
石油地球物理勘探译文集

尖灭层的地震勘探

1

中国工业出版社

本选輯共包括十一篇文章。主要内容是用地震勘探方法对尖灭层进行理論和实际的研究。

介紹在尖灭层介质中地震波的动力学特点, 反射波、折射波法的应用及波的对比, 时距曲綫特征及資料解释; 尖灭带岩层要素、参数測定及勘探方法等。

可供石油及地质部門地震勘探工程技術人員、科学研究人員、資料解释人員及院校师生参考。

石油地球物理勘探譯文集 (1)

尖灭层的地震勘探

*

石油工业部編譯室編譯 (北京北郊六环路石油工业部)

中国工业出版社 (北京西便门大街10号)

(北京市书刊出版业許可證出字第110号)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $4 \frac{1}{4}$ ·插頁2·字數108,000

1964年4月北京第一版·1964年4月北京第一次印刷

印数0001—1,470·定价(科七)0.80元

*

統一书号: 15165·2860 (石油-164)

目 录

在实际介质中地震波动力学特点的試驗研究	
(苏) Н.С. 貝尔宗	(1)
尖灭层介质中地震波的特点 (根据模型实验研究)	
(苏) В.В. 昆	(10)
尖灭层介质中折射波的运动学特性	
(苏) А.М. 耶比娜采娃	(35)
在西伯利亚靠近烏拉尔山的基底凹陷內折射波地震記錄和 时距曲綫的特点	
(苏) Л.В. 塔里維爾斯基	(52)
地层侵蝕和尖灭帶反射波的对比	
(苏) В.И. 尤尔琴柯	(59)
根据反射波的頻譜确定中厚度岩层的某些参数	
(苏) Л.Л. 霍德金斯基	(64)
苏台德山附近单斜层尖灭帶傾斜度的測定	
(波) 阿·基斯洛夫	(77)
根据地震勘探資料討論庫拉河下游地区* 含油层的尖灭問題	
(苏) Р.А. 阿布杜拉也夫	(87)
折射波法地震勘探确定尖灭层	
(匈) 基耳泽尔·丘劳	(92)
喀尔巴阡山山前拗陷尖灭和侵蝕帶地震反射层断裂的地质解釋	
(波) 阿·基斯洛夫	(97)
寻找地层圈閉的新技术的发展	
(意) L. 卡里西姆 O. 德阿高斯蒂諾	(109)

在实际介质中地震波动力学 特点的試驗研究

(苏) Н.С. 貝尔宗

至今在地震勘探中主要是利用了波的运动学特点：即波的旅行时间和根据旅行时间所求得的传播速度。动力学特点（波形和振幅的特点），只有在进行波的对比时才用。随着所研究問題范围的扩大，在解释波的动力学特点时，必須注意记录的波形、振幅、頻率譜和极化性质等。

相应不同层的地震波的动力学特点，其差別往往比在这些层中的速度值更明显。例如，在水飽和的砂中，速度为1,500—1,700米/秒；而在粘土中，速度值往往也在相近的范围内变化。因而根据速度值便不能够区分水飽和的砂和粘土。然而上述各层的折射波的动力学特点，都大不相同〔1〕。当振动激发和接收条件相同的时候，砂层中的頻譜（ $f_{\text{极大}} = 150—200$ 赫芝）比粘土层的頻譜（ $f = 70—80$ 赫芝）具有更高的頻率特性。利用这些頻率的差別（尤其在以高频仪器记录波时），可以在相应粘土层的波中分辨含水砂层的波（图1）。

广泛地开始研究地震波的动力学特点，还是不久以前的事，即最近的12—15年。这里討論的是在野外試驗工作情况下，苏联科学院大地物理研究所获得的某些結果。

对不同介质中波的动力学特点的研究，不仅应用了专为在不同頻率范围内〔2,7, 11〕工作的滤波地震仪器，而且也应用了專門为从事波的动力学特点研究而制作的仪器：中間磁带记录仪〔12〕、地震波頻譜分析仪〔14〕，可以測定波传播途径最后部分极化現象的三分量装置和方位装置〔8〕。

