断层对地震子波波形影响的研究

樊耀新

(云南省地震局,昆明 650041)

摘要 在地震子波理论的基础上,研究了典型断层情况下地震子波波形变化的规律,从理论上证明了当地震波通过断层时,子波波形变化比走时对断层的反应更为敏感。实测资料的分析计算结果表明,利用地震子波理论判断断层及其性质是可行的。

主题词: 地震波形 断层性状 波形变化 地震子波

1 数学分析概述

由爆炸产生的尖锐脉冲,经大地吸收而形成再被观测到的扰动,其特定波形称为地震子 波^[1]。

可以证明,爆炸产生的尖锐脉冲是由 0至无限大的整个频率范围的单频正弦分量的无限 系列构成,其波形可用傅里叶积分表示:

$$X(x - ct) = -\frac{2}{\pi} \int_{0}^{\infty} \frac{1 - \cos\frac{2\pi fa}{c}}{f} \sin 2 f \left(t - \frac{x}{c}\right) df$$
(1)

式中 f 为频率, c为速度, a b分别表示尖锐脉冲的宽度和位移量。其谱为:

$$\frac{2b}{\pi} \Big[\Big(\frac{2\pi a}{c}\Big)^2 \frac{f}{2} - \Big(\frac{2\pi a}{c}\Big)^4 \frac{f^3}{4} + \Big(\frac{2\pi a}{c}\Big)^6 \frac{f^5}{6} - \cdots \Big] \mathrm{d}f$$
(2)

考虑地层的吸收,以最简单的形式将大地透过因子写为:

$$\exp\left[-\left(\frac{f}{f_1}\right)^q \frac{x}{x_1}\right] \tag{3}$$

式中 x 为距离, q是决定吸收频带边缘陡度的参量, f_1 是振幅在 $x = x_1$ 距离上衰减至原振幅 $\frac{1}{e}$ 时的频率 图 1给出各种参量值 q情况下的曲线簇

当扰动通过地层时,其吸收谱由图 1中曲线之一给出。如构成波形的所有单频分量均以 *c* 传播.则在 *x* 距离上观测到的扰动的位移量由下式给出:

$$X_{q} = -\frac{2b}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{f}{f_{1}}\right]^{q} \frac{x}{x_{1}} \int \left(\frac{2\pi a}{c}\right)^{2} \frac{f}{2} - \left(\frac{2\pi a}{c}\right)^{4} \frac{f^{3}}{4} + \cdots \right] \cdot \\ \cdot \sin 2\pi f \left(t - \frac{x}{c}\right) df$$
(4)

本文 1995年 7月 10日收到

作者简介: 樊耀新,男,43岁,高级工程师,从事地壳结构、工程物探、地震波及地震监测预报等方面的研究工作.





Fig. 1 A bunch of curves of different parameter
$$q$$
.

$$\tilde{Y}^{q} = \left(\frac{f}{f_{1}}\right)^{q} \frac{x}{x_{1}} \tag{5}$$

$$u = 2\pi f_1 \frac{t - \frac{x}{c}}{\left(\frac{x}{x_1}\right)^{1/q}}$$
(6)

如原始波形非常尖锐,则 a很小,扰动位移可简化为如下形式:

$$X_{q} = \frac{-\frac{4}{c} f_{1}^{2}}{c^{2}} \frac{a^{2}b}{(\frac{x}{x_{1}})^{2/q}} \int_{0}^{\infty} \operatorname{Yexp}(-\Psi) \sin \Psi d\Psi$$
(7)

