

地震勘探译文选集

(二)

石油工业出版社

統一書号：15037·912

地震勘探譯文選集

(二)

*

石油工業出版社出版 (社址：北京六部坑石油工業部內)

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店科技發行所

各地新華書店經售

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 開本 * 印張5 $\frac{1}{2}$ * 87千字 * 印1—2,700冊

1960年9月北京第1版第1次印刷

定價(10) 0.77元

出 版 者 的 話

我們在1958年曾出版过一本“地震勘探論文集”(一)，很受讀者欢迎。今后計劃繼續选譯苏联及其它各国有关地震勘探新技术、新仪器、先进經驗介紹等方面的論文，改以“地震勘探譯文选集”書名順序出版。

在本选集中，收集了三篇有关多次反射波的文章，虽然大部分偏重理論性的探討，但对于如何解决目前地震勘探中最感头痛的多次反射波問題提供了不少綫索。另有三篇关于地震勘探新仪器和新方法的文章，对現阶段地震勘探的发展方向和新仪器的制造作了概括的介紹。这里还刊载了一篇“海洋地震勘探的特点”容內扼要浅显，可供大家参考。最后三篇文章介紹了地震勘探法在苏联的应用和一些方法上的改进。

为了配合当前的地震勘探工作，我們將儘量多出一些这类的譯文选集，希望讀者大力支持，並随时給我們提出意見、介紹选题或直接供給稿件。

目 录

出版者的話

1. 多次反射波..... 1
2. 根据多次反射波的运动学特性和动力学特性确定它們的类型.....28
3. 用高频滤波抑制多次反射波.....52
4. 地震振动中間磁帶记录仪.....63
5. 复制照相记录在地震勘探中的应用.....87
6. 具有非直綫同相軸的地震波记录叠加时定向检波的定向特性100
7. 海洋地震勘探的特点110
8. 在費尔干納盆地油气田普查中地震勘探的应用130
9. 論在西西伯利亚低地反射法勘探工作中
 观测系統的簡化140
10. 西伯利亚靠烏拉尔附近拗陷地区基底折射波时距曲綫
 和记录的特征147

多次反射波

С.Д. 苏薩柯夫

在地震勘探工作中，多次反射波可能成为分析和追踪有效波的干扰；此外，多次波也可能被認為是一次波，因而在解释地震資料时常常产生錯誤。

虽然对多次波进行了許多研究，但在辨認它們的时候，还会产生困难；在地震勘探中，有时竟会把多次波看成一次波。

本文中介绍多次反射波模型試驗和环积分法的某些理論計算的成果；簡要描述在地震勘探实践中經常碰到的縱波；同时指出多次反射波的某些特征和提出某些实际建議。

具有不同強度的多次反射波，大概在所有地区或几乎所有地区都会产生。討論多次波問題时，常常注意这样的多次波，它們可以清楚地分出来，因而它們具有的強度与传播時間，同它們近似的一次反射波的強度成比例。对观测到这类強烈多次波地区的地震地質条件加以研究以后，可以作出以下結論，即在这些地区存在着有利于形成这类波的以下几項特殊条件：

- 1) 反射系数較大的界面数目不多；
- 2) 在这些界面之間，波的衰減比較微弱。

例如，在苏联克拉斯諾达尔边区列宁格勒村一带白堊紀沉积中有一层，波阻抗很大，是多次波反射层；在喀尔巴阡

山前拗陷外圍帶，根据波阻抗可以分出一个硬石膏層，从它上面也反射出多次波；在德国的西北部，下界面有时是白堊紀沉积頂部，有时是反射系数很大的中間界面之一（和白堊紀沉积的頂部合在一起）〔11〕；在某些其它地区，这种界面是結晶基底、碳酸盐地层、熔岩流及其它地层的表面〔13，14，15〕。

有些人認為，在表面条件有利于产生多次反射波的地区（潛水面接近地面、低速帶不大、地面平坦），可以觀測到多次反射波。这种关系在很多地区的确可以看到，但和它发生关系的只是地面上反射的多次波。

