技术·方法

CSAMT 法在辽西康杖子区深部探矿中的应用

于泽新[1,2], 敖颖锋[3], 吕景增[2], 龙　军[1], 贾广宁[4], 王海富[3], 张　磊[3]

(1. 朝阳金达集团实业有限公司 朝阳　122000; 2. 朝阳新华钼业有限责任公司 朝阳　122000;
3. 辽宁省有色地质局一 0 九队　朝阳　122000; 4. 辽宁省有色地质局一 0 五队　葫芦岛　125000)

[摘　要] 可控源音频大地电磁法(CSAMT)具有探测深度大、横向分辨率高、抗干扰能力强的特点,在深部找矿勘探中有着重要的指导意义。肖家营子铜钼矿床是辽西地区一个大型矽卡岩型金属矿床,大部分矿体是隐伏矿体,矿区外围的康杖子区与本区有相似的成矿地质环境,成矿地质条件优越. 矿体与围岩电性差异明显,通过应用 CSAMT,矿体具有低电阻特点,根据成果推断解释,对深部有利成矿部位进行了钻探验证,取得了理想的探矿效果,在矿区外围取得第二深度空间找矿重大突破。

[关键词] 可控源音频大地电磁法　深部找矿　探矿效果　康杖子　辽西

[中图分类号] P618　[文献标识码] A　[文章编号] 0495-5331(2007)02-0600-06

Yu Ze-xin, Ao Ying-feng, Lv Jing-zeng, Long Jun, Jia Guang-ning, Wang Hai-fu, Zhang Lei. The application of CSAMT in prospecting in dept in Kangzhangzi deposit in Western Liaoning province[J]. Geology and Exploration, 2009, 45(5): 600-605.

0　前言

朝阳新华钼业有限责任公司肖家营子铜钼矿床经过 20 多年的开采,保有资源储量逐年减少,在矿区深部及外围发现新矿体,是实现企业可持续发展、稳定矿山队伍的最好办法。位于肖家营子矿区外围东南 2km 的康杖子区属朝阳县东大道乡管辖,矿区中心地理坐标:东经 119°54′00″,北纬 41°31′45″。该区成矿地质条件优越,多年来前人曾做过包括钻探在内的多种手段的找矿工作[1-4],但因勘查深度不够,深部探矿没有大的突破。而探测深度的加大及生产矿区人文干扰的加剧,使传统的测深激电装置已经不能满足深部探测工作要求。

在新华钼业外围康杖子区应用 CSAMT 法成功指导钻探施工,显示了 CSAMT 法在矿区外围深部找矿的有效性, 为新一轮地质探矿提供技术方法支持[5-19]。

1　地质和地球物理特征

1.1　地层

区内出露地层主要为蓟县系雾迷山组中部岩段(Jxw2),由下到上分为三个亚段:

第一亚段:出露在测区北东部,以厚层白云岩为主,层理不发育,岩层走向 315°~335°,倾向南西,倾角 23°~27°。

第二亚段:分布在测区中部,以中厚层含燧石条带白云岩为主,夹薄层燧石条带、微层理和角砾状白云岩扁豆体。岩层走向 300°~355°,倾向南西,倾角 23°~40°。该岩段为多金属矿(化)体发育的主要围岩。

第三亚段: 分布在测区的中部及西南部,主要为中厚层白云岩,含少量燧石条带。岩层走向 320°~340°,倾向南西,倾角 20°~33°。该岩段内只发育有少部分矿(化)体。

1.2　构造

肖家营子—康杖子区位于中三家断裂东侧,出露地层为雾迷山组燧石条带灰质白云岩,地表平行和垂直中三家断裂构造发育,组成了纵横近似等距断裂构造格架。构造交叉处产出肖家营子、康杖子、干巴井、肖南等中-酸性岩株(体)、火山机构且脉岩发育。闪长岩与铜钼成矿关系密切;粗面斑岩、安

