文章编号:1005－6157(2009)02－0119－ 5

可控源音频大地电磁法若干方法技术问题的探讨

张国鸿[1],李仁和[1],张良敏[2]

(1安徽省地球物理地球化学勘查技术院 ,安徽合肥 230022;2 安徽省化工地质勘查总院,安徽马鞍山 243031)

摘 要:通过用可控源音频大地电磁法在已知隐伏矿体上的方法实验结果;探讨了可控源音频大地电磁法在实际应用中若干方法技术问题。

关键词:可控源 ; 电磁法 ; 方法技术 ; 二维反演

中图分类号:P631.3+25 文献标志码:A

0 引 言

可控源音频大地电磁法(CSAMT)是在大地电磁法(MT)和音频大地电磁法(AMT)的基础上发展起来的一种人工源频率域电磁测深方法。它克服了天然场源的随机性和信号弱的缺陷。自20世纪80年代后,该方法的理论和仪器得到很大发展,应用领域不断扩大, 在寻找深部隐伏金属矿、油气构造勘查、地热资源勘查和工程地质勘查等方面得到了广泛应用。这种方法是使用接地导线或不接地回线作为场源,在波区测量相互正交的电、磁场切向分量,计算波阻抗——卡尼亚电阻率,并同时获得阻抗相位——电、磁场分量间的相位差。近几年来,尽管该方法应用普遍,但人们对其野外工作方法、数据的处理和地电断面的反演等技术问题的研究尚不够多。本文利用几个深部已知矿体上的方法实验资料,对方法有关技术问题进行了探讨,供同行们参考。

1 野外工作方法技术

1.1 CSAET与CSAMT测量方式

为了区别测量多个点电场分量是否共用一个磁道,人们把多个电道共用一个磁道情形下的测量用CSAET表示,而用一个磁道对应一个电道情形下的测量用CSAMT表示。因为就目前仪器通道数及磁性探头的配置,现在绝大多数地勘单位进行可控源音频大地电磁法工作时,为了提高工作效益都采用CSAET方式测量。

图1是某磁铁矿区Ⅳ号勘探线上方法实验剖面。上图是用CSAET方式测量获得的视电阻率二维反演断面;下图是用CSAMT方式测量获得的视电阻率二维反演断面。从两种测量方式的结果看,获得的地电断面异常总体上是一致的,但在深部异常上,CSAET

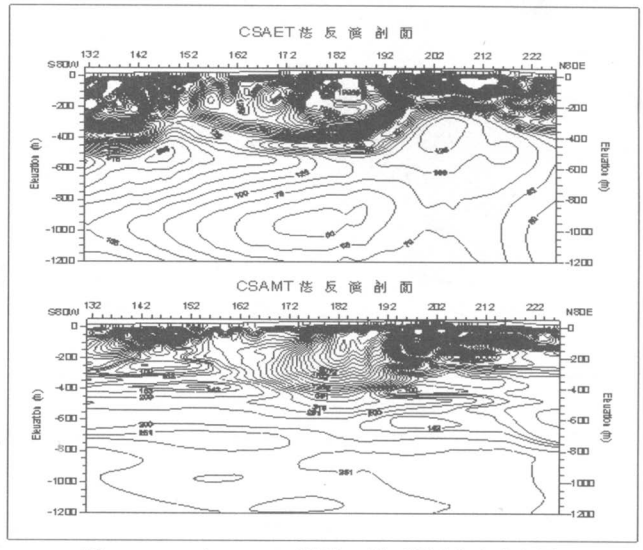


图1 CSAET与CSAMT测量二维反演剖面对比图
Fig.1 Comparison of CSAET and CSAMT 2-D inversion profiles

测量结果要比CSAMT测量明显,且CSAET测量结果的低阻异常形态与下伏矿体产状基本一致。浅部地电异常分布,两种测量基本对应,但在异常强度、低阻异常位置,两者有所差异。因此,要根据异常强度来判定岩层性质,用低阻异常位置判定断层位置时,显然两者给出的结果是不同的。从理论上讲,CSAMT测量应比CSAET测量真实度要高,但在一定测点距范围

