

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 一、地震勘探简单原理 .....           | 3  |
| (一) 概述 .....               | 3  |
| (二) 地震波的激发、接收和时间剖面显示 ..... | 5  |
| (三) 水平叠加剖面存在的问题 .....      | 9  |
| 1. 倾斜岩层 (斜坡) .....         | 9  |
| 2. 地层隆起 (背斜) .....         | 10 |
| 3. 地层凹陷 (向斜) .....         | 11 |
| 4. 地层尖灭或断层 .....           | 11 |
| 二、一般偏移叠加原理 .....           | 13 |
| (一) 偏移叠加 .....             | 14 |
| (二) 叠加偏移 .....             | 15 |
| (三) 存在的问题 .....            | 20 |
| 三、波动方程偏移 .....             | 21 |
| (一) 什么是波动方程 .....          | 22 |
| (二) 上行波和下行波 .....          | 25 |
| (三) 波动方程偏移原理 .....         | 27 |
| 四、波动方程偏移的应用 .....          | 29 |
| 例1 路易斯安纳海上资料 .....         | 29 |
| 例2 同一地区海上资料 .....          | 31 |

|    |               |    |
|----|---------------|----|
| 例3 | 墨西哥湾滨海资料..... | 34 |
|----|---------------|----|

|    |               |    |
|----|---------------|----|
| 例4 | 墨西哥海湾资料、..... | 35 |
|----|---------------|----|

|    |            |    |
|----|------------|----|
| 例5 | 盐丘的例子..... | 37 |
|----|------------|----|

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 例6 | 亮点剖面..... | 38 |
|----|-----------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| 五、问题、现状及远景 ..... | 39 |
|------------------|----|

|           |    |
|-----------|----|
| 思考题 ..... | 40 |
|-----------|----|

波动方程偏移是七十年代发展起来的一种地震勘探剖面成像新技术。在五十年代，地震勘探是用人工计算、画图的方法，构制地下地层构造图。这种方法需要大量的人工对比和繁杂的计算、制图，效率很低，而且对于复杂地区，它几乎是无能为力的，因为它完全失去了地震波的波形特征，如图 1 所示。

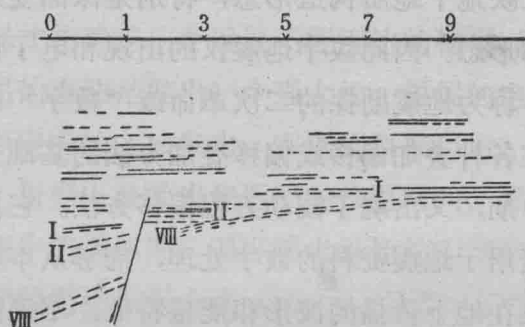


图 1 人工绘制地震剖面

六十年代出现了（模拟）磁带地震仪，并且相应采用了多次覆盖技术。这时，地震资料的整理可由磁带回放仪（模拟计算机）进行，实现了地震勘探资料处理的半自动化。地震剖面的构制亦可由磁带回放仪

以时间剖面的形式显示照相，大大提高了地震资料解释的质量，找到了许多新的油气田。磁带地震仪的出现和多次覆盖技术的采用，可称为地震勘探的一次革命。

七十年代出现了数字磁带地震仪，并且资料的整理（包括模拟磁带记录资料的整理）可以用电子数字计算机进行，大大提高了资料处理的速度和质量，许多新的信息加工方法都可用于地震资料处理之中。各种偏移方法的出现，使得地震剖面能够更正确、更客观地反映地下地质构造形态，特别是深部复杂构造的位置和形态。因此数字地震仪的出现和电子计算机的应用，称为地震勘探的二次革命或“数字”革命。

在各种叠加偏移或偏移叠加方法的基础上，七十年代中期，又出现了波动方程偏移方法。它把波动方程直接用于地震资料的数字处理，能够从本质上反映地震波在地下传播的波形和能量特征，不仅能够正确地反映地下地层构造的形态，而且有利于进行岩性对比、分析、寻找油气藏标志等，因此波动方程偏移方法一出现，就受到广大地质和地震勘探人员的重视，成为地震勘探重要的发展方向之一。

