

# 腾冲地震台数字地震记录 S 波分裂研究\*

毛慧玲, 秦嘉政

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 对 2000 ~ 2010 年腾冲地震台数字地震资料进行 S 波分裂研究, 得到了腾冲地区不同时间段内的应力优势方向和 S 波延迟时间。结果表明, 其快波偏振方向主要集中在  $NE30^{\circ} \sim 55^{\circ}$ , 这与该区的主应力场方向基本一致。横波分裂延迟时间能为地震预报和区域应力场研究提供有用的信息。

**关键词:** 横波分裂; 裂隙各向异性; 延迟时间; 腾冲地区

**中图分类号:** P315.3<sup>+1</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2011)04-0494-04

## 0 引言

腾冲火山活动区位于印度板块与欧亚板块碰撞带的北东侧, 属于喜马拉雅强震活动带缅甸弧地震构造体系, 具有地震、火山、温泉为一体的复杂地质构造特点(秦嘉政等, 1998)。在腾冲及周边地区有腾冲火山断裂带、怒江断裂带、大盈江断裂带、龙陵—瑞丽断裂带和缅甸弧断裂带。腾冲断裂带穿过腾冲境内, 大盈江断裂带穿过盈江和腾冲地区, 切断腾冲断裂带。怒江断裂带在云南境内总体呈近似南北向延伸, 直接控制着高黎贡山深变质岩系和岩浆岩带的东界, 该断裂带具有逆冲—推覆作用的特点, 沿断裂带分布的糜棱岩反映出该断裂原是一条位于地下较深部位的韧性剪切带, 经后期逆冲—推覆作用而上升到地表。大盈江断裂带和龙陵—瑞丽断裂带都是北东向的右行扭动剪切断裂带, 沿这些断裂出现的较强地震活动或者蠕变位移表明它们现今仍在强烈活动(贺传松等, 2004)。缅甸弧形断裂带在腾冲以西的缅甸境内。腾冲火山区内地震活动频繁, 以往对该区域地震活动性及震情参数的研究结果表明, 腾冲火山区周围是地震活动强烈的地区, 其西北部为中缅交界的强震活动区, 东北部为潞西—龙陵强震发生区。在这种特殊的构造背景条件下, 腾冲地震活动既受周围构造地震的影响, 又具有世界活动火山地震震情参数的一般特征。

1512 ~ 2005 年, 腾冲地区有记载的 5 级以上地震大约 46 次(姜朝松等, 2005), 这些地震的震源深度绝大多数小于 20 km, 属于浅源地震。特别是 1929 ~ 1931 年, 腾冲地区发生了成组的 5 级地震 21 次, 占腾冲地区 1512 年以来有地震记载总数的 46%。当时中国大陆南北地震带及以西地区, 大震活动也相当活跃, 发生了如 1927 年 5 月 23 日甘肃古浪 8.0 级地震和 1931 年 8 月 11 日新疆富蕴 8.0 级地震。通常, 中国大陆南北地震带及以西地区的西藏、新疆等发生 7.6 级以上大震后, 云南地区会有一个应力场的调整, 并相应地发生 5 级地震, 因此腾冲 5 级震群活动可能是应力场调整的结果(钱晓东, 秦嘉政, 2000)。为了探寻腾冲火山区地球内部介质性质和应力场的演化情况, 研究腾冲地区地震横波分裂的延迟时间进程以及快波偏振优势方向是很有必要的。

## 1 研究方法

横波分裂的两个参数, 即快波偏振方向和延迟时间能反映地下主应力的变化以及裂隙构造及演化情况(毛慧玲, 秦嘉政, 2011)。通过对比分析横波分裂参数的提取方法, 笔者选用质点运动图方法, 该方法的优点是通过人机结合, 能够直观地通过多次坐标旋转后分裂出快慢波。质点运动图方法的原理是根据质点运动方向的突然变化来确定快波和慢波的初动, 快波到达后的线性轨

\* 收稿日期: 2011-02-20.

