

韩靖龙. 瞬变电磁法在雷门沟钼矿勘查上的应用效果分析[J]. CT 理论与应用研究, 2013, 22(1): 53-60.
Han JL. TEM in Leimengou molybdenum ore exploration application effect analysis[J]. CT Theory and Applications, 2013, 22(1): 53-60.

瞬变电磁法在雷门沟钼矿勘查中的应用效果分析

韩靖龙[✉]

(河南省核工业地质局, 河南 信阳 464000)

摘要: 雷门沟钼矿属于角砾岩型钼矿床, 就其赋存状态来说, 从里到外为角砾岩钼矿体-角砾岩-正常围岩, 矿体边界不清, 矿体地表没有出露。角砾岩和围岩视电阻率差异明显, 物探方法在该区具有物性前提。瞬变电磁法在该区的应用, 取得了较好效果, 建立了地质地球物理模型, 为合理布置勘探工程寻找钼矿提供了依据。本文在简要介绍瞬变电磁法原理的基础上, 以雷门沟钼矿勘查为例, 重点对该方法技术的数据处理、资料解释、应用效果及一些技术问题进行了分析论述。

关键词: 隐爆角砾岩型钼矿; 雷门沟钼矿; 瞬变电磁法; 应用效果; 技术问题

文章编号: 1004-4140 (2013) 01-0053-08 中图分类号: P 631 文献标志码: A

20世纪70年代初, 河南省第一地质调查大队和河南省核工业地质局相继发现了洋河钼矿、黄水庵-螃蟹沟钼矿、大石门沟钼矿^[1]。为进一步探明3个矿床及其外围是否有隐伏矿体存在, 相关单位在这3个矿区及其外围开展了大量的地表地质工程和物化探工作。2009、2010年河南省核工业地质局、河南省有色五队和河北省地质学院分别在黄水庵-螃蟹沟钼矿布置了电法、磁法和放射性测量, 基本探明了4个隐伏角砾岩筒, 为建立该区成矿机理提供了依据。但由于该区黄铁矿化的普遍存在, 给电法、磁法工作带来严重干扰, 分辨异常源时非常困难。2011~2012年在雷门沟钼矿预查项目中, 瞬变电磁法(Transient Electromagnetic Method, TEM)在该地区的首先应用, 取得了较好的效果, 不但大大提高了物探工作效率, 而且有效地克服了地形起伏对物探工作的影响。经钻探工程验证, 对TEM异常的解释推断和实际地质情况吻合都很好。

1 TEM 基本原理

TEM是利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲磁场, 在一次脉冲磁场的间歇期间, 采用不接地线圈(或接头)接收感应二次磁场^[2], 通过分析和研究二次磁场的时空分布特征, 可以判断地下地质体的磁性特征, 推断出其赋存位置、产状、埋深及规模等状态。该方法已在地质矿产和建筑工程勘察等多领域得到广泛应用, 取得了良好效果^[3-5]。

