

# 地震活动性总体状态参量 $R_t$ 在新疆 天山地区的初步应用<sup>\*</sup>

王 琼, 曲延军

(新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 通过计算分析新疆北天山地区、南天山东段地区、南天山西段的柯坪块区及喀什—乌恰交汇区中强震前地震活动性总体状态参量  $R_t$  的变化特征, 给出了各区中强震发生时间和强度基于  $R_t$  值的判定指标。  $R_t \leq 0.89$  可作为北天山地区 1 年内发生 5.1~6.0 级地震的指标;  $R_t \leq 0.79$  可作为南天山东段 1 年内发生 5.4~6.0 级地震的指标;  $R_t \leq 0.85$  可作为柯坪块区 1.5 年内发生 6 级地震的指标;  $R_t \leq 0.88$  可作为喀什—乌恰交汇区 1 年内发生 6~7 级地震的指标。

关键词: 地震活动性; 参数组合; 总体状态参量  $R_t$  值; 地震活动稳定程度; 预测检验; 天山地区

中图分类号: P315.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)02-0109-05

## 0 引言

王林瑛 (2006) 在借鉴前兆综合分析方法的基础上, 提出了地震活动性多参数总体状态参量  $R$ , 并将其应用于我国华北、东北和西北地区的强震研究, 总结了  $R$  在强震发生前后随时间的变化特征。结果表明, 依据  $R_t$  的变化特征判定研究区域地震活动的稳定状态是可行的, 可作为综合分析该区域地震活动是否处于临界状态的参考依据。

笔者应用地震活动性总体状态参量  $R$  研究了新疆天山地区中强震前  $R_t$  的变化特征, 并给出了不同区域中强震发生时间和强度的判定指标。考虑到区域地震活动状态的差异性和预报的实际意义, 笔者将  $R$  应用到较小的区域范围进行研究。同时, 在王林瑛 (2005) 选择的地震活动性参数基础上, 增加了震级—频度曲线与  $G-R$  关系式的偏离程度  $\eta$  值、地震非均匀度  $GI$  值和响应比  $Y$  值作为预测因子。

## 1 资料选取

考虑到资料完备性和震级越小随机性越强等因素, 笔者采用 1970~2006 年新疆区域台网的  $M_s$

$\geq 2.5$  地震目录 (具体震级下限因研究区不同而不同), 根据区域构造特征和历史地震活动特点, 将新疆境内天山地震带划分为 4 个研究区: 北天山地区 ( $42.6^\circ \sim 45.5^\circ N$ ,  $80.0^\circ \sim 87.5^\circ E$ )、南天山东段地区 ( $40.5^\circ \sim 43.0^\circ N$ ,  $80.5^\circ \sim 90.5^\circ E$ )、南天山西段柯坪块区 ( $38.8^\circ \sim 42.5^\circ N$ ,  $75.6^\circ \sim 81.0^\circ E$ ) 和喀什—乌恰交汇区 ( $37.8^\circ \sim 41.0^\circ N$ ,  $72.3^\circ \sim 76.0^\circ E$ ) (图 1)。

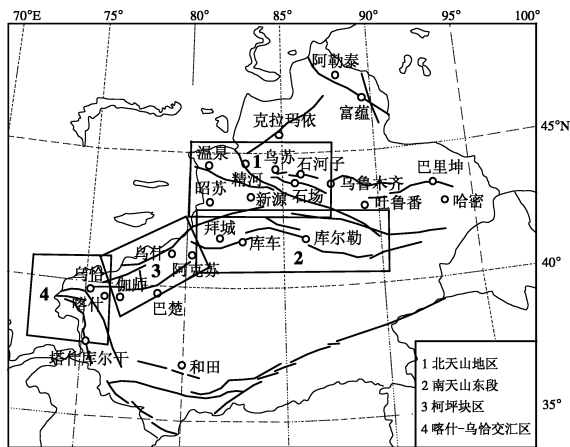


图 1 研究区范围示意图

研究中分别选取不同的时间窗长和步长计算分析  $R_t$  值, 通过对比中强地震前不同时间窗长和步长  $R_t$  的异常特征, 来确定最佳预测时间窗。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-10-10.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAC01B03-04-02) 资助。

