

# MN 长度误差及接地电阻对卡尼亚电阻率的影响

李汝传<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 廊坊 065000)

**[摘要]** 文章通过理论推导和数值计算结果说明了可控源音频大地电磁测深法(CSAMT)野外工作中由于MN长度误差及MN间的接地电阻对卡尼亚电阻率的影响特征。计算结果表明, 由于CSAMT测深中计算电阻率的公式与传统的直流电测深的视电阻率计算公式不同, 及所使用的频率范围不同, 由接收电极MN长度误差及MN间接地电阻对测量结果所产生的误差与传统的直流电阻率法是不同的。

**[关键词]** 可控源音频大地电磁测深法 MN长度误差 MN间接地电阻 卡尼亚电阻率误差

**[中图分类号]** P631.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2004)S0-0188-03

## 0 前言

CSAMT方法作为一种频率域电磁法, 由于勘探深度大、工作效率高等优点, 已被广泛应用于石油、金属矿、水文、工程等各个勘查领域。由于其工作方式与传统的直流电测深方法相比有很大的区别, 因此野外工作中某些参数对视电阻率的影响特征与直流电测深有明显不同。作者多年野外工作实践中发现, MN长度误差、MN之间接地电阻(主要包括接收极罐的接地电阻和接收线与大地间的分布电容)大小对测量结果会产生较大的影响。传统的直流电法中由于使用的频率较低, 并没考虑MN间接地电阻的影响。在CSAMT工作中, 由于我们使用的频率较高, 这种影响是不可忽视的。

## 1 MN间长度误差对卡尼亚电阻率的影响

在CSAMT测量中, 野外通常使用的装置是赤道偶极装置(图1)。在垂直电偶极源AB中垂线方向两侧各30°收发距 $r \geq 3 \sim 5\delta$  ( $\delta$ 为趋肤深度,  $\delta = 503 \sqrt{\rho/f}$ 米;  $\rho$ 是电阻率,  $\Omega \cdot m$ ;  $f$ 是频率, Hz)范围内观测平行AB方向的电场 $E_x$ 和与之垂直的磁场 $H_y$ 计算卡尼亚电阻率。

设MN无误差时测得的电位差为 $V_c$ , 当 $x$ 方向存在长度误差 $\Delta MN$ 时测得的电位差为 $V_r$ 。将卡尼亚电阻率计算公式<sup>[1]</sup>  $\rho = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|$  代入  $\frac{\Delta \rho}{\rho} = (\rho_r -$

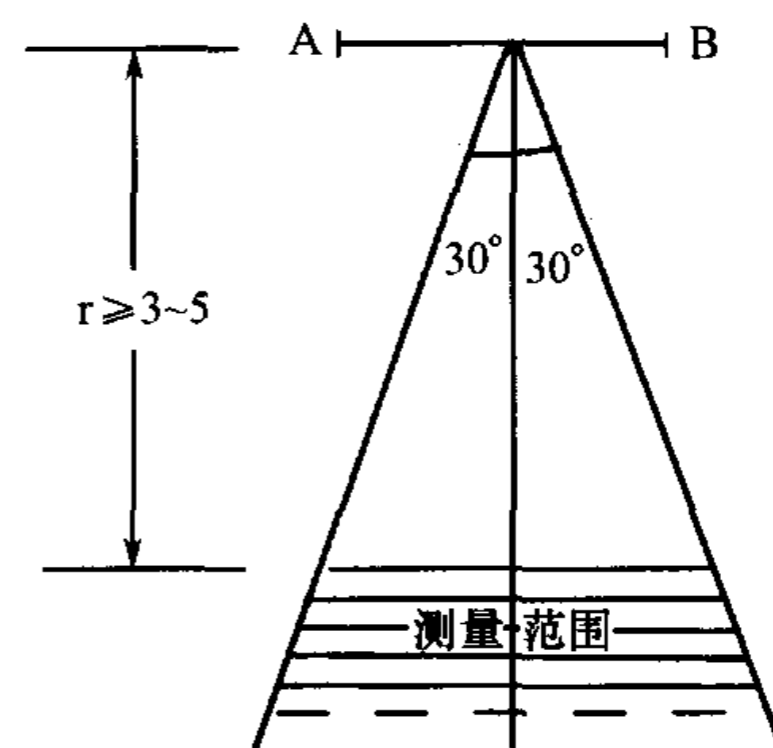


图1 CSAMT赤道偶极装置标量测量工作示意图

$\rho_c)/\rho$  中得:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \left| \frac{E_r}{E_c} \right|^2 - 1 \quad (1)$$

实际工作中, 通过测量MN间的电位差 $V$ , 并用MN对 $V$ 归一换算成电场值。由 $E = \frac{V}{MN}$ , (1)式变为:  $\frac{\Delta \rho}{\rho}$

