

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2024.04.011

气体地球化学勘查在覆盖区找矿的应用 ——以新疆金坝金矿为例

郝风云¹, 王志罡², 张文璟², 张子鸣², 段旦³

(1. 哈巴河金坝矿业有限公司, 新疆 阿勒泰 836700;

2. 中国冶金地质总局西北地质勘查院, 西安 710119;

3. 正元国际矿业有限公司, 北京 101300)

摘要: 新疆哈巴河金坝金矿具有隐伏矿体多、地表覆盖层广的特点, 给勘查工作带来较大困难。相对于水系、土壤地球化学勘查异常范围较大、指示性较差的情况, 采用气体地球化学勘查的手段对金坝金矿区进行 CO₂、SO₂ 气体测量研究, 为缩小目标靶区、探求隐伏矿体提供更多依据。探矿工程实践证明, CO₂、SO₂ 气体地球化学异常与矿体分布有很好的耦合关系, 气体地球化学勘查可以较准确反映覆盖区隐伏矿体的信息, 且具有异常明显、范围较集中的特点, 是适用于金矿覆盖区勘查工作的有效方法。

关键词: 覆盖区找矿; 气体化探; CO₂、SO₂ 异常; 构造裂隙

中图分类号: P632.5; P618.51 **文献标识码:** A

0 引言

阿尔泰多金属成矿带是新疆北部重要的矿床集中产区, 其中沿玛尔卡库里断裂带陆续勘查发现了多纳拉萨依、赛都、托库孜巴依、金坝等金矿床^[1-3], 并普遍认为此区域具有良好的找矿潜力^[4-9]。哈巴河金坝金矿区自 2003 年起陆续开展了一系列的矿产勘查工作, 但由于矿区存在较大范围第四系农田覆盖, 大多数矿体地表出露较差或完全隐伏, 勘查工作面临一定的困难, 水系、土壤地球化学勘查难以有效普遍开展。

气体地球化学测量方法具有强穿透性和垂直迁移机制的特点, 可反应深部矿化信息, 是适用于进行隐伏矿勘查的新方法^[10-19]。目前, 可用于气体地球化学测量的指标主要有汞气、SO₂、CO₂、H₂S、氨和烃类气体等。但由于气体元素活动性大, 更易受环

境条件影响, 加之仅可间接反映矿化信息, 指示作用的可行性及有效性尚需在实践中积累更多的资料, 测试具体方法还需进一步优化^[20-34]。本文通过金坝金矿区 CO₂ 与 SO₂ 地气测量的方法, 结合探矿工程验证, 探讨矿体地质特征与地气异常的联系, 以期为覆盖区寻找隐伏矿体提供有效工作手段。

1 地质概况

1.1 区域地质与矿区地质

哈巴河金坝金矿区位于西伯利亚古板块南缘, 阿尔泰山陆缘活动带卡尔巴—哈巴河晚古生代弧前盆地西段, 为哈萨克斯坦矿区阿尔泰多金属成矿带东延部分(图 1)。区域上以马尔卡库里大断裂为界, 北东侧为克兰弧后盆地, 南西侧为额尔齐斯挤压带。区域内出露一套中泥盆统阿勒泰组(D_{2a})、托克萨雷组(D_{2t})海相火山岩及正常沉积地层, 第四

收稿日期: 2024-05-15; 责任编辑: 沈名星

作者简介: 郝风云(1988—), 男, 工程师, 主要从事矿山地质及找矿预测研究。通信地址: 新疆阿勒泰地区哈巴河县信箱路 29 号, 哈巴河金坝矿业有限公司; 邮政编码: 836700。E-mail: 516629544@qq.com

通信作者: 王志罡(1994—), 男, 硕士, 工程师, 长期从事矿山地质工作。通信地址: 陕西省西安市长安区西洋辅道 130 号; 邮政编码: 710300。E-mail: 1123766889@qq.com

