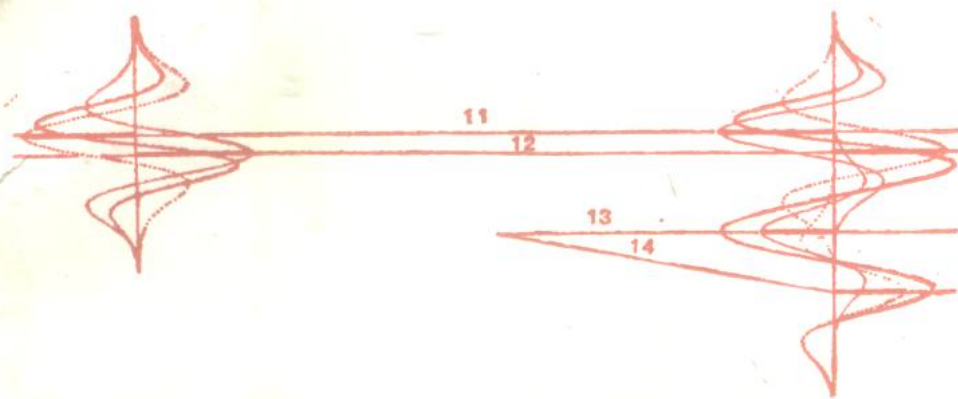




R. T. 赖 德 M. W. 李 G. N. 史密斯 著

美国落基山盆地 砂岩地层圈闭地震模型

北京)

2

石油工业出版社

内 容 提 要

书中给出了美国落基山盆地十五个已知砂岩地层圈闭的地震模型研究的结果, 每个例子都从地质结构、声学特性、地震模型三个方面进行了详尽的描述。

本书可供地每模型研究人员及一般物探、地质工作者参考。

责任编辑: 孔秀兰 封面设计: 胡 炯

Robert T. Ryder, Myung W. Lee, Gerald N. Smith
**Seismic Models of Sandstone Stratigraphic Traps
in Rocky Mountain Basins**

Hotchkiss, Inc. Denver, Colorado 1981.

*

美国落基山盆地 砂岩地层圈闭地震模型

R.T. 赖德 M.W. 李 G.N. 史密斯 著

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
北京昊海印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 6印张 15插页 145千字 印1—1,200

1987年9月 北京第1版 1987年9月北京第1次印刷

书号: 15937·2550 定价: 4.45元

科技新书目: 154—213

目 录

一、绪言.....	(1)
二、模型方法及有关说明.....	(6)
三、科罗拉多州摩根县阿德纳油田.....	(9)
四、蒙大拿州波特河县贝尔克里克油田.....	(15)
五、怀俄明州斯威特沃特县德赛尔蒂斯普林斯气田.....	(20)
六、怀俄明州坎贝尔县迪林格兰奇油田.....	(24)
七、科罗拉多州亚当斯县霍斯特与第三克里克油田.....	(29)
八、新墨西哥州圣胡安县霍尔斯肖油田.....	(36)
九、怀俄明州斯威特沃特县帕特里克德劳油田.....	(42)
十、科罗拉多州阿拉派霍县皮奥里亚油田.....	(48)
十一、怀俄明州尼奥布拉拉县派因洛奇油田.....	(53)
十二、怀俄明州坎贝尔县雷文克里克油田.....	(58)
十三、怀俄明州尼奥布拉拉县红鸟油田.....	(63)
十四、怀俄明州坎贝尔县罗泽特油田.....	(68)
十五、怀俄明州康弗斯县南格伦罗克油田.....	(73)
十六、怀俄明州康弗斯县韦尔德劳油田.....	(77)
十七、怀俄明州纳特罗纳县西索尔特克里克油田.....	(83)
十八、结论.....	(88)
附录：书中所用的缩写词.....	(92)

一、绪 言

美国地质调查局地震-地层计划研究的主要目的,是仔细地汇总落基山地区各种已知地层圈闭油气田的地震响应。研究的直接对象是,储集层厚度在 20~75 英尺[●]之间,它们与相邻的非储集层之间的声阻抗差由小到中等(亦即反射系统一般小于 0.2)类型的油田。这些油气田的圈闭可能由相变、不整合或成岩变化所造成。这类隐蔽地层圈闭是勘探地质学家和地球物理学家在落基山盆地共同寻找的圈闭类型的典型。假如已知的这类地层圈闭油气田能用地震资料所探测和辨别,那么这些资料或许有可能作为勘探类似、但尚未发现的油气田的指南。

我们汇集已知地层圈闭的地震响应的途径包括三个具体步骤:(1)用数字地震模型方法模拟选择出来的地层圈闭油田的地震响应;(2)在油(气)井或干井中进行垂直地震剖面(VSP)试验,现场测定储集层和圈闭相的声学特性;(3)在有垂直地震剖面控制地方的附近,穿过油气田采集地震资料,以验证模型和垂直剖面研究的结果。模型研究的每一个阶段,都提供了与油田有关的波形特征或地震信号的更多资料。

本书的目的是公布 15 个已知地层圈闭的地震模型研究的结果,它们是三次研究的第一部分的成果。进行模型研究的油气田都具有砂岩储集层典型的沉积环境、成岩历史和埋藏深度。在模型研究指出存在确切的地震异常的地方,随后将进行垂直地震剖面 and 地面地震试验。例如模型之一的怀俄明州波特河盆地红鸟油田,已经完成了整个地震-地层研究工作(Balch et al, 1981)。虽然其余的地震模型研究没有得到地震资料的证实,但我们相信,这些模型对于石油和天然气勘探共同体来说仍会感到兴趣。对于下面有勘探意义的问题,每个模型至少可以提供一部分答案:

1. 地震异常是否与某一油(气)田有关?
2. 异常的特点是什么?
3. 异常的可能的地质起因是什么?
4. 探测异常所必需的最小带宽多大?
5. 用野外地震资料探测给定的地层圈闭的概率如何?

