

油气勘探专题资料之十四

砂岩储集层地震勘探

砂岩储集层 地震勘探

石油地质科学技术情报研究所

一九八七年六月

油气勘探专题资料之十四

30170

内部资料
注意保存



砂岩储集层地震勘探

钱奕中 陆伟文 译
范伟粹 校

5915/16



石油工业部科学技术情报研究所

一九八七年六月

正文设计: 杜建林

责任校对: 秋风 张小燕

封面设计: 桑榆

砂岩储集层地震勘探

开本 787×1092毫米¹/₁₆·印张5¹/₂

字数: 14万 印数: 1500

1987年6月 北京第一次印刷

油情(单) 87019 工本费: ~~1.10元~~

编辑: 石油工业部科学技术情报研究所

出版: 石油工业部科学技术情报研究所

印刷: 工程兵机械学校印刷厂

发行: 石油工业部科学技术情报研究所
(北京和平里七区十六号楼)

1.10

002

简 介

本文是关于在沉积岩地层中如何寻找砂岩储集层的一本视听教材。全文共分五章。前两章主要通过讨论地震波在地层各种岩性中的传播特点,进而讨论地震剖面中的各种岩性的地震波特征,即讨论地质体在地震剖面上能否观察到的因素是什么;后三章主要讨论地层中各种砂岩在地震剖面上的地震地层学特征和寻找砂岩储集层的勘探方法。通读全文你会发现本文实为一本对石油勘探工作者寻找砂岩储集层的一本有价值的参考书。书中将地震地层学理论,工作方法,实例融为一体。通过简单的原理介绍,对各种沉积环境中的砂岩储集体在地震剖面上的地震地层学特征做了较为透彻的分析,并配有一些习题,使读者能更好地掌握各个部分的内容。尤其是,正象本文题目所标明的,对各种典型沉积环境中的砂岩储集层的地震特征做了相当充分的讨论,这在最近出版涉及此方面的文章中是不多见的。相信对广大的石油地质工作者大有裨益,本文适用于石油勘探现场人员和地震物探解释人员;亦适用于大中专院校石油地质勘探和石油物探专业的高年级学生。

本专题受石油部勘探司委托,由《油气勘探译丛》编辑部负责组织出版。

一九八七年六月

目 录

1. 前 言	(1)
2. 我们能看到反射吗?	(2)
2.1 能有反射吗?	(2)
2.2 岩性重要性质综述	(3)
2.2.1 页岩	(3)
2.2.2 砂岩	(4)
2.2.3 碳酸盐岩	(9)
2.3 反射强度和反射极性的实质	(9)
2.4 薄层问题	(9)
2.5 渐变层与渐变反射	(15)
2.6 岩性的侧向变化	(17)
2.7 不整合	(20)
2.8 边界的价值	(22)
3. 典型砂岩储集层的地震特征	(24)
3.1 厚层毯状砂岩(成块毯状砂)	(27)
3.2 薄层毯状砂岩	(31)
3.2.1 海进滨岸砂	(31)
3.2.2 海退滨岸砂	(33)
3.2.3 三角洲前缘席状砂	(36)
3.3 不整合圈闭	(37)
3.4 生长断层储集层	(39)
3.5 河流砂体	(45)
3.5.1 冲积扇	(45)
3.5.2 辫状河沉积	(47)
3.5.3 切割式河道	(48)
3.5.4 曲流河	(54)
3.6 三角洲	(58)
3.7 边缘海相砂体	(61)
3.8 海底扇及浊积岩	(66)
3.9 若干警告	(70)

4. 地震方法在勘探砂岩储集层时的地位 (72)

4.1 地震地层学..... (72)

4.2 扩边问题..... (74)

4.3 记录与处理的考虑..... (75)

4.4 用地震震源和井下检波的反射作业..... (77)

5. 总 结..... (79)

6. 结 束 语 (81)

砂岩储集层地震勘探

1. 前 言

“地震？”有人曾说“用地震的方法寻找地层圈闭？不成。我来告诉你们，寻找地层圈闭需要些什么——勇气、信心、乐观、自由经营的制度以及钻34口干井的钱”。^①

当他说这些话的时候，那时还是对的。几十年来，地球物理学家一直在谈论用地震方法检测非构造砂岩油气层，但也只是谈谈而已。

亮点技术出现以后，有了明显的成功。但这些成功仅局限于天然气和有利的储集层类型。除了亮点以外，没有多少人在其它地方专门去找地层圈闭，这一点仍然不变。

这并非说希望已不存在，我们曾多次在地震剖面上找到了砂岩储集层——呈微弱的反射特征异常——但只有在我们知道该处有油气层后才看得出来，而地震剖面上到处都有微弱异常，如果每处都要打井是绝对不可能的，我们所需要的是能肯定某种异常是真的，还需要一套解释方法，以便选出能够反映储油条件的异常。

现在(1979年)没有人敢夸口说我们已经做到这些事了，但我们正在前进。这些进步并非靠单一的突破，而象通常一样，靠我们在科学上多方面的持续进步而获得的。具体说，有以下这些方面：

