

# 电磁测深在鲁西地区绿岩带型 金矿勘探中的应用

霍光辉<sup>1</sup>, 王海芹<sup>2</sup>, 王虹<sup>2</sup>, 王玉和<sup>3</sup>

(1. 山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013;

2. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013;

3. 山东科技大学, 山东 青岛 266555)

**摘要:** 在山东省泰安市周家庄地区金矿勘探中进行电磁测量方法试验, 获得了高分辨率的电性剖面 and 较可靠的地质解释资料, 经钻探验证发现了隐伏金矿体。测量结果表明, 在岩层深部高电阻率背景下的低值电阻率异常带是寻找金矿化带的有利部位, 低阻异常带的空间展布范围揭示了金矿化带的延伸趋势。

**关键词:** 绿岩带; 金矿; 电磁测深; EH-4 系统; 低阻异常带

**中图分类号:** P618.51

**文献标识码:** A

鲁西地区广泛分布太古宙花岗-绿岩带<sup>[1,2]</sup>, 泰安市周家庄地区绿岩带底层保存相对完好, 规模较大。前人已发现周家庄小型金矿床, 具有寻找绿岩型金矿的良好前景。为深入研究成矿规律, 把握找矿方向, 选用 EH-4 连续电导率剖面仪进行电磁勘探方法测量试验, 取得了较好的找矿效果, 显示了良好的找矿前景。

## 1 周家庄金矿床地质、地球物理特征

周家庄金矿床位于泰安市市区东南约 40 km 处。大地构造位置属华北板块鲁西地块鲁中隆块之新甫山隆起。矿区广泛出露新太古代泰山岩群山草峪组、柳杭组。侵入岩以新太古代阜平期蒙山超单元的 TTG 岩系为主, 构造为 NW 向断裂和韧性剪切带<sup>[3]</sup>。

鲁西泰山-蒙山地区地磁异常总体呈区域负磁场背景, 蒙山超单元英云闪长岩等 TTG 岩系及微徕山超单元二长花岗岩类均显示负磁场特征。泰山岩群虽然磁性较强, 由于分布面积相对较小, 对区域磁场的影响较小, 只引起一些局部的异常。

区域重力场与区域磁场基本对应, 在泰山-蒙山凸起区总体显示大规模的重力低; 泰安东则呈 NW 向展布, 相对重力高, 与泰山岩群分布有关。泰山岩群和元古宙-中生代的其他中基性侵入体均呈现重力低背景上的局部重力异常; 而中生代断陷盆地由于巨厚的低密度沉积盖层的影响, 在区域性低负重力场的背景上, 明显反映与盆地范围相当的重力低异常。

收稿日期: 2008-11-24

基金项目: 鲁西地区绿岩带型金矿床地质特征及成矿预测研究。

作者简介: 霍光辉 (1960-), 男, 高级工程师, 主要从事地球物理勘探工作。E-mail: hghsdjn@163.com

矿区位于新甫山凸起中部。区内广泛出露太古宙泰山岩群，有保存较好的绿岩带地层。矿床受殷家林韧性剪切带控制，赋存于新太古代泰山岩群柳杭组二段顶部的一套绢英片岩、绢云片岩、白云石英片岩等浅色片岩夹少量黑云片岩及云母变粒岩的地层中<sup>[4]</sup>。

该套地层经受强烈的韧性剪切作用的改造，含金背景较高，平均  $72.42 \times 10^{-9}$ ，可视为金矿化之矿源层。金矿化带产于该岩系中下部，含矿岩系的底板为斜长角闪岩夹少量黑云片岩，顶板为斜长角闪岩或角闪片岩。金矿化带总体走向  $325^\circ$  左右，倾角  $85^\circ$  左右。北段倾向 NE，南段倾向多变。矿化带和矿体呈陡立的似层状或脉状，平面上具膨胀和尖灭再现特征，并具有似“S”弯曲之特点（见图1），矿化带膨大部位是矿化最强的部位。矿化带一般厚度 5~8 m，最厚 17.35 m。矿化带在北端有继续北延的趋势，南段逐渐变窄乃至尖灭。矿化带在深部有变厚和由单层矿化变为多层矿化的趋势。矿化带在西南峪—李家庄柳杭金矿化带中，共圈定 5 个低品位金矿体。矿体最大控制长度 500 m，最大控制深度 250 m，赋存于中浅层韧性剪切带内。矿体厚度 0.34~3.00 m，平均真厚度 1.23 m。矿体品位一般  $1.00 \times 10^{-6}$ ~ $7.41 \times 10^{-6}$ ，最大品位达  $41.22 \times 10^{-6}$ 。