本书从一般偏移方法出发，阐明波动方程偏移原理，并举例说明其应用。

## 一、地震勘探简单原理

### (一) 概述

地震勘探是观测人工激发的地震波在地层中传播，遇到地层界面（反射界面）时返回到地面的时间和波形、能量特征，来研究地下地层构造形态和特征的一种地球物理勘探方法。它与日常遇到的各种波，如声波、电波、水面波等运动形式有着共同点。当我们认识到这些共同点，再去分析地震波的特殊点，就可以使我们深刻认识地震波的本质。

怎样才能确定一个远处不能到达的物体的距离呢？常用的方法是发出一个强大的、短促的电波，这种电波以定向的方式发出，在遇到目标以后，返回到观测站。根据电波发出和返回的往返时间，并已知电波在空气中传播速度，即可测出目标的距离和方位。这是熟知的雷达探测方法（图2）。又如，在海洋探测海底深度时，是在海水中产生一个短促声脉冲，反射体为海底，根据回声时间和已知声波在海水中传播的速度，即可算出海水的深度（见图3）。图2和图3都是以简单的射线图形画出的。

作为近似，可以认为地震反射波勘探法，是在地面附近产生一个扰动（例如井中爆炸），该扰动在地

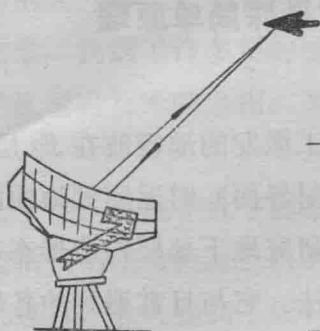


图 2 雷达探测原理

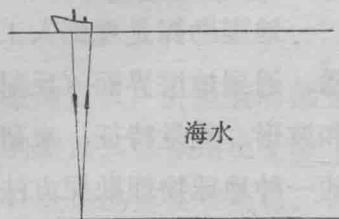


图 3 海底探测原理

壳内的地层中传播，当遇到地层的分界面时反射回来，然后测定它们从激发返回到地面的回声时间（往返时间），并已知该扰动在地层中的传播速度，即可

算出地层的深度（见图4）。

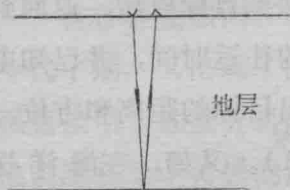


图 4 地震勘探原理

如果地震勘探如此简单，就不需要花费很大气力去学习它了。实际上由于地震波在地层中传播是很复杂的：首先，激发讯

号的特征是未知的；其次，激发的地震波在向地下四面八方传播时，碰到反射层要发生反射，一部分能量返回地面，一部分能量继续往下传播；碰到绕射点时要发生绕射；碰到某种地层界面（例如空气与地层

之间的自由界面)时还会在界面附近产生面波等等;造成地面接收记录的复杂性。地震勘探资料处理的任務就在于使地面接收到的地震记录按反射点顺序排列起来并构成图象,以正确和直观地显示地下构造形态和分析岩层特征。

## (二) 地震波的激发、接收和时间剖面显示

地震勘探有陆地勘探和海上勘探两种,它们的原理相同,工作方法类似。下面仅以陆地勘探为例进行叙述。在陆地勘探中,一般是在井中炸药爆炸。当炸药爆炸以后,要破碎周围的岩石,称为破坏圈。在破坏圈以外,岩层受到变形,产生裂隙,不再恢复到原来状态,称为塑性带。在塑性带以外,地层受到冲力,当冲力过后,它又回到原来状态,就好象一根皮筋受到拉力,当拉力除去后,又恢复到原来状态一样,所以这些远离震源的岩层区称为弹性区(见图5)。位于弹性区中的岩石可以看成是弹性体。地震勘探就是通过研究地震波在弹性体中传播(称为弹性波)

