

美国勘探地球物理学家协会进修丛书

地球物理综合解释

T.R. 莱夫赫, Fred.J. 希尔特曼, T.L. 戴维斯 著

石油工业出版社

32315

美国勘探地球物理学家协会进修丛书

地球物理综合解释

T.R.莱夫赫 · Fred.J.希尔特曼 T.L.戴维斯 著

徐怀大 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书紧紧围绕着石油勘探中必须利用地球物理资料进行综合解释,以精确地再现地下地质构造和地层情况这一主题而逐步展开。在简要叙述了地震、重力、磁法勘探资料解释原理的基础上,通过大量实例具体分析了各种地质条件下地球物理资料的特征 并给出了十大类126个地震模型和11个重力模型。

这套丛书可作为一般地球物理勘探及地质人员的培训教材,也可供有关院校师生参考。

T.R. LaFehr, Fred J. Hiltermann, Thomas L. Davis
Integrated Geophysical Interpretations
Society of Exploration Geophysicists

美国勘探地球物理学家协会进修丛书

地球物理综合解释

T.R. 莱夫赫 Fred. J. 希尔特曼 T.L. 戴维斯 著

徐怀大 译

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16开本 18³/₄ 印张 449千字 印1—2.200

1987年11月北京第1版 1987年11月北京第1次印刷

书号: 15037·2799 定价: 3.50元

ISBN7-5021-0175-6/TE·173

目 录

绪言	T. R. LaFehr (1)
一、地震解释原理	T. L. Davis (3)
1. 引言	(3)
2. 地震勘探回顾	(3)
3. 构造解释工具	(9)
4. 构造解释应用	(17)
5. 地层解释的工具	(30)
6. 地层学解释的应用——地层特征的地震表现	(32)
7. 总结	(32)
二、地震解释实例	(39)
1. 阿尔伯达州勒杜克礁周围的速度变化	T. L. Davis (39)
2. 侧向挤压对南阿尔伯达地震速度的影响	T. L. Davis (56)
3. 科罗拉多州戈尔登北部邻近地区科罗拉多弗朗特岭翼部变形带的地震研究	T. L. Davis; T. K. Young (62)
4. 科罗拉多州丹佛盆地晚白垩世生长断层的地层和地震证据	R. J. Weimer; T. L. Davis (74)
5. 基岩断层的复活运动, 科罗拉多及其邻近地区的一种构造样式	R. J. Weimer (94)
6. 科罗拉多中南部圣路易斯谷北部地震反射资料解释	T. L. Davis; Dean Stoughton (109)
7. 反射地震学在密西西比系碳酸盐岩孔隙度和碳氢直接检测上的应用	T. L. Davis (116)
8. 落基山区白垩系地震地层相分析	T. L. Davis (123)
9. 相模式18, 地震地层相模式	T. L. Davis (130)
三、地震解释的补充材料	Fred J. Hiltermann, Luh Liang (143)
1. 地震反射的基本概念、典型地震模型和实例	(143)
2. 地震模型	(164)
四、重力勘探与磁力勘探资料的解释	T. R. LaFehr (251)
1. 重力勘探与磁力勘探的解释基础	(251)
2. 磁力勘探的解释基础	(278)
3. 重力模型	(289)

绪 言

T. R. LaFehr

综 合 地 球 物 理 解 释

教授这个短期课程的目的在于帮助人们从地球物理资料中获得更多的地质信息。

绪言中简要地分析一下我们测量的地球物理响应和我们希望达到的地质分辨力，绪言之后，Tom Davis 将讨论地震解释人员的作用。他将摆出一些人们可能熟悉的问题。然后提出反射地震资料的某些限制和用途。Tom 将强调这些问题的地质特点，并将举出一些实例来阐明他的观点。

之后，Fred Hilterman 将指出地震模型的重要性，以帮助把 Tom 所介绍的地震资料的限制和用途定量化。Fred 将讨论采集、处理和解释的综合及如何根据地震偏移属性评价岩性。他将利用一些最新出现的地震模型实例对他的提法作出结论。

接下来，我将依照有关的岩石性质和几何考虑来讨论重力与磁力模型的应用和限制。

然后，我们希望通过一个非正式的小组讨论把焦点集中在综合地球物理的必要性上，这个讨论同时涉及到我们三个人。作为地震解释人员的 Tom 将是这次讨论的主席。他将利用他的三个地质实例（一个礁，一个断层和一个盐丘的例子），这三个实例取自大家熟悉的由 Paul Tucker 和 Howard Yorston 所写的美国勘探地球物理家协会专题文献第 2 号“地震解释中的陷阱”。然后 Fred 和我将提出使用模型的意见，以帮助估价和防止失误，并且希望能有助于提出一个改进的解释意见。当然是要邀请读者参加的。

对不同的人来说综合地球物理意味着不同的东西。对有些人来讲，它仅仅是在地震剖面上面（或者下面）显示重力和磁力记录道的问题。对另一些人来说，则要求更复杂的多重转换的软件系统。虽然我们在这些方面有兴趣，但是我们的主攻目标是使地质问题指示我们能够把综合过程定量化的程度。因为模型是一种重要的方法，我们通过它进行综合，所以这本教材必须把部分精力集中于地震、重力和磁力领域的专家们已经提出的模型的细节上。

希望在解决共同地质问题的大框框内我们这些地球物理分支的讨论能够对你们的工作有所帮助。

分析解释的必要条件

(1) 岩石性质

- ①密度差；
- ②磁化率差；
- ③速度差；
- ④声阻抗差；

- ⑤电导率差;
- ⑥剩磁。
- (2) 地球物理资料覆盖情况
 - ①线距或网距;
 - ②沿测线取样率。
- (3) 野外测量精度
 - ①地球物理测量误差;
 - ②定位误差;
 - ③时间误差。
- (4) 几何特性
 - ①深度;
 - ②大小;
 - ③厚度;
 - ④水平伸展情况。
- (5) 不定性

一、地震解释原理

T. L. Davis

1. 引言

反射资料的应用目前已经远远超出我们的最初目标，“勾出”某一特定层位图件的正常构造推断。我们现在所涉及的是证实生油岩潜力、生油岩成熟度、压实程度、成岩作用、压力机制、裂缝系统、构造形成时间、古地理、古构造、岩相、地层成因单位、不整合、渗透性分带等等问题。

地震解释的关键在于识别异常。在异常识别中所用的特性包括速度、反射结构、反射特征、极性、时间或位置等。研究深度基本上随财力物力而定，即随资金和人力而定。具体说来地震解释应当包括通过详细的油田区的研究提出成熟盆地中的构造和地层模型。这些模型一经提出，接着就是应用。随着取得越来越多的资料，我们的模型工作必须不断地改进。

涉及特定油田和盆地的实例研究对于勘探人员特别有帮助。解释工作需依仗于经验和结合类比。这份教材将着重于实例，以说明各种特征的相似性以及各种概念在世界多种地方的应用。有些人可能把这个课程和教材看作是一门区域地质课程，而不是地震解释。对于这种区域地质的成分，作者不作辩护。

2. 地震勘探回顾

地震勘探包括三个阶段：资料采集、资料处理和解释。地震资料好坏的基础是产生于它的野外工作阶段。正确的野外技术（图1-1）意味着野外工作方法 with 仪器设备的某种组合，这种组合能够最好地消除噪声和提高一次反射的能量。地震勘探上的花费每年大约30亿美元，其中绝大部分投入到地震资料采集上。因此，我们希望在野外尽可能地获得最好质量的资料，因为它是我们花大钱的地方。

