

青藏块体东北缘平均波速比的测定及研究

冯建刚, 代 炜, 董治平, 胡永钧

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要:利用兰州数字地震遥测台网观测报告,采用和达法计算出2001年1月—2007年6月发生在青藏块体东北缘2 953次地震的波速比值。将青藏块体东北缘按 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 、 $0.2^{\circ}\times 0.2^{\circ}$ 分成小区,求出每个小区域内的平均波速比值。分析得出如下结论:(1)青藏块体东北缘平均波速比值在空间分布上有一定差异,甘东南($N34^{\circ}$ 以南)波速比值最高,祁连山地震带和西秦岭北缘断裂附近次之,甘肃中部最低;(2)青藏块体东北缘矿震分布区域和 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的低波速比值区域一致,地震波速比值是判定矿震的可能依据之一;(3)地震波速比值随震级的增大而增大。所得的平均波速比值为研究青藏块体东北缘波速比值随时间变化有一定参考价值。

关键词:波速比;平均值;青藏块体东北缘;矿震

中图分类号: P315.3⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2009)01-0061-05

Determination and Study on Average Seismic Velocity Ratio(V_P/V_S) in Northeastern Margin of Qinghai-Tibet Block

FENG Jian-gang, DAI Wei, DONG Zhi-ping, HU Yong-jun

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou, 730000, China)

Abstract: Based on the Lanzhou seismic network observational report, using the multi-station methods, the seismic velocity ratio (V_P/V_S) of the 2 953 earthquakes in Northeastern margin of Qinghai-Tibet block during Jan. 2001 to Jun. 2007 are calculated. The research region are divided into little areas by $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ and $0.2^{\circ}\times 0.2^{\circ}$, and the average seismic velocity ratios for every little areas are given. Through analysing the average seismic velocity ratios, following conclusion are gottern: (1) The average ratios in different regions of the research block are different, among them, the ratio in Southeastern of Gansu province is the highest, in Qilian seismic belt and along West Qinling fault are higher also, in middle Gansu province is the lowest. (2) The mine earthquakes often occurred in the $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ little areas with lower ratios, so the ratio could be used to distinguish mine earthquake. (3) The ratio values increase along with the increase of magnitudes of earthquake. The average seismic velocity ratios for each area in Northeastern margin of Qinghai-Tibet block can be a reference to analyze the variation of the ratio before strong earthquakes.

Key words: Seismic velocity ratio; Average value; Northeastern margin of Qinghai-Tibet block; Mine earthquake

0 引言

国外的地震波速比研究早在上世纪20年代就

开始了,1928年日本地震学家和达清夫提出和达法求波速比。我国学者自上世纪70年代开始对波速

收稿日期:2008-05-09

基金项目:国家科技支撑计划资助(2006BAC01B02-01-05);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2009006

作者简介:冯建刚(1977-),男(汉族),山西屯留人,研究实习员,主要从事数字地震波应用研究。

比开展研究,1981年出版的《地震波速异常》一书就是早期国内学者对地震波速比研究的总结^[1]。不同地区地壳结构和速度分布有一定差异,近几年关于波速比在空间上的分布特征已有一些研究^[2-4],华北地区地壳的平均波速比的空间分布特征和岩性、温度、应变有着一定的联系^[5]。安徽 N31°以北地区波速比的平均值以郯庐断裂带为界,呈现出大致东高西低的特征,可能与郯庐断裂带两侧的介质特性不同有关,与前人研究郯庐断裂带东西两侧地质构造有明显差异基本相符^[6]。