[收稿日期] 2008-12-12;[修订日期] 2009-07-01。[责任编辑] 孙　赫。
[第一作者简介] 于泽新(1968 年—　),男,2007 年结业于吉林大学,研究生学历,高级地质工程师,现从事地质勘查、矿山地质工作。

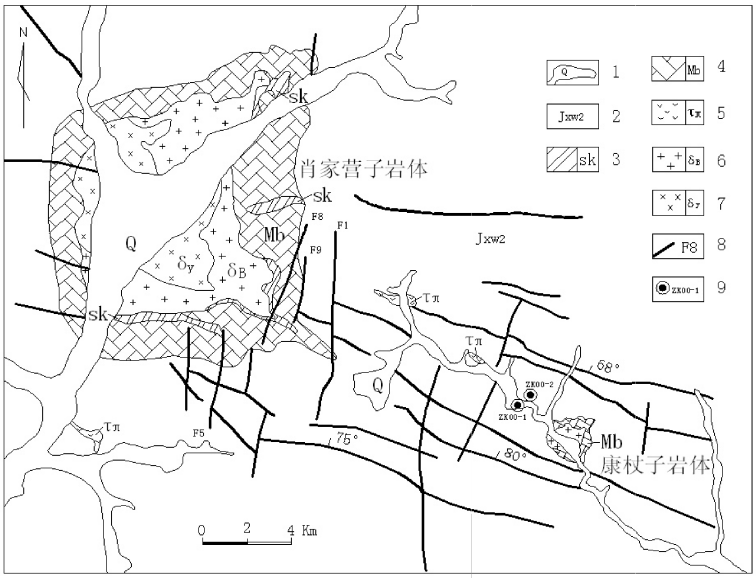

图 1 康杖子矿区地质图

Fig. 1 The geological map of Kangzhangzi ore field

1—第四系；2—蓟县系雾迷山组中段白云岩；3—矽卡岩；4—大理岩；5—粗面岩；6—闪长岩；7—闪长玢岩；8—断裂及编号；9—蚀变破碎带及产状；10—竣工钻孔位置及编号

1—Quaternary; 2—Wumishan formation interrupted dolomite of the Jixian System ; 3—skarn; 4—marblee; 5—trachytic; 6—diorite; 7—dioritic porphyrite; 8—fracture and its number; 9—altered fracture zone and the occurrence; 10—the location of complete drillhole and number

山玢岩与铅、银成矿关系密切。

1.3 矿(化)体特征

康杖子区地表和深部矿化特征有很大差异，地表矿化以分散的铅锌伴有银矿化为主，矿脉均赋存于雾迷山组中部岩段，受层间破碎带和切层裂隙破碎带控制，呈层状、似层状、脉状、透镜状断续产出；深部以具有工业品位的铜、铁、钼矿体为主，受岩体接触带控制，形态复杂。由地表至深部体现了矿化由分散到集中，由低温矿物(铅锌)向中高温矿物(铜钼)过渡的变化规律。

1.4 地球物理特征

为了有效的开展 CSAMT 勘查工作，在设计野外工作前，系统收集测定了本区矿体及围岩电性资料(见表 1)

从上表 1 中可以看出视电阻率的大小排列顺序是：结晶白云质灰岩、大理岩≥辉长闪长岩>似斑状细粒闪长岩≥石英细粒闪长岩≫磁铁矿石。辉长闪长岩与似斑状细粒闪长岩和石英细粒闪长岩有着级次上的电性差异，磁铁矿与其他岩石有着几个级次的电性差异，石英细粒闪长岩、似斑状细粒闪长岩结构致密，金属硫化物较多，与成矿关系密切。明显电性差异的存在为本区开展 CSAMT 法提供了物性前提。

表 1 主要岩(矿)石标本视电阻率统计表

Table 1 Statistics of apparent elertric-resistivity of some samples.

