



矿井电穿透方法技术的研究*

韩德品 石亚丁 (煤炭科学研究总院西安分院 710054)

摘要 通过研究工作面两巷道间电穿透建场理论和方法技术,优化出单极—偶极法等6种电穿透技术,用于探测工作面顶底板内的电性变化;煤层偶极—偶极法用于探测工作面煤层内的电性变化,为分别探测工作面顶底板内和煤层内的含、导水构造提供了一套新技术。

关键词 矿井电穿透法 技术 研究

中国图书资料分类法分类号 P631

作者简介 韩德品 男 37岁 高级工程师 地球物理勘探

1 前言

采煤工作面内部和顶底板的地质构造,尤其是大水矿井的含水导水构造,时常困扰着高产高效综采工作面的安全生产和生产效率。近几年来,井下直流电法探测巷道顶底板隔水层厚度、断裂破碎带、含水、导水构造,以及高频电磁波坑道透视法对探测工作面内部小构造等均取得了明显的地质效果。但在井下探测采煤工作面顶、底板围岩中潜在的含水、导水构造方面,仍是一个难题。

本文将提供6种典型的探测采煤工作面顶底板内部构造的新方法及一种探测工作面煤层内部构造的新方法:包括两种单极—偶极电穿透法和5种偶极—偶极电穿透法。它不受电缆线等人工导体的影响,克服了坑透法不能探测工作面顶底板的局限,尤其适宜低阻异常体的探测,为研究大水矿井工作面附近的低阻含、导水构造、潜在突水点等提供科学依据。

2 方法原理

如图1所示,我们知道,稳定电流场的电位满足 $\nabla^2 V = 0$,其通式为:

$$V = \int_0^\infty [A(\lambda)e^{-\lambda z} + B(\lambda)e^{\lambda z}] J_0(\lambda r) d\lambda, \quad (1)$$

式中 λ —— 积分变量,具有长度倒数数量纲;

r —— 测量点到 z 轴的水平距离;

$J_0(\lambda r)$ —— 零阶贝塞尔函数。

置于均匀全空间中的点电流源 $A(I)$ 产生的电位为

$$V = \frac{I\rho_2}{4\pi} \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}}, \quad (2)$$

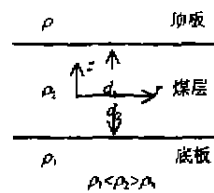


图1 一维模型

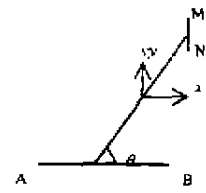


图2 偶极装置符号含义

式中 ρ_2 —— 均匀大地电阻率。

利用韦伯—李普西茨公式

$$\int_0^\infty e^{-\lambda z} J_0(\lambda r) d\lambda = \frac{1}{\sqrt{r^2 + z^2}}, \quad (3)$$

将(3)式代入(2)式,点电源的电位表达式变为:

$$V = \frac{I\rho_2}{4\pi} \int_0^\infty e^{-\lambda z} J_0(\lambda r) d\lambda. \quad (4)$$

将均匀大地点电流源由电位表达式作为单独一项写进通解中,则通解表达式为:

$$V = \frac{I\rho_2}{4\pi} \int_0^\infty [e^{-\lambda z} + A(\lambda)e^{-\lambda z} + B(\lambda)e^{\lambda z}] J_0(\lambda r) d\lambda, \quad (5)$$

此式对煤层和围岩均成立。

假设围岩和煤层中的电位分别为 V_1, V_2, V_3 ,由(5)式,它们的表达式可写成:

$$V_i = \frac{I\rho_2}{4\pi} \int_0^\infty [e^{-\lambda z} + A_i(\lambda)e^{-\lambda z} + B_i(\lambda)e^{\lambda z}] J_0(\lambda r) d\lambda. \quad (6)$$

(6)式中系数 $A_i, B_i (i=1, 2, 3)$ 可由边界条件求出。

对煤层中的电位:

$$V = V_2(z=0) = \frac{I\rho_2}{4\pi} \int_0^\infty T(\lambda) \cdot J_0(\lambda r) d\lambda, \quad (7)$$

$$T(\lambda) = 1 + \frac{K_{12}e^{2\lambda d_2} - 2K_{12}K_{23} - K_{23}e^{2\lambda d_1}}{e^{2\lambda(d_1+d_2)} + K_{12}K_{23}},$$

$$d = d_1 + d_2.$$

电法勘探的基本原理告诉我们,视电阻率可由下式求得:

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I}, \quad (8)$$

* 煤炭科学基金资助项目部分内容(96地20811)

其中 $K=4\pi \cdot [\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}]^{-1}$ 。 (9)

K 为通用电极装置系数, 二极、三极、四极 (包括煤层偶极—偶极法) 都是该通用装置的特例。

将 (7)、(9) 式代入 (8) 式可得视电阻率函数的表达式:

$$\text{二极} \quad \rho_{s2} = r \int_0^\infty T_1(\lambda) J_1(\lambda r) d\lambda; \quad (10)$$

$$\text{三极} \quad \rho_{s3} = r \int_0^\infty T_1(\lambda) J_1(\lambda r) d\lambda; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{四极} \quad \rho_s &= -\frac{4\pi r^2}{I} \frac{\partial V}{\partial r} \\ &= r^2 \int_0^\infty T_1(\lambda) J_1(\lambda r) d\lambda; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{偶极} \quad \rho_{sd} = \rho_s - P \cdot r \cdot \frac{d\rho_s}{dr}. \quad (13)$$

