

帕米尔东北侧中强地震前应力场 动态变化特征分析

高国英, 王海涛, 温和平, 魏 斌

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 依据乌恰、喀什和巴楚 3 个台小震综合机制解资料, 分析研究了帕米尔东北侧中强地震前震源区及其附近地区应力场的动态变化过程. 结果表明: 3 个台小震综合机制解的 P 轴方位各自存在较明显的优势分布, 这种分布与区域应力场的分布特征基本吻合. 该区发生的 4 次 6 级以上地震前 3 个台小震综合机制解的 P 轴方位显示出较好的一致性, 特别在伽师地震前 P 轴方位集中分布于 $N60^{\circ} \sim 74^{\circ}E$, 与伽师强震群震源机制解的 P 轴方位基本相同.

关键词: 新疆; 帕米尔; 震源机制解; 主压应力轴; 动态变化

中图分类号: P315.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)04-0389-06

0 引言

帕米尔东北侧是中国大陆地区主要的强震活动区, 该区构造复杂, 地震活动频度高、强度大. 1996~1998 年在该区的阿图什~伽师不足 100 km 范围内, 连续发生 11 次 6 级地震. 对该区域构造应力场已有不少研究成果, 但利用单台小震综合机制解来分析该区中强地震前应力场的变化, 目前尚未有人进行过研究. 本文分别对帕米尔东北侧的乌恰、喀什和巴楚 3 个台单台小震综合机制解结果进行了分析, 讨论了该区几次 6 级地震前的应力场变化特征, 为伽师地震成因机制研究提供参考.

1 分析方法及资料选取

利用目前国内广泛应用的许忠淮^[1]等人研制的格点尝试法, 求解小震综合机制解. 选取了帕米尔东北侧乌恰、喀什和巴楚 3 个台周围 100 km 范围内 1990~1996 年发生的 1.4~3.9 级 (M_S) 地震, 从记录中挑选有清楚 P 波初动符号的记录约 1 500 条, 对每个台每年给出一张小震综合机制解图. 为了对计算结果进行对比分析, 挑选北天山新源台多年来记录的发生在该台周围 100 km 范围内的小震 P 波初动资料约 1 000 条, 计算了该台的小震综合机制解.

图 1 给出了各台小震的空间选取范围以及研究时段内 6 级地震的震中分布. 由图可见, 3 个台小震选取范围基本覆盖了研究区域.

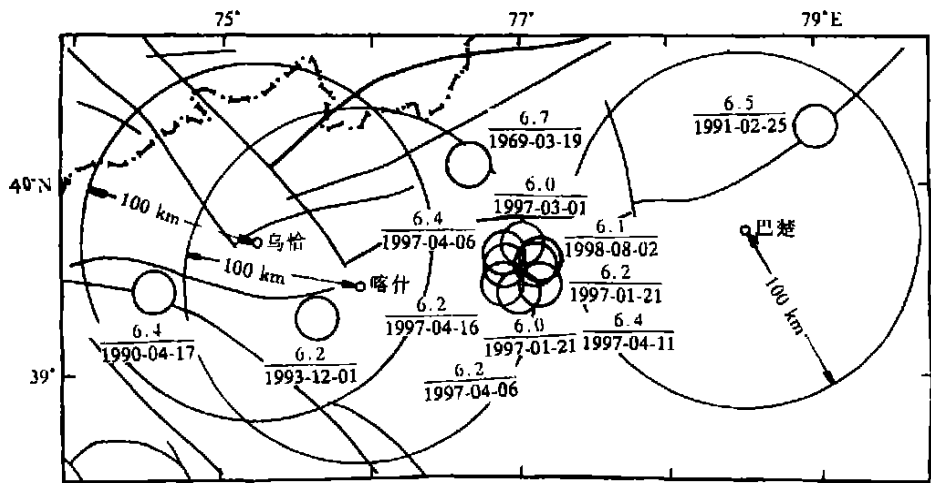


图 1 研究区范围及 $M_s \geq 6.0$ 地震分布

Fig. 1 Range of the studied region and distribution of $M_s \geq 6.0$ earthquakes.

2 区域应力场和强震前小震综合机制解 P 轴变化特征

在分析局部地区应力场变化之前, 首先应该对区域构造应力场的基本分布特征有所了解. 也就是在区域应力场背景下, 通过小震综合机制解参数变化来分析孕震周围地区应力场的动态变化过程.

