

电、磁综合方法在南方硬岩型铀矿勘查中的应用

刘祜,程纪星,腰善丛,徐贵来,张濡亮,赵丹

(核工业北京地质研究院,北京 100029)

摘要:介绍了几个音频大地电磁法和高精度磁测方法在华南白面石地区硬岩型铀矿上的勘查实例。应用结果表明,这两种方法优势互补,综合使用可较好地探测深部地质构造(如火山盆地基底埋深、断裂构造、火山机构等),为南方硬岩型铀矿供深找盲、外围扩大提供有效技术手段。

关键词:音频大地电磁法;高精度磁测;硬岩型铀矿;深部找矿

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2011)06-0739-04

南方硬岩型铀矿是我国主要的产铀区之一,经过前几轮勘查,浅部矿和规模较大的铀矿床大部分已得到揭露,目前工作的重点主要是在铀矿基地的外围进行扩大生产,同时对矿区深部第二富集带进行攻深找盲。放射性物探方法是勘查硬岩型铀矿直接有效的勘探方法^[1-3],在新一轮铀矿勘查中,由于矿体埋藏深,在地面引起的放射性异常特征不明显,其应用效果受到诸多限制。南方硬岩型铀矿与断裂构造、火山机构、岩体、脉体等有密切关系,矿体常产于岩体接触带、火山盆基底、断裂构造附近等地质环境中^[4-6]。要查明铀矿的深部成矿地质特征、成矿环境和控矿因素等,必须依靠测深类的地球物理方法。

在南方硬岩地区进行铀矿地质勘查,目前的地球物理方法面临诸多挑战,首先是复杂的地理环境,山高,林密,居民多,人文干扰严重;其次是复杂的地下地质环境,断裂构造、火山机构、小岩体等非常发育,地下地质特征变化快;另外要求解决深部地质问题,需要探测到500 m以下,1 000 m以内的地质目标。因此,往往需要利用多种地球物理方法组合来探测地下复杂地质目标^[7-8]。

根据当前南方硬岩型铀矿勘探中面临的具体地质问题,选择了以音频大地电磁(AMT)为主、高精度磁测为辅的综合物探方法。在江西省寻乌县白面石地区的应用研究表明,此方法组合效果较好。

1 方法特点

以岩石导电性差异为基础的音频大地电磁法(AMT)是电法勘探的一种分支方法。AMT利用的

场源是由太阳风或雷电引起的天然电磁场,不需要人工场源,使得AMT相对于普通电法其设备更轻便;同时,南方地区离赤道较近,雷电多(尤其是夏季),天然电磁场信号较强,测量数据信噪比较高。AMT利用的电磁波频率范围为1 Hz~10 kHz,能探测到地下深部信息,可较好地解决地下1 km以内的地质问题。当代AMT仪器测量的电磁场频率多,对地质体具有较高的分辨率^[12-13]。这些特点使得AMT成为南方新一轮铀矿勘查工作中的首选方法,用来探测深部地质信息,解决南方硬岩地区火山盆地基底起伏形态、隐伏断裂构造、火山机构、火山岩层序、基底花岗岩埋深等地质问题。

高精度磁测方法利用岩石的磁化率差异来解决相关的地质问题。通常基性岩磁化率高,酸性岩磁化率低,沉积岩基本无磁性,岩石蚀变区、断裂带、岩石接触带等地的磁化率与周围地质体的差异也较大^[14-15]。高精度磁测由于测量精度高,能发现较微弱的磁异常。由于这些特点,高精度磁测方法在南方硬岩地区可用来查明不同岩体的接触带以及铀成矿有密切关系的断裂构造、脉体位置等^[16]。但此方法体积效应严重,测深能力弱,垂向分辨率很低。两种方法结合应用,优势组合,可以提高地球物理解决地质问题的可靠性、准确性。

2 研究区地质概况及地球物理特征

白面石地区处于东西向南岭铀多金属成矿带东端,东西向全南—寻乌深断裂带与北北东向鹰潭—安远、邵武—河源深断裂带以及北西向断裂三者交汇处。区内构造十分发育,且具有控岩、控盆和控矿

