时间域瞬变电磁方法应用的几点认识

张木林[1], 刘永生[1,2], 王 育[3]
(1. 湖北省地球物理勘察技术研究院,湖北 武汉 430056; 2. 中国地质大学,湖北 武汉 430074;
3. 湖北省地震局监测预报中心,湖北 武汉 430071)

摘 要: 介绍瞬变电磁法的方法技术和应用特点, 通过工程实例, 对该方法的应用效果及相关技术问题提出自己的认识。

关键词: 瞬变电磁法; 时间域; 异常解释; 目标物
中图分类号: P631.3+25 **文献标识码**: A **文章编号**: 1671-1211(2007)02-0170-05

0 引言

瞬变电磁法 (TEM)最初由前苏联学者于上世纪30年代提出,起初主要应用于航空物探领域; 20世纪80年代～90年代在中国开始得到推广应用,首先在金属矿勘探中获得了较好的效果,进而推广到工程勘查领域,并显示出了明显的优势。

瞬变电磁法[1]的基本原理:利用回线 (接地或不接地的)向地下发送一次脉冲电磁波 (多为矩形波),在其间歇期间,观测二次涡流场。当地下存在电性不均匀地质体时,能观测到不均匀体的涡流场 (即异常二次场)。通过对异常场的解析,转换为 ρ_s 参数,进行推断解释,从而达到解决地质问题的目的。

由于瞬变电磁法所产生的电磁场在地下介质中的传播随时间延长而呈 47°倾斜锥面向深部扩散,通常用吹出来的"烟圈"来形象地表达这种效应,即"烟圈效应"。它表明瞬变场随时间呈有规律的变化,这正是它能进行测深勘探的理论基础。

湖北省地球物理勘察技术研究院自 1993年起就进行了瞬变电磁方法的试验工作,并随即在不同领域开展了应用研究工作,积累了较为丰富的工作经验,本文即是对该方面的总结。

1 瞬变电磁法的应用特点

瞬变电磁法依激励场源不同而分为垂直磁偶源方法 (使用不接地回线)和电偶源方法 (使用接地电极),其中用得较多的是垂直磁偶源中的回线场源方法。据笔者工作经验,并综合文献报导资料,与其它电磁法相比,瞬变电磁法具有以下特点:

(1) 和其它电磁法一样,横向分辨率较高,对探测产状较陡的局部异常地质体较为"敏感";

(2) 观测纯异常,受地形影响小,而且没有装置耦合噪声干扰,观测精度较高;

(3) 采用不接地回线工作,特别适宜于接地条件困难地区施工,野外施工方法技术简单,工效高;

(4) 通过不同的参数组合选择,可以灵活地改变探测深度,从十几米到近千米,探测不同深度的目标物。

正是由于具备这些特点,瞬变电磁法才得到了较为广泛地应用。据相关资料介绍及我们的工作实践,在金属矿勘探、岩溶、断裂破碎带和软弱夹层等不良地质构造探测、地下 (热)水探测、古墓和古洞穴探测、高矿化度污染带 (如岸基海侵、盐化工泄露污染)的圈定等方面,都有成功运用的例证。

2 方法技术应用的几点体会

2.1 关于装置选择问题

瞬变电磁法尽管有多种装置可供选择,但以重迭回线和中心回线应用最多。重迭回线指发射与接收为相同线圈;中心回线则指正方形线框发射,接收则为小型多匝回线置于发射装置中心观测。我们工作中应用重迭回线为多。此方法精度及异常重现性都较好,观测质量有保证。实际上,这两种装置异常形态基本相同,都具有异常幅度大、形态简单、受旁侧影响小、横向分辨率高等优点。

2.2 技术参数的选定

技术参数的选定,应在开工之初通过野外现场的试验工作来确定。主要是应用下列公式来确定记录时间范围:

收稿日期: 2006-10-11; **改回日期**: 2006-10-26
作者简介: 张木林 (1959-), 男, 工程师, 物探专业, 从事电磁法技术工作。E-mail: l_ysh@tom.com