进行研究的主要介质可分为兩組：水平层状介质与垂直分界

面和尖灭层的介质。广泛地研究了在分界面上具有速度跃变的一级水平层状介质，而对分界面上速度梯度跃变的二级介质的研究才刚刚开始。

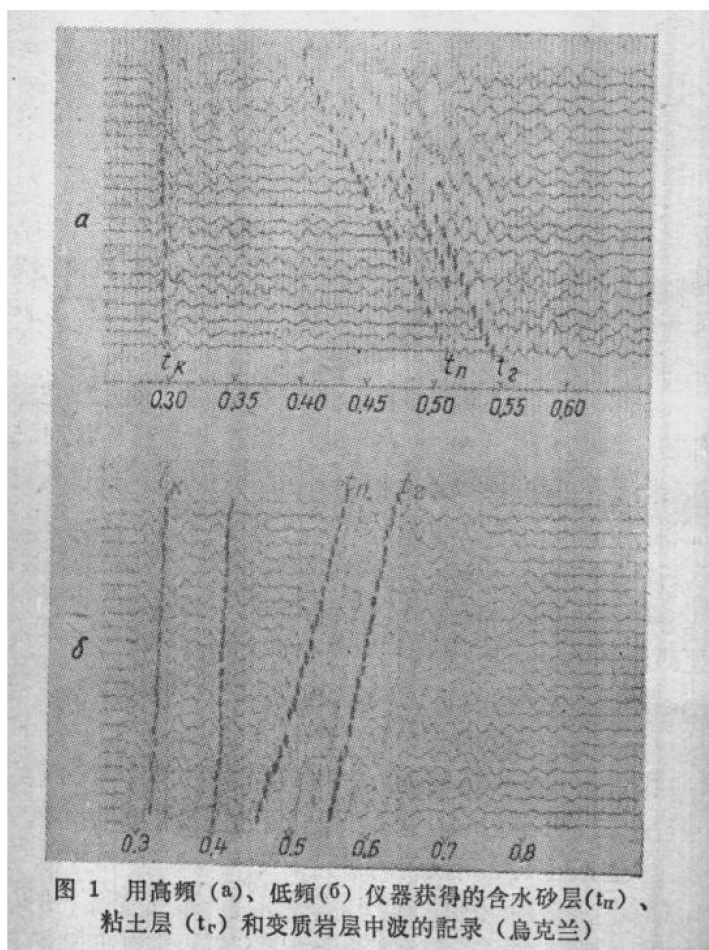


图 1 用高频 (a)、低频 (б) 仪器获得的含水砂层 (t_n)、粘土层 (t_e) 和变质岩层中波的记录 (乌克兰)

一级分界面的介质，可以分成厚层介质和具有高速或低速的薄层介质。

对薄层波特点的研究具有很大的意义，这是由于在实际介质中薄层是分布得很广，特别是在伏尔加-乌拉尔的许多含油地区。

(石炭紀和泥盆紀沉積)經研究后得知,薄層反射波的动力学特点(振幅和頻譜)对地層厚度、介质的速度和吸收性质的变化是非常“灵敏”的,因此,它可以在研究地区內剧烈地变化。由于波的頻譜成分的多变性,在研究多层薄层介质时,需要具备在很大的范围内改变仪器滤波性能的条件。为此需要有能广泛挑选滤波的仪器,而中間磁带记录仪是最好的了。在某些情况下,在过渡到高频滤波时,反射波的对比能力会大大地改善。

图2表明在离爆炸点不同的距离上,用不同的滤波记录下来的、具有高速硬石膏薄层波的頻譜。在爆炸点附近(图2,a)頻譜比較寬,因此在使用滤波仪器得到的記錄上,主頻率随着滤波的改变而有很大的变化。在远离震源时,高频分量比低频分量衰减得厉害,因而頻譜的极值的諧振部分是在低频的一边(图2,б,в)。在薄层埋藏很深的情况下($H=1,350$ 米)反射波的頻譜具有尖锐的諧振形状(图2,r)。

