

断层物理模型实验及其地震响应特征分析

王尚旭,狄帮让,魏建新

(石油大学中国石油天然气集团公司物探重点实验室,北京 102249)

摘要: 介绍了一个断层物理模型实验,通过实验研究断层的地震响应特征,主要包括:断层对下伏地层地震响应的影响;断层对侧向地层地震反射特征的影响;断点散射特征。以前人们对断层的地震响应的认识过于简单或不全面,一条断层的出现往往造成复杂的地震响应,这种复杂性会给地震资料解释造成“陷阱”。通过对实验资料的分析,确认了地震资料断层“解释陷阱”的存在、类型及产生的原因,有利于避免断层解释过程中的失误。

关键词: 物理模型;地震响应;反射特征;灰色系统。

中图分类号: P618.130

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)06-0733-03

作者简介: 王尚旭(1962—),男,教授,1990 年于石油大学(北京)获博士学位,目前主要从事地震波传播理论和地球物理勘探技术教学和研究工作。

地质系统^[1,2]是一个灰色系统。地震记录是地震波穿过地质灰色系统而形成的影像。通过这个影像,人们反推地质结构和地质参数,这就是地震资料解释过程。这个过程实际上与层析成像一致,都是通过影像数据反演介质结构和参数。数学物理理论已经证明,反演过程是非线性、非唯一的,其对应的数学方程是病态的。所以,反演过程严重依赖于附加条件,即人们对反演对象的先验认识^[3]。具体到地震资料的解释,可以说,地震资料解释正确与否、精确与否取决于人们对地质系统与地震资料之间对应关系的认识程度。对这种对应关系认识越清晰,解释结果就越准确。现在在石油勘探中约有 20% 的空井是由构造解释的失误造成的,所以建立地质结构和参数与地震资料之间的正确关系,促进地震资料解释精度是地球物理和地质学长期研究的课题。但是由于地质系统的复杂性及反演过程的多解性,地质系统与其影像(地震资料)之间的关系还不完全清楚。本文提供的实验结果说明,现有理论不但对“亮点”、“暗点”等这些地震资料特征的解释存在问题,而且对于地震资料的构造解释也存在很大问题。实验说明,现有理论还没有完全说明断层在地震剖面上的特征是什么。本文通过实验分析了断层在地震剖面上产生

的各种复杂波场,及其可以引发的“解释陷阱”^[4]。

1 断层模型及地震物理模拟实验

断层是一种常见的地质构造,断层解释是地震资料解释的重要组成部分。本文主要介绍一个断层物理模型实验,实验目的是:(1)通过实验研究断层的地震响应特征,主要包括:断层对下伏地层地震响应的影响;断层对侧向地层地震反射特征的影响;断点散射特征;(2)以前人们对断层的地震响应的认识过于简单或者不全面,一条断层的出现往往造成复杂的地震响应,这种复杂性会给地震资料解释造成“陷阱”。本实验研究的第 2 个目的是正确认识地震资料断层“解释陷阱”的存在,避免断层解释过程中的失误。如图 1 所示为垂直断层物理模型。模型制作材料为环氧树脂,纵波速度为 2 588 m/s,垂直断层顶 AB 距水面 110 mm,垂直断层断距 BC=35 mm,AF=100 mm,断块宽度 AB=40 mm,断块与一倾斜界面相交,倾斜界面倾角为 22.3°,C 与 D 之间水平距离为 120 mm,AF=100 mm,DG=20 mm,模型底部为一水平层状介质。模型置水槽之中,模型顶距水面 110 mm。超声换能器(超声波发射探头和接收探头)置于水面。水为低速介质,环氧树脂为高速介质。该模型模拟了浅部为低速均匀介质、深部为高速

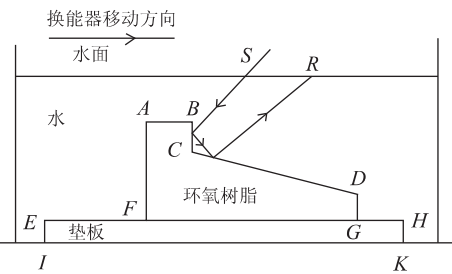


图 1 物理模型示意

Fig. 1 Physical model of fault

S 为炮点;R 为检波点;炮点和检波点从左向右移动

垂直断块的地质模型.

