

地球物理技术汇编

(6)

《石油地球物理勘探》编辑部

28649

地球物理技术汇编

5436/04

(6)



200401920

《石油地球物理勘探》编辑部

1985年

地球物理技术汇编(6)是《石油地球物理勘探》编辑部的补充出版物。自一九八一年以来,已出版六集。第六集共收集38篇文章,内容涉及数字处理技术,地震资料解释,野外工作方法,微机应用以及新采集系统介绍等,可供广大地球物理勘探工作者参考。

地球物理技术汇编

(6)

《石油地球物理勘探》编辑部编辑出版

*

石油部物探局制图印刷厂印刷

1986年12月出版

冀出内字第1164号

目 录

地震数据数字处理中的相干处理技术·····	熊 翥 (1)
山区静校正问题及其资料解释方法·····	钱荣钧 (19)
关于地震地层学深入研究的三个方面·····	刘秋生 (30)
江汉盆地三维地震勘探方法及其效果·····	付中义 (52)
油气藏类型的模糊识别法·····	刘企英 (73)
色力布亚地区的礁块显示·····	唐承元 (93)
几种特殊剖面显示·····	范雅琳 (104)
苏北高邮地区的静校正效果·····	文国平 (109)
横山堡地区可控震源施工因素的选择·····	贺宏江 (113)
二连盆地马尼特拗陷低降速带校正方法·····	姚 超 (121)
初至折射波的理论模型研究·····	蔡大江 (134)
应用 PC-1500 微机自动解释浅层折射资料·····	蔡大江 (140)
利用 PC-1500 机查表进行时深转换·····	崔世权 (144)
计算机自动绘图·····	谢朝恩 (150)
连续变速介质等 t_0 图的曲射线空校法·····	王建民 (169)
TB 地区变速直线法构图法磋商·····	汪志领 (182)
QB 地区地震 T ₂ 波的地层属性·····	雷致富 (189)
关于变速的波动方程中 W 因子的推导·····	刘 财 (204)
垂直地震剖面法用于碳氢检测的探讨·····	谢明道等 (208)
用于 VSP 的震源·····	谢明道 (219)
垂直地震剖面法的探测器·····	姜天平 (231)

垂直地震剖面干扰波及其消除·····	姜天平(242)
RJ-2 型乳化炸药在地震勘探中的应用·····	卢秋芽(248)
爆炸压力衰减快慢和介质对激发子波的影响 ·····	梁秀文等(253)
关于频率变化的解释·····	傅连义(272)
770 型 智能数据终端介绍·····	陆定良(277)
地震钻机循环介质性能参数的选用·····	王国永(283)
地震新仪器的分类、特征和选用·····	李心刚(291)
并行采样的地震数据采集系统·····	王本吉等(306)
电子产品可靠性指标的内在联系·····	彭福英(313)
不可去掉“DLY”延迟程序·····	刘 勇(323)
最佳自控50Hz陷波器设计·····	朱仕军等(328)
一种新型的工频干扰陷波器——逼近陷波器 ·····	赵建顺等(338)
地震勘探施工中的有线通讯方法·····	苏顺清(345)
关于地震检波器“跌落寿命”研究方法的探讨 ·····	葛福如(351)
LRS-1011 数字检波器 简介·····	张志永(363)
DFSⅦ100 型野外记录系统介绍·····	张绍舜(375)
MYRIASEIS遥测系统简介·····	胜利油田地调处情报室(380)

地震数据数字处理中的相干处理技术

熊 翥

摘要 文章介绍了地震数据数字处理中相干处理技术的三种基本方法：相干加强、相干滤波、相干分离。它们的基本出发点都是根据地震信息的相干性来恢复剖面上应有的连续性，但在具体实现上，又有其不同之处。文章讨论了五个主要参数的作用，指出相干处理的效果是由这些参数直接控制的，参数使用合适，剖面效果明显；反之，会产生一些随之而来的不良结果。这是一件值得注意的事情。

在地震数据数字处理中，广泛利用反射信息的道间相干性来改善剖面上的横向连续性，已取得了较好的实际效果。但是，近来有部分解释和处理人员比较担心这种处理会引入假象，尤其是对复式断块油田上断层分割严重地区的资料，尽管信噪比低、连续性差，仍不敢普遍使用这项处理技术。其实，只要我们使用恰当，这种担心是没有必要的。因为用相干性所得到的连续性改善，仅仅是连续性的恢复，而不是信息的增加；也就是说，这种连续性本来是存在的，只是由于某些原因而使其损害。

