

由多台定点长水管倾斜资料构建形变场时空演化图像的初步尝试及应用

沈旭章^{1,2}, 梅秀苹¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000;

2. 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)

摘要: 尝试利用多台定点地倾斜形变资料构建形变场时空动态演化图形的方法, 对中国大陆 47 个定点形变水管倾斜仪资料进行分析处理, 构建了地倾斜形变场时空演化分布图像。以 2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震为例, 研究了地震前后水管倾斜资料的时空演化特征。结果显示在地震前后较多台站水管倾斜仪的日均值都出现了趋势上的较大变化, 东西向日均值、南北向日均值和南北向潮汐因子的空间分布也都出现了大范围的变化, 而东西向 M_2 波的潮汐因子没有出现较明显的变化。随着定点形变台站的建设和资料的积累, 该方法可以构建每月或者每周形变场的变化, 有望用于地震预报工作。

关键词: 定点形变; 形变场时空演化; FSQ 水管倾斜仪; 昆仑山口西 8.1 级地震

中图分类号: P315.72+5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)01-0057-04

A Primary Attempt to Construct Temporal and Spatial Evolution Image of Deformation Field by Water-tube Tiltmeter Records from Multi Permanent Deformation Stations and Application of the Method

SHEN Xu-zhang^{1,2}, MEI Xiu-ping¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: A method of constructing the dynamic temporal and spatial evolution image of deformation field by using records of multi permanent deformation stations is attempted. On the base of this method, water-tube tiltmeter records of 47 deformation stations in China are analyzed, and images of temporal and spatial evolution of ground tilt are constructed. As a example, the dynamic change of ground tilt before and after the M_s 8.1 earthquake west to the Kunlun Mountain pass is studied. The result shows that there are obvious changes in the day average value of water-tube tiltmeter in many stations before and after the event. The spatial distribution of EW average, NS average and NW M_2 tidal factor also appear noticeable difference, but there is no noticeable change in EW M_2 tidal factor. This method is expected to use in the work of earthquake prediction through constructing the temporal and spatial deformation image of every month or every week with accumulation of observation data.

Key words: Permanent deformation; Temporal and spatial evolution of deformation field; FSQ water-tube tiltmeter; M_s 8.1 earthquake west to the Kunlun Mountain pass

收稿日期: 2008-04-01

基金项目: 地震科学联合基金 (605010); 甘肃省地震局青年地震科学基金 (ZB0802); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2009012

作者简介: 沈旭章 (1976-), 男 (汉族), 甘肃张掖人, 博士, 副研究员, 主要从事地球深部结构和定点形变相关的研究工作。

0 引言

定点形变观测是跟踪地震孕育过程的一种重要手段,也是目前寻找地震短临前兆的重要途径。FSQ型水管倾斜仪是一种高精度的监测大地垂直形变微动态的主要仪器。截止目前,中国大陆已经布设了大量的定点形变台站,安装有FSQ型水管倾斜仪的台站共有50多个,其中湖南长沙和云南楚雄水管倾斜仪最早的记录开始于1985年。到现在为止这些台站已经积累了大量的资料,很多研究者也利用单台水管的资料对一些中强地震的短临前兆做了大量的研究。如兰州形变台水管倾斜仪在1990年10月20日的景泰 $M_L6.4$ 地震、1995年7月22日的永登 $M_L6.1$ 地震、2000年6月6日的景泰 $M_L6.2$ 地震和2000年12月27日的景泰 $M_L5.2$ 地震前都出现了短临异常^[1];1996年11月9日南黄海6.1级地震前常熟地震台存在着潮汐因子异常^[2];1999年9月21日台湾7.6级大震前浙江省的湖州台、新安江台的地倾斜异常基本上是这次地震的短临异常^[3];2001年昆仑山口西8.1级地震前,乐都、兰州、门源和肃南地倾斜异常的幅度、持续时间与地震震级之间满足形变异常特征与地震强度之间的一般性统计关系^[4];2003年俄、中、蒙交界 $M7.9$ 地震前在600~850 km范围有6个地倾斜观测点记录到临震前的短临形变异常^[5];牛安福在2003年对地倾斜变化的突变性和地震的关系进行了深入的研究和讨论^[6];薄万举和高福旺研究也表明张北地震前地倾斜方向确有指向或背向震中的趋势^[7]。