地震资料处理程序取决于手头的地球物理资料和地质目的。资料处理的基础涉及到所采集资料的多重性的应用（图1-2）和迭加过程（图1-3），以提高地震方法的地质分辨力。处理涉及到把记录野外资料的磁带转换成一种按道序排列的可兼容于机器的形式以及按照位置、振幅、频率和数字地震信号特征等转换成记录道资料的后续处理。

解释涉及到把地震信息翻译成地质语言。除非原始素材得到应有的解释，否则在资料采集和处理上花大钱是不值得的。一个地震解释人员必须根据经验去运用必要的已知资料。

反射地震记录是一种地质工具。反射地震法的最终成果是一张地质横剖面。作为一种地质工具的反射地震法的资料是某些因素的函数。这些因素是和地震勘探的主要方面，即采集、处理和解释相伴生的。这三个阶段中每一阶段都可能发生很多事情，搞糟了我们对

反射资料的地质解释。一个解释人员如果他的确是在作一种有理智的、把地震资料转换成冷酷的地质事实的工作时，他就必须能够“全面推挡”。因此，解释人员不仅理解野外资料采集、在处理方面需是个奇才，而且还应该对地质过程有一个通盘的了解。对地质过程的理解以及了解它们如何影响到地震资料，往往能够识别一个解释人员是否成熟。这是因

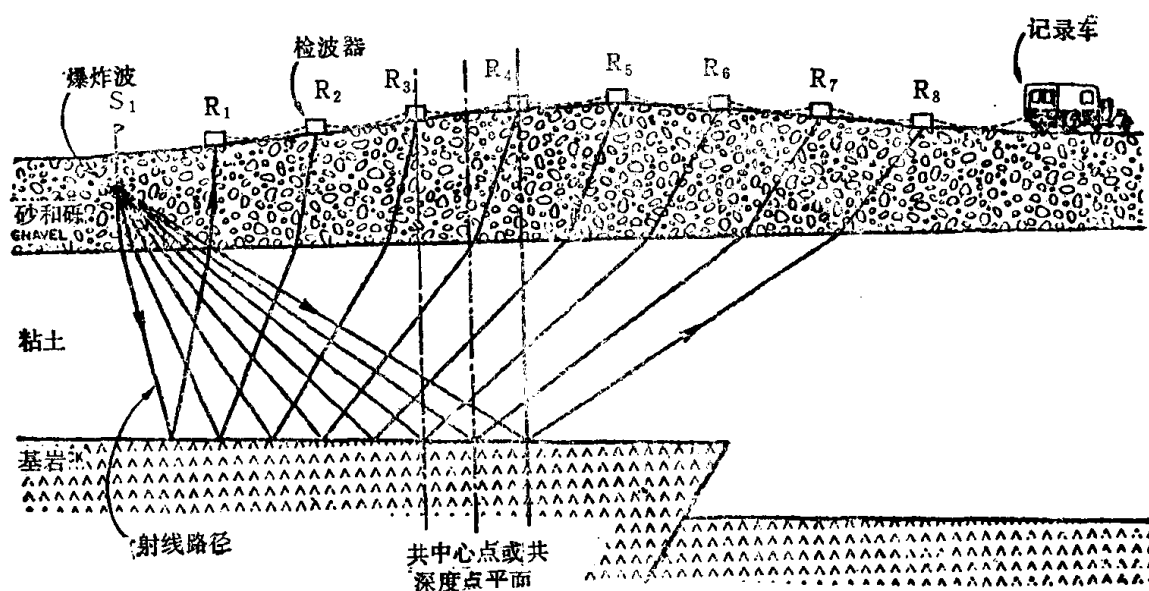


图 1-1 地震反射概念

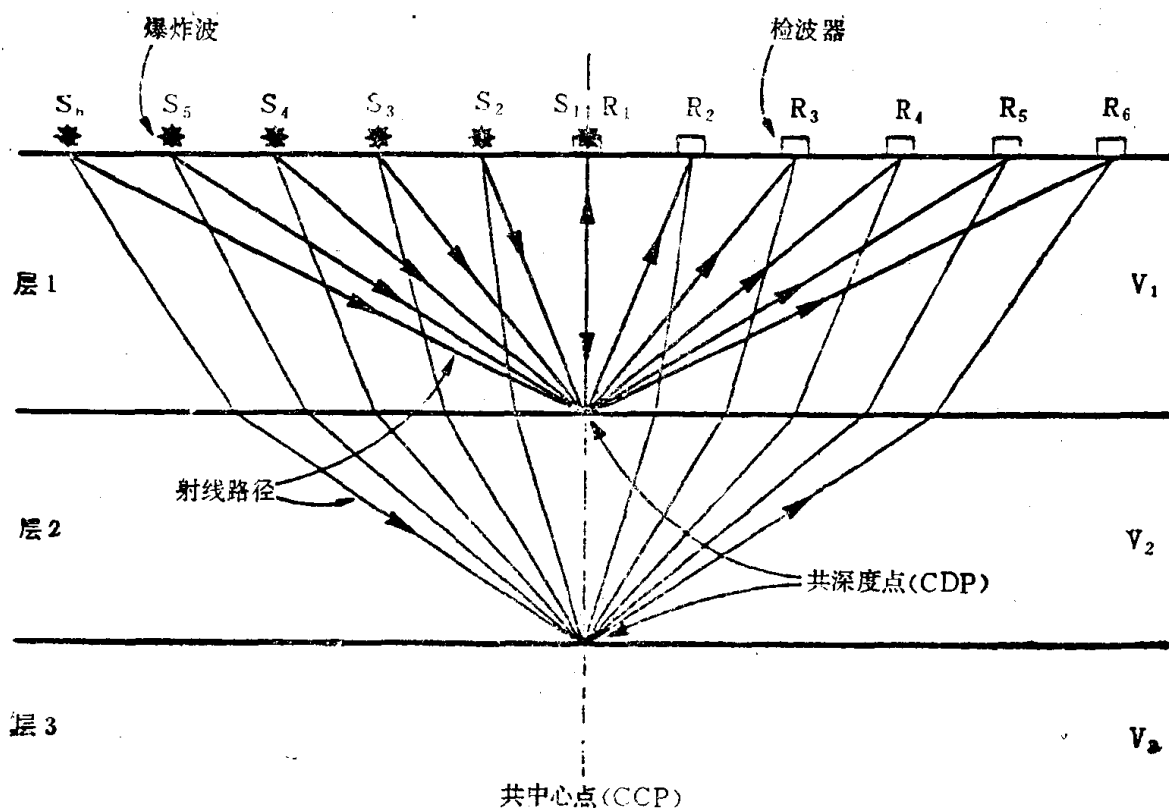


图 1-2 共深度点爆炸

V_1 是纵波在层1中的速度，此处是 $V_1 > V_2 > V_3$ 情况下的射线路径。

为把地震资料转换成地质信息的最后一个阶段往往具有极大的灵活性。就是说，采集和处理涉及到基础资料的操作。解释则是涉及把这些资料转变成抽象的地质术语。这种转换和转换的质量是每个解释人员的能力、诚实、某种情况下也是他的想象力的函数。因此，这个魔术式写来是：

