

1997—1998 年伽师强震群震源区应力场特征

龙海英, 高国英, 聂晓红

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:利用 1997—1998 年伽师强震群中强地震震源机制系统聚类及震源区应力场反演, 得到以下主要结果: (1) 伽师强震群中强地震主要以走滑和正断层为主, 伽师震源区主压应力方向为 NNE 或近 NS 向, 与相邻的柯坪块体区域构造应力场方向不一致; 伽师强震群的破裂面沿 NEE 方向, 属左旋破裂; (2) 4~5 级中强地震应力场反演得到最大主压应力轴为 NNE 向, 最小主压应力轴为 NWW 向, 中等主应力轴倾角为 65° , 比较直立; (3) 伽师强震群震源区应力场在强震前后经历了一系列变化。最后对所得结果进行了一定的讨论。

关键词:伽师强震群; 震源机制; 应力场; 系统聚类

中图分类号: P315.3+3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2007)02-0145-05

Characteristics of the Stress Field in the Focal Region of Jiashi Strong Earthquake Swarm from 1997 to 1998

LONG Hai-ying, GAO Guo-ying, NIE Xiao-hong

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

Abstract: Using the system cluster of focus mechanism solutions for moderate-strong earthquakes and the stress field inversion of focal region in the Jiashi strong earthquake swarm from 1997 to 1998, main result as followed are obtained: (1) The Jiashi strong earthquake swarm is characterized mainly by strike-slip and normal fault. The axis of principle compressive stress is oriented mainly to NNE or nearly NS, which is inconsistent with the regional tectonic stress field of the adjacent Kalpin block. The rupture plane of the Jiashi strong earthquake swarm is oriented NEE, belong to left-lateral rupture. (2) From the stress field inversion of moderate-strong earthquakes with $M_4 \sim 5$, we obtains that the maximum compressive stress axis is NNE, the minimum one is NWW, the dip angle of medium stress axis is 65° , which is upright. (3) The stress field in the focal region had a change process before and after those strong earthquakes. Finally, certain discussion to the result is given.

Key words: Jiashi strong earthquake swarm; Focal mechanism solution; Stress field; System cluster

0 引言

历史上发生的破坏性地震大部分分布于不同块体差异运动的交接地带、断陷盆地的边缘, 以及活动性断裂的端点或交汇处等, 且都属于浅源地震^[1]。伽师强震群即发生在塔里木地块西北缘, 是塔里木块体北缘、天山块体和帕米尔构造弧接触的边缘部

位。伽师震区处于三面受力的环境中: 东南面的塔里木盆地对天山是北北西向的挤压作用; 北面的柯坪块体有多条逆断层, 破坏性地震沿柯坪断裂频频发生; 西部是天山、西昆仑与帕米尔弧的交汇区, 交汇区中以张性拉张作用为主。震区地表有 12~13 km 厚的沉积层, 震源区未见地表破裂^[2]。

收稿日期: 2006-06-20

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技攻关项目(200333116-5)

作者简介: 龙海英(1973-), 女(汉族), 四川仪陇人, 副研究员, 主要从事地震分析预报工作。

震源机制是研究地震错动和应力场的有效工具之一。伽师强震群是大家瞩目的研究课题,有关伽师强震群震源机制及破裂面已有很多研究^[2-7]。本文主要利用 1997—1998 年伽师强震群中强以上地震震源机制进行应力场反演和系统聚类,对伽师震群震源区应力场进行研究。

1 中强地震震源机制及应力场反演

伽师震群是一个在低应力背景下发生的很特殊的强震群^[8]。震源谱拐角频率方位分布图显示出这组强震的破裂机制较为复杂,无一致的破裂方向^[9]。据石油物探资料靠近震区有两条断裂:东南面的麦盖提断裂和西南的养达曼断裂。麦盖提断裂为推测的基底断裂,通过震区的西南部;养达曼断裂为一个