在以往的研究中,多数的研究者重点关注于单台资料的分析 and 该台站附近中强地震的短临跟踪,而很少对整个形变场的资料进行总体的分析和研究,寻找地震孕育的时空特征。本研究将突破利用单台的资料去寻找短临异常的思路,利用尽可能多的台站资料,构建动态形变场,研究形变场的动态演化特征,从场的角度去研究和寻找地震的短临异常和震后形变场的分布。本研究收集整理了绝大多数中国大陆定点形变台水管倾斜仪的资料,通过错数改正、平滑检验和潮汐调和,计算各台站资料的日均值、月均值和 M_2 波潮汐因子,计算每月各个台站月均值和 M_2 波潮汐因子的微分,通过插值得到各点微分的值,研究地倾斜的时空分布和演化特征。本文将重点以2001年11月14日的昆仑山口8.1级地震为例,考察这次大地震前后水管倾斜资料的

时空演化特征。

1 方法

在数据处理的前期,主要利用了唐九安^[8-9]提出的固体潮观测数据预处理方法,对数据进行错数改正、平滑检验和调和,分析。为了实现数据的自动批处理和图形显示,编写了程序调用唐九安的程序,自动批量地完成数据的预处理,而且在数据处理过程中随时进行图形显示;结合地震目录,选择不同震中距的中强地震在数据曲线上进行地震的自动标注,便于直观地寻找地震前兆特征。具体处理方法可参看相关参考文献。

由于不同台站月均值和每月 M_2 波潮汐因子的差异比较明显,为了使不同点的资料具有可比性同时突出其时间上的变化,在处理后各个台站资料的基础上,我们计算了各点月均值和每月 M_2 波潮汐因子的一阶微分,通过线性插值对没有测点的数据进行了补充,绘制了月均值和 M_2 波潮汐因子微分的空间分布图。

2 数据

本文主要利用了华北、华南、西南和部分西北台站相对比较密集地区的资料。图2、3、4、5(见图版I中图2、3、4,图版II中图5)中标出了安装有FSQ型水管倾斜仪的台站位置,表1列出了各个台站的记录起止时间和台站的标示符号。

2001年11月14日的昆仑山口8.1级地震是近50年来中国大陆发生的一次最大的地震,这一地震对中国大陆地区的应力场分布产生了重大的影响,也将我国带入了一个新的地震活跃期。在这一地震之后,在青海、甘肃、四川、云南、新疆、内蒙、辽宁等地均发生过多级6级左右地震。在这一地震期间也是定点形变资料记录最多的一个时期,因此本文将重点对这一地震前后(2001年8月—2002年1月)各个台站水管倾斜的资料进行分析讨论,研究该地震前后倾斜形变场的空间变化特征,在这一时段有记录的水管倾斜仪的道数一共是66道。

3 结果

3.1 单台资料处理结果

首先对各个台站的资料进行了系统的分析。由于资料较多,文中只列出了7个台站日均值数据归一化处理结果,如图1所示。可以看出,这7个台站中除内蒙乌海台在地震前后表现出了较复杂的变

