

# 黔南—桂北地区大地电磁测深法应用研究

徐新学<sup>1</sup>, 夏训银<sup>1</sup>, 张进国<sup>1</sup>, 刘俊昌<sup>1</sup>, 姚治龙<sup>1</sup>, 杨生<sup>2</sup>

(1. 华北有色地质勘查局 地球物理勘探公司, 天津 100181; 2. 有色金属矿产地质调查中心 北京中色物探有限公司, 北京 100073)

**摘要:** 结合黔南—桂北地区大地电磁测深(MT)区域大剖面资料的分析, 划分了不同的地质构造单元, 揭示了盆、台结构的存在并圈定了其范围。结果表明: 在我国南方海相地区, 不同相带沉积岩相电阻率总体特征存在明显的差异; 利用大地电磁测深的电阻率总体特征可以进行相带划分; 根据各自相带中不同的地电结构特征可以研究标志层及局部构造圈闭。

**关键词:** 南方海相; 大地电磁; 相带划分; 静态校正; 反演解释

**中图分类号:** P631.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2004)05-0425-04

我国南方地区是海相碳酸盐岩广泛分布区, 具有良好的含油气远景, 但是由于多数地段缺乏区域盖层, 加之地震工作难以取得理想效果, 因此长期以来油气勘查进程较慢。

在黔南—桂北地区油气勘查的过程中为了利用不同相带沉积相电阻率的总体特征差异来区分相带, 并进一步根据各自相带中不同的地电结构特征来研究标志层起伏及局部圈闭, 我们投入了大地电磁测深法。其中跨越南盘江、双江、望谟、王佑的 MT 区域大剖面, 总长 200.1 km, 共计测深点 98 个, 穿过了习惯上称为的南盘江拗陷、罗甸断陷及黔南拗陷 3 个区域构造单元, 整个剖面 MT 反演成果可以明显地划分为 3 段, 并与上述 3 个单元相对应。

大地电磁测深法(MT)是通过观测地面天然交变电磁场来研究地下岩层电学性质及其分布特征的勘查方法。它在南方海相碳酸盐岩地区的成功应用一方面取决于方法本身的特点, 即探测深度大、装备轻便、布点灵活、成本低廉等, 适合于在南方山区开展工作; 另一方面, 项目倡导者和实践者的科学态度起到了关键作用。我们在应用大地电磁测深法时, 紧密结合我国南方海相地区特有的不同地区沉积相变异明显的地质特点, 在现代地质理论的指导下, 发挥了用 MT 资料区分相带的独特作用, 拓宽了它的应用范围, 提高了应用效果。

## 1 地质概况及地球物理特征

黔南拗陷系海西期拗陷, 罗甸断陷是海西期及印支期拗陷, 而南盘江拗陷则为中三叠世拗陷<sup>[1]</sup>, 因此它们反映了各个地质时期形成的各个古海盆的叠加, 各个单元的发展历史及特征都存在差异。

该区盖层岩系(上古生界—中生界)为台地型沉积和盆地型沉积。其中上古生界台地型沉积多以丘台形式出现, 为正常浅海相各类粗结构石灰岩、云化石灰岩; 泥盆系、二叠系生物礁发育, 尤以二叠系生物礁为甚; 上古生界盆地型沉积主要为黑色薄层泥晶灰岩、硅质岩、硅质泥晶灰岩及重力流钙屑岩, 有机质丰富, 是拗陷内的主要生油岩。中生界台地相沉积主要为石灰岩、白云岩夹少量泥、页岩; 盆地相沉积三叠系下统为火山碎屑浊积岩, 局部为泥质岩与石灰岩互层, 中统为陆源碎屑深水浊积岩, 由泥页岩、砂岩夹少量石灰岩组成。区内良好的上二叠统一三叠系区域盖层及泥盆系、二叠系内部盖层均为油气保存创造了良好条件。

区内岩石电性参数的研究是应用电磁法的重要地球物理基础。岩性是决定介质电阻率的基本因素, 一般而言, 沉积岩中的碳酸盐岩电阻率最高, 砂岩、硅质岩次之, 泥质岩电阻率最低。我们根据多年来南方地区电磁法的勘探成果, 编制了区内岩性-

电性关系表(表1)。由表可知,地下介质中有相当一部分具有电阻率偏高的特点,尤其是台地相带中均以碳酸盐岩为主,这对于加大电磁法的探测深度是有利的,但同时也使电磁信号的信噪比下降,增加了观测难度。盆地相带中则以中—低阻为特征,尤其是泥盆系盆地相带中,黑色泥岩所具有的低阻特性,可以成为区内局部地段资料处理解释中的标志层。

