

doi: 10.11720/wtyht.2014.6.05

李晓利, 张宝林, 郭志华, 等. 黄土覆盖区金矿深部地质结构大地电磁探测——以河北怀来颜家沟金矿为例[J]. 物探与化探, 2014, 38(6): 1124-1128. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.05>

Li X L, Zhang B L, Guo Z H, et al. Magnetotelluric sounding of deep geological framework of gold deposits in loess-covered areas: a case study of the Yanjiagou gold deposit in Huailai County, Hebei Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(6): 1124-1128. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.05>

黄土覆盖区金矿深部地质结构大地电磁探测 ——以河北怀来颜家沟金矿为例

李晓利¹, 张宝林¹, 郭志华^{1,2}, 赵连锋¹, 肖骑彬³, 张丽莉¹, 海连富^{1,2}, 李刚^{1,2}

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要: 基于岩体和矿体的电性差异, 应用大地电磁测深法在河北怀来颜家沟金矿进行地球物理勘探, 通过对采集原始数据的处理分析, 建立电性剖面模型, 依据电性剖面中的电阻率梯度分布特征, 结合钻探勘查成果和高精度磁测发现的成矿异常等地质资料, 预测在测区西部 11 号测点、南部 54 号测点、东部 21 号测点深部及附近发育的低阻异常带是有利成矿位置, 并已得到部分工程验证, 该成果为覆盖区隐伏矿体预测提供了科学依据。

关键词: 覆盖区; 隐伏矿体; 大地电磁探测; 电阻率梯度; 金矿; 成矿预测

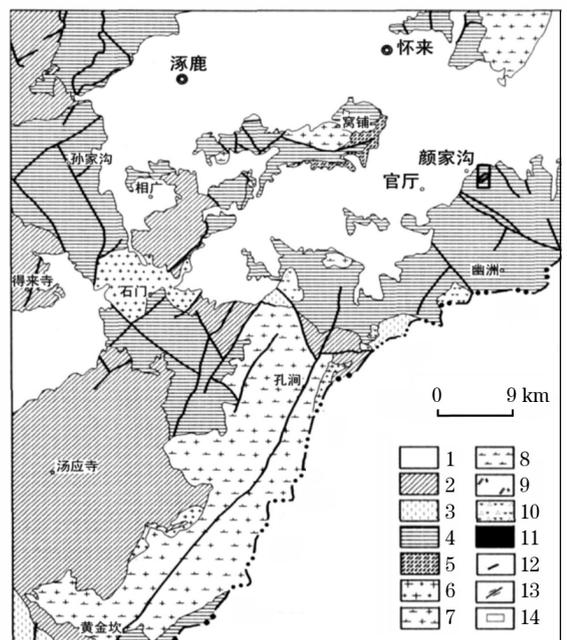
中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)06-1124-05

大地电磁测深法已成为寻找隐伏矿床的一种重要勘探手段并已获得良好的效果^[1-8]。颜家沟金矿位于河北省怀来县官厅镇颜家沟村东南群山之中, 该区地表灌木丛生, 黄土覆盖, 自然及交通条件恶劣, 是典型的隐伏矿区。该区自 1995 年发现金矿以来, 通过地质、物探、化探、遥感等多种技术方法的综合研究, 在矿区及外围取得了较大突破, 矿床已初具规模。但由于黄土覆盖和地形干扰, 致使其深部结构及控矿机制, 尚未得到解决, 从而限制了地质找矿的进程。本研究以大地电磁测深法为主, 在颜家沟金矿开展了综合物探工作, 获得高质量的观测数据, 结合地质勘查成果和遥感 1:5 万高精度磁测的工作成果, 探讨该区深部地质结构特征。

1 矿区地质概况与地球物理特征

1.1 矿区构造

研究区位于华北地台北缘的燕山台褶带宣龙复向斜与乌龙沟—上黄旗构造岩浆带中部的黄金坎—怀来段交界部位(图 1)。区内断层活动强烈, 自晚更新世以来发生多次错位事件, 太古界变质岩系零



1—第四系; 2—侏罗系; 3—古生界; 4—中新元古界; 5—太古宇; 6—斑状花岗岩; 7—花岗闪长岩; 8—闪长岩; 9—石英二长斑岩; 10—石英正长斑岩; 11—辉绿岩; 12—地质界线; 13—断层; 14—矿区位置(据文献[10])

