

黄土覆盖区金矿勘查评价技术方法研究

——以豫西申家窑金矿邻区为例

高 阳¹, 张寿庭², 彭 翼³, 何玉良³, 杜家茂²

GAO Yang¹, ZHANG Shou-ting², PENG Yi³, HE Yu-liang³, DU Jia-mao²

1. 核工业北京地质研究院, 北京 100029;

2. 中国地质大学, 北京 100083;

3. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001

1. *Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China;*

2. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

3. *Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, Henan, China*

摘要: 豫西申家窑金矿及其邻区大部分被第四系黄土覆盖。高精度磁法、甚低频电磁法和 CO₂、Rn 气测量法等方法, 可有效地探测黄土覆盖下的控矿构造破碎带。金属活动态测量可以确定构造破碎带中矿致异常的部位。这些轻便的物化探方法的有机组合使用, 可为此类地貌地质条件下的金矿勘查提供有效的技术支持。

关键词: 黄土覆盖区; 金矿; 勘查评价方法; 豫西申家窑地区

中图分类号: P618.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2012)06-0969-08

Gao Y, Zhang S T, Peng Y, He Y L, Du J M. Prospecting methods for gold deposits covered by loess: a case study of the neighboring areas of Shenjiayao gold deposit, western Henan Province. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(6):969-976

Abstract: The Shenjiayao gold deposit and its neighboring areas are mostly covered by Quaternary loess. Ore-control structures under loess cover can be effectively detected by such means as high resolution magnetic method, very Low frequency electromagnetic method, CO₂ survey and Rn survey, which are all portable geophysical or geochemical methods. Anomalies in structures can be discovered by mobile metals survey method. The combination of these methods can be used in search for gold deposits in areas covered by loess.

Key words: loess cover; gold deposit; prospecting methods; Shenjiayao area of western Henan

在全球范围内, 中国黄土分布最广、厚度最大、代表性最强^[1]。在中国, 有很多金矿区被黄土覆盖, 如内蒙古莲花山金矿、山西辛庄金矿等。中国的黄土覆盖区具有非常大的找矿潜力^[2-3]。前人在黄土覆盖区金矿工作时, 所采取的方法以地球化学方法为主^[2-6], 采取的物探方法也限于相对比较笨重的电法仪器。这些物化探技术方法往往因仪器设备笨

重或所需测试分析时间较长, 不利于在覆盖面积较大的地区进行勘查评价。勘查方法和技术的进步使得在大面积黄土覆盖区进行快速的矿产资源勘查评价成为可能。

豫西地区是中国一个重要的金成矿区, 著名的小秦岭金矿田即位于该区。崤山地区与小秦岭金矿田邻近, 地质背景相似, 但被大面积的第四系风成黄

收稿日期: 2011-03-14; 修订日期: 2012-02-16

资助项目: 河南省两权价款科技项目《内生金属矿产大比例尺成矿预测选区及综合勘查技术方法研究》(编号: 豫财招标采购(2006)26411号)

作者简介: 高阳(1983-), 男, 博士, 高级工程师, 从事矿产勘查工作。E-mail: 115934533@qq.com

土覆盖,目前仅发现申家窑、半宽等中小型矿床或矿点。第四系风成黄土的覆盖是制约本区找矿的重要因素。采用合适的勘查技术手段,查明黄土覆盖下的地质情况,是本区进行找矿评价要解决的首要问题。

本区面积辽阔,且几乎全被黄土覆盖,沟壑纵横发育,地形切割较大,若采用传统电法(高密度电法、EH4、CSAMT等)作为物探工作方法,则势必需要较多的人力和物力。若采用土壤化探或水系沉积物测量的方法,则黄土为外来物质,所得异常也为外来迁移异常。笔者采用短、平、快的物化探方法——高精度磁法、甚低频电磁法和 CO_2 、Rn、Hg测量方法,可以快速地探测黄土覆盖下的地质构造,而金属活动态测量方法为深穿透地球化学方法,可获得深部地球化学异常,从而可排除外来物质的干扰。采用这些方法可快速地对崆山地区申家窑金矿邻区黄土覆盖地区进行评价,为下一步勘查工作提供依据。

1 申家窑金矿邻区地质特征

申家窑金矿位于崆山金矿田范围内,小秦岭—崆山—熊耳山—外方山金矿成矿带上。本区大部分被第四系风成黄土所覆盖,研究区海拔在400~1000m之间,呈阶梯状跌落。地貌单元为塬间河谷阶、黄土台塬,除河谷底有少量基岩出露外,几乎全被黄土覆盖,黄土厚度22.9~72.9m。出露基岩主要为元古宙熊耳群安山岩、安山玢岩,太古宙太华岩群片麻状斑状花岗岩类等和太古宙兰树沟组片岩。近南北向、北东向构造破碎带、断层较发育(图1)。

