

文章编号 0258-7106(2007)01-0070-09

EH4 连续电导率成像仪在隐伏矿体定位 预测中的应用研究*

申萍, 沈远超, 刘铁兵, 李光明, 秦克章, 曾庆栋

(中国科学院矿产资源研究重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要 EH4 连续电导率成像仪是近几年美国生产的快速高效的数字化地球物理探测仪器, 其基本配置(10~100 kHz)的装置能测量地表以下1 000 m 深度范围内地质体的连续视电导率值, 作者对25个不同类型的金属矿床进行了隐伏矿定位预测, 取得了显著的效果。经钻孔验证后显示: ① 岩浆熔离型铜镍硫化物矿床, 很好地反映了基性-超基性杂岩体的形态和规模, 并识别了岩体的不同岩相, 得出矿化异常岩相呈盆状, 电阻率为130~300 $\Omega \cdot m$ 的结论; ② 斑岩型-浅成低温铜金矿床, 区分了隐伏斑岩和矿化蚀变带, 确认矿化异常在隐伏斑岩外围呈面状分布, 矿化异常体的电阻率小于100 $\Omega \cdot m$; ③ 韧性剪切带型金矿床, 明显区分了矿化蚀变构造带和围岩, 矿化异常形态呈脉状, 电阻率小于200 $\Omega \cdot m$ 。这3个矿床实例研究表明, EH4 连续电导率成像仪测量所得的二维视电阻率-深度剖面图能清晰地反映地下不同地质体的精细电阻率结构, 判读含矿构造带以及矿化异常在空间上的展布, 因此, EH4 连续电导率成像仪在隐伏矿定位预测方面将起到重要的作用。

关键词 地球物理; EH4 连续电导率成像仪; 矿化异常; 隐伏矿体; 铜镍矿床; 斑岩铜矿; 金矿床

中图分类号 P618.53 文献标识码 A

Application of stratagem EH4 system to prediction of hidden ore bodies

SHEN Ping, SHEN YuanChao, LIU TieBing, LI GuangMing, QIN KeZhang and ZENG QingDong
(Key Lab. of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract

The Stratagem EH4 system, made by Geometrics & EMI Electromagnetic Instruments, Inc., is a unique magnetotelluric system using both natural and man-made electromagnetic signals to obtain a continuous electrical sounding of the earth beneath the measurement site. It can be utilized to measure the electrical conductivity of the earth over the depth range from a few meters to more than one kilometer by 10 Hz~100 kHz. The authors have applied the Stratagem EH4 system to the exploration of various types of metallic deposits in China in search for new resources since 2001, with good results acquired.

The results obtained can be displayed by a 2D model map (resistivity-depth map). The 2D model map can clearly identify fine resistivity structures of different resistivity bodies. The EH-4 inversion tested by drilling has yielded some new results: ① the shape and size of the studied mafic-ultramafic intrusion are displayed, and different intrusion facies and magma channels are identified. This intrusion is 800 m wide and up to 450 m deep, assuming a funnel-shaped cross-section. The smaller resistivity (130~300 $\Omega \cdot m$) for the magmatic liquation Cu-Ni deposit, corresponding to mineralized altered lithofacies, shows a basin in section; ② a concealed porphyry

* 本文得到中国科学院创新工程项目(KZC3-SW-137) 国家科技攻关“305”项目(2001BA609A-07-08 和 2003BA612A-06-19) 的联合资助
第一作者简介 申萍, 女, 1964年生, 博士, 从事成矿预测理论与技术方面研究工作。E-mail: pshen@mail.iggcas.ac.cn
收稿日期 2006-07-31; 改回日期 2006-12-21。李岩编辑。

with high resistivity (higher than $300 \Omega \cdot m$) is detected. What is most important is that the mineralization anomaly resulting from the epithermal copper-gold deposits may be defined by the smaller resistivity (lower than $100 \Omega \cdot m$), with the anomaly assuming planar distribution; ③ the concealed gold ore body of the shear type gold deposit can be detected by the resistivity value of lower than $200 \Omega \cdot m$, with its shape being veinlike in section. The resistivity value of the wall rock is higher than $360 \Omega \cdot m$.

The three examples of the studied deposits show that the electrical conductivity imaging of EH4 data can not only clearly identify different resistivity anomalies but also reflect the shape and size of the buried mineralized body or the deep geological structure. Therefore, the Stratagem EH4 geophysical technique can play an important role in locating mineralization systems and defining drilling targets at depth, and this is surely most important in subsequent drill-site positioning and potential resource prediction.

Key words: geophysics, Stratagem EH4 system, mineralization anomaly, hidden ore body, Cu-Ni deposit, porphyry Cu deposit, gold deposit

目前国家战略资源需求加大,由于浅表矿床已基本被发现,故寻找深部隐伏矿床已成为当务之急,地球物理方法是实现这一目标的重要手段。20世纪90年代以来,地球物理测量技术有了很大的进展,浅层地震、MT、AMT和CSAMT等在追踪区域断裂、控矿断裂及岩浆岩体方面取得了显著的效果(Nobuo et al., 2001; Wu et al., 2002; Liu et al., 2003; 梁光河等, 2007)。2001年初,笔者引进了由GEO-METRICS和EMI公司联合生产的快速高效的数码化EH4连续电导率成像仪(简称为EH4),前人已将该仪器成功地用于地下水、油气田、煤矿、铀矿等的勘察中(伍岳, 1999; 刘鸿泉等, 2002),但在隐伏金属矿定位预测方面应用较少。