图 1 乌龙沟—上黄旗构造岩浆带黄金坎—怀来段示意

星出露,大面积分布中晚元古界海相沉积岩系^[9-10]。

区内地质构造复杂,岩浆活动强烈,是北北东向乌龙沟—上黄旗构造岩浆带的组成部分。次一级的断裂构造以北西向为主,少量北东向及南北向,大小岩体呈北北东向展布。矿区位于两组北西向断裂构造之间,是重要的岩浆多金属成矿带。

岩体呈北西—南东向侵位于高于庄组地层中,出露长度约 600 m,宽约 500 m,出露面积近 0.13 km²。岩石岩性主要为石英二长斑岩、花岗斑岩、二长花岗岩等,其中桑干群变质岩中的二长岩杂岩体形成和演化与研究区的金矿有密切的成因联系,是区内金矿成矿的母岩。

1.2 矿区电性特征

研究区内电性异常变化较大,电阻率从 10 Ω·m 到几千 Ω·m。北东侧表现为明显的高阻特征, $\rho \geq 150 \Omega \cdot m$,其东西两侧及中间的围岩表现为相对低阻特征,电阻率值在 30~100 Ω·m。根据电性统计相关数据分析,按电性大小将研究区围岩分为三类:近地表的第四系黏土层:1~100 Ω·m,破碎蚀变岩体:10~150 Ω·m,岩体: $\geq 100 \Omega \cdot m$ 。研究区电性差异较明显,具备开展大地电磁测量的前提条件。

2 野外工作方法和数据处理

2.1 野外工作方法

研究区地势开阔,地表黄土覆盖严重,无人畜干扰,非常适合 MT 数据的采集。根据矿区主要控矿构造呈北东走向的特点,布置 5 条 MT 剖面(Z1~Z5),测线大致方向为北西向,测点距一般为 100 m。实际测量过程中,限于地表沟壑陡立,地形起伏大,无法布置规则的测网,而是改为依据地形特点进行散点测量,并使得测点之间距离保持在 100 m 左右。测量结果共获得有效测点 62 个(野外用手持 GPS 记录点位参数,后根据张家口地质三大队提供的基准点坐标对实测数据进行了校正),各测点进行 GPS 同步测量。

野外数据采集采用德国 Metronix 公司研制的 GMS-06 大地电磁测深系统,电磁感应器频率范围为 1~100 kHz,其信噪比高达 10~100 倍,具有突出的低噪声特性,非常适合观测天然电磁场变化。

野外共使用 6 套 GMS-06,其中 2 套为五分量大地电磁仪器,其余 4 套为两分量。观测具体包括 3 个磁场分量: H_x (南北向)、 H_y (东西向)、 H_z (垂直地面)和 2 个电场分量: E_x (南北向)、 E_y (东西向),电极、磁棒均采用标准“+”字形布设, E_x 、 H_x 方向与测

线方向一致, E_y 、 H_y 方向与测线延伸方向垂直(图 2),资料记录周期为 1/8000~3 000 s,每测点记录时间不低于 8 h,信号较弱或遇干扰时,延长观测时间。为保障获得高质量的数据,资料采集过程中使用廊坊物化探研究所研制的不极化电极,并采用 Metronix 公司提供的大地测深数据预处理软件(MA-PROSOF)对观测数据进行处理。

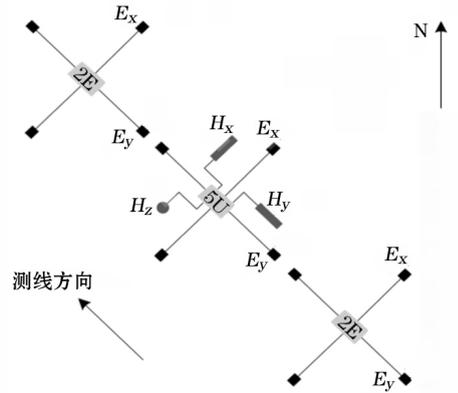


图 2 大地电磁测深数据采集仪器示意

2.2 资料处理

为提高数据质量,野外实测数据解算时采用 2 个五分量远磁道相互参考,利用 2 台仪器的磁道资料进行相关分析处理。经过磁道互参考处理,有效地压制了噪声干扰,提高了信噪比,数据质量得到了良好的改善。资料处理流程见图 3。

