

## 用接收函数反演甘肃测震台网下方的 S 波速度结构

安张辉<sup>1,2</sup>, 吴庆举<sup>3</sup>, 周民都<sup>1,2</sup>

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要:**利用接收函数方法对甘肃测震台网下方的一维 S 波速度进行了研究。结果显示甘肃测震台网各个台站下方地壳内部可分为两层: 第一层深度为 20~25 km 之间; 第二层为 Moho 界面, 其平均深度约为 50 km, 界面上表面的速度约为 3.8 km/s, 界面底部的速度约为 4.5 km/s。

**关键词:**甘肃测震台网; 接收函数; S 波速度结构

**中图分类号:** P315.3<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0844(2006)03-0263-05

### The S-wave Velocity Structure under Gansu Seismic Network Inversed by Receiver Function

AN Zhang-hui<sup>1,2</sup>, WU Qing-ju<sup>3</sup>, ZHOU Min-dou<sup>1,2</sup>

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Using the method of receiver function the S-wave velocity structure under Gansu seismic network is studied. It is concluded from the inversion results that the crust under Gansu seismic network consists of two layers, the depth of the first layer is between 20 km and 25 km; the second interface is Moho, with the average depth of about 50 km. The velocity above this interface is about 3.8 km/s, and on bottom of this interface is about 4.5 km/s.

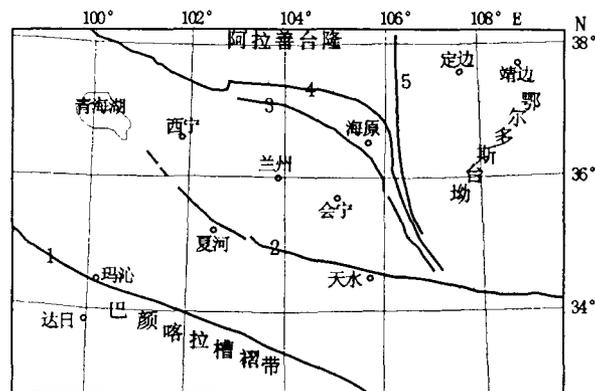
**Key words:** Gansu seismic network; Receiver function; S-wave velocity structure

## 0 引言

青藏高原是现今唯一还在继续进行着大陆碰撞和俯冲的地区。它不仅是板块学说研究的热点和地震研究的重点地区, 也是我国地震活动水平最高、强度最大的地区。甘肃省位于青藏高原的东北边缘, 因此研究甘肃省测震台网各台站下方的 S 波速度结构对于研究青藏高原的深部构造, 活动地块划分, 大陆内部强震成因以及地球动力学问题有重要的意义。

## 1 区域构造特征

青藏高原东北缘为三大构造交汇地区, 是一个典型的三联点构造<sup>[1]</sup>(图 1)。区内西南部是内部结



1. 玛沁断裂; 2. 秦岭地轴北缘断裂; 3. 西华山六盘山断裂;  
4. 香山北麓李旺堡断裂; 5. 青铜峡固原断裂

图 1 研究区构造简图

Fig. 1 Tectonic sketch map of study region.

收稿日期: 2006-06-10

中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20060037

作者简介: 安张辉(1978-), 男(汉族), 山西运城人, 硕士, 主要从事地震数字信号处理和地球动力学研究。

构复杂、活动强烈、介质强度较低的青藏高原；西北部是沉积盖层很薄、基底隆起且古老的阿拉善块体；东部是完整而稳定的鄂尔多斯块体。区内地形地貌复杂变化剧烈，地形高程从青藏高原东北缘的海拔4 000 m降至鄂尔多斯的1 000 m。区内被深大断裂交错切割，构造活动强烈，地形地貌复杂，以北西—北西向西断裂构造展布为其主要特征，地震异常活跃。新构造运动及现今构造变动主要受青藏高原现今隆起所制约<sup>[2]</sup>。我国著名的南北地震带就从该区穿过。

## 2 接收函数方法

Langston<sup>[3]</sup>认为一系列水平分层或倾斜分层介质底部入射的平面P波产生的地表位移响应在时间域可表示成

$$\begin{cases} D_V(t) = I(t) * S(t) * E_V(t) \\ D_R(t) = I(t) * S(t) * E_R(t) \\ D_T(t) = I(t) * S(t) * E_T(t) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)只限于远震P波波。其中 $S(t)$ 代表入射平面波的有效震源时间函数； $I(t)$ 代表仪器的脉冲响应； $E_V(t)$ 、 $E_R(t)$ 、 $E_T(t)$ 分别代表介质结构脉冲响应的垂直分量、径向分量和切向分量；\*表示褶积。