这些地震模型是提供给对地震-地层技术非常熟悉的地质学家和地球物理学家,以及希望对地震模型方法和应用有一般了解的新手用的。特别是有经验的地球科学家,将从对各类已知地层圈闭的地质结构和地震模型的详细描绘中得到好处,因为这些资料的大部分从未发表过。设计地震模型所依据的地质资料,已被许多材料所证实,所以我们的模型很容易与其它研究者所提供的模型进行对比。

我们所研究的油田有:波特河盆地的贝尔克里克(Bell Creek),迪林格尔兰奇(Dillingen Ranch),派因洛奇(Pine Lodge),雷文克里克(Raven Creek),红鸟(Red Bird),罗泽特(Rozet),南格伦洛克(South Glenrock),韦尔德劳(Well Draw),

[●]1 英尺=30.48 厘米,下同。

西索尔特克里克 (West Salt Creek) (参见图 1); 丹佛盆地的阿德纳 (Adena), 霍斯特 (Holster), 第三克里克 (Third Creek), 皮奥里亚 (Peoria) (参见图 2); 大格林河盆地的德赛尔特斯普林斯 (Desert Springs), 帕特里克德劳 (Patrick Draw) (参见图 3); 圣胡安盆地的霍尔斯肖 (Horseshoe) (参见图 4)。

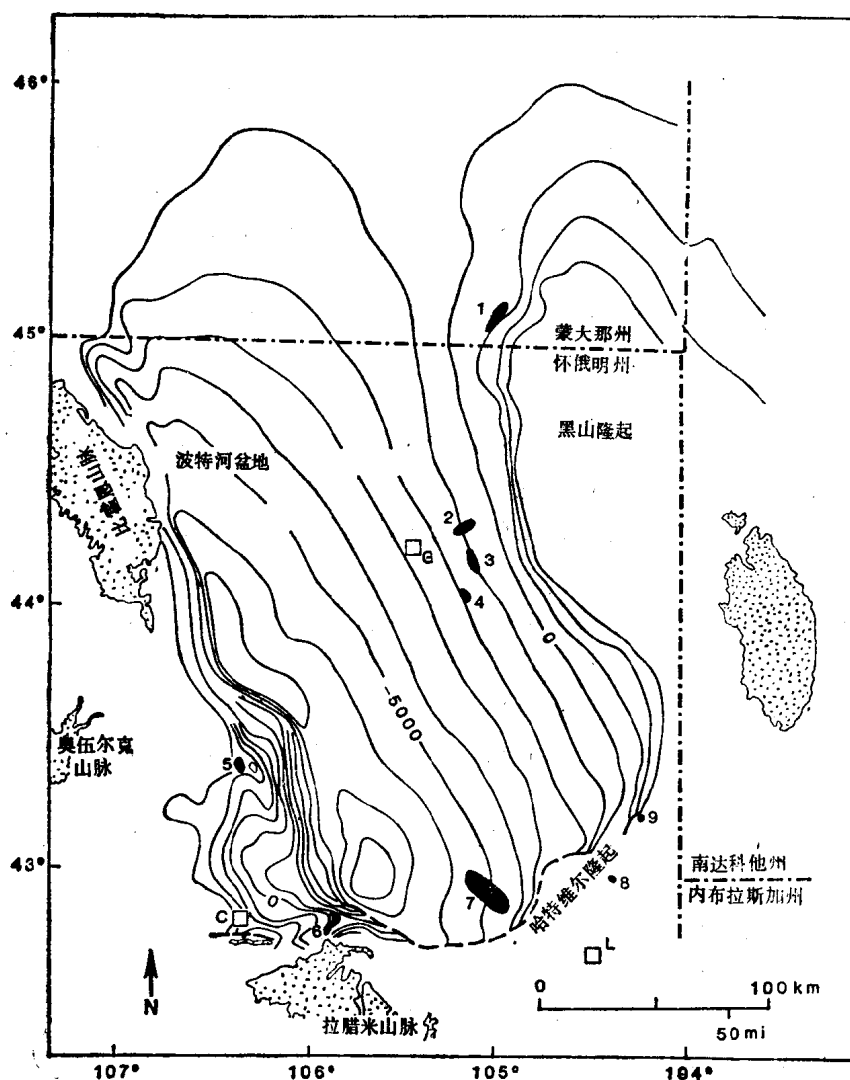


图 1

波特河盆地的索引图, 指出了制作模型的地层圈闭油田的位置。构造的等值线是根据尼奥布拉拉组的顶部绘制的, 等值线距1000英尺。标出位置的油田有, 1. 贝尔克里克; 2. 罗泽特; 3. 雷文克里克; 4. 迪林格朗奇; 5. 西索尔特克里克; 6. 南格伦罗克; 7. 韦尔德劳; 8. 派因洛奇; 9. 红鸟。标明位置的城市有, C. 卡斯珀, G. 吉利特

