

最高指示

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

断层面的屏蔽作用

九二三厂地质指挥所

问题的提出

近年来油田开发工作证明SL油田是一个多断层复杂油田。断层大多为低角度正断层。落差从几公尺到几百公尺；断层面的倾角一般为40—60度。

认识SL油田的断层为低角度正断层是有一个过程的。1965年以前解释的断层大都接近90度的正断层。当时认为，地台区的断层是70—90度的高角度正断层，加之记录 and 剖面上存在自浅至深的系统终断，及采用了高闭锁电压、高示波仪灵敏度、小放大格、小药量的工作方法，突出了第二标准层的断点，而深反射层减少，断点不清，因此，地震资料解释的断层为高角度的正断层。图1虚线为1965年解释的断层。

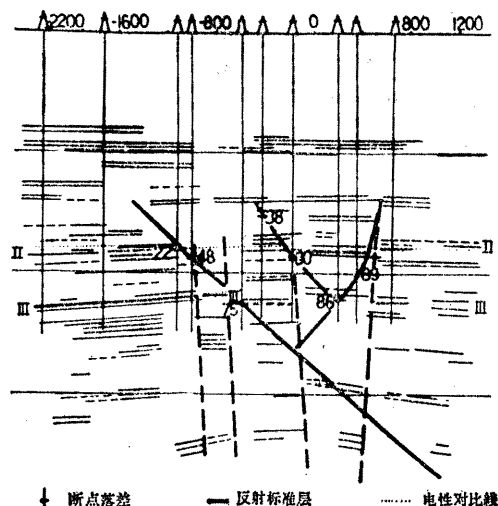


图1 四条虚线表示的高角度正断层是1965年(勘探阶段)地震解释的断层。三条实线表示的低角度正断层是1967年大量开发井网证实后地震重新解释的断层

根据地震资料解释的断层布井，发现第二标准层附近的断点精度较高，在100米以内。而深层断点误差很大，甚至是错误的。为了搞清原因，在断层的两侧布置了较多的成对井，发现断层面的倾角只有40度左右，见表1。

断 层 名 称	断 层 编 号	对 井 井 号	垂 直 距 离 (米)	断 点 高 差(米)	断 层 倾 角 (度)
S 北 断 层	1	T ₁₀ 井 T ₂₃ 井	570	467	40
		3—4—1 T ₂₃	450	372	40
		T ₂₃ 3—2—9	500	403	38
		3—1—23 T ₁₇	550	443	39
T ₁ 断 层	7	2—0—13 3—9—17	350	307	42
		2—下 ₁ —14 3—11—19	380	277	45
		2—0—20 2—9—21	350	360	45
T ₁ 向 南 断 层	9	2—下 ₂ —24 3—10—下 ₃₀	420	399	44

根据毛主席的实践认识再实践再认识的教导，我們重新对以往地震资料进行了分析。经过几次反复，逐渐认识到SL油田的断层多为低角度的正断层。断层面下往往出现空白、畸变等现象。

断层面下的这种现象，SL村构造的1号（S北）断层、7号（T₁）断层、9号（T₁南北向）断层都有。DY盆地的其它地区亦有。这种现象大体可以分为三种类型：

1、断层面下为三角空白带。在记录上表现为断层面下反射波能量减弱，消失，或有少量零星的反射。在剖面上表现为断层面下的三角形面积中，没有反射段或有少量反射段的空白带，过断层后反射波又恢复正常。这种现象多出现在落差较大的断层面下，如图2。

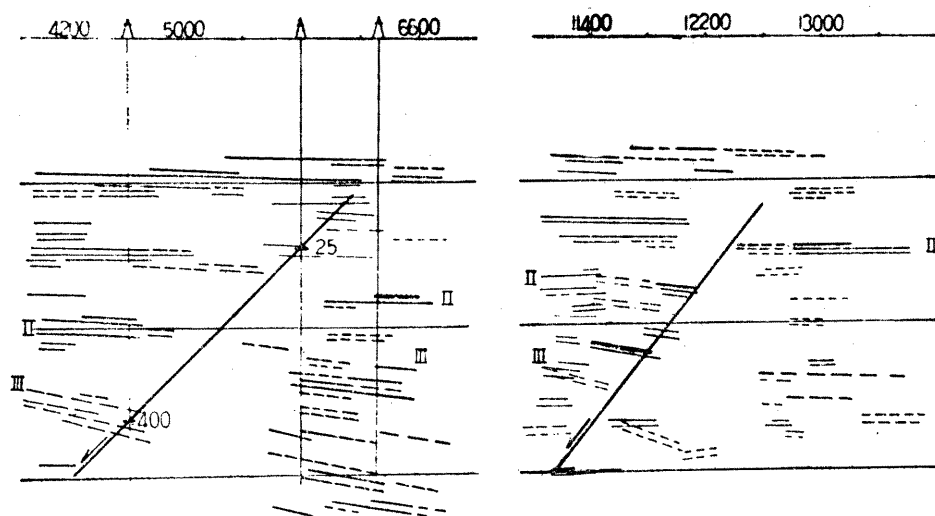


图2 經鑽井証实的断层，断层面下出现一个整齐的三角形空白带

2、断层面下为产状畸变带。在记录上看，反射波进入断层面下，能量突然消失，而在剖面图上则出现自上而下的空白带。空白条带与断层面之间出现一些与正常反射波相似的反射，而产状及深度发生畸变。断层面的下降盘一般反射波正常，但在断层面的下降盘常又有新的断层出现，而使下降盘得不到好资料（见图3）。这种现象出现在落差不大的断层面下。