对许多波形简单的远震事件的观测表明<sup>[4]</sup>，介质结构响应的垂直分量近似为Dirac函数，即

$$E_V \approx \delta(t) \quad (2)$$

于是

$$D_V \approx I(t) * S(t) \quad (3)$$

如果三分量地震仪的脉冲响应都一致的话，那么用 $D_V(t)$ 对 $D_R(t)$ 和 $D_T(t)$ 分别作反褶积处理就可以得到 $E_R(t)$ 和 $E_T(t)$ ，反褶积在频率域可表示为

$$E_R(\omega) = \frac{D_R(\omega)}{I(\omega) * S(\omega)} \approx \frac{D_R(\omega)}{D_V(\omega)} \quad (4)$$

$$E_T(\omega) = \frac{D_T(\omega)}{I(\omega) * S(\omega)} \approx \frac{D_T(\omega)}{D_V(\omega)} \quad (5)$$

采用高精度、高分辨率、稳定性强的最大熵谱反褶积方法<sup>[4]</sup>，将 $E_R(\omega)$ 和 $E_T(\omega)$ 分别反变换回时间域，就可得到接收介质结构响应的径向分量 $E_R(t)$ 和切向分量 $E_T(t)$ ，也就是所谓的径向接收函数和切向接收函数。在计算过程中我们使用的是远震P波波形，介于P波和PP波之间的远震P波记录包含着接收台站下方每个速度界面强弱不等的P-S转换波震相以及地表与各速度界面之间的一阶鸣震震相，它们构成了反映每个速度界面性质的转换波与多次反射波震相序列。径向接收函数和切向接收函

数可以消除接收介质的垂向响应，从而使得接收函数只反映接收介质的水平响应，即接收函数对S波速度结构敏感。

在时间域，对接收函数进行反演的方法有两种：蠕动算法和跳动算法<sup>[4]</sup>。蠕动算法的缺点在于模型估计解对初始模型的依赖性较大，初始模型的细小变动将导致模型解估计的变化。与蠕动算法相比，跳动算法对初始模型的依赖关系不大。本文采用时间域的跳动算法对上述得到接收函数进行反演<sup>[4]</sup>，从而得到台站下方的S波速度结构。

## 3 资料与反演

本文所采用的数据资料由甘肃省数字地震台网提供。共收集19个台站所记录到的远震事件304个，由于所收集的资料的缺失和数据的质量问题，只选取了其中16个台站的波形数据资料进行了反演。在反演过程中，为了提高结果的可信度，选用十几个相干性较好的接收函数进行迭加。台站的分布如图2所示，震源参数列在表1中。

表1 远震震源参数

日期	时间	纬度 N/°	经度 E/°	深度/km	震级
2000-07-01	07:01:55.8	34.16	139.59	40	6.6M <sub>S</sub>
2000-07-08	18:57:38.4	4.10	139.91	10	6.2M <sub>S</sub>
2000-08-20	22:38:30.2	-1.40	123.10	33	5.6M <sub>B</sub>
2001-04-13	23:16:17.1	42.89	145.25	29	5.9M <sub>B</sub>
2001-05-25	00:40:49.9	44.29	148.41	33	6.9M <sub>S</sub>
2001-09-02	02:25:48.1	0.25	82.21	10	5.9M <sub>S</sub>
2001-12-29	14:32:21.8	-6.54	102.76	61	6.1M <sub>S</sub>
2002-03-03	12:08:06.5	36.56	70.44	190	7.2M <sub>B</sub>
2002-03-11	01:46:18.8	30.68	141.71	36	5.8M <sub>S</sub>
2002-04-13	15:36:01.6	0.93	125.66	70	5.6M <sub>B</sub>
2002-06-27	05:50:35.1	-7.00	104.20	11	7.3M <sub>S</sub>
2002-08-02	23:11:39.7	29.25	139.05	435	5.9M <sub>B</sub>
2002-09-20	15:43:35.5	-1.89	134.74	31	6.3M <sub>S</sub>
2002-10-06	15:46:33.0	-8.20	118.30	10	6.3M <sub>S</sub>
2002-10-12	10:59:31.7	37.82	142.20	6	5.7M <sub>B</sub>
2003-01-22	02:58:50.8	4.33	97.66	41	6.1M <sub>B</sub>

