

地质家应用地球物理学

〔美〕F. 海特曼等著

石油工业出版社

16809



00298339

地质家应用地球物理学

〔美〕 F. 海特曼 等著

许云 赵静宣 译



200304278

51/42/28



石油工业出版社

内 容 提 要

本书共十篇,包括地震资料数字处理方法、利用滤波改进地震资料、地震速度、地震模拟技术、三维地震模拟、偏移、直接检测、地震折射方法和石油勘探中的航空磁测等。作者着重论述每种方法的基本概念、定性分析及其解释应用,是一本普及性的读物,因此,适于从事地质工作的技术人员阅读和参考。

本书由赵静宜同志翻译第一、二、三、四、八、九及第十篇,许云同志译第六、七及第八篇,全书由许云同志校订。

Fred Hilterman et.
Applied Geophysics for Geologists

地质家应用地球物理学

F 海特曼等著

许云 赵静宜 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

轻工出版社印刷厂排版

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

187×1092毫米 16开本 18¹/₂印张 448千字 印1—4 830

1984年6月北京第1版 1984年8月北京第1次印刷

书号: 15037·246 定价: 1.90元

目 录

第一篇	地震资料数字处理方法	N.S.尼得尔 (1)
第二篇	利用滤波改进地震资料	I.M.格劳厄 (51)
第三篇	地震速度——解释工作者的一种现代手段	F.海特曼 (86)
第四篇	地震模拟技术	F.海特曼 (131)
第五篇	三维地震模拟	F.海特曼 (191)
第六篇	偏移	谢里夫 (222)
第七篇	波动方程偏移	谢里夫 (227)
第八篇	直接检测	F.海特曼 (237)
第九篇	地震折射方法	M.B.多布林 (255)
第十篇	石油勘探中的航空磁测	I.齐茨 (267)

第一篇 地震资料数字处理方法

I. 地震资料的处理和解释

A. 处理的目的

在论述处理的具体方法之前，我们直接回答三个基本的问题，

我们真的需要地震数据的数字记录吗？

我们真的需要多道地震记录吗？

我们真的需要应用数字计算机和所有与此有关的技术来处理我们的剖面吗？

事实上，我们是需要数字记录的，因为所有可利用的方法（调幅纸带记录，调频模拟磁带，调宽模拟磁带等等）中，只有数字记录能够如实地获得所有时间中全部强的及弱的反射的能力。这个优点的关键是到达时间晚的反射所形成的振幅发散损失及别的振幅损失比先到达的那些反射要小得很多。

从两点考虑我们需要多道数据，第一是应用多道的大量信息可以达到加强有效信息和削弱干扰的作用。第二，为了确定反射界面和估计地下速度需要代表传播路程具有重复性的多道信息。

上面提出的需要数字记录道重复性的理由已经回答了那三个问题。由于我们需要数字记录和多道记录，所以需要应用计算机计算和处理，以达到所希望的能量加强，估计速度以及解释显示等等目的。

许多用计算机完成的非常重要的工作都是在不起眼的情况下完成的。例如，采样数据的计数，保持各道的磁轨以及如何把各道组合起来，这些都是重要的工作。类似地，计算机的功能，与以下的图有关的比例尺以及表示模式等，也是值得重视的。

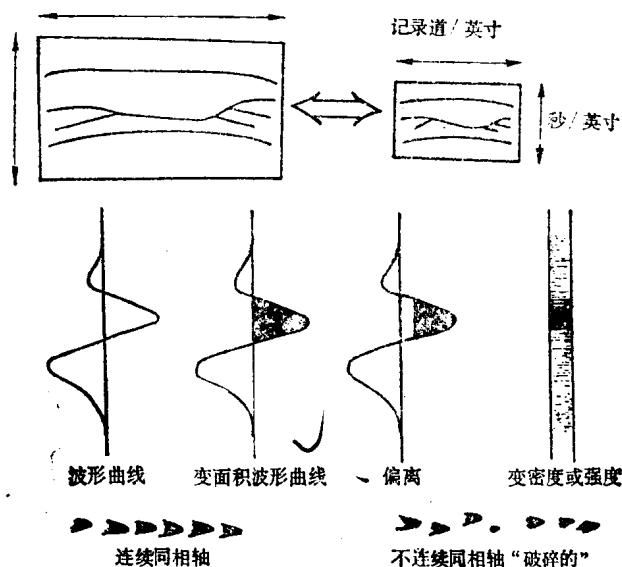


图 1-1 显示的比例尺和模式以及连续波与不连续波的对照

可解释地震剖面的标志是表层有一平坦的基准面和各处都可连续追踪的波。图1-1 是一个连续的波与一个不连续的波的对照。

以下我们要讨论的具体应用，将是根据与它们有关的剖面可解释性和所提基本问题的困难程度，从基本到高级顺序进行。对勘探工作者而言，认识这些问题及其处理方法就可窥其全貌，理解处理的机理及结果就可提高加强他的技巧。

B. 问题背景

下面以图解方式提出的各种问题是直接影响剖面的解释的（图 1-2、图 1-3）。举例说明如下：

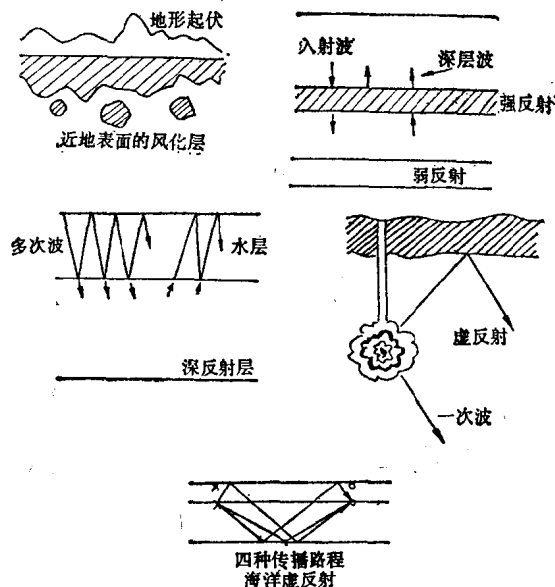


图 1-2 影响剖面解释的几个问题

地形和风化层问题：这些问题引起逐道的时间延迟，称之为静态误差。如在表层假设有一个水平的基准面，从基准面出发就不会对叠加和速度的确定产生影响。为了使常规的处理方法可应用并给出可解释结果，必须确定静态误差值并加以校正。