申家窑金矿类型为蚀变破碎带型。矿床主要包括01、09、03、04含金矿破碎带。矿体严格受蚀变破碎带的控制。矿体与围岩界线基本清楚,破碎带受北北西向断层和层间断层复合控制^①。矿石结构主要有交代结构、碎裂结构和糜棱结构,构造以角砾状、网脉状、浸染状、条带状为主。主要金属矿物是黄铁矿、方铅矿、毒砂、铁闪锌矿、闪锌矿、黄铜矿、自然

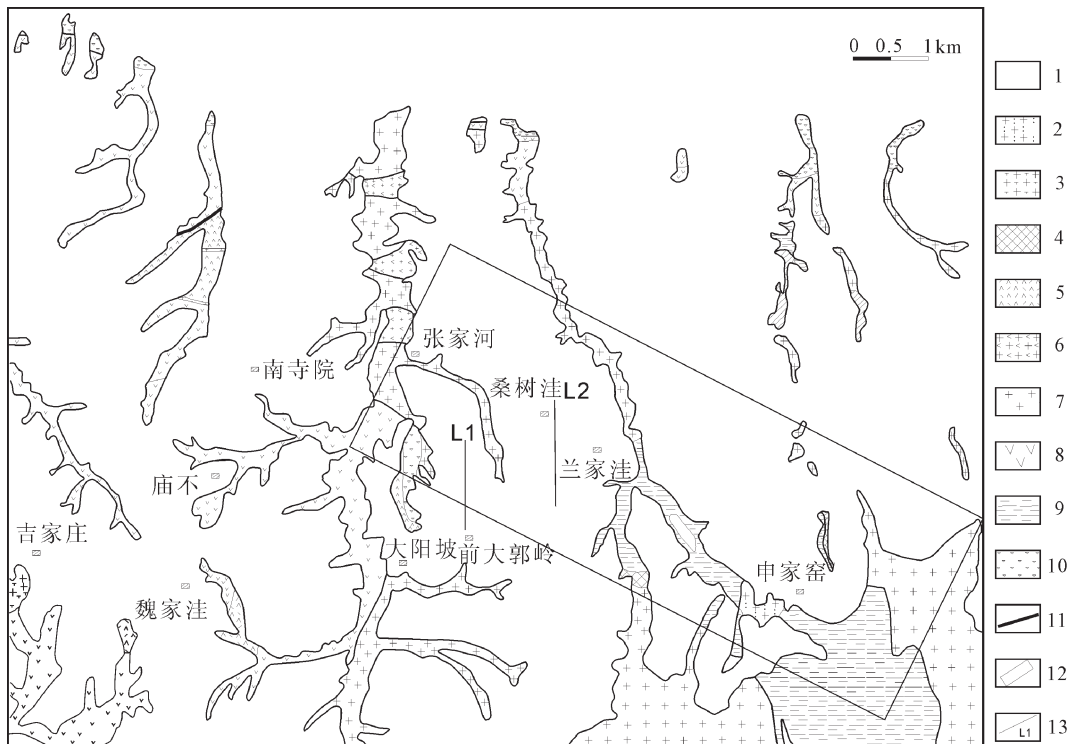


图1 申家窑金矿邻区地质图(据参考文献①中地质图修改)

Fig. 1 Geological map of the Shenjiayao gold deposit and neighboring areas

- 1—第四系黄土;2—白垩系石英闪长岩;3—花岗闪长岩;4—闪长玢岩;5—次流纹斑岩;
6—斜长角闪岩;7—太华群花岗岩类;8—熊耳群安山岩、安山玢岩;9—构造破碎带;10—兰树沟组片岩;11—断层;12—1:1万高精度磁法测量范围;13—甚低频测量和地球化学测量测线及编号

金、银金矿;非金属矿物为石英、绢云母、铁白云石、方解石、绿泥石等。地表矿化好于深部,绢云母化、硅化强时和毒砂、黄铁矿多时矿化程度高。

申家窑金矿矿体主要受破碎带构造的控制,矿石矿物组合以硫化矿物为主。在黄土覆盖条件下找此类型矿床,首先应采用有效的方法技术对构造破碎带进行定位,其次是对构造破碎带是否有矿化进行评价。

2 地球物理方法在黄土覆盖区的应用

本区被较厚的第四系风成黄土所覆盖,由于黄土易被水流冲刷,区内地形切割大,陡崖较多,不便采用探测能力强的较笨重的仪器在本区开展工作。而常规的轻便物探方法如高精度磁法、甚低频电磁法则可发挥重要作用。这类物探方法所采用的设备仪器较轻便,所需人力不多,但有一定的探测深度和

分辨率,因而适宜在本区进行工作。

2.1 高精度磁法

磁法是物探方法中理论比较成熟、应用范围较广的方法。高精度磁法勘探是通过观测和分析由岩石磁性差异所引起的磁异常,进而研究地质构造或矿产资源的一种地球物理方法,具有便捷、高效、成本低、数据易处理的特点。赋存于断裂构造中的石英脉型或构造蚀变岩型金矿往往具负场强的特征,即使在覆盖区亦可应用磁测精度高的优势,在较强的异常中寻找弱异常,弱异常可能为构造蚀变带或石英脉群的位置^[8]。

