中国西部地壳上地幔速度和 0 结构

李光品 .高尔根 .徐果明

(中国科技大学,合肥 230026)

[摘 要]从穿越中国西部地区所有双台大圆路径中,选出 Rayleigh 波记录比较清晰且焦散效应相对 较弱的3条双台大圆路径。计算出双台间地震面波相速度频散,群速度频散和随周期变化的衰减因子, 进而反演出 3 条路径下地壳上地幔的平均 S 波速度和 Q 结构。对应于兰州 — 高台路径,在约 72 km 深 度的上地幔中开始出现低速和低 O 层,在深度为 6 km ~ 20 km 的地壳中,存在一低 O 层,而在其下 20 km~34 km 深度的地壳中存在一高Q 夹层;对应于成都—乌鲁木齐路径,在约 86 km 深度的上地幔中开 始出现低速 Q 层,在121 km 深度开始出现明显的低 Q 层,在深度为 19 km~34 km 的地壳中,存在一显 著的高 Q 层 :对应于高台 —拉萨路径 ,在约 84 km 深度的上地幔中开始出现低速和低 Q 层 ,在 15 km~ 29 km 深度的地壳中,存在一高 Q 夹层。

[关键词]中国西部 面波频散 衰减因子 S波速度和 Q 结构

[中图分类号]P313.2 [文献标识码]A [文章编号]0495 - 5331(2000)06 - 0058 - 04

资料的选取 1

中国西部地区双台 Rayleigh 波记录的使用,主 要面临以下困难: 相对来说,西部地区的 763 台站 分布较少,记录的质量也有待提高,而我们所用的是 与震中位于同一大圆路径的双台记录,这样选择的 余地更小。 西部地区的地形起伏大,横向结构的 差异强,因而在面波的传播过程中,其振幅受散射和 聚焦等因素的影响相对较强。我们采用类似于 Romanowicz(1995)^[10]对于资料的选取方式,舍去那些 焦散效应强烈的路径,以削弱焦散效应对结果的影 响。首先从穿越西部地区所有双台大圆路径(1983 ~ 1986,1988~1992)中,选出双台 Rayleigh 波记录都 比较清晰的 8 条大圆路径,提取出相应震中到台站 的振幅谱,再由地震 Q 波到达两台的先后次序以及 振幅谱的相对衰减,估计相应大圆路径的焦散效应,

$$\frac{-c}{c} = \frac{1}{4k^2 UcI_1} \left[2S_1 (-\frac{1}{4k^2})^2 + \frac{1}{4k^2} \frac{1}{2k^2} \right]^2 \frac{1}{2k^2};$$

$$S_2 = \left[(kr_2 - \frac{1}{4k^2})^2 - 4kr_1 \frac{1}{4k^2} \frac{1}{2k^2} \right]^2;$$

$$S_3 = S_1 + S_2 - \frac{1}{2k^2} \left(r_1^2 + r_2^2 \right);$$

k — 波数; *U* — 群速度; *r*₁ — 水平方向的位移振 幅; r2 — 垂直方向的位移振幅; — 圆频率。

Brune 等人的研究表明,瑞利面波的相速度频散 对于纵波速度 、横波速度 以及密度 变化的敏感 程度不一样,瑞利波相速度对横波速度的变化比较 敏感,而对纵波速度和密度的变化敏感程度响较弱。

[基金项目]国家自然科学基金项目(49974008);中国科技大学青年基金资助课题。

并以此为依据,确定资料的取舍,最终选取出满足要 求的3条双台大圆路径(表1)。

三王 1	ホムー回吸えたね広的地震車	14-
<u>तर</u> ।	从口入回的1721120116章	

双台路径	日期	时间 ORIGIN TIME	LATITUDE (N DEG)	LONGITTUDE (E DEG)	М
CDUWMQ	1983.1.5	04:28:10.2	9.7	122.3	5.8
GTA - ŁSA	1991.2.21	02:35:34.0	58.4	175.5	6.2
LZH – GTA	1986.6.3	14:40:05.6	10.3	126.1	5.5

