

文章编号: 0253-3782(2006)05-0451-11

# 川滇地区现代构造应力场分区 及动力学意义<sup>\*</sup>

崔效锋<sup>\*</sup> 谢富仁 张红艳

(中国北京 100085 中国地震局地壳应力研究所)

**摘要** 利用震源机制解确定应力分区的逐次收敛法, 并结合水压致裂原地应力测量结果和断层滑动反演资料, 对川滇地区应力分区进行了较为详细的厘定。结果表明, 2条北北西向近似平行的应力转换带将川滇地区分成3个应力区, 2条应力转换带之间形成的川滇应力区的最大主应力 $\sigma_1$ 方位正好也是北北西向。川滇应力区东边界(东边的应力转换带)基本上与川滇菱形块体的东边界相吻合; 川滇应力区西边界(西边的应力转换带)与川滇菱形块体的西边界并不完全一致, 西边的应力转换带的北段基本沿金沙江断裂带, 与川滇菱形块体的西边界相一致, 往南应力转换带并没有继续沿着川滇菱形块体的西南边界——红河断裂带, 与东边的应力转换带形成交会, 而是延续北北西走向, 应力转换带的南段与营盘山断裂带相重合。认为, 在印度板块北移, 青藏高原东侧物质南东向侧移, 以及华南块体强烈阻挡的共同作用下, 川滇地区构造应力场格局并不完全受已有构造的控制, 而很有可能形成新的应力转换带。

**关键词** 川滇地区 应力场 应力分区 动力学机制

**中图分类号:** P315.72<sup>+7</sup> **文献标识码:** A

## 引言

中国大陆现代构造应力场具有明显的分区性, 表现在不同地区应力作用方向和应力结构的不同, 我国川滇地区构造应力场的这种空间非均匀特征尤为明显。20世纪70年代以来, 我国许多学者利用各种数据资料和多种研究手段, 对川滇地区构造应力场非均匀特征进行了研究(阚荣举等, 1977; 成尔林, 1981; 谢富仁等, 2001; 陈天长等, 2001; 程万正等, 2003)。总体上说, 川滇地区构造应力场较为复杂, 主压应力方向变化很大, 由北至南主压应力方向有顺时针转动的特征(许忠淮等, 1987; 王绳祖, 张流, 2002)。龙门山断裂带和鲜水河断裂带及其以北地区, 构造应力场主压应力方向为近东西向; 川滇菱形块体内部, 主压应力方向基本呈北北西向; 川滇菱形块体以东, 主压应力以北西向为主; 而川滇菱形块体以西, 主压应力方向则为北北东向。

谢富仁等(2004)以“中国大陆地壳应力环境数据库”资料为基础, 总结了中国大陆及邻

\* 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2004CB418404)和南北地震带震情强化跟踪项目共同资助。中国地震局地壳应力研究所论著 2006A003。

2006-01-25 收到初稿, 2006-06-10 决定采用修改稿。

◆ 通讯作者. E-mail: cuixfeng@sina.com

区现代构造应力场的基本特征,提出了划分构造应力分区的原则和方法,将中国大陆及邻区现代构造应力场分为2个一级应力区、4个二级应力区、5个三级应力区和26个四级应力区。一级构造应力区主要受板块边界的几何特征和作用在边界上的力所控制;二级应力区,其构造应力状态主要受控于区域块体间的相互作用;三级构造应力区受控于区域内部块体间的相互作用;四级构造应力区主要受块体和断裂相互作用的影响(谢富仁等,2004)。通常四级应力区内部的应力性状(主应力方向、变形强度、应力结构等)整体一致性较好,各应力区之间的边界带称为应力转换带。

川滇地区位于中国东部和西部两个一级应力区的交会部位,其主体部分属于中国西部应力区,包括滇西南应力区、川滇应力区等四级应力分区(谢富仁等,2004)。本文通过利用震源机制解确定应力分区的逐次收敛法,并结合水压致裂原地应力测量结果和断层滑动反演资料,对川滇地区应力分区进行较为详细的厘定,确定应力分区边界(即应力转换带)的取向,并对应力分区厘定结果的动力学意义进行初步探讨。

## 1 震源机制解的分区特征

本文首先运用逐次收敛法对川滇地区的震源机制解进行反演计算,以分析震源机制解的空间分区特征。在具体反演计算过程中,采用的剪应力判定条件为(崔效锋,谢富仁,1999):

