

山东地区某些震相的走时速度特征

林怀存 于秀兰

(山东省地震局)

摘 要

本文分析了在直达波 ($\bar{P}$ 、 $\bar{S}$) 后面的四种震相 (P_{s11} 、 S_{s11} 和 P_T 、 S_T) 的走时速度特征, 并对该震相在 H_s 层的传播及形成条件进行初步探讨。经计算得到它们的平均传播速度, $\bar{V}P_{s11} = 5.697$ 公里/秒, $\bar{V}S_{s11} = 3.330$ 公里/秒, $\bar{V}P_T = 4.57$ 公里/秒, $\bar{V}S_T = 2.802$ 公里/秒。用 P_{s11} 、 S_{s11} 震相得到 H_s 层的平均厚度为 18.5 公里。

一、前 言

众所周知, 在一系列的近震地震波中, 就近震地震波而言, 现在常见的有 P_s 、 P^* 、 $\bar{P}$ 、 P_{11} 及 S_s 、 S^* 、 $\bar{S}$ 、 S_{11} 这几种震相, 这些震相的确定已被地震学界所证实, 并以经典的数学公式及物理模型证明了在一系列的近震地震波中它们确实存在。

我们在处理山东地区近震地震波时, 除了以上所说的几种震相外, 还发现在直达波 ($\bar{P}$ 、 $\bar{S}$) 的后面, 在震中距 (Δ) 160 公里以后有四种比较明显的震相 (图 1), 在地震记录图上可以从振幅和周期上很容易与 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$ 波区别开来。对于这四种特殊的地震震相, 到底是怎样形成及如何传播的地震波。我们从该震相的面目特征上予以讨论。

二、四种震相的基本特征

通过对四种震相的分析处理, 它们有以下几个面目上的基本特征

1 P_{11} 、 S_{11} 震相的基本特征

- I: 该震相的周期及振幅远大于直达波 ($\bar{P}$ 、 $\bar{S}$) 的周期及振幅;
- II: 该震相在震中距 (Δ) 160—400 公里范围内出现的最多;
- III: 该震相的出现与震源深度有很大的关系;
- IV: 同一次地震并不是每个测震台站都能记录到。

2 P_{12} 、 S_{12} 震相的基本特征

- I: 该震相的振幅远小于 P_{11} 、 S_{11} 震相的振幅, 而它的周期则大于直达波 ($\bar{P}$ 、 $\bar{S}$) 的周

期，

Ⅱ：该震相的出现与震中距有关，并与震源深度有一定的关系。

从以上四种震相的几个特征可以大体推断出这四种震相是在震源深度比较浅，通过反射层比较薄的一次反射和多次反射波（图2），可能就是文献（1、2）所提出的花岗岩层和玄武岩层之间的界面地震波。但这种推断并不是很明确的。我们试用 $\bar{P}_n$ 、 $\bar{P}$ 、 $\bar{P}_{11}$ 、及 $\bar{S}_n$ 、 $\bar{S}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 波的走时、速度进行对比，看其走时、速度与该震相的走时、速度能否相比拟，因此，我们又分析处理了以上几种震相，处理的各种震相的详细结果见（表一）。

表（一） 山东地区地壳内地震参数

$\bar{V}_{P_n}$ (公里/秒)	$\bar{V}_P$ (公里/秒)	$\bar{V}_{P_{11}}$ (公里/秒)	$\bar{V}_{S_n}$ (公里/秒)	$\bar{V}_S$ (公里/秒)	$\bar{V}_{S_{11}}$ (公里/秒)	$\bar{H}$ (公里)
7.97 ± 0.04	6.19 ± 0.02	6.34 ± 0.03	4.66 ± 0.04	3.50 ± 0.02	3.72 ± 0.02	35.5

三、四种震相的走时速度

根据以上几个基本特征，我们认为四种震相是在 H_* 层传播的地震波，定义为在 $\bar{P}$ 、 $\bar{S}$ 波后面的震相 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 为一次反射波 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 。并定义 $\bar{P}_{12}$ 、 $\bar{S}_{12}$ 震相为两次反射波 $\bar{P}_T$ 、 $\bar{S}_T$ 。对以上四种震相的走时、速度，可以进行讨论性的证明：

