

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 利用天然地震震相探讨阿尔金地区地壳结构

薛光琦 姜 枚 史大年 宿和平

(中国地质科学院矿床地质研究所,北京,100037)

**内容提要** 本文利用阿尔金地区的宽频地震数据,对布设在该区的10个宽频地震台站用接收函数方法进行了速度结构反演。反演的初步结果发现,若羌至花土沟剖面在20 km深度处有一条厚度达5~10 km的低速带断续出现,莫霍界面呈台阶状展布,北部浅,南部深;塔里木盆地南缘的地壳厚度为40~42 km左右;在阿尔金山南、北缘断裂两侧台站下方莫霍深度的错断约6.5~8 km,在柴达木盆地北缘,莫霍面的深度达50 km以上,S波速为4.5 km/s。

**关键词** 阿尔金地区 宽频地震 接收函数 地壳结构

阿尔金断裂总体呈ENE方向延伸,全长约1600 km,是中国西部最重要的走滑断裂,已成为近十余年来构造地质学研究的热点之一<sup>[1~7]</sup>。为了获取阿尔金断裂带更详细的信息,1995年8月至1996年2月中法合作项目,在阿尔金山地区布设了54台无人值守宽频带数字记录地震台站(图1),其中三分量宽频带数字地震仪25台,配备的是L3D/5 s检波器。仪器的采样率为40 ms。6个月的野外观测,记录到大量的地方震和来自世界各地的远震资料。本文利用10个台站记录的远震体波波资料,研究相应台站下面的速度结构(图2)。

## 1 接收函数反演及速度结构分布

### 1.1 接收函数反演

对于离散的台站,接收函数分析是一种研究台站下方的地壳及上地幔结构的有效方法。P波接收函数分析需要估计震源函数并消除其影响。通常的做法是反褶积。基本设想是,接收函数由仪器响应、传播介质以及震源波褶积得到。震源等效可假设为垂向分量是脉冲函数。所以,径向分量被垂向分量反褶积,从而除去震源和仪器的影响<sup>[8,9]</sup>。最后的P波接收函数 $r(t)$ 的主要特征是P到S的转换以及多次波: $r(t) = \int R(\omega)/Z(\omega)e^{i\omega t}d\omega$ ,式中 $R(\omega)$ 、 $Z(\omega)$ 分别为台站下方介质响应的径向和垂向分量。

目前国内外普遍采用的方法是建立在Langston<sup>[10,11]</sup>等效源方法理论上,并由Owens等<sup>[12,13]</sup>发展的时间域反演技术,可以直接由单个台站接收函数反演或正演以推断台站下方地壳及上地幔结构。笔者从45~81°范围内远震中选出震级5.0以上,来自SE方向的8次事件进行接收函数反演。同时,选择事件覆盖量5次以上的10个台站,这些台站均跨越阿尔金断裂系。首先,对各个台站的实测数据进行滤波预处理,低通滤波频带宽选为0.2~1.0 Hz,然后将计算的接收函数进行叠加处理,得到反演所需的实测接收函数曲线,图3是A20、A22、A26台站接收函数径向分量和切向分量;同时参考邻区地震测深所提供的深部信息<sup>[14]</sup>,给出每个台站下方地壳上地幔结构模型。反演选定地震事件时间窗口为40 s,模型最大深度为80 km。

