

# 南北地震带和两侧的瑞利面波群速度 差异及其大地构造意义

李白基 李 宁 陈 虹  
(云 南 省 地 震 局)

## 摘要

本文测量了南北地震带和两侧的瑞利波群速度，各路径间有系统的差别。反演频散得出地壳横波速度结构。按中地壳速度，可分为速度逆转型、低速型和高速型，分别与构造运动的活跃区、活化区和稳定区相关。

**关键词** 南北地震带；面波；群速度；地壳构造；大地构造

## 一、引言

我国的南北地震带大致包括由云南地区东经  $100^{\circ}$  至甘肃宁夏地区东经  $105^{\circ}$ ，宽约  $5^{\circ}$  的条带，是我国西部构造运动活跃区和东部稳定区的分界(图 1)。

南北带跨越几个不同的大地构造单元，由北至南有祁连、秦岭、松潘甘孜、三江等褶皱系和扬子准地台西端的康滇古陆<sup>[1,2]</sup>。这些单元的形成历史不同，现代构造活动亦异，并不具有作为一条地震带的共同特征<sup>[3]</sup>。康滇菱形块体在其四周的不同运动方向的板块的作用下，形成了本身的运动形式<sup>[4]</sup>。

南北带处于青藏高原东坡，南部的三江地区是多条板块缝合带集散之地。板块的会聚和相互作用，可能是控制南北带地震活动的主要因素。因此，研究该地区的深部地球物理特征和差异不仅为块体的划分提供依据，也将有助于了解大地构造的演化，青藏高原的隆起和南北带地震的成因、活动及机制等，对地震的预测研究有所裨益。

本文测量了南北带及两侧邻域上四条路径的瑞利面波群速度频散，反演地壳横波速度结构，讨论它们的特征与构造运动的关系。

## 二、面波资料和观测群速度

横穿南北带传播的面波速度测量已有报道<sup>[5-10]</sup>。这些文章研究的主要对象是青藏高原或跨越南北带的更大区域，所用面波的路径在南北带所占的比例过低，观测数据不能反

1987 年 2 月 17 日收到本文初稿，1988 年 1 月 13 日决定采用。

应出南北带的特征。本文所用面波沿南北带传播且路径全在带内，将克服上述缺陷。为了对比，还分析了南北带东西两侧邻域内传播的面波。

表 1 列出了所用面波的震源和接收台站。根据路径通过的地质单元类型，测量了下列四条路径的基阶瑞利波群速度：1. 龙陵—兰州；2. 思茅—兰州；3. 龙陵—高台；4. 富宁—西安—莱州（图 1）。依据的资料是基式地震仪的垂直分量记录，方法是多重滤波。