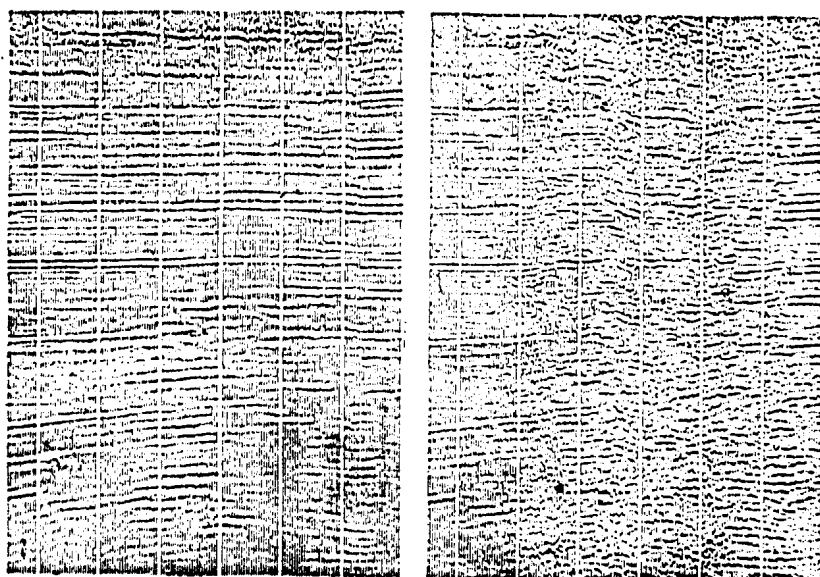
表层的强反射：表层存在强反射时，只剩下很少的能量才向深处传播。在这种情况下，面对干扰背景几乎不可能检测深部反射，因此，需要加强其能量直到深部反射能可靠地利用。

多次反射波：多次反射波的存在，通常对有关地震资料的任何解释，都会引起怀疑。对于多次波首先应识别它而后利用滤波或迭加的方法来压制它。

在海上和在陆地上的虚反射：虚反射往往会使用解释不可靠，而且由于记录道中已滤掉了信号的高频分量，在虚反射出现于主要输出脉冲之后很短的时间间隔内时，就使记录道的分辨能力受到限制。原则上，虚反射可用维纳滤波解决。

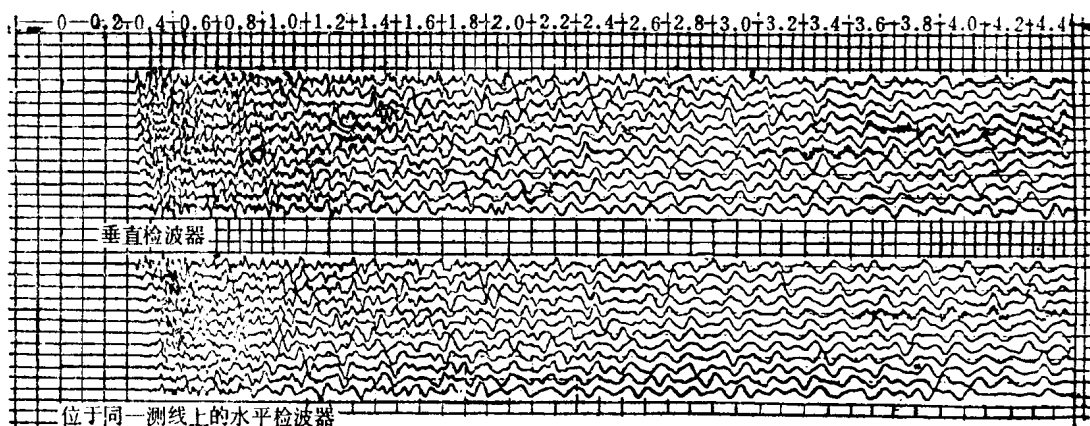
如果这些表层问题不加以解决常常会使数据混乱。图1-4主要说明在已知地面地形起伏的情况下，如何进行基准面校正。水下地形的特征也能够产生异常问题，但是由于在较深部难以解决。研究一个简单模型就可以说明这一问题及其对迭加速度的影响，要注意水层底部的变化可以加强迭加速度的变化。在这种条件下，对速度的解释要特别小心，必须进行的校正性质上已不再是很简单而要求对动校正曲线进行一些修正才行（图1-5、图1-6）。

C. 一般计算方法



1200%迭加

哪一个地震剖面更容易解释？
存在什么问题？为什么产生问题？



这些地震记录存在什么问题？
我们如何改善这些记录？

图 1-3

解释者应当理解，就大部分处理较好的地震剖面而言，一个正确记录其全部计算是在课题分程序中获得的，其次就是采样分程序。虽然这一点往往被忽视，但是实际上学会解释课题分程序的意义是非常重要的解释课题。尽管上述处理看起来似乎很复杂，但基本原理往往是十分简单的。