(1) 地震记录和处理方法的不断改进，使我们可以相信很细微的波形特征都是地层情况的真实反映。

(2) 地震显示方法的不断改进，使我们不致忽略了这些细微特征。

(3) 对于生成砂岩储集层的沉积环境，已有了更深刻的认识。

(4) 地震地层学方法已把沉积环境继承性与其地震表现形式之间的关系公式化了。

(5) 最后，但绝非不重要，地质人员与地球物理人员之间的对话与相互了解都有了增强。

看来，现在正是总结发展过程的有利时机，本书的目的即在于此。

我们将作以下的工作：

首先，要简要回顾一下，决定地质体在地震剖面上能否看到的因素是什么。

然后，将应用这些结论，通过地质人员为我们确定许多类型的砂岩储层。

当我们确知某类油气层在地震剖面上可能明显的话，我们就用地震方法来直接寻找它。如果某种类型只有当我们知道它在那里以后（如预探井见油以后）才能看出来，就利用地震方法来定探边井。

当我们了解某类油气层在地震剖面上不可能直接看出来，我们就用地震方法去寻找有利于砂岩储层发育的地质环境。

如果储层的性质已经知道，那么，我们要讨论如何改进地震。

^① 指勘探成功率1:35——译注

最后，我们要谈谈井下检波器在圈定油气层时的用途。

因而，本书是地震工艺、地震地层学和砂岩地质学的综合成果。在地震工艺方面将经常参阅作者所著的《地震解释的物理部分》(Seismic Interpretation: The Physical Aspects, 简称“SITPA”)。在地震地层学方面，需经常参考美国石油地质家协会的26号专集《地震地层学》(Seismic Stratigraphy)简称“SS”，在砂岩地质方面，经常参阅美国石油地质家协会的21号专集《砂岩中的地层圈闭：勘探技术》(Busch)及16号专集《地层油气田：分类、勘探方法及实例》。砂岩地质学在Busch、KleinBerg、Selley等人最近写的教材中均有阐述。Klein的教材还提供了录像带。

2. 我们能看到反射吗？

在这一节中，我们提出一个问题：是哪些条件决定一个地质特征在地震剖面上明显还是不明显。我们将尽量作简短的讨论；凡希望了解详情者，可参阅“SITPA”中指定的页数。许多原文的参考资料也列在SITPA中。

2.1 能有反射吗？

决定能否产生反射的地质因素是声阻抗；不很严格的说，可以把声阻抗设想为声波的硬度。这不是地质人员用擦痕来定出的那种硬度；而是指岩石受压缩的困难程度(SITPA45—47)。

反射发生在两种具有不同声阻抗的物质界面上(SITPA101—110)。两种物质间软硬程度愈大，反射就愈强。

如果第一层物质比第二层物质软，反射就是正的；如果第一层物质较硬，反射就是负的。若剖面上正反射有某种波形，则负的反射也将有同样形态，只不过上下颠倒一下——每个波峰有一个波谷，而每个波谷有一个波峰。

因此，两种地质物质的差别，决定了它们之间界面上反射的强度和极性。

任何地层本身都不会发生反射，只有在地层与它上面的地层有差别的接触面上才有反射。

许多地震反射面，或者说绝大部分地震反射面都相当于时间地层层面或层理面(SS51, Sangree and Widmier, 1979)。对以上这种说法我们会发现有些明显而重要的例外，但是我们仍将采纳这种说法为一般情况。

具有重要地质意义的时间-地层层面可能没有能看得见的反射，注重到这一点是很重要的。从纯理论上讲反射是存在的，但若层面上下的声阻抗碰巧相等，那么反射的振幅就将等于零。

因此，假若我们观察一处有相变的近滨沉积，并假定海侵如此之快，以致使接触面成为有效的时间-地层层面，然而这个接触面在某些地方会形成能被看得见的强反射；而在其它地点可能完全看不见。这完全由海侵前后当地沉积层间的声阻抗差决定的(图2.1-1)。

正象时间-地层层面不一定形成可见的反射一样，岩性界面也不一定形成可见的反射。固然，不同的岩性常会有不同的声阻抗，从而产生地震反射，但也并非必然如此。原因在于一种岩样的声阻抗常随多种因素变化：深度、构造挤压程度、埋藏史、粒间孔隙度、破裂孔隙度、裂隙的类型、胶结程度以及浸渍物(图2.1-2)。