地震活动与区域构造特点、地壳活动状况有关,而地震波速或波速比可以反映断层或地壳的活动状况。青藏块体东北缘构造复杂,中强地震活动频繁,地震破裂方式和类型多样。根据区域构造的基本特点和动力学环境,可划分为祁连山地震带和甘东南地区。祁连山地震带从阿尔金断裂至六盘山地区,属于祁连山活动地块的北部边界,以 NW-NWW 左旋走滑和逆冲断裂为主。甘东南地区北部边界为西秦岭北缘活动断裂,东部为岷山构造带和龙门山断裂带,南部为玉树断裂,内部存在 NW 和 NE 两组构造,以左旋或右旋走滑为主。由于柴达木-共和地块的顺时针旋转和向东南方向的挤出,导致甘东南地区应力比较集中,中强地震活动比较频繁。以往学者对波速比的研究多是对某一特定的小区进行时间上的变化分析,探索中强地震前的波速比异常。本文则是研究青藏块体东北缘平均波速比的空间分布特征,以此来了解青藏块体东北缘地壳介质在空间上的差异,结合地质构造环境,了解青藏块体东北缘地壳介质在空间上的差异。本文所得到的数据对以后研究中强地震前波速比的变化分析也有一定参考意义。

1 资料的选取及数据处理

2001年1月1日-2007年6月31日兰州数字地震遥测台网共记录到发生在甘肃省及周边地区 $M_L 1$ 以上地震 9 847 次。选取甘肃省地震局编制的“兰州数字地震台网观测报告”中的震相到时数据。要求所选择的地震必须满足以下 3 个条件:①地震位于兰州数字遥测台网内或台网边缘;② P 波和 S 波的到时差为 2~25 s;③每个地震同时被 4 个或 4 个以上台站记录到。经过挑选得到 3 100 次地震符合条件。根据这 3 100 次地震的 P 波和 S 波到时 t_{Pi} 、 t_{Si} ,按照下列公式分别计算出每次地震事件的多台波速比值 γ (即该地震震源周围介质的平均波

速比)和相关系数 R 。为了保证数据的可靠性,采用相关系数为 0.99 以上且波速比值在 1.60~1.79 之间的计算结果,最后得到 2 953 次地震的波速比值。图 1 为这些地震的震中分布情况。

$$\gamma = 1 + \frac{n \sum_{i=1}^n \Delta t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \Delta t_i \right)^2}{n \sum_{i=1}^n (\Delta t_i t_{Pi}) - \sum_{i=1}^n t_{Pi} \sum_{i=1}^n \Delta t_i}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad x_i = t_{Pi} \quad y_i = \Delta t_i$$

$$R = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} S_{yy}}} \quad \Delta t_i = t_{Si} - t_{Pi}$$

式中 n 为台站的总数。

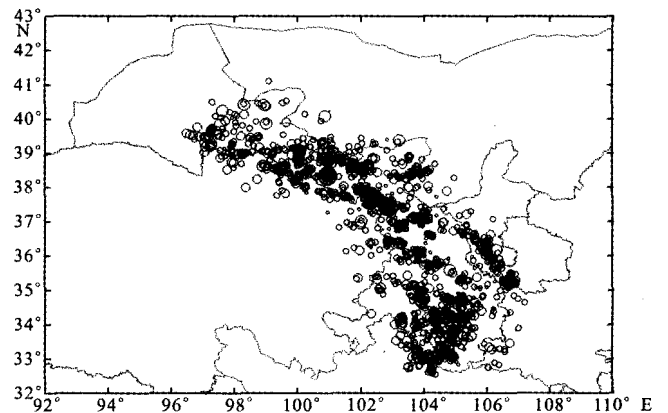


图 1 研究区地震震中分布图

Fig. 1 Distribution of earthquake epicenters in the reasearch region.

2 计算结果分析

2.1 青藏块体东北缘平均波速比的空间分布

将青藏块体东北缘划分成 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 的矩形区域,计算出每个小区内的地震波速比的平均值。得到各个小区内的平均波速比值为 1.692~1.735。由于地震分布在空间上的不均匀性,有些小区内因没有发生地震而无数据。为了使得数据在空间上有一定的连续性,计算其周围小区波速比的平均值,作为没有发生地震的小区的波速比值。分别做出青藏块体东北缘波速比值空间分布的平面图(图版 II 中图 2(a))和立体图(图版 II 中图 2(b))。从图中可以看出,甘东南(N34°以南)波速比值最高,甘肃中部波速比值较低。沿着西秦岭北缘断裂的波速比值较高,并且有南北都有比较明显的分界,原因可能有二:(1)西秦岭北缘断裂与其邻近断裂的活动性质差异比较明显,断裂的北面地震活动相对较弱,断裂分