就这一点说，总结一下某些应用于处理计算和多次地面复盖方法的基本原理对我们是有帮助的。

(1) 一般计算概念

- a. 应用简单数学运算或原理，通常可以达到所期望的目标。
- b. 对于观测、基本关系要有完整的理解，并且探索理论上的解释结论。

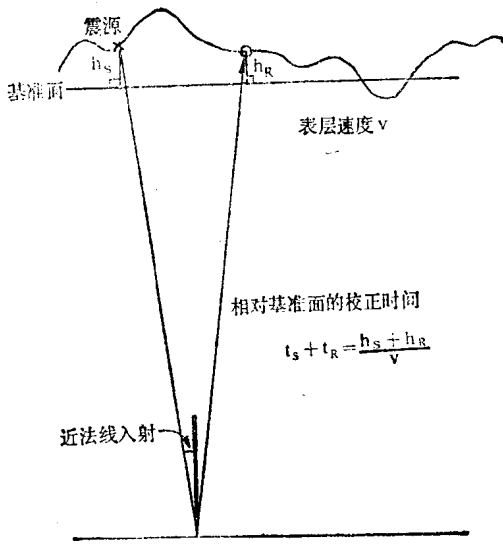


图 1-4 基准面校正

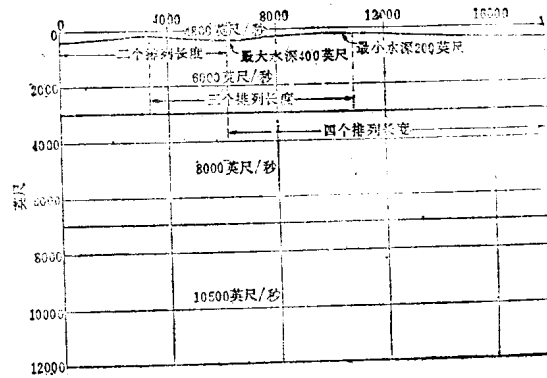


图 1-5 水深变化模型

c. 手头上要有可进行对比、增强或压缩的自动调节方法。

(2) 自动调节方法

a. 求和——根据统计推理可知，信噪比方面有一 $a/\sqrt{n}$ 的改进。进行迭加无非就是在动校正后求和，这是可使固有信噪比得以改善的基础，消除不相干信号则形成其余的改善。

b. 相关——归一化和非归一化相关和道间相似系数度量时窗内的相像程度。例如有二条曲线， f_{1j} 为曲线 1 的元素； f_{2j} 为曲线 2 的元素，对于延迟为 k 的互相关是，

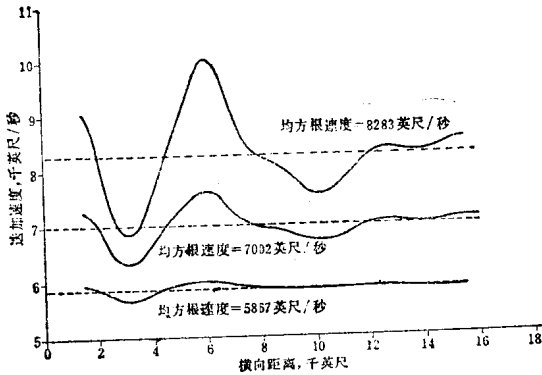


图 1-6 关于水深变化模型的迭加速度图

$$r_{12}(k) = \sum_{j=-M}^M f_{1j} \cdot f_{2,j+k}$$

对于延迟为 k 的归一化互相关是：

$$R_{12}(k) = \frac{\sum_{j=-M}^M f_{1j} \cdot f_{2,j+k}}{\sqrt{\sum_{p=-M}^M f_{1p}^2 \sum_{q=-M}^M f_{2q}^2}}$$

对于延迟为 k 的相似系数是：

$$S_{12}(k) = \frac{2 \sum_{j=-M}^M f_{1j} \cdot f_{2,j+k}}{\left\{ \sum_{p=-M}^M f_{1p}^2 + \sum_{q=-M}^M f_{2q}^2 \right\}}$$

以上公式的差异表现在一道之内和道间振幅变化的灵敏度不同。

(3) 滤波和频率域——是一种通过频率与振幅以及频率与相位的关系以确定信息成分的能力。在二维剖面的情况下，一些要素可用倾角、形状、大小等来确定。维纳滤波规定适用于最小平方意义下的信息成分。如果 f_i 是数据元素， f_i^d 是期望元素以及 a_i 是维纳滤波器元素，那末，

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^N (f_i^d - \sum_{i=0}^M a_i f_{i-1})^2$$

应相对于 a_i 为最小，则最佳最小平方特性就确定了。

D. 多次地面覆盖

关于利用多次重复的记录道的道理已经讨论了，而且已为大家所接受。下面解释一些专门术语和阐明一些基本概念。

多次地面覆盖方法

(1) 单边放炮方法（多用于海洋数据）

x = 震源位置； o = 接收点位置

```

      x o o o o o o o ...
    x o o o o o o o ...
  x o o o o o o o ...
    ...
    |←s→|
  
```

基本距离是组合接收点距 S 。

(2) 中间放炮排列

```

      |←s→|
    ... o o o x o o o ...
    ... o o o x o o o ...
    ... o o o x o o o ...
      ...
      :
  
```

重复记录道需要自动处理。一个24道电缆就像是重复观测24次。某些公司还讨论过应用1000道的观测。

(3) 四种基本的选排

共炮点选排

共接收点选排

共炮检距选排（单次覆盖）

共反射点（共深度点，共地面点）选排

E. 迭加

下面以图解形式（图1-7、1-8）表示一次波经过合适的时差校正之后的地震记录的信息内容。在共深度点选排的情况下，经过迭加后，一次反射波明显加强，数据的其它成分受到压制。