目前对于地面或低速帶底部是上反射界面的問題，存在着各种看法，但大多数人認為，低速帶底部在这里起着主要作用〔5，11，13〕。A.M. 愛萍拉齐也娃〔5〕对这点作了如下的解释：地面上反射的波穿过低速帶底部时，很多能量用于反射，很多能量为該低速帶吸收了。

激发和接收条件对于多次波強度的影响尚未研究过。但拍烏勒德爾在关于空中組合炮炸的論文中指出，井中单独炮炸和空中組合炮炸的大量地震記錄的对比証明，在組合炮炸的記錄上完全沒有多次反射波。这是由于多次波的第一次反射是在激发点之上发生的，也是由于傾斜界面产生的。在震源附近，多次波視速度小于一次波視速度，而且次数愈多，多次波視速度愈小。因此，不仅在用組合炮炸，而且在用組合检波以及其它方向接收时，都可以創造对于記錄一次波比較有利的条件（对多次波而言）。但是，随着反射界面傾角的減小，这种可能性会逐渐消失。

运 动 学 特 征

在层状地質介質中，能够产生不同类型的多次反射波。这些波根据它們在何种地层中传播，以及在何种地层中是縱波或橫波而分类的。

它們用以下符号表示： P_i 代表縱波， S_k 代表橫波，其中 i 和 k 表示这些波在其中传播的地层（图 1）。

在討論均質波的时候，可以只限于表示反射多次波的一组界面。这些界面通常是这样表示的：地面或低速带底部用 0 表示（以后將称之为 0 号界面），而反射多次波的其余界面，自上而下順序用 1, 2, …… n 表示。例如，从界面 2，低速带底部以及某个中間界面 1 反射来的不完全多次波用 201 表示，而在下界面 1 上反射 n 次、在 0 号界面上反射 $n-1$ 次的完全多次波，用 $10 \cdots 101$ 表示。

不同类型的多次反射波具有不同的运动学特征。完全多次波 $10 \cdots 101$ 好像是較深界面（即深于实际上反射它們的下界面）的一次波。图 2 是多次波射綫簡图和真正反射界面的位置，以及假設这些波是一次波时繪制成的許多虛界面的位置。如果真正界面 l_1 对于 0 号界面的傾角为 γ ，則两次反射波好像是从虛界面 l_2 上反射的一次波。这个界面是 0 号界面在界面 l_1 上的鏡像，其傾角为 2γ 。

界面 l_n 对于 0 号界面的傾角为 $n\gamma$ 。如果界面 l_1 在激发点之下的法綫深度等于 H_1 ，則界面 l_2 在同一激发点之下的法綫深度將等于：

