

三维大地电磁激电效应特征研究

徐凯军¹, 石双虎², 周家惠¹

(1. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 东营 257061;

2. 东方地球物理公司国际勘探事业部, 河北 涿州 072751)

摘要:在积分方程法的大地电磁三维正演模拟中引入 Cole-Cole 模型研究激电效应特征, 对均匀半空间中存在极化体时的三维大地电磁测深响应进行了理论计算, 分析了极化参数的影响规律。结果表明: 激电效应使观测视电阻率值变低; 地下高阻极化体比低阻极化体的激电效应强, 特别是极化率大的高阻极化体对大地电磁响应影响大, 使观测结果出现假异常。

关键词: 三维大地电磁; 积分方程; Cole-Cole 模型; 激电效应

中图分类号: P631.3⁺25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)01-0031-04

Study on Induced Polarization Effect of Three Dimensional Magnetotelluric

XU Kai-jun¹, SHI Shuang-hu², ZHOU Jia-hui¹

(1. College of GeoResource and Information, China University of Petroleum, Shandong Dongying 257061, China;

2. BGP of CNPC, Hebei Zhuozhou 072751, China)

Abstract: In the forward simulation of 3D magnetotelluric using integral equation method, the Cole-Cole model is led into for studying characteristics of the induced polarization effect. For the first time the authors calculate the responses of 3D magnetotelluric in homogeneous half-space including a polarizable body, and summarize some response rules. The results show that the induced polarization effect makes the value of apparent resistivity decrease. The induced polarization effect of high-resistivity polarizable body is stronger than one of low-resistivity polarizable body, especially the body with high chargeability has great effect on the response, even cause false anomaly in apparent resistivity observation.

Key words: 3D Magnetotelluric; Integral equation; Cole-Cole model; Induced polarization effect

0 引言

大地电磁测深法是研究地球电性结构的一种地球物理方法, 在揭示沉积地层展布, 查明大型断裂带等方面发挥了重要作用^[1-2]。为了扩大大地电磁测深法的应用领域, 提高其应用效果, 研究大地电磁激电效应特征和发掘激电信息有着重要意义^[3]。吴汉荣等^[4]讨论了利用天然场源作激电测量的可能性; Murali 等^[5]认为利用低频成分的天然大地电流场进行激发极化测量是可行的; 杨进等^[6]利用野外试验结果初步证实了天然场源作激电法的可行性; Gasperikova 等^[7-8]进行了天然场源激电法的研究和试验, 得出了肯定的结论; 罗延钟等^[9]研究了二维地

电条件下天然场源激电法的可行性, 指出天然场激电法的实际应用还有待探索; 李金铭等^[10]、曹中林等^[11]对水平极化层的大地电磁测深的视电阻率进行了理论计算。本文利用积分方程法实现均匀半空间大地电磁三维正演模拟^[12-13], 然后引入柯尔-柯尔模型计算均匀半空间中三维极化体的大地电磁响应, 分析并总结不同极化参数对三维大地电磁响应的规律。

1 积分方程法基本理论

在均匀导电半空间中含有一三维异常体, 取时

收稿日期: 2008-04-18

作者简介: 徐凯军(1979-), 男(汉族), 安徽固镇人, 博士, 讲师, 主要从事地球物理正反演研究。

谐因子为 $e^{i\omega t}$, 在外加电流 J_P 的场源激励下, 忽略位移电流, 根据 Maxwell 方程、积分方程理论以及相应的电磁张量格林函数, 可以得到均匀大地中三维异常体电磁响应的积分方程:

$$E(r) = E_P(r) + \int_V \Delta\sigma \cdot \tilde{G}^E(r, r') \cdot E(r') dV' \quad (1)$$

$$H(r) = H_P(r) + \int_V \Delta\sigma \cdot \tilde{G}^H(r, r') \cdot E(r') dV' \quad (2)$$

式中 $E(r)$ 和 $H(r)$ 是 r 处的总电场、总磁场; $E_P(r)$ 和 $H_P(r)$ 是以天然的平面电磁波为场源在大地中产生的一次电场和磁场; $\Delta\sigma = \sigma_b - \sigma$ 是三维异常体与大地电导率差异; $\tilde{G}^E(r, r')$ 和 $\tilde{G}^H(r, r')$ 为电和磁并矢格林函数; $E(r')$ 为异常体内电场。