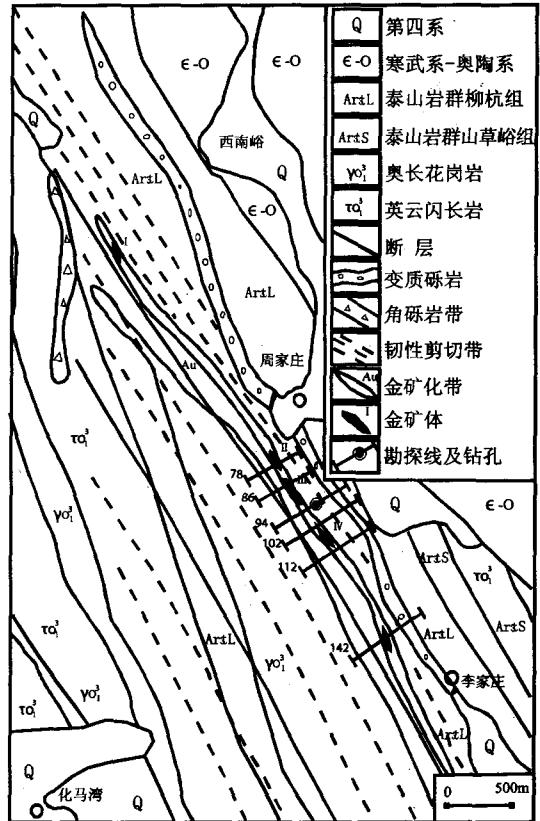


图1 泰安市周家庄地区地质概略图

Fig.1 Geological sketch map showing Zhoujiazhuang gold district in Tai'an City

## 2 岩（矿）石的电阻率及 EH-4 电磁测深系统

### 2.1 岩（矿）石的电阻率

电阻率是表征物质导电性能的物理参数，也是岩石物性的重要参数之一，它表示岩石具有导电特性。电阻率的常用单位为  $\Omega \cdot m$ ，有时也用电导率  $\sigma$  表示物质的导电性，电导率和电阻率互为倒数。物质电阻率越低，电导率越大，其导电性越好。岩石是由不同矿物组成的，岩石的电阻率与组成岩石的矿物的电阻率有关。固体矿物可分为 4 种类型：超导体、导体、半导体和绝缘体。各种天然金属矿物均属于金属导体，较重要的天然金属矿物有自然金和自然铜，其电阻率均较低。大多数常见的金属硫化物，如黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、磁黄铁矿和某些氧化矿（如磁铁矿），其电阻率值均较低，具有良好的导电性。绝大多数造岩矿物，如长石、石英、云母、辉石、方解石等，均属于固体电解质，其电阻率值都很高，在干燥情况下可认为是绝缘体。

大多数岩石可视为由均匀相连的胶结物与不同形状的矿物颗粒组成。岩石、矿石的电阻率与这些胶结物和导电物质颗粒的电阻率、形状、含量和是否连通有关。一般情况下,侵入岩电阻率较高,如花岗岩、闪长岩、辉长岩等,大约为  $10^2 \sim 10^5 \Omega \cdot m$ 。变质岩的电阻率也较高,如结晶片岩、大理岩、石英岩等,其变化范围与侵入岩相近,只是其中的部分岩石,如泥质板岩、石墨片岩等稍低,大约为  $10 \sim 100 \Omega \cdot m$ 。探测成果反映出斜长角闪岩、滑石绿泥阳起片岩的电阻率亦较低。