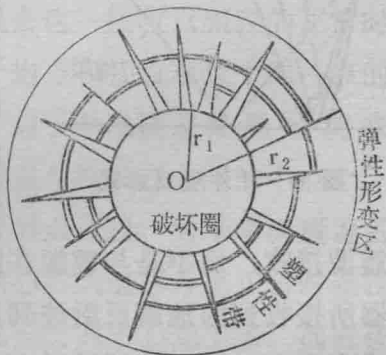


图5 爆炸对岩石的影响

的规律来研究地下地质构造的形态和特征的。

既然地震勘探接收的是弹性波，则地震波接收器（通称检波器）就应放在远离震源的地方（通常间隔为 2000 米左右），不应放在震源附近的破坏圈或塑性带内。同时，地震波激发以后，检波器接收到的不仅有反射波、绕射波，而且有直达波、面波、干扰波（如风吹草动，电源干扰等），它们互相干涉、叠加，造成了地震记录的复杂性，很难分辨出有效波。为此，在野外地震勘探中多是在远离震源处放置不止一个检波器，而是若干个（24 个或 48 个）检波器同时接收，以利于波的对比和追踪，如图 6 所示。为了提高地震记录的质量，即最大限度地突出有效波，压制干扰

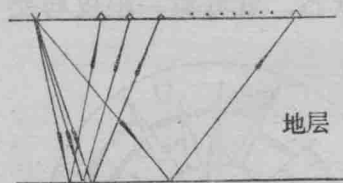


图 6 野外观测方式

波，采用了多次覆盖技术。即在一个地面中心点，用不同炮检距多次重复观测记录，如图 7 所示。不论单次观测或多次覆盖观测系统，地震检波器总是远离

震源接收，而不是与震源在同一点上。因此地震检波器所接收到的地震反射波到达时间，并不是地震波的垂直回声时间。地下反射点也不是在激发点或接收点的正下方，而是在地面炮点和接收点之间中点的正下

方（对水平地层而言），参见图 7。各检波器接收到的反射波到达时间与地震波的垂直回声时间之间存在

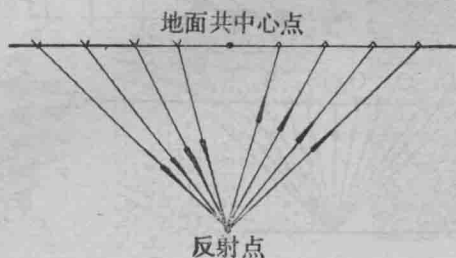


图 7 野外多次覆盖观测示意

一定的时间差值，这个时间差值称为正常时差。如图 8 所示，正常时差的大小同炮点与接收点之间的距离有关。这个距离越大，正常时差也越大。如果从记录到的反射波到达时间中减去这一接收点相应的正常时差值，就可以得到相当于炮点和接收点位于同一点的零炮检距垂直回声时间。对于单次覆盖观测系统来说，可以把它直接放到炮点与检波点之间的中点上，它表示了这点以下的各反射点位置。对于多次覆盖系统来说，可以把具有共中心点的道都作完正常时差校正以后叠加起来再放到它们的共中心点上去。前者按各中心点排列起来得到的剖面称为时间剖面，后者按各共中心点顺序排列起来得到的剖面称为水平叠加时