솏

$$\begin{split} \dot{\Omega} \hat{B} \hat{B} \hat{R} &: -\frac{1}{q} \Big[\Gamma(\frac{3}{q}) u - \Gamma(\frac{5}{q}) \frac{u^3}{3} + \Gamma(\frac{7}{q}) \frac{u^5}{5} - \cdots \Big] \\ \dot{B} \hat{B} \hat{B} \hat{B} \hat{R} :& -\frac{1}{q} \Big[\Gamma(\frac{3}{q}) - \Gamma(\frac{5}{q}) \frac{u^2}{2} + \Gamma(\frac{7}{q}) \frac{u^4}{4} - \cdots \Big] \\ m \dot{B} \hat{B} \hat{B} \hat{R} :& \frac{1}{q} \Big[\Gamma(\frac{5}{q}) u - \Gamma(\frac{7}{q}) \frac{u^3}{3} + \Gamma(\frac{9}{q}) \frac{u^5}{5} - \cdots \Big] \end{split}$$
(9)

可见,除包含距离负幂的衰减系数外,扰动波形的形式皆为u的幂函数,u的系数为各阶伽玛 函数

(6)式中,把波形作为 t 的函数,得到宽度与 x 的选择有关的波形 显然,波形宽度与距离 的 q次根成比例。理论与试验证明,对所有类型的子波,q值为 2^{11} 。这一结论表明,波形对介 质性质变化的反应比走时更为敏感 为了表示其特有的关系,在正常情况下,如以子波宽度作 为走时的函数,绘于双对数坐标上,过各数据点的直线斜率应为 $\frac{1}{a}$,即 0.5

以上结论仅对理想情况是正确的。所谓理想情况是指波在完整的,物理性质不变的介质中 传播 实际上 这是不可能的 当地震波穿过若干个地层、裂隙、破碎带或断层时 波形势必发 生相应变化,情况相当复杂。 我们正好利用这一特点,根据地震子波波形出现的异常来研究地 质构造,识别破碎带,判断断层性质,不过,问题还不那么简单,因为每次激发时,爆炸带的情况 大相径庭 不同爆炸带的吸收形成的初始宽度不同,必须除去爆炸带的影响。

$$\Rightarrow b_1^2 = b_0^2 + b_e^2 (10)$$

即

$$b = \overline{b_1^2 - b_0^2} \tag{11}$$

式中 b_1^2 为子波宽度平方.由紧邻爆炸点的爆炸带贡献 b_2^2 和其余路程贡献 b_2^2 组成: b_2^2 由 b_1^2 -的 函数关系,通过最小二乘法拟合而得; h 为消除爆炸带影响的子波宽度。

此外,理论和实测还表明,介质吸收性质的变化及显著的波散均出现于 $f = f_0$ 邻域,如某 一点出现 fo 异常低值带,则该邻域必然存在异常强烈的地震波吸收。将 fo 定义为过渡频率, 它随介质性质不同而有很大变化。 fo 值往往很高,从记录中难以直接测得,实用中根据子波宽 度随走时的变化确定:

$$f_0 = \frac{6}{\pi} \frac{t}{6.275b^2}$$
(12)

(12)式有两个含义:其一,在正常情况下 fo基本不变或变化很小 其二,由于 t比 h 大若 干数量级,式中 b_e 的变化对 f_0 的影响比 t大得多。也就是说, b_e 对介质性质变化的反应比 t 敏 感得多。

断层附近的波射线及 h_{0} f_{0} 变化 2

地震波传播过程中,如遇断层,就会在断层棱角处产生绕射。绕射波类型很多,有折射绕射 波、绕射折射波、绕射反射波、透射绕射波、透射绕射折射波等^[2] 图 2给出了垂直断层情况下, 炮点在上升盘方和下降盘方的地震波射线示意图。 断层为其它类型时,情况也大致如此,

一般情况下,地层中越上层的物质越疏松,波速也越低、对地震波的吸收和散射就越历害。 并且,断层附近的破碎带也对波有强烈的散射和吸收作用。强烈的改造使 & fo发生较大的变 化。图 2a所示为断层上升盘放炮的情况。 D为上升盘最后一个折射波出射点, A B为断层棱 角绕射点 D点之后一段距离内,由于破碎带和上覆松散物质在射线路径中所占比例增加,加 之各绕射、透射波的迭加和干涉,使得波形畸变,b。fo起伏变化,但总的趋势是b。变大。穿过异

56

常带后,波形趋于正常,但此时的 $b \neq a$ 和 $f_{0} \rightarrow x$ 曲线与 D点以前的上升盘曲线间有一差值和 Δb 和 Δf_{0} ,其值的大小取决于地层断距和断层附近的破碎松散程度。因此,可用 Δb 和 Δf_{0} 的大



图 2 断层处地震波射线图 Fig. 2 Ray of seismic wave on the fault.

