

• 矿井物探 •

文章编号:1001-1986(2001) 01-0052-03

# 矿井电穿透法一维正演数值模拟

韩德品,石亚丁,刘青雯 (煤炭科学研究总院西安分院,陕西 西安 710054)

**摘要:**通过研究工作面两巷道间电穿透建场理论和一维正演数值模拟,结果表明6种电穿透技术对工作面顶底板内的电性变化特别敏感,而对工作面煤层内部的电性变化反应不敏感。为该方法探测工作面顶底板内的含水、导水构造提供了理论依据。

**关键词:**矿井电穿透法;一维正演;数值模拟

**中图分类号:**P631.3<sup>+</sup>22

**文献标识码:**A

## 1 前言

矿井电穿透法是井下物探新技术,对探测井下采煤工作面顶、底板围岩中潜在的含水、导水构造,效果比较好。但其正演理论未见发表。

本文将提供6种探测采煤工作面顶、底板内部构造方法的一维正演方法。包括两种单极-偶极电穿透法和四种偶极-偶极电穿透法。通过研究井下工作面附近围岩、煤层的电性变化,探讨上述几种电

穿透方法的优缺点,找出其规律,为该技术的进一步推广应用提供理论依据。

## 2 正演数学模型及程序框图

### 2.1 正演数学模型

地电模型如图1,为了采用数字滤波法快速计算 $R$ 理论值,将文献[1]中(7)式做如下变换,设:

$$r = e^x, \quad (x = \ln r, \text{ 其中: } r = AB/2), \\ \lambda = e^{-y}, \quad (y = -\ln \lambda), \quad (1)$$

收稿日期:2000-01-12

基金项目:煤炭科学基金资助项目(96地20811)

作者简介:韩德品(1962-),男,山东日照人,煤炭科学研究总院西安分院高级工程师,地球物理勘探。

同相轴显得光滑。

## 4 结论

在频率域单程方程三维叠前正演中,采用相移法进行波场延拓虽然可以使正演过程得以简化,但波场延拓中的畸变问题严重影响了最终正演记录的质量。本文采用波场替换技术,在每次延拓时用零相位子波形成一个同时保留了原波场的动力学特征与空间位置信息的新波场,然后用新波场取代原畸变波场并参与正演记录合成。上述理论试算结果表明该方法提高了正演记录质量,具有可行性和实用性。

## 参考文献

- [1] 贺振华,黄德济等.复杂油气藏地震波场特征方法理论及应用[M].四川科学技术出版社,1999.
- [2] 熊高君等.转换横波共炮记录单程声波方程正演模拟[J].物化探计算技术,1998,20(3):213.
- [3] 贺振华等.反射地震资料偏移处理与反演方法[M].重庆大学出版社,1989.
- [4] Takashi Furumura and Takenaka H. A wrapround elimination technique for the pseudospectral wave synthesis using an antiperiodic extension of the wavefield[J]. Geophysics, 1995, 60(1):302.

## Wavefield replacement in 3D prestack forward modeling based on one way acoustic wave equation of frequency domain

ZHOU Ya-tong<sup>1</sup>, DONG En-qing<sup>1</sup>, HE Zhen-hua<sup>2</sup>

(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Based on the seismic positioning principle we can do 3D prestack forward modeling by one way acoustic wave equation in complex geological conditions. This method has very high calculating efficiency and hasn't multi-reflections in the seismic records. But unsuitable velocity in model usually result in frequency and wave number's lossing of wave-field that cause wave-field's aberration and reduce quality of seismic forward records. This paper proposes wave-field replacement technology which uses new wave-field formed by zero phase wavelet to replace old aberrant wave-field and keep old one's dynamical and spacial characteristic at the same time. It is very suitable to use this technology in 3D prestack forward modeling because the wave-field of focus and receiver's response are similar in shape and every trace's amplitude envelope in wave-field only has one extreme value. The simulation shows that the record's quality is improved when using wave-field replacement technology.