化,其余台站都出现了不同程度的趋势的变化,由大地震引起的形变场的变化所致。于这种异常表现的范围比较大,因此有可能是这次

表 1 中国大陆 FSQ 型水管倾斜仪台站和记录时间

| 台站名 | 台站符号 | 起始记录时间 | 数据截止时间 | 台站名 | 台站符号 | 起始记录时间 | 数据截止时间 |
|--------|-------|------------|------------|--------|-------|------------|------------|
| 北京白家瞳 | bjbjt | 2001-09-24 | 2005-08-27 | 内蒙乌海 | nmwhm | 1998-07-01 | 2003-12-31 |
| 北京西拨子 | bjxbz | 1988-01-01 | 2004-12-14 | 内蒙乌海数字 | nmwhz | 2002-01-01 | 2005-02-28 |
| 广东汕头 | gdstm | 1986-01-01 | 2000-12-31 | 内蒙乌加河 | nmwjh | 1989-01-01 | 2004-11-30 |
| 甘肃宕昌 | gsdcm | 1990-07-01 | 2003-12-31 | 宁夏银川小口 | nxycm | 1991-01-01 | 2003-12-31 |
| 甘肃兰州 | gslzm | 1987-01-01 | 2004-12-31 | 青海西宁 | qhxnq | 1997-01-01 | 2002-11-03 |
| 甘肃肃南 | gssnm | 1997-07-05 | 2004-12-31 | 四川姑咱 | scgzq | 1990-01-01 | 2003-07-31 |
| 河北怀来 | hbhlm | 1987-01-01 | 2000-04-30 | 四川峨眉交大 | scjdm | 2000-03-01 | 2003-06-30 |
| 河北涉县 | hbsxm | 1987-01-01 | 1987-12-31 | 四川攀枝花 | scpzm | 1992-04-01 | 2003-06-30 |
| 河北张家口 | hbzjk | 1988-01-01 | 2000-04-30 | 山东泰安 | sdtam | 1986-01-01 | 1987-12-31 |
| 黑龙江佳木斯 | hejms | 2002-01-01 | 2004-10-31 | 山东泰安数字 | sdtaz | 2001-01-01 | 2004-11-30 |
| 湖北黄梅 | hohmm | 1987-01-16 | 2004-12-31 | 山东郯城数字 | sdtcz | 2000-01-01 | 2004-12-17 |
| 湖北麻城 | homcm | 1986-01-01 | 2004-12-31 | 山东烟台数字 | sdytz | 2000-01-01 | 2004-12-17 |
| 湖北宜昌 | hoycm | 1986-01-01 | 2004-12-31 | 上海佘山 | shssm | 2000-06-01 | 2004-09-30 |
| 湖南长沙 | hxcsm | 1985-01-01 | 2003-12-14 | 陕西乾县 | sqxsm | 1997-01-01 | 2004-12-31 |
| 湖南长沙数字 | hxcsz | 2003-01-01 | 2004-04-30 | 天津蓟县 | tjxsm | 1993-01-01 | 2003-12-31 |
| 吉林磐石 | jlpsm | 1993-02-01 | 1995-02-28 | 天津蓟县数字 | tjxsz | 2001-08-29 | 2004-12-16 |
| 江苏常熟 | jscsm | 2000-01-01 | 2002-12-31 | 云南楚雄 | yncxm | 1985-01-01 | 2003-07-27 |
| 江西南昌数字 | jxncz | 2001-09-01 | 2004-12-23 | 云南楚雄数字 | yncxz | 2001-08-01 | 2005-04-21 |
| 辽宁抚顺数字 | lnhsz | 2001-01-01 | 2005-04-12 | 云南弥都 | ynmdm | 1987-01-01 | 2000-04-30 |
| 辽宁辽阳数字 | lnlyz | 2001-04-01 | 2005-04-13 | 云南云龙 | ynylm | 1990-01-01 | 2003-07-27 |
| 辽宁抚顺南山 | lnnsc | 1991-01-01 | 1997-12-31 | 云南云龙数字 | ynylz | 2001-08-01 | 2005-04-21 |
| 辽宁铁岭 | lntlz | 2001-01-01 | 2005-04-13 | 云南永胜 | ynysm | 1986-02-01 | 2003-07-27 |
| 辽宁营口 | lnykm | 1986-01-01 | 2000-12-31 | 云南永胜数字 | ynysz | 2001-08-01 | 2005-04-21 |
| 内蒙呼和浩特 | nmhht | 1986-01-01 | 2004-12-31 | | | | |