**基金项目:** 云南省基金重点项目“青藏高原东缘强震活动规律与板缘动力学机制(2010CC006)”与云南省十项措施“地球物理场和化学场动态变化与强震活动关系研究(JCYB-20080601-5)”联合资助。

迹表示偏振方向，慢波到达后迭加于快波之上，使线性轨迹发生变化。慢波到达之前即线性轨迹发生变化之前的这段时间即为横波分裂时间 (Crampin' *et al*, 1985, 1997, 1999)。

2 资料的选取与 S 波分裂测量方法

本文选取 2000 ~ 2010 年腾冲地震台记录到的数字地震波形资料，每条记录都为三分向记录，可以清晰分辨 P 波和 S 波的波形。为了提高计算的可靠性，对所使用的资料采用以下规则来约束：(1) 采用临界角为 45° 的剪切波窗。虽然剪切波窗理论值为 35°，但是云南地震多数属于浅源地震，且速度结果随深度的减少而降低，实际计算时可取 45°；(2) 限制  $t_s - t_p \leq 1.4$  s。目的是选择震中距大致在 12 km 范围内的地震波数据，满足剪切波窗要求 (贺曼秋等, 2008)；(3) 采用虚波速度为 8.2 km/s (王椿镛等, 2000)；(4) 分裂后的慢波延迟时间不小于 0.02 s。腾冲地震台所使用的地震仪是 CTS - 1，采集器为 EDAS - c24A，垂直向放大倍数为 973.64，东西向放大倍数为 1 033.55，南北向放大倍数为 1 010.25，其台基为玄武岩。

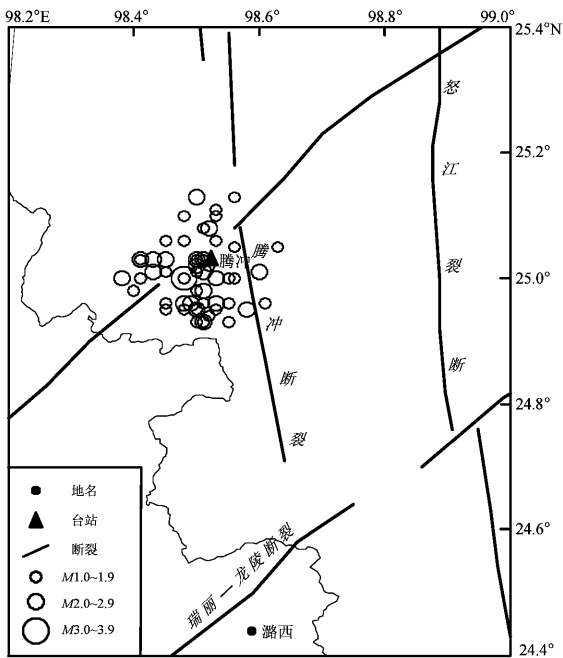


图 1 2000 ~ 2010 年腾冲地震台记录的  $M \geq 1.0$  地震

图 1 显示了 2000 ~ 2010 年腾冲地震台记录到的满足  $t_s - t_p \leq 1.4$  s 的  $M \geq 1.0$  地震共 274 次。其中 1.0 ~ 1.9 级地震 246 次，2.0 ~ 2.9 级地震 27 次，3.0 ~ 3.9 级地震 1 次，在满足  $t_s - t_p \leq 1.4$  s 的到时差范围内无 4 级以上地震记录。

3 结果分析

3.1 快波偏振方向分析

2002 年以前腾冲地震台记录到的地震较少，且只有极少的地震满足 S 波窗要求，故舍弃；2003 年腾冲地震台记录到的地震较多，满足 S 波分裂计算的地震也较为丰富。图 2 给出了 2002 ~ 2010 年腾冲地震台快波偏振方向随时间的变化情况，图中纵坐标表示快波的优势方向，其优势方向主要集中在 NE30° ~ 55°，平均值为 42°，与该区域主压应力方向一致。在分析过程中，当快波偏振方向偏离其优势区间时则认为是异常。图 2 显示 2004 年 10 月 19 日保山 5.3 级地震前快波偏振方向由低值向高值发生了明显的偏转。虽然 2005 年以来满足 S 波分裂条件的数据较少，但 5 级地震快波偏振方向也表现出了明显的异常，如 2008 年盈江 5.3 级和 5.9 级地震。5.3 级地震后，其偏振方向偏转并未结束，而是继续向高值方向偏转，直到 8 月 21 日 5.9 级地震发生后，异常才逐渐恢复。结合图 4 可以看出，强震前快波方向不仅发生明显的偏转，而且延迟时间在震前出现大幅度的上升，中强地震多在延迟时间下降恢复过程中发生。2009 年 10 月至 2010 年 5 月快波偏振优势方向再次出现大幅度的变化，可能说明该区应力场发生了变化，并出现异常。