本文于1986年1月17日收到。

地震数据的相干处理模型是很多的。但从现实方式上我们可以分为相干加强、相干滤波、相干分离等三种基本形式。相干处理效果的好坏是通过一些主要的参数来直接控制的。因此,了解每一个参数对剖面的改造作用,从而正确地合理地选择参数是十分重要的。

相 干 加 强

相干加强程序总的设计思想是,根据输出道位置左右相邻一组道上反射信息的相干性,计算出一条加权曲线,再对本道进行加强处理输出。

最早出现的是水平相干加强,其主要计算步骤是:

1. 建立模型道 M

$$M_{j,i} = \sum_{k=j-n}^{j+n} a_{k,i} = M_{j-1,i} - a_{j-1-n,i} + a_{j+n,i} \quad (1)$$

其中: a 表示要处理的原始道; i 为时间方向上的采样点序号; j 为道号,在叠加剖面上即为 CDP 号; $n = \frac{NC-1}{2}$, NC 为相干处理道数,一般为奇数(所有这些符号意义,以下全部相同)。

2. 处理道与模型道按一定的混波比进行混波,得到 a' 道

$$a'_i = a_i + PR \cdot M_i \quad (2)$$

式中 PR 为混波比,由用户给出。

3. 在时窗 W 内,求相干系数 G ,并逐点滑动时窗得到相干系数道 G_i

$$G_i = \sum_{l=i-W/2}^{i+W/2} a'_l \cdot M_l / \sum_{l=i-W/2}^{i+W/2} a'_l \cdot a'_l \quad (3)$$

4. 对相干系数道 G_i 依次进行门槛和平滑等加工处理, 得到 G'_i 。

5. 利用 G'_i 作为加权曲线对混波后的道进行加强, 得到输出结果道 R_i :

$$R_i = G'_i \cdot a'_i \quad (4)$$

显然这种模型仅仅是加强水平方向上的信息。用式(3)计算的相干系数 G_i 是相似系数和能量比的乘积, 可根据误差能量取最小值直接导出。

这种模型局限性很大, 它压制了所有倾斜方向上的信息, 因此很快地就出现了倾斜相干加强程序。倾斜相干加强程序是在规定的倾角扫描范围内, 对各个不同的倾角 $d_k (k = 1, 2, 3, \dots, NP)$ 进行扫描。具体作法是, 对应每一个扫描倾角, 都可以在这个倾角方向上执行一次上述的水平相干加强程序, 从而得到与扫描倾角数目 (NP) 相同的一组道 $R_i(d_k)$ 。一开始, 我们在每个时间样点上, 用比较留大的办法在这一组道中产生一个输出道, 得到相干加强剖面。但这种剖面纵向上容易出现强弱突变, 幅度不协调的现象, 整个剖面效果不十分稳定。为此, 我们用相加取代了比较留大来生成输出道。然后, 再根据剖面的特点, 将输出道与原始道 (叠加道) 按一定的百分比混波, 得到最终的输出。

倾斜相干加强程序的剖面效果是十分显著的, 它改善了所定义的倾角范围内相干信息的横向连续性, 压制了不相干的随机噪音和倾角定义范围以外的相干信息。

倾斜相干加强程序有两处道理上说得不十分明确。第一,

最后输出是各个倾角扫描加强道的相加输出，这似乎与扫描的目的有所冲突，从而对一些不规则的大值（有人称为剖面上的麻麻点）不能很好地压制。第二，计算各个倾角方向上的模型道时，是算术相加，而不是加权相加。针对这两点，又出现了一种新的倾斜相干加强程序，称为自动相干加强。

自动相干加强程序方法上分两个阶段来进行：第一阶段是在整个剖面上测定倾角参数，求出每一个结点上（网格点上）的倾角值 $d_{i,j}$ 以及对应的能量值 $E_{i,j}$ ；第二阶段是根据已经测定的倾角，在倾角方向上执行一次水平相干加强处理。由于我们事先测定了各个点上的倾角 $d_{i,j}$ 和对应的能量值 $E_{i,j}$ ，因此，在执行水平相干加强处理中求模型道 M 时，就有可能使各个道的时移在时间方向上根据倾角大小变化而变化，而不需要再进行倾角扫描。经过这种时移处理后的道记为 $a'_{i,j}$ 。与此同时，我们也可以根据各点倾角所对应的能量 $E_{i,j}$ ，经过一些加工处理后，得到权系数， $W_{j,i}$ 这样，就要把式（1）改写成

$$M_{j,i} = \sum_{k=j-n}^{j+n} W_{k,i} a'_{k,i} / \sum_{k=j-n}^{j+n} W_{k,i} \quad (5)$$

