

AMT 法探测砂体应用效果初探

刘宏^{1, 2}, 杨轮凯², 杨云见¹, 何兰芳²

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国石油集团 东方地球物理公司, 河北 涿州 072656)

摘 要: 初步探讨 AMT 法在探测浅层砂体中的应用。通过模型研究和实例, 探讨了 AMT 法探测砂体的可行性和有效性, 并分析了其横向分辨率。研究结果表明, 在适当的条件下, AMT 法探测砂体具有好的效果。
关键词: AMT 法; 砂体; 电阻率; 静态位移
中图分类号: P631.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2004)05-0428-03

我国有许多砂岩盆地, 其地层主要是泥岩、砂岩以及泥砂互层。其中, 砂岩是石油、天然气、CO₂、淡水等资源的主要储层之一。在沉积岩中, 岩层的电阻率主要取决于岩石的颗粒大小(岩层含水性等外因除外), 颗粒越大、电阻率越高。因此, 在沉积岩中砾岩的电阻率最高, 其它依次分别为砂砾岩、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩。沉积盆地中各种不同岩性地层的电阻率存在一定的差异, 因此音频大地电磁测深法(以下简称 AMT 法)探测砂体具备了物性条件。

1 AMT 法原理及其进展

AMT 法是大地电磁测深法(MT 法)向 10~10 000 Hz 频率的简单延伸, 它是一种天然场源的电磁方法, 场源为本区和远处雷爆的闪电产生, 其勘探深度可达 1 000 m 左右。

将大地看作水平介质, 大地电磁场是垂直投射到地下的平面电磁波, 则在地面上观测 5 个电磁场分量(E_x 、 E_y 、 H_x 、 H_y 、 H_z), 其中 E_x 与 H_y , E_y 与 H_x 正交, 通过测量相互正交的电场和磁场分量, 可确定地下介质的电阻率值。其计算公式为

$$\rho_s = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2,$$

式中, f 为频率; ρ_s 为视电阻率。根据电磁波的趋肤效应理论, 导出了趋肤深度公式 $H \approx 503 \sqrt{\rho/f}$ 。因此, 通过观测不同频率的电磁信号, 可获得不同深度的电性信息, 结合已知地质资料和地层情况, 便可解译目标层的地质特征。

近十年来, AMT 法在采集系统和数据处理方面

都取得了长足的进步。一些新技术, 如 24 位模数转换器、卫星控制同步采集技术、高灵敏度的磁传感器、数字滤波技术和 ROBUST 时间序列算法的应用, 确保了 AMT 数据采集系统记录数据时间不到 1 h, 在 10~10 000 Hz 范围内取得高质量的数据。另外, AMT 二维反演程序取得了突破性的进展, 主要表现在: ①将 AMT 的 TE 和 TM 模式的视电阻率和相位进行联合反演; ②将浅部不均匀体响应作为一种信息, 通过数值方法计算出来, 较好地克服了静态位移的影响, 提高了反演结果的准确度。

现代的 AMT 采集设备实现了电场与磁场数据分离采集, 通过 GPS 同步控制各采集单元进行同步采集, 各采集单元实现了无线传输。基站的数据采集 5 个分量, 电采集站仅采集 2 个分量的电场(E_x 、 E_y), 这样 AMT 法除了常规的单点采集外, 还可以多个采集单元进行剖面勘探。另外, 通过 GPS 同步可方便实现远参考采集, 提高数据的采集质量。图 1 为其野外工作示意。

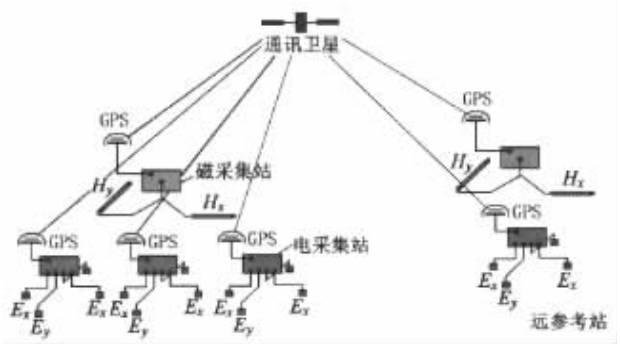


图 1 带远参考采集的 AMT 剖面采集装置示意

2 模型研究

AMT 法对良导的目标体探测效果好。但是,当探测目标体为砂体时,它相对于泥岩为高阻体,AMT 法是否有好的探测效果?为此,我们构制了 1 个典型的河道砂体电阻率模型进行研究(图 2)。

模型的背景电阻率为 $10\ \Omega\cdot\text{m}$,在埋深 100 m 左右有 3 个电阻率为 $100\ \Omega\cdot\text{m}$ 的高阻透镜体,用