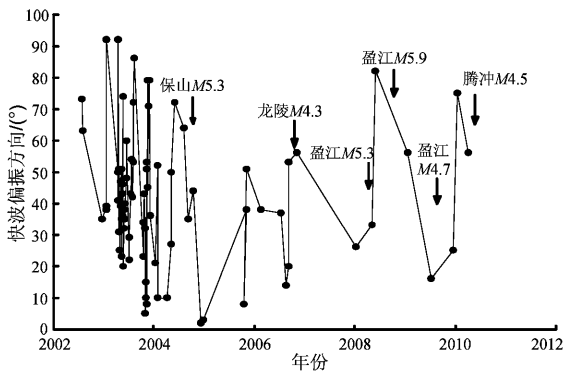


图 2 腾冲地震台快波偏振方向时间分布图  
Fig. 2 Curve of the polarization direction of fast shear wave at Tengchong Station

Fig. 1 Distribution of the  $M \geq 1.0$  earthquakes from 2000 to 2010

图3给出了2002年至2010年5月腾冲地震台所有地震快波偏振方向玫瑰图,图中花瓣的长度表示快波优势方向的频度。快波偏振优势方向为北东向,与该地区主压应力方向近似。综合分析2002年以来腾冲地震台记录的地震的快波偏振优势方向,认为本区域快波偏振优势方向主要在 $NE30^{\circ} \sim 55^{\circ}$ 之间,当方向发生偏转时则认为是异常。2004年以来腾冲台快波偏振方向较为离散,波动幅度较大,表现出介质的不稳定状态,特别是2004年10月19日保山5.3级地震、2008年3月21日盈江5.3级地震和8月21日盈江5.0、5.9级地震前快波偏振方向都出现了明显的偏转。此外2002、2005和2007年的偏振方向较为离散,这是因为符合S波分离的样本量太少,故不作异常考虑。

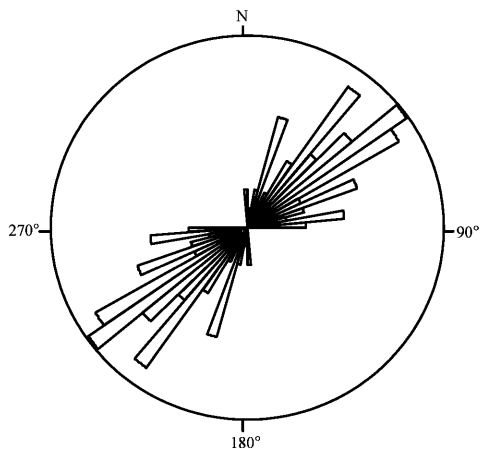


图3 2002~2010年腾冲地区地震快波偏振方向玫瑰图

Fig. 3 Rose diagram of the polarization direction of fast shear wave at Tengchong Station from 2002 to 2010

### 3.2 延迟时间分析

慢波延迟时间是地震前后应力积累和释放的动态反应 (Garbin, Knopoff, 1975)。图4显示了腾冲地震台归一化慢波延迟时间的变化情况,所谓归一化延迟时间是指将慢波延迟时间换算成单位长度路径上的延迟时间,传播距离以P波到时间与发震时间的差值和虚波速度  $V_s - V_p$  为  $8.2 \text{ km/s}$  来计算,并且假设整条路径是各向异性的。腾冲台归一化延迟时间的算术平均值是  $8.3 \text{ ms/km}$ , 2009年9月至2010年年初延迟时间出现一个小幅度的上升,在此过程中先后发生了2009年9月20日盈江4级小震群活动以及2010年4月1日腾冲4

级小震群活动。

应力场增大的同时,也是地震孕育能量增大的过程。因此慢波延迟时间的分析研究对地震预测预报有一定的指示意义,当然地震的孕育与发生是一个复杂的过程,我们还需要借助更多的手段和方法来做地震预测预报分析工作。