EH4系统是利用人工电磁场和天然电磁场测量大地电阻率的一种频率域与时间域相结合的电磁法,它是MT和CSAMT两者的有机结合体,其性能优于两者,尤其是该仪器采用人工电磁场($1 \sim 100$ kHz)与天然电磁场($10 \sim 1$ kHz)相结合的工作方式,接收频点丰富(约60个)而使其分辨率明显提高,可获得低频及高频探测均为高分辨率的视电阻率-深度图像,实时数据处理和显示,现场给出连续剖面的拟二维反演结果,基本配置($10 \sim 100$ kHz)勘探深度大(大于1000 m),数据处理及地质解译较以往同类方法简单而明确。仪器较轻(15 kg),便于野外实际操作。

迄今为止,笔者采用EH4对横跨中国东西的9种不同成因类型的25个矿床进行了研究,具体包括:①韧性剪切带型金矿床(额尔齐斯构造带、甘肃北山成矿带、东天山康古尔成矿带);②火山晚期热液型金矿床(北疆萨吾尔金矿带、西准哈图金矿带);③斑岩型铜金矿床(西准包谷图铜金矿带);④浅成

低温-斑岩铜金矿床(东天山卡拉塔格铜金矿带);⑤岩浆熔离铜-镍矿床(东天山超基性-基性杂岩体铜镍硫化物成矿带);⑥隐爆角砾岩型金矿床(甘肃北山成矿带);⑦钒矿(甘肃敦煌平台山钒矿带);⑧热液型铅锌银多金属矿床(内蒙赤峰多金属成矿带);⑨金钨矿床(湖南雪峰古陆金钨成矿带)。这些矿床为新疆的多拉纳萨依金矿床、托库孜巴依金矿床、萨尔布拉克金矿床、扎克特金矿床、布尔克斯岱金矿床、阔尔真阔腊金矿床、罕哲尔能金矿床、哈图齐II金矿床、包谷图斑岩铜金矿、苏吾勒斑岩铜金矿、康古尔金矿床、卡拉塔格红山金铜矿、卡拉塔格梅岭铜金矿、镜儿泉铜镍矿、葫芦东铜镍矿,甘肃的南金山金矿、小西弓金矿、乌龙泉金矿、460金矿、1780金矿、平台山钒矿,内蒙古的红花沟金矿、雅马吐铅锌银多金属矿,胶东的金牛山金矿和湖南的李家冲金钨矿床。

钻孔验证后效果显著,表明该方法能直观地反映矿化异常在剖面上的形态、规模、矿化强度等,是隐伏矿定位预测的重要手段。

1 典型矿床研究实例

1.1 岩浆熔离型铜镍硫化物矿床——以东天山镜儿泉葫芦铜镍硫化物矿床为例

东天山黄山—镜儿泉铜镍成矿带是中国继金川、喀拉通克铜镍矿床之后又一重要的铜镍资源基地,镜儿泉铜镍硫化物矿床位于黄山—镜儿泉铜镍成矿带东部。矿区出露地层是中石炭统梧桐窝子组中酸性-中基性火山岩、火山碎屑岩夹变粒岩、浅粒岩、片岩等,矿区断裂构造发育,NEE向镜儿泉—咸水泉断裂控制了基性-超基性岩体的形成和展布,胡

芦基性-超基性杂岩体是矿区出露的主要岩体。

在前人研究的基础上,笔者对葫芦岩体地表、坑道和钻孔岩芯进行了系统的研究,并进行了主干地质剖面测量和矿区 1:2 000 地质图修编(图 1)沈远超等近期提出了新的认识,认为葫芦岩体不是单一岩体,而是由东、西 2 个岩体组成的复式岩体,平面上呈东小西大的不规则葫芦状。该岩体具有明显的岩相分带,主要由橄榄岩相、辉石岩相、辉长岩相和闪长岩相等组成,其中橄榄岩相位于葫芦岩体中心,辉石岩相在地表分布于橄榄岩相的外围,构成葫芦岩体的东西两环,钻探资料表明辉石岩相产于橄榄岩相之下,是主要的赋矿岩石,辉长岩相在地表分布于辉石岩相的外围,钻探中见有辉长岩穿插于辉石岩相之中,一般位于辉石岩相之下;闪长岩相产于辉长岩相外围或切穿上述各岩相,分布于矿区的北部和西南部。

矿区圈出 I、II、III、IV 号矿体,III 号矿体规模较大,主要为盲矿体,呈似层状产于辉石岩相的底部,

具有上部贫矿下部富矿的垂直分带特点,以贫矿体为主,矿体与围岩之间呈渐变关系。稀疏浸染状矿石构成贫矿体,稠密浸染状和细脉浸染状矿石构成富矿体。根据矿床和岩体地质特征分析,矿床形成与基性-超基性岩浆作用关系密切,属岩浆熔离型铜镍硫化物矿床,具有特殊的成矿规律,即矿床分布于葫芦岩体中,矿体呈似层状定位于辉石岩相底部。因此,对矿区隐伏矿进行预测,首先要确定葫芦岩体的形态、产状和规模,其次确定容矿岩相产出的范围,在此基础上对其中赋存的矿体进行定位预测。

基性-超基性岩体的岩石具有三高一低(高重力、高磁异常、高激化率、低电阻率)的基本特征。42 个薄片鉴定表明,镜儿泉葫芦基性-超基性岩体含有较高的铁镁矿物,应具有较低电阻率值,且其中赋存金属硫化物矿体,因此,整个岩体具有低电阻率的特点。笔者在矿区布置了 6 条垂直岩体走向和 1 条平行岩体走向的 EH4 剖面,测量选择 1(10~1 000 Hz)及 7(1.5~99kHz)频段,信号弱的观测点叠加了