由于这个原因,甚至于当仪器頻率特性曲綫的极值在較大的范围

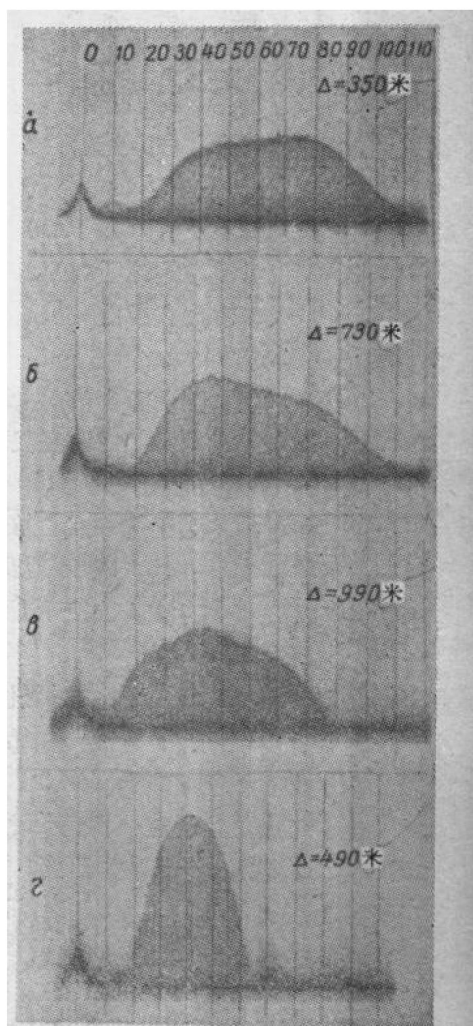


图2 埋藏深度在900米(a, б, в)和1,350米(r)处,硬石膏层的反射波頻譜

內变化时，记录上波的主频率是不变化的。在研究薄层的纵折射波时，可以断定，当地层中波长 λ_2 与地层厚度 l 的比值很小的时候，比值 $l/\lambda_2=0.06$ ，折射波的能量还足够强，并且能在离震源較大的距离上追踪。这些与波长相比拟的薄层首波，不仅在深度几米的地方出现，而且也 在深度到1.5公里的地方出现。这样，在地震勘探中和在地壳的深地震测深工作中就可以应用折射波对比法研究薄层。

当地层埋藏不深时（小于300米），在纵折射波的始点以后，一般來說，反射波是追踪不到的。在埋藏深度 $H \geq 500$ 米的厚层情况下^[9,10]，有时在折射波的始点以后出现比折射波更强的反射波。

在始点以后，随着距离的增大，反射波比折射波衰减得更快；并且当继续远离震源时，在记录上仅仅留下了折射波。在很多情况下，当厚层的埋藏深度 $H=500-2,000$ 米时，在始点以后只记录到折射波，关于这一点，首先可由波的追逐时距曲线的严格平行性来证实。在始点以后，反射波和折射波的这种不同的动力学关系，在很大程度上取决于复盖介质和折射层中吸收系数的比值。

在高速薄层的情况下，在折射波的始点以后，反射波在地震记录上未曾出现过。折射波与在始点之前记录到的反射波的差别，在于具有較低的频谱（图3）。

近几年来，为了进一步完善地震勘探方法，进行了PPS，PSP和PSS型轉換折射波的研究；此后不久，又开始了PS型轉換反射波的研究。为了研究和在今后勘探工作中的应用，上述类型波是根据这样的原因选择的：因为在与纵波相同的震源条件下它們就能产生，也就是說，在爆炸时不需要像激发純横波那样的專門的振动激发方法；这样，纵波和轉換波的联合应用就更容易了。

轉換反射波与纵波不同，这是因为它的动力学性质变化大，以及与之有关的对比性差。在一个地区获得了清晰的轉換波^[3,4]，

而在另外的一些纵波结构和性质相似的地区，记录它们是很困难的。

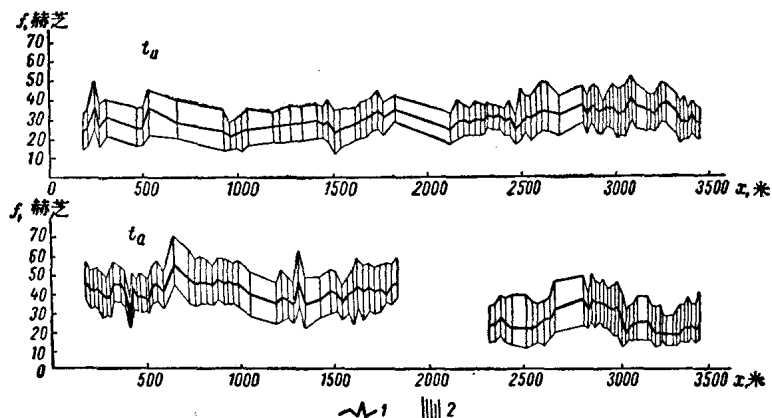


图 3 硬石膏薄层波 t_a 和石灰岩层反射波 t_a 的频谱极大值频率和宽度随距离的变化曲线
 t_a 波在 $x \leq 1,800$ 米时为反射波，在 $x > 2,300$ 米时为折射波
 1—极大值频率；2—频谱宽度。

