

青藏块体东北缘主要断裂带断层 形变时序特征与强震关系^{*}

张 希¹, 薛富平², 王继英²

(1. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036 2 中国地震局第二监测中心, 西安 710054)

摘要: 利用青藏块体东北缘地区 20 世纪 80 年代末至 2007 年底的跨断层短水准流动观测资料, 借助应变强度比指标, 分析了该区主要活动断裂带的构造变形动态演化特征和分段差异性以及与强震的孕育—发生过程的关系。结果表明: ① 各断裂带、断裂段应变强度比时序曲线对其上或边缘附近发生的 5.8 级以上地震反映较好, 震前数月至 1 年左右时间内基本对应“明显上升—均值线以上峰值—回落”的过程; 而断裂带(段)之间应变强度比显著差异对其交汇区及附近强震有一定预示意义。② 昆仑山口西、玉门、民乐地震相继发生后, 构造应力场经过一段时间的调整, 目前青藏块体东北缘总体上处于新一轮能量积累状态, 其中, 祁连山断裂带—海原断裂和西秦岭北缘断层尤为明显。

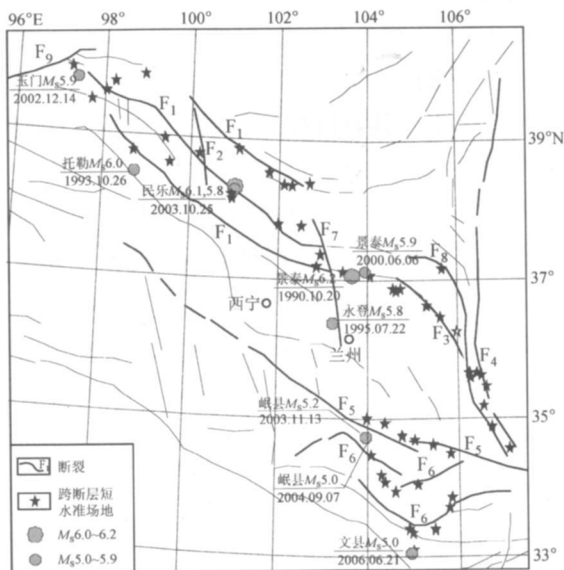
关键词: 跨断层应变强度比; 时序变化; 分段差异性; 震例; 青藏块体东北缘

中图分类号: P315.72⁺5 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2009)01-0001-05

0 引言

中国地震局第二监测中心在青藏块体东北缘地区布设有 50 余处跨断层短水准流动观测场地, 并于 20 世纪 80 年代开始观测。2003 年以前基本上于每年的 3 月、7 月和 11 月进行 3 期观测, 之后加密为 1 月、3 月、5 月、7 月、9 月和 11 月共六期。此项观测工作控制了祁连山—海原—六盘山断裂带及西秦岭构造区, 观测资料能直接反映所跨断层段落的运动变化过程, 具有中、短期前兆意义(图 1)。笔者曾从该跨断层形变资料中提取无量纲的应变强度比指标 SR_s , 并将其定义为某场地某跨断层测段单期观测值相对于上一年同期观测值位移梯度与正常平均年变幅度(即从起测至最新一期观测所得的较正常的各期位移梯度绝对值的均值)的比率(张希等, 1999, 2001^a, 2001^b, 2004)。这样计算, 既能定量表征“位移梯度”这一应变类信息实时的强弱变化, 又能使不同场地、不同测段的值具有可比性和统一性,

对趋势性加速、突跳等短期变化较为敏感, 尤其能消除季节对观测的影响。以往我们多是对各场地



F₁: 祁连山构造带; F₂: 榆木山东缘断裂; F₃: 海原断裂; F₄: 六盘山断裂
F₅: 西秦岭北缘断层; F₆: 西秦岭南缘断层; F₇: 庄浪河断裂
F₈: 中卫-同心断裂; F₉: 阿尔金山断裂

图 1 青藏块体东北缘地区跨断层短水准流动场地分布

^{*} 收稿日期: 2007-09-27.