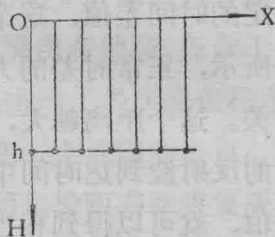
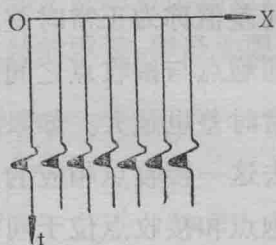
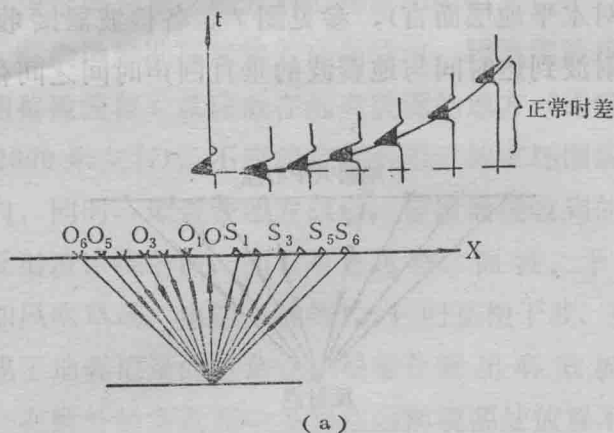


图 8 水平界面水平叠加剖面显示

间剖面。这两者都反映了在这条剖面上的地下地层构造形态，不过后者因为作了多次叠加，所以加强了有效波，削弱了干扰波，得到的时间剖面更为清晰。时间剖面通常以变面积的方式显示，如图 9 所示。

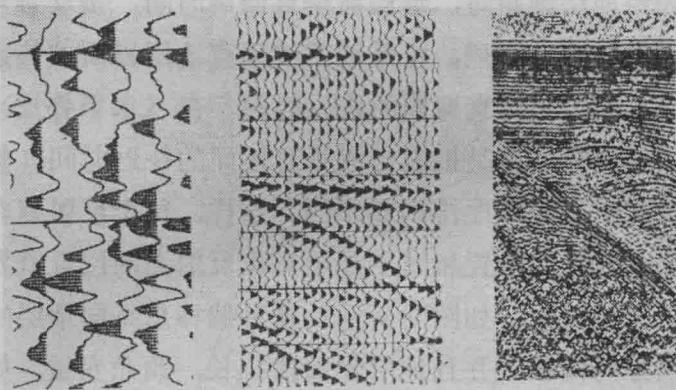


图 9 时间剖面示意

变面积显示。自左至右信息密度增加，构成一个时间剖面，它表示地下一个剖面，垂向轴为地震波沿反射界面法线方向的往返旅行时

### (三) 水平叠加剖面存在的问题

多次覆盖记录经过正常时差校正，并按共中心点道集叠加起来，按共中心点顺序排列起来以后得到的水平叠加剖面显示，虽然能够反映出地下构造的形态，但它是很不精确的。它只能如实反映水平层（对于大多数沉积岩层是如此）的形态，如图 8 所示，但对起伏较大或深部复杂地质构造，则往往不能如实地反映地下构造形态，甚至加以歪曲，造成错误的解释判断。下面看几个例子。

#### 1. 倾斜岩层（斜坡）

当地层倾斜时，地震波垂直回声时间，按反射角等于入射角的原理，应是地震波垂直地层界面的往返时间，而不是垂直地面的往返时间。在（水平叠加）时间剖面中，却是把它当成垂直地面的往返时间，然后按共中心点顺序排列起来的。这样，每个反射点在时间剖面上的位置相对于地层真正反射点的位置就发生了“偏移”，如图9所示。这种偏移总是向地层的下倾方向偏移。并且地层界面段拉长，倾角变缓，如图10所示。地层界面的位置、长度和陡度都发生了变化。愈到深层，这种偏移愈大。