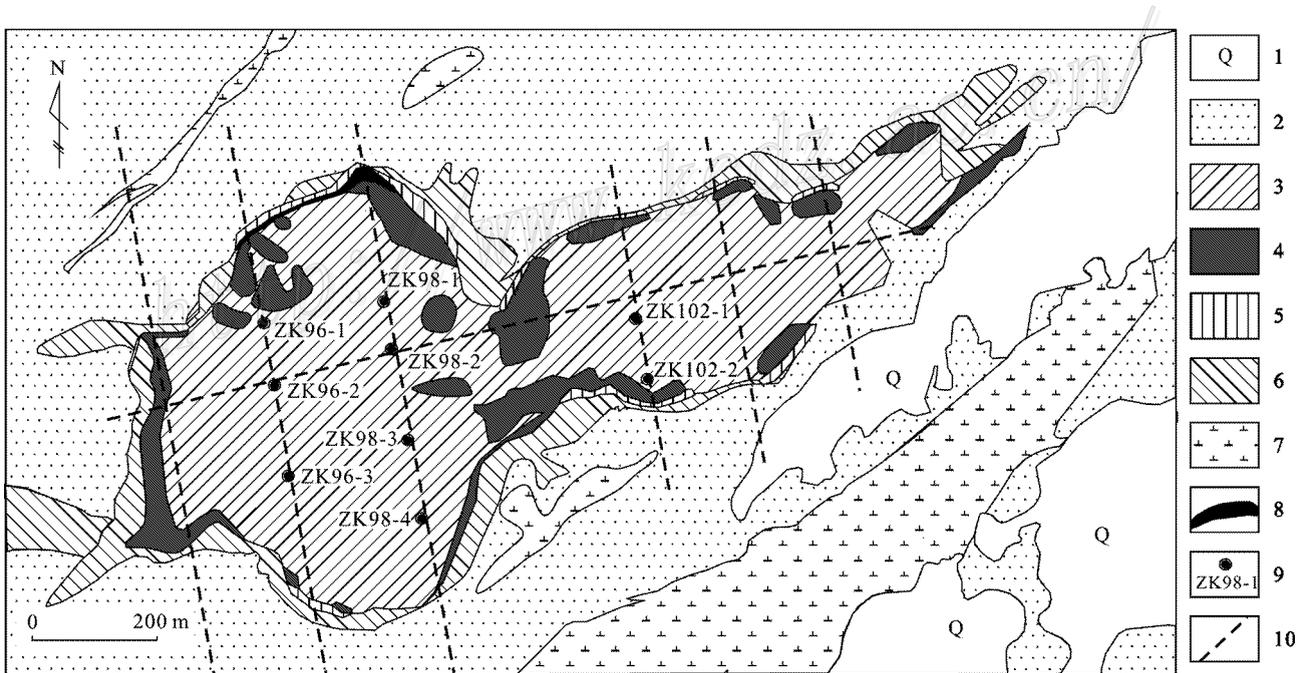


图 1 镜儿泉葫芦铜镍矿床地质图(据新疆地质六队 1991 年资料^①修编)

1—第四纪沉积物 2—中石炭统梧桐窝子组 3—橄榄岩相 4—辉石岩相 5—辉长闪长岩相 6—辉长闪长岩相 7—斜长花岗岩 8—矿体; 9—钻孔及编号; 10—EH4 测线位置

Fig. 1 Geological map of the Jingerquan Cu-Ni deposit (modified after the No. 6 Geological Party of Xinjiang, 1991) 1—Quaternary sediments; 2—Volcanic rock and volcanoclastic rock of Middle Carboniferous Wutongwozi Formation; 3—Peridotite facies; 4—Pyroxenite facies; 5—Gabbro facies; 6—Gabbro diorite facies; 7—Plagiogranite facies; 8—Ore body; 9—Drilling hole and its serial number; 10—Location of EH4 section

① 新疆第六地质队. 1991. 新疆哈密镜儿泉葫芦铜镍矿区普查地质报告.

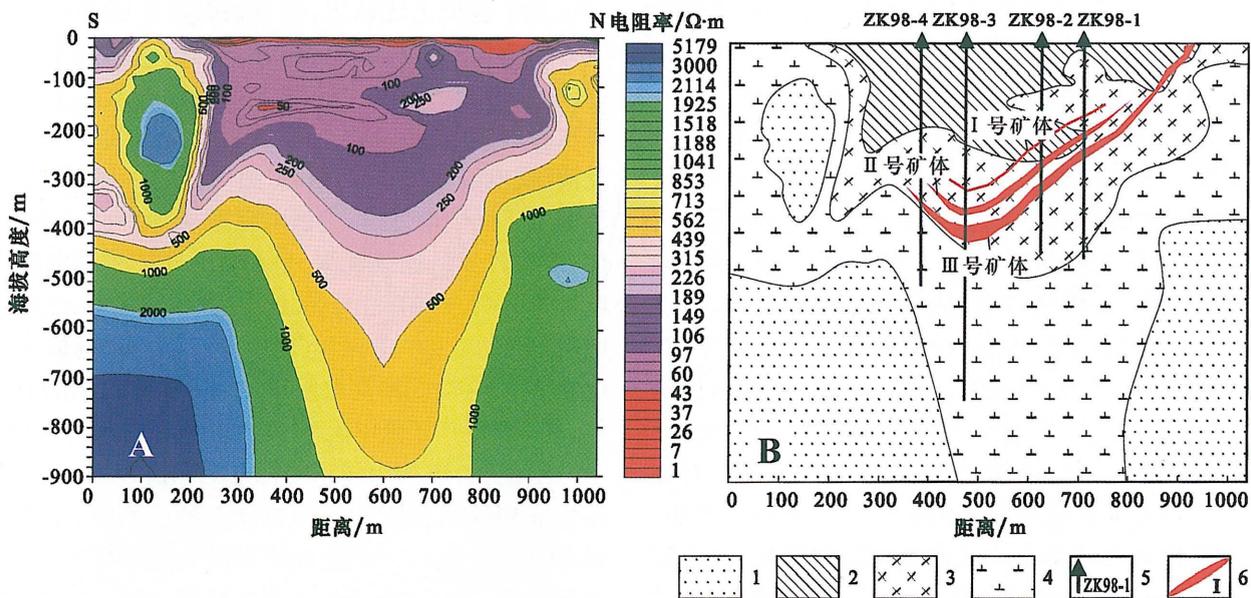


图2 镜儿泉铜镍矿床98勘探线EH4测量电阻率-深度剖面图(A)及地质解译图(B)