表1 黔南—桂北地区岩性-电性关系一览表

地层	累积厚度 m	主要岩性		电阻率 / (Ω·m)		
		台地	盆地	台地	盆地	10 100 1000
三叠系	0-2000	石灰岩 白云岩夹泥岩	陆源碎屑沉积岩	800 1500	200 500	
	2000-4000	下部泥岩 粉砂岩	燧石石灰岩 硅质岩 泥岩凝灰岩 粉砂岩	200	200	
二叠系	0-6000	石灰岩 白云岩 砂岩	泥晶灰岩 硅质岩	1800	800 1000	
石炭系	0-6000	石灰岩 生物碎屑 灰岩 礁灰岩 下部夹页岩	燧石石灰岩 硅质岩	1500	800 1200	
	6000-8000	石灰岩 生物灰岩 下部粉砂 泥页岩	页岩 泥页岩 黑色页岩 粉砂岩	1800 100	20 200	
泥盆系	8000-10000	白云岩 夹泥岩及粉砂岩	石灰岩	200	800	
寒武系	10000					

## 2 工作方法

野外资料采集采用加拿大凤凰地球物理公司生产的 V5-2000 新型大地电磁测深系统,观测频率 320~0.000 55 Hz,频点 40 个,采用五分量( $E_x$ 、 $E_y$ 、 $H_x$ 、 $H_y$ 、 $H_z$ )张量测量。通过观测大地电磁场的时间序列数据,来提取反映地下探测目标地电特征各频谱成分,计算相应的阻抗张量元素。由于观测的天然电磁场具信号弱、频带宽的特征,易受各种噪音的干扰,为提高观测数据的质量,野外施工时采用了与测点同步采集时间序列数据的远参考技术<sup>[2]</sup>。

大地电磁资料的处理主要包括:原始资料预处理、资料定性分析、资料定量解释、综合推断解释获得地质成果几个方面。资料预处理主要包括极化模式判断、去噪处理、静态校正。根据干扰噪音的特点,在 Robust<sup>[3]</sup> 变换中采用远参考技术,通过相关处理改善了曲线的连续性,提高了资料的整体质量。对于某些测点噪声污染严重的低频视电阻率资料,通过希尔伯特转换公式<sup>[4]</sup> 将相位资料进行恢复校正。

静态校正,一方面采用人机联作的方法将单一测点的实测曲线放在整条剖面上,根据前后测点曲线特征相同或相似的原则对个别测点进行平移校正,消除突变点;另一方面由于静态效应主要是受地表介质电性影响,具有随机性,呈高频特征的特点,因而可以采用汉宁低通滤波法。同时采用阻抗张量分解技术<sup>[5]</sup>,对阻抗要素实施校正,既保证视电阻率及相位不受静态畸变影响,又保证了由其计算的其它响应参数的正确性。

定性分析是通过频率域的资料如曲线类型图、总纵向电导图、视电阻率-频率断面、相位-频率断面图的分析,依据不同地质构造、电性分布特征的大地电磁响应规律,提取原始资料中的地质信息,定性地把握地下电性层分布特征、地层起伏、局部构造、构造单元划分等,为进一步定量解释提供依据,同时评价、检验、落实定量解释成果的可靠性。

反演处理是频率测深资料解释的重要环节,也称为定量解释。由于初始模型的给定方式不同,使得反演的方法也随之不同。Bostick 反演结果是唯一的,忠实于原始资料,为减少反演结果的多解性和提高解释推断异常的可靠性,可依据 Bostick 反演的结果建立初始的地电模型,在此基础上再进行一维连续介质反演、二维连续介质反演,及综合信息建模和成像处理。

## 3 成果解释

图1为黔南—桂北大地电磁测深综合处理解释剖面。该长剖面跨越3个区域构造单元,解释解释成果清晰地反映了不同相带沉积相电阻率的总体特征,根据电阻率总体特征差异可以区分不同的相带;根据各自相带中不同的地电结构特征可以研究标志层起伏和圈闭局部构造显示。

剖面南段的南盘江至望谟附近位于南盘江拗陷的北缘,其特点是自地表以下有厚度较大的高阻层,反映了南盘江拗陷普遍具有中高阻的中、下三叠统盖层分布。盖层之下构造层的电阻率具有分段现象,望谟附近电阻率较高,为碳酸盐岩分布区;其南侧的蔗香街一带出现低阻区,反映出泥、砂质深水沉积物分布的特征。可见,作为南盘江拗陷这样一个地面叠置有中生代盆地的地区,其下伏古生代构造层也显示出明显的盆、台交错的古地理特征,而 MT 成果对这种特点有很强的揭示能力。