布相对较稀疏且走向和西秦岭北缘断裂也不一致。
 (2) 从地质方面看, 西秦岭北缘断裂经历加里东、燕山、喜马拉雅等多期次强烈构造运动, 断错古生界、中生界、新生界等不同时代地层。沿断裂带分布的基性、超基性岩体说明, 其断切深度已达上地幔, 因而是我国中部的一条主要地质、地貌分界带。其形成与发展直接影响着断裂南北两侧秦岭褶皱系与祁连褶皱系的建造和改造, 形成以西秦岭北缘断裂为界的南北不同的地质、地貌特征, 断裂以南是基岩山地为主要地貌特征, 断裂带以北是以第四纪地貌为

主要特征^[7]。

按照 $1^\circ \times 1^\circ$ 区域对研究区进行分块, 计算出每个小区内的地震波速比值的平均值介于 1.703 ~ 1.716 之间(图 3)。甘东南波速比值最高, 祁连山地震带次之, 甘肃中部最低。在这 57 个小区中波速比值最低的两个区域为永登和华亭附近, 可能与这些区域近几年的矿震较多有关。波速比值可能是区别天然地震和矿震的依据之一, 还有待于更进一步的研究去证实。

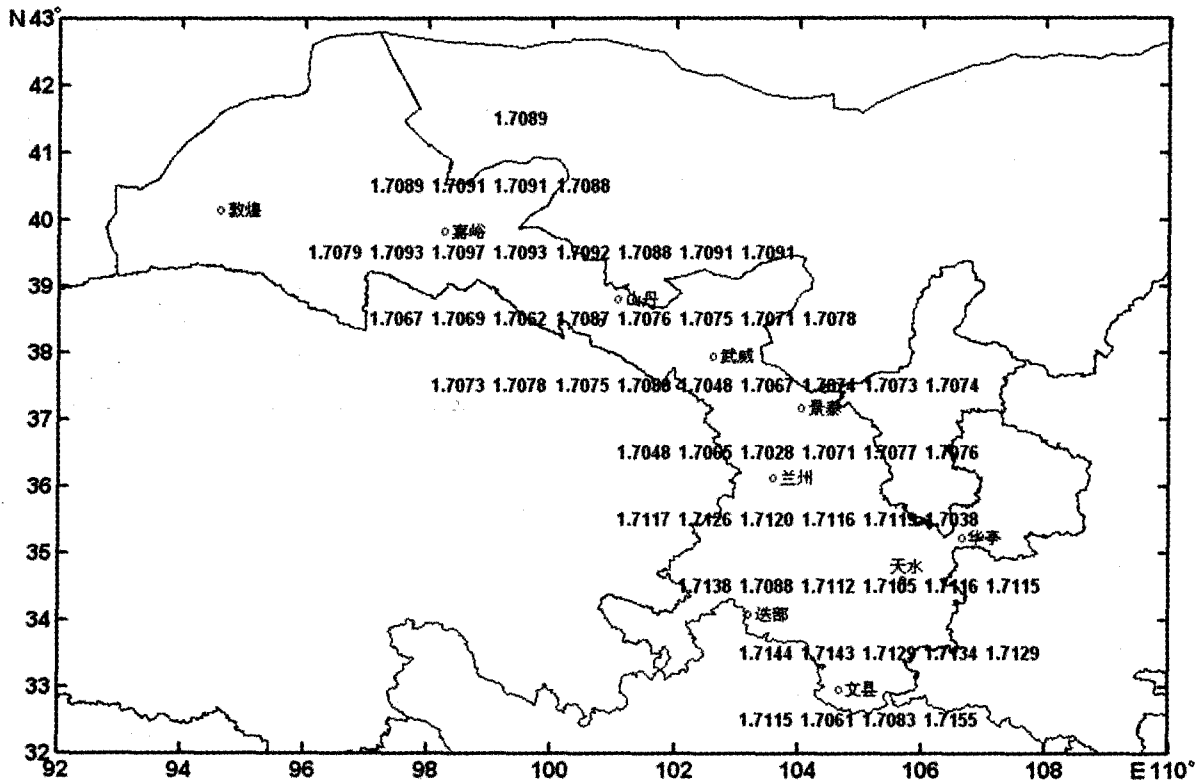


图 3 青藏块体东北缘 $1^\circ \times 1^\circ$ 区域平均波速比值

Fig. 3 The average seismic velocity ratios of $1^\circ \times 1^\circ$ little areas in Northeastern margin of Qinghai-Tibet block.

2.2 地震波速比值的区域平均值与地震活动的关系

根据已做出的 2 953 次地震波速比值, 将青藏块体东北缘分成以下 4 个区域, 并且分别求出每个区域的平均值(图 4)。