1—中石炭统梧桐窝子组; 2—橄榄岩相; 3—辉石岩相; 4—辉长闪长岩相; 5—钻孔及编号; 6—矿体及编号

Fig. 2 2D Resistivity model of the EH4 conductivity image system data (A) and geological explanation (B) along No. 98 exploration line in the Jingerquan Cu-Ni deposit

1—Volcanic rock and volcaniclastic rock of Middle Carboniferous Wutongwozi Formation; 2—Peridotite facies; 3—Pyroxenite facies; 4—Gabbro-norite diorite facies; 5—Drilling hole and its serial number; 6—Ore bodies and its serial number

4 (300~3 000 Hz) 频段, 甚至几个频段多次叠加, 电偶极距为 10 m, 为了现场源的卡尼亚条件, 将发射机放在距接收机大约 3~5 个趋肤深度远 (250~300 m) 的位置上, 测量 EX 和 HY, 随着频段改变, 获得每个频点的卡尼亚电阻率值。

对测量结果进行二维反演, 得到了视电阻率-深度剖面图 (图 2), 图中显示了 3 种不同的电性体: ①低电阻率 (1~300 Ω·m) 电性体, 剖面上低电阻率电性体呈形态不规则的盆状产出, 规模较大, 宽约 800 m, 延深由地表向下 400 m。根据电阻率值大小又可分为低电阻率 (1~130 Ω·m) 电性体和 中低电阻率 (100~300 Ω·m) 电性体, 后者位于前者的周围; ②中等电阻率 (500~1 000 Ω·m) 电性体, 呈不规则的漏斗状产出于中低电阻率 (<300~500 Ω·m) 电性体的外围; ③高电阻率 (1 000~5 179 Ω·m) 电性体, 分布广泛, 主要分布于中高电阻率 (500~5 179 Ω·m) 电性体的外围。

薄片鉴定研究表明葫芦岩体中橄榄岩、辉石岩、辉长岩中的铁镁矿物含量依次降低, 相应地, 岩石中的电阻率依次增高, 因此, 整个岩体具有较低的电阻率值, 其中橄榄岩具有低电阻率值, 辉石岩具有中低电阻率值, 而辉长岩和闪长岩具有中等电阻率值。

在此基础上, 结合本次测量的地质剖面岩性变化规律和 98 勘探线剖面图分析, 2D 剖面图中地下 400 m 以上存在的呈盆状的中低电阻率异常, 应是葫芦岩体产出的部位, 其中低电阻率 (1~130 Ω·m) 异常与橄榄岩相对应, 中低电阻率 (130~300 Ω·m) 异常与辉石岩相对应, 中等电阻率 (500~1 000 Ω·m) 电性体在测区中分布于低电阻率异常 (1~300 Ω·m) 的外围, 呈不规则的漏斗状, 应为辉长岩和闪长岩的产出部位, 其漏斗状的形态预示着可能存在岩浆上升的通道。高电阻率 (1 041~5 179 Ω·m) 电性体, 分布于盆状和不规则的漏斗状异常体外围, 应为梧桐窝子组地层。

上述结果清楚地区分了岩体和围岩, 并划分出了岩体的不同相带, 同时大致区分出了含矿的辉石岩相, 由于本区矿体主要为贫矿体, 且矿体与围岩之间界限不清, 因此, 辉石岩和矿体之间的电阻率异常界限不十分明显。笔者推断, 在岩体较低电阻率背景值中出现的中低电阻率异常区 (130~300 Ω·m) 是本区的矿化异常区, 含矿岩相的电阻率为 130~300 Ω·m, 围岩电阻率大于 1 000 Ω·m。

1.2 斑岩-浅成低温铜金矿床——以东天山卡拉塔格铜金矿带梅岭矿区为例

秦克章等新近发现的卡拉塔格(红山)铜金矿化带位于土屋—延东斑岩成矿带北60余公里处(秦克章等,2001),北京矿产地质研究院在红山铜金矿区取得勘查进展,并在其东侧新发现梅岭铜金矿区。梅岭矿区出露的地层是中泥盆统大南湖组安山岩、英安(玢)岩和凝灰岩等,次火山岩主要为流纹斑岩、石英斑岩、闪长玢岩等(图3),发生了广泛的蚀变。矿区浅表铜、金矿化较强,蚀变矿物组合复杂,黄铁矿化发育,以氧化矿为主,深部以黄铁矿-黄铜矿-石英细脉为主。含矿围岩为火山角砾岩、石英闪长玢岩和安山岩等,围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、叶腊石化、绿泥石化、碳酸盐化(缪宇等,2007)。对梅岭矿区浅表金矿化和深部铜矿化的综合研究表明,本区矿化具有浅部为浅成低温热液型金矿化、深部为斑岩型铜矿化的特点,具有形成中大型斑岩-浅成低温热液型铜金矿的有利条件。