与金矿化关系密切的蚀变主要有黄铁矿化、硅化、绢云母化和碳酸盐化。黄铁矿化这一组矿化组合,以黄铁矿为主,还有磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿等组成。这一组合直接指示矿化富集地段的存在,而黄铁矿、磁黄铁矿化为这一蚀变的主要标志<sup>[5]</sup>。当岩石中金及其他伴生金属矿物,特别是黄铁矿等矿物颗粒体积含量较高时,岩层整体的电阻率就会比围岩电阻率低,蚀变矿化带电阻率为  $150 \Omega \cdot m$  左右,一般为  $1 \sim 100 \Omega \cdot m$  之间。这样就能反映出金矿化带与周围地质体存在的电阻率差异,这种差异的大小与金矿化带的矿化程度密切相关,也就是与金矿化带内的金属硫化物、金属氧化矿物、金的含量及它们是否连通有关,如块状硫化物矿电阻率比浸染状硫化物矿的电阻率低。

## 2.2 EH-4 电磁测深系统

电磁测深法以地下矿体的导电性与导磁性同周围地质体差异为物质基础,在地面观测和研究电磁场空间与时间分布规律,进而探测地下地质构造,是解决地质找矿的一种行之有效的物探方法<sup>[6]</sup>。本文选择 EH-4 电磁测深法来探测地下岩层的电阻率空间变化,推测含矿构造带的空间展布状态,圈定金矿化体的埋深、延展状况。EH-4 电磁测深系统是一套双源型电磁法数据自动采集和处理的物探系统,它是可控源(CSAMT)勘探和天然大地电磁场(MT)勘探的结合体。该仪器采用独特的正交磁偶极可控源,结合计算机技术,系统可自动、多频率采集数据,勘探深度为几米至 1000 m,可现场实时成像,在国外,该勘探技术广泛应用于油气资源勘探、煤田勘探、固体金属矿产勘探、地下水探测、冻土层分析、工程勘测及矿井工程勘探等领域。EH-4 电磁测深系统是利用部分可控源与天然源相结合的一种大地电磁测深系统,深部构造信息获得是通过天然大地电磁场源成像(MT),其场源频率为  $10^{-2} \sim 10^2$  kHz;浅部构造信息则通过一个新型的便携式低功率发射器,发射  $10 \sim 100$  kHz 人工电磁场,补偿天然电磁场的不足,从而获得高分辨率的电磁成像。

EH-4 电磁测深系统同时使用天然和人工电磁场源信号,是双源型电磁勘探方法,能在各种恶劣地形条件下进行电导率连续剖面观测。该系统同时测量远处的天然场源和人工场源激发的电场和磁场来计算地下视电阻率。研究地下不同深度电性结构是在相对应的不同电磁波频率上进行的。一般来说,频率较高的数据反映浅部的特征,频率较低的数据反映较深地层的信息。EH-4 电磁成像系统与其他物探方法相比,具有以下特点:①采用人工场源与天然场源共同作用的方式。人工场源弥补了天然场源在某些频段的不足,使该系统可在  $10^{-2} \sim 10^2$  kHz 的范围内获得连续的有效电磁场信号。人工场源对解决浅部地质问题尤为重要。②测量系统和发射装置都比较轻便,测量速度快,效率高。③系统分辨率高,为探测某些细微的地质构造和区分电阻率差异不大的地层提供了可能性。④系统穿透高阻盖层能力强,在基岩大面积出露地区,甚至在某些沙漠覆盖区,能有效地探测地下深部地质信息,为矿区勘察工作提供了一种新的勘察方法。⑤实时数据处理和显示,现场直观给出连续剖面的拟二维反演结果,资料解释简捷,图像直观,并确保现场观测质量。