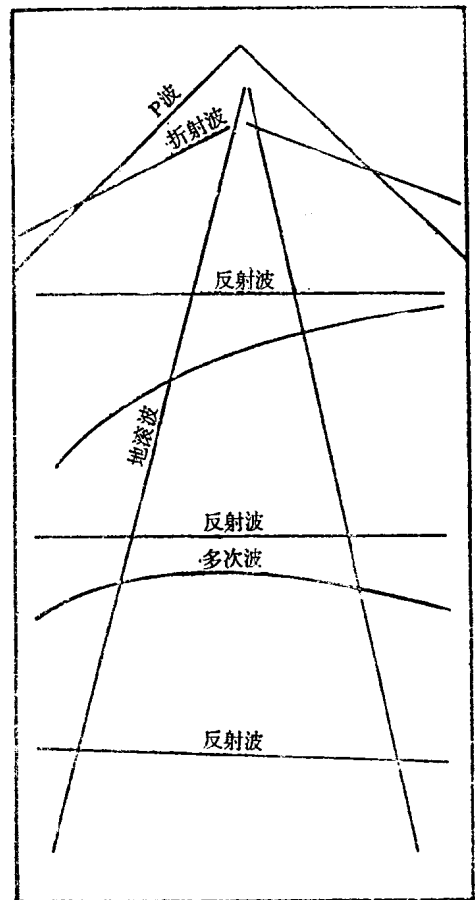


图 1-7 地震记录同相轴

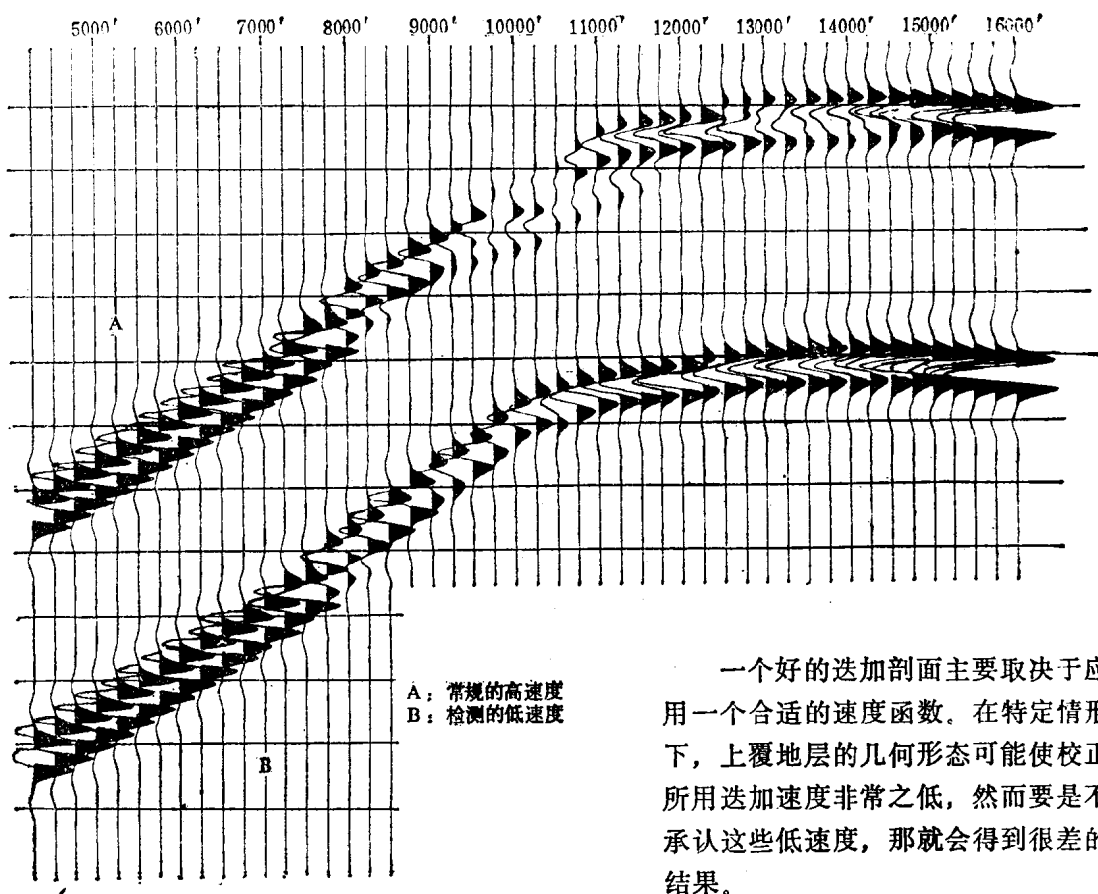


图 1-8 六次迭加的比较

一个好的迭加剖面主要取决于应用一个合适的速度函数。在特定情形下，上覆地层的几何形态可能使校正所用迭加速度非常之低，然而要是不承认这些低速度，那就会得到很差的结果。

让我们讨论一下与迭加有关的一些基本的考虑：

共地面点迭加和迭加剖面

- (1) 应用共地面点选排，目的是为估计垂直显示的零偏移距平面。
- (2) 零偏移距的垂直剖面内，波前近似于圆而不是椭圆。
- (3) 通过迭加处理可以提高一次波的信噪比，并且由于多次波相干性很差而受到压制。
- (4) 迭加需要已知一次波的速度（如时差方程式中的均方根速度）。
- (5) 关于迭加和测定速度的模型要求具备下列几点：
 - a. 在最大炮检距范围内要求反射界面是线性的。
 - b. 对于每一个共地面点 (CGP) 选排而言，震源和接收点位置应在同一水平面上，并且在偏移距范围内界面沿横向是均匀的。
 - c. 在共地面点 (CGP) 选排内，反射波轨迹为双曲线。

图1-9、图1-10两个剖面图说明由于迭加而使资料质量和波的连续性都得到改善。比较一下单道近记录道剖面与48次覆盖剖面，注意，对于特定界面几何形态，进行迭加产生了某种“上拱”和其他特征，对这些现象需要细致地理解迭加剖面的限制，以便进行正确解释。