的特点。白面石地区多期地幔热隆构造、断裂构造的复合,多期次(海西期、燕山期)、多类型(花岗岩、双峰式火山岩、次火山岩、基性脉岩)岩浆侵位,多期热液活动,形成多种类型铀矿化,且矿体赋存部位多、含矿岩性多,不但盖层有矿,而且基底花岗岩也有很好的矿化富集。矿体主要产于火山盆地基底花岗岩内,矿化受构造裂隙控制。富铀矿化与玄武岩以及辉绿岩脉关系密切,尤其是它们与断裂构造及基底花岗岩顶界面的交汇部位,铀矿化更为富集。白面石地区发育了一系列总体展布方向为北西向的

小的火山盆地,有龙坑、白面石、马茅塘、贵竹帽等^[17-18]。

该地区的物性特征如表 1,安山岩、火山角砾岩、蚀变花岗岩电阻率平均值较低($n \times 10^2 \Omega \cdot m$),玄武岩、花岗岩、流纹斑岩较高($n \times 10^3 \Omega \cdot m$),玄武质安山岩最高,达到 $n \times 10^4 \Omega \cdot m$ 。在磁化率方面花岗岩最低,蚀变花岗岩次之,角砾岩、流纹板岩、玄武岩较高,安山岩、玄武质安山岩最高。这些物性的差异为 AMT 方法、高精度磁测方法的应用奠定了基础。

表 1 测区主要岩石物性参数

岩性	样品数	电阻率范围/($\Omega \cdot m$)	电阻率平均值/($\Omega \cdot m$)	磁化率范围/ $10^{-6} SI$	磁化率平均值/ $10^{-6} SI$
玄武岩玄武岩	12	2449 ~ 6971	4754	7154 ~ 144935	46994
玄武质安山岩	30	290 ~ 37535	70896	177335 ~ 558376	381100
安山岩	30	133 ~ 327	191	175223.6 ~ 462331.8	311441
火山角砾岩	30	48.5 ~ 326.6	180.4	1591.2 ~ 54771.3	9382.7
花岗岩	13	983 ~ 4171	2072	479 ~ 1473	714
流纹斑岩	13	806 ~ 8617	3623	99 ~ 91368	11882
蚀变花岗岩	30	91.4 ~ 1872.5	572.6	854.4 ~ 1733.2	1303.412

注:由中国地质科学院物化探研究所测试。

3 方法试验

野外工作时,AMT 测量采用 EH4 电导率成像仪,张量测量模式,测量频率为 10 Hz ~ 96 kHz,测量

极距 $MN = 30 m$ 。AMT 资料处理主要采用 EH4 仪器的 IMAGE 数据预软件和 EMAGE-2D 反演软件,反演方法为正则化二维反演。资料处理基本步骤为:①利用 IMAGE 软件,在时间域内挑屏,将干扰大