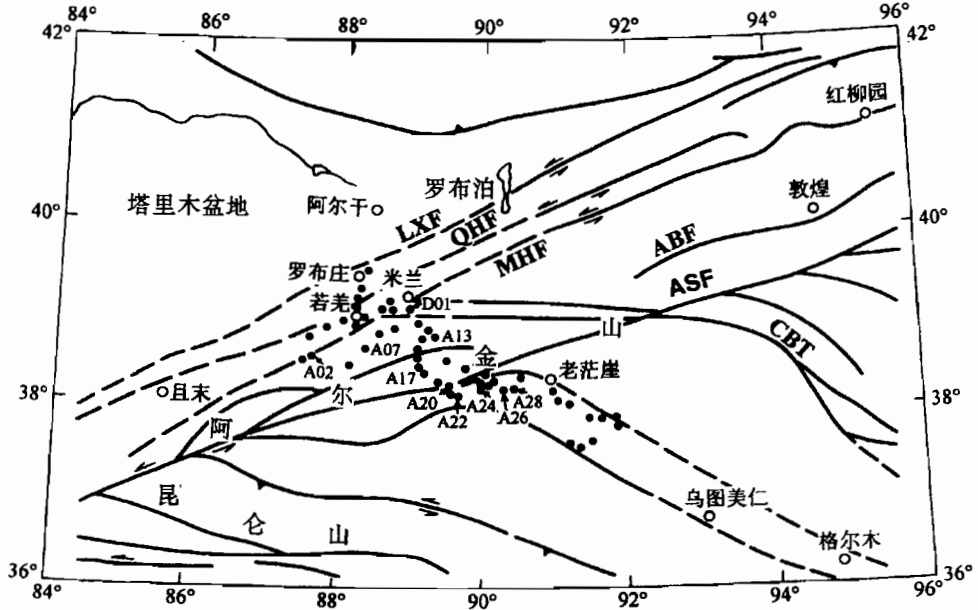


图 1 阿尔金地区构造图(地质底图据崔军文,1996<sup>①</sup>)

Fig. 1 Structure map of Altun area (geology map from Cui Junwen,1996)

实心点为台站,其中标有数字的为反演所挑选的三分量台站;ABF—阿尔金北缘断裂;ASF—阿尔金南缘断裂;LXF—罗布庄—星星峡断裂;MHF—米兰—红柳园断裂;QHF—且末—黑尖山断裂;CBT—柴达木北缘左行走滑-逆冲断裂  
 Solid points represent stations and solid points with figure represent three componets sations for inversion;ABF—north Altun fault;ASF—south Altun fault;LXF—Luobuzhuang—Xingxingxia fault;MHF—Milan—Hongliuyuan fault;QHF—Qiemo—Heijianshan fault;CBT—north Qaidam lift-strick-slip-thrust

### 1.2 速度结构分布

图 3 中 A20、A22 和 A26 台站接收函数径向分量分别在 7.0 s、5.1 s、7.5 s 处见到较清晰的 Ps 转换波震相,这是很重要的速度界面。图 2(a)为反演得到地壳及上地幔的 S 波速度结构。近地表 0~9 km 深度 S 波速 < 3.35 km/s。在 A17 台站(阿尔金北缘断裂)以北,10~20 km 深度有一条速度为 3.0~3.4 km/s 的低速带,30 km 深度以上 S 波速 < 3.8 km/s。在 A20 台站以南(阿尔金南缘断裂)低速带分布在 17~30 km 深度范围。而在阿尔金南、北缘断裂之间,这条低速带可自 20 km 延深至 35 km。

Moho 界面分布不连续、有起伏。位于剖面北部延伸及塔里木盆地边缘的 A02、A07 台站下方地壳厚度分别为 42 km、40 km。D01 台站下方 Moho 呈上升趋势,达到 38.5 km,在 A13 台站 Moho 又降至 41.5 km。自 A02—A13 台站近 120 km 距离内,Moho 形状为一拱形,地壳最厚和最薄点相距 3.5 km。A13 和 A17 台站间是阿尔金北缘断裂带,Moho 在此处有 6.5 km 的错断,A17 台站地壳厚度约为 48 km,A20 台站下方 Moho 深 48 km 左右,此段剖面中 Moho 界面起伏平缓。再向南延伸,Moho 又发生约 6 km 错断,A22 台站的地壳厚度抬升为 42 km,但很薄,在此台站上方约 59 km 深处,又出现一层  $V_s > 4.5$  km/s 的界面。A22 与 A24 台站间是阿尔金南缘断裂带,此处 Moho 发生断错,断距为 8 km,即 A24 台站 Moho 深度为 50 km。剖面

① 崔军文. 阿尔金断裂系. 1996.