### 3 金矿勘探的应用效果

#### 3.1 周家庄金矿区的 EH-4 电磁测深

为探索金矿体深部变化和赋存状况,寻找隐伏矿体,在周家庄金矿区 94 勘探线和 142 勘探线上,实测 EH-4 测线 2 条。每条测线长 200 m,测点点距 10 m,布设物理点 21 个;另有 5 个实验点,2 条测线共布设物理点 47 个,测线总长度 400 m。EH-4 电磁测深经现场数据采集、资料处理、资料解释等,获得了分辨率较高的电性剖面图和较可靠的地质解释资料。

1 号电磁测深线的测点布设于 94 勘探线原 IV 号矿体北延隐伏部位。原 IV 号矿体分布在 96 ~ 112 线,其中 101 ~ 112 线出露于地表(101 ~ 106 线已采空),96 ~ 101 线隐伏于地下,未经过工程控制。二维电阻率剖面图结果表明,浅部(0 ~ 40 m)的电阻率较低,这是地表及浅部风化岩层电阻率的综合表现。深度在 40 ~ 390 m 范围的岩层基本大都表现为高阻。在桩号 35 ~ 70 号之间,从 45 ~ 230 m 深度范围出现了一个较为明显的低阻异常带,低阻异常带数值范围为 100 ~ 260  $\Omega \cdot m$ ,所反映的形态特征为一向右倾斜的带状体,圈定面积约 1160  $m^2$ 。根据该异常带的展布特征绘出了地质解释成果曲线,推测含矿构造带赋存在低阻异常带内(见图 2)。

2 号电磁测深线的测点布设于 142 勘探线原 V 号矿体中心部位上方。原 V 号矿体分布在 138 ~ 142 线,于 142 线地表有出露。二维电阻率剖面图揭示深度在 0 ~ 40 m 电阻率较低,这是地表及浅部风化岩层电阻率的综合体现。深度在 40 ~ 400 m 范围的岩层基本都表现为高阻。仅在桩号 150 ~ 175 m 范围内出现了一个较弱的低阻,但不足以作为推测含矿构造带存在的依据。