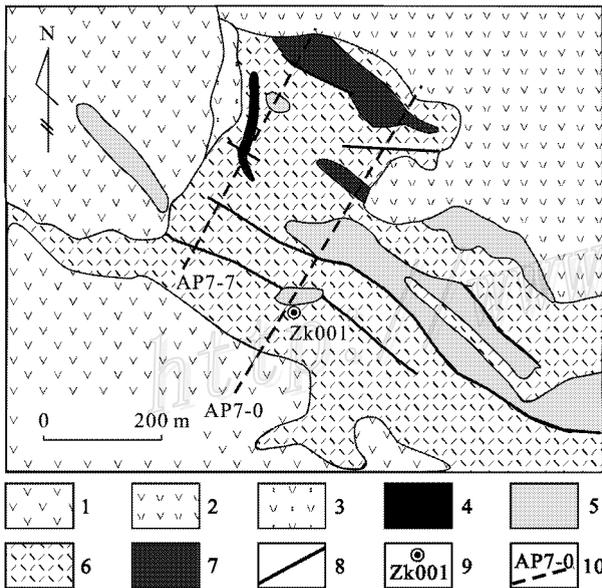


图3 梅岭矿区地质简图(方同辉,2005^①)及EH4测线位置
1—中泥盆统大南湖组安山岩;2—中泥盆统大南湖组英安岩;3—中泥盆统大南湖组凝灰岩;4—中泥盆统大南湖组火山角砾岩;5—闪长玢岩;6—流纹斑岩;7—石英斑岩;8—断层;9—钻孔及编号;10—EH4测线位置及编号

Fig. 3 Geological map of the Meiling Cu-Au deposit (after Beijing Institute of Geology for Mineral Resources) and locations of EH4 measurement lines

1—Andesite of Middle Devonian Dananhu Formation; 2—Dacite of Middle Devonian Dananhu Formation; 3—Tuff of Middle Devonian Dananhu Formation; 4—Volcanic breccia of Middle Devonian Dananhu Formation; 5—Diorite porphyrite; 6—Rhyolite porphyry; 7—Quartz porphyry; 8—Fault; 9—Drilling hole and its serial number; 10—Location and serial number of EH4 section

为了验证上述认识,笔者在梅岭矿区垂直构造线方向布置了2条深部地球物理测线,测量选择1、7频段,信号弱的观测点叠加了4频段甚至几个频段多次叠加,电偶极距为20m。对测量结果进行二维反演,视电阻率-深度剖面图(图4)反映了地下存在3种截然不同的电性体:①低电阻率($<100 \Omega \cdot m$)电性体,规模较大且连续延深,呈面状分布于中高电阻率电性体两侧,宽50~100m,延深达地下700m;②中等电阻率($100 \sim 300 \Omega \cdot m$)电性体,广泛分布,构成本区电性体的主体;③中高电阻率($500 \sim 5179 \Omega \cdot m$)电性体,呈一筒状产于低电阻率($<100 \Omega \cdot m$)电性体之中。

根据2D剖面中显示的视电阻率值大小,结合本区地表岩体和围岩特点综合分析加以判断,中等电阻率($100 \sim 300 \Omega \cdot m$)电性体可能为地层即安山岩、英安岩等,呈筒状分布的中高电阻率($500 \sim 5179 \Omega \cdot m$)电性体可能是隐伏的石英斑岩、闪长玢岩体。将低电阻率($<100 \Omega \cdot m$)电性体与地表已知矿化体进行比较发现:①低电阻率异常与地表已知矿化蚀变带出现的位置相吻合;②对应地表上出露的矿(化),在地下皆有低电阻率异常出现,可以认为,低电阻率异常反映的可能是矿化异常。

2004年验证钻孔ZK001(孔深378m)发现了80余米厚的细脉-浸染状铜矿体($w_{Cu} 0.7\% \sim 0.9\%$),钻孔资料与地球物理测量结果对比表明低电阻率异常($<100 \Omega \cdot m$)是矿致异常,已发现的隐伏低阻体是矿化体,隐伏斑岩的电阻率为 $500 \sim 5179 \Omega \cdot m$,围岩为中低电阻率($100 \sim 300 \Omega \cdot m$)。这一结果证明了EH4测量能清晰地反映出深部电阻率的精细结构,测量的低阻区的确是矿化较好的地段。此外,EH4测量结果在剖面300~500m处深部发现的2个板状低阻体延伸可达700m,可以认为是矿致异常,具有重要的验证价值。

1.3 韧性剪切带型金矿床——以甘肃北山成矿带460金矿床为例

甘肃北山成矿带位于塔里木与哈萨克斯坦板块的对接部位,成矿带内岩浆活动强烈,以石英闪长岩体为代表,石英闪长岩体规模较大,东西长约10km,南北宽约1km,在岩体中部宽度变小,整个岩体呈鞋底状,故将其称为“鞋底岩体”。该岩体中金矿床广泛发育,460金矿床位于该岩体中部。前人对460金矿床研究较少,深部资源不清,仅在地表50m

① 方同辉. 2005. 《国土资源大调查项目-新疆哈密卡拉塔拉地区铜金矿找矿评价》报告. 北京矿产地质研究院.