在申家窑金矿周边地区进行了高精度磁法精测剖面测量,观测点距为 10m,剖面线距为 100m。磁测参数为磁场总量异常 ΔT , 以便于发现弱磁异常。对所测得的高精度磁法数据进行了水平总梯度模(ΔT_G)方法处理(图 2)。对于有一定水平尺度

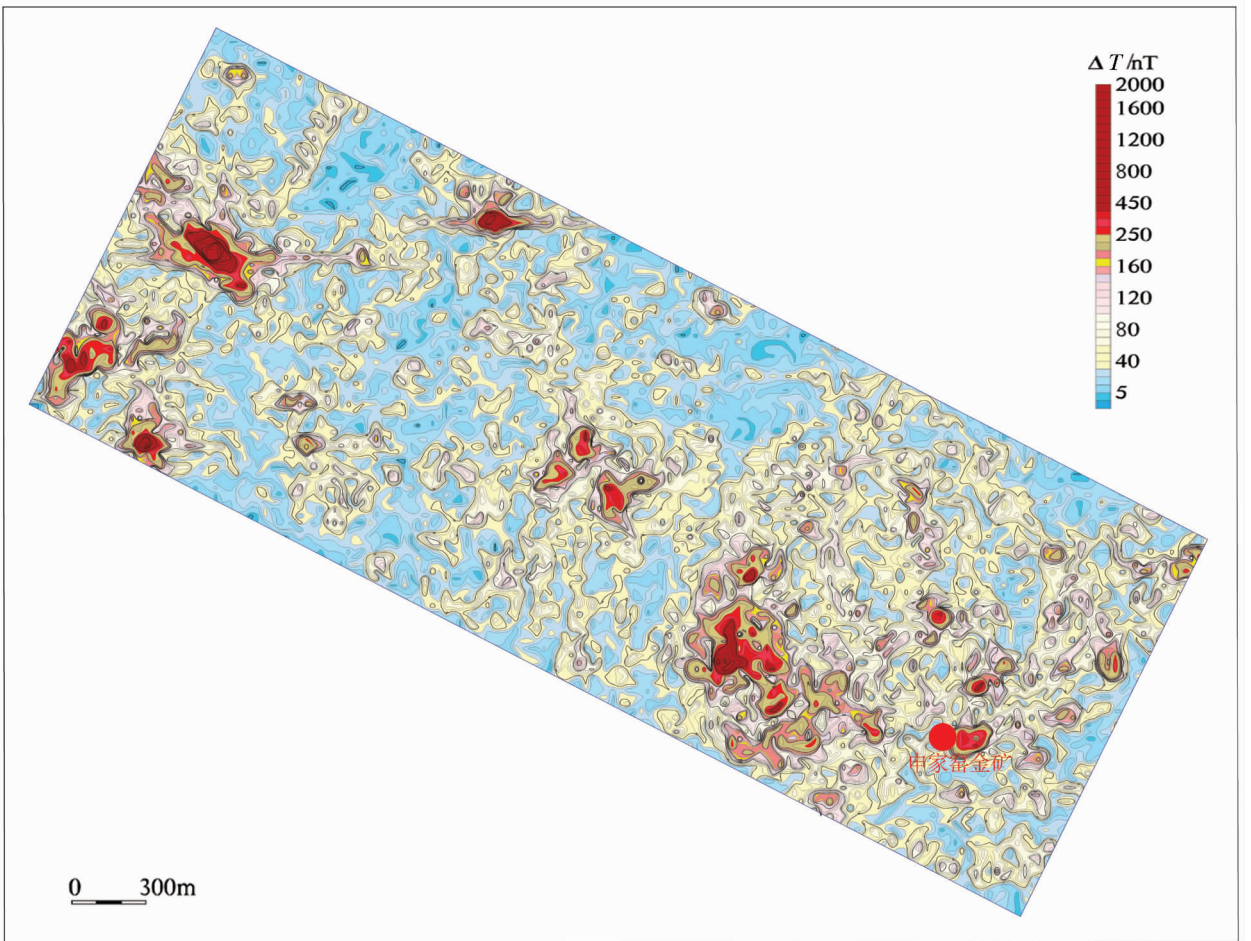


图 2 申家窑金矿邻区高精度磁测 ΔT 水平总梯度模等值线平面图

Fig. 2 High resolution magnetic contour map of neighboring areas of the Shenjiayao gold deposit

的磁性体, ΔT_G 极大值与磁性体浅部边界有较好的对应关系, 利用 ΔT_G 可以较准确地圈定磁性地质体的边界位置。磁异常总梯度模 ΔT_G 受叠加异常的影响小, 不受正常场选择的影响, 具有较强的分辨叠加异常的特性。在区域磁异常研究中, 可以用来划分构造单元、确定构造带的位置、区分不同岩性与地层分布等^[9]。