地质情况 + 地震资料 + 巧妙的解释 = 地质学

然而，失误可能打破这个公式的平衡。

地震波速度在地下的变化形成了地震勘探的全部基础（图1-4）。速度形成了解释过

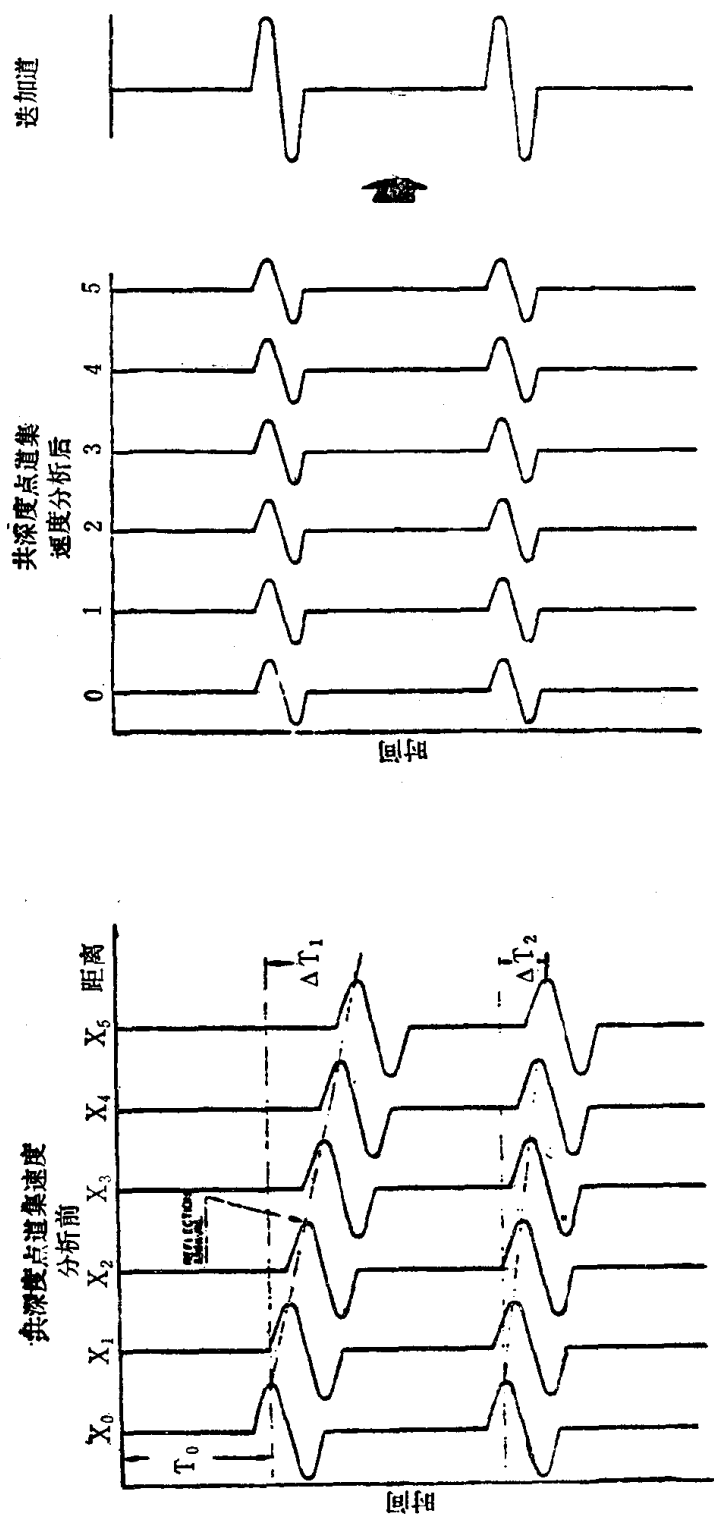


图 1-3 反射速度分析和迭加过程

程的关键。它也是地震—地质转换中众多失误的源泉。速度资料得自井中的直接测量，或者得自地震反射资料本身和它固有的、可供利用的信息的丰富程度。

速度资料可以编制合成地震记录和模型。人工合成地震记录（图1-5）用来联系地震资料和井中信息。它们也可以了解反射的组成和地震法的分辨能力。超越人工合成地震记录一步就是地震模型（图1-6）。地震模型是一种解释形式。它可以使我们把实际资料与人工合成的模型资料相匹配，从而对手头的问题给出一个反演解。图1-6和图1-7之间的比较，说明了一个人可以仅仅根据地震信息预测地下存在着一个气藏。图1-7中的地震异常是一种直接的烃类显示标志。自六十年代后期以来，地震方法从一种完全经验性地间接烃类检测手段演化为一种直接的烃类检测手段。工业中使用并且在图1-7中描绘的烃类指标的重要解释标志是：

- (a)高振幅反射（亮点）；
- (b)流体（气—水）界面同相轴；
- (c)含气带附近的极性反转；
- (d)含气带下方的反射时间下弯；
- (e)含气带下方的同相轴和频率的衰减，引起气藏下面的一个阴影带。

在查清地下构造细节上，反射地震法特别令人信服。因此，构造上的详细查找，早就作为一种勘探工具而成为反射地震法的基本功能。理由是与石油捕集相伴生的构造特征，常常可以在适当环境下加以证实。就此而言，在正常的构造机制下，我们现在还可以找出直接的烃类指标。在解释人员心目中有了某些基本模式，他就有可能预测构造样式，并从而执行他的解释，但是当他解释地震资料时，必须尽可能多地使用地质资料。地球物理学家们仅仅在勘探目的层或者层段上作出构造图的日子已经一去不复返了。今天，把烃类圈闭区分为纯构造的或者纯地层类别的概念，从一个勘探人员的观点来说过时了。地震解释人员必须准备尽可能多地从这种资料中榨出信息以评价整个地质机制。然而，这种说法决不意味着在任何情况下地震技术对石油勘探和地质研究是一种万应灵药。一种综合的途径是有活力的，而在某些情况下是绝对重要的。这样一种综合方法涉及到勘探人员和研究人员，他们乐于把地球物理资料与地质信息结合起来，以达到精确的重现地下地质情况。