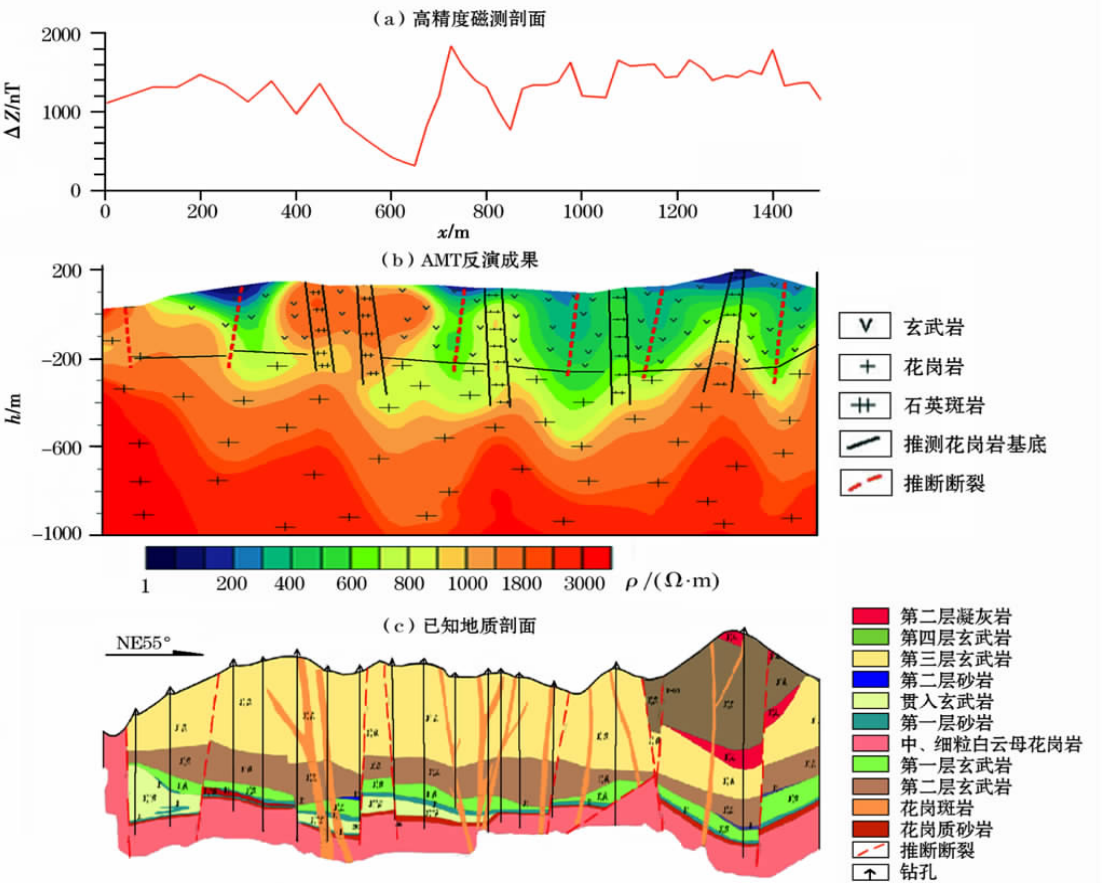


图 1 龙坑试验剖面电磁综合地球物理测量成果

的时间段数据除去,形成阻抗文件;②利用 EMAGE-2D 软件的编辑功能,删除电阻率曲线或相位曲线的畸变点;③利用 EMAGE-2D 软件的二维反演功能进行正则化二维反演;④利用 Surfer 软件对反演结果进行成图,并结合地质情况进行地质解释。

野外磁测仪器为 G856 高精度磁力仪,由于是剖面测量,磁测资料仅进行日变改正。

试验地位于龙坑地区,是白面石铀矿田内的一个小型火山盆地,有多期岩浆喷发,其基底为花岗岩,上部为不同期次的玄武岩盖层。AMT 和高精度磁测的综合试验剖面长 1.5 km,测量点距为 25 m,探测目的是盆地基底深度、起伏形态及相应的断裂构造、脉体等。

图 1 为电(磁)综合方法在龙坑地区的综合试验成果。从 AMT 反演成果(图 1b)看,电阻率断面整体表现为上部低阻、下部高阻特征,在深部表现出似层状结构,中间穿插一些高阻体。根据物性资料及地质资料推断,上部小于 $300\ \Omega\cdot\text{m}$ 的低阻异常应是由断裂、岩石风化引起,上部 $300\sim1\,000\ \Omega\cdot\text{m}$ 的高阻异常应是各期次的玄武岩盖层的反应,下部大于 $1\,000\ \Omega\cdot\text{m}$ 的高阻层反映的应是花岗岩基底。深部的花岗岩是多期次形成的,在电阻率断面上显示为似层状高阻异常。电阻率断面较清晰地显示了基底花岗岩及上覆玄武岩的界线和基底花岗岩顶界面起伏形态和深度,基底在剖面的左端有出露,剖面两端基底相对较浅,中部较深,基底最深不超过 500 m。在高精度磁测剖面(图 1a)上也大致反映了此趋势,磁场在剖面右端强度较高,反映的是磁化率较高的基性玄武岩的厚度较大,而剖面左端相对磁异常较低,反映为上覆基性玄武岩厚度变薄。从测量成果可清晰地判断有 6 条断裂存在,电阻率断面表现为低阻异常,在磁测曲线上表现为低磁异常或磁异常幅度剧烈变化。另外在 AMT 电阻率剖面上,可见到一些齿状高阻体向地表方向穿插,在磁测曲线上表现为低磁异常,应为一些石英斑岩脉体。

