

综合找矿方法在豫西干树金矿区勘查中的应用

韩新志^{1,2}, 张兴康³, 颜正信^{1,2*}, 庆岩波^{1,2}

(1. 河南省第一地质矿产调查院有限公司; 2. 河南省金银多金属成矿系列与深部预测重点实验室;
3. 河北省地质调查院)

摘要:上宫金矿田处于华北板块南缘、熊耳山金多金属矿集区西部,具备良好的金成矿地质条件。干树金矿床为上宫金矿田内重要的中低温热液型金矿床。对干树金矿区F₁断裂深部开展了地质、物探、化探等综合勘查,以期获得找矿突破。采用音频大地电磁法测深(CSAMT)和钻孔原生晕地球化学分析相结合的方法,推断了F₁断裂、矿化体产状及埋藏深度。通过钻孔验证,证实了深部存在3层隐伏矿体,实现了该矿段深部找矿突破。勘查结果表明,综合找矿方法可以快速确定深部隐伏矿体,对同类型金矿的找矿勘查具有重要借鉴意义。

关键词:可控源音频大地电磁测深; 钻孔原生晕; 地球物理; 地球化学; 找矿方法; 干树金矿床; 豫西

中图分类号:TD11 P618.51
文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2025)10-0118-06
doi:10.11792/hj20251017

引言

上宫金矿田处于华北板块南缘,位于星星印—上宫断裂北东向构造带中北部,熊耳山金多金属矿集区西部,是河南省重要的金矿集区之一,具备良好的金成矿地质条件,至今已发现上宫、干树、刘秀沟、虎沟、七里坪、西青岗坪等金矿床。前人已对该区浅部及中部开展了不同程度矿产勘查,并对矿区地质特征、矿床特征、成矿规律、资源潜力进行了多次的研究,科研成果显著^[1-4]。干树金矿床分布于上宫金矿田西南部,是上宫金矿田内重要的中低温热液型金矿床^[5]。2010—2019年,河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院在干树金矿区开展了深部金矿普查(整装勘查)工作,通过地质、地球物理、地球化学综合找矿方法^[6-10],在深部(670 m标高以下)发现了隐伏矿体29个,新增工业金资源量25 739 kg^[1],取得了找矿工作的重大突破,为该区地质找矿工作提供了新思路。

1 区域地质背景

干树金矿床位于华北板块南缘、熊耳山隆断区北麓,花山—龙脖背斜核部偏南翼,星星印—上宫断裂(见图1)。区域地层具典型基底和盖层二元结构。其中,基底由新太古界太华群古老变质片麻岩系构

成,具多期次、深变质变形特点,岩性为黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、浅粒岩等,原岩为一套大陆裂谷环境的中基性—中酸性火山岩系,具有较高的金背景值^[4];盖层为中元古界熊耳群陆相火山喷发岩系,岩性为安山岩、杏仁状安山岩、斑状安山岩及英安质流纹岩等,具浅层次脆性变形。区域岩浆活动以燕山期中酸性侵入岩最为强烈,与金银铅锌等元素的活化、迁移、富集及成矿作用关系密切^[11]。

区域内矿产以金为主,次为银、铅、锌、铜和铁等。综合区域地球化学资料研究成果,干树金矿床处于金鸡山2号半环状Au(甲)异常的上宫Au元素浓集区内,浓集中心金平均值为 48×10^{-9} ,同时在1:20万重砂异常内,为金丰度值的2~30倍^[4],具有较好的金成矿物质来源。

2 矿区地质特征

矿区位于北东向花山—龙脖背斜南翼,地层呈单斜产出,倾向南或南西。出露地层为中元古界熊耳群许山组上段、下段,鸡蛋坪组中段、下段(见图2)。许山组上段、下段在矿区内大面积出露,鸡蛋坪组中段、下段仅在南东部小面积出露,为陆相喷发沉积火山碎屑岩。矿区内构造主要为2条断裂,分别为北东向的F₁断裂及北北东向V号脉带(干树段)形成的断裂,为岩浆含矿热液的迁移沉淀提供了有利通道^[12-18]。2组