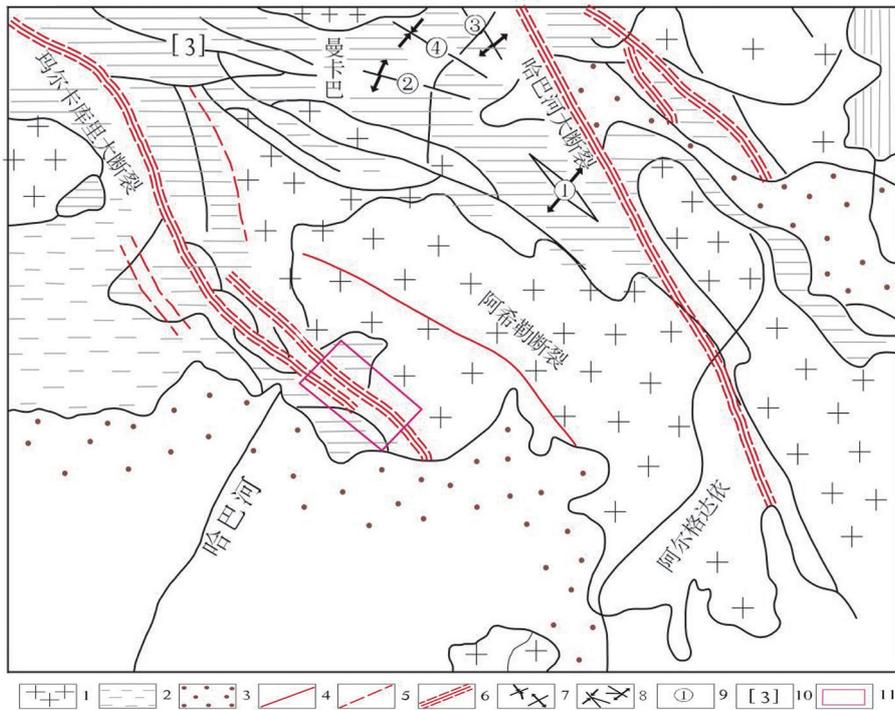


图 1 金坝金矿区区域地质简图

Fig. 1 Regional geological map of Jinba Au deposit

1. 上古生代侵入岩; 2. 微受变动的第三纪地层; 3. 未受变动的第四系地层; 4. 实测断层;
5. 推测断层; 6. 破碎片理化带; 7. 背斜轴、向斜轴; 8. 推断向斜轴及背斜轴;
9. 褶皱编号; 10. 断裂编号; 11. 工作区

系(Q)覆盖较广,构造活动强烈,火山活动频繁,金、铜矿成矿条件较好。

金坝金矿区内主要构造格架是玛尔卡库里深大断裂,其性质总体属于韧性剪切变形带,由数个次一级的剪切构造带组成,构造线呈 NW-SE 方向展布。断裂活动早期以韧性为主,晚期以压扭性及脆性活动为主;变形带内岩石发育强烈片理化、劈理化及糜棱岩化。

地层主要有中泥盆统阿勒泰组上亚组第二岩性段(D₂a₂)、中泥盆统托克萨雷组上亚组(D₂t₂)和第四系。中泥盆统地层主要岩性为灰白色黄铁矿化绢云千枚岩夹灰绿色绢云绿泥石英千枚岩、褐铁矿化变质长石石英砂岩、糜棱岩,产状 225°∠70°,地层陡立。

金坝矿区北东侧一带大范围出露有哈巴河斜长花岗岩岩体,主要由斑状斜长花岗岩、中粗粒斜长花岗岩、混染岩化斜长花岗岩等组成,其中围岩残留体较多,与中泥盆统阿勒泰组上亚组(D₂a₂)呈侵入接触;脉岩发育,主要为华力西期侵入岩晚期的派生产物,以及区域活动及变质作用的产物,有辉长岩脉、闪长岩脉、花岗斑岩脉和石英脉等。

1.2 矿体及矿石特征

金坝矿区北部矿化带发育在哈巴河斜长花岗岩杂岩体中,地表几乎无第四系覆盖,断续出露长 1200 m,宽 20~100 m,走向 310°~340°。赋矿岩石主要为灰绿色中细粒黄铁矿化闪长岩,其次为石英脉,围岩为斜长花岗岩。矿体形态以脉状、似脉状为主,少数呈囊状、透镜体状,倾角较陡。矿体在地表出露情况较好,至深部尖灭再现,产状变化较大。

金坝南矿化带第四系覆盖严重,部分区域已被开发成农田,第四系覆盖层厚约 2 至 50 m,浅部主要为砂、亚黏土,约 5 至 8 m 以下为碎砂砾。矿化带中部地表显示一条宽度大于 120 m、长约 1000 m 的褐红色低隆起地貌;探槽工程揭露显示石英脉发育,残留的黑云母片岩碎块糜棱岩化强烈,蚀变主要为硅化、褐铁矿化、绿泥石化、绢云母化;通过钻探工程,确定含矿岩性以闪长岩为主,夹花岗岩和石英细脉,脉状构造发育,黄铁矿化、硅化等蚀变现象显著,有断层破碎带相伴。金一般分布在闪长岩脉与花岗岩接触带附近。