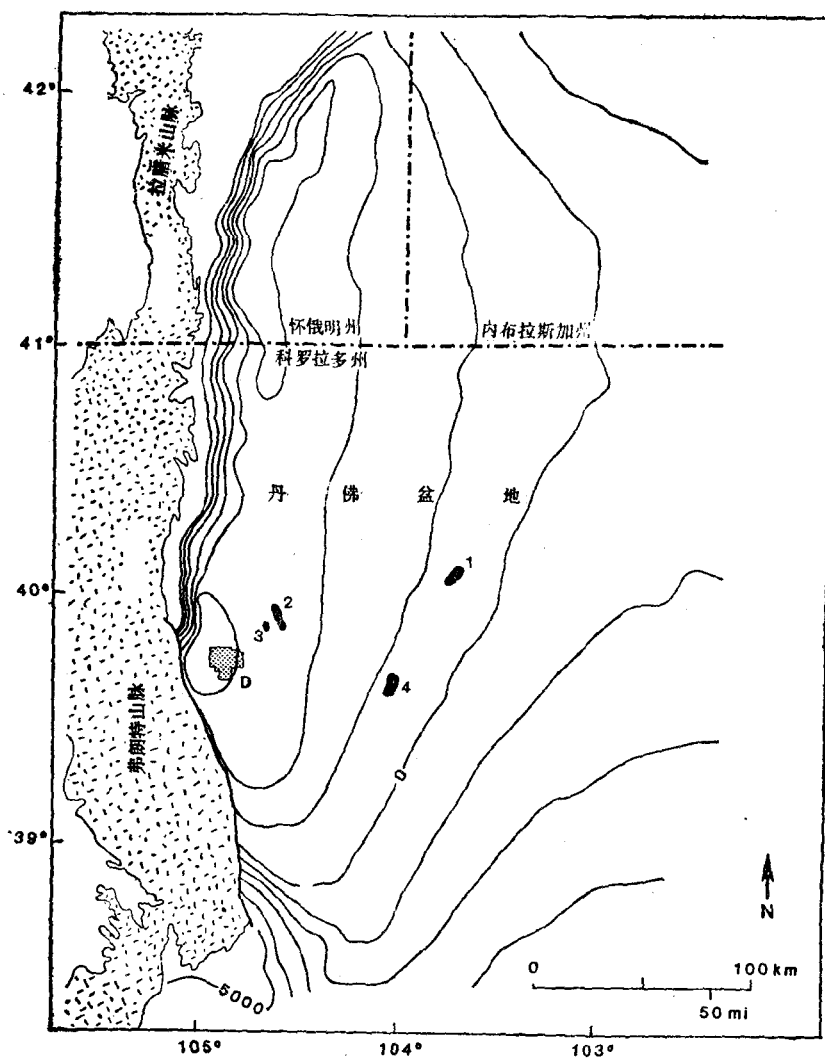


图 2

丹佛盆地索引图，指出了制作模型的地层圈闭油田的位置。构造的等值线是根据尼奥布拉组顶部绘制的，等值线距 1000 英尺。标出位置的油田有：1. 阿德纳；2. 第三克里克，3. 霍斯特；4. 皮奥里亚。标明位置的城市，D. 丹佛

本书只应用现有的地震模型技术。人们知道一维地震模型技术已有几十年，并且已经应用于落基山地区某些已知的地层圈闭油田（Sengbush, 1962; Tranter and Kerns, 1972）。地震模型技术水平不断提高，例如，现在已经有了二维的、可对许多输入参数进行选择波动原理模型程序。梅克尔与纳思（Meckel and Nath, 1977），盖洛韦、杨西与惠普尔（Galloway, Yancy, and Whipple, 1977），克莱门特（Clement, 1977），和莫勒与范韦厄（Maureau and Van Wijhe, 1979）等近年所发表的文章是地震-地层研究方面很好的例子，这些文章都描述并应用了现代的地震模型程序。

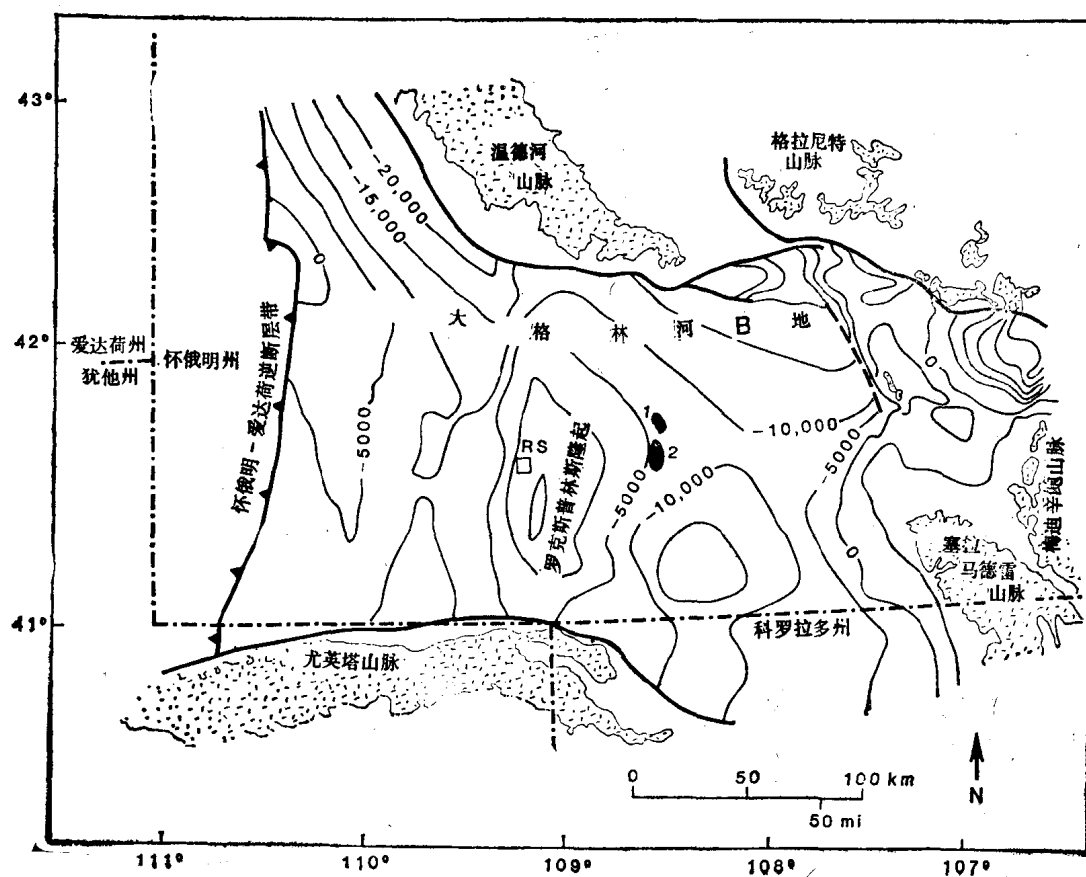


图 3

大格林河盆地索引图，指出了制作模型的地层圈闭油田的位置。构造的等值线是根据尼奥布拉组顶部绘出的，等值线距 5000 英尺。标出位置的油田有：1. 德赛尔蒂斯普林斯，2. 帕特里克德劳。标明位置的城市，RS. 罗克斯普林斯