基金项目: 中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项“青藏块体东北部强震孕育—发生动态过程研究”及“十一五”国家科技支撑项目(2006BAC01B02-02-03)共同资助。

测值进行内插拟合, 从而绘制整个监测区连续分布的应变强度比等值线图, 寻找可能与强震孕育有关的 SR_T 高值区, 或者分析强震发生前 SR_T 异常场地在空间上的集中、迁移规律。本文以整个监测区、区内主要断裂带及其各段为研究对象和构造单元, 对其所在场地的 SR_T 绝对值取均值, 记为 SR_T^0 。绘制时序曲线。参考测震学指标 b 值时间扫描结果, 从不同空间尺度, 研究该区活动断裂带的构造变形动态特征, 分析这些特征与景泰、永登、玉门、民乐等地 $M \geq 5.8$ 地震孕育—发生过程的关系 (本文资料截至 2007 年 11 月)。

1 青藏块体东北缘各断裂带 (段) 应变强度比时序变化与强震关系

由图 2 可以看出, 监测区内 $M \geq 5.8$ 地震 (图中最顶层) 前数月至 1 年内基本对应均值线 (标值为 0.61 的水平虚线) 以上的较高峰值或应变显著增强过程, 而曲线由峰值快速回落或回落后再次上升 (多数出现于震前 3 个月左右) 更有短期前兆意义; 对于监测区周边 5.8 级以上地震和监测区内 5.0 ~ 5.7 级地震 (顶层之外的地震), 多数地震前 SR_T^0 都接近均值线甚至超过均值线的增强过程或稍高峰值 (其量值相对偏低)。震后若曲线继续上升或维持均值线以上较高水平, 数月内在监测区内或周边再次发震的可能性较大。如图中托勒地震后共和 5.9 级和玉门地震后德令哈 6.6 级地震等。在 2001 ~ 2004 年昆仑山口西 8.1 级、玉门 5.9 级、民乐 6.1 级、岷县 5.0 级等地震相继发生后, 2005 年 SR_T^0 时序曲线跌至谷底, 2006 年以后逐渐回升, 目前已达到均值线以上。

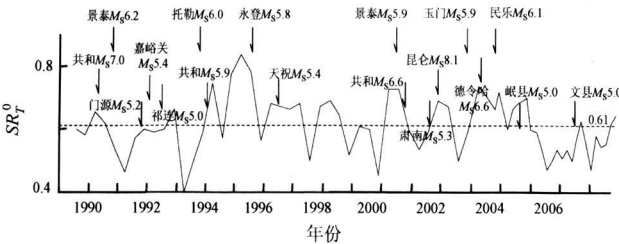


图 2 青藏块体东北缘跨断层应变强度比 SR_T^0 时序曲线

时序曲线。图中断裂段及其两端发生的地震位于最顶层, 相邻断裂段和距离较远的地震位于其它层。从图中可以看出:

(1) 祁连山构造带 SR_T^0 时序曲线 (图 3) 对该构造带东端与海原断裂交汇的区域内发生的 1990 年景泰 6.2 级、2000 年景泰 5.9 级、1993 年托勒 6.0 级、1995 年永登 5.8 级、2002 年玉门 5.9 级和 2003 年民乐 6.1 级地震均有不同程度的反映, 震前呈现与图 2 类似的“增强—接近或超过均值线—达到峰值”, 其中映震效果较好的是景泰 (2 次)、永登和民乐地震。若以榆木山东缘断裂为界将构造带划分为西段和中东段, 则 SR_T^0 曲线对各断裂段及边缘附近发生的地震反映更好, 如西段的 SR_T^0 时序曲线对托勒、玉门地震的映震效果较好, 图 3 b 中 2002 年 11 月出现峰值, 虽与昆仑山口西巨震时间相符, 但从震中距看, 更可能与玉门地震有关。中东段 SR_T^0 时序曲线在震前 1 年左右时间内基本没有变化; 祁连山构造带中东段 SR_T^0 时序曲线对其上的 1996 年 6 月 1 日天祝 5.4 级地震反映较好 (图 3 c, 永登地震后 SR_T^0 值仍很高)。2007 年祁连山构造带中东段和西段 SR_T^0 曲线均表现为回升, 11 月份西段的 SR_T^0 值曲线上升趋势相对明显。