矿石类型主要有含金闪长岩型,含金花岗岩型及含金构造蚀变岩型,矿石普遍发育绿泥石化、绿帘

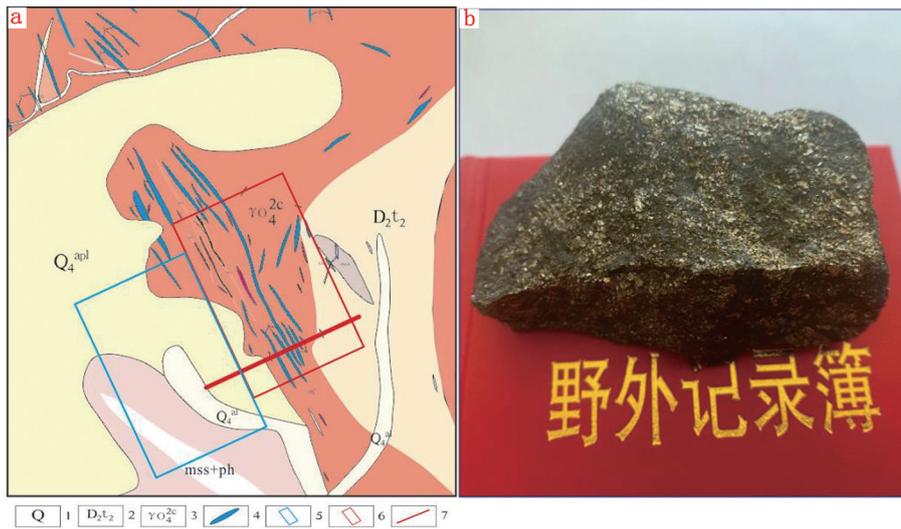


图2 金坝金矿区地质简图(a)及矿石手标本(b)

Fig. 2 Geological sketch of Jinba Au deposit (a) and hand specimen (b)

1. 第四系; 2. 中泥盆统托克萨雷组; 3. 斜长花岗岩; 4. 闪长岩脉;
5. 南矿化带范围; 6. 北矿化带范围; 7. 勘探线 56 号

石化、黄铁矿化,局部发育硅化(石英细脉),主要矿物有石英、绢云母、黄铁矿,少量黄铜矿、绿泥石、斜长石、角闪石、黑云母、碳酸盐等。

2 气体地球化学测量

2.1 气体地球化学原理及测试方法

金坝矿区金矿化与金属硫化物关系密切。硫化物在氧气和水参与的氧化过程中可形成弱酸性溶液,进一步氧化后形成的硫酸盐可与矿体、围岩中的碳酸盐矿物进行反应,溶解碳酸盐,从而使得 SO_2 、 CO_2 、 H_2S 等气体逸散出来^[19-21]。分散游离的气体则以断裂构造或岩石裂隙作为转移通道,向上浮升至较为疏松的近地表土壤或堆积物的孔隙中积累保留。故在硫化物发育的矿床垂向上部,往往可检测

到较明显的地气异常。

本次测试采用的仪器为 JFQ-3150E 型气相分析仪(图 3),可对 CH_4 、 CO_2 、 CO 、 H_2S 、 H_2 、 O_2 等气体含量进行精确测试,测试线性误差小于 1%。 CO_2 测量采用红外吸收光谱法,检出限能达到 1×10^{-6} ; SO_2 测量采用电化学方法,检出限能达到 0.001×10^{-6} 。

2.2 工作布设及采样

原计划中拟对金坝矿区及矿区外围(含北矿带生产区)共计 12 km^2 范围进行气体地球化学测量,测量工作采用 200 m 线距,40 m 点距,共计 1500 点,重复样 50 点(按 3%)的指标,使用气相组分分析仪测量 H_2S 、 SO_2 、 CO_2 等气体含量。实际工作中因受农田作物影响,未能完成所有设计点位的测量,实际测量范围见图 4。

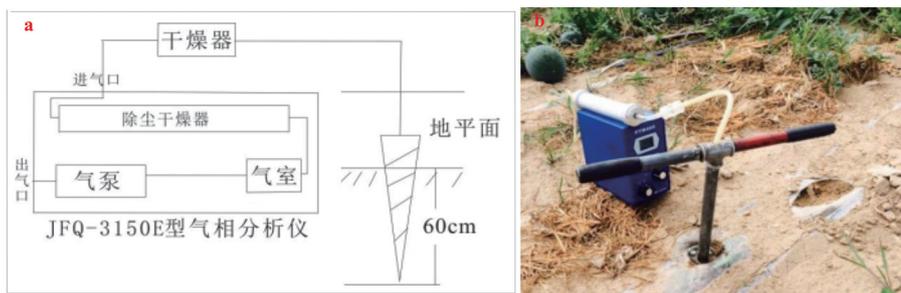


图3 气体化探取样测试装置(a)及野外布置图(b)

Fig. 3 Sampling device for gas exploration (a) and the field layout (b)

在预定点位上用铲清除 5~10 cm 厚的表层土壤后,用铁锤将钢钎打入疏松覆盖层内 0.6~0.8 m,拔出钢钎后立即将螺纹采样器旋入孔内 0.6 m 深处,使取样孔洞密封;再用硅胶管依次将螺纹采样器、过滤器或干燥器、气体采集装置连接好,进行气体测量。同一采样点 CO₂ 及 SO₂ 的测量不在同一孔位进行,每次在原孔位周边 1~2 m 的范围内重新打孔采样。