收稿日期:2025-06-15; 修回日期:2025-07-25

基金项目:河北省自然资源厅地勘专项资金项目(4540401YBNZ62D, 13000022P00F2D 410128F, 3000024P00F2D410499Y)

作者简介:韩新志(1978—),男,工程师,从事矿山开发及矿产勘查工作;E-mail:874848973@qq.com

*通信作者:颜正信(1966—),男,正高级工程师,从事区域地质调查及矿产勘查工作;E-mail:lyddyzyx@126.com

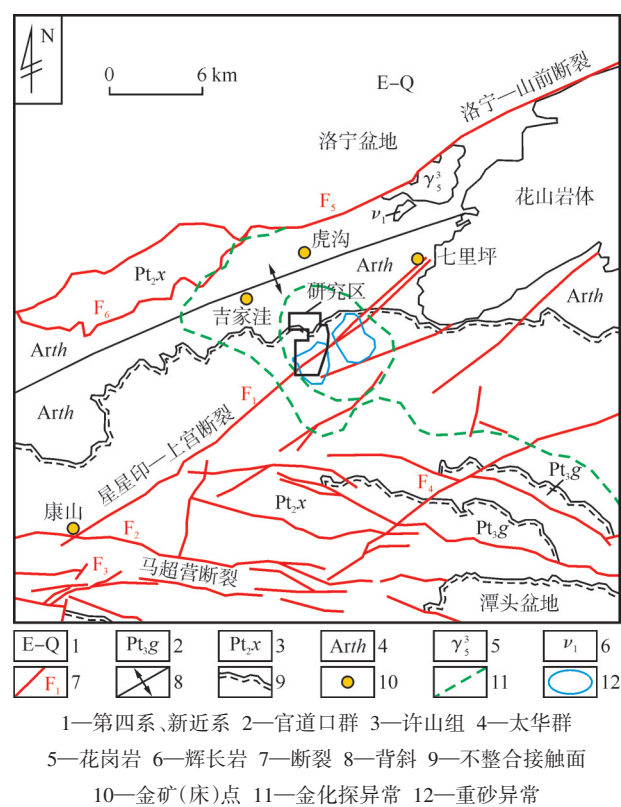


图1 熊耳山地区区域地质略图

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Xiong'er Mountain area

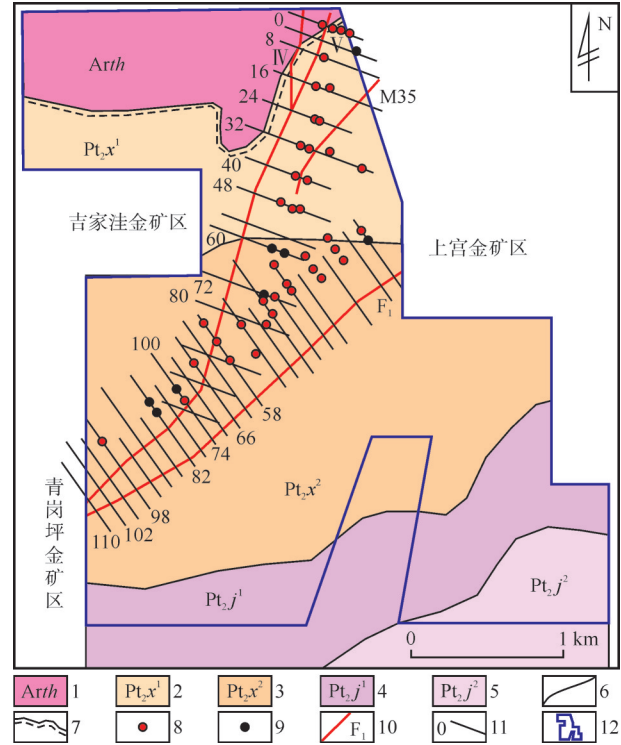


图2 干树金矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Ganshu Gold District

沿 F_1 断裂发育 I、II、III 3 条近平行矿脉,相应控

制 I、II、III 号矿体。该组矿脉具多期活动特点,以压扭性为主。矿脉内分布碎裂岩、角砾岩和蚀变岩,具硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化(褐铁矿化)、方铅矿化等蚀变,地表均见矿化,金品位 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ 。