然后，依上述第2，3，4，5各步骤进行，得到输出道 $R_{j,i}$ 。我们也可以在最终输出时，混入一些原始道的成分。比较好的办法是定义两个滤波器，对输出道 $R_{j,i}$ 和原始道 $a_{j,i}$ 滤波后相加输出。这种混波的办法有利于调整整个剖面的面貌。

自动相干加强程序，要对整个测线倾角进行自动检测（故称为自动相干加强），并对每一个点上所检测的能量，考虑空间范围内倾角偏离，进行加权处理，再转换成权系

数，用于加权相加组成模型道。同时，在组成模型道时，原始道的时移是时变空变的。因此，它将耗费大量的机时，在生产中使用时必须考虑这一点。

自动相干加强程序能取得较好的处理效果，但是，它仍不能很好地恢复相互交叉同相轴的连续性。例如，在大断裂附近，断面波和地层反射波往往是交叉出现。要使偏移归位有较好的效果，我们必须改善断面波及地层反射波的连续性。从这样一个实际问题出发，我们在自动相干加强程序基础之上作了进一步的修改，在倾角调查阶段中，要在结点上测定两个极值，即主极大和次极大值。也就是说，要确定两个倾角方向。但是，我们必须考虑到在剖面的大多数结点上是不存在两个极值的，因此要从能量的观点出发，确定一些准则，决定第二个极值的取舍。然后，分别在两个相干倾向上执行自动相干加强程序第二阶段中的全部步骤，从而得到两个加强道。最终输出是两个加强道的和。我们不妨把这种改进后的相干加强程序称为双向相干加强。显然，它比自动相干加强更加耗费计算机的时间。

从水平相干加强到倾斜相干加强，方法上有较大的发展，然后再发展为自动相干加强和双向相干加强，使方法程序得到进一步完善。总的来说，它们的出发点都是根据反射信息某个方向上的相干性，求一条加权曲线，对本道进行加强处理。相干程度的好坏是通过加权系数的大小来反映的。因此，把凡属于求加权曲线对本道进行加权处理输出的这一类型的处理程序，称其为相干加强。

相干滤波

相干滤波是与相干加强有别的另一种处理方法。它不是利用相干性计算加权曲线对本道进行加权输出，而是在相干性最好的方向上，定义一个滤波器，进行滤波输出。其滤波因子的幅度可用来恒量相干方向上相干程度的好坏。

具体实现有两种方法。第一种方法是建立在叠加原理基础之上的，利用倾斜相干加强程序中倾角扫描法，找出各时刻相干性最好的方向，并按倾向时移相邻各道，再相加组成模型道，然后，按照式(3)在相干性最好的方向上计算模型道与各道的相干系数： $(G_{1,i}, G_{2,i}, G_{3,i}, \dots, G_{NC,i})$ ，同时定义一个低通滤波器： $(f_1, f_2, \dots, f_{NC})$ 。最终输出为

$$R_{j,i} = \sum_{k=j-n}^{j+n} G_{k,i} \cdot f_k \cdot a_{k,i} \quad (6)$$

上式是在相干性最好的方向上进行的，角标 i 是按各时间点上的倾向分别时移后的时间序号。

第二种方法是采用多道相关的原理进行的。具体作法又可分为两个阶段。

第一阶段：在 NC 道范围内，确定中心道上每个样点所有最大相干性的倾角方向。仍使用扫描法，对每一个扫描倾角完成以下动作。

1. 按扫描倾角大小时移相邻各道。
2. 在规定时窗 W 内，求多道相关系数

$$G = \frac{\sum_W \sum_{k=1}^{NC-1} \sum_{l=k+1}^{NC} a_k a_l}{\sum_W \sum_{k=1}^{NC} a_k^2} \quad (7)$$

3. 每次重叠半个时窗，向下滑动，直到道端为止，依次完成式(7)计算。

所有倾角扫描完以后，找出同一时窗位置上相关系数的最大值，记为 P ，即 $P = \max G$ 并记下最大相关系数的倾角方向。然后规定一个阈值 $P_{\min}$ ，对于小于阈值值的时窗段，用内插值取代，包括相关值和倾向。