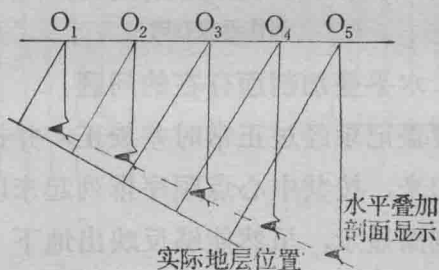


图 10 倾斜界面时，实际地层位置与时间剖面显示

## 2. 地层隆起（背斜）

地层隆起可近似看作两个不同倾向的倾斜岩层组成，如图11（a）。在这种情况下，水平叠加剖面上显示出的同相轴，由于在隆起两侧都向实际地层的下倾

方向偏移，并且界面段相对拉长，倾角变缓，造成时间剖面同相轴在构造顶部的“空白区”。这时构造形态无法辨认，参见图11 (b)。愈到深层，这个空白区愈大。

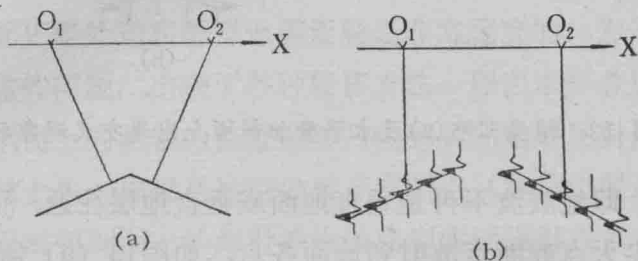


图 11 地层隆起(a)及水平叠加剖面上出现空白区(b)

### 3. 地层凹陷（向斜）

地层凹陷可近似看作另两个倾向不同的倾斜岩层组成，如图12 (a)。在这种情况下，水平叠加时间剖面显示，由于两侧都向下倾方向偏移，造成了时间剖面同相轴的交叉，完全歪曲了原构造形态，见图 12 (b)。愈到深层，这种交叉现象愈严重。当地层深度大于地层凹陷的曲率半径时，一个凹陷甚至显示成一个隆起，造成错误的解释判断。

### 4. 地层尖灭或断层

在地层尖灭点或断点处，地震波会发生绕射现

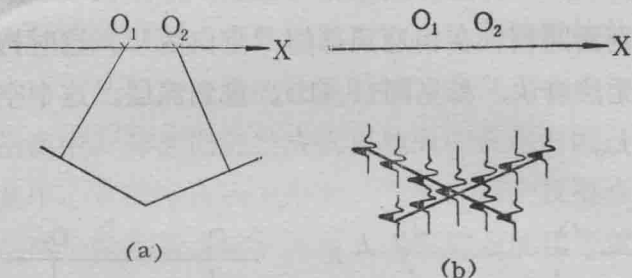


图 12 地层凹陷(a)及水平叠加剖面上出现交叉现象(b)

象，即地震波不再是垂直地面或垂直地层往返，而是从尖灭点或断点散射到地面各点，如图13 (a) 所示。这时，在时间剖面显示上，地下一个绕射点，不再是一个点，而是一条绕射双曲线，如图 13 (b) 所示。

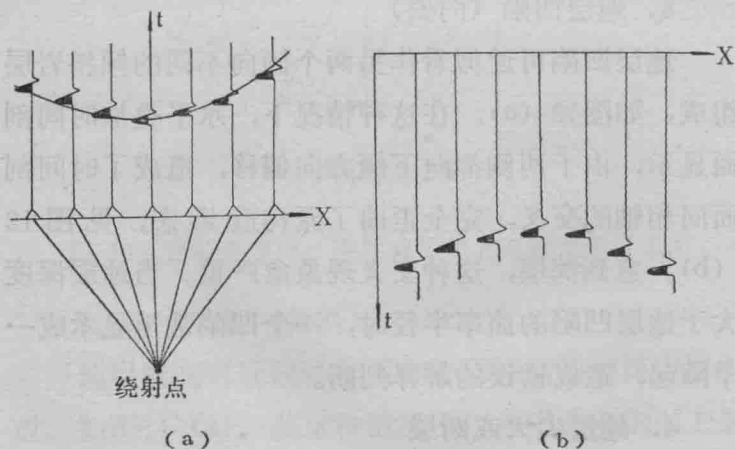


图 13 一个绕射点(a)及其水平叠加时间剖面显示(b)