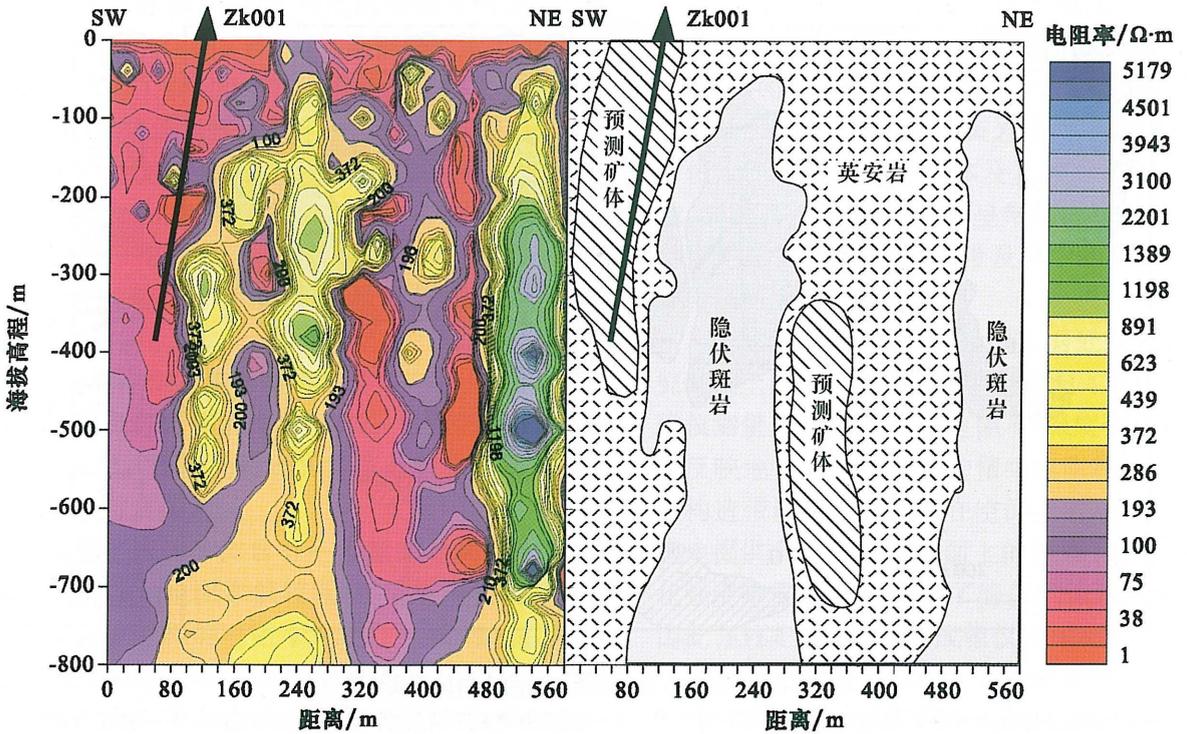


图4 卡拉塔格铜金矿化带梅岭矿区7勘探线EH4视电阻率-深度剖面图(A)及地质解译图(B)

Fig. 4 2D Resistivity model of the EH4 conductivity image system data (A) and geological explanation (B) along No. 7 exploration line in the Meiling copper-gold deposit of the Kalatage copper-gold orebelt

以上的范围内进行小规模民采。2003年笔者对鞋底岩体及其中赋存的金矿床进行了成矿预测研究，认为叠加于鞋底岩体之上的韧脆性构造是主要的控矿因素，该控矿构造向深部仍有一定的延深，深部可能存在盲矿体。

矿区出露地层为下石炭统白山组上亚组，容矿岩石为绢云绿泥石英片岩和华力西中期似斑状石英闪长岩。控矿构造为北西向西断裂构造，断裂带沿走向具有膨大缩小的现象。地表含金石英脉成群集中分布(图5)，走向向北西，倾向北，倾角较陡(60~80°)，在走向和倾向上具有膨大缩小、尖灭再现和尖灭侧现的特点。矿化类型以石英脉型为主。石英脉型矿石中金属矿物含量较少(1%~3%)，非金属矿物主要为石英，品位较高，最高可达138 g/t，平均品位大于10 g/t。

为了验证控矿构造向深部仍有一定的延深和深部可能存在盲矿体的认识，笔者在矿区垂直构造线方向布置了7条深部地球物理测线，电偶极距为10 m。视电阻率-深度剖面图(图6)反映了地下存在2种不同的电性体：①低电阻率(200 Ω·m)电性体，呈脉状、不规则透镜状分布于中高电阻率电性体之中，最大延深可达300 m；②中高等电阻率(> 300 Ω·m)电性体，分布广泛，构成本区电性体的主体。

根据2D剖面中显示的电阻率值大小，结合本区地表岩体和围岩产状特点综合分析判断，中高电阻率(> 300 Ω·m)电性体可能为本区容矿围岩(地层和石英闪长岩)。将低电阻率(< 200 Ω·m)电性体与地表已知矿化体和钻孔资料进行比较发现：①在地表已知矿化蚀变带有低电阻率异常出现；②地表上出露的矿体地下皆有异常。可以认为，低电导率异常反映的可能是矿化异常。460矿床的矿化下限可能由原来已知的地下50 m延深到地下300 m，扩大了矿床的找矿空间。目前，460金矿区正在依据笔者推断的矿致异常进行深部开采。

2 讨论和结论

2.1 不同地质体具有不同电阻率值

3个不同矿种、不同成因类型的矿床均是由矿化蚀变带和围岩(包括地层、岩体和侵入脉岩)等不同地质体组成的。EH4连续电导率法较其他类似方法更精确地反映了不同电阻率之间的差异。矿化蚀变带(包括矿体)显示低电阻率电性体，而围岩(如侵入岩脉、基性-超基性杂岩体、火山岩和沉积岩等为中