岩(矿)石名称	块数	视电阻率(Ω·M)		
		最小值	最大值	平均值
辉长闪长岩	31	1.0×10^4	4.5×10^4	2.2×10^4
似斑状细粒闪长岩	32	0.2×10^4	1.4×10^4	0.5×10^4
石英细粒闪长岩	32	0.4×10^4	0.6×10^4	0.15×10^4
结晶白云质灰岩、大理岩	32	1.5×10^4	5.0×10^4	2.5×10^4
磁铁矿石	22	0.01×10^4	0.02×10^4	0.015×10^4

2 CSAMT 方法原理及数据处理

2.1 方法原理

CSAM T 法即可控源音频大地电磁法，采用人工场源，A，B 两供电电极距离为 1 ~2 km，测量工作布置在供电偶极中垂线±45°的扇形面积内，测线与供电 AB 极连线平行。这时的场源可以认为是平面波，通过变换供电频率以达到测深的目的。一般供电功率 15 ~30 kw，供电频率采用 2n 或 Hz(n=-2，-1，0，1，…12)供电。CSAM T 是在远场区测量相互

正交的电场强度 E 和磁场强度 H 的水平分量,得出的是卡尼亚电阻率:

$$\rho = \frac{1}{5f}\frac{[E_x]^2}{[H_y]^2}$$

它的相位提供了另一个重要参数,称为相位差或阻抗相位:$\varphi_E = \varphi_E - \varphi_H$。

电阻率和相位共同提供了一个解释大地响应的完整数据表。根据理论推导,CSAMT 的勘探深度 D 与频率 f、电阻率 ρ 之间的关系为:$D = 356\sqrt{\frac{\rho}{f}}$。

从这个关系式可以看出,随着供电频率从高到低,勘探深度从浅到深,从而达到测深的目的。当然,勘探深度与地下岩石的电阻率有关。测量的电极距控制了横向分辨率,通常为最小探测目标的二分之一。

2.2　实测技术方法

工作区共布置 4 条 CSAMT 测线,剖面观测点采用全站仪定点,线距 100 m,点距 20 m;A、B 两供电电极距离为 1.5 km,发射机功率 30 Kw,由人工调节,控制供电电流的大小;工作频率从 1Hz 到 8192Hz。在开工前先检查接收机工作电压是否达到 12.4V 以上,并在开机 1 小时后对接收机和发射机控制器 XMT-32 进行同步检查、调节。根据本区岩石电阻率值,按照勘探深度公式 $D = 356\sqrt{\rho/f}$ 计算,数据起算频点为 32Hz。野外采集数据离差小于 20%,质检率 6.4 %。检查结果均方差相对误差为 3.5%,满足规范要求,观测质量可靠。CSAMT 方法使用的主要仪器设备见表 2。

表 2　康杖子区 CSAMT 勘查仪器设备一览表

Table 2　Instruments of CSAMT for kangzhangzi deposit

仪器设备名称	型号规格	数量(台)	备 注
大功率电法测量接收机	GDP32 Ⅱ	1	美国生产
发电机	ZMG30	1	美国生产
大功率发射机	GGT30	1	美国生产
同步控制器	XMT-32	1	美国生产
车载电台	KENWOOD	1	日本生产
快速充电机	HPX-30	2	美国生产
探头	ANT/6	5	美国生产
手持 GPS	efrex	5	±5m 精度

2.3　数据处理方法

CSAMT 测量数据处理由美国 zonge 公司生产的 scs2d 处理软件完成。首先,由专业数据处理人员对原始数据进行筛选,并运行平均文件对数据进行平均,通过数据处理软件对数据进行圆滑并评定远、近场数据的频点,而后经过地形改正,一维、二维反演,