尤其是砂岩和页岩间的界面，基于以上因素，会造成声阻抗差的增大或减小，因而产生正

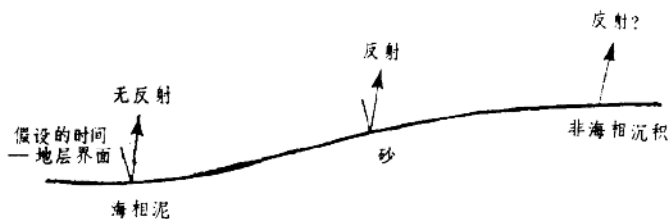


图 2.1-1

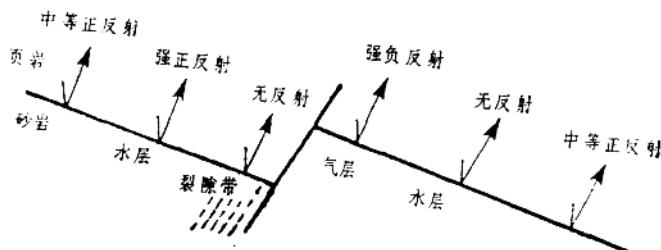


图 2.1-2

反射、或负反射、或无反射。

即便在不太极端的实例中，我们也都看到过反射忽隐忽现的剖面，那里必然有连续的时间地层-层面，但是没有连续的反射。

显然，这是一个重要问题，所以我们将略为详细地讨论。

2.2 岩石重要性质综述 (SITPA 51—99)

从地震意义上说，岩石重要的性质是它的速度（它决定了地震波的射线路径）及其声阻抗（决定反射的强度）。

声阻抗或声硬度是速度和密度的乘积。所以密度也是一种重要的物性。这样就有了三种重要物性：速度、密度和声阻抗，其中任意两种都可决定第三种。

有人认为吸收作用是区分不同岩石类型的一种有用性质，但如何实地测定还是个大问题（见SITPA 118—134、142、213—219、230、251、252、277—284、299、318、333、389、390），故在此我们将集中注意于速度、密度、及其乘积声阻抗这三种物性。

2.2.1 页岩

页岩的一个重要特征是它沉积后易被压实。在地质上，这说明了经常看到页岩沉积物被盖在砂岩和碳酸盐岩体上的原因，而在地震上，说明了页岩的速度和密度都明显的随深度变化的原因。

当然，要说是孔隙变化也同样对。细粒的粘土物质在沉积时含水可达60%以上，密度为1.7，而速度可能为1600米/秒(5250英尺/秒)；经过长期深埋后，水分逐渐被挤出来返回地表，其含水孔隙度可能只有百分之几，比重为2.6，速度为3700米/秒、(1200英尺/秒)。这是很大的变化范围——比重为1.5到1，速度为2.3到1，声阻抗是3.5到1。造成这种巨大变化的机理是压实作用。

图2.2.1-1表示页岩的速度和密度的变化带。左边的垂向标尺是深度；底部是速度标尺，顶部是密度标尺。密度变化段意味着孔隙度的相应变化范围（在此更准确些说应是含水量的相应变化）；孔隙度的百分数值示于图右边。密度与孔隙度的变化主要发生在浅层；速度则

随孔隙度的变化而变化，甚至在孔隙度变化不大时仍在继续。残存孔隙中微量的水，对密度影响不大，但对速度有明显影响。

所以，深度是影响页岩地震特征的最重要因素。

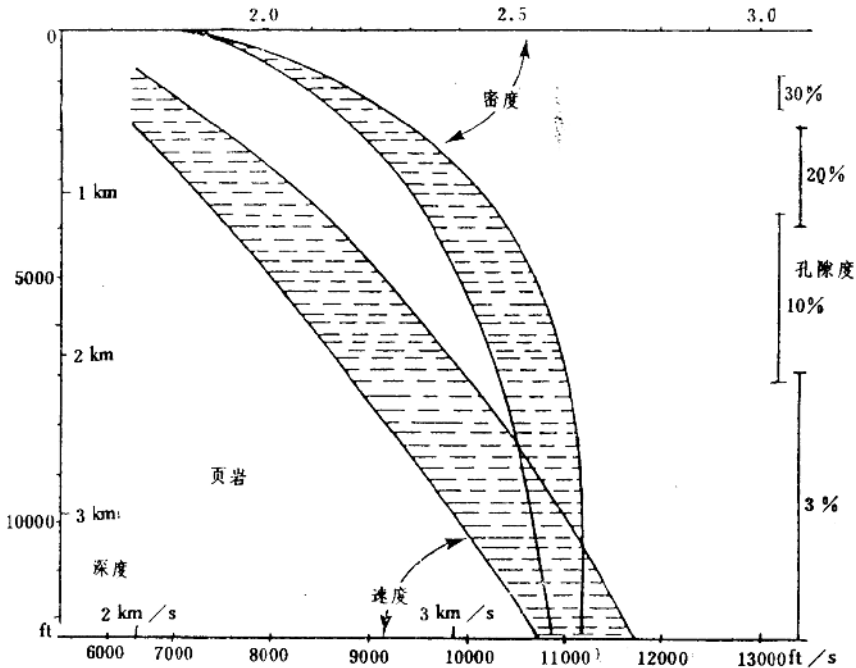


图 2.2.1-1

若两层页岩位于同一深度而性质不同，则一般是由于：

- (1) 其中一层从前曾埋藏得更深，或
- (2) 其中之一层除受上覆层压实作用之外，还受到构造作用的挤压，或
- (3) 有一层明显的遭受碳酸盐胶结作用，或
- (4) 被掩埋的速度明显不同，或
- (5) 有一层至少部份地变质了，或
- (6) 有一层中有机物或气体的含量较高，或
- (7) 有一层变得很脆，以致破裂了。

