

# 河北平原北部的短周期面波频散 与地壳中上部速度结构<sup>\*</sup>

何正勤 张天中 叶太兰 丁志峰

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

**摘要** 根据新建的北京区域数字遥测地震台网的短周期 Rayleigh 波资料, 用两台法计算了位于北京地堑与河北平原地震带北部 5 条路径上 Rayleigh 波周期(2~18 s)的相速度频散曲线, 按频散特征分两个区域反演得到了北京地堑北段和河北平原北部区域的地壳中上部横波速度结构。结果表明, 在北京地堑北段区域深度 9 km 处有一明显的界面, 地壳中部的速度随深度变化不大; 河北平原北部区域的地壳中部存在一厚约 5 km 的低速层, 其底部埋深为 14.6 km。

**关键词** 河北平原 Rayleigh 波 地壳结构

## 引言

华北平原北部是我国地震监测与预报的重点地区。多年来, 我国在京、津、唐、张地区开展了大量的深部构造探测工作, 通过天然地震与人工地震测深、电磁、重力及地热等多种手段的综合探测, 取得了很多重要的成果(国家地震局科技监测司, 1988)。大量的人工地震测深研究表明, 华北平原北部地区的地壳中部为一低速层, 最低纵波速度为 5.6 km/s(国家地震局《深部物探成果》编写组, 1986)。由于低速层的底部没有稳定的速度分界面, 所以其下界不易确定, 只能把中部地壳低速层下部速度值与 Pg 波中断点速度值相等的部位作为中部地壳低速层的底界。因此, 利用人工地震测深方法确定壳内低速层的厚度具有方法本身的局限性。由于 Rayleigh 波的频散特征是由介质横波速度结构所决定的, 而横波速度变化对于低速介质和破碎带都十分敏感, 所以本研究通过 Rayleigh 波的相速度频散, 反演地壳中上部的低速层埋深及其厚度是很有利的。

虽然利用面波频散研究地球内部结构在国内外均有许多研究成果(宋仲和等, 1993; 何正勤等, 1996; Curtis *et al*, 1998), 但由于台站位置和跨度的限制, 大都用于研究大的构造单元的深部结构。随着观测仪器的数字化、台站数量的增加和布局的日益完善, 利用短周期面波对局部区域的浅部速度结构研究已成为可能。“八五”期间, 为提高北京地区地震的监测和预报能力, 中国地震局地球物理研究所第四研究室在北京地区建成了北京区域数字遥测地震台网, 构成该网的 7 个台站都已投入运行, 其频带为 0.05~20 s, 台网覆盖面

\* 中国地震局 95-04-05 和 95-07-413 项目资助。中国地震局地球物理研究所论著 00AC1001。  
1999-02-16 收到初稿, 1999-09-09 收到修改稿并决定采用。

积约  $100 \text{ km} \times 150 \text{ km}$  (图 1). 本研究所用台站的跨度较小, 直接反映了两台间介质速度结构的特征, 采用两台法可以扣除震源因素的影响. 近年来已有类似研究成果的报道 (Chung, Yeh, 1997).

## 1 资料

两台法虽然具有诸多优点, 但对资料的要求十分苛刻. 最主要的条件是要求对于同一地震来说, 两个记录台站必须位于同侧的大圆弧上. 在我们所用的小跨度台网资料中, 要求两个台站位于地震一侧的直线上. 由于我们试图研究地壳中上部结构, 要求地震记录中主要包含短周期成分, 所以不能选用较远或震级较大的地震, 因为较远地震的面波在漫长路径的传播中, 短周期成分衰减强烈; 而受仪器动态范围的限制, 震级较大的地震记录的地震波主要集中在中长周期频段. 另外, 对于中小震级的地震而言, 要求两个台站的面波都要记录清晰. 为满足以上条件, 我们通过对大量记录的筛选, 选出了由 5 次地震构成的 7 对台偶资料, 其台站位置及面波路径如图 1 所示. 图中虚线表示北京地堑和河北平原的边界. 所选地震与台站参数见表 1 和表 2.

