

地震转换波法在研究辽宁深部构造中的应用

李爱民

(辽宁省地震局, 辽宁 沈阳 110031)

摘要: 地震转换波法是探测地壳与上地幔构造的方法之一. 在辽宁选取两条近垂直的测线, 收集了有关台站资料并用转换波法进行了解释, 获得了一些有意义的深部数据.

关键词: 地震转换波; 辽宁; 深部构造

中图分类号: P315.3⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2003)02-0149-06

0 前言

近年来在利用天然地震转换波法研究地壳与上地幔结构, 探测深部的发震构造背景方面开展了很多工作, 它对探索和掌握地震发生与孕育的规律具有很重要的意义. 地震转换波法可以根据多个地震台站的资料, 在某些介质速度参数已知情况下, 对深部介质进行分层, 给出层面的形状, 研究断层的位置及其分布.

本文选取了辽宁地区赤峰—营口、铁岭—营口两条近垂直的测线, 收集了附近 8 个台站的资料, 对所收集的资料用转换波法进行了处理, 与人工地震测深结果进行比较, 获得了有意义的深部数据.

1 地震转换波法的基本原理

当某一种波入射到界面上, 除了产生同类型的透射波与反射波外, 还会发生波型转换, 产生不同类型的透射波与反射波. 如 P 波入射后会产生 PP_反、PP_透、PS_反、PS_透 四种波; 当 S 波入射到界面上时, 也同样产生 SS_反、SS_透、SP_透、SP_反 四种波(图 1(a)). 这种产生的不同类型的波统称为地震转换波.

若地壳是由均匀层状介质组成, 上层纵波速度为 V_p , 横波速度 V_s , 层厚度为 h , 下层纵波速度为 V_p' . 当远震 P 波从下层入射到界面上所激起的 PP 透射波与 PS 透射转换波一起传到地面(图 1(b)), 在地面 E 点用三分向地震仪可记录到 PP 透射波与 PS 透射转换波. 在两个水平分量上 PS 波较明显, 显然 PS 波滞后于初至 P 波. 由图 1(b)可知, 其到时差为

$$\Delta t_{ps} = t_{ps} - t_p = \frac{BD}{V_p} + \frac{BE}{V_s} - \frac{AE}{V_p} \quad (1)$$

经变换可得

$$\Delta t_{ps} = \frac{h}{V_p} \left[\sqrt{k^2 - (cV_p)^2} - \sqrt{1 - (cV_p)^2} \right] \quad (2)$$

其中 c 是初至 P 波视速度的倒数; $k = V_p/V_s$ 为波速比. 当震中距 $\Delta > 30^\circ$ 时, 可求得近似公式

$$\Delta t_{ps} = h(k - 1)/V_p \quad (3)$$

可见, 当震中距很大时, 其 Δt_{ps} 与震中距关系不大, 即不同距离地震所得到的同一转换界面 PS 波的到时差 Δt_{ps} 值差别不大, 这是转换波的一个特点.

对于地壳与上地幔的分界面, 其到时差范围从零点几秒到十几秒. 由于测定界面深度利用的是相对时间, 故不需要精确的发震时刻. 此外, 震中距对时差的影响很小, 工作起来很方便.

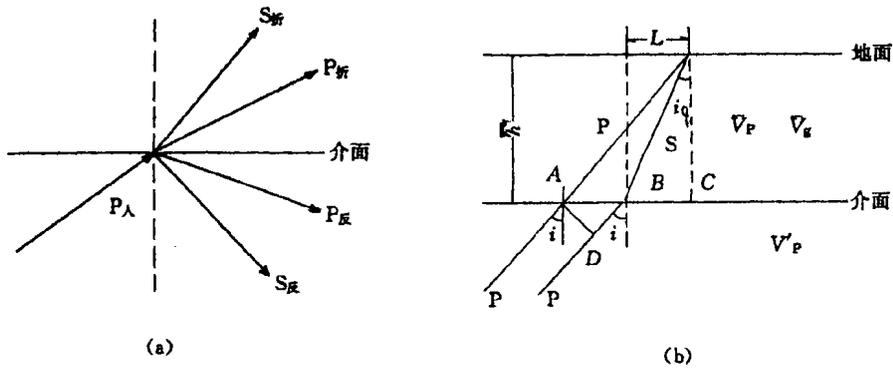


图 1 转换波原理图

Fig. 1 Principle of seismic converted wave.

