

常用地震资料处理程序

石油化学工业部石油地球物理勘探局计算中心站编译

石油化学工业出版社

常用地震资料处理程序

石油化学工业部石油地球物理勘探局计算中心站编译

石油化学工业出版社

内 容 提 要

本书选编了有关用电子计算机处理地震资料所常用的反褶积滤波、自适应叠加等十七种程序，扼要论述了每种程序的原理、应用及设计中应注意事项。为便于读者参阅，在每种方法的后面还附有框图。

可供地震勘探资料数字处理的技术工人和技术人员，以及有关院校师生参考。

常用地震资料处理程序

石油化学工业部石油地球物理勘探局计算中心站编译

*

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092¹/₃₂印张37⁷/₈字数84千字印数1—10,250

1978年9月北京第1版 1978年9月北京第1次印刷

书号15063·油157 定价0.33元

限 国 内 发 行

前 言

本书是根据国外资料选编的。在整理过程中，我们根据程序的设计思想做了应有的原理推导和说明，以便使读者能较快地理解程序的实质。

书中只讲了程序原理和框图，没有介绍程序安排上的细节问题，因为不同的机器类型可以做不同的安排，写的过细用处不大。

这本小册子是为刚开始接触地震资料数字处理的工人、技术人员写的。有关院校师生也可参考。

由于我们水平有限，资料又不很充足，难免有缺点和错误，请读者批评指正，并把意见及时告诉我们，不胜感谢。我们的地址是河北徐水 121 信箱15分箱。

编 者

目 录

一、蒸汽枪子波处理程序(WAPCO)	1
二、反褶积滤波程序(DECON)	6
三、预测反褶积程序(TRIDY)	15
四、滤波程序(FILTR)	21
五、动平衡程序(DYNQU)	29
六、自适应叠加程序(ADAPT)	33
七、速度谱程序(ANVIT)	38
八、自动剩余静校正程序(SATAN)	53
九、高保真度动校正程序(HINMO)	60
十、相干加强程序(AMCOD)	65
十一、保持振幅的时间剖面偏移程序(PAMIG)	68
十二、波动方程偏移程序(WEMIG)	73
十三、宽线剖面处理程序(WILIP)	92
十四、弯曲测线资料处理程序(ETQXY)	97
十五、校正调整程序	101
十六、速度调整程序	108
十七、地震资料处理流程	114
十八、程序框图符号说明	119

一、蒸汽枪子波处理程序(WAPCO)

这个程序是用来处理蒸汽枪子波的。蒸汽枪子波是非最小相位的，图 1-1 是子波实例。本程序的目的就是使非最小相位的子波变为最小相位子波。然后把这个使子波最小相位化的反滤波因子与相应的地震记录道相关，使反射波波形都能够最小相位化，以便于下一步进行一般反褶积处理。因为反褶积程序的设计是建立在地震子波是单位脉冲或最小相位基础上的。