偏应力张量作用于地震断面上剪应力方向与断层滑动矢量之间的夹角

$$\alpha \leqslant 30^\circ \quad (1)$$

同时偏应力张量作用于地震断面上的剪应力与应力之比

$$\tau/f \geqslant 0.51 \quad (2)$$

对不满足剪应力判定条件的震源机制解作为矛盾数据处理。

### 1.1 震源机制解数据情况

本文在研究区范围( $98.5^\circ\text{E} \sim 105^\circ\text{E}$ ,  $21^\circ\text{N} \sim 30^\circ\text{N}$ )内选取  $M_s \geqslant 4.7$  的中强地震的震源机制解,运用逐次收敛法进行反演分析。震源机制解总数为201个,其中,  $M_s 4.7 \sim 4.9$  的震源机制解29个,  $M_s 5.0 \sim 5.9$  的震源机制解119个,  $M_s 6.0 \sim 6.9$  的震源机制解44个,  $M_s \geqslant 7.0$  的震源机制解9个。地震的发震时间为1933—2004年,其中,发震时间在1933—1969年的震源机制解32个,发震时间在1970—1989年的震源机制解116个,发震时间在1990—2004年的震源机制解53个。在201个震源机制解中,有41个为美国哈佛大学给出的中强地震的矩张量解,其余160个为我国学者测定的震源机制解,其中包括“东亚地区现今构造应力图”中使用的震源机制解(许忠淮,2001;汪素云等,1993),近几年来公开发表的震源机制解(王绍晋等,2001,2005;程万正等,2002),以及一些早期有质量评定的震源机制解(阚荣举等,1977;成尔林,1981)。由于数据较多,文中不一一列出每个震源机制解的详细参数。数据均通过“中国大陆地壳应力环境数据库”查询获得,震源机制解的分布见图1。

### 1.2 逐次收敛法确定的应力分区

经过对研究区震源机制解的逐一筛选计算,逐次收敛法将201个地震震源机制解自动地分为3组。从3组震源机制解的空间分布来看,表明川滇地区现代构造应力场存在着主应力方向明显不同的3个应力分区(图1,图2),即滇西南应力区(A区)、川滇应力区(B

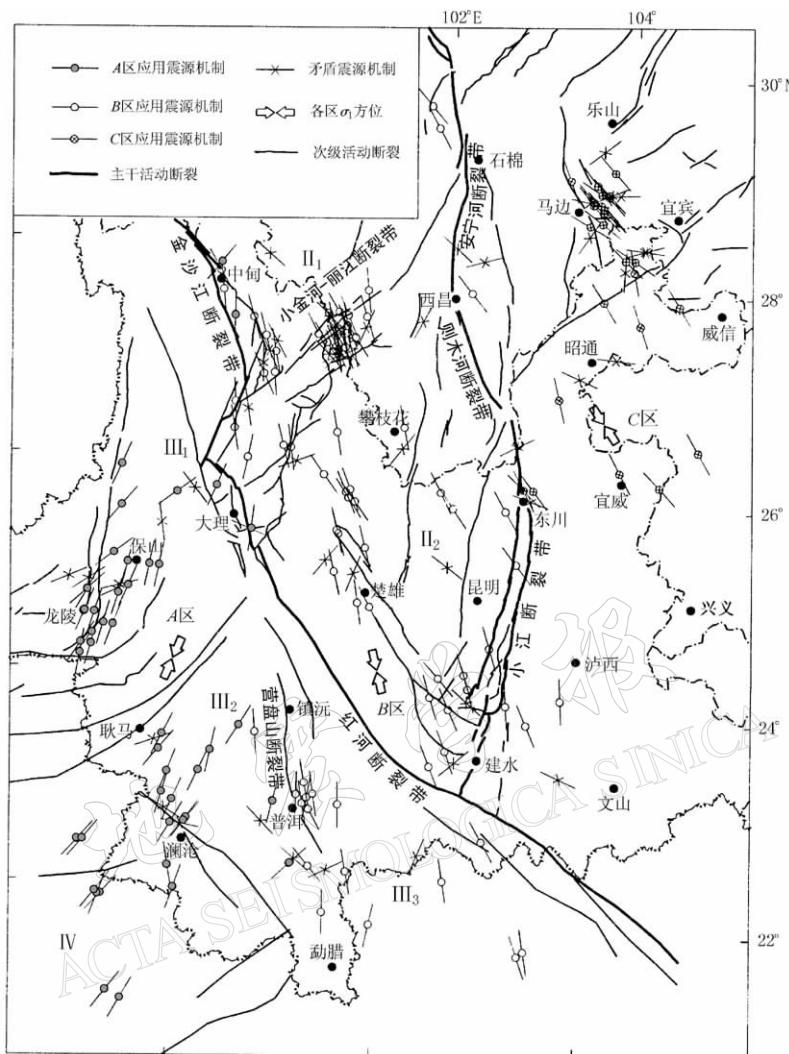


图 1 由逐次收敛法确定的川滇及邻区现代构造应力场分区图

活动断裂分布及活动地块划分据徐锡伟等(2003)。Ⅰ<sub>1</sub>为川西北次级块体，Ⅰ<sub>2</sub>为滇中次级块体，Ⅲ<sub>1</sub>为保山次级块体，Ⅲ<sub>2</sub>为景谷次级块体，Ⅲ<sub>3</sub>为勐腊次级块体，Ⅳ为密支那一西盟块体

区)和马边—昭通应力区(C区)。表1和图2给出了具体反演计算结果。表1列出了3组震源机制解反演得到的构造应力场参数，包括平均应力张量的3个主应力方向、应力形因子 $\varphi$ 的大小( $\varphi=(\sigma_2-\sigma_3)/(\sigma_1-\sigma_3)$ )、剪应力方向与滑动矢量间夹角 $\alpha$ 的平均值 $\bar{\alpha}$ ，以及剪应力相对大小 $\tau/f$ 的平均值 $\overline{\tau/f}$ 等。由表1看出，滇西南应力区和川滇应力区矛盾数据相对较少，震源机制解的应用率分别达到78.9%和77.4%，马边—昭通应力区的震源机制解应用率也接近70%，说明反演结果的收敛性较好。图2a给出的是3组参与反演计算的震源机制解两个节面在上半球乌尔夫网上综合投影图，可以看出其中包含了各种节面取向和滑动类型，这样在反演过程中不会因出现病态矩阵而造成不合理的解(许忠淮，1985)；图2b,c是3组反演结果的 $\alpha$ 角和 $\tau/f$ 的分布直方图。

