

广东省东部地区的S波速度结构

闻则刚, 杨马陵, 叶秀薇, 康英, 王正尚

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要:利用广东省数字遥测台网记录到的2000年11月16日发生在所罗门群岛的两次 $M_s7.7$ 和 $M_s7.8$ 地震及2000年11月18日新爱尔兰地区的 $M_s7.3$ 地震面波波形数据,测定了在广东地区汕头和韶关之间路径上的相速度频散曲线并反演得到了对应的地壳横波速度结构。结果表明该地区的地壳厚度为30 km,上地壳横波速度变化较大,中下地壳相对均匀,没有发现地壳内部的低速层。

关键词:面波频散;反演;相速度;S波速度结构

中图分类号:P315.3⁺1;P313.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0844(2005)02-0154-04

Shear-wave Velocity Structure in the East Region of Guangdong Province

WEN Ze-gang, Yang Ma-ling, YE Xue-wei, KANG Ying, Wang Zheng-shang

(Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China)

Abstract: The shear-wave velocity structure in the east region of Guangdong prov. is studied by using the data of Guangdong Digital Seismic Network (GDDSN). The S waveforms of Solomon Islands $M_s7.7$ and $M_s7.8$ earthquakes on Nov. 16, 2000, and New Ireland $M_s7.3$ earthquake on Nov. 18, 2000 were recorded by two stations of GDDSN, which are Shaoguan and Shantou station with distance of 347.76 km between two stations. The data are used to determine the dispersion curve of phase velocity on the away between two station and invese the shear-wave velocity structure in crust of this region. The result shows that the crustal thickness in the region is about 30 km, the shear-wave velocity changes greatly in upper crust, but keep stable in lower crust, and there is no lower velocity layer in the crust.

Keywords: Dispersion of surface wave; Inversion; Phase velocity; S-wave velocity structure

0 引言

用面波研究地壳上地幔,不仅可以获得其分层的厚度及横波波速,还可以对地壳及上地幔中的低速作出较好的测定。随着用面波研究地球内部结构工作的广泛开展,发现了不同构造环境的地壳上地幔结构有很大差异。国际上Wu和Levshin^[1-3]用瑞利波层析成像法,反演了欧亚大陆东部地区30~70 s的群速度图像;Ritzwoller和Levshin^[4-5]反演了欧亚大陆的群速度分布图像,得到不少重要结果。在我国,利用天然地震面波频散资料研究中国大陆地壳上地幔的速度结构已经取得大量研究成果。曾融生^[6]、冯锐^[7]、滕吉文^[8]、陈国英^[9]、何正勤^[10]、宋

仲和^[11]、徐果明^[12]等人先后利用面波资料研究了中国大陆地壳上地幔的速度结构特征。过去有人根据布格力异常编制过中国大陆的莫霍面图。近十年来国土资源部、中国地震局、中国科学院等单位在中国大陆已进行了数万公里的深地震测深(DSS)剖面工作,取得了许多地壳构造的结果。

在华南地区,进行了如下方面的工作。曾融生等(1963)利用瑞利波的相速度法求得广东地壳厚度为30~40 km,丁韞玉^[13]利用S、P波法求得广州台附近地壳厚度为 31 ± 3 km,范玉兰等^[14]编制华南地区走时表求得地壳厚度为32.4 km,魏柏林和魏恒源^[15]从重力反演编制的广东省陆地地壳厚度

收稿日期:2005-05-10

基金项目:国家十五攻关科技项目;强地震短期预测技术研究(2001BA601B-04-03)

作者简介:闻则刚(1965-),男(汉族),安徽枞阳人,高级工程师,现主要从事工程地震与地球物理学研究。

图和莫霍面的平均深度,从而求得广东省大陆地壳平均厚度为 35 km,这个数字也大致接近莫霍面的平均深度。1978 年江西永平工业大爆破资料,测得江西南部的地壳地震波传播速度结构模型^[16]。1981 年中国地震局地质研究所在粤东大亚湾地区利用地震转换波测得莲花山深断裂带以东地区的地壳具有多层结构^[17],认为地壳厚度 27~30 km,根据转换波的特征,还可以分出康拉德面,埋深在 13~16 km。曾融生等^[18]认为东南沿海地区的莫霍面深度较全国平均的莫霍面深度略小,为 30~32 km。福建滨海地区的莫霍面只有 30 km。

以上资料显示东南沿海一带地壳较薄,莫霍面较浅,其中珠江三角洲地壳厚度不足 34 km,莫霍面此处隆起。往西北方向地壳厚度逐渐加深,在粤赣、粤湘等边界一带地壳厚度达 35.5 km 至 36 km。广东陆地地壳厚度变化和莫霍面形态相对而言显得比较简单,尤其是西北部,不及全国一些多震区复杂。