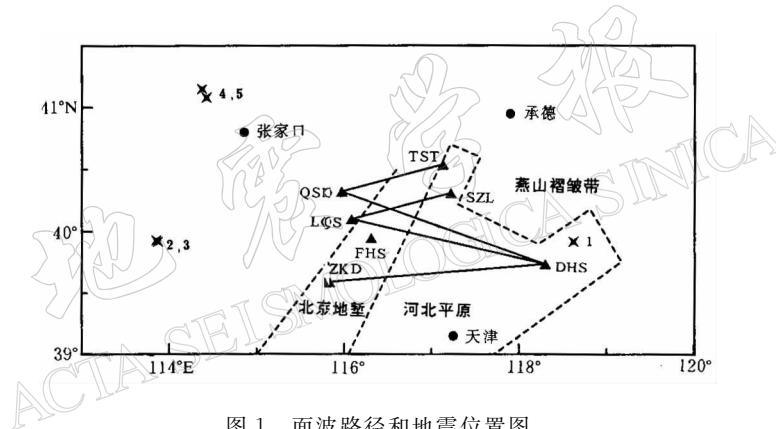


图 1 面波路径和地震位置图

表 1 地震参数

| 编号 | 发震时刻       |            | 震中位置                   |                        | 震源深度<br>/km | 震级  |
|----|------------|------------|------------------------|------------------------|-------------|-----|
|    | 年-月-日      | 时:分:秒      | $\lambda_E/(\text{°})$ | $\varphi_N/(\text{°})$ |             |     |
| 1  | 1996-09-24 | 21:15:39.7 | 118.62                 | 39.92                  | 0           | 3.1 |
| 2  | 1997-12-09 | 17:29:32.0 | 113.85                 | 39.93                  | 8           | 3.0 |
| 3  | 1997-12-09 | 11:45:09.3 | 113.87                 | 39.92                  | 9           | 3.5 |
| 4  | 1998-01-11 | 02:37:47.7 | 114.42                 | 41.08                  | 0           | 4.6 |
| 5  | 1998-01-18 | 04:07:25.9 | 114.37                 | 41.15                  | 0           | 4.6 |

表 2 台站参数

| 台站  | 台站代码 | $h/\text{m}$ |
|-----|------|--------------|
| 太师屯 | TST  | 180          |
| 龙泉寺 | LQS  | 200          |
| 周口店 | ZKD  | 120          |
| 法华寺 | FHS  | 15           |
| 徒河  | DHS  | 25           |
| 四座楼 | SZL  | 1 060        |
| 清水顶 | QSD  | 1 100        |

## 2 Rayleigh 波相速度频散的测定

在面波相速度频散的测定中, 应用最广泛的是两台法, 因为这样可以扣除震源的影响, 得到的频散完全是两台站间介质特征的贡献. 两台法常用的数值计算方法有相位差法 (朱介寿, 1988)、窄带通滤波互相关法 (冯锐等, 1981). 本研究使用的是窄带通滤波互相

关方法。这种方法是基于振幅对比,能同时兼顾较好的稳定性和较高的分辨率。其基本思想是先对面波信号在时间域作窄带通滤波,再求互相关函数,并将归一化的相关系数  $\gamma_{21}$  按矩阵形式输出,由等值线确定相速度  $C(T)$ 。频散测定的计算方法请参阅有关文献(冯锐,1981;何正勤,1993)。通过计算我们得到 7 条路径的频散曲线。根据其频散特征分两个区域在图 2 中示出本研究的相速度实测结果。从频散曲线可以看出,在相邻的路径上,其相速度频散表现出相似的形态,同一路径上不同地震的计算结果具有很好的重复性。北京地堑北段与河北平原北部邻域在周期 6.5 s 前具有明显差异,在 6.5~18 s 周期段,频散结果基本相近。2~6.5 s 周期反映的是地壳浅部(深度 10 km 以下)的结构信息,6.5 s 以后反映的是地壳中部的结构特点。这也定性说明,地壳结构的差异在地壳浅部更加明显。

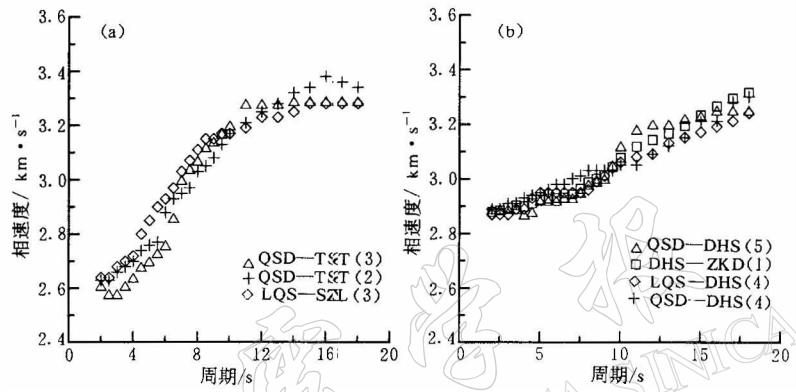


图 2 实测相速度频散曲线,括号中的数字为地震编号

(a) 北京地堑北段; (b) 河北平原北部

由于台网投入运行的时间较短,积累的资料有限,目前还没有足够的资料满足用面波相速度做三维速度结构的需要,我们暂将两个区域的频散资料分别平均,得到两条相速度频散曲线,其数值如表 3 所示。