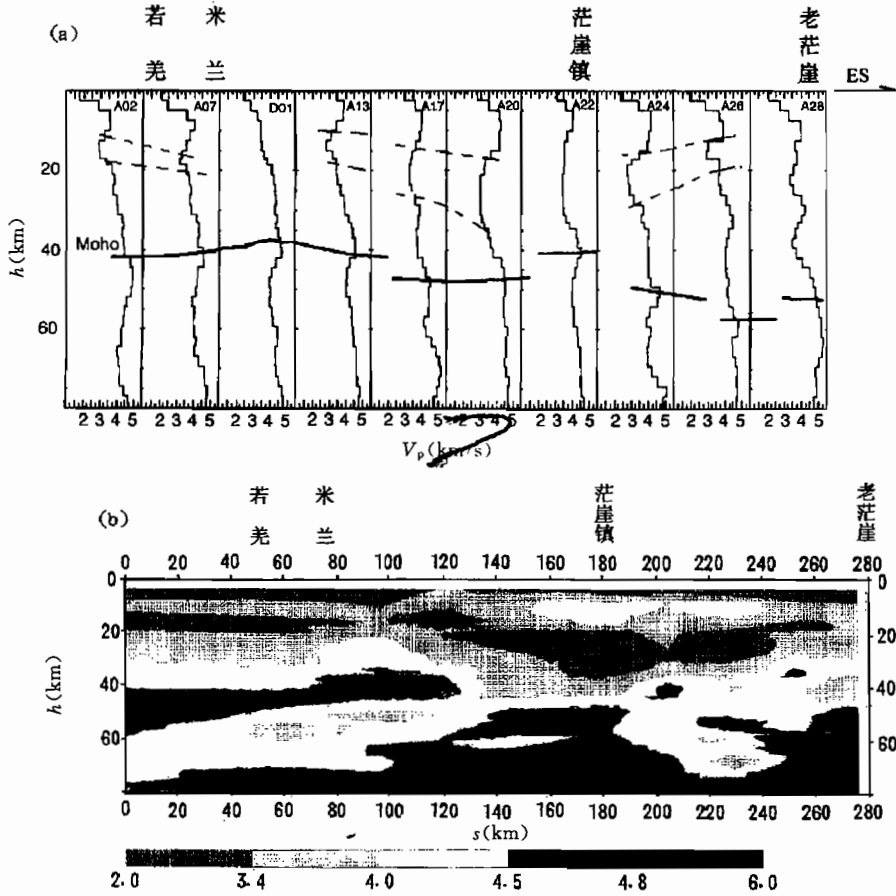


图 2 (a) 地壳及上地幔的 S 波速度结构和 (b) 地壳及上地幔速度结构推断图  
 Fig. 2 S-wave velocities (a) and explanation result (b) in crustal and upper mantle  
 虚线— $V_s \leq 3.5$  km/s 的边界; 实线—Moho 和  $V_s = 4.5$  km/s  
 Dashed line—upper and lower boundary of  $V_s \leq 3.5$  km/s; solid line—Moho and  $V_s = 4.5$  km/s

南部伸入柴达木盆地, A26、A28 台站下方地壳厚度分别为 56 km, 52 km。

### 1.3 PKP 走时与莫霍面起伏

PKP 是穿过地核几乎垂直入射的 P 波, 它的走时变化主要是由于岩石圈内部垂向速度变化引起的。Moho 是产生 PKP 走时异常的主要因素, 因此利用 PKP 的走时残差的相对变化, 可以粗略估计 Moho 的相对起伏。图 4 是 10 个单分量台站 PKP 走时残差曲线(史大年, 1996)<sup>①</sup>。可以看到剖面北部 Moho 其形态与用接收函数反演得到的 Moho 起伏十分相似。

## 2 讨论

接收函数方法在天然地震数据处理中, 只需利用单个台站的信息即可得出台站下方的速度结构。在实测资料的处理中, 初始模型参数选择的准确度是反演可靠性的关键因素。

参考格尔木—额济纳旗地学断面的地壳结构与深部构造研究<sup>[14]</sup>所提供的信息, 构造了初始模型, 反演结果显示了阿尔地区深部构造的 3 个特点: ① 全线在 20 km 深度上下有一条低

