

在阿尔伯达南部地区利用三维地震 岩性模拟技术圈定河道储集层

V.A.Gelfand 等
Western Geophysical Co.

范伟粹 译
吕学谦 校

摘 要

河道砂岩储集层虽然由于其潜在孔隙度和渗透率高,而引起了人们的注意,但由于砂岩和页岩分布极不稳定,给开发这类储集层带来了困难。加拿大阿尔伯达州塔贝-图林(Taber-Turin)地区就是一个以这类储集层著称的含油区。为了详细地确定可能的储集层范围,在这个地区做了4平方公里^①三维地震勘探,采用了道间距为20米的方形网格。然后,采用地震岩性模拟技术(SLIM),即能改进初始地质模型的自动解释程序对处理过的资料作薄层解释。虽然用于地震岩性模拟处理的初始模型仅以一口井(原先用于标定的井)的资料为基础,但推导的速度模型却详细地揭示了一个薄层海绿石储集层(0~30)米,这正是我们要努力圈定的目的层。这个地区早先钻了六口井,其中四口为油井,两口为干井,这与地震岩性模拟解释的结果一致。此外,利用地震岩性模拟解释结果还提供了另外三口井位,至今已完钻两口,全部产油。

引言与地质背景

河道砂岩储集层之所以引人注目,原因是,其潜在的孔隙度和渗透率高,但是由于砂岩和页岩分布变化无常,开发这类储集层有一定困难。阿尔伯达塔贝-图林地区就是以这类储集层著称的含油区。在这个含油区,已经钻了大约500口井,已经高度开发。尽管这个地区拥有大量井的资料,但为了正确圈定储集层范围,对每个新的远景区仍然需要进行详探。塔贝地区的广为人们所接受的综合地质解释立体图示于图1(Hradsky and Griffin, 1981)。

主要的目的层是海绿石层,岩心的岩性地质分析表明应属淡水沉积环境。海绿石层系一组下白垩系地层,它覆盖在厚约40—50米的介形亚纲层(Ostracode)和塔贝层之上,而后者又覆盖在一个大的不整合层顶界之上,这个大的不整合面是上部的下白垩系碎屑岩和下部的密西西比系灰岩层之间的一个区域性的强地震反射面。

海绿石储集层与一个长约50公里,宽3公里,深达40米的古河谷有关。这个河谷以约

^① 译注:原文单位有误。

5米/公里的斜率从西北向东南倾斜, 横跨该区域。海绿石层是由一组多孔隙和渗透性的砂岩组成, 其四周为不渗透的粉砂岩。一般来说, 砂岩的孔隙度约为15%, 纵波速度为3700米/秒, 密度为2.44克/厘米³ (当然, 孔隙度约和天然气饱和度的变化会影响这些岩石的声阻抗参数)。盖层和下覆地层的速度介于4000—4500米/秒之间。由于河谷中的砂岩和粉砂岩的分布难于推断 (储集层厚度变化剧烈, 或变为零或变为不渗透的粉砂岩), 因此用常规二维地震资料来圈定海绿石储集层是十分不可靠的。即使测线间距仅为几百米的密集的二维地震测线网, 也不能满足此目的。

在塔贝-图林地区, 一家作业者加拿大高级石油公司利用了一整套最新地震勘探技术, 包括三维地震资料的采集和三维地震岩性模拟技术 (SLIM)。西方地球物理公司提供了各种处理服务。测区位于蒙大拿边界以北约100公里处, 面积约4平方公里 (见图1)。

三维地震资料

为了满足详细地反映地下地质情况的要求, 采用20×20米间距的测网采集地震道。最终的资料处理量为88条测线, 线距为20米, 每条测线有111个叠加道, 道距也为20米。

除常规数据处理外, 其他处理工作包括三维速度估算、相对振幅保持、自动估算和校正根据折射资料和剩余反射资料所得的剩余静校正值以及三维偏移等。

与粉砂岩截然不同, 在砂岩储集层上观测到海绿石层地震波的振幅约增强30%, 这已经成为选择井位的主要准则。不论砂岩分布在何处, 这种振幅的增强都应归因于海绿石层和其上下邻层间的声阻抗差。同时密西西比不整合面的相对高点被当作是证实海绿石砂岩存在的有力证据。

