns and combination characteristics of element enrichment, geochemical anomalies of elements were delineated and subsequently verified. Two gold deposits were identified in the Ht-5 comprehensive anomaly area, with an inferred gold resource of 3.72 metric tons. Additionally, a gold mineralization body was located in the Ht-2 comprehensive anomaly area. The findings indicate that the soil in this region predominantly originates from the differentiation of in-situ bedrock, with minimal contamination from external substances. The comprehensive soil anomaly is primarily characterized by the presence of gold (Au), while arsenic (As), antimony (Sb), and silver (Ag) are closely associated with gold and serve as key indicator elements for gold prospecting. The gold mineralization is situated within a brittle-ductile shear zone at the interface between the northeast-trending Niutitang Formation and the Maoxian Group. The soil geochemical measurement technique proves to be highly effective for mineral exploration and is considered one of the most efficient methods for gold exploration in the vegetation-covered landscape of the Back-Longmenshan area.

Key words: soil geochemical survey; element anomaly; prospecting effect; Xinjiazui gold mining area; Back-Longmenshan tectonic belt

自然资源部发布376项矿产先进适用技术

11月11日,自然资源部发布了“矿产资源节约与综合利用先进适用技术目录(2025年版)”,共有376项技术入选,其中新增入选186项,与2022年版相比有了大幅更新。

据了解,本次2025年版目录评选更新工作是深入贯彻落实党中央、国务院关于推进生态文明建设的战略决策部署和新《中华人民共和国矿产资源法》的重要举措。经自评申报、组织推荐、专家评选和社会公示等程序,共遴选产生376项先进适用技术。其中,上一轮2022年版技术再次申报入选190项,新增入选186项,涵盖综合勘查技术49项、高效采矿技术94项、高效选矿技术65项、综合利用技术75项、绿色低碳技术39项和数字化智能化技术54项。与2022年发布的317项相比,总数增长超18%,更新率近60%。

作为推动矿业高质量发展的重要举措,矿产资

源节约和综合利用先进适用技术目录发布制度于2012年建立,到2017年陆续发布了6批先进适用技术。2019年起,每3年更新一次。截至目前,自然资源部(国土资源部)共组织遴选了9批1387项先进适用技术。

这些技术的发布和推广,实现了“让有需求的企业找到适用技术,让先进技术找到适用的企业”,有力提升了矿产资源节约集约与综合利用水平。自然资源部对2022年版技术推广应用情况评估结果显示,44项勘查技术被应用到1119个勘查项目,推动发现石油7.8亿t、天然气(煤层气)5.8亿m³、铁矿1.7亿t、天然碱0.87亿t、金316t;251项采选和综合利用技术在矿山企业应用后,矿山平均开采回采率、选矿回收率均提升9个百分点,共伴生矿产综合利用率提升15个百分点,盘活固体矿产21亿t、石油2.6亿t、天然气126亿m³。

(来源:中国自然资源报)