

地震不连续点成像

屠世杰*

(江苏石油勘探局南京计算中心)

摘 要

屠世杰. 地震不连续点成像. 石油地球物理勘探, 1996, 31(4): 556~562

地震不连续点成像类似于反射波勘探中的共中心点叠加技术。它是根据绕射波的运动学和动力学两方面特征,在共炮间距道集上,将绕射波聚焦成像,形成绕射点剖面。该绕射点在其剖面上以亮点的形式显示出来,它有可能与断点相对应。应用该绕射点剖面与原地震剖面进行叠合,有助于解释人员对断点进行定位解释。

主题词 地震数据 绕射点 成像 断点定位

ABSTRACT

Tu Shijie. Image of seismic discontinuous points. OGP, 1996, 31(4): 556~562

The image of seismic discontinuous points is analogous to CMP stacking technique in reflection wave exploration. The technique produces diffraction point section by focusing and imaging the diffraction waves in common-offset gathers according to the kinetic and dynamic characteristics of the diffraction waves. Diffraction points appear as bright spots in such sections, they may correspond to fault points. The combination of diffraction point section with the corresponding seismic section favours interpreter's fault point interpretation.

Subject heading: seismic data, diffraction point, image, fault point locating

概 述

地震资料解释中的一项重要内容就是解释断层,解释人员通常是目测和经验给断点定位。但在常规的地震剖面上断点附近的资料往往比较杂乱,有时存在“层断波不断”现象,给断层解释带来困难。

在实际工作中,由此产生的失误可以说是屡见不鲜。例如,我们的钻探目标分明是断层上升盘,而实际钻探的结果是下降盘。在断块油田开发中,由于断层解释不准确,为找准圈闭高点,探边往往要多打几口井,从而使得成本增加。

绕射波是构造和地层异常的标记,只要发射界面上某点的左导数和右导数不等,即不连续,该点就能产生绕射波,如断层、地层尖灭、礁块、盐丘、侵入岩、油水界面的边缘等处。因此,

* Tu Shijie, P.O. Box 4608, Yaohuamen, Nanjing City, Jiangsu Province, Postcode: 210046

本文于1995年8月30日收到。

利用绕射波识别断点这类地震不连续点,并将其准确定位,对于油气勘探与开发具有十分重要的意义。

本文介绍的地震不连续点成像技术就是根据绕射波的运动学特征,采用类似共中心点叠加方法,把绕射波聚焦成像,形成绕射点剖面。该剖面可帮助解释人员进行断层解释。

绕射波的特征

关于绕射波的特征,前人已作过全面地阐述。如图1为断层模型,图2为其地震响应(自激自收)。由图可见,绕射波主要有以下三个特征:

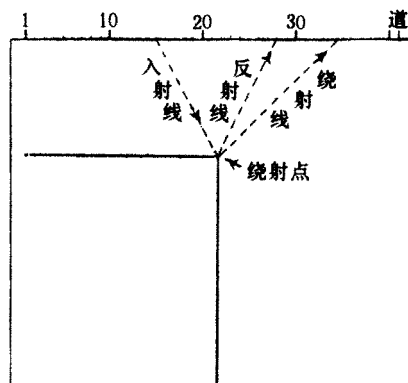


图1 断层模型

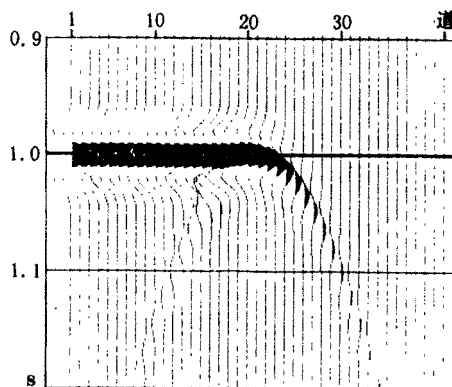


图2 图1的地震响应

- (1) 绕射波的时距曲线是一条双曲线,双曲线的顶点在断点的正上方 CDP 点处;
- (2) 绕射波有“正负半支”,位于反射波下方半支的振幅符号与反射波的振幅符号相反,不在反射波下方的半支则与反射波相同;
- (3) 绕射波最大振幅值是边缘反射振幅的一半,它出现在反射波与绕射波的波前切点处(又称半幅点)。