2 资料的处理及反演公式

我们采用窄带通滤波 -- 互相关函数的方法,得 到了双台之间大圆路径上的不同周期瑞利面波的走 时,由此可计算出双台之间地震面波的相速度频 散^[1]。把上述相速度频散作为输入资料,借助于反 演理论 .并可求得各点下方地壳上地幔的横波速度 结构 .这样我们就可以获得研究区域地壳上地幔的 横波速度结构。反演中要用到瑞利面波相速度 c 的 频散的变化与地下体波速度变化的关系^{[19][1]}:

$$+2S_2(-) + S_3(-) dz$$
 (1)

由于分辨率的有限性,在反演中我们将地壳上地幔 分为 10 层,在每一层内假设介质是均匀的。与以往 的一些研究不同,我们不但将每一层内的横波速度

作为反演参数,而且将每一层的层厚 h 作为反演 参数,各层的纵波速度 和密度 则由它们与横波 速度的以下经验关系求得。

$$=\sqrt{3}$$
 (2)

$$= 0.768 + 0.301 \tag{3}$$

利用(2)式和(3)式可以消去(1)式中的 和. 这样得到瑞利面波相速度 c 的频散的变化与地下横 波速度 变化的关系。

58

[[]收稿日期]1999-11-18;[责任编辑]王延忠。

在对长周期面波记录进行处理,以提取相应路 径群速度频散和振幅谱过程中,主要采用多重滤波 和 Hilbert 变换方法,同时为提高对高频段信号的频

 Q_R

率分辨,取高斯参数随周期而变化^[1]。

Rayleigh 面波品质因子和成层介质中各层固有 0 存在下列关系^{[11][1]}:

$${}^{1}(T,x) = \frac{U(T,x)}{C(T,x)} {}^{N}_{l=1} \left\{ \frac{l(x)}{CT(T,x)} \frac{\partial C(T,x)}{\partial_{l}(x)} + \frac{l(x)}{C(T,x)} \frac{\partial C(T,x)}{\partial_{l}(x)} \right\} Q^{-1}_{l}(x)$$
(4)

再将 $Q_R^{-1}(T, x) = \frac{T(T, x) U(T, x)}{U(T, x)}$ 和 l(x) = 1.73 l(x) 代入上式得:

$$(T, x) = \frac{1}{T} \int_{I=1}^{N} I(x) \left\{ \frac{1}{C^{2}(T, x)} \left[\frac{\partial C(T, x)}{\partial I(x)} + \frac{1.73}{\partial O(T, x)} \right] \right\} \int_{T}^{Q} \int_{I}^{-1} I(x)$$
(5)

其中, ₁(x), _Q₁(x), ₁(x), _Q₁(x) 分别表示 第 *l* 层的纵波速度和相应 *Q* 值, 横波速度和相应的 *Q* 值; 是纵波和横波的品质因子之比; *T* 是周期; *U*(*T*, *x*), *C*(*T*, *x*), (*T*, *x*) 分别是 Rayleigh 波的相 速度,群速度和衰减因子。

3 地壳、上地幔平均速度和 Q 结构及讨论

Schlue & Hostettler (1987)^[13]采用有限元的方法, 分析了两个通过 Rio Grande 断裂的横向不均匀模型 的相速度频散。对于具有垂直侧壁的峡谷,其相速 度比根据平面层状结构估计的相速度仅高 0.04 km/s ~0.05 km/s。Levander (1993)^[9]的研究表明:Rayleigh 波频散对波导的不规则性不是很敏感,除非波导有很 剧烈的变化,可用 Rayleigh 波频散来代替观测台阵下 的平均地球层状结构的频散。对于穿越西部地区的 双台路经,我们根据其观测的相速度频散,反演出相 应路径下的地壳、上地幔的平均速度结构。