广东地区的地壳结构分为两类^[17]:陆地地壳部分以重力低为特征,而且异常的分布与构造地形息息相关;洋壳部分以重力高为特征,异常变化幅度大,地壳趋于不稳定。沿海地区的重力场偏离均衡,其活动强度处于上述两种不同地壳之间,这无疑与中生代以来板块作用有关,是壳、幔物质运动的结果。

由于条件限制,广东地区的群速度或相速度的分布图像和地壳上地幔速度结构特征还没有被系统研究。现在广东省数字地震台网 GDDSN 积累了一些数字化面波资料,为广东地区有效开展这方面的研究工作提供了必要条件。

1 面波相速度的频散曲线的计算

本研究主要是利用 GDDSN 宽频带数据反演出该区的地壳横波速度结构。数字地震台网波形数据包含大量有用的信息,可以利用宽频带数据计算相速度和群速度频散。地震面波波长越长,穿透深度越大,从而利用它研究地壳乃至上地幔的地球物理特性。首先选取面波发育好的较大地震,且在地震射线的大圆路径上有两个台站,两台对震源的夹角不超过 5 度;其次进行数据预处理,主要是进行基线倾斜校正、虚假长周期信号滤波以及仪器响应的消除。

本文从很多较大地震事件中,挑选出表 1 所示的三个地震,汕头台和韶关台完整记录了这三个地震的波形,面波发育良好,频散特征明显,仪器特性

相同,采样率均为 50 点/秒,两台之间距离为 347.76 km。图 1 为广东省区域图及汕头和韶关台位置。本文采用窄带通滤波—互相关法测定了该路径面波相速度频散曲线。该方法的计算思路是首先用同样的窄带通滤波器分别对与震中近似位于同一条大圆路径上两个台站的记录做滤波,得到只含有某一频率成分的简谐波;然后再用不同的相对延时计算互相关系数;对多个周期进行上述计算后,得到不同周期与不同延时(不同相速度)的互相关系数矩阵;通过振幅归一将各周期的最大振幅勾绘出来,就可以方便地确定出两个台站之间路径上的相速度频散曲线,见图 2。

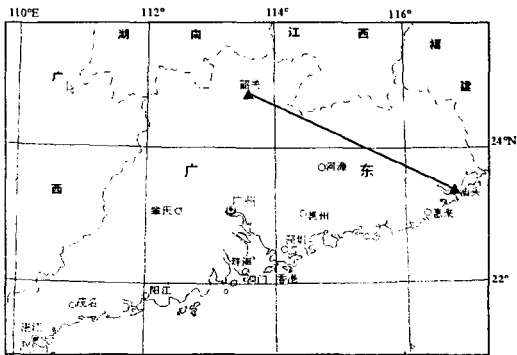


图 1 汕头和韶关路径位置图

Fig. 1 Position of great circle between Shantou and Shaoguan stations.

表 1 三个地震基本参数

日期	发震时间	震中位置		地点	M
		$\lambda_E/^{\circ}$	$\varphi_S/^{\circ}$		
2000-11-16	12:54	153.9	3.8	所罗门群岛	7.7
2000-11-16	15:42	154.0	4.1	所罗门群岛	7.8
2000-11-18	05:01	153.2	4.1	新爱尔兰地区	7.3

2 横波速度结构的反演

横波速度结构的反演是根据该区已有资料,设定初始模型,通过反复修改各层参数,使得实测频散曲线与理论频散曲线得到较好的拟合。由于面波频散是各层厚度、密度、纵波与横波速度的非线性函数,反演计算实质上是一个多极值问题,较常用的是阻尼最小二乘法。反演结果在很大程度上依赖于初始模型的选取。近年来发展起来的遗传算法是随机反演方法中速度较快、全局搜索能力较强的非线性优化方法之一,较好地解决了多极值反演结果严重依赖于初始模型的困难。本文的速度结构反演中,采用了遗传算法^[19]。为了适应界面深度和速度变化的任意性,适当增加了模型层数,固定每层厚度为

2 km。只反演各层的 S 波速度, P 波速度和密度由经验公式确定。反演结果见图 3 所示。

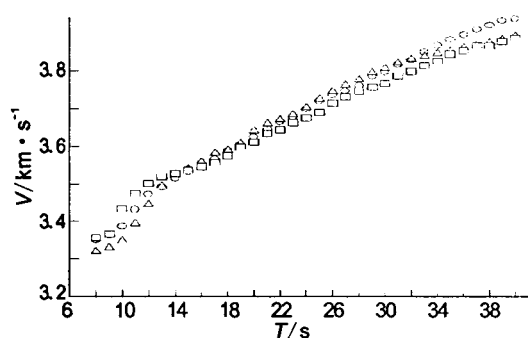


图2 汕头—韶关间大圆弧路径上的实测相速度频散曲线

○ 2000-11-16 13:02 地震; △ 2000-11-16 15:50 地震; □ 2000-11-18 05:10 地震

Fig. 2 Observed phase velocity dispersion curves of the three earthquakes between Shantou and Shaoguan stations.