上述第四条原因——埋藏的速度不同——强调了两种情况的差别：“正常”情况是上覆压力每增加一次之后，在压力继续增长之前，孔隙水就相应的被挤出一部分。而“异常”情况则是水不能及时排出。其实后一种情况并不是异常的，它表示页岩中有一定程度的超常压力（或压实不足），比重和速度都将大为降低——在特殊的实例中比重低达 1.8，速度低达 2150 米/秒（7000 英尺/秒，SITPA 57—62、69、72、579—587）。

2.2.2 砂岩

有些地质人员在应用“砂”这个术语时，只想到粒度的涵义。但在地震上我们还需要区别化学成份。下面我们仅对硅质碎屑砂做简要讨论。

首先考虑简单情况,即考虑分选良好的海滩砂。砂粒由于几世纪来波浪的陶洗而光滑了,淘洗意味着圆滑。颗粒的填集是有效的,接近于理想的球体六方填集方式。埋深以后的压力不会使颗粒重新排列或使之挤紧而把它们压得更紧。接触点都较平,颗粒本身又很硬。因此,这样的砂层表明了密度和速度同深度的关系都很小。成熟的风丘砂也是如此。

但河切水道中的砂就很不相同。这些砂大概只搬运了一段短距离,未经改造就被迅速埋藏。颗粒分选差、带棱角,沉积时也不能保证有效的填集。当这种砂被深埋而受压以后,容易重排为更有效的填集方式;而且巨大的压力加在“承受负荷”的少数棱角形颗粒接触点上,会使接触点发生局部变形或破裂,直到负荷比较平均分担为止。由于地震波在颗粒间的传播主要通过颗粒接触点,我们直觉地会想到,地震特性(尤其是速度),会由于埋藏过程中的调整而有相当大的变化。

砂层的性质进一步还被胶结作用复杂化。

关于分选好磨圆好的砂,比较容易看出会发生什么情况,孔隙度必然会下降,固体物质对液体的比例必然增长,密度必然增大,岩石必然变得较硬,速度必然增高。所有这些变化大概都是逐渐发生的,就象住在休假旅店一样,没有什么可惊奇的事。

但是,对带棱角的砂来说,在棱角接触点(以及接近接触处)最初的硬胶结物使岩石变得很象由滚圆砂粒组成的砂岩。

因此,我们看到两种作用,使棱角砂岩的速度与深度之间发生了意想不到的紧密关系。一种作用是棱角状砂粒重新排列为较紧密的填集状态,此作用只受深度的影响,另一作用是固体胶结物在颗粒接触点之间及其周围增大,从而消除了棱角触点上应力不等所形成的奇异状态。这一作用靠胶结而实现,也经常随深度而增长。

总的情况构成如下:

- (1) 圆度和分选都好的砂,其速度、密度对深度的依赖关系相对较小。
- (2) 在此背景上,速度与密度随胶结程度逐渐平稳地增加。
- (3) 棱角状且分选不好的砂的异常特性表现为在浅层时速度极低。
- (4) 在此背景上,甚至一点点胶结作用,都可产生显著效果,使棱角砂的性质变得非常接近于圆滑的砂。

因此,不象深度对页岩的效应那样,深度对砂层的效应是不一样的。砂层的性质与深度有关,但除非是分选不好的棱角砂,它们与深度的相互关系不如页岩。对于胶结作用的相互关系同样也是可变的。穿过砂层运移的水的数量、水中溶解的矿物量、压力梯度、温度梯度、年代、有无油气存在、以及其它许多因素都会影响胶结作用,因此与胶结作用的关系就更复杂了。

如果我们要简单归纳几条,那么可能不会比下述更确切;

- (1) 砂岩的密度与速度值很高则其孔隙度必低。
- (2) 密度值低则表示孔隙度必高。
- (3) 速度值低则可能表示孔隙度高或未固结(或两种情况同时存在)

图2.2.2-1表示一种高孔隙度砂岩和一种低孔隙度砂岩的情况(在4000米深度,其孔隙度分别为20%与5%)。密度随深度而变化的关系很简单(但不明显);密度的增大部分原因是胶结作用效应增强,另一部分次要的原因是由于压实作用的效应。速度带表示了环境分布的范围;高速一侧代表甚至在浅处就有些胶结的海滩砂或砂丘砂,而低速一侧代表在浅层未固结的棱角砂,只有到了中等速度才发生明显的胶结作用。