尽管用于解释的准则尚有不解之处, 但是沿着二维测线定的井位却相当成功, 六口井位中有四口出油 (图2)。然而为了预测新井位而在二维测线之间进行了内插, 结果却并不令人满意。而且由于碎屑岩薄层产生了复杂的地震响应, 计算机要比凭肉眼好分辨它们。计算机的另一优点是, 以合理的时间处理大量的资料。因此决定采用以计算机为基础的地震岩性模拟处理方法来详细解释三维地震资料。地震岩性模拟处理的主要优点是: ①能够提高目的层的分辨率; ②导出与岩性和孔隙度直接有关的薄层速度模型; ③恰当估算储量。

三维地震岩性模拟解释

地震岩性模拟处理为一迭代优化处理方法, 目的是将频带有限的含有噪声的地震资料恢复为一个宽带地球物理模型。其方法是修改模型参数 (速度、密度、界面深度), 以提高实际资料与和模型有关的合成资料之间的相似性 (Gelfand and Larner, 1984)。首先根据速度-深度模型计算反射系数-时间函数, 然后用适当的子波进行滤波, 于是得到一组合成资料, 其频带宽度与被处理地震资料中的相同。在本文中, 这套合成资料只用来作为衡量速度模型与实际地震资料拟合好坏的一个量度。

本文一开始, 制作了一个沿28测线的二维SLIM模型, 模型东端有一口生产井, 根据井眼补偿声波测井资料, 校正到实际垂直深度, 做一个简单的四层初始模型, 再通过人机联作二维模拟技术调整, 直到使模型资料与该测线的三维偏移资料在主要层位上可以对比, 然后将

模型进行深度调整直至与井中资料一致。模拟层段厚度约400米。

对模型参数作了七次修改，所得的合成资料与野外资料十分吻合（归一化互相关系数平均为0.95）（图3）。比较所得的速度与井中声波测井数据也表明两者十分相似。虽然地震岩性模拟导出的模型频带较宽，且与井中资料相当吻合，但由于二维连续性太差，我们仍不能根据测网稀疏的二维地震资料来划分海绿石层。下面我们将地震岩性模拟技术用于三维偏移数据体，其时间范围为160毫秒（400米左右）。

我们将现用的地震岩性模拟处理方法扩展到三维域时，应用对一条测线的三维偏移资料进行地震岩性模拟处理后所得到的最终模型作为下一条测线的初始模型。如果考虑叠加测线之间的距离（20米），以及局部的地质情况和其地震响应，那末我们认为将一条测线的初始模型沿用到下一条测线的这一重要发展将会有效。

我们将改进的SLIM模型从上面已经分析过的第一条测线（测线28，约进入测区三分之一），用到相邻的测线。但对以后每条测线的模型参数均作了三次修改，穿过测区的各条测线的实际资料与合成资料之间的归一化互相关系数平均约为0.93。结果从图4可见，实际地震资料、合成资料以及合成速度模型资料三者十分相似。借助交互解释三维显示工作站（CRYSTAL系统），将资料显示为三维立体图象。CRYSTAL系统是专门为了处理和显示大量的数据体而设计的。正如人们所看到的，尽管实际资料和合成资料两者十分相似，但是一个好的模型包含了许多细节，这些细节实际上凭肉眼不能在地震记录上分辨出来。由于测区内岩性横向变化很大，所以在导出的SLIM的速度模型中地层连续性偶尔发生的中断现象，和在二维地震岩性模型上一样多，但是三维资料透视图却可以使我们清楚地了解中断区周围上下的地质现象。

前面已经提到，根据地震资料解释已经打了六口井。这六口井中四口产油，这与三维地震岩性模型解释完全一致。图4c表示为了说明其中两口生产井E和F我们所选择的理论计算的速度模型三维数据体。三维立体显示图展示了这些井中的低速层段（海绿石砂岩层），在一口干井A中没有低速层段（图5），因为在这口井中低速砂岩已变成了高速粉砂岩。