注:在有些台站既有模拟记录,又有数字记录,在台站名后面加“数字”表示数字记录,没有加的都为模拟记录

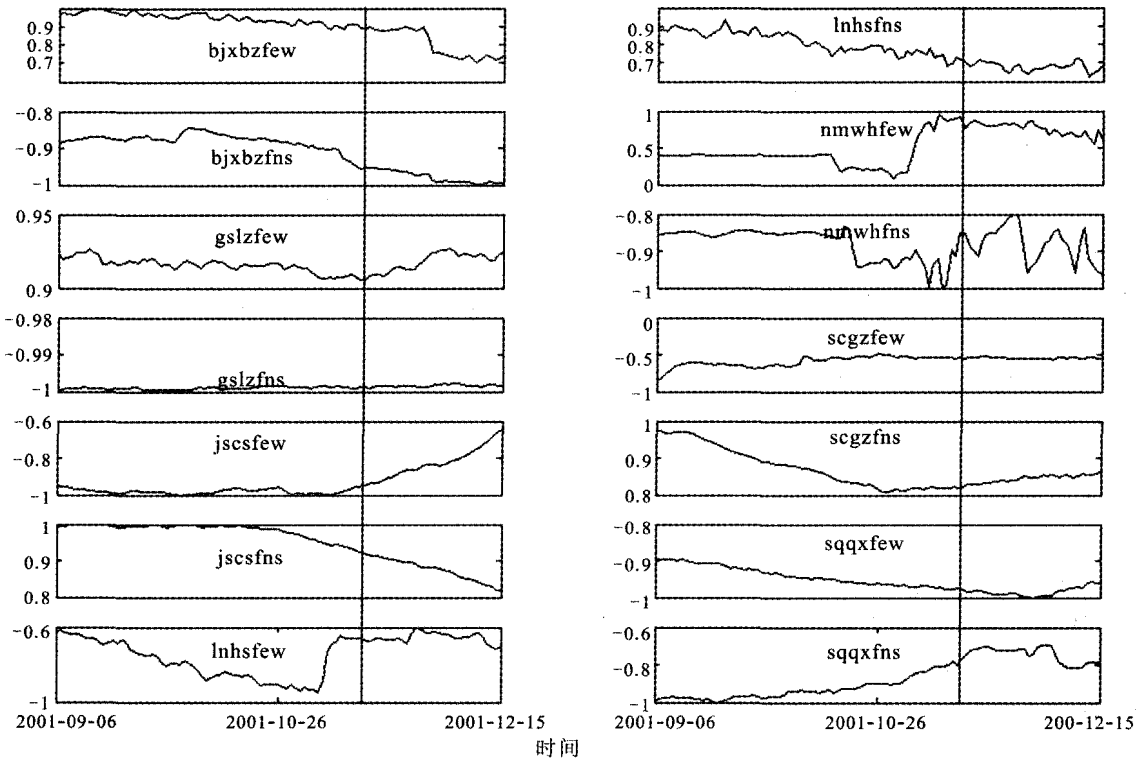


图 1 7 个台站日均值数据归一化处理结果(字母代表台站名字,few:东西向,fns:南北向)
Fig. 1 The normalization results of day average value of 7 stations.

3.2 昆仑山口 8.1 级地震前后水管倾斜形变场的时空变化特征

根据台站分布情况选择了一个矩形研究区域,包含了所用到的全部台站。利用单台处理的结果,分类计算和整理了每月均值的微分和 M_2 波潮汐因子的微分;再利用线性插值得到每月均值和潮汐因子的空间分布图;由不同时间的空间分布图可得到其动态演化结果。图 2 为 2001 年 8 月—2002 年 1 月 6 个月间东西向日均值的演化结果;图 3 为南北向日均值的演化结果;图 4 为东西向 M_2 波潮汐因子演化结果;图 5 为南北向 M_2 波潮汐因子演化结果。