转换波比相同界面的反射纵波有着更低的频谱（图 4）。这首先是由于在沉积岩中，至少在频率范围 $f > 40-50$ 赫芝时，横波的吸收系数要比纵波大。

转换波和纵波（折射或反射）的综合应用，扩大了地震方法的可能性。在记录同一分界面的两种类型的波时可以更精确地研究上述界面的深度和形状，这一点在构造勘探时特别重要。可以预计，特别是记录和综合解释同一分界面上的纵反射波和转换反射波，仍是提高勘探平缓构造精度的新途径之一。

利用波的动力学特点研究结果的主要方向如下：

1. 改善波的记录方法，例如在研究频谱的基础上选择最佳的滤波，在研究振幅随距离变化曲线的基础上选择合理的距离范围等。
2. 在解释时利用波的动力学特点。这些特点的解释方法可

分为两种：

- a. 定性的方法；
6. 定量的方法。

定性的解释方法是根据在不同的观测系统情况下所记录到的

波形和波的振幅特点。除了通常在地震观测过程中常应用的沿剖面线的地震波对比之外，还广泛地利用在不同测线上所得到的记录的对比方法。在定性解释方法的基础上，拟定了划分垂直分界面、详细区分垂直层状介质、划分断层以及勘探破坏带的方法〔2,5,13〕。在地震资料解释的最后阶段利用了定性的方法（可以用在构制构造图和构造简图上）。它们也应用于金属勘探、工程地质探测、石油勘探中划分断层以及地壳的深地震测深中。

定量解释方法是根据整理不

同波的振幅随距离的变化曲线，

它们的频谱，以及在同一爆炸点上所记录到的不同波的频率等关系上的。这些方法能够确定不同介质中波的吸收系数，它们与频率的关系，以及薄层反射系数与频率的关系〔6〕。图5是根据两个反射波频谱的比值而求得的吸收系数 α_2 与频率之间的关系。

图6所示为碳酸盐岩层中低速陆源沉积薄层的反射系数与频率的关系曲线。曲线是根据薄层和结晶基底的反射波频谱的比值求得的。

从这些例子中可以看到，在作波的动力学特点的定量解释时，呈现了在原则上根据波的运动学特点所不能获得的测定介质新参数的可能性。今后，根据吸收参数资料积累的程度可以用来

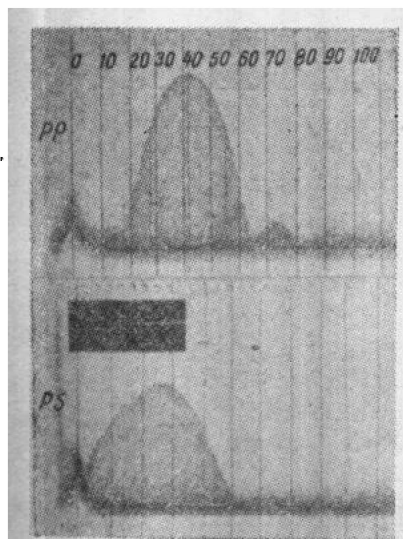


图4 硬石膏层PP和PS波频谱
($H=1,350$ 米)

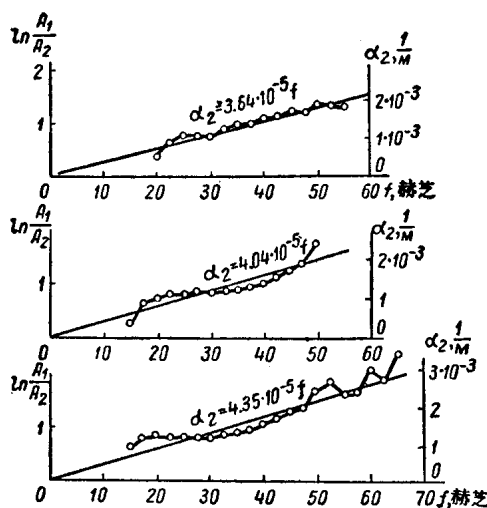


图 5 两个反射波频谱值的对数与频率的关系曲线图
(根据这些曲线所确定的反射界面之地层中的 α_2)