隐伏断裂,它是否延伸至伽师震区目前尚难以断定。由三维反演得到的速度结果表明在地下 12 km 以下存在一条 NNE 向和一条 NNW 向的低速条带,与强震分布的两个条带位置很接近,初步推测低速条带对应了地壳深部的两条断裂^[10]。

1.1 6 级强震震源机制及应力场反演

表 1 是新疆地震局利用 P 波初动方向求得的 1997—1998 年伽师 $M_s \geq 6.0$ 地震的震源机制解结果。断层性质可分为走滑和正断层两种类型。结合地震活动性资料^[3]和伽师强震等震线烈度图^[7]认为节面 II 为破裂面,破裂面沿北东向分布,属左旋走滑破裂,与单新建等^[2]、苏迺秦^[5]的结果基本一致。

表 1 1997—1998 年 6 级强震震源机制解

发震日期	发震时刻	发震位置		震级 /M _s	深度 /km	节面 I		节面 II		P		T 轴		N 轴		断层性质
		北纬	东经			走向	倾角	走向	倾角	方位	倾角	方位	倾角	方位	倾角	
1997-01-21	09:47:13	39.51	77.09	6.0	17	358	50	259	80	211	35	315	20	79	50	走滑
1997-03-01	14:04:14	39.72	76.97	6.0	20	358	50	258	79	210	36	312	18	74	48	走滑
1997-04-06	07:46:17	39.56	77.04	6.4	29	156	42	42	70	355	52	106	18	208	33	正断层
1997-04-06	12:36:32	39.51	77.11	6.2	21	150	50	43	68	358	47	100	11	200	42	正断层
1997-04-11	13:34:43	39.65	77.06	6.4	21	352	54	255	80	207	32	308	17	64	53	走滑
1997-04-16	02:19:09	39.69	77.02	6.2	18	350	50	252	78	204	36	306	17	58	4	走滑
1998-08-02	12:40:41	39.77	77.07	6.1	16	179	45	47	55	12	63	115	5	105	23	正断层
1998-08-27	17:03:33	39.74	77.24	6.4	15	319	75	54	70	1	5	275	25	117	63	走滑

注:由于 1997 年 1 月 21 日两个 6 级地震波形重合,因此第二个 6 级地震没有做出震源机制解。

利用滑动矢量拟合法反演平均应力场^[11],结果见表 2 和图 1。最大主压应力轴 σ_1 沿 NE 向,最小主压应力轴 σ_3 沿 NW 向,中等应力轴 σ_2 倾角 45°,倾角较大,表明震源区主要受 NE 方向的压应力制约,与相邻的柯坪块体 NW 向的构造应力场方向不一致。

表 2 6 级强震应力场反演结果

应力轴	σ_1		σ_2		σ_3	
	方位/°	倾角/°	方位/°	倾角/°	方位/°	倾角/°
数值	55	39	198	45	309	19

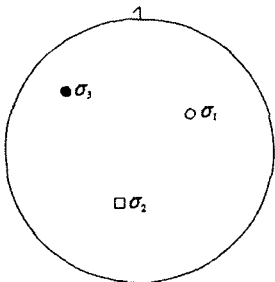


图 1 6 级强震应力场反演的主应力轴方向投影图
Fig. 1 Projection of the principle stress axes from the stress field inversion of strong earthquakes with M6 .

1.2 4~5 级地震震源机制系统聚类及应力场反演

1992 年刁桂苓等^[12]提出了系统聚类的思路,即对每 2 个震源机制解的 P 轴与 P 轴、T 轴与 T 轴在 3 维空间的夹角,取 2 个夹角之和作为距离,把距离小于一定阈值的震源机制划为同类。本文中阈值取 90°。