2 研究区背景地质和矿区地质

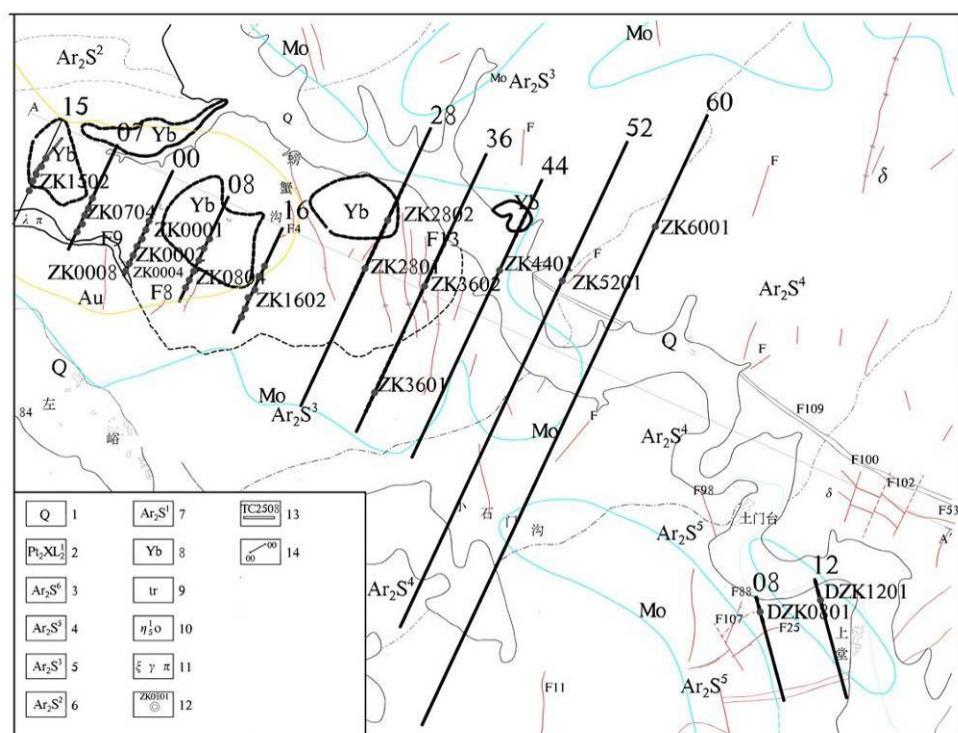
2.1 背景地质

雷门沟钼矿位于华北地台南缘太古界隆起区, 南部为华熊台隆(Ⅱ级)和熊耳山断陷、

嵩县断陷盆地(III级)。区内地质构造复杂,岩浆活动频繁,断裂构造极为发育,是金、钼等金属成矿的有利地区。

2.2 矿区地质

矿区内地层主要是太古界太华群石板沟组(Ar_2S^3)的第三韵律层(Ar_2S^3),其岩性为一套深变质的片麻岩系和第四系(Q)。岩浆活动在矿区外围甚为强烈,主要为隐爆角砾岩并见少量燕山晚期的中酸性脉岩侵入。褶皱、断裂构造在矿区内不甚发育。钼矿体受隐爆(碎裂)角砾岩体控制,钼矿体呈似层状、透镜状、脉状,主要产于隐爆(碎裂)角砾岩体中及岩体的内接触带附近(图1)。



1-残积物, 坡积物, 砂砾石, 亚粘土, 2-许山组下段, 大斑玄武安山玢岩, 3-第六韵律层, 4-第五韵律层, 5-第三韵律层, 6-第二韵律层, 7-第一韵律层, 8-隐爆角砾岩, 9-碎裂岩, 10-斑状含角闪石英二长岩, 11-正长花岗斑岩, 12-完成钻孔, 13-完工探槽, 14-勘探线及编号

图1 黄水庵、螃蟹沟、雷门沟一带地质及工程布置简图

Fig. 1 Geology and engineering arrangement diagram of Yellow um-Crab ditch-Leimengou

区域中爆破或隐爆角砾岩很发育,具有成群、成带分布特点。在黄水庵、螃蟹沟一带有3个,出露面积在 $0.006\sim0.32\text{ km}^2$ 。大致呈北西向展布。均呈小岩株产出,规模一般较小,形态多变,多呈椭圆形筒状、纺锤形筒状、圆形筒状、不规则筒状、透镜体筒状等。角砾成分复杂,以片麻岩类为主,次为安山岩、安山玢岩及中基性脉岩类。角砾含量在10%~90%之间,从岩体中心向外,角砾形态、大小、成分及含量有明显变化,由中心部向外角砾由小变大、含量由少变多、形态由圆状-次圆状变为次棱角状-棱角状,成分由以安山岩

及中基性脉岩为主, 变为以片麻岩、安山岩为主。胶结物多为岩粉、岩屑及热液蚀变矿物。胶结形式中心部位为接触式, 边部为孔隙式。岩体蚀变较强, 主要有硅化、钠黝帘石化、褐铁矿化、碳酸盐化、黄铁矿化、方铅矿化、辉钼矿化、黄铜矿化等。岩体与金矿、钼矿关系密切, 已查明金、钼工业矿床多处。

在黄水庵-螃蟹沟钼矿东北部 4.5 km、东南部 4.0 km 分别有洋河钼矿和大石门沟钼矿。它们之间是什么关系, 成矿机理是否相同, 中间是否有隐伏岩体或钼矿体存在? 成为雷门沟钼矿预查项目中亟待解决的问题。为此, 在黄水庵-螃蟹沟钼矿东部布置了 28、36、44、52、60 五条 TEM 剖面和相应的地表揭露工程、土壤地球化学测量。