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$d = \frac{4}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{t/\sigma\mu_0} \approx 2\ 000\ \sqrt{\{\rho\} \cdot \{t\}}\ m$$

理论上,记录的时间宽度越大越好,但太早期道或太晚期道都无法保证信号的质量,故必须利用上式求取最小、最大延迟时间。

供电电流强度的确定可用下式确定:

$$I \geq \frac{\{\rho_{max}\}^{\frac{3}{2}} \cdot \{t_{min}\}^{\frac{3}{5}} \cdot \{V_{min}\}}{(6.32 \times 10^{-3})^{\frac{3}{2}} \cdot \{L\}^4}$$

至于叠加次数可根据工区噪声水平选定,既要保证观测质量又要兼顾观测速度。

2.3 施工注意事项

瞬变电磁场对高压线、地面铁磁性物体、工业游散电流等干扰反映比较"敏感",故野外施工时要尽量避开上述干扰源。

2.4 资料整理与基础图件

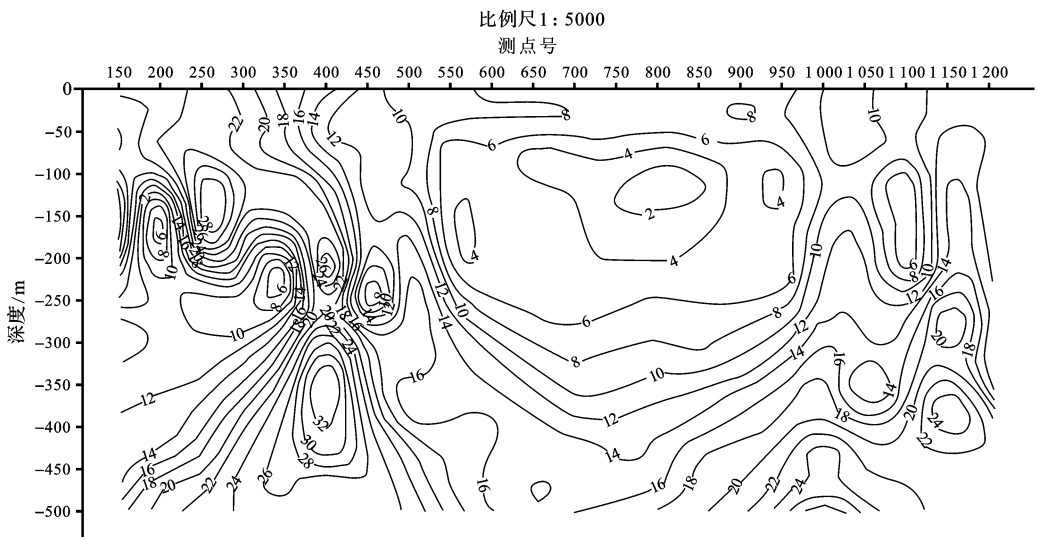
资料整理一般经回放后由机带程序包自动进行,同时可根据需要进行某些(如滤波)数据处理,计算出各种导出参数。基础图件一般主要提供两种:①多测道 V/I剖面图(亦称电压剖面图);②ρ_s拟断面图。

3 应用实例

3.1 在矿产资源勘查中的应用——湖北大冶某桥找矿靶区评价中的瞬变电磁测深

该找矿靶区濒临湖区,因具有重力低和伴生弱磁异常而推断认为可能存在隐伏斑岩体。为进一步评价其找矿意义,布置了直流电测深工作,以了解第四系覆盖层下的地质构造特征,其成果可见图 1(b)。