表1 运用逐次收敛法确定的川滇地区现代构造应力场结果

应力分区	$\sigma_1/(\circ)$		$\sigma_2/(\circ)$		$\sigma_3/(\circ)$		$\varphi$	$\bar{\alpha}/(\circ)$	$\tau/f$	M	N	$M/(M+N)$
	Az	$i_h$	Az	$i_h$	Az	$i_h$						
A	201	4	55	86	291	3	0.45	8.9	0.88	45	12	78.9%
B	343	5	122	83	252	4	0.46	10.3	0.89	82	24	77.4%
C	144	1	239	78	54	12	0.59	7.6	0.87	26	12	68.4%

注: Az 为力轴的方位角,  $i_h$  为力轴与水平面的夹角, M 为参与反演的震源机制解个数, N 为矛盾数据个数,  $M/(M+N)$  为震源机制解的应用率.

反演结果(表1, 图2)显示, 3个应力分区的中间主应力  $\sigma_2$  基本上是直立的, 最大主应力  $\sigma_1$  和最小主应力  $\sigma_3$  为近水平. 但3个应力分区的  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$  方位不同, 滇西南应力区(A区) $\sigma_1$  的方位为北北东向, 方位角为201°; 川滇应力区(B区) $\sigma_1$  的方位为北北西向, 方位角为343°; 马边—昭通应力区(C区) $\sigma_1$  的方位为北西向, 方位角为144°.

由逐次收敛法确定的川滇地区现代构造应力场基本特征与以往人们的认识基本一致(许忠淮等, 1987; 谢富仁等, 1993), 各应力分区主应力的方向与前人的结果相吻合(阚荣举等, 1983; 程万正等, 2003). 然而, 本研究获得的滇西南应力区和川滇应力区2个应力

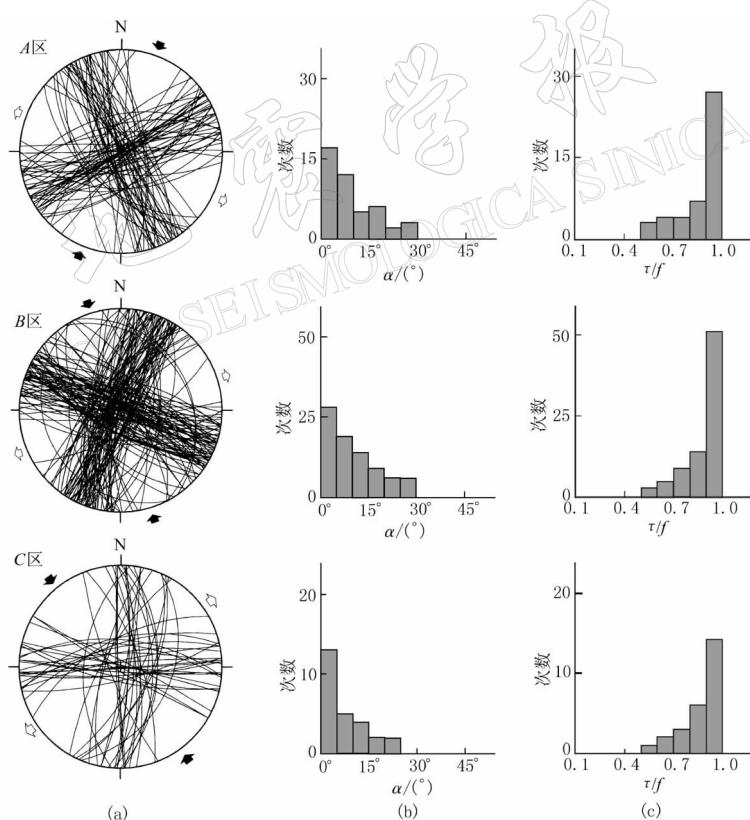


图2 震源机制解反演计算结果

(a) 震源机制解两个节面乌尔夫网上的投影图(大圆内的弧线为节面投影, 大圆外的实心箭头代表最大主应力  $\sigma_1$  方位, 空心箭头代表最小主应力  $\sigma_3$  方位); (b) 断层面上剪应力方向与滑动矢量之间偏差角  $\alpha$  的分布直方图; (c) 断层面上剪应力相对大小( $\tau/f$ )的分布直方图

分区分界(即应力转换带)与以往的认识有所不同: 该应力转换带的北段(大理以北)基本与川滇菱形块体的西边界——金沙江断裂带相吻合, 南段并不沿川滇菱形块体的西南边界——红河断裂带延伸, 而是大致沿红河断裂带西侧的营盘山断裂带展布(图 1)。