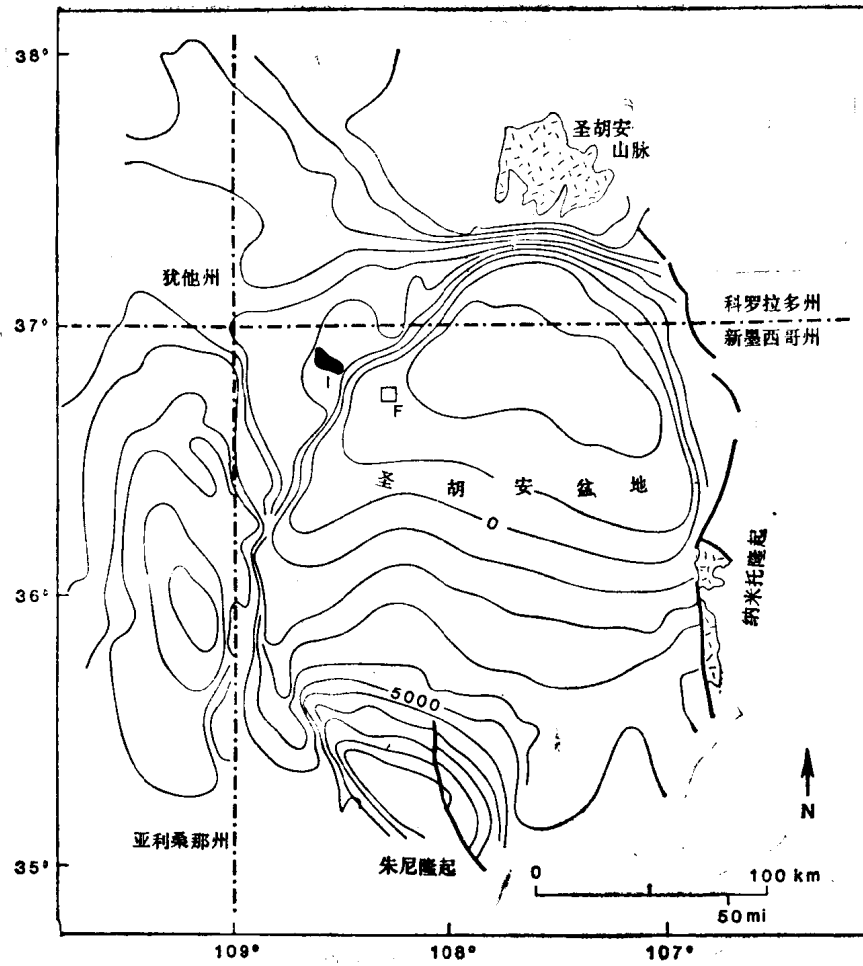


图 4

圣胡安盆地索引图，指出了制作模型的地层圈闭油田的位置。构造的等值线是根据达科他组顶部绘制的，等值线距 1000 英尺。标出位置的油田为，1. 霍尔肖。标明位置的城市，F. 法明顿

二、模型方法及有关说明

二维地震模型是用先进的解释模型系统 (AIMS-II)、垂直入射和射线原理程序产生的。奈德尔与波吉阿格罗米 (Neidell and Poggiagliolmi, 1977) 归纳了一般的原理及射线原理模型的应用。有些地震模型也可由波动方程解所产生, 但是这些模型与射线原理程序产生的模型没有多大区别。

每一个地震模型都是由重建感兴趣的地层圈闭油田的地层剖面开始的。本书中的所有地层剖面, 都是作者根据钻孔测井、取芯和岩性录井资料绘制的。如果剖面是根据以前发表的剖面修改得到的, 那么就会注明资料来源。书中为每一油 (气) 田提供少量的钻孔测井资料, 目的是让读者熟悉地质解释所依据的证据。如果读者要证实全部地层剖面的合理性, 则可以集中所有注明来源的测井资料并建立剖面。

根据地质剖面及其有关的钻孔测井资料, 我们为每个主要地层段提取下列模型参数: (1) 速度 (英尺/秒); (2) 密度 (克/厘米³); (3) 厚度; (4) 几何结构。我们的模型通常包括 5 到 10 个油井或干井位置, 10 到 20 个界面, 100 个以上速度和密度值。大部分速度和密度值都是从声波测井和密度测井中获得的。其余的数值是根据孔隙率测量或测井交会图计算得到的 (Schlumberger Ltd, 1972)。我们认为, 储集层的声波测井和密度测井值能够适当地解释碳氢化合物的种种效应。

对给定的取样点 (即钻孔) 我们画出测井曲线, 使制作模型的每个地层段具有常数。但是这样做难免简化了模型, 因而不能很好地反映过渡的接触部位。我们采取在模型中增加地层数目的办法, 以期部分地解决这个问题。与此相反, 速度和密度值在给定的地层段内是可以有横向变化的 (通过线性内插)。小于 10 英尺的地层往往不包括在地质剖面内。除非它们代表了上覆和下伏地层单元之间一个重要的声阻抗界面。送入计算机的地质剖面必须足够详细, 以便能把给定层系内的主要声阻抗变化考虑进去。但是, 还不能细到超过计算机能力的界限。

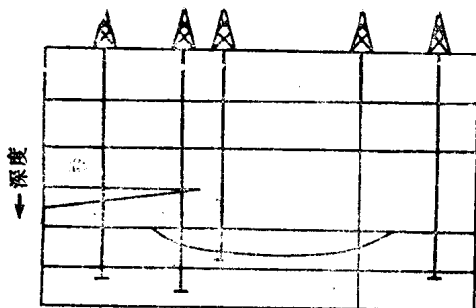
每一地质模型在构组时都用层内的平基准面, 而不考虑构造的倾角。在大部分野外实例中, 构造倾角很少超过 10°, 因此忽略倾角不致使地震模型发生大的变化。

非弹性吸收效应、球面扩散、长周期和短周期多次波、绕射同相轴或随机噪音的估计值, 一概不包括在研究的模型中。

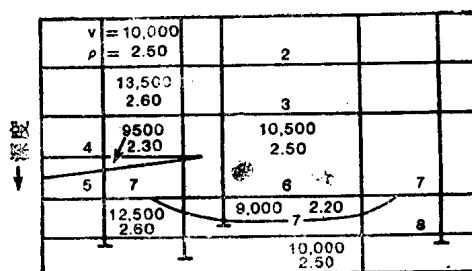
取样率 (1 毫秒)、炮点间距 (660 英尺) 及激发子波 (80 赫和 40 赫对称雷克子波) 等模型参数在整个过程中都保持不变。子波用零相位的, 因为根据舍恩伯格 (Schoenberger, 1974) 的文章, 它们比最小相位子波具有更大的分辨能力。正反射系数是由覆盖在高声阻抗地层上的低声阻抗地层所引起的。

每一个剖面都保持了反射波的相对振幅。也就是说, 构成每个道的反射波形是用与造成界面的反射系数成正比的振幅描绘的。所用的增益称为常数比例因素 (CS), 它在不同的模型中是变化的。与每个模型下部的参考层有关的地震同相轴, 可用来量度地质剖面范围内的界面产生的反射波强度。除去特别注明以外, 每个参考层的反射系数 (RC) 都等于 0.05。