(a) Ⅱ线瞬变电磁视电阻率断面图



(b) Ⅱ线电测深视电阻率断面图

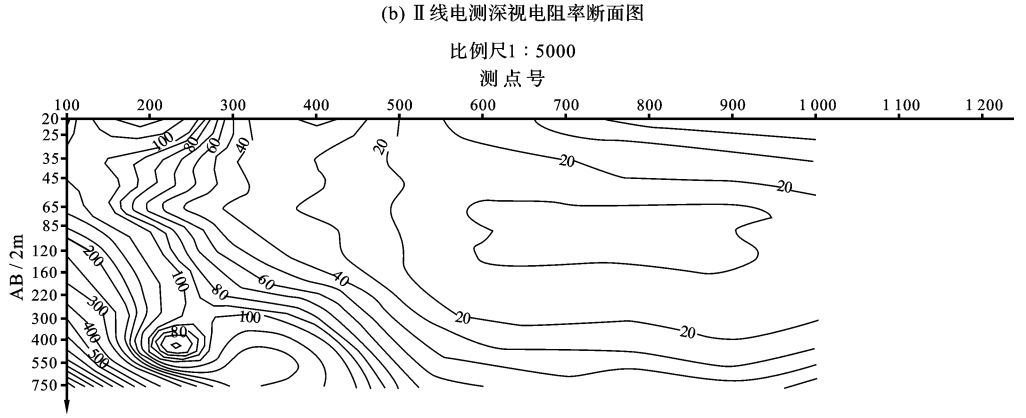


图 1　Ⅱ线瞬变电磁与电测深效果对比图

Fig 1　The comparison between TEM and electric sounding method in Line Ⅱ

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由图 1(b)可知,直流电测深展示了南接触带(小号点方向)的岩性接触关系。北接触带由于湖水阻挡无法放线布极而资料缺失。随后所投入的 TEM 法获得了完整的信息,全面揭示了不同岩性的接触关系,其成果见图 1(a)。

方法技术应用特点:采用深层测量系统,正方形重迭回线装置,L(边长)=100 m;发射/接收线框为 2匝/4匝,发射脉宽 20 ms,脉冲电流 4.6 A,叠加次数为 128次。

地质效果分析与对比:

(1) 与电测深对比,显然探测深度更大(达到 500 m),完善了北接触带异常形态,指示接触带位于 1 050点~1 100点一带。

(2) 对比中不难发现,瞬变电磁法所提供的信息更加丰富和细节化,它圈定的接触带不是简单的"平直"状态,其界面扭曲变化,局部还存在圈闭异常,显示了接触构造形态的复杂性,应是找矿的有利部位,值得关注。

3.2 在地热资源调查中的应用——湖北省洪湖某镇地热田勘查

该地热点位于江汉平原东部,地表全部为第四系覆盖。地面地质调查发现有"热苗"显示,米温测量圈出了局部地热异常。为了解该地热点的水文地质构造条件,投入了瞬变电磁测深和直流电测深。电法探测成果见图 2。

