

中国大陆及其相邻海域瑞利波群 速度分布特征 *

宋仲和 陈国英 安昌强 陈立华

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

庄 真 傅竹武 吕梓龄 胡家富

(中国昆明 650041 云南大学地球物理系)

摘 要

用 27 个 763 和 3 个 WWSSN 长周期地震仪记录的中国大陆及邻域 75 个地震的资料,经适配滤波频时分析技术处理及分格频散反演,得到 147 格中纯路径瑞利面波频散曲线.群速度分布特征如下:中国大陆及海域存在以南北带为界分为东、西两部,以 $40-44^{\circ}\text{N}$ 、 28°N (西部)和 $28-32^{\circ}\text{N}$ (东部)为界,南北分块以及岛弧西侧及陆架区呈北东向条带状分布的速度格局. $40-44^{\circ}\text{N}$ 和 $28-32^{\circ}\text{N}$ 分界线有向东延伸到海域的迹象.这与大地构造单元的划分十分一致.此外,结果还表明,次级构造单元间也存在群速度结构的差异.不同大地构造单元间瑞利波群速度的差异直到周期 $T=113\text{s}$ (相应深度约 170km)仍有显示.

关键词 适配滤波频时分析;分格频散反演;瑞利波群速度频散;大地构造单元

1. 前 言

迄今为止,尚未见有人给出过比较详细的中国大陆及其相邻海域全面的地壳上地幔三维 S 波速度结构的图象.将研究区分为许多格,各格纯路径频散曲线是一次反演的结果,比起经再次反演得到的 S 波速度结构更能直接地反映各格实际结构的特征.本文将研究区分为 147 格($4^{\circ}\times 4^{\circ}$),研究了同一周期瑞利波群速度分布横向不均匀特征及不同周期反映的不同深度范围内纵向变化以及它们与大地构造单元的关系.此研究成果对构造单元划分、地球内部物质状态、地震活动分布以及地球动力学的研究提供了必要的基础.

近年来有些研究者用面波频散给出了中国大陆粗略的或局部的三维速度结构,如 $10^{\circ}\times 10^{\circ}$ 分格的欧亚大陆的结果(Feng *et al.* 1982);周兵等(1991)报告的青藏高原的结果以及王善恩、徐果明等给出的华北、华南的三维速度结构.在研究方法方面也取得了很大进展,由 70 年代二维分段提取纯路径的方法,提高到三维结构的反演,如球面 Radon 变换方法(徐果明, 1989),面波非网格化层析成象法(周兵等, 1991),面谐函数展开法

*国家自然科学基金资助的课题;国家地震局地球物理研究所论著 93A0004.

1990 年 11 月 27 日收到本文初稿, 1992 年 3 月 19 日决定采用.

(Woodhouse *et al.*, 1984), 网格-频散反演方法 (Zhung *et al.*, 1984). 本文采用网格频散反演法, 其中混合路径频散测量采用适配滤波进行频时分析 (Zhung *et al.*, 1984), 这种方法集中了三种滤波器的优点 (最佳带宽, 均等显示和残差滤波器), 但由于 763 仪器资料精度的限制, 实际上最有效的是均等显示滤波器. 这种滤波器的优点是: 兼顾时间域和频率域的分辨率, 提高了长周期部分时间分辨率, 从而扩大了群速度的测量范围.

本文选用了 27 个 763 长周期地震仪和 3 个 WWSSN 长周期仪器记录的 75 个地震的资料. 经过适配滤波处理, 763 仪器可使用的周期范围为 10–151s, 考虑到混合路径频散勾画的情况, 实际上最可靠的周期范围为 15–113s. 由于网格的划分不受地质等先验条件的限制, 我们根据资料密度和最大周期, 按纬度线和 $\text{tg}^{-1}(1/4)$ 斜线, 将研究区划分为 147 格, 每格为 $4^\circ \times 4^\circ$ (见图 1). 对研究区外路径部分 (占路径总长度 1.6%) 作了合理的补偿. 网格反演中, 参照前人的结果, 对每个周期给定各格群速度初始值, 用随机反演方法确定慢度扰动量, 修正初始值. 计算中取阻尼因子 $\varepsilon_2 = 3$. 所得混合路径频散曲线群速度测量误差约为 0.03 km/s, 网格反演群速度离差一般为 0.1 km/s 左右.