1997—1998 年伽师强震群共发生 $M_s 4.0 \sim 5.9$ 地震 76 次,利用 P 波初动方向求解这些地震的震源机制解,选取震源机制结果较好的 47 次地震对其系统聚类。其中地震数目较多的有 1 类和 4 类(见表 3 和图 2)。1 类为走滑型,23 次地震,占 49%;4 类为正断层,13 次地震,占 28%;其它 6 种类别共 11 次地震,占 23%。4~5 级地震震源机制仍是以走滑型和正断层为主,与 6 级强震震源机制类型基本相同。

由 4~5 级地震震源机制解系统聚类类型时间进程图(图 3),1997 年 4 月 6 日 6.4 级地震前,4~5 级地震聚类结果类型较少,地震类型相对比较单一,只有 1 类(走滑型)和 4 类(正断层)地震;1997 年 4

月几次 6 级地震发生期间,地震类型相对比较复杂和多样;1998 年 8 月 2 日 6.1 级地震前,地震聚类结果类型也较少,与 1997 年 4 月 6 日 6.4 级地震前类似。2 次 6 级地震发生后,类型相对来说又比较单一,仍主要以 1 类和 4 类为主。

表 3 4~5 级地震震源机制解系统聚类结果

类型	P 轴		T 轴		N 轴		X 轴		Y 轴		地震数目
	方位/°	倾角/°	方位/°	倾角/°	方位/°	倾角/°	方位/°	倾角/°	方位/°	倾角/°	
1	19	2	108	18	282	72	62	14	155	11	23
2	346	49	89	2	181	41	299	20	51	37	2
3	330	21	133	72	238	5	146	27	339	65	2
4	216	62	313	4	45	28	287	41	156	35	13
5	262	39	148	31	30	37	297	4	200	52	2
6	190	58	25	34	290	6	198	17	64	81	2
7	117	49	224	14	325	38	72	21	185	45	1
8	179	15	275	21	56	64	318	4	226	26	2

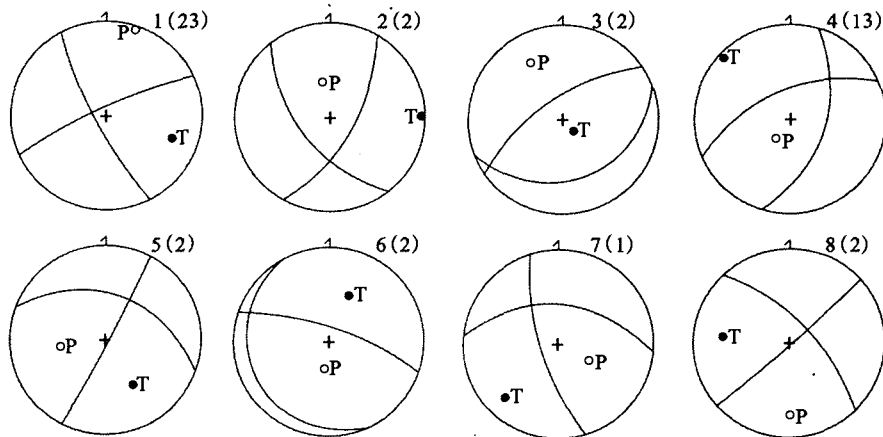


图 2 4~5 级地震震源机制解系统聚类图(右上角 a(b):a 表示第几类,b 表示该类中的地震数目)

Fig. 2 The system cluster of focal mechanism solutions for earthquakes with M4~5.

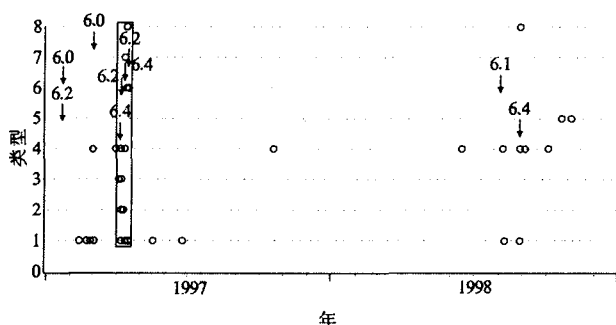


图 3 4~5 级地震震源机制解系统聚类类型时间进程图

Fig. 3 Time proceeding of the system cluster of focal mechanism solutions for earthquakes with M4~5 .