3 物探工作

本次物探工作使用的仪器为 V8 多功能电法仪,电极距为 40 m,最低工作频率为 0.125 Hz。供电测量时间为 3 s,单频点观测时间一般不少于 60 s。测点用天宝 GEOXM2008 手持 GPS 定位,点距一般为 40 m。

矿区内采用可控源音频大地电磁法(CSAMT),查明 F_1 断裂在深部的延伸情况和矿化情况。结合地质资料,圈定深部找矿靶区,并进行钻孔验证^[19-21]。

可控源音频大地电磁法测线方向垂直于 F_1 断裂走向,测线与地质勘探线重合。测区为基岩出露区,为高阻地区,综合考虑最小频率的信号强度和满足远区测量等条件,共布设了 2 个发射场源,最大收发距 12.07 km,最小收发距 8.57 km。本次最高工作频率为 95 Hz,最低工作频率为 0.125 Hz,可满足每个测点不同地质体的勘探深度;可控源音频大地电磁法工作电极距为 40 m,电磁测深 50 个频点,频率为 125~9 600 Hz。供电电源为发电机,采用两端供电,供电线为纯铜线,两侧供电各采用 4 块铝板,埋深 40~60 cm。

本次选取干树金矿区 58 勘探线、66 勘探线、74 勘探线、82 勘探线、98 勘探线等 5 条勘探线,采用可控源音频大地电磁法,利用 Surfer、Mapgis6.7 等软件绘制各剖面电阻率断面等值线图。经测线反演,结合地质矿产资料,编制地质推断解释断面图,各典型剖面物探测量成果特征相似,均呈现低阻中高极化特征,显示 -500~1 000 m 标高电阻率特征为中低阻梯级带,与地表浅部已发现矿体的电阻率近一致,推测深部有较好的成矿条件。

干树金矿区 58 勘探线 CSAMT 二维反演电阻率及推断解释断面见图 3。由图 3-a 可知:电性梯级带反映了岩石地层的破碎较发育,与 F_1 断裂关系密切,已知矿体在 600 m 标高以上,电性以中阻、低阻为主,并与之相关的梯级带关系较密切,反映了 F_1 断裂较发育(58 勘探线中浅部自西向东已施工 ZK5804、ZK5803、ZK5802、ZK5801、ZK5800 钻孔 5 个,对 F_1 断裂(矿脉)倾向延伸进行了较好控制(见图 3-b),倾向延伸稳定,产状相对较缓,推测在 -500~600 m 标高电性反映为中低阻或中高极化梯级带,并与 F_1 断裂倾向延伸吻合,产状相对较陡,电阻率特征为中低阻梯级带,与地表浅部已发现矿体的电阻率一致,推测深部存在矿(化)体或构造碎裂岩石的可能性较大,是寻