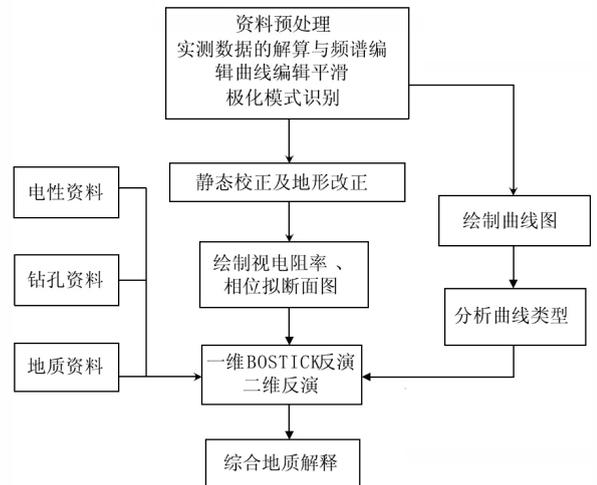


图 3 资料数据处理流程

原始数据采集后,需要对数据进行预处理、解编转换、编辑平滑、极化模式识别、静位移校正、空间滤波、反演计算、编辑成图等一系列处理流程。数据预处理是将原始数据(各场量的时间序列)计算或转换为频率域测深曲线(即各个频率上的视电阻率和阻抗相位)^[11-12]。资料处理与解释的主体软件采用

成都理工大学地球探测与信息技术教育部重点实验室开发的“MT Soft2D 大地电磁二维处理和解释软件”。反演计算采用一维 Occam 与二维非线性共轭梯度(NLCG)联合反演,并采用 TE+TM 联合模式,使其同时具有一维反演的层状性质与二维反演的低拟合差特征,反演对初始模型的依赖性较弱,同时保证了最终解的平滑特性。TE+TM 模式联合反演最大程度地增加了反演模型的约束条件,提高了反演结果的可靠性。

2.3 建立测量剖面

因测区地势变化较大,测点依据地形特点分布,测线的方向不规则。为更好地确定地质异常区域,沿不同方向确定剖面(图4),建立假想的二维电阻率剖面,依据电阻率断面图上的等值线密集程度及电阻率值确定异常区域的边界。

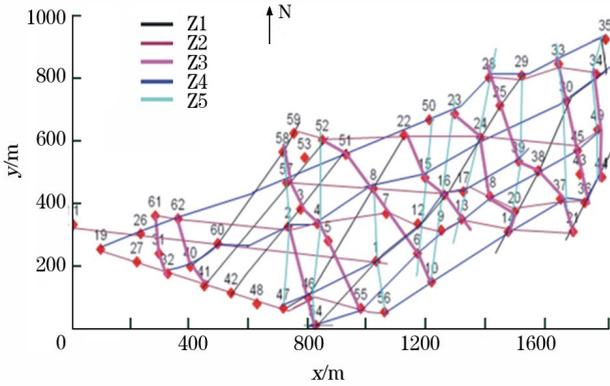


图4 颜家沟金矿沿不同方向确定的测线

为更好地观测测区电性分布特征,沿不同方向划分测线,各测线包括的测点见图4。Z1为沿40°~50°方向的测线,Z2为沿80°~100°方向的测线,Z3为沿130°~140°方向的测线,Z4为沿30°~40°方向的测线,Z5为沿175°~185°方向的测线,剖面线沿不同方向分为5组共35条测线。

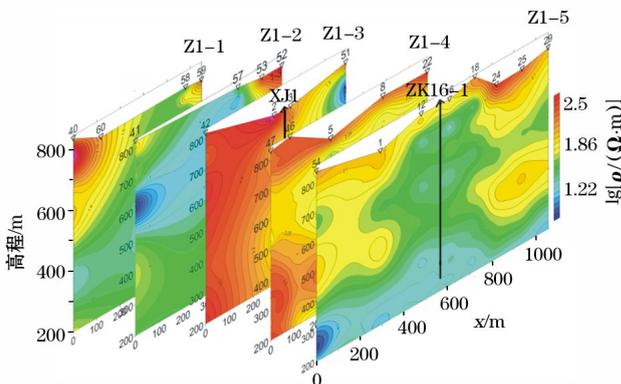


图5 Z1(40°~50°)电性剖面

3 勘查成果解释

3.1 典型电性结构模型

测点的电阻率曲线在不同方向呈不同地电剖面特征,电阻率变化比较大且不规则。如图5中Z1-2剖面的电阻呈高一低一高的H型特征,在41号测点标高610m的位置,有一低阻异常中心,电阻率值约为3Ω·m,该低阻异常中心近地表倾斜,到53、52号测点位置电阻率值逐渐增高;Z1-1剖面在标高365~590m位置,纵向低阻带厚度在58测点位置最大。Z1-5剖面12、16号测点纵向有连续的低阻带分布,并有2个低阻异常中心;54号测点标高250m位置,低阻异常中心电阻为8Ω·m。