Winkler & Nur (1982)^[14]、Mitchell (1980)^[15]和 Cheng & Mitchell (1981)^[16]的研究结果显示:衰减对 地球介质结构和性质的变化比波速更为敏感,而且 一般来说,地质构造活动地区,散射和吸收都相对较 强,因而根据 Rayleigh 波记录所得到的 Q 结构也更 容易反映出构造活动性的差异。由于中国西部地区 的地形起伏大,横向不均匀强,特别是在浅层,因而 相应于面波高频段的散射不可避免,所以根据双台 Rayleigh 波记录所反演出的相应路径地壳平均 Q 结 构,应该是散射和本征衰减的总体效应,但随着深度 的增加,介质的非完全弹性对波的衰减作用也许更 为重要。Jackson & Anderson (1970)^[18]的研究认为:在 上地幔低速带,部分熔融对衰减起主要作用。由于 受所使用资料的频宽限制,反演所得的Q结构在深 度上的分辨到 130 km 开始变得模糊,因而也只能比 较好地反映上地幔顶部的衰减结构。

图 1、图 2 是相应于兰州—高台路径地壳和上 地幔平均速度和 Q 结构的反演结果。其结果显示:





图 2 兰州 —高台路径地壳和上地幔结构

1) 莫霍面的平均深度约为 53 km,上地幔低速 层埋深浅,约在 72 km的深度上开始出现,上述结果 基本上和陈立华、宋仲和(1992)^[2]结果相一致。

2)从平均Q 结构图可以看出:地壳中Q 的平均值为 154,在深度为6 km~20 km 的地壳中,存在 一低,值约为60,而在其下20 km~34 km 深度内,存 在一高Q,Q 值约为300。上地幔中Q 的平均值为 53(小于150 km 深度),上地幔中的低Q 层和低速 层相对应,约在72 km 的深度上开始出现上地幔低 Q 层,层中Q 值约为48。本剖面上地幔低和低速 层埋深较浅可能与青藏高原沿东北向的挤压、逆冲 有关,同时该剖面横越祁连山—河西走廊地震带,该 地震带内 M_s 7 的地震绝大多数位于 12 km ~ 22 km 之间,地壳中 Q 低值层正好处于这一深度范围内。

图 3、图 4 是相应成都 — 乌鲁木齐路径地壳和 上地幔平均速度和 Q 结构的反演结果。其结果显 示:1) 莫霍面的平均深度约为 56 km。上地幔中在 86 km~121 km、121~156 km分别对应速度值为 4.3 km/s、4.0 km/s 的低速层,但对于 121 km~156 km 深度上低速层的分辨较差。2)从平均 Q 结构图可 以看出:地壳中 Q 的平均值为 128,在深度为 19 km ~34 km的地壳中,存在一显著的高 Q 层,Q 约为 300,其高 Q 层上下层 Q 值分别为 66 和 60。上地 幔中的平均值为 63,上地幔中 Q 在 86 km~121 km、 121 km~156 km 分别对应 Q 为 56、45 的低 Q 层, 但 121 km~156 km 深度上分辨较差。





图 4 成都 — 乌鲁木齐路径地壳和上地幔结构

图 5、图 6 是相应于高台 —拉萨路径地壳和上 地幔平均速度和 Q 结构的反演结果。其结果显示: 1)莫霍面的平均深度约为 66 km。上地幔低速层的 埋深约为 84 km,与周兵、朱介寿等(1991)所给出的 相应于高台到拉德满都剖面上的结果相比,莫霍面 的平均埋深相当,上地幔低速层的埋深稍浅。2)从 平均Q 结构图可以看出:地壳中Q 的平均值为88, 在深度为15 km~29 km 的地壳中,存在一高Q 区 域,Q 值约为200,而在其下29 km~46 km 深度内, 存在一低Q 层,Q 值约为50。地幔中Q 的平均值 为48,在深度为84 km~104 km、104 km~144 km 的 地幔中,存在Q 值分别为40和35 的低Q 层,但 104 km~144 km 深度上分辨较差。与兰州—高台路 径地壳、上地幔中低Q 层相比埋深加深。



图 6 高台 — 拉萨路径地壳和上地幔结构 由于受资料数量、质量的限制,加之双台路径下 Q 反演对资料的苛刻要求以及西部结构的复杂性, 相应于 3 条大圆路径地壳、上地幔速度和 Q 平均结 构只能反映西部地壳、上地幔顶部结构的大致轮廓, 但我们希望通过上述工作能为将来的进一步研究打 下一个基础。