找金等多金属矿的有利部位,具进一步工作价值。

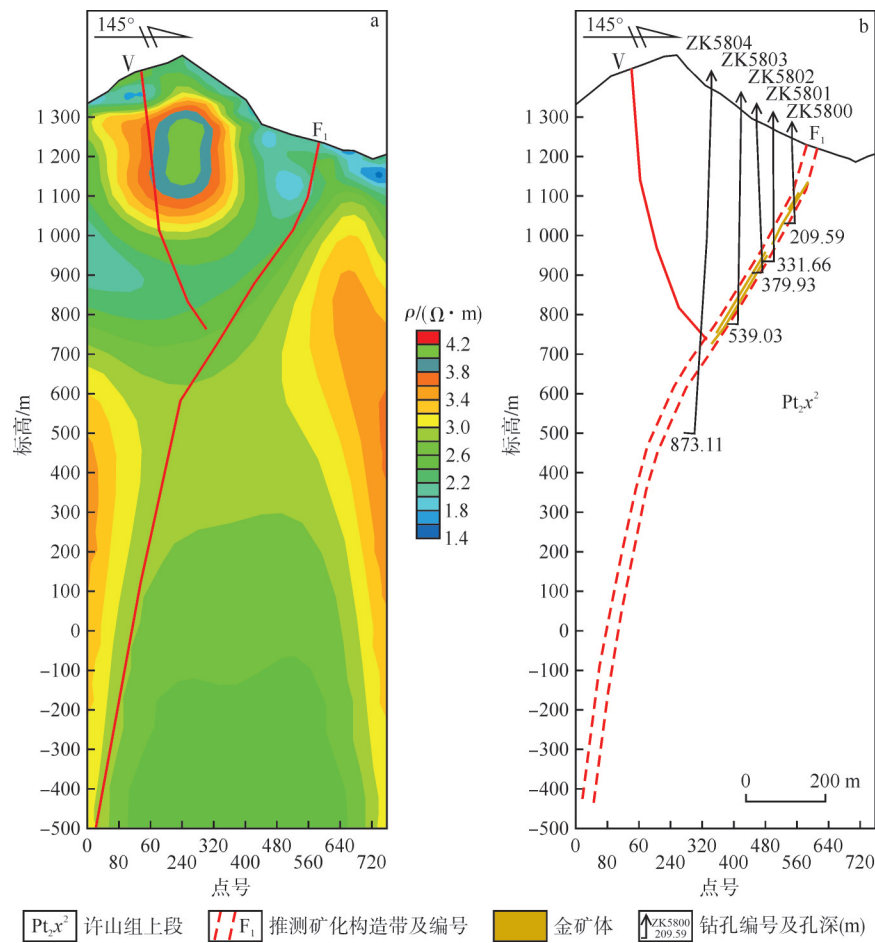


图3 干树金矿区58勘探线CSAMT二维反演电阻率及推断解释断面

Fig. 3 Section of CSAMT 2D inversion resistivity and inferred interpretation along Exploration Line 58 in the Ganshu Gold District

4 化探工作

在F₁断裂深部(限采标高600 m以下)对22个钻孔采集了岩芯轴向原生晕地球化学样品3 772件。分析Au、Ag、Pb、Zn、As、Cu、Ba、Mn、W、Mo、Sb、V共12种元素。目的是判断矿体的剥蚀程度,预测隐伏、半隐伏矿体。

4.1 原生晕元素地球化学特征

据F₁断裂上22个钻孔的岩芯原生晕地球化学样品分析结果,分析元素的深部轴向地球化学分布、分配特征,利用计算方法逐步剔除大于3倍离差的分析值,最终得到各元素特征值,结果见表1。由表1可知:干树金矿区富集元素为Au、Pb、Zn、Cu、Ba、Mn、W、Mo、V。

表1 干树金矿区钻孔原生晕地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of drillhole's primary halos in the Ganshu Gold District

特征值	Au ¹⁾	Ag	Pb	Zn	As	Cu	Ba	Mn	W	Mo	Sb	V
平均值/×10 ⁻⁶	1.22	0.07	18.32	122.62	1.03	6.95	814.22	938.38	7.82	2.22	0.35	127.21
标准离差/×10 ⁻⁶	0.89	0.04	13.21	53.45	0.56	6.12	629.23	332.97	7.40	2.16	0.06	53.30
变异系数	0.73	0.55	0.72	0.44	0.55	0.88	0.77	0.35	0.95	0.97	0.17	0.42
异常下限/×10 ⁻⁶	2.99	0.16	44.74	229.52	2.15	19.19	2 072.68	1 604.30	22.62	6.55	0.48	233.82

注:1)w(Au)/×10⁻⁹。

利用SPSS软件对12种元素进行相关性分析,结果显示:Au与As、W、Ag、Mo呈显著正相关关系,与Zn、Cu、Sb、Pb呈弱相关关系,与Ba、V呈微弱相关关系,与Mn呈负相关关系。R型聚类分析谱系图见图4。由图4可知:矿区主成矿元素与矿化剂组分一