以模拟河道沉积砂体。砂体宽度约为 300 m,右边 2 个高阻透镜体相隔 100 m 左右,主要用来模拟相距多远(相对点距)的砂体能被 AMT 区分开来,即有多高的横向分辨率。模型的顶、底各有 1 个电阻率为 $3\ \Omega\cdot\text{m}$ 的低阻层,用来模拟泥岩层,顶板埋深为 50 m 左右,厚度约为 15 m,底板埋深约为 150 m,厚度约为 40 m。在模型浅部的 0~4 m 深度处加上了一些电性不均匀体,剖面左端分布有电阻率为 20~

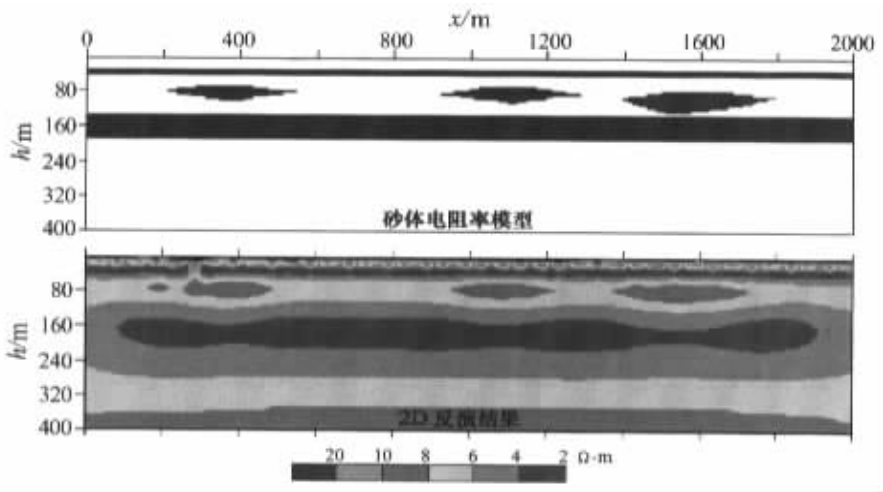


图 2 砂体电阻率模型及其 2D 反演结果

$30\ \Omega\cdot\text{m}$ 的高阻不均匀体,剖面右半段则为电阻率为 $6\sim 8\ \Omega\cdot\text{m}$ 的低阻不均匀体。模型响应的 2D 反演结果清楚地反映了砂体的存在,其空间位置和形态皆与模型相吻合,说明使用 AMT 法探测砂体是可行和有效的。另外,模型右边 2 个相隔 100 m 的砂体也被清晰地分辨出来。在模拟计算中,采用 50 m 的计算点距用来模拟野外测量中使用 50 m 的测点距,因而认为相隔距离大于 2 倍点距的电性异常体能被可靠地分辨出来。值得注意的是,高阻砂体反演的电阻率仅在 $20\sim 40\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间,明显低于真实电阻率。在实际工作中,对于电阻率高于围岩(泥岩)的电阻率不多的异常体要引起我们的高度重视。

我们知道,静态位移是影响 AMT 地质成果的主要因素之一,但是现代的 2D 反演技术把 AMT 观测的 2 个模式即 TE 模式和 TM 模式进行联合反演,并且把浅部不均匀体的影响作为一种信息,通过有效的办法修改浅部模型来进行拟合,能较好地压制地表局部不均匀体的影响。从图 3 可知,尽管模型的浅层存在局部不均匀的高阻体或低阻体,但是联合 TE 和 TM 模式的 2D 反演方法很好地压制了浅部不均匀体的影响,准确地揭示出深部的地质信息。

万方数据

3 应用实例

用 AMT 法探测内蒙古某砂岩盆地高阻砂体的空间展布。该砂岩盆地主要的地层是泥岩、砂岩以及泥砂互层。根据测区内 4 口探井的电测井资料以及前人电法勘探资料,统计出主要岩性的电阻率(表 1)。一般而言,含水的砂岩、砾岩与泥岩以及其它地层之间的电阻率差异较小;颗粒粗的沉积层整体要比颗粒细的沉积层电阻率高;盆地基底火成岩或变质岩的电阻率很高,可达 $200\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

表 1 测区主要的岩性电阻率统计

岩性	$\rho/(\Omega\cdot\text{m})$	岩性	$\rho/(\Omega\cdot\text{m})$	岩性	$\rho/(\Omega\cdot\text{m})$
泥岩	<5	细砂岩	15~20	泥质粉砂岩	8~12
中粗砂岩	20~40	粉砂泥质岩	5~8	砾岩	>70
粉砂岩	10~15	火山岩	>200		