① 史大年, 阿尔金断裂带地壳和上地幔结构的 P 波层析成像, 1996, 6~8。

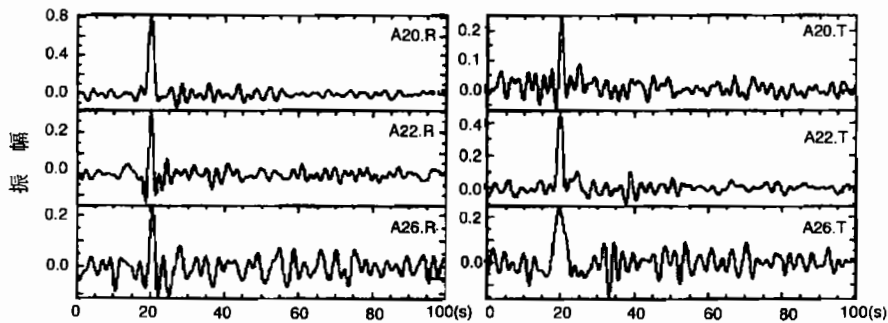


图 3 接收函数曲线的径向和切向分量

Fig. 3 Radial and tangential component of receive function

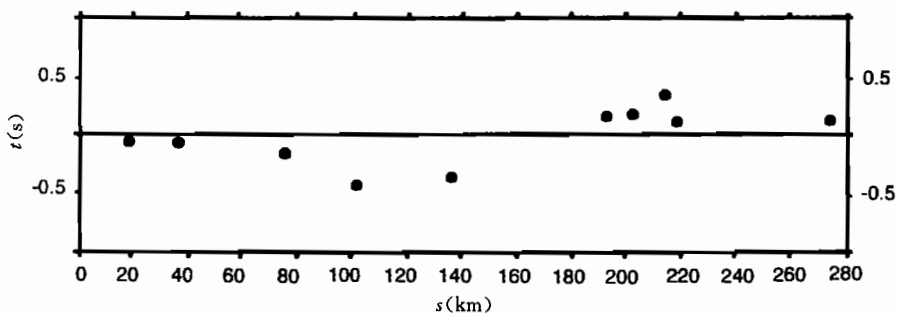


图 4 PKP 走时残差曲线

Fig. 4 PKP arrival residuals curve

速带断断续续地出现,厚度一般可达 5~10 km,最厚处(A20 台站附近)可达到 15 km 左右,速度值在 3.0~3.4 km/s 之间变化。② 莫霍界面呈台阶状展布,北部浅,南部深;塔里木盆地边缘地壳厚度为 40~42 km,然后有个小小的起伏(D01 台站)为 38.5 km,在阿尔金北缘断裂南北两侧台站下方莫霍面深度错断达 6.5 km,断裂带以南,莫霍界面较为平缓;阿尔金南缘断裂带附近又是莫霍面变化梯度大的地区,有 8 km 的错断。在柴达木盆地边缘处,莫霍面的深度达 50 km 以上,S 波为 4.5 km/s。③ 阿尔金南缘断裂在中、上地壳中的速度结构分布突变性不明显,但在下地壳和上地幔,速度分异较大,Moho 界面出现错断;阿尔金北缘断裂中,地壳内的低速层及 Moho 界面均出现较直立的错断,这些似乎显示了阿尔金南北缘断裂在 60 km 之上仍是基本陡立的。

可以认为,在古生代末塔里木地块与中朝地块拼贴,阿尔金断裂形成后,白垩纪末至早第三纪,向北漂移的印度板块与欧亚大陆碰撞,巨大的碰撞力在阿尔金断裂带受到北部刚性塔里木地块—中朝地块的阻挡,使南侧地层遭到强烈挤压,产生一系列线状褶皱及大规模叠瓦式断裂构造。陆-陆碰撞于晚第三纪达到高潮,阿尔金断裂略向反时针方向转动,其力学性质也由原来的挤压性转化为左行走滑为主<sup>[2,15,16]</sup>。剧烈的变化一方面使得上地幔的软流物质受到扰动沿断裂上升,造成壳内的低速层,另外还使得莫霍界面遭受到切割错断,呈不连续状态分布。

### 参 考 文 献

- 1 张显庭,郑健康,苟金,廖秀深,洪哲生,刘健民. 阿尔金山东段槽型晚奥陶世地层的发现及其构造意义. 地质论评, 1984,30(2):184~186.