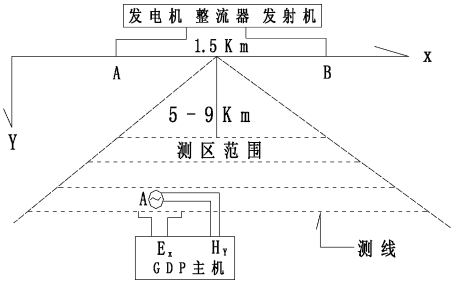

图 2　CSAMT 工作布置图

Fig. 2　CSAMT work layout map

消除地形影响和静态效应,最后生成视电阻率断面图。

3　CSAMT 法的应用效果

通过 CSAMT 大功率大深度测量结果(见图 3),发现区内深部存在 500-800 m 深不等的低阻带,视电阻率值在 700Ω·M 以下,分布于 8 线至 3 线内,面积大范围广,表现为以 0 线为中心向北西、南东扩展,且在北东方向未封闭。该低阻带的上部为高电阻率场区,电阻率值在 2000Ω·M 以上,下部为中阻率场区,场值在 700 ~ 1000Ω·M 左右。由区内岩矿电性参数可知,本区的主要岩性为雾迷山组白云岩,电阻率值最高,可达几千至上万 Ω·M,磁铁矿、含钼铜矽卡岩电阻率最低,为 100 ~ 200Ω·M,似斑状细粒闪长岩和石英细粒闪长岩含金属硫化物较多,电阻率值相对较低,但高于矿体电阻率为中阻反映。

为验证 CSAMT 法对深部勘查的有效性,结合以往地质成果,在 0 线上选择推断成矿有利部位布置施工了 2 个深孔(见图 4)。ZK00—1 钻孔深 901.5 m, 360 ~ 554 m 间断续出现多层钼矿(化)体,钼矿(化)体累加穿越厚度 30 余米,钼平均品位 0.108%;598 ~ 882 m 为铁矿(化)体赋存段,铁矿(化)体累加穿越厚度 163 m,铁平均品位 25.16%,其中 686 ~ 742 m 铁矿化连续集中,铁矿体连续穿越厚度 55.6 m,铁平均品位 30.98%。ZK00—2 钻终孔深度 847.6 m,该孔在 349 m 开始见多层薄层不连续钼矿化(体),从 652 m 见铁矿,铁矿石穿越厚度 44.3 m,平均品位 31%。

综上所述,0 线剖面上已完工两个钻孔所见多层钼、铁矿(化)体均位于 CSAMT 断面对应低、中阻带内及其过渡带附近;钻孔深部所见闪长岩与 CSAMT 断面的中阻带勘测成果相吻合。

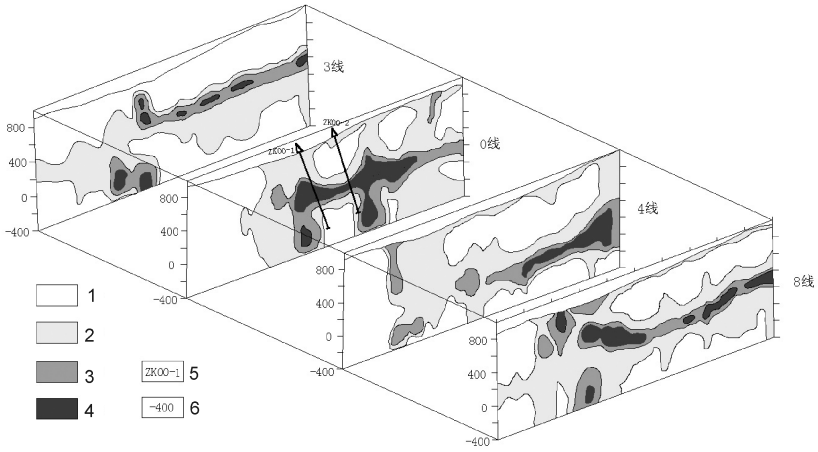

图 3　康杖子矿区 3 至 8 线 CSAMT 剖面图

Fig. 3　No. 3-8 Section of CSAMT of Kangzhengzi deposit

1—高阻带；2—高中阻过渡带；3—中阻带；4—低阻带；5—施工钻孔及编号；6—高程

1-high resistant zone; 2-high-middle transmit zone; 3-moderate resistant zone; 4-low resistant zone; 5-drill hole and number; 6-elevation