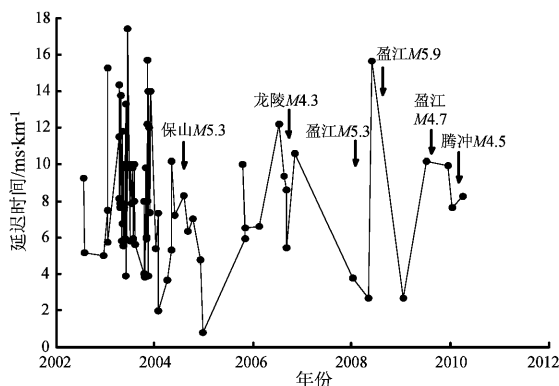


图4 腾冲地震台归一化慢波延迟时间变化

Fig. 4 Change of time delay and earthquake sequence with time at Tengchong Station

## 4 讨论和结论

腾冲地区S波分裂分析结果表明,该地区快波偏振优势方向主要集中在  $NE30^{\circ} \sim 55^{\circ}$  范围内,2002、2005和2007年的偏振方向非常离散,可能是这3年记录到的满足S波分裂的震例太少。但从2002年以来历史震例的S波偏振优势方向与该区域的构造应力场的主压应力方向是一致的,并且也和穿过腾冲境内走向为北东向的腾冲断裂带的方向是一致的。腾冲地区S波归一化慢波延迟时间的平均值为  $8.3 \text{ ms/km}$ ,在滇西一带5级中强地震前,延迟时间明显上升,且  $M \geq 5.0$  地震多发生在延迟时间达到高值后下降、恢复的过程中。随着台网的加密,对一个地区开展连续的S波分裂跟踪,对研究该地区应力场的变化和地震预测预报都具有一定的意义。

### 参考文献:

- 贺传松,王春铺,吴建平,等. 2004. 腾冲火山区S波速度结构接受函数反演[J]. 地震学报, 26(1): 11-18.
- 贺曼秋,魏红梅,章静,等. 2008. 荣昌台S波分裂研究[J]. 内陆地震, 22(1): 84-87.
- 姜朝松,王绍晋,叶建庆,等. 2005. 腾冲火山区小震震源机制解特征

[J]. 地震研究,28(2):141 – 143.

毛慧玲,秦嘉政. 2011. 2007 年宁洱 6.4 级地震横波分裂研究[J]. 地震研究,34(1):42 – 46.

秦嘉政,皇甫岗,张俊伟,等. 1998. 腾冲火山及其周围地区的地壳  $Q$  值特征[J]. 地震研究,21(4):358 – 361.

钱晓东,秦嘉政. 2000. 云南腾冲火山地区的地震类型[J]. 四川地震, (3):43 – 48.

王椿镛,皇甫岗,万登堡,等. 2000. 腾冲火山区地壳结构的人工地震探测[J]. 地震研究,23(2):148 – 156.

Crampin S, Atkinson B k. 1985. Microcracks in the Earth's crust[J]. First Break,3(3):16 – 20.

Crampin S, Volti T, Stefansson R. 1999. A successfully stress – forecast earthquake[J]. Geophys J Int,138(1):F1 – F5.

Crampin S,Zatsepin S V. 1997. Modelling the compliance of crustal rock – II. Response to temporal changes before earthquakes[J]. Geophys J Int,129(3):495 – 506.

Garbin H D,Knopoff L. 1975. The shear modulus of a material permeated by a random distribution of circular cracks[J]. Q Appl Math,33:296 – 300.

Study on the Shear Wave at Tengchong Seismic Station

MAO Hui-ling , QIN Jia-zhen

( *Earthquake Administration of Yunnan Province , Kunming 650224 , Yunnan , China* )

Abstract

Using the digital data from 2002 to 2010 recorded by Tengchong Seismic Station , we conducted a shear wave splitting and obtained the predominant direction of stress and the delay time of shear wave in different stages from 2002 to 2010 in Tengchong. Further , we found that the predominant polarization direction was in  $NE30^{\circ} - 55^{\circ}$  , agreeing with the one of the regional principal compressive stress. The delay time of the shear wave provides useful information for the study of the regional stress field and the earthquakes prediction.

**Key words:** shear wave splitting; extensive-dilatancy anisotropy; delay time; Tengchong area