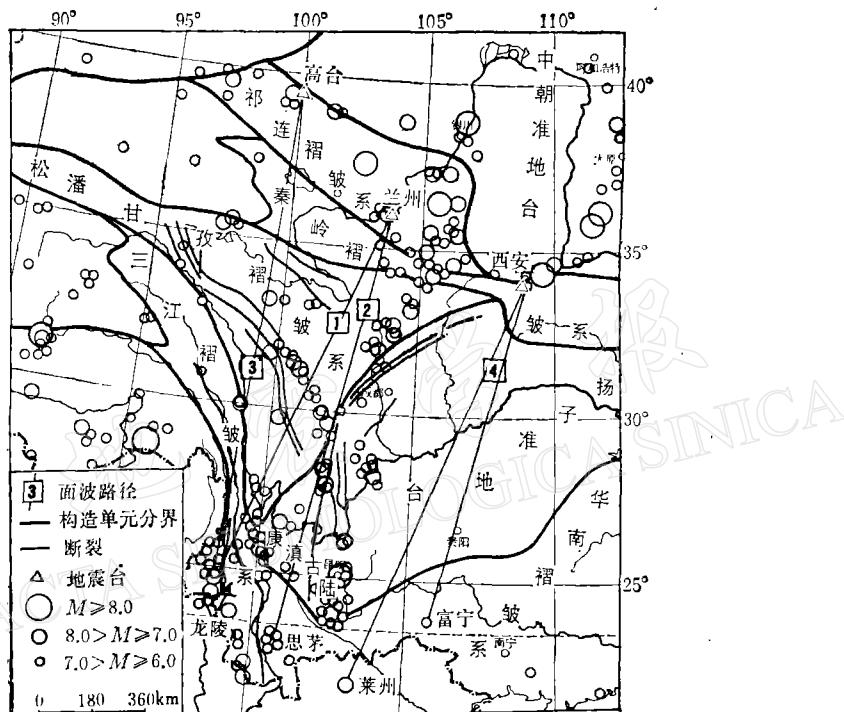


图 1 面波路径、强震、大地构造单元和断裂略图

表 1 地震和接收台站

日期 (年.月.日)	发震时刻 (北京时间) (时-分-秒)	$\varphi_N(^{\circ})$	$\lambda_E(^{\circ})$	$M_s$	震源深度 (km)	震中地区	接收台站	震中距离 (km)
1970.02.07	06-10-37	22.9	100.8	6.2		思茅	兰州	1492
1976.02.16	22-45-39	22.9	100.6	5.7	24	思茅	兰州	1499
1976.05.31	13-08-28	24.5	98.6	6.5	16	龙陵	兰州	1405
1976.05.31	13-08-28	24.5	98.6	6.5	16	龙陵	高台	1684
1976.06.09	08-20-35.8	24.7	98.7	6.2	10	龙陵	兰州	1377
1976.06.09	08-20-35.8	24.7	98.7	6.2	10	龙陵	高台	1620
1976.07.04	00-33-17	24.3	98.7	6.0	5	龙陵	兰州	1393
1982.10.27	23-36-31	23.8	105.9	5.8		富宁	西安	1172
1983.06.24	15-18-22	21.7	103.3	6.9		莱州	西安	1474

四条路径的群速度分别绘于图 2—图 5。在某些周期上，群速度偏离均值达  $0.13 \text{ km/s}$ ，如第 2 路径在 18 秒周期附近（图 3 a）。多数周期的群速度偏移为  $0.05—0.10 \text{ km/s}$ ，在

这类观测的常规误差范围之内。群速度分散是记录中存在某些干扰波的反映，特别是途经介质和构造非常复杂的本研究区域的面波记录。它们可能是多道路径波，侧向的折射或反射波，以及高阶振型等。

比较图2—图5看出，小于15秒周期，各路径群速度相近，表明各路径的表层和上地壳地震波速度差别不大。大于15秒周期，各路径群速度显示出系统的差别，是中下地壳介质差异所致。

### 三、各路径的地壳模型

由面波频散反演地球分层构造的层数和总深度，依赖于观测数据的精度和周期范围。我们观测的各路径最大周期为30—60秒，影响面波速度的介质可深至上地幔。

由于观测误差和信息量不充分，不同的分层和速度结构可以拟合到同一的观测曲线，即反演的不唯一性。另一方面，不同的初始模型可导致不同的结果，甚而发散，即解的不稳定性。引用其他独立的地球物理数据作为约束条件，可缩小不唯一性的范围和降低不稳定性的程度。

在南北带的几个地区作过深地震测深<sup>[13—16]</sup>，给我们提供了在反演中确定地壳分层和厚度的参考。这些测深记录表明，南北带地壳主要由四层介质（包含地表低速层）组成。据此，我们在反演时将地壳分为四层，取上地幔为半无限空间。这与在中距离观测时只有基阶瑞利波群速度频散的分辨力相适应<sup>[17]</sup>。各层的厚度参照了测深的结果，计算中作适当调整。这里只反演横波速度。纵波速度和密度变化对面波的影响远不如横波速度变化的影响大，它们是按其随深度变化的一般关系而确定的<sup>[18]</sup>。