式中 $T_1(\lambda) = \rho_2 \cdot T(\lambda)$, 称为视电阻率转换函数 (又称核函数);

ρ_s —— 理论对称四极装置视电阻率;

P —— 与偶极装置类型有关的系数, 分别为 (图 2)

平行偶极 $P = \cos^2 \theta / (3 \cos^2 \theta - 1)$;

垂直偶极 $P = 1/3$ 。

3 井下电穿透方法技术

3.1 探测工作面顶底板内的方法与技术

探测工作面顶底板内的电性变化, 其典型的建场方法有 6 种 (图 3)。

3.1.1 单极—偶极法 (单点发射偶极接收)

3.1.1.1 平行单极—偶极法

将供电电极 A 置于巷道底板, 另一供电电极 B 置于无穷远处, 接收极 M、N 置于另一巷道底板, 且 MN 垂直于巷道走向布置 (图 3a)。

3.1.1.2 垂直单极—偶极法

将供电电极 A 置于巷道底板, 另一供电电极 B 置于无穷远处, 接收极 M、N 置于另一巷道且 MN 连线平行于巷道走向 (图 3b)。

3.1.2 偶极—偶极法 (偶极发射偶极接收)

3.1.2.1 平行偶极—偶极法 (1)

将供电偶极 A、B 置于一个巷道中, 形成一个电偶极子, 接收偶极 M、N 置于另一巷道中, AB、MN 均平行于巷道走向排列 (图 3c)。

3.1.2.2 平行偶极—偶极法 (2)

将供电偶极 A、B 和接收偶极 M、N 分别置于工作面两侧的巷道中 (与前者相同), 只是 AB、MN 的排列均垂直于巷道走向 (图 3e)。

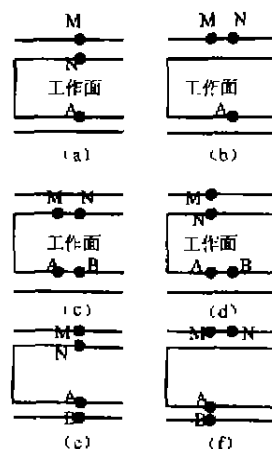


图 3 探测顶底板几种典型建场方法技术

(a) —— 平行单极—偶极法; (b) —— 垂直单极—偶极法;

(c) —— 平行偶极—偶极法 (1); (d) —— 垂直偶极—偶极法 (1);

(e) —— 平行偶极—偶极法 (2); (f) —— 垂直偶极—偶极法 (2)

3.1.2.3 垂直偶极—偶极法 (1)

将供电电极 AB 置于一巷道中且 A、B 的连线与巷道走向平行, 测量偶极 MN 置于另一巷道中且 M、N 的连线与巷道走向垂直 (图 3d)。

3.1.2.4 垂直偶极—偶极法 (2)

将供电电极 A、B 置于一巷道中且 A、B 的连线与巷道走向垂直, 测量偶极 M、N 置于另一巷道中且 M、N 的连线与巷道走向平行 (图 3f)。

3.2 探测工作面煤层内的方法与技术

对于水平三层介质, 采用顶底板偶极—偶极法 (图 4)。即将两供电电极 A、B, 以及两接收电极 M、N 分别置于工作面两侧巷道的上下界面, 在测量过程中相对固定 AB; 在另一巷道相对移动 MN 极, 使偶极排列尽可能呈扇形覆盖被测地层。

当所测地段没有相邻两个巷道, 只有一个巷道时, 也可以把 AB、MN 放在同一平巷内, 逐渐增大这两对电极间的距离 r , 可用来探测巷道附近研究地段煤层中的地电变化, 这种方法叫层测深法。该法可用于探测高阻煤层内的电性变化。

3.3 方法优化

3.3.1 方法优化依据

3.3.1.1 煤层和顶底板之间探测方法的区别

我们的目的是分别找出能探测工作面顶、底板内和探测煤层内部构造的方法。

根据电场分布规律, MN 电极所测量的两等位面间的电位差 ΔU_{MN} 主要反映了两等位面间勘探体积内的电性变化。对于以上 7 种探测方法, 前 6 种在 MN 间勘探体积内, 顶底板占主导地位, 主要反映顶底板内的电性变化 (图 5a)。煤层偶极—偶极法在 MN 间勘探体积内, 煤层占主导地位, 主要反映煤层