研究区 ΔT_G 异常显示出研究区构造呈网络状分布的特征, 所显示出的隐伏断裂走向近东西向、北西向、近南北向和北东向。区内南东部强异常区为申家窑金矿区太古宙片麻状花岗闪长岩分布区, 其东缘水平梯度模异常带对应申家窑金矿近南北走向和北西走向的金矿体。研究区西部水平梯度模异常带对应有近东西分布的金矿点。可见, 利用高精度磁法测量方法可基本查明隐伏断裂(破碎带)构造和隐伏的太古宙花岗片麻岩。

2.2 地面甚低频电磁法

甚低频电磁法(VLF—EM)以海军用通讯台或导航台发射的 15~25kHz 频段的无线电波作场源。电磁波在传播过程中, 地下存在具有电性差异的界面或地质体, 在 VLF 电磁波(一次场)的感应下会产生二次场。观测一次场、二次场与被探测对象(地质因素)相互作用的总和效应, 可研究矿化带、构造带、蚀变破碎带、岩性分界面等地质构造, 达到找矿勘查和地质填图之目的^[10]。在隐伏一半隐伏矿体预测中, 当电极接地条件受到限制时, 多采用磁倾角法进行地质填图和矿产勘查, 国内外已得到很多应用且效果较好^[11-13]。

根据高精度磁法测量结果, 针对研究区西缘高精度磁法水平梯度模异常带进行了地面甚低频剖面测量(L1线、L2线), 观测参数为磁倾角 D , 对观测结果进行简单的数字滤波(fraser 滤波)处理, 其滤波结果 F 把极化椭圆倾角曲线的拐点或过零点异常变成极大值, 便于对异常进行分析。将观测结果进行线性滤波, 并作出等效电流密度拟断面图(图3、图4)。

L1剖面线的南端和中部发育有较强的低阻异常带(图3), 其中, 在 50~120m 之间位置低阻异常最强, 在 450~480m、500~530m、680~700m、820~900m、1100~1120m 等处见较弱的低阻异常。在 L2 剖面南端的 160~180m、220~300m, 中段的 420~450m、580~600m、760~850m, 北段的 1150~1180m、1200~1350m 之间见有低阻异常(图4)。这些低阻异常应为构造

低阻带发育的位置。

根据上述 2 条剖面的甚低频异常特征分析, 推断本区构造低阻带具有如下发育特征: ①本区黄土覆盖地段构造—低阻带发育, 并有成群成带分布的特点; ②在 2 条剖面线上均可大体划分为 3 个带, 其中南带和北带表现为异常强度较大、异常体较少, 中带表现为异常较弱、异常体较多、带宽较大; ③从 L1 线甚低频线性滤波电流密度拟断面图分析, 推断本区构造矿化低阻带的产状以南(或南西)倾为主, 这与区域性近东西向断裂产状一致。

3 地球化学方法在黄土覆盖实验区的应用

黄土覆盖区中的黄土主要为第四系风成黄土, 使用传统的岩石地球化学测量、土壤地球化学测量的方法往往效果不明显, 所得出的异常也往往是假异常, 不能用来指导找矿。而黄土可有效地吸附 CO_2 、氦气、汞蒸汽等气体, 微细金属离子也以胶体或铁锰氧化物等形式易于在黄土中储存, 这样就可以将黄土这一对传统地球化学方法来讲不利的条件转变为这些地球化学新方法获取信息的有利介质。所以气体地球化学测量、土壤热释汞测量和金属活动态测量等方法适宜于在黄土覆盖区进行工作。而这些方法, 除金属活动态测量和土壤热释汞测量需要进行实验室室内分析外, 其它方法均可以在现场进行测量, 可以在野外快速圈定异常。

3.1 CO_2 测量、氦气测量、土壤热释汞测量

金属矿床形成时, 矿物组分中有 CO_2 的存在, 或形成独立的碳酸盐矿物, 或呈包裹体存在于与成矿作用有关的蚀变岩石和矿物中。硫化物矿床形成后, 随着剥蚀作用的加剧, 矿床不断接近地面, 矿体遭受氧化。氧化作用在矿床周围形成酸性环境, 使碳酸盐矿物分解, CO_2 的浓度随之增加。因此, CO_2 的异常除能反映断裂构造的存在外, 也能反映隐伏金属矿(化)体的位置^[14]。

Rn 是 Ra 和 U 衰变的产物, 当岩石中存在有利的构造裂隙和岩石空隙时, Rn 可渗透迁移至数十米远的距离。当地下水呈现垂向运动时, 或 Ra 随地气流迁移时, U 、 Ra 、 Th 、 Rn 等组分可被直接搬运至地表, 并在地表土层中形成明显的氦气晕。 Rn 可以用于找寻埋深数百米的铀矿床, 以及与之共生的其它矿床和地下水、地热田、隐伏断裂构造等^[14-16]。