4 个区域分别为: 祁连山地震带(N 37° 以北)、甘肃中部(N $35.3^\circ \sim 37.0^\circ$)、西秦岭北缘断裂(N $34.3^\circ \sim 35.2^\circ$)、甘东南(N 34° 以南), 波速比值依次为: 1.706、1.704、1.705、1.712。再将 2001 年 1 月—2007 年 6 月的 $M_L 4$ 以上地震标注上, 结果发现 $M_L 4$ 以上地震几乎全部集中在波速比值比较高的区域。随着台网密度的加大, 地震波速

比值的空间分布特征可能会成为中强地震地点判定的重要依据之一。

2.3 波速比值随震级的变化

波速比值与震级的关系目前尚无定论。本研究结论显示波速比值与地震震级有一定的关系, 随震级增大而增大。图 5 为参与计算地震不同震级档次的频次统计, 看出发生最多的震级为 $M_L 1.5 \sim 3.0$ 。但地震实际发生最多的震级档次为 $M_L 1.0 \sim 2.0$, 这是由于台网密度不够导致许多小震不能参与波速比值的计算。图 6 给出了地震震级与波速比的关系, 可以看出波速比值最高的为 $M_L 1.0 \sim 1.5$, 但这

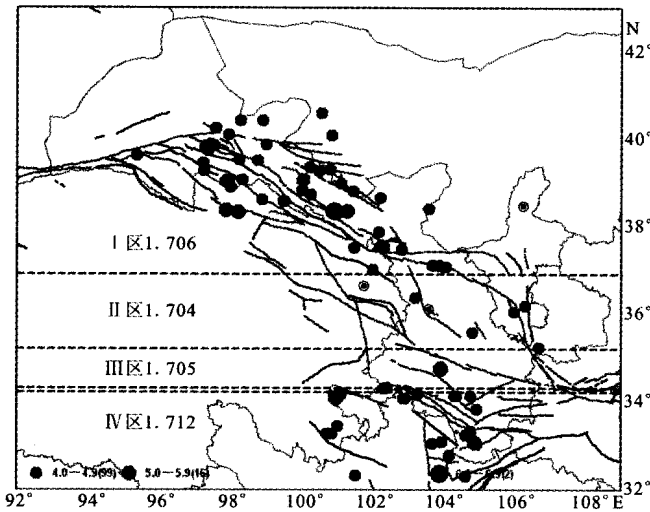


图4 波速比值的4区平均值与地震活动的关系

Fig. 4 The average seismic velocity ratios and distribution of $M_L \geq 4$ earthquakes in the research region which is divided into 4 areas.

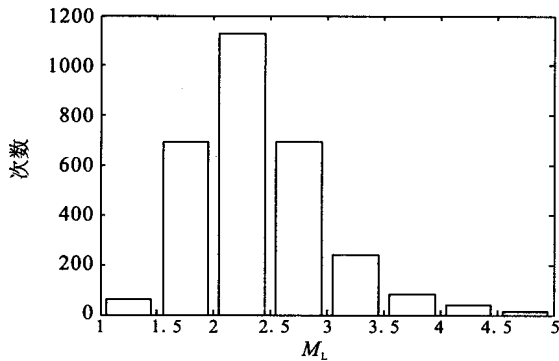


图5 不同震级档次的地震次数

Fig. 5 The statistical earthquake numbers in different magnitude groups in the research region.