地震岩性模拟解释结果没有明显地证实第二口干井。从图5三维立体图来看，这口井似乎正好穿过砂岩中的一个小高速透镜体（粉砂岩）。为了更详细地研究这种现象，我们做了六张等时切片，间隔为2毫秒。图6为这些等时切片的平面图。图上阴影区代表至少有一张等时切片上SLIM模型表明为低速区的地方。由此可见，这口干井正好位于所圈定的高速粉砂岩区内，其周围为低速砂层，地震岩性模拟技术解释的粉砂岩区十分之小，以致处理时不可能如此精确地肯定。实际上这个区域也许比图中显示的要大，尽管如此这口井依然是干井，而且地震岩性模拟处理也表明为一高速区，解释为粉砂岩。

在三维勘探区，我们想用地震岩性模拟解释结果来估计储量。从以前的钻井资料中获知，尽管储集层形状复杂，但油气接触面和油水接触面几乎是平的。为了用三维地震资料来圈定储集层，我们准备在油-气接触面和油水接触面之间的层段以2毫秒间隔作一系列等时切片，然后利用所假设的速度和孔隙度的关系估计储量。

结 束 语

利用三维地震岩性模拟解释提供的三维资料，以及利用交互解释站处理和显示三维速

度，有可能详细地圈定河道储集层砂岩的分布范围。在塔贝地区，虽然在进行模拟时只用了其中一口井的资料，但由地震岩性模拟方法导出的三维薄层模型与先前钻的六口井资料是吻合的。

考虑地震岩性模拟解释结果，在测区内布置了另外三口井。至今已钻完两口井，这两口井与地震岩性模拟解释一致，都为产油井。

我们相信，对高分辨率三维地震资料进行三维地震岩性模拟解释是实现勘探地震学的重要步骤。

参 考 文 献

1. Gelfand, V., and K. Larner, 1984, Seismic lithologic modeling: The Leading Edge, 3, November, 30-35.
2. Hradsky, M., and M. Griffin, 1984, Sandstone body geometry, reservoir

quality and hydrocarbon trapping mechanisms in the Lower Cretaceous Mannville Group, Taber/Turin Area, Southern Alberta. CSFG, Memoir 9, 401-411.

