

南方海相碳酸盐岩地区 CEMP 勘探试验研究

徐新学¹, 杨生², 刘申芬³

(1. 华北有色地质勘查局物探公司, 天津 300181;

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

3. 河南省有色金属地质矿产局第五大队, 郑州 450042)

[摘要]在 MT 技术基础上发展形成的 CEMP 连续电磁剖面法在石油勘探领域的应用日趋广泛, 特别在开展地震工作相对困难、构造复杂的南方碳酸盐岩分布地区, 它以其轻便灵活、成本低廉、提取信息丰富, 处理手段成熟等特点在提高工作效率、压制静态效应、提高构造分辨率等方面具有独特的优点, 为油气勘探远景规划也提供了重要依据。文章在介绍 CEMP 方法的基础上对其实际应用效果做了简单阐述。

[关键词]大地电磁 CEMP 碳酸盐岩地区应用 张量测量 静态效应

[中图分类号]P631.3 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2004)02-0062-04

0 引言

南方海相碳酸盐岩分布地区是我国南部进行油气勘探的主要目标之一, 但由于该地区高山峻岭、岩石陡峭裸露、切割剧烈, 峭壁林立、沟壑纵横, 地层褶皱强烈、地质构造复杂, 交通不便, 地表地形条件恶劣, 同时高阻的碳酸盐岩地层阻挡了地震弹性波的地下穿透, 难以获取深部信息, 因而在此类复杂山区开展地震工作难度大, 解决地质问题的能力也受到限制, 而价格又极其昂贵。20 世纪 90 年代以来在南方投入以大地电磁测深 (MT) 为主体的电磁方法经过几年的实践证明, 以 MT 为代表的电磁法不仅具有装备轻便、布点灵活、成本低廉等特点, 更为突出的是电磁波容易穿透高阻岩层, 其中低频探测深度已满足油气勘探要求。利用 MT 资料可以在碳酸盐岩分布区有效追踪地下深部埋藏的泥质盖层, 研究构造圈闭, 了解盆-台结构, 进行沉积相代划分, 从而为评价区内油气勘探远景提供依据, 在油气勘查中发挥了重要作用。

但是在南方海相碳酸盐岩分布地区特殊的地质、地质环境条件下, MT 勘探因点距布设较大 (一般在 2 km 左右), 勘探分辨率受到限制, 特别是点与点之间构造单元的变化和静态效应的影响使得曲

线形态的连续可比性较差, 静态效应的有效改正显得信息量欠缺, 对此很有必要投入近年来发展起来的 CEMP 勘探技术。

CEMP 勘探技术是在 MT 勘探技术基础上发展而形成的, 它除具有传统 MT 方法的特点外, 因其是沿测线方向高密度连续电信号采集, 原理上可有效压制静态效应和提高构造勘探分辨率, 但在南方地区特定的环境下, 如何有效合理的开展 CEMP 勘探, 需要一系列必要的探索性试验研究工作。

1 CEMP 原理与野外工作方法

1.1 基本原理

CEMP (连续电磁阵列剖面) 技术原理与大地电磁测深 (MT) 法的原理相同, 是以观测具有区域性乃至全球性分布特征的天然交变电磁场来研究地下岩层的电学性质及其分布特征的一种勘探方法。是以频率丰富的天然电磁场为场源, 通过在地表接收与地下介质电性有关的水平、垂直的电磁场分量, 在测线方向 (曲线或直线) 连续观测电场分量, 来增加测线方向信息量, 压制因地表电性不均匀造成的静态效应, 通过低通滤波处理, 提高电性分层的分辨率^[1]。

1.2 野外工作方法

由于大地电磁信号中的磁场信号具有区域

[收稿日期]2003-03-13; **[修订日期]**2003-04-25; **[责任编辑]**余大良。

[第一作者简介]徐新学 (1970 年-), 男, 1995 年毕业于中国地质大学, 获学士学位, 在读研究生, 工程师, 现主要从事大地电磁测深应用与研究工作。

性^[2],在一维条件下地面测量的磁场分量不带有任与地下介质电性分布有关的信息,只有电场的水平分量与地下地电断面有关^[3],在非一维条件下根据我们实际工作的试验认为磁场信号在数 10 km 内具有较好的一致性,既在数 10 km 范围内的测点可共用一组磁场信号,仅采集电场信号。由于南方碳酸盐分布地区地质构造主要为三维特征,同时对油气勘探有意义的目标即隐伏的局部构造也是三维的。所以我们将原始的每点仅测一个 E_x 分量的 CEMP 方法改进为每点同时实测两个相互正交的电场分量 E_x 和 E_y ,这样的布极实质上等同于常规的 MT 法的张量测量,所以可获得几乎与 MT 相同的所有参数(张量阻抗、相位、电性主轴、二维偏离度、椭