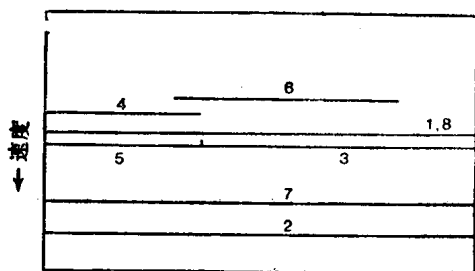
概括这次研究中产生二维地震模型的程序流程图示于图 5。



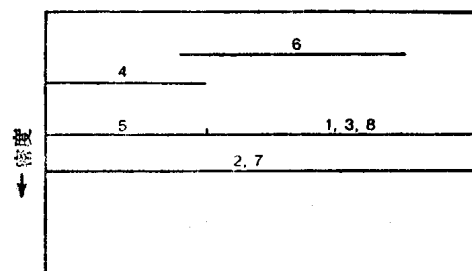
1.地质剖面



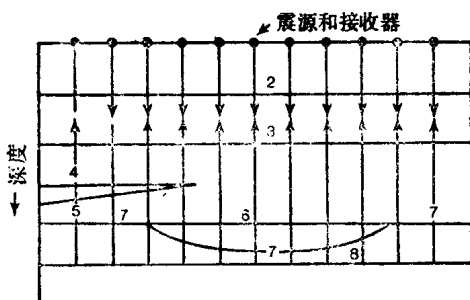
2.指定的速度 v 、密度 ρ 值和地质界面的层数



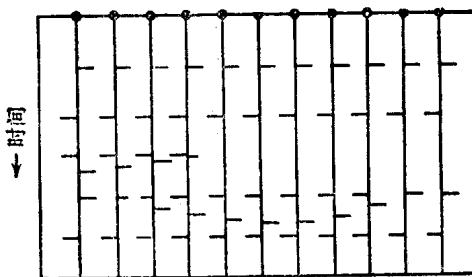
3.横向速度变化图(用第2步的界面数)



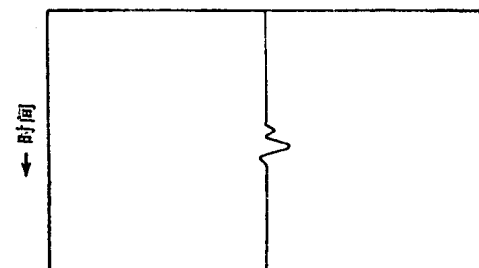
4.横向密度变化图(用第2步的界面数)



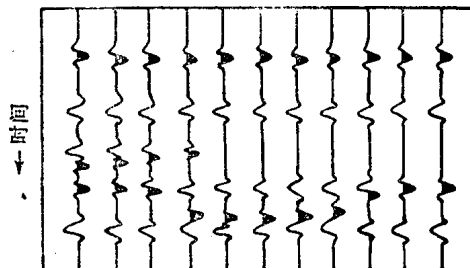
5.垂直入射射线路径图,不考虑多次波



6.地层的脉冲响应模型。这个模型计算地质界面引起的地震响应的振幅,从而算出反射系数和透射效应



7.选择的震源子波



8.与选择的子波褶积的脉冲响应模型,无噪音

图 5 概括这次研究中产生二维地震模型的方法的流程图

我们没有对地震异常的定量化作出努力。例如，这类定量化有：波峰到波谷的振幅比，波峰到波谷的振幅值，波峰到波谷的时间间距，以及频率成分等。相反，却用诸如强、高、中、低、弱等定性术语来描述地震异常。与此类似，用中等和好这样的词来评价地震资料（主要根据对模型的定性解释）探测各油气田的概率。同时，也向读者提供关于哪些油田最适合应用地震资料进行探测的最终评价。

除了二维 AIMS-II 模型以外，也为每个油气田提供了应用 80 赫和 40 赫对称雷克子波的合成一维模型。每个一维模型都有反射系数图用以表示选择的油气田的主要声学特性，以及它们的地震反射波形的一般特征。每个反射系数函数都与特定的子波相褶积，并用细实线和虚线表示出来。

合成一维模型中的波形，很能说明谢里夫 (Sheriff, 1977) 的主张。谢里夫认为：“由于大多数反射波是干涉的产物，因此在地震同相轴与地层的界面之间不存在一一对应的关系。”对阿德纳、霍斯特和第三克里克油田中形成反射波形特征的相长和相消干涉图形作了详细讨论。关于模型研究的其余部分，读者可以根据本书展示的一维模型来推测反射波形的起源。

在一维和二维模型中由逐渐变薄的地层产生的波形（例如德赛尔特斯普林斯油田）表明，在厚度大于或等于调谐厚度的地层的那一部分，将出现振幅的相应加大和波峰到波谷间距的减小 (Widess, 1973)。奈德尔与波吉阿格罗米 (Neidell and Poggiagliolmi, 1977) 对调谐厚度曾定义如下：对于给定的子波，凡能使反射振幅达到极大（由于同相轴的增强）的地层厚度称为调谐厚度。与厚度小于调谐厚度的地层那部分有关的波形，波峰到波谷的间距保持不变，且反射波振幅在地层尖灭时就会消失。

三、科罗拉多州摩根县阿德纳油田

1. 地质结构

阿德纳油田位于丹佛盆地的东部，在科罗拉多州丹佛市东北大约 65 英里（图 2，图 6）。它是 1953 年由福尔肯沿海钻探公司发现的。阿德纳油田属于相变地层圈闭类型，主要储集层是下白垩系 J 砂岩，厚度约 30 到 40 英尺。根据 J 砂岩的区域性等厚图（Haun, 1963），J 砂岩可能是在三角洲前缘环境中沉积下来的。储集层的平均孔隙率与渗透率分别为 19.7% 及 356 毫达西（Mygdal, 1963）。储集层向东南方向变薄，最后变成一种紧密胶结的浅海相砂岩单元。它们属 J 砂岩，并形成了圈闭（图 6，彩色图见书最后）。享茨曼页岩中的海相粉砂质页岩是储集层的盖层。该油田的埋藏深度约为 5700 英尺。