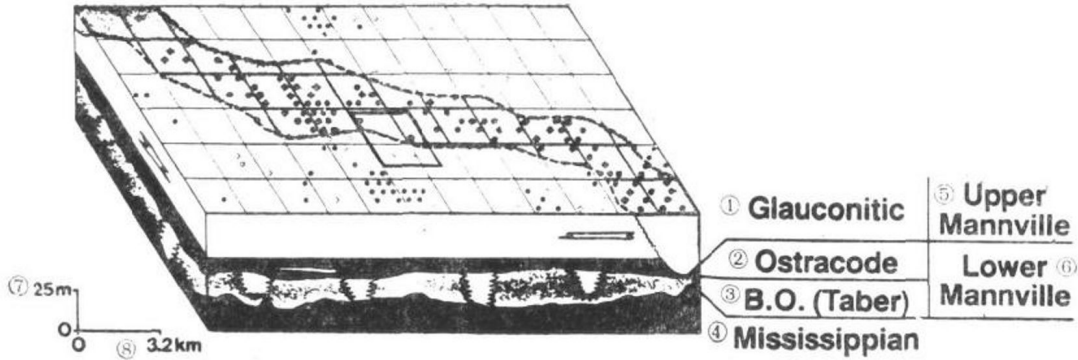


图 1 塔贝地区综合地质图

①海绿石层；②介形亚纲层；③B.O.(塔贝)层；④密西西比层；⑤曼维尔层上部；⑥曼维尔层下部；
⑦25米；⑧3.2公里

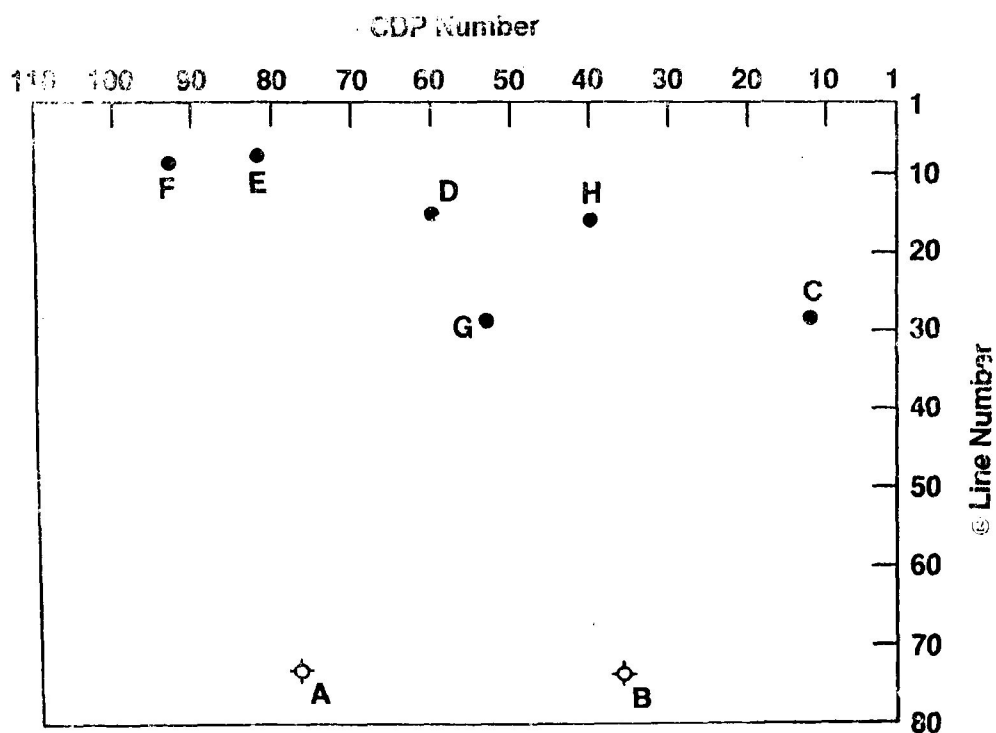


图 2 三维地震勘探区 (图1中的突出部分) 和八口井的井位

①井深度点; ②测线号

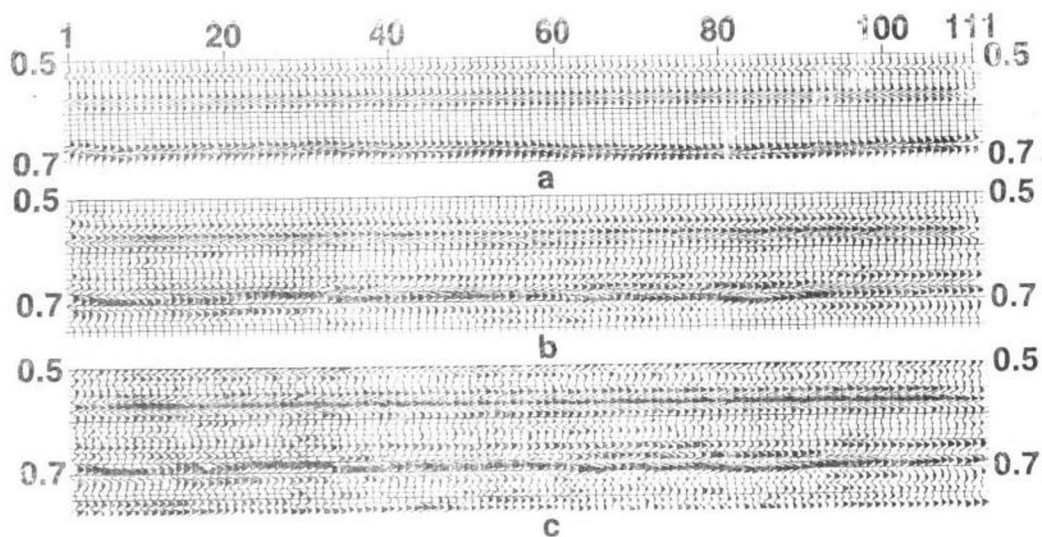


图 3 (a)初始模型 (沿28测线) 的垂直入射合成资料;

