

莺歌海盆地气层反射地震波动力学特征研究

张树林

(南海油田西部公司 广东湛江 524057)

摘 要 地震反射波振幅是地震波动力学特征的重要参数之一。指出:在莺歌海盆地的油气勘探实践中,常常利用地震反射波振幅来研究地层的岩性和含流体性,但发现亮点勘探技术存在严重的局限性。认为莺歌海盆地浅层气层在地震剖面上表现为强亮点型,中深层气层的反射模式与浅层气层是不一样的,通常表现为中弱振幅型,不能把浅层气层的勘探思路用到深层气藏的勘探上。

关键词 莺歌海盆地 亮点勘探 地震波振幅 气层

1 前言

60年代,美国的地球物理学家首先提出并应用了亮点勘探技术。应用该技术在墨西哥湾发现了大中型气田。中国的地球物理学家们利用亮点勘探技术发现并开发了崖13-1气田。该气田是一个大型气田,可采储量达1000亿 m^3 。该气层顶面反射在纵波剖面上表现为一较强振幅的负反射。

由于利用亮点技术发现了崖13-1这一大型优质气田,从而引起了人们应用亮点技术的热潮。在莺歌海盆地的纵波反射地震剖面上,无论是浅层,还是中深层都存在着强振幅亮点。通过对浅层亮点进行研究,预测了几个浅层气藏,并通过钻井发现了几个浅层气田(如乐东22-1)。同时,也发现了少数的浅层亮点是岩性亮点(含钙引起)。很自然,人们会不由自主地把浅层的勘探思路和方法用于中深层的气藏勘探中,认为莺歌海盆地深层气层顶面的纵波反射也是一个强振幅亮点,因此,对强振幅亮点产生了极大的兴趣,对亮点进行了大量的研究,几乎无一例外地都用亮点来直接预测砂层和气层。

笔者一直在思考这样两个问题:①莺歌海盆地中深层到底存不存在气层?②莺歌海盆地中深层纵波剖面上的像浅层一样强的亮点到底是不是气藏的反映?通过大量的研究^①笔者认为莺歌海盆地中深层存在大型气藏,具有成藏的地质条件。本文主要研究第二个问题,即对莺歌海盆地中深层(尤其是深层)气藏的地震波动力学特征——纵波反射振幅进行研究。研究表明:在纵波偏移叠加剖面上,如果存在像浅层气亮点一样强的振幅(主振幅或均方根振幅),一般不是气层反射(至少不是理想气层的反射),深层气层的反射振幅比浅层的弱,而且有的可能弱得多,甚至表现为暗点。

本文只是笔者的初步研究成果。由于该盆地的勘探程度很低,已钻的深井很少,因此,没有太多的硬资料供研究和分析。本文的研究旨在起到抛砖引玉的作用,所得结论需待钻井进

① 张树林,海上多波地震资料解释方法研究及目标区地质效果分析。中国海洋石油总公司科研报告,1999年5月。

一步证实。

2 地质背景

莺歌海盆地位于海南岛以西海域^[1],呈北西走向,面积近 8 万 km²,处于印支板块与华南板块的拼接带——红河大断裂带上,是新生代大陆边缘伸展—转换盆地,沉积厚度约 17 000 m。该盆地具有双层结构,下层为半地堑,估计老第三系厚度为 7 000 m;上层为新第三纪—第四纪形成的坳陷,新第三系—第四系为陆架—浅海—半深海相沉积,厚约 9 000 m 左右。

该盆地东北部及西南部为斜坡带,盆地中央为北西走向的中央坳陷带。以一号大断裂为界与东北斜坡带分开。中央坳陷带西北端为长垣构造,中央为底辟背斜带。在背斜顶部常压区,发现了东方 1—1、乐东 15—1 和乐东 22—1 三个浅层气田及六个含气构造。

莺歌海盆地是一个高温、高压的富气区。该盆地浅层天然气中含有较多的 CO₂ 气和 N₂ 气。勘探程度很低,每 2 184 km² 才有一口探井(且多为浅井)。莺歌海盆地中深层大背斜有较好的勘探前景,是自营勘探的主战场。

3 亮点勘探的局限性

3.1 亮点的定义^[2]

亮点技术一般是指利用振幅参数确定油气藏存在的一种方法。1968 年,Exxon 公司研究部的一些研究人员第一次利用该技术在墨西哥湾的第三系中直接寻找油气藏,取得了较好的效果。亮点勘探技术对促进石油地震勘探技术的发展,曾起过不可磨灭的重要作用。