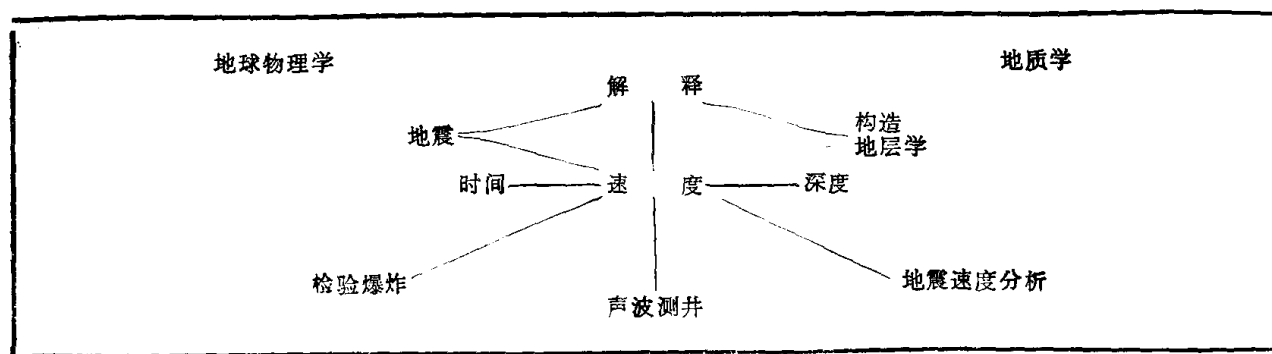


图 1-4 地震速度的作用

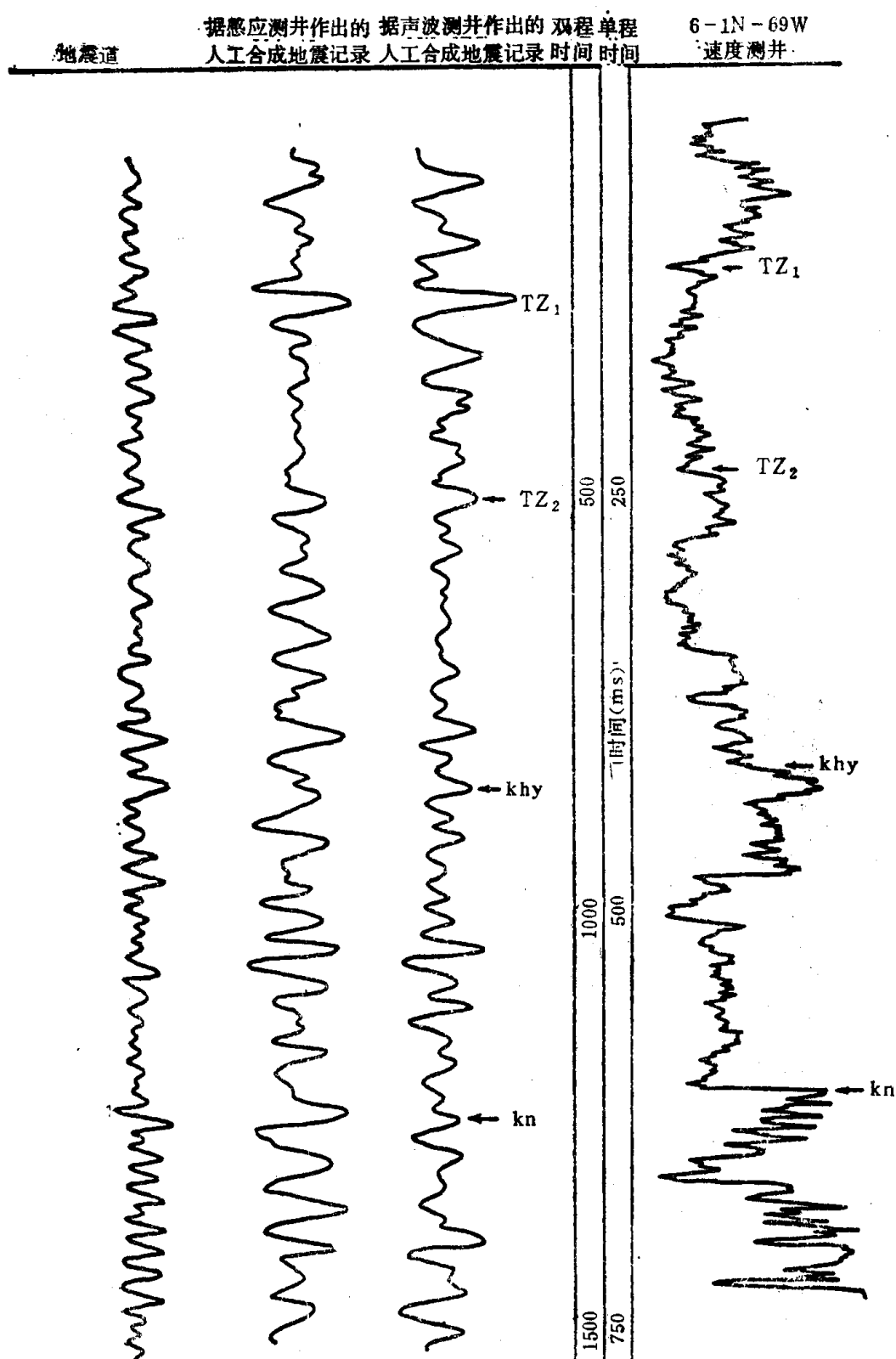


图 1-5 人工合成地震记录

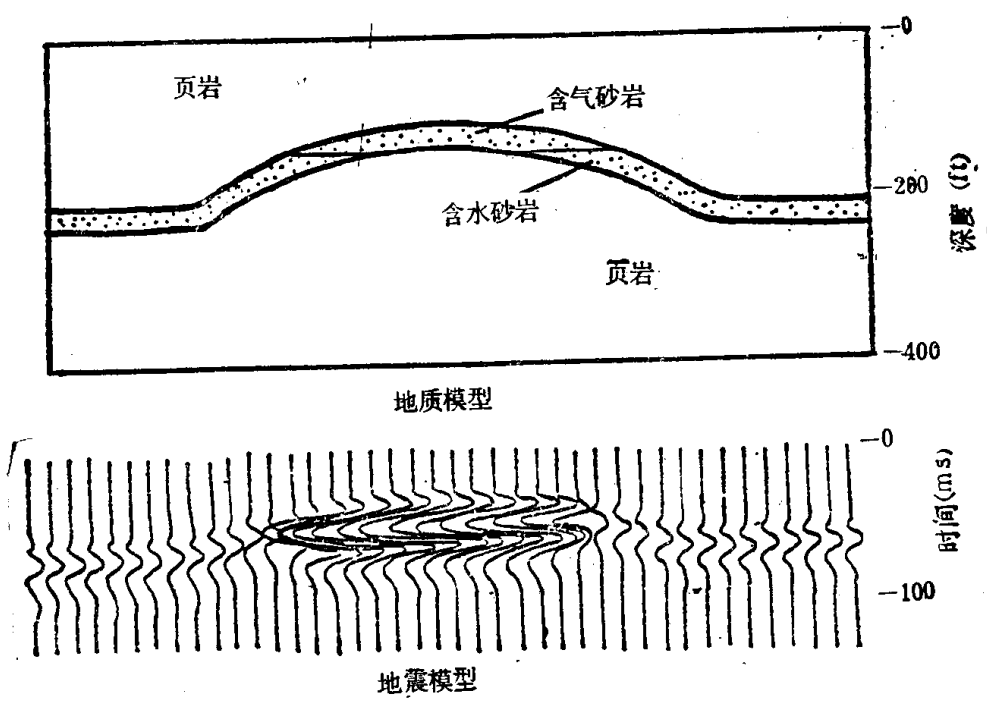


图 1-6 薄的充满气体的背斜地震模型

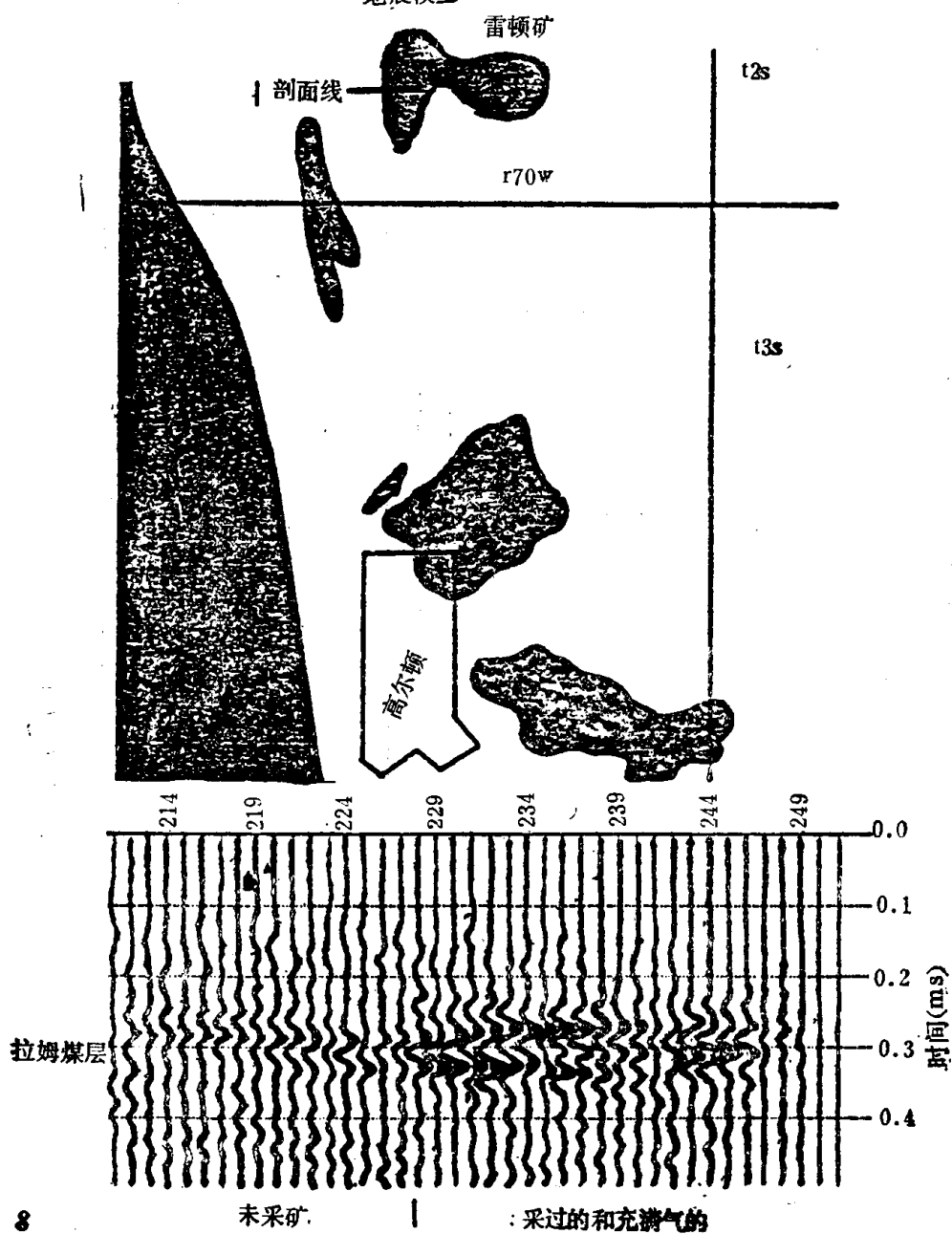


图 1-7 通过科罗拉多的雷顿气储位置的公共服务公司的地震测线

3. 构造解释工具

(1) 地球物理考虑

