

• 矿井物探 •

利用地震波特征参数解释断层落差

赵爱华 (中国科学院地球物理研究所 北京 100101)

刘天放 张爱敏 (中国矿业大学 徐州 221008)

摘要 断层落差是断层解释的一项重要内容。通过研究断层与地震波之间的关系,提出了一种利用地震波特征参数解释断层落差的方法。通过对实际资料的解释,证明该方法是可行的。

关键词 地震勘探 特征参数 断层 解释

中国图书资料分类法分类号 P631.44

作者简介 赵爱华 男 28岁 博士研究生 地球物理勘探

1 引言

断层构造是影响矿井生产效率、威胁矿井安全的主要因素之一。断层对矿井的影响程度与其大小有直接关系。一般来说,断层越大,其影响也越大。在矿井建设和生产过程中,根据断层的大小,会采取不同的设计方案和预处理措施。因此准确地确定断层落差具有十分重要的意义。

目前断层落差 h 主要是根据断层上、下盘断点时差 Δt 及地震波速度 v 来确定,即利用公式

$$h = \frac{1}{2} \Delta t \times v.$$

然而由于多种因素的影响,准确地确定 Δt 和 v 并非易事。事实上,地震波包含着丰富的断层构造信息,其中许多信息与断层落差有着密切的联系。断层落差越大,构造运动规模一般也越大,断层带内的岩石破碎程度也越高,对地震波的吸收也就越严重。同时反射波之间的相互干涉也越强。因此断层地震波从多方面反映着断层落差大小。正是基于这种认识,我们提出了一种利用地震波特征参数解释断层落差的方法。通过对实际资料的解释,证明该方法是可行的。

2 地震波特征参数

用地震波特征参数解释断层落差,由于涉及到二者的数量关系,所以对特征参数的要求是比较高的,不仅要求参数反映断层地震波的特征,而且还要求参数与断层落差有稳定、确切的数量关系。更进一步,这种数量关系应具有一致性,也就是说参数与断层落差的关系是单调的。因此能够用于断层落差解释的地震特征参数并不多。这次利用了3个可以用于断层落差解释的特征参数:断层时差、波形和分维差。

2.1 断层时差 DFT

断层时差 DFT 是由主波峰相位时间 t_{max} 曲线得到的。如图1所示,将主波峰相位时间曲线用直线段拟合,波峰相位

时间在断层处的阶跃值即为断层时差 DFT 。断层时差与断层落差的关系比较简单,基本上为线性关系:

$$h = K \times DFT, \quad (1)$$

式中 K —— 大于0的常数。

图2是根据大屯龙东矿10T线资料绘制的 $DFT-h$ 关系曲线。

2.2 波形 FORM

$$FORM = \frac{A_{max}}{T^*}, \quad (2)$$

式中 A_{max} —— 主波峰振幅;

T^* —— 地震波主周期。

波形与断层落差的关系比较复杂,总的来说落差越大, $FORM$ 越小。图3是根据大屯龙东矿10T线资料绘制的 $FORM-h$ 关系曲线。

2.3 分维差 DFRACT

分维差 $DFRACT$ 是从短时分形维参数 $FRACT$ ($FRACT$ 的定义见参考文献[1]) 曲线上得到的。如图4所示, $DFRACT$ 是断层处拟合分形维与实际分形维之差。

$DFRACT$ 与落差 h 总体为单调递增关系,具体关系则比较复杂。图5是根据大屯龙东矿10T线资料绘制的 $DFRACT-h$ 关系曲线。

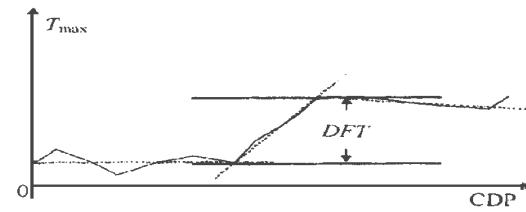
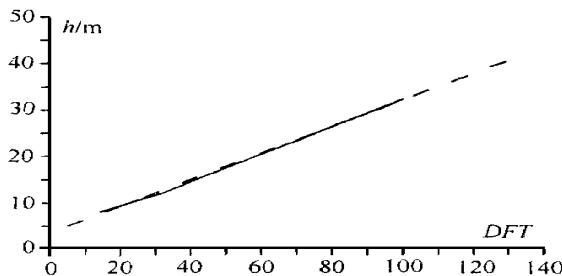
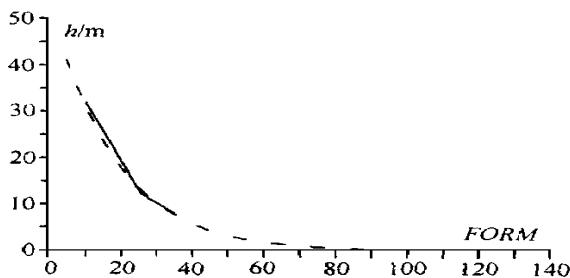