地震反射亮点一般具有 5 个特征:强反射振幅异常、偶极相位、极性反转、波的干涉和速度异常效应。这些特征中强振幅异常是最直观、也是最容易识别的特征。一般地,识别一个亮点应由此开始,但要确定一个亮点仅此一个特征是不够的,应该综合其它 4 个特征进行分析判断。遗憾的是,在具体工作中,一些研究人员并不重视对其它 4 个特征的分析研究。

3.2 “亮点”是一个模糊的、不确定的、相对的概念

虽然 60、70 年代曾掀起一股亮点勘探的热潮,但一段时间过后,人们发现许多气藏并没有亮点显示。如大港油田的唐家河气田,虽有很多高压气藏,确未发现任何亮点。勘探实践告诉我们,亮点多出现于较浅的新地层中,在那些古老的、埋藏较深的气藏中,气藏的反射特征不是变亮,而是变暗,即所谓的暗点。由于暗点是一个非常弱的反射,在地震资料上并无多少明显的特征,故使用不多,通常是与其它方法配合进行油气检测。

从亮点的定义和应用过程中可看出,亮点是一个模糊的、不确定的、相对的概念。在纵波地震反射叠加保真振幅剖面上,反射振幅相对于整个剖面的背景振幅(或平均振幅)而言强到什么程度才算是亮点?中深层含气是否就一定产生亮点?中深层亮点是否就一定是含气层的反映?这是一个模糊的、不确定的、相对的概念。不同的人,解释的结果和结论可能不一样。

3.3 亮点勘探技术对处理技术有很高的要求

众所周知,地震小反射振幅受很多因素的影响。如果要用振幅来研究地层的含流体性,就必须消除掉其它因素的影响。如果不消除掉,用地震波振幅来预测气藏就可能失败。

做好地震数据的保真处理是利用亮点勘探技术来寻找气藏的先决条件。人们对如何做

好保真处理、如何恢复地震反射波振幅进行了比较多的研究,但要比彻底地解决这一难题,还需进行艰苦地努力。不同的处理流程、不同的处理参数、不同的处理人员、不同的时间处理的地震数据的地震波振幅都可能不一样,甚至存在较大的差别,这说明要做好地震数据的保真处理是一件很难的事情,同时也说明,利用地震波的反射振幅来预测烃类存在比较严重的多解性。

图 1 是 1998 年采集和处理的莺歌海盆地乐东 22-1 构造 98s3638 测线的浅层叠后时间偏移剖面^[3]。该剖面是由国外一家地球物理公司处理的,箭头所指即是含气亮点(钻井已证实),这种亮点很容易识别,相对于整个剖面而言,它的振幅确实要比背景强得多。图 2 是 1993 年采集 1999 年由国内一家公司重处理的 93s3638 测线的浅层叠后时间偏移剖面。图 1 和图 2 两剖面是同一条测线相同段的剖面,只不过采集和处理的时间、采集和处理的公司不同而已。纵观图 2 剖面,也能发现箭头所指的亮点,但该亮点并不很突出,它的振幅相对于整个背景而言并不是很强。同一条测线的这两张剖面给人的感觉是不同的,解释的结果也可能有异。这两张剖面均被用来进行过亮点分析。从上看出,地震数据处理技术对亮点勘探技术的影响。

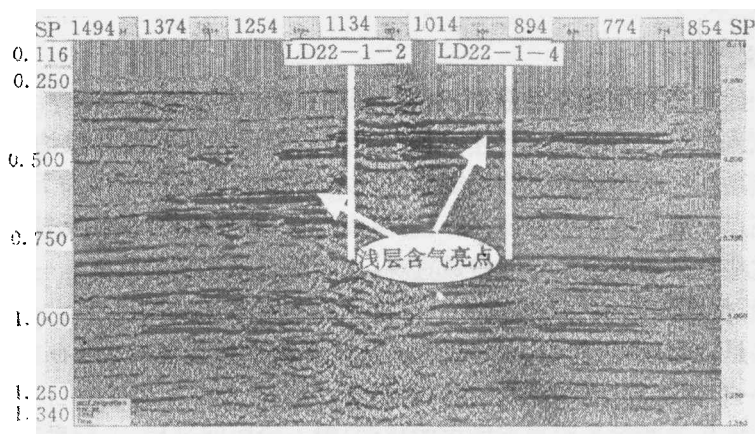


图 1 98s3638 测线浅层叠后时间偏移剖面

4 莺歌海盆地浅层气藏均是亮点型气藏

几年来,人们已相继在莺歌海盆地发现了诸如乐东 22-1、东方 1-1 等几个浅层气田,这些气田均是亮点型气田(气层顶面是一个强的负反射),因此,人们对莺歌海盆地浅层气层的地震波动力学特征有了统一的、比较清楚地认识。笔者在此只作简要介绍。