(b)改进后的SLIM模型(同一条测线)的合成资料;

(c)野外得到的地震资料

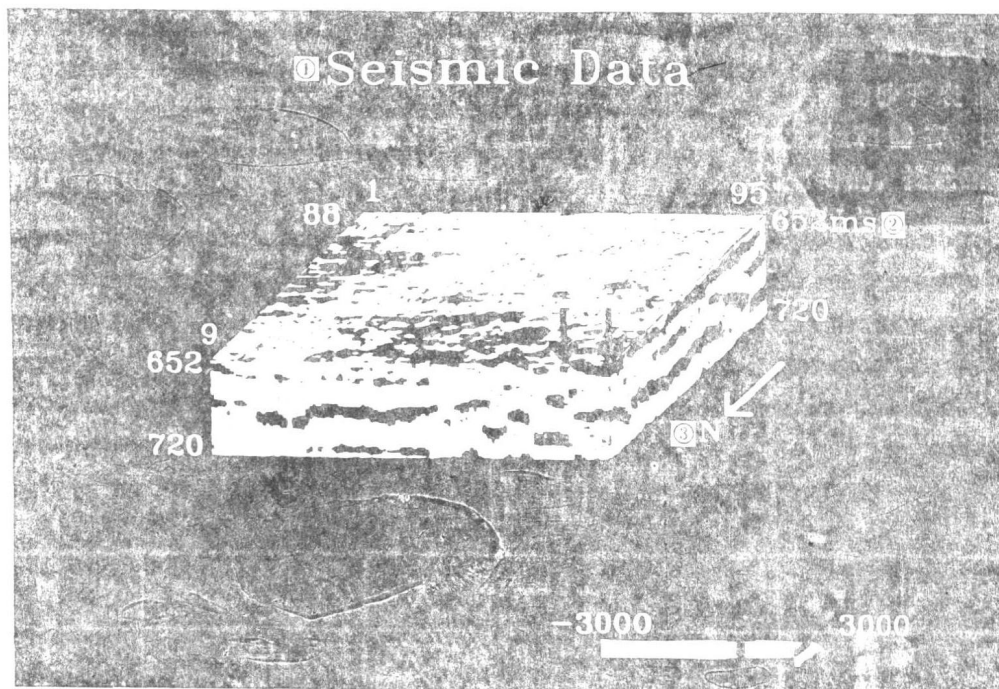


图 4a 西北部分三维资料的立体图
①地震资料；②毫秒；③北

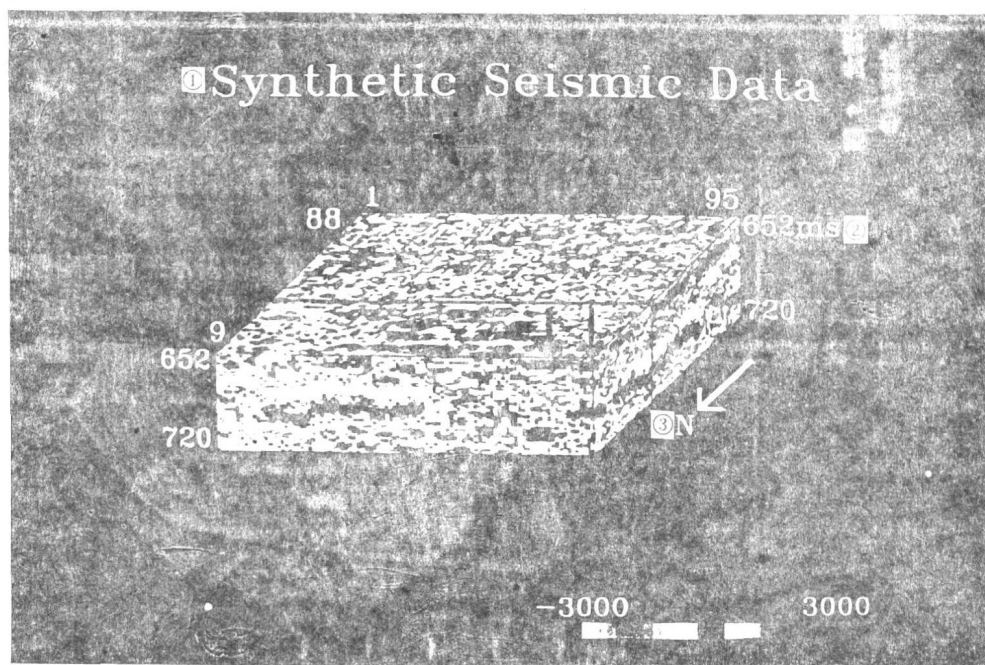


图 4b 最终合成资料
①合成资料；②毫秒；③北