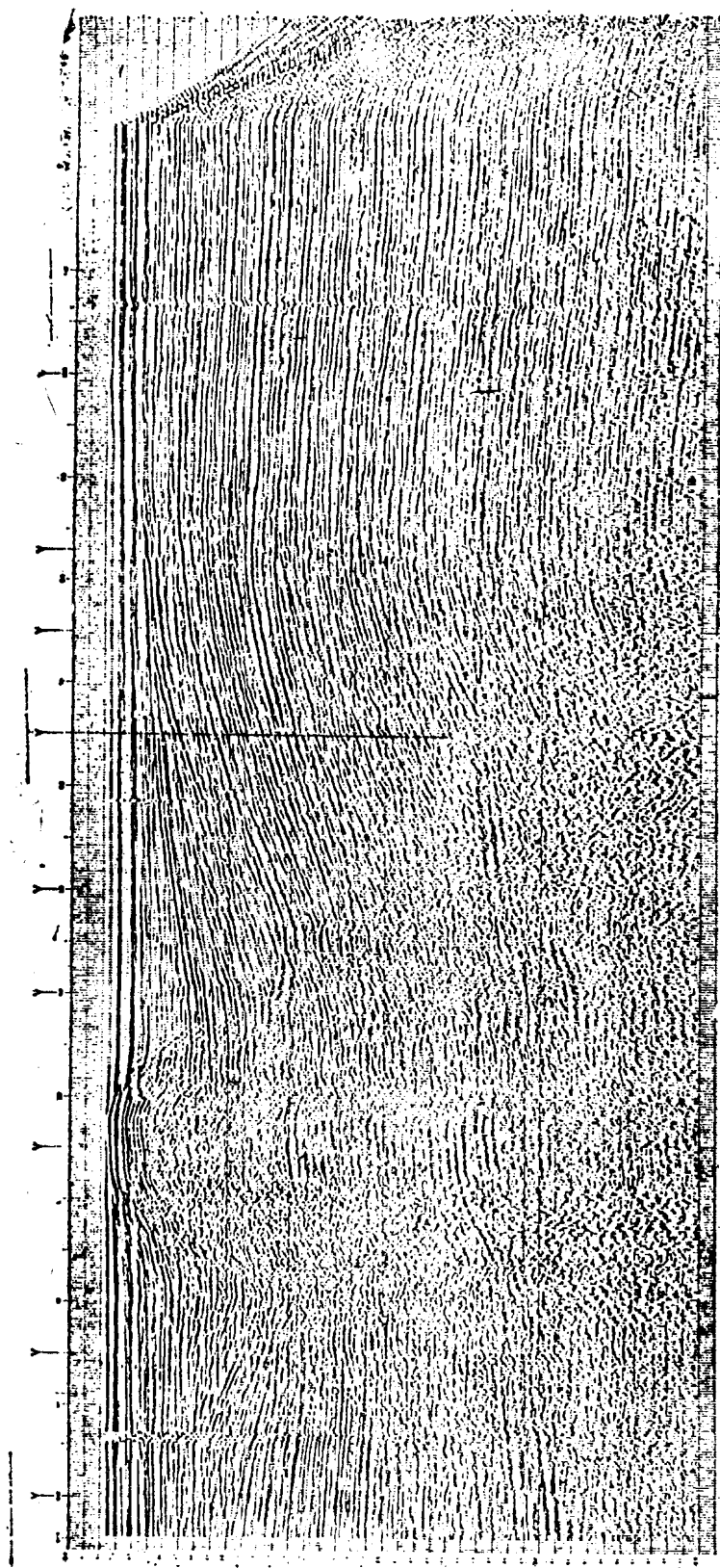


图 1-9 近记录道地震剖面

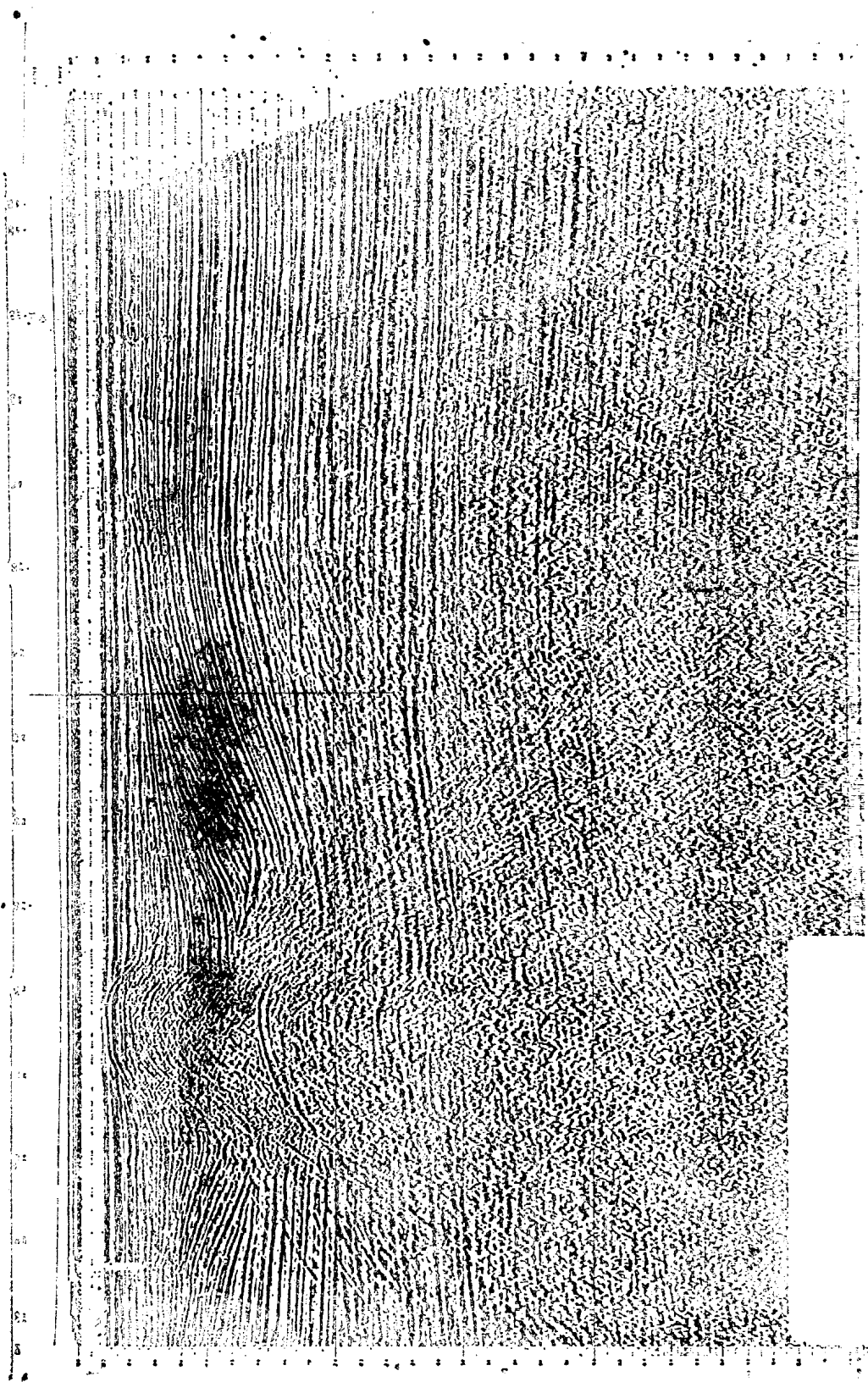


图 1-10 48次覆盖剖面

II. 静校正

A. 静态时移的起源

地表附近引起的延迟已经由于它会妨碍地震剖面的解释而引起注意（图1-11）。