从乐东 22-1-2 井的部分浅层岩石密度和声波时差曲线可知,气层的声波时差显著增大(一般为 195,而非气层一般为 150),气层的岩石密度也偏低(一般为 1.65~1.85,其上下岩石的密度一般为 2.1)。

从莺歌海盆地浅层岩石的纵波速度随深度的变化图可看出,含气砂岩的纵波速度明显低于泥岩和含水砂岩,低幅达 30% 以上,这说明,在气层顶面,纵波的反射系数很大,且是一个负数(一般在 -0.3~-0.5 之间)。显然,在气层顶面,纵波将产生一个负的振幅很强的反

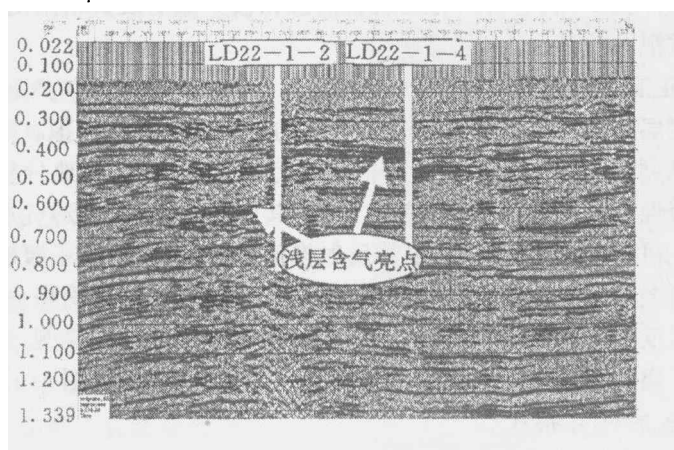


图2 933638 测线浅层叠后时间偏移剖面

射,同时还伴随出现其它特征,如频率变低、极性反转、位于气层之下的地震反射同相轴出现下拉甚至出现反射模糊等现象。

图1所示即是莺歌海盆地典型的浅层含气亮点,这些气层的存在已被乐东22-1-2井(浅井)和乐东22-1-4井(浅井)所证实。这种浅层亮点广泛发育,成片成群分布,浅层气很发育。迄今为止,已发现莺歌海盆地泥拱带浅层有十四圈闭,已钻探九个,发现三个气田,六个含气构造。乐东22-1构造已探明浅层气431.04亿 m^3 ,乐东8-1构造预测浅层气近千亿立方米。

但是,并不是所有的浅层强振幅都是气层的反映。当砂岩含钙时,纵波速度会显著升高,明显大于围岩的速度,也比围岩大,因此,在这种含钙层的顶面,也会产生强振幅异常。乐东8-1-1井的声波时差、声波速度和纵波反射叠后时间偏移剖面中的强振幅异常即是由地层含钙引起的。这也是在莺歌海盆地打了几口干井的主要原因。近年研究和开发的海上四分量地震勘探技术已很好地解决了这一触手的难题^[4]。

5 莺歌海盆地中深层气层为中弱振幅型气藏

莺歌海盆地中深层是我们建设南海西部万亿大气区的主要目的层,是我们自营勘探的主战场。存在几个大的深层构造。在莺歌海盆地的勘探中,人们主要是通过寻找强振幅异常亮点来寻找砂体,并依此来预测深层气藏。例如,人们在对乐东8-1、岭头33-1构造深层进行勘探时,都是通过亮点来预测砂层和气层。事实证明,在没有搞清深层气层的地震反射模式的情况下,就一味利用亮点勘探技术来勘探深层气层是要失败的。失败的例子已不少,最近钻探的岭头33-1井就是很好的一例。

在深层勘探程度很低、深层钻井测井数据很少的勘探区,寻找砂层和气藏(包括构造型气藏、地层岩性型气藏等)的最直观、最简捷的途径就是找地震波振幅异常体。但这种简单的勘探方法是建立在气层反射必须是强振幅亮点的基础之上的。如果气层反射不是强振幅型的,则上述亮点勘探方法就必将失败。从世界范围来看,深层气藏较少是亮点型的。对于这种非亮点型的气藏,是很难单纯通过地震波振幅分析就能解决问题的。