为了进行数值计算, 将异常体区域剖分成 N 个小立方体, 且认为每个小单元内场值近似取其中心点的值, 最后把积分方程(1)、(2)化为矩阵方程求得空间内任意一点的电磁场值, 在求得空间总的电磁场后, 可由下式得到视电阻率:

$$\rho_{ij} = \frac{1}{\omega\mu} \left| \frac{E_i}{H_j} \right|^2 \quad (3)$$

其中 $i=x, y; j=x, y$ 。

2 Cole-Cole 模型的引入

为了考虑激电效应, 需将地下剖分单元的电阻率分别换成用 Cole-Cole 模型表示的复电阻率。

根据 Pelton 等^[14] 的结论, 对均匀岩、矿石其复电阻率频谱可用一个 Cole-Cole 模型表示, 即

$$\rho(i\omega) = \rho_0 \left\{ 1 - m \left[1 - \frac{1}{(i\omega\tau)^c} \right] \right\} \quad (4)$$

其中, $\rho(i\omega)$ 为复电阻率; ρ_0 为零频电阻率; m 为极化率; τ 为时间常数; c 为频率相关系数。式中复电阻率各参数分布范围大致为: $m=0 \sim 0.98$; $\tau=10^{-3} \sim 5 \times 10^3$ s; $c=0.1 \sim 0.6$; $\rho_0=10^{-4} \sim 10^5 \Omega \cdot m$ 。因此在本文的正演计算中, 也用一个 Cole-Cole 模型表示剖分后的各均匀单元复电阻率。

3 模型分析

为了研究地下三维极化体不同的激电参数对大地电磁三维电磁场响应的影响规律, 设计若干个模型进行分析。

3.1 低阻极化体模型

在电阻率为 $100 \Omega \cdot m$ 不极化均匀半空间中, 有一个三维低阻极化体(图 1), 极化体的零频电阻

率 $\rho_0 = 100 \Omega \cdot m$ 。图 2 是极化体取不同的极化率时, 水平电磁场的实部和虚部沿 x 轴方向地表中心剖面上各点的响应曲线, 可以看出极化体上方地表处电场的实部和虚部值相比不极化时变小, 且随着极化率的变大其值越小。磁场的实部和虚部值相比不极化时变大, 且随着极化率的变大其值越大。另外极化率对电磁场虚部值的影响更大。

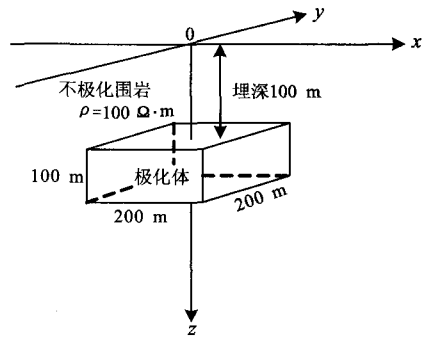


图 1 模型示意图

Fig. 1 Sketch of the model.

图 3 是极化体具有不同的激电参数时视电阻率剖面图。可以看出激电参数中极化率 m 对视电阻率的影响最大, 且激电效应主要出现在低频段 ($10^{-3} \sim 10^2$ Hz), 相比不极化时的视电阻率值, 极化率 m 和时间常数 τ 在不同频段上都是使得视电阻率变低, 而频率相关系数 c 却是随着频率由低到高先使视电阻率变高, 然后使视电阻率变低。

3.2 高阻极化体模型

在图 1 所示的模型中, 将极化体零频电阻率换为 $300 \Omega \cdot m$, 计算不同激电参数时的高阻极化体的三维大地电磁响应。图 4 是当高阻极化体具有不同的极化率时, 三维大地电磁场的实部和虚部的响应曲线。可以看出随着极化体极化率的变化, 电场和磁场的实部及虚部的变化趋势和低阻极化体一致, 但高阻极化体激电效应更强, 相比低阻极化体其对电磁场值的影响更大。

图 5 是频率为 1 Hz 时极化体具有不同极化率时视电阻率剖面图。图 6 是频率为 50 Hz 时极化体具有不同极化率时视电阻率剖面图。可以看到当极化率为 0.8 时, 频率为 50 Hz 时, 在极化体上方地表的视电阻率为 96, 低于围岩电阻率, 出现假异常。