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{V_r}{V_c} \right)^2 - 1 = \left( \frac{V_c \pm \Delta V}{V_c} \right)^2 - 1 \\ &= \pm \frac{2\Delta V}{V_c} + \frac{\Delta V^2}{V_c^2} \approx \pm \frac{2\Delta V}{V_c} = \pm \frac{2E_c \cdot \Delta MN}{E_c \cdot MN} = \pm \frac{2\Delta MN}{MN} \end{aligned} \quad (2)$$

(注: 野外工作中, 一般情况下  $\frac{\Delta V^2}{V_c^2}$  是  $\frac{2\Delta V}{V_c}$  的高

阶无穷小量)

由直流测深视电阻率计算公式  $\rho = K \frac{\Delta V}{I}$  可得:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{V_r - V_c}{\Delta V_c} = \frac{V_c \pm \Delta V - V_c}{V_c} = \frac{\Delta V}{V_c} = \frac{\Delta MN}{MN}$$

[收稿日期] 2004-09-10; [责任编辑] 余大良。

[第一作者简介] 李汝传(1961年-), 男, 1984年毕业于长春地质学院, 高级工程师, 现主要从事电磁法方法技术研究工作。

显而易见, MN 同等误差下, CSAMT 测量计算的卡尼亚电阻率产生的误差约是直流电测深电阻率误差的两倍。

### 2 MN 间接地电阻对卡尼亚视电阻率的影响

在直流电测深中由于频率较低, 我们常常忽略接收电极接地电阻对测量结果的影响, 然而在 CSAMT 测深中这种影响是不可忽略的。在均匀大地情况下, 当忽略导线的分布电容、电阻, 接收部分与大地之间可等效成如下电路<sup>[4]</sup>, 图中 M 为接收电极的一个点, O 为 MN 的中点, 设为零电位参考点。

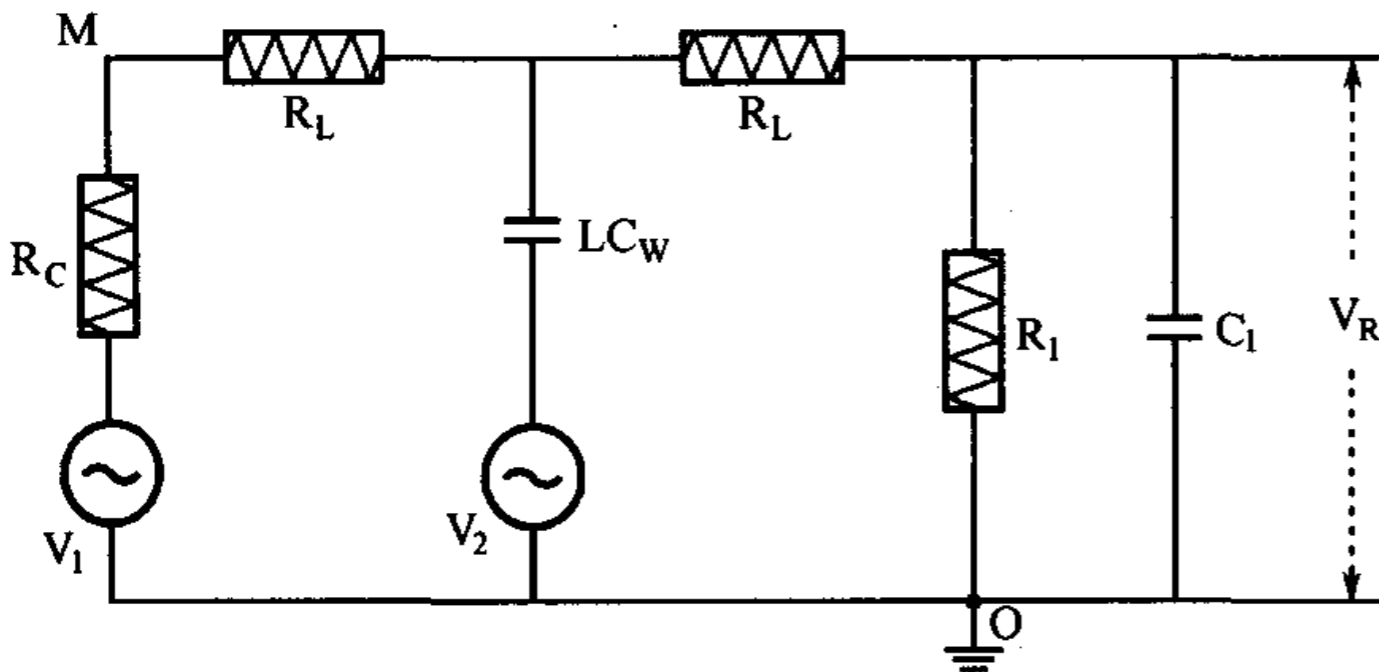


图2 接收回路简化的等效电路图

- $V_1$ —接收电极测得的电位
- $V_2$ —接收电极与参考点间的平均电位差
- $V_R$ —实际接收的电位差
- $R_L$ —接收线的感抗电阻
- $R_C$ —极罐的接地电阻与极罐的内阻之和
- $R_I$ —接收机的等效输入阻抗
- $C_w$ —导线与大地间的分布电容
- $C_I$ —接收机的等效输入电容。