Hg 在常温下, 具有高的蒸气压。汞蒸气具有强

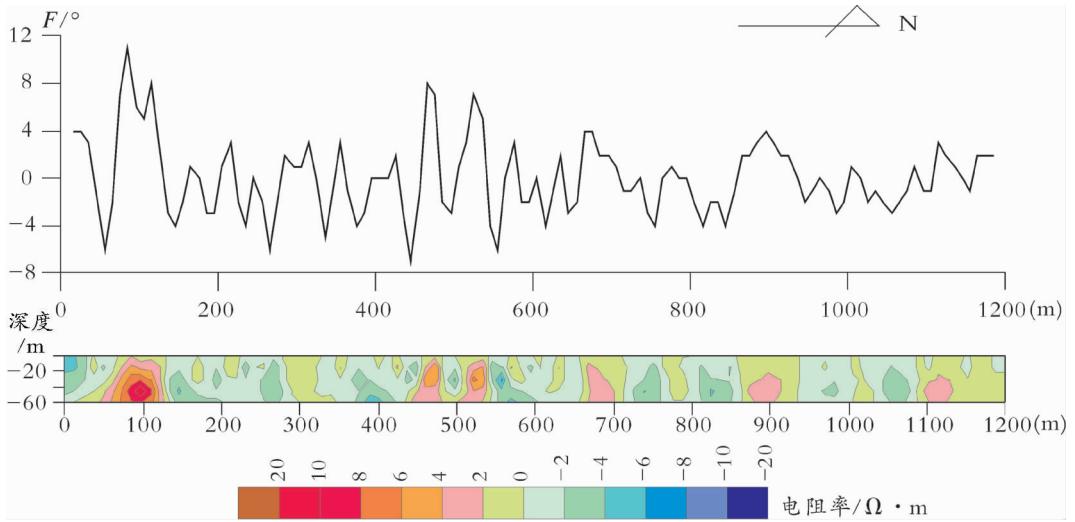


图 3 L1 线 Fraser 滤波剖面图(上)和等效电流密度拟断面图(下)

Fig. 3 Fraser filter profile (upper) and current density contour map (lower) of Line 1
F 为对磁倾角进行 Fraser 滤波处理的结果

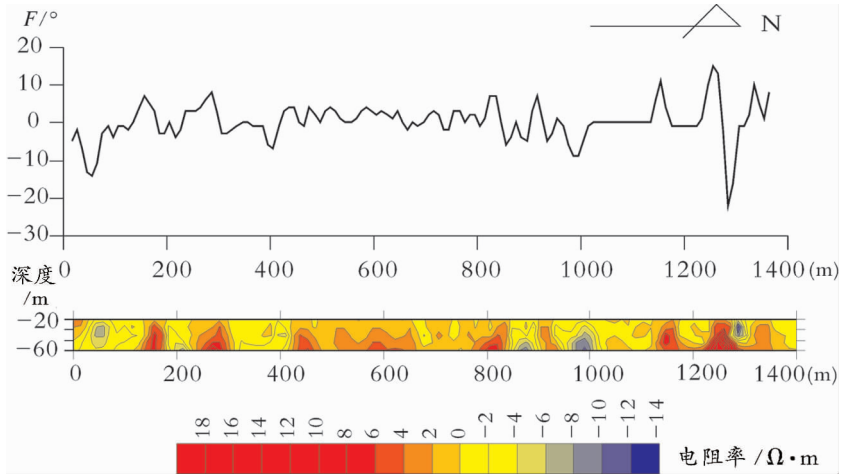


图 4 L2 线 Fraser 滤波剖面图(上)和等效电流密度拟断面图(下)

Fig. 4 Fraser filter profile (upper) and current density contour map (lower) of Line 2