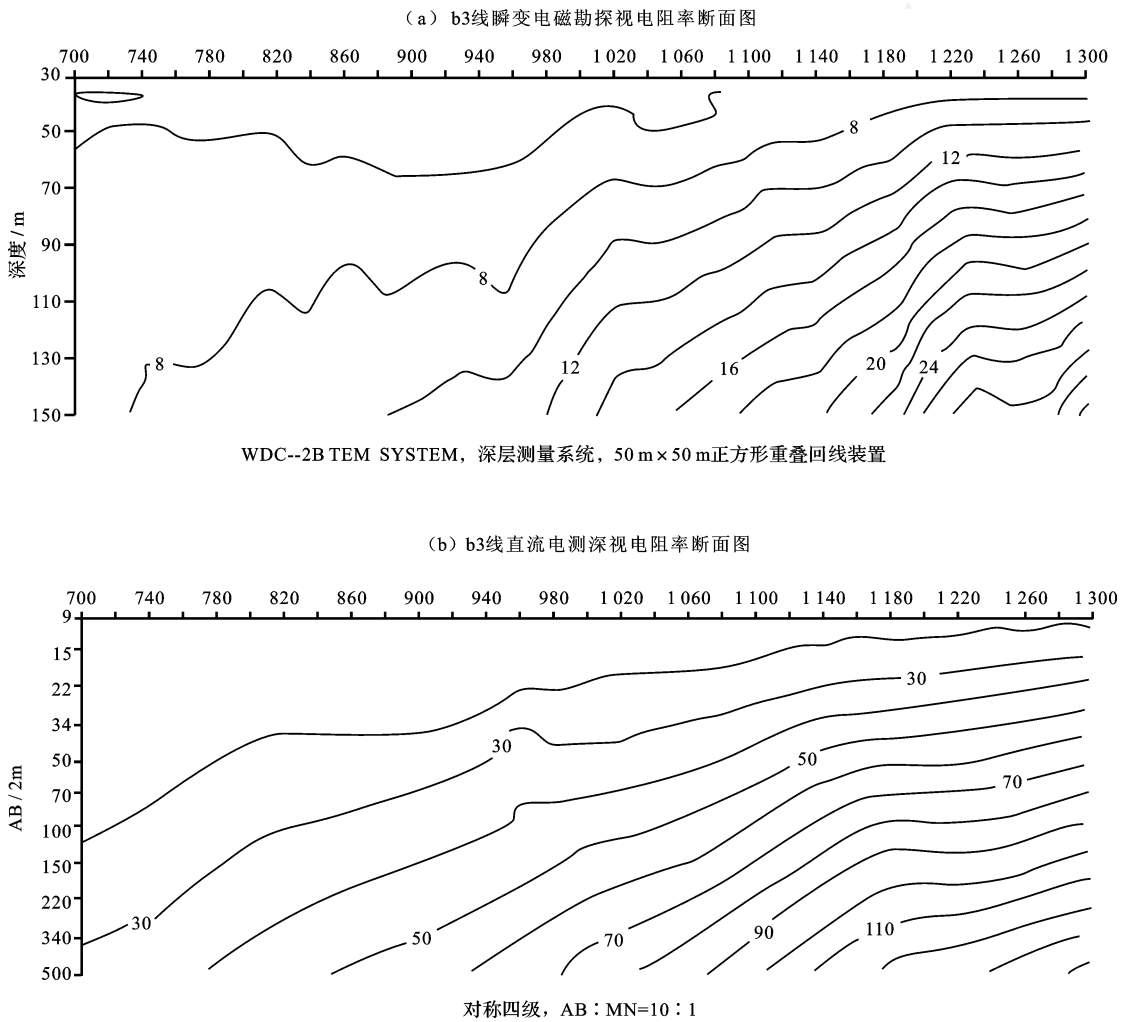


图 2 湖北省洪湖某镇 b3线瞬变电磁与电测深效果对比图

Fig. 2 The comparison between TEM and electric sounding method in Line b3

尽管两种方法都是 ρ_s 参数,但从异常形态对比分析,瞬变电磁测探所显示的白垩—第三系碎屑岩地层(相对低阻)和以碳酸盐岩为主体的老地层之间的接触关系更加清晰,岩性界面在 1 215点一带,产状较陡。1 255点的低阻凹陷异常应反映了导热构造的存在,比直流电测深的曲线扰动异常要明显一些。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.3 在工程地质勘察中的应用 ——鄂东公路长江大桥不良地质构造探测

图 3所展现的是该公路大桥 K4 +900～K5 +915段瞬变电磁探测及其推断地质成果。首先,从多测道电位 (*V* / *I*亦称电压)剖面曲线可判定高电压段位于 5 050(即 K5 +050)点、5 300(即 K5 +300)点和 5 500(即 K5 +500)点。与之对应的在电阻率断面图上出现了低阻异常。其中 5 050～5 300点出现了规模稍大的低阻凹陷异常,而 5 500点解析计算结果出现了近于直立的圈闭低阻异常,推断为岩性破碎引起,深度分别在 35 m和 90 m,建议钻探验证。施钻验证的结果证实了断裂破碎带的存在,发育深度也与物探推断结果相吻合。