①绕射模型 在复杂的构造区，弧形的、伞状特征的绕射图案是常见的（图1-8）。绕射不服从斯奈尔定律。一个绕射源，如断层或者曲率半径小于探测地质剖面所用波前的构造，将在所有方向上分散入射能量，从而引起图1-8所示的同相轴分叉。

随着人们对构造或地层关系上的异常反射变化方面兴趣的日益增长，识别哪些影响是几何的，而不是地质方面的（或者反过来）是十分重要的。Hilterman (1970) 和 Trorey (1970) 所介绍的模型（图1-9和图1-10）在检验地震记录剖面上构造的影响是有用的。

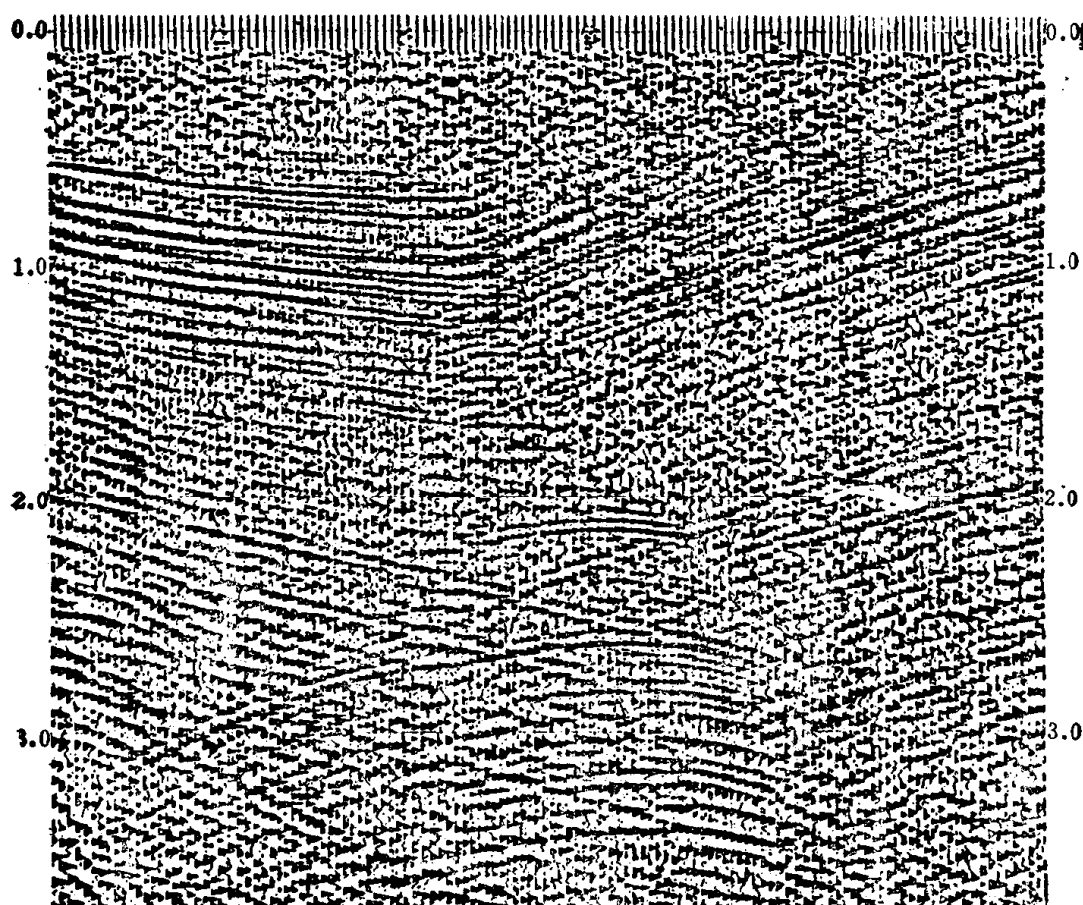
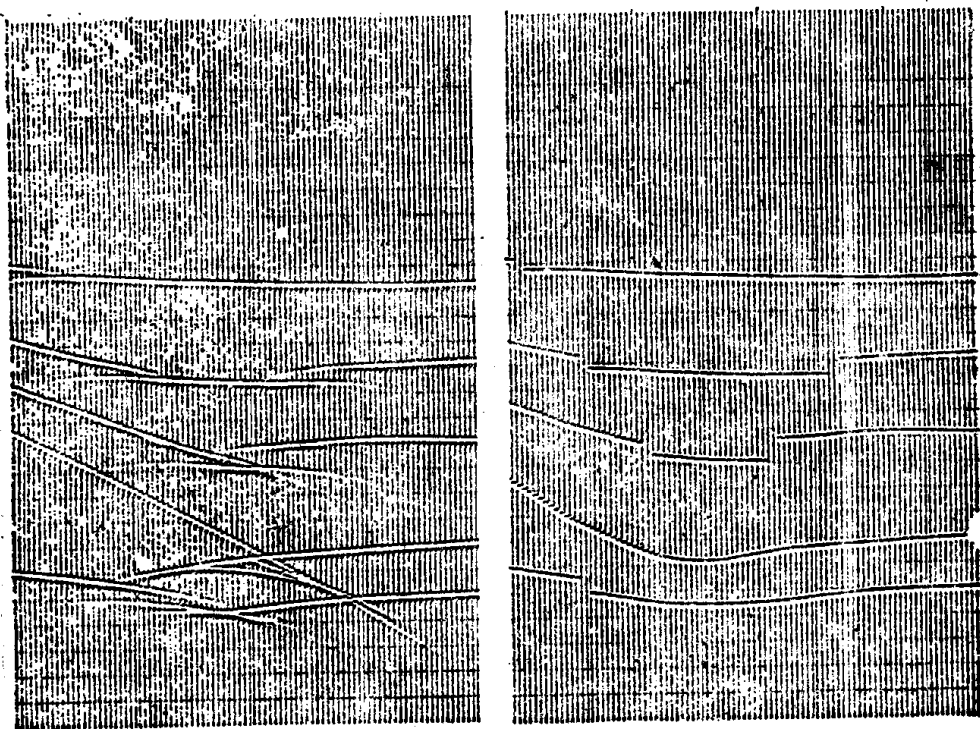