对 PS 波动力学特征进行的计算结果表明, 其水平分量振幅与初至 P 波垂直分量振幅之比值约为 0.1 ~ 0.7 左右. 薄层界面所产生的 PS 波强度通常比厚层界面产生的强度要大. 选择适当的记录, 在水平分量分出 PS 震相, 测量相对于初至 P 波的到时差 Δt_{ps} ; 根据该区相应的速度值, 利用上述公式就可计算出转换界面的埋深; 连接测线相邻测点的同一界面, 可得出深度剖面图.

2 资料的选取与解释

2.1 资料选取

利用天然地震转换波法开展深部探测工作, 必须选取符合转换波法所要求的远震记录. 为此选取了赤峰、朝阳、锦州、营口、铁岭、沈阳、辽阳、鞍山等 8 个台站, 基本上构成两条测线, 即赤峰—营口测线和铁岭—营口测线, 其中赤峰—营口测线穿越郯庐断裂带, 东端到海城震区(图 2).

在 8 个台站共选取了 53 个远震记录, 要求选取 P 波初动尖锐、振幅大、衰减快的远震记录(图 3), 另外还要考虑初至 P 波到达以后的十几秒内没有别的强 P 波震相. 满足上述 P 波激发条件的各界面 PS 波转换震相比较尖锐、清晰.

2.2 PS 波震相的识别

根据波的动力学特征和运动学特征, PS 波震相的识别主要有以下几个方面:

(1) PS 波总是滞后于原生的初至 P 波, 在地壳与上地幔界面的 PS 波滞后的时间约在十几秒之内.

(2) 不同远震在同一界面上所激发的 PS 转换波, 到时差 Δt_{ps} 也比较稳定, 通常不超过 0.2 ~ 0.3 秒.

(3) PS 波在水平分量上较容易分辨, 平原地区 P 波的初射角可达 70° 以上, 浅层 PS 波也有可能出现在水平分量上的初至区.

(4) 对于均匀层状介质, PS 波是 SV 型振动, 其位移向量在 P 波的入射界面内, 振动方向垂直 P 波入射方向; 当界面倾角较大或存在非均匀的各向异性介质时, 除了 SV 型振动外, 还出现垂直于入射面的 SH 型振动. 因此 PS 波通常具有椭圆偏震的特性.

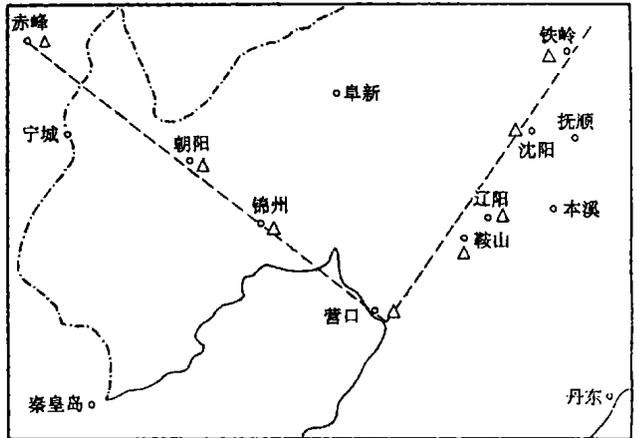


图 2 赤峰—营口、铁岭—营口测线和台站位置图

Fig. 2 Location of observing lines of Chifeng—Yingkou and Tieling—Yingkou, as well as seismic stations.