开始取样测试后,测试仪记录数值逐渐增加,最终趋于稳定,其最大值为该点测量值,每点测试时间 6~8 min。为了解样品的再现性,取样时按一定比例重复取样,并分别钻孔测量重复取样点。采样过程中详细记录采样深度、疏松沉积物特征、植被状况、工作时间、天气状况及温度变化。在地温高于气温情况下不宜工作。雨天和大风天气停止工作。大雨或暴雨后不能立即工作,应等待 1~3 天,待土壤中气体回复平衡后再进行工作。单条测线尽量在同一天内完成。

3 测试结果

3.1 气体异常区圈定

本次气体测量工作共计 870 个采样点,2140 个有效数据,实际测量控制面积约 7.6 km²。首先对原始数据进行处理:通过迭代法剔除过高或过低的异常值(以平均值±3 倍的标准差为标准),异常下限采用背景值加 2 倍的标准差。

对矿区气体地球化学数据参数进行统计(表 1)。由表 1 可知,研究区 CO₂ 气体浓度较高,且在部分地段异常值较高,最高值可达 53358 × 10⁻⁶; SO₂ 气体浓度则相对较低,最大值及最小值分别为 10 × 10⁻⁶ 和 0.002 × 10⁻⁶; 2 种气体的变异系数分别为 0.70、0.66,反映其变化程度总体不高,但原始

数据中均可见部分地段的连续异常高值,且 CO₂ 和 SO₂ 高值的出现位置并不完全一致,表明导致异常形成的因素不同,二者均表现出高值的位置可能是矿体赋存的有利部位。

根据 CO₂、SO₂ 两项测量指标分别圈出矿区异常(图 4)。其中,CO₂ 气体圈出 7 处异常,三级异常分带明显,含 4 处一级异常;SO₂ 气体圈出 8 处异常,含一级异常 7 处。异常集中且呈带状分布,与地表脉岩(闪长岩脉、石英脉)及探槽所揭露的矿体走向大致吻合。

总体来看,两项指标所呈现的异常套合性好,三级异常分布明显,与矿体地质情况基本匹配。中部岩体出露区通过地表工程揭露,陆续发现有少量含金脉岩(闪长岩),矿区西南侧、东北侧存在大范围第四系覆盖,且覆盖层厚度较大,异常查证后验证难度较大。

3.2 勘探线异常剖析及工程验证

56 号勘探线布置于矿区中部,其南北两段为第四系农田覆盖,中部有矿区道路通过,花岗岩断续出露,第四系土层厚度变化较大,本次采样全部选择覆盖完整、土层厚度满足要求的地点,共布设 111 个气体地球化学采样点。

数据参数统计结果显示,CO₂ 气体浓度较高, $w(\text{CO}_2)_{\text{最大值}} = 49999 \times 10^{-6}$; SO₂ 气体 $w(\text{SO}_2)_{\text{最大值}} = 10 \times 10^{-6}$, $w(\text{SO}_2)_{\text{最小值}} = 0.216 \times 10^{-6}$; 相对于全矿区数据参数,56 号勘探线中 CO₂ 气体的变异系数由全区 0.70 降为 0.57,SO₂ 气体的变异系数由全区 0.66 降低为 0.37,反映 2 种气体在 56 号勘探线中变化程度都有所减小;而 CO₂ 富集系数相较于全区基本无变化,SO₂ 富集系数由全区 1.34 升高为 1.79,说明 56 号勘探线可能存在硫化物的相对富集带,可能是矿体赋存的有利位置。

表 1 测试数据参数统计

Table 1 Statistics of gas data parameter

| 采样位置 | 类别 | 样品数量 | 背景值 | 平均值 | 标准差 | 异常下限 | 最小值 | 最大值 | 中值 | 变异系数 | 富集系数 | 衬值 |
|------|-----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 全矿区 | CO ₂ | 870 | 5222 | 6552 | 3664 | 12550 | 2.240 | 53358 | 4492 | 0.70 | 1.25 | 10.22 |
| | SO ₂ | 870 | 1.46 | 1.96 | 0.97 | 3.40 | 0.002 | 10 | 1.399 | 0.66 | 1.34 | 6.84 |
| 56 线 | CO ₂ | 111 | 5222 | 6444 | 3664 | 12550 | 797 | 49999 | 2669 | 0.57 | 1.23 | 9.57 |
| | SO ₂ | 111 | 1.46 | 2.62 | 0.97 | 3.40 | 0.216 | 10 | 1.663 | 0.37 | 1.79 | 6.84 |