4 结论

本文通过模型计算, 分析了激电参数对三维大地电磁响应的影响特征。当极化体的极化率变大,

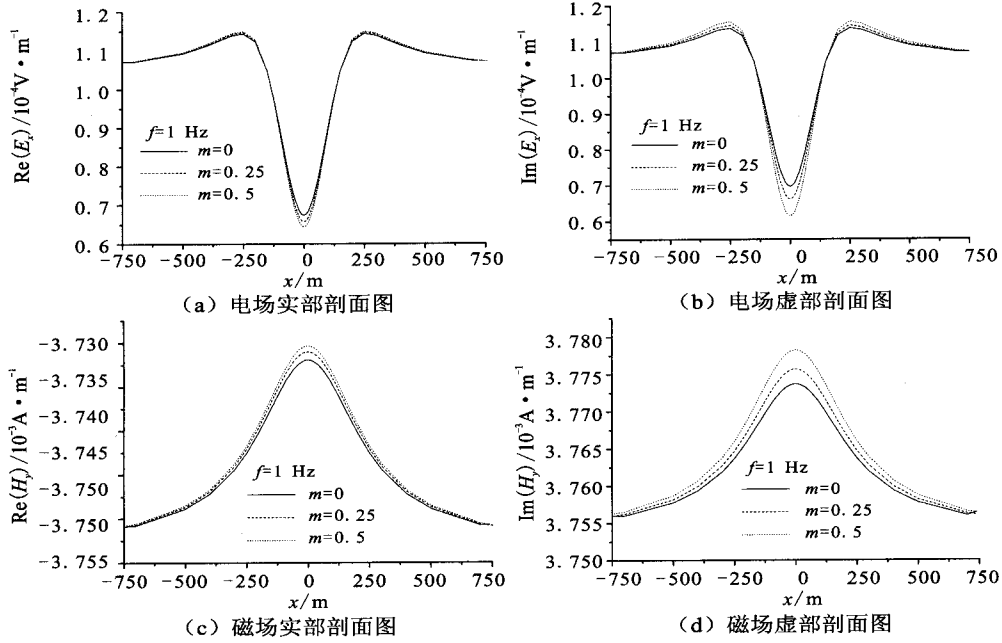


图 2 不同极化率时电场和磁场响应剖面图($\tau=10\text{ s}, c=0.25$)

Fig. 2 The profiles of electromagnetic response with different chargeabilities.