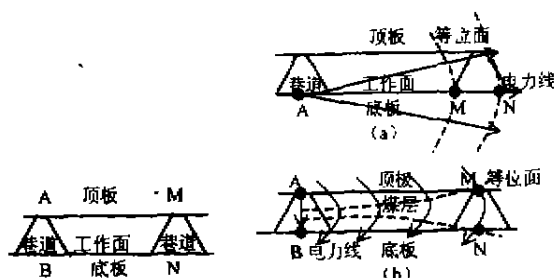


图 4 电极排列方式

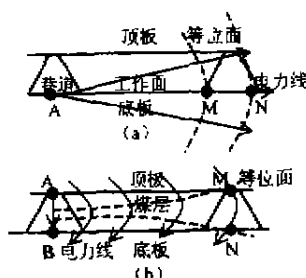


图 5 电场分布示意图

(a)——平行单极—偶极法;

(b)——煤层偶极—偶极法

内的电性变化(图 5b)。所以前 6 种方法能用于探测煤层顶、底板,而后者只能用于探测工作面煤层内的电性变化。

3.3.1.2 探测顶底板方法的进一步优化

主要依据有:

a. 根据测量信号的大小,信噪比的不同。(图 6)

b. 根据场的性质:

单极—偶极法 $U \propto \frac{1}{r}$ 衰减慢;

偶极—偶极法 $U \propto \frac{1}{r^2}$ 衰减快。

c. 按仪器本安型防爆要求,供电电流大小受限制,电信号不可能太大,应选择信噪比较高的方法。

d. 根据实用性,在煤矿井下首先要满足井下有限的空间和现有的、比较苛刻的工作条件。

3.3.2 优化结果

两种单极—偶极法对顶、底板电性异常反应敏感,信号强,能保证较高的信噪比,井下施工较为方便,可用于探测顶、底板。

4 种偶极—偶极法信号太小,信噪比较低,如果才能保证供电电流很大,也可以用于顶底板探测。

煤层偶极—偶极法只能用于探测煤层内部的电性异常。不能探测工作面顶底板内的电性变化。

4 结束语

本文全面研究了工作面两巷道间电穿透建场方法理论和电场的分布规律,为井下直流电法的发展

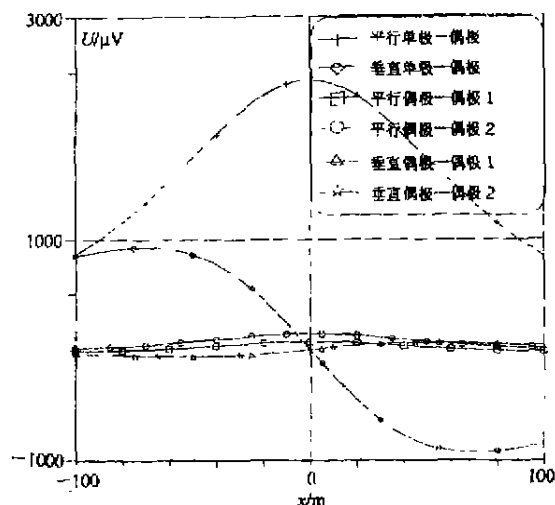


图 6 各种方法电信号大小比较

$$\rho_1 = \rho_2 = 100 \Omega \cdot m; m; \rho_3 = 500 \Omega \cdot m; dd = 100m; h = 3m$$

向点—线—面方向前进了一步,扩大了井下直流电法探测空间,不仅在巷道内,而且在巷道间煤层及其顶底板中。

根据电穿透方法理论和井下实际条件,优化出两种单极—偶极法及 4 种偶极—偶极电穿透方法,其对工作面顶底板内的电性变化反应敏感,适合于探测工作面顶底板内的含、导水构造;煤层偶极—偶极电穿透法对工作面煤层内的电性变化反应敏感,适合于探测工作面煤层内的电性变化。

在研究过程中曾得到中国地质大学谭捍东博士的大力支持、中国矿业大学李志鹏教授、陕西省地球物理学会李毓茂研究员、煤科总院西安分院陈明生研究员、阎述博士等许多专家的指导和帮助。在此,对曾给予本项目大力支持和帮助的专家们表示衷心感谢。

参考文献

- 1 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. 煤田地质与勘探, 1997; 25: 32~34
- 2 姚文斌. 电测深数值计算和解释入门. 北京:地震出版社, 1989
- 3 Dines K A, Lytle R J. Analysis of electrical conductivity imaging. Geophysics, 1981; 46: 1025~1036
- 4 岳建华等. 巷道层深理论曲线数值模拟及资料解释方法. 煤田地质与勘探, 1997; (1): 52~54
- 5 J CSOKAS, M DDBROKA, A GYULAI. Geoelectric determination of quality changes and tectonic disturbances in coal deposits. Geophysical prospecting, 1986; 34: 1067~1081

(收稿日期 1999-05-13)

RESEARCH OF THE MINE ELECTRICITY PENETRATION METHOD

Han Depin Shi Yading (Xi'an Branch, CCRI)

Abstract Through research theory and technique of the electricity penetration method between two laneway, it have been optimized that 6 kind the monopole-dipole et al electricity penetration methods of exploration electrical properties diversification of the roof and floor of working face and dipole-dipole electricity penetration method of exploration electrical properties diversification of the coal. A suit of the new technic has been provided for exploration water-bearing structure and water-conducting structure of the roof and floor in working face.

Keywords mine electricity penetration methods; technique; research