

美国石油地质学家协会进修丛书

16.25/8
5562

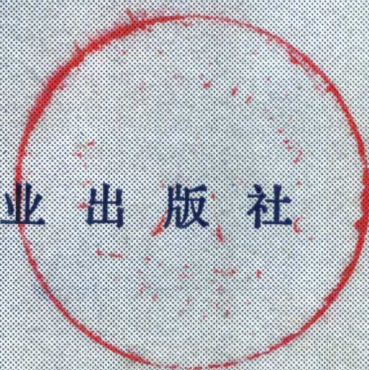
N. S. 尼得尔 著

地层模型和解释

地球物理原理与技术



石油工业出版社



2578

美国石油地质学家协会进修丛书(十三)

地层模型和解释

地球物理原理与技术

N.S.尼得尔

范伟粹译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书译自美国石油地质学家协会进修丛书之13。全书共有十一部分。书中论述了地震资料与地层学的关系、地震信息的内容与分辨力、保持地震振幅的处理技术、子波与子波处理、地震模型、地层对比、合成测井曲线等内容。

书中引用不少解释实例和图幅，着重于一些新方法的理论分析和应用，介绍了一些新的解释方法和研究成果。它是地球物理勘探人员进修学习的一本好书。

本书可供从事地球物理勘探的技术人员、大专院校有关师生、石油地质人员参考。

Norman S. Neidell

Stratigraphic Modeling and Interpretation

Geophysical Principles and Techniques

AAPG Continuing Education Course Note Series #13

AAPG Department of Education

(First Printing, September 1979)

*

美国石油地质学家协会进修丛书(十三)

地层模型和解释

地球物理原理与技术

N.S. 尼得尔

范伟粹译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

交通印刷厂排版

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 6¹/₄印张 153千字 印1—4,000

1982年12月北京第1版 1982年12月北京第1次印刷

书号: 15037·2363 定价: 0.68元

目 录

一、地震资料与地层学的关系	1
(一) 导论	1
(二) 实际情况与理想情况的差别	2
二、地震信息的内容和分辨率	15
(一) 波的传播产生地震资料	15
(二) 地震资料的分辨能力	16
三、保持地震振幅的处理技术	18
(一) 信号电平和地震道	18
(二) 增益处理的其他几种方法	19
(三) 控制振幅处理和真振幅处理	19
(四) 其它方法的举例	22
四、地震子波和子波处理的作用	25
(一) 波形、频率成分和解释意义	25
(二) 地震波形估算和子波处理	25
(1) 地震波形的直接测定方法	27
(2) 确定性子波提取	27
(3) 子波的统计估算	28
(4) 详细的实例研究	29
(三) 子波处理的可解释性	29
五、地质地震模型的作用	38
(一) 砂岩识别	38
(二) 礁块探测	39
(三) 地层对比	39
(四) 垂直分辨率——布伦特油田的模型	47
(五) 横向分辨率——河口砂坝的研究	48
六、定性地层对比	53
(一) 横向渐变(过渡)	53
(二) 视地层现象	54
(三) 砂岩研究	58
(四) 三维模型研究	61
七、定量地层对比	62
(一) 薄层和地震振幅	62
(二) 薄层模型实例研究	65
(三) 资料研究	72
(四) 方法的讨论	76

八、地震资料转换为类似测井资料的显示.....	86
(一)地震资料与井下资料的对比.....	86
(二)合成测井曲线的发展.....	87
九、结论.....	90
十、参考文献.....	91
十一、地层对比练习题.....	93

一、地震资料与地层学的关系

(一) 导 论

地震资料的地层解释，要求用地质术语来表达地震信息。严谨的地下图景是根据地表观测、地质演化原理的指引和井下地质资料得到的。所谓井下地质资料是用各种测井仪（物理传感器）记录的测井资料。我们可以把地震数据的信息内容和地质图景进行对比，地质图景就是几何形态的描绘和成套的测井资料（即速度和密度）。运用地质和地球物理的原理来进行这种对比，是地层解释的核心。

典型的测井包括自然电位、电阻率、各种放射性参数、声波旅行时间（速度）和密度。这些测井的纵向分辨力（细节划分）是很高的，但在横向上要确定地下参数则十分有限。因此，在图景中加进了很大的解释因素，这种因素有赖于基本的地质概念和原理。再则，测井资料还能进一步了解岩石的孔隙度，孔隙中所含流体及总的岩性，从而提高了仅仅以地质方法为基础的地层学的结论。

另一方面，地震测量确实能在一定意义上确定地下的几何形态，估算与岩石的速度和密度有关的声阻抗。但是由于地震子波的尺寸和观察到的主要是一系列前后重叠的子波，使纵向的细节划分很受限制。但是，尽管在所谓的菲涅耳带范围上被平均了，在横向确定上仍然较好。另外，专题的研究分析和解释方法可以从间接的地震信息提供有关岩石的孔隙度、液体成分以及一般岩性方面的资料。这一过程也涉及基本的原理和很大的解释因素。

面对着这些情况，我们需要一种特殊的手段，能使地质图景和地震信息相互对比。这种手段的最基本形式，就是合成地震记录图，这种办法我们已经用过一段时间了(Peterson, Fillipone and Coker, 1955; Wuenchel, 1960)。

合成地震记录的依据是把横向上有限的地层段看成水平成层的介质。假设一个平面波在该地层段上传播，合成地震记录是根据每一个界面的平面波的部分反射编制成的（见图1）。应指出，界面两侧的岩性变化是用速度不同和密度不同来表达的。

物质的速度与密度的乘积叫做声阻抗，代表反射波和透过波振幅的反射系数和透过系数，可简单地用这种乘积来表示。这里反射系数 γ 和透过系数 t 可以写成下式：

$$\gamma = \frac{D_1}{A_1} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}; \quad t = \frac{A_2}{A_1} = \frac{2\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$

