

李艳永, 王范霞, 乌尼尔, 唐明帅, 2020. 西昆仑东段震源机制和构造应力场特征. 震灾防御技术, 15 (4): 802—810. doi: 10.11899/zzyf20200414

西昆仑东段震源机制和构造应力场特征¹

李艳永 王范霞 乌尼尔 唐明帅

(新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011)

摘要 本文利用新疆测震台网记录的宽频带波形数据, 采用 CAP 方法反演西昆仑东段 2010 年 1 月—2018 年 12 月 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制, 并结合研究区早期的震源机制数据分区反演构造应力场。结果表明: 研究区地震破裂类型以逆断型和走滑型为主, 其次为正断型, 过渡型最少; 震源机制节面在 NWW 向存在明显优势分布且倾角较陡, 压应力 P 轴在 NNE 向有优势分布且倾角较小, 张应力 T 轴在 NW-SE 向有优势分布且倾角较小, 说明研究区总体上主要以 NNE 向的水平挤压和 NW-SE 向水平拉张作用为主; 西南区域应力结构为走滑型, 东北区域应力结构为逆断型, 最大主应力轴 σ_1 方位的最优解都呈 NNE 向, 但西南区域更偏东, 东北区域水平作用更明显。东北区域的应力形因子 R 值较小, 体现该区域的物质隆升相对于西南区域物质隆升分量较大。

关键词: 西昆仑 震源机制 应力场 CAP MSATSI 软件

引言

西昆仑造山带位于青藏高原西北边缘, 喜马拉雅帕米尔西构造结东北部, 印度板块和欧亚板块的结合部(李莹甄等, 2016), 北邻塔里木盆地, 西为喀喇昆仑断裂所限, 东与阿尔金断裂相连, 是一条宽约 100km 的近 EW 向的狭窄地带(王琼等, 2012)。新生代以来, 西昆仑造山带受到青藏高原和塔里木地块的双向对冲作用, 主要受铁克里克断裂、康西瓦断裂和喀喇昆仑断裂的制约。

构造应力场在地球动力学研究中有十分重要的作用, 区域地壳应力场及其时空变化特征为深入了解构造变形、地震机理及地震应力的相互作用提供了可靠信息(王晓山等, 2015)。通过震源机制反演区域构造应力场是较为可行且普遍采用的方法, 一些学者(许忠淮, 2001; 谢富仁等, 2004; 高国英等, 2010; 郝平等, 2012)利用震源机制、深井孔壁崩落等资料对西昆仑地区构造应力场进行整体或分段研究, 并形成较统一的认识, 即该地区现代构造应力场的主体特征为近 NNE-NE 方向的挤压, 与印度板块和欧亚板块的推挤方向一致。受震源机制数量的限制, 早期针对西昆仑地区应力场研究划分的范围相对较大。本文采用 CAP 方法(Zhao 等, 1994; Zhu 等, 1996)反演西昆仑东段 2010 年以后的震源机制, 结合该地区早期

1 基金项目 国家自然科学基金项目(41674063、41574088); 地震科技星火计划项目(XH18055); 新疆地震科学基金(201903、201906)

[收稿日期] 2019-10-09

[作者简介] 李艳永, 男, 生于 1984 年。高级工程师。主要从事地震监测工作。Email: 370451652@qq.com

通过 P 波初动法求解的震源机制数据，利用 Hardebeck 等（2006）的方法原理及 MSATSI 软件（Martínez-Garzón 等，2014）分区反演应力场。

1 研究区及数据资料

本研究选取西昆仑造山带东段作为研究区域，除铁克里克断裂、康西瓦断裂和喀喇昆仑断裂 3 条主要断裂外，还存在和田隐伏断裂和柯岗断裂，以上断裂在该区域基本呈 NWW 或 NW 向（图 1）。其中，铁克里克断裂为在地表呈高角度的南倾逆冲断裂；康西瓦断裂第四纪以来为左旋走滑断裂；喀喇昆仑断裂东南段第四纪以来右旋走滑量介于 2—220m，活动方式以右旋走滑为主（雷东宁等，2018；刘栋梁等，2011）；和田隐伏断裂为铁克里克逆冲断裂带派生出来的大型逆冲断裂（徐晓尹等，2016）；柯岗断裂是右旋兼逆冲的韧性剪切带（赵佳楠等，2013）。1976 年以来，研究区共发生 3 次 $M_S \geq 6.0$ 地震，分别为 1996 年 11 月 19 日喀喇昆仑山口 $M_S 7.1$ 地震、1998 年 5 月 29 日和田 $M_S 6.2$ 地震和 2015 年 7 月 3 日皮山 $M_S 6.5$ 地震。

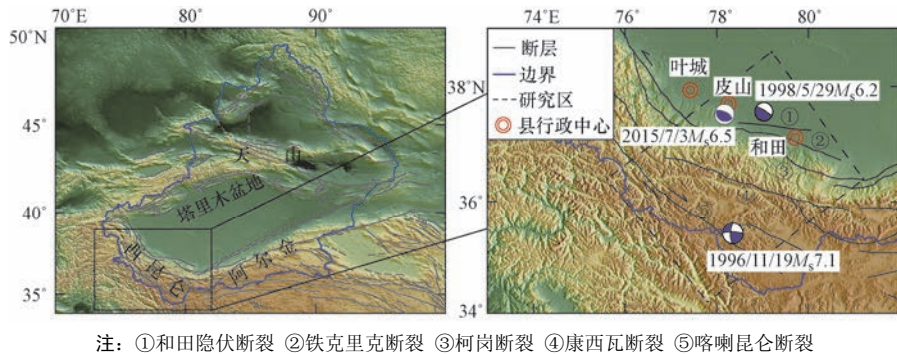


图 1 研究区主要断裂和 1976 年以来强震震源机制

Fig. 1 The focal mechanism of strong earthquakes since 1976 and main faults in study area

本研究使用的数据包括：收集整理的研究区 2006—2009 年 16 次 $M_S \geq 3.5$ 地震震源机制，这些资料多数由高国英等（2010）利用 P 波初动法求解得到；利用新疆测震台网记录的宽频带波形数据，通过 CAP 方法反演得到研究区 2010 年 1 月—2018 年 12 月 82 次 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制数据（不含余震）。

2 研究方法

2.1 震源机制

前期的研究结果（李艳永等，2018；王晓楠等，2018；张志斌等，2019a，2019b）证明了利用 CAP 方法获取中小地震震源机制的可靠性，因此本文采用 CAP 方法反演研究区 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制。该方法将近震宽频带三分向波形分为 P 波部分和面波部分，并赋予不同的权重分别进行反演，反演过程中采用不同频段滤波。通过计算理论合成波形与真实记录波形的误差函数，利用网格搜索法在相关参数空间搜索误差最小的最优解（张广伟等，2015）。与其他方法相比，其优势在于充分利用了真实记录的观测波形，并允许时间窗理论波形和实际观测波形进行相对时移拟合，很大程度上减少了速度模型不够精确、地壳速度横向不均匀性带来的影响。反演过程中所采用的地震波形来源于新疆测震台网记录的宽频带观测记录，

采用 400km 内 P 波初至清晰的波形数据, 对 P 波部分截取 35s 窗口长度并作 0.05—0.2Hz 滤波, 对面波部分截取 80s 窗口长度并作 0.05—0.10Hz 滤波。断层走向、倾角和滑动角以 5° 为间隔搜索不同深度的震源机制, 利用目前广泛使用的频率-波数法 (F-K 法) 计算不同震中距的格林函数。反演过程中使用 CRUST2.0 速度结构模型。

2.2 构造应力场

采用 MSATSI 软件反演构造应力场的主要步骤如下 (王晓山等, 2015): 根据 MSATSI 算法对网格进行反演, 确定网格的最佳应力张量方位和应力形因子 R 值; 利用自助抽样法对网格点的原始输入数据进行重采样, 在选定的置信区间内进行不确定性评价; 对应力场反演结果进行可视化显示, 标出 3 个主应力方位和应力形因子 R 。

$$R = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (1)$$

式中, σ_1 、 σ_2 和 σ_3 分别表示最大、中等、最小主应力。 R 值是衡量中间主应力轴更接近最大主应力轴或更接近最小主应力轴的度量。在仅考虑偏应力的情况下, 当 R 值为 0.5 时, 意味着三个主应力数值呈等差排列, 随着 R 值增大, σ_2 大小逐渐和 σ_3 接近, R 值越大, 中间主应力表现的张应力越明显。同理, R 值越小, 中间主应力表现的压应力越明显 (黄骥超等, 2016)。

利用 MSATSI 软件反演应力场过程中, 默认的重采样次数为 500 次, 次数过少会导致可信度降低, 次数过多会导致运算量大, 增加计算时间, 本文设置的重采样次数为 1000 次, 置信区间为 95%。

3 震源机制和构造应力场特征

Frohlich (1992) 提出采用三角形图解法对震源机制类型的分布特征进行量化分类和评估, 其分类标准是: 震源机制 P 轴倾角为 90° 时, 震源机制为正断型; T 轴倾角为 90° 时, 震源机制为逆冲型; B 轴倾角为 90° 时, 震源机制为走滑型。为进一步分析研究区 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制类型特征, 本文以 45° 为界将 98 次地震震源机制分为 4 类: 正断型, P 轴倾角应 $\geq 45^\circ$; 逆断型, T 轴倾角应 $\geq 45^\circ$; 走滑型, B 轴倾角应 $\geq 45^\circ$; 过渡型, 三个应力轴倾角都应 $< 45^\circ$ 。分类结果显示, 98 次地震中正断型、逆断型、走滑型和过渡型分别为 13 次、42 次、40 次和 3 次, 各占总数的 13%、43%, 41% 和 3% (图 2)。可见在研究时间段内, 研究区 $M_S \geq 3.0$ 地震破裂类型以逆断型和走滑型为主, 正断型次之, 过渡型最少。

研究区分类后的 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制空间分布与研究区主要断裂构造关系密切 (图 3)。逆断类型 (图 3 (a)) 遍布在整个研究区域, 尤以研究区东北部铁克里克断裂附近居多, 约占逆断型地震总量的 80%; 走滑类型 (图 3 (b)) 空间分布与逆断型相反, 以研究区西南部的康西瓦断裂和喀喇昆仑断裂附近居多, 约占走滑型地震总量的 70%; 正断类型 (图 3 (c)) 和过渡类型地震 (图 3 (d)) 主要分布在铁克里克断裂附近。

对震源机制参数每 10° 间隔划分为一个角域, 进行归一化频度统计 (图 4), 由于小震难以区分断层面和辅助面, 故在统计中合并进行分析。结果显示, 在该研究时间段内, 节面在 NWW 向存在明显优势分布且倾角较陡, 主要分布在 50—80° 范围内; 滑动角在 +90° 和 $\pm 180^\circ$ 附近有明显的优势分布, 与研究区以逆断型和走滑型为主的断层作用机制特征契合; 压应力 P 轴在 NNE 向有优势分布且倾角较小, 主要分布在 30° 范围以内; 张应力 T 轴在 NW-SE 向

有优势分布，倾角主要分布在 30° 范围以内，说明研究区主要以 NNE 向水平挤压和 NW-SE 向水平拉张作用为主。

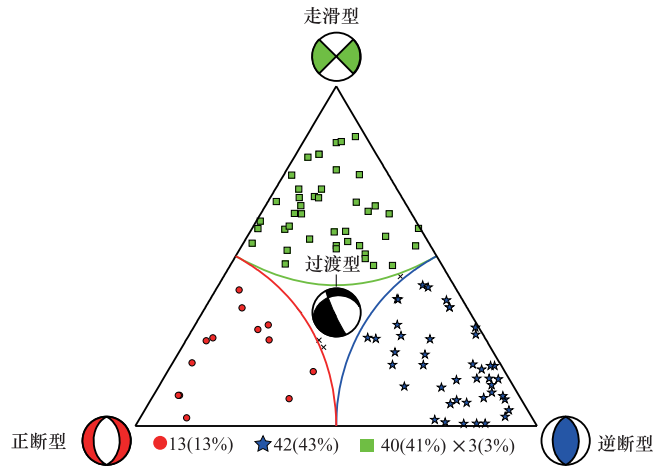


图 2 研究区 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制三角分类

Fig. 2 The triangle classification of focal mechanism with $M_S \geq 3.0$ in study area

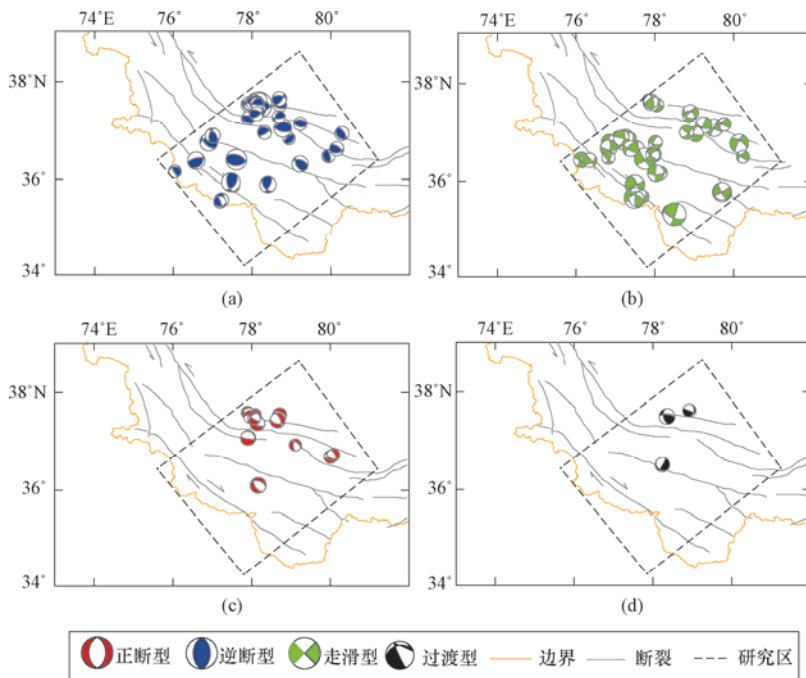


图 3 研究区 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制类型空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of focal mechanism with $M_S \geq 3.0$ in study area

基于研究区 98 次 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制数据，将研究区划分为东北和西南区域，并采用 MSATSI 软件分区反演应力场（表 1、图 5）。结果显示，置信度为 95% 时，东北区域最大主应力轴 σ_1 方位的最优解为 $N14^\circ E$ ，呈近 NNE 向，置信范围为 $(-76^\circ - 94^\circ)$ ，倾角最优解为 14° ，置信范围为 $(-7^\circ - 36^\circ)$ ；中间主应力轴 σ_2 方位的最优解为 $N74^\circ W$ ，呈 NWW 向，置

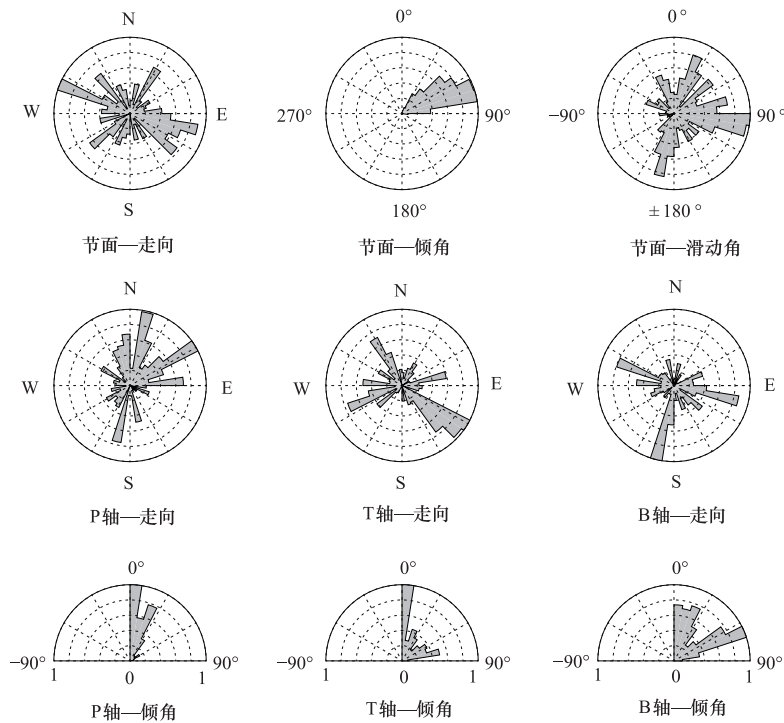


图4 研究区震源机制参数归一化统计

Fig.4 The normalized frequency statistics of focal mechanism parameter in study area

信范围为 $(16^{\circ}\text{—}194^{\circ})$ ，倾角最优解为 10° ，置信范围为 $(-38^{\circ}\text{—}77^{\circ})$ ；最小主应力轴 σ_3 方位的最优解为 $N51^{\circ}E$ ，置信范围为 $(-308^{\circ}\text{—}48^{\circ})$ ，倾角最优解为 73° ，置信范围为 $(3^{\circ}\text{—}89^{\circ})$ ；应力形因子 R 的最优解为 0.41，置信范围为 $(0.06\text{—}0.98)$ ；西南区域最大主应力轴 σ_1 方位的最优解为 $N29^{\circ}E$ ，置信范围为 $(-1^{\circ}\text{—}93^{\circ})$ ，倾角最优解为 26° ，置信范围为 $(-8^{\circ}\text{—}64^{\circ})$ ；中间主应力轴 σ_2 方位的最优解为 $N11^{\circ}W$ ，呈 NNW 向，置信范围为 $(79^{\circ}\text{—}299^{\circ})$ ，倾角最优解为 57° ，置信范围为 $(-18^{\circ}\text{—}83^{\circ})$ ；最小主应力轴 σ_3 方位的最优解为 $N70^{\circ}W$ ，置信范围为 $(-214^{\circ}\text{—}8^{\circ})$ ，倾角最优解为 18° ，置信范围为 $(-71^{\circ}\text{—}75^{\circ})$ ；应力形因子 R 的最优解为 0.62，置信范围为 $(0.13\text{—}0.99)$ 。可见研究区东北和西南区域最大主应力轴 σ_3 方位的最优解都呈 NNE 向，但西南区域更偏东，东北区域水平作用更明显；区域应力结构存在明显的差异，西南区域为走滑型，东北区域为逆断型。

表1 构造应力场分区反演结果

Table 1 Result of stress field inversion

分区	σ_1		σ_2		σ_3		应力形因子 R
	方位/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	方位/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	方位/ $^{\circ}$	倾角/ $^{\circ}$	
东北	14 (-76—94)	14 (-7—36)	106 (16—194)	10 (-38—77)	-129 (-308—48)	73 (3—89)	0.41 (0.06—0.98)
西南	29 (-1—93)	26 (-8—64)	169 (79—299)	57 (-18—83)	-70 (-214—8)	18 (-71—75)	0.62 (0.13—0.99)

注：以上的数值范围为各参数在 95% 置信度下的不确定性范围。

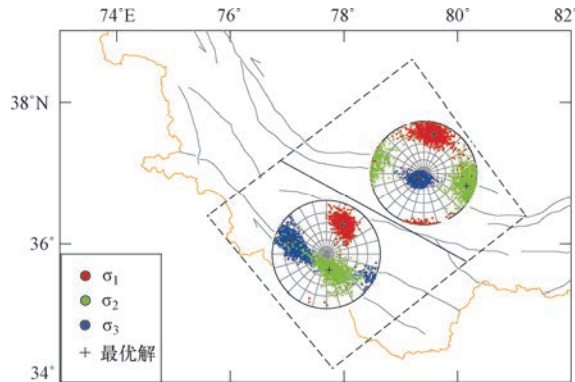


图5 构造应力场分区反演结果的球面投影图(彩色点表示95%的置信区间)

Fig. 5 Result of stress field inversion (The 95% confidence intervals are plotted in color dots)

4 认识和结论

本研究采用CAP方法获得西昆仑东段2010年1月—2018年12月82次 $M_S \geq 3.0$ 地震震源机制数据,并结合收集整理的2006—2009年16次 $M_S \geq 3.5$ 地震震源机制数据对研究区的应力场进行了分区反演。结论如下:

在研究时间段内,研究区地震破裂类型以逆断型(43%)和走滑型(41%)为主,正断型次之,过渡型最少。李莹甄等(2016)对西昆仑地区45次中强震震源机制进行了分类分析,指出走滑型地震约占60%,逆断型占约18%,这与本文的研究结果有些差异。原因可能与研究范围的大小有关,西昆仑地区地震活动水平由西北至东南依次减弱(李茂玮,1994),李莹甄等(2016)对整个西昆仑地区进行统计分析,西段的震源机制数量占据较高的比例,而本文的统计结果则体现了西昆仑东段的震源机制特征。

从空间分布上看,逆断型地震主要分布在研究区东北部的铁克里克断裂附近,该断裂所处的西昆仑北缘是西昆仑造山带与塔里木盆地的结合地带,显示出青藏高原西北缘在印度板块NE向欧亚大陆挤压碰撞作用下,遇到稳定的刚体的塔里木盆地阻挡而逐渐隆升的构造运动特征。研究表明,西昆仑山自5Ma以来发生了脉动式由缓慢到快速的隆升过程(高锐等,2000);走滑型地震以研究区西南部的康西瓦断裂和喀喇昆仑断裂附近居多。发生在喀喇昆仑断裂上走滑性质的地震反映了印度洋板块向北推移时受到塔里木地块的阻挡,使得帕米尔一带相对青藏高原主体部分向北运移了250—300km。而发生在康西瓦断裂附近的走滑地震,则反映了青藏高原沿阿尔金断裂整体向东北方向移动的现象(环文林等,1980)。铁克里克断裂附近发育一定数量的走滑型地震可能和该断裂具有一定的右旋走滑性质有关,其第四纪右旋走滑速率约 $4\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ (Fu等,2010)。另外,铁克里克断裂附近有少量的正断型和过渡型地震,康西瓦断裂和喀喇昆仑断裂附近有少量的逆断型地震,它们反映出局部应力场和震源破裂特征存在复杂性,使得震源破裂面不止一种走向,破裂错动不止一种性质。但总体上看,研究区震源机制的空间分布特征与该区域主要活动构造性质基本吻合。

震源机制参数统计结果显示整个研究区主要以NNE向的水平挤压和NW-SE向水平拉张作用为主。应力场的分区反演结果表明西南区域和东北区域最大主应力轴 σ_1 方位都呈NNE

向,但西南区域更偏东,东北区域水平作用更明显。最小主应力轴 σ_3 的倾角和中间主应力轴 σ_2 的倾角呈两极分布,即东北区域所处的西昆仑与塔里木盆地结合地带最小主应力轴 σ_3 的倾角较陡,中间主应力轴 σ_2 的倾角近水平,而西南区域所处的康西瓦断裂和喀喇昆仑断裂附近的最小主应力轴 σ_3 的倾角近水平,中间主应力轴 σ_2 的倾角较陡,故西南区域更易发生走滑型地震,东北区域更易发生逆断型地震。这与震源机制类型的统计结果具有较好的一致性,表明区域构造应力场和构造运动特征具有很好的关联性。

东北区域 R 值为 0.41,说明该区域近 NWW-SEE 的中间主应力 σ_2 有一定的挤压成分,由于最大主应力 σ_1 表现为近 NNE 向的挤压,因此将两种效应综合起来,该区域主要表现为物质的隆升;西南区域最大主应力 σ_1 也表现为近 NNE 向的挤压,由于最小主应力 σ_3 表现为近 NWW 向的扩展,使得这里的挤压造山兼有隆升和向近 NWW-SEE 向扩展的两种分量,因此西南区域的物质隆升相对于东北区域的隆升分量小。需要注意的是,以上结论是在假定挤压运动分量一致的情况下得到的结论,但究竟研究区域的挤压运动分量有多大,需要依靠 GPS 资料、深部地球物理背景及地质观测等进行进一步验证(刘兆才等,2019)。

参考文献

- 高国英, 聂晓红, 龙海英, 2010. 2003-2008 年新疆区域构造应力场特征探讨. 地震地质, **32** (1): 70—79.
- 高锐, 黄东定, 卢德源等, 2000. 横过西昆仑造山带与塔里木盆地结合带的深地震反射剖面. 科学通报, **45** (17): 1874—1879.
- 郝平, 吕晓健, 田勤俭等, 2012. 中国西部及邻区活动地块边界带现代构造应力场. 地震学报, **34** (4): 439—450.
- 环文林, 汪素云, 时振梁等, 1980. 青藏高原震源分布与板块运动. 地球物理学报, **23** (3): 269—280.
- 黄骥超, 万永革, 盛书中等, 2016. 汤加-克马德克俯冲带现今非均匀应力场特征及其动力学意义. 地球物理学报, **59** (2): 578—592.
- 雷东宁, 蔡永建, 李媛, 2018. 西藏喀喇昆仑断裂东南段晚第四纪活动的地质地貌特征. 科学技术与工程, **18** (32): 152—156.
- 李茂玮, 1994. 帕米尔—西昆仑地震带强震活动的规律性特征. 内陆地震, **8** (2): 134—140.
- 李艳永, 王成虎, 杨佳佳, 2018. 呼图壁地区震源机制解及构造应力场特征分析. 大地测量与地球动力学, **38** (12): 1246—1250.
- 李莹甄, 张博, 殷娜等, 2016. 新疆及周缘构造破裂特征及地震序列类型. 地震工程学报, **38** (1): 36—45.
- 刘栋梁, 李海兵, 潘家伟等, 2011. 帕米尔东北缘-西昆仑的构造地貌及其构造意义. 岩石学报, **27** (11): 3499—3512.
- 刘兆才, 万永革, 黄骥超等. 2019. 2017 年精河 $M_s6.6$ 地震邻区构造应力场特征与发震断层性质的厘定. 地球物理学报, **62** (4): 1336—1348.
- 王琼, 聂晓红, 高朝军, 2012. 1950 年以来帕米尔东北缘—西昆仑地区 7 级左右地震后新疆地区中强地震活动状态分析. 地震, **32** (1): 93—102.
- 王晓楠, 唐方头, 邵翠茹, 2018. 南迦巴瓦构造结周边地区主要断裂现今运动特征. 震灾防御技术, **13** (2): 267—275.
- 王晓山, 吕坚, 谢祖军等, 2015. 南北地震带震源机制解与构造应力场特征. 地球物理学报, **58** (11): 4149—4162.

