研究簡报与报导

柴达木盆地的低頻地震工作

一　低頻地震所解决的問題

1958 年 6 月开始，地球物理研究所和石油部合作，在青海柴达木盆地进行低頻地震的試驗工作，目的是探測基岩和基岩上面主要沉积岩的界面。[1]

探測基岩和在它上面沉积岩的厚度，以及它們相对的起伏变化，可以了解区域构造的形态，进一步推測油藏的分布，并划分含油远景的地区。

柴达木盆地的基岩埋藏很深，根据地質的推測，可以达到十公里以上。一般的地震勘探方法(中頻地震)，仅能探測三、四公里深的地层，很难得到更深的地层界面。另一方面，柴达木盆地的某些地区，存在石炭紀灰岩和古生代变質岩，它們的弹性波速度都很大，对于更深的基岩界面，可能产生屏蔽的作用，因此不能探測到基岩的界面。

为了避免一般中頻地震勘探的困难，我們在柴达木盆地首次进行低頻地震的試驗工作。

根据一年半以来工作的結果，在柴达木盆地的賽什騰拗陷內，探測到深度約为十余公里的基岩，同时可以勘探基岩上面的主要沉积岩界面。

利用一般中頻地震勘探的方法，虽然也能探測較浅的沉积岩界面，但是所需的炸葯量却較低頻的方法多得多。

低頻方法所需的炸葯量較少，一方面是由于低頻的波随接收距离增大而減弱的程度較慢，另一方面也由于低頻范围的干扰背景小，因此能够利用更高的仪器灵敏度。在有些測綫上，距离超过十公里时，中頻需用 100—300 公斤的硝銨炸葯，而低頻仅需数公斤至一二十公斤的炸葯。

虽然低頻方法由于所接收地震波的頻率較低，分辨能力有时不如中頻方法，但是在区域測量工作中，这种分别是不大的。因此建議今后在柴达木盆地中，可以采用低頻方法做为域区域測量的主要方法。

柴达木盆地低頻地震的記录中，所接收到的波很多，其性質很复什。关于低頻地震波性質的研究，尚在繼續进行中。研究波的性質，不仅能对地質构造得出正确的解析，而且可以了解地震波在地下介質传播的过程，为进一步利用地层的参数，提出新的可能性。

二　仪器和工作方法

低頻地震仪器的检波器的諧振頻率为 13 周/秒，放大器的諧振頻率：1—1 档为 19 周/秒，2—2 档为 14 周/秒，3—3 档为 8 周/秒。放大器实际使用的放大倍数約为 2—5 × 10^5 倍。示波仪的捲紙速度为：1—1 档为 15—20cm/sec，2—2 档为 12—15cm/sec，3—3档为 8—12cm/sec。

柴达木盆地的低頻地震工作，因为需要同时勘探深的和浅的地层界面，所以需要較复什的观測系統。最远两个相遇爆炸点，相距約 90 公里，接收距离达 100 公里左右。每道間检波器的距离为 80 米。为了抑制风和其他背景的干扰，采用四个检波器的組合，組合的形式由野外試驗的結果决定。[2]

三　低頻地震波的性質

柴达木地区低頻地震波的类型很多，性質也很复什，主要的有下面三种不同类型：

(1) 迴繞波和多次迴繞波：如果地下介質沒有明显的界面，介質的速度随深度連續地变化时，便会产生迴繞波。它的射綫路程和时距曲綫如图 1 所示。[3=4]

