大地电磁测深法的现状、作用及发展趋势

安四喜　陈秀儒

（石油地球物理勘探局第五地质调查处）

摘　要

安四喜，陈秀儒. 大地电磁测深法的现状、作用及发展趋势. 石油地球物理勘探，1998，33(增刊 1)：164～167，174

大地电磁测深法是石油非地震勘探的主要方法之一。本文首先从理论研究、仪器使用、野外采集、资料处理与解释等方面分析了该方法的现状，然后阐述了该方法在矿产资源特别是油气勘探中的作用，最后从地质任务需要、野外施工条件等方面对该方法提出了新的要求并展望其发展趋势。

主题词　大地电磁测深　现状　作用　发展趋势

国外研究大地电磁测深法（简称 MT）始于 50 年代，60 年代我国开始研究并于 1980 年前后开始应用。由于其具有探测深度大（可探测至上地幔），不受高阻层屏蔽，分辨能力较强（特别是对良导介质），等值范围较窄，工作成本低（相对地震勘探）和野外装备轻便等特点而广泛应用于矿产勘探，特别是油气勘探等领域。其理论研究、仪器研制、野外采集、资料处理与解释等各方面技术已日臻成熟，并随着计算机技术、电子技术、计算技术等现代科学技术的发展而不断发展，MT 的应用也越来越广泛。

本文的目的旨在论述大地电磁测深法的现状、作用及发展趋势，以便使这种方法在我国的油气勘探中发挥更好的作用。

现　状

理论研究

最初大地电磁测深理论假设模型场源是均匀平面电磁波垂直入射于大地，地下电性介质呈水平均匀层状分布，介质电阻率仅是深度坐标的函数，电磁场的垂直分量为零，计算的波阻抗与测量轴方位无关，是标量阻抗，称为一维模型。对于场源来说，在一定信号频率范围（大于 1×10^{-3}Hz）内上述的假设基本成立，但 MT 属于体积勘探方法，大面积的水平均匀层状介质（一维地质构造）极为少见，经常遇到的是具有一定延伸的二维构造，或者更为复杂的三维构造。显然，一维模型的假设无法适应实际的勘探要求。为此，人们研究了接近于地下实际情况的二维、三维问题，定义了张量阻抗概念，并较为系统地研究了张量阻抗的性质、分析方法和计算过程。目前，MT 张量阻抗分析方法已经成为一个基本的且较完备的数据处理方法。

本文于 1997 年 8 月 29 日收到，修改稿于同年 12 月 16 日收到。

仪器使用

50 年代中期到 70 年代中期国外使用的勘探仪器主要是模拟大地电磁测深仪,70 年代末到现在国内外普遍使用的是数字大地电磁测深仪。70 年代末到 80 年代末我国一般使用美国生产的 PROM 系列大地电磁测深仪,采用磁带记录,记录时间系列数据,采集电磁场的五分量信号,这种仪器将信号放大、信号模拟、信号记录三部分集中为三个箱体(重达 500kg 左右)并安装在仪器车上。由于 PROM 系列仪器较为笨重只适用勘探地表相对平坦、地形条件简单的地区,目前已基本被淘汰。

随着大规模集成电路的发展及应用,80 年代末西方发达国家相继研制出了体积小、重量轻、适用范围广的仪器。这类仪器以美国 EMI 公司的 MT-1、加拿大凤凰公司的 V5、德国 Metronix 公司的 MMS-03、GMS05 仪器为代表,其信号放大部分与主机分开,主机采用 16 位模数转换,配备 286 以上的计算机实现实时处理。现场显示视电阻率、相位等曲线,记录时间域数据(1990 年以前的 V5 记录的是频率域数据),可接收 5～16 道,可进行单点测量、连续电磁剖面测量(CEMP)或电磁阵列剖面测量(EMAP)。主机重量为 10～15kg,加上信号放大部分、信号接收装置总重量不超过 100kg。这类仪器适用于各种复杂地形地表条件的勘探。

野外采集

野外采集方式目前主要有单点测量(传统方式)和连续电磁剖面测量(CEMP)或电磁阵列剖面测量(EMAP)。

单点测量是以时间域记录为主,频率域记录次之;其观测方式有单站五分量观测、单站七分量自参考、两台仪器双站近距离互参考、两台仪器双站远距离互参考。根据地质任务、地下地电结构、测点环境干扰等情况,可确定不同的点距(1 至几十公里)、记录时间和工作效率。一般而言,每台单点测量仪器每个工作日可测量 2 个点左右。我国陆上石油系统现有此类仪器 20 多台,具有年测量 5000～7000 个点的能力。