笔者认为,莺歌海盆地深层气层的地震波反射振幅一般不会太强,应为中弱型的。由于

钻至中深层的探井极少,故笔者只有通过软信息和极少量的硬资料来阐述这个观点,旨在引起人们的高度重视。

5.1 气层地震正演模型研究^①

研究油气储层的地震反射模式的一个有效的方法就是正演模拟。笔者通过对莺歌海盆地乐东区的已钻井(浅井)的钻井和测井信息进行了大量地、认真地分析、研究和综合,设计了一个具有代表性的地质地层模型(图 3(a))。其中高孔隙、高渗透气层的纵波速度明显低于围岩的速度。利用有限差分模拟(爆炸反射模型)进行纵波地震正演模拟(图 3(b))。地震子波从地震剖面上的相应深度统计性提取(下同)。显然,气层顶面是一个负的强反射,而底面是一个正的强反射。同时,笔者设计了一个高速含钙层的地质模型,含钙层的纵波速度也明显高于其上下层的速度。在含钙层的顶面是一个正的强反射(图 4(a)、(b))。

莺歌海盆地的深井很少。

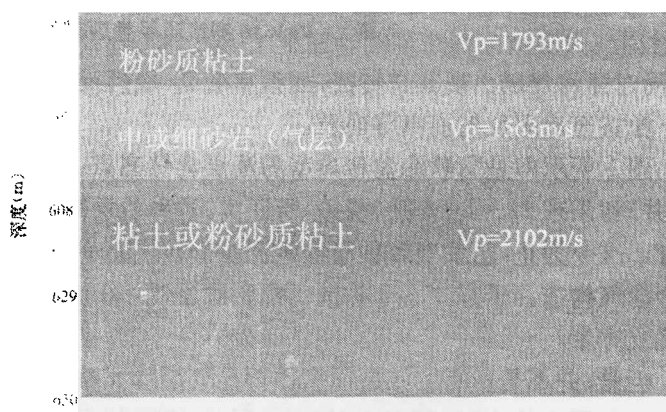
笔者在认真分析和研究了去年钻探的 DF1-1-11 井的中深层的钻井和测井资料的基础上,设计了地质模型(图 5(a)),气层 1 为一个差气层,低孔低渗,其纵波速度与上下层的差异没有浅层大。气层 2 相对于气层 1 而言要好些,但也不是理想气层,没有开发价值。为了更好地进行深浅层比较,除了使用的实际提取的子波外,其它如模拟方法和模拟参数等都与浅层模拟一样。从图 5(b)可看出,DF1-1-11 井中深层气层反射振幅明显弱于浅层气层。从计算的反射系数来看,二气层顶面的反射系数都是明显小于浅层气层。

5.2 已钻井结果分析

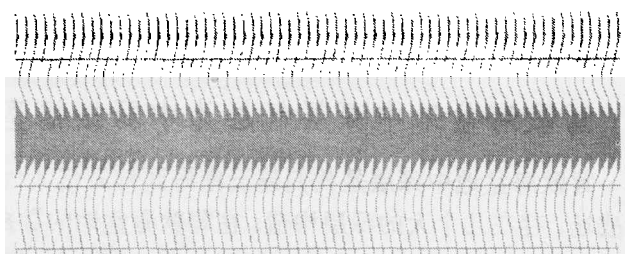
图 6(a)是 DF1-1-11 井浅层叠后时间偏移部分剖面,浅层气层为亮点型。利用测井

资料计算了深层(约 2 800 m 上下)的纵波反射系数,气层顶面的反射系数约为 0.02,差气层顶面的反射系数为 0.04。图 6(b)是该井深层部分剖面,上述气层 2 顶面反射振幅明显变弱。

岭头 33-1 构造深层黄流组地震剖面表现出多层叠置的亮点。人们对此亮点进行了大量研究和分析,认为它是一个大面积的、物性较好的、含气的海侵席状砂。但最近钻探的岭头



(a) 浅层地质模型 (566-650米)



(b) 纵波地震正演模拟结果

图 3 浅层地质模型和纵波正演模拟结果

^① 张树林,纵横波地震正演模拟研究,中国海洋石油研究中心南海西部研究院,2000 年 6 月。

33-1-1 井(3 650 m)却是干井,该亮点是岩性亮点(含钙)。

5.3 四分量地震预测气藏的振幅分析^①

单纯利用纵波资料是无法对地层进行全面、准确地分析的,是无法计算出直接反映地层性质的岩石弹性参数的,只有利用全波场地震资料才能更好地研究地下的地质情况,才能直接找油气。