圆率、相关度等),利用与 MT 相同的数据处理解释方法进行 CEMP 资料的处理解释,实质是一种高密度的 MT 方法。另一方面在山地条件下某些测点由于地形条件的限制,在测线方向上难以布设出满足大地电磁规范的测量电极,所以如果根据地形、地理环境,改变方位测量两个相互正交的电场分量,通过坐标旋转可获得任意方向上的电场分量,鉴于上述的分析及施工单位实际的仪器装备能力,试验中我们采用了图 1 所示的野外信号采集布极方式,一次布极 3~4 个两分量电信号采集站和一个五分量(两电三磁)电磁信号采集站,这样称为一个排列,点距 200 米左右,所以一次可测 0.8~1 km 的剖面长。

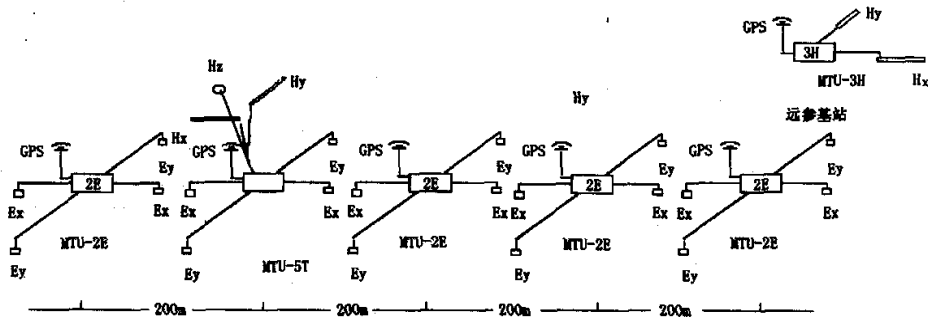


图 1 V5-2000 CEMP 野外排列示意图

野外生产时采用先进的具有卫星同步遥测功能的 V5-2000 大地电磁采集系统。该系统由加拿大凤凰公司生产,分为五分量(MTU-5T)、三分量(MTU-3H)、二分量(MTU-2E)3 种采集模式。具有模块高度集成、采集单元相互独立、24 位 A/D 模数转换、道数多、内存大、灵敏度高、动态范围大,操作简单、轻便灵活、自动化程度高等特点。它利用 GPS 天线进行精确同步采集的特点为资料处理时压抑随机干扰,提高数据质量提供了便利条件。

点位选择应尽量设计在地形开阔处,避开山沟、陡坡下,特别是五分量位置的选择是关键,二分量电盒子布设则灵活,选点时需要注意正负地形对数据质量的影响,特别是对于数据的中低频段。在南方碳酸盐岩地区山间平地或山下平地较山顶资料质量较好、信噪比高,这是我们多年南方实践的经验。主要是由于表层电阻率及地形差异造成的,负地形接地电阻一般较小,外部场在平地处形成强激发;而山顶处正地形因风化剥蚀,致使表层电阻率偏高,地形高差的变化使外部场在该处激发成弱态。

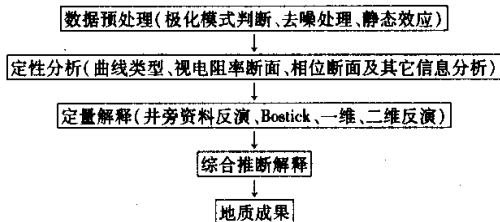
理论上讲,极距越大静态位移越小,静态位移虽不影响数据的品质,但影响资料的地质解释,因而在考虑地表岩性相同的情况下极距尽量大,但有时小极距资料也可以。因此,在南部山区应根据地形情况选择适当的极距,在一个排列中可以有多种极距,如果地形许可则按设计布设,地形狭窄则采用灵活的布极方式。点距、极距长短、方式等不拘于固定模式,一切以获得好的资料为前提。