4 结论

与 3 条双台大圆路径相对应的莫霍面深度,高 台 —拉萨路径莫霍面最深约为 66 km,其次是成都 —乌鲁木齐路径为 56 km,兰州 —高台路径莫霍面 深度最浅,为 53 km。基本反映了西部地区莫霍面 起伏的趋势。对应于兰州 --高台路径,在约 72 km 深度的上地幔中开始出现低速层,但91 km~131 km 深度范围内的低速层最明显;对应于成都 ---乌鲁木 齐路径,在约86 km 深度的上地幔中开始出现低速 层,但 121 km~156 km 深度范围内的低速层最明 显:对应于高台 --拉萨路径,在约 84 km 深度的上地 幔中开始出现低速层,但104 km~145 km 深度范围 内的低速层比较明显。对应于兰州 --高台路径,在 深度为 6 km ~ 20 km 的地壳中,存在一低 Q 层,而 在其下 20 km~34 km 深度的地壳中存在一高 Q 夹 层,在约72 km 深度的上地幔中开始出现低 Q 层; 对应于成都一乌鲁木齐路径,在深度为 19 km~34 km的地壳中,存在一显著的高Q层,而其高Q层 的上下壳层,均为低 Q 层,上地幔中在 121 km 深度 开始出现明显的低 Q 层:对应于高台 --拉萨路径, 在 15 km~29 km 深度的地壳中,存在一高 Q 夹层, 而在其下 29 km~46 km 深度内,存在一低 Q 层,在 深度为 84 km 的上地幔中,开始出现层。将上述 3 条路径相应的地壳、上地幔 Q 结构进行比较,不难 发现:地壳中平均的 Q 值,相应高台—拉萨路径最 低,其次是成都--乌鲁木齐路径,再次是兰州--高台 路径。地幔中平均的 Q 值,相应高台-拉萨路径最 低,其次是兰州 --高台路径,再次是成都 ---乌鲁木齐 路径,但相互间的差异较小。与中国东部地区地壳、 上地幔平均 O 值相比,穿越西部 3 条剖面地壳平均 O 值明显较低,但上地幔的平均O 值基本相当,说 明中国西部地区地壳的构造活动性明显比东部地区 强,但上地幔的构造活动性差异要比地壳小得多。

[参考文献]

- [1] 李光品.中国东部的面波层析成像及西部部分剖面的平均结构 [D],见:中国科学技术大学博士学位论文,1997.
- [2] 陈立华,宋仲和,安昌强,等.中国南北带地壳上地幔三维面波 速度结构和各向异性[J].地球物理学报,1992,35:574~583.
- [3] 陈国英,曾融生.用地震面波频散研究喜马拉雅山与西藏高原 岩石圈构造差异[J].地球物理学报,1985,28(增刊1):161~
 173.
- [4] 孙若昧,刘福田,刘建华.四川地区的地震层析成像[J].地球物

理学报,1991,34:708~716.