图 7 是笔者利用岩石弹性参数和纵横波速度预测出的莺歌海盆的 LD8-1 构造深层部分烃类分布图。从图看出,预测的气层的顶面反射都为中弱振幅型的。

图 8 是笔者在 1999 年年底所作出的岭头 33-1 深层纵波和转换横波剖面及纵横泊松比、速度比、振幅比曲线图。根据笔者所作的气藏预测量板预测深层黄流组基本没有气,可能的高部位气层只有一小段,没有什么价值,对应的纵波振幅为中等振幅(相对于整个剖面而言)弱振幅(相对于同层而言),中低部位的亮点预测为岩性亮点。岭头 33-1-1 井井位与该测线相距十余公里。

笔者对 LD22-1 和 LD11-1 构造的四分量地震也进行了分析,预测气层的纵波反射振幅都不是最强的,基本是弱振幅或中等振幅。

5.4 其它地区勘探信息分析

笔者收集并分析了大量其它地区的勘探信息,这对莺歌海盆地的研究有一定的参考价值。限于篇幅,仅举两例。

大港油田的唐家河气田,虽有很多中深层高压气藏,确未发现任何亮点。

大庆油田汪家屯地区中深层含油气层也是纵波暗点型(横波亮点型)的。

5.5 莺歌海盆地深层气藏的反射模式

从上面的分析和研究来看,莺歌海盆地中深层(尤其是深层)气层纵波反射应是中弱振幅型的,更多的可能是弱振幅型的。经过综合分析和总结,笔者得出了莺歌海盆地纵波反射振幅和含气性的关系(图 9)。

我们应改变勘探思路和勘探方法。在莺歌海盆地深层气藏的勘探中,如果一味去找亮点,可能会失败。对于中深层而言,纵波振幅越强的层,不会是气层。如果在深层发现有像浅层一样强的亮点的话,笔者建议最好放弃。

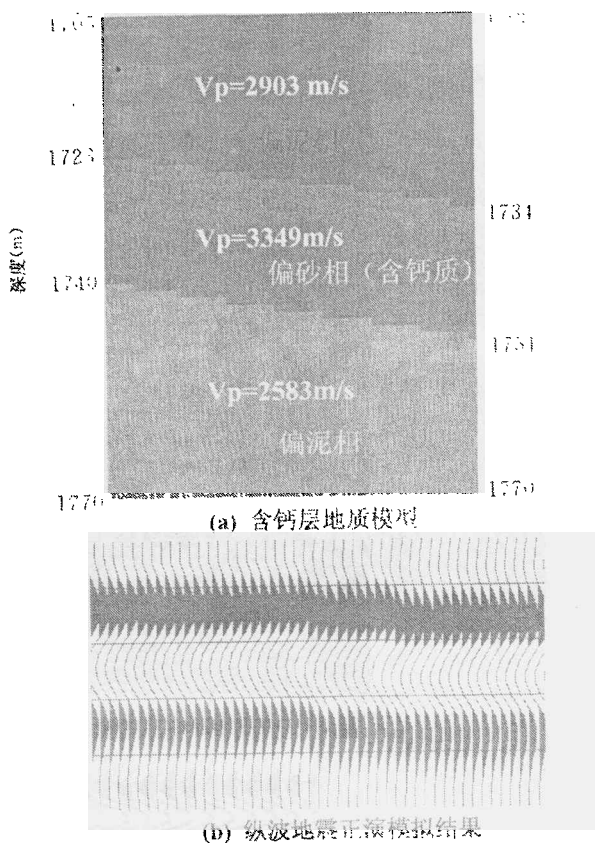
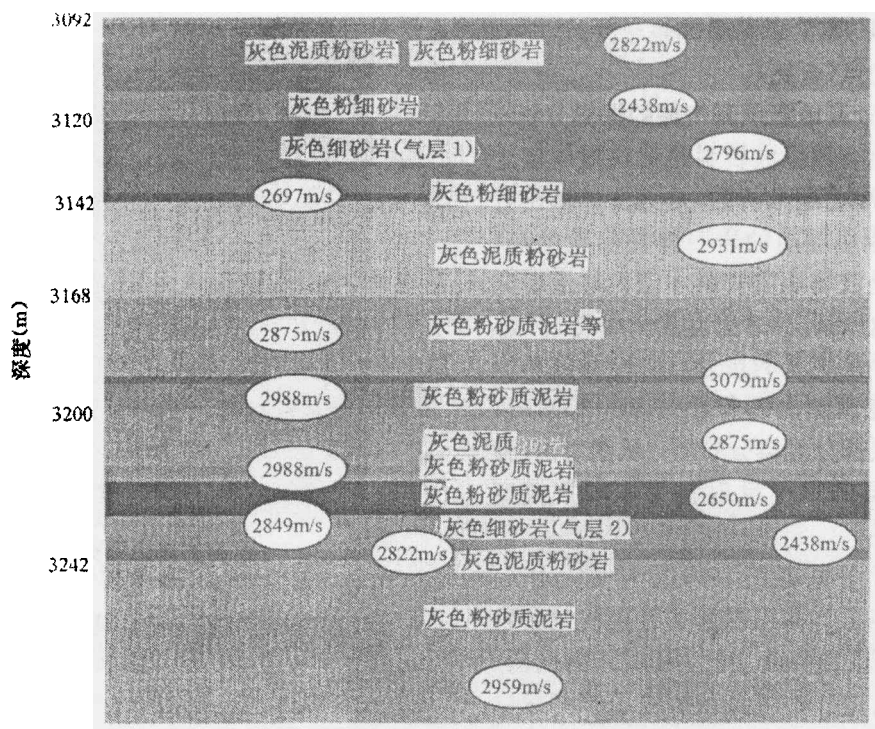
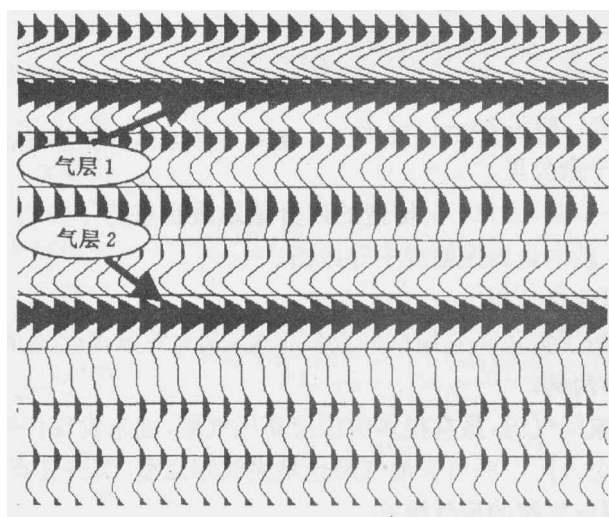