由伽师地震序列中 4~5 级地震震源机制解各参数玫瑰图(见图 4)可见,节面走向以 NEE 向为主,但也有部分 NNW 向。主压应力 P 轴沿 NNE 向,主张应力 T 轴沿 NWW 向。中等应力 N 轴倾角较大,表明多数地震破裂较直立。

聚类结果进行应力场反演,得到最大主压应力

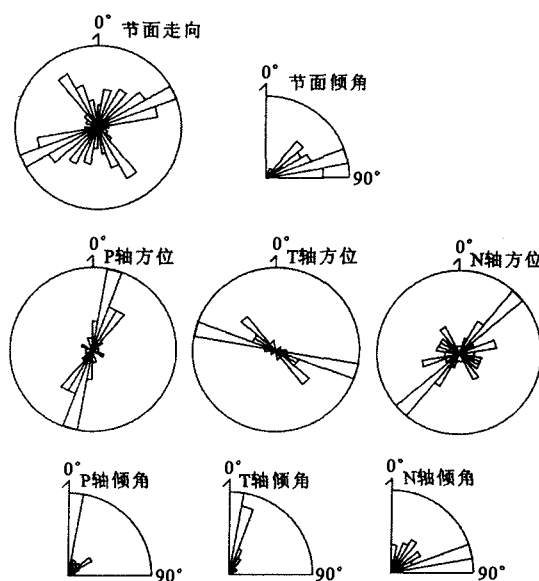


图 4 4~5 级地震震源机制解各参数玫瑰图

Fig. 4 Rose maps of the paramters form focal mechanism solutions for earthquakes with M4~5.

轴 σ_1 为 NNE 向, 最小主压应力轴 σ_3 为 NWW 向, 中等主应力轴 σ_2 倾角为 65° , 比较直立 (见图 5 和表 4)。与周仕勇等^[3]得到的伽师震源区构造应力场最大主应力方向为 $N15^\circ E$, 最小主应力方向为 $S70^\circ E$, 中等主应力较直立的结果基本一致。

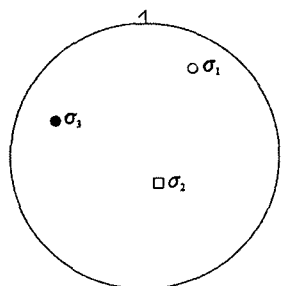


图 5 4~5 级地震应力场反演的主应力轴方向投影图

Fig. 5 Projection of the principle compressive stress axes from the stress field inversion of earthquakes with M 4~5.

表 4 4~5 级地震应力场反演结果

应力轴	σ_1		σ_2		σ_3	
	方位/ $^\circ$	倾角/ $^\circ$	方位/ $^\circ$	倾角/ $^\circ$	方位/ $^\circ$	倾角/ $^\circ$
数值	28	16	155	65	292	19

2 强震前后震源区应力场的变化

由于受印度板块向北推挤作用, 帕米尔、天山构造带经历了强烈南北向挤压缩短、隆起和褶皱变形, 造成了南天山一带分布着性质各异的新生代活动断裂^[2]。对印度板块强大的北向推挤力, 褶皱带可以通过变形予以吸收, 而受力的塔里木地块将会产生升降、掀斜转动等运动, 影响到震区特殊的构造环境, 导致伽师震源区局部应力场产生几年的变动^[13]。

伽师震区存在稳定的应力场^[13]。其应力取向是: 最大压应力主轴 σ_1 方位近于 NS, 最小压应力主轴 σ_3 方位近于 EW, 二者都接近水平, 中等压应力主轴 σ_2 近于直立。1997—1998 年伽师震区 8 个 6 级强震前后震源机制应力轴发生了一系列变化, 见图 6, 图中编号按顺序对应表 1 中的 8 个地震。