根据结果,东西向日均值微分的空间分布在 2001 年 9 月和 10 月大部分区域呈现出了负向的变化,图中红色占优;在 11 月大部分区域变化趋势减小到 0 附近,图中绿色占优;到了 2001 年 12 月份大部分区域呈现出了正向的变化,图中蓝色占优。南北的值在 2001 年 10 月呈现出较大的负向变化趋势,从 2001 年 11 月到 2002 年 1 月这种负向趋势明显减弱。东西向 M_2 波潮汐因子在所研究的时间段内变化都显得较平稳,没有表现出较大的变化。南北向 M_2 波潮汐因子在地震前的 2001 年 10 月和震后的 2001 年 12 月与 2002 年 1 月表现出了相同的空间分布特征,而在地震发生的 2001 年 11 月表现出了明显的不同。以上特征都是在所研究的整个区域上表现出的共性,因此和局部的影响关系不会很大,可以认为是这次大地震所引起的一种空间上的变化。

4 结论和讨论

(1) 本研究突破了以前利用单台的资料去寻找短临异常的思路,利用可以用到的所有台站的 FSQ 水管倾斜仪的资料,研究整个区域内大范围形变的时空演化特征,寻找多个台站的记录在大地震之前出现的异常,从场的角度去研究和寻找大地震的短临异常和震后形变场的分布。由于使用资料较多,所以结果的可行性也更高。

(2) 在资料处理中充分利用了前人的研究方法,实现了大量数据的批量处理和结果的直观显示,本文所实现的方法对多年来大量的连续形变资料的分析和处理具有重要的意义。

(3) 2001 年的昆仑山口 8.1 级地震对中国大陆

形变场的分布产生了重大影响,本文的研究表明,在该地震前后较多台站水管倾斜仪的日均值都出现了趋势上的较大变化。

(4) 通过分析日均值和 M_2 波潮汐因子在大地震前后的空间演化特征,表明:东西向日均值、南北向日均值和南北向潮汐因子的空间分布在地震前后都出现了大范围的变化特征,这种特征我们认为和大地震有密切的关系,而东西向 M_2 波的潮汐因子没有出现较明显的变化。

(5) 为了进一步研究形变场的动态演化和台站附近的中强地震的关系,在空间变化图形上我们标出了台站附近 2001 年到 2002 年期间不同震中距的中强地震,可是没能看到空间分布的动态演化和这些地震明显对应关系,这可能是由于数据在空间和时间精度还不够,分辨率较低,不能很好的对这些中强地震的短临信息进行分辨。这需要在以后的工作中进行更深一步细致的研究。

致谢:本项工作的完成过程中,在程序方面,甘肃省地震局唐九安研究员给予了很多无私和耐心的帮助,本研究中使用的资料都来自科技部支持的科技基础专项——中国固体潮汐数据库建设及共享服务。本研究得到了地震科学联合基金(605010)和甘肃省地震局青年地震科学基金资助,在此一并表示感谢。

[参考文献]

- [1] 沈旭章,常千军,梅秀苹. 2004. 兰州形变台水管倾斜仪映震能力的分析研究[J]. 西北地震学报, 26(4): 368-370.
- [2] 李强,杨军,南黄海 6.1 级地震前倾斜潮汐因子变化研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(3): 84-86.
- [3] 陈学庭,陈修民,李于民,等. 台湾南投 7.6 级地震与浙江省地倾斜异常特征分析[J]. 地震学刊, 2002, 22(2): 55-60.
- [4] 牛安福,张晶,张晓清,等. 昆仑山口西 8.1 级地震前祁连山地震带附近形变异常的演化特征[J]. 地震, 2003, 23(4): 21-26.
- [5] 杨又陵,刘建民,于克滋,等. 2003 年俄、中、蒙交界 $M7.9$ 地震前地倾斜异常[J]. 内陆地震, 2005, 19(2): 97-104.
- [6] 牛安福. 地倾斜变化的突变性及与地震关系的研究[J]. 地震学报, 2003, 25(4): 441-445.
- [7] 薄万举,张祖胜,郭良迁. 昆仑山口大地震与地形变异常的讨论[J]. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(1): 22-28.
- [8] 唐九安. 固体潮观测数据的预处理[J]. 西北地震学报, 1981, 27(3): 73-77.
- [9] 唐九安. 天顶距公式用于重力、倾斜和应变固体潮资料的拟合检验[J]. 地壳形变与地震, 1990, 17(2): 1-8.