研究中选用的地震活动性参数有: 时间熵  $Q$  (平静、丛集等)、地震能量分布特征量  $b$  值、地震平均震级  $M$  值 (缺震)、地震频度  $N$  值、地震调制比  $R_m$ 、震级—频度曲线与  $G-R$  关系式的偏离程度  $\eta$  值、地震非均匀度  $G$  值和响应比  $Y$  这些地震活动性参数表征了地震活动的时间分布、频次、震级结构、震级强度和外因调制作用, 比较全面地刻画了地震活动性的各方面特征。其中  $b$  值、 $\eta$  值均与震级或平均震级强度有关, 而  $R_m$  和响应比  $Y$  的物理性质一致, 二者存在明显的相关性 (陆远忠等, 2002)。在对不同的区域选用地震活动性参数组合时, 我们尽量避免选择相关的参数进行组合, 以便各参数保持一定的独立性 (王林瑛, 2005)。

## 2 研究方法

### 2.1 地震活动性总体状态参量 $R_t$

地震活动性总体状态参量  $R_t$  主要用于研究地震活动所处的稳定状态 (王林瑛, 2006), 将地震活动多参数描述的总体稳定性作为预测参量, 综合分析地震活动总体状态特征。该参量以各预测因子多年的平均值作为分析的背景依据, 将背景值视为平稳活动态的参考。根据背景参量与变化参量的相关性分析 (陈希孺, 1996), 得出总体状态参量  $R_t$ 。当  $R_t$  接近 1 时, 表明此阶段的地震活动性与背景状态接近, 处于平稳态; 当其明显偏离 1 时, 表明此阶段的地震活动性与背景状态明显偏离, 处于活跃态, 由此可判定地震活动状态的稳定性。

设  $x_{ij}$  ( $i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, n$ ) 为预测因子。本研究取 5 个因子, 当  $i=1 \sim 5$  时, 分别表示不同的预测因子; 当  $j=1 \sim n$  时, 分别表示从 1 至  $n$  各个时段。为计算相关系数, 每个预测因子的时间变化量用相应时间序列的最大值进行归一化处理, 每个时间段  $R_t$  值由下式计算:

$$R_t = S_{ij} / \sqrt{S_i^2 \cdot S_j^2}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

其中,

$$S_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 (\bar{x}_i - \bar{X})(x_{ij} - \bar{x}_i), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$S_j = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (\bar{x}_j - \bar{X})^2; \quad (3)$$

$$S_j = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (x_{ij} - \bar{x}_j)^2, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

而

$$\bar{X} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \bar{x}_i \quad (5)$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, 5 \quad (6)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_{ij}, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式中  $\bar{x}_i$  为不同预测因子的算术平均值。

### 2.2 预测检验方法

使用综合考虑漏报率和虚报率的  $R$  值来检验该方法的预测效能, 其计算公式 (王林瑛, 2006) 为

$$R = 1 - \frac{\text{虚报次数}}{\text{发出预测总数}} - \frac{\text{漏报次数}}{\text{应预报总次数}}$$

预测评分最好为  $R=1$ , 即漏报率为 0, 虚报率为 0; 最差为  $R=-1$ , 即漏报率为 1, 虚报率为 1。

异常指标达到后的发震条件概率为:  $P = (n+1)/(N+2)$ , 其中  $n$  为异常出现后发生地震的次数,  $N$  为异常出现的总次数。

## 3 计算结果分析

### 3.1 北天山地区

北天山西段地质构造复杂, 主要由近 EW 向和 NW 向构造带构成, 现今地震活动较频繁, 1970 年以来地震活动水平为 5~6 级 (朱令人, 2002)。北天山地区不同时间窗长和步长、不同地震活动性参数组合的总体状态参量  $R_t$  值计算结果显示, 选取震级下限  $M_0=3.0$ 、时间窗长 24 个月、滑动步长 1 个月, 缺震、频度、时间熵、 $\eta$  值、响应比参数组合, 得到的  $R_t$  值中期映震效果最佳 (图 2a)。该区发生的 6 组 5.1 级以上地震中, 有 5 组震前 1 年状态参量  $R_t$  值出现不稳定波动变化。该区 1970 年以来共出现 5 次  $R_t \leq 0.89$ , 1 年内都对应了  $M_s \geq 5.1$  地震。由此可见, 对北天山地区而言, 当  $R_t \leq 0.89$  时, 该区地震活动处于不稳定状