模型设计的空间比例尺为 10 000 : 1, 模型 1 mm 相当于实际 10 m;时间比例尺为 10 000 : 1, 模型 0.1 μ s 相当于实际 1 ms;速度比例尺为 1 : 1.

观测系统参数为:最小偏移距 20 mm,最大偏移距 150 mm,炮间距 4 mm,道间距 4 mm,采样间隔 2e-7s,接收道数 60 道,激发炮数 168 炮,探头主频 200 kHz,采样点数 2 048,炮点距 5 mm,探头主频 200 kHz,采用单边激发,单边接收观测系统.

2 数据采集、处理及分析

图 2a 所示为实验采集的单炮地震数据,从剖面图上可以看出,实验数据信噪比很高,波形稳定,达

到了进行处理和分析的要求.

图 2b 为经过处理得到的实验数据叠加剖面图,在该剖面上对典型同相轴分别标注为 1—14. 该资料的处理流程由 5 部分组成:(1)预处理;(2)顶切除;(3)速度分析;(4)动校正;(5)叠加.

对比图 1 和图 2b,可以得到模型界面和断点与叠加剖面同相轴之间的对应关系如下:断块顶面 AB 对应同相轴 1,断点 A、B 的绕射分别对应同相轴 2,3,倾斜界面 CD 对应同相轴 4,水平界面 EF-GH 对应同相轴 5,6,7,8,水平界面 IK 对应同相轴 9,10,11,12,断点 C 区域对应同相轴 13,14.

通过实验结果可以发现断层模型地震成像的几个新的规律:(1)以往常常认为高速断块会将下伏地层断块下方部分反射同相轴抬升,造成同相轴错断,形成 2 个断点,如图 3a,3b 所示. 但通过实验发现,一个高速断块将下伏地层 EFGH 反射同相轴错断为 4 部分,即同相轴 5,6,7,8,其中同相轴 6 被抬升量最大,同相轴 7 被抬升量略小. 出现这种现象的原因在于,同相轴 6 的入射和反射路径都经过了高速断块,如图 4a 所示;而同相轴 7 只有入射路径经过了高速断块,其反射路径经过了低速层,如图 4a 所示,图 4b 为实验结果示意图. 比较图 3b,4b 可以看出传统认识与实验结果的差异. 这种差异出现的原因是,传统解释技术没有重视叠加剖面与自激自收剖面的差别,图 3a 反映的是自激自收剖面,图 4b 反

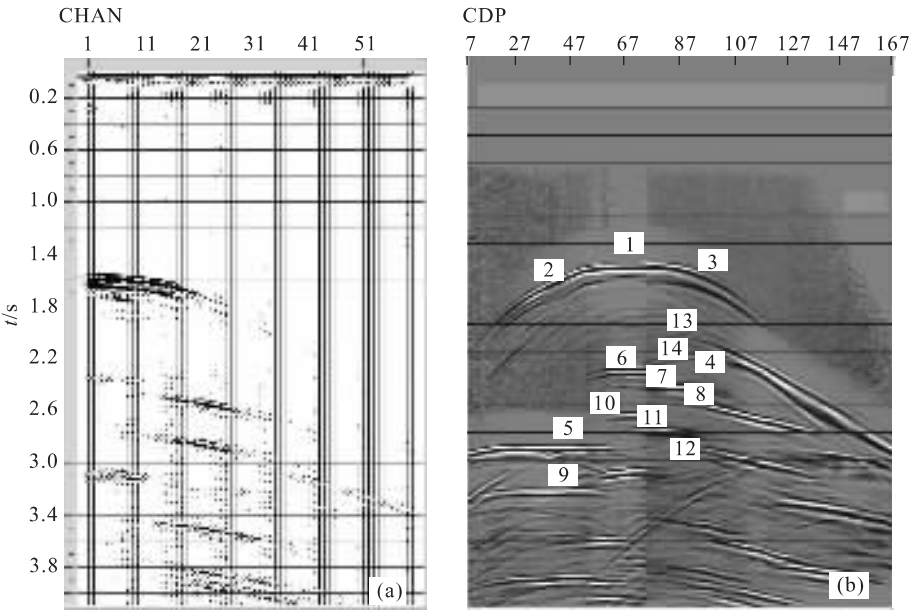


图 2 实验采集的单炮地震剖面(a)及叠加剖面(b)