图 4 含钙层地质模型和纵波地震正演模拟结果

① 张树林,海上多波多分量地震资料解释方法研究,中国海洋石油总公司西部研究院,1999 年 4 月。



a. 深层地质模型



b. 纵波地震正演模拟结果

图5 深层地质模型和纵波地震正演模拟结果

6 结论

- (1) 亮点勘探技术是一个早期的、曾经在烃类直接检测方面发挥过重要作用的技术。
- (2) 亮点勘探技术具有很大的局限性、模糊性、不确定性和相对性。
- (3) 现代的、正在发展的地震勘探技术正在取代经典的亮点勘探技术。
- (4) 搞清勘探地区的地震反射模式是很重要的,在没搞清这个问题以前,不要随便应用

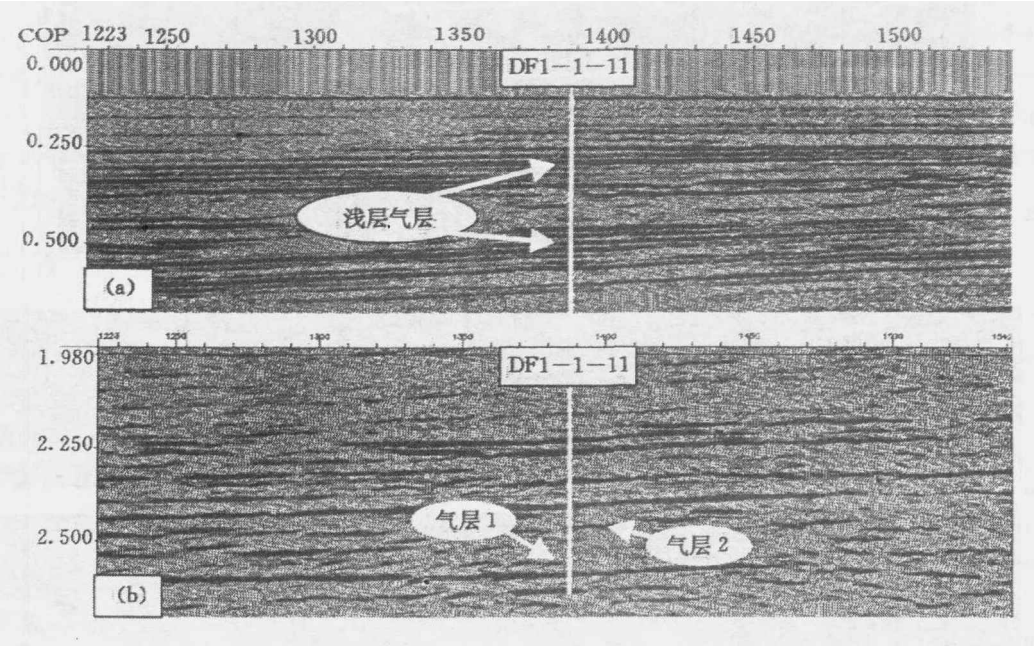


图 6 DF1-1 构造 924528 测线部分浅层(a)和深层(b)剖面

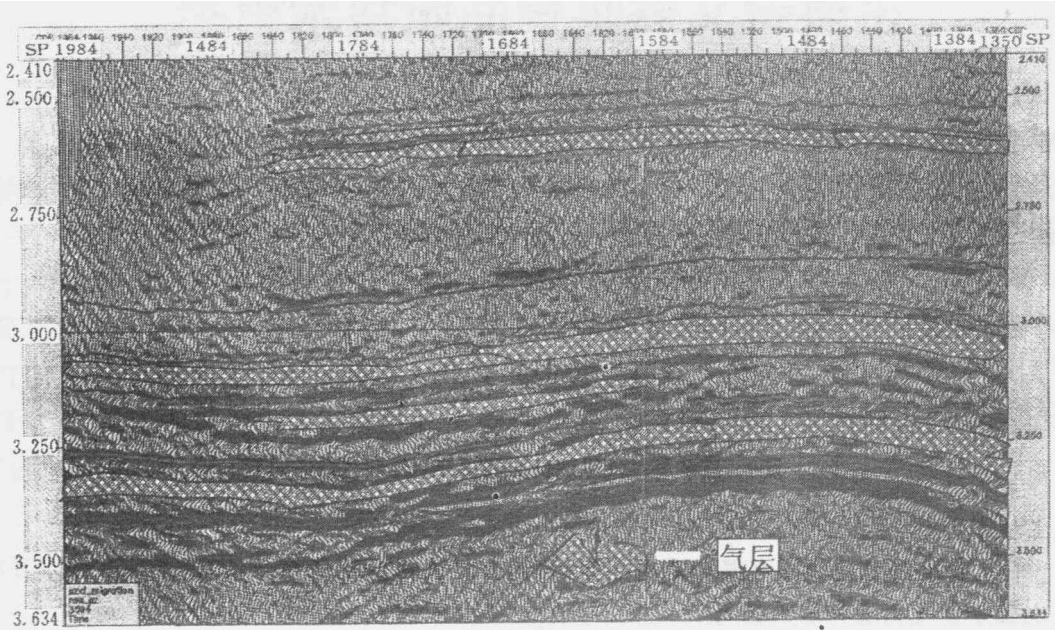


图 7 LD8-1 构造 98a3594 测线深层气藏预测图

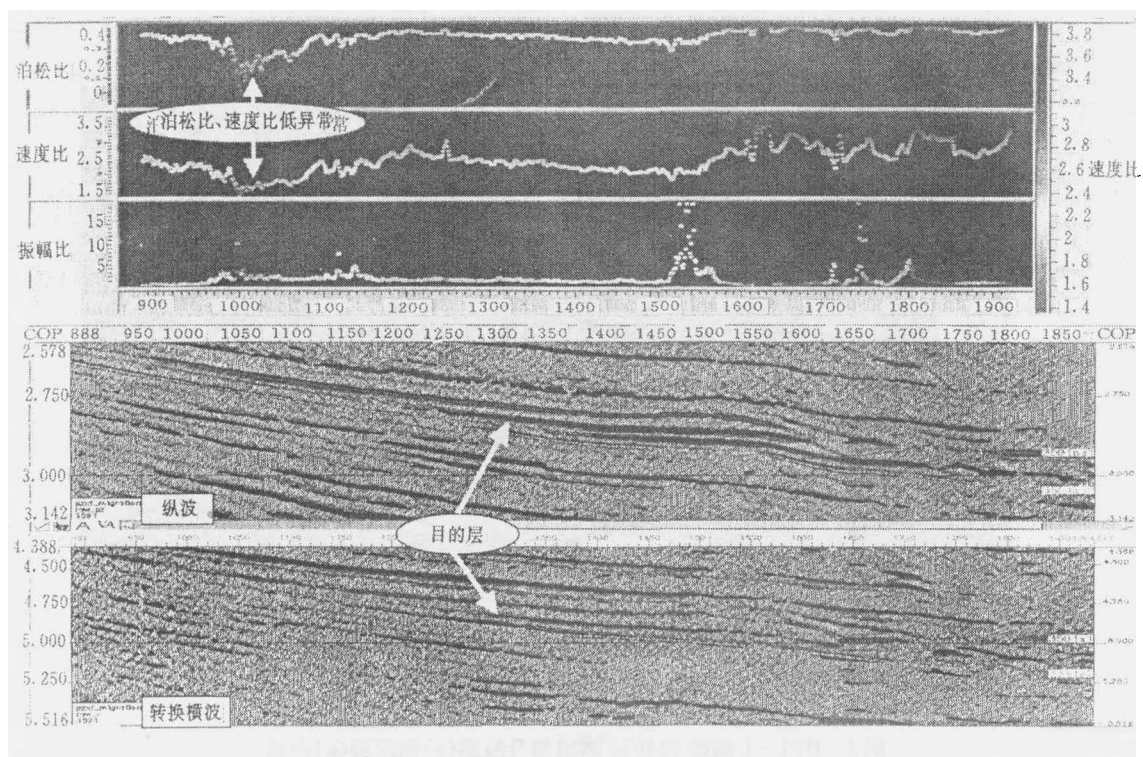