在对原始资料进行预处理时，以直达P波的前10 s为起点，宽度为100 s的时间窗截取P波波形，这种宽度的时间窗足以包含来自台站下方各个界面的多次反射震相。然后从观测资料中提取各个台站的观测接收函数，并选用适当的理论地震图对观测到的接收函数作广义线性反演，从而获得各个台站下方一维S波速度结构。在整个处理过程中使用的是系数为2.5的高斯滤波器，以确保远震波形的有效成分不会丢失；射线参数选的是0.07。最终得到的各个台站的反演结果如图3所示。

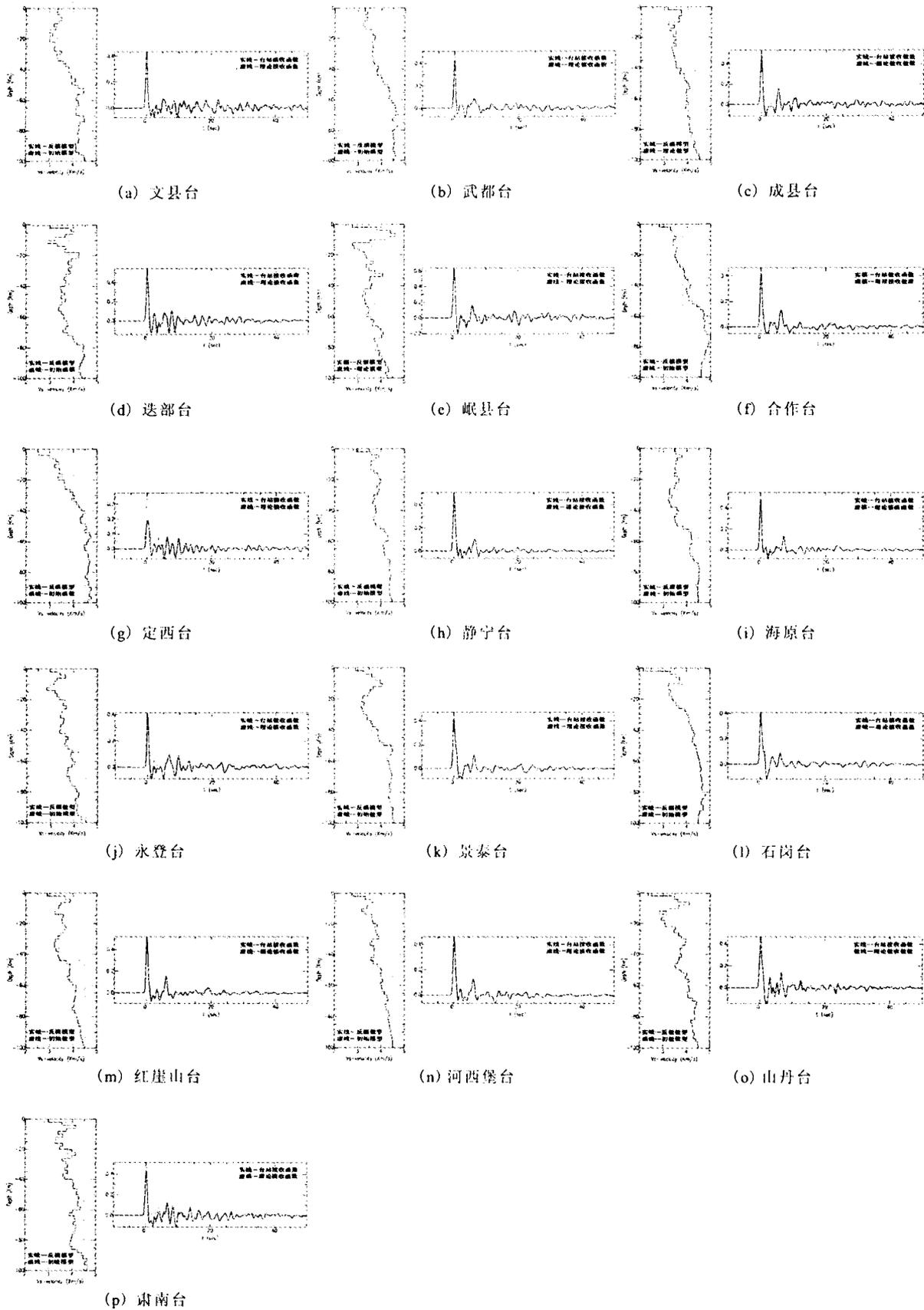


图 3 各台站的反演结果

Fig. 3 The inversion results of all stations in Gansu.

