GEOPHYSICAL & GEOCHEMICAL EXPLORATION

含透射衰减的地震反射信号褶积模型 在波阻抗反演中的应用

苑春方1,余钦范1,王彦春1,杨瑞召2

(1.中国地质大学 北京 100083 2.中国矿业大学 北京 100083)

摘要:研究了地震波在层状地质模型内透射衰减对地震反射信号振幅的影响,给出了含透射衰减的褶积模型,为 基于模型的波阻抗反演提供了一种新的正演方法。采用含透射衰减的褶积模型做正演运算,能够校正地层透射对 波阻抗反演结果的影响,尤其能够消除地层的屏蔽现象。实际的资料处理表明含透射衰减的褶积模型有较好的应 用价值。

关键词:褶积模型:透射衰减;正演;反演

中图分类号: P631.4; 文献标识码: A

文章编号:1000-8918(2002)06-0454-03

在基于模型的地震属性反演中正演模型起着重要 的作用¹]。通常,正演模型的算法采用褶积算法^{2~4}] 或波动方程算法。其中,褶积算法较为常用。

在层状介质中 若记 u(t)为地震子波 ,R(t)为地 层反射系数 则地震记录 x(t)可表示为

x(t) = R(t) * u(t)。 (1) 这是 Robinson 给出的线性地震褶积模型。然而,由于 地层介质的复杂性和采集系统的影响,实际的地震记 录并不如此。考虑激发系统 $w_1(t)$ 接收系统 $w_2(t)$ 地表低降速带 $w_3(t)$ 地层传播效应 $w_4(t)$ 等因素的 影响 (1)式改为

R(*t*)**w*₁(*t*)**w*₂(*t*)**w*₃(*t*)**w*₄(*t*)*...(2) 这是个复杂的褶积模型。如何建立一个既实用又准确 的褶积模型,人们做了一些有意义的研究。这些研究 可以归为2类,一类是将诸多因素的影响近似为地震 子波的多级分解和多级变换,建立地震褶积模型^[4]。 另一类是单独考虑各种因素的影响,如震源、近地表 等。

笔者讨论了地震波在地层界面上的透射衰减对褶 积模型的影响,给出了含透射衰减的褶积模型,为基于 模型的地震属性反演提供了一种新的正演法。

1 基本理论

1.1 预备知识

地震波在由一种介质进入另一种介质的传播过程 中 将在介质分界面上产生能量的重新分配。在 垂直入射的情况下有如下关系式⁵:

$$R = \frac{A_1}{A_0} = \frac{v_2\rho_2 - v_1\rho_1}{v_2\rho_2 + v_1\rho_1} , \qquad (3)$$

$$T = \frac{A_2}{A_0} = \frac{2v_1\rho_1}{v_2\rho_2 + v_1\rho_1} , \qquad (4)$$

$$E_R = \left(\frac{v_2\rho_2 - v_1\rho_1}{v_2\rho_2 + v_1\rho_1}\right)^2 = R^2 , \qquad (5)$$

$$E_T = \frac{4v_2\rho_2 v_1\rho_1}{(v_2\rho_2 + v_1\rho_1)^2} = \frac{v_2\rho_2}{v_1\rho_1}T^2 , \qquad (6)$$

 $E_R + E_T = 1 , \qquad (7)$

其中 $_{,\rho_1,\rho_2}$ 分别为第一层和第二层的介质密度; v_1 、 v_2 分别为 P 波在第一层、第二层中的传播速度; A_0 、 A_1, A_2 分别为入射 P 波、反射 P 波、透射 P 波的位移振 幅; R 为反射 P 波的反射系数。T 为透射 P 波的透射 系数。 E_R 为反射能量, E_T 为透射能量。

1.2 地震反射信号的褶积模型

假定地震道接收的仅是 P 波垂直入射,垂直一次 反射的 P 波信号 x(t)。将地层的脉冲响应记为 f(t)= { $f_1, f_2, ...$ },u(t)为系统子波。在无噪声的情况下 有

$$x(t) = f(t) * u(t)_{\circ}$$
 (8)