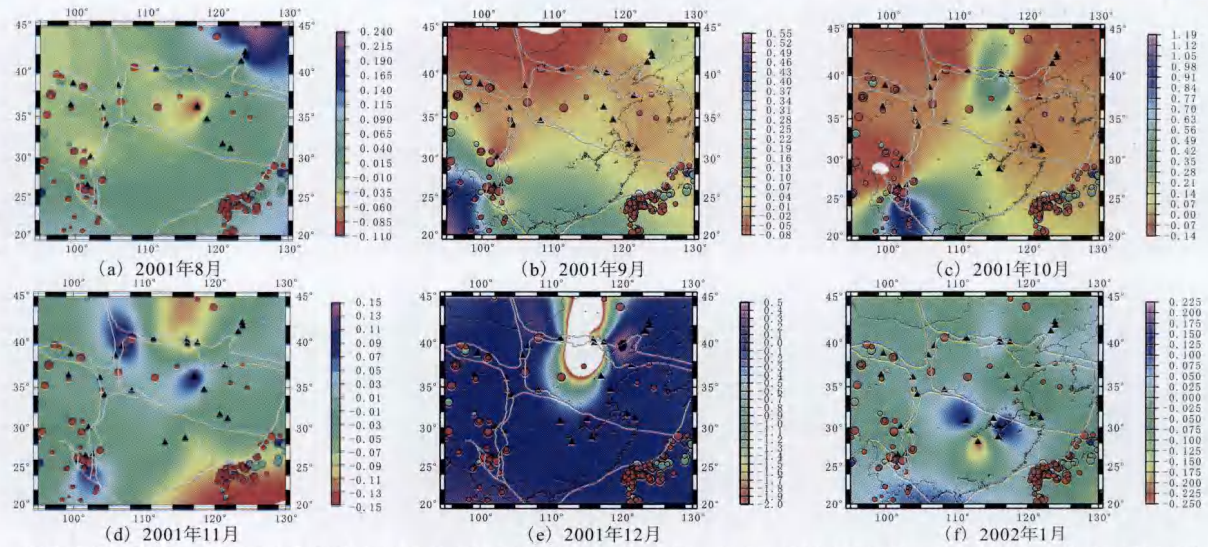


图2 2001年8月—2002年1月东西向日均值的演化(灰色的线给出了所在区域一级块体的边界, 三角表示台站位置, 圆圈代表2001年到2002年期间该区域发生的地震, 不同颜色代表不同深度, 红色: 小于30 km; 绿色: 30~70 km; 蓝色: 大于70 km)

Fig.2 Evolution images of day average value of East-West component from Aug. 2001 to Jan. 2002.