第二阶段：相干滤波。按照第一阶段所求的各时窗段内的倾向，定义一个滤波器，在相干方向上进行滤波输出，其结果道 $R_{j,i}$ 是

$$R_{j,i} = \sum_{k=j-n}^{j+n} f_k \cdot a_{k,i} \quad (8a)$$

或

$$R_{j,i} = P_i \sum_{k=j-n}^{j+n} f_k \cdot a_{k,i} \quad (8b)$$

角标 i 同样是按相干倾向时移后的时间序号。

我们可以看出，这种方法没有直接去求模型道，扫描时也不求模型道，这就避免了在求模型道时的一些近似作法。它只是通过扫描确定一个相干最好的方向，然后在这个方向上进行滤波输出。一些处理公司把这种方法称为径向预测滤波。

上述两种方法的最终输出为 $R_{j,i}$ ，即式(6)与式(8)，都与

原始道按一定的百分比混波输出，混波比一般是时空变的。

相干滤波处理，仅仅就改善连续性这一点而言，它比相干加强的办法更显得有效一些。

相 干 分 离

利用信号的相干性，首先从剖面上把信号检测出来，留下的部分就统称为噪音。然后再从一个所谓的模型道中把噪音去掉，得到的就是信号。这是一种比较新颖的相干处理方法，称其为相干分离，它在实际资料处理中有较好的效果。

与相干加强一样，它也有水平相干分离和倾斜相干分离。水平相干分离的主要实现步骤如下：

1. 在给定的时窗 W 内，求处理道 $a(t)$ 和模型道 $M(t)$ 的乘积和 $G(t)$

$$G(t) = \sum_{\tau = t - W/2}^{t + W/2} M(\tau) a(\tau) \quad (9)$$

根据预先所定义的倾角扫描范围，分别移动模型道，完成上式运算，可得到一系列的 $G_{d_j}(t)$ 值 (d_j 表示扫描倾角)，找出最大值，记为 $M G(t)$ ，即

$$M G(t) = \max G_{d_j}(t) \quad (10)$$

2. 求 $G_{d_j}(t)$ 的均方根值 $RMS G(t)$

$$RMS G(t) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N G_{d_j}^2(t)}{N}} \quad (11)$$

式中 N 为倾角扫描个数。

3. 修改模型道 $M(t)$

若 $\frac{MG(t)}{RMSG(t)} \geq A$, 则

$$NEWM(t) = \frac{M(t) + ka(t)}{1+k} \quad (12a)$$

若 $\frac{MG(t)}{RMSG(t)} < A$, 则

$$NEWM(t) = M(t) \quad (12b)$$

其中, A, k 均为用户提供的参数。

4. 求噪音道 $N(t)$

$$N(t) = a(t) - NEWM(t) \quad (13)$$

5. 输出结果道 $R(t)$ 定义为

$$R(t) = NEWM(t) - N(t) \quad (14)$$

由此可见, 这种处理是逐道进行的。上一道的最终模型道 $NEWM(t)$ 可作为下一道的初始模型道 $M(t)$ 。同时, 我们可以得到噪音剖面 $N(t)$, 模型道剖面 $NEWM(t)$, 结果剖面 $R(t)$ 。前两种剖面可帮助评价第三种剖面真实性及处理过程的合理性。水平相干分离对突出平层的作用是显著的。

倾斜相干分离不能在定义的单个时窗内进行, 必须考虑从浅至深相干性倾向的变化, 其主要步骤是:

1. 用一逐点滑动时窗 W , 计算相似系数道

$$G(t) = \frac{\sum_{\tau=t-W/2}^{t+W/2} M(\tau) \cdot a(\tau)}{\sqrt{\sum_{\tau=t-W/2}^{t+W/2} M^2(\tau) \sum_{\tau=t-W/2}^{t+W/2} a^2(\tau)}} \quad (15)$$

根据所定义的倾角扫描范围, 对应每一个倾角移动模型道, 完成上述运算, 这样得到一个 $G_{d_j}(t)$ 矩阵 (d_j 表示各

扫描倾角)，共有NP列（NP为倾角扫描个数）。然后求出每一个样点上（矩阵的每行）的最大极值，记下其相应的时移值。若最大极值不存在，时移值为零，这样可以得到一个时移道 $L(t)$ 。

2. 对时移道进行合适的纵横向平滑处理。

3. 建立模型道 $M(t)$ 的映射道 $MM(t)$ 。具体作法是，根据 $L(t)$ 所表示的时移值，在 $M(t)$ 上取样点值组成。例如：假设 $t=10$ ， $L(t)=3$ ，则有 $MM(10)=M(13)$ ；又如 $t=15$ ， $L(t)=-2$ ，则有 $MM(15)=M(13)$ 。这就是说， $MM(t)$ 是按 $L(t)$ 曲线的值对 $M(t)$ 的样点值进行映射搬家来组成的。