## 2 断层滑动应力数据和水压致裂测量结果分析

### 2.1 数据资料

除了震源机制解数据外, 川滇地区有一定数量的断层滑动资料和水压致裂原地应力测量等 2 类重要应力数据。有研究表明, 我国西南地区构造应力场作用在第四纪晚期以来是持续稳定的(谢富仁等, 1993, 2001)。为了更好地了解川滇地区构造应力场的分区特征, 我们对研究区内的断层滑动资料和水压致裂原地应力测量数据进行了分析。

使用的断层滑动资料共有 73 条, 其中包括利用断层滑动资料反演平均构造应力张量数据 49 条, 利用地震形变带上的构造组合确定构造主应力方向数据 11 条, 利用跨断层测量资料确定构造主应力方向数据 13 条。所使用的数据全部为国内文献公开发表数据。由于断层滑动反演资料较多, 本文没有以列表形式一一给出每条数据的具体参数。水压致裂原地应力测量数据共有 16 条, 表 2 列出了水压致裂应力测量点的经纬坐标和水平最大主应力方位等具体参数。断层滑动资料和水压致裂数据分布见图 3。所有数据均通过“中国大陆地壳应力环境数据库”查询获得。

### 2.2 水平最大主应力方向分布特征

在断层滑动资料和水压致裂数据中, 只有利用断层滑动资料反演平均构造应力张量数据给出了 3 个主应力的方向。而二维水压致裂原地应力测量数据、利用地震形变带上的构造组合和利用跨断层测量资料确定构造主应力方向数据, 只给出了一个应力方向特征参数——水平最大主应力方位。上述震源机制解反演结果显示, 研究区的最大主应力  $\sigma_1$  和最小主应力  $\sigma_3$  均为近水平, 表明川滇地区构造应力场以水平向挤压为主要特征。因此, 对断层滑动和水压致裂 2 类地应力数据资料的水平最大主应力方位进行分析, 能够进一步了解研究区构造应力场的分区特征。

由图 3 可以看出, 水平最大主应力

方向为北北东—南南西向的断层滑动和水压致裂数据点, 基本上都位于金沙江断裂带和营盘山断裂带以西, 即滇西南应力区。其中, 断层滑动数据 32 条, 水压致裂数据 6 条。在川滇应力区, 没有水压致裂原地应力测量数据, 共有断层滑动数据 14 条, 数据点的水平最大主应力方向基本为北北西—南南东向。在马边—昭通应力区, 断层滑动和水压致裂数据点的水平最大主应力方向主要为北西西—南东东向或北西—南东向。其中, 断层滑动数据 27

表 2 水压致裂原地应力测量数据

编号	地点	测量位置		测量深度 /m	$S_H/^\circ$
		$\varphi_N/^\circ$	$\lambda_E/^\circ$		
1	云南下关	99.43	25.48	445	31
2	云南剑川	99.84	26.46	751	20
3	云南螺丝湾	99.99	27.15	110	20
4	云南螺丝湾	99.99	27.15	112	359
5	云南下关	100.30	25.58	451	20
6	云南丽江	100.33	26.92	423	19
7	四川锦屏	102.00	28.30	152	311
8	四川西昌	102.22	27.90	154	321
9	四川泸定	102.25	29.41	150	300
10	四川二郎山	102.29	29.86	165	293
11	四川二郎山	102.29	29.86		83
12	四川大岗山	102.29	29.53	138	294
13	四川二郎山	102.31	29.87		301
14	四川二郎山	102.31	29.87		294
15	贵州水柏	104.64	26.07	367	284
16	四川自贡	104.72	29.41	818	31

注:  $S_H$  为水平最大主应力方向。

条, 水压致裂数据 10 条。对比图 1 与图 3 可以发现, 断层滑动反演资料和水压致裂原地应力测量数据, 所反映的川滇地区构造应力场方向特征, 以及应力转换带的取向, 与震源机制解反演确定的川滇地区现代构造应力场结果相吻合。