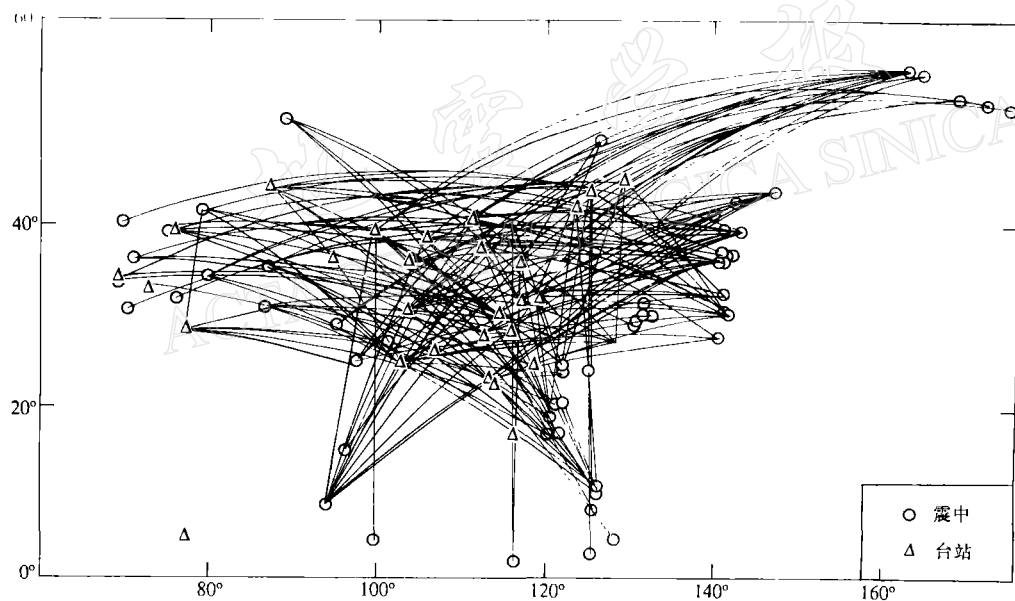


图 1 中国大陆及相邻海域瑞利波传播路径示意图

2. 结 果

图 2 给出了各块体群速度频散曲线特征的概貌. 它表明, 青藏高原和塔里木盆地地壳厚度大, S 波速度低, 上地幔无明显低速层显示. 天山的地壳和上地幔速度比前二者均高, 其上地幔有低速层显示. 华北平原和台湾附近地壳比较薄, 且上地幔群速度在较小周期已出现低速趋势, 说明那里低速层埋深小, 而扬子块体中部则无此趋势. 图 3 给出几个周期的群速度横向分布. 下面将结合大地构造分区略图 (图 4) (黄汲清指导, 1980) 加以分析:

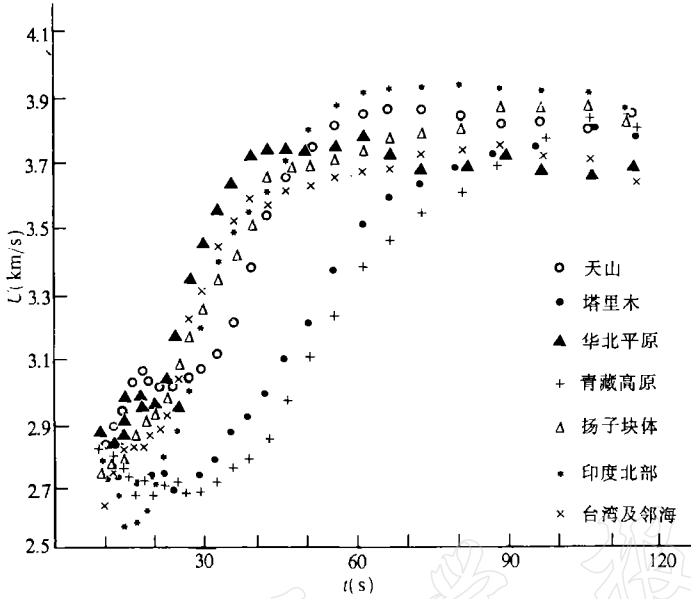


图 2 各地区纯路径频散曲线比较

(1) 统观群速度分布(图 3)发现:北部约在 $40-44^{\circ}\text{N}$ 处存在明显的群速度分界,直到周期为 79s 时,北侧群速度均高于南侧,北侧为中亚-蒙古褶皱区南缘,在中国境内部分为准噶尔、天山、内蒙-大兴安岭和吉黑褶皱系,它们属于西伯利亚块体与中国大陆间的褶皱系.南侧为塔里木块体和中朝块体.这条块体分界线可能位于天山南侧深断裂、阿拉善北侧深断裂和西拉木伦河北侧深断裂,并向东延至符拉迪沃斯托克及北海道南侧.由于分格的限制,上述群速度分界实际上只能大体地反映出块体的分界.塔里木盆地的群速度值有别于青藏高原,塔里木盆地是元古代时期扬子旋迴形成的地台,而西藏高原为印支期以来冈瓦纳古陆逐渐解体分出的微型陆块,于特提斯海关闭过程中依次镶嵌于古中国大陆褶皱形成的,它们属不同的块体.约在 28°N 附近,直到周期为 105s 时南北两侧群速度值都十分不同,这表明作为冈瓦纳古陆主体的印度板块与青藏高原的速度结构有很大的差别,前者在周期为 41s 时已出现上地幔的群速度值,说明那里的地壳厚度相当小,周期 80s 以后群速度略有下降的趋势,表明上地幔可能存在速度较低的层.在 $104-108^{\circ}\text{E}$ 以东的大陆上, $28-32^{\circ}\text{N}$ 附近直到 126s 均存在明显的群速度分界,其北为中朝块体,其南为扬子-华南块体.扬子-华南块体的群速度值均比较高且在 60s 以后群速度值相当稳定,说明这里的上地幔是比较稳定的地区,而中朝地台上,下地壳和上地幔上部(小于 60s)存在与前者相近的较高速的层位,但大于 60s 周期的群速度值变小,可能该区在相应的深度上已出现低速层. 20°N 以南的群速度值比大陆的小,地处南海海盆,是欧亚大陆边缘海过渡带.东部群速度分布线沿岛弧走向展布,小于 80s 时,岛弧以外菲律宾海的群速度高于东海陆架,80s 时原岛弧外侧的群速度分布线消失,速度分界线移到岛弧内侧的冲绳海槽与东海陆架之间的地表位置上.这说明菲律宾海板块以一定的角度向岛弧下插.这条速度分界线是欧亚板块的中国边缘海与西太平洋-菲律宾海的结合部位.