传统的 MT 单点测量采集数据省时、可迅速确定大的构造,对一维勘探效果显著。但由于它是单点测量,测点密了工作效率低、成本高,测点稀了空间覆盖范围小、易受静态位移影响、横向分辨率低,不易确定地质信息,难于解释复杂地质现象,小构造、小异常体易失漏。

近年来出现的电磁阵列剖面法(国外简称 EMAP)或连续电磁剖面法(国内简称 CEMP)是从 MT 中衍生出来的电磁测深技术,是 MT 的延伸和发展,二者名称虽不同,但实质是一样的。该方法野外采集使用的是单台多道(10～16 道)MT 仪器,将 E_x(沿测线走向)电偶极子首尾相连成为一个排列,每个排列共用一个 E_y 和一个 H_x、H_y 的布极方式,记录方式与 MT 相同,点距依据地质任务要求而布置,数十米至数百米不等。使用该方法一方面大大增加了空间采样密度,扩大了信息采集量,另一方面又在时间域采用相邻多道叠加的办法压制了因地表层电性不均匀而造成的静态位移干扰和随机干扰,突出了有用信号,从而使 MT 法的资料采集和数据处理质量更接近于地震勘探。其资料解释方法基本与 MT 相同。

资料处理与解释

MT 资料处理是从采集的大地电磁信号的时间系列中提取反映地下地电特征的各种频谱成分,并计算相应的阻抗张量要素。其处理步骤为,首先对记录的数据按计算要求进行重新编排(解编);然后通过快速傅氏变换、递归滤波等将时间域记录数据变换为频率域信息;最后计算自功率谱、互功率谱,求解测量轴方向上的阻抗要素、相干度,再通过旋转坐标轴和计算旋转

震勘探提供靶区;划分岩性,预测含油气有利层段。此外,MT 在地震工作困难的山区,地震勘探难以得到中、深层资料的南方碳酸盐岩区,表层粗砂岩和玄武岩、砾石覆盖区,山前逆掩带、黄土塬、盐下构造区等都发挥过重要作用。

南起广东、海南,北至内蒙、黑龙江,东起沿海省区,西至新疆、西藏,在全国二十几个省区、九个一级陆相盆地、二十多个二级陆相盆地都开展过 MT 找油找气工作,并取得了大量有价值的资料和研究成果,为地震勘探提供了靶区,为地震难以工作和得不到资料的地区提供了井位依据。可见,MT 的应用缩短了油气的勘探开发周期,节省了成本,并起到了地震勘探、非地震物化探,以及其它电法勘探所不可替代的作用,已成为一种必不可少的勘探手段。

发 展 趋 势

大地电磁测深法作为区域普查勘探已不再是今后的工作重点,而以解决具体地质问题、小构造的目标勘探将成为 MT 工作的主流。然而,今后所面临的地形地表条件将更为困难,需要解决的地质问题将更为复杂,这就需要对 MT 理论研究进一步深入,仪器设备进一步改进,野外资料采集进一步加强,资料处理与解释方法进一步提高。

理论上需要继续研究二维、三维和地形影响等复杂地质问题的解决办法,研究垂直入射电磁波低频段(小于 1×10^{-3}Hz)对地球深层介质的影响,相位、倾子等参数在解释中的作用,消除静态影响更加有效的校正办法,有效的噪声消除方法等。同时还要编制相应的处理解释软件,以提高解释精度。

仪器使用上需要有多道、数传、同步、宽频带(1×10^{-4}～1×10^{4}Hz)、多种方法、实时定位、实时处理、遥控遥测等更加轻便、实用的新型仪器。目前美国 EMI 公司生产的 EH-4 浅层电导率成像系统(频带范围为 10～100kHz)虽已开始应用,但还需要与其它 MT 仪器相结合,解释上还需与其它 MT 资料很好地衔接。我处于 1996 年引进的美国 EMI 公司生产的 MT-24 仪器,具有多道(最多可达 110 道)、数传、同步互(自)参考的功能,测量方式以连续剖面测量为其特长,也可进行单点测量,但其处理解释软件还需进一步完善。刚从加拿大凤凰公司引进的 V6 和 V5-2000 仪器,具有多个采集站、同步采集、既可作单点测量又可作连续剖面测量以及实现其它多种采集方法(MT、VLF、IP、CSAMT、FDEM、TDEM、TEM、电阻率法)。这些仪器为实现 MT 三维勘探提供了设备保证,并将在今后的 MT 勘探中发挥重要的作用。