收稿日期:2009-04-20

作者简介:张国鸿(1956-),男,安徽合肥人,高级工程师,现主要从事地球物理勘探、方法研究工作。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

内，磁探头放置的具体位置也是有选择的。另外，由于CSAMT剖面测量耗时多，完成一条不太长剖面需几天时间。因此，环境、人文的电磁干扰波动大，近地表的电性也会发生较大变化，这样，CSAMT测量反而会带来不可确定的误差。因此，具体所需测量的电场道与磁场道的比例数可根据测区地质情况和接收偶极长度MN而定，地质情况简单、MN小，比例数可大；地质情况复杂，MN大，比例数要小。因此，在目前仪器结构的情况下，应当选择CSAET测量方式较为合宜。

1.2 准矢量测量方式

我们在上述Ⅳ号勘探线上的部分地段，把单一场源不同时间测量的两组相互正交的电、磁场分量（Ex和Hy 、Ey和Hx）构成了一个矢量方式测量的数据集。并对其进行了矢量方式测量情况下的二维反演计算，图2为反演结果。

由图2可见，整个地电断面有多个不同强度的等轴状闭合异常组成，地电异常显示出杂乱无章，既

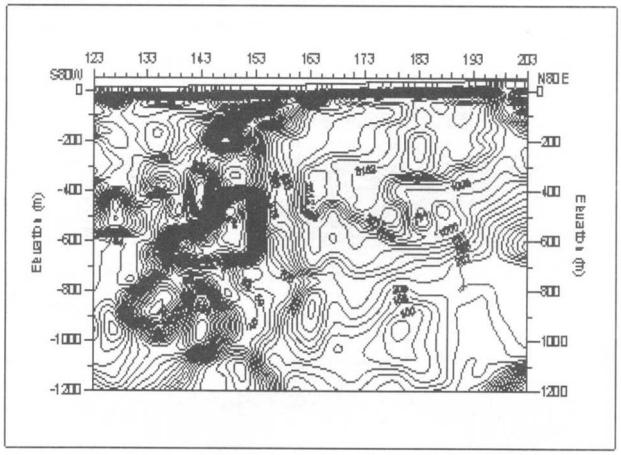


图2 准矢量测量方式二维反演剖面

Fig.2 Approximate vector measurement 2-D inversion profile

看不出地层分布特征，又见不到矿体异常存在。在143～153号点间，从上到下显示以陡立的呈串珠状分布的低阻异常，对比该地段地质剖面，该异常貌似与断层破碎带有关。

从场源测量方式原理上讲，矢量测量方式数据提供了地下二维或三维构造的信息，从我们所做的工作结果看，其效果不尽人意。经分析，我们是用时间跨度大（数十天）两组独立测得标量方式测量数据来组合成一个矢量方式测量的数据集，以此作为矢量测量的结果，看来是徒劳的。因此，在现在接收机是一个磁道，多个电道的结构情况下，要进行矢量测量是办不到的，除非使用多台接收机同时进行同步测量。

1.3 磁性源场与电性源场测量

图3是同一剖面两种不同的激发场源的CSAET测量结果的视电阻率二维反演断面。尽管我们没有将回线尺寸与发射电偶极长度等效，但从实验数据和理论分析，可以确定地说，磁性源场的信号比电性源场的信号要弱。这是因为在远区磁性源场的电、磁场水平分量与收发距r^4成反比，而电性源场的电、磁场水平分量与r^3成反比。图3中的上图是磁性源场测量结果，可以看出，随着深度的加大，电阻率增加率要比电性源场测量结果要大，说明磁性源场进入过渡带和近区比电性源场要早。另外，根据实测数据的离差，电性源输出的信号优于磁源性。