2.1 区域应力场的分布特征

作者通过对 55 次中强地震震源机制解的研究^[2], 发现帕米尔东北侧主压应力轴优势方向为近 NS 向(图 2), 此外还存在一组 NNW 向的优势分布. 在该区东部的普昌断裂附近部分中强地震震源机制解主压应力轴为 NE 方向, 其仰角大部分平缓, 说明该区主要受近 NS 向的水平挤压应力作用. 这可能是由于受印度板块与欧亚板块的挤压造成帕米尔和塔里木地块与天山发生碰撞的结果. 虽然在同一力源作用下, 但是, 由于构造活动的差异和局部地区地壳、上地幔结构以及状态的差异等, 造成该区主压应力轴方向存在一些差异.

2.2 单台小震综合机制解分析

上述 3 个台站分别处于研究区的不同构造环境中, 并且分别位于地壳、上地幔结构以及介质物性状态差异较大的部位^[3]. 把每个台 7 年的小震综合机制解 P 轴方位全部投影在乌尔夫网上, 可以看出 P 轴方位大体分布在 $320^\circ \sim N10^\circ E$ 和 $N48^\circ E \sim EW$ 范围内(图 3). 这种优势分布与区内一些中强地震震源机制解 P 轴方位分布以及区域应力场的分布大体相同. 说明帕米尔东北侧地区小震活动主要受区域应力场制约.

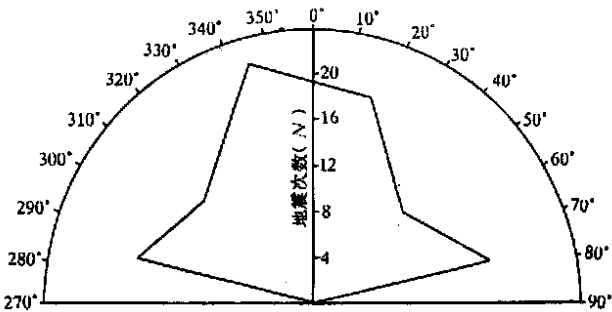


图 2 帕米尔东北侧主压应力轴方位分布

Fig. 2 Distribution of direction of main pressure stress axes of northeastern Pamir Xinjiang.

由图 4 可以看出, 乌恰和巴楚台小震综合机制解的主压应力轴方向也存在集中分布的特点. 乌恰台以 NW ~ 近 NS 向为主, 这一结果与区内中强地震震源机制解结果基本吻合. 例如,

在乌恰台周围 100 km 范围内 1990 年 4 月发生的乌恰 M_s 6.4 地震的主压应力轴方位为 182° , 呈近 NS 向. 巴楚台主压应力轴方向呈 NE 方向的优势分布, 与巴楚附近多数中强地震震源机制解结果^[4]一致, 说明巴楚附近以较为稳定的 NE 方向应力作用为主. 喀什台小震的主压应力轴方向无明显的优势分布, 大体呈扇形分布(1996 年的资料中剔除了阿图什 6.9 级地震序列资料). 1993 年 12 月 1 日疏附 6.2 级地震距喀什台约 30 km, 其主压应力轴方向为 NE, 与该台 1992 年小震平均震源机制解主压应力轴方向基本一致.

喀什台周围小震较为发育, P 波初动也最多, 但矛盾符号比其他 2 个台相对要大(最大可达 0.37, 乌恰和巴楚台一般小于 0.25), 并且主压应力轴无明显的优势分布. 初步分析认为, 这一现象可能与该区强烈的构造运动和频繁的强震活动有关, 说明喀什周围地区处于一种不稳定的应力状态. 为了进行对比分析, 我们作出了北天山新源台 1990~1999 年的小震综合震源机制解, 结果显示主压应力轴优势分布呈 NS 向, 与北天山地区区域应力场方向基本一致.

2.3 几次强震前应力场动态演化图像

华祥文^[4]和刁桂苓^[3]等人根据小震综合机制解的研究, 认为 1978 年唐山 7.8 级地震前京津唐地区形成了统一的孕震应力场, 主震震源应力场与孕震应力场的平均方向一致. 另外, 成尔林^[6,7]通过对 1976 年松潘 7.2 级地震前和 1976 年盐源-宁蒗 6.7 级地震前震中附近单台小震综合机制解的研究, 也认为震前震源区周围出现统一的孕震应力场, 其方向与未来主震震源应力场方向基本一致.