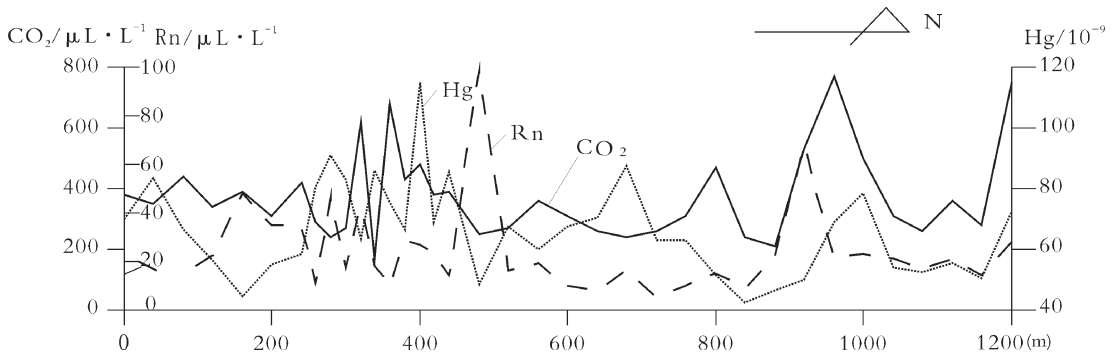
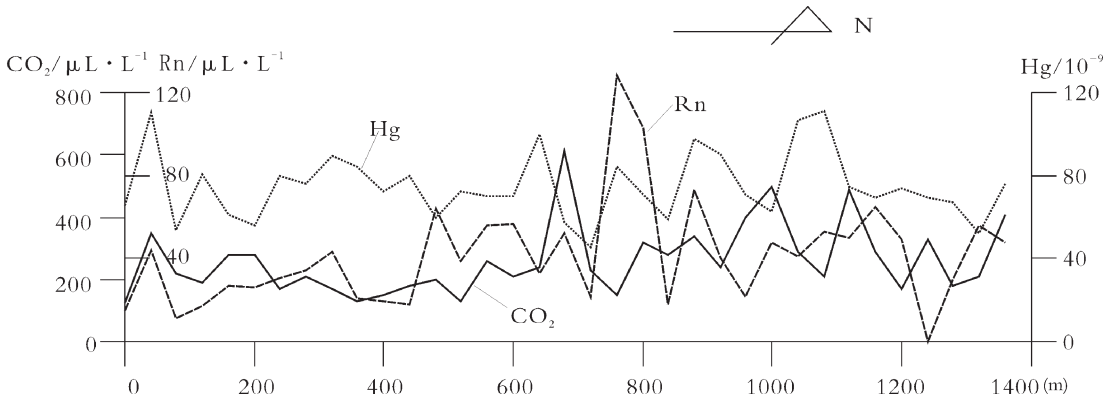
大的穿透能力,可以从矿源通过各种介质到达地表,是寻找硫化物矿床的重要探途元素。汞气异常的分布,大都与断裂构造有关^[14,17]。气体的迁移是压力差的结果,断裂构造是地壳中的压力薄弱地带,因此,汞气将会沿断裂构造进行快速迁移并在构造的头部形成较强的汞气异常。

与甚低频电磁法剖面同剖面进行了 CO₂ 测量、氦气测量、土壤热释汞测量。采样间距为 40m,部分异常点点距加密至 20m。

L1 线长度约 1200m,发现 2 处气体异常(图 5),

其中南端位于 250~450m 处,CO₂、氦气、土壤热释汞异常吻合程度较好。从气体异常推测,断裂头部位于 300m 处,断裂向南倾斜。在 L1 线的北端 900~1100m 处也发现了 1 处气体异常,但异常宽度较小,强度较弱,套合程度一般,断裂带也向南倾斜。500~550m 处氦气异常发育,680~700m 处 Hg 异常发育。在剖面的北端,各气体测量值较高,套合程度较好。

在 L2 线北端 900~1100m 处发现 1 处异常带(图 6),异常宽度约 200m,CO₂、Rn、Hg 异常发育,但异常峰值之间有一定的偏移。在剖面中部 650~

图5 L1线CO₂、Rn和土壤热释汞测量剖面Fig. 5 Profile of CO₂, Rn and Hg measurements along Line 1图6 L2线CO₂、Rn和土壤热释汞测量剖面Fig. 6 Profile of CO₂, Rn and Hg measurements along Line 2

850m处,有套合程度较好的CO₂、氡气和土壤热释汞异常发育。剖面南端的0~80m处,各气体异常亦较发育,套合程度好。在1150~1180m处,见有CO₂异常发育。在剖面北端(1300m处向北),各气体测量值有升高的趋势。

对比气体地球化学测量和甚低频大地电磁测量可以发现,在甚低频电磁法发现的构造低阻带附近,有相应的气体地球化学异常发育。但气体地球化学异常与构造低阻带的位置存在一定的偏差,这是由气体的飘逸性质造成的。

3.2 金属活动态测量

金属矿床本身及其围岩中,与矿有关的超微细金属或金属离子或化合物会相应增多,这些超微细金属离子或化合物会在某种营力的作用下向地表迁移,到达地表以后在地球化学障附近聚集,在原介质元素含量的基础上形成活动态叠加含量^[19]。在新疆金窝子金矿(覆盖物几米到几十米)、美国的MIKE

金铜矿(覆盖物240m)、内蒙古花敖包特铅锌矿(覆盖物厚度大于15m)、大兴安岭森林覆盖区^[18-21]等地的实际应用中,均有效地发现了与矿有关的异常。大量找矿试验和应用成果表明,与总量化探方法相比,该方法灵敏度高、探测深度大、抗干扰能力强,找矿效果显著,其应用和发展前景十分广阔^[22]。

在气体地球化学测量同时进行了金属活动态测量。采样间距为40m,部分异常点加密至20m点距。L1线长度约1200m,在L1线发现200m处(在断裂头部位置)发育有活动态Cu和Bi的异常,活动态Au异常位于120m处,与120m处构造低阻带的位置吻合。在L1线的北端900m处也发现了1处活动态Au异常,但异常宽度较小,强度较弱。该处亦有Cu和Bi异常发育,Au异常在Cu和Bi异常南侧,矿(化)体也是在断裂的上盘。L1线剖面的南端,弱的气体异常发育部位,有Cu、Bi异常发育(图7)。这些异常的位置都与构造低阻带位置吻合。