图8 LT33—1构造 98s3591 测线深层纵波和转换横波剖面及目的层多波参数曲线

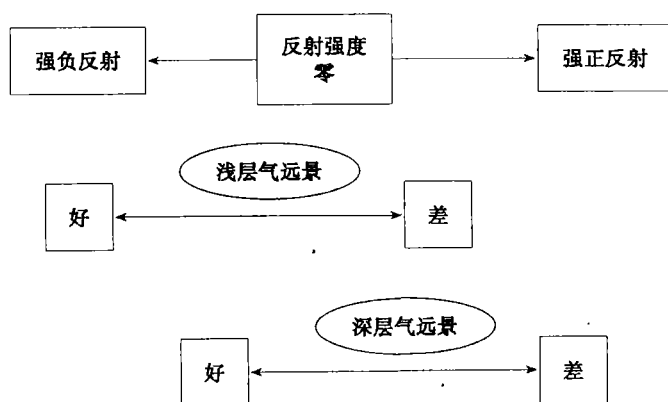


图9 莺歌海盆地纵波反射振幅与地层含气性的关系

亮点技术。

(5) 莺歌海盆地浅层气层都是亮点型的,而且纵波振幅越强越好,四分量地震技术可有效地区分含气亮点和岩性亮点。

(6) 莺歌海盆地中深层气层为纵波中等振幅、或弱振幅型。

(7) 在莺歌海盆地中深层(尤其是深层)的勘探中,要改变过去的勘探方法和勘探思路,采用亮点勘探技术大多会失效。

(8) 如果可以确定深层气层顶面的纵波反射是负反射的话,强的负反射就不是“好”的

反射,中弱反射的深层气远景要好些;强的纵波正射肯定不是“好”的反射,深层气远景差。

(9) 在对深层亮点的地质含义还没有搞清楚的情况下,就盲目地应用 AVO 等技术也会导致失败(如 LT33-1-1 井)。

(10) 每一个地区的勘探都有一个不断深化的过程,在勘探过程中,无疑会碰到许多难题和问题,甚至要走许多弯路。在科学研究过程中,要允许不同观点的出现和存在,随着时间的推移和实践的深入,有些大众化的观点和看法可能会被证明是错误的。