图6显示沿80°~100°方向横向电阻率变化比较大。11测点附近沿地面向下低阻带连续分布,21、26点沿地面向下分布有低阻异常中心,13、14、21、61点纵向为连续的低阻带,8、16点纵向低阻带呈斜纺锤形,低阻带在深部向东延伸。

沿130°~140°方向剖面的电阻变化比较大(图7)。电阻率值在41点呈上低下高、62点呈上高下低态势,55点附近的电阻率值比较高,51、8点纵向分别有两个低阻异常中心,低阻带整体呈不规则环状。22、28点附近有连续的低阻带分布,39、38、37、21点电阻率在近地表部分比较低,向下逐渐增高。

沿30°~40°方向(图8)的电性剖面显示在12、16、19、32、37、47测点附近,沿地表向下有连续的低阻带分布,沿Z4-5剖面,低电阻带向西南倾斜。

沿175°~185°方向剖面的电阻变化比较大(图9),58、52、8、16、9、10测点附近沿地表向下有连续的低阻带分布。

3.2 地质解释

综合分析电阻率等值线剖面及地质资料,2、16、

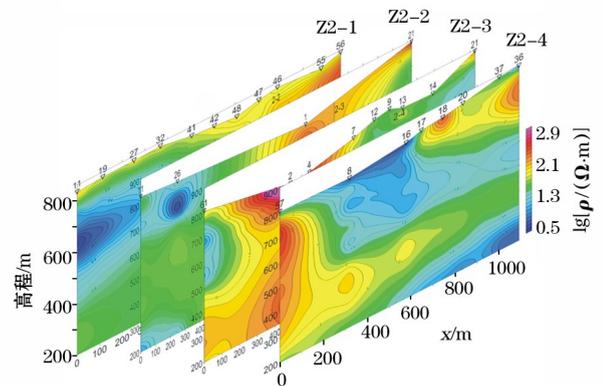


图6 Z2(80°~100°)电性剖面

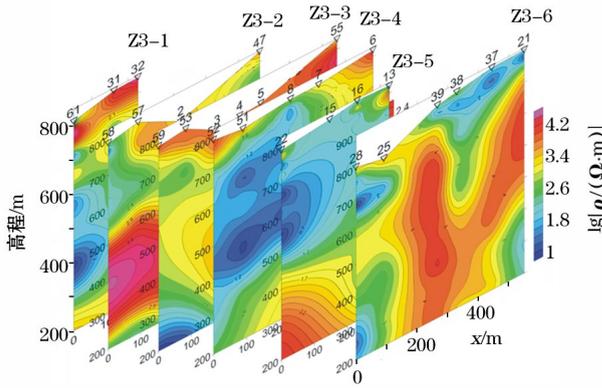


图7 Z3(130°~140°)电性剖面

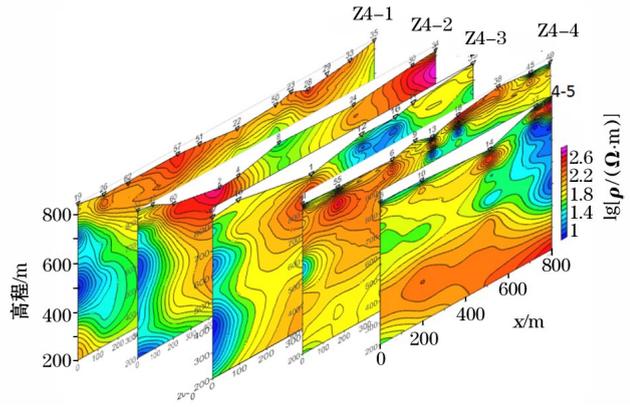


图8 Z4(30°~40°)电性剖面

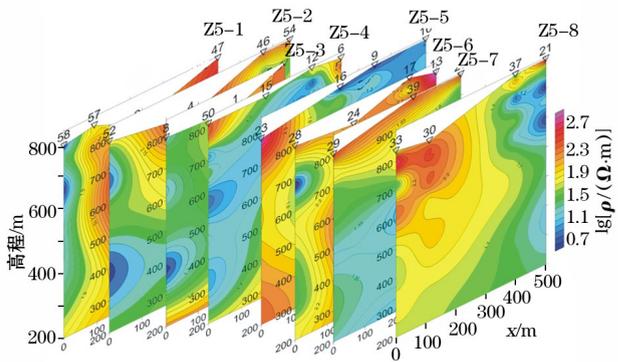


图9 Z5(175°~185°)电性剖面

22、24、30、39、52、59号测点沿地表向下有连续的低阻异常。该测点附近发现的低阻异常带已进行了勘查。2007年,曾在该区勘查钻探施工,其中XJ1斜井所获金矿的平均品位为 8.71×10^{-6} ,最高 72.15×10^{-6} ,深孔ZK16-1的平均品位为 6.73×10^{-6} ,最高达 173.64×10^{-6} (孔深159.98~160.68 m处,样长0.7 m)。工程结果相一致,可推断该位置附近的低阻异常为矿化蚀变带的低电阻反映,该测点附近的电磁异常属于对成矿有利的异常。

测区电性结构剖面图上反映的8、9、10、16、41、51、57、61、62号测点附近的低阻异常,推测为断层、断裂的反映。8号点地表位置为斜坡,沿北西向有一断裂,51点与8点之间有一断裂,9、10、16点近地表黄土覆盖层区,黏土层的实际电阻率比较低,41点和57点之间有一断裂,61号测点和62号测点在一个断裂附近;推测该部分测点附近的电阻率异常与断裂相关。