剖面中段特点是代表地表盖层的高阻层厚度明显变薄,下伏古生代层位均由低阻介质构成,反映了

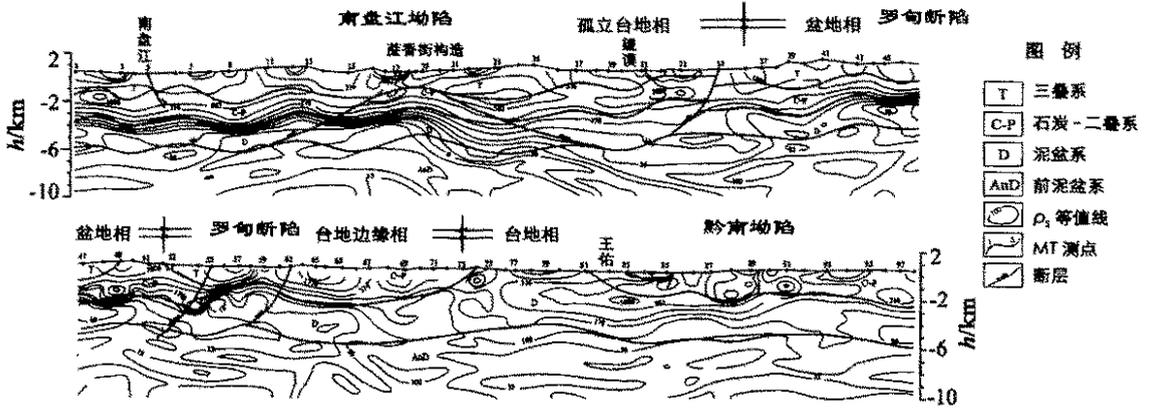


图 1 黔南—桂北大地电磁测深综合处理解释剖面

当时此地处于裂陷槽的深水沉积环境之中,属罗甸断陷的分布范围。

剖面北部自地表以下分布了厚度较大的高阻介质。由于该段地表无三叠系盖层,反映出古生代此处为一片比较稳定的浅水台地,尤其在王佑附近,碳酸盐岩沉积加厚,出现台地坡折带的特点。该段对应的是黔南拗陷的南缘。

由以上分析可见,MT 成果不但能够反映出已知的不同区域构造单元的差异,同时还能揭示出中生代盖层之下盆、台结构的存在并圈定其具体范围,从而为油气勘查远景的分析及工作部署提供重要依据。在综合研究不同相带地电结构特征的基础上,可以进行相带划分和实现不同相带中标志层的追踪,从而进一步发现并研究局部显示、选择详查工作靶区。

剖面南段中的蔗香街构造显示就是利用上述研究手段发现的。该构造显示位于望谟以南 25 km 处,地表出露中三叠统板纳组及兰木组。MT 成果揭示望谟以南存在隐伏的古生代台间盆地相带,并且其中以泥盆系为主的低阻层及上覆石炭—二叠系均呈相对隆起,其范围在 150 km<sup>2</sup> 以上。泥盆系中上部低阻明显,推断为黑色泥页岩为主的深水沉积的反映,可形成良好的生油层及内部盖层;石炭—二叠系电阻率偏低,说明二叠系仍有泥页岩沉积。上

覆三叠系在此处呈现成片低阻异常,显示其中泥质含量较多,可构成良好的区域盖层。根据以上综合分析,该构造显示可成为进一步部署工作的目标,目前正在进行地震方法验证。

#### 4 结语

在南方海相碳酸盐岩地区特殊的地理、地质环境条件下,利用大地电磁测深资料进行相带划分和盆、台结构分析、实现目标层位追踪和圈闭局部构造是切实有效的,依据不同沉积岩相电阻率的差异划分相带拓展了 MT 方法的应用范围。大地电磁测深法是我国南方油气勘探普查阶段经济、快速和有效的地球物理勘探方法之一。

#### 参考文献:

[1] 滇黔桂石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十一)[M]. 北京:石油工业出版社,1988:172—190.

[2] 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):27—31.

[3] Sutarno D, Vozoff K. Robust M-estimation of magnetotelluric impedance tensors[J]. Expl Geophys,1989,20:383~398.

[4] 杨生,鲍光淑,张少云. MT 法利用阻抗相位资料对畸变视电阻率曲线的校正[J]. 地质与勘探,2001,37(6):42—45

[5] Groom R W, Bailay R C. Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local 3D galvanic[J]. J Geophysics,1989,94:1913—1925.

### MAGNETOTELLURIC SOUNDING STUDY OF QIANNAN-GUIBEI SOUTH CHINA

XU Xin-xue<sup>1</sup>, XIA Xun-yin<sup>1</sup>, ZHANG Jin-guo<sup>1</sup>, LIU Jun-chang<sup>1</sup>, YAO Zhi-long<sup>1</sup>, YANG Sheng<sup>2</sup>

(1. Geophysical Co., North China Bureau of Nonferrous Metals Geological Exploration, Tianjin 300181, China; 2. Beijing Branch, China Nation Nonferrous Metals Geophysical Exploration Co. Ltd., Center of Geological Survey of Nonmetallic Mineral Resources, Beijing 100073, China)

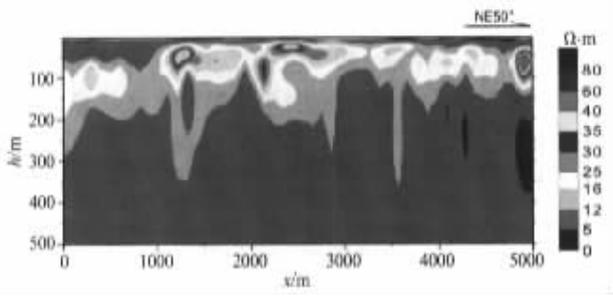


图3 WB30 测线 2D 反演结果

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<sup>1, 2</sup>, YANG Lun-kai<sup>2</sup>, YANG Yun-jian<sup>1</sup>, HE Lan-fang<sup>2</sup>

(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。 万方数据