图 1-8 地震绕射示例

不要把绕射图案全都看成是噪声。对于解释人员来说噪声是有用的。图1-11说明在复杂构造区如何仅仅根据绕射获得平均速度的资料。对解释人员来说，绕射常常与断层伴生。它们不仅指示断层现象，而且还可以指示产生断层的地带，即断层位置的判断。不幸，在很多情况下，它们也是重大误差差的根源（图1-11和图1-12，图1-13）。

对解释人员来说，绕射是一种苦辣酸甜都有的幸福。正确的自动偏移技术在理想情况下通过把所有的绕射能量偏移回到点源的方法，可以消除剖面中的绕射。正如我们将看到的那样，消除绕射图形不是使用偏移技术的唯一理由。



记录的图象

真实的位置

图 1-9 地震畸变

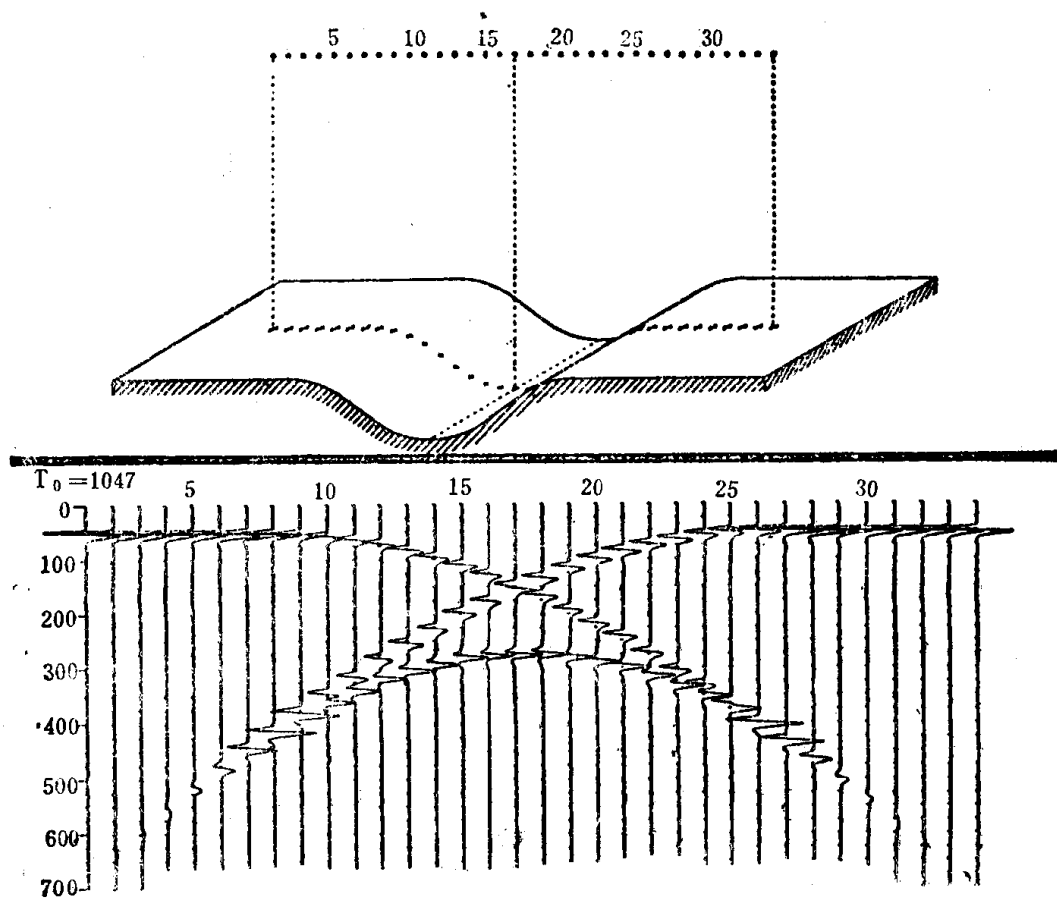


图 1-10 显然来自向斜的三个独特地震同相轴

两个反射来自向斜翼，一个绕射来自向斜底。虽然边界保持不变，但是来自向斜底的脉冲改变了形状。这个简单的模型说明了为什么地震时间剖面不能当作地质的深度剖面

②偏移 只有在水平地层介质情况下，地震剖面上的同相轴才相当于它们在空间中的真实位置。在所有其它情况下，地震剖面只是似乎反映每个炮点垂直下方的信息。因此，当地质层序不符合连续的水平表面时，从这些表面得来的反射必须偏移到正确的空间位置上以符合真实的地下构造。

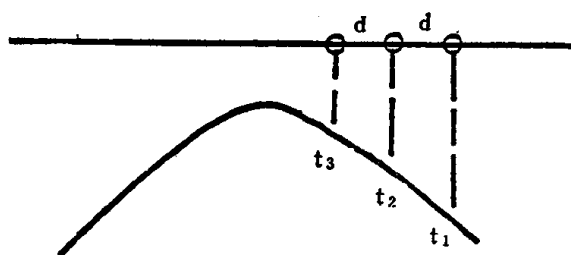


图 1-11 根据绕射确定平均速度

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8d^2}{t_1^2 - 2t_2^2 + t_3^2}}$$