此外,绕射波运动学特征还与特定的观测平面相联系。图3a、图3b、图3c分别为图1所示断层模型的一个共炮点道集、一个共中心点道集、一个共炮间距道集的合成地震记录。

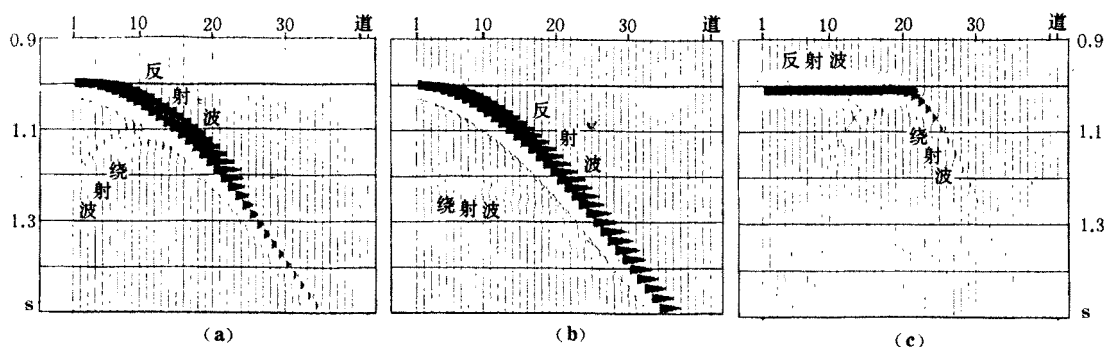


图3 图1的共炮点道集(a)、共中心点道集(b)及共炮间距道集(c)

从图3中可以看出,在共炮间距道集观测平面上,绕射波的主要特征得到了充分地展示,它与反射波的差异最大,有利于绕射波的叠加成像。

方法和处理流程

地震不连续点成像的方法原理与常规 CMP 叠加类似,即根据绕射波的时距方程,对假定的绕射点的道和邻近道进行时差校正,然后把它的负半支反相与正半支叠加,得出一个可能为绕射点的叠加道。对所有假设的位于每个地面点之下的绕射点,在剖面上其绕射点都会以“亮点”为其主要标志成像出来。笔者在 GeoQuest 工作站上编制了地震不连续点成像模块,可用如图 4 的处理流程表示。处理中的输入、输出和显示使用的是工作站上的 IES 软件。

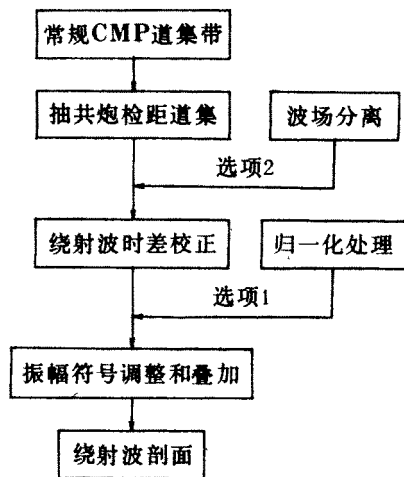


图 4 处理流程图

流程中有两个选项:选项 1——归一化处理,目的是使各道的绕射波能量得到均衡;选项 2——波场分离,其作用则是在叠前压制反射波。波场分离的方法有很多,笔者采用了谱分解技术,具体做法是:

(1)将二维地震剖面写成矩阵

$$X = [x_i(t_j)]_{m \times n} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

其协方差阵为

$$C = X X^T$$

C 为对称正定矩阵,必存在谱分解

$$C = \sum_{i=1}^m \lambda_i p_i$$

λ_i 为 C 的特征值,已按大小顺序排列,即

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$$

谱点 λ_1 代表地震剖面的主要相关成分,能重建较多的信号能量,而 $\lambda_i (i=2, 3, \dots, m)$ 基本上代表了剖面中的不相关成分。

(2)对矩阵进行奇异值分解

$$X = U_{\text{diag}}[\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m] V^T$$

且 $\sigma_i = \sqrt{\lambda_i}$ 。因此,如果在时差校正前把相关分量 σ_1 置为 0,保留其它分量,即消除了反射波,保留了绕射波。