起构成较紧密的关联元素组合,可分为3个簇群。其中,第一簇群为Au、Ag、As、Mo、W,可进一步分成2个亚群,即Au、As和Ag、Mo、W亚群。第二簇群为Cu、Pb、Sb、Zn,其相互间的关联程度较低,有可能与Sb的地球化学行为有关,通常赋存于低温含矿热液,可作

为远程指示元素。第一、二簇群大多关联元素为主要矿化元素,As、Sb为主要矿化剂组分。第三族群为Ba、V、Mn。

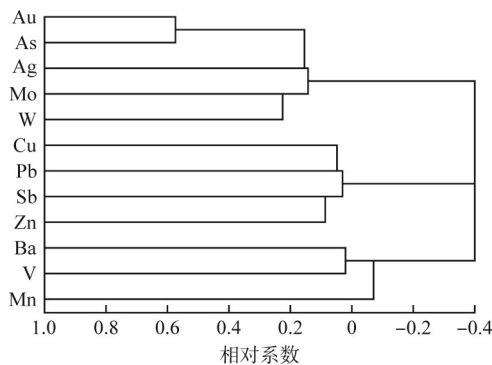


图4 R型聚类分析谱系图

Fig. 4 Dendrogram of R-type cluster analysis

4.2 原生晕元素异常特征

干树金矿区F₁断裂26勘探线钻孔岩石地球化学综合剖面图见图5。由图5可知:ZK2608、ZK2606钻孔所取样品分析结果与钻孔原生晕地球化学异常特征相吻合,与深部F₁断裂分布近一致。Au、Ag、Pb、Zn、Cu、As、Sb、Mo异常受断裂控制明显(400~470 m标高、120~230 m标高)。钻孔ZK2608原生晕Y₈₁、Y₁₁₉、Y₁₂₄、Y₁₂₉、Y₁₃₄样品金品位较高,达1 000×10⁻⁹,与之相对应的Ag、Sb、Pb、Zn、Cu和Mo品位也相对较高,分别为0.71×10⁻⁶~10×10⁻⁶、5.22×10⁻⁶~54.9×10⁻⁶、102×10⁻⁶~1 109×10⁻⁶、119×10⁻⁶~737×10⁻⁶、95×10⁻⁶~145×10⁻⁶、8.7×10⁻⁶~24.5×10⁻⁶,与异常下限相比,Au、Pb、Zn元素呈富集状态,Ag、Sb、Cu、Mo元素呈弱富集分布,Ba、Mn、W、V元素均为正常分布,元素含量低于异常下限^[7]。F₁断裂上部,Au、Ag、Pb、Zn、As、Sb异常较明显,套合较好。F₁断裂中下部,Au、Ag、Pb、Zn、As、Sb异常零星分布,局部套合较好,但元素含量相对较低。

钻孔ZK2606原生晕Y₈₂、Y₉₀、Y₉₄样品金品位较高,最高达1 000×10⁻⁹,一般为78.4×10⁻⁹~630×10⁻⁹,与之相对应的Ag、Pb、As、Sb、W品位也相对较高,分别为1.02×10⁻⁶~3.81×10⁻⁶、106×10⁻⁶~146×10⁻⁶、42.4×10⁻⁶~119×10⁻⁶、2.07×10⁻⁶~5.06×10⁻⁶、450×10⁻⁶,与矿区异常下限相比,Au、Pb元素呈富集状态,Ag、As、Sb、W元素呈弱富集分布,其他元素为正常分布,元素含量低于异常下限。F₁断裂顶底板Au、Ag、Pb、As、Sb异常较明显,套合较好。F₁断裂中部元素异常零星分布,套合较差,元素含量较低。

钻孔反映F₁断裂顶底板围岩为熊耳群火山岩、太华群石板沟岩组片麻岩。围岩中原生晕地球化学曲线反映,Au、Ag、Pb、Zn有不同程度的弱富集,呈弱富集—弱分异型分布,元素含量极低,基本无异常显示。