不是波速比值随震级变化的真实反映,是由于 $M_L 1.0 \sim 1.5$ 地震主要分布在波速比值较高的民乐~山丹一带和甘东南地区,可以计算波速比值的地震在空间上分布不均匀; $M_L 4.0$ 以上波速比值随震级的增大而减小,由于参与统计的地震次数较少,这个结果是不可靠的; $M_L 1.5 \sim 4.0$ 地震波速比值随震级的增大而增大的现象比较明显,参与平均值计算的地震次数较多,结果比较可信。

3 震相到时的记录误差对波速比值的影响

目前地震观测报告中的到时数据仅保留一位小数点。本文以采样率 50 为例,讨论记录结果对波速比值测量的影响。假如 P 波到时秒的读数为

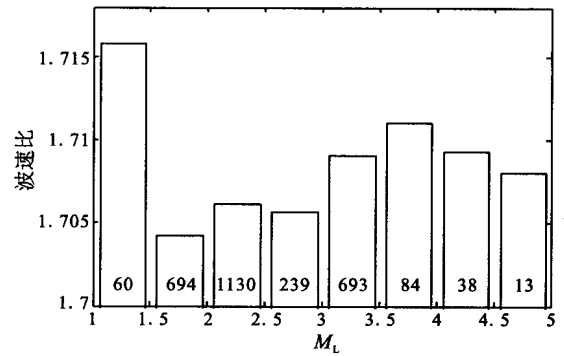


图6 波速比与震级的关系(图中数字为参与平均值计算的地震次数)

Fig. 6 Relationship between the seismic velocity ratios and magnitudes in the reearch region.

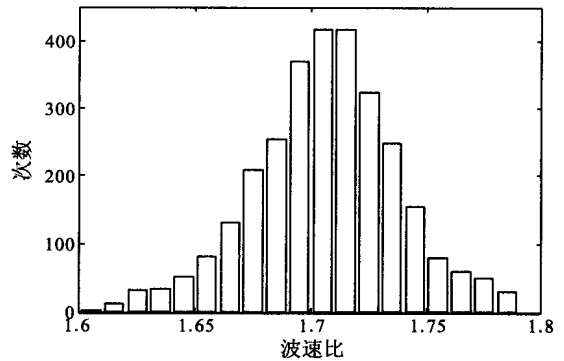


图7 不同波速比值的地震次数

Fig. 7 The earthquake numbers in groups with different seismic velocity ratios.

22.244 s,在观测报告中出现的只能是 22.2 s,这就意味着观测报告中记录的数值比实际的读数要小 0.044 s。随机的给一次地震 P 和 S 波到时加 -0.044~+0.044 之间的一个数值,这样得到的波速比值与原来的波速比值最大差值为 0.016。由于记录的原因导致的误差不能忽略,地震观测报告中震相到时数据的记录精度应该提高,观测报告中记录到的数值应该和目前可以达到的读数精度相匹配。否则随着计算精度要求的提高,将会导致观测报告中的数据无法有效利用。

由于读数记录造成的差值是一个随机的过程,在地震次数比较多的情况下是可以避免的。以一次地震的波速比值为例,随机加 -0.044~+0.044 之间的一个数值,计算次数越多,地震波速比值的平均值就越接近原始值。表 1 为随机给一个误差后计算波速比值与原始值的差值随计算次数的变化,次数越高差值的绝对值越小,计算次数为 100 次时差值已经降低为 10^{-4} 。所以本文计算的结果虽然由于记录原因存在一定误差,但是从地震统计次数上来