基于上述的认识，在接地条件允许的条件下，实际工作中应优先选择电性源场测量，当无法接地时（接地电阻大于1000Ω.m），探测深度小于500m，可选

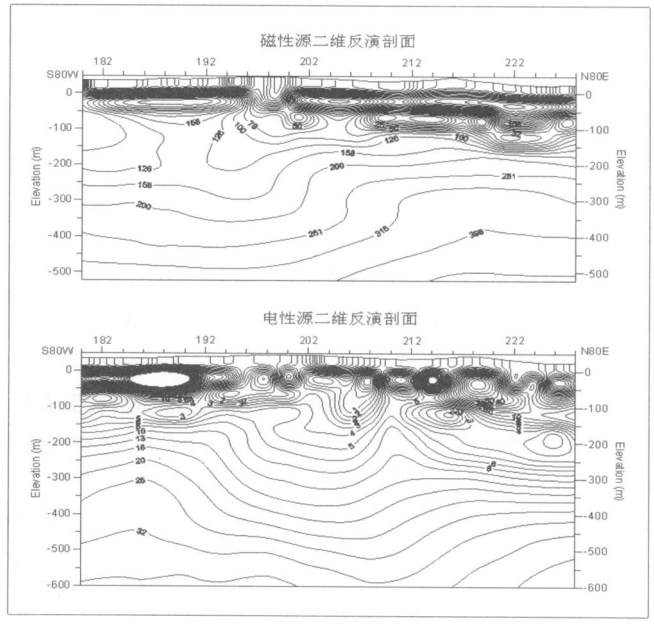


图3 磁性源与电性源测量结果二维反演剖面对比图

Fig.3 Comparison of 2-D inversion profiles from magnetic dipole source and electric dipole source

用磁性源场测量，但要增大发射电流强度。

1.4 注重加密频点测量

在可控源法技术规程（征求意见稿）中，为了保证探测深度，只对测量的最低频率做了规定。在现行的可控源法经费预算标准里，也只对测量的频率范围进行了分档。对测量频点的疏、密的要求，目前尚无权威性的技术文献规定，因此人们在实际工作中，大多按“2”的倍率从低到高增加频点。实验工作中我们发现，这种频点增加方式对高、低频段可以满足探测工作的需要，对于中频段（约16～512Hz）测量就显得频点过稀，以使中（深）部较薄的电性层丢失，造成地电断面图上低阻（或高阻）层横向上不连续，甚至造成矿体在水平方向过早发生尖灭的现象。目前，GDP—32^{II}仪器

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有“1.41”的倍率加密频点的功能,因此,当在寻找薄而深的矿层或目标层时,必须加密频点测量。

2　数据处理技术

可控源音频大地电磁法数据处理工作包括:数据编辑、静态校正、地形校正及过渡区校正等。

2.1数据编辑

数据编辑的目的是消除仪器噪声、天然电磁噪声、风噪声和人文噪声引起的明显畸变。目前处理方法有三种,一是通过多次重复测量计算平均值;二是对离差大的点进行剔除,不纳入计算;三是对畸变点进行圆滑或人工编辑。第一种做法机械,当存在明显的畸变点时,数据质量降低,削弱了有用信号;第二种做法结果是丢失了应有的信息;第三种做法要求编辑人员具备丰富的工作经验和工作阅历。

实验工作表明,输出一张好的工作成果图件,依赖于高质量的输入的数据。因此,数据编辑工作很重要,对此项工作,工作技术人员要从上述三种方法途径入手,反复试算对比,以提高输出图件的质量。

2.2 静态校正

由于近地表的电性横向不均匀性和地形的起伏,这些非均匀体表面上的电荷分布,使测量的电场数据向上(高阻)或向下(低阻)移动一个数值,这个数值与频率无关,因此电阻率曲线发生移动,这就是通常所说的静态效应或称静态位移效应。静态校正,就是减小或消除静态效应的影响。