理论模型和实际资料的试算

图 5 为图 2 的绕射点剖面,如图所示,第 31 道的 1s 处有一“亮点”,它正好和图 1 中的断点位置相同。从图 5 中可以看出,绕射点剖面上仍残留很强的反射波。图 6 采用了谱分解技术把反射波消除掉,保留了绕射波。图 7 则是对图 6 进行了归一化处理,各道的绕射波能量得到均衡。

图 8 为上述处理后的绕射点剖面，图 8 与图 5 相比，已基本不见反射波的踪迹。图 9 是图 1 模型加噪声的合成地震记录（反射波与噪声的振幅比是 3 : 1）。图中的反射波仍然明显可见，但绕射波已完全被噪声所淹没，因此很难确定反射波的终点。图 10 是用本方法得到的绕射点剖面。

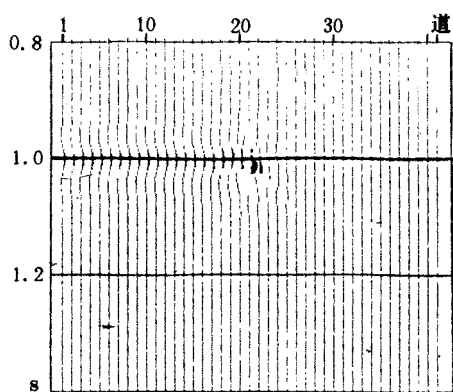


图 5 绕射点剖面

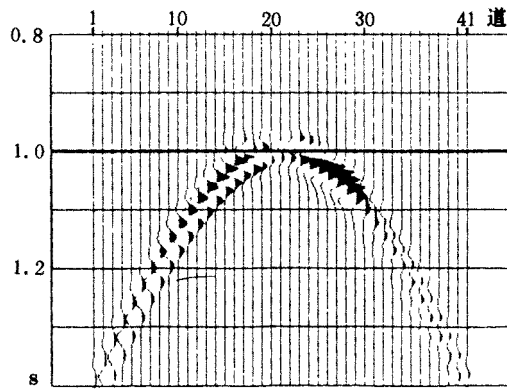


图 6 应用谱分解技术消除反射波,保留绕射波

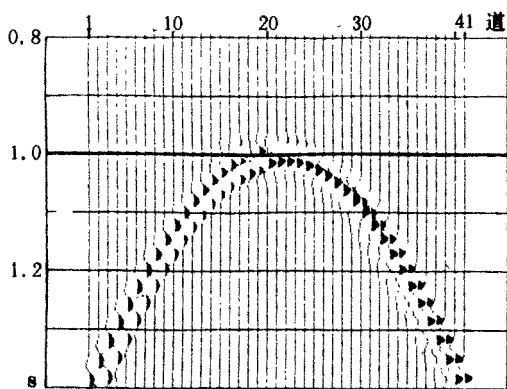


图 7 归一化处理的绕射波

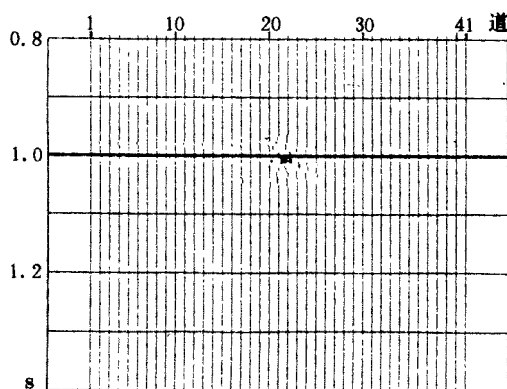


图 8 绕射点剖面

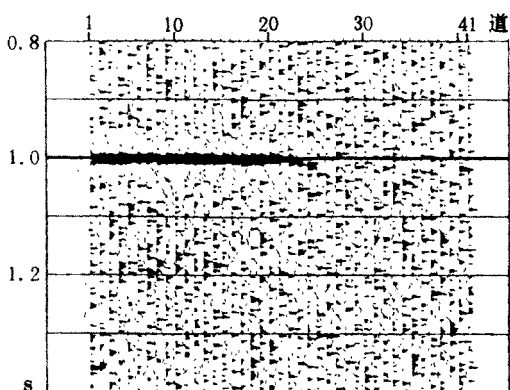


图 9 加噪声的合成记录

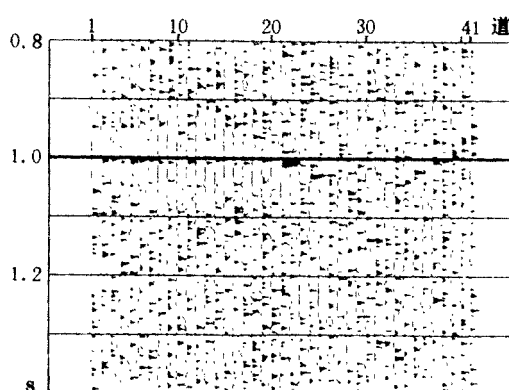


图 10 图 9 的绕射点剖面

从中可以看到,中断点处的能量仍然很强,断点清楚可靠。需要说明的是图 9 仅使用了一个炮间距。若将多个炮间距绕射点剖面叠加,可以肯定,断点会更“亮”,表明这种方法对有噪声的资料也是有效的。

图 11 是一个断阶模型及地震响应和绕射点剖面,该模型上覆地层速度为 2000m/s、子波主频为 20Hz、落差 Δz 为 12.5m。从本模型的地震响应可以看到“层断波不断”的现象,但在绕射点剖面上,断点处有一个很强的“亮点”,这也表明本方法理论上可检测出落差为 $\lambda/8$ 的小断距断层。

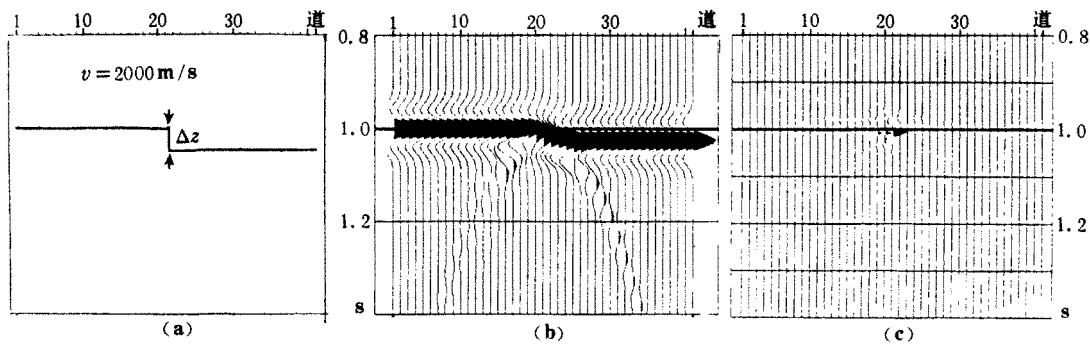


图 11 断阶模型(a)及地震响应(b)和绕射点剖面(c)

图 12a 是一实际地震记录,图 12b 为相应的绕射点剖面。图 12b 上断点及断层面清晰可辨。在工作站上,把绕射点剖面覆盖在常规地震剖面上,我们便容易勾画出断层来。在该剖面 CDP1312 处有一口井,图中所画的断层已被井资料所证实。但是此断点在图 12a 上却难以直接分辨出来。

上述理论模型和实际资料试算结果表明,地震不连续点成像技术在地震资料解释中具有良好的应用前景,绕射点剖面是我们估计断层位置、寻找小断距断层的又一种依据。

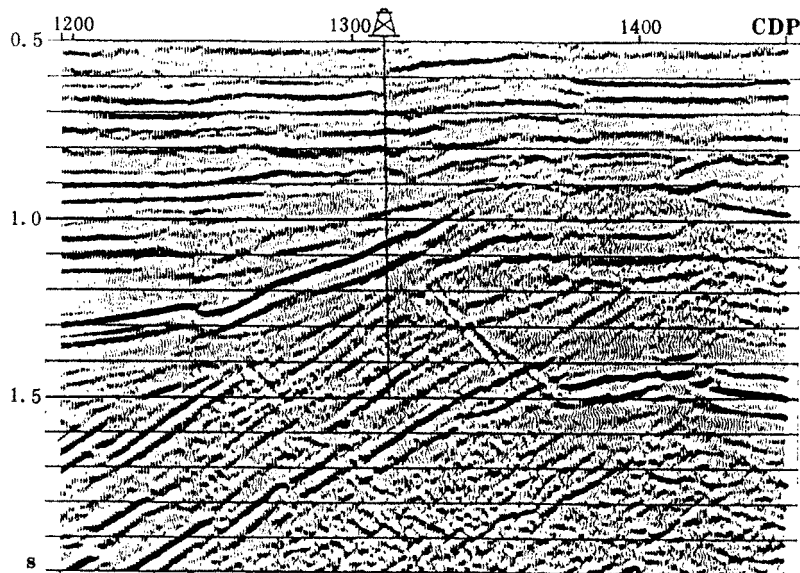


图 12a 实际地震记录

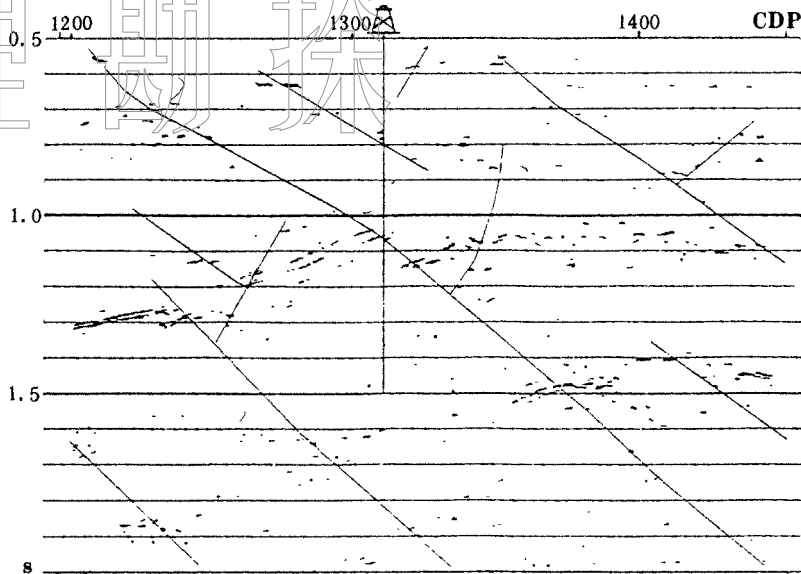


图 12b 图 12a 的绕射点剖面

问题与思考

(1)在水平叠加剖面上,利用绕射波识别地震不连续点是一项传统的地震资料解释技术手段,但是在实际剖面中,绕射波并不多见,由此就会对本方法在实际资料处理中的有效性产生疑问。其实不然,这种状况的出现是因为常规地震资料处理是为了增强反射波,由此选取的速度不利于绕射波成像,某些去噪模块甚至把绕射波作为噪声消除。另一方面,反射波是常规剖面的“主角”,绕射波淹没在强反射波中,而本方法是从叠前开始,自始至终围绕着增强绕射波能量这一宗旨,从而弥补了常规处理的不足。