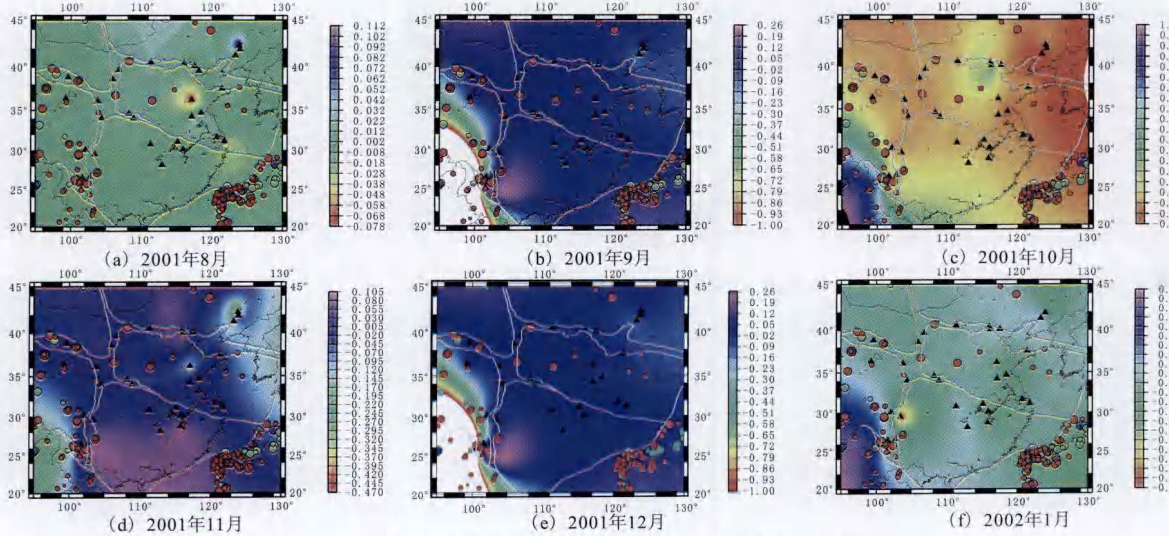


图3 2001年8月—2002年1月南北向日均值的演化

Fig.3 Evolution images of day average value of North-South component from Aug. 2001 to Jan. 2002.

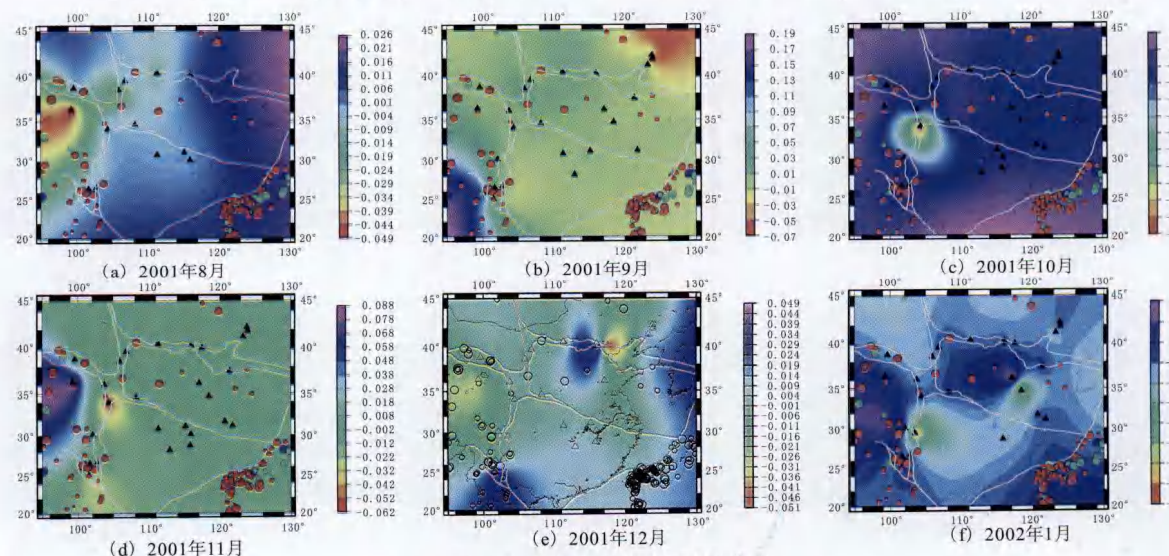


图4 东西向 M_2 波潮汐因子演化

Fig.4 Evolution images of East-West component of M_2 tide factor.