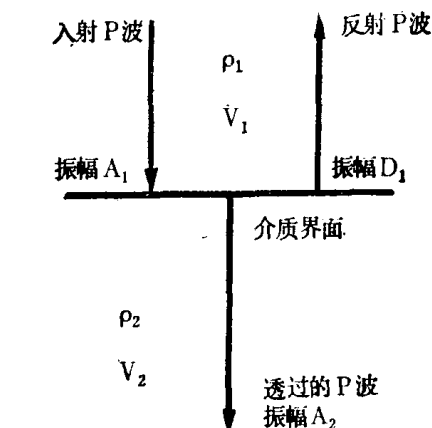


图 1 在一个岩性界面上波的反射和透过

尤其应该认识，反射系数 γ 是对界面上下声阻抗的变化而不是对其具体数值最灵敏。下面所列反射系数的简表对于指导了解不同反射波的相对振幅可能很有用：

有代表性的反射系数

接近地表的反射面：

反射系数

软海洋底(砂/泥)	0.33
硬海洋底	0.67
风化层底	0.63
好的或强的反射面:	反射系数
砂-页岩对灰岩 (在4000英尺深处)	0.21
砂-页岩内部高速层-低速层之间 (在4000英尺深处)	0.14
砂-页岩对基底 (在12000英尺深处)	0.29
含气砂层对页岩 (在4000英尺深处)	0.23
含气砂层对页岩 (在12000英尺深处)	0.125
中等的反射层:	
7500或8500英尺/秒的速度差	0.06
在4000英尺深处含气砂层和海 底之间的多次波	0.04~0.02

反射系数通常随深度而减少, 因为声阻抗的变化比率随深度而减少。对一个地区的地层情况一无所知。仅仅考虑反射强弱时, 则很容易把灰岩层当作墨西哥湾类型的含气砂层。

根据Biggs, Blakely 及 Rudman(1960)的报告, 下面举出美国印第安那州劳伦斯郡的一则例子, 说明地质与地震资料对比的要领。图2中, 分层已作过鉴定, 并表示了由测井资料确定出的与各层相应的地震速度。为了与实际地震资料对比, 图3表示了根据速度资料编制成的合成地震记录。由图可见, 波形特征的一致性是十分良好的, 仔细观察一下, 细节上的符合程度还不够满意。

与此对照, 北海某油田的侏罗系砂层段在对比中就远为确切了。这里, 运用了声速测井和密度测井计算出反射系数, 制作合成记录所用的子波波形符合地震上传播的波形。为便于比较, 把实际资料在紧靠井口位置的那道分离开来, 插入合成记录道, 见图4。彼此在细节上符合得很好。以后, 我们还将返回来讨论这一对比的其他方面。由此得到两个重要的教训。首先, 如果忽视密度这一物理参数, 势必降低对比效果。其次, 合成记录 and 实际记录的波形相符是这种对比的基本要素。

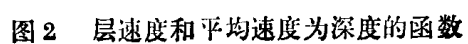
取得合成地震记录与处理后的地震剖面相一致, 这当然是地层解释的基本技术, 是不难理解的, 但对地震资料和地下条件有一系列严格的要求, 同时也忽略了不少重要问题。关于这一点, 我们将提出其中几个具体的问题。在下面几节中必须用较长的篇幅来讨论, 在结束这一节时, 要说明一下地层解释的目标和帮助我们达到此目标的分析手段的特征。

所述的合成地震记录要求地下基本平坦, 至少在一个菲涅耳带 (这是产生反射波的有效地下范围) 上横向是连续和均匀的。其次, 岩性界面必须分明, 而不是逐渐过渡, 地震记录上的波形必须与制成合成地震记录中使用的波形一致。同时我们还作了一个未经说明的假设, 即在地震记录上的每一个波都相当于一个岩性界面, 并排除了噪声和其它没有直接地质意义的波。

(二)实际情况与理想情况的差别

解释员都知道, 随机噪音是没有意义的波。这些波在道与道之间是没有相干性或连续性的, 我们也依此来识别它们, 而相干的地震噪声波列在道间却是很有规则的, 当然也并不携带什么直接的地质信息。