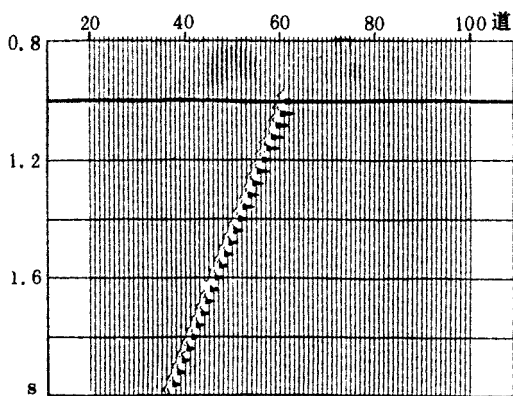


图 13a 一倾斜界面模型

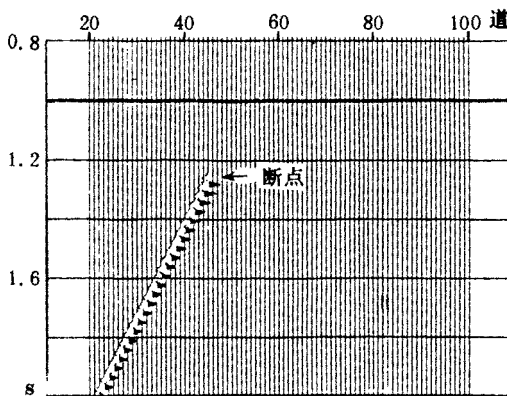


图 13b 地震响应的反射波部分

(2)图 13a 是一段倾斜界面,图 13b 是其地震响应,图 13c 是其绕射波部分剖面,图 13d 是作了归一化处理绕射波剖面。从图 13c、图 13d 可以看出,绕射波的顶点位置不随地层的倾角

大小而移动,始终在断点处。由于本方法是将绕射波聚焦在顶点上,故绕射点剖面不像常规的水平叠加剖面(图 13b)那样存在偏移问题。绕射点剖面最好与叠偏剖面进行比较,可用它来验证偏移的正确性。如图 13c 所示,倾斜界面的断点绕射波的最大振幅处(也称半幅点)偏离断点,倾角越大,偏离越远。因此,对于倾斜界面不连续点成像,参与叠加的道数应足够多,半幅点(也是振幅符号的反转点)可沿绕射波的时距曲线扫描得到。

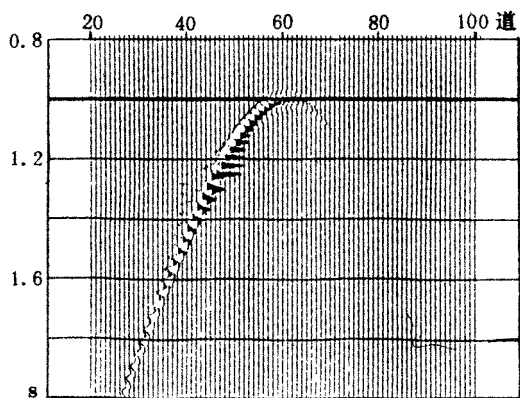


图 13c 地震响应的绕射波部分

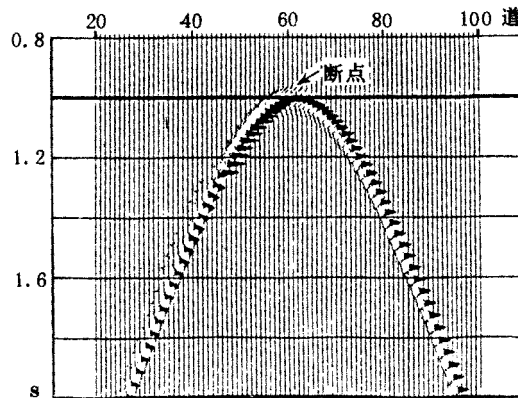


图 13d 对图 13c 进行归一化处理结果

(3)图 12b 的 CDP1275 下方 0.6s 处并排两个一正一负绕射点(若正负振幅分别用不同的颜色显示,便一目了然),正负绕射点说明断层两侧的反射界面的反射系数相反,由此可以来推测断层两侧的岩性接触关系,研究断层的侧向封堵情况。

(4)绕射点剖面是常规地震剖面的一个补充,剖面上的亮点并非全部是断点。由此,在实际应用中,可针对目标区开窗进行处理,解释时应充分使用人机联作解释工作站上的覆盖显示功能,细心地使用这一手段。

参 考 文 献

- 1 胜利油田地质处,地调指挥部. 绕射扫描叠加. 石油地球物理勘探,1974,5(5):1~40
- 2 Kanasevich E and Phadke S. Imaging discontinuities on seismic sections, *Geophysics*, 1988, 53(3): 334~345
- 3 Landa E, Shtivelman V and Gelchinsky B. A method for detection of diffracted waves on common offset sections, *Geophys Prosp*, 1987, 35, 359~373

(上接第 568 页)。

参 考 文 献

- 1 李明诚. 石油与天然气运移,石油工业出版社,1994
- 2 杨瑞召等译. 含油气系统,地质出版社,1992
- 3 瓦尔特 H·费特尔著,宋秀珍译. 异常地层压力,石油工业出版社,1982