

大回线源瞬变电磁接收装置的改进

周楠楠¹, 薛国强¹, 苏艳萍²

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所中国科学院矿产资源研究重点实验室, 北京 100029;
2. 河北理工大学 工程地质学院, 河北 唐山 063001)

摘要: 针对当前瞬变电磁勘探中存在的接收有效面积较小的问题, 提出使用接收有效面积更大的磁棒代替传统的接收面积较小的空心线圈, 并在山西大同进行了试验, 取得理想的探测结果。将改进装置用于西藏某钨矿勘探中, 探测深度达到 1 000 m, 远远超过原有装置的探测深度, 为大回线源瞬变电磁应用于更深度空间探测矿和石油提供了可行性借鉴。

关键词: 瞬变电磁; 磁棒; 接收装置; 探测深度; 冈底斯斑岩成矿带

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2012)01-0089-05

瞬变电磁法是一种时间域人工源电磁勘探手段, 因其对低阻敏感, 只观测二次场而广泛应用于资源勘探和工程勘察中^[1-5]。在以往的瞬变电磁回线源的探测中, 往往使用空心线圈接收回线中心点的响应值, 例如, 澳大利亚凤凰公司生产的 V8 综合瞬变电磁仪就是以空心线圈为接收装置的常见仪器。但空心线圈受制于接收面积和装置体积的影响, 在实际野外工作中存在着诸多不利的因素。为了提高回线源瞬变电磁在野外工作的效率及进一步提升回线源装置的应用范围, 尝试使用轻便、简单、体积小的磁探头代替空心线圈, 作为回线源瞬变电磁的接收装置。

1 问题的提出

在回线源瞬变电磁发展的进程中, 出现了几种常见的装置类型^[6], 重叠回线、中心回线、大定源回线, 这些装置的共同特点是回线发射, 回线接收, 如图 1 所示。

可以清楚地看出, 不管是重叠回线使用发射回线和接收回线同一回线装置发射电流和接收感应电动势, 还是中心回线使用较短的回线接收感应电动势, 接收装置都是使用回线圈接收信号。后期的发展中, 为了增大有效接收面积, 进而提高接收信号的强度, 发展了多匝回线的空心线圈, 例如 V8 瞬变电磁接收空心线圈为 100 × 100 的多匝装置, 使接收信号的强度相对单匝增大数十倍。但在实际工作中, 多匝线圈装置由于受到体积庞大, 重量较大而导

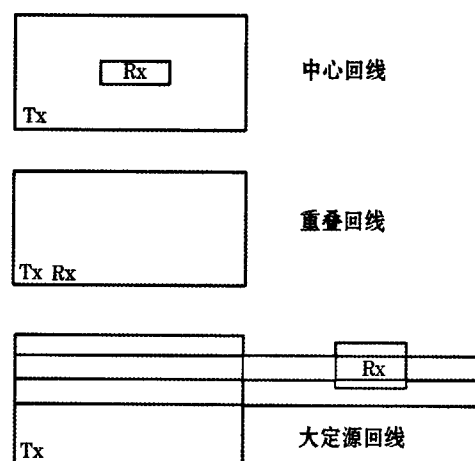


图 1 几种常见的回线源装置示意

致携带不便, 在复杂地形的山区等使用受到了较大的限制, 同时, 10 000 的接收装置在某些干扰地区的使用效果不佳。因此, 提出了使用更为轻便且型号多样的磁探头作为回线源瞬变电磁的接收装置。首先在规定区域进行不同型号磁探头和原始空心线圈进行信号对比, 通过对数据进行处理得到相关的深度和地下电性特征, 分析不同型号接收效果, 得出关于磁探头使用的可行性及数据特征分析。然后, 经过实际项目工作, 验证装置改进的可行性。图 2 所示为 18k 型磁探头和常规空心线圈的对比。

2 磁探头装置分析^[7]