**1. 龙陵—兰州路径** 在路径南段，滇深-82 I号测线给出地壳厚度38—43 km<sup>[14]</sup>。按重力资料估计，本路径穿过的大部分区域地壳更厚<sup>[19]</sup>。

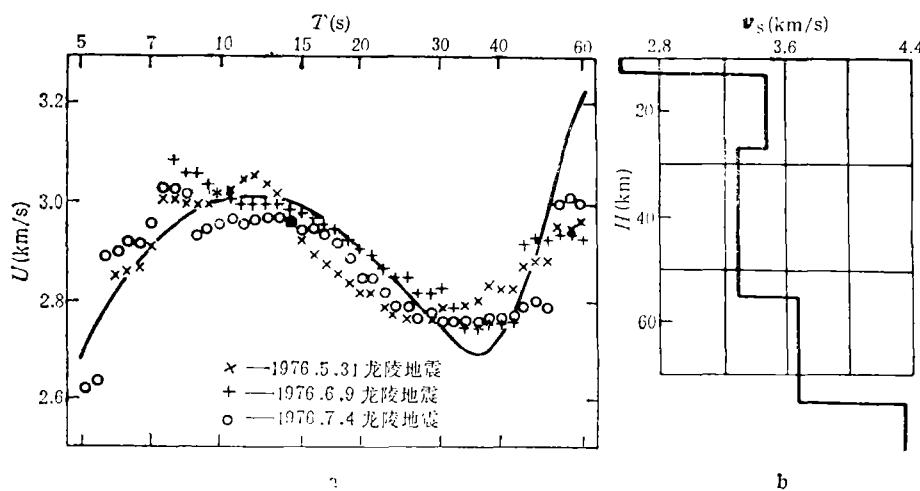


图2 第一路径  
a. 瑞利波群速度； b. 横波速度  $v_s$  模型

本路径面波频散的最显著特点是在 25—45 秒周期范围内速度值低,变化平缓。预示中地壳有较厚的低速层。拟合频散得出的地壳横波速度模型示于图 2 b, 地壳厚 60—65 km, 中地壳厚约 28 km, 速度 3.28 km/s 为速度逆转层。

**2. 思茅—兰州路径** 本路径穿过康滇地轴。洱源—江川测线<sup>[14]</sup>和丽江一大井测线<sup>[15]</sup>与本测线在康滇地轴内相交。前者给出古陆南部地区壳厚 41 km, 中地壳为速度梯度层; 后者给出古陆中部地区壳厚 55 km, 中地壳为速度逆转层。

拟合面波频散给出的横波速度模型如图 3 所示, 壳厚 55 km, 中地壳速度比上地壳速度略低, 考虑到观测误差, 实际上分辨不出是否为速度逆转层。我们还以前述的两个 P 波模型为依据, 设计 S 波速度模型, 计算理论频散曲线。中地壳为速度逆转层的模型的群速度, 在 30 秒周期附近数值太低(图 3 a 点线)。中地壳为速度梯度层的群速度普遍偏低, 25 秒周期以上又上升太快(图 3 a 虚线)。