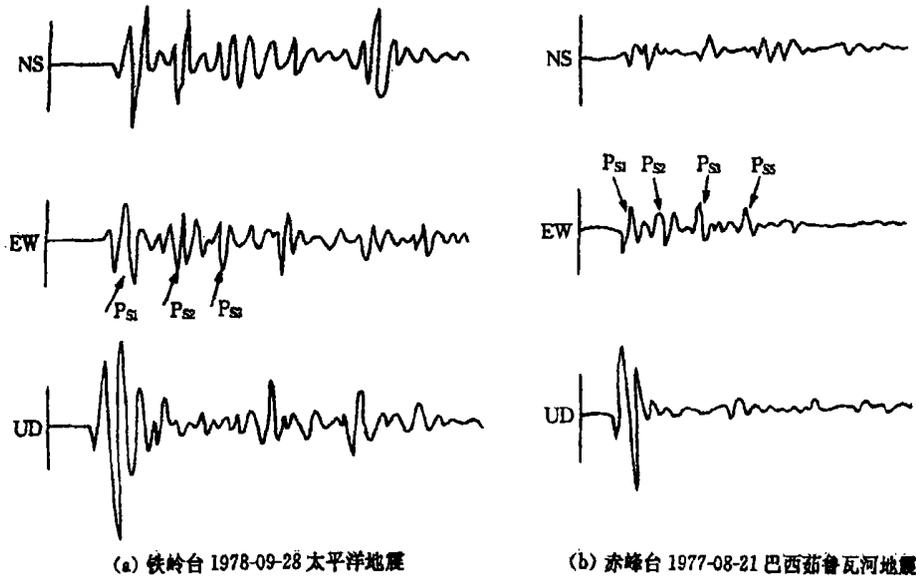


图3 典型转换波震相

Fig. 3 Typical example phases of seismic converted wave.

(5) PS波与P波具有相似的波形, PS波水平分量幅度通常是初至P波垂直分量的0.1~0.8倍。

(6) 各界面PS波的水平分量相位与同分量初至P波相位一致,但在低速层(薄层)所产生的PS波与P波相位符号相反。

根据这六条特点,在地震记录图上就可分辨出PS震相。

2.3 测定 Δt_{ps} 值的方法

- (1) 在P波和PS波初至较清楚的情况下,可直接量取两震相初动方向上的相对时差作为 Δt_{ps} 的值;
- (2) 在P波和PS波初至不清楚的情况下,选取最强的同名相位作为量取的 Δt_{ps} 的基准点;
- (3) 在P波和PS波初至清楚但没有很明显强相位的情况下,取PS波的包络的中点作为PS波的转换点,然后量取 Δt_{ps} 值。

根据各界面PS波到时差具有一定稳定性的特点,对两条剖面的每个测点做出了 Δt_{ps} 的频数曲线(图4),去掉偶然的干扰,求得各界面的平均时差。

2.4 PS波特征

在辽南地区可分辨出三组较稳定的PS波,其到时大致为 $\Delta t_{psG} = 1.7 \sim 2.3$ 秒; $\Delta t_{psC} = 2.5 \sim 3.0$ 秒; $\Delta t_{psM} = 4.7 \sim 5.5$ 秒。对比图4可以看出,莫霍面的PS转换波频数在赤峰地区最高,在海城震区的营口一带最低。PS波与P波振幅比为0.06~0.6,一般情况下为0.1~0.4。PS波的视周期接近P波的视周期,通常为0.8~1.2秒,比值为0.9~1.1之间。

2.5 转换界面深度计算

计算赤峰—营口与铁岭—营口两条剖面的转换界面时,收集了根据辽宁地区天然地震取得的速度资料、辽河地区的钻井速度资料以及华北地区的速度资料,并由此求出该地区的 k 值,从而得出了该地区的速度参数曲线图(图5)。在确定各界面参数 Δt_{ps} 、 V_p 、 k 值之后,可按公式(2)计算各界面深度 h 。