主 要 参 考 文 献

- 1 邱中建,龚再生主编. 中国油气田(第四卷). 北京:石油出版社,1999.
- 2 徐怀大. 地震地层学. 北京:地质出版社,1999.
- 3 张树林. 海上多波地震技术的新进展与发展方向. 物探化探计算技术,2000,(2):97~107.
- 4 张树林. 海上多波多分量地震烃类检测方法研究. 物探化探计算技术,2000,(3):200~206.

塔里木盆地油气勘探又传捷报

继塔里木盆地地质储量为 2 506 亿 m^3 的克拉 2 气田和鄂尔多斯盆地地质储量为 5 000 亿 m^3 的苏格里超大型气田探明之后,我国又在塔里木盆地发现了一个大型天然气田——迪那 2 号气田。最近,新疆塔里木油田公司对部署在塔里木盆地北部的重点探井——迪那 2 井进行现场测试,获日产天然气 218 万 m^3 ,凝析油 131 m^3 的高产油气流,从而发现迪那 2 号气田。据地质钻探初步证实,该气田含气面积为 77 km^2 ,预测天然气地质储量超过 1 500 亿 m^3 。目前,气田的各项工作正在加速进行,今年年底可望向国家提交探明储量,届时其将成为我国“西气东输”工程的又一主力气源。