1、 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 震相的走时速度的求取

大家知道对于来自莫霍界面的反射波（ $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ ）的速度求取，通常假定地壳内的介质是均匀的，各向同性的，它的走时方程为：

$$T_{11} = \frac{\sqrt{\Delta^2 + (2H - h)^2}}{V_{11}} \quad (1)$$

式中 T_{11} 为反射波（ $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ ）的走时， Δ 为震中距， H 为地壳厚度， h 为震源深度， V_{11} 为反射波（ $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ ）的平均传播速度。

因为我们把 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 震相看成是来自 H_* 层的一次反射波（图2），所以将（1）式改写成：

$$T_{11} = \frac{\sqrt{\Delta^2 + (2H_* - h)^2}}{V_{11}} \quad (2)$$

式中 T_{11} 为 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 震相的走时， Δ 为震中距， H_* 为某层的厚度， h 为震源深度， V_{11} 为 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 震相的平均传播速度。

经过计算，用14个地震，80余组数据分别得到 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 震相的平均传播速度为： $\bar{V}_{P_{11}} = 5.697$ 公里/秒， $\bar{V}_{S_{11}} = 3.330$ 公里/秒。并且用它们的平均传播速度值计算了走时曲线（图3）。

2、 H_* 层厚度的求取

为了方便起见，我们把（2）式变换成

$$H_* = \frac{1}{2} \sqrt{(V_{11} \cdot T_{11})^2 - \Delta^2} + \frac{1}{2} h \quad (3)$$

式中 V_{11} 分别为 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 震相的平均传播速度， T_{11} 分别为 $\bar{P}_{11}$ 、 $\bar{S}_{11}$ 震相的走时， H_* 为某一层的厚度， Δ 为震中距， h 为震源深度。