由于大地电磁测深所观测的天然电磁场具信号弱、频带宽的特征,因而极易受各种噪音的干扰,为提高观测数据质量,设置远参考站是必要的。远参考站距视勘查目标深度而定,一般选择在 150~200 km 处,参考站要布设在表层覆盖地层稳定、表层电阻率相对较低的背景平静、地形平坦、电磁噪声相对较弱的地方,该距离能有效的改善中低频段的数据质量^[4]。电场 E_x 分量与主测线方向保持一致,进行全天候磁场两分量连续记录(如果条件许可最好采用五分量,处理时对电场、磁场都可以进行远参处理,消除不相关噪声,提高资料处理解释的精

度)。

1.3 资料处理

CEMP 资料处理是按照如下几个步骤进行的:



由于勘探地下地质构造的非一维性,为了便于资料的处理解释,必须进行极化模式判别,统一解释资料的方向,使实测 ρ_{xy} 、 ρ_{yx} 分别判别为 ρ_{te} 、 ρ_{tm} 。

大地电磁中干扰噪音使得实测资料的电磁场的相关性和信噪比变的很小,采用远参考的方法技术通过一定距离外同时观测的电、磁场信号为参考信号,对数据进行相关性处理能提高资料的整体质量。另一方面根据相位资料受电磁干扰的影响比较小的特点,可以对部分畸变电阻率进行恢复校正^[5]。处理时根据掌握的地质规律和地球物理特征对数据进行编辑处理,分析单点资料的可信程度,利用可视化人机操作预处理系统并根据 CEMP 勘探体积效应、同一构造单元相邻曲线连续可比的特点,对曲线单点及剖面方向进行静态识别,并采用单点平移及剖面汉宁相关滤波等方式压制各种干扰、消除静态效应、突出有效信息。

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,为减少反演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。

2 实例及效果分析

在 1998 ~ 1999 年度南盘江北部地区 MT 勘探中,对勘探区内秧坝构造主要地层界面埋深进行了推断解释,由 MT 资料推得石炭系一二叠系地层顶面埋深为 2000 m,泥盆系顶面埋深 4000 m。2000 年在该构造单元上布钻,于 2001 年完成,井深 4450 m。由钻井所揭示的石炭系一二叠系顶面深度为 2178 m,泥盆系顶面深度为 3929 m,推断的两个叠面与实际的相对误差分别为 8.17% 和 1.18%,说明了 MT 的解释成果具有一定的精度,吻合程度较好。

分析该井电测深资料知,三叠系的电阻率为 $250 \Omega \cdot m \sim 320 \Omega \cdot m$,石炭系一二叠系的电阻率为 $300 \Omega \cdot m \sim 800 \Omega \cdot m$,泥盆系的电阻率小于 $400 \Omega \cdot m$ 。2001 年在秧一井井旁进行了 CEMP 勘探试验工作,呈“十”字型布设了两条测线(图 2)。秧一井位置在山的顶部,剖面测点高差 200 m,这在南方海相碳酸盐岩地区是较为普遍的。采集电分量时所需设备简单,布极选择余地大,适合在相对条件较差的位置采集电分量(采用 L、T 型布极),点距自 170 ~ 400 m 不等,十字剖面长度分别为 1700 m、2200 m。通过 CEMP 剖面静态处理及反演处理井旁测深资料与已知的钻井资料对比分析知(图 3): CEMP 剖面高程 -1000 ~ -3000 m 间为高阻段,电阻率 $400 \Omega \cdot m \sim 750 \Omega \cdot m$,横向地层高阻连续性好,为高阻层标志,地质层位属石炭系一二叠系的层,得到钻井证实;上覆电阻率 $300 \Omega \cdot m \sim 600 \Omega \cdot m$ 在中阻范围内略有不稳定的变化,地质层位对应三叠系,与钻井资料相符;下伏电阻率有 400 左右至 $50 \Omega \cdot m$ 的电阻率下降的梯度带和团块状异常区。-3000 ~ -5000 m 之间为 $400 \Omega \cdot m \sim 50 \Omega \cdot m$ 的平行梯度带当属泥盆系。CEMP 的成果对钻井周围的地质情况也有了较细致的了解,对秧坝构造的细节刻画得更加清晰。

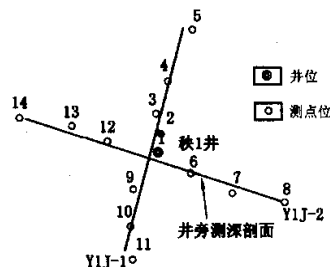


图 2 井旁测线布置图

3 结语

通过在南方海相碳酸盐岩地区的 CEMP 试验可知:

- 1) CEMP 方法在地形及地质构造复杂的南方碳酸盐岩地区证实是有效可行的。
- 2) 根据施工单位设备配备能力及工作效率应每 5 个测点设置一个磁场观测站,相当于在 500 m 范围内共用一组磁信号。
- 3) CEMP 电信号采集应同时采集 E_x 和 E_y ,布极点距为 200 m 是比较合理的。
- 4) 在南方地区大地电磁信号采集工作应设远参考站,对资料进行远参考处理,数据质量可得到较

大的改善。

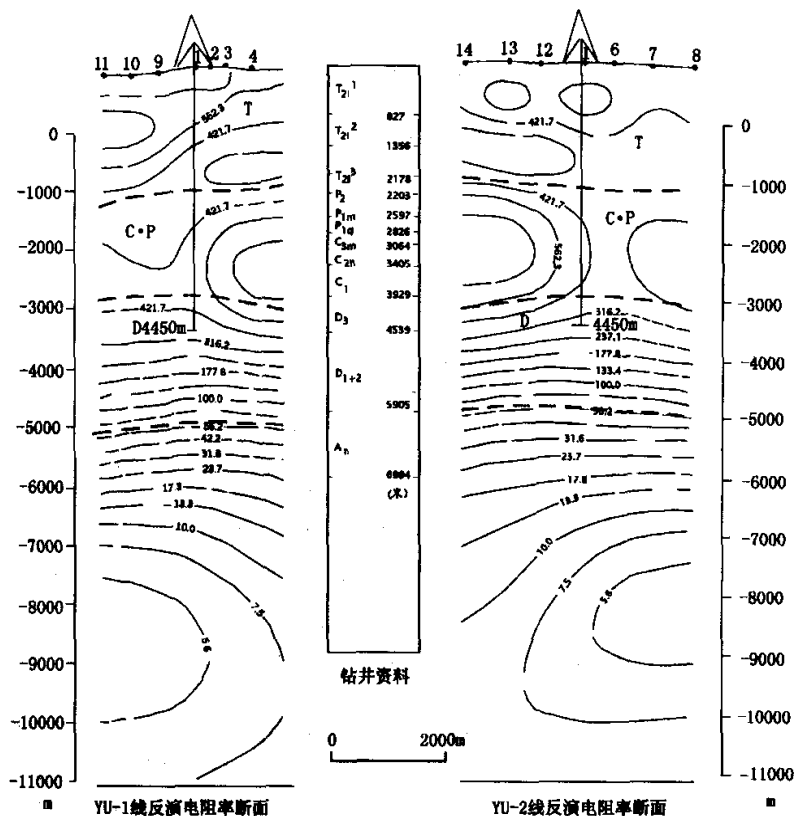


图3 井旁测深电阻率断面图

[参考文献]

- [1] Word D R, Rosen R, Horita J, et al. Introduction to EAMP and some case studies in oil and gas fields[J]. 物理探査, 1992, 45(3): 224 ~ 234
- [2] 陈乐寿, 王光镔. 大地电磁测深法[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [3] 陈木森, 王友胜, 叶柏元. 由实测资料看天然场的平面波特性[J]. 地震地质, 2001, 23, (2): 217 ~ 221.
- [4] 胡玉平, 鲍光淑, 敬荣中. 一种改善 MT 低频数据质量的方法及其应用[J]. 地质与勘探, 2002, 38, (3): 46 ~ 48.
- [5] 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.

CEMP PROSPECTING RESEARCH IN SOUTHERN CARBONATE AREA OF CHINA

XU Xin-xue¹, YANG Sheng², LIU Shen-fen³

(1. Geophysical Exploration Co. of North China Nonferrous Metal Survey, Tianjin 300181;

2. Beijing Branch, China National Nonferrous Metals Geophysical Exploration Co. Ltd.,
Center Geological Survey of Nonmetallic Mineral Resources, Beijing 100073;

3. No. 5 Geological Party, Bureau of Non-ferrous Geology and Mineral Resources, Zhengzhou 450042)

Abstract: CEMP electromagnetic method, which is developed on the basis of MT, is being widely used in the field of petroleum exploring, especially in Southern Carbonate area, where it is difficult to carry out seismic prospecting, and tectonic structure is very complicated. Due to its portability, low-cost, rich information obtained, mature processing method, it has special advantage in work efficiency, suppressing static effect, improving resolution, etc., and provides important support for the future layout of petroleum exploring. In this paper, we simply state the fundamental theory of CEMP as well as its application.

Key words: Telluric electromagnetic, CEMP, Application in carbonate area, Tensor measuring, Static effect