看,结果还是比较可信的。

表1 差值的绝对值随计算次数变化情况表

计算次数	4	10	50	100	200	500	1000
平均值	1.715 147	1.707 820	1.705 738	1.701 182	1.704 722	1.704 643	1.704 65
与原始值的差	0.006 85	0.003 15	0.001 07	0.000 67	0.000 059 1	0.000 019 8	0.000 012 8

4 结论和讨论

(1) 青藏块体东北缘平均波速比值为1.706,在空间上甘东南(N 34°以南)波速较高,西秦岭北缘断裂附近、祁连山地震带次之,甘肃中部最低;

(2) 波速比值在空间上的不均匀分布与地震活动及断层有一定关系,矿震多发地区的波速比值较低,波速比值可能是区别天然地震和矿震的依据之一;

(3) 随着计算精度的提高,震相到时保留一位小数点将无法满足要求,地震观测报告中震相到时数据的记录精度应该提高,记录数值应该与读数精度相匹配。

本研究中计算地震波速比值利用了刘杰研究员提供的程序,特此致谢!

[参考文献]

- [1] 冯德益. 地震波速异常[M]. 北京:地震出版社,1981.
- [2] 蔡静观,梅世蓉,张喜玲,等. 从高波速比试论云南丽江7级地震的孕震模式[J]. 地震研究,1999,22(2):122-129.
- [3] 傅征祥,程燕. 北京和张家口地区地壳平均波速比的联合测定[J]. 地震,1988,8(4):28-34.
- [4] 嘉世旭,刘昌铨. 邢台震源区波速比异常与地震的关系[J]. 地震学报,1996,39(增刊):205-215.
- [5] 黎明晓,张晓东. 应用多台法测定华北地区地壳的平均波速比[J]. 地震,2004,24(1):163-169.
- [6] 李敏莉,刘东旺. 安徽及邻区平均波速比的测定及研究[J]. 地震地磁观测与研究,2005,26(1):22-27.
- [7] 董治平,雷芳,申秀荣,等. 西秦岭北缘断裂带的深部构造特征及其与地震活动的关系[J]. 内陆地震,1996,10(3):224-234.
- [8] 赵明淳,刁桂苓,张学民. 首都圈平均波速比分析[J]. 西北地震学报,2005,27(3):246-254.
- [9] 蔡静观,张喜玲,李永莉. 云南地区波速比异常图像的南北差异[J]. 西北地震学报,1999,21(4):363-369.
- [10] 梅世蓉,冯德益,张国民,等. 中国地震预报概论[M]. 北京:地震出版社,1993:78-80.
- [11] 王德利,雍运动,韩立国,等. 三维粘弹性介质地震波场有限差分并行模拟[J]. 西北地震学报,2007,29(1):30-34.
- [12] 粟生平,傅征祥. 华北地区地震带分段波速比平均值的测定[J]. 地震,1996,16(2):114-120.
- [13] 秦保燕,张元生. 波速比异常空间演化与主震位置预测[J]. 西北地震学报,2000,22(1):5-9.
- [14] 张学民,刁桂苓,束沛镒,等. 华北地区地下介质波速比值(V_P/V_S)研究[J]. 地震地质,2004,26(2):305-317.
- [15] 李光泉,李伟东,施行觉,等. 流体分布对松散介质中P波速度和衰减的影响[J]. 西北地震学报,2000,22(4):361-367.
- [16] 荣棉水,李小军,卢滔. 局部地形对入射P波谱特性的影响分析[J]. 西北地震学报,2007,29(4):297-302.