以上结果表明:群速度的分布轮廓与板块和一级大地构造单元的划分有密切关系,至

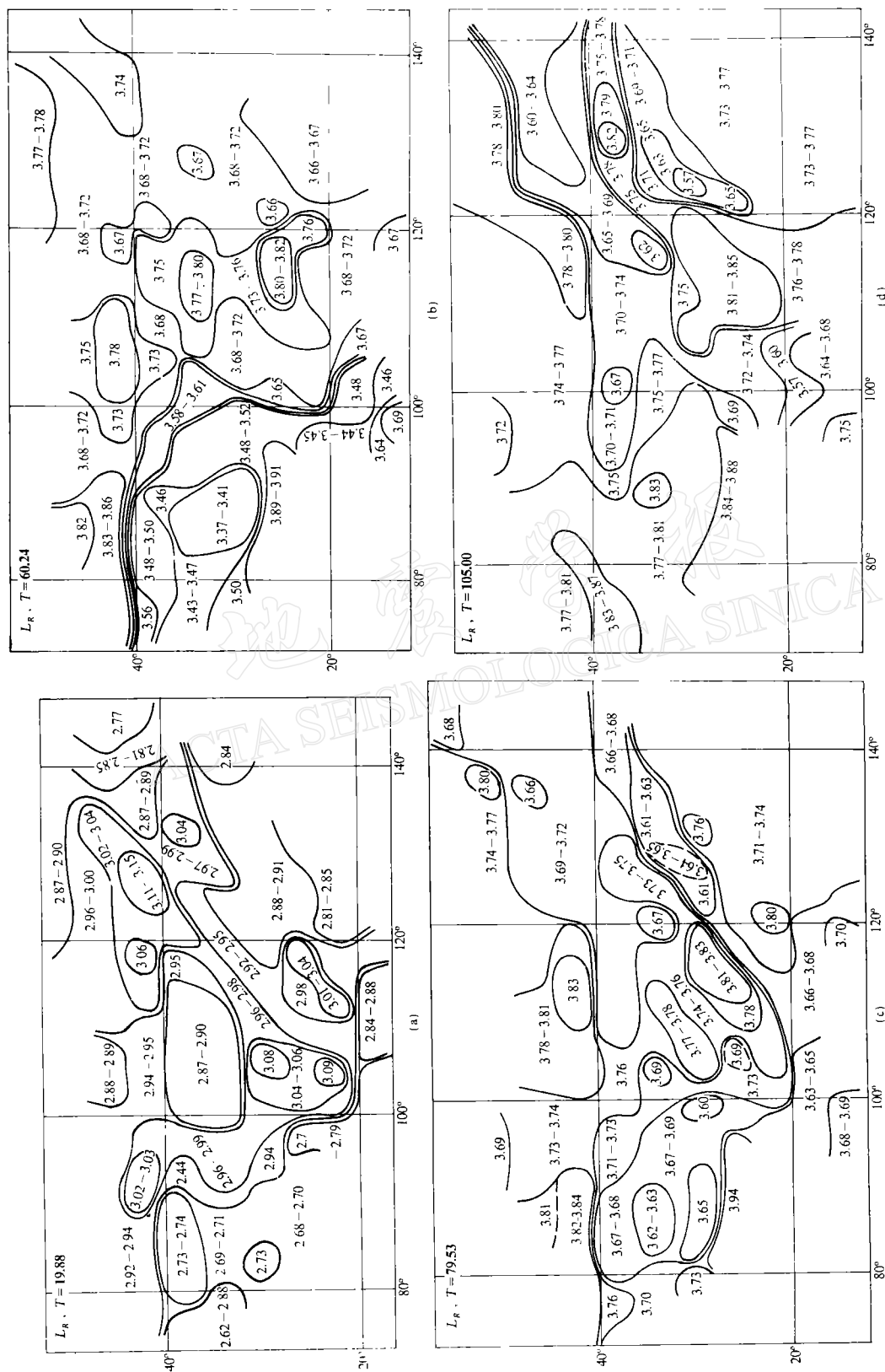


图3 群速度分布框图(单位为km/s)

少到周期 126s 相应的深度上仍存在一级构造单元间速度结构差别。

(2) 从周期为 34–80s 的群速度分布图上可看出: 大体在 110°E 以东, $40^{\circ}\text{--}44^{\circ}\text{N}$ 以南地区和印度板块, 34s 周期的群速度值已达地幔顶部应有的一般群速度值(海域此值略小)说明这里的地壳比较薄; 中部 $100^{\circ}\text{--}110^{\circ}\text{E}$ 范围内, 于 41–60s 间出现上地幔顶部群速度值, 这里的地壳厚度比东部大得多。而 40°N 以北, $90^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$ 之间广大北部地区, 在 60s 左右出现与东部相近的值, 41s 时群速度值处于东部和中部群速度值之间, 说明这里的地壳厚度值在上述两地区之间。在西部, 天山地区于小于 60s 时出现相当高的群速度值, 小于 41s 时塔里木盆地的群速度值较低, 说明这里的地壳厚度比以上三地区大, 且速度低, 而青藏高原直到 60s 群速度值都很低, 表明这里的地壳厚度更大, 相应于上地幔顶部的群速度值出现在 60–79s 周期之间。