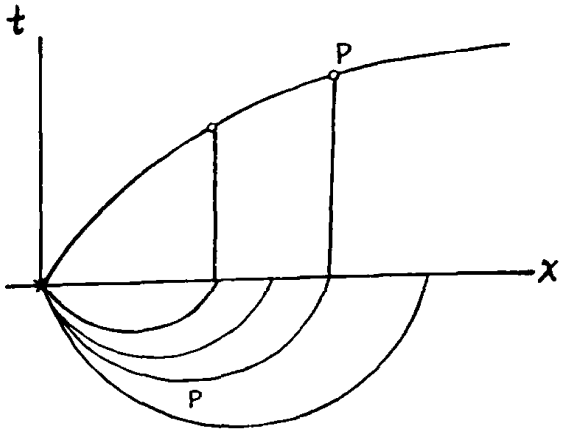


图 1　迴繞波的射綫路程和时距曲綫

时距曲綫上 P 点的視速度，即为相应射綫极小点处介質的速度。

在爆炸点 B 的时距曲綫中，距爆炸点很近处，接收到速度約为 2,200 米/秒的直达波 t_A。距离爆炸点約 2.5 公里至 10 公里的时距曲綫 t_B，呈弯曲形状，視速度連續地增加，无明显置換現象，这是迴繞波的特征。距爆炸点 10 公里处，看到有波形的变化和置換現象，此后的初至波，其时距曲綫 t_D 几为一直綫。t_D 应为不連續界面所产生的首波，如图 2 所示。

根据迴繞波的时距曲綫，可以求出速度随深度变化的情况[5]。根据迴繞波时距曲綫所求得的速度值，

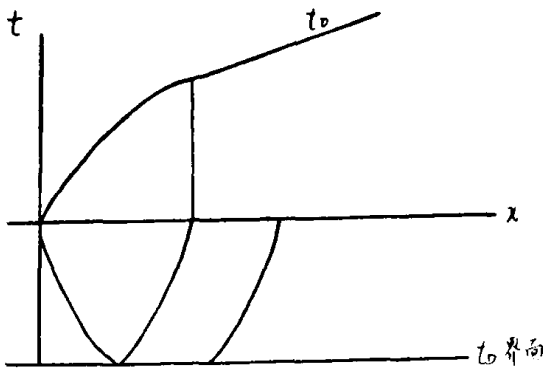


图2 t_D 波的路程

和反射方法所求得的速度值相当符合。

在距离爆炸点 8—20 公里处，看到有能量相当强的續至波 t'_B，它的时距曲綫也是弯曲的。在同一接收椿号上，它的視速度較 t_B 为小。

t'_B 波不可能为眞正的首波。因为速度随深度連續減小的情况很少有，而且縱使利用現在的低頻仪器，也无法透过这样厚的速度递轉层。[6-7] 經过分析，t'_B 应为二次迴繞波，[5]它的射綫路程为图 3 所示。

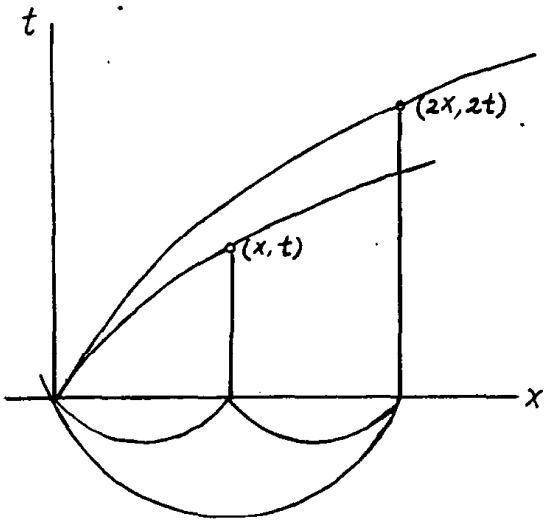


图3 二次迴繞波的路程

如果介質速度的水平变化可以忽略，根据几何的关系，在距爆炸点 $2x$ 处，二次迴繞波到达的时間，应为距爆炸点 x 处一次迴繞波到达时間的二倍。二次迴繞波在 $2x$ 处的視速度与一次迴繞波在 x 处的視速度相同。更多次的迴繞波，亦如此类推。

根据一次迴繞波时距曲綫所計得的二次和三次迴繞波的时距曲綫，它們和实际所得的数据相当符合。在曲綫末端，計算时距曲綫和实际时距曲綫的差异，可能由于介質速度水平变化的影响，也可能由于 t'_B 时距曲綫的末端，已为其他多次波所置換。

（2）基岩首波和沉积岩首波：距爆炸点約 10—30 公里，t_D 为初至波，視速度約为 5,000 米/秒；30 公里以后，t_E 波置換了 t_D 波，而成为初至；t_E 波的視速度約为 5,500—6,000 米/秒。距爆炸点約 50 公里以后，t_E 波能量衰減，不能継續追踪，此后 t_1 为初至波，t_1 波的視速度約为 6,000—7,500 米/秒。