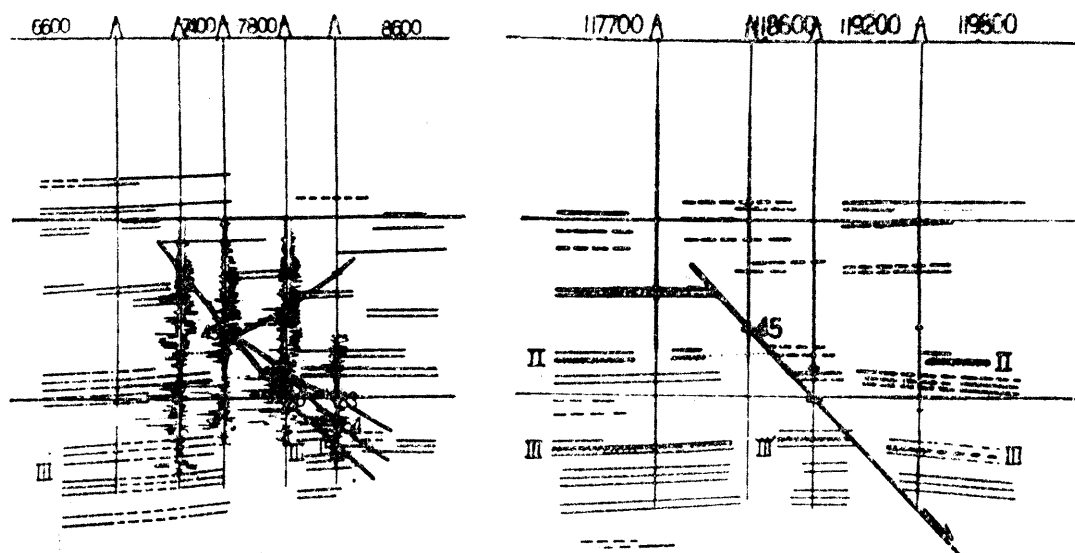


图3 左、断面两侧为钻井揭示的岩性剖面，可看出Ⅲ'与Ⅲ产状不同倾角变小
右、断层面已被4口井证实，ⅢⅢ'反射段与记录上波段相似，但不能连续对比，在剖面上出现空白条带，Ⅲ'反射段产状明显畸变

3、断层面下为杂乱带。在剖面上断层面下为产状不定的反射段所代替，记录上干涉现象比较严重，断层下降盘反射波恢复正常（见图4）。

从大量实践中知道：断层面以上反射波正常，断层面以下层次减少，能量减弱。反射段零碎，倾角发生畸变。钻井资料已得到证实，断层面位于三角空白、畸变、杂乱带与下降盘正常反射段的交界线上。

断层面下的空白、畸变、杂乱等现象，给解释断层的产状带来困难，甚至造成错误。但我们只要把这些现象看作入门的向导，抓住它与断面关系的实质进行分析研究，掌握其规律，可以变不利为有利，利用断层的屏蔽现象帮助我们正确确定断层的产状要素。