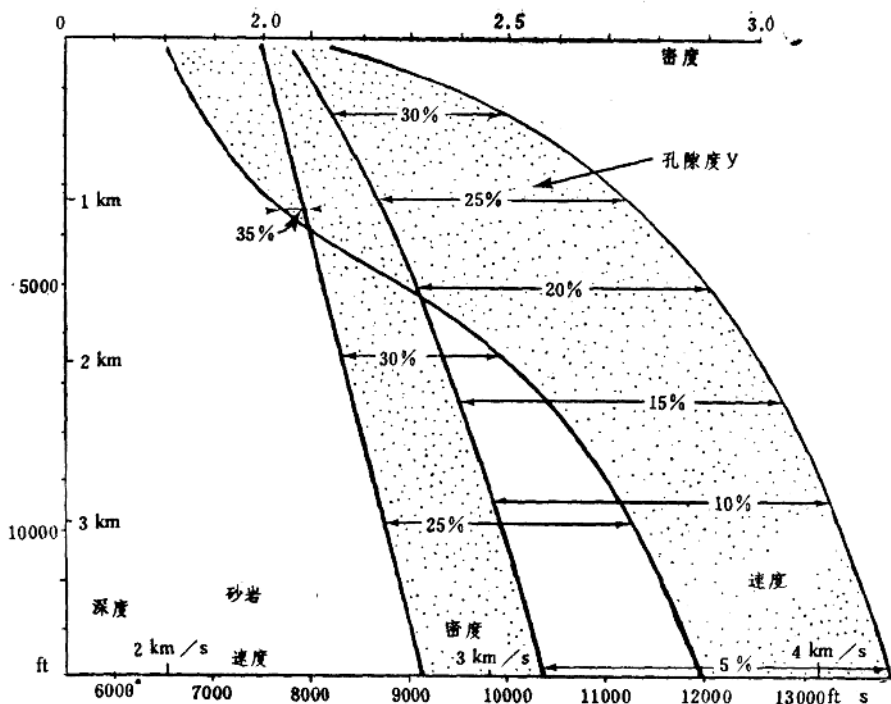


图 2.2.2-1

在连接相应的速度与密度的横线上标注着孔隙度。具有同样孔隙度的砂岩与页岩，其密度大致相同，但砂岩的速度较高。根据上述讨论可以预料，磨圆和分选都好的砂层，其速度是随深度逐渐提高的。这种变化实际上主要是由胶结作用使孔隙减少而造成。带棱角的砂层的速度曲线有剧烈的弯折（象狗腿一样的弯折）。在填集变密的深度上、以及棱角接触点被胶结物填平的深度上，速度突然提高。

图2.2.2-2应用最后两个图上的数据来显示作为深度函数的声阻抗的典型数值。高孔隙度砂岩曲线保留了与固结作用有关的奇特的弯折段，而且一般比页岩速度曲线低。低孔隙度砂岩（曲线）比页岩速度（曲线）高很多。

现在可以清楚地看出砂-页岩层系地震剖面上一些不受欢迎的明显特征的成因了，页岩-砂岩间反射的强度决定于两者间的声阻抗差。首先，页岩与低孔隙砂层的声阻抗差别很明显，能产生强的正反射。（虽然看来声阻抗差随深度而增加，但实际上此时反射系数是一常数，因此反射振幅也应不变）。但页岩和高孔隙砂层之间的声阻抗差要小得多。只能产生十分微弱的反射。这种反射在纵向上实际等于零，很可能只有在急剧弯折段上才能看出反射。而且是一个大的负反射。在此情况下砂-页岩层剖面的浅部将显示为一连续的弱而可见的反射，而深层实际上无反射。这种情况例如在北海北部第三系中常可见到。