**Key words:** 3D prestack forward modeling; positioning principle; one way equation; wavefield replacement; frequency and wave number lossing

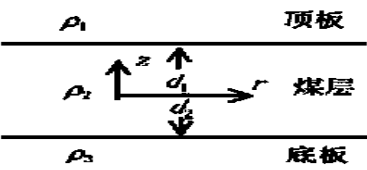


图 1 一维模型(  $\rho < \rho > \rho$  )

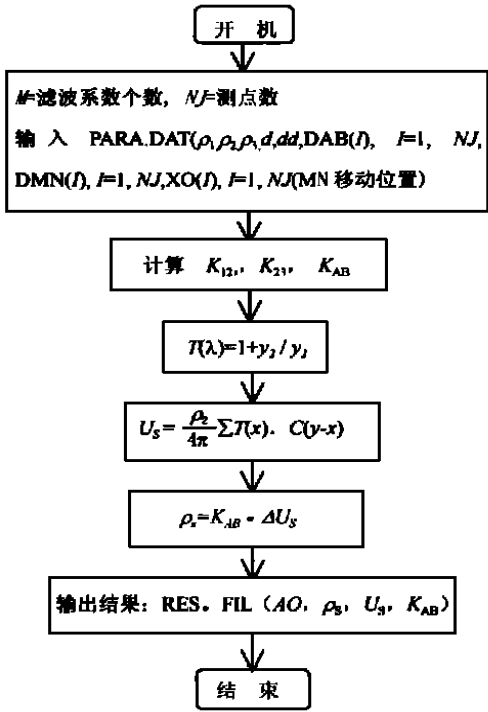


图 2 一维线性数字滤波法正演程序框图

则 
$$V = \frac{I \rho}{4 \pi} \int_0^{\infty} T(e^{-y}) \cdot J_0(e^{x-y}) \cdot d(e^{-y}) \quad (2)$$

令: 
$$T(y) = T(e^{-y}),$$
$$C(x-y) = J_0(e^{x-y}),$$

(2) 式变为

$$V = \frac{I \rho}{4 \pi} \int_{-\infty}^{\infty} T(y) \cdot C(x-y) \cdot dy \quad (3)$$

这里我们采用 167 个滤波系数的滤波器,  $\Delta = (1/12) \ln 10$  (采样间隔)。

各种装置的视电阻率均可由下式求出:

$$\rho_s = K_{AB} \cdot \Delta V / I, \quad (4)$$

其中  $K_{AB}$  —— 各种电极系装置系数,

$\Delta V$  —— MN 之间的电位差。

2.2 程序框图。

线性数字滤波法程序框图如图 2。

3 正演结果

3.1 单极—偶极法

电穿透法的单极—偶极法包括平行单极—偶极法、垂直单极—偶极法。

3.1.1 平行单极—偶极法

正演理论曲线见图 3、4。电位差曲线为上拱形, 中间极大值两边对称, 随着极距  $r \rightarrow \infty, U = 0$ 。视电阻率曲线为近似斜率等于零的直线。(图中:  $dd = 100 \text{ m}$  为工作面宽度,  $d = 3 \text{ m}$  为巷道高度,  $mn = 3 \text{ m}$  为测量电极距, 以下各图中这些参数相同)。

3.1.1.1 由图 3 可知, 当变化顶板电性参数  $\rho$  时, 由  $\rho = \rho \rightarrow 10 \rho$ , 所对应的曲线表现为:

$$U_{\max} \uparrow, \Delta U_{\max} = \left| \frac{U_{\max}^1 - U_{\max}^2}{U_{\max}^1} \right| > 80\%,$$
$$U_{\max} \approx 2\,400 \rightarrow 4\,300 \text{ mV},$$
$$\rho_s \uparrow, \Delta \rho_{s \max} = \left| \frac{\rho_s^1 - \rho_s^2}{\rho_s^1} \right| > 80\%,$$
$$\rho_{s \max} \approx 100 \rightarrow 185 \Omega \cdot \text{m}.$$

同样, 当  $\rho = \rho \rightarrow 0.1 \rho$  时, 也有:

$$U_{\max} \uparrow, U_{\max} \approx 2\,400 \rightarrow 4\,300 \text{ mV},$$
$$\rho_s \uparrow, \rho_{s \max} \approx 100 \rightarrow 185 \Omega \cdot \text{m}.$$