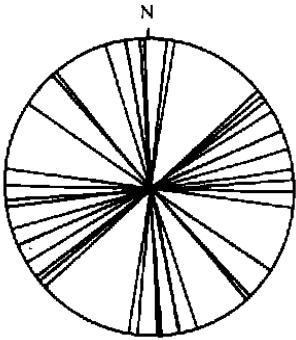


图 3 乌恰、喀什和巴楚 3 台小震主压应力轴方位分布
Fig. 3 Distribution of directions of main pressure stress axes for small earthquakes recorded by Wuqia, Kashi and Bachu stations.

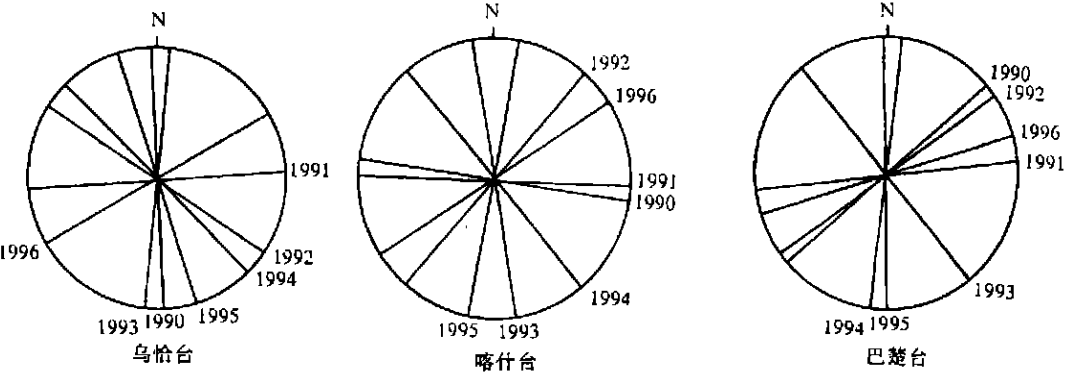


图 4 各台小震主压应力轴方向的优势分布
Fig. 4 Distribution of directions of main pressure stress axes for small earthquakes recorded by Wuqia, Kashi and Bachu stations respectively.

由于 3 个台站分别位于研究区的西部、中部和东部, 所以小震平均震源机制解的主压应力轴方向变化基本可以反映该区应力场的时空动态演化过程. 图 5 分别给出了 1990~1996 年 3 个台主压应力轴方向. 由图 5 和表 1 可见, 若按时间顺序, 每年主压应力 P 轴变化较大, 无规律. 但是在区内 4 次 6 级以上地震前后, 3 个台小震综合机制解主压应力轴方位呈现较好的一致性. 1990 年主压应力轴方向变化无规律. 1991 年 2 月在研究区东部发生了柯坪 6.5 级地震, 同年 3 个台主压应力轴方向发生变化, 呈近 EW 向, 且喀什台主压应力轴连续 2 年呈近 EW

向,表明在这一时段该区应力场为近 EW 向.这种近 EW 向的应力场分布与区域应力场和大部分中强地震震源机制解结果差别较大,可能反映了震后应力场的调整过程.1992 年主压应力轴方向无规则分布.1993 年 12 月疏附 6.2 级地震前,3 个台主压应力轴方向显示出较好的一致性,集中分布于 $320^{\circ}\sim 0^{\circ}$,与 1993 年 12 月 6.2 级地震的主压应力轴方向(324°)一致,说明该次地震前区域应力场方向以 NW 为主.1994 年应力场方向没有变化.1996 年 3 月 19 日阿图什 6.9 级地震前,1995 年 3 个台主压应力轴又集中呈 NS 向分布.更为显著的变化是 1997 年伽师地震前,1996 年 3 个台主压应力轴方向偏转为 $N60^{\circ}\sim 74E^{\circ}$,与伽师强震群震源机制解主压应力轴方向($N30^{\circ}E$ 左右)大体吻合,表明了伽师地震前孕震应力场和震源应力场方向较为一致.由上述分析可见,几次强震前乌恰、喀什和巴楚 3 个台小震综合机制解主压应力轴方向显示出较好的一致性.伽师强震群前,应力场的变化较为明显,由 1994 年的 NW 向偏转为 1995 年的近 NS 向,1996 年继续偏转,呈 NE 向,表明伽师地震前区域应力场存在一个趋势性的缓慢变化过程.另外伽师震群能量释放相当于一次 7 级地震,因此从时间上看,震级越大,区域应力场的变化过程越长.