$$H_2 = H_1 \frac{\sin 2\gamma}{\sin \gamma} = 2H_1 \cos \gamma.$$

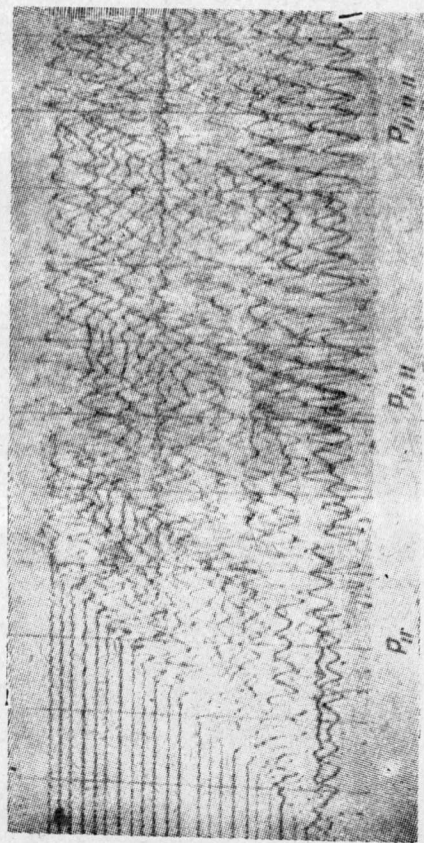


图 1 在自然条件下取得的多波反射波记录

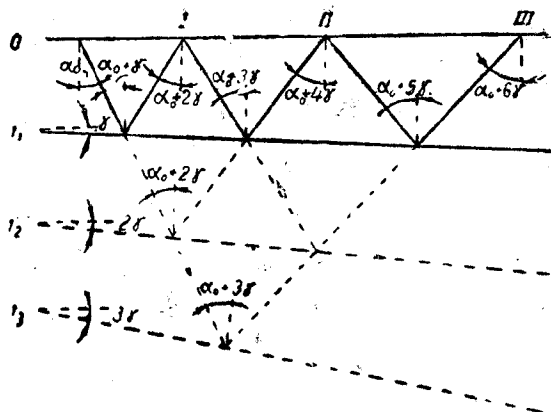


图 2 多次反射波射线示意图

因而，虚界面 I_n 的深度将等于

$$H_n = H_1 \frac{\sin n\gamma}{\sin \gamma}. \quad (1)$$

多次反射波时距曲线用下列方程式表示：

$$t = \frac{1}{v_1} \sqrt{4H_1^2 \frac{\sin^2 n\gamma}{\sin^2 \gamma} + 4H_1 x \frac{\sin^2 n\gamma}{\sin \gamma} + x^2}. \quad (2)$$

式中 n ——反射次数； x ——对震源的距离。

如果反射界面是水平的，在激发点附近可以记录到沿着一道路（它与这个界面垂直）传播的多次波。如果反射界面是倾斜的，这些波都沿着自己特有的道路传播（图 3），在其末端垂直地射入 0 号界面或界面 I，并在它们上面反射，沿着同一道路但方向相反地返回到激发点附近的地震检波器〔8，15〕。奇数多次波在入射波道路终端从界面 I 上反

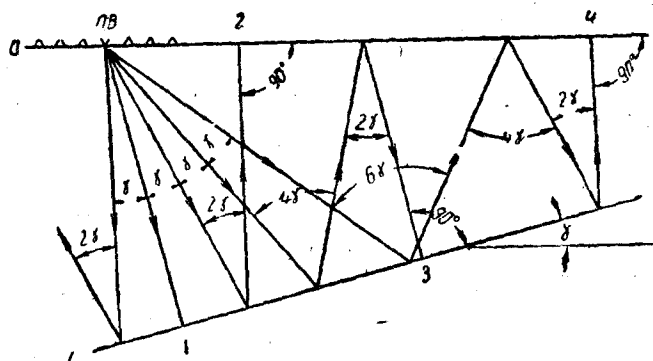


图 3 在激发点附近记录到的多次反射波射线示意图

射，而偶数多次波则在 0 号界面上反射。

完全多次反射波具有以下运动学特征。

1. 这类波的传播时间等于虚波的旅行时间，后者好像是较深的和较倾斜的界面的反射波。如果离震源地不远，反射界面的倾角也很小，多次波每隔一段相同的时间会重复出现。

2. 根据多次波（认为是一次波）时距曲线计算的有效速度，应该与根据相应一次波（反射多次波的同一界面）时距曲线计算的有效速度近似。这个有效速度通常小于根据传播时间与多次波近似的一次波时距曲线计算的有效速度，并且小于根据地震测井资料求得的、与多次波传播时间相应的平均速度。

3. 根据多次波（认为是一次波）时距曲线绘制的虚界面倾角，随着深度的增长而逐渐加大。根据几次波时距曲线绘制的虚界面的倾角，可能比反射这个波的真界面的倾角大几倍。

4. 不同次数多次反射波的数目, 可能不大于 $n < \frac{\pi}{2\gamma}$, 式中 γ ——反射界面的傾角, 并且随着这个角度的减小 (到零) 而从 1 增长到 ∞ 。

5. 如果反射界面是傾斜的, 在激发点附近的多次波视速度, 随着反射次数的增多而减小。

不完全多次反射波的传播道路是不同的, 因而它们的运动学特征也不同。这些特征在不同情况下应分别确定。

当速度随着深度而慢慢增长时, 多次反射波具有以下运动学特征〔2〕。

1. 根据多次波类型的变化, 当从一条时距曲线轉到另一条曲线而 t_0 加大 ($x=0$) 时, 根据这些时距曲线 (認為是一次波时距曲线) 計算的有效速度, 可能加大, 也可能减小。有效速度随 t_0 加大而减小, 可以利用来辨别多次波, 但有效速度的加大不能用来辨别多次波。