图 3b 中的细实线表示文献[8]反演面波所得的昆明—兰州地壳模型, 与本文思茅—兰州模型的共同点是上中地壳的速度差别很小。

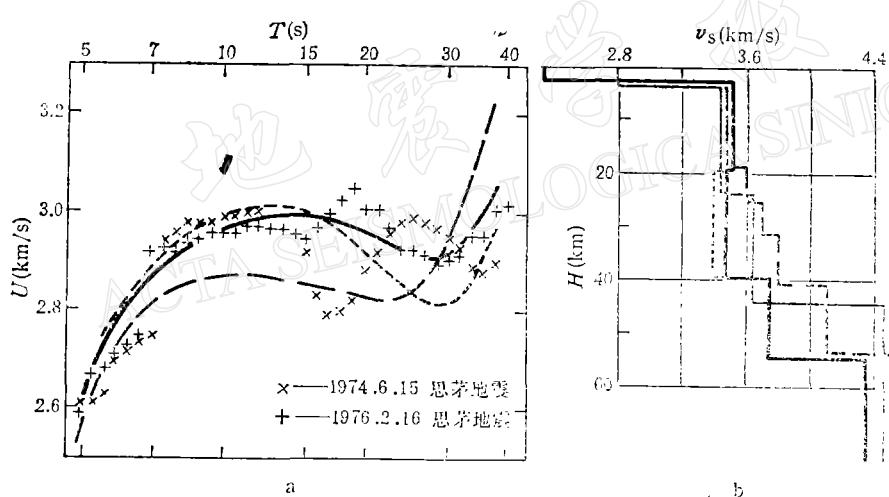


图 3 第 2 路径

a. 瑞利波群速度  $U$ ; b. 横波速度  $v_s$  模型

(图 3 b 中虚线为参考文献[14]的纵波速度模型设计的模型; 点线表示中地壳有速度逆转(据文献[15]); 细实线为昆明—兰州路径模型(据文献[8]))

**3. 龙陵—高台路径** 本路径穿过地质构造极其复杂的区域, 特别是南部的三江地区, 是几个板块会聚之地<sup>[1]</sup>。

本路径观测面波与龙陵—兰州路径面波的震源相同(表 1), 路径方位角仅差 18°, 而频散差别很大。

图 4 绘出了本剖面的速度结构, 第 3 层速度甚高, 与通常的地壳速度分层比较, 似乎“缺失”了中地壳。壳厚 65 km, 是否 Moho 面设置不当而导致第 3 层速度的高值? 数值计算表明, 较浅的 Moho 面对于“表征”中地壳的群速度影响不大, 主要取决于中下地壳的速度。