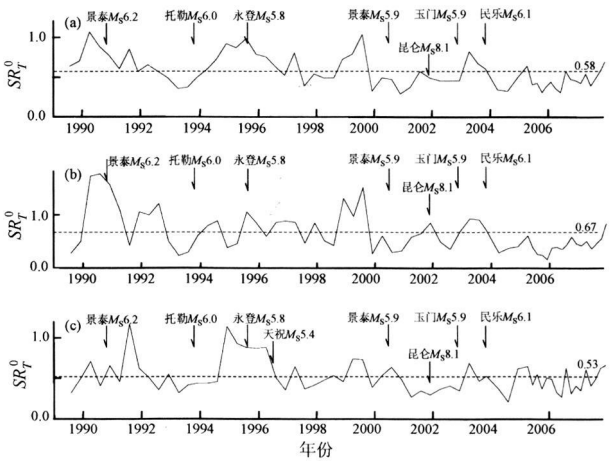


图 3 祁连山构造带跨断层应变强度比 SR_T^0 时序曲线 (a) 祁连山构造带; (b) 祁连山构造带西段 (榆木山东缘断裂以西); (c) 祁连山构造带中东段 (榆木山东缘断裂以东)

此外, 图 3 a 中的曲线呈现与景泰、永登、民乐 4 次强震的孕育—发生—调整过程相关和 4 年左右为一个准周期的“升高—降低”变化。目前曲

线有回升趋势, 但量值还不是很高。而构造带西段呈现以 2 次景泰地震分割的“急剧升高—大幅降低—维持相对低水平”的 8 年左右准周期变化, 每个周期内都伴随“东段—西段—中东段”3 次地震发生, 目前可能出现新一轮周期性变化, 量值也偏弱。

(2) 海原—六盘山断裂带 SR_T^0 时序曲线 (图 4 a) 对断裂带西端及相邻的祁连山断裂带中东段的永登、景泰 (2000 年 $M_{5.9}$) 和民乐地震反映较好, 震前数月出现超过均值线的显著峰值, 2001 年昆仑山西口 8.1 级巨震前后出现大幅波动。六盘山断裂自开展短水准观测以来未发生过 5 级以上地震。其上的 SR_T^0 时序曲线对祁连山断裂带中东段及其与海原断裂交汇区强震有不同程度反映, 映震效果总体弱于距震中更近的海原断裂 (图 4 b c)。2007 年海原断裂 SR_T^0 明显回升, 已超过均值线。

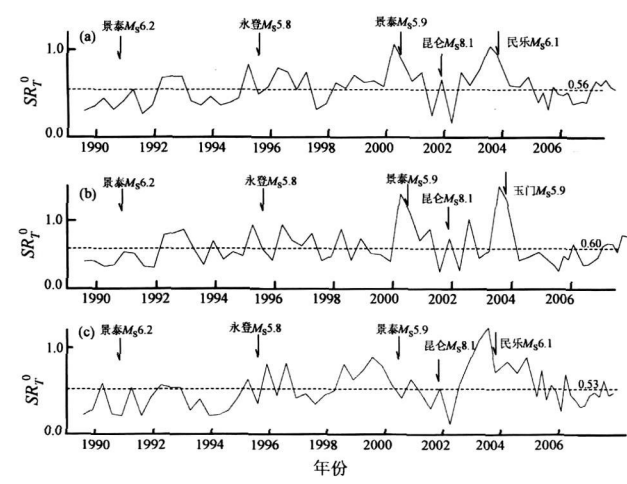


图 4 海原—六盘山断裂带跨断层应变强度比 SR_T^0 时序曲线
(a) 海原—六盘山断裂带; (b) 海原断裂;
(c) 六盘山断裂

(3) 西秦岭构造区 SR_T^0 时序曲线可能反映了 1995 年永登地震和 2000 年景泰地震的同震影响 (图 5 a b 震后数天至 1 月内施测), 对岷县 5.2 级和 5.0 级、文县 5.0 级地震也有所反映, 距震中更近的南缘断层对这三大地震的映震效果略好于北缘断层 (图 5 b c)。2006 年以来曲线总体回升, 尤其西秦岭北缘断层上的 SR_T^0 时序曲线, 在 2007 年出现明显的均值线以上峰值。

可以看出, 各断裂带和断裂段上计算得到的

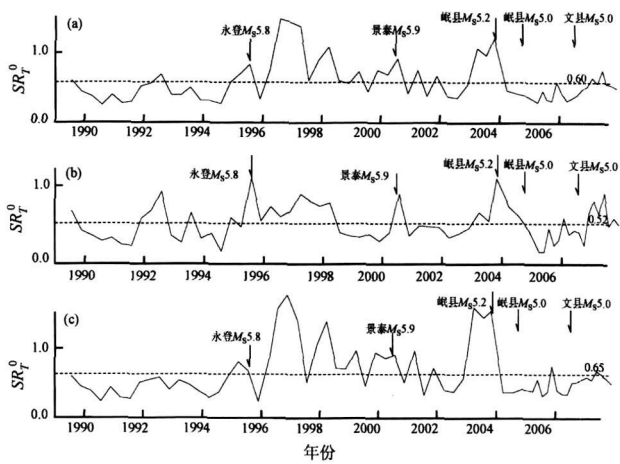


图 5 西秦岭构造区跨断层应变强度比 SR_T^0 时序曲线
(a) 西秦岭构造区; (b) 西秦岭北缘断层;
(c) 西秦岭南缘断层 (岷县—宕昌断裂等)