图1 参数断层时差 DFT 示意图

细实线——实际 t_{max} 曲线;虚线—— t_{max} 拟合直线段

图2 $DFT - h$ 关系曲线

实线——实际资料曲线;虚线——理论拟合曲线

图3 $FORM - h$ 关系曲线

实线——实际资料曲线;虚线——理论拟合曲线

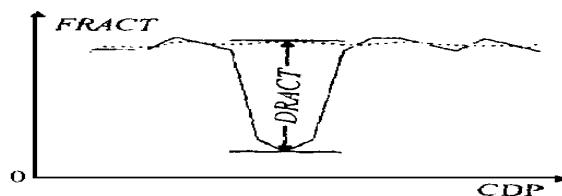
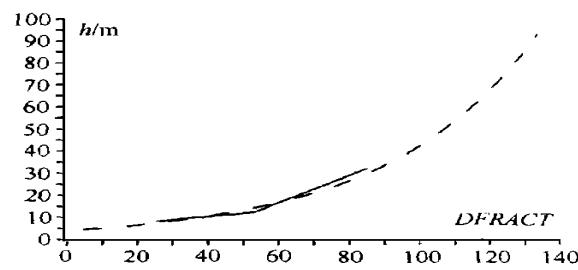


图4 参数分维差示意图

实线——实际 $FRACT$ 曲线;虚线—— $FRACT$ 拟合曲线图5 $DFRACT - h$ 关系曲线

实线——实际资料曲线;虚线——理论拟合曲线

3 断层落差解释方法

3.1 关系模型的建立

由于对地震波激发、传播等认识上的局限性和众多影响因素的存在, 精确地建立地震特征参数与断层落差的关系是困难的, 但是可以用一个多项式近似描述二者的关系。考虑到最小二乘法的法方程组的系数矩阵往往是病态的, 因此采

用离散的正交函数来进行曲线拟合。

设有限函数系 $\{\Phi_0(x), \Phi_1(x), \dots, \Phi_n(x)\}$ 满足:

$$\sum w(x_i) \Phi_j(x_i) \Phi_k(x_i) = \begin{cases} 0 & j \neq k \\ A_k & j = k \end{cases}, \quad (3)$$

则称 $\{\Phi_0(x), \Phi_1(x), \dots, \Phi_n(x)\}$ 为点集 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 上关于权 $w(x)$ 的离散正交函数系。

若在正交函数系生成的函数类 $\Phi = Span \{\Phi_0(x), \Phi_1(x), \dots, \Phi_n(x)\}$ 中作最小二乘曲线拟合, 则有方程组

$$A \cdot B = C, \quad (4)$$

式中

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^m w(x_i) \Phi_0(x_i) \\ \sum_{i=0}^m w(x_i) \Phi_1(x_i) \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^m w(x_i) \Phi_n(x_i) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m w(x_i) \Phi_0(x_i) y_i \\ \sum_{i=1}^m w(x_i) \Phi_1(x_i) y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m w(x_i) \Phi_n(x_i) y_i \end{bmatrix},$$

$$\text{其解为 } a_k^* = \frac{\sum_{i=1}^m w(x_i) \Phi_k(x_i) y_i}{\sum_{i=1}^m w(x_i) \Phi_k^2(x_i)}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n).$$

用正交多项式进行曲线拟合, 首先根据已知断层 $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)$ (x 为地震特征参数, y 为断层落差) 及权函数 $w(x) > 0$ (本文取 $w(x) = 1$), 构造关于 $w(x)$ 的离散正交多项式系 $\{P_k(x)\}$ 。用递推关系表示($n \leq m$):

$$\begin{cases} P_0(x) = 1, \\ P_1(x) = (x - a_0) P_0(x), \\ P_{k+1}(x) = (x - a_{k+1}) P_k(x) - \beta_k P_{k-1}(x), \end{cases} \quad (k = 1, 2, \dots, n-1), \quad (5)$$

式中

$$\begin{cases} a_{k+1} = \frac{\sum_{i=0}^m w(x_i) x_i P_k^2(x_i)}{\sum_{i=0}^m w(x_i) P_k^2(x_i)}, \quad (k = 0, 1, \dots, n-1), \\ \beta_k = \frac{\sum_{i=0}^m w(x_i) P_k^2(x_i)}{\sum_{i=1}^m w(x_i) P_{k-1}^2(x_i)}, \quad (k = 1, 2, \dots, n-1). \end{cases} \quad (6)$$