图中高孔隙度砂层中的胶结物只要略增加一点就会使各个深度点上页岩-砂岩和砂岩-页岩的反射都完全消失。但这仍然可能是一个良好的储集层。因此，我们不得不作出结论，许

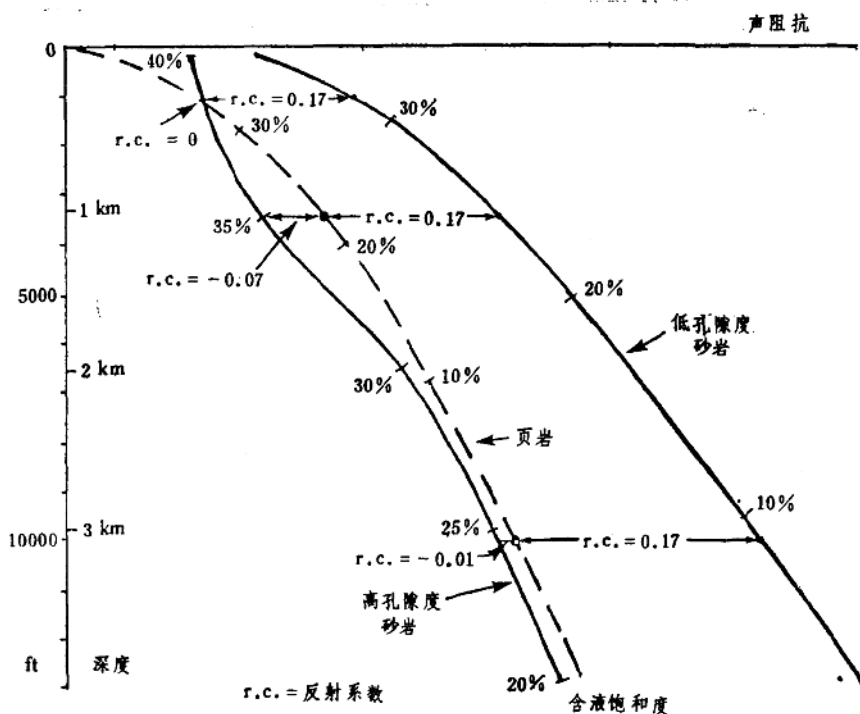


图 2.2.2-2
r.c.—反射系数

多砂-页岩层系中良好的砂岩储集层在地震剖面上并不一定有反射。而差的砂岩储层到好象有显示。

有一些因素在一定程度上能够修正这些结论：

(1) 从局部看，靠近好的砂岩的地方，页岩比其它地方压实得好些(SITPA 60,582)，这样页岩曲线的主要部分向右移动。可能使高孔隙度砂岩比原来容易看出来，但是中等孔隙度砂岩就难看出了。

(2) 如果砂岩储集层不是以前假定的含水，而是含油的，砂岩的曲线可略向左移；这多少会增加高孔隙度砂岩的可见性。

(3) 储集层中如果含气，则可使砂岩曲线明显的向左移动(SITPA 94—100、112)，这甚至可使低孔隙度砂岩的曲线接近页岩曲线，从而使高孔隙度砂岩明显可见(亮点)，其代价是牺牲了孔隙度砂岩。

总之，不论发生什么情况，都不能摆脱这个不受欢迎的事实：页岩的声阻抗总是介于极好的砂岩储层和很差的砂岩储层之间；因此，不论深度是多少，也不论浸渍物质是什么，总有一种孔隙度的砂岩在地震上看不见。

图2.2.2-3说明一般情况，一些细节随一系列因素而变化，但总的结论不变。

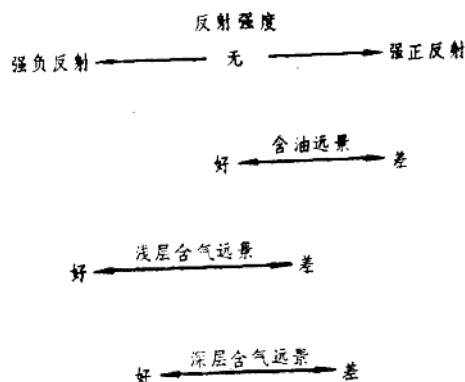


图 2.2.2-3

我们把这些事归结一下，通俗地解释如下：

(1) 砂岩比页岩硬这不会使人觉得奇怪，而这正是砂岩成为好的建筑材料的原因所在。

(2) 若砂岩为多孔隙，则其硬度下降。

(3) 按我们对硬度的理解（大多指抵抗变形的能力），不难理解硬度为什么与孔隙度有关。若岩石无孔隙，只能压缩岩石颗粒本身使之变形，而它们是坚实的。当岩石有孔隙时，颗粒可以变形进入孔隙空间，这要容易一些，因为液体比固体容易压缩。

(4) 如孔隙中含气体，那怕只有一点点气而其余都是液体，岩石颗粒变形进入孔隙空间就几乎没有阻力，因而岩石显得很软（按我们的理解）。

(5) 这样，中至低孔隙度的砂岩要比页岩硬，而高孔隙度砂岩和页岩很相近，若砂岩中有气甚至可能变得更软。

(6) 现在来考虑地震反射，我们知道反射强度取决于硬度的差别。这就是石墙为什么比篱笆的回声好的原因。

(7) 页岩与无孔隙砂岩之间有明显的（正）硬度差。因此，我们从坏的储层条件得到一好的反射。

(8) 页岩和高孔隙含气砂岩之间有明显的（负）硬度差——起码在浅层如此。这就是为什么出现亮点的原因。亮点是好的储集条件产生的好的反射。但我们应注意：大量的水仅仅含一点点气，也能产生同样好的反射——这却是由一个差的储层条件产生的。

(9) 在上述两种情况之间（我们大多数人在大多数场合碰到的条件），孔隙度较好的到好的含液体层或孔隙度中等到较好的含气层，都会使砂岩的硬度变得接近于页岩的硬度，因此，从一个较好的储集层情况下得不到一点可测出的反射。

因此，砂-页岩之间一个弱的反射在局部变强时，可能意味着较好的孔隙度变为无孔隙（这是坏事）。也可能表示孔隙度较好的含液层变为孔隙较好至好的含气层（这是好事）。我们只有分析反射极性才能解决这个问题。

只有对气层而言，反射的强度与储层好坏之间才有些直接关连。我们也许应当学着不去

个或许多个所谓的深度点。

现在，我们可以看出岩性横向逐渐变化和突然变化的区别了。假如在反射带的尺度范围内，阻抗差没有太大变化，则反射振幅将忠实地①反映声阻抗差；如果在此范围内岩性逐渐但明显地改变，则反射振幅将代表某种合理的平均值；如果在反射带范围内岩性突然变化，则反射完全是假的。