由于辽宁地区天然地震所得速度比华北地区偏高,下辽河石油钻井所得浅层速度比华北地区偏低,在计算两条剖面上各测点的转换界面深度时,速度参数采用了两个地区的平均值。

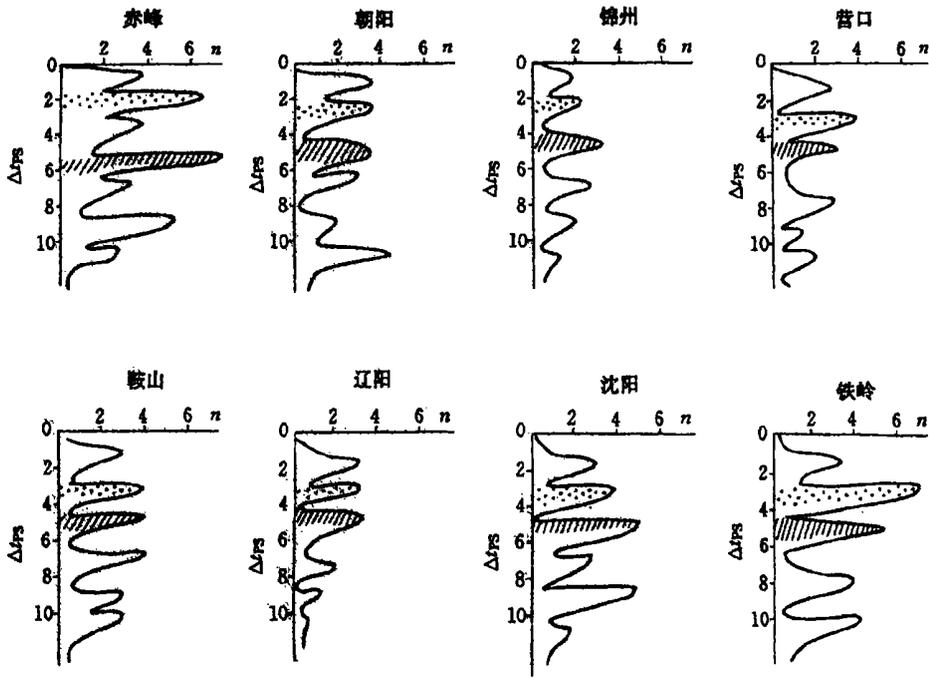


图 4 各测点 PS 转换频数统计曲线
 Fig. 4 Curves of PS change frequency at stations.

3 深部构造解释结果及初步认识

图 6、图 7 为赤峰—营口测线和铁岭—营口测线的转换波测深剖面,可以看出,辽宁地区地壳上地幔具有明显的层状结构:变质岩基底面 B 深度为 5~6 km;花岗岩层上部界面 G 平均深度为 11 km 左右;玄武岩层顶面 C 深度为 19~22 km;地壳底面 M 深度为 32~40 km,平均为 35 km;地壳与上地幔间过渡面 M₁,其平均深度为 50 km 左右;在深度为 63~75 km,还连续出现了上地幔 M₂与 M₃界面。

从赤峰—营口剖面上可以看出,东西部地壳厚度形成了明显的差异。在赤峰地区地壳厚度达 40 km,向东接近朝阳地区很快上升到 35 km 左右,营口地区为 32 km。东西地壳厚度的差值在 7~8 km 左右。海城 7.3 级地震就发生在地壳下降的梯度带上。

北西向的铁岭—营口剖面平行于郯庐断裂带,南北地壳厚度比较平缓,变化幅度在 1~2 km 左右,结构比较简单。

不难看出在 M 面下 50 km 左右有一个转换界面,其变化幅度在 10~12 km 左右,有可能是上地幔顶部的软流层, M 面是这一软流层的顶面, M₁是软流层的底面。

辽南地区是地震活动较强烈的地带,该地区绝大多数中强地震都是发生在玄武岩顶面附近。从赤峰—营口剖面结果可以看出,玄武岩顶面 C 是个极不稳定界面,求出的转换点极少而且发散。

将赤峰—营口、铁岭—营口转换剖面结果与该区重力、天然地震法测深所得结果进行比较,重力法探测所得 M 面深度较浅,二者相差 12 km;而与天然地震法测深所得的 M 面结果基本一致(图 6、7)。这表

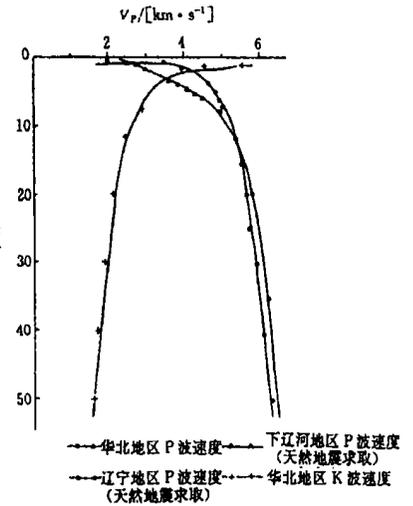


图 5 辽宁与华北地区 P 波速度、k 值曲线图

Fig. 5 Curves of P wave velocity and k values in Liaoning Prov. and northern China.