这样的 $P_k(x)$ 是首系数为 1 的 k 次多项式。利用数学归纳法可以证明 $\{P_k(x)\}$ 在点集 $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 上关于权函数 $w(x)$ 是正交的。用正交多项式 $\{P_k(x)\}$ 的线性组合做最小二乘拟合, 可根据公式(4)、(5)逐步求 $P_k(x)$, 同时计算出系数

$$a_k^* = \frac{\sum_{i=1}^m w(x_i) \Phi(x_i) y_i}{\sum_{i=1}^m w(x_i) \Phi^2(x_i)},$$

$$(k = 0, 1, \dots, n).$$

则可得到所求的拟合曲线方程:

$$y = P^*(x) = a_0^* P_0(x) + a_1^* P_1(x) + \dots + a_n^* P_n(x). \quad (7)$$

这里拟合多项式的次数 n 可事先给定, 也可在计算过程中根据误差确定。

如果参数与落差的关系比较复杂, 则拟合多项式的次数 n 需要很大才能满足精度要求。有时已知断层较少, 难以进一步提高拟合多项式的次数, 这时可以采用变量代换的方法, 用低次多项式来拟合比较复杂的曲线。

令 $\begin{cases} x^* = f(x), \\ y^* = g(y), \end{cases} \quad (8)$

采用同样的方法, 可求得 x^*, y^* 的拟合曲线方程:

$$y = P^*(x) = c_0 + c_1 x_1^* + c_2 x_2^* + \dots + c_n x_n^*. \quad (9)$$

3.2 落差的确定

关系模型建立以后, 计算落差就容易了。首先对地震特征参数进行变化, 然后利用(9)式求得 y^* , 最后利用(8)式求得落差 y 。

4 实际资料解释

我们用波形和分维差两个参数对淮南谢桥东一采区的 16 条测线进行了断层解释。解释结果如表 1 所示, 断层落差是两种参数综合解释结果。

从地质规律来看, 表 1 的解释结果还是较为合理的。

表 1 淮南谢桥东一采区测线煤解释结果

| 序号 | 测线号 | 断层位置 /CDP | 断层落差 /m | 断层落差隶属度/% |
|----|-------|-----------|---------|-----------|
| 1 | EX101 | 16 | 3.3 | 83.2 |
| 2 | EX102 | 17 | 4.4 | 72.8 |
| 3 | EX103 | 16 | 4.5 | 71.9 |
| 4 | EX104 | 14 | 6.8 | 84.4 |
| 5 | EX105 | 15 | 6.1 | 70.0 |
| 6 | EX106 | 16 | 2.4 | 66.9 |
| 7 | EX106 | 45 | 2.4 | 67.8 |
| 8 | EX107 | 17 | 2.8 | 73.3 |
| 9 | EX107 | 42 | 4.9 | 86.7 |
| 10 | EX108 | 17 | 3.5 | 67.1 |
| 11 | EX108 | 42 | 6.4 | 76.0 |
| 12 | EX109 | 44 | 3.0 | 61.2 |
| 13 | EX110 | 44 | 3.7 | 72.1 |
| 14 | EX111 | 45 | 4.0 | 67.2 |
| 15 | EX112 | 44 | 5.9 | 77.7 |
| 16 | EX113 | 44 | 3.8 | 72.3 |
| 17 | EX114 | 44 | 4.5 | 75.6 |
| 18 | EX115 | 44 | 5.4 | 76.2 |
| 19 | EX117 | 42 | 5.6 | 82.1 |

5 结论

地震波包含着多种反映断层落差大小的信息。因此利用地震波特征参数解释断层落差是可行的。与传统方法相比, 对于中、小断层, 该方法能够更准确地确定落差。利用多个参数综合解释, 可进一步提高解释的精度和可靠性。

对于地质构造复杂区域, 则需建立曲面模型, 利用拟合曲面进行落差解释。

参考文献

- 1 吴敏金. 分形信息导论. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1994
- 2 朱儒楷等. 高等工程数学(上册). 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993
- 3 杨锡禄, 周国铨等. 中国煤炭工业百科全书: 地质·测量卷. 北京: 煤炭工业出版社, 1995
- 4 王桂梁等. 矿井构造预测. 北京: 煤炭工业出版社, 1993

(收稿日期 1998-11-17)

THE INTERPRETATION OF FAULT THROW USING CHARACTERISTIC PARAMETERS OF SEISMIC WAVE

Zhao Aihua (Geophysical institute of Chinese Academy of Sciences)

Liu Tianfang Zhang Aimin (China University of Mining and Technology)

Abstract The fault throw is an important problem for fault interpretation. By studying the relationship between fault and seismic wave, a method, in which the fault throw is interpreted using the characteristic parameters of seismic wave, is presented. It is proved that this method is feasible based on the interpretation of practical data.

Keywords seismic exploration; characteristic parameters; fault; interpretation