经研究认为断层面下空白、畸变、杂乱等现象是断层面屏蔽作用造成的。

断层面屏蔽作用

造成断层面屏蔽的必要条件是断层面两侧有岩性、速度差异。本区从钻井揭示的岩性、速度剖面来看，是存在着断层面屏蔽的必要条件。

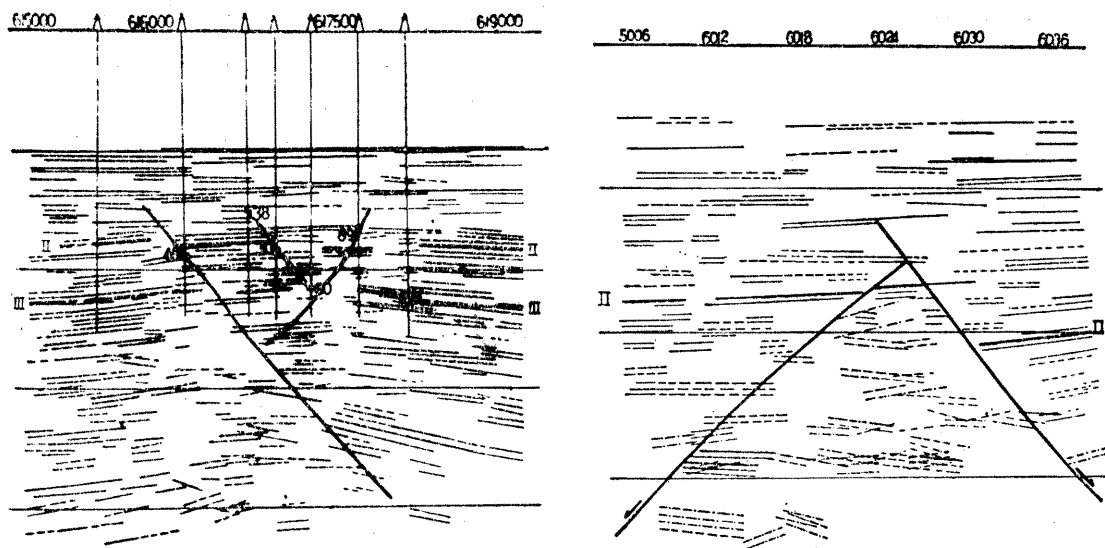


图4 断层已被鑽井証实，断层面上方反射段規則整齐，下方产状零乱，可看出断层面位于杂乱带与下降盘正常反射的接触面

断层面两侧岩性接触的类型可分为三种：

- 1、断层面两侧岩性完全不同，即断层一侧为高速层一侧为低速层（见图5左）。
- 2、断层面某一段的岩性差异大，某一段岩性差异小，即断面两侧某一段速度比 $n = V_1/V_2$ 大，某一段速度比小。图5中。

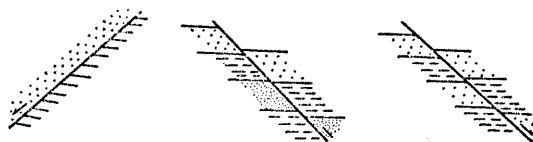


图5 断层面两侧岩性差异示意图

- 3、断层面两侧岩性完全不同，为一系列速度不同的砂泥岩互层(图5右)。

图3及图6即是鑽井揭示的两种岩性剖面例子。

弹性波入射到这样的断面上，就要产生屏蔽现象，断层面的屏蔽包括能量屏蔽及射线畸变两个内容。

（一）断面对能量的屏蔽作用。断层面两侧岩层的速度不同，使断层面成为波阻抗界面，弹性波通过断层面时，一部分能量被反射回来，使断层面下的反射波能量变弱，在剖面上出现空白等现象。这种现象在模拟实验上清楚地表现出来。

当模型的断面为3毫米厚的塑料板时，断面下的能量普遍比正常反射区弱一倍左右，见图7。当断面象图8那样，断层面ab, cd下（有岩性差异）的反射波变弱，无断面的bc, de段下，反射波能量与正常反射区相同。

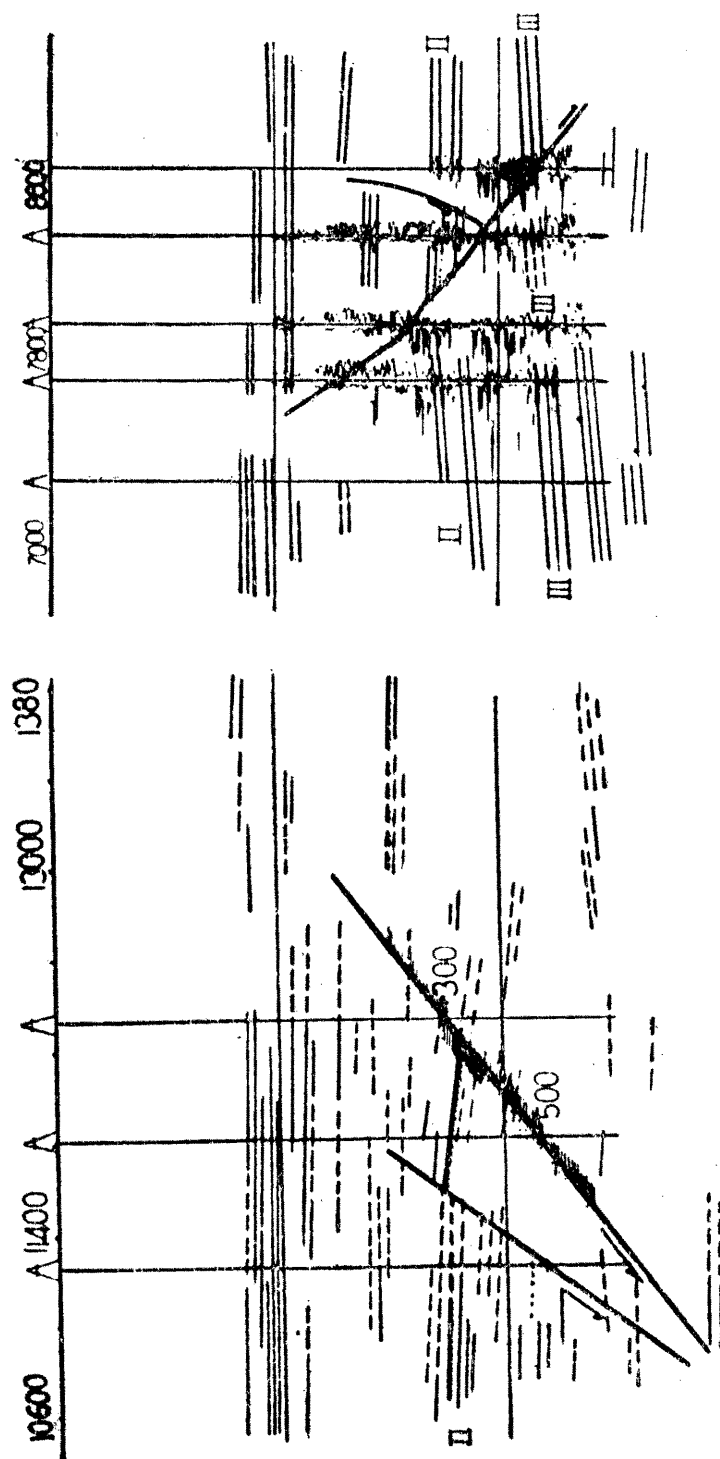
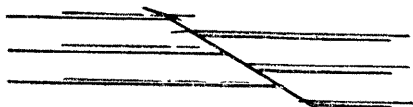