当反射带内岩性突变时，在突变点的边缘产生绕射波。

因此，如地震测线邻近大断层（图2.6-2），则当反射带侵入到断层时，反射振幅就开始减小（在此以同相轴的粗黑程度表示）。当测线碰到断层时，振幅减为一半。在此之后我们看到一个绕射波。由于绕射波双曲线的曲率与一些变量有关，而这些变量正控制了反射带的大小（SITPA 182—202, 285—288），如绕射源在低速剖面的浅层，则绕射波呈较大的曲率，如绕射源在高速剖面的深层，则绕射波的曲率要小得多。如果测线不垂直于断层（图2.6-2下部），振幅较早开始减小，绕射波也较平。

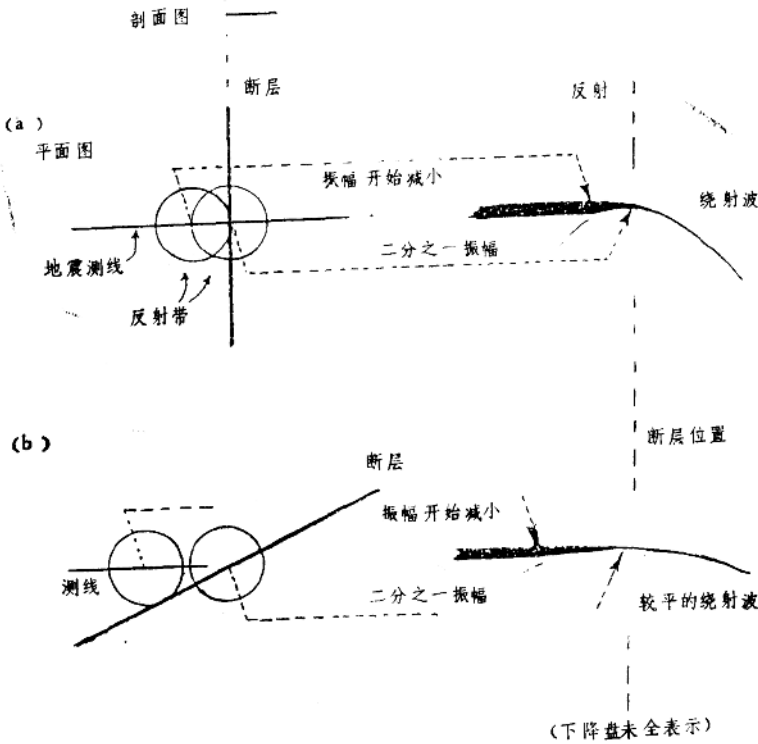


图 2.6-2

图2.6-3a 描绘了当测线以直角穿过陡边宽河道砂时的情况。我们假设砂层浅而含气，这样，即使砂层不太厚，也会有一个明显的强反射异常。只有在河道中心部分，即反射带完

① 在理想的记录与处理下。

全包括在河道范围内，复合反射波才有最大强度。在它的任何一侧振幅都逐渐减小。反射异常比河道宽一个反射带直径的距离。只有绕射波的顶点（若能看出）才指出河道边缘的真正位置。