- [5] 徐果明,李跃,李光品,等.关于区域性的地震面波层析反演方法的讨论[J].地球物理进展,1994,9(2):43~53.
- [6] 曾融生,孙为国,毛桐恩,等.中国大陆莫霍界面深度图[J].地 震学报,1995,17:322~327.
- [7] 冯锐,周海南.青藏高原的地壳Q结构.地球物理学报[J]. 1985,28(增刊):174~184.
- .[8] 周兵,朱介寿,等.青藏高原及邻近区域的 S 波三维速度结构 [J].地球物理学报,1991,34:426~441.
- [9] Levander A R. 近地表地震波的散射,见:《地震波的散射与衰 减》,吴如山、安艺敬一主编,李裕澈、卢寿德等译[C].北京:地 震出版社,1993.155~172.
- [10] Romanowicz B. A global tomographic inversion model of shear attenuation in the upper mantle [J]. 100, 1995 (12), 375 ~ 12, 394, 1995.
- [11] Anderson D L ,Ben Menahem A ,Archambeau C B. Attenuation of seismic energy in the upper mantle [J]. J. Geophys. Res. ,1965 (70) : 1441 ~ 1448.
- [12] Guoming Xu, Guangpin Li, Hushun Zhou, Yang Xu, Shanen Wang, Hong Chen (1996): 3 - D velocity and Q structure beneath East Chinese Continent inverted by Raylaigh Waves[A]. 30th international Geological Congress ,abs ,111 No. 00747.
- [13] Schlue J W, Hostettler K K. Rayleigh wave phase velocity and amplitude values in the presence of lateral heterogeneities [J]. Bull. Seismol. Soc. Am. 1987 (77) :244 ~ 255.
- [14] Winkler K, Nur A. Seismic attenuation : effects of pore fluids and frictional sliding[J]. Geophysics ,1982(47) ,1 ~ 15.
- [15] Mitchell B J. Frequency dependence of shear wave internal friction crust of eastern North America[J].J. Geophys. Res. ,1980(85):5212 ~ 5218.
- [16] Cheng C C, Mitchell B J. Crustal Q structure in the United States from multi - mode surface waves[J]. Bull. Seism. Soc. Am. ,1981 (71) :161 ~ 181.
- [17] Hwang H J ,Mitchell B J. Shear velocities and ,Q , the frequency dependence of ,Q in stable and tectonically active regions from surface wave observations [J]. Geophys. J. R. Astr. Soc. ,1987 (90) : 575 ~ 613.
- [18] Jackson D D, Anderson D L. Physical mechanism of seismic attenuation, Rev, Geophys[J]. Space Phys. ,1970(8) :1 ~ 63.
- [19] Aki K, Richards P G. San Francisco: Quantitative Seismology Theory and Methods [J]. W. H. Freeman and Company, 1980.
- [20] Birch F. Composition of earth 's mantle [J]. Geophys. J. Astr. Soc., 1961 (4) :295 ~ 311.

VELOCITY AND Q IN THE WESTERN CONTINETAL CHINA

LI Guang - pin, GAO Er - gen, XU Guo - ming

Abstract :By using a method which minimizes the effects of scattering and focusing, we select three two - station paths across the western continental China. eastern china thoroughly. Based on the dispersion of phase and group velocity and attenuation factor corresponding to each path, we acquire the wave velocity and Q structure under the crust and upper mantle. Corresponding to the Lanzhou - Gaotai path, low - velocity and low - Q layer appear in the upper mantle at about the depth of 72 km; in the crust, there is a low - Q layer between 6 and 20 km deep, and a high - Q layer between 20 and 34 km deep. Corresponding to the Chengdu - Wulumuqi path, there is an obvious high - Q layer in crust between the depth of 19 and 34 km with both low - Q adjacent layers; in the upper mantle obvious low - Q and low - velocity layer appears at the depth of 121 km. Corresponding to the Gaotai - Lasa path, in the crust a high - Q layer exists between the depth of 15 and 29 km, below it there is a low - Q layer between the depth of 29 and 46 km, low - Q layer and low - velocity begins to appear in the upper mantle at about 84 km deep.

Key words :Western China , Dispersion of surface waves , Attenuation factor , S - wave velocity and Q

(下转第65页)

61



图 9 拜城陆地声纳法静校正后的单炮记录

LANDSONAR METHOD OF STATIC CORRECTION

SUN Hong - zhi ,NING Shu - nian ,LI Yi

Abstract : High resolution seismic prospecting on the hill region had been produced a new necessity of providing more exact static correction. This article is related a kind of the method using the landsonar, through some projects, we had acquired a good reputation.

Key words Landsonar, static correction, hill region, seismic prospecting



孙宏志(1959 年 -),男。1982 年毕业于中国矿业大学地质系地球物理勘探专业,1987 年在中国矿业大 学北京研究生部计算机应用专业获硕士学位。现任中国矿业大学(北京)计算中心副教授,主要从事应用地 球物理和计算机专业的科研和教学工作。现为中国矿业大学应用地球物理专业博士研究生(在职)。 通讯地址:北京学院路丁 11 号 中国矿业大学(北京校区)计算中心 邮编:100083

(上接第 61 页)



李光品(1966年-),男。1987年毕业于安徽师范大学物理系,1997年获中国科技大学地球物理博士学位,1997留校任教,1999年赴瑞典Uppsala大学作博士后研究工作。主要从事地球动力学、地震面波层析成像及地震资料处理教学和研究工作工作。

通讯地址:安徽省合肥市金寨路96号 中国科技大学七系 邮政编码:230026