图6 左、断层面下为泥岩，上为砂岩

右、断层面两侧为鑽井揭示的岩性剖面，可以看出它与断层面下的空白及畸变有关

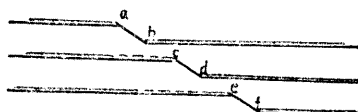
1 2 3 4 5



—— 模型
- - - 解释剖面

图7 断面为3毫米塑料板，断面下能量普遍比正常区小一倍，断面下的空白区是弹性波多通过断层面而形成的

1 2 3 4 5



—— 模型
- - - 解释剖面

图8 a b、c d、e f为断面，断面下能量减弱或消失，无断面的b c，d e下面，反射波的能量与正常区同

断层面对反射波能量起屏蔽作用与断层面两侧的速度比 $n = V_1/V_2$ 有关，速度比越大，能量屏蔽作用越大。这种能量屏蔽作用是使图2断面下出现空白的原因之一。

断层面下的反射波能量的强弱除与速度比 $n = V_1/V_2$ 有关外，还与入射角 i 有关，如图9。

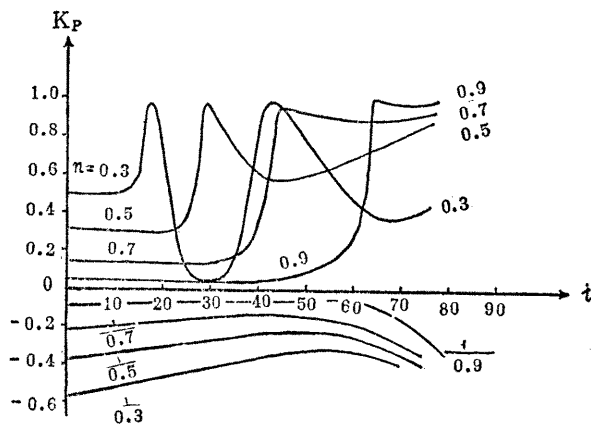


图9 反射系数 K_p 与速度比 n 入射角 i 的关系曲线图

当上升盘速度小于下降盘速度 ($V_1 > V_2$) 时，弹性波由炮点出发入射到断面，断面的反射系数为负值。由图9可知，反射系数随入射角的变化而变化是不明显的。但弹性波通过断面经地层反射回到断面则反射系数为正值，当入射角到某一值时，反射系数突然增加到0.9—1.0。

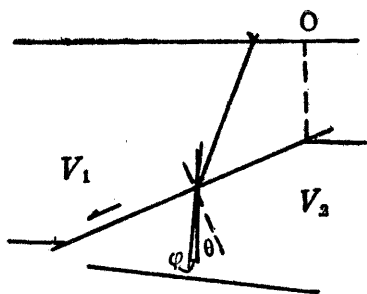


图10

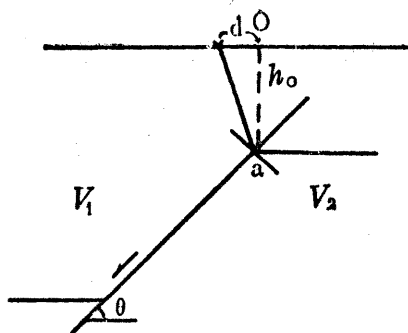


图11

从图10可看出， t_0 道射线，回到断面的入射角 $i_0 = \theta + \varphi$ 。

设 $\theta = 40^\circ - 60^\circ$

则 $i_0 > 40^\circ - 60^\circ$ ，若速度比 $n = V_1/V_2$ 在 0.7 左右，从图 9 看出入射角大于 40 度时，90% 以上的能量被反射回来，弹性波基本上回不到地面。上升方向的半个排列同理得不到反射。当 θ 小于 40 度时断面下倾方向的半个排列可能得一些半支的同相轴；当 θ 较大时也可能什么也得不到，或得到小于半支的同相轴，使断面下面的资料变坏，或在剖面上出现空白带。

当上升盘的速度大于下降盘的速度 ($V_1 < V_2$) 时，炮点到 O 点的距离 d 小于 $h_0 \tan(\theta - 40^\circ)$ ，见图 11。炮点发出的弹性波到断面的入射角大于 40 度，大部分能量被反射回来使剖面上出现空白带。