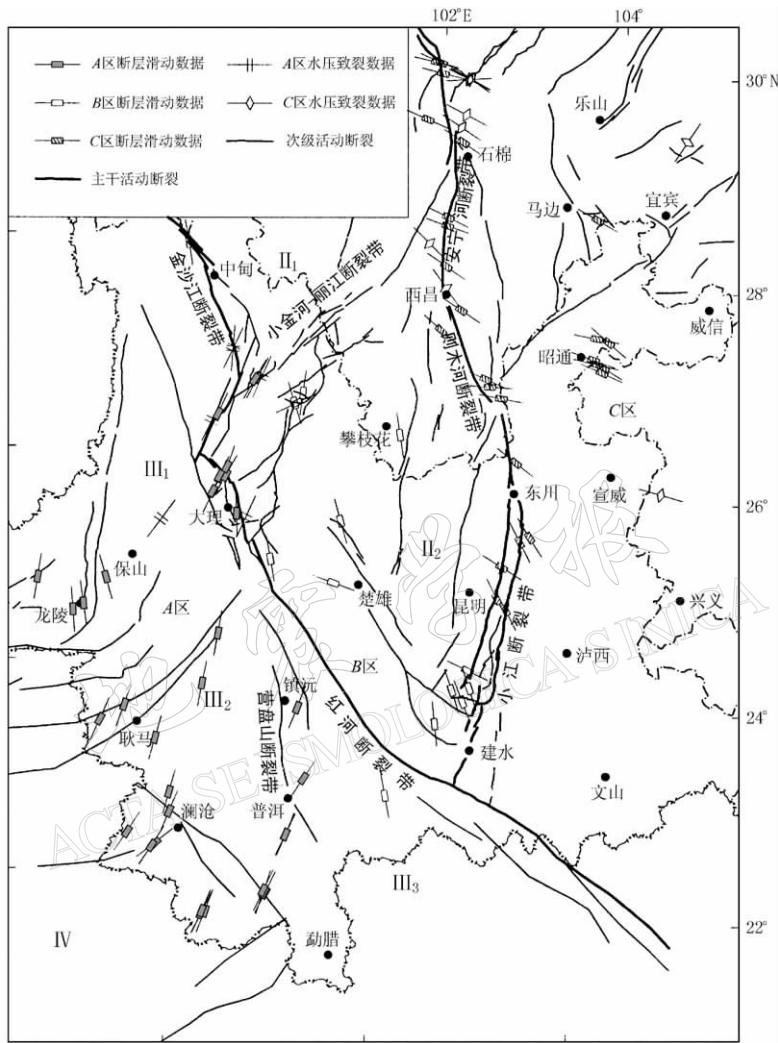


图 3 断层滑动和水压致裂数据给出的川滇及邻区应力场分区结果。符号长轴代表数据资料给出的水平最大主应力方位

活动断裂分布及活动地块划分据徐锡伟等(2003),  $\text{II}_1$  为川西北次级块体,  $\text{II}_2$  为滇中次级块体,  $\text{III}_1$  为保山次级块体,  $\text{III}_2$  为景谷次级块体,  $\text{III}_3$  为勐腊次级块体,  $\text{IV}$  为密支那一西盟块体

我们对断层滑动反演资料和水压致裂原地应力测量数据给出的水平最大主应力方位, 按应力分区分别进行了统计(图 4)。结果显示, 在滇西南应力区, 断层滑动(图 4a)与水压致裂(图 4d)的水平最大主应力优势分布方位完全一致, 均为北北东—南南西向(方位角  $20^\circ$ ), 并与震源机制解的反演计算结果十分吻合。在川滇应力区, 断层滑动北北西—南南东向(方位角  $340^\circ$ )的水平最大主应力优势分布方位(图 4b)完全与震源机制解的反演计算结果相吻合。在马边—昭通应力区, 断层滑动(图 4c)和水压致裂(图 4e)的水平最大主应力

分布状况比较一致, 优势方位均为北西西—南东东向; 而震源机制解反演出的该应力分区最大主应力  $\sigma_1$  方位为北西—南东向, 与断层滑动和水压致裂水平最大主应力的统计结果有一定的差异。但总体上看, 3类应力数据的分析结果均显示, 由东至西3个应力分区水平最大主应力的方向存在着顺时针转动的特征。

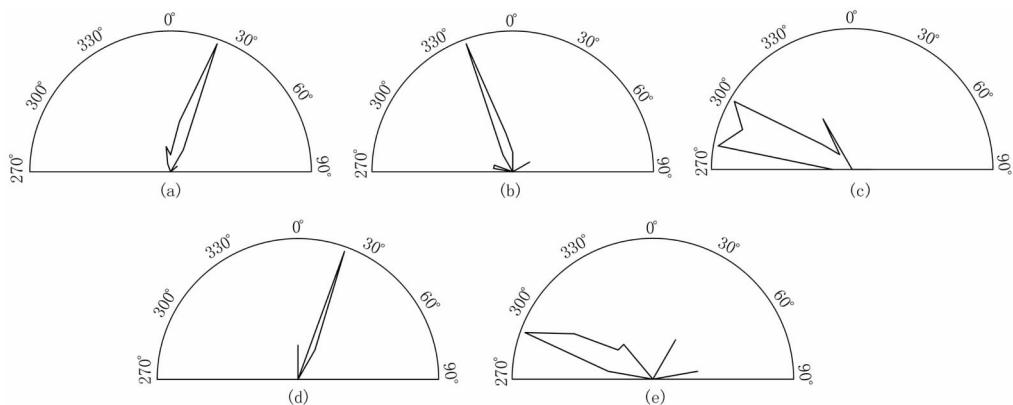


图4 川滇地区断层滑动和水压致裂水平最大主应力方向分布

(a) 滇西南应力区断层滑动数据; (b) 川滇应力区断层滑动数据; (c) 马边—昭通应力区断层滑动数据;  
(d) 滇西南应力区水压致裂数据; (e) 马边—昭通应力区水压致裂数据