表 1 1990~1996 年乌恰、喀什和巴楚 3 个台小震综合机制解 P 轴和 T 轴参数统计

时间	台站	P 轴		T 轴		地震	时间	台站	P 轴		T 轴		地震
		方位	仰角	方位	仰角				方位	仰角	方位	仰角	
1990 年	乌恰	357°	21°	108°	43°	—	1994 年	乌恰	138°	6°	22°	76°	—
	喀什	277°	96°	8°	2°			喀什	139°	17°	231°	76°	
	巴楚	48°	64°	145°	3°			巴楚	186°	4°	94°	615°	
1991 年	乌恰	86°	22°	207°	52°	1991-02-25 柯坪 $M_s 6.5$	1995 年	乌恰	343°	68°	140°	20°	—
	喀什	91°	24°	223°	57°			喀什	190°	12°	100°	3°	
	巴楚	263°	4°	360°	60°			巴楚	178°	10°	287°	61°	
1992 年	乌恰	304°	51°	203°	34°	—	1996 年	乌恰	60°	7°	172°	72°	1996-03-19 阿图什 $M_s 6.9$
	喀什	51°	11°	301°	60°			喀什	67°	2°	157°	1°	
	巴楚	234°	43°	59°	47°			巴楚	244°	44°	244°	46°	
1993 年	乌恰	186°	48°	284°	7°	1993-12-01 疏附 $M_s 6.2$	—	—	—	—	—	—	—
	喀什	350°	24°	242°	35°								
	巴楚	140°	23°	3°	59°								

由表 1 的结果还可以看出,在喀什附近发生的疏附 6.2 级和阿图什 6.9 级地震前,乌恰台 P 轴仰角明显增大,而在东部的柯坪 6.5 级地震和伽师震群前,巴楚台 P 轴仰角也同样增大.这种震前 P 轴仰角变化现象在华北地区 11 次中强地震前也曾发现过^[8].

此外,由小震活动空间分布图像分析,柯坪 6.5 级和伽师地震前 1~2 年,震源区附近地震活动显示出异常平静.阿图什 6.9 级地震前,震中附近地区 3 级以上地震活动自 1994 年开始逐步向震中附近逼近.

3 结论与讨论

乌恰台和巴楚台单台小震综合机制解主压应力轴分别存在较明显的 NW 和 NE 方向的优势分布,这种分布与周围地区中强地震震源机制解结果和区域应力场的分布特征较为一致.表明在大区域应力场作用下,不同构造环境和诸多受力因素的差异,造成局部地区应力场分布的差异性.喀什台主压应力轴方位无明显的优势分布,且矛盾符号比相对乌恰和巴楚较大,这些现象可能与该区强烈的构造运动和频繁发生的强震活动有关,说明喀什周围地区可能处于一种不稳定的应力状态.