电性剖面图反映的11、19、21、26、27、36、37、54号测点电阻率比较低,11点高程630 m处的低阻异常中心值约为 $1 \Omega \cdot m$,19点高程500、700 m的低阻异常中心值为 $3 \sim 7 \Omega \cdot m$,沿Z1-7线的21、36点高程300~800 m之间,电阻率值约为 $5 \sim 30 \Omega \cdot m$,

37点异常中心标高400 m和620 m。

54点处标高700 m、410 m的两处异常中心低电阻值约为 $20 \Omega \cdot m$ 。该测点地表比较平缓,纵向岩体比较单一,异常比较稳定。综合2008年在该区进行的1:5 000高精度磁测工作成果(图10)^[15](图中 $\Delta T5$ 、 $\Delta T6$ 、 $\Delta T7$ 、 $\Delta T11$ 推断为矿异常或对解决地质问题有意义的异常, $\Delta T1$ 、 $\Delta T2$ 、 $\Delta T17$ 为尚不能确定成因的异常),该测点附近的异常与磁异常吻合程度比较高,成矿条件十分有利,推测该测点附近的低阻异常由矿化蚀变引起。该异常位置也是本次工作新发现的有利成矿区域,该异常附近及周围是后续找矿的重要位置。

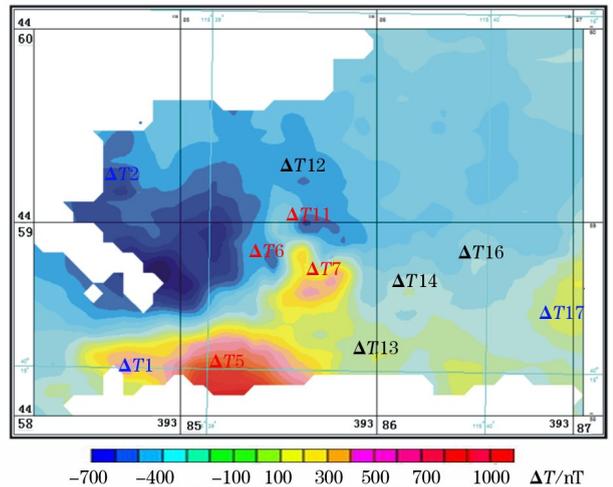


图10 颜家沟金矿1:5万高精度磁测成果 (据文献[15])

4 结论

测区位于两组北西向断裂构造之间,燕山期闪长岩及石英斑岩为中高阻体,在测区北部发现的低阻异常带与钻孔验证吻合程度较好,在测区西部11号测点、南部54测点、东部21号测点深部及附近发育的低阻异常带,与先期的地表踏勘和高精度磁测

的验证结果吻合较好,依据地质资料及分析该处的低阻异常带位于岩体接触带附近,是有利的成矿位置,该异常带是本次新发现的有利成矿构造部位。

成矿有利位置的预测,验证了大地电磁测深在覆盖区隐伏矿体深部矿产资源勘探中具有重要作用,可以减少不必要的工程投入,为隐伏矿体预测提供更多有利信息,加快找矿工作进程,达到降低成本、高质、高效的作用。

致谢:感谢中科容辰矿业有限公司对野外工作提供的大力支持。

参考文献:

[1] 柳建新,胡厚继,刘春明,等.综合物探方法在深部接替资源勘探中的应用[J].地质与勘探,2006,42(7):71-74.