下面研究 f(t)与反射系数之间的关系。 ρ_i 为第 i 层介 质密度。 v_i 、 R_i , T_i , E_{ri} , E_{ti} 分别为 P 波在 i 层的传播 速度、反射系数、由 i 层透射到 i + 1 层的透射系 数、反射能量、透射能量。记 T'_i 为 P 波由 i + 1 层透射 到 i 层的透射系数 t_i 为 P 波在 i 层产生一次反射的 旅行时。根据(3)~(7)式 ,有

$$R_{i} = \frac{v_{i+1}\rho_{i+1} - v_{i}\rho_{i}}{v_{i+1}\rho_{i+1} + v_{i}\rho_{i}} , \qquad (9)$$

$$T_{i} = \frac{2v_{i}\rho_{i}}{v_{i+1}\rho_{i+1} + v_{i}\rho_{i}} , \qquad (10)$$

$$T'_{i} = \frac{v_{2}\rho_{2} - v_{1}\rho_{1}}{v_{i+1}\rho_{i+1} + v_{i}\rho_{i}} , \qquad (11)$$

$$T_{i}T_{i}' = \frac{4v_{i+1}\rho_{i+1}v_{i}\rho_{i}}{(v_{i+1}\rho_{i+1} + v_{i}\rho_{i})^{2}}, \qquad (12)$$

$$E_{Ti} = R_i^2 , \qquad (13)$$

$$E_{T_i} = 1 - E_{Ri} = 1 - R_{i\circ}^2$$
 (14)



图1 水平层状介质反射示意

不失一般性,我们讨论 f_2 的情况(图 1)。接收到 的来自第二层的一次反射信号是:地震子波 u(t) 经 过第一层到第二层的透射、第二层的反射、第二层到第 一层的透射而获得,为 $T_1R_2T_1$ W($t - t_2$),即

$$f_2 = T_1 R_2 T_1' = R_2 E_{T_1 \circ}$$
 (15)

得到
$$f_i = R_i \prod_{j=1}^{i-1} E_{T_j \circ}$$
 (16)

将(14)式代入(16)式 得到透射反射系数

$$f_i = R_i \prod_{i=1}^{i-1} (1 - R_j^2) \,. \tag{17}$$

(17)式表明 *,fi* 不仅与反射系数 *Ri* ,也与上覆反射界面的反射系数有关。上覆反射界面的反射系数越大 *,fi* 越小 ,这就是在实际地震记录上常见到的屏蔽现象。表1 是层状介质反射系数与透射反射系数对比 ,从中可以看出褶积模型 1 和褶积模型 8 之间的差别 ,而且随着时间的增加差别越大。

岩层	v∕(m·s ⁻¹)	$\rho \Lambda (g \cdot cm^{-3})$	R_i	f_i
低速带	500	1.5	0.68	0.68
降速带	2000	2.0	0.2	0.108
页岩	2400	2.3	0.0204	0.0103
含水砂岩	2500	2.3	0.1197	0.0618
石灰岩	3000	2.4	-0.1746	-0.0888
含气砂岩	2200	1.8		
万方数据				

表1 层状介质的反射系数和透射反射系数比较

2 在波阻抗反演中的应用

基于正演模型的地震反演,首先建立油藏地质模型。通过正演算法制作合成地震记录。然后,将合成的地震记录与实际的地震记录比较,根据比较结果反复修改油藏地质模型,再通过正演算法制作新的合成地震记录,并与实际地震记录重新比较。如此循环,直到合成的地震记录与实际的地震记录对比误差较小时,修改的油藏地质模型为反演的最终结果。

· 455 ·

模型反演由于是通过正演得到的,可见正演算法 在模型反演中的重要性。在模型反演中,如果正演算 法采用褶积模型8的算法,将有助于提高模型反演的 精度。图2为测井约束反演流程。



图 3 局部海底反射放大示意

图 3 是一条二维海上地震测线的最终偏移剖面。 从中不难发现有很多纵向条状能量不均匀现象,在 1 ~1.5 s之间更为明显。这是由于海底反射过强,透射 波较弱,从而影响到下覆地层的反射能量所致。图 4 为图 3 的局部放大。

我们采用基于模型的波阻抗反演,正演算法分别 采用褶积模型1和褶积模型8。为了更容易地比较两 个波阻抗反演效果,将波阻抗以反射系数方式显示。 图5为正演采用模型1的波阻抗反演结果对果正演





图 5 采用模型 1 的反演结果正演的反射系数剖面



图 6 采用模型 8 的反演结的反射系数剖面 应的反射系数剖面;图 6 为正演采用模型 8 的波阻抗 反演结果对应的反射系数剖面。在图 5 中可以看到条 状能量不均匀现象依然存在。而在图 6 中条状能量不 均匀现象基本消逝。两个剖面在透射损失较大的位置 差异较大。