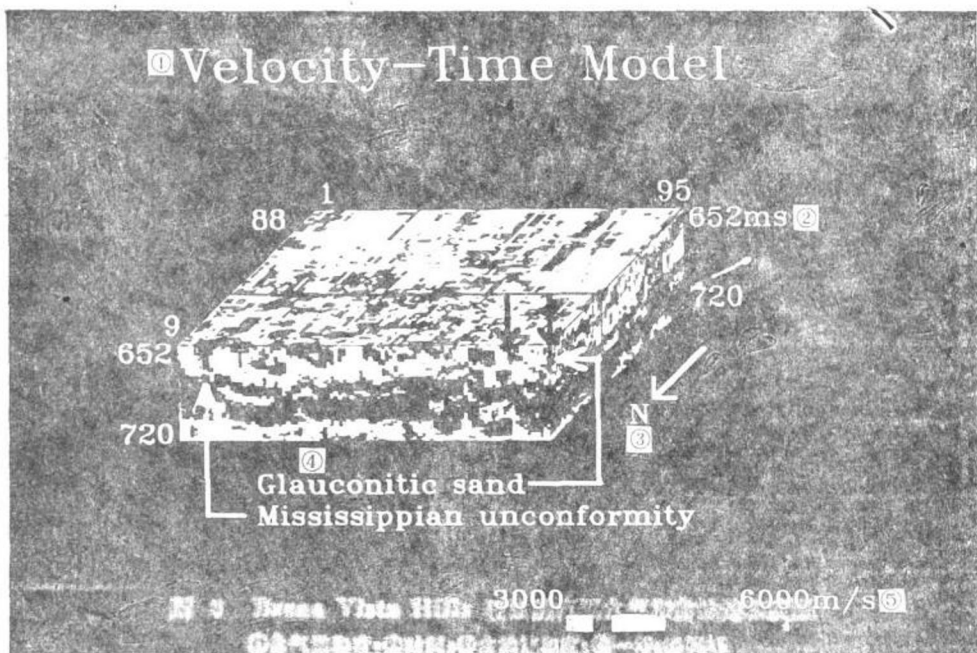


图 4c 理论计算的速度模型

①速度-时间模型；②652毫秒；③北；④海绿石砂岩，密西西比不整合；⑤6000米/秒
以上三图的652毫秒等时切片靠近海绿石砂岩顶部，垂直箭头指出两个生产井井位E(左)和F
(注意，低速海绿石砂岩在图4c和5中表现为黄色和红色)