### 4 结果和讨论

从各个台站的反演结果中我们可以看出,甘肃省测震台网下方 Moho 界面的上表面 S 波速度一般为 3.8 km/s,而界面底部大约为 4.5 km/s。Moho 界面处的速度起伏变化并不很大,个别台站下方 Moho 界面处速度呈现梯度变化,如石岗台、河西堡台和定西台。另从图 4 可以看出,甘肃省测震台网下方地壳内部大体可以分为两层:第一层深度在 20~25 km 之间,其平均速度约为 3.5 km/s,大致表现为所研究区域的北半部分速度比南半部分偏高;第二层界面为 Moho 界面,其平均深度约为 50 km,在各台站下方变化较大。

如果把合作台,定西台和静宁台按照从西南到

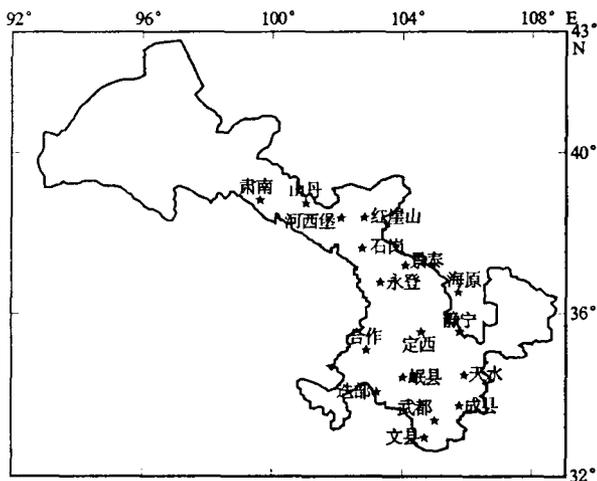


图 2 接收台站分布图

Fig. 2 Distribution of the receive stations in Gansu province.