可把这 8 个 6 级地震分为 5 个阶段。第一阶段是 1997-01-21—03-01 两个 6 级地震, 主压应力 P 轴方位为 $N30^\circ E$ 向, 倾角 35° 左右, 较小, 主张应力 T 轴方位为 NW 向, 此时震源区主要受水平剪切力的作用; 第二阶段是 1997-04-06 两个 6 级地震, 主压应力 P 轴方位转为近 NS 向, 倾角 50° 左右, 较大, 主张应力 T 轴方位仍为 EW 向, 主要处于拉张状态;

第三阶段是 1997-04-11—16 两个 6 级地震, 主压应力 P 轴方位又转回到 $N27^\circ E$ 向, 倾角 35° 左右, 变小, 主张应力 T 轴方位继续为 NW 向, 又受水平剪切力的作用; 第四阶段是 1998-08-02 一个 6 级地震, 主压应力 P 轴方位又转为近 NS 向, 倾角 60° 左右, 明显增大, 主张应力 T 轴方位为 NW 向, 又处于拉张状态; 第五阶段是 1998-08-27 一个 6 级地震, 此阶段主压应力 P 轴方位仍近 NS 向, 主张应力 T 轴方位转为近 EW 向, 且二者倾角较小, 接近水平, 中性应力 N 轴近于直立, 处于水平剪切力的作用。此阶段震源区已基本恢复到上述稳定的应力场。由伽师强震群震源机制应力轴的变化, 可看出伽师强震群震源区应力场经历了一系列的变化。是否可认为 1998 年 8 月 27 日地震后伽师震区应力场暂时基本恢复稳定?

3 基本结论和讨论

1997—1998 年伽师强震群中强地震震源机制系统聚类及震源区应力场反演, 得到以下几点结论:

(1) 伽师强震群中强地震主要以走滑型和正断层为主, 伽师震源区主压应力方向为 NNE 或者近 NS 向, 与相邻的柯坪块体区域构造应力场方向不一致; 伽师强震群的破裂面主要沿 NEE 方向, 属左旋破裂。

由伽师中强地震震源机制、系统聚类及玫瑰图, 伽师中强地震震源机制有两个节面, 一个是 NEE 走向, 另一个是 NWW 走向。由张国民等^[14]提出的震源机制的受力情况和错动方式原理: 对于走滑剪切型破裂, 主要是由水平方向的两个主应力 (即最大主压应力和最小主压应力) 之间的差应力决定其破裂和错动; 对于张性正断层破裂, 主要是由垂向最大主压应力与水平向最小主压应力之间变动决定的, 而垂向上应力作用增大可直接触发地震。1997—1998 年 8 次 6 级强震震源机制的断层性质和 P 轴方位恰恰是: 对于走滑型地震 P 轴方位多为 NE 向, 倾角较小; 对于正断层地震, P 轴方位近 NS 向, 倾角较大, T 轴方位为 NW 向。这几次 6 级强震若为 NE 向破裂才能很好与上述理论相符。故认为伽师强震群属 NEE 向左旋破裂。

(2) 4~5 级中强地震应力场反演, 得到最大主压应力轴为 NNE 向, 最小主压应力轴为 NWW 向, 中等主应力轴倾角为 65° , 比较直立。

(3) 伽师强震群震源区应力场在强震前后经历了一系列变化。

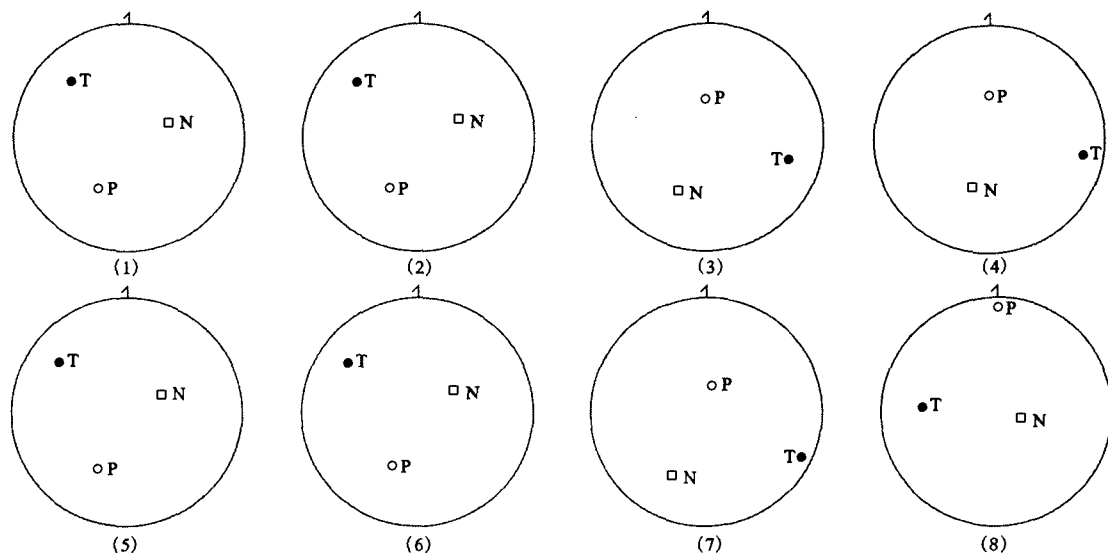


图6 6级强震震源机制解应力轴投影图

Fig. 6 Projection of the principle stress axes from the focal mechanism solutions of strong earthquakes with M6.

【参考文献】

- [1] 刘东旺,刘泽民,沈小七,等. 安徽淮河构造变形带及邻近块体现代构造应力场特征[J]. 中国地震, 2004, 20(4): 364-371.
- [2] 单新建,何玉梅,朱燕,等. 伽师强震群震源破裂特征的初步分析[J]. 地球物理学报, 2002, 45(3): 416-425.
- [3] 杨欣,高国英. 1997年伽师强震群序列特征和震源机制的初步研究[J]. 地震学报, 1998, 20(6): 573-579.
- [4] 周仕勇,许忠淮,陈晓非. 伽师强震群震源特征及震源机制力学成因分析[J]. 地球物理学报, 2001, 44(5): 654-662.
- [5] 苏道秦. 新疆伽师强震群强震主破裂面走向初探[J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 269-274.
- [6] 杨成荣,单新建,何玉梅,等. 伽师强震群震源机制与区域应力场特征[J]. 地震, 2002, 22(3): 89-94.
- [7] 朱令人,苏乃秦,杨马陵. 1997年新疆伽师强震群及三次成功的临震预报[J]. 中国地震, 1998, 14(2): 101-115.
- [8] 赵翠萍,顾瑾平,白彤震. 新疆伽师强震群震源应力环境分析[J]. 中国地震, 2001, 16(3): 289-297.
- [9] 周仕勇,许忠淮. 由震源谱推断1997年新疆伽师强震群破裂特性[J]. 地震学报, 2000, 22(2): 113-124.
- [10] 李松林,张先康, W D Mooney, 等. 伽师地震区地壳细结构及发震断层的初步研究[J]. 地球物理学报, 2002, 45(1): 76-81.
- [11] 许忠淮. 用滑动矢量拟合法反演唐山余震区的平均应力场[J]. 地震学报, 1985, 7: 349-352.
- [12] 刁桂苓,于利民,李钦祖. 震源机制解的系统聚类分析[J]. 中国地震, 1992, 8(3): 86-92.
- [13] 刁桂苓,王海涛,高国英,等. 伽师强震区应力场的转向过程[J]. 地球物理学报, 2005, 48(5): 1062-1068.
- [14] 张国民,李丽,黎凯武,等. 强震成组活动与潮汐力调制触发[J]. 中国地震, 2001, 17(2): 110-120.