当用磁探头代替接收回线时, 往往数据处理后

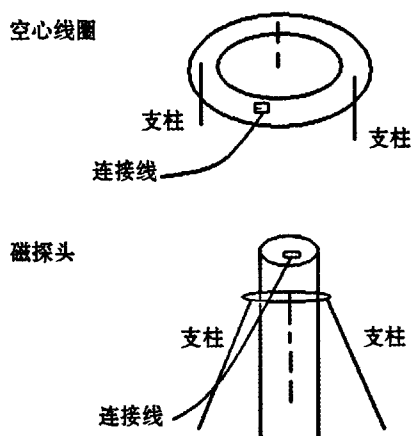


图2 18k型磁探头和常规空心线圈的对比

的探测深度会变大,而且随着探头型号的变化,由250k—70k—18k—7k探测的深度不断地增大,这是和不同型号的磁探头的接收面积是相关的,这4种探头的接收的有效面积分别为200、2 000、10 000、40 000 m^2 。接收面积越大,接收到的信号的强度越大,信噪比将会越大,使得深部信号的处理解释成为可能。同时,探头的型号代表着该探头的谐振频率,TEM-7K磁探头是谐振频率最低的磁探头,其谐振频率仅为7 kHz,最高线性频率约为4 kHz,磁探头的幅频特征曲线在双对数坐标纸上低于谐振点的频段非常接近45°线性上升特征。图3为TEM-7k磁探头幅频特性曲线。

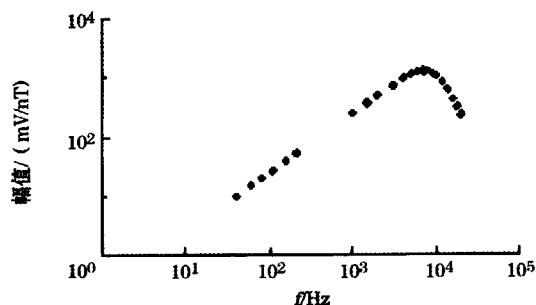


图3 7k磁探头幅频特性曲线

从图3可以看出,在7.2k时磁探头具有了最佳谐振的感应数值,感应强度最大。这也应该是该磁探头命名为7k的原因。类推,其他型号的磁探头在其命名的型号的谐振频率时得到最佳的响应结果,将4种磁探头的最佳谐振频率及响应值作对比,可知,7k磁探头的响应幅值最大,也最敏感,相对应的地下相同的信号的接收的效果越好,强度也越大。

表1给出了不同信号磁探头的技术参数的对比,对比发现探头的谐振频率越低,有效接收面积越大,接收的信号强度越大,信号的信噪比也越大,相对应的探测深度也越大。

表1 不同型号磁探头的技术参数

探头型号	7k	18k	70k	250k
最佳谐振频率 ¹⁾ /kHz	7.2	17.1	69.5	245
幅值/(mV/nT)	1288.69	744.45	570.61	239.26
有效接收面积/ m^2	41500	10000	2171	206

注:最佳谐振频率选取说明书中实际的探头结果。

3 大同磁探头应用分析实验

选用200×200的大回线发射装置,仪器为加拿大凤凰公司的V8多功能电法仪。在回线内的中心轴线40~120 m的范围内(避免边缘效应的因素影响)使用不同型号的磁探头和空心线圈,测量不同探头接收的感生电动势,发射电流为5 A。分别对不同型号的磁探头和空心线圈的接收信号进行对比分析,然后使用V8处理软件进行数据的处理,得到最终的视电阻率断面,并对最终图的探测深度和电阻率特征进行分析。

图4给出了原始数据曲线对比,可见,在相同条件下分别使用接收磁棒和空心线圈进行接收,磁芯探头接收的信号比空芯线圈接收的信号好。图中蓝色代表探头观测。

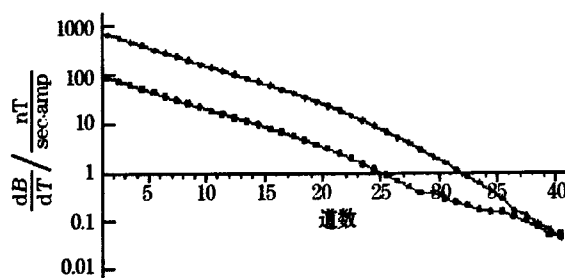


图4 18k磁棒和空心线圈同点响应曲线对比

图5为回线中心点的70k型磁探头不同频率下的数据对比,对比发现频率越高,观测的感生电动势的值越高。这和不同频率下的最早观测视窗有关,频率越低相对的最早的观测视窗越晚,前期的观测数据主要受一次场的影响,而一次场的数据只和发