英尺/秒



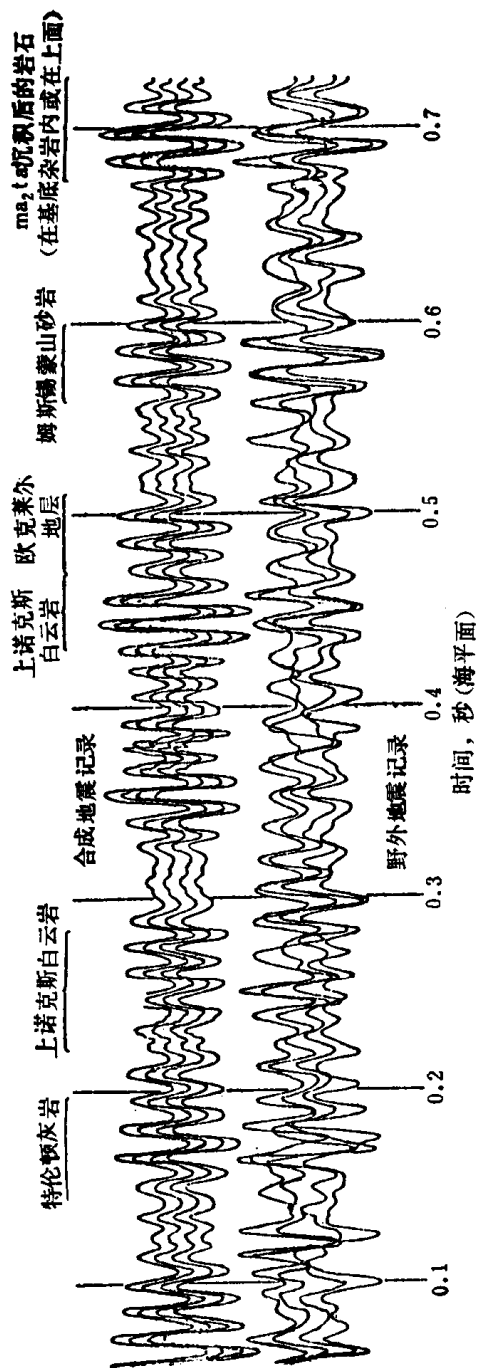


图 3 劳伦斯郡地区的合成地震记录和实际地震记录表明几个主要的反射带

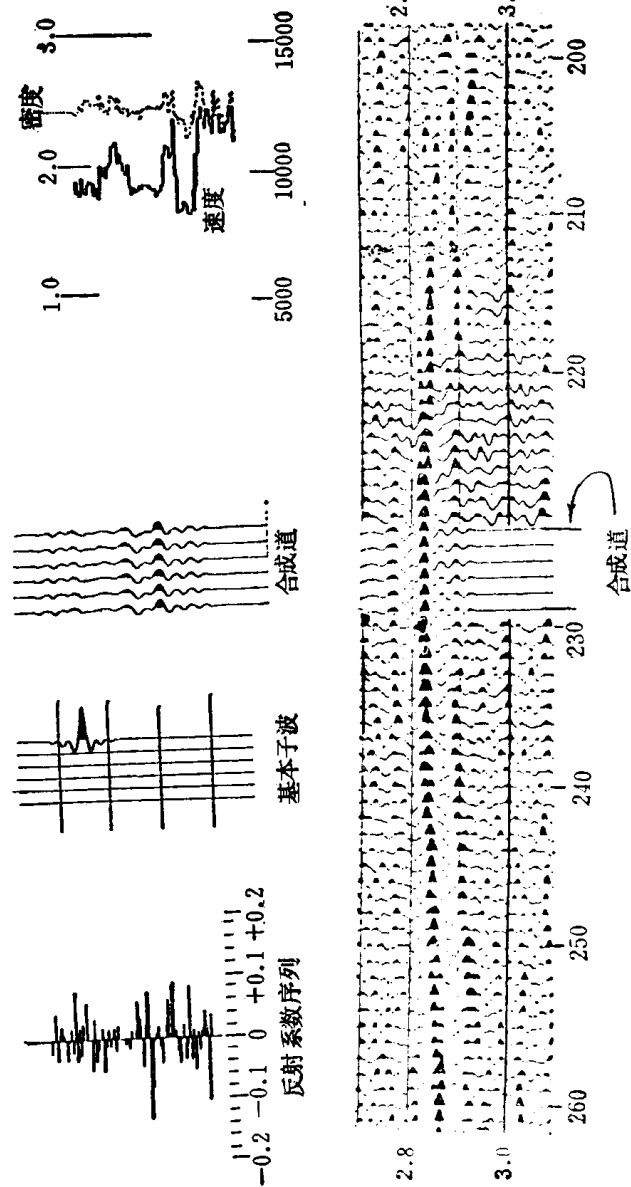


图 4 地质和地震资料与合成地震记录的关系

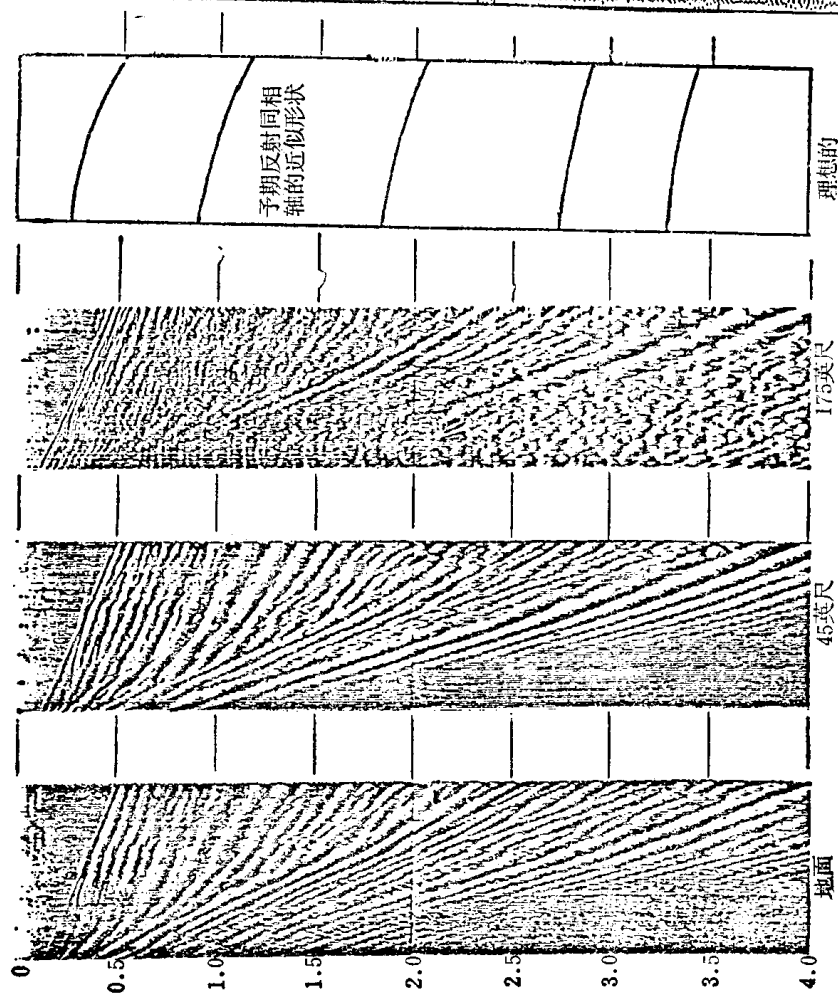


图5 震源在不同深度所产生的面波

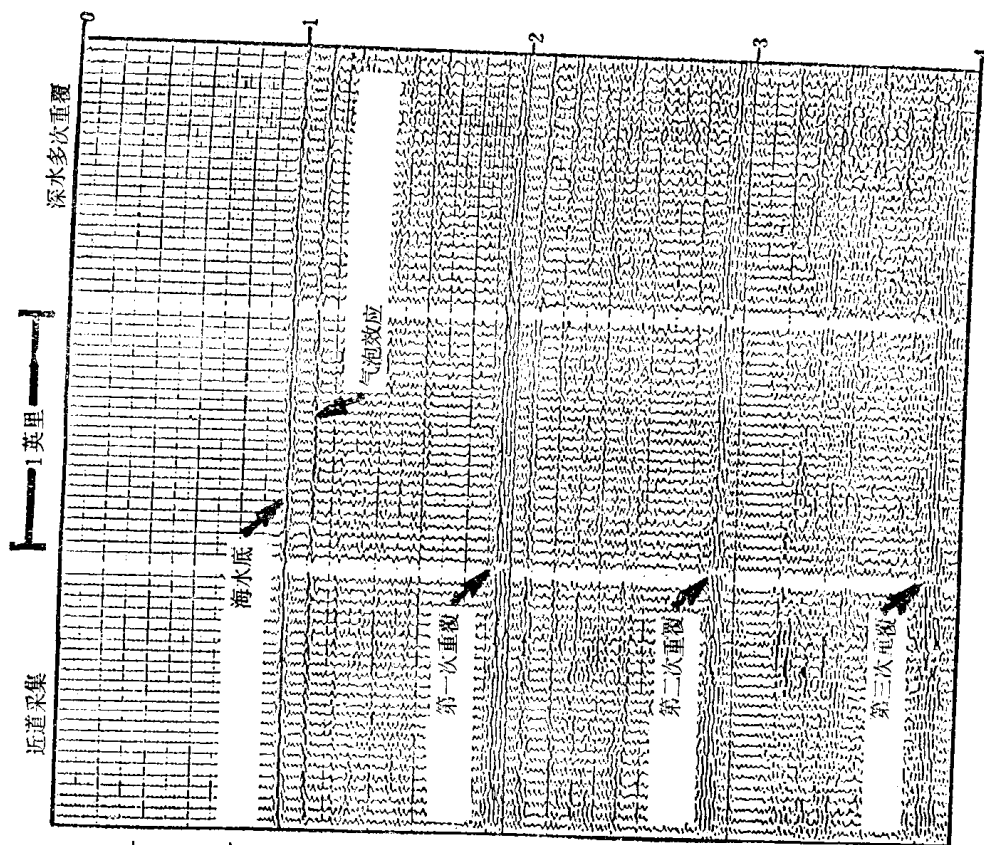


图6 除多次波外,还可看到气泡效应引起的波形拉长。长波形也会掩盖后到的一次波,在此意义上它限制了解释的分辨力

由震源产生的噪音，以表面波形式出现，表现很强的相干性，掩盖所有的反射波（见图5）。图6是由美国西方地球物理公司提供的，在此剖面上展示了另一个问题，即多次波。这里空气与水的分界面和海水与海底的分界面两个界面之间产生一系列强烈的交混回响。这些波随着时间有规则地再现，在其出现的时刻就会掩盖同时到达的一次波。

显然，在为地层学目的进行对比和解释时，必须肯定我们所整理的同相轴确实与声界面相对应，而刚才提到的两种常见的地震波并不属于这种性质。地震资料处理的主要目的就是为解释员提供他所希望的波，即与声参数变化相应的波。然而，处理很少做得十分完善，因此在任何时候都必须承认，可能观察到与声阻抗差异不是一个简单关系的相干的和非相干的地震波。

地层有起伏，尽管这些层在横向上是连续的和均匀的，也在解释上有着很重要的另一些考虑，其中有一些是比较复杂的。从下面两个简单的射线模型可清楚看出，当地下有构造时（图7），地震波并没有出现在与地下反射点位置相一致的道位置上。对比之下，可清楚地看出，地震上所表达的背斜范围比实际的偏大，而向斜要比实际的偏小。在带有倾角尖灭模型中（图7），可能有希望的地段，其反射端点（图7右下）似乎逸出了租地范围。