EH-4 电磁测深资料表明,岩层深部高阻背景下的低阻带是寻找金矿化蚀变带的有利部位,该低阻带的分布特征反映出了含矿构造带在深部的延伸趋势,这对探测矿化蚀变带(含

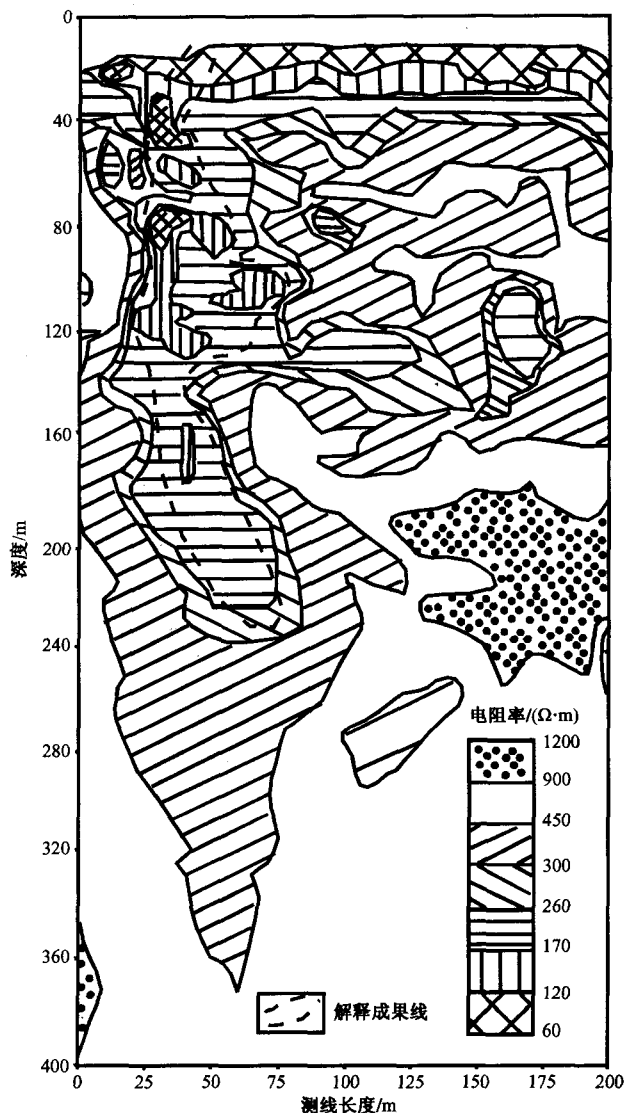


图 2 94 线电阻率断面及解释成果图

Fig.2 Resistivity cross-section and explanation of Line 94

金构造带)在深部构造空间分布和部署钻探工程揭露矿体提供了科学依据。由于地下介质的不均匀性和局部电磁干扰影响,电性剖面图所揭示的低阻带的延展情况和含矿构造带的实际展布在局部范围内可能存在一定偏差,这有待于今后进一步研究深化,但所反映的趋势经验证是符合客观实际存在的。

### 3.2 钻探验证

在充分研究矿体分布及赋存规律的基础上,依据 EH-4 电磁测量成果,于 94 线布设并施工了钻孔。在 54 桩号点钻探孔深 157.92~171.53 m 控制了主矿化带,于孔深 157.92~162.92 m 发现了新的金矿体,在金矿找矿方面取得了重要进展。主矿化带为一套黄铁矿化蚀变强烈的岩石组合,主要为黄铁矿化斜长角闪岩、黄铁矿化白云石英片岩、黄铁矿化角闪片岩、黄铁矿化黑云角闪片岩。矿化带分布的深度和产状与 EH-4 测量地质解释成果图所反映的趋势基本吻合。矿体真厚度 2.87 m,单样最高品位  $10.69 \times 10^{-6}$ ,加权平均品位  $3.00 \times 10^{-6}$ ,含矿岩石为黄铁矿化白云母石英片岩。该矿体的发现,证明了周家庄金矿床原 IV 号矿体隐伏北延,深部还存在着尚未控制的盲矿体。

## 4 找矿前景分析

泰安市周家庄地区绿岩带地层保存相对完好,规模较大。区内韧性剪切带、断裂破碎带发育,岩浆热液多期活动。已发现西南峪-柳杭金矿化带,已评价和开采周家庄小型金矿床。该区是绿岩型金矿的有利成矿区,地质、矿产、物化探、遥感、重砂等综合找矿信息显示该区具有寻找绿岩型金矿的良好前景。为进一步深化研究周家庄金矿床的赋存规律,扩大找矿效果,继 94 线发现金矿体后,又在其南部的 102 线和北部的 90 线、86 线再次进行了 EH-4 电磁测量,亦获得了良好的深部找矿信息。

102 勘探线测量的二维电阻率剖面图(见图 3)表明,在桩号 30~150 号之间、深度 100~260 m 范围出现了一个低阻异常区,其外围基本都表现为高阻,该低阻区有向深部延伸变大的趋势。相对低阻带的数值范围为 100~260  $\Omega \cdot m$ ,所反映异常形态特征为一向右倾斜中