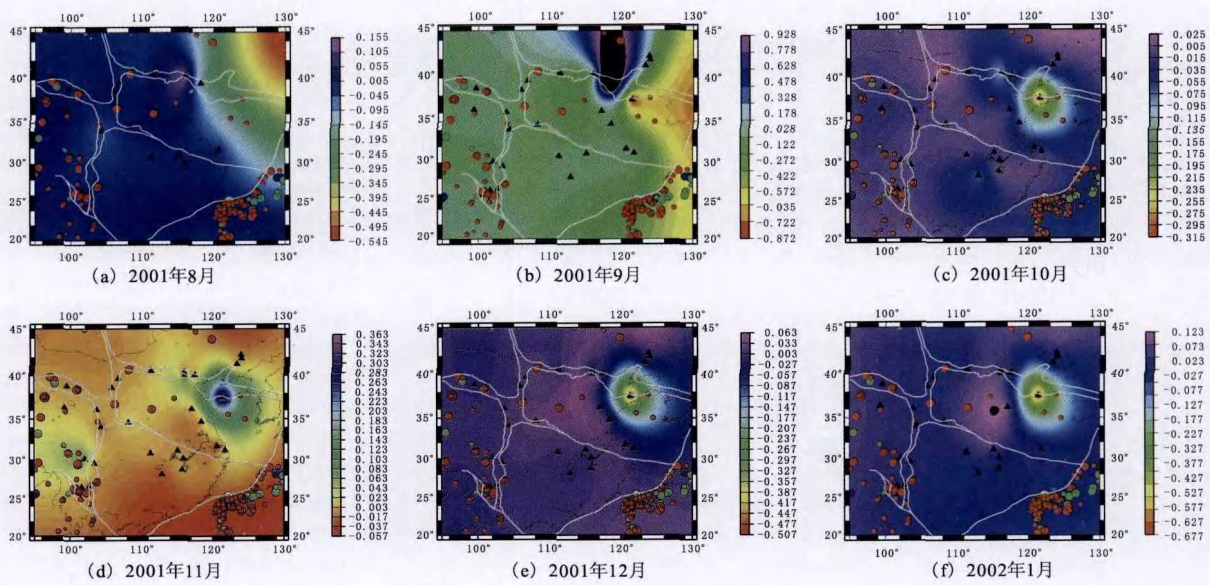


图5 南北向 M_2 波潮汐因子演化
Fig.5 Evolution images of North-South component of M_2 tide factor.

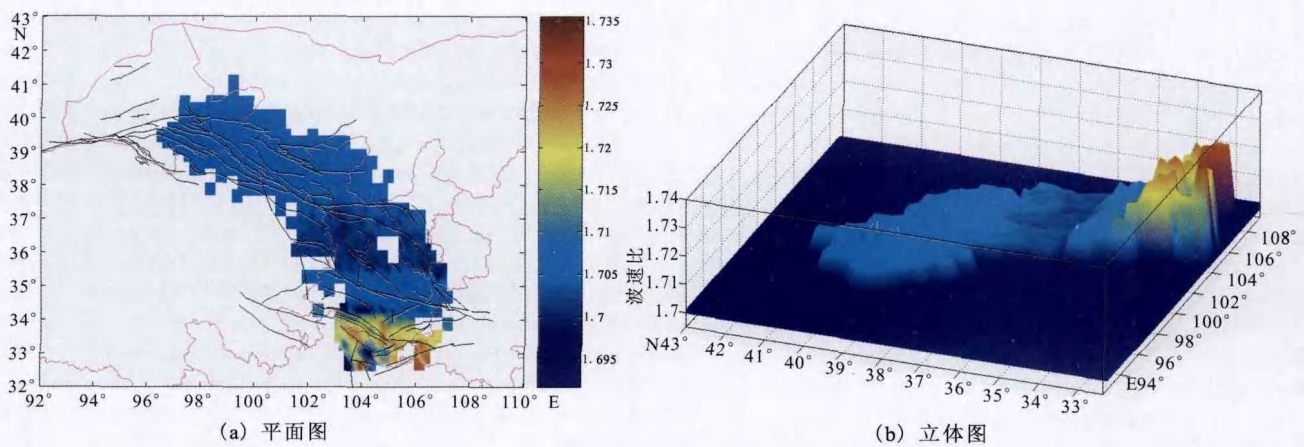


图2 青藏块体东北缘平均波速比值的空间分布
Fig.2 Distribution of average seismic velocity ratio in Northeastern margin of Qinghai-Tibet block.