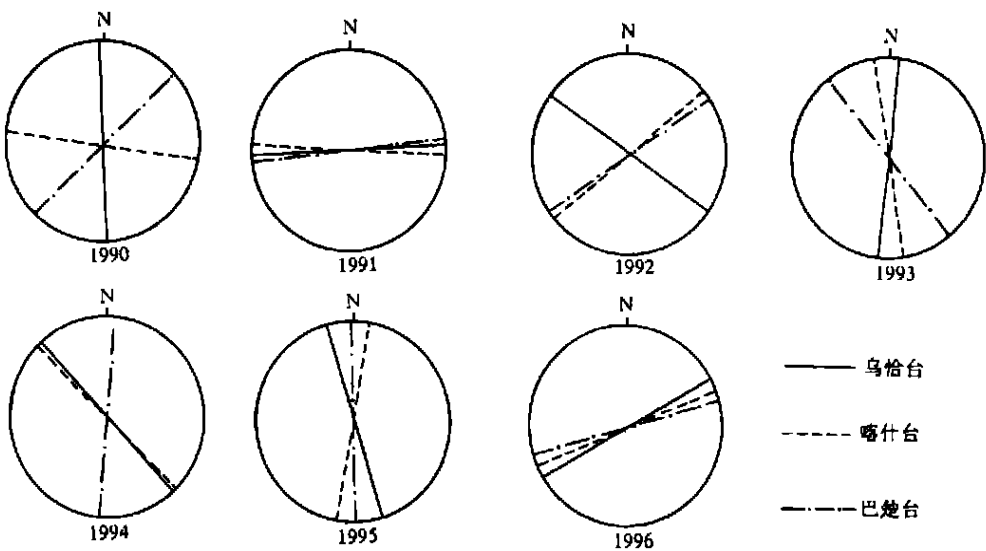


图 5 1990~1996 年乌恰、喀什和巴楚 3 个台小震综合机制解 P 轴平均方向变化

Fig. 5 Variation of P axis mean direction of small earthquake synthetic mechanism solution from Wuxia, Kashi and Bachu stations from 1990 to 1996.

几次强震前 1 年, 3 个台主压应力轴方向显示出明显的一致性. 1997 年伽师震群前, 1996 年孕震区应力场与震源区附近应力场方向基本一致, 为近 NE 向. 另外应力场还显示了一种较为缓慢的演化过程. 这一过程可能与震级大小有关. 震级越大, 这个过程越长. 如伽师地震前应力场的演化过程持续 3 年, 而其他几次 6 级以上地震前, 这一过程持续 1 年左右.

[参考文献]

[1] 许忠淮, 阎明, 赵仲和. 由多个小震推断的华北地区构造应力场方向[J]. 地震学报, 1983, 5(3): 268—279.

[2] 高国英, 温和平. 帕米尔东北侧现代构造应力场与地震活动特征[J]. 中国地震, 2000, 16(2): 176—183.

[3] 胥颐. 天山地震构造带的地壳结构与强震构造环境[J]. 地球物理学报, 2000, 43(2), 184—193.

[4] 华祥文. 应力变化与强震潜在震源[M]. 北京: 科学技术出版社, 1988. 32—42

[5] 刁桂苓, 于新易. 唐山地震前后津、京、张地区综合断层面解[J]. 西北地震学报, 1980, 2(1): 30—47.

[6] 成尔林, 李桂芳, 陈和川. 1996 年四川省松潘—平武 7.2 级地震前后主压应力轴的方向特征[J]. 地震学报, 1982, 4(2): 136—148.

[7] 成尔林, 庞明虎. 1976 年盐源—宁蒗 6.7 级地震前后平均应力轴取向的时间特征[J]. 地震, 1985, (6): 20—27.

[8] 孙家林, 武慧聪, 阎海滨. 关于强震前中小地震平均主应力方向和初动符号矛盾比变化问题的研究[A]. 见: 国家地震局科技监测司, 地震预报方法实用化研究文集——地震专集[C]. 北京: 学术期刊出版社, 1989. 460—473.

ANALYSIS ON THE DYNAMIC CHANGE CHARACTER OF THE STRESS FIELD BEFORE MID-STRONG EARTHQUAKES IN NORTHEASTERN PAMIR

GAO Guo-ying, WANG Hai-tao, WEN He-ping, WEI Bin

(*Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China*)

Abstract: The synthetic focal mechanism solutions of small earthquakes recorded by Wuqia, Kashi and Bachu stations in Xinjiang are used to study background of stress field before mid-strong earthquakes in northeastern Pamir. The results show that the P axis directions of the solutions from the three stations have a dominant distribution respectively, which are identical with the regional stress field. The directions show a better conformability before four $M_s \geq 6.0$ earthquakes. Especially, before the Jiashi strong swam, the direction of the P axes are concentrately distributed from 60° to 70° which are identical with P axis direction of focal mechanism solution of the swam.

Key words: Xinjiang; Pamir; Focal mechanism solution; Main pressure stress axis; Dynamic variation

(上接 376)

A STUDY ON EFFECT AND QUESTIONS OF EARTHQUAKE PREDICTION IN ONE-YEAR-SCALE—AN EXAMPLE OF EARTHQUAKE PREDICTION ON EMPHATIC DANGER ZONE IN GANSU

SHI Te-lin

(*Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: The status and effect of the earthquake prediction in one-year-scale on the emphatic danger zone in Gansu province from 1976 have been analysed. The concerned questions have been discussed. It can be concluded: (1) The corresponding percentage of 19.4 percent indicates the real states of the earthquake prediction in one-year-scale in Gansu. (2) The key to improve the level of the earthquake prediction is that the states of regional seismic activity and precursors variety should be researched and understood further.

Key word: Earthquake prediction; One-year-scale; Emphatic danger zone; Effect