在 t_1 波的后面有明显的 t_3 波存在，它的視速度与 t_1 波相似。在距离爆炸点約 60 公里以后，t_3 波比 t_1 波的能量强得多。t_1 波在距爆炸点約七、八十公里以后，便很难追踪，而 t_3 波在距爆炸点 90—100 公里时，能量仍然很强。

在两个相遇爆炸点的記录中，t_E 波的視速度都比 t_D 波大，t_1 波的視速度又都比 t_E 波大；而且速度較大的波，置換了速度較小的波，而成为初至。这說明它們是不同深度界面所产生的首波，而不是多次波。因为 t_D、t_E 波的接收距离和波的到达时間都較小，所以不会与反射波相混淆。

t_1 波因为在爆炸点 A 可以看到它的始点，說明它也不是反射波。

根据地質的資料以及波的性質，可以判别 t_D 和 t_E 应为沉积岩界面的首波，t_1 波因为它的界面速度很大，应当是深层变質岩的界面。

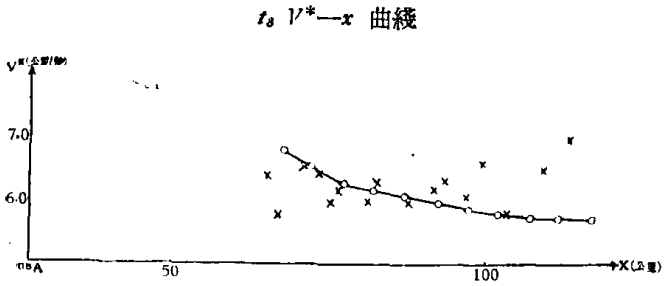
t_3 波的性質与以上所述的 t_D、t_E、t_1 波的性質大不相同。在距离爆炸点很远时，它的能量比前面的波都强，这說明它的衰減比前面的波慢。t_3 波的振幅常有突然的变化，很难按照同一相位連續对比。t_3 波的視速度很大，約为 6,000—7,500 米/秒。

t_3 波不可能为反射波，首先可以自 t_3 波和反射波的視速度規律来判别。图 4 中自計算所得的反射波視速度(V^*)，在距爆炸点很近时，V^* 值很大；距离增大，V^* 值減小。当距离大于反射面深度 4 倍时，V^* 值几乎与复盖层介質的平均速度相等。t_3 波的 V^* 約为 6,200 米/秒上下，并无随距离的增加而減小的趋势。它和反射波視速度的变化規律不同。如果把 t_3 当为反射波来解析，它和地質的資料相差亦較大。

根据 t_3 波的波形特点以及时距曲綫的性質，可以証明 t_3 波也不是多次波。

按照上面的推論，t_3 不是反射波，也不是多次波，而是一次首波。根据 t_3 的特点，可以說明它是基岩所产生的首波，下面討論它的基岩波的特征：

(i) 可以設想，基岩的界面曾經受到剧烈的变質作用，褶皺頻繁，如图 5 所示。由于基岩的这个特征，相应地，基岩波的波和形能量也应有不規則的变



× t_3 的視速度　　○ 反射波的視速度

图 4　視速度随距离的变化

化，置換現象經常产生，不能按照同一相位連續对比。[8] 記录图中 t_3 的情况就是这样，这是判断基岩波有力根据之一。

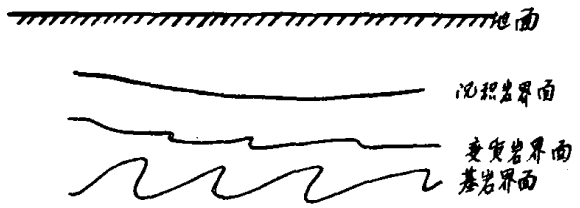


图 5　基岩和沉积岩的假想界面

(ii) 与上述的特征有連带关系的是基岩波的振幅有突然的变化。自振幅曲綫 $A \sim x$ 图可以看出，沉积岩首波的振幅曲綫較有規律，振幅随距离的衰減較慢；相反地，t_3 的振幅曲綫时常有剧烈的变化，但是它随距离的衰減，却比較緩慢得多。