Hagedoorn (1954)指出过这样的事实，即任何使绕射曲线或者最大凸起曲线产生逆转的过程，都将偏移校正地震资料。因此，偏移是通过把地震剖面上每个

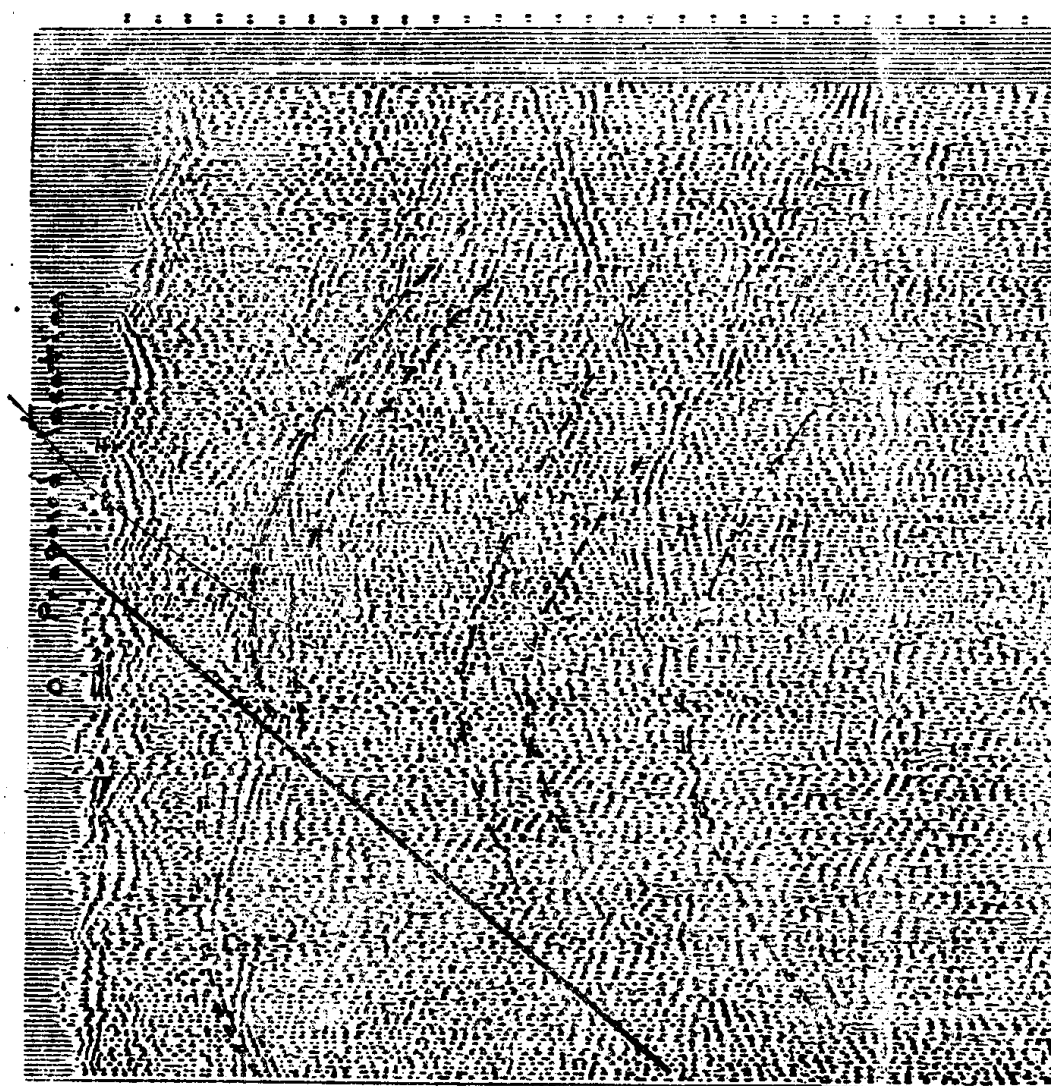


图 1-12 加拿大的山麓小丘探区的“事前”地震解释

可能的绕射或者凸起曲线转换到它相应的绕射点来完成的。例如，设一恒速度介质，介质中埋有一异常速度的球体。如果人们去记录一个地震剖面，那么从球体来的反射将是一个绕射（图1-14）。为消除此绕射，人们只需要把沿着绕射曲线的所有能量总加起来，这条