2.3 地球物理特征

对测区的岩(矿石)进行了视电阻率测试, 测试标本从 ZK2801、ZK0701 钻孔岩芯采集, 共采集标本 287 个, 测试结果见表 1。

从测试结果看, 各种岩(矿)石视电阻率差异明显, 同一岩性视电阻率差异不大。角砾岩、蚀变石英脉、钼矿化带的视电阻率值最高, 是引起高电阻的主体。岩矿石的这一电性特征, 为在该区开展 TEM 探寻钼矿提供了物性前提。

表 1 岩矿石标本视电阻率测定结果统计表
Table 1 Results of determination of apparent resistivity of rock and ore sample statistics

标本类型	岩性名称	标本数/块	视电阻率/ $\Omega \cdot m$		备注
			变化范围	平均值	
岩芯	侵染状钼矿石	35	130~220	210	
	侵染状黄铁矿化钼矿石	57	130~220	180	
	黄铁矿	8	21~45	31	
	斜长角闪片麻岩	40	41~65	58	多见黄铁矿化
	角闪斜长片麻岩	45	42~65	60	多见黄铁矿化
	黑云斜长片麻岩	43	40~66	55	多见黄铁矿化
	蚀变石英脉	19	150~270	210	
	角砾岩	40	193~267	220	硅钾化较强

3 资料处理与解释

3.1 工作方法

本区使用仪器为中国地质大学生产的 CUGTEM-4 型瞬变电磁仪, 该仪器最大特点是, 发射线圈和接收线圈固定为 $5 m \times 5 m$, 可以有效减小复杂地形的影响。工作中采用重叠回线装置, 大功率供电, 使体积效应、旁测影响大大减小、增强分辨率。

3.2 资料的预处理

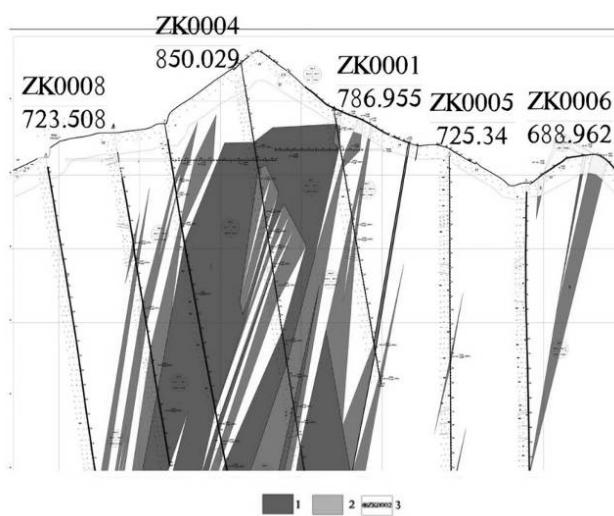
由于 TEM 探测深度深, 灵敏度高, 干扰因素较多, 有场源干扰、仪器噪声干扰、工业噪声和各种大气放电干扰等。因而在测量时, 最重要的是要提高信噪比。尽管目前在仪器

设计方面采取了一些压制噪声干扰的手段，然而因 TEM 接收频带较宽，不可能对其观测窗口范围内的所有频率的干扰信号进行压制。因而在处理野外数据之前，必须逐点观察实测曲线的形态，确定整条勘测剖面内合适的时间道范围，再剔除观测精度较差和受干扰较大的数据，然后采用数据滤波、数据叠加技术处理有效数据。

消除接收机特性造成的信号畸变是资料处理时必须考虑的另一问题。因为对测量仪器造成的畸变曲线直接解释，会导致严重的错误。

3.3 应用效果

为验证 TEM 在该区的有效性，首先在已探明的黄水庵-螃蟹沟钼矿 00 勘探线上布置了试测剖面，其结果如图 2 和图 3 所示。图 2 为 00 线的储量估算图，图 3 为 00 线 TEM 试测剖面。经对比，二者吻合较好，电阻率在 $120\sim260 \Omega \cdot m$ 区段内大致为钼矿体。



1-工业矿体，2-边界矿体，3-完成钻孔

图 2 黄水庵-螃蟹沟钼矿 00 线资源储量估算图

Fig. 2 Yellow um-Crab ditck molybdenum ore resources and reserves estimation of 00 lines

分析认为，高阻异常与高硅化、钾化有关，而钼矿化与高硅化、钾化关系密切，且 TEM 异常多与化探异常吻合，因此在开展土壤地球化学测量的基础上再进行 TEM 测量圈定高阻异常，就可以找到和钼矿体有关的硅钾化带，从而达到找钼矿的目的。