多年 SR_T^0 平均值并不一样, 最低的是西秦岭北缘断层 (0.52), 最高的是西秦岭南缘断层 (0.67), 这种现象应与各断裂带 (段) 所处构造环境、断层活动水平与方式、甚至跨断层场地位置有关。

此外, 我们比较各断裂带 (段) 间断层活动差异情况后, 发现 2 次景泰地震和永登地震前一年内都出现过祁连山构造带与海原—六盘山断裂带 SR_T^0 值差异显著 (差值超过 0.5) 的现象, 这三次地震 (图 6 a) 的震中即位于这两条大型构造带的交汇区及其附近。景泰、永登、民乐地震前祁连山构造带中东段和海原断裂的 SR_T^0 值差异相对明显 (图 6 b); 景泰、托勒、永登、玉门地震前 1 年多时间内祁连山构造带西段和中东段的 SR_T^0 值均出现过比较明显的差异 (图 6 c), 仅民乐地震前差异略小; 2003 年 11 月岷县 5.2 级地震前西秦岭北缘断层和南缘断层的 SR_T^0 值差异非常显著 (图 6 d) 震中就在两区之间。我们认为, 断层活动差异显著可使能量易于集中, 尤其在断层交汇区及其附近。总体上看, 2007 年各断裂段差异还不是很突出。

我们又采用青藏块体东北缘地区的地震目录 (1989—01~2006—12 $M \geq 2.5$), 用测震学指标 b 值进行时间扫描获得 b 值时序曲线 (图 7 b)。该曲线对景泰 (2 次)、托勒、永登、玉门地震反映较好, 震前 1 年多时间内高值异常 (超过上限 0.787)、低值异常 (低于下限 0.686)、先低值异常后高值异常的情况都出现过 (图 7), 其中“先低值异常后高值异常”的情况占 3/5 与跨断层应

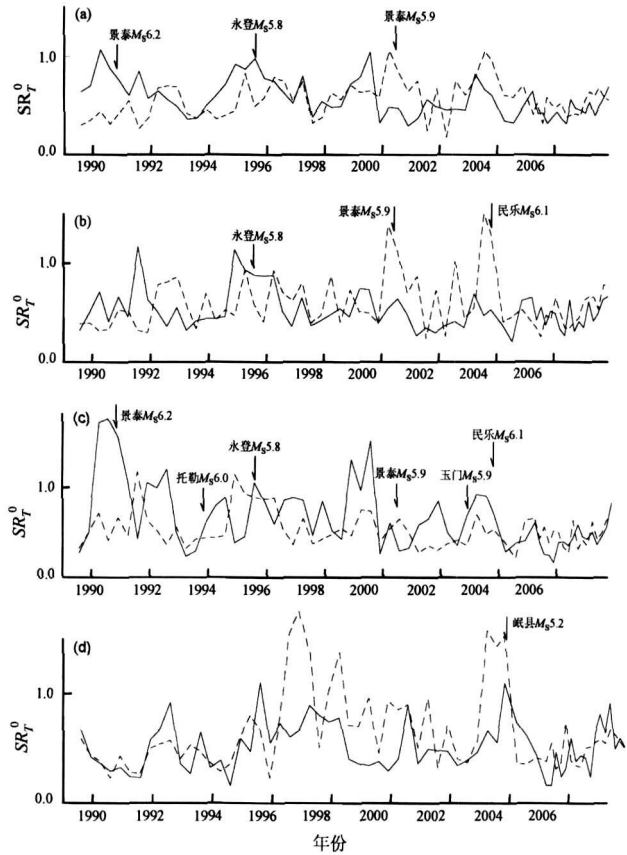


图 6 各断裂带（段）之间应变强度比 SR_T^0 时序曲线对比

(a) 祁连山构造带（实线）与海原—六盘山断裂带（虚线）；
(b) 祁连山断裂带中东段（实线）与海原断裂（虚线）；
(c) 祁连山断裂带西段（实线）与中东段（虚线）；
(d) 西秦岭北缘断层（实线）与南缘断层（虚线）

