

基于 PpSms、P660S、SKS 震相分裂研究 上海地区地壳、地幔各向异性

王小平, 朱元清, 宋秀青, 于海英

(上海市地震局, 上海 210068)

摘要: 基于上海地震台阵记录的远震利用台阵处理技术研究了 PpSmS、P660S 及 SKS 震相的分裂。根据三震相的分裂参数(快慢波延时时间及快波偏振方向)的差异对上海地震台阵地区地壳、上地幔及下地幔介质的各向异性情况进行了简要分析。

关键词: 上海台阵; 剪切波分裂; 各向异性

中图分类号: P315.3⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2005)01-0052-04

Mantle and Crust Anisotropy under Shanghai Region Inferred from Waveform Splitting of PpSmS, P660S and SKS

WANG Xiao-ping, ZHU Yuan-qing, SONG Xiu-qing, YU Hai-ying

(Earthquake Administration of Shanghai, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the teleseismic events which were recorded by shanghai seismic array and using seismic array process technology, the split of PpSmS, P660S and SKS phases are studied. The split parameters of PpSms, P660S and SKS are calculated, the mantle and crust medium anisotropies under shanghai seismic array region are analyzed briefly according to the difference among PpSmS, P660S and SKS split parameters.

Key words: Shanghai Seismic Array; Shear wave splitting; Anisotropy

0 引言

众所周知,地球的弹性各向异性与地幔的动力学有关。大多数研究人员利用远震波如 SKS 波的波形研究地壳、地幔各向异性。其研究结果反映了整个地壳、地幔的各向异性情况。但如何分辨出地壳、上地幔及下地幔不同层的各向异性差异是尚待研究的科学问题。本文利用台阵技术,通过研究 PpSmS、P660S 及 SKS 震相分裂(PpSmS、P660S 及 SKS 射线路径示意图如图 1),进一步研究了上海地震台阵下方地壳、地幔各向异性。

1 资料

使用上海台阵 2001 年 6 月以来记录到的地震事件,地震参数参考 IRIS 地震中心的发布结果。利用 FK 扫描^[1],认为 PpSmS 震相一般出现在直达 P

波后的 17 s 左右。SKS 震相在震中距 80°后比较容易看到。为了避免其它震相,如 pP 等震相干扰 P660S 震相,我们选择震源深度大于 300 km,震中距在 60°~90°之间的 8 个地震,目录见表 1(台阵中心经纬度为:121.2°E,31.1°N)。

2 资料处理及分裂震相识别方法

2.1 台阵技术识别并增强震相的 FK 方法

为了分析地壳、上地幔的各向异性情况,首先必须识别出 PpSms、P660S 震相。但是由于这些震相很微弱,如何识别并增强这些微弱震相成为分析地壳、上地幔各向异性的重要环节。

FK 方法主要是在频率域进行的,通过在 0°~360°方位角范围内,视慢度在自己所选择范围内,计算其频率一波数谱,能量最大处所对应的视慢度及

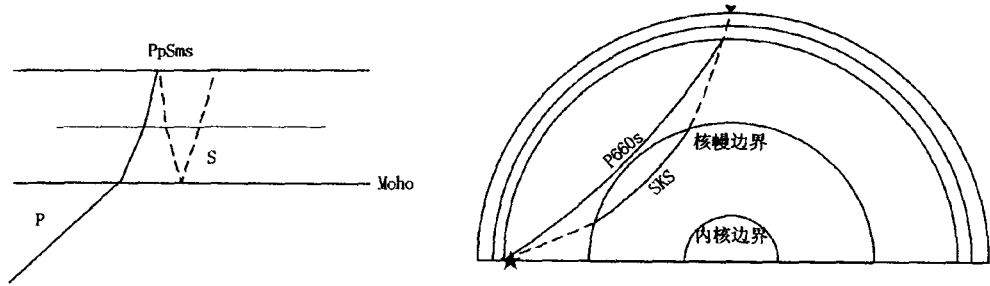


图 1 PpSmS、P660S 及 SKS 射线路径示意图
Fig. 1 Sketch of the ray paths of the phase PpSmS, P660S and SKS.