图4虽然都是二维反演结果,但利用静态校正后进行的二维反演与未进行静态校正的二维反演是有差别的,经过静态校正后的二维反演电阻率断面图中在标高-500m处出现了一个明显的低阻层,基本反映了矿层位置,深部电阻率等值线的走势也发了变化。

2.3 地形校正

地形起伏也是产生静态效应的一个因素,但是不能认为用静态校正方法代替地形影响校正,因为地形起伏效应有可能对电阻率曲线作了一个上或下的平移,它也会改变曲线变化细节,甚至改变曲线形态。

地形校正方法虽然很多,目前大家公认的是用带地形的二维反演方法。它使用二维有限元算法,有限元网格沿地形轮廓模拟带起伏地形的区域,从而消除地形影响。显然,若地形起伏剧烈,测点距过大时,由于网格稀,会导致地形校正效果会变差。所以,在地形起伏大的地段应加密测点距。

2.4 过渡区校正

可控源频率测探,采用的是波区(远区)视电阻定义(卡尼亚电阻率),其定义式计算简便,在波区能客观的反映地断面的垂向变化。然而这种视电阻率在过渡区和近区会产生严重的畸变,影响了测深资料的认

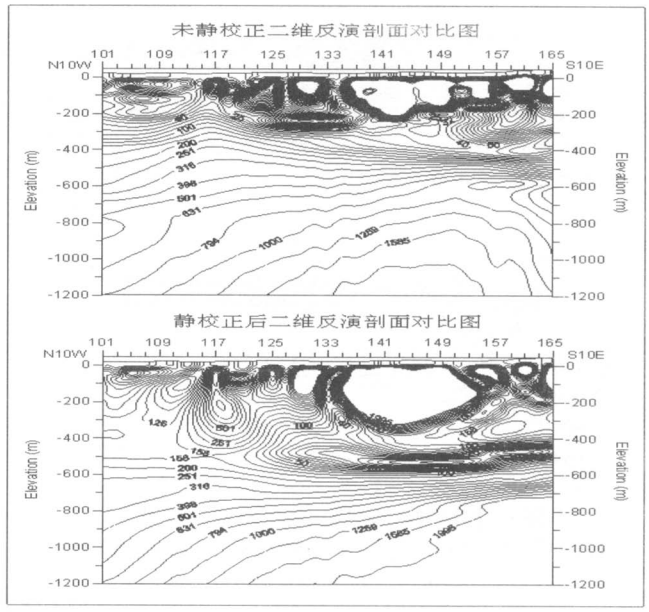


图4 静校正前后二维反演剖面对比图

Fig.4 Comparison of 2-D inversion profiles before and after static correction

识和解释。

一般情况下,低频段测量属于近区或过渡区测量,尤其是在地表电阻率高时,测量将很快进入近区。目前人们使用的二维反演软件(如,美国Zonge公司的SCS2D)只适用于远区场数据,因此为了减小或避免反演结果的错误,需进行过渡区校正,然而用全区视电阻率的计算方法可以达到此目的。

图5中,(a)图是卡尼亚视电阻率二维反演结果,(b)图是全区视电阻率二维反演结果,从两张图对比可知,全区视电阻率的二维反演剖面的地电断面层状结构明显,也与矿区地层分布吻合。

3　反演技术与资料解释

可控源视电阻率的反演计算,分一维、二维两种反演,三维反演还在研究之中。实验工作和实际工作表明,一维反演结果的地电断面异常往往呈上下延伸的陡立条带状,二维反演结果的地电断面异常,特别是深部异常往往呈平缓渐变的“层”状。那么,到底是用一维反演还是用二维反演呢?目前人们有所认识,在岩层陡立的变质岩山区,用平滑模型的一维反演;在沉积盆地区,用二维反演;当地层产状具有一定的倾角时,选择二维反演,但要调节反演模型的一些条件参数。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.1 TM与TE模式反演