注:背景值为迭代剔除特异高值后的平均值,变异系数为标准差/平均值;富集系数为平均值/背景值;衬值为最大值/背景值;气体浓度单位为 10⁻⁶。

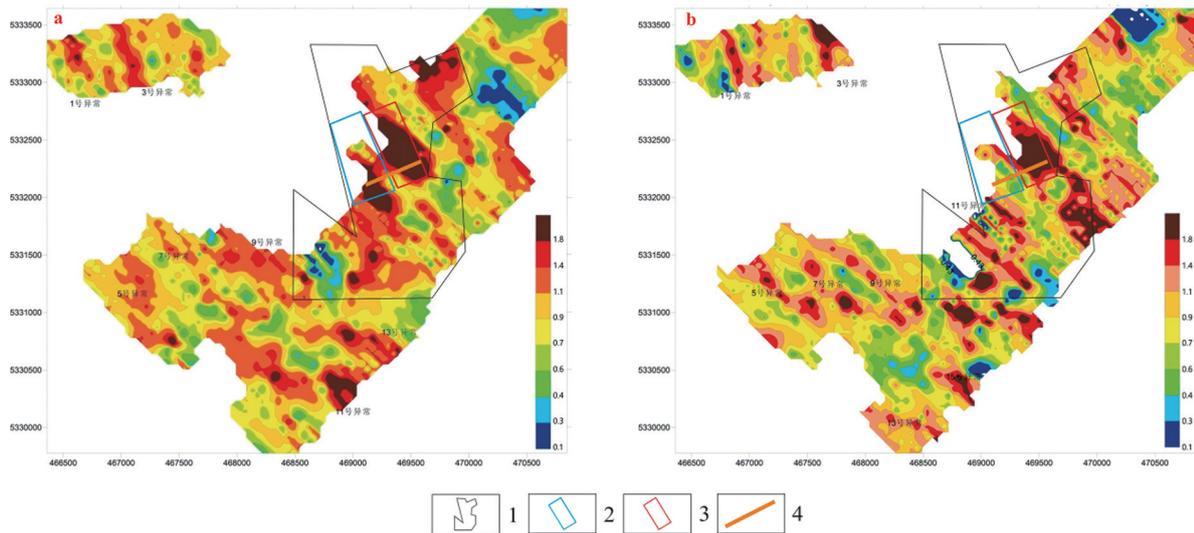


图4 气体地球化学勘查成果图

Fig. 4 Map showing the gas exploration achievements

a. 金坝金矿区 CO_2 气体地球化学图; b. 金坝金矿区 SO_2 气体地球化学图;

1. 金坝金矿区范围; 2. 南矿化带范围; 3. 北矿化带范围; 4. 56号勘探线

根据气体含量及分布特征,56号勘探线可圈定3处气体异常区域(图5)。其中,1号化探异常位于主矿带南部农田区域,此区域花岗岩侵入体被中泥盆统托克萨雷组黑云片岩地层覆盖,且上部存在30~50 m的第四系覆盖层,土壤地球化学具弱金异常($w(\text{Au})=68.8 \times 10^{-9}$), CO_2 、 SO_2 气体异常较同步, $w(\text{CO}_2)$ 峰值达 49999×10^{-6} , $w(\text{SO}_2)$ 峰值达 10×10^{-6} ,推测可能存在较大的断裂带或脉岩侵入,且硫化物相对富集,是成矿的有利位置。根据气体异常及土壤地球化学元素异常,实施1个验证钻孔,见金矿(化)体数条,主要赋矿岩性为硅化花岗岩中的黄铁矿化石英脉,矿体垂向分布与气体化探异常区1对应良好,但土壤化探金元素异常指示有所偏移,可能系覆盖层影响导致土壤化探异常偏移。

2号化探异常位于矿区北矿带(生产区)的走向延伸带,该区域花岗岩普遍出露,第四系覆盖浅(一般2~5 m),土壤地球化学也存在金异常显示 $w(\text{Au})=63.1 \times 10^{-9}$, $w(\text{CO}_2)$ 峰值达 49999×10^{-6} , $w(\text{SO}_2)$ 峰值达 10×10^{-6} 。此处地表探槽中发现含金闪长岩,厚度2.20 m;根据地表矿体实施5个钻探工程,控制了一条延伸近400 m的金矿(化)体,同时发现多条平行矿(化)体,赋矿岩性为黄铁矿化闪长岩。进行气体地球化学勘查工作后,根据异常数据并结合已知地质内容及矿体特征,矿体垂向

延伸与气体化探异常区2及土壤地球化学金异常对应情况良好。推测由于花岗岩体相对上覆的中泥盆统托克萨雷组黑云片岩,具有致密、孔隙度小的特征,不利于 CO_2 、 SO_2 气体的逸出,故认为气体异常所反映出的峰值和异常范围均受到一定程度的限制,该峰值可能偏低,证明气体地球化学勘查效果在此处受外界因素影响,但仍有较明显的指示意义。