1. 程序原理

设蒸汽枪子波用 s 表示，现在我们想求得一个算子 x ，把它与子波 s 褶积后，能够得到一个最小相位子波 s_m ，而其振幅谱不变，即

$$s(t) * x(t) = s_m(t) \quad (1.1)$$

写成频率域形式为：

$$S(f) \cdot X(f) = S_m(f) \quad (1.2)$$

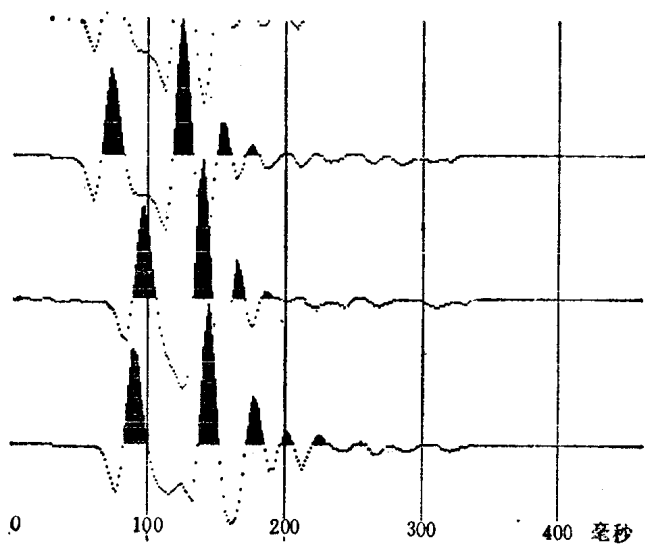
式中 $S(f)$ ——子波 $s(t)$ 的谱函数；

$X(f)$ ——算子 $x(t)$ 的谱函数；

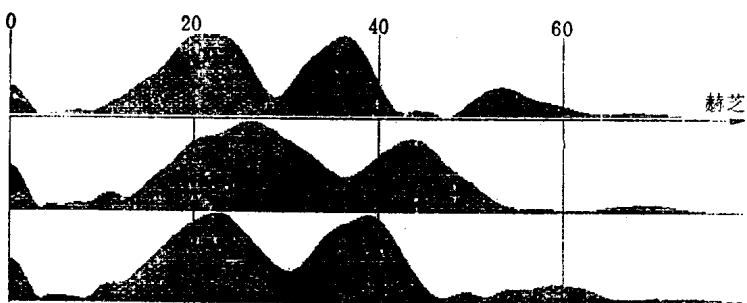
$S_m(f)$ ——期望输出子波的谱函数。

因为期望输出子波 $s_m(t)$ 的振幅谱 $|S_m(f)|$ 与子波 $s(t)$ 的振幅谱 $|S(f)|$ 不变，也就是说，进行的是纯相位滤波。纯相位滤波的特点是能量不变，因此有下列关系式：

$$\begin{aligned} |S(f)|^2 &= |S_m(f)|^2 \\ S(f) \cdot \overline{S(f)} &= S_m(f) \cdot \overline{S_m(f)} \end{aligned}$$



a. 蒸汽枪子弹波形



b. 它们的频谱

图 1-1

$$S(f) \cdot S(-f) = S_m(f) \cdot S_m(-f) \quad (1.3)$$

由 (1.2) 式可求出

$$\begin{aligned} X(f) &= \frac{S_m(f)}{S(f)} \\ &= \frac{S_m(f)S(-f)}{S(f)S(-f)} \\ &= \frac{S_m(f)S(-f)}{S_m(f)S_m(-f)} \\ &= \frac{S(-f)}{S_m(-f)} \\ &= S(-f)X'(-f) \end{aligned} \quad (1.4)$$

式中 $S(-f)$ —— $s(t)$ 的翻转函数 $s(-t)$ 的谱;

$S_m(-f)$ —— $s_m(t)$ 的翻转函数 $s_m(-t)$ 的谱;

$X'(-f)$ —— $x'(t)$ 的翻转函数 $x'(-t)$ 的谱;

$$\text{且} \quad X'(-f) = \frac{1}{S_m(-f)} \quad (1.5)$$

为了求得 $X(f)$, 必须先求出 $X'(-f)$ 。 $X'(-f)$ 可从 (1.5) 式用最小平方法求出, 即

$$S_m(-f) \cdot X'(-f) = 1 \quad (1.5)'$$

或可写为

$$S_m(f) \cdot X'(f) = 1 \quad (1.6)$$

把 (1.6) 式写成时间域的表达式

$$s_m(t) * x'(t) = \delta(t)$$

$$\sum_t s_m(t-\tau) x'(\tau) = \delta(t)$$

用最小平方法求 $x'(t)$, 为此要使下式的差的平方和达到最小

$$D = \sum_t \left(\sum_{\tau} s_m(t-\tau) x'(\tau) - \delta(t) \right)^2 \quad (1.7)$$

把(1.7)式对 x' 进行偏微分

$$\frac{\partial D}{\partial x'} = 2 \sum_t \left(\sum_{\tau} s_m(t-\tau) x'(\tau) - \delta(t) \right) s_m(t-s) = 0$$

化简得到

$$\sum_{\tau} \sum_t s_m(t-\tau) s_m(t-s) x'(\tau) = \sum_t \delta(t) s_m(t-s) \quad (1.8)$$

式中

$$\sum_t s_m(t-\tau) s_m(t-s) = \sum_t s(t-\tau) s(t-s) = R(t-s)$$

为子波的自相关函数。

$\sum_t \delta(t) s_m(t-s) = \delta(s)$ 为单位脉冲与期望子波

$s_m(t)$ 的互相关,仍为一单位脉冲。因此(1.8)式可写成下列矩阵式,设算子 x' 的长度为 $m+1$

$$\begin{pmatrix} R(0), & R(1), & R(2) & \cdots & R(m) \\ R(1), & R(0), & R(1) & \cdots & R(m-1) \\ R(2), & R(1), & R(0) & \cdots & R(m-2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \\ R(m), & R(m-1), & R(m-2) & \cdots & R(0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'(0) \\ x'(1) \\ x'(2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ x'(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