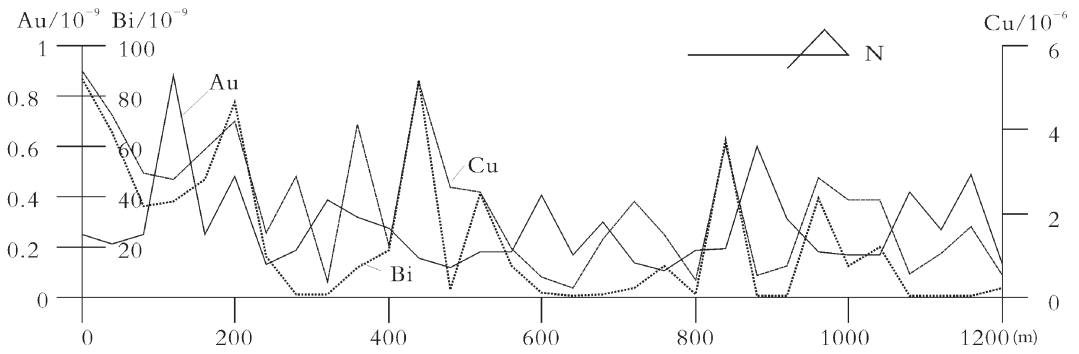


图 7 L1 线金属活动态测量剖面

Fig. 7 Profile of measurements of mobile state metals along Line 1

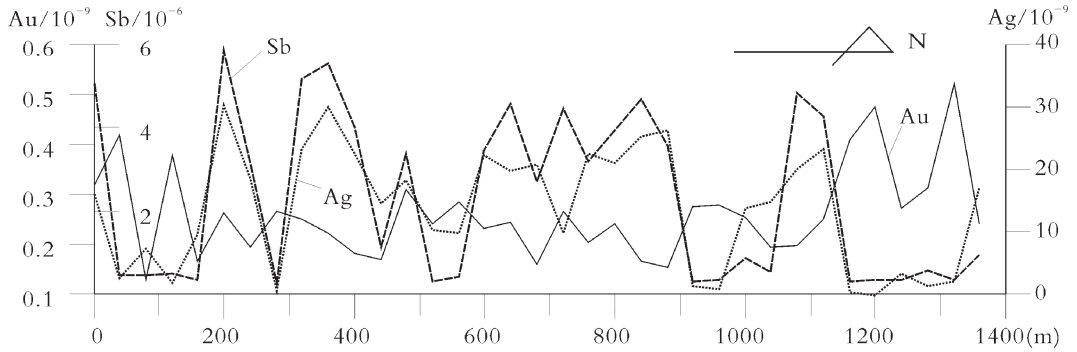


图 8 L2 线金属活动态测量剖面

Fig. 8 Profile of measurements of mobile state metals along Line 2

L2 线北端 1100~1300m 处发现 1 处 Au 的异常带(图 8),异常宽度约 200m, Sb 异常和 Ag 异常位于 Au 异常的南侧,与气体异常、构造低阻带的位置吻合。Au、Ag、Sb 异常吻合程度较好,成矿元素 Au、Ag 异常强度大,是寻找金矿的理想部位。在 L2 线中部气体异常、构造低阻带北边有 Au、Ag 异常发育,气体异常对应范围内有 Sb 异常发育。在南端的气体异常和构造低阻带范围内及北侧,亦有 Au、Ag、Sb 异常发育。

4 结论

地面高精度磁法可提供磁性地质体的展布并提供构造格架信息,甚低频电磁法和气体地球化学(CO₂、Rn、Hg)测量可显示构造破碎带在平面上的展布情况,并可对其产状作出判断。这 3 种主要反映隐伏构造发育信息的方法中,甚低频电磁法反映的深度较小,其次为气体地球化学方法,反映深度最深

的为高精度磁法。在实际工作中,甚低频电磁法必须要在严格进行剖面测量的基础上进行面积测量,而气体地球化学方法和高精度磁法则可进行自由网测量。在黄土覆盖区的复杂地形条件下,进行面积性物化探工作时,应优先选择高精度磁法和气体地球化学方法。在高精度磁法和气体地球化学异常发育的地带,可使用甚低频方法和电磁测深方法,进一步深入解析构造,对构造的形态、产状等进行研究。气体地球化学方法可以将厚黄土覆盖这一对其它化探方法(水系沉积物、土壤地球化学、岩石地球化学等)不利的因素,转变为对气体化学方法有利的因素。另外,电磁法工作在本区易受电磁干扰的影响,而气体地球化学方法则不受此干扰,将这 2 类方法有机结合,可有效地排除电磁干扰所造成的假异常,进一步确定构造破碎带的位置。