3号化探异常位于矿区外围北部,花岗岩侵入于中泥盆统托克萨雷组片岩中,其上为较厚的第四系农田覆盖。 CO_2 异常较弱,仅 SO_2 出现单点高值。认为该区域深部的花岗岩体致密、完整,且脉岩较少,单点的 SO_2 异常与硫化物矿物富集的含铜矿化片岩有关。

4 分析及讨论

4.1 气体异常主要特征

金坝矿区气体异常数据的变异系数较低,反映数据的变化程度不大,数据可靠;气体异常富集系数均大于1,说明 CO_2 与 SO_2 存在一定富集;衬值普遍较大,异常高值范围明显且存在连续性。通过对比中值和平均值的变化(CO_2 全区中值: 4492×10^{-6} ,全区平均值 6552×10^{-6} ,56线中值 $2669 \times$

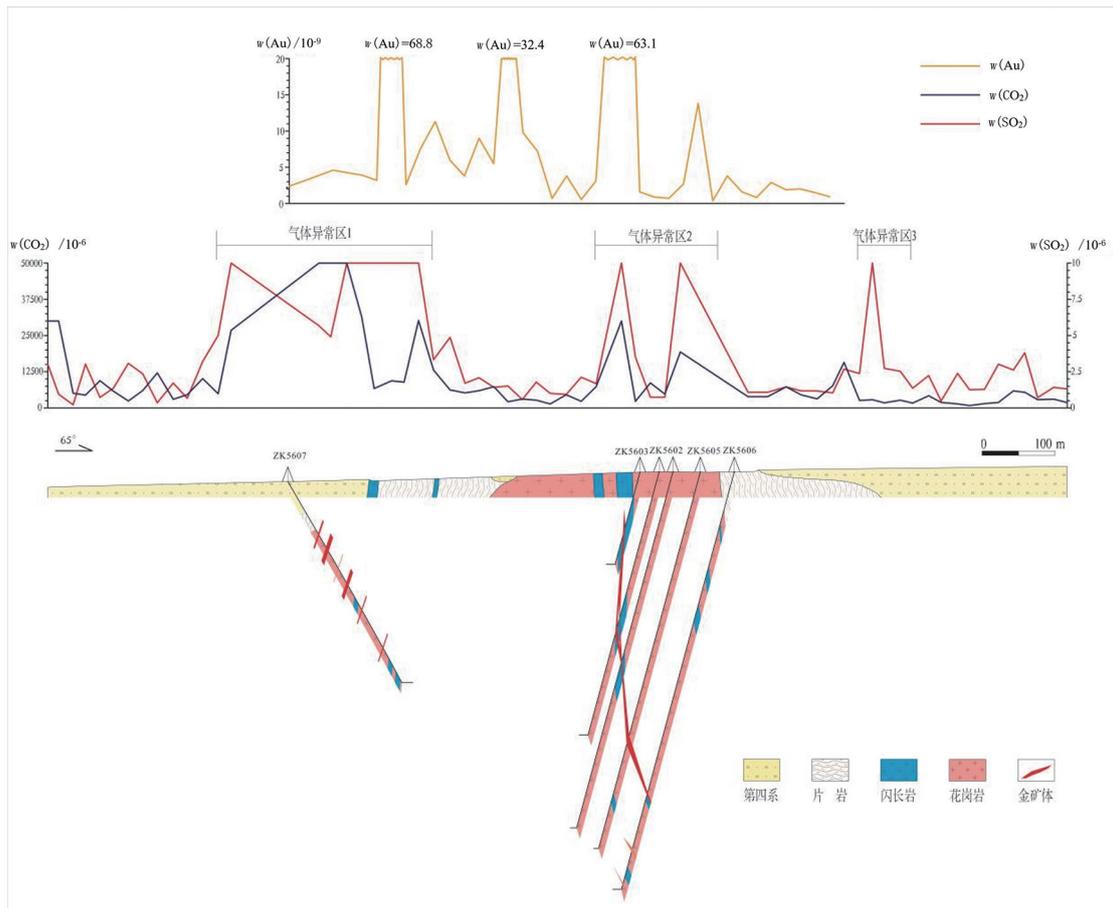


图 5 金坝 56 号勘探线综合剖面图

Fig. 5 Integrated profile along line 56 in Jinba Au deposit

10^{-6} , 平均值 6444×10^{-6} ; SO_2 全区中值: 1.40×10^{-6} , 全区平均值 1.96×10^{-6} , 56 线中值 1.66×10^{-6} , 平均值 2.62×10^{-6}) 和统计数据衬值, 可以发现虽然数据变化程度不大, 但数据明显呈现近似两级分化的特征, 高值数值较大, 无异常区域则多数数值极小, 因此易于圈定异常范围。