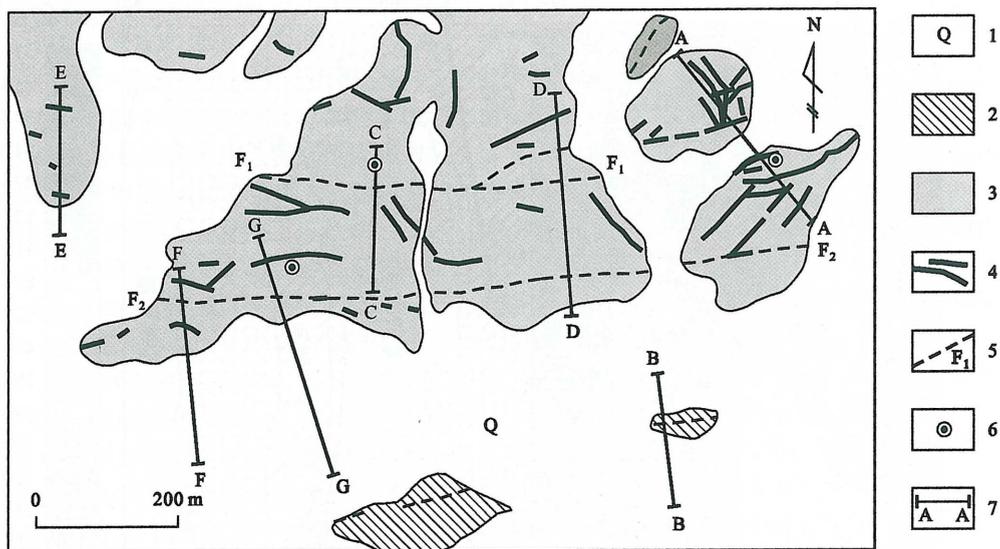


图5 甘肃北山460金矿区地质简图及EH4测线位置

1—第四纪沉积物；2—下石炭统白山组绿泥石英片岩；3—海西中期石英闪长岩；4—含金石英脉；5—断层及编号；
6—钻孔；7—EH4测线位置及编号

Fig. 5 Geological map of No. 460 gold deposit and locations of EH4 measurement lines

1—Quaternary sediments; 2—Chlorite quartz schist of Lower Carboniferous Baishan Formation; 3—Middle Hercynian quartz diorite;
4—Quartz vein (ore body); 5—Fault and its serial number; 6—Drilling hole; 7—Location of EH4 section and its serial number

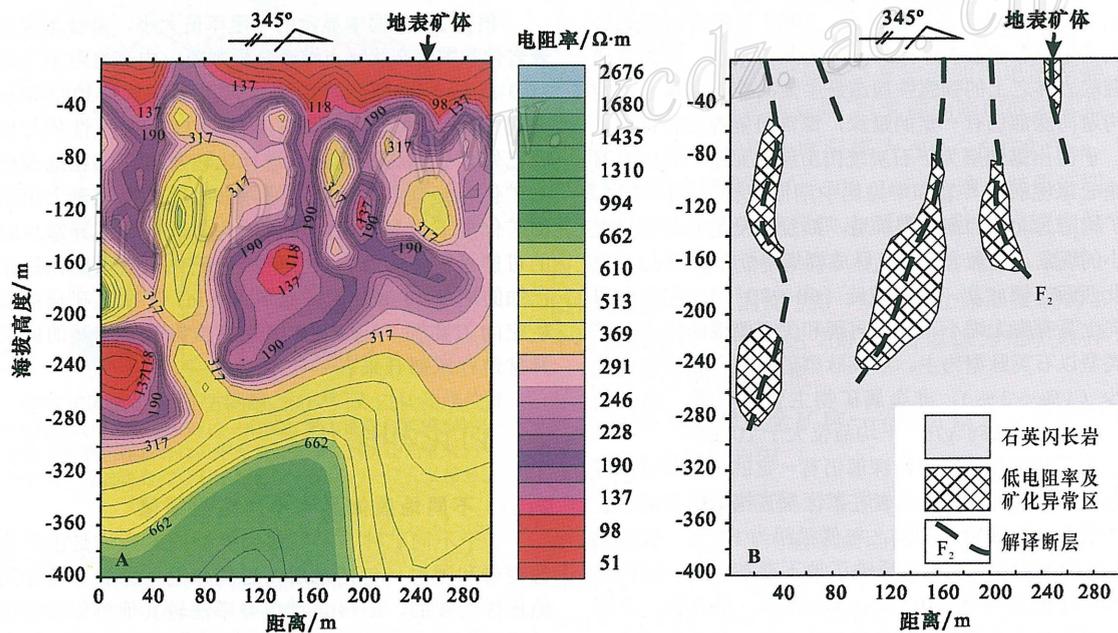


图6 460金矿区GG勘探线EH4测量视电阻率-深度剖面图(A)及地质解释图(B)

Fig. 6 2D resistivity model of the EH4 conductivity image system data (A) and geological explanation (B) along GG exploration line in No. 460 gold deposit

高电阻率电性体,两者之间电阻率差异明显。岩浆熔离型铜镍硫化物矿床(镜儿泉铜镍矿床)含矿岩相的电阻率为 $130 \sim 300 \Omega \cdot m$,围岩电阻率大于 $500 \Omega \cdot m$;斑岩-浅成低温铜金矿床(梅岭铜金矿床)低电阻率异常 ($< 100 \Omega \cdot m$)是矿致异常,隐伏斑岩的电阻率大于 $500 \Omega \cdot m$,围岩的电阻率为中等电阻率 ($100 \sim 300 \Omega \cdot m$)。韧性剪切带型金矿床(460 金矿床)含金成矿带的电阻率小于 $200 \Omega \cdot m$,矿体围岩的电阻率大于 $300 \Omega \cdot m$ 。

2.2 决定电阻率异常体的因素

电阻率异常值由代表性矿石(或岩石)的电阻率和在 2D 模式图中的特殊异常值范围和已知矿体之间的复合程度决定。

金属矿床的矿体含有一定量的金属硫化物,引起矿致异常的电阻率值较低,岩浆熔离型铜镍硫化物矿床含矿岩相的电阻率为 $130 \sim 300 \Omega \cdot m$,斑岩-浅成低温铜金矿床、矿体的电阻率为 $100 \Omega \cdot m$,韧性剪切带型金矿床含金成矿带的电阻率小于 $200 \Omega \cdot m$,显示了所研究矿床的电阻率范围,表明矿(化)体异常的电阻率值较低。