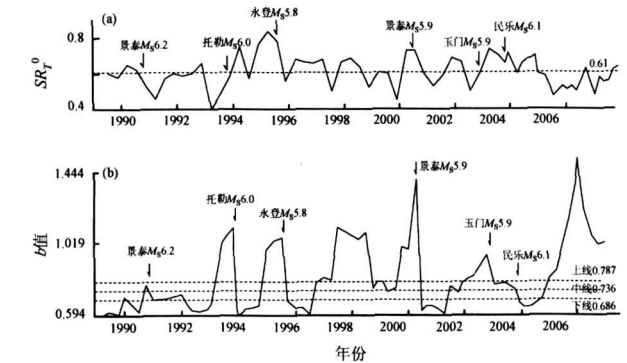


图 7 青藏块体东北缘 SR_T^0 (a) 与 b 值 (b) 时序曲线对比

变强度比值曲线在震前数月至 1 年左右表现出的“明显上升—均值线以上峰值—快速回落”过程大体一致。通过对该区 20 世纪 70 年代以来 b 值时序变化与震例分析，我们认为低值异常可能反映构造应力加强和能量积累的中期背景。对于祁连山构造带西段、中东段和海原—六盘山断裂带，用测震学指标 b 值进行分析，有过半震例反映了类似情况。

2 结论

(1) 青藏块体东北缘各断裂带和断裂段的应变强度比 SR_T^0 时序曲线对发生在这些构造边缘的 $M \geq 5.8$ 地震反映较好，震前数月至 1 年左右时间内曲线呈现“明显上升—均值线以上峰值—快速回落”的过程。其中“明显上升—均值线以上峰值”反映的可能是构造应力增强和能量积累的中期特性； SR_T^0 值由峰值快速回落则具有短期前兆意义。而断裂带（段）之间 SR_T^0 值的显著差异对其交汇区及附近的强震有一定预示意义。

(2) 昆仑山口西、玉门、民乐地震相继发生后，经过一段时间的构造应力场调整，目前青藏块体东北缘总体上处于新一轮能量积累状态，其中，祁连山断裂带—海原断裂和西秦岭北缘断层尤为明显。

参考文献：

张希，江在森，陈文胜，等. 1999. 川滇地区应变强度比动态图像分析 [J]. 高原地震, 11 (3): 15—21.
张希，江在森，陈文胜，等. 2001^a. 我国西部近期应变强度比动态演化特征 [J]. 地震研究, 24 (2): 115—120.
张希，江在森，王双绪，等. 2001^b. 断层变形的应变强度比动态图像与震例综合研究 [J]. 地壳形变与地震, 21 (2): 37—42.
张希，薛富平，王双绪. 2004. 大姚、民乐—山丹地震前的中短期前兆 [J]. 大地测量与地球动力学, 24 (4): 57—63.

Time Sequence Features of Fault Deformation of Main Fractures in the Northeastern Margin of Qinghai-Tibet Block and Their Relationship with Strong Earthquakes

ZHANG Xi, XUE Fu-ping, WANG Ji-yong

(1. Institute of Earthquake Prediction CEA Beijing 100036 China)

(2. The Second Monitoring and Application Center CEA Xi'an 710054 Shaanxi China)

Abstract

We study the dynamic evolution features of the tectonic deformation of main active faults in the northeastern margin of Qinghai-Tibet Block, the difference between fault segments, and their relationship with the development and occurrence of strong earthquakes, using the strain intensity ratio values calculated from mobile cross-fault short leveling observational data from the late 1980s to the end of 2007. The results are as follows: ① Nearly all strain intensity ratio time curves of faults or segments reflect the process as "obviously rising—rising to peak above average line—dropping" in several months to about one year before the earthquakes with $M \geq 5.8$ on the fault (segment) or nearby. The distinct difference of strain intensity ratio between faults or segments has certain prediction significance for the strong earthquakes in the meeting region of faults (segments) or nearby. ② The northeastern margin of Qinghai-Tibet Block, especially the Qilianshan-Haiyuan fault zone and the northern margin fault of the West Qinling mountains, shows a new round of energy accumulation through the adjustment of tectonic stress field after the West Kunlun, Yumen, and Minle earthquakes.

Key words: cross-fault strain intensity ratio; time sequence change; difference between fault segments; example of earthquake; northeastern margin of Qinghai-Tibet Block