图7的时间剖面上也展示了尖灭引起的绕射波。这些是又一类型的波，虽然具有相干的性质，但并不简单地表示什么介质界面，而与突然的不连续，不均匀或急剧的弯曲有关，并通常具有双曲线的形状。当构造强烈时，所看到的大多就是这种波。以模拟逆掩断层的模型研究图（图8）可说明这一点，在此图上附有按波动理论求出的地震响应。十分明显，在这些地区作地层解释是很危险的。在图8上，油气与水的接触面所相应的反射波只在第23到第26道上于1.5秒处，作为稍作倾斜的面出现。

地震资料处理还有一个目的就是试图为解释员提供更接近理想条件下的地震资料。地震剖面偏移就是寻求以反射同相轴来描绘反射的原点。在作过偏移的剖面中，背斜与向斜必将显示出它们的真实的大小，急剧的弯曲和地层中断将得到准确描绘，而且没有绕射所引起的“那种层断波不断现象”。再说一遍，处理工作并不总是十分完善的，这就迫使解释员要越过这些障碍去研究地层。

图9中的两张剖面是利用狄其康（Digicon）公司发展的技术所做的偏移。注意回转波如何被恢复为窄向斜，剖面b上角的大背斜如何被压缩到它原来的大小。

因此，偏移似乎又把我们初看不可克服的困难中带到可以应用理想解释方法的境况中来。不幸的是，正如前面提醒过的，我们不能经常指望处理技术工作做得很完善。

图10是S&A地球物理公司所作的偏移前后的剖面，偏移的优点是无疑的。当然，这是就地层上的意义而言。特别引人注意的是，即使在某些情况下偏移没有完成我们所要求的任务，虽然没有到达目标，但结果总是更接近于正确。在此剖面上，断层、角度不整合和高断块的面貌都有很大改进。

现在我们反过来评论一下狄其康公司提供的例子（图9）。这种偏移实际上对应用Vail以及埃克森公司的几位作者在AAPG地震地层学第26号文集中所介绍的地层学方法是必不可少的。很清楚，如果从反射面产状和相对位置作出推论，则首先必须校去这种影响，以提供一个更为真实的地下图景。

把复杂程度提高一步来说，近地表的不平整或小的不规则可对地震剖面的外观引起大破坏，使成果不好解释。问题在于道间发生了时移（静校正时移或延迟），这就使为削弱噪音而采用的常规处理顺序失败。说明该问题和消除此问题后的处理结果示于图11。美国西方地