阿德纳油田的第二储集层是下白垩系的 D 砂岩。D 砂岩储集层的厚度为 25 到 30 英尺，也可能是在三角洲前缘环境中沉积下来的（Haun, 1963）。储集层在东南方向突然变薄，变成海相粉砂质页岩，于是形成了圈闭。D 砂岩中的海相粉砂质页岩是储集层的盖层。

2. 声学特性

图 6 展出了在制作阿德纳油田地震模型中所用的速度与密度值。由于该油田发现得比较早，因此大部分速度与密度资料必须从离剖面线最近的钻孔测井中获得（钻井位置见图 6）。具体地层段的典型的钻孔测井资料及有关的速度与密度值示于图 7。J 砂岩储集层顶部（第 17 层）10 到 15 英尺范围的速度为 10900 英尺/秒，密度为 2.26 克/厘米³（图 6）。J 砂岩储集层的其余部分（第 18 层）的速度与密度值分别为 11700 英尺/秒及 2.38 克/厘米³。J 砂岩的圈闭相（第 16 层）的速度为 14300 英尺/秒，密度为 2.53 克/厘米³。

D 砂岩沿着图 6 指出的剖面线并不产油或天然气，但是它与北面相距仅 3 英里的 D 砂岩生产层，在岩性、几何形态以及（可能）声学特性等诸方向都很相似。D 砂岩（7 号井西面的第 11 层）所用的速度为 13500 英尺/秒，密度为 2.55 克/厘米³。

3. 地震模型

阿德纳油田应用 80 赫和 40 赫子波的一维模型见图 8 和图 9。

即使用 80 赫子波，也不能分辨 J 砂岩储集层的顶和底（第 16 层和 20 层）（图 8）。但是，由享茨曼页岩中的粉砂质页岩（第 15 层）产生的地震同相轴，伴有明显的振幅异常。这种同相轴经过储集层时以一种清晰的中等强度波峰出现，而在致密的砂岩相上则是强振幅波峰。强振幅的形成，是两个波峰相长干涉（亦即调谐）的结果。两个波峰其一属于享茨曼页岩的粉砂质页岩单元的顶（第 15 层），另一属于 J 砂岩的致密砂岩单元的顶（第 16 层的一部分）。与致密砂岩的底（第 20 层的一部分）产生的页尖脉冲褶积的子波尾部，也是一种影响因素。在储集层部分，一到第 15 层波峰就发生振幅衰减，这是与相邻的孔隙 J 砂岩的顶产生的页尖脉冲所形成的波谷之间的相消干涉的结果。

普尔石油公司
布赖恩特 No. 1
SE/SE Sec. 21,
T. 1 N., R. 57 W.

普尔石油公司
戴维斯 No. 7
SW/NE Sec. 6,
T. 1 N., R. 57 W.

普尔石油公司
奥曼 No. 1
NE/SW Sec. 12
T. 1 N., R. 58 W.