Fig. 2 Seismic source profile from physical modeling (a) and stack result (b)

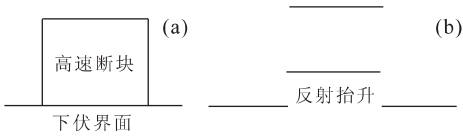


图 3 模型(a)及反射(b)示意

Fig. 3 Simplified model (a) and reflection (b)



图 4 射线路径(a)及实验结果反射(b)示意

Fig. 4 Simplified ray traces (a) and simplified reflections of modeling (b)

映的是叠加剖面,而实际资料一般是叠加剖面.这种现象在以往的解释过程中被忽视^[5]. (2)同相轴 6 和同相轴 7 的宽度都比断块顶部宽度小,但同相轴 6 与同相轴 7 的宽度和要比断块顶部宽度大,即断块的影响范围要大于断块本身的尺度. (3)比较同相轴 6 和同相轴 11,发现深部被抬升的同相轴向远炮检距方向偏离,这提醒我们,单边观测系统会造成构造错位. (4)在叠加剖面图 4 上最复杂的部分为同相轴 3,4 所在区域. 同相轴 3 为 B 点的绕射波. 同相轴 4 产生的原因较为复杂,它是下行波入射到垂直断面 BC、反射到倾斜界面 CD、再反射到接收面的多次反射波叠加而成的同相轴,图 1 中从 S 点出发到 R 点的射线示意了这种情况. 这个同相轴不可能用现有的技术偏移归位,很容易造成解释上的混乱,被认为在该处存在一个反射界面,形成了“解释陷阱”.

3 结论

(1)通过对模型实验资料的解释,可以看出物理

模型技术的优点主要表现在:通过处理物理模型的数据得到的解释剖面结果,能更全面地反映复杂构造形态的地震波场的特点. (2)存在断层时,叠加剖面与自激自收剖面有很大差别,主要表现在断块会将下伏地层反射错断为更多的部分,这将很容易造成解释上的误区,被认为是下伏地层存在断层. (3)断面与地层的交叉点附近的波场是十分复杂的,它会造成波射线路径多次回折,不同方向的射线穿过的介质差异很大,进而在叠加剖面上形成复杂同相轴,形成“解释陷阱”.

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色系统[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
DENG J L. Grey system [M]. Beijing: Industry Publishing House of National Defense, 1985.

[2] 罗佑新,张龙庭,李敏. 灰色系统理论及其在机械工业中的应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2001.
LUO Y X, ZHANG L T, LI M. Grey system theory in the mechanical engineering [M]. Changsha: National Defense Science and Technology University Press, 2001.

[3] 王炳章. 勘探地球物理方法技术的最新进展[J]. 石油地球物理勘探,1999, 34(4): 465—475.
WANG B Z. Recent progresses in geophysical prospecting [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1999, 34(4): 465—475.

[4] 王有新. 深度偏移的发展与应用概况[J]. 石油地球物理勘探,1994, 29(4): 526—531.
WANG Y X. Progresses and applications of depth migration [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1994, 29(4): 526—531.

[5] Gray S H. Seismic imaging [J]. Geophysics, 2001, 66 (1): 15—17.

Seismic Physical Modeling of Fault and Its Analysis

WANG Shang-xu, DI Bang-rang, WEI Jian-xin

(Key Laboratory of Geophysical Prospecting, CNPC, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Faults are common geological structures and fault interpretation is an important part in seismic interpretation. A seismic modeling experiment was done to study seismic reflection characteristics of faults, (下转 744 页)