O 点为断面上开始有岩性差异的点在地面上的投影；

h_0 为断面上开始有岩性差异的点到 O 点的距离；

θ 为断面的倾角。

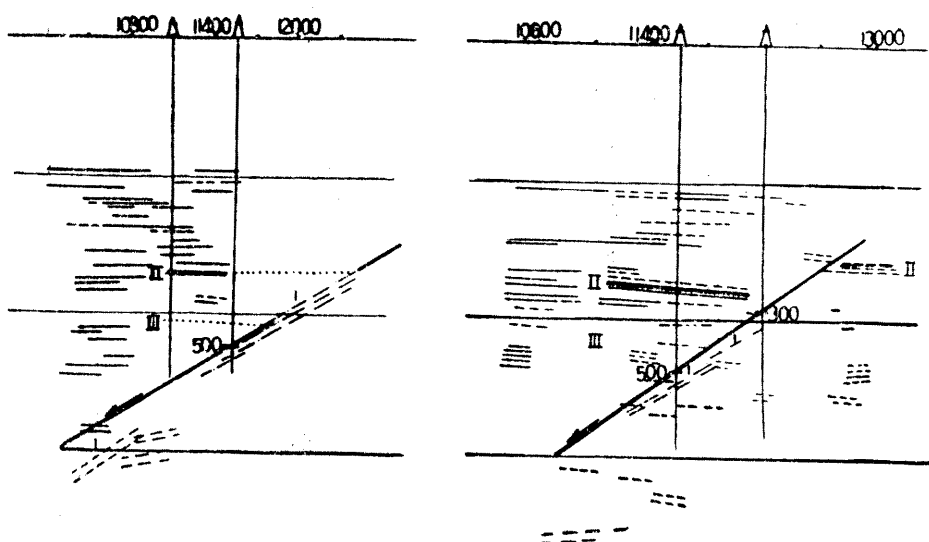


图12 断层已被鑽井证实，断层落差
300—500米，反射段 1 为断面反射

由此可見彈性波入射到斷层面上，有一部分能量不能通過斷面而被反射回來，使斷面下的反射能量減弱，當炮點距O點的距離 $d \geq h_0 \tan \theta$ 時，可能接收到斷面反射回來的波。即為斷面反射。用斷面反射波構出的界面傾角為斷面傾角，位置在斷层面附近。如图12。

當炮點位於O點的另一側時，這種斷面反射是不可能接收到的。但炮點位置合適時（距O點距離大於 $h_0 \tan(\theta + 2\varphi)$ 的某一範圍）可能接收到如图13的反射波，我們叫這種波為斷面多次反射。

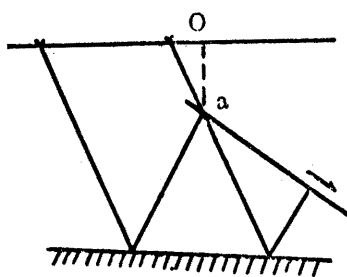


图13

斷面的兩次反射時距曲線方程式：

$$t = \frac{1}{V} \sqrt{x^2 + 4H \sin(\theta + 2\varphi) + H^2}$$

式中 $H = 2 h_1 \cos(\theta + \varphi) + L \sin(\theta + \varphi)$

图上L為負值（見图14）。

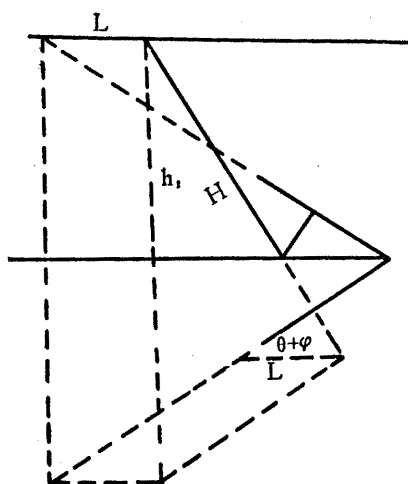


图14

根據得到的時距曲線作出的反射界面為斷面對反射層的鏡象，其法綫深度為H，界面傾角為 $\theta + 2\varphi$ 。

斷面的多次反射在記錄上產生干涉，在剖面上它的等效界面與其他反射段相交，使

断面下的反射变乱（见图15）。

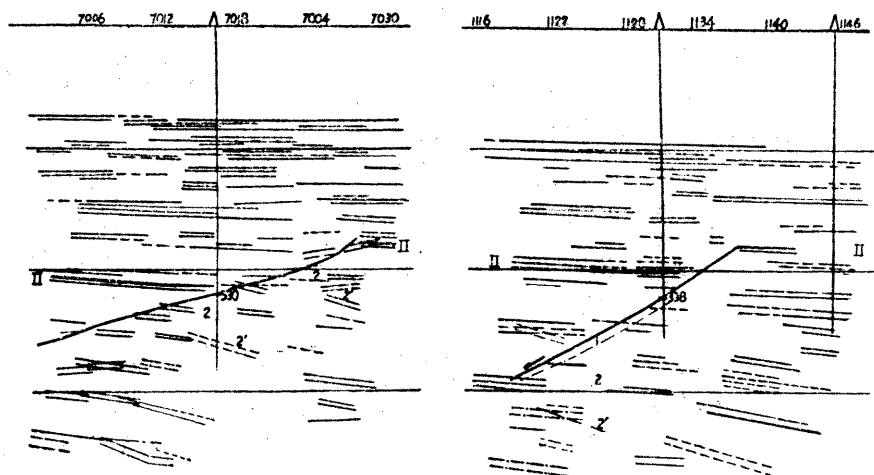


图15 断面已被鑽井証实 2' 为 2 的断面二次反射，1 为断面反射

只要我們能正确認出它是断面多次反射，就可以利用它来大致判断断层的产状要素。

总之，由于断层面的屏蔽作用，使反射波通过断面损失一部分或大部分能量，是造成断层面下反射段零碎，出現空白等現象的原因之一。这种屏蔽作用在落差較大的断层上显得突出。

（二）断层面对射綫的畸变作用

1、射綫畸变的一般現象：

（1）断面的下降盘速度小于上升盘速度，炮点激发出的弹性波由低速介质通过断面进入高速介质，由 $\frac{\sin \alpha_1}{V_1} = \frac{\sin \alpha_2}{V_2}$ 可知射綫要偏离法綫。經断面下的地层反射再通过断面回到地面。射綫所走的路程与无断面时大有差別。

設断面 a C（见图16），a 点以上无岩性差异，a 点以下有岩性差异。a 点在地面的投影为 O 点，a 为始点。

弹性波通过 a 点以上的断面时，按无断面的正常反射回到地面，但弹性波通过 a 点及 a 以下断层时要发生畸变。断面无岩性差异时通过 a 点的射綫在 A 点接收到，有岩性差异时通

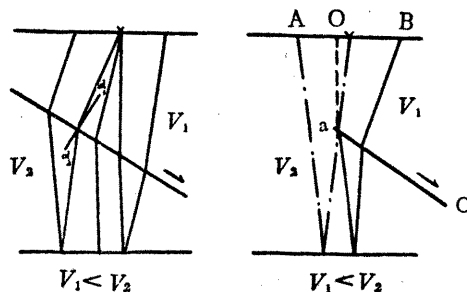


图16

过 a 点的射线回到地面 B 点。弹性波通过 a 点以下的断面经地层反射回到地面则都落到 B 点以外，A B 之间接收不到反射，因而造成如图 3 的空白条带。断面两侧速度比 n 越大则空白条带越大。

下面以这种认识来解释 1 6 5 . 5 剖面的空白带(图 17)，该测线的岩性剖面参看图 6。当 7 8 0 0 桩号激发出弹性波，射线由速度为 2 0 0 0 米/秒的泥岩，经过断面进入速度为 2 8 0 0 米/秒的砂岩。过 a 点的射线反射后到地面，在 7 8 0 0 桩号的 4 0 0 米排列内是接收不到的。通过 a 点以下的射线回到地面则落到 B 点以外，使 A B 之间接收不到反射波，这是使剖面出现空白条带的可能原因。由于 E 点以下某段的断面两侧岩性差异小，则得到了 III' 较弱的畸变了反射波，这种解释可能是图 3 的空白条带的原因之一。

(2) 断面下降盘的速度大于上升盘的速度时，弹性波通过断面的畸变如图 18 所示。射线通过图 18 右的 a 点到 B 点畸变了射线落在 A 点的另一侧，可能与上升盘正常反射发生干涉。A B 之间能接收到反射波。自上而下的空白带将不存在，可能在 A 点附近出现假断点。

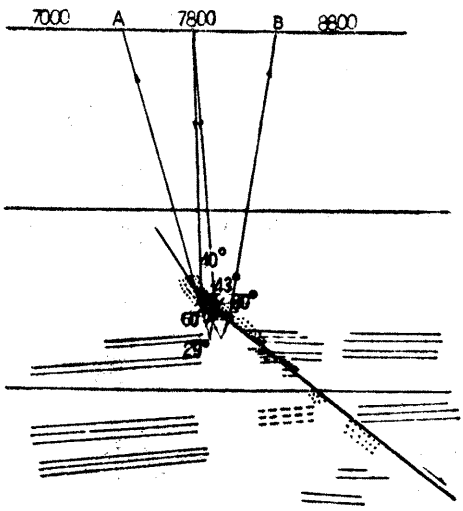


图 17

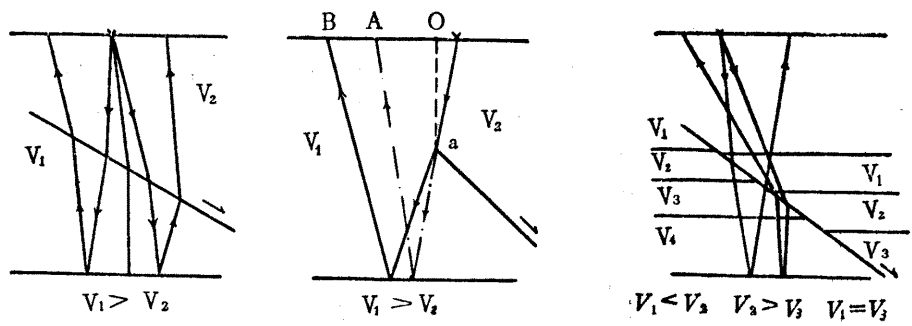


图 18

图 19

(3) 当弹性波入射到如图 5 右的断面时，畸变了射线路程如图 19 所示，将接收到杂乱的反射、绕射、侧面波及干扰等。可能使剖面上出现杂乱带，也可能因为干涉严重无