- 2 国家地震局“阿尔金活动断裂带”课题组. 阿尔金活动断裂带. 北京:地震出版社, 1991. 10~50.
- 3 《地质论评》编辑部. 阿尔金断裂系是陆内转换断裂系. 地质论评, 1994, 40(3): 288.
- 4 孙勇, 刘池阳, 车自成. 阿尔金山拉配泉地区元古宙裂谷火山岩系及其构造意义. 地质论评, 1997, 43(1): 17~24.
- 5 张建新, 许志琴, 崔军文. 一个韧性转换挤压带的变形分解作用——以阿尔金断裂带东段为例. 地质论评, 1998, 44(4): 348~356.
- 6 郭召杰, 张志诚. 阿尔金盆地群构造类型与演化. 地质论评, 1998, 44(4): 357~364.
- 7 周勇, 潘裕生. 阿尔金断裂早期走滑运动方向及其活动时间探讨. 地质论评, 1999, 45(1): 1~9.
- 8 赵珠, 曾融生. 西藏高原地壳上地幔 P 波和 S 波速度结构. 地震学报, 1992, (14 增刊): 573~579.
- 9 朱露培. 利用宽频带远震体波波形研究青藏高原地壳上地幔速度结构的初步结果. 地震学报, 1992, 14(增刊): 580~591.
- 10 Langston C A. The effect of planar dipping structure on source and receiver responses for constant ray parameter. Bull. Seismol. Soc. Am., 1977, 67: 1029~1050.
- 11 Langston C A. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves. J. G. R., 1979, 84: 4749~4762.
- 12 Owens T J, Zandt G, Taylor S R. Seismic evidence for ancient rift beneath the Cumberland Plateau. Tennessee; A detailed Analysis of Broadband Teleseismic P Waveforms. J. G. R., 1984, 89(B9): 7783~7795.
- 13 Owens T J, Taylor S R, Zandt G. Crustal structure at regional seismic test network stations determined from inversion of broadband teleseismic P waveforms. Bull. Seism. Soc. Amer., 1987, 77: 631~662.
- 14 王泽九, 吴功建, 肖序常. 格尔木至额济纳旗地学断面研究文集. 地球物理学报, 1995, 38(增刊 I): 1~6.
- 15 姜枚, 吕庆田, 薛光琦. 中法两国联合进行青藏高原天然地震探测地壳结构的研究. 地球物理学报, 1994, 37(3): 412~413.
- 16 姜枚, 吕庆田, 史大年, 薛光琦, Poupinet G, Hirn A. 用天然地震探测青藏高原中部地壳、上地幔结构. 地球物理学报, 1996, 39(4): 470~481.

## Study of the Crustal Structure in the Altun Area Using the Teleseismic Phase

Xue Guangqi, Jiang Mei, Shi Danian and Su Heping

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037)

### Abstract

Inversion on velocity structure was conducted applying the receiver function to the data from 10 of the broad-band teleseismic stations deployed in the Altun area. The tentative results show an intermittent low-velocity zone 5~10 km thick at a depth of around 20 km along the Ruoqiang-Huatugou profile. The Moho is step-like, being shallow in the north and deep in the south. The crustal thickness is 40~42 km in the southern Tarim Basin. A drop of 6.5~8 km in Moho depth is present beneath the stations on the sides of the Altun south-margin and north-margin faults, while the Moho depth beneath the northern margin of the Qaidam basin is up to over 50 km with an S wave velocity of 4.5 km/s.

**Key words:** Altun area; broad-band teleseismic; receiver function; crustal structure

### 作者简介

薛光琦, 女, 1950年生。1976年毕业于长春地质学院地球物理系。现为中国地质科学院矿床地质研究所副研究员, 主要从事深部构造及地球物理方法的研究工作。通讯地址: 100037, 北京西城百万庄路 26 号矿床地质研究所。