图 4 为 28、36、44、52、60 线 TEM 视电阻率剖面图。从测量结果分析，28 线在 $950\sim1500 m$ 区段有一数值为 $130\sim280 \Omega \cdot m$ 、异常宽度 $550 m$ ，深度 $150 m$ 的高阻体；36 线在 $1000\sim1500 m$ 区段有一数值为 $130\sim310 \Omega \cdot m$ 、异常宽度 $500 m$ ，深度 $120 m$ 的高阻体；44 线在 $1550\sim2000 m$ 区段有一数值为 $120\sim300 \Omega \cdot m$ 、异常宽度 $450 m$ ，深度 $250 m$ 的高阻体；28 线在 $950\sim1500 m$ 区段有一数值为 $130\sim280 \Omega \cdot m$ 、异常宽度 $550 m$ ，深度 $150 m$ 的高阻体；52 线在 $2500\sim3050 m$ 区段有一数值为 $120\sim310 \Omega \cdot m$ 、异常宽度 $550 m$ ，深度 $300 m$ 的高阻体；60 线在 $3650\sim4200 m$ 区段有一数值为 $120\sim340 \Omega \cdot m$ 、异常宽度 $550 m$ ，深度

300 m 的高阻体。依据 00 线试验剖面所得电阻率与地质体关系推断, 5 个视电阻率异常, 应和黄水庵-螃蟹沟钼矿为同一矿体, 在 44 线处被 F_{109} 切断向德亭河北延伸, 而且矿体厚度从西到东逐渐加大。

为验证 TEM 测量结果, 我们在 28、36 线分别布置了两个钻孔, 在 44、52、60 线分别布置了一个钻孔。验证结果为 7 个物探验证孔均见到较好钼矿化(体), 且均表现较强硅钾化。不足之处是, 物探异常深度与实际深度有一定偏差, 需经过和实际深度对比, 调整深度系数才能吻合。

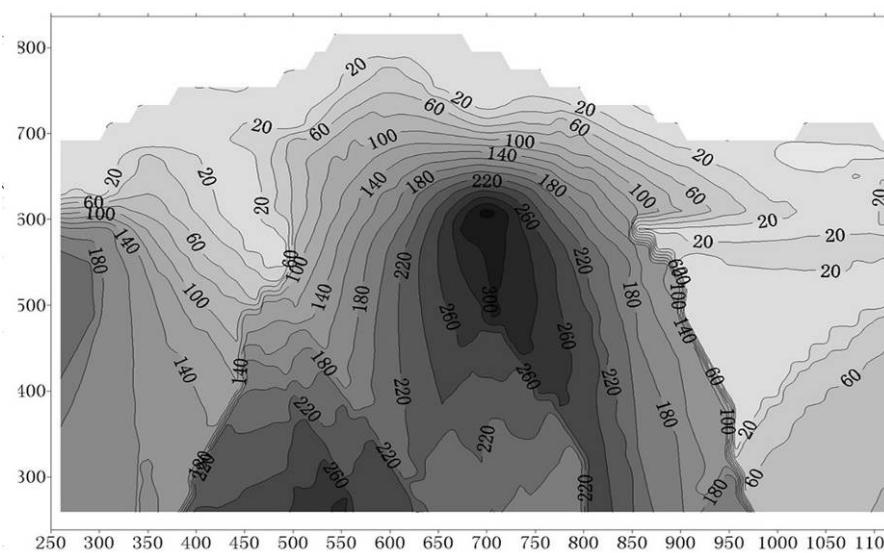


图 3 黄水庵-螃蟹沟钼矿 00 线视电阻率 (TEM) 剖面图

Fig. 3 Molybdenum ore 00 line resistivity (TEM) profile of Yellow um-Crab ditch

4 问题讨论

在 TEM 测量工作实践中, 虽然取得了一些进展, 但也存在一些问题, 主要表现在:
①资料的定量解释; ②异常的划分。

4.1 TEM 资料定量解释

和其他^[5]物探方法一样, 对资料的定量分析和解释是资料解释中最重要和最基本的部分, 定量解释一般都是在定性解释的基础上进行的。已有的一些简单实用的解释方法都是根据简单地电条件导出的^[6-7], 因此, 计算结果实际上只能认为是半定量的, 应用时应注意其局限性。就目前而言, TEM 资料的二维、三维解释还不完善, 有待进一步研究。