### 3 应力分区的厘定及动力学意义

根据上面的分析结果, 并根据震源机制解、断层滑动反演资料和水压致裂应力测量等3类应力数据点的空间分布, 对川滇地区应力分区的边界进行了厘定。图5为厘定后的川滇地区构造应力场分区结果。从图中看出, 2条北北西向近似平行的应力转换带将川滇地区分成3个应力区, 2条应力转换带之间形成的川滇应力区的最大主应力  $\sigma_1$  方位正好也是北北西向。东边的应力转换带, 即川滇应力区与马边—昭通应力区的边界, 基本上与川滇菱形块体的东边界相吻合。对于西边的应力转换带, 即川滇应力区与滇西南应力区的边界, 与川滇菱形块体的西边界并不完全一致。在大理以北, 应力转换带的北段基本沿金沙江断裂带, 与川滇菱形块体的西边界相一致; 往南应力转换带并没有继续沿川滇菱形块体的西南边界——红河断裂带, 与东边的应力转换带形成交会, 而是延续北北西走向, 应力转换带的南段与营盘山断裂带相重合。川滇地区2条北北西向近似平行应力转换带的格局, 为我们认识该地区地壳运动和变形的动力学机制带来了启示。

长期以来, 针对川滇地区构造应力场和构造运动的复杂性, 国内外许多学者开展了大量的研究工作(Molnar, Helene, 1989; 谢富仁等, 1993; 向宏发等, 2000)。阙荣举等(1977)根据震源机制解和地震破裂带资料, 讨论了我国西南地区现代构造应力场分区, 提出了川滇菱形块体向南南东相对移动的推论。近年来基于“活动块体”的基本概念, 通过断错地貌学的定量研究和GPS观测研究, 许多学者进一步提出, 川滇地区各级块体运动是平移、顺时针转动和垂向隆升等3种基本运动的复合或叠加(徐锡伟等, 2003; 吕江宁等, 2003; 乔学军等, 2004)。自青藏高原侧向挤出滑移的运动图象和力学机制(Molnar, Tapponnier, 1975; Tapponnier, Molnar, 1976, 1977)提出以来, 人们普遍认为, 西部青藏高

原物质向东侧流动和阿萨姆(Assam)角的作用,以及东部华南块体的强烈阻挡,是造成川滇地区构造运动的主要力学成因。

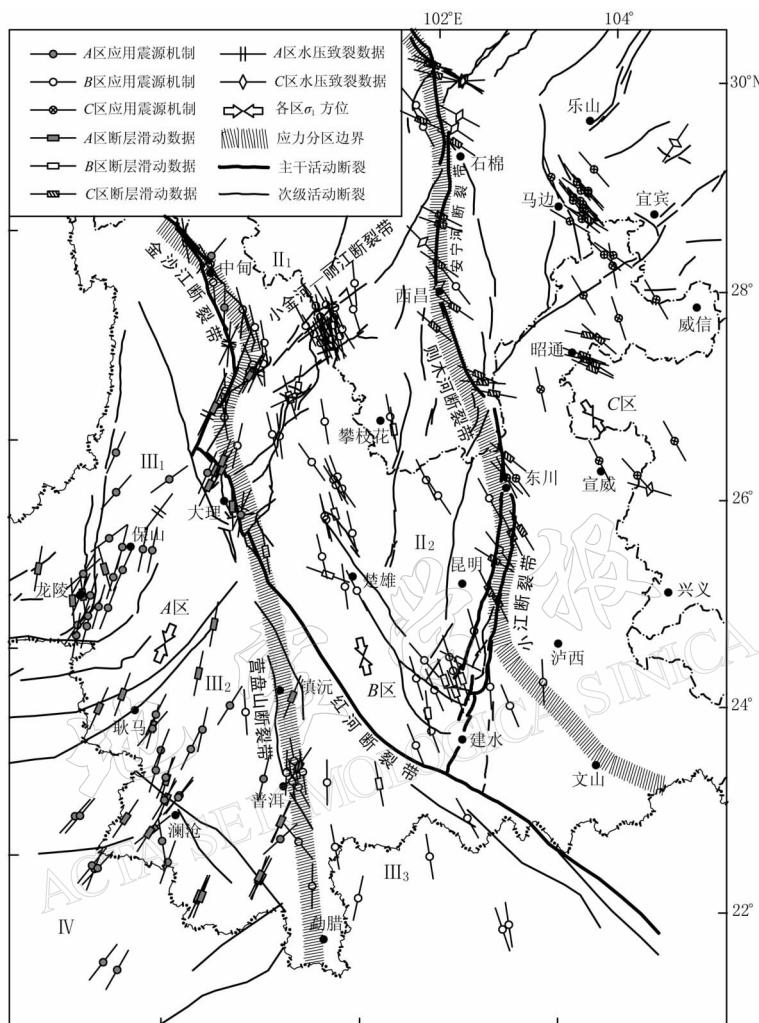


图 5 川滇及邻区现代构造应力场分区图

活动断裂分布及活动地块划分据徐锡伟等(2003). II<sub>1</sub>为川西北次级块体, II<sub>2</sub>为滇中次级块体, III<sub>1</sub>为保山次级块体, III<sub>2</sub>为景谷次级块体, III<sub>3</sub>为勐腊次级块体, IV为密支那一西盟块体