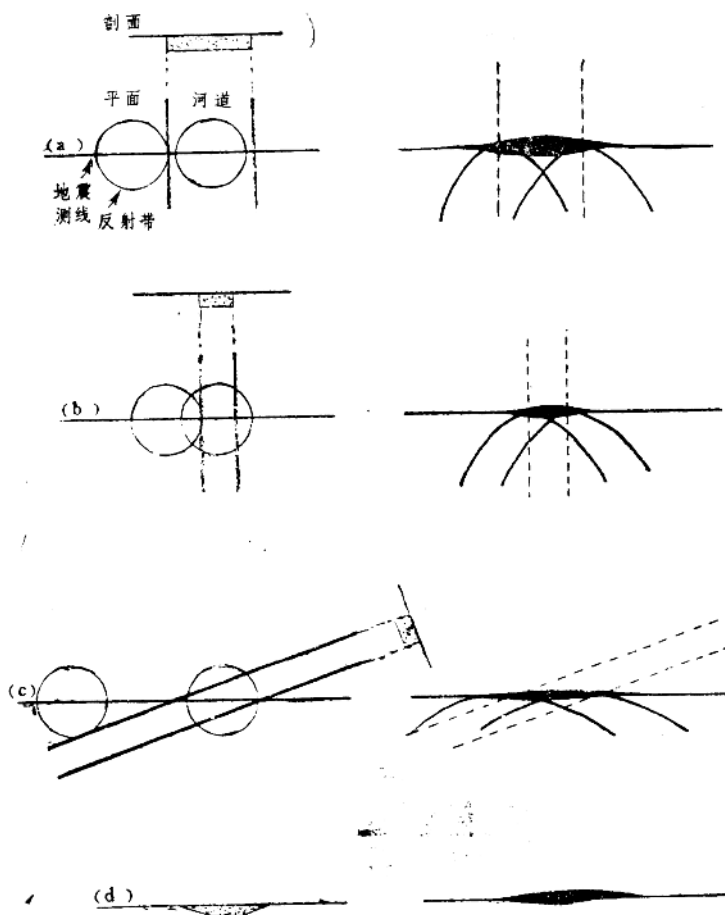


图 2.6-3

图2.6-3b中，河道宽度小于反射带。因此，振幅不会达到根据声阻抗差预测的数值。

在图2.6-3c中，狭窄的河道与地震测线斜交。最大振幅和上例相同，但这套沉积物从远处出现。同样，绕射波也较平。

我们应特别注意，如果地震测线实际上沿着河道轴线分布，振幅仍将较小——因为圆形反射带有一部份落在河道之外，振幅仍将降低，这时当然看不到绕射波。

图2.6-3d 把前面的河道的突变边缘，改画成一个比较现实的河谷充填体。把它颠倒过来，我们就能使它看来像一个透镜状海滨砂。两种情况下，复合波必然显示为图2.4-3所示的楔状干涉形态，而砂体的边缘为零振幅。而且，如果砂体是逐渐变薄的，我们将看不到任何绕射波。

(如果在一次长途的航行中,其他任何东西都没有引起你的兴趣的话,那末许多人会发现一特定地质现象——这个河谷或那个河曲沙坝(点沙坝),或那边的海滩,并且在心里盘算着,反射带怎样才能符合这些形体。在这一高度上,这个形体能在地震上检测出来吗?)

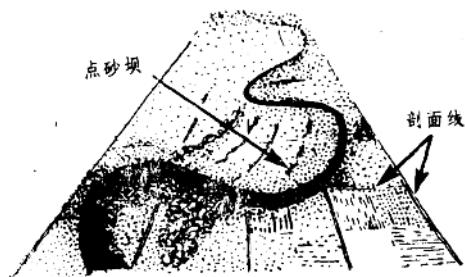


图 2.6-4

我们来考虑一下上述全部推论对于振幅的意义。我们曾说过页岩中的浅层含气砂岩会产生强的复合波(顶部是负的)。由于强度取决于孔隙度与厚度,我们可以说振幅愈强愈好。但是,振幅强度还取决于砂层的水平延伸范围和反射带的直径。第一个结论认为:很强的反射振幅不仅意味着砂层孔隙好厚度大,而且比较宽。因此,我们仍要说愈强愈好。第二个结论是狭窄的砂层必然损失一部分振幅,因而看来好像孔隙度较差或厚度较小,或两者兼备。

第三种推论是振幅减小的程度决定于埋藏深度,因为愈深则反射带愈大;一个物性好但分布不广的砂层,在深处看来会差一些——不仅因为(由于胶结作用)砂层本身可能差一些,也由于反射带大小这个完全无关的因素。

但是至少我们有一条简单的规律:在涉及浅层含气砂岩的情况下,反射愈强愈好。

当讨论含液体砂层时,这个规律就没有用了。因为这时强的复合反射(顶部为正)说明致密砂层。我们所希望的是反射振幅刚能看出,可不要多;在其它条件相同时,这表明孔隙度好。但此时,砂层的横向宽度和厚度所起的作用都是错误的。薄的、窄的砂层看来要比厚而无限延伸的砂层好。在研究含液体砂层时,这限制了用振幅来作解释的范围——只是我们能用其它方法对厚度与宽度有所了解时才能用。

我们应注意的另一件事是胶结作用的横向变化。在我们讨论图2.6-2时,预期在大断层附近有明显的绕射。但并不一定如此。可能原因之一就是胶结作用的变化。组成砂岩的物质在断层附近比在别的地方容易受到较多的胶结;这是由于富含矿物质的水沿着断面向上运移,于是从断面向两侧,形成一种孔隙度的横向递变,可能延伸出相当的距离。因此,断层附近的砂岩变硬了。如果这个作用使砂岩与上下页岩的声阻抗差加大(在中等孔隙度含液体砂岩的情况下),那么在砂岩遇到断层处会看到明显的绕射波。如声阻抗差减少(在高孔隙度的含气砂岩条件下),我们就可能看不到绕射波。

实践中,我们常常迷惑不解,为什么非常清楚的断层而没有一点绕射;胶结作用可能是答案之一,而断层附近的裂隙(它起相反作用,即使孔隙度增大)可能是另一原因。最终结果决定于胶结、破裂、以及裂隙的再胶结等作用。它们足以引起我们在剖面上看到一切一切的现象。

也许我们还应注意,反射波的强度不只决定于波阻抗差、厚度以及岩层的横向延伸范围,而且还决定于构造曲率。但对目前应用来说,我们将不理睬这些复杂情况;对构造曲率有问题的人,可参考SITPA 185—190。

2.7 不整合

不整合是许多重要情况的关键。人们会立刻想起不整合圈闭,但不整合在确定层序界面时的作用也许是更为重要;因为在找寻砂岩储集层时它几乎影响到一切方面。