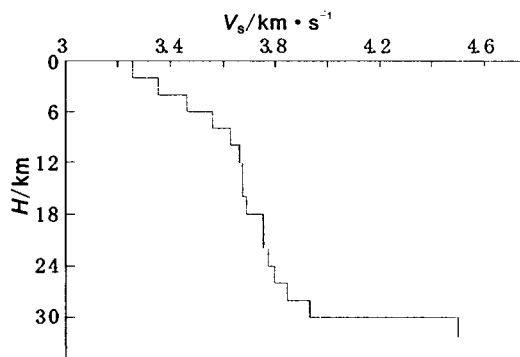


图3 反演的广东东部横波速度模型

Fig. 3 The inverted shear wave velocity structure of crust in the east region of Guangdong Prov..

3 反演结果的讨论

通过对这三个地震面波资料的频散测定,分别得到关于汕头到韶关大圆弧路径之间的面波频散曲线,进行算术平均后反演得到该区的横波速度结构和地壳厚度。对上述的计算结果分析后我们可得出以下一些特征。

3.1 相速度频散曲线特征。

汕头到韶关大圆弧路径之间的地壳相速度值在周期(8~40 s)内变化范围为 3.30~3.90 km/s(图 2)。与全国其它地方相比相速度值稍高。冯锐等^[7]、何正勤等^[10]虽然所得到的关于扬子地块和本研究的广东地区接近,但他们所采用两台之间距离非常远,且采用群速度。而本项研究的两台之间距离非常小,仅 347.8 km,且采用相速度,因此频散曲

线结果更可信,对于广东省东部地区也更为适用。

3.2 地壳的速度结构特征和地壳分层特性。

1978 年江西永平工业大爆破^[16]位于韶关台附近,中美合作调研南海地质专报 GMSCS^[20]的人工地震反射研究位置位于汕头台附近,因此可以参考这些资料分析地壳的速度结构特征。

从图 3 看出,在相当于上地壳即 0~10 km 深度范围内, V_s 从 3.25 km/s 逐渐增加到 3.63 km/s, 变化较大。其中在 0~4 km 深度范围 V_s 较低,称为第一密度层或称为“低”密度层^[17],一般认为与该区陆相沉积层相对应,主要包括中、新生界,固结程度差,密度小(1.8~2.3 g/cm³)且变化大(0.3~0.5 g/cm³)。永平爆破资料反映的 V_p 为 4.92 ± 0.2 km/s, 层厚约 1.4 km;而南海地质专报研究认为上地壳 V_p 为 5.60~5.80 km/s, 厚度为 3.5 km。在深度 4~10 km 范围 V_s 由 3.30 km/s 增至 3.63 km/s, 大致与古生代建造相对应,相当于硅铝层上部。

在深度 10~18 km 的中地壳, V_s 大约为 3.67 km/s, V_p 约为 6.34 km/s, 其密度值超过 2.60 g/cm³, 密度差仅为 0.1 g/cm³。永平爆破资料显示该层平均纵波波速 6.13 ± 0.1 km/s, 层厚约 20 km;南海地质专报研究,得到此层 V_p 5.90~6.0 km/s, 深度为 3.6~14.2 km。而本项结果显示整个硅铝层平均厚度为 14.0 km。因此可推知硅铝层厚度由西北向东南呈渐薄之势。在本区主要是基底和花岗岩类。

在深度 18~30 km V_s 为 3.80 km/s 左右。此深度范围为下地壳,一般认为可能相当于硅镁层。在深度 18 km 的顶面,速度变化约为 0.1 km/s 左右,此界面为康拉德面。在深度 30 km 的底部,波速变化明显, V_s 变化达 0.6 km/s, 相当于莫霍面,在此之下的上地幔顶部,波速约 $V_s = 4.5$ km/s, $V_p = 7.8$ km/s。同时由上述分析可推测本层厚度可能由西北向东南变化不大。

4 初步结论

1981 年中国地震局地质研究所在粤东大亚湾地区利用地震转换波研究莲花山深断裂带以东地区的地壳,其结果是也具有多层结构。垂直剖面上显示 4~5 个转换界面,其中有两个界面最为清晰:其一是深度 27~30 km 的莫霍面;其二是埋深在 13~16 km 的康拉德面。此结果和本项研究及其它资料表明,这两个界面深度在广东地区变化不是很大,剖