用公式（3）对80余组数据进行了计算，得出 H_* 层的平均厚度为18.45公里（表二）。

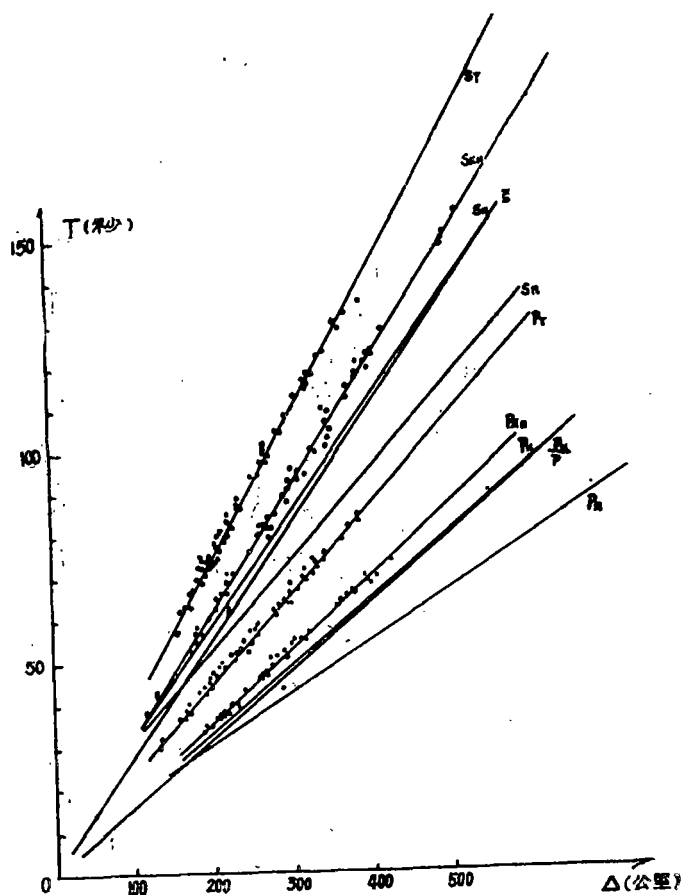


图3 P、S波连续模型走时曲线

表(二) H_1 层内地震参数

$\bar{V}_{P_{211}}$ (公里/秒)	$\bar{V}_{P_T}$ (公里/秒)	$\bar{V}_{S_{211}}$ (公里/秒)	$\bar{V}_{S_T}$ (公里/秒)	$\bar{H}_1$ (公里)
5.697 ± 0.04	4.570 ± 0.06	3.330 ± 0.06	2.802 ± 0.05	18.45 ± 2.80

3、 P_T 、 S_T 震相的速度求取

根据该震相的几个面目上的特征,我们认为它是一个多次反射波(图2)。据斯内尔定律和图2可以把 P_T 、 S_T 震相的走时方程近似地由方程组组成:

$$\text{即: } \Delta = 2H_1 \operatorname{tg} \alpha + h \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{所以 } T_T = \left(\frac{h}{C_0 S \alpha} + \frac{H_1}{C_0 S \alpha} + \frac{H_1}{C_0 S \alpha} \right) / V_T \quad (4)$$

$$\text{其中 } \alpha = \arcsin \frac{\Delta}{2H_1 - h}$$

式中的 T_T 分别为 P_T 、 S_T 震相的走时, h 为震源深度, V_T 分别为 P_T 、 S_T 震相的平均传播速度, H_1 为某一层的厚度。

用(4)式计算得到 P_T 、 S_T 震相的平均传播速度为： $\bar{V}_{P_T}=4.57$ 公里/秒， $\bar{V}_{S_T}=2.802$ 公里/秒。

从走时曲线(图2)可以看出，资料点在震中距160—400公里范围内比较集中，我们认为，在震中距0—160公里范围内由于直达波(P 、 S)有较强的干涉振幅，再加上该震相的振幅在这段距离内较弱，造成波形迭加，所以不易区分。

对于所用的14个地震，震源深度大都在9—19公里以内，它们大都位于花岗岩层之内，这并不是偶然的，例如华北裂谷的冀鲁平原内，地壳以下5公里内无地震，6—9公里地震较少，10—19公里花岗岩层内中小地震较多，约占地震总数的37.5%左右。据文献(1)华北平原中部地区地壳构造综合图(图略)可知，花岗岩层与玄武岩层之间的界面厚度为18—21公里左右。由实际走时曲线及文献(2)的分析资料，进一步证明在山东地区地壳内确实还有一层界面(H_2)。该四种震相就是来自反射层比较薄的一次反射波和多次反射波。

通过计算的走时、速度，除去以上所说的几个特征外，四种震相还具有以下几个特征：

1、 P_{211} 、 S_{211} 及 P_T 、 S_T 震相在160—400公里范围内的资料最多，说明该四种震相在这段距离内出现最明显；

2、1°同一次地震并不是每个测震台站都能记录到的，说明了 H_2 界面不是平行的。它也可能具有局部起伏性；2°该震相并不是所有地震都出现，这可能与发震物理过程有关；

3、在处理14个地震时，震源深度没有大于19公里的地震，进一步证明该震相就是来自 H_2 界面的反射波和多次反射波；

4、由走时曲线可以看出，该震相的走时，与震中距有关；

5、由表(一)和表(二)可以看出，该震相的速度远小于直达波的速度。

四、结 束 语

本文对 P_{211} 、 S_{211} 和 P_T 、 S_T 震相的讨论，只能从它们的走时、速度及它们的面目特征给予说明，对于该震相的详细特征及传播形成的条件，还需要作更多的工作，收集多方面的资料进一步研究。

本文是在魏光兴、卢守安两位同志的指导下完成的，在此表示感谢。

参考文献

- (1) 滕吉文，1975，华北平原中部地区深部构造背景及邢台地震，地球物理学报，18卷，8期
- (2) 高维明，1979，苏鲁皖地裂缝，地震战线，1期