4.2 异常的划分

异常是相对背景而言的, 要划分异常, 首先要确定背景场。背景区应具有瞬变电磁法相应衰减迅速、在大范围内较稳定的特点。异常数据要可靠, 应在连续几个测点的多个测道有不低于 3 倍噪声电平的数据^[2]。异常体的形状、规模、埋深等应根据测区地质情况以及

异常的空间和时间分布特点来确定。在本区，依据岩矿测试、试验剖面测量和 TEM 测量结果，认为视电阻率大于 $120 \Omega \cdot m$ 为可信异常。

5 结论

综上所述，得出以下结论：

(1) 从 TEM 多年来的应用实践，尤其是在雷门沟钼矿上的应用效果来看，采用 TEM 技术开展深部地质找矿、特别是角砾岩型钼矿床是切实可行的。

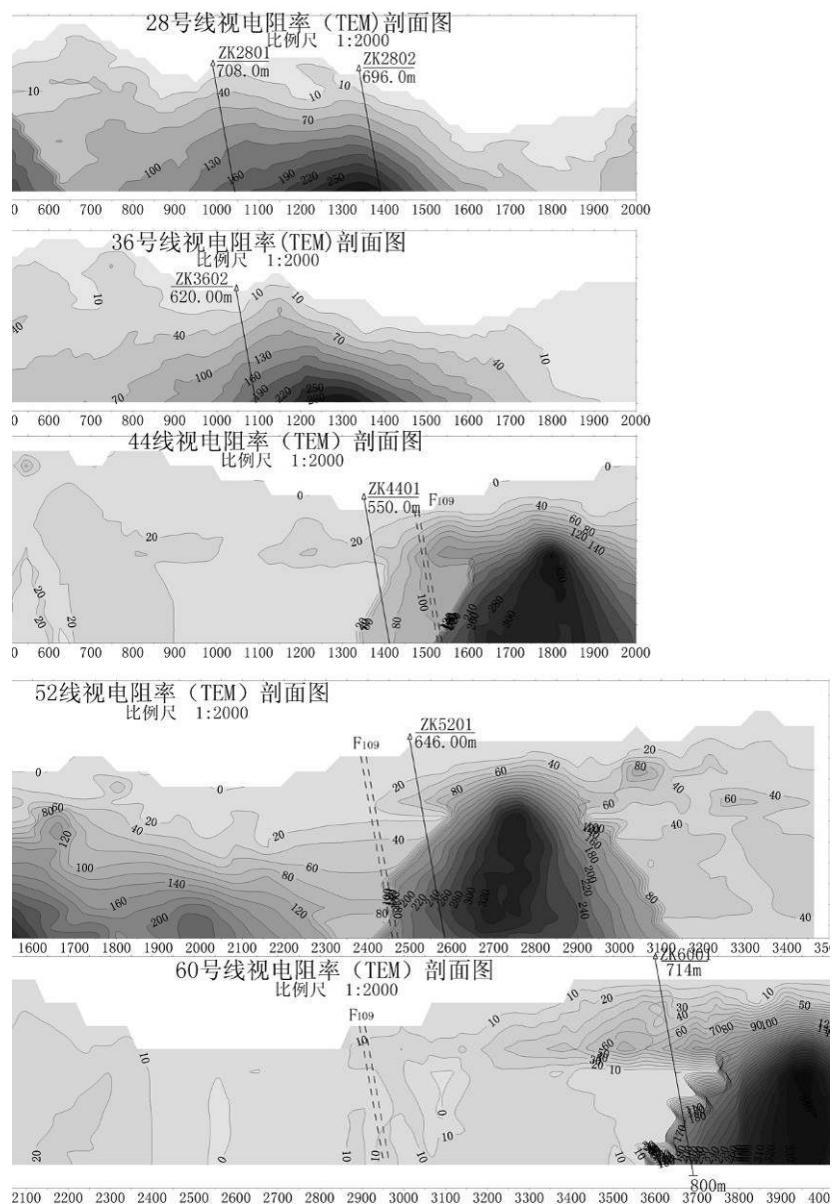


图 4 雷门沟钼矿瞬变电磁法剖面图

Fig. 4 Leimengou transient electromagnetic method profile

(2) 埋深等参数的定量解释必须参考地质、钻探、测深等资料。

笔者经过多年的 TEM 工作实践, 在野外数据采集、室内资料处理和综合解释上, 做了大量的工作, 总结了一些的经验, 认为 TEM 对地质体的响应比较复杂, 目前无法对矿体进行定量解释, 在区分矿与非矿的问题上还需进一步总结, 反演理论有待进一步完善^[8-9]。