下面对延迟的起源提出一个简单的解释，它们在地震数据里的表达方式及一些已经非常有效地校正它们的计算方法。

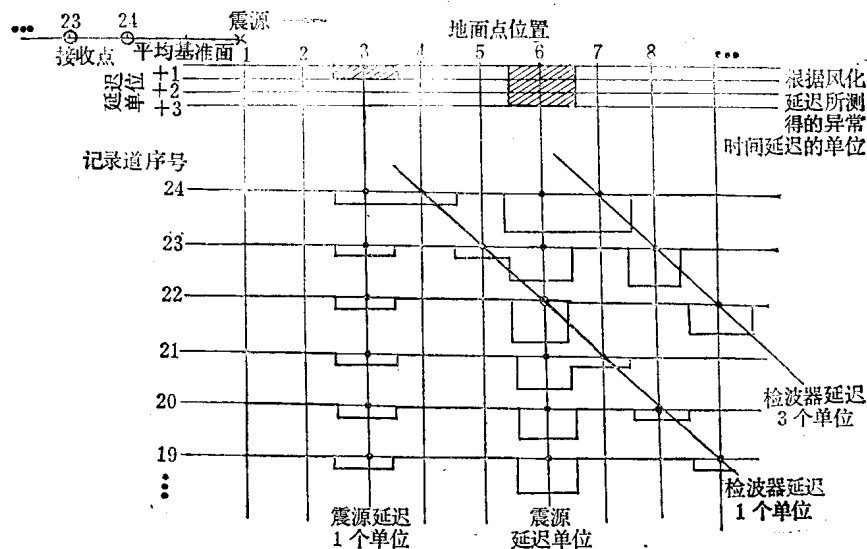


图 1-11 静态时间延迟为地面点位置及道的函数

延迟是由地表风化层、地下潜伏河道及类似的现象所造成的，这些就是必须测定的校正量。虽然它们都是显而易见的，但确定这些延迟却是很困难的。这些延迟的存在将使迭加和确定速度时的假设条件不能成立。