与已知勘探剖面(图 1c)的对比表明,此成果基本符合当地的地质特征。表明了方法组合的有效性,同时两种方法在多方面的相互验证,也增加了成果解释的可信度。

4 应用实例

4.1 贵竹帽地区

贵竹帽地区为白面石铀矿田内一小型火山盆地,在该区布置了一条 1 km 长的电(磁)综合测量剖面,点距 50 m,部分重点地段加密到 25 m,以期探

测出该区断裂构造的分布、上覆玄武岩展布特征等。从综合测量成果(图 2)看,电阻率断面大体表现为深部高阻和浅部低阻,中部存在一大的向下延伸的低阻体。根据当地物性资料和地质资料分析,下部的高阻体应为花岗岩基底,浅部的低阻主要为喷发的玄武岩盖层;电阻率断面较清晰地反映了花岗岩基底的起伏形态以及上覆盖层的厚度。花岗岩基底在剖面左端有出露,在磁测曲线上表现为磁场值下降。剖面右端浅部相对为低阻,同时磁场值很低,根据地质资料,此处上覆岩层应为凝灰岩,其他的上覆岩层主要应为玄武岩类,上覆玄武岩最深处接近 600 m。

另外,测量成果清晰地反映了 4 条断裂带的位置及倾向。断裂带处在磁测曲线上有较明显的反映,表现为低磁异常或磁异常幅度出现跳跃变化。

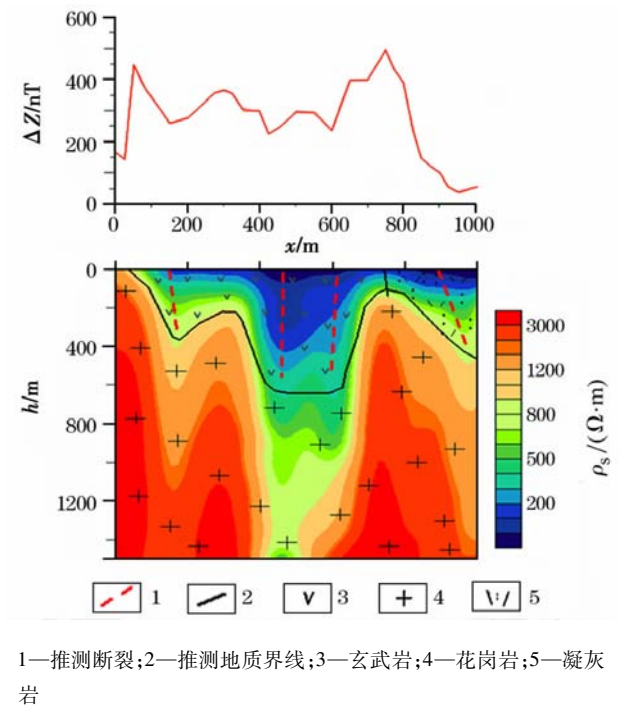


图 2 桂竹帽测线电磁综合地球物理测量成果

4.2 马茅塘地区

马茅塘地区位于白面石铀矿田内,为一火山盆地,存在多期的火山喷发,在此区布置了一条穿越火山盆地的电(磁)综合测量剖面,长 3 250 m,测量点距为 50 m。图 3 为综合测量成果。由 AMT 反演成果看,其电性结构相对简单,浅部为低阻层,深部为高阻层,同时深部的高阻分层性较好。根据当地物性资料及地质资料推测,上面的低阻异常主要为不同期次的玄武岩盖层,深部高阻为花岗岩基底。AMT 测量成果反映了基底的起伏形态和基底顶板的深度,剖面右侧基底相对较浅,基性玄武岩盖层较薄。在磁测曲线上基底呈低磁异常,剖面左侧基底