3.1.1.2 当煤层参数  $\rho$  变化时(图 4), 由  $\rho = \rho \rightarrow 10 \rho$  时, 有:

$$U_{\max} \uparrow, \Delta U_{\max} = \left| \frac{U_{\max}^1 - U_{\max}^2}{U_{\max}^1} \right| < 6\%,$$
$$U_{\max} \approx 2\,400 \rightarrow 2\,500 \text{ mV},$$
$$\rho_s \uparrow, \Delta \rho_{s \max} = \left| \frac{\rho_s^1 - \rho_s^2}{\rho_s^1} \right| < 6\%,$$
$$\rho_{s \max} \approx 100 \rightarrow 105 \Omega \cdot \text{m}.$$

同样, 当  $\rho = \rho \rightarrow 0.1 \rho$  时, 有:  $U_{\max} \downarrow, \Delta U_{\max} < 6\%$ ,  $\rho_s \downarrow, \Delta \rho_{s \max} < 6\%$ 。

总之, 该法顶、底板(  $\rho$ 、 $\rho$  )对测量结果影响较大, 而且顶、底板具有对称性, 煤层(  $\rho$  )对测量结果影响较小。说明该法对顶、底板电性反应敏感, 对煤

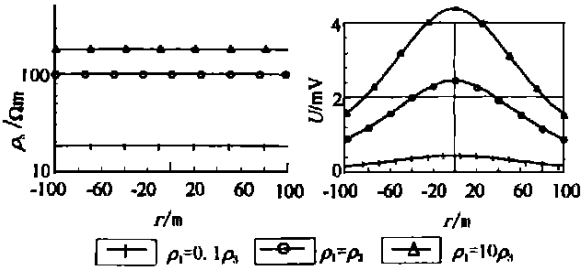


图 3 顶板岩性变化情况(平行单极—偶极法)

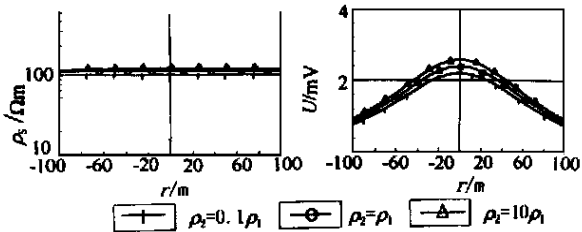


图 4 煤层岩性变化情况(平行单极—偶极法)

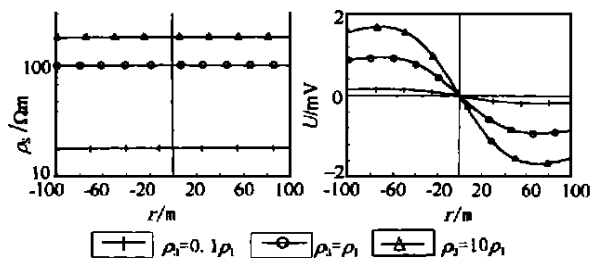


图 5 顶板岩性变化情况(垂向单极-偶极法)

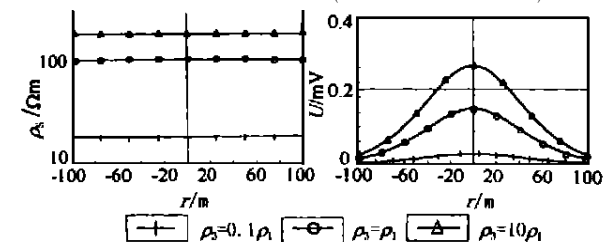


图 6 底板岩性变化情况(平行偶极-偶极法)

层反应不敏感。

### 3.1.2 垂向单极-偶极法

正演理论曲线见图 5。电位差曲线与正弦曲线(0, 2 $\pi$ 段相似,随着极距 $r$ 加大, $U \rightarrow 0$ ,两极值分别位于 0 点两侧约 $(\sqrt{2}/2)dd$ 处。视电阻率曲线为斜率近似零的一条直线。由正演结果可知:实际测量时最好在两边极值附近进行,否则测量信号很小,信噪比也不高。当底板电性参数变化和煤层参数 $\rho$ 变化时,相应的电位差曲线和视电阻率曲线变化同平行单极-偶极法。