4. 修改模型道 $M(t)$

$$NEW\ M(t) = \frac{MM(t) + ka(t)}{1 + k} \quad (16)$$

然后，执行水平相干分离中的第4，5步。

与水平相干分离一样，倾斜相干分离也同样可以得到噪音剖面 $N(t)$ ，模型道剖面 $NEW\ M(t)$ ，结果剖面 $R(t)$ 。

综上所述，我们可以看到，相干分离主要是在相邻两道进行的。因此它与相干加强和相干滤波相比，一个明显的优点是，在横向上信息中断清晰，幅度渐变过程短甚至没有。剖面上的这种特征似乎是对完成某种地质现象解释所需求的，也是解释人员所喜爱的剖面特征。

参数的作用与选择

相干处理的作用是通过一些参数来控制的。由于处理数据的质量和复杂程度不同，参数的选择也就不同。程序设计

时，往往提供较多的参数，让用户选择，以便控制相干处理的效果。参数选择合适，能恢复剖面的固有连续性，压制噪音提高信噪比；但参数使用不当，也可以人为地建立连续性而破坏了真正的横向变化特点。可以说，相干处理的主要目的是恢复与改善剖面上同相轴的连续性，但随同产生的作用还有：改造同相轴的曲率、同相轴的垂向分辨率和横向分辨率，影响剖面上的交叉横跨的同相轴，如绕射波；同时还会产生噪音的人为横向相干（把噪音组织成一些短的、随机的定向的视同相轴，宏观上很似蚯蚓状）和改变随机噪音的水平。

相干加强和相干滤波中使用的相干道数（NC）是相干处理中最重要的参数。道数增多，同相轴水平方向连续性加强，人为的噪音横向相干现象也加强，随机噪音水平降低，同相轴曲率改造大，绕射波破坏严重，横向分辨率降低。产生这些现象的原因是，当道数增多时，倾斜方向的相关因子变得愈来愈不灵敏，随机噪音的幅度必然降低。因此人为的噪音组织就显得突出，从而产生上面列举的现象是不难理解的。这些现象可通过相干处理以后不使用增益的剖面得到证实。

第二个参数是输出道中原始道的混波比。这个参数一般都安排时变空变，这要根据剖面特征来定。有的程序中按频率成分来混波，这对调整剖面面貌是很起作用的。原始道混波比加大，连续性降低，随机噪音水平升高，但是同相轴曲率、绕射波的形状失真小，人为的噪音横向相干不强，横向分辨率保持不变。

计算相干性的时窗长度（三种方法在不同的步骤中均使

用)是控制用于相干性研究的数据持续时间。此时间在使用中很少改变,一般都在100ms和150ms之间,过长会影响垂向分辨率,改造同相轴的曲率,对绕射波也极为不利。但是,长时窗会减弱噪音的人为横向相干。高频信号垂向变化快,低频信号变化缓,因此往往浅层时窗使用短,深层逐渐加长。另一个现象是,对于高信噪比资料,时窗长度即使有较大的变化,剖面效果也是十分不明显的。但对于随机噪音(或信噪比极低的地方),时窗加长,会加大人为噪音的水平规则相干,其原因是,在长时窗内几乎找不到具有倾向的相干性噪音。

第四个参数是相干门槛,它用于对相干性曲线平滑限制,其实质是控制参与计算的倾角资料的可接受性,三种方法中都采用这种参数,但含义大同小异,使用时总的来说变化不大,一般都采用程序中的缺省值。门槛的提高,影响垂向分辨率,改造同相轴的曲率,但可降低噪音的人为横向相干。对于资料好的剖面,如果采用低的门槛,就意味着要同时保持垂向和横向的分辨率以及同相轴的曲率;相反,使用较高的门槛意味着要抹去一些同相轴,破坏一些弯曲的不合适的倾斜同相轴。其原因是,在这种情况下,更多的数据都被考虑为噪音而被滤掉。在纯粹的噪音数据中,低门槛将承认较多的倾向上具有规则噪音的横向相干假象。但是,当门槛适当的调整一下,这种现象就能很快地得到缓和。

最后要讨论的一个参数是相关权系数,它在相干加强和相干滤波中均用到。相干性最好的同相轴,相干系数接近于1,一般都在0.3至0.5之间。采用这样一个权系数,能够加强相干性较好的同相轴,相对压制相干性不好的同相轴。从