法分解而出現空白帶。

所以，彈性波通過有岩性差異的斷面，射線所走的路程與無斷面時相比有很大差別。但我們繪制剖面時，還用一般正常方法，沒有進行其他任何校正，因此得到的剖面在斷层面下不但出現了空白條帶，還出現了傾角變大變小；深度變深變淺等各種畸變現象。

2、斷层面下反射段畸變原因分析：

斷层面下反射段的傾角變大，或變小，及深度的改變主要由速度及射線路程的改變引起的。

（1）射線路程變化產生反射段的畸變。

當下降盤速度小於上升盤速度時，炮點 1、2， t_0 道射線所走的路程為實線所示。2 炮點 t_0 射線所走的路程比 1 炮點 t_0 射線所走的路程要長，如圖 20。

當下降盤速度大於上升盤速度時，可得到同樣的結果，即炮點 2 的 t_0 射線所走的路程比炮點 1 的 t_0 射線所走的要長，如圖 21。

層狀介質的條件下，炮點 2 的反射波所走的路程永遠比炮點 1 反射波所走的路程要長，如圖 22、23 所示。

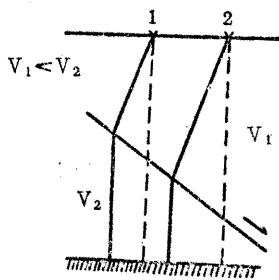


圖 20

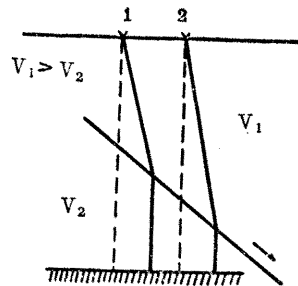


圖 21

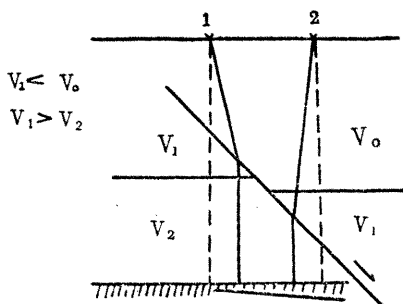


圖 22

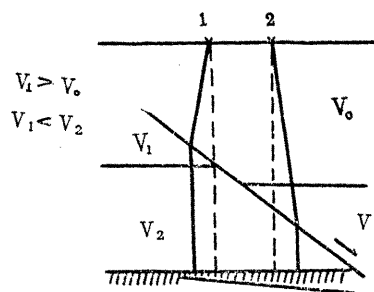


圖 23

落差不大的斷層及層狀介質的條件下，斷层面兩側的有效速度差異很小，引起反射波時間變化主要是射線路程決定的。因此，可以得出炮點 2 反射波的 t_0 時間要比炮點 1 長，構出的反射段為下傾。在 1 區斷層上升盤的地層產狀多為上傾，畸變結果使產狀變緩，深度加深，如圖 2 4。

畸變的大小與速度比 $n = V_1 / V_2$ 及斷面傾角有關， n 越大反射段畸變越大，斷面的傾角畸變越大。

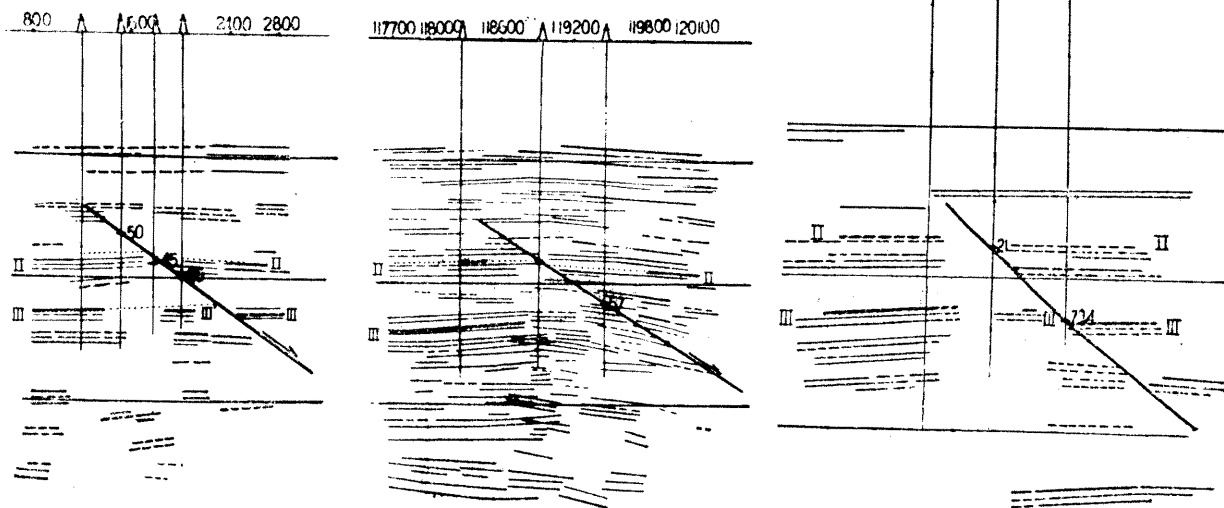


图24 图中断层已被鑽井証实，可看出三角带清楚、三角带内反射段倾角变小，断面位置位于三角带与断层下降盘正常反射的接触面上。

(2) 速度引起的反射段产状的畸变。

射线穿过高、低速层的厚度不同可以引起反射段产状的变化。当下降盘的速度小于上升盘的速度时，炮点1穿过低速层厚度比炮点2穿过低速层的厚度小，炮点1穿过高速层的厚度比炮点2穿过低速层的厚度要大，则炮点2比炮点1同样路程所用的时间要多，而使反射段下倾，深度变深如图25。若地层倾角为上倾时，则剖面上反射倾角变小，深度变深。