解此矩阵方程,可求出算子 $x(t)$,则最小相位化算子 x 根据(1.4)式可写为

$$x(t) = s(-t) * x'(-t) \quad (1.10)$$

(1·10)表明, 最小相位化算子 x 等于汽枪子波的倒转序列与算子 x' 的倒转序列的褶积。

由(1·10)式可以导出下式

$$x(-t) = s(t) * x'(t) \quad (1·11)$$

根据(1·1)式的关系我们可以看出, 用(1·10)式与地震道褶积, 或用(1·11)式与地震道相关即可使地震反射波最小相位化。

2. 程序安排中的几个具体问题

(1) 在解矩阵方程时, 其维数可由使用者给定, 一般采用200, 即当4毫秒采样时用800毫秒的最大时移做自相关。在2毫秒采样时维数用400。

(2) 解矩阵方程时, 在方阵主对角线上应加一稳定常数, 即相当于在频率域上把子波谱加一常数, 也就是常说的加白噪。一般该常数取为 $0.005R(0)$ 。

(3) 算子 x 的长度为:

$$L = L_s + L_{x'} \quad (1·12)$$

式中 L_s ——汽枪子波长度;

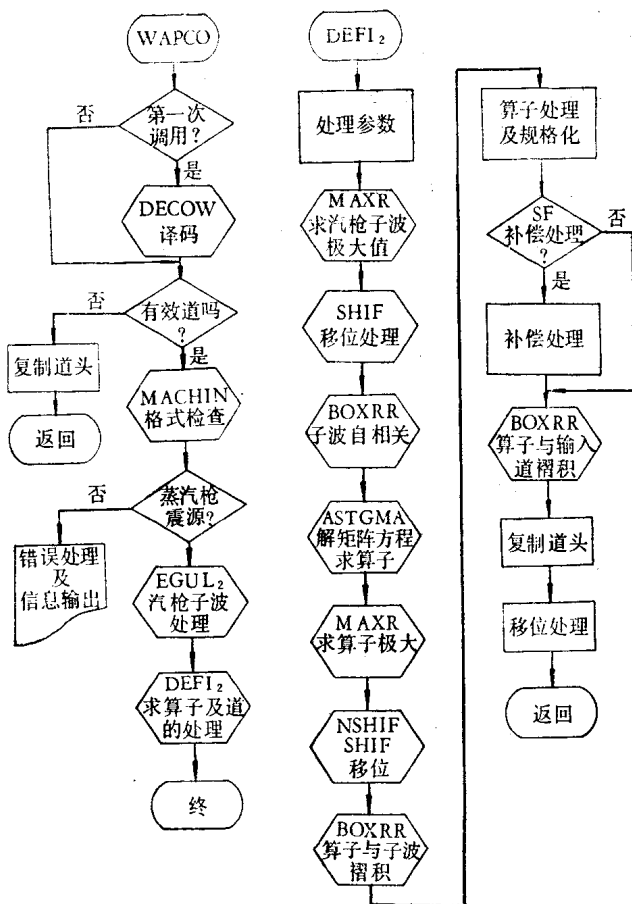
$L_{x'}$ ——算子 x' 的长度。

但不能是(1·12)式给出的长度, 而应当截断。截断时要用一个斜坡值。一般算子 x 的长度取为300毫秒。

(4) 在做过WAPCO程序后, 还要进行信号校正。校正正值取蒸汽枪子波的极大值(绝对值, 并且一般为负极大)所在位置的时间。

该程序的使用效果比较好, 它与一般反褶积配合使用比蒸汽枪反褶积程序的效果要好。它是处理海上地震勘探资料必用的常规程序之一。

3. 程序框图



二、反褶积滤波程序(DECON)

反褶积的目的是将反射波压缩为脉冲。地震反射波是由爆炸脉冲引起的，但经过大地和海水的滤波作用，实际上接

收到的反射波已是一个比较复杂的波形了。这种复波对解释地质现象是不利的，因此在现代地震资料处理中无论海上地震资料还是陆地地震资料都普遍使用了反滤波程序。这种反滤波程序对消除短周期鸣震和伴随波也是有效的。由于以上原因，反褶积程序已成为常规处理程序之一。

1. 程序原理

地震记录可用下式表示

$$s(t) = g(t) * f(t) + b(t) \quad (2.1)$$

式中 $g(t)$ ——地震脉冲；
 $f(t)$ ——大地滤波算子；
 $b(t)$ ——噪音。

现在我们希望找到一个反滤波因子 $x(t)$ ，把它与 $s(t)$ 褶积，使其结果为地震脉冲 $g(t)$ ，即

$$s(t) * x(t) = g(t) \quad (2.2)$$

上式可用最小平方方法求解。

令

$$D = \sum_{\tau} [s(t) * x(\tau) - g(t)]^2 \quad (2.3)$$

求(2.3)式的偏微分

$$\frac{\partial D}{\partial x} = 2 \sum_t \left[\sum_{\tau} s(t-\tau)x(\tau) - g(t-j) \right] s(t-j) = 0$$