这对于尖灭点来讲，就模糊了尖灭点；对于断点来讲，就模糊了断点。对于一些小断层，则往往发现不了，甚至造成错误的解释。

以上这些都是水平叠加时间剖面不可避免出现的问题。它往往造成解释中的错误，以致使打井失误。因此正确处理和解释地震资料是非常重要的。为了解决这些问题，出现了各种偏移方法，即把水平叠加时间剖面上同相轴的位置偏移归位到实际地层反射段的位置上去，如果是地层尖灭点或断点（统称绕射点），则把时间剖面上的绕射波收敛回到实际绕射点上去，怎样才能作到这点呢？下面我们叙述达到这一目的的方法——偏移叠加或叠加偏移。

## 二、一般偏移叠加原理

一般偏移叠加是根据绕射积分（或绕射叠加）原理构制地下反射层的一种方法。使用一般偏移叠加方法可以正确反映地下构造形态，使反射段正确归位，绕射点自动收敛，但不能如实反映地下岩层中地震波的波形和能量，也就是说，不能如实反映地下岩层的岩性特征。下面叙述一般偏移叠加的原理。

一般偏移叠加方法是把地壳内岩层的所有质点都看成是可能的绕射点，在地面上的检波器都可以接收

到来自地下任一质点的绕射波。地震记录上某一时刻到达的反射波或绕射波是地下所有可能绕射的质点在这一时间到达的绕射波能量的总和。这就是地震勘探中所谓的绕射积分或绕射叠加观点。根据这一观点，可以有两种偏移叠加方法。

### (一) 偏移叠加

我们可以把地下岩层分成许多网格，网格的宽度为检波器间距的一半，网格的长度通常为 20 或 40 毫秒。然后计算每一网格上的质点可能产生的绕射波，从激发时间开始到达各检波器的回声时间，再从这个检波器接收到的记录道上取下这个时间的记录振幅值，并把它们叠加起来放到这个网格点上，作为这个质点的地震波振幅值，如图14所示。每个网格点都这样作（通常是从浅到深，再从左向右作），作完以后就得到一张新的时间剖面。显然，如果这个质点不是绕射点，它就不产生绕射波，地面上也就接收不到来自这一点的绕射能量，所以把它们的绕射能量叠加到这一点，就得不到一个强振幅值。如果地下某质点确是绕射点，则它就产生绕射波，地面上的检波器就可以接收到来自这一点的绕射能量，把各检波器接收到的来自这一点的绕射能量叠加在一起再放到这一点上，这一点就有一个强振幅值。这样，强振幅值就归位到了

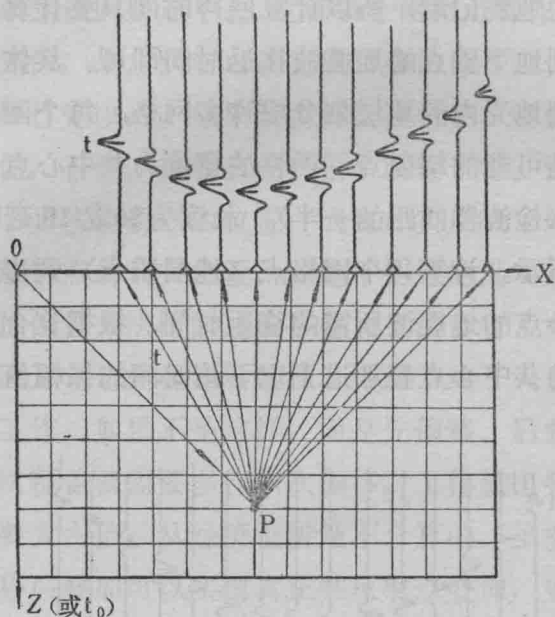


图 14 偏移叠加方法

真正的绕射点上。于是反射段归位到了它真实的位置，绕射波收敛到了绕射点上，完成了整个偏移叠加工作。它正确反映了地下构造的真实形态。

## (二) 叠加偏移

上述偏移叠加方法是在作水平叠加以前作，即炮检距不等于零的情况。如果地震剖面已作过水平叠加，即各共中心点道集已作过正常时差校正并叠加在一起，那末各个共中心点的第零记录道已相当于零炮