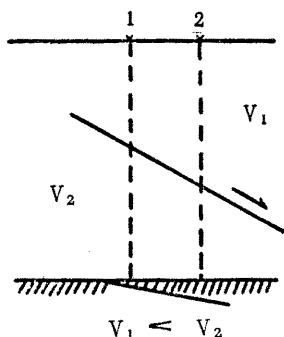


图25

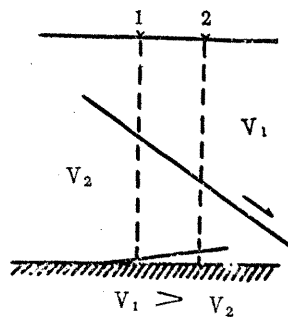


图26

当下降盘的速度大于上升盘的速度时，得到的界面倾角与上相反。若地层倾角也为上倾时，则剖面上反射段的倾角变大，深度变浅，如图26。

(3) 屏蔽阴影及形状。

屏蔽范围的大小与地层的产状要素和断面的产状要素有关。为了讨论方便，设断面倾角 θ ，断面上开始有岩性差异的点为 a ，在地面上的投影为 O ，炮点到 O 点的距离为 d ， a 点到地面的距离为 h_0 ， O 点到地层的垂直深度为 h ， φ 、 d 以图27所示为正值，由图可以看出剖面上屏蔽范围。

$d < 0$ 即炮点在下降盘一侧时屏蔽阴影仍为锐角三角形。

(3) 当 $\varphi < 0$, d 比 h , h_0 小得多时。 h 增大时, $|EO|$ 、 OG 增加。只是 $EO < 0$, 则屏蔽阴影为一钝角三角形(见图 2 9)。图 2 为实例。

当 d 减小时, ab 向断面靠近, $\angle b$ 增大。

当 $d = 0$ 时, 面积减到最小。

$d < 0$ 时, 则为一个锐角三角形。

当 φ 随 h 增大而增大时, 则三角形的 ab 边为曲线, 如图 1 5 右。

由上讨论不难看出:

(1) 屏蔽范围为一三角形, 炮点离 O 点的距离越小则屏蔽影响范围越小, 炮点在 O 点时, 屏蔽的范围缩到最小。

(2) 地层倾角的变化则引起屏蔽阴影的变化, 地层向断层面上倾时的阴影要比地层向断层面下倾时的阴影要小。

(3) 断层埋藏深度越深则断面的影响越小。

在实际工作中, 断层的埋藏深度, 地层的倾角我们是无法选择的, 但炮点到 O 点的距离可以选择, 只要我们能使炮点落到 O 点, 则使三角空白杂乱及畸变区减到最小, 这将有利于我们的解释工作。因此在野外工作时应在断层附近加密炮点。

結 論

1、断面的屏蔽作用是存在的。屏蔽阴影为一三角形, 当断层上升盘的地层向断面方向上倾时, 以断层上开始有岩性差异的点在地面投影为界; 炮点在它的上升盘时, 屏蔽阴影为钝角三角形; 炮点在下降盘时, 屏蔽阴影为锐角三角形。当断层上升盘的地层向断层面方向下倾时, 屏蔽阴影为锐角三角形。当断层上升盘的地层的倾角随深度而变化时, 则屏蔽阴影的三角形一边为曲线。

三角形的面积随炮点位置改变而变化, 炮点靠近断层面上开始有岩性差异的点时, 三角形的面积减少, 炮点恰好在断层面上开始有岩性差异的正上方时, 屏蔽阴影最小。当断层的上升盘地层为水平时, 则屏蔽阴影为直角三角形。

2、断层面的屏蔽在记录上表现为断层面下反射波能量变弱或消失, 产状畸变, 反射零碎。在剖面上表现为断层面下出现三角空白、杂乱、畸变及由浅到深的系统中断等现象。断层面下的三角空白带主要出现在大落差的断层下面, 断层面位于三角空白、畸变、杂乱带与下降盘正常反射的接触面上。在断面附近可能出现断面反射波或断面多次反射波。

3、断层面屏蔽引起的产状畸变, 可能使反射段倾角变大变小, 深度变深变浅, 造成假断点。

在落差较小的断层下面, 地层的倾角向断层面方向上倾时, 反射段倾角变小, 深度变深。当地层的倾角向断层面方向下倾时, 反射段倾角变大, 深度变深。

在落差较大的断层面下, 反射段的倾角变大变小, 深度变深变浅都可能发生。

4、断层面屏蔽引起反射段产状的畸变大小与断面两侧的速度比, 断面的倾角有关。断面两侧的岩层速度比越大则畸变越大, 断层面倾角越大则畸变越大。