(3) 从图 3 中随周期加大群速度变化的趋势上, 可看出各地区上地幔低速层出现的深度不同。比较图 3b(60s) 和图 3c(79s), 发现东海陆架、日本岛弧和日本海, 群速度有随周期降低的趋势, 说明那里上地幔低速层埋深小; 广大华北、东北地区 and 天山、南海除局部地区略有降低外, 60–79s 范围内群速度值基本不变, 而比较图 3c(79s) 和图 3d(105s), 发现华北、东北地区、秦岭—大别、柴达木、松潘、三江部分地区以及印度板块的恒河流域的群速度值均有明显的降低, 表明这些地区的上地幔低速层埋深较前述地区大。比较图 3b–d, 发现广大华南地区的群速度除局部外, 随周期略有增大, 青藏高原及塔里木盆地则群速度呈逐渐增大趋势, 直到 105–126s 增大趋势渐缓, 说明这两地区可能不存在明显的低速层或低速层埋深很大。

(4) 次级构造单元间群速度差别也比较明显。如同属天山—内蒙—兴安构造域内, 天山褶皱系与内蒙—大兴安岭褶皱系的分界(约在 100°E 附近), 在图 4 上有明显

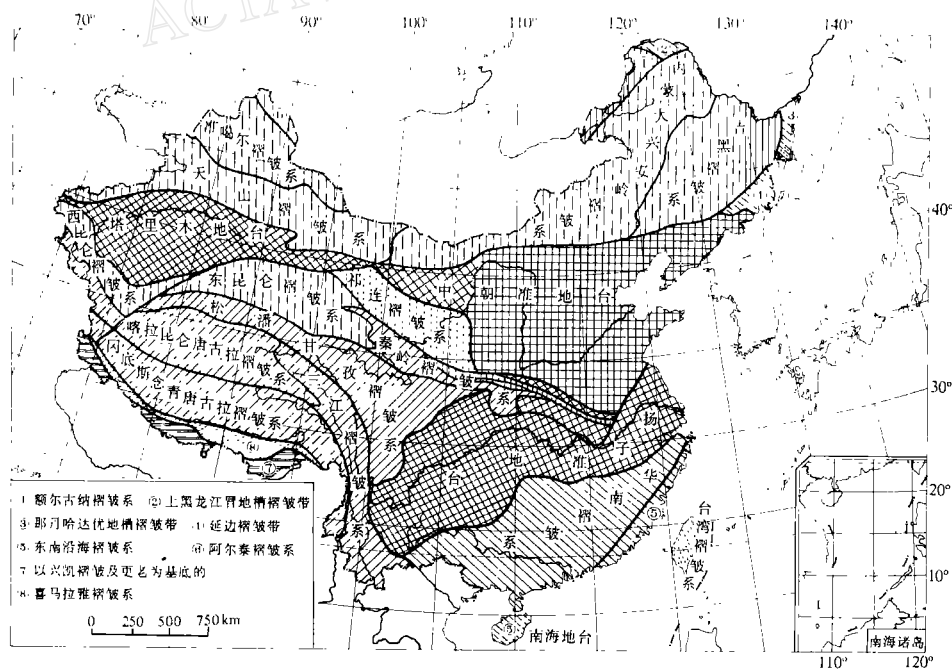


图 4 中国大地构造分区略图

的显示,大于 41s 周期的图上前者群速度大于后者. 吉黑褶皱系的群速度也不同于内蒙—大兴安岭褶皱系(120° E 以东). 天山褶皱系中,北山(约在 $90-92^{\circ}$ E 以东)的群速度小于 60s 周期时比天山大,大于 60s 时比天山小,说明北山相对于天山地壳薄,上地幔上部群速度小; 80s 周期以内柴达木盆地群速度比塔里木盆地高,滇藏构造域中喀拉昆仑唐古拉褶皱系与网底斯念青唐古拉褶皱系西部(约 $90-95^{\circ}$ E 以西)的群速度值直到 80s 周期附近都比东部低,尤其羌塘地块更为明显; 松潘—甘孜与三江褶皱系,与前者有明显的差别,其小于 80s 的群速度值比前者高; 中朝块体上,华北平原和山西隆起比其西部鄂尔多斯、阿拉善的速度高,在 34s 周期时已出现或接近上地幔顶部群速度值,说明它们的地壳比较薄; 图 3a, 3c 上表明扬子—华南块体在海域中有向东北方向延伸的趋势,从大地构造上看,南黄海为扬子块体的延伸部分,东海陆架为华南—小白块体延伸部分,它们都延伸到朝鲜半岛上,但华南地区的群速度值比其向海域延伸部分高. 此外,在小于 60s 周期的群速度图上发现台湾及台湾海峡似与相邻大陆部分有某些联系.