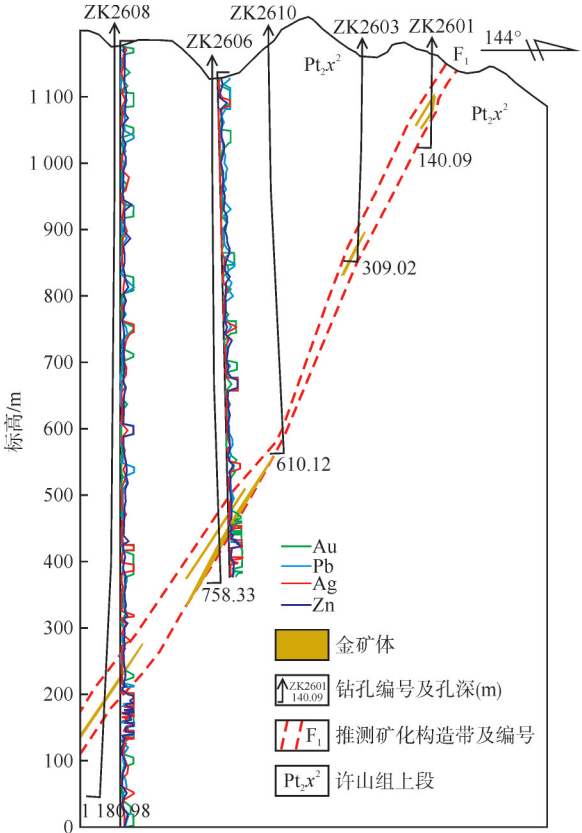


图5 干树金矿区26勘探线钻孔岩石地球化学综合剖面图

Fig. 5 Integrated lithogeochemical profile of boreholes along Exploration Line 26 in the Ganshu Gold District

总之,22个钻孔原生晕地球化学特征受构造控制明显。干树金矿区F₁断裂深部(-640 m标高以上),Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Ba、W、Mo、Sb等元素均具有富集特征,其中,Ag、As、Sb、Ba等指示元素多为中等—强富集,Au、Pb、Zn等元素多为特富集,Ag、Cu局部为强富集,W、Mo等元素为中等—弱富集,总体显示Au、Ag、Pb、Zn为成矿组合元素,为矿致异常,且异常组成均以前缘晕元素、近矿晕元素为主^[22-24],显示深部有较好的找矿前景。

5 钻孔验证

根据干树金矿区地质调查、CSAMT和钻孔原生晕分析的综合分析,发现物探异常和钻孔原生晕异常的分布特征与F₁断裂的倾向延伸分布特征基本吻合。物探测量反映,F₁断裂在-500~600 m标高为中低阻或中高极化梯级带,曲线异常凸显;钻孔原生晕地球化学特征反映,F₁断裂深部(-640 m标高以上)成矿的指示前缘晕元素、近矿晕元素均呈强异常富集,成矿组合元素Au、Ag、Pb、Zn组成特征明显,推断干树金矿区F₁断裂深部极具找矿潜力。

在干树金矿区F₁断裂58勘探线施工钻孔ZK5806、ZK5808,分别在孔深744.4~1 009.7 m、

784.6~1 021.58 m揭露控制 F_1 断裂。经取样分析,在 F_1 断裂内发现多层(I、II、III号)工业矿体(见图6)。矿体厚度为0.51~5.83 m,工程矿体累计厚度为3.1~8.43 m,反映深部有变厚趋势。