矿化异常可以用已知矿体异常值与发现的异常值进行对比而确定。如已知浅部矿体所在位置,就可以确定浅部已知矿体对应的电阻率值异常范围,然后根据浅部异常体在倾向上的延深情况,即可判断深部电阻率值异常存在的范围,进一步发现隐伏矿体。

应当注意,地球物理异常分布范围与矿带范围相对应,但异常范围比矿体范围大,地球物理异常宽度与矿体本身宽度比值大约是 $10:1 \sim 3:1$ 。

2.3 地质解译的依据

前已述及,测量的矿体与围岩之间存在电性差异,这是地质解译的基本依据。此外,矿床成因也是地质解译的重要依据。地质解译的基础是准确地建立矿床地质模型。不同类型的矿床,控矿因素和矿化类型不同,则矿床成因模型不同。如岩浆熔离型铜镍硫化物矿床的形成受基性-超基性岩浆熔离作用的控制,矿体产于岩体不同岩相的底部,因此,所建立的矿床成因模型为盆状产出的模型;斑岩-浅成低温铜金矿床矿化蚀变的展布受到隐伏的斑岩体及区域断裂构造的控制,矿化蚀变应围绕岩体呈筒状产出,矿床成因模型为筒状产出的模型;韧性剪切带型金矿床的形成受韧性剪切筒断裂构造的控制,因此,矿床成因模型为单向延长的脉状。

不同类型的矿床成矿规律不同,因此,地质解译的形态依据不同。对于岩浆熔离型铜镍硫化物矿床,矿体的分布规律是矿体位于含矿岩相的底部,呈近似的凹面状形态;对于斑岩-浅成低温铜金矿床,矿化蚀变带分布于斑岩体及其周围的构造蚀变带内,剖面上,矿体围绕岩体呈带状;对于韧性剪切带型金矿床,矿化蚀变构造带及其中的矿体在电阻率异常剖面上呈脉状。

上述方法试验表明,通过数据处理及在地质研究基础上的地球物理数据解译,EH-4 连续电导率成像仪测量所得的二维视电阻率-深度剖面图能清晰地反映地下不同地质体的精细电阻率结构,判读含矿构造带以及矿化异常在空间上的展布,并能够直观地提供矿化异常在剖面上的形态、规模、延深、矿化强度等重要信息,保证了隐伏矿体预测的准确性。因此,EH-4 连续电导率成像仪在探测矿化系统和识别深部矿化靶区方面将起到重要的作用,是确定钻孔孔位和隐伏矿定位预测的关键。

References

- Liang G H, Xu X W, Xiao Q B, Cai X P, Qin K Z, Zhang B L, San J Z, Hui W D and Peng X M. 2007. Application of magnetotelluric method to Cu-Ni ore exploration: A case study of Tulargen Cu-Ni deposit in Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 26(1):120~127 (in Chinese with English abstract).
- Liu H Q, Sun X K, Zheng H X, Chen G, Zheng G Y, Xu N Z and Cao B G. 2002. Applied research on electric magnetic image system in coal mine[J]. *Coal Sci. & Technol.*, 30(10):39~43 (in Chinese with English abstract).
- Liu L M and Ping S L. 2003. Prediction of hidden ore bodies by synthesis of geological, geophysical and geochemical information based on dynamic model in Fenghuangshan ore field, Tongling district, China[J]. *Geochem. Explor.*, 81:18~98.
- Miao Y, Qin K Z, Xu Y X, Fang T H, Ding K S and Xu X W. 2007. Geological and fluid inclusion characteristics of Meiling Cu-Au deposit in Kalatage ore belt, eastern Xinjiang, in comparison with typical Zijinshan-style HS-epithermal deposit[J]. *Mineral Deposits*, 26(1):79~88 (in Chinese with English abstract).
- Nobuo M, Hiromitsu O, Yasuo O, Shinichi T, Hideyuki S, Mitsuru U and Yasunori N. 2001. Magma prospecting in Usu volcano, Hokkaido, Japan, using magnetotelluric soundings[J]. *Volcanol. Geotherm. Res.*, 109:263~277.
- Qin K Z, Fang T H and Wang S L. 2001. Discovery and ore-forming potential estimation of Kalatage copper-gold deposit in the Paleozoic stratum occurred in the southern margin of the Tu-Ha basin[J]. *Geol. in China*, 28(3):16~23 (in Chinese with English abstract).

- Wu X H, Ian J F and Alan G J. 2002. Magnetotelluric response and geoelectric structure of the Great Slave Lake shear zone [J]. Earth & Planet. Sci. Lett. , 196 : 35~50.
- Wu Y. 1999. The application of EH4 electromagnetic image system to ground water exploration in sandstone areas [J]. Geophy. & Geochem. Explor. , 23(5): 335~346 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 梁光河,徐兴旺,肖骑彬,蔡新平,秦克章,张宝林,三金柱,惠卫东,彭晓明. 2007. 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, 26 (1): 120~127.

刘鸿泉,孙希奎,张华兴. 2002. 电磁成像系统在煤矿中的应用研究 [J]. 煤炭科学技术, 30(10): 39~43.

缪宇,秦克章,许英霞,方同辉,丁奎首,徐兴旺. 2007. 东疆卡拉塔格梅岭铜(金)矿床地质和流体包裹体特征及其与紫金山式铜金矿床的对比 [J]. 矿床地质, 26(1): 79~88.

秦克章,方同辉,王书来. 2001. 吐哈盆地南缘古生代隆起带——卡拉塔格铜金矿化区的发现及其成矿潜力 [J]. 中国地质, 28(3): 16~23.

伍岳. 1999. EH4 电磁成像系统在砂岩地区勘查地下水的应用研究 [J]. 物探与化探, 23(5): 335~346.

<http://www.kcdz.ac.cn/>