面上横波速度随着深度的加大而增加,康德拉面和莫霍面都存在着一个速度突变界面。

韶关到汕头路径平均地壳厚度为30 km,上地壳横波速度变化较大,中下地壳相对均匀,没有发现地壳内部明显的低速层。一些研究指出,强震多数发生在低速层的上界面附近;深部构造研究发现,我国大陆强地震震源区附近有低速—高导体发育,强震多发生在地壳内低速—高导体上方或上角隅的脆性地壳内;层析成像研究也发现强震多发生在壳内高速区与低速区的过渡带,且偏于高速带一侧^[21]。本研究测线自东南向西北跨越了莲花山、河源邵武断裂两条深活动断裂带,但是在测线附近地带除1962年发生的河源6.1级水库地震外,其余地震都小于5级。而本研究测线所得到的速度剖面未发现低速层的情况与本区历史上从未发生过5级以上构造地震的情况相符合。由此估计在汕头到韶关大圆所跨越的路径及附近地区未来发生强震的可能性不大。

本文只研究了汕头—韶关大圆路径下的地壳速度结构特性,不可能反映该区这方面特性的全貌;同时由于台网缺乏长周期资料,上地幔的地球物理特性不能够深入研究。

本文得到中国地震局地球物理研究所何正勤、丁志峰研究员、北京大学地球物理系傅淑芳教授的指导,得到广东省地震局魏柏林、徐起浩研究员和郭良田高级工程师的帮助,在此一并表示感谢!

[参考文献]

- [1] Wu F T, A Levshin. Surface wave tomography of China using surface waves at CDSN[J]. Phys. Earth Planet Inter., 1994, 84(1-4): 59-77.
- [2] Levshin A L, M H Ritzwoller, L I Ratnikova. The nature and cause of polarization anomalies of surface waves crossing northern and central Eurasia[J]. Geophys. J. Int., 1994, 117: 577-590.
- [3] Levshin A L, M H Ritzwoller, L I Ratnikova, et al. Intermediate period group velocity maps across Central Asia and parts of the Middle East[A]. in: Proceedings of the 19th Seismic Research Symposium on Monitoring a CTBT[C], 1997, 67-76.
- [4] Ritzwoller M H, A L Levshin. Eurasian surface wave tomography: Group velocities[J]. J. Geophys. Res., 1998, 103, 4839-4878.
- [5] Ritzwoller M H, A L Levshin, L I Ratnikova, et al. Intermediate period group velocity maps across Central Asia, Western China, and parts of the Middle East[J]. Geophys. J. Int., 1998, 134, 315-328.
- [6] 曾融生. 构造地质学进展[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [7] 冯锐, 朱介寿, 丁福玉, 等. 利用面波研究中国地壳速度结构[J]. 地震学报, 1981, 3: 335-350.
- [8] 滕吉文, 王沼舟, 姚振兴, 等. 青藏高原及其邻近地区的地球物理特征与大陆板块构造[J]. 地球物理学报, 1980, 23(3), 254-269.
- [9] 陈国英, 曾融生, 吴大铭, 等. 青藏高原瑞利波相速度与深部结构的横向变化[J]. 地震学报, 1992, 14(增刊), 565-572.
- [10] 何正勤, 丁志峰, 叶太兰, 等. 中国大陆及其邻域的瑞利波群速度分布图像与地壳上地幔速度结构[J]. 地震学报, 2002, 24(3), 252-258.
- [11] 宋仲和, 安昌强, 王椿镛, 等. 青藏高原及南北地带上地幔P波速度结构[J]. 地球物理学报, 1985, 28(增刊), 148-160.
- [12] 徐果明, 李光品, 王善恩, 等. 利用瑞利面波资料反演中国大陆东部地壳上地幔横波速度的三维结构[J]. 地球物理学报, 2000, 43(3), 366-375.
- [13] 丁福玉. SP波与我国地壳厚度[J]. 地球物理学报, 1965, 14(3), 168-172.
- [14] 范玉兰, 林纪曾, 胡瑞贺, 等. 1990. 华南地区近震走时表的研制[J]. 华南地震, 1990, 10(2), 1-16.
- [15] 魏柏林, 陈仁法, 黄日恒. 广东省地震构造概论[M]. 北京: 地震出版社, 2000.
- [16] 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [17] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- [18] 曾融生, 孙为国, 毛桐恩, 等. 中国大陆莫霍面深度图[J]. 地震学报, 1995, 17(3), 322-327.
- [19] 石耀霖, 金文. 面波频散反演地球内部构造的遗传算法[J]. 地球物理学报, 1995, 38(2), 189-198.
- [20] 姚伯初, 曾维军, D E Hayses, 等. 中美合作调研南海地质专报 GMSCS[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994.
- [21] 中国地震局监测预报司. 地震中短期预报物理基础研究[M]. 北京: 地震出版社, 2002, 12-14.