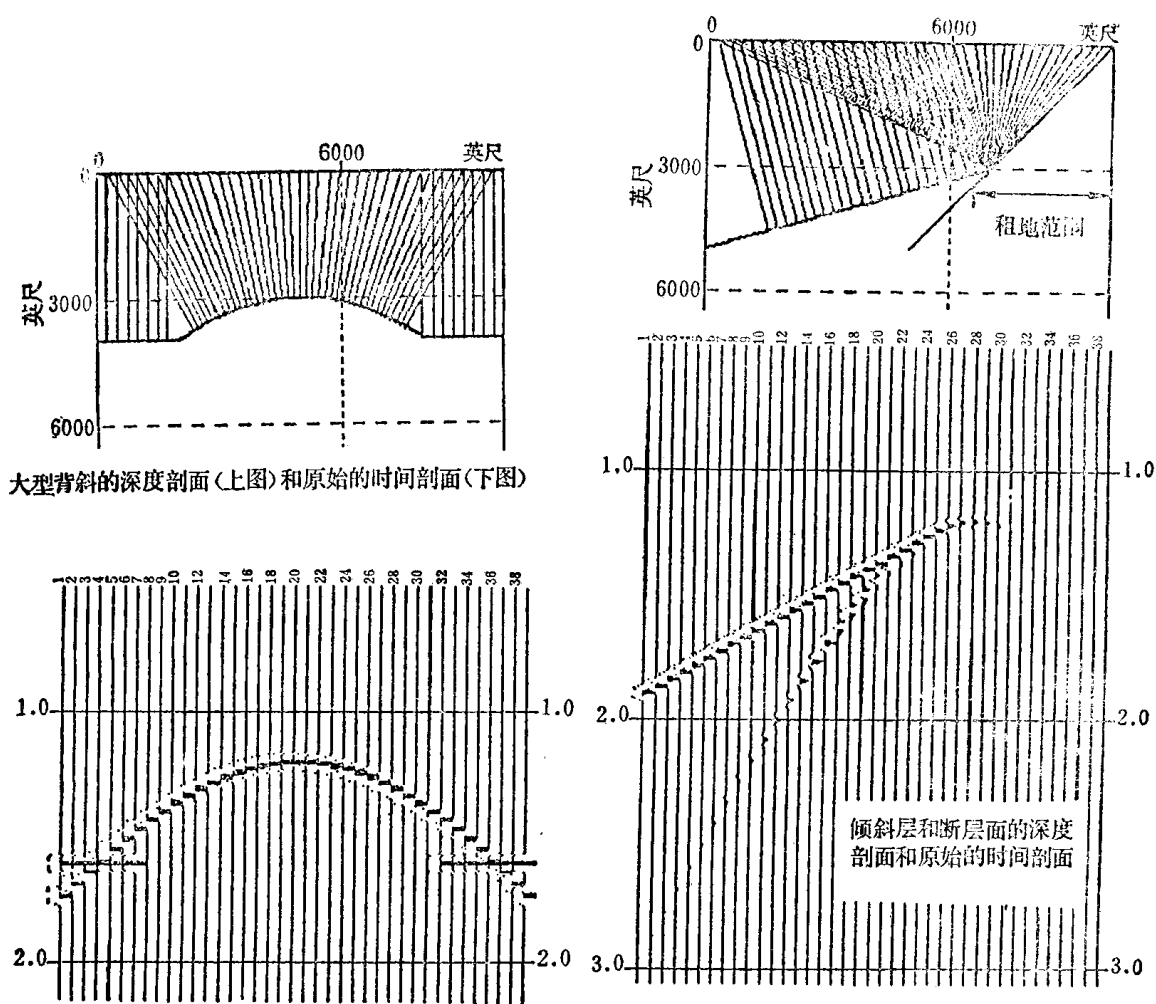


图7 模型研究说明时间剖面的缺点

球物理公司所提出的特殊处理方法,叫Miser^①,同时也给出道间时移量的指示,用其作校正来解决问题。在本例中,说明相对于基准面必须在 ± 50 毫秒时移的范围内对各个接收点进行校正。

在上例中,如果解释任务仅止于作出两层主要反射的图,不做这种校正处理也可以。不过,如果希望在接近较深的那层反射之上检测礁块,或者进行某些类似的地层方面的研究,那末这种校正就成为一个重要步骤。

下面两张剖面(图12、13)说明,只有在应用了静校正之后在密执安卡尔卡斯郡地区才能找到礁块。该区因近代冰川作用引起了表层问题。这个特殊例子选自McClintock (1975)的报告,他同时指出,地震波的振幅在探测礁块时,也起着重要作用。在本书后边我们将谈到地震波振幅的重要性。

地震波形问题和利用某个特定波形所能获得的地层上的最终分辨力,需要用较长篇幅来讨论。这里,我们仅简单地提一下北海油田经过类似处理的时间剖面(图14)的比较。在图14A的剖面上,用原始波形表示,而在另一条剖面上,采用了较短的简单对称波形,反射分辨率显著提高了。由于波形不同不可能对两条剖面进行直接对比。这里我们必须再次强调,地震结果和地质原因之间有意义的对比,要求波形有相当好的对应性。