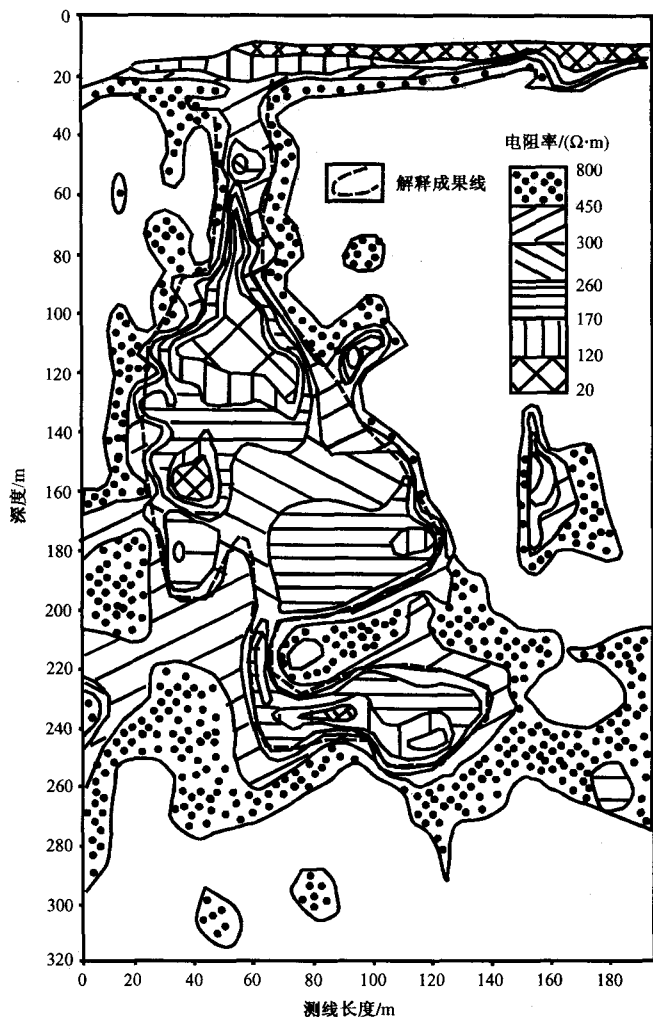


图 3 102 线电阻率断面及解释成果

Fig.3 Resistivity cross-section and explanation of Line 102

部肥大的囊状体,面积较大。根据该低阻异常的展布特征,绘出了地质解释成果曲线(见图3)。推测金矿化蚀变构造带赋存在该低阻异常带内,该低阻异常带向深部延伸有变宽趋势,为找矿前景较佳位置,应给予重视。

86勘探线测量结果表明,深度在25~400 m范围的岩层基本都表现为高阻。区域内低阻异常较弱,采用了放大异常的方法处理后,显现出低阻范围。该延展范围较102线和90线小,但也反映出找矿信息,有一定的找矿前景。

90勘探线测量结果表明,在深度80~220 m范围出现了一个相对低阻区,该低阻区向深部延伸并出现分叉,推测金矿化蚀变带有向深部延伸分支的趋势,找矿前景较佳。该低阻区延展范围较102线小。该低阻区域外,其余基本都表现为高阻。

根据测量结果,102线和90线所反映的低阻区向深部有延伸变大和分叉的趋势,其形成深度和展布趋势与经验证发现金矿体的94线的低阻异常特征相近似,根据EH-4测量反映的异常特征,推测在102线和90线金矿化蚀变带有向深部延伸并变宽的趋势。依据前人的成果资料和该次钻探及EH-4测量的结果,推测周家庄金矿区深部隐伏着一定规模的金矿体,具有良好的找矿前景。

为了进一步了解矿体在走向和倾向上的延展情况,查明矿体的形态规模,建议在94线已施工钻孔的东部布设钻孔,控制矿体在倾向上向深部的延伸。在南部的102线和北部90线布设钻孔,了解隐伏金矿体在纵向上的空间展布和富集情况,对该区的找矿远景和资源潜力做出客观评价,为进一步勘查和开发提供科学依据。