设  $L = 1/2MN$ , 在本文计算的频率范围内不考虑接收机的输入阻抗和输入电容, 则

$$V_R = \frac{R_c V_2}{R_c - X_c} - \frac{X_c V_1}{R_c - X_c} \quad (3)$$

其中  $X_c = -\frac{j}{2\pi f L C_w}$

在均匀大地情况下, 波区内电位梯度沿导线是常数, 平均电位值  $V_2 = 1/2V_1$ , 则(3)式变为:

$$V_R = \frac{V_c V_1}{R_c - X_c} - \frac{0.5 R_c V_1}{R_c - X_c}$$

将  $X_c = -\frac{j}{2\pi f L C_w}$  代入上式整理后得:

$$V_R = \left( \frac{1 + 2(\pi f L C_w R_c)^2}{1 + (2\pi f L C_w R_c)^2} + \frac{\pi f L C_w R_c}{1 + (2\pi f L C_w R_c)^2} j \right) V_1 \quad (4)$$

由(2)式  $\frac{\Delta \rho}{\rho} = \left( \frac{V_R}{V_c} \right)^2 - 1$

$$\begin{aligned} \text{得: } \frac{\Delta \rho}{\rho} &= \left( \frac{V_R}{V_c} \right)^2 - 1 \\ &= \left( \frac{1 + 2(\pi f L C_w R_c)^2}{1 + (2\pi f L C_w R_c)^2} + \frac{\pi f L C_w R_c}{1 + (2\pi f L C_w R_c)^2} j \right)^2 - 1 \end{aligned} \quad (5)$$

设  $L = 100\text{m}$ ,  $C_w = 20\text{Pf/m}$ 。图3为均匀半空情况下不同接地电阻值对(5)式计算的卡尼亚电阻率相对误差与频率的关系特征曲线。