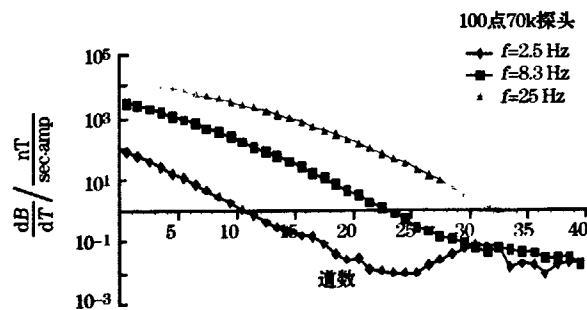


图5 回线中心点不同发射频率的探测衰减曲线对比

射的电流和发射边框的大小有关,与发射频率无关。频率越高探测的主要区域越趋于更早期的响应,因此观测值越大只是对浅层的地层的反映。频率越低,相对的开始观测时窗越晚,初始响应值较小,集中于对晚期场进行观测,晚期数据出现了离散现象,这和尾端数据比较弱有关。

图6为大回线中心点25 Hz发射频率下,不同型号接收的响应衰减曲线对比。与图5类似,在相同的发射频率下,磁探头的谐振频率越低,观测的时窗范围将会后延,得到的初始响应值会相对高的谐振频率要高,但衰减的速率随谐振频率降低而减小,衰减变慢,使得探测的时窗范围增大,根据时域瞬变电磁探测的因果律理论^[8],在信噪比一定的情况下,通过增大接收面积,增大接收信号的强度,从而提高了信噪比,因此,时窗的大小在一定程度上决定了探测深度的大小,相应的探测深度增大。

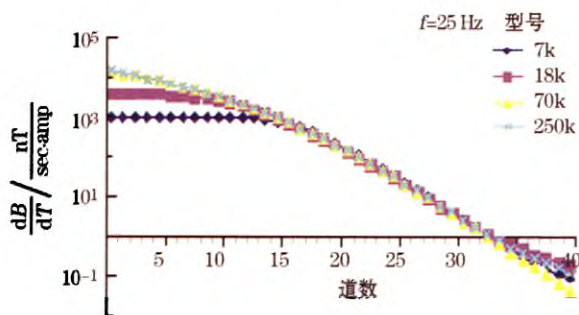


图6 回线中心点不同型号探头的衰减曲线对比

图7为相同接收磁探头型号下,不同的发射频率对探测结果的影响。结合原始数据的分析可知,

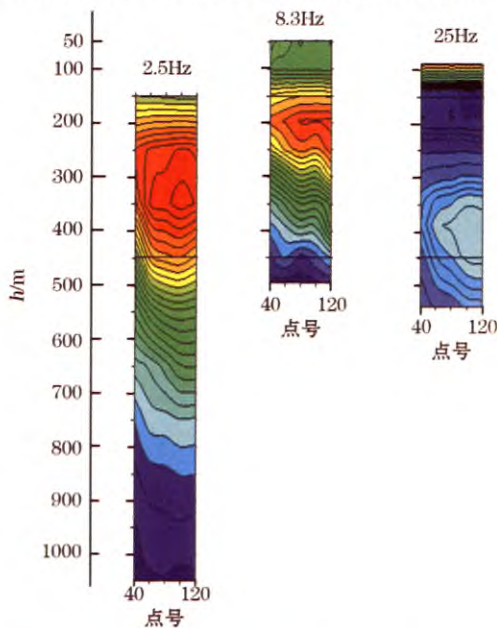


图7 18k磁探头下不同频率的数据对比

发射频率越低,探测的初始时窗越晚,结束的时窗也越晚。图中的发射频率分别为2.5、8.3、25 Hz,可见发射频率越低,探测的有效深度(以观测地层的分辨率为依据)越大,但早期数据丢失,不利于浅层勘探,而发射频率在25 Hz时,浅层的地层分辨率较高,有利于浅层勘探。实际工作中可以根据实地情况选择不同的发射频率组合,以期待全深度空间探测的精度和分辨率。