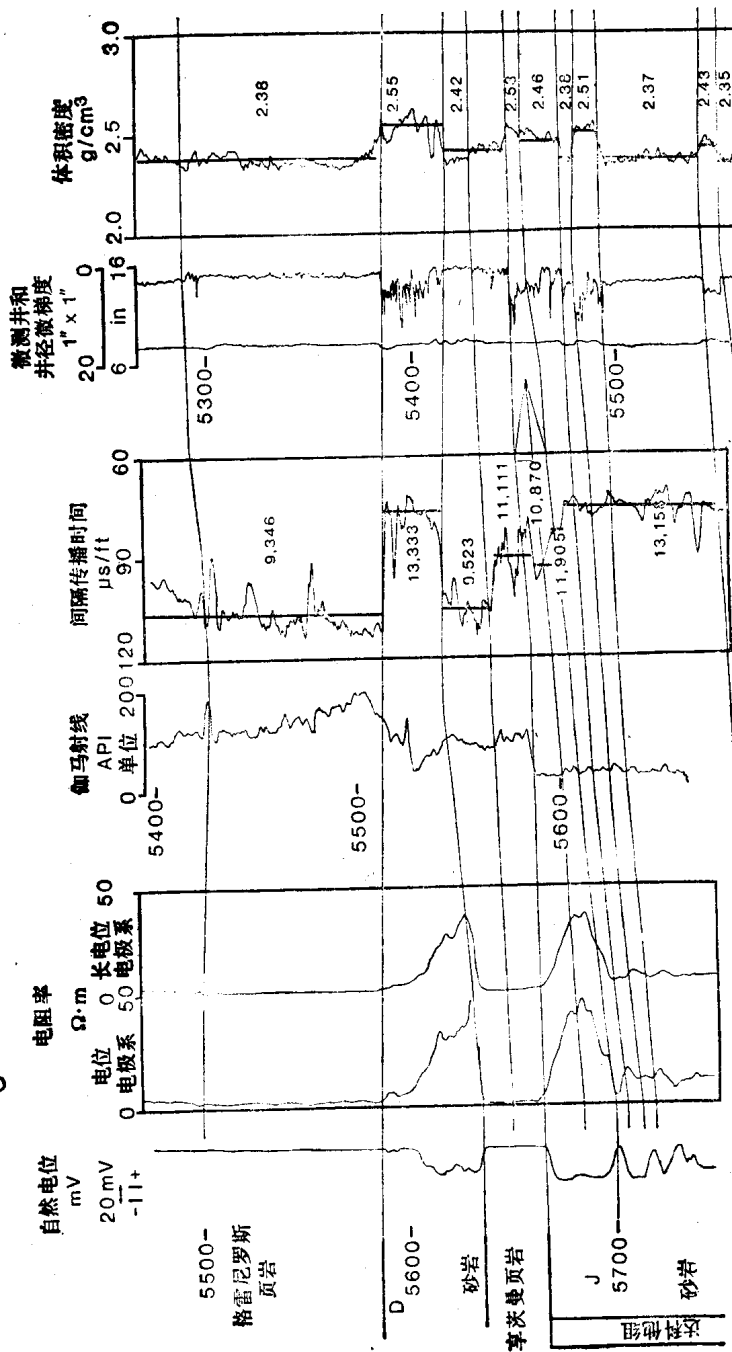


图 7 阿德纳油田选择的测井资料。垂直线给出模型中所用的平均的速度或密度值

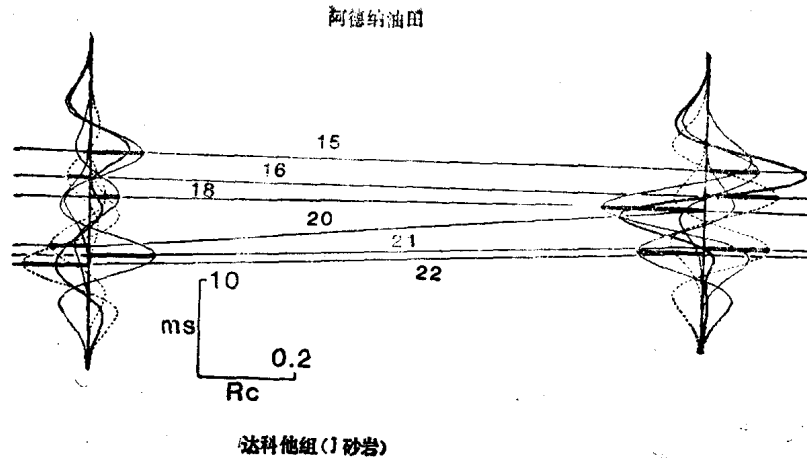


图 8

阿德纳油田的一维地震模型（80赫），显示了反射系数函数，每个尖脉冲都与用细实线或虚线表示的80赫对称雷克子波褶积。合成波形用粗实线表示。标有数字的直线代表在地层剖面内确定的主要地质界面。储集层的顶由第16层（左面）识别。圈闭的顶由第16层（右面）识别

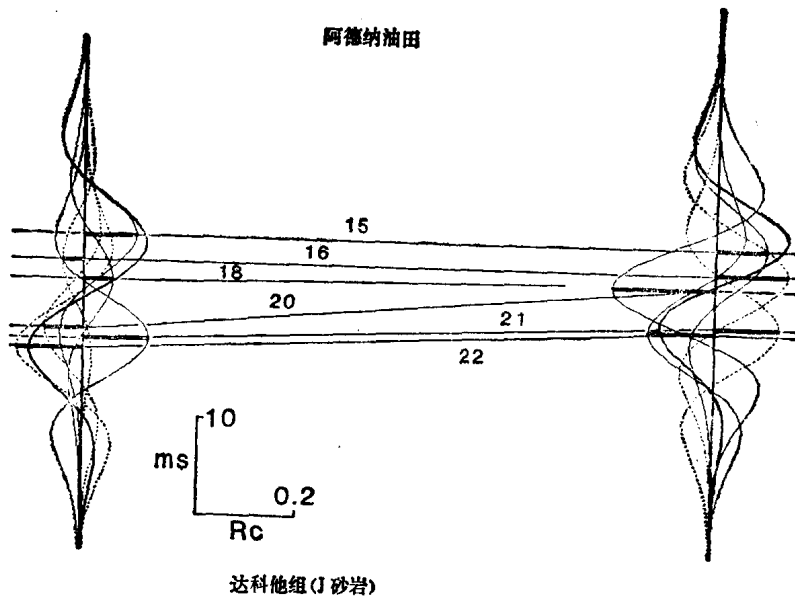


图 9

阿德纳油田的一维地震模型（40赫），显示了反射系数函数。每个尖脉冲都与用细实线或虚线表示的40赫对称雷克子波褶积。合成波形用粗实线表示。标有数字的直线代表在地层剖面内确定的主要地质界面。储集层的顶由第16层（左面）识别。圈闭的顶由16层（右面）识别

用80赫子波展示的二维地震模型（图10），清楚地显示了在一维模型中出现的振幅异常。该剖面也显示了代表D砂岩的波峰的振幅变化。厚层D砂层（向北数英里它就是油层）与相邻的薄砂岩单元相比，所产生的同相轴具有较强的振幅。