①自动剩余静校正程序。——译者注

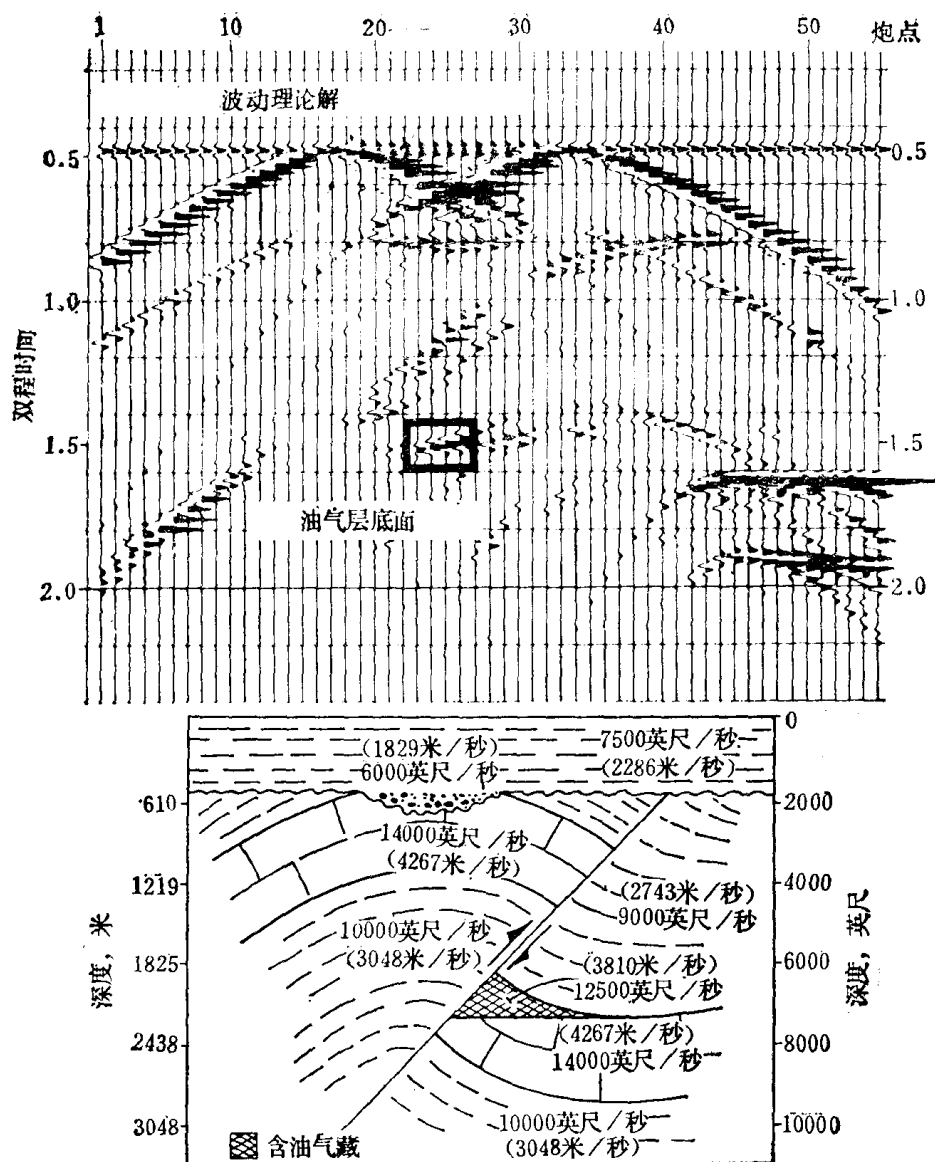


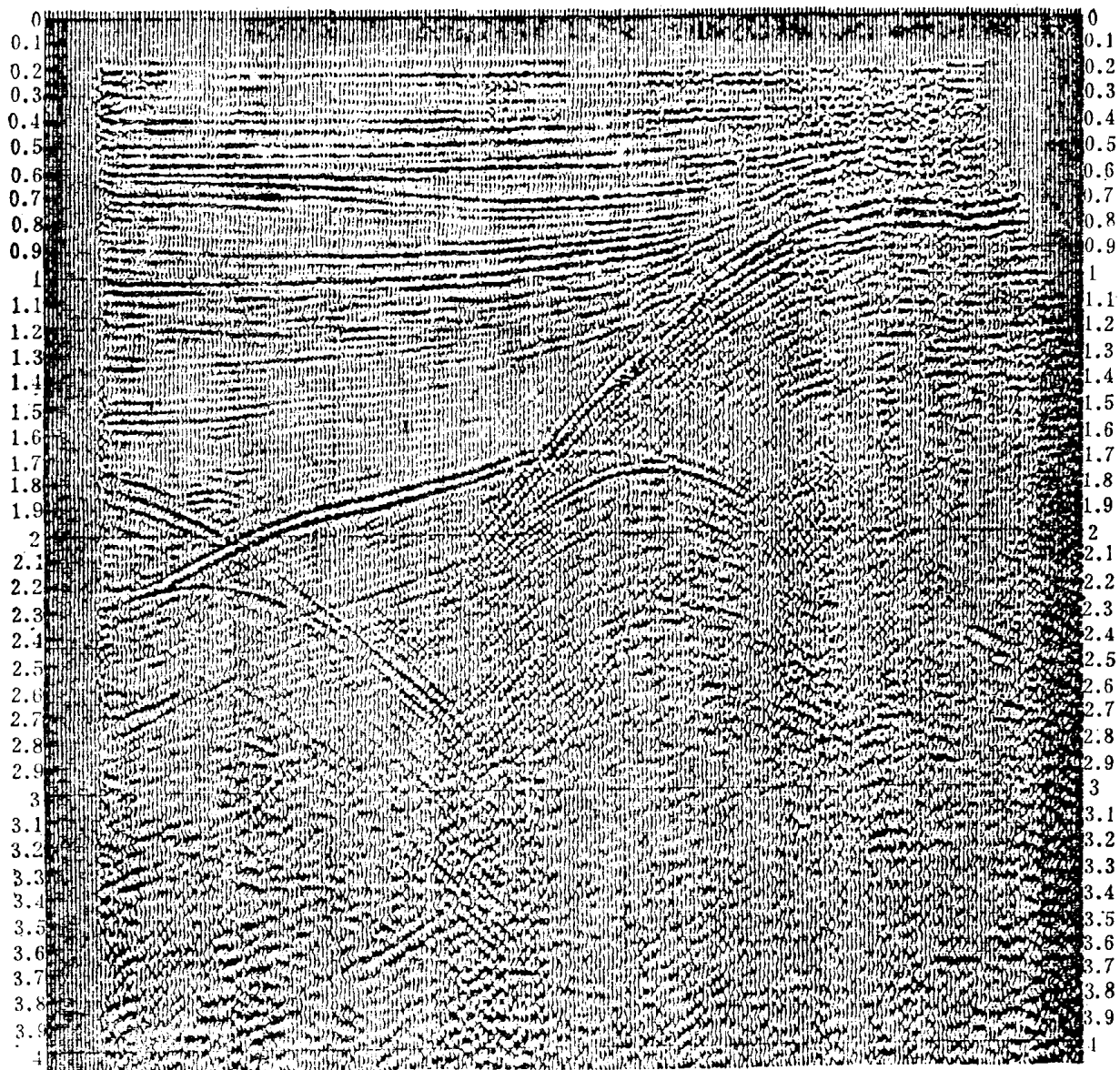
图8 逆掩断层和计算出的地震波形图
绕射波在地震图上占优势，地震射线的弯曲模糊了来自含油气藏反射的鉴别

当然，为了对地震资料进行地层学解释，我们希望处理后的地震资料质量是优等的。除了前面描述过的各种因素之外，我们还必须承认地下是三维的，而不是地震剖面所意味的二维。同时，还要处理横向和纵向上的过渡效应，这种效应在自然界中是作为地层机理的一部分出现的。