图8为相同发射频率下的不同型号的磁探头接收响应处理后的视电阻率等值线断面图,为了分析对比,图中黑线表示同一探测深度。对比发现,探头型号越小,最早观测的时窗越晚,浅层地层信息缺失越明显,结束观测时窗越晚,探测深度越深,而随着型号的增加,观测地层高分辨率的区域逐渐向浅层区域发展,如250k磁探头的观测的深度范围主要在300 m以浅的范围内,通过不同接收型号探头的组合,可以得到全深度、大区域范围的地层电性信息。

通过对原始数据曲线和段面图的对比分析,选用较低发射频率和接收谐振频率的探头可以得到超过常规装置的深度区域的电性信息,并通过不同发射频率和接收磁探头的组合可以得到由浅至深不同深度空间的电性结构,在实际应用中具有探测大深度地层的能力。

4 应用实例

西藏冈底斯成矿带斑岩成矿床具有巨大的资源潜力,但受制于西藏特殊的地形和气候特征,装备庞大的地震和大发射功率的CSAMT装置都无法在此

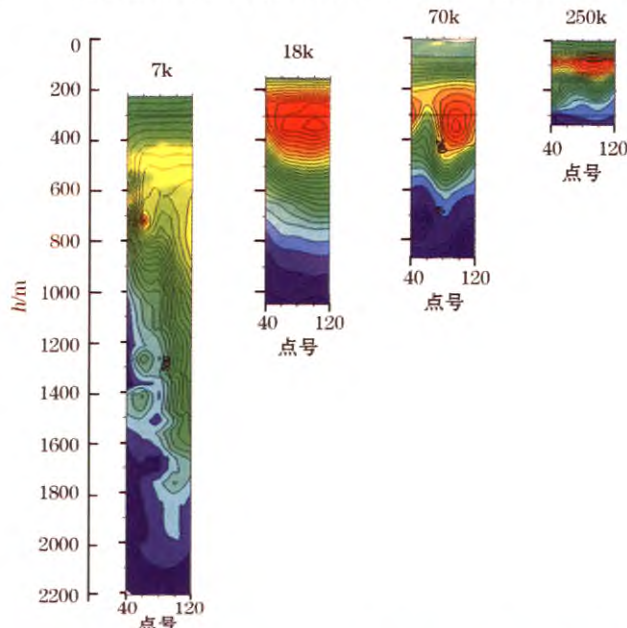


图8 2.5Hz下的不同型号的探头数据处理结果

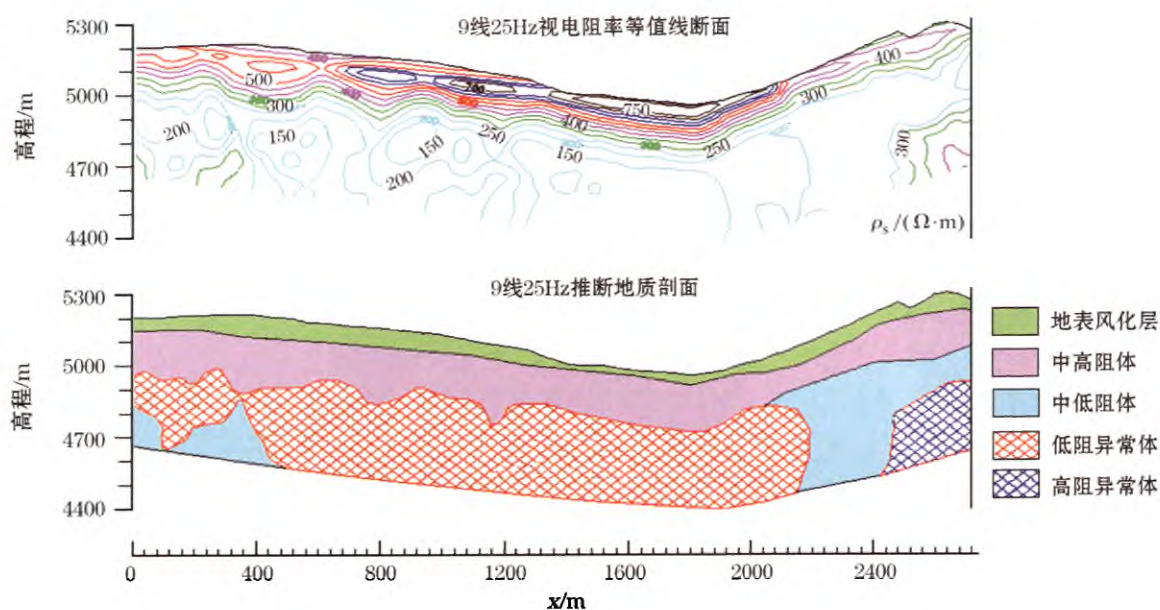


图9 沙让钼矿区大回线源瞬变电磁勘探典型剖面综合解释

开展工作。为探明深部矿产资源分布情况,对西藏工布江布县沙让钼矿床进行了大回线源瞬变电磁勘探。

沙让钼矿区地处雅鲁藏布江缝合带北侧的冈底斯东段火山岩浆岩弧成矿带上,位于拉萨地体南缘冈底斯斑岩铜矿带的东端北缘,大地构造位于冈底斯—念青唐古拉板片之念青唐古拉中生代岛链隆起带及朱拉—门巴陆内裂谷带上,在沙让钼矿区矿化受花岗斑岩体控制明显,整个花岗斑岩体达到了全岩矿化的程度。本次地球物理工作的主要目的是:①查明地下500 m以内矿化异常体的赋存范围,包括深度、延伸情况等;②在主要矿化地段了解地下700 m以内的矿化异常体的赋存情况;③提出验证孔位。

瞬变电磁仪器选用加拿大生产的V8多功能电法仪。本次工作采用:发射线圈300 m×300 m,在扫面阶段,选用25 Hz基频进行工作,共40道,时间范围分别为:0.072~8.64 ms,异常评价阶段,选用8.3 Hz基频进行工作,时间范围为0.216~25.92 ms。采用(5)式计算视电阻率(ρ_s)。

测区为一矩形,长度约3100 m,宽度约2900 m,基本网度200 m×40 m。首先进行了面积性普查工作,然后针对重点异常地段进行瞬变电磁异常评价工作,为矿区隐伏矿预测的打钻提供依据。共计1168个物理点。

根据 ρ_s 等值线的变化情况和值的大小,分出5个电性层单元(图9)。在剖面上,从上到下的各电性单元的视电阻率值的范围分别为:第一单元 ρ_s 范

围200~400 $\Omega \cdot m$,解释为地表风化层;第二单元 ρ_s 范围400~900 $\Omega \cdot m$,定性解释为中、高阻体,厚度不均匀,主要岩性为上二叠统石英砂岩,白云岩等;第三单元 ρ_s 范围200~300 $\Omega \cdot m$,定性解释为低阻异常体,把一定深度上的 $\rho_s < 300 \Omega \cdot m$ 的等值线圈闭体定性解释为矿化异常体;第四单元 ρ_s 范围300~500 $\Omega \cdot m$,定性解释为中、低阻异常体,推断为不同程度蚀变化的斑岩体;第五单元 $\rho_s > 500 \Omega \cdot m$,定性解释为高阻体,推测为未蚀变矿化的斑岩体、闪长岩体或者花岗闪长岩体等。

根据地球物理测量结果,该区内的地下异常体的海拔最高为5220 m,最低为4440 m。该矿化异常体普遍反映良好的深度范围主体为海拔4700~5000 m。二号异常区规模较小,分布于测区的西北角一带,长度约1100 m,最大宽度约为660 m,最小宽度约为160 m。该区异常体厚度最大约640 m,最小约210 m,该异常体的平均长度约为1100 m,平均宽度约为320 m,因而该区内的地下异常体在地面的投影面积约为0.352 km²。地下异常体的海拔最高为5200 m,最低为4680 m。两个异常区的面积总和为3.77 km²。

2008年后,西藏地矿局六大队作为勘查单位开展部分地段的详查工作,共施工19个钻孔,最大孔深600 m,合计约9300 m。孔孔见矿,且向深部蚀变增强、矿化变强,矿体连续性变好。从而初步揭开了沙让大型钼矿的面纱。经过初步的钻探表明,整个花岗斑岩体有不同程度的矿化,从开孔至350 m进尺,钼含量多在0.01%以上,局部有富矿存在

(钼含量在 0.5% 以上)。金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,含少量钛铁矿,少见黄铜矿等。脉石矿物主要为长石、石英及绢云母,含量 95% 以上。成矿斑岩体为花岗斑岩,成矿类型确定为独立型斑岩钼矿。

5 结论

经过野外试验和实际矿区工作验证,传统大回线源装置结合磁探头可以大大提高大回线源的探测深度,虽然浅层的数据在较低型号磁探头时有一定程度的缺失,但我们可以根据实际探测的需要应用不同的发射频率和磁探头的组合装置进行实际的勘探工作,从而达到全深度空间、高分辨率探测的目的。

参考文献:

- [1] 嵇艳鞠,林君. ATEM 瞬变电磁系统在长春市活断层勘探中的应用[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2005,35.
- [2] 詹艳,赵国泽. PROTEM-37 瞬变电磁测深系统及应用实例[J]. 地震地质,2001,23(2).
- [3] 李水平,张同中,景金明. Terra-TEM 瞬变电磁系统在隐伏铁矿体上的勘查应用[J]. 物探与化探,2009,33(4).
- [4] 刘国兴. 大功率激电和瞬变电磁法在青海锡铁山深部找矿中的应用[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2003,33(4).
- [5] 薛国强. 大回线源瞬变电磁法最小探测深度的分析与估算[J]. 工程勘察,2004,(2).
- [6] 李貅. 瞬变电磁测深的理论与应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2002.
- [7] 河北省地球物理勘察院. 瞬变场磁探头说明书[R]. 2007.
- [8] 王英洲,方旭明. 短距离诬陷通信主要技术与应用[M]. 数据通信,2004,(4).
- [9] 秦克章. 西藏首例独立钼矿——冈底斯沙让大型斑岩钼矿的发现及其意义[J]. 中国地质,2008,35(6).
- [10] 赵俊兴,秦克章. 冈底斯沙让钼矿的成矿年代学和岩石地球化学与青藏高原主碰撞期成矿作用[J]. 矿物学报,2009(增刊).
- [11] 李光明,芮宗瑶. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄[J]. 大地构造与成矿学,2004,28(2).
- [12] 李光明,芮宗瑶,王高明,等. 西藏冈底斯成矿带甲马和知不拉铜多金属矿床的 Re、Os 同位素年龄及意义[J]. 矿床地质,2005,24(5).
- [13] 李光明,刘波,余宏全,等. 西藏冈底斯成矿带南缘喜马拉雅早期成矿作用——来自冲木达铜金矿床的 Re、Os 同位素年龄证据[J]. 地质通报,2006,25(12).
- [14] Li G M, Qin K Z, Ding K S, et al. Geology, mineralogy Ar-Ar age and mineral assemblage of eocene SkarnCu-Au Mo deposits in the southeastern Gangdese arc, southern Tibet: Implications for deep exploration[J]. Resource Geology, 2006, 56.
- [15] 李金祥, 秦克章, 李光明, 等. 冈底斯中段尼木斑岩铜矿田的 KAr、⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄:对岩浆—热液系统演化和成矿构造背景的制约[J]. 岩石学报,2007,23(5).
- [16] 肖波. 冈底斯驱龙斑岩铜钼矿床的岩浆侵位中心和矿化中心:破裂裂隙和矿化强度证据[J]. 矿床地质,2008,27(2).
- [17] 肖波,秦克章,李光明,等. 西藏驱龙巨型斑岩 Cu、Mo 矿床的富 S、高氧化性含矿岩浆——来自岩浆成因硬石膏的证据[J]. 地质学报,2009,83(12).

THE IMPROVEMENT OF THE GIANT LOOP TRANSIENT ELECTROMAGNETIC RECEIVING DEVICE

ZHOU Nan-nan¹, XUE Guo-qiang¹, SU Yan-ping²

(1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2. College of Engineering Geology, Hebei University of Technology, Tangshan 063001, China)

Abstract: This paper proposes the utilization of the magnetic probe that has larger receiving area to replace the air core coil which has too small receiving area. This design was realized in Datong, Shanxi Province. The authors used the improved arrangement in search for Mo deposits in Tibet, where the detection depth could reach 1 000 m, far larger than the detection depth of the traditional receiving system. The experiment and application of the improved receiving system make the application of TEM to oil and deep ore exploration feasible.

Key words: transient electromagnetic method; magnetic probe; receiving device; detection depth; Gandise porphyry metallogenic belt

作者简介: 周楠楠(1986-),男,中国科学院地质与地球物理研究所在读研究生。