因为基岩面以下的地层相当厚，岩性也比較均匀，近似于弹性介质，它对弹性波能量的吸收較小，因此振幅衰減緩慢也是基岩波特征之一。

(iii) 波的界面速度很大，約为 6,700 米/秒；这是岩石經过剧烈变质的特征。t_1 波的速度虽然也很大，但是因为它的波形和能量随距离的变化都較規則，振幅的衰減也較 t_3 波为快，所以它不是基岩波，而是基岩上面变质岩界面的首波。

(3) 某些折射多次波距爆炸点 B 大約 12 公里以后，看到有 t_E 波。开始时 t_E 为續至波，距爆炸点約 30 公里以后，t_E 成为初至波。在 t_E 波后面約 1.1 秒，看到另一波 t'_E，在 t'_E 后面約 1.1 秒，还有另一波 t''_E.

t'_E 和 t''_E 波的波形很相似。图 6 为在接收椿号 ПК94680 处所得 t_E、t'_E、t''_E 的波形图，它們的形状和周期都十分相似。

t'_E、t''_E 和 t_E 波間相位的关系，在很多記录中，因受其他波的干扰，較难分辨；但是在图 6 中，根据最大振幅以及相同周期的相位，可以看出 t'_E 的相位和 t_E 的相位相反，t''_E 的相位又和 t'_E 的相位相反。图 6 中