B. 在多次地面覆盖选排中的静态时移（图1-12、1-13、1-14）

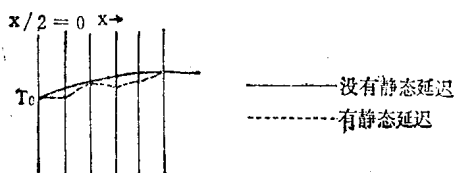


图 1-12 共炮点选排

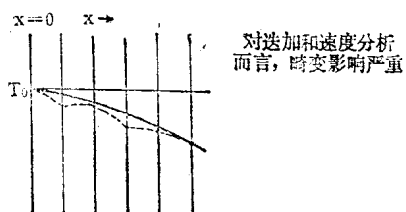


图 1-13 共地面点选排

要注意，在共炮点平面内，任何记录道的比较都是延迟时间与震源位置无关。

C. 计算机测定时移的方法

(1) 尽可能的对数据作精确的时差校正，所有选排内的时距曲线可认为近似于线性。

(2) 然后将任意选排的记录道逐一相对移动，并且测定它们的相干性，相干的极大值就表示了二个记录道之间的相对时移。

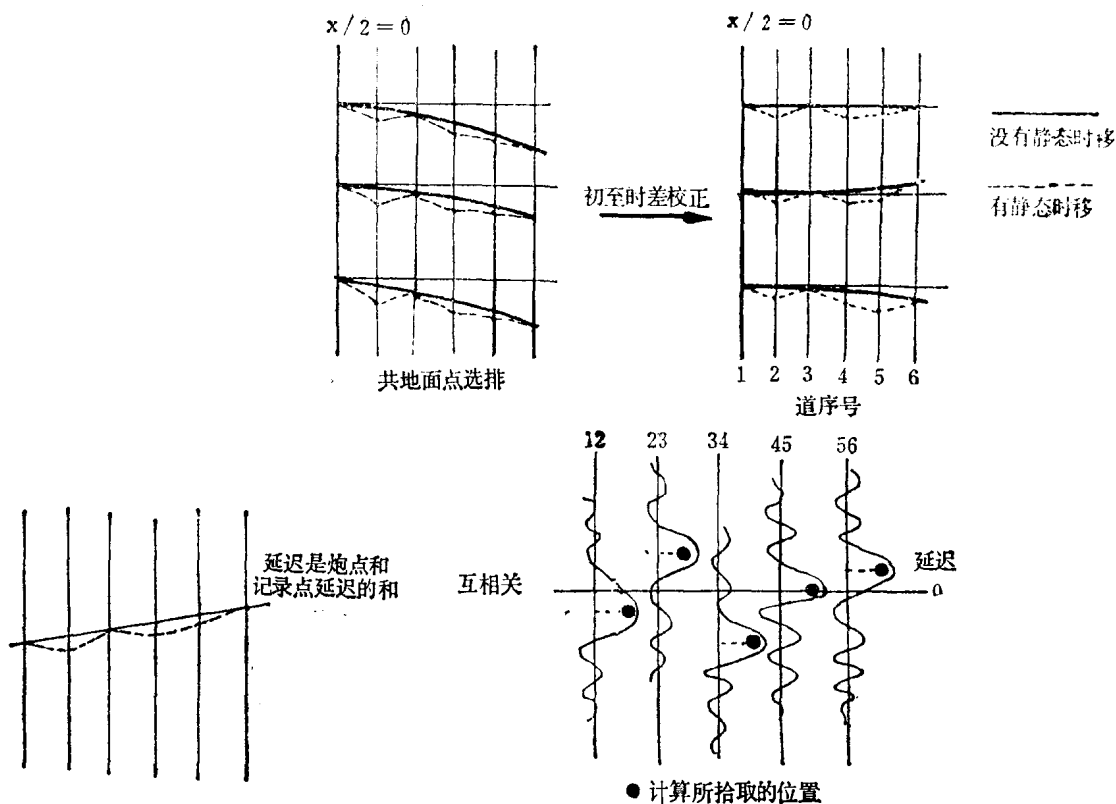


图 1-14 共偏移距平面（垂视图）

图 1-15

在一个选排内,到达时延迟的起因一览表

	时差校正		静态延迟	
	速度	倾角	震源	接收点
共炮点选排	大	大	无	大
共接收点选排	大	大	大	无
共地面点选排	大	小	大	大
共偏移距选排	小	大	大	大

(3) 测量时移必须从一个选排到另一个选排进行调节。

(4) 计算机要保存所有选排的所有记录道。并且逐道测定记录道之间的相干性。

(5) 例子:

如取记录道 3 作为一个标准, 则其他记录道的相对延迟就可测定出来 (图1-15)。

(6) 在静态校正量是中等程度或较小的情况下, 维纳滤波可用于确定和校正记录道之间的延迟。以统计方法导出的参考记录道是由记录道求和或某些类似的运算形成的, 并且就作为维纳滤波的期望输出。解决静校正问题的滤波方法, 在叠代方法提出之后, 没有得到普遍应用。

II. 时间剖面偏移及时深转换

A. 时间剖面的主要局限性

我们总是希望地震剖面易于进行解释，特别是当地下构造不是简单的层状结构的时候。但是，地震时间剖面本身是具有一定的局限性的。下面的图（引用 Digicon 的资料）给出解释中较明显的问题，我们很快将指明答案。

(1) 传播时间与反射点或绕射点有关 (图1-16、1-17)

传播路程距离 $u = a + b$

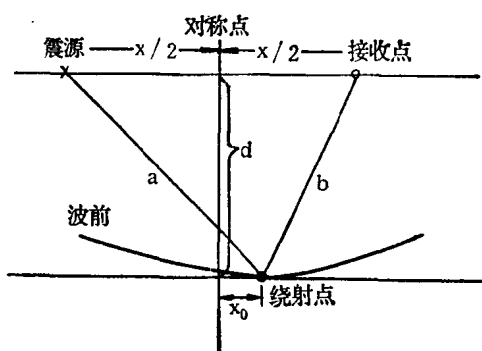


图 1-16

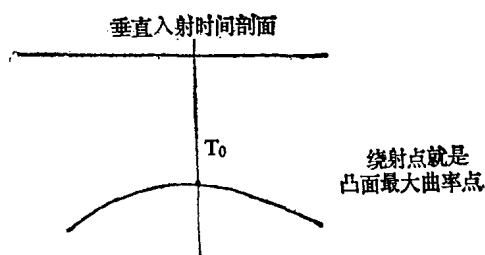


图 1-17 垂直入射时间剖面

$$u = \sqrt{d^2 + \left(\frac{x}{2} + x_0\right)^2} + \sqrt{d^2 + \left(\frac{x}{2} - x_0\right)^2}$$

$$u = \sqrt{d^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 + xx_0 + x_0^2} + \sqrt{d^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 - xx_0 + x_0^2}$$

$$T_x = \sqrt{\frac{T_0^2}{4} + \left(\frac{x}{2v}\right)^2 + \frac{xx_0 + x_0^2}{v^2}} + \sqrt{\frac{T_0^2}{4} + \left(\frac{x}{2v}\right)^2 + \frac{-xx_0 + x_0^2}{v^2}}$$