表 1 地震事件的基本参数

编号	日期	时间	纬度/°	经度/°	深度/km	震级/M	后方位角/°	震中距/km
1	2002-08-19	19:01:01	-21.7	-179.51	580	7.7	124.98	77.38
2	2002-10-05	03:05:48.8	-20.99	179.02	621	6.3	124	77
3	2002-10-17	12:23:56	-19.84	-178.4	627	6.2	122.84	76.97
4	2002-10-22	19:39:04	-20.63	-178.39	549	6.2	123	77
5	2003-03-14	20:54:12	-17.42	-175.18	274	6.4	118.96	77.8
6	2003-05-22	02:44:20	36.96	3.63	12	6.8	314.6	91.6
7	2003-08-21	20:12:50	-45.22	167.14	28	6.6	149	86.68
8	2003-12-23	03:15:56	35.706	-121.102	7.6	6.5	46	91.5

方位角为该震相的视慢度及方位角:

$$f(x,y,t)=\iiint_{-\infty}^{\infty}f(k_x,k_y,\omega)\exp(+ik_x+ik_y-ia\omega)\times\frac{d\omega dk_x dk_y}{8\pi^3}\tag{1}$$

其中 $f(k_x,k_y,\omega)$ 是频率—波数谱。xy 平面上以视速度 c 沿方位角 ω 传播的平面波振幅和相位。

FK 扫描技术进行震相识别的原理是:选择窗口宽度为 5 s,每次平移 1 s,计算 FK,求出 Slowness、Azimuth;最后根据 slowness、Azimuth 大小及一致性,判断该震相是否为地震震相;若为地震震相,判断为何种类型震相。

在判断出某一地震震相后,如 PpSms 震相大约在直达波 17 s 后左右,根据所求出的 Slowness、Azimuth 进行简单延时相加,得到 Beam 波形,从而达到增强地震波形的功能(每个分量分别进行各自的 beam,以便后面旋转)。图 2 给出了利用 FK 技术经过 Beam 的延时叠加后的 PpSmS 地震波形图。

2.2 分裂参数的计算

对于 PpSmS、P660S 震相的分裂参数,采用普通的旋转相关法来确定。

对于 SKS 分裂参数(快剪切波的偏振方向及快慢剪切波的延迟时间),我们采用 Silver(2003)最新方法,方法原理见图 3。到达台站下方时的 SKS 波是陡直出射的,如果从核幔边界到地表出射点路径上介质为各向同性,对球对称的地球而言,三分量地

震仪只能记录到径向分量,而切向分量为零。如果切向分量明显,水平分量的轨迹为椭圆,说明 S 波发生了分裂,射线路径上某些部位的介质可能是各向异性的。

首先将水平分量旋转成切向(T)、径向(R)分量:

$$\begin{aligned}R(t)&=\cos^2\Psi\cdot\cos\omega t+\sin^2\Psi\cdot\cos(\omega t-\omega\delta t)\\T(t)&=-0.5\cdot\sin2\Psi\cdot(\cos\omega t-\cos(\omega t-\omega\delta t))\end{aligned}\tag{2}$$

对于 SKS 长周期震相,假设 $\omega\delta t\ll1$ 时,可以写成: $R(t)=\cos\omega t$; $T(t)=0.5\omega\delta t\cdot\sin2\Psi\cdot\sin\omega t$,即 $T(t)=-0.5\cdot\delta t\cdot\sin2\Psi\cdot R'(t)$

经过分裂参数的扫描($\Psi:0^\circ\sim180^\circ$; $\delta t:0\sim4$ s; $\Delta\Psi=5^\circ$; $\Delta\delta=0.1$ s),通过理论的和观测的切向分量的最小平方差最小化得到最佳的分裂参数。

以 2003 年 08 月 21 日 02:44:20 发生在新西兰地震为例,经过编程分析给出图 4 SKS 分裂参数的结果。从图 4 中可以看出,图 4(d)中质点运动轨迹呈椭圆形,有明显的偏振现象。图 4(e)是利用 R、T 分量经过网格搜索方法求出的最佳分裂参数。图 4(c)是经过校正后的图形,可以看出上边图形中 T 分量基本水平。从图 4(f)最右下角图形中看出经过校正后的质点运动基本呈直线运动。