表 3 相速度频散测定结果(平均值)

| 周期/s | 相速度/km·s <sup>-1</sup> |        | 周期/s | 相速度/km·s <sup>-1</sup> |        |
|------|------------------------|--------|------|------------------------|--------|
|      | 北京地堑北段                 | 河北平原北部 |      | 北京地堑北段                 | 河北平原北部 |
| 2.0  | 2.63                   | 2.88   | 8.5  | 3.11                   | 3.00   |
| 2.5  | 2.62                   | 2.89   | 9.0  | 3.12                   | 3.01   |
| 3.0  | 2.64                   | 2.90   | 9.5  | 3.16                   | 3.04   |
| 3.5  | 2.66                   | 2.90   | 10.0 | 3.18                   | 3.08   |
| 4.0  | 2.69                   | 2.90   | 11.0 | 3.23                   | 3.12   |
| 4.5  | 2.74                   | 2.91   | 12.0 | 3.25                   | 3.14   |
| 5.0  | 2.77                   | 2.93   | 13.0 | 3.26                   | 3.17   |
| 5.5  | 2.80                   | 2.93   | 14.0 | 3.29                   | 3.19   |
| 6.0  | 2.86                   | 2.93   | 15.0 | 3.30                   | 3.23   |
| 6.5  | 2.92                   | 2.93   | 16.0 | 3.32                   | 3.27   |
| 7.0  | 2.99                   | 2.94   | 17.0 | 3.31                   | 3.29   |
| 7.5  | 3.03                   | 2.96   | 18.0 | 3.30                   | 3.32   |
| 8.0  | 3.07                   | 2.99   |      |                        |        |

### 3 结果和讨论

我们将上述两个区域的相速度频散曲线, 用阻尼最小二乘法反演得到了相应的地壳中上部横波速度结构。计算方法参见文献(朱介寿, 1988)。两个区域的速度模型如图 3a, b 所示。结果表明: ① 在北京地堑北段的地壳中上部没有发现明显的低速层, 但在深度 9 km 处存在一个明显的速度分界面。若将地壳分上、中、下 3 层来描述的话, 该分界面为上地壳底面。中地壳速度随深度变化不大; ② 河北平原北部区域的上地壳厚 9.6 km, 深度 9.6 ~ 14.6 km 是一低速层, 其下部介质的速度结构与北京地堑北段基本相似。