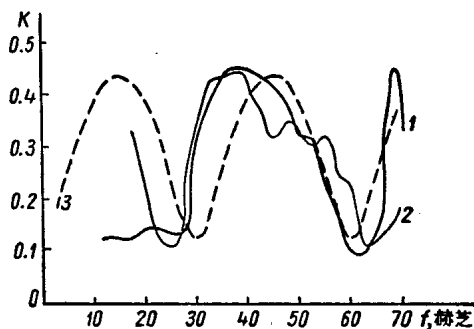


图 6 根据试验资料^[1,2]确定的和按瑞雷公式计算的
低速薄层的反射系数(K)与频率(f)的关系曲线

计算时取地层厚度为45米,在地层中的速度 $v_2=3,050$ 米/秒,盖层的速度为5,500米/秒,下伏层的速度为4,300米/秒,密度 $\rho_1=\rho_2=\rho_3$

更仔细地地区分介质,而反射系数与频率的关系则可用于确定薄层的厚度以及它们的岩石成分。

为了地震勘探方法的进一步发展,研究波在实际介质中吸收

規律仍是非常重要的，其原因如下：

1. 計算表明，当吸收系数不大的时候，波的动力学关系可能大大不同于理想介质中的关系。因此，为了正确地解释波形图，就必须知道波在实际介质中的吸收系数。在解决记录上存在多次波的问题和确定记录轉換波的类型时，这一点显得特别重要。

2. 在岩石中，其吸收系数要比速度的变化范围更广泛。例如，在沉积岩中，当频率 $f=50$ 赫芝时，它可能从 $n \cdot 10^{-11}$ /米增加到 $n \cdot 10^{-4}$ /米，即增加了1,000倍。在未經风化过程变化的沉积岩中，其速度可能从500米/秒增加到5,000米/秒，即不超过10倍；速度的一般变化范围比上述数值还要小一些。綜合应用波随距离衰减的参数和速度值，比仅仅应用速度值可以更完善地确定介质的结构。众所周知，例如許多岩相不同的岩石（花崗岩、片麻岩、石灰岩），实际上它們是以相等的速度为特点。但是在它們之中波的衰减却大不相同，这样就便于单值地确定研究岩石的岩石成分。

最后必需指出：地震方法的进一步发展与波的动力学的发展方向密切相关。因此，在实际介质中地震波和它們的动力学特点的研究必需竭力扩大，而将最后研究的结果应用到地震勘探的实践中去。

（何柏荣譯自“Состояние и перспективы развития разведочной геофизики”，Гостоптехиздат，1961，第213—219頁，滕吉文校訂）

参 考 文 献

- [1] Берзон И.С., Васильев Ю.И., Стародубровская С.П. О пре-
ломленных волнах, соответствующих водоносным пескам. Изв. АН СССР,
серия геофиз., № 1, 2, 1959.
- [2] Берзон И.С. Высокочастотная сейсмика. Изд. АН СССР,
1957.
- [3] Берзон И.С. Некоторые вопросы интерпретации голографов

обменных отраженных волн. Тр. ИФЗ АН СССР, № 6 (173), 1959.

[4] Берзон И.С., Боканенко Л.И., Исаев В.С. Сейсмические исследования на леднике Туюк-Су. Изд. АН СССР, 1959.

[5] Берзон И.С., Трассирование вертикальных границ раздела по динамическим особенностям сейсмических преломленных волн. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 11, 1956.

[6] Берзон И.С. Определение спектра коэффициента отражения продольных волн от тонкого слоя. Тр. ИФЗ АН СССР, № 6 (173), 1959.

[7] Васильев Ю.И., Ковалев О.И., Пархоменко И.С. Об исследовании кристаллического фундамента методом преломленных волн в условиях неполного экранирования. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 3, 5, 1958.

[8] Гамбурцев Г.А., Гальперин Е.И. Азимутальные сейсмические наблюдения с наклонными сейсмографами. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 2, 1954.

[9] Епинятова А.М. Об отраженных волнах, возникающих при углах падения, больших предельного. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 6, 1957.