化简后得

$$\sum_{\tau} \sum_t s(t-\tau) s(t-j) x(\tau) = \sum_t g(t-\tau) s(t-j) \quad (2.4)$$

式中 $\sum_t s(t-\tau) s(t-j) = R(\tau-j)$ 为地震记录道的自相关函数。另外

$$\begin{aligned}
\sum_t g(t-\tau) s(t-j) &= \sum_t g(t-\tau) \\
&\quad \left[\sum_j g(t-j) f(j) + b(t) \right] \\
&= \sum_t \sum_j g(t-\tau) g(t-j) f(j) + \\
&\quad + \sum_t g(t-\tau) b(t) \quad (2.5)
\end{aligned}$$

式中 $\sum_t g(t-\tau) g(t-j) = \gamma(\tau-j)$ 为地震脉冲的自相关函数，是一个更尖锐的脉冲。因而

$$\sum_j \gamma(\tau-j) f(j) = \delta(\tau), \text{ 为一脉冲。}$$

另一项

$$\sum_t g(t-\tau) b(t) = 0$$

因此(2.5)式表示为

$$\sum_\tau g(t-\tau) s(t-j) = \delta(\tau)$$

由此，(2.4)式可写为

$$\sum_\tau R(\tau-j) x(\tau) = \delta(\tau) \quad (2.6)$$

(2.6)式可用矩阵方程表示如下

$$\begin{pmatrix} R(0), R(1), R(2) \cdots \cdots R(m) \\ R(1), R(0), R(1) \cdots \cdots R(m-1) \\ R(2), R(1), R(0) \cdots \cdots R(m-2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ R(m), R(m-1), R(m-2), \cdots \cdots R(0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ x(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

解此矩阵方程即可求出反滤波算子 $x(\tau)$ 。

如果经反滤波后希望得到的输出结果不是脉冲，而是某种波形，则反褶积算子求法如下。

设地震记录经反褶积后有下列关系

$$s(t) * y(t) = g(t) * h(t) \quad (2.8)$$

式中 $y(t)$ ——反滤波算子，是我们要求得的，

$h(t)$ ——想要得到的波形，是事先给定的。

根据最小平方方法原理， $y(t)$ 可由下面矩阵方程解出。

$$\begin{pmatrix} R(0), R(1), R(2) \cdots \cdots R(m) \\ R(1), R(0), R(1) \cdots \cdots R(m-1) \\ R(2), R(1), R(0) \cdots \cdots R(m-2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ R(m), R(m-1), R(m-2), \cdots \cdots R(0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y(0) \\ y(1) \\ y(2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ y(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V(0) \\ V(1) \\ V(2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ V(m) \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

式中 $R(\tau-j)$ ——地震道的自相关函数，

$y(\tau)$ ——反褶积算子，

$V(j)$ ——(2.8)式右端项与地震道的互相关函数，其表达式如下：

$$\begin{aligned} V(t) &= g(t) * h(t) * s(-t) \\ &= g(t) * h(t) * g(-t) * f(-t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +g(t)*h(t)*b(-t) \\
& =g(t)*g(-t)*h(t)*f(-t) \\
& =R(t)*h(t)*f(-t) \\
& =\delta(t)*h(t)*f(-t) \\
& =h(t)*f(-t)
\end{aligned} \tag{2.10}$$

(2.10)式表示, $V(t)$ 是期望输出与大地滤波算子的互相关。因为 $h(t)$ 是事先给定的, 而 $f(t)$ 可用下述方法求出。

在无干扰的理想情况下

$$\begin{aligned}
s(t)*x(t) &= g(t) \\
g(t)*f(t)*x(t) &= g(t) \\
f(t)*x(t) &= 1
\end{aligned} \tag{2.11}$$

因此 $f(t)$ 可由下列矩阵求出

$$\begin{pmatrix} \gamma(0), & \gamma(1), & \gamma(2) \cdots \cdots \gamma(m) \\ \gamma(1), & \gamma(0), & \gamma(1) \cdots \cdots \gamma(m-1) \\ \gamma(2), & \gamma(1), & \gamma(0) \cdots \cdots \gamma(m-2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(m), & \gamma(m-1), & \gamma(m-2), \cdots \cdots \gamma(0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f(0) \\ f(1) \\ f(2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ f(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \tag{2.12}$$