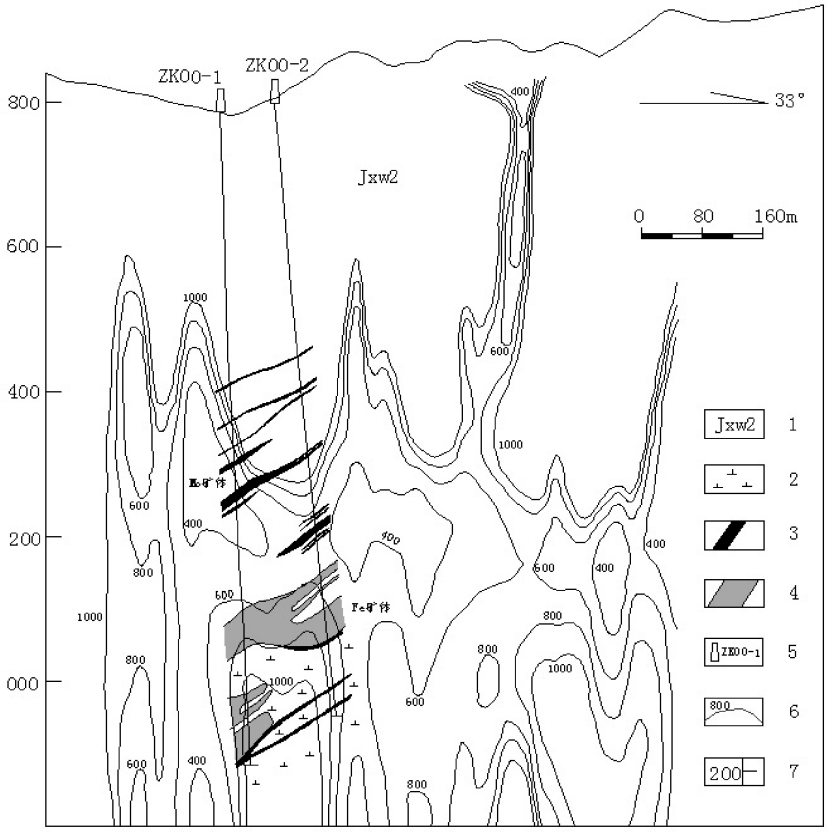

图 4　0 线 CSAMT 测量结果与钻探验证图

Fig. 4　No. 0 seltion of CSAMT measurement and drilling map of Kangzhangzi deposit

1—大理岩;2—闪长岩;3—钼矿体;4—铁矿体;5—钻井位置及编号;6—CSAMT 电阻率等值线;7—高程

1-marble;2-diorite;3-molybdenum ore;4-iron body;5-drilling location and serial number; 6-CSAMT resistivity contour;7-elevation

4　结论

1）CSAM T 法工作实践表明,CSAM T 法在进行地电分层的基础上,勾画高阻隆起, 发现低阻异常,确定构造形态方面是有效的。结合地质规律和其他物化探资料,可以对低阻异常的性质作出判断。经过地形改正,一维、二维反演,得出的成果更加合理,高、低阻体异常的划分更为直观。

2）通过肖家营子矿区外围康杖子区的勘查实践,又一次证实了 CSAMT 法对于复杂地形下深部隐伏矿体探测的有效性,其勘探深度大、分辨率高、抗干扰能力强、高效便捷、提供资料及时等特点,使得 CSAMT 成为老矿山勘查深边部资源最有效的手段之一。

3）随着勘探深度的增加,大功率勘查技术将越来越受到重视和应用,康杖子区采用大功率 CSAMT 法,在地下 500 ~ 800m 左右发现低阻异常,钻探验证取得可喜勘查效果,实现了矿区外围深部第二深度空间找矿的实质性突破,说明在老矿山深边部找矿的理念是正确的,在 CSAMT 勘测成果的指导下,该区的勘查成果将继续扩大,资源储量前景可观。

［参考文献］

［1］ 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志［M］. 北京:地质出版社,1989:467-472.
Bureau of Geology and mineral Resources in Liaoning province Geological of liaoning［M］Bei jing. Publisher of geology 1989:467-472.