3. 结 论

(1) 各格群速度频散曲线上每一周期的群速度值反映的不是一个深度,而是一定深度范围的 S 波速度值,而且是受层厚度和层速度两个因素的控制. 因此,只根据它的形态不能确切地说明各层的厚度或速度的变化. 尽管如此,它能粗略地反映结构的横向不均匀性和每格结构纵向变化趋势. 此外,群速度频散曲线是一次反演的结果,比经第二次反演得到的 S 波速度结构更为直接、客观. 从我们得到的结果与大地构造分区相符合就说明了这一点.

(2) 从各格频散曲线分布特征可看出: 各大板块(印度,太平洋和欧亚板块)之间群速度分布有明显差别,太平洋板块向欧亚板块边缘下插有清楚的显示. 欧亚板块内各块体的群速度亦有较大差别,如西伯利亚块体边缘的天山—兴安褶皱区与塔里木、中朝块体之间以及它们与青藏高原、扬子—华南块体之间; 这些块体和褶皱区内部,如天山、内蒙—大兴安岭与吉黑褶皱系之间,甚至天山与北山之间; 松潘—甘孜与喀拉昆仑唐古拉之间; 阿拉善、鄂尔多斯与其东的山西隆起、华北平原之间; 扬子块体与苏北—南黄海; 以及华南块体与东海陆架之间等等的群速度分布也有差别. 这些差别反映了各大板块及其板内块体的各自的形成时期及其演化过程有所不同.

(3) 由群速度分布得到的总体结构概貌是: 中国东部地壳薄,向西逐渐加厚, $100-110^{\circ}$ E 左右地区的地壳厚度居中,青藏高原地壳厚度最大. 中国东部 $40-44^{\circ}$ N 以北地壳厚度比以南大. 印度恒河流域地壳相当薄. 华北、东北大部及东海陆架、日本岛弧及日本海、南海上地幔低速层可能埋深小,吉黑、秦岭—大别、柴达木、松潘—甘孜、三江部分地区以及印度恒河流域上地幔低速层埋深比前者深,青藏高原,华南地区及塔里木盆地地幔可能无明显低速层或低速层埋深很大.

(4) 直到 126 s 周期相应的深度上仍可见有各大构造单元群速度的差别,如天山—兴安与青藏、华北、华南及菲律宾海域之间. 这说明构造单元的划分深度至少可到软流层内,那里区域性的局部对流仍在进行.

在工作中,各设置有 763 仪器的台站及琴朝智同志给予了热情的帮助,在此深表感谢.

参 考 文 献

- 黄汲清指导,任纪舜、姜春发、张正坤、秦德余执笔,1980. 中国大地构造及其演化, 30-65. 科学出版社, 北京.
- 徐果明, 1989. 沿球面大圆积分逆变换及其应用. 地球物理学报, **32**, 153-161.
- 周兵、朱介寿、秦建业, 1991. 青藏高原及邻近地区的 S 波三维速度结构. 地球物理学报, **34**, 426-440.
- Dziewonski, A., Bloch, S. and Landisman, M., 1969. A technique for the analysis of transient seismic signals. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **59**, 427-444.
- Feng, C. C. and Teng, T. L., 1983. A surface wave study of crust and upper mantle structures of Eurasia. *J. Geophys. Res.*, **88**, 2261-2272.
- Zhung, Z., Teng, T. L. and Chao, C. H., 1984. Error analysis and damping factor estimation for grid dispersion inversion in surface wave study. *EOS, Trans. Am. Geophys. Un.*, **65**, S52B-12.
- Woodhouse, J. H. and Dziewonski, A. M., 1984. Mapping the upper mantle: Three dimensional modeling of Earth structure by inversion of seismic waveforms. *J. Geophys. Res.*, **89**, 5953-5986.

地 震 学 报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA