

由震源机制解资料研究川滇地区构造应力场*

曹颖¹, 吴小平², 沈娅宏¹, 李兆隆¹

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

摘要: 利用 1978~2009 年川滇地区的 124 个地震震源机制解资料, 采用对震源机制参数统计的方法, 详细分析了地震断层类型和川滇地区的现代构造应力场特征。结果表明, 云南地区 ($21^{\circ}\sim 28^{\circ}\text{N}$, $97^{\circ}\sim 108.8^{\circ}\text{E}$) 主要受近 N-S 向的水平挤压力影响, 区域应力场背景以水平作用力为主; 四川地区 ($28^{\circ}\sim 34.5^{\circ}\text{N}$, $97^{\circ}\sim 108.8^{\circ}\text{E}$) 由于平均 P, T 轴的仰角接近水平, 构造应力场接近水平, 主要受近 E-W 向挤压力作用, 断层面较陡, 受水平剪切力作用。川滇地区走滑型地震较多, 主要分布于云南地区, 四川地区内发生的地震类型较为分散且每种类型都有。

关键词: 震源机制解; 构造应力场; 震源断错性质; 川滇地区

中图分类号: P315.727

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2013)02-0165-08

0 引言

地震是地壳岩层在区域应力场作用下, 当岩层所受的累积应变能达到一定程度, 岩层发生破裂和错动而产生的。地震与区域应力场密切相关, 震源机制解能给出地震发生时断层的力学机制和错动断层的运动类型, 它含有大量的震源应力场和震源破裂错动信息, 震源机制解的研究是人们深刻了解和认识震源断层动力学特征、地震破裂力学机制、构造应力场状态的有效途径(钱晓东等, 2011)。对川滇地区震源机制解及构造应力场的研究已取得了许多重要成果, 阚荣举等(1977)利用 P 波初动资料确定的震源机制解研究了西南地区现代构造应力场与现代构造活动特征; 崔效锋等(2006)利用震源机制解确定应力分区的逐次收敛法, 对川滇地区应力分区进行了较为详细的分析; 钟继茂和程万正(2006)利用力轴张量计算法, 给出了川滇 13 个地震带应力张量的定量分析结果; 陈天长等(2001)利用 P 波初动和 P、S 波振幅联合测定川滇地区的震源机制解和构造应力场; 钱晓东等(2011)利用云南及周边地区中强地震震源机制解资料详细分析了地震断层类型和云南地区现代构造应力场的特征。

笔者利用美国哈佛大学所提供的近 30 年的震

源机制解资料, 对震源机制参数进行统计分析, 分别探讨了云南地区和四川地区现代构造应力场特征, 并使用地震类型划分方法(崔效锋等, 2005)对川滇地区地震震源断层错动类型进行分类。川滇地区地震活跃、强度大, 是中国大陆内部地震活动最强烈的地区之一, 也是欧亚和印度两大板块汇聚, 消减, 相互作用的边缘地带, 属于地震高发区, 存在着大大小小的不同断层, 通过震源机制解的研究, 对认识该地区的应力分布状况, 了解地震动力来源, 有着理论和现实意义。

1 资料和方法

1.1 资料

本文采用哈佛大学提供的震源机制解数据, 研究 1978~2009 年发生在川滇地区 ($21^{\circ}\sim 34.5^{\circ}\text{N}$, $97^{\circ}\sim 108.8^{\circ}\text{E}$) 的中强以上地震, 其中 $4.0\leq M_w\leq 4.9$ 的地震 18 个, $5.0\leq M_w\leq 5.9$ 的地震 83 个, $6.0\leq M_w\leq 6.9$ 的地震 21 个, $M_w\geq 7.0$ 的地震 2 个(图 1)。

1.2 方法

1.2.1 统计方法

地震是在应力场作用下孕育发生的, 目前研究地壳应力状态普遍采用的是通过测定地震的震源机制解来推断应力主轴方向。由岩石力学实验

* 收稿日期: 2012-06-04.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41074044)资助.

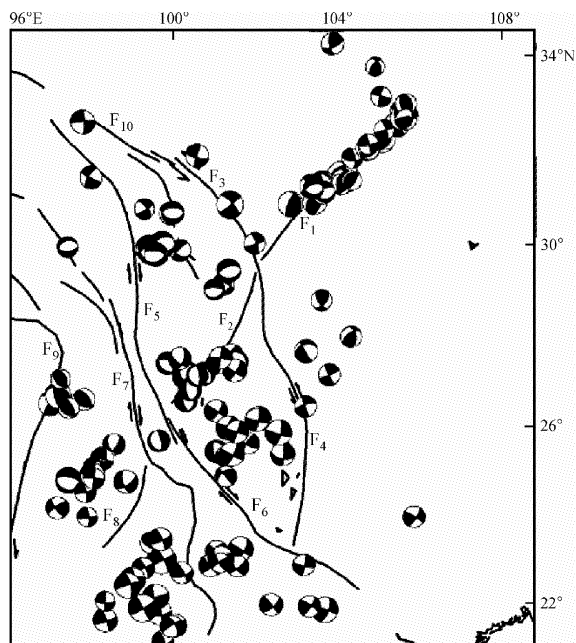
可知,由断层面解求得的 P 轴和 T 轴只是反映了地震前后震源区应力状态的变化,它们和构造应力的主轴方向都有一个偏角。尽管如此,由于存在两个可能的、共轭的破裂面,在每一个共轭面发生破裂的概率是相同的,因而有可能对一个地区许多地震的 P 轴方向作统计平均获得该地区构造应力方向(陈运泰,顾浩鼎,1990)。且单个地震的震源机制解可反映出在构造应力场作用下地震断层活动的性质,多个地震的震源机制解可反映出较大区域内的平均构造应力状态。笔者采用统计方法来寻找它们的共性特征,即将 124 个震源机制解的参数(P、T、B 轴方位和仰角,2 个节面的方位、滑动角和倾角)放在 360°角域内,从 0°起,每 10°间隔划分为一个角域,进行归一频数划分。

1.2.2 地震类型

震源机制参数包括震源断层的 2 个节面的走向,即断层面与水平面交线的方向。沿走向看去,断层上盘在右,走向用从正北顺时针量至走向方向的角度表示,倾角为断层面与水平面的夹角。滑动角是在断层面上量度,从走向方向逆时针量

至滑动方向的角度为正,顺时针量至滑动方向的角度为负。滑动方向指断层上盘相对于下盘的运动方向,角度范围在 $(-180^\circ, 180^\circ)$ 之间。走向和倾角是断层的几何参数,二者规定了断层的产状。滑动角是断层的运动参数,由滑动角的具体数值,即可描述断层的各种运动类型。对于震源机制解类型的划分,至今无统一的标准,根据 Aki 和 Richard (1980) 的定义,由断层节面倾角(δ)和滑动角(λ)来划分震源机制解类型,将震源机制解划分为走滑型($50^\circ < \delta \leq 90^\circ$ 与 $0^\circ \leq |\lambda| \leq 30^\circ$, $150^\circ \leq |\lambda| \leq 180^\circ$)、正断层型($45^\circ \leq \delta < 90^\circ$ 与 $-135^\circ \leq \lambda \leq -45^\circ$)、逆断层型($0^\circ \leq \delta < 45^\circ$ 与 $45^\circ \leq \lambda \leq 135^\circ$)和斜滑型;程万正等(2003)根据震源机制解 B 轴仰角的不同取值范围,将震源机制解划分为三类,倾滑型($\delta_B < 30^\circ$)、斜滑型($30^\circ < \delta_B < 60^\circ$)、走滑型($61^\circ < \delta_B < 90^\circ$)。可见,如何更好的划分震源机制解类型是现今急需解决的问题。目前较为主流的划分方法有马文涛等(2004)的三角形图解法及崔效锋等(2005)提出的划分方法。

三角形地震类型分类图解法(马文涛,2004),根据应力主轴参数($\delta_P, \delta_T, \delta_B$),利用方位球心投影,将球面几何坐标的问题变化成三角形坐标的问题,根据地震在图中的相对位置就可以得到不同参数组合($\delta_P, \delta_T, \delta_B$)的地震类型,图 2 即为三角形地震分类图解法,该方法较为直观。



F₁: 龙门山断裂; F₂: 丽江—小金河断裂; F₃: 鲜水河断裂; F₄: 小江断裂; F₅: 金沙江断裂; F₆: 红河断裂; F₇: 澜沧江断裂; F₈: 南汀河断裂; F₉: 实皆断裂; F₁₀: 甘孜—玉树断裂

图 1 川滇地区 124 个地震震源机制解分布

Fig. 1 Distribution of the focal mechanism solutions of 124 earthquakes in Sichuan-Yunan region

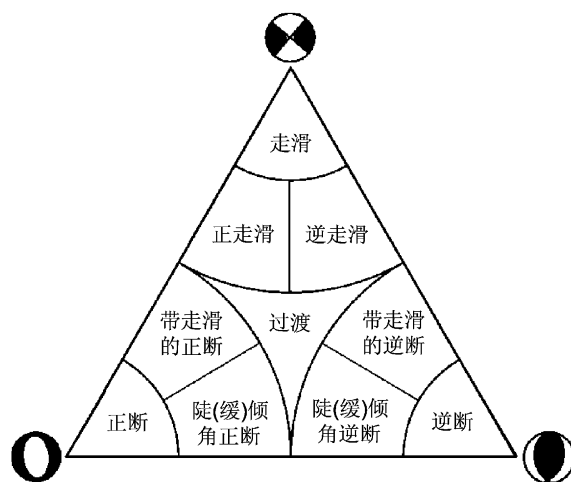


图 2 三角形地震类型图解法(据马文涛等(2004))

Fig. 2 Graphic of triangle seismic classification (based on Ma et al (2004))

崔效锋等（2005）参照世界应力图的划分原则，根据应力主轴参数（ δ_P ， δ_T ， δ_B ）的不同取值范围将震源机制解类型划分为 6 种：走滑型、正断型、正走滑型、逆断型、逆走滑型及无法确定型。划分方法见表 1，参考了钱晓东等（2011）的方法，将表 1 中走滑型的第 2 种情况中的 $\delta_T < 40^\circ$ 改为 $20^\circ \leq \delta_T < 40^\circ$ ，因为如果 $\delta_T < 20^\circ$ ，则有些震源机制解会与第 1 种情况重复。此种方法较为快速简单，便于理解，所以本文采用此种方法来对震源机制解类型进行统计分类。

表 1 震源机制解类型（据崔效锋等（2005））
Tab. 1 Types of focal mechanism solutions
(based on Cui *et al* (2005))

编号	类型	P 轴仰角 $\delta_P/(^\circ)$	B 轴仰角 $\delta_B/(^\circ)$	T 轴仰角 $\delta_T/(^\circ)$
1	正断型	≥ 52		< 35
2	正走滑型	$40 \leq \delta_P < 52$		< 20
3	走滑型	< 40 < 20	> 45	< 20 $20 \leq \delta_T < 40$
4	逆走滑型	< 20		$40 \leq \delta_T < 52$
5	逆断型	< 35		≥ 52
6	无法确定	$25 < \delta_P, \delta_T, \delta_B < 45$ 或者 $40 \leq \delta_P, \delta_T \leq 50$		

2 震源机制解参数的统计分析与区域应力场

2.1 区域应力场的整体特征

在此分别对云南地区和四川地区的构造应力场进行分析说明。将所研究的区域分为云南地区（ $21^\circ \sim 28^\circ \text{N}$ ， $97^\circ \sim 108.8^\circ \text{E}$ ），以及四川地区（ $28^\circ \sim 34.5^\circ \text{N}$ ， $97^\circ \sim 108.8^\circ \text{E}$ ）。

表 2 为研究区中强地震震源机制解节面和应力主轴参数统计表，由表 2 可看出云南地区和四川地区节面倾角 $< 30^\circ$ 的地震所占比例均 $< 10\%$ ，倾角倾斜至垂直的地震占大多数，云南地区倾角接近垂直的地震所占比例多于四川地区，说明云南地区中强地震大多数破裂面较陡，较四川地区更为陡。从三个应力主轴来看，云南地区 P 轴和 T 轴仰角都更接近水平，P 轴仰角 $< 30^\circ$ 的地震比例占 77.2%，T 轴仰角 $< 30^\circ$ 的地震所占比例高达 87.1%；四川地区 P 轴仰角 $< 30^\circ$ 的地震占 74%，有 63% 的地震 T 轴仰角 $< 30^\circ$ 。云南地区 B 轴仰角 $> 60^\circ$ 的地震有 60%，占大多数；而四川地区 B 轴仰角更接近水平。图 3 为节面倾角，P、T、B 轴仰角分布统计玫瑰图。由图可看出川滇地区各震源机制解参数倾角或仰角的优势取向。

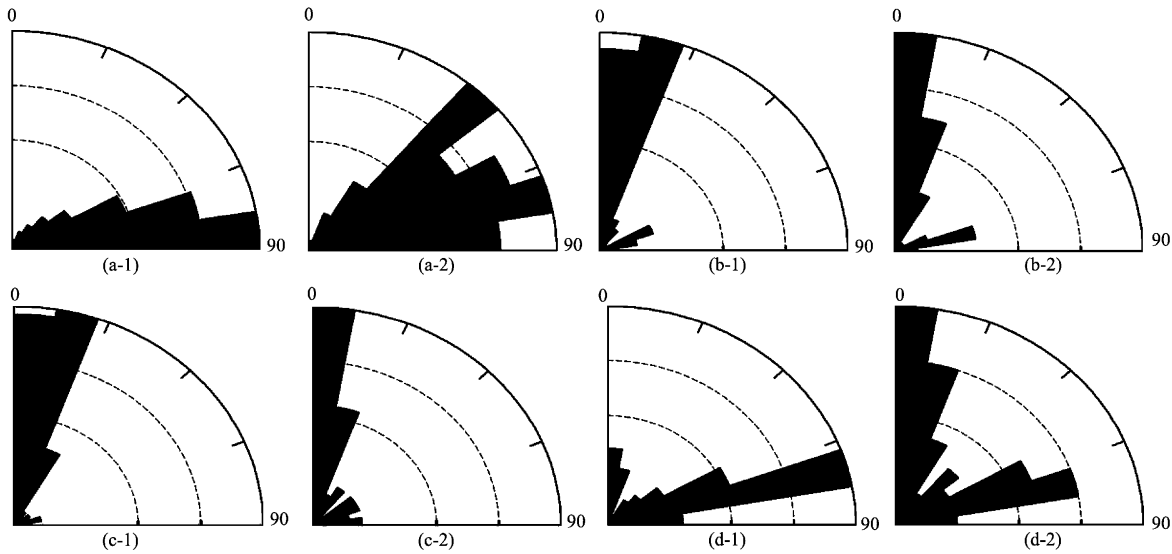


图 3 川滇地区震源机制解节面倾角，P、T、B 轴仰角玫瑰图
(a) 节面倾角；(b) P 轴仰角；(c) T 轴仰角；(d) B 轴仰角

Fig. 3 Rose diagrams of plunges of P、T、B axes and dip of nodal plane of focal mechanism solutions in Sichuan-Yunan region

(a) dip of nodal plane; (b) plunges of P axe; (c) plunges of T axea; (d) plunges of B axe

表 2 研究区震源机制解参数统计

Tab. 2 Parameters statistics of the focal mechanism solutions

倾角或仰角	0° ~ 30°	百分比 (%)	31° ~ 60°	百分比 (%)	61° ~ 90°	百分比 (%)
云南地区节面	6	4.3	28	20	106	75.7
四川地区节面	5	4.6	45	41.7	58	53.7
云南地区 P 轴	54	77.2	5	7.1	11	15.7
四川地区 P 轴	40	74	2	4	12	24
云南地区 T 轴	61	87.1	5	7.2	4	5.7
四川地区 T 轴	34	63	9	16.7	11	20.3
云南地区 B 轴	15	21.4	13	18.6	42	60
四川地区 B 轴	27	50	8	14.8	19	35.2

图 4a、b 为云南地区和四川地区节面走向及滑动角统计玫瑰图。由于节面 I 和节面 II 是人为自由定义的，无任何实际物理意义，故将两个节面

合并统计。由图可看出云南地区和四川地区节面走向及滑动角分布都较为离散。云南地区节面走向的优势方向为 NNW-SSE；四川地区节面走向以微弱优势主要分布于 210° ~ 260°，即 NEE-SWW。云南地区节面滑动角的优势方向为 E-W；四川地区以微弱优势分布于 NEE-SWW 向。

图 4c、d 给出了川滇地区 P、T 轴方位统计玫瑰图，由图 4 可看出云南地区 P 轴方位角在 340° ~ 350°附近分布相对较多，故取 345.5°左右方向为其优势方向，则云南地区 P 轴方位角的优势取向为 NNW-SSE 向；四川地区 P 轴方位角在 270°附近分布较多，但是在 280° ~ 300°范围内相对较多，故取四川地区 P 轴方位角的优势方向为 290°，即 NWW-SEE 向。云南地区 T 轴方位角的优势取向为 270°附近，近似为 E-W 向，T 轴和 P 轴的优势方位互不重叠，且近于正交；四川地区 T 轴方位角主要分布于 0°和 180°附近，近似于 N-S 向。

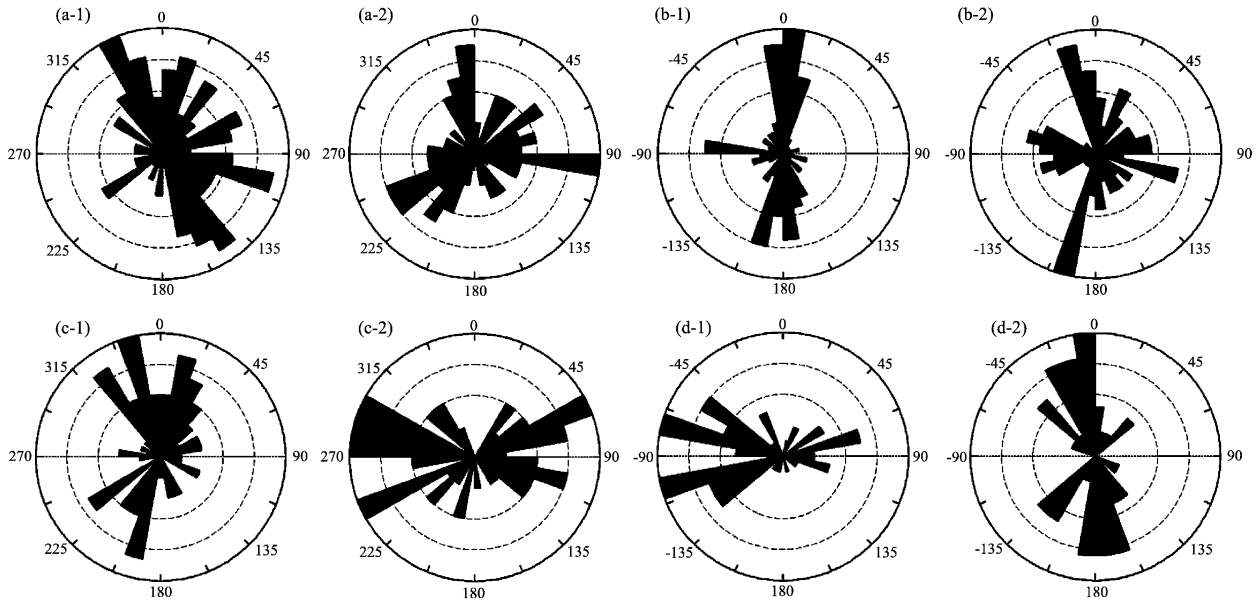


图 4 川滇地区震源机制解节面走向和滑动角玫瑰图
(a) 节面走向；(b) 节面滑动角；(c) P 轴方位；(d) T 轴方位

Fig. 4 Rose diagrams of strick and slip of nodal plane of focal mechanism solutions in Sichuan-Yunan region
(a) strick of nodal plane; (b) slip of nodal plane; (c) azimuths of P axes; (d) azimuths of T axes

2.2 区域构造应力场特征分析

从 1978 ~ 2009 年在川滇地区发生的地震的震源机制解资料经统计得到：在云南地区（21° ~ 28° N，97° ~ 108.8° E）范围内，最大主应力轴为 NNW-SSE 向，最小主应力轴为 E-W 向，显示出研究区主要受到近 N-S 向的水平挤压作用的影响，区

域应力场背景以水平作用力为主，断层破裂面作大倾角，水平走滑错动。在四川地区（28° ~ 34.5° N，97° ~ 108.8° E）范围内，最大主应力轴为 NWW-SEE 向，最小主应力轴近似为 N-S 向，平均 P，T 轴的仰角不超过 30°，即四川地区现今构造应力场是比较接近水平的，主要受近 E-W 向挤压

作用, 断层破裂面较陡, 受水平错动力作用。云南地区和四川地区的现代构造应力场的基本特征与以往人们的认识基本一致 (阚荣举等, 1977; 成尔林, 1981; 谢富仁等, 1993, 崔效锋, 谢富仁, 1999; 钱晓东等, 2011; 吴建平, 2004)。川滇地区构造应力场也较为复杂, 最大主应力方向变化很大, 由北至南最大主应力方向有顺时针转动的特征 (崔效锋等, 2006)。

图5给出了云南地区和四川地区P轴方位及构造应力场方向。由图5a可看出云南地区震源机制解P轴方位呈放射状, 对于这一现象, 阚荣举 (1980), 崔效锋等 (2006), 许忠准等 (1987) 均有说明。滇东北昭通至东川一带主压力轴P轴方位接近EW向, 滇西北川滇交界攀枝花一带至楚雄昆明一带P轴方位主要为NW向或NNW向, 中甸至丽江, 澜沧江断裂以东以西及中甸交界处的大量P轴为NE向。图5b显示出四川地区P轴方位分布较为复杂。川中成都, 绵阳, 阿坝至甘孜一带即龙门山断裂至甘孜—玉树断裂之间P轴方位为近似EW向, 川滇交界以NEE向为主, 川东北龙门山断裂北端广元至青海交界处以NEE向为主, 广元至绵阳一带以NWW向为主, 汶川至成都以NWW向为主, 且更接近EW向, 川西南稻城, 九龙, 木里一带以NWW向为主, 也存在着NNW向。

川滇地区处在印度板块与亚欧板块正面碰撞的侧压和由正面碰撞挤压、华南亚板块相对挤压的作用之下, 这种联合作用及其相对转化造就了我国川滇地区构造应力场的演化特征。但是云南地区与四川地区构造应力场存在很大差异, 云南位于印度板块与欧亚板块碰撞带东部, 主要受到来自3个方面力的作用 (钱晓东等, 2011): 一是印度板块与欧亚板块碰撞, 使西藏块体东移, 受阻于四川块体和华南块体, 从而向西南作用, 使川滇菱形块体向SSE方向楔入, 终止于红河断裂南部; 二是印度板块向东经缅甸对云南地区的侧向挤压力, 直接作用于云南西部地区; 三是受到来自华南地块的NW、NNW向应力的作用。四川主要受到4个方面力的作用 (成尔林, 1981): 一是由于印度洋板块与欧亚板块碰撞, 而受到来自西南的西藏块体的作用; 二是印度洋板块向北与欧亚板块碰撞时, 受到背面塔里木地块、柴达木地块、阿尔善地块和鄂尔多斯地块的阻挡, 迫使

整个青藏块体向SEE方向错动, 致使四川地块受到来自SEE向的作用; 三是印度洋板块向北与欧亚板块顶撞时, 其喜马拉雅弧与缅甸弧的交汇部分如楔子的一角嵌入了川滇藏交界一带; 四是受到华南地块的NW、NNW向应力的作用。

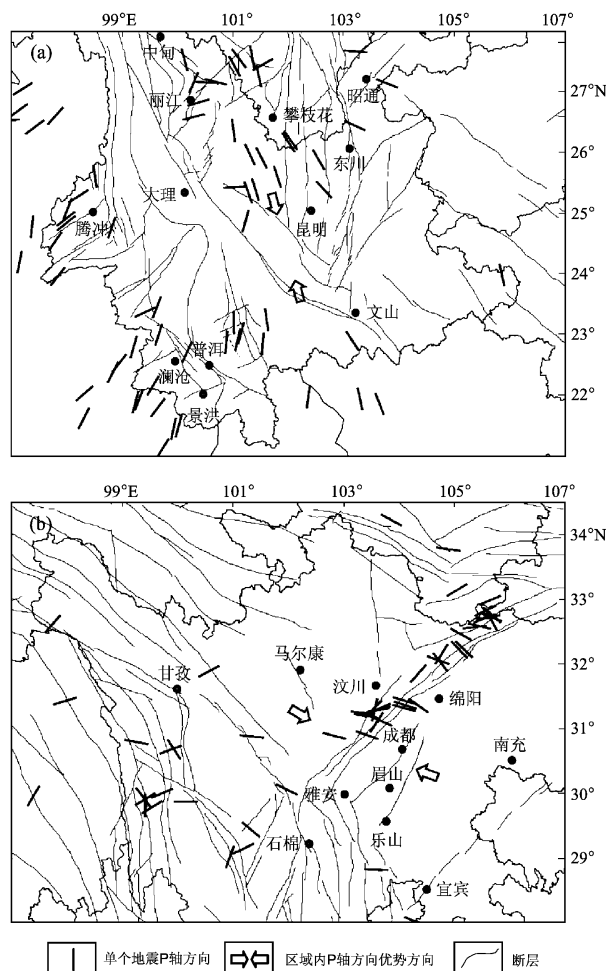


图5 川滇地区P轴方位及构造应力场方向示意图

(a) 云南地区; (b) 四川地区

Fig. 5 Schematic diagram of azimuths of P-axis and orientation of tectonic stress field in Sichuan-Yunnan region

(a) Yunnan area; (b) Sichuan area

3 地震震源断层类型

3.1 地震断层类型的划分

按照之前给出的震源机制解类型划分方法, 对川滇地区124个中强地震的震源机制解类型进行了统计:

(1) 走滑型地震占绝大多数, 比例为 57.6%; 最大走滑地震为 1984 年 11 月澜沧 M_w 7 地震, 其中 P、T 轴的仰角 $<15^\circ$, B 轴仰角接近 80° 。

(2) 正断型地震占 19.2%; 最大的正断型地震是 1996 年 2 月丽江 M_w 6.6 地震, 此次地震的 T、B 轴仰角均 $<15^\circ$, P 轴仰角较大, 为 73° 。

(3) 逆断型地震占 16%; 其中最大的逆断型地震为 2008 年 5 月汶川 M_w 7.9 地震, 该次地震 T 轴仰角相对较大, 为 58° , P、B 轴仰角相对较小, 均 $\leq 25^\circ$ 。

(4) 正走滑型地震较少, 占 $<2\%$; 较大的正走滑型地震为 1996 年 2 月中旬 M_w 5.4 地震, 该类型地震的特点是 P 轴仰角略大于 45° , 随着 P 轴仰角的增大, 地震类型也演化为带走滑分量的正断层。

(5) 逆走滑型地震较少, 占 3%; 较大的逆走滑型地震有 1988 年 11 月沧源 M_w 5.2 地震, 该次地震的 P 轴仰角很小, $<5^\circ$, T 轴仰角为 51° , B 轴仰角为 39° , 这种类型地震随着 T 轴仰角增大, 地震类型也随之转化为带走滑分量的逆断层。

(6) 无法确定型地震所占比例较少, $<1\%$; 典型地震为 2003 年 11 月四川金阳 M_w 5.6 地震, 该次地震的 3 个应力主轴仰角均在 $30^\circ \sim 40^\circ$ 之间。

3.2 震源机制类型的分布特征

为了解各种类型地震的总体分布特征, 本文分别给出了川滇地区走滑型地震和无法确定型地

震分布图、正断型和正走滑型地震分布图、逆断型和逆走滑型地震分布图, 如图 6 所示, 图中黑色为走滑型地震, 黄色为无法确定型地震, 红色为正断型地震, 玫红色是正走滑型地震, 蓝色代表逆断型地震, 浅蓝色为逆走滑型地震。

由图 6 可看出, 川滇地区走滑型地震占主导, 在鲜水河断裂带、龙门山断裂带、小江断裂带及云南大部分地区的地震为走滑型地震; 正断型和正走滑型地震主要分布于金沙江断裂至丽江—小金河断裂之间; 龙门山断裂带、缅甸弧前端主要分布着逆断型和逆走滑型地震, 说明这些地区受挤压明显, 也说明震源机制解在空间上存在着明显的分区性特征。云南地区内所发生的地震的震源断层主要为走滑断层型, 在滇西北的丽江、宁蒗一带, 滇西南的普洱、宁洱一带以及滇东北的大关一带主要分布着以正断层错动为主的地震, 这些地区无逆断层错动为主的地震分布, 小滇西的龙陵、保山一带较为复杂, 正断型和逆断型的都有。四川地区内所发生的地震的震源断层较为分散且三种类型都有, 且地震主要聚集在龙门山断裂带上, 在四川中部地区成都、绵阳、阿坝地区走滑型地震和逆断型地震分布较多, 四川西北甘孜一带以走滑型地震为主, 四川西南稻城、木里一带主要分布着以正断层错动为主的地震。

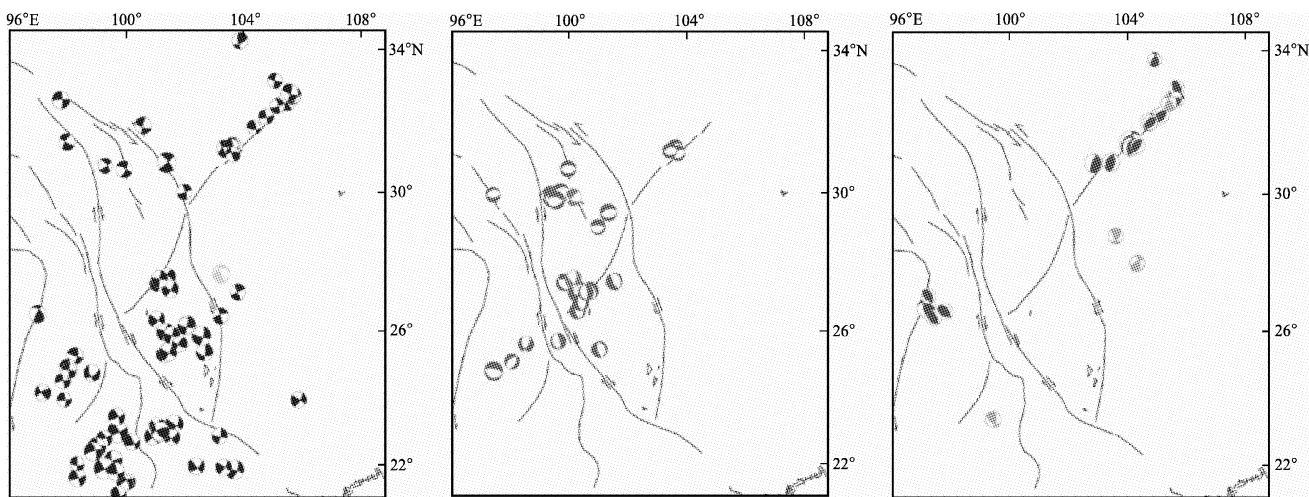


图 6 川滇地区震源机制解分布图

Fig. 6 Distribution of focal mechanisms in Sichuan-Yunnan region

4 结论与讨论

依据 1978 ~ 2009 年川滇地区震源机制解资料

经统计得到: 在大约为云南地区的范围内 ($21^\circ \sim 28^\circ\text{N}$, $97^\circ \sim 108.8^\circ\text{E}$) 主要受到近 N-S 向的水平挤压作用的影响, 区域应力场背景以水平作用力为主, 断层破裂面作大倾角, 水平走滑错动。而

四川地区($28^{\circ} \sim 34.5^{\circ}\text{N}$, $97^{\circ} \sim 108.8^{\circ}\text{E}$)现今构造应力场是比较接近水平的,主要受近E-W向挤压作用,断层破裂面较陡,平均P、T轴的仰角接近水平,受水平错动力作用。云南地区主要受到来自3个方面力的作用:一是来自缅甸,老挝和越南的NE, NNE和NNW向的力;二是来自四川和川滇菱形块体的SE, SSE向的力;三是受到来自华南地块的NW, NNW向应力的作用。四川主要受到4个方面力的作用:一是受到来自SE的西藏块体的作用;二受到背面西北块体SEE向的作用;三是印度洋板块向北与欧亚板块顶撞时,其喜马拉雅弧与缅甸弧的交汇部分如楔子的一角嵌入了川滇藏交界一带;四是受到华南地块的NW、NNW向应力的作用。正是在这些力的作用下,川滇地区成为地质构造复杂,地震活动强烈的地区。龙门山断裂带受到来自华南地块的NWW向及来自西北地块的NEE向应力场作用作右旋运动;红河断裂带受到滇西南NE, NNW向应力场的作用而作右旋运动;小江断裂带受到川滇菱形块体SE、SSE向应力场作用,同时还受到来自华南地块的NW, NWW向应力场作用,作左旋运动;鲜水河断裂带受到来自西藏的NE, EW向应力场作用作左旋错动运动。

由震源机制解分布图可得出,走滑型地震较多,且主要分布在云南地区。四川地区内所发生的地震类型较为分散且三种类型都有。在川滇地区块体内部和边界附近,地震大多以走滑为主,在块体南部,逆断型,正断型和正走滑型地震均存在,对于这一现象吴建平等(2004)已提到过,原因可能是由于青藏高原的挤压,迫使川滇地区在向南滑动的过程中南部边界受到一定的阻挡,造成介质的差异运动和较复杂的局部应力场。正断型地震主要分布于川滇块体的内部,而块体的

外围主要为逆断型地震,这种差异从侧面反应出了块体运动的整体特性。

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(4): 436-440.
- 陈运泰,顾浩鼎. 1990. 震源理论[M]. 北京:国家地震局地球物理研究所: 23-24.
- 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. 川滇地块的震源力学机制、运动速率和活动方式[J]. 地震地质, 25(1): 71-87.
- 崔效锋,谢富仁,张红艳. 2006. 川滇地区现代构造应力场分区及动力学意义[J]. 地震学报, 28(5): 451-461.
- 崔效锋,谢富仁,赵建涛. 2005. 中国及邻区震源机制解的分区特征[J]. 地震地质, 27(2): 298-307.
- 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,晏凤桐,等. 1977. 我国西南地区现代构造应力场与现代构造活动特点的探讨[J]. 地球物理学报, 20(2): 96-109.
- 阚荣举. 1980. 西南地区现代构造应力场与板内强震活动关系[J]. 地震研究, 3(3): 45-59.
- 马文涛,徐锡伟,徐平,等. 2004. 地震三角形分类图解法与华北地区地震成因分析[J]. 地震物理学进展, 19(2): 379-385.
- 钱晓东,秦嘉政,刘丽芳. 2011. 云南地区现代构造应力场研究[J]. 地震地质, 33(2): 91-106.
- 吴建平,明跃红,王椿镛. 2004. 云南地区中小地震震源机制及构造应力场研究[J]. 地震学报, 26(5): 457-465.
- 谢富仁,祝景忠,梁海天,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.
- 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.
- 钟继茂,程万正. 2006. 由多个地震震源机制解求川滇地区平均应力场方向[J]. 地震学报, 28(4): 337-346.
- Aki K, Richards P G. 1980. Quantitative Seismology. Theory and Methods-Vol. 1[M]. San Francisco: Freeman and Company.

Research on Structural Stress Field Basing on Focal Mechanism Solutions Data in Sichuan-Yunan Area

CAO Ying¹, WU Xiao-ping², SHEN Ya-hong¹, LI Zhao-long¹

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

(2. *School of Resource Environment and Earth Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China*)

Abstract

Basing on 124 focal mechanisms data from 1978 to 2009 in Sichuan-Yunan area, we analyzed the fault type of earthquake and the characteristic of modern tectonic stress field in Yunnan-Sichuan area by the statistic method of focal mechanisms parameters. The results showed that it was influenced by horizontal compression in nearly NS direction in Yunnan area ($21^{\circ} \sim 28^{\circ}\text{N}$, $97^{\circ} \sim 108.8^{\circ}\text{E}$), and the main characteristic of regional stress field background is characterized by horizontal compression. Because of the average plunges of P-axis and T-axis were close to horizontal, the tectonic stress field which is close to horizontal mainly influenced by compression in nearly EW direction in Sichuan area ($28^{\circ} \sim 34.5^{\circ}\text{N}$, $97^{\circ} \sim 108.8^{\circ}\text{E}$). The fault plane which was influenced by horizontal shear stress is steeper. The main type of fault is strike-slip in Sichuan-Yunnan area, and mainly distributed in Yunnan. The earthquake occurred in Sichuan area had many types and scattering distribution.

Key words: focal mechanism solution; tectonic stress field; focal rupture characteristics; Sichuan-Yunnan area