说一下从处理好的资料开始，地震解释的步骤。我们先把有关资料处理的一切问题或疑点暂时搁一下，并按下述假定为基础来解释：

(1)剖面上每一道仅表示地下的一次反射，地下的反射点位于道位置的正下方。

(2)每个反射波都能辨认出来，它们的振幅表征了产生反射的那个界面的声阻抗的阶跃值。



12

图 9a

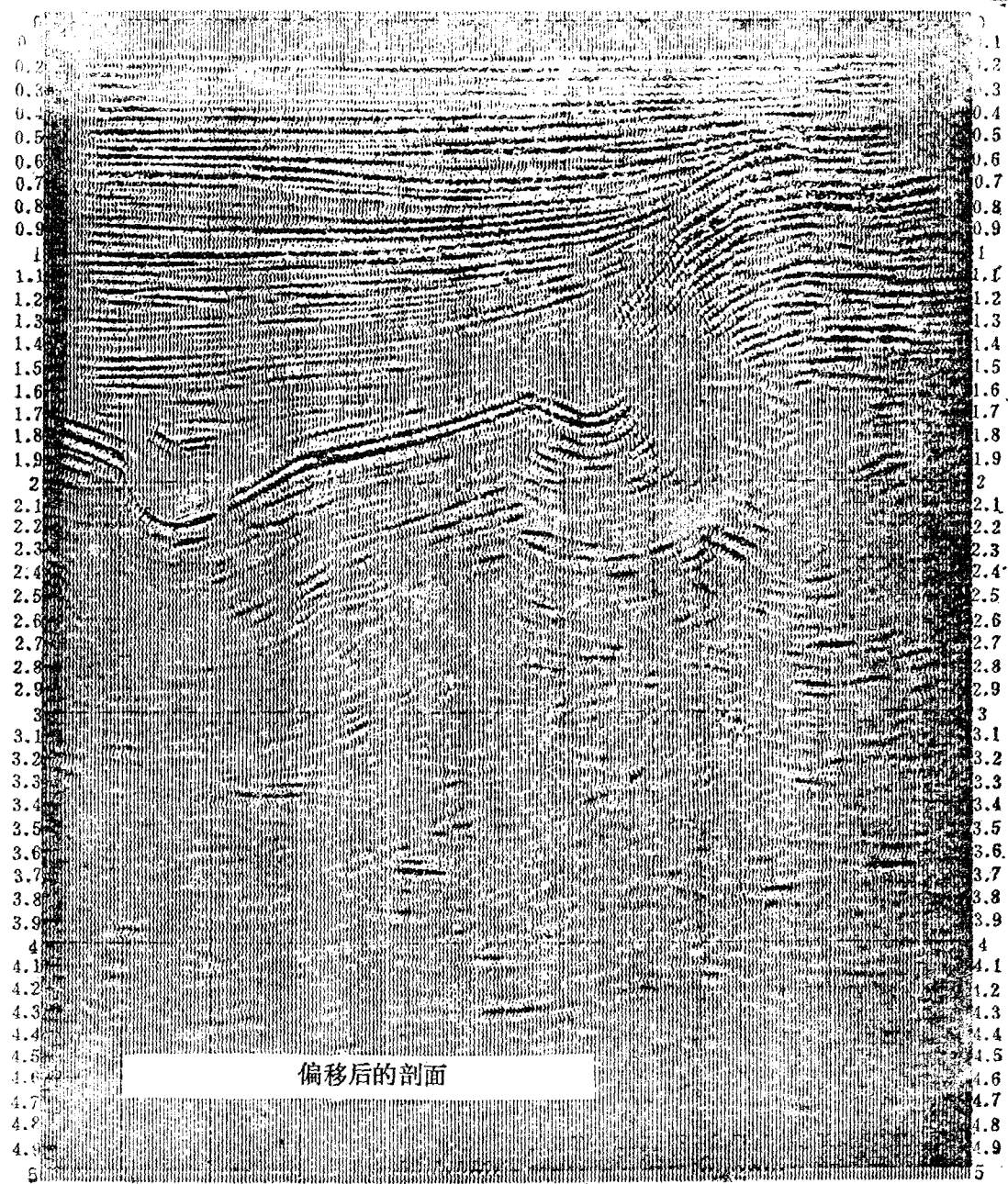