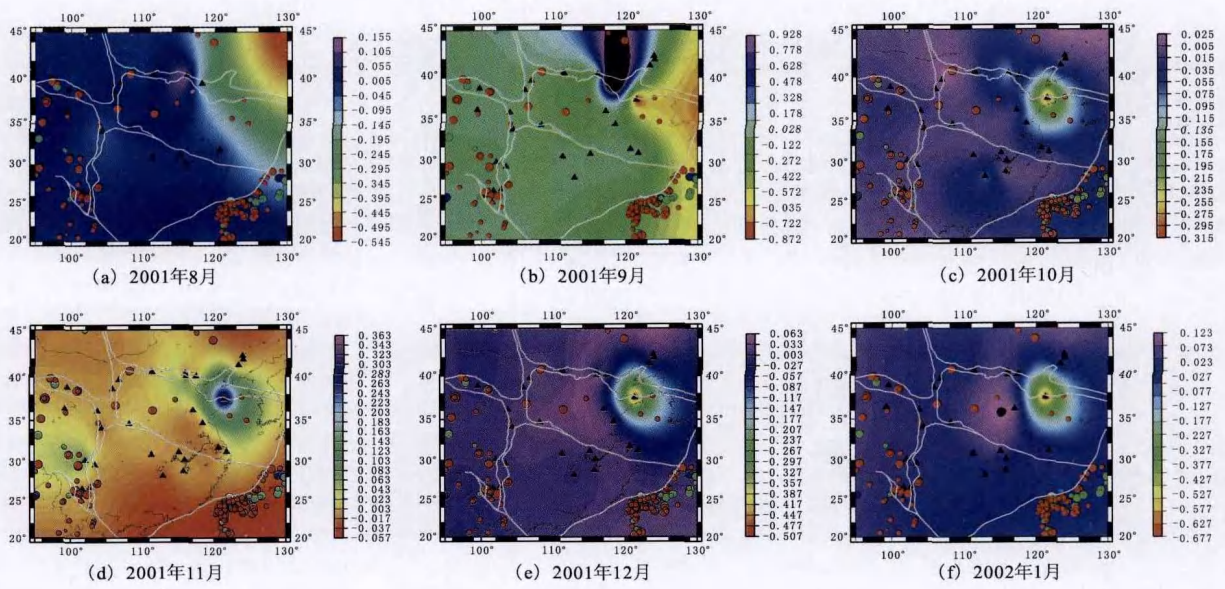


图5 南北向 M_2 波潮汐因子演化
Fig.5 Evolution images of North-South component of M_2 tide factor.

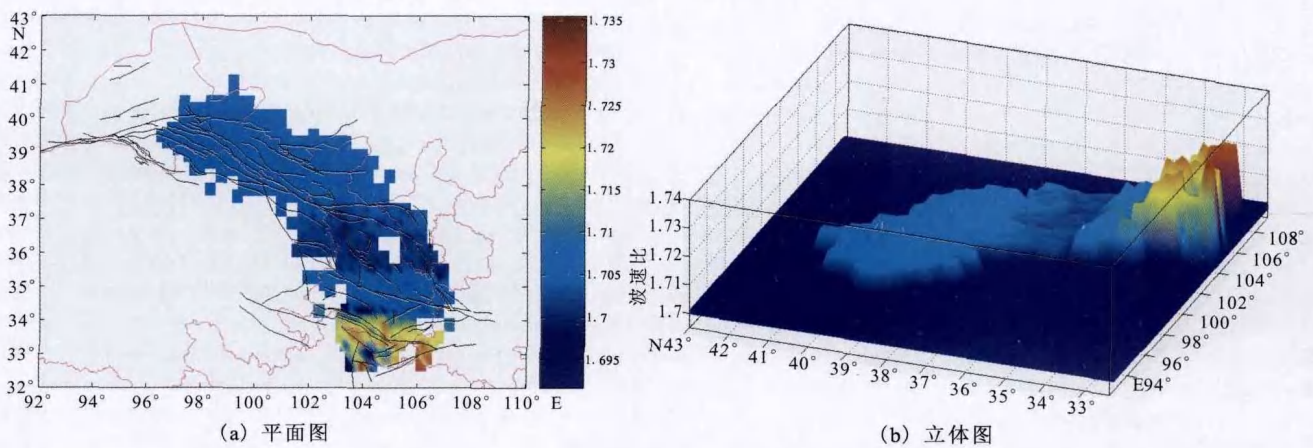


图2 青藏块体东北缘平均波速比值的空间分布
Fig.2 Distribution of average seismic velocity ratio in Northeastern margin of Qinghai-Tibet block.