构造应力场分区与构造分区具有一定的相关性,但不完全对应。构造应力分区考虑的是在已有构造框架下地壳中应力分布的状态。红河断裂带是作为川滇地区一级地块的分界,其两侧的滇中地块和勐腊地块分别为2个不同一级地块中的次级地块(徐锡伟等,2003)。在以往的构造应力场和地壳形变场研究中,一般将滇中次级地块作为一个独立的应力应变场分区,将包括勐腊次级地块在内的整个保山—普洱地块作为一个独立的应力应变场分区(王绍晋等,2005),或将保山—普洱地块归入密支那一西盟块体应力区(程万正等,2003)。从本文的研究结果看,红河断裂带两侧的应力场,包括主应力的方向和应力结构没有明显的差别,应属同一个应力分区,川滇应力区与滇西南应力区的南段边界应为红河断裂带西侧的营盘山断裂带。这样的应力分区从青藏高原地壳动力环境角度更容易解

释。由印度板块北移形成的最大主应力  $\sigma_1$  方位为北北东向地壳应力, 显然受西侧的印度板块运动的控制, 其东侧的川滇地应力区最大主应力  $\sigma_1$  方位为北北西—南南东, 显然是受青藏高原东侧物质向南东侧移的作用。在川滇地区东部, 由于华南块体的强烈阻挡而形成了最大主应力  $\sigma_1$  方位为北西向的马边—昭通应力区。这种复杂动力环境下的应力场格局, 并不完全受已有构造的控制, 而很有可能形成新的应力转换带。在新的力系作用下, 可能形成新的活动破裂带, 即营盘山断裂带。现代地震活动也许映证了这样一种动力学解释, 该地区地震活动主要沿两条应力转换带分布, 而不是红河断裂带。

## 4 讨论和结论

以往人们通常以地质构造为单元研究区域构造应力场, 直接将川滇菱形块体的构造边界带作为应力转换带, 以此划分应力分区。通过本文的研究可以看出, 构造应力分区可能与构造分区并不完全一致。经过详细厘定发现, 川滇地区被两条北北西向近似平行的应力转换带分成3个应力分区。其中, 东边的应力转换带和西边的应力转换带的北段, 基本上与川滇菱形块体的边界相吻合; 西边的应力转换带(川滇应力区和滇西南应力区的分界)南段, 可能并不是川滇菱形块体的西南边界构造带——红河断裂带, 而可能是营盘山断裂带。

尽管红河断裂带上长期无强震发生, 但红河断裂带至营盘山断裂带之间地震的震源机制解显示, 大部分震源机制解的P轴为北北西向, 在本文的反演计算中, 可以归入川滇应力区。王凯英(2003)在研究川滇地区断层相互作用后认为, 红河断裂带两侧受统一的动力学机制所控制, 龙陵—澜沧断裂带可能是川滇块体的新边界。然而, 营盘山断裂带以西地区的大量地震震源机制解, 包括1976年发生在龙陵的2次7级地震和1988年发生的澜沧—耿马2次7级地震, 均显示该地区构造应力场的主压应力方向为北北东向。因此, 从构造应力分区的角度来看, 龙陵—澜沧断裂带可能也不适合作为应力转换带, 将营盘山断裂带作为应力转换带则可能较为恰当。

乔学军等(2004)利用1998—2002年200多个GPS点位的多期复测结果, 对川滇地区形变场特征进行研究, 认为川西块体运动的优势方向为 $130.5^\circ$ 和 $162^\circ$ , 滇中块体的水平形变优势方向为 $165.5^\circ\sim168^\circ$ , 将红河断裂带西南的勐腊次级地块归入了印支块体, 块体的优势运动方向为 $196.5^\circ$ 。总体上看, 本文的研究结果与乔学军等(2004)给出的川滇地区形变场特征比较吻合。

我们认为, 是在印度板块北移、青藏高原东侧物质南东向侧移以及华南块体强烈阻挡的共同作用下, 形成了川滇地区现代构造应力场格局。这种格局, 尤其是带状的川滇应力区西南分界——营盘山断裂带应当予以关注。

川滇地区震源机制解的反演计算结果表明, 逐次收敛法反演结果的收敛性较好, 201个震源机制解中共有153个参与了应力分区计算, 震源机制解的应用率达76.1%(表1); 有48个震源机制解不满足剪应力判定条件, 被作为矛盾数据处理。这些矛盾数据的出现究竟是由震源机制解的误差造成的, 还是由于其它原因造成的(例如, 存在着构造应力场的局部变化), 尚有待于更多的数据资料作进一步的研究分析。