［2］ 高毓华,康书泽,肖凌汉. 辽宁省喀左县肖家营子钼多金属矿床第一期地质勘探报告［R］. 辽宁省有色地质局 109 队,1979:24-38.
Gao Yu - hua, Kang Shu-ze,Xiao Ling - han. First exploration report of xiaojiayingzi molybdenum polymetallic deposit in Liaoning［R］. No. 109 team of Liaoning Nonferrous Metal Geological Bureau ,1979:24-38.

［3］ 于泽新,龙　军,吕景增. 综合物探方法在辽西康杖子区找寻隐伏矿体中的应用［J］. 地质调查与研究,2009,32(2): 154-160.
Yu Ze - xin,Long Jun,Lv Jing - zeng, Application of the comprehensive geophysical survey method in hunting hidden ore in Kangzhangzi,Wester Liaoning Province［J］Geological Survey and Research, 2009,32(2):154-160.

［4］ 马建德,徐天波,敖颖峰. 等. 辽宁肖家营子钼多金属矿床地质特征及成因［J］. 桂林工学院学报, 2002, 22(1):5-10.
Ma Jian-de Xu Tian-po Ao Ying-feng Lj xiang-cai Zhang zhi-wei Guo tie-cheng l. The geoogical features and genesis of the xiaojiayingzi molybdenum polymetallic deposit in Liaoning［J］Journal of guilin institute of technology 2002, 22(1): 5-10.

［5］ 何继善. 可控源音频大地电磁法［M］. 长沙:中南工业大学出版社,1990.
He Ji - Shan. Controllable source audio frequency magnetotelluric sounding method［M］. Changsha Publisher of central-south university, 1990

［6］ 柳建新,胡厚继,刘春明. 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, 2006,4(4): 71-74.
Liu Jian - xin, Hu Hou-ji,,Liu Chun - ming. Application of synthetical geophysical method on exploration of deep-seated resources［J］. Geology and Prospecting 2006,4(4): 71-74.

［7］ 于昌明. CSAMT 方法在寻找隐伏金矿中的应用［J］. 地球物理学报,1998, 41(1):133-138.
Yu Chang - ming. The application of csamt method in looking for hidden gold mine［J］ Journal of Geophysics,1998, 41(1):133-138.

［8］ 黄兆辉, 底青云, 侯胜利. CSAMT 的静态效应校正及应用［J］. 地球物理学进展, 2006, 21(4):1290-1295
Huang Zhao - hui, Di Qing - yun, Hou Sheng - li. CSAMT static correction and its application［J］. Progress in Geophysics, 2006,21(4):1290-1295.

［9］ 王　若,王妙月. 可控源音频大地电磁数据的反演方法［J］. 地球物理学进展,2003,18(2):197-202.
Wang Ruo, Wang Miao - yue. Inversion method of controlled source audio-frequency magnetotelluric data［J］ Progress in Geophysics 2003,18(2):197-202.

［10］ 雷　达,孟小明,王书民. 复杂地形条件下的可控源音频大地电磁测深数据二维反演技术及应用效果［J］. 物探与化探, 2004,28(4): 323-326.
Lei Da,Meng Xiao-ming,Wang Shu-min, . The two-dimensional inversion technique for controllable source audio frequency magnetotelluric sounding (csamt) data under complex topography and its effectiveness［J］ geophysical and geochemical 2004,28(4): 323-326.

［11］ 阎立光. 苏联金属矿床物探现状及发展趋势［J］. 地质与勘探, 1987, 12: 44-47.
Yan li-guang. Status and trends in minging geophysics in USSR［J］. Geology and Prospecling, 1987,12: 44-47.