式中 $\gamma(j)$ ——算子 $x(t)$ 的自相关函数。

求出 $f(t)$ 后, 代入 (2.10) 式中, 即可求出 $V(t)$, 把 $V(t)$ 代入 (2.9) 式中, 即可求出算子 $y(t)$ 。

2. 程序安排中的几个具体问题

(1) 算子长度的选择

算子长度, 即矩阵维数可以是任选的, 如80毫秒, 120毫秒, 180毫秒, 200毫秒, 240毫秒等。计算时要把它换算为采样点数。并通过在一个地区或一段测线上进行试验, 来

选择算子的长度。

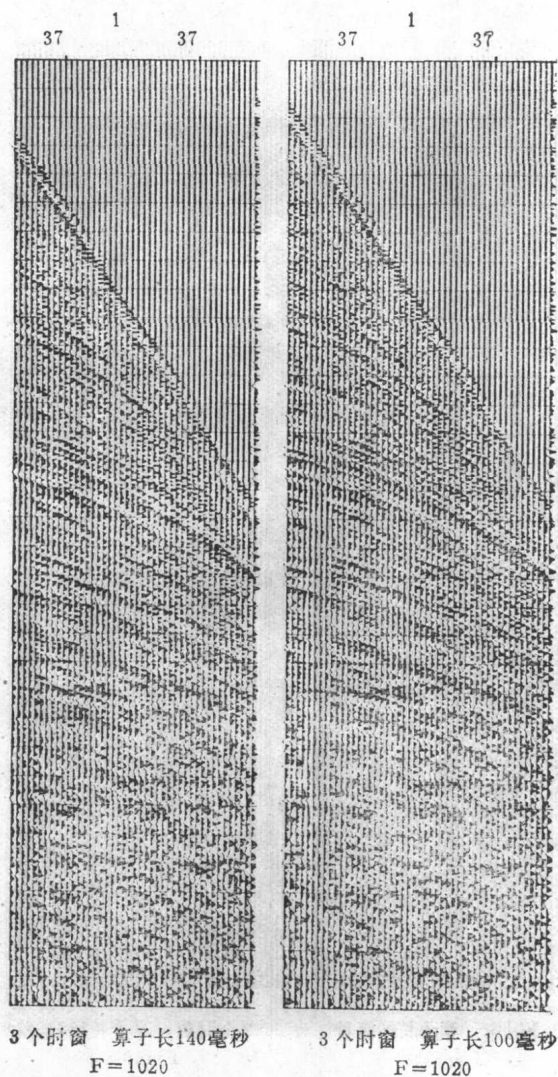


图 2-1

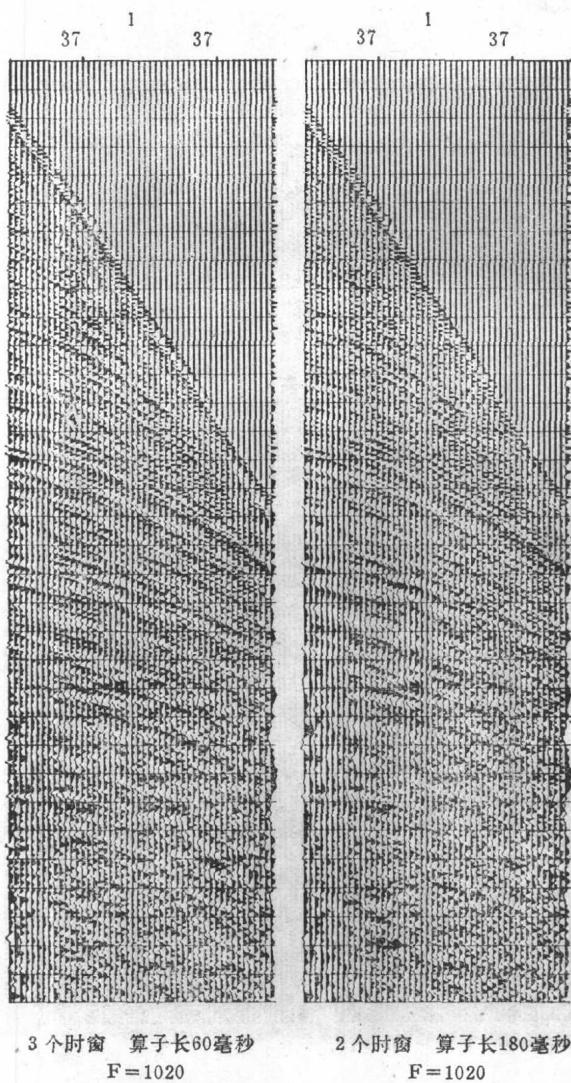


图 2-1