当我们到一个新的地区测量，地质构造走向不清，所测量的结果是用TM模式反演，还是用TE模式反演呢？用不同模式的反演，其结果是不一样的。图6是我们实验工作一条剖面用不同的反演模式反演的结果。由图可见，两者差别较大，TE模式反演结果与实际情况（地层产状）较吻合，垂向分辨能力较强，而TM模式反演结果与实际情况差别较大，这是由于该剖面位置与地质构造走向满足TE模式工作条件的缘故。

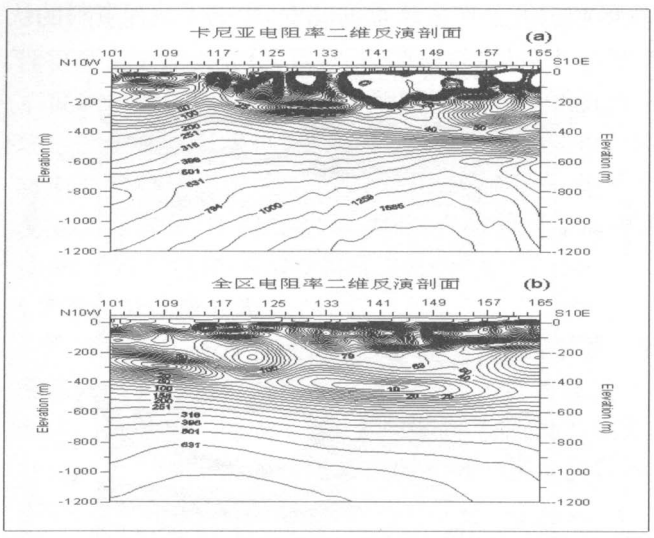


图5 过渡区校正前后二维反演剖面对比图

Fig.5 Comparison of 2-D inversion profiles before and after transition zone correction

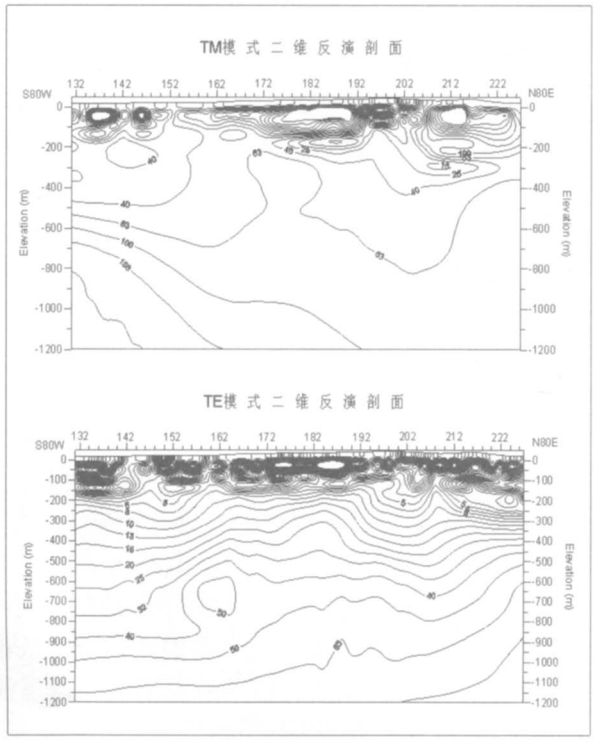


图6 TM模式和TE模式二维反演剖面对比图

Fig.6 Comparison of 2-D inversion profiles of TM mode and TE mode

3.2 添加反演地质信息

当今的二维反演软件虽然不要求地质构造的任何先验信息，能自动地将观测数据进行转换，给出一个地下图像的电阻率初始模型断面。若收集到工区地质、地球物理资料，如岩（矿）石电阻率值，通过添加地电背景场值、局部地电体信息后进行二维反演，实验工作证明其结果更加符合实际，突出了目标体。