态, 发生  $M_s \geq 5.1$  地震的可能性较大; 反之, 则认为该区地震活动处于相对稳定状态, 发生  $M_s \geq 5.1$  地震的可能性不大。因此,  $R_t \leq 0.89$  可作为北天山地区发生  $M_s \geq 5.1$  地震的异常指标。

当  $R_t \leq 0.89$  出现后, 预测该研究区 1 年内的发震概率  $P = (5 + 1) / (5 + 2) = 0.86$   $R = 1 - 0.5 - 2/6 = 0.67$ 。

3.2 南天山东段

受塔里木盆地向北的推挤作用, 南天山东段构造走向相对单一, 基本呈 EW 向, 1970 年以来是 5~6 级地震活动区 (朱令人, 2002)。南天山东段地区不同的时间窗长和步长、不同地震活动性参数组合的总体状态参量  $R_t$  值计算结果显示, 选取震级下限  $M_0 = 3.0$  时间窗长 24 个月、滑动步长 2 个月, 缺震、频度、时间熵、 $GL$ 、 $R_m$  参数组合, 得到的  $R_t$  值中期映震效果最佳 (图 2b)。该区发生的 6 组 5.4 级以上地震中, 有 5 组在震前 1 年状态参量  $R_t$  值出现不稳定波动变化。该区 1970 年以来出现了 6 次  $R_t \leq 0.79$  其中仅 1 次 1 年内未对应  $M_s \geq 5.4$  地震。由此可见, 对南天山东段而言, 当  $R_t \leq 0.79$  时, 该区地震活动处于不稳定状态, 发生  $M_s \geq 5.4$  地震的可能性较大; 反之, 则认为该区地震活动处于相对稳定状态, 发生  $M_s \geq 5.4$  地震的可能性不大。因此,  $R_t \leq 0.79$  可作为南天山东段发生  $M_s \geq 5.4$  地震的异常指标。

当  $R_t \leq 0.79$  出现后, 预测该研究区 1 年内的发震概率  $P = (5 + 1) / (6 + 2) = 0.75$   $R = 1 - 1/6 - 0/6 = 0.83$ 。

3.3 柯坪块区

柯坪断块位于南天山构造带西段、塔里木盆地的西北缘, 由多组 NE 走向的断裂构成, 是 6 级强震活动较频繁的区域 (朱令人, 2002)。柯坪块区不同的时间窗长和步长、不同地震活动性参数组合的总体状态参量  $R_t$  值计算结果显示, 选取震级下限  $M_0 = 3.0$  时间窗长 24 个月、滑动步长 1 个月, 缺震、频度、时间熵、 $\eta$  值、响应比值参数组合, 得到的  $R_t$  值中期映震效果最佳 (图 2c)。该区发生的 6 组 6 级以上地震中, 有 4 组在震前 1 年状态参量  $R_t$  值出现了不稳定的低值波动变化, 1 组震前 1.5 年  $R_t$  值出现低值变化, 1 组震前 2.5 年  $R_t$  值出现低值变化。该区 1970 年以来出现了 6 次  $R_t \leq 0.85$  其中仅有 1 次 1.5 年内未对应  $M_s \geq 6$  地震。由此可见, 对柯坪块区而言, 当  $R_t \leq 0.85$  时, 该区地震活动处于不稳定状态, 发生  $M_s \geq 6$  地震的可能性较大; 反之, 则认为该区地震活动处于相对稳定状态, 发生  $M_s \geq 6$  地震的可能性不大。因此,  $R_t \leq 0.85$  可作为柯坪块区发生  $M_s \geq 6$  地震的异常指标。

当  $R_t \leq 0.85$  出现后, 预测该研究区 1.5 年内的发震概率  $P = (5 + 1) / (6 + 2) = 0.75$   $R = 1 - 1/6 - 0/6 = 0.83$ 。