- 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. 地球物理学报, **47** (4): 654—662.
- 徐晓尹, 蔡志慧, 何碧竹等, 2016. 塔里木盆地西南缘盆山结合带东段逆冲体系的形成及演化过程. 岩石学报, **32** (12): 3743—3752.
- 许忠淮, 2001. 东亚地区现今构造应力图的编制. 地震学报, **23** (5): 492—501.
- 张广伟, 雷建设, 2015. 2015 尼泊尔 $M_s8.1$ 地震中等余震震源机制研究. 地球物理学报, **58** (11): 4298—4304.
- 张志斌, 冉慧敏, 金花, 2019a. 2016 年 12 月 8 日新疆呼图壁 $M_s6.2$ 地震发震构造初步研究. 地震工程学报, **41** (4): 962—969.
- 张志斌, 金花, 朱皓清, 2019b. 2018 年 9 月 4 日伽师 $M_s5.5$ 地震与 97 年及 03 年伽师强震属于同一发震构造吗? 地球物理学进展, **34** (6): 2232—2238.
- 赵佳楠, 田淑芳, 2013. 新疆塔什库尔干地区柯岗断裂性质及遥感地质解译. 新疆地质, **31** (2): 152—155.
- Frohlich C., 1992. Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **75**(1—3): 193—198.
- Fu B. H., Ninomiya Y., Guo J. M., 2010. Slip partitioning in the northeast Pamir–Tian Shan convergence zone. *Tectonophysics*, **483**(3—4): 344—365.
- Hardebeck J. L., Michael A. J., 2006. Damped regional-scale stress inversions: methodology and examples for southern California and the Coalinga aftershock sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **111**(B11): B11310.
- Martínez-Garzón P., Kwiątek G., Ickrath M., et al, 2014. MSATSI: a MATLAB package for stress inversion combining solid classic methodology, a new simplified user-handling, and a visualization tool. *Seismological Research Letters*, **85**(4): 896—904.
- Zhao L. S., Helmberger D. V., 1994. Source estimation from broadband regional seismograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**(1): 91—104.
- Zhu L. P., Helmberger D. V., 1996. Advancement in source estimation techniques using broadband regional seismograms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **86**(5): 1634—1641.

The Focal Mechanism and Stress Field Inversion in the Eastern Section of West Kunlun

Li Yanyong, Wang Fanxia, Wu Nier and Tang Mingshuai

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

Abstract In this paper, based on the broadband waveform data recorded by Xinjiang Seismic Network, the focal mechanism of $M_S \geq 3.0$ earthquake from January 2010 to December 2018 are inverted by CAP method in the eastern section of West Kunlun. Combined with the focal mechanism data in the early stage, the stress field in the study area is inverted. The results show that the seismic rupture types are mainly thrust type and strike-slip type, followed by normal fault type, and the transition type is the least in the study area. Nodal plane of focal mechanism is near NWW, the inclination angle is steep. P axis is near NNE, and the inclination angle is small. T axis is near NW-SE, the inclination angle is small. It indicates that the stress field of study area is mainly under action of NNE horizontal compression and the NW-SE horizontal tensional; The inversion results show that the stress structure in the southwest and northeast regions is quite different, the stress structure in the southwest region is strike-slip type, the stress structure in the northeast region is thrust type. The optimum solution of the maximum principal stress σ_1 are NNE direction in southwest region and northeast region, but the southwest region is more east, and the horizontal effect in the northeast region is more obvious. The stress shape ratio R indicates that the material uplift in the southwest region is smaller than that in the northeast region.

Key words: West Kunlun; Focal mechanism; Stress field; CAP; MSATSI