[2] 金东淳,崔天日.物探方法在探测隐伏断层中的应用[J].世界地质,2003,22(1):82-85.

[3] 沈远超,申萍,刘铁兵,等.EH-4在危机矿山隐伏金矿体定位预测中的应用研究[J].地球物理学进展,2008,23(1):559-567.

[4] 刘光鼎,郝天珧.应用地球物理方法寻找隐伏矿床[J].地球物理学报,1995,38(6):850-852.

[5] 梁光河,徐兴旺,肖骑彬.大地电磁测深法在铜镍矿勘查中的应

用—以与超镁铁质岩有关的新疆图拉尔根铜镍矿为例[J].矿床地质,2007,26(1):120-127.

[6] 卢景奇,何梅兴,方慧,等.西藏洞错盆地大地电磁测深电性特征[J].物探与化探,2010,34(6):787-790.

[7] 符超,梁光河,兴旺,等.准噶尔北缘卡拉先格尔断裂带深部结构的MT探测[J].岩石学报,2010,26(10):3007-3022.

[8] 徐新学.大地电磁测深法在深部矿产资源调查中的应用[J].物探与化探,2011,35(1):17-19.

[9] 胡华斌,田立富,孙黎明.河北怀来—涿鹿盆地更新世岩石地层和生物地层特征及时代[J].中国区域地质,2000,19(2):137-139.

[10] 冉勇康,方仲景,李志义,等.河北怀来—涿鹿盆地北缘活断层的古地震事件与断层分段[J].中国地震,1992,8(3):74-85.

[11] 石来生,王志利,魏民辉,等.河北怀来颜家沟金矿地质特征及成因探讨[J].地质与勘探,2007,43(5):45-51.

[12] 陈小斌,赵国泽,汤吉.大地电磁自适应正则化反演算法[J].地球物理学报,2005,48(4):937-946.

[13] 谭捍东,佟拓,林昌洪.大地电磁三维正演并行算法研究[J].应用地球物理,2006,3(4):197-202.

[14] 苏鸿尧,何展翔.表层电性不均匀对大地电磁测深曲线的畸变研究[J].地质科技情报,2000,19(3):103-106.

[15] 吴燕冈.河北省怀来县颜家沟金矿区地面高精度磁测成果报告[R].吉林大学,2009.

Magnetotelluric sounding of deep geological framework of gold deposits in loess-covered areas: a case study of the Yanjiagou gold deposit in Huailai County, Hebei Province

LI Xiao-Li¹, ZHANG Bao-Lin¹, GUO Zhi-Hua^{1,2}, ZHAO Lian-Feng¹, XIAO Qi-Bing³, ZHANG Li-Li¹, HAI Lian-Fu^{1,2}, LI Gang^{1,2}

(1.Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2.Graduate University Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China)

Abstract: According to the obvious differences of resistivity between major rocks and ore bodies, the magnetotelluric method was employed in the Yanjiagou gold deposit of Huailai County, Hebei Province. In this paper, the authors processed and analyzed the data collected in the study area by some precision instruments, and constructed the resistivity gradient profile model. On such a basis, some low-resistivity zones were detected, which accorded well with the result of drilling exploration and high precision magnetic survey. Some anomalous belts of low resistivity were found in the surveyed area, which are distributed at the depth of or near western site 11, southern site 54 and eastern site 21 and are considered to be places favorable for mineralization. The study results provide useful geophysical information for prognosis of concealed orebodies in covered areas.

Key words: concealed ore; covered area; magnetotelluric sounding; resistivity gradient; gold deposit; metallogenic prognosis

作者简介: 李晓利(1972-),女,博士后,主要从事覆盖区隐伏矿信息提取方法研究。

通讯作者: 张宝林(1963-),男,研究员,吉林人,长期从事隐伏矿床定位预测研究。