1 号、2 号气体化探异常区 CO_2 与 SO_2 呈现出二者峰值的高度一致性, 并与土壤地球化学弱金异常基本吻合, 与钻探、探槽揭露矿体地质特征相符, 主要原因为脉岩、片岩地层及主要断裂带的产状均为陡立, 深部气体可以近似垂直的方向顺利上升至地表, 导致两种异常的同步。

4.2 气体地球化学勘查有效性评价

金坝金矿区存在隐伏矿(化)体多、覆盖层厚的特点, 勘探难度较大。通过传统土壤地球化学勘查虽然可直接发现矿化异常, 但地表元素异常多有迁移分散, 圈定的异常范围较大, 且异常值较低, 指示性不强。本次测量研究以气体地球化学勘查理论为指导, 相比土壤地球化学勘查, 具有异常明显、强度

突出、范围相对集中的特点, 具有更强的垂向指导作用, 工程验证也证明该方法适用于覆盖区金矿的勘查工作。

同时, 也需注意矿床矿化类型及地质特征对气体地球化学勘查有效性的影响。本次工作的金坝金矿区属于与构造、脉岩有关的相对贫硫化物的热液矿床, 已有资料显示该处金元素与硫化物含量有明显的相关性, 故可采用此方法。除此之外, 从金坝全矿区测试结果来看, 覆盖层厚度(如 56 号勘探线南北端对比)、构造发育程度(断裂、脉岩)、矿体及围岩岩性(闪长岩、黑云片岩、花岗岩)等均直接影响气体地球化学勘查的有效性。

4.3 干扰因素分析

(1) 研究工作前期的数据采集测试过程中, 发现 H_2S 数据大多为零。其原因在于 H_2S 为还原性气体, 易受地下水及湿度影响而产生较大变化, 在研究区环境中含量极低。

(2) 矿区大部分第四系覆盖区为农田, 部分测量点间距较大, 对异常控制效果产生一定影响。同时,

农作物灌溉也可能使测量数据产生波动。

5 结语

(1) 气体地球化学勘查具有异常范围较集中、气体浓度衬值较大的特点,容易圈定异常范围;在无覆盖层或覆盖层薄的地区,气体地球化学勘查与土壤地球化学勘查吻合性相对较好,均能较有效地指示矿体;在第四系覆盖区域,气体地球化学勘查对隐伏矿体,尤其是硫化物矿床矿体的指示更加准确,可作为进一步工作的依据。

(2) 气体地球化学勘查相对其他勘查手段,对测量工作的精确性及数据的可靠性要求更高,更易受外界自然条件影响,如有条件,应适当重复测试,保证数据质量。

(3) 在金坝矿区进行的气体地球化学测量工作,通过测量结果与已知矿体的对应解释,以及后续的工程验证情况,可以认为气体地球化学勘查能够较准确地反映覆盖区隐伏矿体的信息,且具有异常明显、范围较集中的特点,是可以适用于金矿覆盖区勘查工作的有效方法。

参考文献:

[1] 沈远超,申萍,曾庆栋,等.新疆阿尔泰山金矿带主要金矿类型、成矿规律及成矿预测[J].地质与勘探,2004(5):1-5.

[2] 高玲玲.新疆阿尔泰山南缘西段金及铜锌多金属矿床成矿规律及成矿预测[D].长春:吉林大学,2020.

[3] 翟伟,孙晓明,贺小平,等.新疆阿希低硫型金矿稀有气体同位素地球化学及其成矿意义[J].岩石学报,2006(10):2590-2596.

[4] 王颖维,徐九华,边春静,等.新疆哈巴河县金坝金矿地质特征与流体包裹体研究[J].矿物学报,2015,35(S1):625.

[5] 王颖维.新疆额尔齐斯成矿带金矿床成矿规律与成矿模式研究[D].北京:北京科技大学,2019.

[6] 王颖维,徐九华,卫晓锋,等.新疆金坝金矿成矿作用的地质和流体包裹体证据[J].地球科学,2018,43(9):3112-3125.

[7] 李培树.新疆哈巴河县金坝金矿南矿带成矿成因浅析[J].西部探矿工程,2019,31(9):193-196.

[8] 段旦,韩国胜,刘东升.新疆金坝金矿床地质地球化学特征及找矿标志[J].世界有色金属,2019(14):66-69.

[9] 郭新成.新疆托库孜巴依金矿床地质特征及成因[J].西北地质,1998(1):20-26.

[10] Kingsley Burlinson.爆裂法作为快速测定流体包裹体中二氧化碳(和其它气体)含量的手段及其在勘探中的使用:以中国山东和河北省金矿为例[J].岩石学报,2007(1):65-71.

[11] 曹晓森.个旧 Sn-Cu 多金属矿田气体与土壤地球化学研究

[D].北京:中国地质大学(北京),2019.

[12] 张友刚,高永军,许国辉.河北石湖金矿区气体地球化学异常特征研究[J].黄金,2014,35(5):22-25.