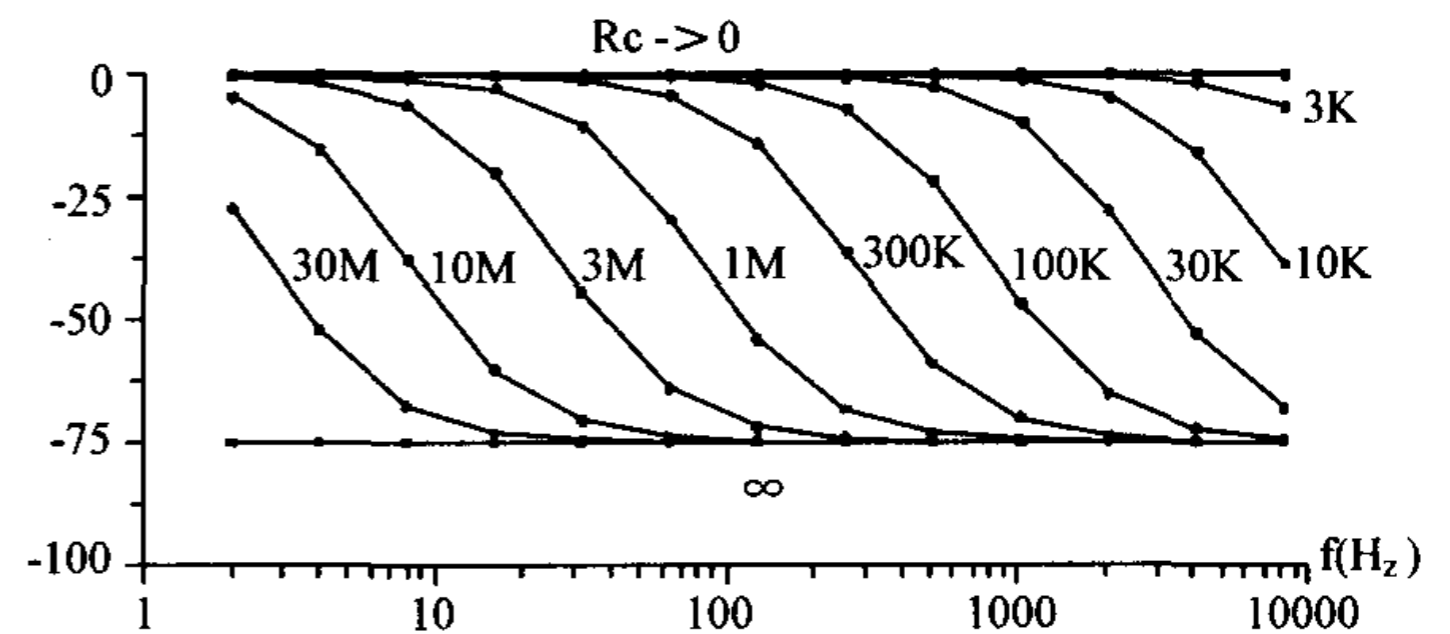


图3 不同接地电阻情况下卡尼亚视电阻率的相对误差与频率的关系曲线

从上图计算结果可见, 理想情况下(接地电阻  $R_c = 0$ )在所计算的频率范围内卡尼亚电阻率与频率无关, 电阻率的相对误差为零渐近线, 当接地电阻较小时 ( $R_c = 3\text{k}\Omega$ ), 只在高频段 ( $f > \text{kHz}$ ) 时, 测得的卡尼亚视电阻率才有明显的误差, 尤其是在  $f = 8192\text{Hz}$  时表现的较为明显,  $f < 1\text{kHz}$  时实际测得的卡尼亚电阻率与理想情况下(接地电阻  $R_c = 0$ )卡尼亚电阻率的误差趋向于 0 渐进线。随着接地电阻的增大, 影响的频率范围变宽, 当接地电阻较大时, 在高频段卡尼亚电阻率的相对误差趋于相对误差为负的最大值 ( $R_c \rightarrow \infty$ ) -75% 的渐近线。在同一频率下, 接地电阻增大, 卡尼亚电阻率的相对误差也增大, 即误差和接地电阻成正比。接地电阻的影响总使卡尼亚电阻率比实际的值小, 某些情况下测得的卡尼亚电阻率只有实际值的 1/4。当固定  $R_c$ , 变化  $C_w$  时, 计算(5)式可得到类似的结果。

### 4 结论

理论推导和计算结果表明, CSAMT 测量中卡尼亚电阻率受到的 MN 误差的影响比传统的直流电阻率法约高 2 倍, 这对野外测地工作提出了更高的要求。MN 间接地电阻对测量结果产生的影响是不可忽视的, 如果处理不当, 将会使测量结果产生严重的奇变, 特别是在高频段尤为突出。导线与大地间的分布电容对测量结果的影响也是一个不可忽视的因素, 在实际的野外工作中应尽可能的减少 MN 间的

接地电阻。为了做到这一点,除了处理好极罐接地外,不要使用同心多股电缆作为接收线,接收线最好是用屏蔽线。如果在某些特殊的情况下,不能把 MN 间的接地电阻降低到某个值以下,则应采取其他措施,如:在接收机和接收电极之间串联一个高阻抗的放大器,或通过理论计算,对高频段的数据进行校正。否则,在对测量结果进行解释时将会得到意想不到的错误结果。

## [参考文献]

- [1] 何继善,等编译.可控源音频大地电磁法[M].长沙:中南工业大学出版社,1990.12.
- [2] 朴化荣.电磁测深法原理[M].北京:地质出版社,1990.
- [3] [美]A. A. 考夫曼和 G. V. 凯勒著.王建谋译.频率域和时间域电磁测深[M].北京:地质出版社,1987.8.
- [4] 米萨克 N·纳比吉安主编.赵经祥等译,勘查地球物理电磁法.第一卷.理论[M].北京:地质出版社,1992.
- [5] Kenneth L Zonge and Larry J Hughes. The Effect of Electrode Contact Resistance. Submitted for presentation at the 55<sup>th</sup> Annual SEG Convention Washington[Z], D. C. , October 6 ~ 10, 1985.

## THE EFFECTS OF ERRORS IN M - N ELECTRODE - SPACING AND GROUNDING RESISTANCE ON CAGNIARD RESISTIVITY

LI Ru - chuan<sup>1,2</sup>

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083*; 2. *Institute of Geophysical & Geochemical Exploration, Langfang 065000* )

**Abstract:** Effects of grounding resistance and errors in M - N electrode - spacing in CSAMT sounding have been studied by theoretical derivation and numerical calculations. The results show that the effects in CSAMT are different from that in conventional DC electrical method because of differences of formulas for calculating apparent resistivity and operation frequencies adopted for the two methods.

**Key words:** controlled source audio - frequency magnetotellurics (CSAMT), error in M - N electrode - spacing, grounding Resistance between electrodes M and N, error in Cagniard resistivity