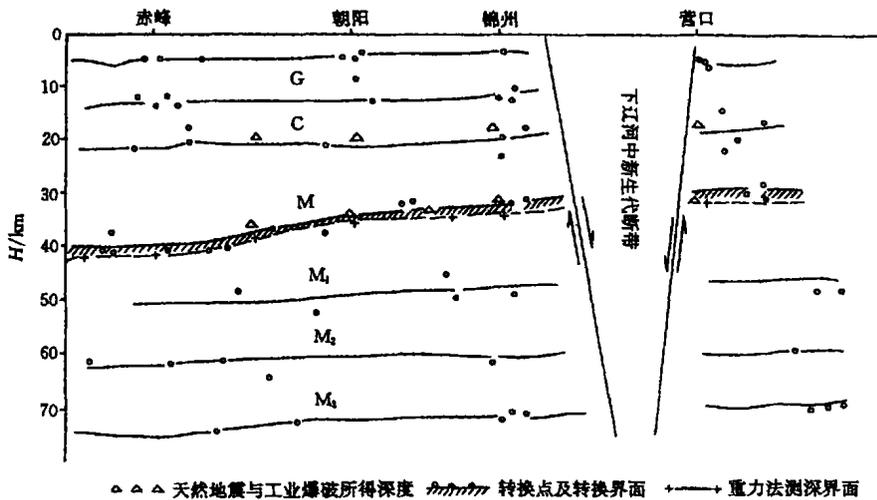


图6 赤峰—营口深部构造剖面图

Fig. 6 Profile of deep structure from Chifeng to Yingkou.

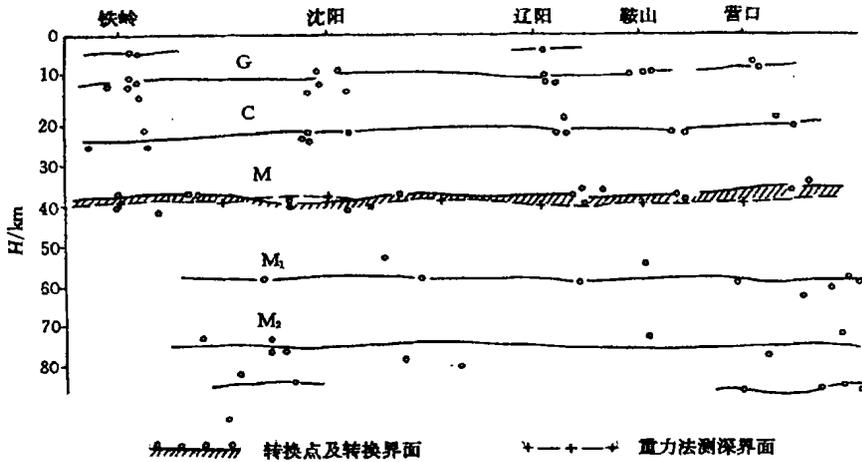


图7 铁岭—营口深部构造剖面图

Fig. 7 Profile of deep structure from Tieling to Yingkou.

明, 反射和折射界面是重力场的密度界面, 同时也是稳定的转换界面. 证明用转换波法探测地壳核上地幔的纵向分层是可行的, 能较详细地研究地壳与上地幔的横向不均匀性, 对局部的断层、断块等构造能进行较详细探测.

4 结束语

深部探测工作, 无论是哪种手段其主要目的就是探测地壳与上地幔结构, 划定未来可能发生大地震的危险区. 而危险区划分的主要依据是地表和深部的地质与地球物理特征以及相应的深部背景. 因此, 在构造复杂的辽南地区, 应用多种手段相结合的方法研究地壳与上地幔结构, 找出地震孕育、发生的力源, 无疑是研究地震成因的一条切实可行的途径.

[参考文献]

- [1] 北京大学地球物理系教研室地震组, 辽宁省地震局地震一队. 辽宁南部地壳结构特征[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1978, (3): 40—52.
- [2] 邵学钟, 张家茹, 陈学华, 等. 京津唐地区地震转换波测深结果[J]. 地震地质, 1980, 2(2): 11—20.

APPLICATION OF SEISMIC CONVERTED WAVE IN EXPLORATING DEEP CRUSTAL STRUCTURE IN LIAONING PROVINCE

LI Ai-min

(*Seismological Bureau of Liaoning, Liaoning Shenyang 110031, China*)

Abstract: Seismic converted wave is one of methods of exploring earth crust and upper mantle. In this paper, two measuring lines nearly vertical each other in Liaoning province are selected, and the data from relative stations are collected and explained with the method of seismic converted wave. So significant information of deep crustal structure is gotten.

Key words: Seismic converted wave; Liaoning; Deep structure