[10] Епинятова А.М. Изучение продольных сейсмических волн, распространяющихся в некоторых реальных слоистых средах. Тр. ИФЗ АН СССР, № 14 (181), 1960.

[11] Меламуд А.Я., Шипилин Н.С. Высокочастотная сейсмическая аппаратура. Тр. ИФЗ АН СССР, № 6 (173), 1959.

[12] Меламуд А.Я., Дейнега С.А., Худвинский Л.Л. Станция промежуточной магнитной записи сейсмических колебаний. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 2, 1959.

[13] Стародубровская С.П. Опыт трассирования погребенных нарушенных зон по динамическим характеристикам преломленных волн. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 5, 1957.

[14] Худвинский Л.Л., Меламуд А.Я. Станция частотного анализа сейсмических колебаний. Изв. АН СССР, серия геофиз., № 9, 1957.

尖灭层介质中地震波的特点 (根据模型实验研究)

(苏) B.B. 昆

文中对具有尖灭层的介质中所产生的首波(纵波和轉換波)和繞射波的相对强度与介质中速度和密度比值、尖灭角、尖灭层埋藏深度的关系进行了研究。

文中引述了波相对强度的近似理論計算, 并将計算結果与模拟資料作了比較。

对具有尖灭层介质的研究有很大的实际意义。在勘探石油、天然气、金属矿和其他有用矿藏时我們就遇到解决这类問題。

在文献[1, 2]中研究了具有尖灭界面的介质中所記錄之纵折射波的运动学特点, 該纵測綫垂直于尖灭綫。关于在楔状体情况下, 波的动力学相互关系的实验資料那就非常少了: 在文献[1-4]中引述了一些野外工作中所获得的地震記錄, 并研究了所記錄波的置换特点。

对具有尖灭层介质的弹性理論的动力学問題还没有得到解决。

本文借助于模拟法确定在具有尖灭层的介质中, 从运动学观点可能发生的很多波中可能記錄到那些波; 闡明了与模型参数有关的各类波的强度比。除解决这个主要問題以外, 我們还想确定能分出楔状体的主要动力学标志, 以便进一步利用这些标志从其他介质中(例如側向垂直接触面)分辨出楔状体来。

实验的方法

用 JIC-1 型高灵敏度超声波地震示波仪进行試驗的〔5〕。利用压电发生器作为发射器和接收器, 該压电发生器是用 $45^\circ X$ -切

面的酒石酸盐制成，其外形为立方体，大小是 $10 \times 10 \times 10$ 毫米。

观测是在一些液-固三度模型中进行的。在每一个模型中，两张不同硬度物质制成的并切成 $\varphi = 10^\circ$ 或 $\varphi = 30^\circ$ 的片，沿倾斜面用螺丝坚固地撵合在一起^①。模型以不同的深度浸入水中，水层就是均匀复盖层；发生尖灭的是具有较小速度 v_2 的层。这里和以后采用下列符号： v_1 、 ρ_1 、 v_2 、 ρ_2 、 v_3 、 ρ_3 ——分别为1、2、3层中的纵波速度和密度（图1）。利用有机玻璃、夹布胶木和硬