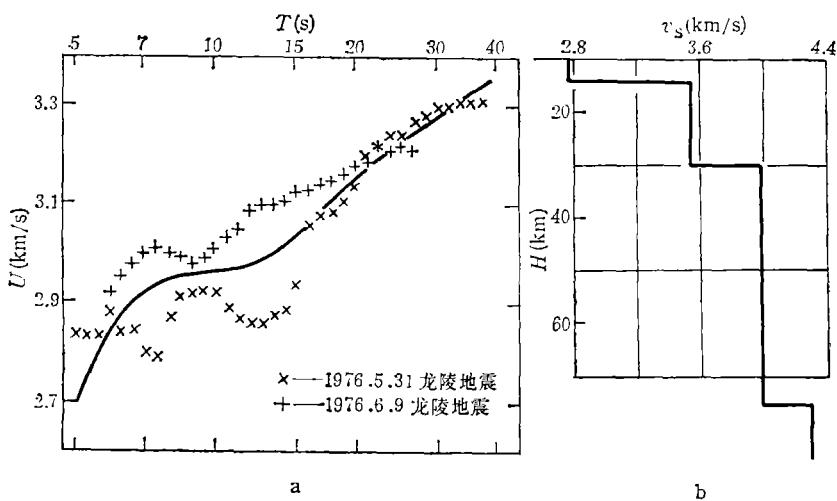


图 4 第 3 路径

a. 瑞利波群速度  $U$ ; b. 横波速度  $v_s$  模型

#### 4. 富宁—西安—莱州路径 路径的绝大部分在扬子准地台内。

观测速度和拟合模型示于图 5。在本路径东边,文献[8]给出了贵阳—武汉路径的面波反演模型,图 5 b 以细实线表示,其地壳速度普遍比本文模型的速度低。

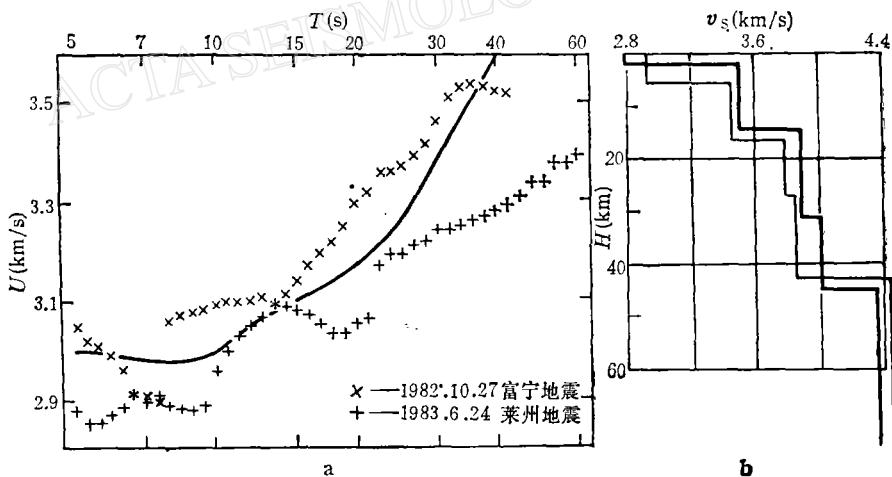


图 5 第 4 路径

a. 瑞利波群速度  $U$ ; b. 横波速度  $v_s$  模型(图中细线为文献[8]的贵阳—武汉路径模型)

## 四、讨 论

**1. 地台至褶皱区的地壳速度结构变化** 四条路径通过不同的大地构造单元,具有各不相同的地壳速度结构特征。第 1 和第 2 路径在现代构造运动活跃区内,结构虽不相同,但都有低速度值的地壳。大部分在地台区内的第 4 路径具有稳定地区的结构特征。地幔

顶部速度在四条路径都甚低,这与文献[7,8,10]得出的上地幔顶部速度低一致。图6绘出了各路径地壳横波速度模型,以及加拿大地盾<sup>[20]</sup>和西藏高原<sup>[9]</sup>的模型,以资对比。从此图看到了中地壳速度有规律的变化,相应的速度结构类型可分为地台区的高速型(第4路径),地台活化区的低速-非逆转型(第2路径),和褶皱区的速度逆转型(第1路径)。

在构造运动活跃区内的第3路径,中下地壳的速度相近并甚高。这是否反映了印支褶皱系由特提斯洋壳演化而成的特征?还有待更多的资料来说明。

## 2. 康滇菱块南部的地壳结构和运动差异

第1路径中地壳为速度逆转层,它与第2路径中地壳速度的差别,反映了康滇菱形块体南北两半部物质的差异。因为第1,2,3路径的北半部通过相同的地质单元,且由第3路径和文献[9,21],沿松潘甘孜褶皱系北部东西向传播的面波频散反演得出的地壳速度结构,都没有速度逆转的中地壳层。

地质与地震的研究指出,康滇菱块相对于周围块体向南南东移动<sup>[3,4]</sup>,可看为一个独立的实体。但菱块的南北两半原属于不同地史时期形成的性质不同的构造单元。剑川—丽江断裂南侧的古陆比北侧的褶皱区速度高,较稳定。面波的结果和分析远震P波走时残差的结果一致<sup>[22]</sup>。因此,菱块的南移在康滇古陆北侧受到滞阻,物质在此堆聚上升,或者还并发沿剑川—丽江断裂的侧向横移。加上南西和北东两大块体的挤压搓动,引起了菱块南北分界处附近的剧烈运动和摩擦生热,使物质部分熔融和(或)液化,形成菱块北半较厚的地壳低速层。

兰州地震研究所和陕西省地震局提供了本研究所用的地震图,在此致衷心的谢忱。

## 参 考 文 献

- [1] 任纪舜、姜春华、张正坤、秦德余, 1980. 中国大地构造及其演化. 科学出版社.
- [2] 黄汲清, 1984. 中国大地构造特征的新研究. 中国地质科学院院报, 9, 5—18.
- [3] 韩 源, 1980. 我国西南地区若干地震地质问题的讨论. 地震研究, 3, 3, 31—44.
- [4] 阙荣举、张四昌、晏凤桐、俞林胜, 1977. 我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨. 地球物理学报, 20, 96—109.
- [5] 曾融生、宋子安, 1963. 我国境内瑞利波的相速度. 地球物理学报, 12, 148—165.
- [6] Pines, I., Teng, T. L., and Rosenthal, R., 1980. A surface wave dispersion study of the crustal and upper mantle structure of China. *J. Geophys. Res.*, 85, 3829—3844.
- [7] 姚振兴、李白基、梁尚鸿、朱確定、张立敏、卢善声, 1981. 青藏高原地区瑞利波群速度和地壳构造. 地球物理学报, 24, 287—295.
- [8] 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, 335—350.
- [9] 秦建业、McEvilly, T. V., 1985. 西藏岩石圈结构的地震学新证据. 地球物理学报, 28, 增刊 I, 135—147.