[13] 唐杰,张素欣,盛艳蕊,等.怀涿盆地北缘断裂带土壤气体地球化学特征[J].地震学报,2023,45(1):84-97.

[14] 林成贵,程志中,姚晓峰,等.基于 PMGRA 气体地球化学测量在辽东浅覆盖区找矿的可行性[J].地球科学,2020,45(11):4038-4053.

[15] 李晨桦,张慧,苏鹤军,等.气体地球化学在活动构造研究中的应用[J].甘肃科技,2019,35(11):28-33.

[16] 邵博琪,窦帅杰,孙万龙.气体地球化学在矿产勘查中的应用[J].世界有色金属,2016(24):89-90.

[17] 周友清.塞尔维亚波尔州 TMK 铜金矿 H₂S 气体成因分析[J].世界有色金属,2022(1):104-106.

[18] 贾国相,陈远荣,张美娣.土壤二氧化碳方法找矿效果与前景[J].南方国土资源,2003(8):36-40.

[19] 张洁,程志中,伦知颖,等.土壤中 CO₂、SO₂ 和 H₂S 气体测量:一种适用于覆盖区找矿的化探方法[J].地质科技情报,2016,35(4):12-17.

[20] Kesler S E, Gerdenich M J, 熊先祥.微细金矿床周围土壤气体的分布[J].国外铀金地质,1991(3):78-84.

[21] 蒋雨函,高小其,杨朋涛,等.新疆北天山地区断裂带断层土壤气的地球化学特征[J].地震地质,2022,44(6):1597-1614.

[22] 崔熙琳,汪明启,唐金荣.金属矿气体地球化学测量技术新进展[J].物探与化探,2009,33(2):135-139.

[23] 刘庆余.CO₂ 气体地球化学法在地质找矿中的应用[J].地质地球化学,1988(6):11-16.

[24] 李生郁,徐丰孚.轻烃及硫化物气体测量找寻多金属隐伏矿方法试验[J].物探与化探,1997(2):128-138+127.

[25] 王一雄.辽宁省阜新地区化探数据处理及成矿远景预测[D].北京:中国地质大学(北京),2014.

[26] 李昱星.新疆西天山达巴特地区 1:5 万化探数据处理方法对比研究及找矿新认识[D].西安:长安大学,2014.

[27] 张宏燕,张馨元,翟文芳,等.化探数据处理方法及应用效果对比研究[J].能源与节能,2015(11):9-10.

[28] 李前志.甘肃省夏河县甘家地区化探数据处理及找矿靶区研究[D].西安:长安大学,2016.

[29] 刘志华,徐汉宾.化探数据处理方法对比研究[J].世界有色金属,2018(3):281-283.

[30] 程秀花,李艳广,叶美芳,等.西北地区地质实验测试技术研究进展及其在地质调查中的应用[J].西北地质,2022,55(3):170-190.

[31] 王占彬,马承,杨可,等.元素等量集概念及其应用——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,2022,55(2):271-283.

[32] 段星星,黑欢,梁楠,等.新疆东天山玉海铜矿外围浅覆盖区 1:5 万化探方法技术及应用[J].西北地质,2019,52(3):143-150.

[33] 沈雪华,姚春彦,樊献科,等.新疆阿尔泰山系南缘萨尔布拉克金铜多金属矿床地球化学特征与矿床成因探讨[J].西北地质,2016,49(2):84-92.

[34] 杜亚龙,李智明,姜寒冰,等.新疆地区金矿分布特征及找矿潜力分析[J].西北地质,2016,49(1):121-134.

Application of gas geochemical exploration to area with cover-A case of Jinba Au deposit in XinJiang Uygur Autonomous Region

HAO Fengyun¹, WANG Zhigang², ZHANG Wenjing², ZHANG Ziming², DUAN Dan³

(1. Habahe Jinba Mining Co., Ltd. Altay 836700, Xinjiang Autonomous Region, China;

2. Northwest Geological Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau,

Xi'an 710119, Shaanxi Province, China;

3. Zhengyuan International Mining Co., Ltd. Beijing 101300, China)

Abstract: Jinba Au deposit is located in Habahe county, Xinjiang Autonomous Region with extensive surfacial cover and ore bodies generally burried. River sediment and soil geochemical survey here are difficult due to the extensive cover and lack of indicator. Therefore gas geochemical method is applied to Jinba area for reducing target area and providing more evidence for exploring burried ore body. CO₂ and SO₂ are measured and anomalies outlined. Burried ore bodies encountered by drilling are well coupled with the anomaly. Gas exploration is characterized by clear anomaly and concentration of the anomaly thus provides accurate information of burried ore body and is suitable for prospecting in areas with thick cover.

Key Words: ore prospecting in covered area; gas exploration; anomalies of CO₂ and SO₂; structural fracture