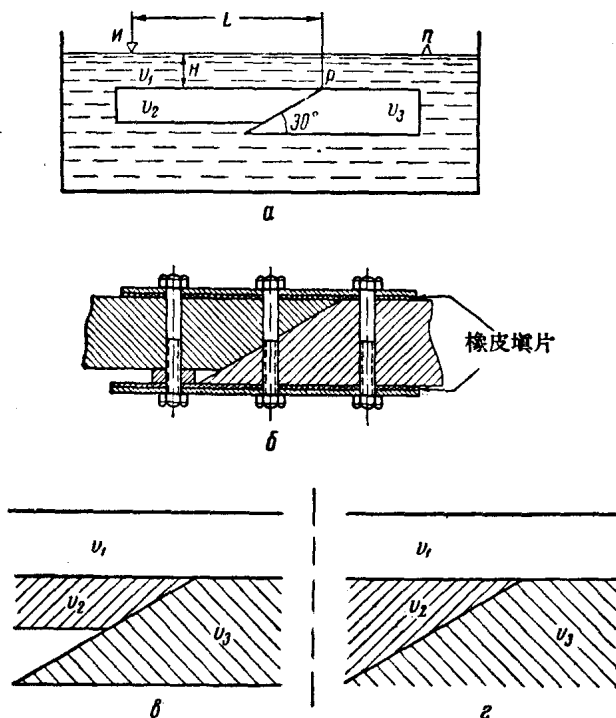


图1 模型结构示意图

a—模型槽之断面； b—两片固定处的断面； c—具有尖灭层之介质的示意图； d—具有无下限尖灭层介质的示意图

① 螺丝位于模型的边沿上。

鋁作为模型固体部分的材料。在表 1 中列出了这些材料的主要参数：主要周期、首波的波长、这些片的厚度以及水中 and 片中速度的比值。

为制造模型，将厚度有限的材料做成片状（图 1, B），因此就获得了楔状切面的层状模型。当发射器离尖灭綫的距离不远时，在这些模型上研究了实际上无下限尖灭层的情况（图 1, r）。我們將假定把图 1, B 类型的介质称之为尖灭层，而把图 1, r 类型的介质称之为无下限尖灭层。

表 1

材 料	片厚度 d , 厘米	周 期 T , 毫秒	波传播速度 v_r , 公里/秒	波 长 λ , 厘米	当 $T=10$ 时的 d/λ	v_1/v_r	密 度 克/厘米 ³
有机玻璃	3.4	9—11	2.7—2.8	2.7—2.8	1.2—1.25	0.52—0.54	1.1—1.3
夹布胶木	4.5	9—11	3.4—3.6	3.4—3.6	1.25—1.3	0.40—0.42	1.4
硬 鋁	6.0	9—10	6.7—7.0	6.0—6.2	0.97—1.00	0.21—0.22	2.5—2.8

研究了五个模型（表 2），其上复层厚度从 5 变化到 20 厘米。模型在速度比值 v_1/v_2 、 v_1/v_3 、 v_2/v_3 和密度比值 ρ_1/ρ_2 、 ρ_1/ρ_3 和 ρ_2/ρ_3 方面与实际介质相似。模型 1、3、4 相当于具有傾斜面明显的尖灭层的介质。也保持了模型和实际介质的几何相似性。这样，例如折射界面深度从 100 到 1,200 米的变化（当使用中频仪器来研究折射界面时，和 v_1 从 2 变化到 5 公里/秒时）相当于 H/λ_1 值（ λ_1 ——水中波长）在 3.6（ $H=5$ 厘米）到 14（ $H=20.5$ 厘米）范围内变化。

模型与实际介质之主要不相适应之点在于，模型中上复层是液体，因此在上复层中不产生也不传播横波，并且纵波的吸收实际上是不存在的。

观测是在纵测綫上进行的，这些测綫与尖灭綫垂直并与尖灭綫在观测面上的投影相交。在每个 H 值上取一系列的正、相遇和追逐时距曲綫；从发射器到尖灭綫在观测面上的投影的距离 L ，其变化在 17 到 55 厘米的范围内。

表 2

模 型 号 碼 及 其 参 数	波 的 类 型	L 厘米	H, 厘 米				
			5.5	8.5	11.5	16	20
1. 夹布胶木-硬铝, $\varphi=30^\circ$, $P=v_2/v_3$ $=0.51$ $m=\rho_2/\rho_3$ $=0.52$	$\frac{A(P_I P_{II} P_I)}{A(P_I P_2 P_{III} P_{III}' P_I)}$	18	3.0				
		24	3.0	3.5			
		30	3.0	3.5	4.7		
	$\frac{A(P_I P_{II} P_I)}{A(P_I P_2 P_{III} P_{III}' P_I)^D}$	35		7.0			
		40	6.0				
		45	9.0		8.0		
		55		13.0	14.0		
2. 有机玻璃-夹布胶木 $\varphi=10^\circ$, $P=0.80$, $m=0.86$	$\frac{A(P_I P_{II} P_I)}{A(P_I P_2 P_{III} P_{III}' P_I)}$	30			1.8—1.9		
	$\frac{A(P_I P_{II} P_I)}{A(P_I P_2 P_{III} P_{III}' P_I)^D}$	45	2.3	2.3	2.6		
		55	2.5		3.0		
5. 有机玻璃-夹布胶木 $\varphi=30^\circ$, $P=0.51$, $m=0.52$	$\frac{A(P_I P_{II} P_I)}{A(P_I P_2 P_{III} P_{III}' P_I)^D}$	30		2.0	2.7	2.4	
		40		2.0		2.7	4.2
		50			2.2	3.1	5.2
3. 有机玻璃-硬铝 $\varphi=30^\circ$, $P=0.51$, $m=0.52$	$\frac{A(P_I P_{II} P_I)}{A(P_I P_2 P_{III} P_{III}' P_I)^D}$	40			10.5	12.0	
		50				22.0	
		55			21.0		
4. 有机玻璃-硬铝 $\varphi=30^\circ$, $P=0.40$, $m=0.45$	$\frac{A(P_I P_{II} P_I)}{A(P_I P_2 P_{III} P_{III}' P_I)^D}$	40			6.0—8.0		
		45					6—7.0
		50			9.5—13.0	11.0	
		55					13.0