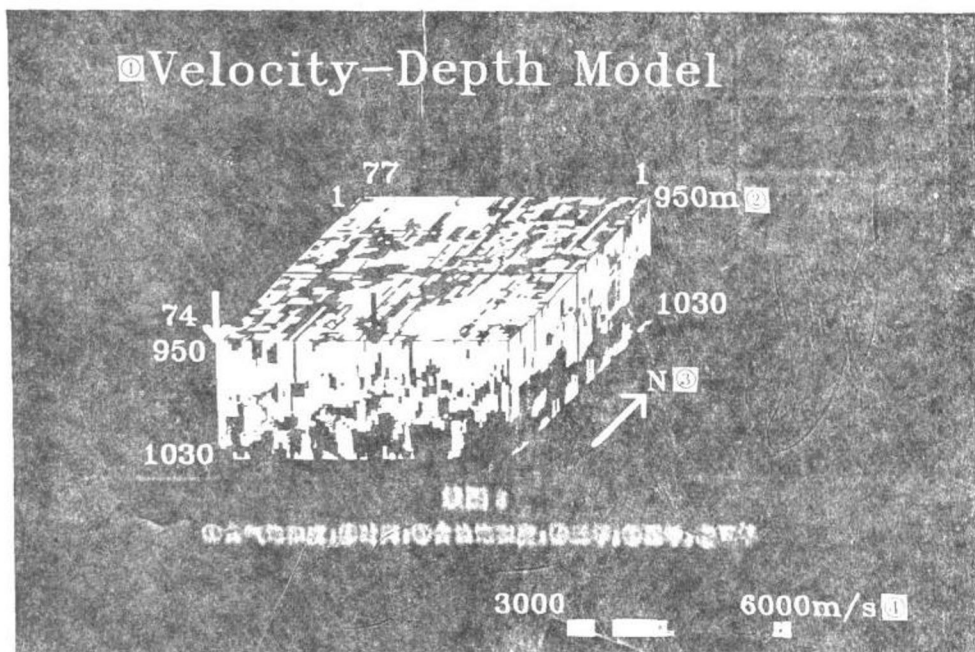


图 5 三维速度-深度模型立体图，及位于前剖面的A和B两口干井

①速度-深度模型；②950米；③北；④6000米/秒

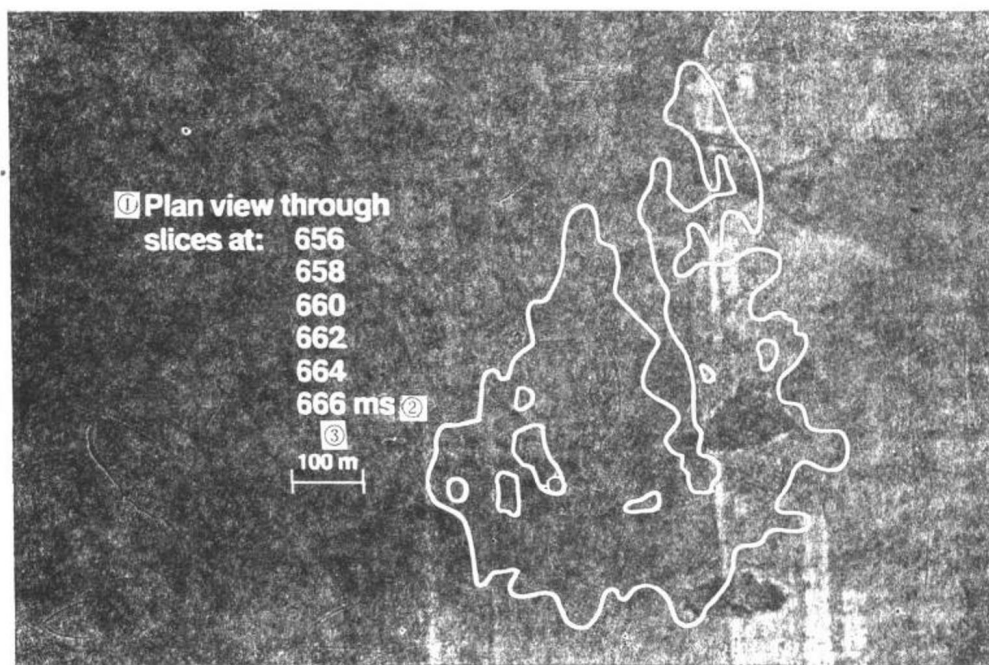


图 6 六张等时切片的平面图，图上展示出地震岩性模拟技术预测的干井B附近的一个储集层，阴影区表示在一般的储集层深度上预测的低速砂层的位置
①全部等时切片的平面图；②毫秒；③米