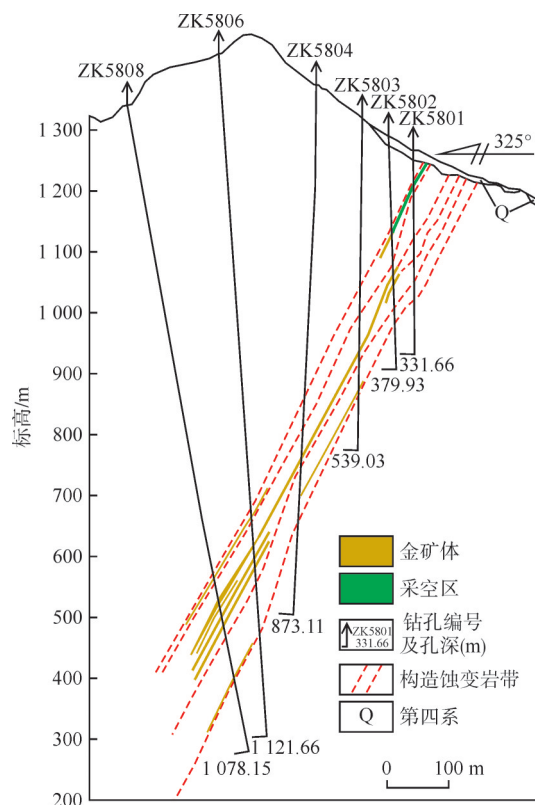


图6 干树金矿区58勘探线地质剖面图

Fig. 6 Geological profile along Exploration Line 58 in the Ganshu Gold District

矿体金品位 $1.02\times 10^{-6}\sim 4.70\times 10^{-6}$,平均金品位 3.17×10^{-6} 。钻孔编录显示,矿体主要产于熊耳群安山岩和杏仁状安山岩中,矿体类型属构造蚀变岩型,矿体产状、形态与断裂产状基本一致。钻探工程的成功见矿,表明利用地质、物探、化探多种技术手段探矿是行之有效的,可快速圈定深部矿体。

6 结 论

1)干树金矿区可控源音频大地电磁测深的研究结果显示了 F_1 断裂在深部的分布特征。

2)钻孔原生晕地球化学特征显示,异常以前缘晕元素、近矿晕元素为主,异常强度高,成矿组合元素Au、Ag、Pb、Zn组成特征明显,并严格受断裂控制。其中,Au异常最高值达 $1\ 000\times 10^{-9}$,具有较强的浓集中心,各元素套合关系较好,验证了CSAMT异常曲线反映的深部构造带的矿致异常,为钻探验证提供了依据。