小粗略地估计地层断距和断层 附近的破坏规模断层下降盘放 炮的情况与之类似,但 Δ_b 和 Δ_{f^0} 的符号相反(图 2b)。

3 观测资料实例

我们在东川浅层地震勘探 和"滇深-82工程"资料中选取 了比较典型的两个观测段进行 分析计算。

东川III号测线 280- 390观 测段两端的 0桩号和 680桩号 分别为炮点,其记录示于图 3, 数据列于表 1 图 3和表 1都显 示出,340桩号以后的子波变化 较有规律。计算结果显示,两炮 在双对数坐标中的斜率分别为

0.5012和 0.5040,其与正常的 q值偏离很小,属正常,见图 4a而 340桩号附近,子波宽度有一较大幅度的跳跃,而且之前一段起伏变化较大,虽然数据过于离散,不能用于计算,但总的趋势

是变大。如以正常的 b_0 为基础, 算出该段 b_1 值,代入 (12)式,作 出 $f_0 \rightarrow$ 图,则 f_0 的变化显而易 见,如图 5 由此可以判断,该测 线穿越了一条断层,对应 340以 前的小桩号段是断层下降盘,该 盘在一定距离内较为破碎,或呈 阶梯状。

江川炮记录的子波宽度变 化也很明显,计算结果绘于图 4b 从图中可以看出,分两段拟 合的直线几乎平行,在同一数量 级上,后段比前段值下掉了一 格,显然,有断层存在.该断层离 江川近的一端为下降盘,其位置 约在距江川 45 km处



图 3 东川III号测线 280-390段记录图 Fig. 3 The record from pile-280 to pile-390 along observing line II in Dongchuan.

第 18卷



180

图 4 *be* + 关系 Fig. 4 The *be* + curve. 东川浅层地震勘探观测段; (b)"滇深-82工程"江川炮

t(ms)

4 结论

8.5

180

东川浅层勘探III号测线 280-390 段穿过一断层,断层位置在 340桩号 附近,之前的小桩号段是断层下降盘, 该盘在断面附近较为破碎,或者呈阶 梯状

190

t(ms)

(a)

8.5

(a)

170

200

"滇深-82工程"江川炮 Pa子波宽 度变化表明,该测线在距江川约 45 km处与一断层相交,该断层距离江川 近的一侧为下降盘。

在人工地震测深中,利用走时反 演判断断层并不困难。但对一些断距 较小的断层,由于走时跳跃不大,难以 分辨,于是出现漏判。而地震子波宽度



0.02

190

2

6

t(s) (b)

4

1012

8

图 5 东川浅层勘探测段 fo-x关系



参考文献

1 NH瑞克 (美).粘弹性介质中的地震波.北京:地质出版社, 1981. 156-161.

2 长春地质学院,成都地质学院,武汉地质学院.地震勘探—— 原理和方法.北京:地质出版社,1980.240-247.

STUDY ABOUT INFLUENCE OF FAULT ON SEISMIC WAVELET FORM

Fan Yaoxin

(Seismological Bureau of Yunnan Province, Kunming 650041)

Abstract

In this paper, on the basis of theory of seismic wavelet, regulations of wavelet form variation have been studied in typical fault. It is proved from theory that when seismic waves pass through faults, wavelet form variations are more sensitive than travel time on faults. The results from observation data demonstrate that it is practicable to judge fault properties by seismic wavelet theory.

Key words Fault behavior, Seismic wave form, Wave form variation, Seismic wavelet