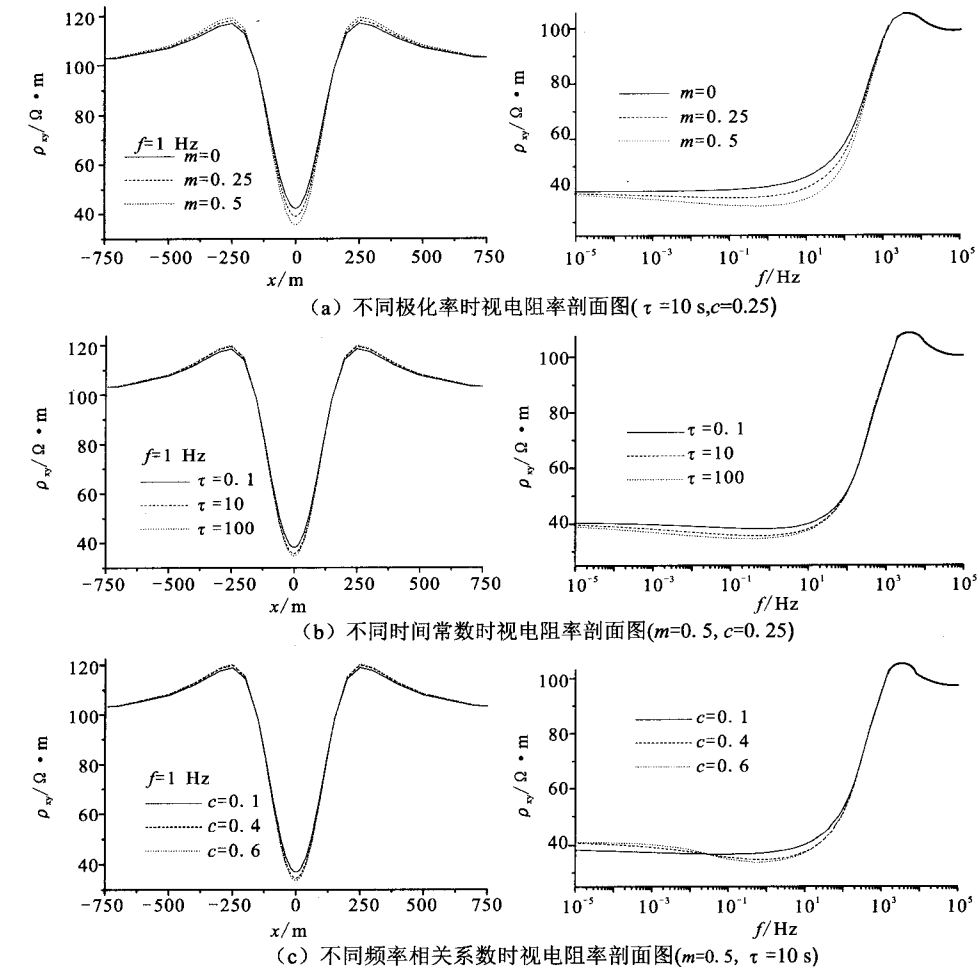


图 3 不同激电参数时视电阻率剖面图

Fig. 3 The profiles of apparent resistivity with different IP parameters.

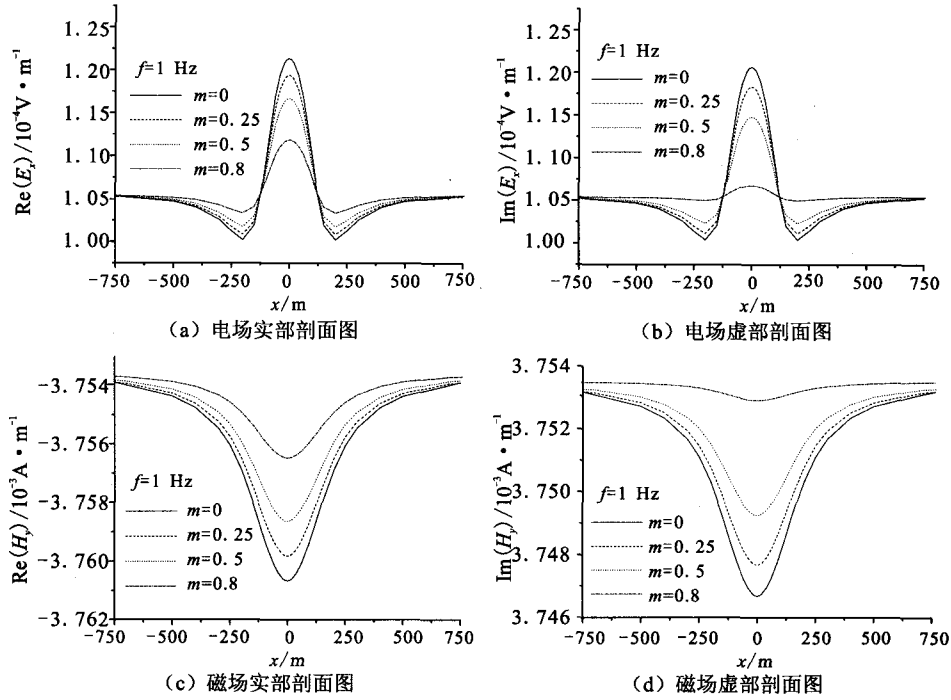


图 4 不同极化率时电场和磁场响应剖面图($\tau=10\text{ s}, c=0.25$)

Fig. 4 Profiles of electromagnetic with different chargeability.

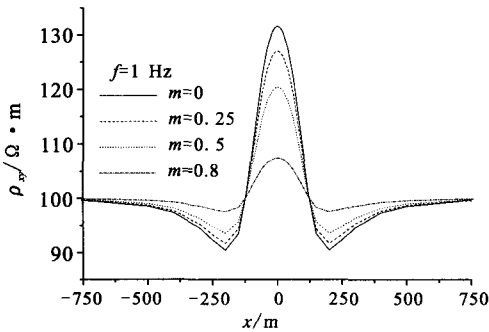


图 5 不同极化率时视电阻率剖面图($f=1\text{ Hz}$)

Fig. 5 Profiles of apparent resistivity with different chargeabilities.