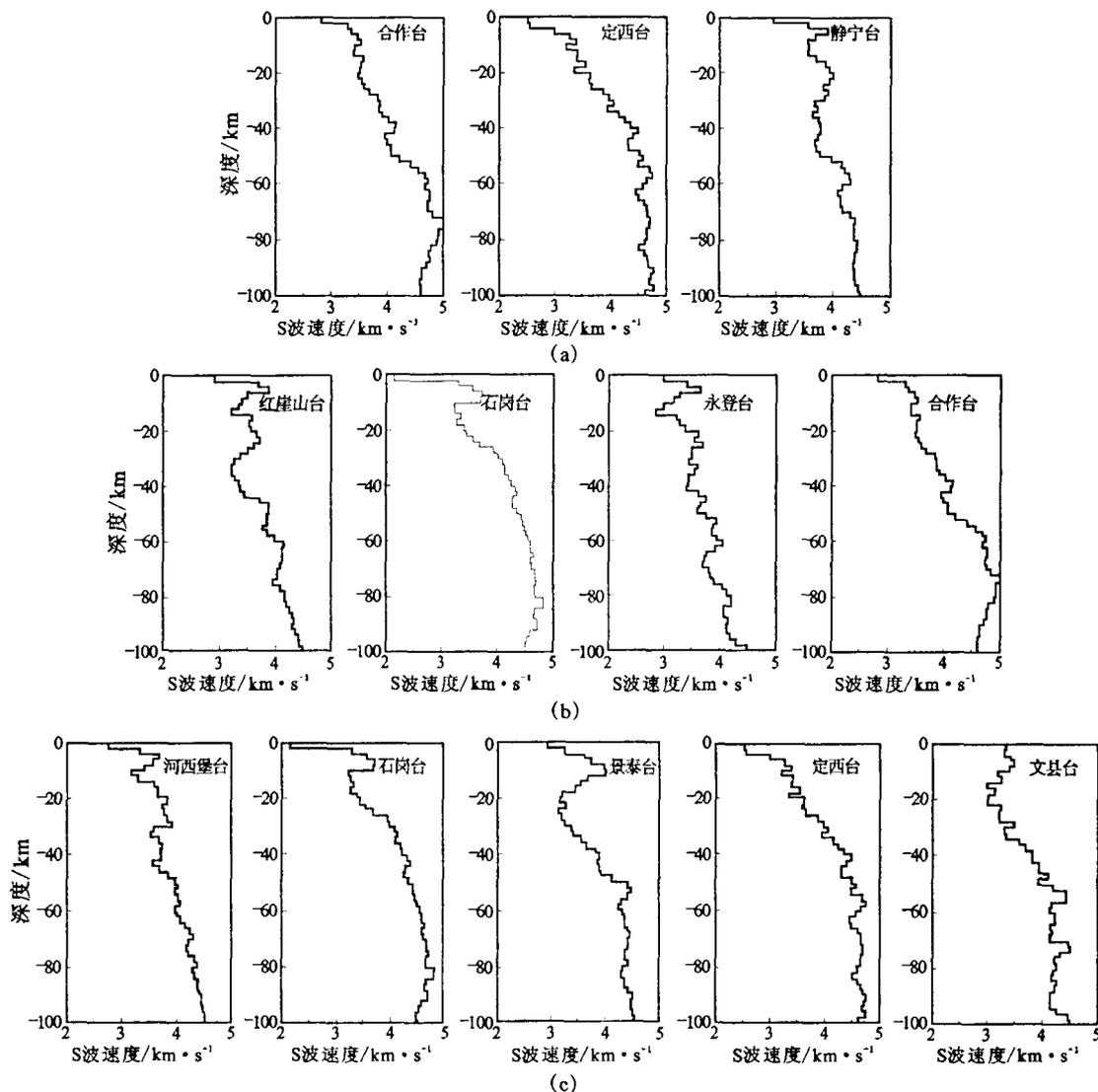


图 4 甘肃测震台网下方的 S 波速度剖面图

Fig. 4 The S-wave velocity profile under Gansu seismic network.

东北方向排列(图4(a)),其结果与刘宝峰等<sup>[5]</sup>在玛沁—兰州—靖边所作的地震测深剖面的结果表现出了较好的一致性:从合作到静宁台之间,Moho面的深度呈现减小的趋势。图中的C界面把地壳分为了上地壳和下地壳。在上地壳相同深度的S波速度变化不大,这可能主要是由于在上地壳的岩性多为花岗岩。而在下地壳,静宁台的S波速度较另外两个台的S波速度要低,这可能是由于别的岩性成分的加入或者是温度的升高所致。整个来看,如果说在上地壳整体为脆性的话,那么在下地壳则呈现出了不同程度的塑性变化<sup>[6]</sup>。图(4(b))、(4(c))是把个别台站按照大圆弧顺时针排列成的剖面图,排列的总体趋势是由西北向东南。可以看出整个研究区域从西北到东南呈现加深的趋势<sup>[7]</sup>。由此得知青藏高原在受到印度板块碰撞抬升的过程中同时受到阿拉善块体和鄂尔多斯块体的阻挡作用,因此其受到的推挤力变为东南方向,从而使得青藏高原物质在碰撞过程中向东南方向侧移,使位于甘肃测震台网东南方向的几个台站下方Moho面逐步变深。

另外从图中还可以看出,各台站下方地壳内部

存在不同程度的横向各向异性。在永登台、海原台和迭部台的反演模型中可以很容易的看到,在Moho界面下方有明显的低速层存在,说明在永登、海原和定西地区的上地幔顶部有低速体的侵入特征。

#### [参考文献]

- [1] 田勤俭,丁国瑜.青藏高原东北缘偶似三联点构造特征[J].中国地震,1998,14(4):17-35.
- [2] 丁国瑜主编.中国岩石圈动力学概论[M].北京:地震出版社,1991.
- [3] Langston C. A. Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves[J]. J. Geophys. Res., 1979,84:4 749-4 762.
- [4] 吴庆举.宽频带远震体波波形反演方法与青藏高原岩石圈速度结构研究[D].中国地震局地球物理研究所,1996.
- [5] 刘宝峰,李松林,张先康,等.玛沁—靖边剖面S波资料研究与探讨[J].地震学报,2003,25(1):82-88.
- [6] 王椿镛,林中洋,陈章立,等译.地壳结构研究译文集[M].北京:学术期刊出版社.1-322.
- [7] 藤吉文,曾融生,闫雅芬.东亚大陆及周边海域Moho界面深度分布和基本构造格局[J].中国科学(D辑),2002,32(2):89-100.

\*\*\*\*\*

## 声 明

凡向本刊所投稿件,全体作者在稿件录用时均签署了《作者说明书》,将该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、翻译权、汇编权等权利在全世界范围内转让给本刊。本刊已加入万方数据数字化期刊群,被中国核心期刊(遴选)数据库收录。凡被本刊录用的稿件将同时通过因特网进行网络出版或提供信息服务,稿件一经刊用,将一次性支付作者著作权使用报酬(即包括印刷版、光盘版和网络版各种使用方式的报酬)。

《西北地震学报》编辑部