图 9b

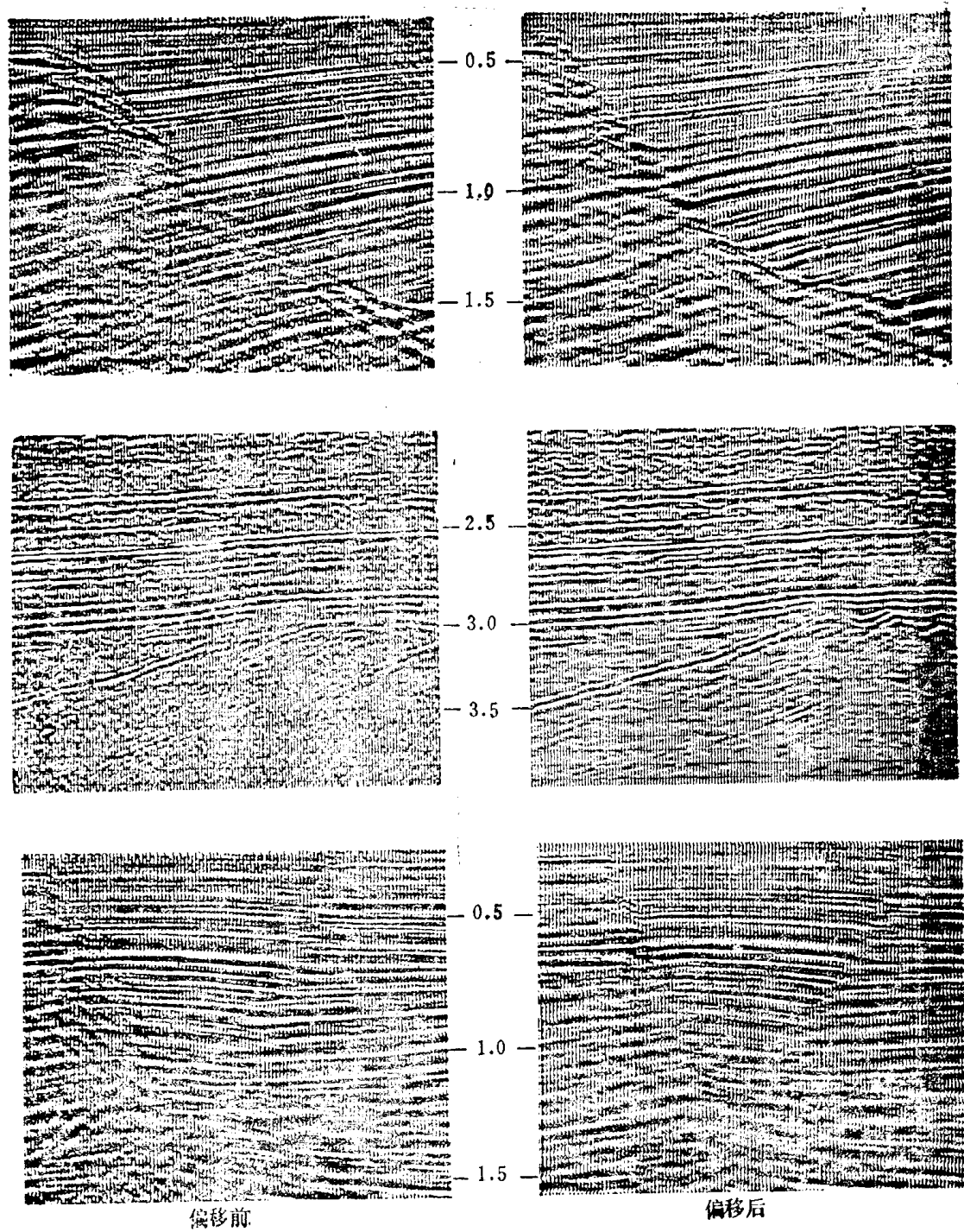


图 10

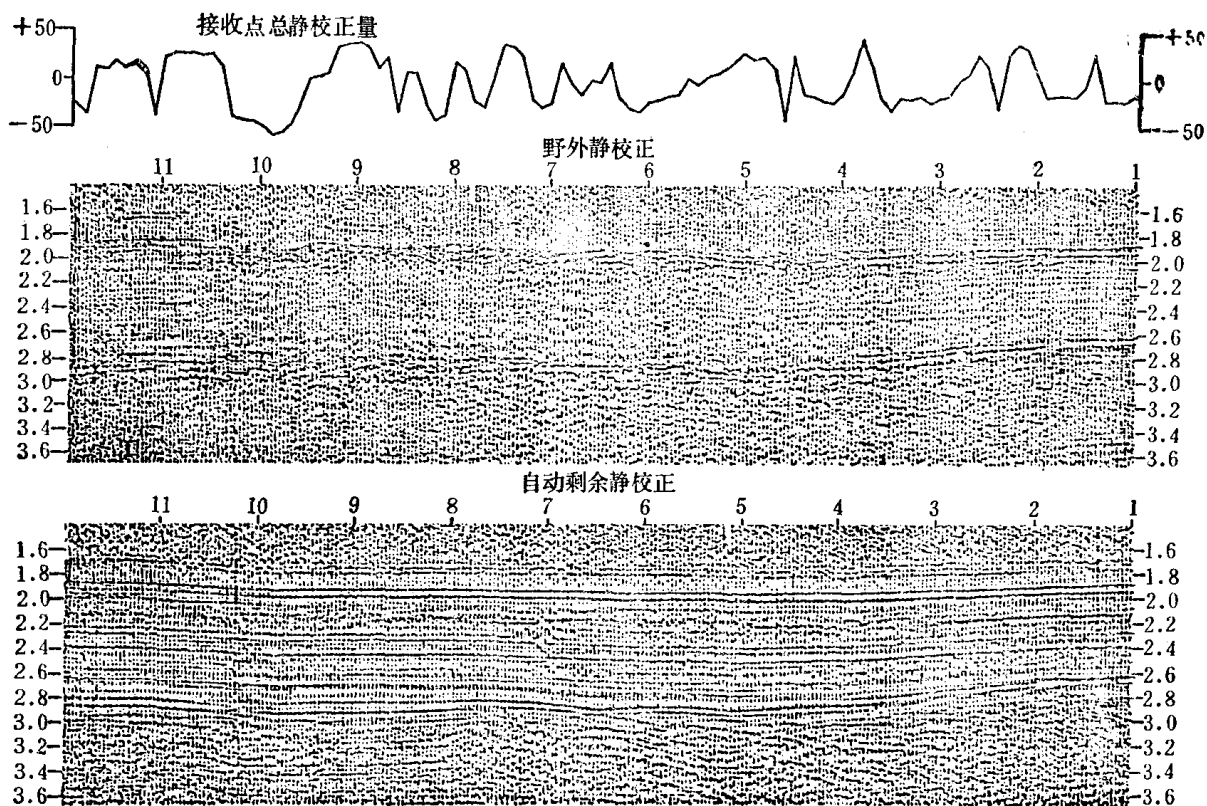
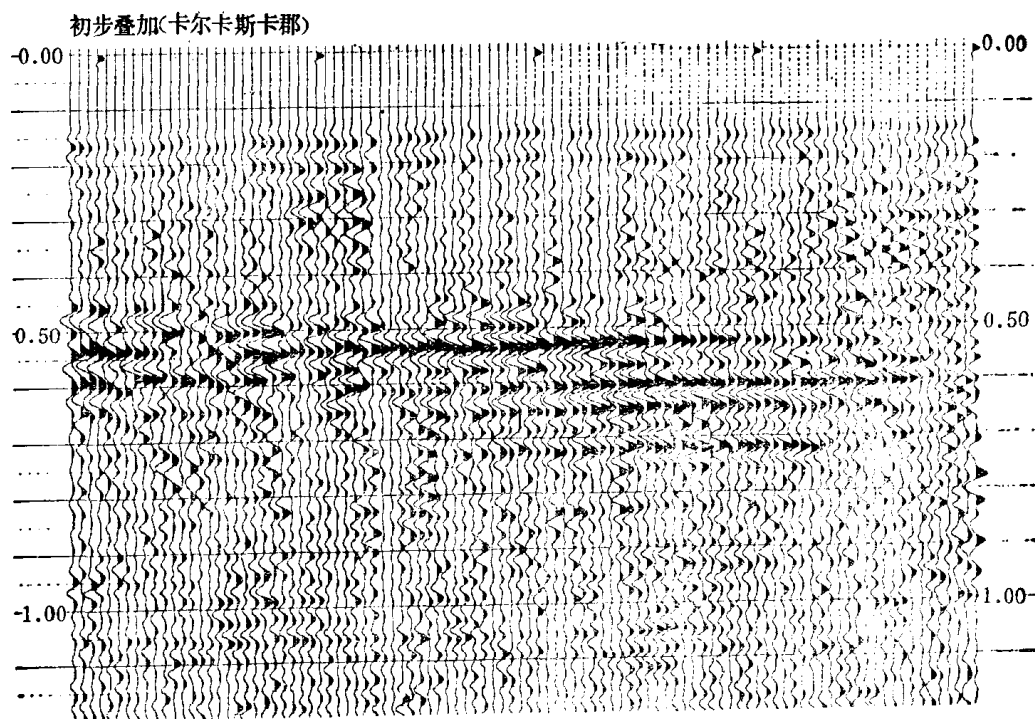


图 11



“暗点”说明礁块的存在，但这里因静校正问题使这种现象变得不清楚了

图12 密执安地区群礁（塔礁）