参考文献

- [1] 刘保平, 刘菁华. 河南嵩县钼矿的电性特征[J]. 物探与化探, 2010, 34(4): 454-457.
Liu BP, Liu JH. A tentative discussion on electrical characteristics of a molybdenum ore deposit in Henan province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(4): 454-457.
- [2] 陈贵生. 瞬变电磁法在金属矿产勘查上的应用效果及存在问题探讨[J]. 矿产与地质, 2006, (S1): 543-547.
Chen GS. Application result of transient electromagnetic method to metallic mineral resources exploration and existing problems[J]. Mineral Resources and Geology, 2006, (S1): 543-547.
- [3] 祝卫东, 张瑛颖. 瞬变电磁法在地下洞体探测中的应用研究[J]. 建筑技术开发, 2008, (11): 30-32, 40.
Zhu WD, Zhang YY. Study on the application of transient electromagnetic method to the detection of underground cave[J]. Building Technique Development, 2008, (11): 30-32, 40.
- [4] 杨义彪, 席晓风, 范广海. 瞬变电磁法(TEM)在露天铁矿采空区探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2010, (5): 589-593.
Yang YB, Xi XF, Fan GH. Application of TEM to mining-out detection of an open-pit iron mine[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2010, (5): 589-593.
- [5] 李金铭. 访苏纪实: 苏联物探方法研究进展[J]. 国外地质勘探技术, 1992, (5): 17-22, 26.
Li JM. Documentary of visit Soviet Union: The research progress of geophysical exploration technique of Soviet Union[J]. Foreign Geoexploration Technology, 1992, (5): 17-22, 26.
- [6] 薛国强, 李貅, 底青云. 瞬变电磁法正反演问题研究进展[J]. 地球物理学进展, 2008, (4): 1165-1172.
Xue GQ, Li X, Di QY. Research progress in TEM forward modeling and inversion calculation[J]. Progress in Geophysics, 2008, (4): 1165-1172.
- [7] 年宗元. 我国勘查地球物理的若干进展—1995年. 物探与化探, 1996, (6): 401-418.
Nian ZY. Some advances in exploration geophysics in China--1995[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1996, (6): 401-418.
- [8] 张保祥, 刘春华. 瞬变电磁法在地下水勘查中的应用综述[J]. 地球物理学进展, 2004, (3): 537-542.
Zhang BX, Liu CH. Summarization on applications to groundwater exploration by using transient electromagnetic methods[J]. Progress in Geophysics, 2004, (3): 537-542.
- [9] 孙银行. 瞬变电磁资料的精细处理和解释研究[D]. 济南: 山东科技大学, 2007.
Sun YH. Study of elaborate transient electromagnetic data Processing and explanation[D]. Jinan: Shandong University of Science and Technology, 2007.

TEM in Leimengou Molybdenum Ore Exploration Application Effect Analysis

HAN Jing-long[✉]

(Nuclear Industry Geological Bureau of Henan province, Xinyang 464000, China)

Abstract: Leimengou molybdenum ore belongs to the breccia type molybdenum deposit, its occurrence, from inside to outside for breccia molybdenum ore-breccia-normal rock, ore body boundary is not clear, the surface is not exposed. Breccia and rock resistivity difference is apparent, geophysical prospecting method in the region has a physical property. Transient electromagnetic method in the area of application, obtained better result, established the geological geophysical model for rational arrangement of exploration engineering, provides the basis for molybdenum. This paper introduces the transient electromagnetic method based on the principle of thunder, molybdenum ore exploration as an example, the focus of the technique data processing, data interpretation, application effect and some technical problems in some analysis author.

Key words: cryptoexplosive breccia type molybdenum; Leimengou molybdenum; transient electromagnetic method; application effect; technical problems



作者简介: 韩靖龙[✉] (1967—), 男, 河南省核工业地质局物探工程师, 主要从事地球物理勘查与研究, Tel: 13949224121, E-mail: hanjinglong40@126.com。