## 3.2 偶极-偶极法

电穿透法的偶极-偶极法包括平行偶极-偶极法和垂直偶极-偶极法各两种。

### 3.2.1 平行偶极-偶极法

平行偶极-偶极法有两种布极方式,一种是 M 与 N, A 与 B 两电极连线平行于巷道走向,另一种是两电极连线都垂直于巷道走向。(图 6) 电位差曲线为上拱形,在中部, $U > 0$ ,两边 $U \leq 0$ 。视电阻率曲线近似为一直线。

### 3.2.2 垂向偶极-偶极法

垂向偶极-偶极法有两种布极方式,一种是 MN 两电极连线垂直于巷道走向,AB 两电极连线平行于巷道走向;(图 7) 另一种布极则相反。正演理

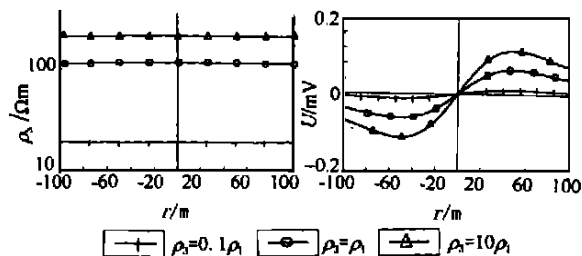


图 7 底板岩性变化情况(垂向偶极-偶极法)

论曲线相似于正弦曲线(− $\pi$   $\pi$ 段,随 $r \rightarrow \pm \infty$ , $U \rightarrow 0$ ,两极值位于零点两侧。视电阻率曲线近似为一直线。

煤层岩性变化正演结果与平行单极-偶极法类似。

正演结果表明,当 $\rho$ (煤层)增大 10 倍, $\Delta U_{\max}$ 、 $\Delta \rho_{\max}$ 变化均较小( $< 10\%$ ),而当 $\rho$ 、 $\rho$ (顶板、底板)增大 10 倍时, $\Delta U_{\max}$ 、 $\Delta \rho_{\max}$ 变化均较大( $> 80\%$ ),表明以上 6 种方法对顶底板电性变化敏感,对煤层电性变化反映不敏感,只是偶极-偶极法测量信号相对单极-偶极法较小。

## 4 结束语

通过研究工作面两巷道间电穿透方法一维正演理论和电场的分布规律,大量正演数值模拟计算结果阐明了采煤工作面中煤层及其顶底板的电性对 6 种电穿透技术测量结果的影响规律,说明该技术适合于探测工作面顶底板内的含水、导水构造。为进一步研究各种装置下的地质异常特征提供了一维数值计算方法和理论依据。

## 参考文献

- [1] 韩德品、石亚丁等. 矿井电穿透方法技术的研究[J]. 煤田地质与勘探, 2000, 28(2): 50~52.
- [2] 韩德品、石亚丁等. 井下单极-偶极直流电透视原理及解释方法[J]. 煤田地质与勘探, 1997, 25(5): 32~34.
- [3] 姚文斌. 电测深数值计算和解释入门[M]. 北京:地震出版社, 1989.
- [4] Shima H. 2-D and 3-D resistivity image reconstruction using cross-hole data[J]. Geophysics, 1992, 57: 1270~1281.
- [5] Willian Daily and Earle Owen. cross-borehole resistivity tomography[J]. Geophysics, 1991, 56: 1228~1235.

## One dimension numerical modeling of electrical penetrative detection in coal mine

HAN De-pin, SHI ya-ding, LIU Qing-wen (Xi'an Branch, CCRI, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** From researching the electrical penetration field theory between two roads of panel and it's one dimension numerical modeling, it is indicated that six electrical penetration techniques have obvious reflection to the change of electrical characters in roof and floor of the panel, but less reflection to the coal seam itself. The research provides the theory basis for detecting water-bearing and water conductive structures in the roof or floor of panels.

**Key words:** mine electrical penetration methods; one-dimensional forward solution; numerical simulation