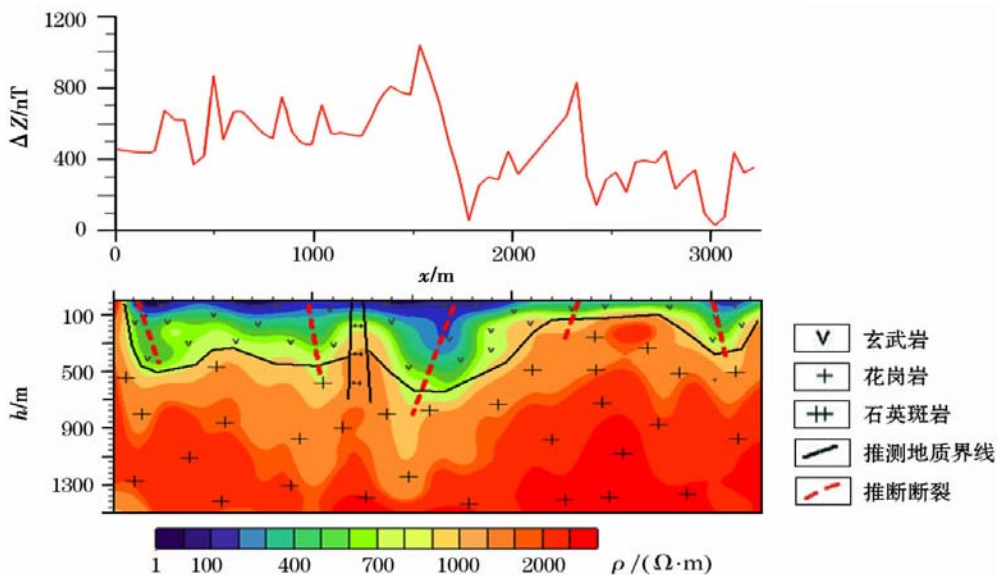


图3 马茅塘测线电磁综合地球物理测量成果

较深,基性玄武岩盖层较厚,在磁测曲线上表现为高磁异常,在最左端基底有出露,磁测曲线有下降趋势。在剖面中部,有一向地表穿插的高阻体,推测为石英斑岩脉体。测量成果较清晰地反映出5条断裂,在电阻率剖面上表现为低阻异常或电阻率由高向低过渡,在磁测曲线上为低磁异常或磁梯度变化。

5 结论

在南方硬岩地区,应用高精度磁测方法可大致圈定岩体范围,识别大的断裂构造、脉体和岩层接触带等,但通常只能大致判断位置,对产状、延伸等信息反映不清晰,能定性指示火山盆地上覆玄武岩盖层厚度变化趋势,但不能定量反映其厚度变化特征。AMT方法有较好的垂向分辨率,在硬岩地区可较准确地探测出火山盆地基底起伏形态、确定火山岩盖层厚度、断裂倾向,以及确定脉体、火山机构位置等。利用AMT、高精度磁测两种方法的优势互补,可较好地解决南方硬岩型铀矿深部探测的相关地质问题,为新一轮南方铀矿勘查提供有力手段。

在南方硬岩地区,地质特征复杂,还需要大量的实践和研究工作,才能提高电(磁)方法解决地质问题的准确性。建议在南方硬岩地区进行AMT方法时采用小点距(不大于20 m)测量,高精度磁测采用连续测量方式,以避免漏掉反映成矿信息的断裂等地质信息;抓紧研究AMT有效的地形改正方法和静态效应改正方法,减少非地质因素对AMT方法的干扰,提高解释成果的分辨率。

感谢范洪海研究员、何德宝工程师、陆士立研究员在此次工作中给予的指导帮助。

参考文献:

- [1] 李运跋,赵元洪,童纯涵,等.放射性勘探方法[M].北京:原子能出版社,1978.
- [2] 周瑞. ^{210}Po 法寻找隐伏铀矿初见成效[J].铀矿地质,1986,3(6).
- [3] 吴慧山.用航空 γ 能谱法普查铀矿[J].国外铀金地质,2001,21(4).
- [4] 王玉生,李文君.华南东部中生代火山岩型铀矿成矿规律、勘查模式及找矿远景[J].铀矿地质,1995,11(3).
- [5] 邵飞,李嘉,何晓梅,等.华南铀成矿省火山岩——花岗岩型铀成矿作用[J].世界核地质科学,2010,27(1).
- [6] 章邦桐.内生铀矿床及其研究方法[M].北京:原子能出版社,1990.
- [7] 杨树流.综合物探方法在下庄矿田碱交代岩型铀矿勘探中的应用[J].工程地球物理学报,2009,6(4).
- [8] 索孝东.综合物探在博格达山前古牧地复杂构造中的应用[J].物探与化探,2009,33(6).
- [9] 陈乐寿,王光鄂.大地电磁测深法[M].北京:地质出版社,1990.
- [10] 朴化荣.电磁测深法原理[M].北京:地质出版社,1990.
- [11] 国家地震局地质研究所大地电磁测深组.大地电磁测深[M].北京:地震出版社,1981.
- [12] 杨进,安海忠.音频大地电磁法在秦岭地区的地质效果[J].物探与化探,1995,15(4).
- [13] 周军,王成龙,曾珍.音频大地电磁测深在攀西铜矿勘探中的应用[J].内蒙古石油化工,2008(1).
- [14] 管志宁.地磁场与磁力勘探[M].北京:地质出版社,2005.
- [15] 董焕成.重磁勘探教程[M].北京:地质出版社,1993.
- [16] 舒孝敬.利用重磁资料预测铀矿产[J].国外铀金地质,1990,(4).
- [17] 孔兴功,陈培荣,章邦桐.江西南部白面石—东坑盆地A型火山岩的确定及地质意义[J].地球化学,2000,19(6).
- [18] 张万良.白面石矿田的铀成矿特征[J].地质找矿论丛,2001,16(4).