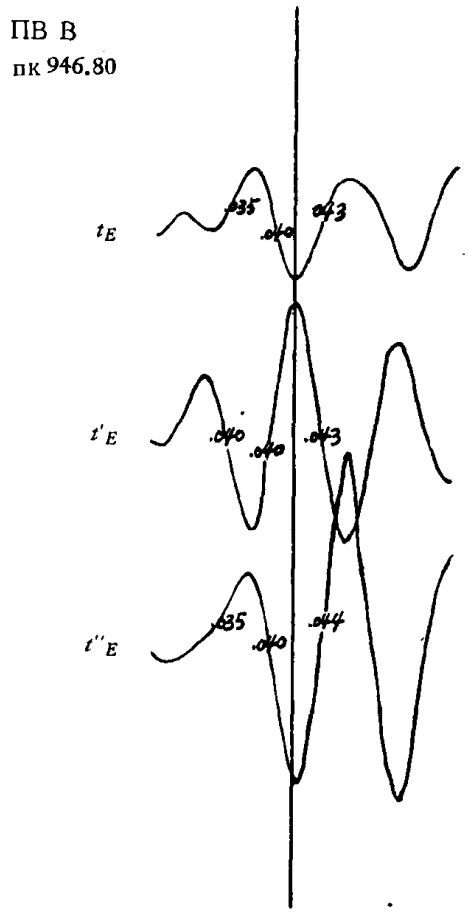


图 6　t_E、t'_E、t''_E 波的波形

的数字为半周期值。

t''_E、t'_E 的时距曲綫，在沒有干涉的地带中，和 t_E 的时距曲綫互相平行。除了在个别道上，因受干涉

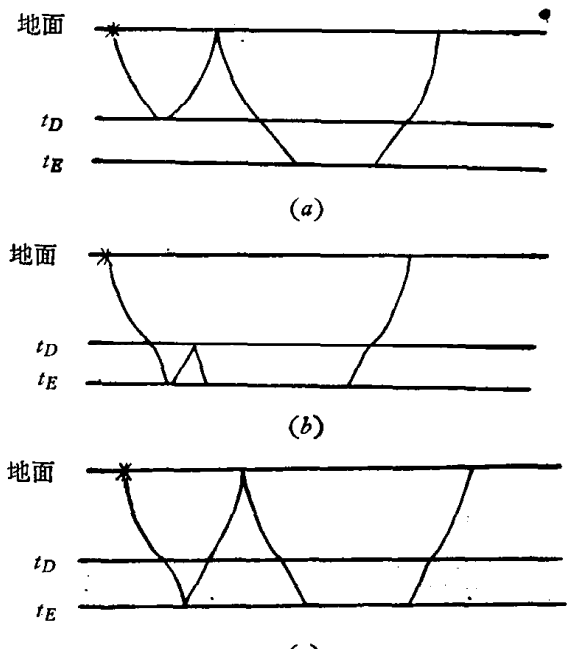


图 7　t'_E 波的可能路程

外，时間相差一般不超过 0.01 秒。

根据波形的相似性，以及时距曲綫的平行性，可以判断 t'_E、t''_E 波都是从 t_E 界面出射到地面来的多次波，它的路程可能有图 7 中所示的三种情况。

图 7 a 中的折射多次波，它和 t_E 首波的时差：

根据計算，約为 1.1—1.4 秒，这个数值和观测的数值十分接近。

图 7 b 的多次波，它和 t'_E 首波的时差約为 0.6 秒。

由此可以判断 t'_E 波的路程应如图 7a 所示，t''_E 波的路程应为在 t_D 界面上产生二次反射后，再由 t_E 界面折射到地面上来。

曾融生　關荣举　何傳大
（中国科学院地球物理研究所）

[1] 曾融生、關荣举、何传大：柴达木盆地低頻地震的工作方法；地球物理学报，第 9 卷第 2 期(1960 年)。
[2] Вейцман, П. С.: О подборе расстояний между сейсмографами при группировании с целью уменьшения фона помех, изв. АН СССР, сер. геофиз, 1952, № 6, стр. 48—54.
[3] Г. А. Гамбурцев: Основы сейсморазведки, Гостоптехиздат, Москва, 1959.
[4] Nettleton, L. L.: Geophysical Prospecting for Oil, McGraw-Hill Book Co., 1940.
[5] Зверев, С. М., 何传大, 關荣举：柴达木盆地迴綫波的究研(尚未发表)。
[6] Г. А. Гамбурцев: Области кинематической возможости существованвя преломленных волн при инверсии пластовых скоротей, изв. АН СССР, сер. геофиз 1951, № 6, стр. 1—4.
[7] Берзон, И. С. и Епинатьева, А. М.: О сейсмическим экранировании, изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1950, № 6, стр. 473—500.
[8] Васильлев, Ю. И., Ковалев, О. И., Пархменко, И. С.: Об исследовании кристаллического фундамента методом преломленных волн в условиях неполного экранирования, изв. АН СССР, сер. геофиз., 1958, № 3, стр. 317 (1), 1957, № 5, стр. 569 (2).

硬質耐火粘土中变水高岭石的发現

变水高岭石一般产于古风化壳，或为人造矿物，其产于硬质耐火粘土沉积矿床中（并且局部含量可达 50%以上），不仅在我国系第一次发現，就在国外也是很少有的。

現在将在硬质耐火粘土中所发現的变水高岭石簡述如下：

（1）显微鏡观察——变水高岭石呈他形粒状及半自形鱗片状，粒径可以到 0.3 毫米。突起稍低于伴生的高岭石，折光率 1.556 ±，重折率低到均质性。（一）光性，2V 很小(0—10°左右)。劈紋不显，表面光滑无色，但常显很清楚的破碎不規則状的裂紋（見显微鏡照相，图 3）。

（2）化学分析——原矿未經分选的化学分析結果見表一，从其化学分析結果看来，含高岭石类矿物将达 95% 以上，而其他矿物很少。

（表一）

矿石 \ 化学成分	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	灼減	耐火度	相当矿物成分
大青山粗晶粘土岩	38.10	47.15	0.60	0.31	0.02	0.03	0.24	0.02	14.15	1730℃	高岭石类
开平粗晶粘土岩	38.58	45.15	0.87	1.12	0.085	0.01	0.03	0.5	14.5	1760℃	高岭石类

（3）差热分析——在差热分析曲綫上 600℃ 左右有两个吸热谷(图 1 中 1.1 和 1.3)，而用标准高岭石作差热分析，其曲綫仅为一谷，后来又由中国科学院金属研究所代为驗証，其結果也产生两个吸热谷（如图 1 中 2.1)。但值得注意的是，图 1 中 1.1 和 1.3 的差热曲綫都是第一谷小于第二谷；而图 1 中 2.1 的差热曲綫是第一谷大于第二谷。显然可以肯定这是两种矿物的混合体，或可叫做复矿粘土岩。不过这两种矿物极相似，除高岭石外，还有含量相当多的变水高岭石。因前后实驗矿物的含量不同，致二谷有大有小（这也可說明其含量很不均匀）。在 1,000℃ 附近的放热峯均不如純高岭石的狹而銳[1]，这是由于高岭石与变水高岭石二者放热峯相差 20—30℃的緣故。从图 1 中 2.1 看来，其中变水高岭石含量較多，其放热峯的