通过分析上面表 1 中地震, PpSms、P660S、SKS 震相对应的分裂参数计算结果如表 2。

2.3 地壳、地幔各向异性情况的分析

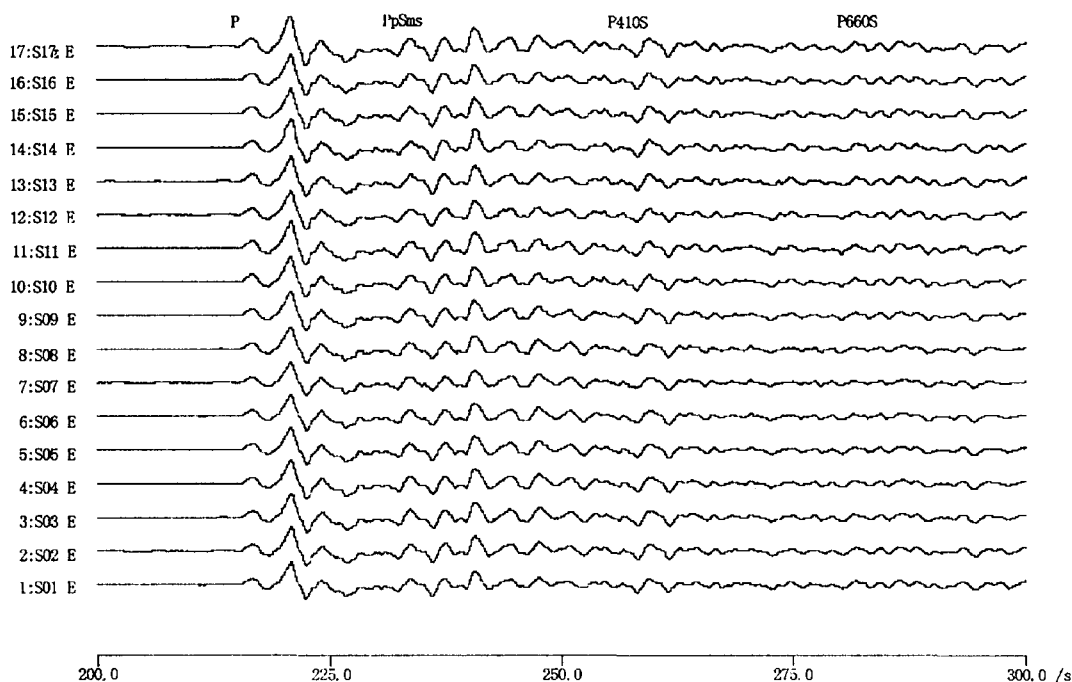


图 2 利用 Fk 技术经过 Beam 延时叠加后的 PpSmS 地震波形图
Fig. 2 PpSmS seismic waveform after FK and Beam delay and sum methods.

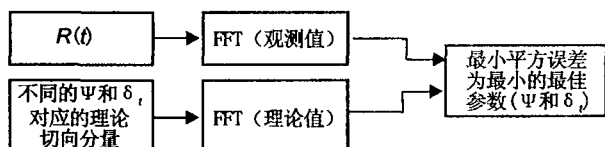


图 3 利用剪切波分裂及算各相异性参数的原理
Fig. 3 The principle of using splitting wave to study anisotropy parameters.

表 2 地震事件的 PpSmS、P660S 及 SKS 分裂参数

地震 编号	PpSmS 波		P660S 波		SKS 波	
	快波偏 振方向	延时/ 时间/s	快波偏 振方向	延时/ 时间/s	快波偏 振方向	延时/ 时间/s
1	69°	0.5	64°	0.5	72°	1.5
2	58°	0.6	70°	0.6	63°	1.3
3	87°	0.5	70°	0.5	82°	0.8
4	65°	0.6	68°	0.4	62°	0.9
5	60°	0.4	61°	0.6	58°	1.4
6					70°	1.1
7					57°	1.7
8					60°	0.8
平均值	67.7°	0.52	66.6°	0.51	65.5°	1.09

PpSmS 分裂情况反映地壳的各向异性情况; P660S 震相反映地壳及上地幔的各向异性情况, 两者差异反映上地幔的各向异性差异; SKS 反映地壳、地幔的各向异性情况。因此 SKS 及 P660S 各向异性差异反映了下地幔的各向异性情况, 从而可以得出地壳、上地幔、下地幔的各向异性情况^[3]。

由于 PpSmS、P660S、SKS 快波偏振方向基本一致, 并且 SKS 波形简单, 因此这里使用单层各向异性模型。地壳各向异性程度应该为 PpSmS 快慢波延时差的一半^[2], 即 0.26 s。计算结果表明: 地壳各向异性分裂参数大致为: 67.7°及 0.26 s; 上地幔各向异性分裂参数为 66.6°及 0.25 s; 下地幔的各向异性分裂参数为 65.5°及 0.58 s。

3 讨论

刘希强研究员在 1999 年博士论文研究过程中得出上海佘山台站下方 SKS 快波偏振方向为 55.9°, 分裂延时为 1.02 s^[5]。本文通过 SKS 分裂得出的地壳、地幔各向异性情况与刘希强所分析佘山地区的各向异性结果基本一致。

现在利用转换波进行剪切波分裂来研究剪切波分裂随深度分布的情况正成为有前途的技术手段。本文主要是利用台阵资料通过台阵技术增强了震相的识别, 尤其是 PpSmS 及 P660S 震相的识别, 提高了不同震相分裂参数准确性。

由于通过对比 PpSmS、P660S、SKS 震相的剪切波分裂参数来分析地壳、上地幔及下地幔的各向异性, 仅仅是粗略的结果, 即各向异性程度是反映整个地壳、整个上地幔或整个下地幔各向异性^[4], 没有