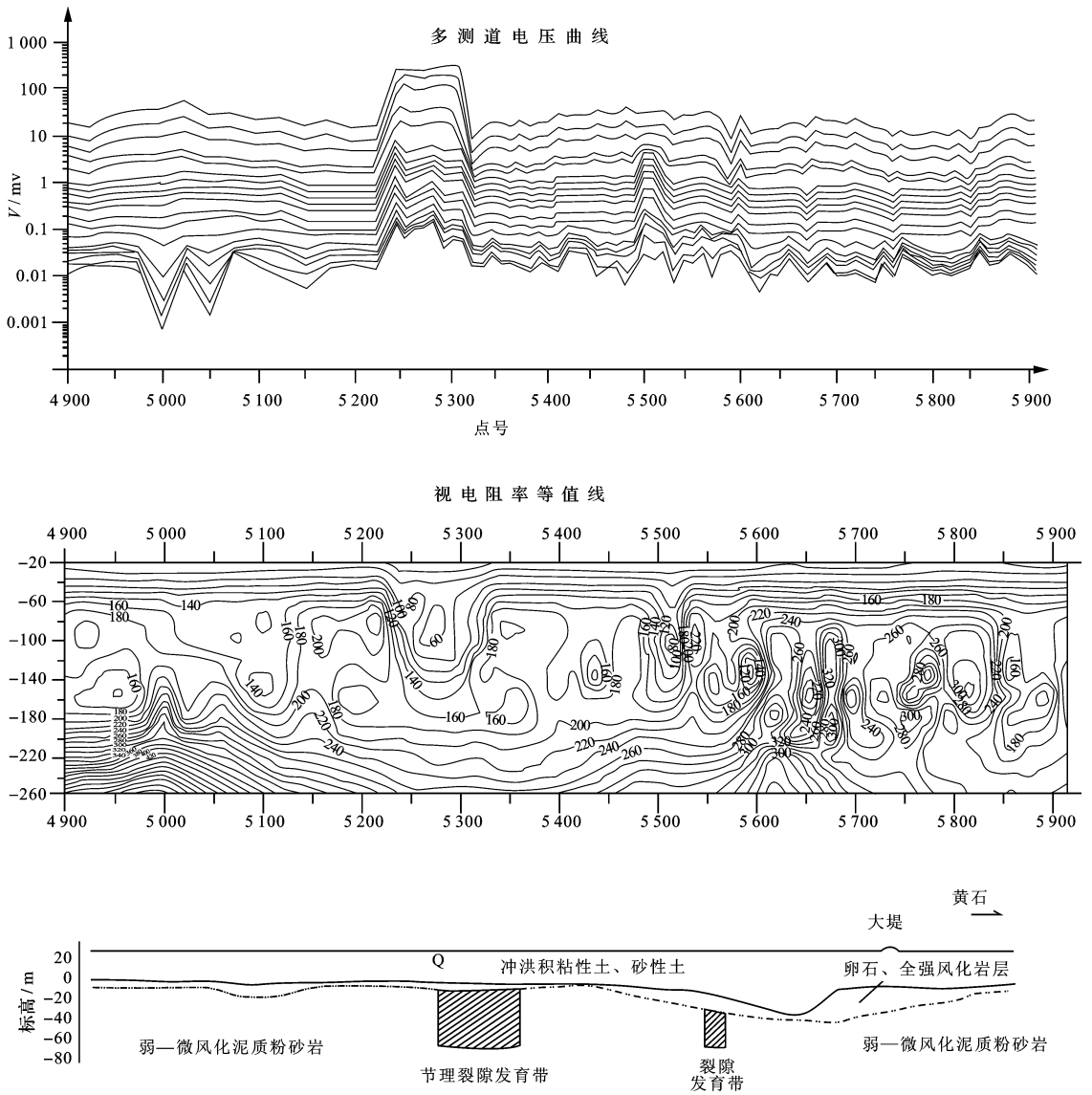


图 3 鄂东长江公路大桥瞬变电磁综合推断成果图

Fig 3　TEM application to a bridge site in east Hubei

4 讨论

4.1 关于增加勘探深度的认识

鉴于解决深部地质问题的需要, TEM 法必须加大勘探深度。通常有两种做法,一种是加大发射回线尺寸;另一种是采用小回线、大电流 (50 A～200 A)。据笔者工作体会,采用小回线、大电流虽然施工方便,分辨能力较好,但由于早期道信息失真,导致起始探测深度相当大。在宜万铁路深埋某隧道探测中,我们作过一些对比,大电流装置所得到的电阻率拟断面图,其浅部呈现为与起伏地形平行的等值线,造成十分明显的信息缺失区,受到工程地质人员的质疑。相反,大回线装置成果资料易为其所接受。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2 关于异常的解释问题

与所有的地球物理反演问题求解一样,如何克服异常的多解性也是瞬变电磁所面临的一个重要问题,首先应注重地质与物探的密切配合,认真地分析工区地质—地球物理条件。这方面应注重物性资料的收集,更要重视开展必要的物性测定工作,为方法应用—资料正反演解释提供地质—物性依据。克服异常多解性应依靠工区已知的地质构造规律,并结合物探异常自身某些特征进行综合解释,会取得较好的地质效果。当然,有条件时可以进一步结合其它物探方法资料进行综合解释,对提高解释的准确性更有帮助。

4.3 关于异常形态的认识

由于瞬变电磁测深横向分辨率高,在观测信息可靠的前提下,可以利用其异常形态,结合具体的水文地质与工程地质条件来判断目标物的基本形态。如前面所述的圈闭异常一般表现了目标地质体的"囊状"特征;梯级带异带指示了岩性界面的存在;"线状"异常和"对角状"低阻异常往往反映了陡产状的线状构造—断裂、构造破碎带等。

应当指出的是:上述这些解释方法应严格遵守"地质—地球物理条件小区"的原则。只有在地质—物性条件基本相似的地区,且积累了一定的工作经验才是行之有效的。

5 结束语

多年的工作实践证明,瞬变电磁法具有横向分辨率高、对接地条件要求低、工效高、探测深度大等优点,应用领域日益广泛。近年来,随着国家综合经济实力不断提升,无论是工民建领域还是矿产资源领域,都对深部探测提出了更高的要求,瞬变电磁法能够发挥出更好的作用。

参考文献:

[1] 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术[M]. 北京:地质出版社,1996: 132 - 159.