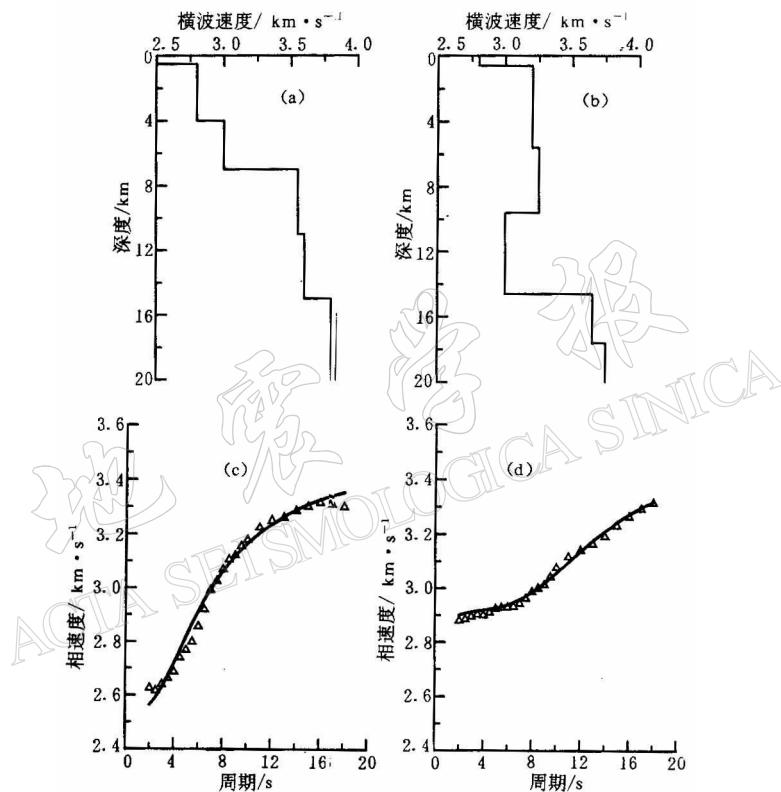


图 3 地壳中上部速度模型。图中三角符号为实测值, 曲线为理论值  
(a), (c) 北京地堑北段; (b), (d) 河北平原北部

张家口—渤海地震带是由华北平原北部和山西高原东部一系列不连续的北西向断层所组成的宽约 150 km、长约 700 km 的北西构造带。其北西端起于张家口附近, 经北京、唐山延入渤海凹陷。在该地震带上曾有过多次强震活动, 如 1969 年 7.4 级渤海地震、1679 年三河-平谷地震、延怀盆地多次发生的 6~7 级地震、1978 年唐山地震以及 1998 年张北地震等。有关资料表明, 张家口—渤海 NW 地震带近年来的活动有逐渐增强的趋势, 张家口—渤海 NW 向地震带和山西地震带当前在华北北部地震活动中起着主导作用。

本文所研究的区域位于张家口—渤海地震带的中部。为了探讨地壳中上部构造与地震成因的关系, 我们对两个区域的地震频度和震源深度作了部分研究。结果表明, 地壳内的低速层与地震成因有着明显相关性。河北平原北部的大震活动明显比北京地堑强烈。从

1970 年至今,  $M_L > 4.0$  的地震在河北平原北部就有 500 多次, 而北京地堑北部仅有 5 次。通过对河北平原北部震源深度的研究发现, 该区的地震在低速层的上下界深度处如图 4 所示, 发震频度明显高于其它深度; 而在低速层内部的频度比外侧低, 这可能是由于壳内低速层边界的脆性地层受到挤压, 并在低速层上下边界侧向运动。当该运动受到阻碍时, 应力就在该层地壳厚度或埋深变化的梯度带积累, 使这些部位的断裂构造发育, 由于岩层脆性发生破裂而形成地震。因此, 研究该深度范围的介质性质对大震成因的探讨具有重要意义。

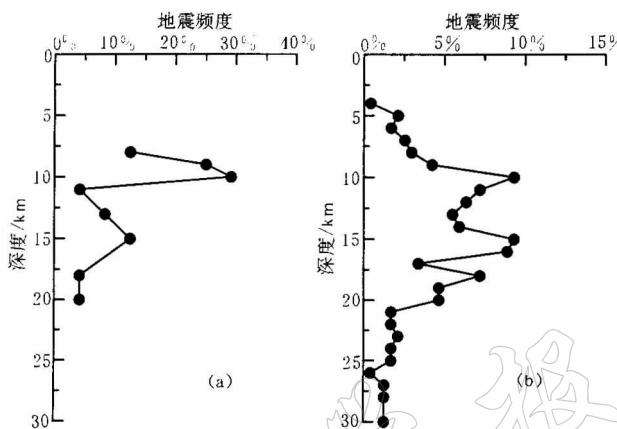


图 4 震源深度分布图. (a) 北京地堑北段; (b) 河北平原北部

中国地震局地球物理研究所第四研究室为本文提供了宝贵的资料。在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- 冯锐, 朱介寿, 丁韫玉, 等. 1981. 利用地震面波研究中国地壳结构. 地震学报, **3**(4): 335~350
- 国家地震局科技监测司. 1988. 中国大陆深部构造的研究与进展. 北京: 地质出版社, 1~19
- 国家地震局《深部物探成果》编写组. 1986. 中国地壳上地幔地球物理探测成果. 北京: 地震出版社, 119
- 何正勤. 1993. 吕村—范县剖面的浅层速度结构. 地震学报, **15**(2): 168~175
- 何正勤, 叶太兰, 孙为国. 1996. 中朝准地台东部地壳上地幔  $Q_\beta$  结构. 地震学报, **18**(1): 97~102
- 宋仲和, 陈国英, 安昌强, 等. 1993. 中国大陆及其海域瑞利波群速度分布特征. 地震学报, **15**(1): 32~38
- 朱介寿. 1988. 地震学中的计算方法. 北京: 地震出版社, 435~442
- Chung J K, Yeh Y T. 1997. Shallow crustal structure from short-period Rayleighwave dispersion data in southwestern Taiwan. *Bull Seism Soc Amer*, **87**(2): 370~382
- Curtis A, Trampert J, Snieder R. 1998. Eurasian fundamental mode surface wave phase velocities and their relationship with tectonic structures. *J Geophys Res*, **103**(B11): 26 919~26 947
- Teves-Costa P, Matias L, Oliveira C S, et al. 1996. Shallow crustal models in the Lisbon area from explosion data using body and surface wave analysis. *Tectonophysics*, **258**: 171~193