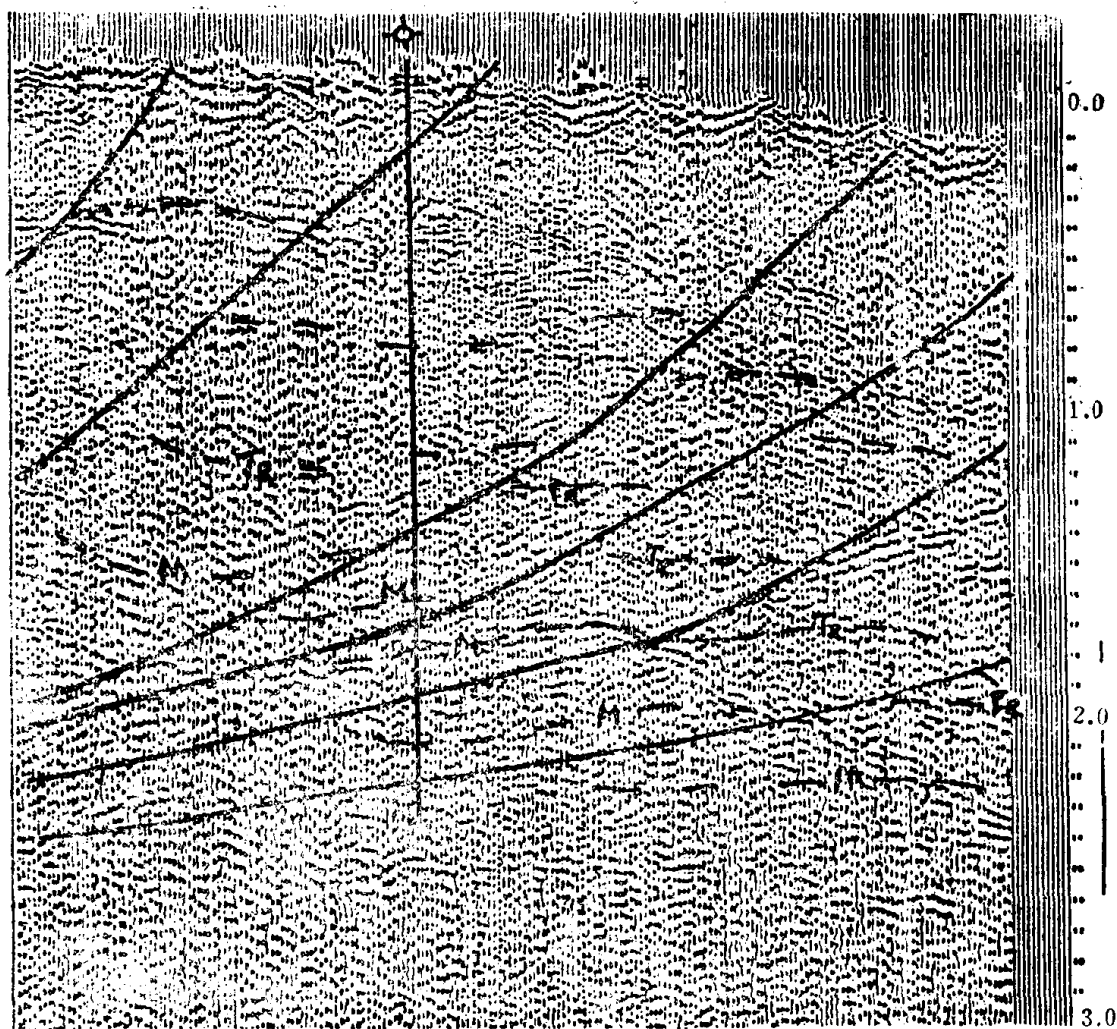


图 1-13 加拿大的山麓小丘探区的“事后”地震解释

绕射曲线对这个介质的反射时间和速度是固有的。把一个未偏移的剖面转变为偏移剖面的过程是沿着适当的绕射曲线求和（图1-15）。这一过程可以通过绕射量板用手来完成或者在计算机上自动完成。认识到这一点是重要的，即这项全部能量偏移技术常常破坏了剖面中真振幅的全部外貌。

上述这种过程的简便性往往迷惑人。实际上这个过程常被地下速度在水平和垂直方向上变化这种事实所复杂化。对于控制这项技术中所采用绕射扫描的形状来说，速度输入是偏移过程的关键。

现代计算机偏移技术的成果示于图1-16和图1-17中。这种处理的花费通常是两倍于现今所用地震资料的其它处理技术的成本。

目前流行的是波动方程偏移（Larner and Hatton, 1977），因为它保持了真正的相对振幅。这项技术涉及到通过数字技术把观测的波场向下延拓，延拓到全波场中逐个同相轴发生的地点。

现今的技术通常涉及二维偏移。只是最近人们才致力于三维偏移。三维偏移的成本是非常贵的，但其结果是令人难忘的（French, 1974）。

（2）地质考虑

①构造样式 考查一下下列地震剖面（图1-18）。这条测线的解释示于图1-19中。第一

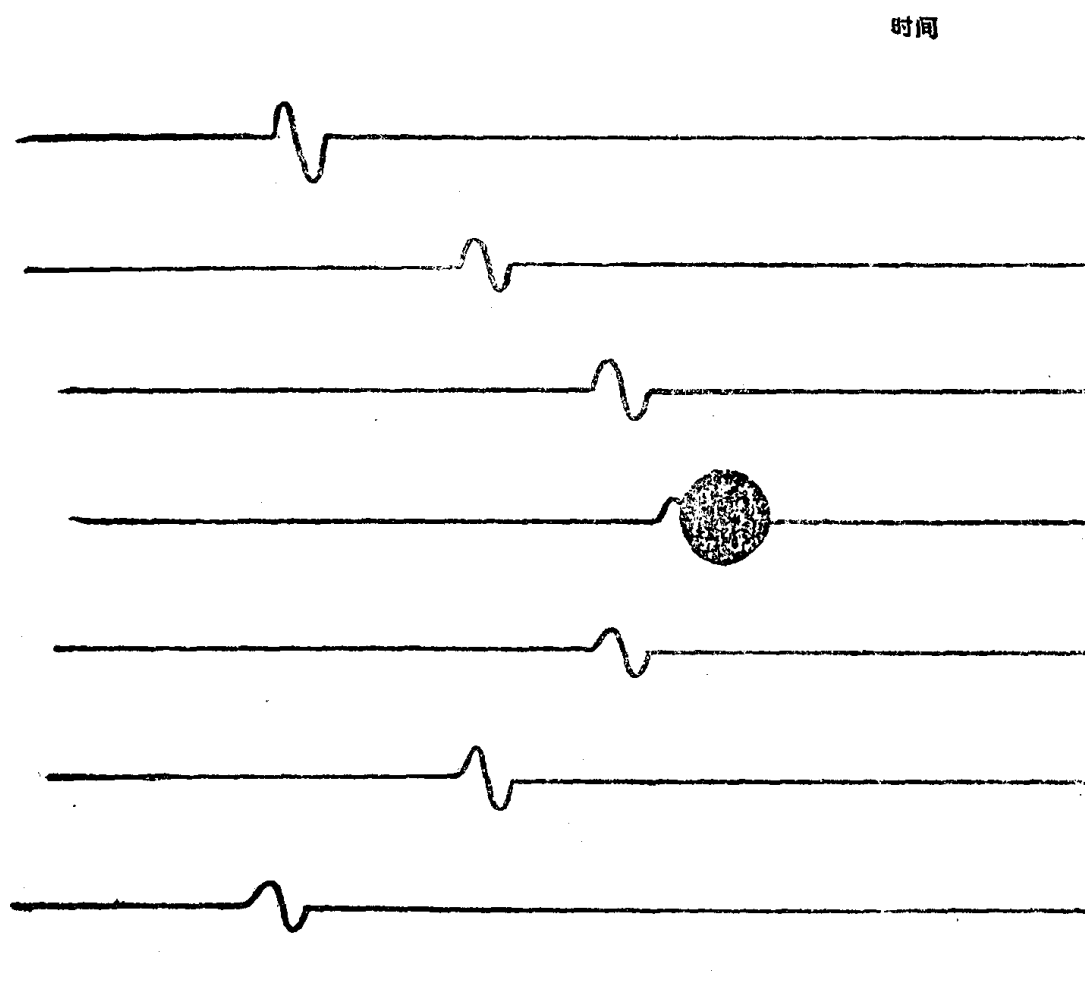


图 1-14 一个点源的地震反射表现

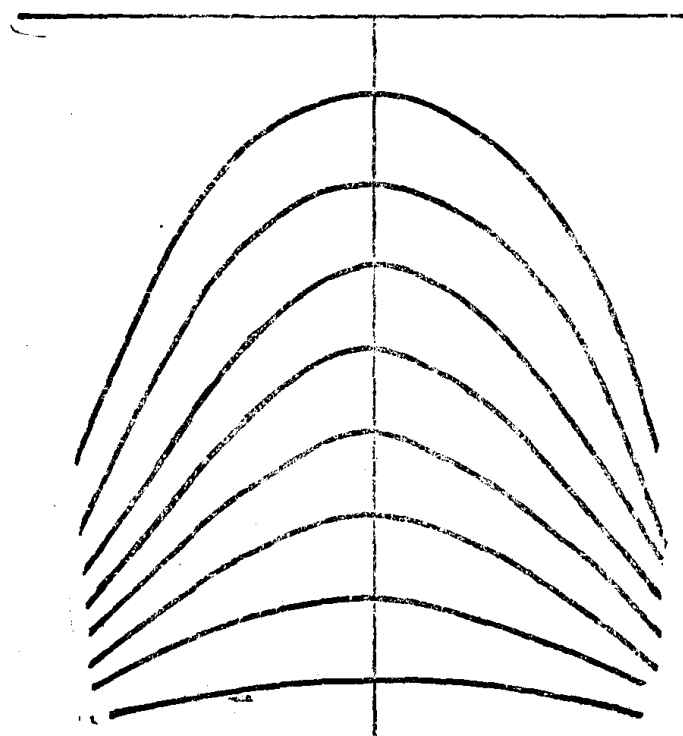


图 1-15 绕射曲线