A Discussion on the Application of Transient Electromagnetic Method for Time Domain

ZHANG Mu-lin[1], LIU Yong-sheng[1,2], WANG Yu[3]

(1. *Hubei Institute of Geophysical Prospecting Technology, Wuhan, Hubei* 430056; 2. *China University of Geosciences, Wuhan, Hubei* 430074; 3. *Hubei Seismic Bureau, Wuhan, Hubei* 430071)

Abstract: The authors introduced the technique and application of the transient electromagnetic method (TEM) which is a newly emergent technique. Through cases, the authors discussed the TEM' application effects and some key problems

Key words: transient electromagnetic method (TEM); time domain; anomaly interpretation; objectives

《三峡库区(湖北段)回水条件下的斜坡变形调查研究》项目成果达到国际先进水平

[本刊讯] 3月29日,湖北省水文地质工程地质大队承担的《三峡库区(湖北段)回水条件下的斜坡变形调查研究》项目通过了由湖北省科技厅组织的专家评审组的鉴定。专家们一致认为,该项研究成果内容全面,技术路线先进,评价合理,总体上达到了国际先进水平,具有较广的应用价值,为三峡库区地质灾害防治和库区城乡规划建设提供了地质依据。

神农架地区查明一大型锌矿床

3月20日,湖北省国土资源厅组织专家对省地调院承担并提交的《湖北省神农架林区冰洞山矿区锌矿普查报告》进行了评审。评审结果表明,该矿区查明推测的锌金属资源量在50万吨、铅金属资源量在10万吨以上,为一大型锌矿床。这是湖北省首次发现和查明的大型碳酸盐型沉积改造锌矿床。

(原载湖北省国土资源厅网 2007 - 03 - 26)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net