## 参 考 文 献

- 陈天长, 堀内茂木, 郑斯华. 2001. 利用 P 波初动和短周期 P, S 波振幅测定川滇地区地震震源机制解和应力场[J]. 地震学报, **23**(3): 436~440
- 成尔林. 1981. 四川及其邻区现代构造应力场和现代构造运动特征[J]. 地震学报, **3**(3): 231~241
- 程万正, 刁桂苓, 吕戈培, 等. 2003. 四川滇地块的震源力学机制、运动速率和活动方式[J]. 地震学报, **25**(3): 71~87
- 程万正, 李桂芳, 乔慧珍, 等. 2002. 四川沐川 5.7 级震群子序列的震源参数变化[J]. 中国地震, **18**(2): 203~213
- 崔效锋, 谢富仁. 1999. 利用震源机制解对中国西南及邻区进行应力分区的初步研究[J]. 地震学报, **21**(5): 513~522
- 阚荣举, 张四昌, 晏风桐, 等. 1977. 我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征的探讨[J]. 地球物理学报, **20**(2): 96~108
- 阚荣举, 王绍晋, 黄琨, 等. 1983. 中国西南地区现代构造应力场与板内断块相对运动[J]. 地震地质, **5**(2): 79~90
- 吕江宁, 沈正康, 王敏. 2003. 川滇地区现代地壳运动速度场和活动块体模型研究[J]. 地震地质, **25**(4): 543~554
- 乔学军, 王琪, 杜瑞林. 2004. 川滇地区活动地块现今地壳性变特征[J]. 地球物理学报, **47**(5): 805~811
- 王凯英. 2003. 川滇地区现今应力场与断层相互作用[D]: [学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 35~43
- 王绍晋, 付虹, 卫爱民, 等. 2001. 川滇地区 7 级大震前中强震震源机制变化[J]. 地震研究, **24**(2): 99~108
- 王绍晋, 龙晓帆, 余庆坤. 2005. 昆明地区现代构造应力场分析[J]. 地震研究, **28**(2): 178~184
- 汪素云, 高阿甲, 许忠淮. 1993. 中国及邻区地震震源机制特征[A]. 见: 国家地震局震害防御司编. 中国地震区划文集[C]. 北京: 地震出版社, 10~26
- 王绳祖, 张流. 2002. 塑性流动网络控制下川滇菱形块体及邻区构造应力场与地震构造[J]. 地震地质, **24**(3): 324~334
- 向宏发, 虢顺民, 徐锡伟, 等. 2000. 川滇南部地区活动块体划分与现今运动特征初析[J]. 地震地质, **22**(3): 253~264
- 谢富仁, 祝景忠, 梁海庆, 等. 1993. 中国西南地区现代构造应力场基本特征[J]. 地震学报, **15**(4): 407~417
- 谢富仁, 苏刚, 崔效锋, 等. 2001. 滇西南地区现代构造应力场分析[J]. 地震学报, **23**(1): 17~23
- 谢富仁, 崔效锋, 赵建涛, 等. 2004. 中国大陆及邻区现代构造应力场分区[J]. 地球物理学报, **47**(4): 654~662
- 徐锡伟, 闻学泽, 郑荣章, 等. 2003. 川滇地区活动块体划最新变动样式及其动力来源[J]. 中国科学(D辑), **33**(增刊): 151~162
- 许忠淮. 1985. 用滑动方向拟合法反演唐山余震区的平均应力场[J]. 地震学报, **7**(4): 349~361
- 许忠淮, 汪素云, 黄雨蕊, 等. 1987. 由多个小震推断的青甘和川滇地区地壳应力场的方向特征[J]. 地球物理学报, **30**(5): 476~486
- 许忠淮. 2001. 东亚地区现今构造应力图的编制[J]. 地震学报, **23**(5): 492~501
- Molnar P, Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonic of Asia: effects of a continental collision[J]. *Science*, **189**: 419~426
- Molnar P, Helene L C. 1989. Fault plane solution of earthquakes and active tectonics of the Tibetan Plateau and its margins[J]. *Geophys J Int*, **99**: 123~153
- Tapponnier P, Molnar P. 1976. Slip-line field theory and large scale continental tectonics[J]. *Nature*, **264**: 319
- Tapponnier P, Molnar P. 1977. Active faulting and tectonics of China[J]. *J Geophys Res*, **82**(20): 2 905~2 930

# RECENT TECTONIC STRESS FIELD ZONING IN SICHUAN-YUNNAN REGION AND ITS DYNAMIC INTEREST

Cui Xiaofeng Xie Furen Zhang Hongyan

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

**Abstract:** In this paper, we have carefully determined the stress zones in the Sichuan-Yunnan region with reference to the *in-situ* stress data of hydraulic fracturing and the inverted fault slip data by using the step-by-step convergence method for stress zoning based on focal mechanism solutions. The results indicate that the tectonic stress field in the Sichuan-Yunnan region is divided into 3 stress zones by 2 approximately parallel NNW-trending stress transition belts. The area between the 2 belts is the Sichuan-Yunnan stress zone where the maximum principal stress  $\sigma_1$  is just in the NNW direction. The eastern boundary of Sichuan-Yunnan stress zone (the eastern stress transition belt) is basically consistent with the eastern boundary of Sichuan-Yunnan rhombic block. The western boundary of Sichuan-Yunnan stress zone (the western stress transition belt) is not totally consistent with the western boundary of Sichuan-Yunnan rhombic block. The northern segment of the western stress transition belt extends basically along the Jinshajiang fault and accords with the western boundary of Sichuan-Yunnan rhombic block, while its southern segment does not extend along the southwestern boundary of the rhombic block, *i.e.*, Honghe fault and converge with the eastern stress transition belt, but stretches continuously in the NNW direction and accords with the Yingpanshan fault. We therefore consider that under the combined influence from the northward motion of India Plate, the southeastward shift of east Qinghai-Xizang Plateau and the strong obstruction of South China block, the tectonic stress field in the Sichuan-Yunnan region might not be totally controlled by the previous tectonic frame and new stress transition belt may have possibly formed.

**Key words:** Sichuan-Yunnan area; stress field; stress zoning; dynamic mechanism