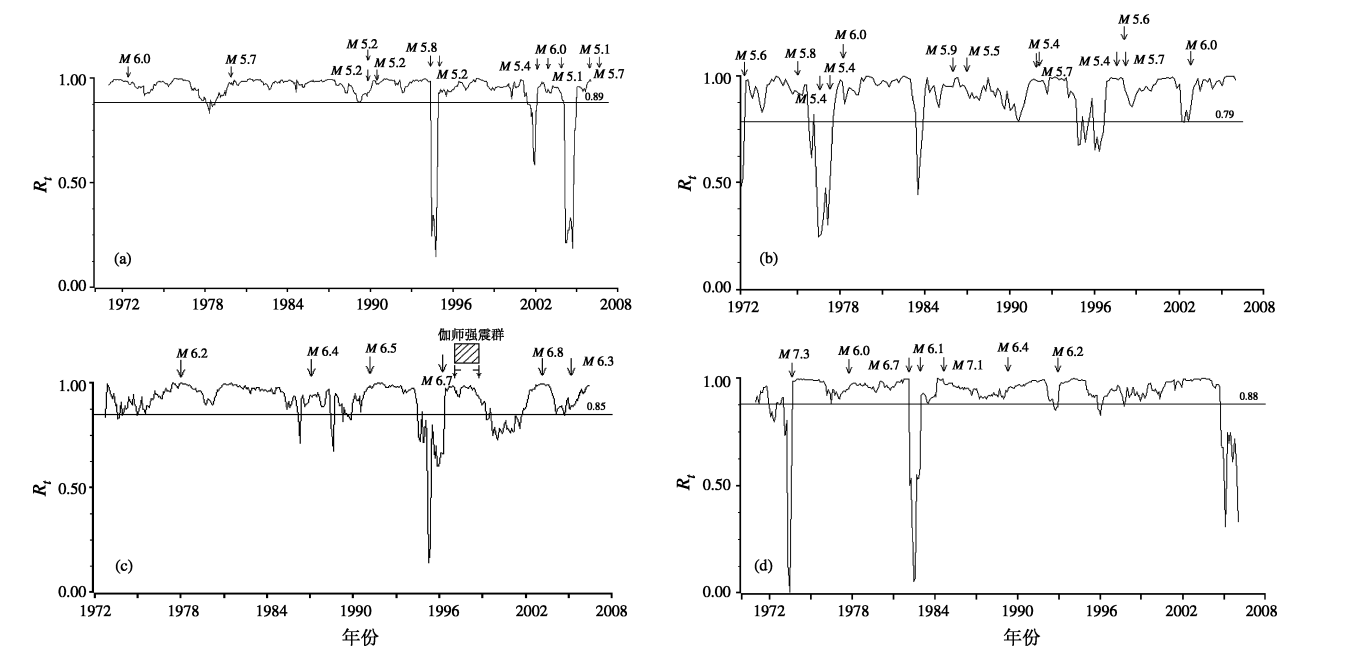


图 2 各研究区地震活动总体状态参量  $R_t$  值时序曲线  
(a) 北天山地区; (b) 南天山东段地区; (c) 柯坪块区; (d) 喀什—乌恰交汇区

3.4 喀什—乌恰交汇区

喀什—乌恰地区位于帕米尔弧的北端，处于南天山地震带、西昆仑山带和塔里木地台的喀什新生代拗陷带衔接地带，构造运动强烈，是6~7级地震主体活动地区（朱令人，2002）。喀什—乌恰交汇区不同的时间窗长和步长、不同地震活动性参数组合的总体状态参量 $R_t$ 值计算结果显示，选取震级下限 $M_0=3.0$ ，时间窗长为24个月、滑动步长为2个月，缺震、频度、时间熵、 $b$ 值、响应比值参数组合，得到的 $R_t$ 值中期映震效果最佳（图2d）。该区发生的5组6级以上地震中，有4组震前1年状态参量 $R_t$ 值出现了波动变化。该区1970年以来出现了5次 $R_t \leq 0.88$ ，其中仅1次1年内未对应 $M_s \geq 6$ 地震。由此可见，对喀什—乌恰交汇区而言，当 $R_t \leq 0.88$ 时，该区地震活动处于不稳定状态，发生 $M_s \geq 6$ 地震的可能性较大；反之，则认为该区地震活动处于相对稳定状态，发生 $M_s \geq 6$ 地震的可能性不大。因此， $R_t \leq 0.88$ 可作为喀什—乌恰交汇区发生 $M_s \geq 6$ 地震的异常