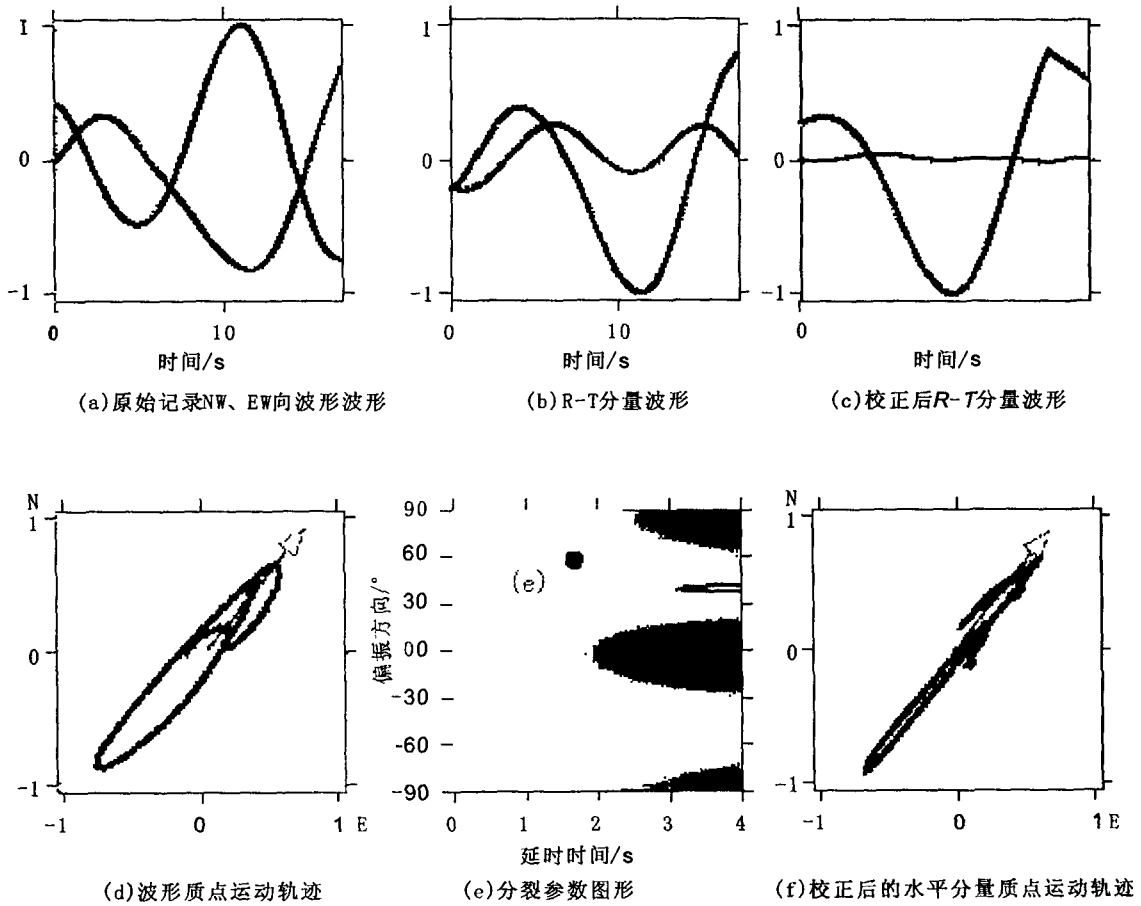


图 4 2003 年 8 月 21 日新西兰地震 SKS 震相各向异性参数的计算结果

Fig. 4 Calculation for SKS phase anisotropy parameters of 2003-08-21 seismic event.

得出这些各向异性现象具体是由哪一深度范围内引起的,必须借助于其他地震学方法进一步研究。

[参考文献]

- [1] Sebastian Rost. The upper mantle transition zone discontinuities in the Pacific as determined by short-period array data [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2002, **204**: 347 - 361.
- [2] Takashi Lidaka, Fenglin Niu. Mantle and crust anisotropy in the eastern China region inferred from waveform splitting of

- SKS and PpSms[J]. Earth Planets Space, 2001, **53**: 159 - 168.
- [3] Takashi Lidaka. Evidence for an anisotropic lower mantle beneath eastern Asia; Comparison of shear-wave splitting data of SKS and P660S[J]. Geophysical Research Letters, 1998, **25**: 675 - 678.
- [4] I Kay, S Sol. Shear Wave Splitting Observations in the Archean Craton of Western Superior[J]. Geophysical Research Letters, 1999, **26**: 2 669 - 2 672.
- [5] 刘希强. 利用剪切波分裂研究中国大陆上地幔各向异性[D]. 中国科学技术大学, 1999, 78 - 80.