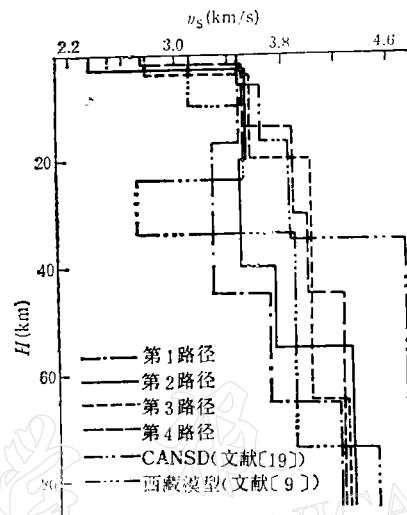


图6 横波速度-深度曲线

- [10] 陈国英、曾融生, 1985. 用地震面波频散研究喜马拉雅山与西藏高原岩石圈构造的差异. 地球物理学报, **28**, 增刊 I, 161—173.
- [11] 李白基、师洁珊、宋子安、曾融生, 1977. 地震面波频散的数字计算. 地球物理学报, **20**, 283—298.
- [12] Nyman, D. C., and Landisman, M., 1977. The display-equalized filter for frequency-time analysis. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **67**, 393—404.
- [13] 颜其中、张国庆、胡鸿翔、阙荣举, 1985. 云南省思茅—马龙剖面的地壳结构. 地震研究, **8**, 249—280.
- [14] 胡鸿翔、陆函行、王椿镛等, 1986. 滇西地区地壳结构的爆破地震研究. 地球物理学报, **29**, 133—144.
- [15] 熊绍柏、腾吉文、尹周勋、赖明惠、黄一平, 1986. 攀西构造带南部地壳与上地幔结构的爆炸地震研究. 地球物理学报, **29**, 235—244.
- [16] 张少泉、武利钧、郭建明等, 1985. 中国西部地区门源—平凉—渭南地震测深剖面资料的分析解释. 地球物理学报, **28**, 460—472.
- [17] Der, Z., Masse, R., and Landisman, M., 1970. Effects of observational errors on the resolution of surface waves at intermediate distances. *J. Geophys. Res.*, **75**, 3399—3409.
- [18] Ludwig, W. J., Nafe, J. E., and Drahe, C. L., 1970. Seismic refraction, In: A. E. Maxwell (Editor), *The Sea, Wiley-Interscience*, **4**, Pt1, 53—84.
- [19] 冯锐, 1985. 中国地壳厚度及上地幔密度分布(三维重力反演结果). 地震学报, **7**, 143—157.
- [20] Brune, J., and Dorman, J., 1963. Seismic waves and earth structure in the Canadian shield. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **53**, 167—210.
- [21] Brandon, C., and Romanowicz, B., 1986. A "no lid" zone in the central Chang-Thang Platform of Tibet: evidence from pure path phase velocity measurements of long period Rayleigh Waves. *J. Geophys. Res.*, **91**, 6547—6564.
- [22] 李白基、李宁, 1987. 云南地区远震P波走时残差与地壳和上地幔构造的横向不均匀性. 地震研究, **10**, 103—117.

## GROUP VELOCITY DIFFERENCES OF RAYLEIGH WAVES BETWEEN THE NS SEISMIC BELT, CHINA, AND THE SIDE REGIONS, AND THEIR TECTONIC IMPLICATIONS

Li Baiji Li Ning and Chen Hong

(Seismological Bureau of Yunnan Province)

### Abstract

Group velocities of the fundamental mode of Rayleigh waves are measured for the NS seismic belt, China and regions on its sides. Systematic differences are found between the wave paths. Shear wave velocity structures are obtained by inverting the dispersions. According to the velocity in the intermediate crust, the structures can likely be classified into the reverse, low (non-reverse) and high velocity models. These can be tectonically related to the active, reactivated and stable regions respectively.