指标。  
当 $R_t \leq 0.88$ 出现后，预测该研究区1年内的发震概率 $P=(4+1)/(5+2)=0.71$ ， $R=1-1/5-1/5=0.60$ 。  
3.5 综合分析

表1列出了各研究区基于 $R_t$ 值的预测指标。由表1可见，各个研究区的 $R_t$ 值异常指标下限较为一致，在0.79~0.9之间，这与王林瑛（2006）得到的西部地区 $R$ 值异常下限0.80比较接近。 $R_t$ 值总体变化特征表现为中强震平静时段 $R_t$ 值较平稳，接近1；活跃时段则出现不稳定低值波动变化。由于各个研究区构造特征和地震活动水平的差异， $R_t$ 值变化特征不同。南天山东段和西段各研究区平静期的 $R_t$ 值波动幅度比北天山地区大，尤其是在中强震前平静时段，北天山地区 $R_t$ 值较稳定，而其他区域则存在不稳定的小幅波动变化。这与南天山地区相对于北天山地区地质构造复杂、中等地震较为活跃的情况是一致的。

表 1 各研究区基于  $R_t$  值的预测指标

研究区域	$R_t$ 值异常指标	预测震级	发震概率	$R$ 值
北天山地区	$\leq 0.89$	5.2~6.0	0.86（1年）	0.67
南天山东段	$\leq 0.79$	5.4~6.0	0.75（1年）	0.83
柯坪块区	$\leq 0.85$	6	0.75（1.5年）	0.83
喀什—乌恰交汇区	$\leq 0.88$	6~7	0.71（1年）	0.60

表1表明，不同区域地震活动的临界状态具有区域特征。比如北天山地区出现 $R_t \leq 0.89$ 的地震活动不稳定状态时，可预测该区1年内有可能发生5.1~6.0级地震，概率为0.86；南天山东段出现 $R_t \leq 0.79$ 的地震活动不稳定状态时，可预测该区1年内有可能发生5.4~6.0级地震，概率为0.75；柯坪块区出现 $R_t \leq 0.85$ 的地震活动不稳定状态时，可预测该区1.5年内有可能发生6级地震，概率为0.75；喀什—乌恰交汇区出现 $R_t \leq 0.88$ 的地震活动不稳定状态时，可预测该区1年内有可能发生6~7级地震，概率为0.71。各研究区的发震概率和 $R$ 值表明， $R_t$ 值在天山地震带（新疆境内）具有较好的映震能力和预测效果。

4 结论

笔者选取北天山地区、南天山东段、柯坪块

区和喀什—乌恰交汇区作为研究区，分别研究了各研究区中强震前地震活动总体状态参量 $R_t$ 值的变化特征，并提取了中强震发生时间和强度的判定指标。结果表明：  
(1) 依据 $R_t$ 值的变化特征，可定量判定区域地震活动状态是否由稳定的平静阶段进入了不稳定的活跃阶段。各研究区的 $R_t$ 值的映震（中强地震）情况表明，不同研究区地震活动的稳定状态与中强震的发生有较密切的关系：当地震活动处于平静阶段时， $R_t$ 值在1附近波动变化；反之，当地震活动处于相对活跃时段时， $R_t$ 值出现低值波动变化。故可用总体状态参量 $R_t$ 值判定不同研究区中强震孕育的状态。  
(2) 由于各个研究区地质构造特征和地震活动水平的差异，南天山东段和西段各研究区平静期的 $R_t$ 值波动幅度比北天山地区大。  
(3)  $R_t$ 值在各研究区均具有较好的映震能力

和预测效果。北天山地区出现  $R_t \leq 0.89$  时, 可预测该区 1 年内有可能发生 5.1~6.0 级地震; 南天山东段出现  $R_t \leq 0.79$  时, 可预测该区 1 年内有可能发生 5.4~6.0 级地震; 柯坪块区出现  $R_t \leq 0.85$  时, 可预测该区 1.5 年内有可能发生 6 级地震; 喀什—乌恰交汇区出现  $R_t \leq 0.88$  时, 可预测该区 1 年内有可能发生 6~7 级地震。由此, 可为这些区域的地震危险性分析提供中期判据。

(4) 考虑区域差异和地震活动性参数间的关联, 对不同研究区选取不同的时间窗长和地震活动性参数组合, 通过调整参数组合和窗长、步长, 最终确定不同研究区的最佳组合。