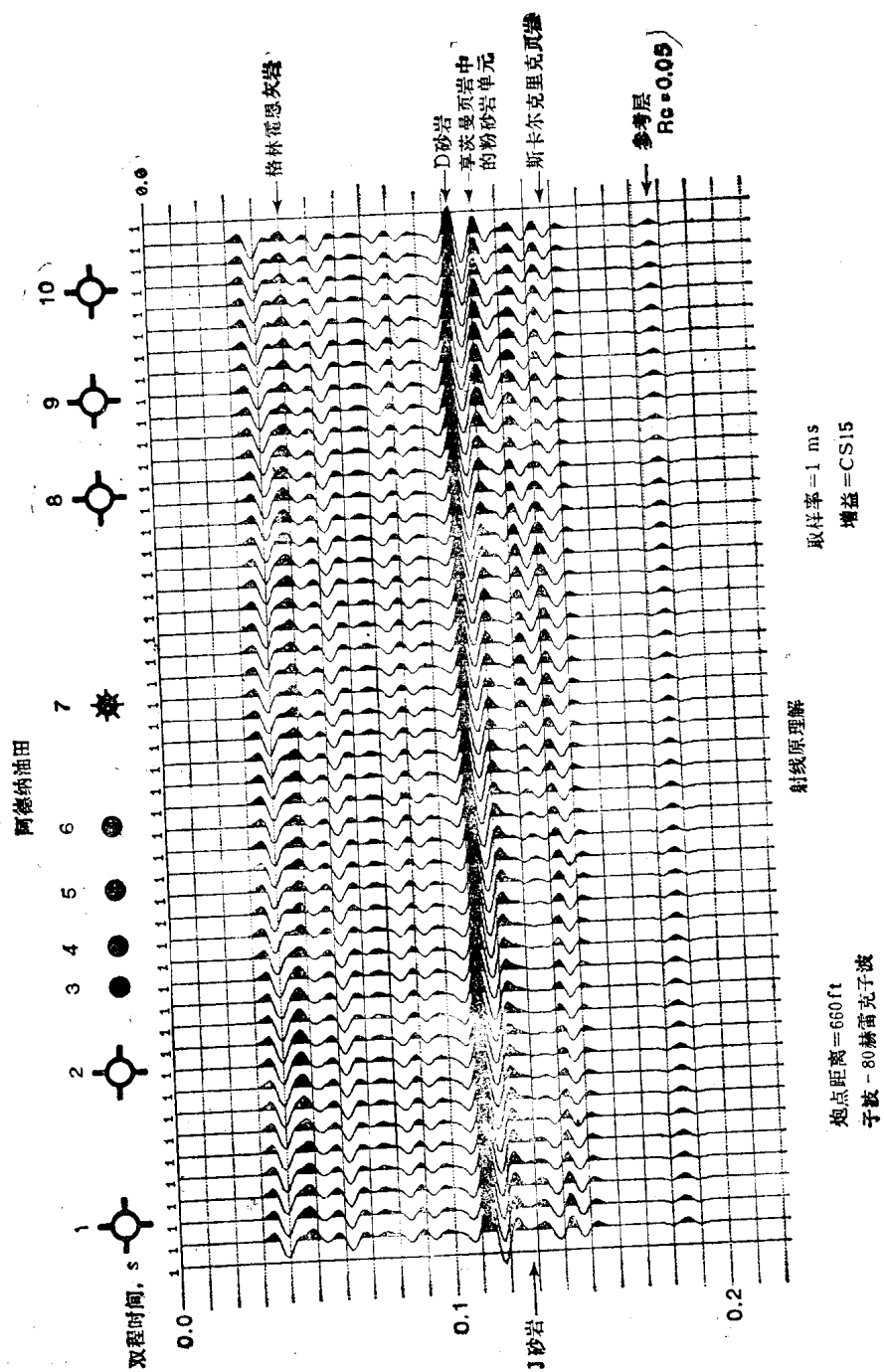


图 10

阿德纳油田的二维地震模型 (80赫), 可以识别产生主要的反射同相轴的地层单元

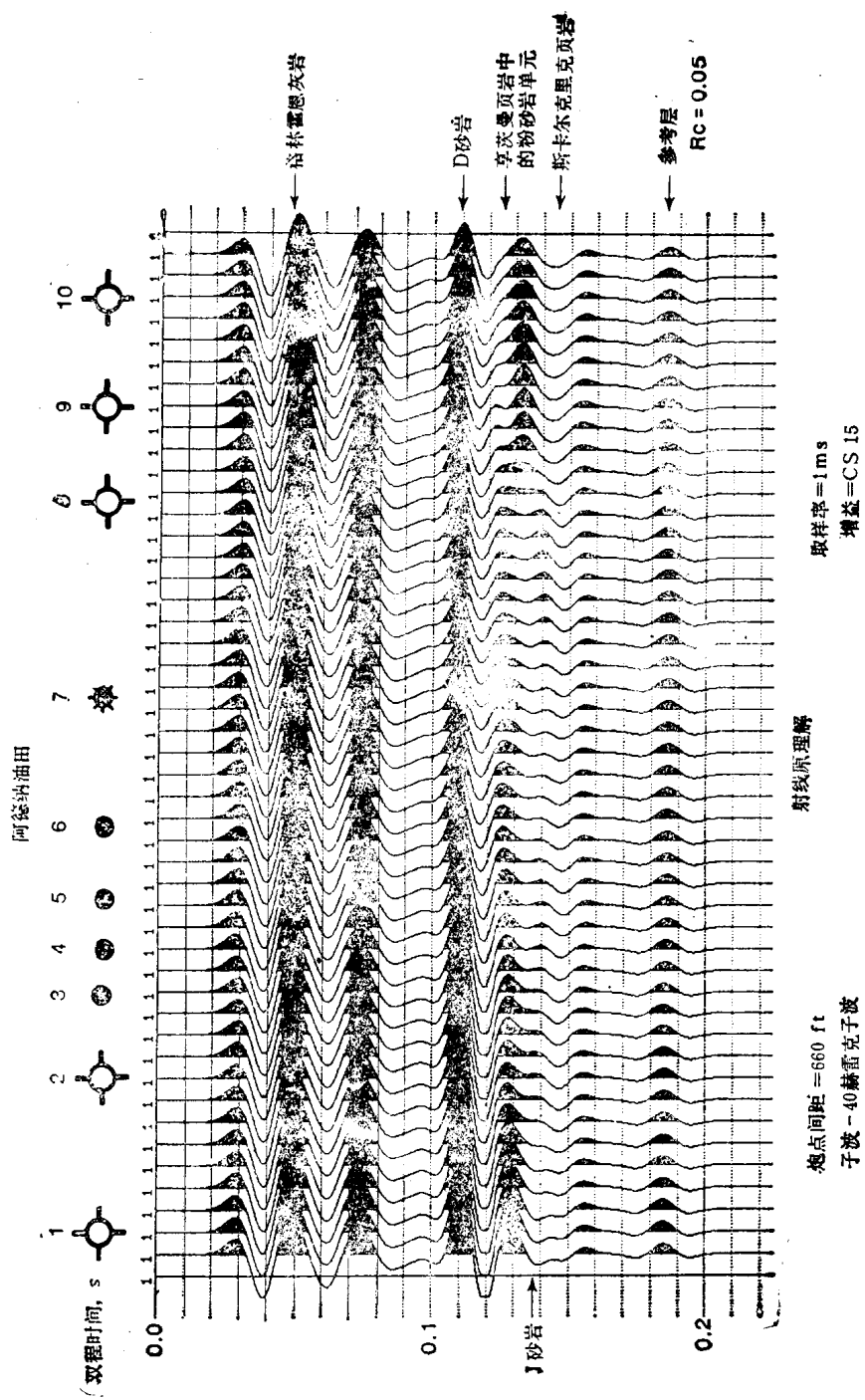


图 11

阿德纳油田的二维地震模型 (40 赫), 可以识别产层主要的反射同相轴的地层单元

在 40 赫一维模型中(图 9), 没有明显的波形或振幅变化使 J 砂岩储集层能与相邻的圈闭相分开。伴随圈闭相出现的强振幅波峰在 40 赫二维模型中仍然存在, 但是与 80 赫一维和二维模型有所不同: 它们向下移动了将近 10 毫秒, 同 J 砂岩的顶紧靠在一起(图 11)。波形异常在 40 赫一维模型中无法辨认, 这是因为某些相邻的界面(它们对 40 赫反射子波的特性有重大影响)被省略了。80 赫模型中 D 砂岩顶部附近看到的振幅异常, 在 40 赫二维模型中依然存在。

观察模型研究中确定阿德纳油田的地震异常的细微变化, 用主频 40 赫左右的地震资料探测该油田的概率, 被评价为中等到差。