2. 有效速度随着次数增多, 可能加大, 也可能减小, 这点由它們在低速或高速地层中传播道路的长短而定。

3. 如与 t_0 的同一数值相应而且在工作地区各处根据多次波时距曲线求得的有效速度数值很零乱时 (或在干涉振动中各种多次波佔主要地位时), 都可以作为辨别多次波的准繩。

第一次反射发生在激发点以上的多次波的特点是, 随着炮炸深度加大, 这个波的传播時間也增加, 但平常一次波的传播時間是減小的。

动力 学 特 征

振动形状 当多次波次数为奇数时, 振动相位經常变

180°[13]。这是由于在这种情况下，在自上而下穿过下界面和自下而上穿过上界面时，波阻抗会相应地加大和减小。图4是模型試驗中得到的多次反射波記錄，从图中可以看出振

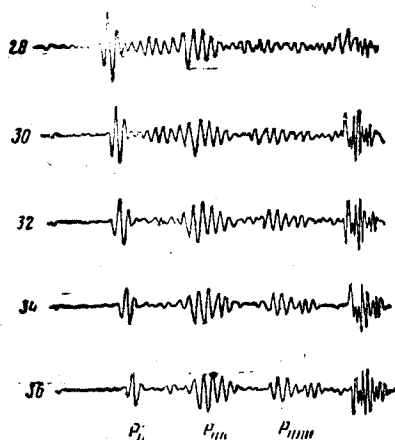


图4 在多次反射波模型試驗中得到的多次反射波記錄

动相位随反射次数的变化。如果波阻抗在穿过下界面和上界面的两种情况下都加大或减小时，这种相位变化是不应该有的[8]。如果波在某些界面上反射的次数是奇数，而且穿过这些界面时波阻抗又减小了，此时波到达的方向一般会变为反向的。如果能掌握一些关于研究地区构造情况的資料，

那就可以对反射界面的相应特点得到较为准确的概念；反之，利用多次波也可以根据偶次和奇次多次波到达的方向来判断波在道路起点到达的方向。不完全多次波传播时，相位关系可能较为复杂，这是由于无论下反射界面和上反射界面，在穿过它們的时候，波阻抗变化的方向都不同。在这种情况下，需要計算的只是在波穿过时波阻抗减小的界面的反射次数，并且还要考虑到，在这些界面上反射了奇次以后，波在道路起点和終点到达的方向是不同的。

有些人把波到达方向随次数而变化，解释为由于薄层底部和頂部反射的振动的干涉（这种薄层的厚度小于主波波

长之半)。

一般說来，薄层反射的多次波应该是一組复杂的振动，包括由該层底部和頂部反射的振动。薄层反射在И.И.顧尔維契[3]、Л.М.廖姆塞夫[9]和Б.Н.伊瓦金[7]的著作中都介紹过了。图5是这类波的理论时距曲线。如离开震源不远，薄层頂部和底部反射的波可能叠加在一起。随着离震源距离的加大，各組振动之間的相位移就发生变化，这时出現与薄层底部反射的波叠加在一起的首波。离震源很远时，某些反射波振动之間的相位移会随着离震源距离的加大而增加，而首波和薄层底部反射的振动之間的相位移会减小。在这些相位移中，有許多是随着次数的增多而增加的。无论是由于次数增多还是由于距震源距离的加大，这些复杂的振动可以分解成为几組時間不同的比較简单的振动。

在实际工作中，根据振动形状很难把多次反射波与一次反射波区别开来。由于在自然条件下时常会碰到薄反射层，所以这个問題是用这类地层的模型試驗法来研究的。研究結果表明，在吸收性差的介質中，如果一次反射波的主要頻率，因把波分成不同分量而会随着对震源距离的加大而增加，則由于同样原因（但距震源的距离要大得多），多次波主要頻率也会增加（有时在稍为减小以后）；次数增加时也会看到这种情况。