4 结 论

广域电磁法提出了一种新的大地视电阻率的定义——广域视电阻率,适用于包括过渡带在内的广大区域,与传统的可控源音频大地电磁法相比,其最大优点是可以用较小的发射距来获得较大的探测深度,这有利于用电磁方法勘查寻找深部金属矿产。在内蒙古某银铅锌矿的实验结果表明,广域电磁法地电异常明显,异常特征(形态、范围)与矿体基本对应,在探测深部金属矿方面有很好的效果。

在广域电磁法中应用 $2n$ 序列伪随机信号场源,可以几倍地提高测量速度,还可以提高相邻各个频

率信号的相对精度,可形成 $2n$ 序列伪随机信号。

参考文献:

[1] 何继善. 广域电磁法和伪随机信号电法[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
[2] 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.
[3] 刘振铎,刘宝利,王树青,等. 磁偶源频率测深法[M]. 北京:地质出版社,1985.
[4] 何继善. 三元集合中的自封闭加法与 $2n$ 系列伪随机信号编码[J]. 中南大学学报:自然科学版,2010,41(2).
[5] 何继善. 广域电磁法测深法研究[J]. 中南大学学报:自然科学版,2010,41(3).

THE EXPERIMENTAL APPLICATION OF WIDER FIELD ELECTROMAGNETIC METHOD TO THE PROSPECTIANG FOR DEEP ORE DEPOSITS

ZHU Yu-zhen¹, XU Cong-yue²

(1. School of Earth Sciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: This paper describes the basic principles and characteristics of the wider field electromagnetic method and the definition of apparent resistivity of the wider field. Exploration work was carried out in a silver, lead and zinc ore deposit of Inner Mongolia, including the deduction and interpretation of the anomaly. The result compared with CSAMT shows that the wider field electromagnetic method can achieve a larger exploration depth as well as higher exploration efficiency and precision with a smaller distance between transmitting and receiving. Hence the method has obvious effect in search for deep metallic ore deposits.

Key words: wide field electromagnetic apparent resistivity; wide field electromagnetic method; deep prospecting; silver, lead and zinc ore deposit

作者简介: 朱裕振(1985 -),男,中南大学硕士研究生,主要从事电磁法理论研究及应用。

上接 742 页

THE APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL METHODS COMPOSED OF AMT AND MAGNETC SURVEY TO THE EXPLORATION OF HARD ROCK-HOSTED URANIUM DEPOSITS IN SOUTHERN CHINA

LIU Hu, CHENG Ji-xing, YAO Shan-cong, XU Gui-lai, ZHANG Ru-liang, ZHAO Dan

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: Integrated geophysical methods composed of AMT and high resolution magnetic survey were used to the exploration of hard rock-type uranium deposits in Baimianshi area of southern China. The results show that some deep geological structures such as buried depth of volcanic basin basement, fault structure and volcanic apparatus could be well detected by using the integrated methods and on the basis of sharing their complementary advantages. Effective technological measures are provided to the exploration of deep buried uranium ore bodies in the hard rock-type uranium deposit of southern China and the outskirt extension of the ore deposit.

Key words: AMT;high resolution magnetic survey; hard rock-hosted uranium deposit;deep prospecting

作者简介: 刘祜(1976 -),男,工程师,硕士学位,主要从事电磁勘探方法的研究及应用工作。