垂直入射时, $x_0 = 0$,

$$T_x = 2 \sqrt{\frac{T_0^2}{4} + \frac{x_0^2}{v^2}}$$

(2) 由于是利用垂直显示，所以在观察地下界面时，波前和极大凸率曲线将起重要的作用。

(3) 特殊的局限性

a. 在垂直显示的时间剖面中，反射等时面（波前面）比真正发生反射的界面要更加凸 (图1-18、1-19)。

b. 来自一个反射点的视界面，在垂直显示时就是极大凸率界面 (图1-20、1-21)。

B. 哈格多恩 (Hagedoorn) 定义的偏移

哈格多恩是一个先驱者，他所考虑的处理方法可以克服上面讨论的局限性，特别是在偏移的处理上，哈格多恩有很重要的贡献。下面按照哈格多恩的方法总结了四点，说明偏移的

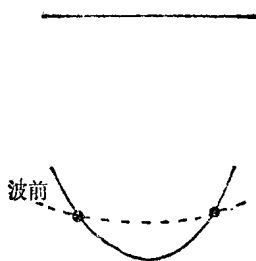


图 1-18 深度剖面的界面，在特定的偏移距时，比波前面更加凹

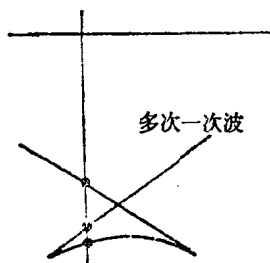


图 1-19 法线入射的垂直时间剖面

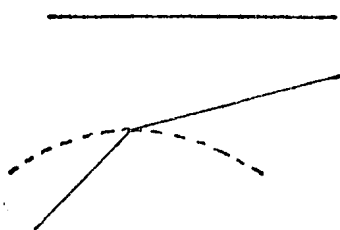


图 1-20 反射界面比极大凸率界面更凸

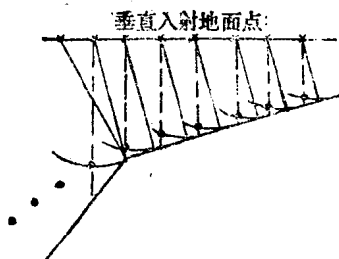


图 1-21 在时间剖面内观测的界面

实质。

(1) 偏移是用若干垂直显示点所决定的界面来确定真反射界面的方法。

(2) 偏移是将垂直显示所发现的反射面转换为真正的反射界面。

(3) 目前，偏移还不能解决前节 a 所提到的特殊限制，即多次—一次波同相轴现象，尤其在存在有限延续时间的波前面时。

(4) 偏移方法能够适当地表示反射点和比极大凸率界面更凹的界面。

C. 其他偏移方法

下面叙述的一些实现偏移的方法是应用简单的射线原理导出的。目前采用的偏移技术大部分是利用这些方法或与某些方法有关。前节讨论的限制 3 是应用射线理论的结果，所以应用这些方法中任何一个都不能解决这种限制。

(1) 哈格多恩量板方法

a. 在勘探地区的速度资料已知的情况下，可以构制两种量板：

1. 波前面或等时线图

2. 最大凸率曲线图

b. 关于反射点的量板方法

极大凸率曲线在所选点上与观测界面相切。各个记录道的有意义的等时线或波前面均相交于绕射点的真正位置上。

注意，所有波前面重叠在一起能够清楚地辨别绕射点，这就是计算机方法的基础。

c. 反射界面的量板方法

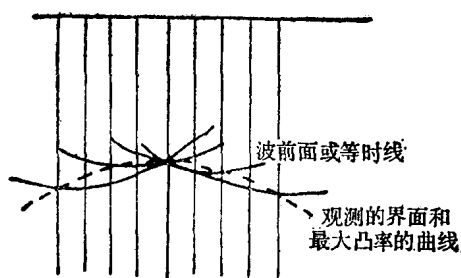


图 1-22 垂直时间剖面

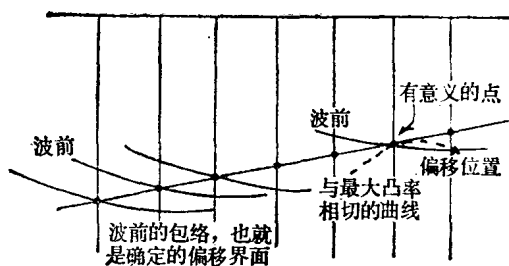


图 1-23 垂直时间剖面

d. 量板方法说明了波前面及等时线图的重要性并且在文献里已引起人们的注意。

(2) 计算机方法

a. 波前面包络

偏移及反射面的位置可按沿波前面分布的重叠能量圈定出来，只有沿着反射界面的振幅才会相干而加强。这个方法是哈格多恩方法的一部分。

1. 关于反射界面的例子 (图1-24)

2. 关于反射点的例子 (图1-25)

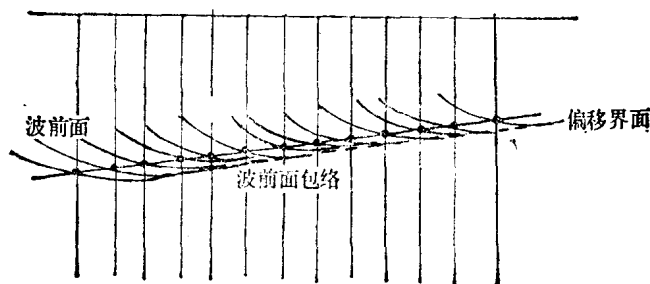


图 1-24

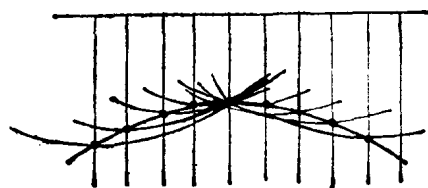


图 1-25

b. 最大凸率求和

沿最大凸率曲线作迭加,基本前提是所有反射界面都可认为是由反射点组成的,所以,在反射界面的真正位置处,迭加的能量最大。

这个方法是哈格多恩方法的另一部分,而它是上述a方法所忽略的那一部分。

c. 萨特勒格 (Sattlegger) 倾角分解

取一沿垂直方向显示的剖面,把它分解成倾角为常数的子剖面。分别偏移每一个这样的子剖面,然后将偏移后的剖面相加 (图1-26)。

倾角为常数的子剖面中的倾斜界面单元沿波前移动直至它的位置与垂直入射相符合时为止。

d. 洛克威尔 (Rockwell) 偏移叠加

洛克威尔提出的偏移迭加事实上是a中的波前“包络”方法的一种推广。在这种情况下利用了对应于所有偏移距的波前 (图1-27)。

把地面下的介质划分成时间—距离坐标的网格。将相应炮检距的特定记录道的观测振幅沿所应用的波前送入每一个网格位置。对所有炮检距上的所有记录道重复这一过程,把振