野外测量应根据地质任务的不同而采取一维、二维、三维不同的勘探方式。刚刚出现的连续阻抗剖面法也是 MT 的延伸和发展,它克服了单点 MT 和 EMAP 的不足,采纳了二者的优点,采用多道仪器,在沿 E_x 方向作连续采样的同时,也沿 E_y 方向采样,每个测点测量两个电道分量。它可进行二维加密测量、可增加 E_y 测量、可分析模型的 TE 和 TM 特性曲线,成为高分辨率三维 MT 测量的必需方法。MT-24、V5-2000 仪器能够满足该方法的需要。它的缺点是覆盖成本高、覆盖速度低、处理工作量大,该方法比较适用于目标勘探,目前在国内还未开展。

总之,随着科学技术的发展,大地电磁测深法也将日趋完善,它所具有的鲜明特点在油气勘探中将发挥越来越大的作用,并将在其它领域发挥其应有的作用。

(下转第 174 页)

处理方法

查清了出现问题的原因，处理起来就比较简单了。首先，使用cd命令进入/dev/rmt目录，再使用ls-s命令证实该目录下确实有无用的大文件，该大文件便是备份数据时写上的文件；然后让系统管理员以超级用户身份使用rm命令把它删除，问题就解决了。此时若使用df命令查看一下文件系统资源，便会发现根文件系统的可用空间已恢复正常大小，各种工作又可顺利进行。这里想提醒用户，在备份数据时一定要确保目标设备名存在并输入正确，比如先使用mtf/dev/rmt/N status ($N=0,1,2,3$)命令确定磁带机的类型和状态，即可避免“根文件系统满”情况的出现。

（上接第167页）

参 考 文 献

1 陈乐寿，刘国栋. 大地电磁测深研究，地震出版社，1984
2 王光锷. 大地电磁测深法，地质矿产部第一物探大队培训班培训教材，1983
3 王家映. 我国大地电磁测深研究新进展及应用中的几个问题，大地电磁研讨会，杭州，1997

地质研究院从事解释系统的应用工作。

严建文 工程师，1966年生，1989年毕业于中国地质大学(武汉)应用地球物理专业。曾发表过多篇译文。现在中国新星石油公司物探研究所工作。

李国发 工程师，1966年生，1987年毕业于长春地质学院应用地球物理系。曾从事提高地震资料信噪比与分辨率的研究。现在大港油田集团物探公司计算中心从事地震资料处理新技术开发与研究工作。

陆文凯 讲师，1969年生，1991年毕业于清华大学自动化系，1996年毕业于石油大学(北京)应用地球物理专业，获博士学位。现在清华大学自动化系从事人工智能、神经网络、图像处理在地震资料和测井资料处理中的应用研究工作。

徐常练 高级工程师，1956年生，1984年获石油大学(北京)应用地球物理硕士学位。一直在石油地球物理勘探局研究院从事智能化速度谱、三维多参量速度谱的研制及中值处理方法的推广工作。现在中国地质大学(北京)攻读博士学位。

杨建礼 工程师，1965年生，1988年毕业于江汉石油学院物探专业。曾获局科技进步一等奖，发表过多篇论文。现在中原石油勘探局研究院从事油藏描述、储层预测研究工作。

孔 炜 工程师，1968年生，1989年毕业于青岛海洋大学物探专业，1997年获西南石油学院物探专业硕士学位。现在吉林石油集团公司勘探开发研究院从事地震资料处理与解释工作。

安四喜 高级工程师，1960年生，1982年毕业于河北地质学院物探专业。曾从事大地电磁测深资料的采集、处理工作。现在石油地球物理勘探局第五地质调查处从事电法生产技术的管理工作。

徐维秀 工程师，1966年生，1989年毕业于重庆大学应用数学专业。一直从事物探方法研究及应用软件的开发。现在胜利石油管理局物探公司从事国家863项目“油气勘探开发综合分析评估系统”的研制工作。

李红桃 工程师，1962年生，1986年毕业于长春地质学院物探专业。现在地质矿产部第四物探大队综合研究院从事SUN工作站系统的维护及地震资料人机联作解释工作。

岳永霞 工程师，1962年生，1981年毕业于石油物探学校计算机专业。曾获部级优秀成果三等奖。现在石油地球物理勘探局勘探处从事石油地震勘探数据库管理工作。