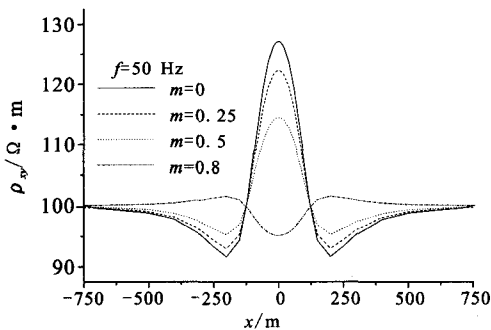


图 6 不同极化率时视电阻率剖面图($f=50\text{ Hz}$)

Fig. 6 Profiles of apparent resistivity with different chargeabilities.

极化体上方地表处电场的实部和虚部值变小,磁场的实部和虚部值变大,而且极化率的变化对电磁场的虚部值影响更大;激电参数中极化率对视电阻率的影响最大,激电效应主要出现在低频段上;相比不极化时的视电阻率值,极化率和时间常数在不同频段上都是使得视电阻率变低,而频率相关系数却是随着频率由低到高先使视电阻率变高,然后使视电阻率变低;高阻极化体激电效应更强,特别是极化率大的高阻极化体使观测结果出现假异常。

[参考文献]

[1] 魏文博. 我国大地电磁测深新进展及展望[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(2): 245-254.

[2] 何展翔, 贾进斗, 苟量. 非地震技术在油气勘探中的作用[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 70-72.

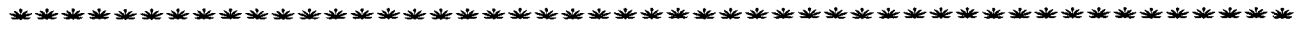
[3] 何展翔, 贺振华, 王绪本, 等. 油气非地震勘探技术的发展趋势[J]. 地球物理学进展, 2002, 17(3): 473-479.

[4] 吴汉荣, 王式铭. 利用天然电磁场进行激发极化法测量的可能性[J]. 物探与化探, 1978, (1): 62-64.

[5] Murali S. Comparison of anomalous effects determined using telluric field and time domain IP technique (Test Results)[J]. Bult. Aust. Soc. Expior, Geophys, 1982, 2(1/2): 44- 45.

(下转 85 页)

- [4] 曹井泉. 鄂尔多斯块体周缘强震活动时空特征及地震危险性分析[J]. 西北地震学报, 2002, 24(3): 230-235.
- [5] 刘仲温, 王贵华, 张文国, 等. 构造力学性质与地震强度的关系[J]. 西北地震学报, 1989, 11(2): 70-78.
- [6] GB / T17742-1999, 中国地震烈度表[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.



(上接 34 页)

- [6] 杨进, 谭捍东, 傅良魁. 被动源激发极化法的野外试验结果[J]. 现代地质, 1998, 12(3): 436-441.
- [7] Gasperikova E, Morrison H F. Mapping of Induced Polarization Using Natural Fields. *Geophysics*, 2001, 66(1): 137-147.
- [8] Gasperikova E, Cuevas N H, Morrison H F. Natural field induced polarization for mapping of deep mineral deposits: A field example from Arizona[J]. *Geophysics*, 2005, 70(6): B61-B66.
- [9] 罗延钟, 张胜业, 熊彬. 天然场源激电法的可行性[J]. 地球物理学报, 2003, 46(1): 125-130.
- [10] 李金铭, 陈清礼, 杨冠鼎, 等. 极化水平层上天然场源激电测深的理论研究[J]. 物探与化探, 2003, 27(4): 280-283.
- [11] 曹中林, 何展翔, 昌彦君. MT 激电效应的模拟研究及在油气检测中的应用[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1252-1257.
- [12] 翁爱华, 王雪秋. 利用数值积分提高一维模型电偶源电磁测深响应计算精度[J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 193-197.
- [13] 徐凯军, 李桐林, 张辉, 等. 利用积分方程法的大地电磁三维正演[J]. 西北地震学报, 2006, 28(2): 104-107.
- [14] Pelton W H, Ward S H, Hallof P G. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multifrequency IP[J]. *Geophysics*, 1978, 43(3): 588-609.