本文在研究中得到王林瑛研究员的指导和帮

助, 在此深表谢意。

参考文献:

陈希孺. 1996 概率论与数理统计 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社.  
陆远忠, 李胜乐, 邓志辉, 等. 2002 基于 GIS 的地震分析预报系统 [M]. 成都: 地图出版社.  
王林瑛, 陈学忠, 朱传镇, 等. 2006 地震活动性总体参量  $R_t$  及其在地震预测中的应用研究 [J]. 地震, 26 (2): 54—60  
王林瑛, 吴忠良, 陈佩燕. 2005 地震活动性参数的相关性 [J]. 地震学报 26 (增刊): 169—174.  
朱令人. 2002 新疆通志 (十一卷, 地震志) [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社.

Application of Integrated Parameter  $R_t$  of Seismic Activity  
in Tianshan Mts, Xinjiang

WANG Qiong QU Yanjun

(Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract

Tianshan Seismic Belt in China was divided into four areas: North Tianshan, the east of South Tianshan, Keping Block and the KashiWuqia junction region. Based on the calculation and analysis result of  $R_t$ , the integrated parameter of seismic activity before mid-strong earthquakes in the four areas, we gave the  $R_t$ -based criterion for judging the time and strength of mid-strong earthquakes in the areas:  $R_t \leq 0.89$  can be as the judge index of  $M_s 5.1-6.0$  earthquake occurring within one year in North Tianshan;  $R_t \leq 0.79$  can be as the one of  $M_s 5.4-6.0$  earthquake occurring within one year in the east of South Tianshan;  $R_t \leq 0.85$  can be as that of  $M_s 6.0$  earthquake occurring within 1.5 years in Keping Block;  $R_t \leq 0.88$  can be as that of  $M_s 6-7$  earthquake occurring within one year in the KashiWuqia junction region.

Key words: seismic activity; parameter combination; integrated parameter  $R_t$  of seismic activity; stability of seismic activity; test of prediction ability; Tianshan area



毛先进 云南省地震局正研级高级工程师。1997年毕业于中南工业大学地质系应用地球物理专业,获博士学位。主要从事工程地球物理勘探及地震电磁学研究。



Kamal AbdelRahman El-Sayed 埃及国家天文和地球物理研究所地震学室副研究员。分别于1999、1994、1990年毕业于Zagazig大学,并获工程地震学博士学位、地质学硕士学位和地球物理学学士学位。现主要从事场地效应评估、地震灾害评估和强震动数据的工程应用研究。



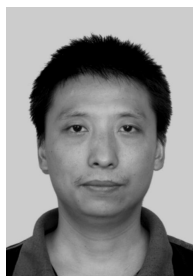
李志祥 云南省地震局地震工程研究院高级工程师。1991年毕业于北京大学地震地质专业。现主要从事建筑工程检测及水库地震监测台网建设工程设计工作,承担“复杂构造区水库地震监测预警研究”运用方面的子课题研究工作。



王 琼 新疆维吾尔自治区地震局副局长研究员。1997年毕业于新疆师范大学地理专业,获学士学位;2000年毕业于中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业,获硕士学位。主要从事地震预报和应力触发等方面的研究。



张卫东 广州航海高等专科学校交通建筑工程系副教授,一级注册结构工程师。2001年毕业于哈尔滨工业大学结构工程专业,获硕士学位。主要从事土-结构相互作用,工程结构抗震、隔震,差异沉降对上部结构的影响及防控等方面的研究及土木工程的教学工作。



皇 民 河南工程学院讲师。1996年毕业于西安矿业学院建筑工程系,获学士学位;现为西南交通大学土木学院博士研究生。研究方向为地下结构动力分析及抗减震研究。



王曰风 河北省地震局张家口中心台工程师。1999年毕业于石家庄经济学院(原河北地质学院)水文地质与工程地质专业,获学士学位;现为中国科学技术大学固体地球物理专业在读硕士研究生。主要从事地震观测与地震分析预报工作。



史 榕 2005年毕业于吉林大学地球探测科学与技术学院,获硕士学位;现为同济大学海洋与地球科学学院固体地球物理专业在读博士研究生。主要从事GPS与遥感图像处理方面的工作。