3.3 利用综合参数图件对资料进行解释

可控源剖面测量结果可得到原始卡尼亚电阻率断面、阻抗相位断面，而反演结果图件应属于处理性图件，前两者属于基本（原始）图件。由于反演计算工作结果是因人而异的，也就是说对一条实测剖面、不同的人进行反演计算，反演图件的结果是不同的，而卡尼亚电阻率断面图和阻抗相位断面是不变的。特别是阻抗相位图件它至少能起两个作用，一是低阻异常是否由静态效应引起，二是相位异常越强（在0～π范围内）的低阻异常所反应的地质体，其导电（磁）性越好，矿体矿石品位可能越高。

图7是可控源音频大地电磁法三种最常见的图件。(a)图是二维反演断面，(b)图是卡尼亚电阻率断面，(c)图是阻抗相位断面。(a)图剖面上在-400m～-600m标高处有一低阻层异常，而(b)图中，在64～16Hz处同样显示有低阻异常，说明此低阻异常是可信的。(c)图中约

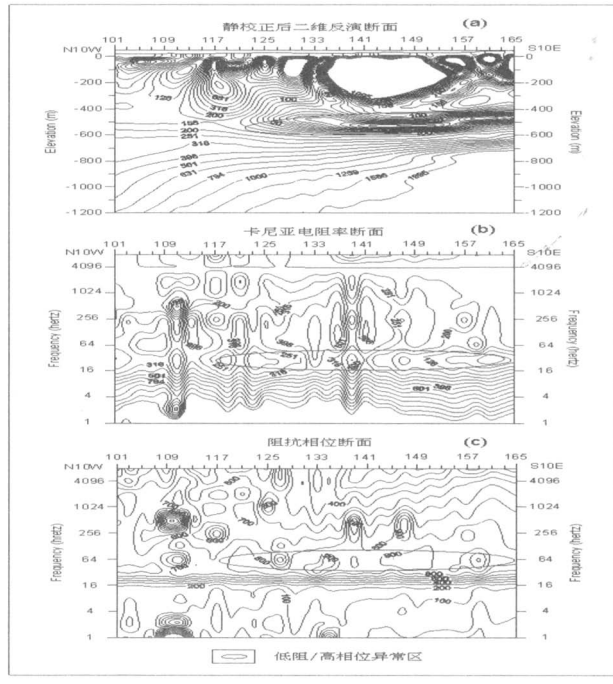


图7 可控源音频大地电磁法综合对比图

Fig.7 Comparative interpretation of CSAMT method

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在64Hz处有一高的阻抗相位异常，表明此低阻异常不是静态效应引起。

4 结 语

可控源音频大地电磁法,在我省地勘系统开展工作较晚,但近两年勘查项目不断增加,应用普遍。因此,作者认为很有必要对该方法的相关工作方法技术进行归纳、总结和探讨。本文是在二〇〇七年度安徽省地质矿产局地勘(科研)项目——《应用交变电磁场多参数测量开展深部找矿的实验与研究》的工作过程中,通过几个已知矿区的实验工作资料,在报告编写工作中的认识和体会。在此对所有参与项目的人员表示感谢。

参考文献:

[1] 汤井田,何继善. 可控源音频大地电磁法及其应用[M].武汉:中南大学出版社,2005.

[2] 中国地质调查局. 电性可控源音频大地电磁法技术规程(征求意见稿)[S],2008.

[3] 李金铭.地电场与电法勘探[M].北京:地质出版社,2005.

DISCUSSION OF SEVERAL TECHNICAL ISSUES WITH CSAMT METHOD

ZHANG Guo-hong[1],LI Ren-he[1], ZHANG Ling-min[2]

(1. Institue of Geophysical and Geochemical Prospecting Technology of Anhui province,Hefei 230022,China;
2. Institue of Geological Exploration of Anhui Chemical Industry,Maanshan, 243031, China)

Abstract: This paper, based on the experimental results of controllable source audio magnetotelluric method used in known hidden ore bodies, discussed several technical issues of the method in applications.

Keywords: controllable source; magnetic method; method and technique; 2-D inversion

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net