［12］ 滕吉文. 强化开展地壳内部第二深度空间金属矿产资源地球物理找矿、勘探和开发［J］. 地质通报,2006,2(7):767 ~ 771.
Teng Ji-wen. Strengthening geophysical exploration and exploitation of metallic minerals in the second deep space of the crustal interior［J］. Geological Bulletin of China, 2006,7: 767-771.

［13］ 滕吉文,刘建明,刘财. 第二深度空间金属矿产探查与东北战略后备基地的建设和可持续发展［J］. 吉林大学学报(地球科学版),2007,37(4): 637-651.
Teng Ji-wen, liu Jian-ming, liu Cai. Prospecting for Metal Ore Deposits in Second Deep Space of Crustal Interior,the Building of Strategy Reserve Base of Northeast China［J］ Journal of Jilin University,2007,37(4): 637-651.

［14］ 熊光楚. 提高金属矿地球物理调查地质效果的途径［J］. 地质与勘探, 1987, 1:69-73.
Xiong guang-chu. Approaches to achieve still better geological results by mining Geophysics［J］. Geology and Prospecting,

1987, 1: 69-73.

[15] 程方道. 借鉴国外经验推动我国金属物探工作的发展[J]. 地质与勘探, 1987, 2: 81-83.
Cheng fang-dao, Push our mining Geophysical exploration work forward with reference of the experience of foreign Countries [J] Geology and prospecling 1987, 2:81-83.

[16] 柯汉生. 青龙金矿区的地质地球物理特征[J]. 地质与勘探, 1987,10: 36-40.
Ke han-sheng. Geological and geophysical features of the qinglong mining district[J]. Geology and Prospecling, 1987,10: 36-40.

[17] 刘光鼎,郝天挑. 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- 854.
Liu Guang - ding, Hao Tian - tiao. Searching of hidden mineral deposits by geophysical methods [J]. Journal of Geophysics, 1995,38(6): 850-854.

[18] 施修来. 电法找金的地质效果[J]. 地质与勘探,1987,7: 54-59.
Shi xin-lai. Some geological results of elcctrical prospecting for gold [J]. Geology and prospecling, 1987, 7: 54-59.

[19] 余官娣. 激电法寻找隐伏多金属矿床[J],地质与勘探,1987, 9: 41-43.
Yu guan-di . Exploration of concealed polymetallic ore deposits by IP method[J]. Geology and Prospecting 1987,9: 41-43.

The Application of CSAMT in Prospecting in Depth in Kangzhangzi Deposit in Western Liaoning Province

YU Ze-xin[1,2], AO Ying-feng[3], LV Jing-zeng[2], LONG Jun[1], JIA Guang-ning[4], WANG Hai-fu[3], ZHANG Lei[3]

(1. *Chaoyang Jinda industry Group Co.*, *Ltd Chaoyang*. 122000; 2. *Chaoyang Xinhua Molybdenum Co.*, *Ltd*; *Chaoyang*. 122000
3. *No.* 109 *team of Liaoning Nonferrous Metal Geological Bureau*, *Chaoyang* 122000;
4. *No.* 105*team of Liaoning Nonferrous Metal Geological Bureau*, *Huludao* 125000)

Abstract: The controllable source audio frequency magnetotelluric method (CSAMT) shows advantages in available depth, lateral sensitivity, the ability of anti-disturbance. The application of CSAMT has the important implication to prospecting in the depth, and has made the great contribution for our national exploration. Xiaojiayingzi copper molybdenum deposit is a large deposit related to skarns in West of Liaoning province. Most of the orebodies is concealed together, Kangzhangzi area and the home court has the similar mineralization geological environment, the mineralization geological condition is favorate. Ore and rock shows different electric characteristics. Through practical CSAMT application in Kangzhangzi deposit, orebodies show low-resistivity characteristics. According to this result, drilling program has confirmed this result and made remarkable breakups in exploration, which leads the second prospecting breakthrough in depth in the mining area. This work has proved the CSAMT is efficient in prospecting program.

Key words: CSAMT, Kangzhangzi, Western Liaoning province