所记录的波及其相对强度

我們將发射器位于尖灭层（即具有速度較小 v_2 的介质）之上的观测系統称之为正观测系統（Прямая система наблюдений）。在相遇系統中（Встречная система наблюдений），发射器在具有較大速度 v_3' 的介质中。

引入下列符号： P 、 S ——在某段行程中波（纵波或横波）的类型， I 、 II 、 III' ——折射界面，沿这些界面波以滑行波的

形式传播，1、2——介质1或2中的行程。在图2中给出了介质、界面的符号和主要波的理论时距曲线。这样，例如相应于尖灭层倾斜界面Ⅱ的和水平界面Ⅲ的纵首波分别用 $P_1P_2P_{\text{II}}P_2P_1$ 和 $P_1P_{\text{II}}P_1$ 来表示等。为区别于首波，在绕射上加上一个字母D。如果在进入介质3时发生绕射，则波的记号被括在括号内；如果在入射介质2或3时发生绕射，则不加括号。

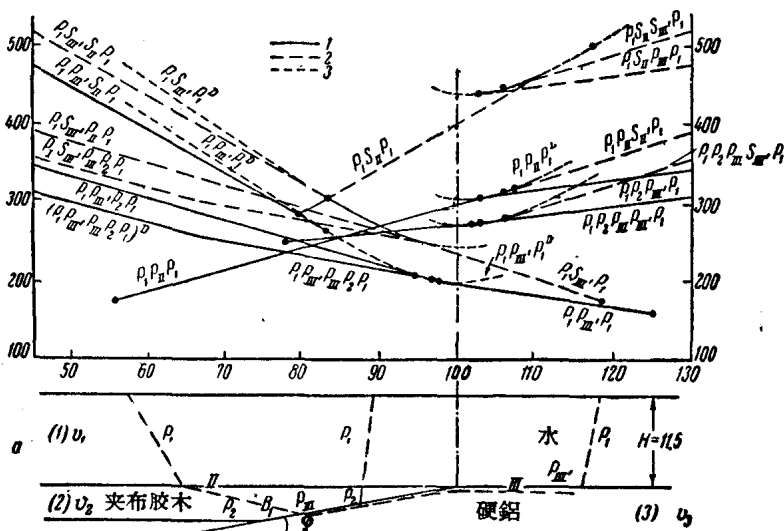


图2 在具有楔状切面的层之上纵波(1)、转换波(2)、绕射波(3)的理论时距曲线

a—介质结构示意图；6—当参数为： $v_1=1.45$ 、 $v_2=3.5$ 、 $v_3=7$ 、 $v_3S=3.2$ 公里/秒时所制作的理论时距曲线。虚线是 $P_1P_2P_{\text{II}}P_2P_1$ 波和 $P_1P_2P_{\text{II}}P_{\text{II}}'P_1$ 波的行程

当 L 不大时，此时发生器位于倾斜界面Ⅱ（并考虑到地震偏移），在模型上，运动学上可能产生的波动类型将与无下层之尖灭时波的类型一样〔2〕。当 L 较大时相应于界面Ⅱ的就是一般首波 $P_1P_2P_{\text{II}}P_2P_1$ ，而是折射—绕射—首波 $(P_1P_2P_{\text{II}}P_2P_1)^D$ ，它是当折射波 P_1P_2 在下尖灭线上发生绕射时产生的(图2, 点 B_1)，在相遇系统里情况也是如此。当离发射器距离 L 很大时，相应于