离开震源很远时，次数愈多，振动开始分組的地方离震源就愈远。开始时观测到振动的主要頻率剧烈下降，后来它随着次数增多而上升。一般地講，在吸收性差的介質中（其中振动的強度和形状都有变化），頻率上升主要决定于波前的差異和这些波干涉，而在震源距离和次数同时加大时，观测得

用中頻儀器記錄時，多次波比較清楚，因而它們的主要頻率較一次波低。這是由於自然介質比模型具有較大的吸收能力。隨着波傳播道路的增长，低頻分量的振動顯著增加，而高頻振動則相對減少了。

在波阻抗較小的某些薄層中〔13〕，一次波和多次波的形狀不一定都完全一樣。

圖6是用環積分法計算的理論地震記錄（液體層覆蓋着固體半空間）。多次波以及一次波的形狀在到達震源的某一段距離內，保持不變；距離繼續加大時，它們都發生變化。把振動形狀不變的地段和變化的地段分開的點子，就是首波始點。在這點以後，在距震源的同一距離上，隨着次數增多，多次波形狀不一定重復。在薄反射層的某些模型試驗中，沒有發覺這種變化。這是由於，此時記錄到薄層頂部和底部反射的干涉波。如果在穿過其中一個界面時波阻抗減小，則首波始點將沒有，而相應分量的形狀在距震源的任何距離上將保持不變。這個分量疊加在具有首波始點的第二个分量上，以致使它的形狀變化不明顯。因此，在薄層中主要觀測到與上述干涉波有關的形狀變化。許多薄層的一次反射和多次反射，隨着距震源距離的加大比從厚層來的反射清楚，其原因也是如此。

在多次波模型試驗中還發現，隨着薄反射層厚度的減小，隨着這層速度的增加以及激發振動主要頻率的增高，多次波主要頻率也大大增加。多次波主要頻率隨反射層厚度的減小及其速度的加大而增加，在理論上〔3〕和實際觀測中都得到了証實，例如，在喀爾巴阡山前拗陷外圍帶，硬石膏層反射的多次波和玄武岩薄層的反射波〔13〕的頻率，比同區里砂

米和更大一些。在乌克兰、西西伯利亚低地、奥地利、加利福尼亚等地区〔5, 13, 14, 17〕, 当结晶基底的深度不大时, 曾观测到这个基底面一次反射和多次反射的波(根据波的记录振幅可以分出)。在结晶基底面很深的相邻地区, 虽然有很多波, 但其中没有结晶基岩面的一次反射和多次反射波。用于中间界面反射的波的能量部分, 随着这些界面数目的加多(当结晶基底面的深度加大时)而增大。

此外, P. Ф. 崗泽〔14〕指出, 在阿根廷薩拉達河流域, 在似乎是很好的记录上, 所有分得出来的深反射波都是多次的, 而且十分强烈, 以致无法从它们中分出一次反射波; 相反地, 在似乎不好的记录上, 多次反射波表现却弱一些, 因而能够分出一些一次波记录。P. 波尔特费尔特〔11〕在德国西北部也观测到类似现象。因而多次波有时可能强于一次波。

把各类多次反射波的强度进行对比时, 有些人指出, 完全多次波是比较强烈的波〔13〕。的确, 在克拉斯諾达尔边区, 在乌克兰和许多其它地区, 都可以根据记录把这些波划分出来。这在某种程度上是由于这些波在记录上週期性地重复出现, 因而比较清楚。但是, 波尔特费尔特还指出, 在一定条件下不完全多次波也可能比完全多次波强。这是因为, 不完全多次波有许多道路, 当反射界面是水平的时候, 它沿着这些道路可以同时到达观测点, 並在那里引起相位叠加的振动(图7)。

随着反射界面倾角的加大或这些角度差的加大, 各振动的相位移也加大了。由于这种干涉的缘故, 有一些多次波可以划分出来, 而另一些多次波在不同程度上被抑制了。

各类多次波的强度和它们与地震地质条件的关系, 可以