本区共完成 4 条测线,以 WB30 测线为例说明 AMT 法探测砂体的效果(图 3)。在 20~200 m 深度的范围内发育有 1 套高阻体,电阻率值在 $15\sim 35\ \Omega\cdot\text{m}$,解释为砂体。厚度变化较大,测线在 0~1 000 m 段,顶面埋深 60 多米;1 000 m 处往右,顶面埋深剧变为 20~40 m。

在 WB30 测线 2 800 m 处的 1 口钻井,电阻率

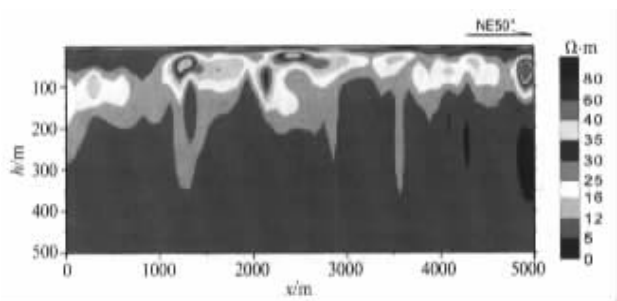


图 3 WB30 测线 2D 反演结果

测井结果与反演剖面吻合较好,剖面上显示的近地表高阻体对应于 10 多米厚的高阻泥岩,剖面上 20~110 m 高阻体对应于 20~120 m 井段的高阻砂体。

4 结论

初步探讨了 AMT 法在探测浅层砂体中的应用,理论模型研究和勘探实例表明:AMT 法探测浅层高阻砂体效果明显,通过 AMT 面积勘探可以探测高阻砂体的空间展布。另外,AMT 法在近十年来,取得

了长足的进步,无论是野外数据采集质量,还是反演方法的分辨率都大大提高了,为 AMT 法探测浅层砂体提供了有力的技术保障。AMT 法探测浅层砂体是可行的和有效的,应引起勘探行业的重视。

本次研究过程中,王飞研究员提供了初始模型,并在使用他开发的 EMAGE-2D 电磁成像软件进行正反演处理过程中给予了大量的指导和帮助,在此表示衷心地感谢。

参考文献:

- [1] Smith J T,Booker J R. Magnetotelluric inversion for minimum structure[J]. Geophysics,1988,53:1565—1576.
- [2] 伍岳. EH4 电磁成像系统在砂岩地区勘查地下水的应用研究[J]. 物探与化探,1999,23(5).
- [3] 孙洁.晋光文,白登海,等. 大地电磁测深资料的噪声干扰[J]. 物探与化探,2000,24(2).
- [4] 莫撼. EH4 电磁系统的近源效应及其校正方法[J]. 物探与化探,2000,24(4).
- [5] 杨生.鲍光淑,张全胜. 远参考大地电磁测深法应用研究[J]. 物探与化探,2002,26(1).

A TENTATIVE DISCUSSION ON THE EFFECTS OF APPLYING AMT METHOD TO DETECTING SAND BODIES

LIU Hong^{1, 2},YANG Lun-kai²,YANG Yun-jian ¹, HE Lan-fang²

(1. Chengdu University of Technology,Chengdu 610059,China; 2. BGP International , CNPC, Zhuozhou 072656,China)

Abstract: This paper makes a tentative discussion on the application of AMT method to the detection of shallow sand bodies. With modeling studies and practical examples, the paper probes into the feasibility and effectiveness of AMT method in the detection of sand bodies, and analyzes the transverse resolution of this method. The results show that the AMT method is quite effective in detecting sand bodies in proper circumstances.

Key words: AMT method; sand body; resistivity; static displacement

作者简介: 刘宏(1965—),男,高级工程师,工学硕士。多年从事电磁勘探、处理方法研究。现任东方公司国际部副总工程师。2000 年始在成都理工大学攻读博士学位。

上接 427 页

Abstract: According to the study of magnetotelluric sounding data in Qiannan-Guibe area, units of different district condructs were revealed clearly and structural existence of basin and mesa as well as its scope were announced to public. The result shows: In marine-facies area of south China,features of resistivity varies greatly with different lithofacies and lithofacies can be divided by features of resistivity. Meanwhile,through the features of electric fabric of each lithofacies, we can study to scribe layer and reveal some hydrocarbon potential structure . As a living example ,hydrocarbon potential structure of Zhe'xiangjie has been turned up In this way.

Key words: Marine-facies of south China; Magnetotelluric sounding; Lithofacies dividing; Static correction; Interpretation by backward deduction

作者简介: 徐新学(1970—),男,工程师,1995 年毕业于中国地质大学(武汉)应用地球物理系,获学士学位,中地大(北京)在读工程硕士,现主要从事大地电磁测深应用与研究工作。