3 结束语

· 456 ·

依据透射与反射关系获得了含透射衰减的褶积

模型,并将此模型应用于基于模型的波阻抗反演的正 演算法中,为消除地层屏蔽现象对反演的影响提供了 一种新的途径。由于算法的原因,采用正演算法(8)的 基于模型反演的收敛速度较慢。(8)式从另一个角度 说明目前在地震资料中采用的反褶积结果与反射系数 之间的误差。

参考文献:

- [1] 刘雯林 油气田开发地震技术[M].北京 石油工业出版社 ,1996.
- [2] Brac J ,Dequirez P Y. Inversion with a priori in formation ian approach to integrated stratigraphic interpretation [A]. Soc. Expl. Geophys. Expanded Abstracts of 58th SEG Mtg C],1988 841 – 844.
- [3] Dubrocsky Z M. Parametric CDP section inversion technology PARM[A] . Expanded Abstract of 59th SEG Mtg[C]. 1989 505 – 508.
- [4] 符力耘 程胜,段玉. 地震波阻抗反演的 ANNLOG 技术及其应用效 果 J].石油地球物理勘探,1997,32(1).
- [5] Sherif R E ,Geldart L P.勘探地震学[M].北京:石油工业出版社, 1999.
- [6] 王家映.地球物理反演理论[M].武汉:中国地质大学出版社, 1998.

SEISMIC CONVOLUTION MODEL WITH TRANSMISSION ATTENUATION COEFFICIENT

YUAN Chun-fang¹, YU Qin-fan¹, WANG Yan-chun¹, YANG Rui-zhao²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China University of Mining Technology, Beijing 100083, China)

在 J_1 中心埋深 63 m 处见到致密块状铜、铅、锌、金 等多金属矿。 J_2 在预定深度 100~110 m 及 200 m 处 ,见到浸状黄铁矿化 ,作为激电法来讲 ,已经达到 地质目的。图 3 为该测区双频激电中梯装置视幅频 率平面等值线分布。

该区双频激电成果经不同日期、不同操作者分 别使用 2 台 SQ 型双频激电仪进行质量检查,检查 结果为ρ_s均方相对误差2.82%,*f*_s均方相对误差 5.4%,已达到中国有色金属工业总公司物化探管 理中心 1992 年颁布的双频道激电法技术规定(试 行)的要求,说明仪器稳定、观测精度高。

参考文献:

- [1] 何继善,鲍光淑 温佩琳,等. 双频道激电法研究[M]. 长沙,湖 南科学技术出版社,1989.
- [2] 何继善,鲍光淑 张友山. 双频道数字激电仪[M]. 长沙,中南 工业大学出版社,1988.
- [3] 浦慧如,何继善.双频双通道微机激电仪[J].物探与化探, 1996.20(5).
- [4] 傅良魁. 激发极化法 M]. 北京 地质出版社,1982.
- [5] 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计[M]. 北京:北京航 天航空大学出版社,1992.
- [6] 李宏. 电力电子器件与集成电路应用指南[M]. 北京:机械工 业出版社 2001.

THE DEVELOPMENT OF THE SQ SERIES DUAL-FREQUENCY IP INSTRUMENT

BAI Yi-cheng , CUI Yan-li , PU Hui-ru

(Institute of Applied Geophysics, Central South University, Changsha 410083, china)

Abstract : According to the theory of dual-frequency IP method and the technical requirements for the dual-frequency IP instrument, the authors have analyzed the principle of the SQ series dual-frequency IP instrument designed and made by ourselves, and described the hardware, software and specification of this IP instrument. Its field application shows its high reliability and quality, as evidenced by the satisfactory geological effects achieved.

Key words : dual-frequency IP instrument ; multi-frequency group ; micro-controller ; automatic control

作者简介:白宜诚(1944-),男 教授,1970年毕业于长春地质学院物探系,长期从事电磁法及其观测系统教学与科研工作,已发表论文10余篇。

上接 456 页

Abstract : To investigate the influence of transmission attenuation of seismic waves in a layer-cake model, the authors formulated a seismic convolution model by considering the coefficient of transmission attenuation, and then provided a new forward algorithm for the model-based seismic inversion of impedance. Seismic data processing practices demonstrate that the seismic convolution model can be used to correct transmission attenuation component by means of impedance inversion, with the merit of avoiding the screen effect of strata. Therefore, the authors believe that the seismic convolution model proposed in the paper is useful in the impedance inversion of seismic data.

Key words : convolution model itransmission attenuation forward inversion

作者简介 : 苑春方(1958 –)男 ,中国地质大学(北京)博士生 ,从事地球物理数据处理 ,地震属性反演等方面的研究工作 ,发表 论文数篇。