## 参 考 文 献

- [1] 曹国权. 鲁西早前寒武纪地质 [M]. 北京:地质出版社, 1996.  
CAO Guo-quan. Early pre-Cambrian geology in western Shandong [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [2] 张锡明, 张岳桥, 季玮. 山东鲁西地块断裂构造分布型式与中生代沉积-岩浆-构造演化序列 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (2): 163~172.  
ZHANG Xi-ming, ZHANG Yue-qiao, JI Wei. Fault distribution patterns of the Luxi block, Shandong, and Mesozoic sedimentary-magmatic-structural evolution sequence [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (2): 163~172.
- [3] 宋明春, 王沛成. 山东省区域地质 [M]. 济南:山东省地图出版社, 2003.  
SONG Ming-chun, WANG Pei-cheng. Regional Geology of Shandong Province [M]. Ji'nan: Shandong Maps Press, 2003.
- [4] 王虹, 霍光辉, 王宝君. 山东鲁西地区绿岩带型金矿床特征及成因浅析 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (4): 350~356.  
WNAG Hong, HUO Guang-hui, WANG Bao-jun. Characteristics and origin of greenstone belt type gold deposits in western Shandong [J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11 (4): 350~356.
- [5] 陈宣华; 马天林; 孙立倩, 等. 萨瓦亚尔顿金矿床磁组构特征及与金矿化关系 [J]. 地质力学学报, 2001, 7 (3): 208~216.  
CHEN Xuan-hua, MA Tian-lin, SUN Li-qian, et al. The characteristics of rock magnetic fabric and its relationship to gold mineralization in Sawayaerdun gold deposit, Xinjiang [J]. Journal of Geomechanics, 2001, 7 (3): 208~216.
- [6] 石应骏, 刘国栋, 吴广耀, 等. 大地电磁测深法教程 [M]. 北京:地震出版社, 1985.  
SHI Ying-jun, LIU Guo-dong, WU Guang-yao, et al. Magnetotelluric sounding method [M]. Beijing: Seismological Press, 1985.

- [8] 吴珍汉. 中、新生代全球岩石圈水平运动特点及其对中国大陆构造演化的意义 [J]. 地质力学学报, 1996, 2 (3): 14 ~ 16.

WU Zhen-han. Meso-Cenozoic global horizontal lithospheric movement and its significance to Chinese continental tectonic evolution [J]. Journal of Geomechanics, 1996, 2 (3): 14 ~ 16.

## DISCOVERY OF LATE MESOZOIC MAGMATIC ROCKS IN ORDOS ANCIENT CONTINENT NUCLEUS AND ITS GEOLOGICAL IMPLICATION

ZHENG Fan-shen<sup>1</sup>, KANG Yi-qing<sup>1</sup>, KANG Hong-zai<sup>3</sup>, ZHANG Feng-yu<sup>3</sup>, DI Yong-jun<sup>4</sup>

(1. Bureau of Geological Exploration and Mineral Development of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010020, China;

2. The First Institute of Geology and Mineralization Survey of Inner Mongolia, Hohhot 010010, China;

3. Inner Mongolia Mining Development Limited Liability Company, Hohhot 010020, China;

4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In the ancient and stable Ordos continent nucleus, we found deep-seated indicator minerals diamond in a preliminary exploration, and basaltic magmatic rocks in the source area of anomaly of indicative of the minerals. This deep source magma mainly occurs as weak eruption or explosion, or fissure injection. This discovery reveals a weak magmatic activity in the Ordos ancient continent nucleus during the Mesozoic when Hebei-Shandong-Liaoning ancient continent nucleus was activating. It can not only provide a window for research on continental lithosphere, but also prove to be of great significance to the exploration of diamond in this area.

**Key words:** Ordos; ancient continent nucleus; basaltic magma; volcano

(上接第 55 页)

## APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC MEASUREMENT TO GOLD DEPOSIT EXPLORATION IN GREENSCHIST BELT OF WESTERN SHANDONG

HUO Guang-hui<sup>1</sup>, WANG Hai-qin<sup>2</sup>, WANG Hong<sup>2</sup>, WANG Yu-he<sup>3</sup>

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Jinan 250013, China; 2. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan 250013, China; 3. Shandong Scientific University, Qingdao 266555, China)

**Abstract:** In the Zhoujiazhuang gold deposit, Tai'an of Shandong Province, a high-resolution electric profile and reliable geological information have been obtained by using electromagnetic measurement, and hidden gold ores confirmed by drilling proof. The measurements show that the low-resistivity belts under the background of high resistivity in deep part are favourable for formation of gold ore, and the distribution of low-resistance belts reveals the extension trend of gold mineralization.

**Key words:** greenschist belt; gold mine; electromagnetic measurement; EH-4 system; belt of low resistance rate