3)中浅部工程发现, F_1 断裂赋存多层构造蚀变带和多层(I、II、III号)矿体,且深部矿体矿化较均匀,

厚度有变大的趋势。

4)通过地质、物探、化探的综合找矿方法,在干树金矿区深部实现找矿突破,为区域地质找矿工作提供了新思路,对于寻找同类型矿床具有重要指导意义。

【参 考 文 献】

- [1] 颜正信,刘耀文,梁新辉,等.河南省洛宁县上宫金矿深部普查报告[R].洛阳:河南省地质矿产勘查开发局第一地质矿产调查院,2019.
- [2] 罗铭玖.河南金矿概论[M].北京:地震出版社,1992.
- [3] 张玉龙.豫西陆院沟金矿床3[#]矿脉富矿包成因、成矿规律及成矿预测[J].黄金,2022,43(6):7-11.
- [4] 黄守民,崔燮祥.熊耳山地区金矿地球化学异常特征[J].河南地质,1999,17(1):1-9.
- [5] 冯绍平,汪江河,邓红玲,等.熊耳山干树金矿流体包裹体及稳定同位素地球化学研究[J].地球化学,2017,46(2):137-148.
- [6] 刘志远,徐学纯.辽东青城子金银多金属成矿区综合信息找矿模型及找矿远景分析[J].吉林大学学报(地球科学版),2007,37(3):437-443.
- [7] 韩雷,郑岩,李雪梅,等.内蒙古敖汉旗窑沟金矿床综合信息特征及找矿意义[J].黄金,2022,43(2):15-21.
- [8] 王学阳,李慧,郭廷峰,等.吉林夹皮沟金矿田二道沟金矿区地球物理特征、地球化学特征及找矿效果[J].黄金,2022,43(12):26-32,38.
- [9] 王学阳,杨言辰,刘志宏,等.长江中下游成矿带大金山地区综合信息找矿效果及深部找矿潜力分析[J].吉林大学学报(地球科学版),2025,55(1):125-138.
- [10] 王光,张兴康,陶光活,等.物化探综合找矿方法在冀西北大东沟钼矿床勘查中的应用效果[J].黄金,2025,46(4):85-91.
- [11] 孙卫志,张灯堂,孟宪锋,等.豫西矿集区Au、Mo地球化学块体分布特征及资源潜力分析[J].中国地质,2012,39(2):349-358.
- [12] 韩晓涛,金秀英,高倩,等.辽东猫岭矿集区金矿床地质特征、空间分布及找矿要素[J].黄金,2023,44(8):70-75.
- [13] 仲米山,罗银花,刘冰,等.华北克拉通东部新房金矿床成矿规律与三维成矿预测[J].黄金,2023,44(7):48-54.
- [14] 刘玉刚,丁培超,孙保花,等.河南省小秦岭金矿田剪切带特征及其控矿规律研究[J].黄金,2023,44(8):76-83.
- [15] 张兴康,叶会寿,李正远,等.豫西吉家洼金矿成矿作用过程:来自成矿流体的约束[J].现代地质,2014,28(4):686-700.
- [16] 张笑天,孙景贵,韩吉龙,等.吉林夹皮沟金矿集区三道岔金矿床成矿流体来源与演化——流体包裹体和H-O同位素的制约[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):748-766.
- [17] 李欣航,白令安,胡乔帆,等.桂西北金牙金矿床成矿流体性质与成矿机制[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):840-852.
- [18] 赵克强,孙景贵,程琳,等.内蒙古白土营子钼矿床成矿年代学及成矿流体特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):822-839.
- [19] 何继善.可控源音频大地电磁法[M].长沙:中南工业大学出版社,1990.
- [20] 王峰,吴志春,陈凯,等.CSAMT法在深部地质结构探测中的应用——以相山钼矿田邹家山地区为例[J].物探与化探,2016,40(1):17-20.
- [21] 颜正信,张兴康,张龙,等.综合物探方法在河北松山峪地区铁

- 矿勘查中的应用[J].矿产勘查,2017,8(3):426-433.
- [22] 肖荣阁.岩石矿床地球化学[M].北京:地震出版社,2008.
- [23] 胡乔青,王义天,毛景文,等.山西义兴寨金矿床铁塘矿段原生晕地球化学与深部找矿预测[J].黄金,2023,44(7):1-9.
- [24] 高学坎,席振铎,向胤合,等.胶东大尹格庄金矿床后窿矿区深部矿体定位预测[J].黄金,2024,45(6):60-64.

Application of integrated prospecting methods in exploration of the Ganshu Gold Deposit in western Henan Province

Han Xinzhi^{1,2}, Zhang Xingkang³, Yan Zhengxin^{1,2}, Qing Yanbo^{1,2}

(1. Henan First Geology and Mineral Survey Institute Co., Ltd.;

2. Henan Key Laboratory of Gold and Silver Polymetallic Mineralization Series and Deep Prediction;

3. Hebei Institute of Geological Survey)

Abstract: The Shangong Gold Ore Field is located at the southern margin of the North China Plate and in the western part of the Xiong'ershan gold polymetallic province, characterized by favorable geological conditions for gold mineralization. The Ganshu Gold Deposit is an important hydrothermal gold deposit at low-to-medium temperature within the Shangong Gold Ore Field. Comprehensive exploration integrating geological, geophysical, and geochemical prospecting methods was carried out to investigate the deep extension of the F_1 fault in the Ganshu Gold Deposit, aiming to achieve breakthroughs in mineral exploration. By combining controlled-source audio-frequency magnetotellurics (CSAMT) with geochemical analysis of drillhole's primary halos, the F_1 fault, occurrence of the mineralized bodies, and burial depth were inferred. Drillhole verification confirmed the existence of 3 layers of concealed orebodies at depth, achieving a significant prospecting breakthrough in the deep section of this deposit. The prospecting results demonstrate that integrated prospecting methods can rapidly identify deep concealed orebodies, providing important insights for prospecting similar types of gold deposits.

Keywords: controlled-source audio-frequency magnetotellurics; drillhole's primary halo; geophysics; geochemistry; prospecting method; Ganshu Gold Deposit; western Henan Province