在对构造用综合物化探方法进行探测的同时,还必须对构造与矿化的关系进行研究。在黄土覆盖

区,显然用传统的化探方法工作是不可行的。而金属活动态测量则可扬长避短,发挥其优势。在申家窑金矿邻区的实践研究表明,在较厚的黄土覆盖区,具有深穿透能力的金属活动态测量方法可以突出成矿元素和矿化有关元素的异常,再确定矿化异常的位置,对构造是否为含矿构造作出评价。因此,高精度磁法+甚低频电磁法+CO₂、Rn、Hg测量法+金属活动态测量法为一合理有效的技术方法组合。而且这些物化探方法技术,仪器设备轻便,数据处理简单,有利于在野外工作现场迅速定量圈定异常,从而可对研究区的矿化潜力做出快速判断。

致谢:河南省地质调查院杨振西高级工程师、马振波工程师在野外工作中给予帮助,中国地质科学院物化探研究所程志忠研究员在地球化学数据处理分析方面给予指导,在此一并致谢。

参考文献

- [1]赵景波. 中国黄土地环境研究的进展[J]. 干旱区地理, 2000, 23(2): 186-190.
- [2]余学东, 李应桂, 杨少平, 等. 厚层黄土覆盖区掩埋金矿的追索研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1998, 17(3): 160-163.
- [3]汪明启. 地球化学弱信息提取技术研究[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2003.
- [4]刘树田, 朴寿成, 齐清风, 等. 厚层风积黄土覆盖区金矿脉的壤中气汞异常特征及评价[J]. 长春地质学院学报, 1996, 26(3): 351-355.
- [5]张洪, 周丽沂, 杨少平. 一种寻找被黄土埋藏的金矿床的地球化学勘查方法——选择性价态金测量[J]. 河北地质学院学报, 1996, 19(3/4): 292-306.
- [6]贾长顺, 曾庆栋, 徐九华, 等. 综合物化探技术在黄土覆盖区隐伏金矿体预测中的应用[J]. 黄金, 2005, 26(7): 8-11.
- [7]陈衍景, 富士谷. 申家窑金矿地质地球化学特征及成矿模式[J]. 地质与勘探, 1992, (4): 47-52.
- [8]张艳秋, 刘树田, 张东丽. 隐伏金矿床综合找矿方法研究[J]. 黄金, 1999, 20(12): 1-4.
- [9]黄临平, 管志宁. 利用磁异常总梯度模确定磁源边界位置[J]. 华东地质学院学报, 1998, 21(2): 143-150.
- [10]张锐, 刘洪涛, 徐九华. 甚低频电磁法在龙头山多金属矿床勘查中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26(1): 4-7.
- [11]张寿庭, 徐旗章, 郑明华. 甚低频电磁法在矿体空间定位预测中的应用[J]. 地质科技情报, 1999, 18(4): 85-88.
- [12]Eze C L, Mamah L I, Israel-Cookey C. Very low frequency electromagnetic (VLF-EM) response from a lead sulphide lode in the Abakaliki lead/zinc field, Nigeria[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 5: 159-163.
- [13]许令兵. 甚低频电磁法在河南省竹园铜矿的应用[J]. 中国地质, 2001, 28(11): 25-28.
- [14]刘英俊, 邱德同. 勘查地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [15]高振敏, 陶琰, 罗泰义, 等. 地球化学勘查综合方法在璐西金矿找矿中的应用[J]. 地质与勘探, 2004, 40(2): 55-58.
- [16]贾国相, 赵友方, 姚锦其, 等. 氦气勘查地球化学技术的研究与应用——氦气地球化学特性、方法原理、异常模式[J]. 矿产与地质, 2005, 19(1): 60-64.
- [17]伍宗华, 金仰芬, 郭英杰, 等. 地气测量在叶县-邓县-南漳地质剖面研究中的应用[J]. 岩石学报, 1995, 11(3): 333-342.
- [18]王学求, 刘占元, 白金峰, 等. 深穿透地球化学对比研究两例[J]. 物探化探计算技术, 2005, 27(3): 250-255.
- [19]文雪琴. 金属活动态提取法及其在黑龙江大兴安岭森林覆盖区的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(4): 43-48.
- [20]陈希泉, 罗先熔, 王信虎, 等. 寒冷森林覆盖区深穿透地球化学勘查试验及其应用[J]. 桂林工学院学报, 2007, 27(4): 480-483.
- [21]聂兰仕, 程志中, 王学求, 等. 深穿透地球化学方法对比研究——以内蒙古花敖包特铅锌矿为例[J]. 地质通报, 2007, 26(12): 1574-1578.
- [22]叶庆森. 元素活动态测量法及其在铀矿勘查中的应用前景[J]. 铀矿地质, 2001, 17(5): 289-294.

① 河南省第一地质调查队. 1:5万张村幅地质图. 1996.