

# 近期新疆震源机制解与地震活动特征研究

高国英, 聂晓红, 龙海英

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**分析了2003—2009年新疆及其周边88次中强震震源机制解及其分布特征,并结合同期地震活动特点与区域应力场进行了讨论。认为:这一期间新疆主要受NNW向水平挤压应力制约,与1990—2002年新疆主压应力P轴NNE向分布有一定差异;中强震震源断层具有多样性,显示出新疆构造运动的复杂性;主压应力P轴仰角的变化与新疆地震活动的强弱交替相关;研究时段内不同强度的地震空间分布具有较明显的层次性特征。

**关键词:**新疆;震源机制解;应力场;P轴仰角;地震活动特征

**中图分类号:** P315.727      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0844(2012)01-0057-07

## Research on the Characteristics of Recent Focal Mechanism Solution and Seismic Activity in Xinjiang Area

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

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

**Abstract:** The focal mechanism solutions and the distribution characteristic of 88 moderate-strong earthquakes in Xinjiang and its adjacent area from 2003 to 2009 are analyzed. The related discussion is given combining with the seismic activity characteristics and the region stress field in the same period. The result shows that stress field in Xinjiang area is mainly controlled by level pressure stress in NNW direction in this period, with certain difference from the principal compress stress P axis distribution in NNE from 1990 to 2002. The seismogenic faults of moderate-strong earthquakes exist certain multiplicity, it demonstrates the complexity of tectonic movement in Xinjiang area. The elevation angle's change of principal compression stress P axis is related with alternation of strong and the weak of seismic activity. In the research time, the spatial distribution with different magnitude earthquakes have obvious level characteristic.

**Key words:** Xinjiang; Focal mechanism solution; Stress field; The elevation angle of P axis; Seismic activity characteristic

## 0 引言

震源机制解直接反映了地壳现今应力状况和断层构造运动特性。以往有不少学者利用震源机制解资料分析了中国现代构造应力场的基本特征<sup>[1-2]</sup>,以及中国部分地区现代构造应力场的特征<sup>[3]</sup>。依据应力性状和力源特征将中国大陆及邻区现代构造应力场应力分区划分四个级别<sup>[4]</sup>。新疆区域辽阔,基本

包含了四个级别的应力区。

新疆及其邻区是地壳运动和构造应力场多样化的地区之一,构造运动强烈,地震频繁发生,地震震源机制解资料也较丰富。笔者1997年曾给出了1944—1990年新疆及其邻近地区146次中强震震源机制解<sup>[5]</sup>;2005年分析了1991—2002年新疆44次中强震震源机制解<sup>[6]</sup>。在上述工作基础上,本文

收稿日期:2010-09-15

基金项目:地震科学联合基金(A08059);国家重点基础研究发展计划(973计划)2008CB425701

作者简介:高国英(1953—),女,新疆巴里坤人,研究员,主要从事地震预报和构造应力场研究。

又补充给出了2003—2009年新疆及其周边88次 $M_s \geq 4.5$ 地震震源机制解。至此,我们较系统的给出了新疆及其周边1944—2009年近278次地震震源机制解。60多年的震源机制解资料时间跨度长、地震分布区域广,涵盖了新疆四大构造带;地震强度从 $M_{4.5}$ 至8.1。大量震源机制解结果为我们深入开展区域现今地壳运动和断层构造运动特性、应力场基本特征,以及不同时期、不同构造区域应力变化等研究提供了非常丰富的基础数据。本文结果是对近期新疆及其周边区域应力场状态与新疆地震活动的初步探讨,可为地震科学研究、地震预测预报、工程地震等研究工作补充新的基础数据。

## 1 资料选取

常用的求解震源机制的方法主要有P波初动符号法、波形矩张量反演和振幅比方法<sup>[7-8]</sup>。本文采用P波初动符号法,用下半球投影的计算方法求解震源机制解,给出了2003—2009年新疆及其周边地区88次 $M_s \geq 4.5$ 地震的震源机制解。

2003年以来随着数字化台网不断改造,新疆地震监测能力有了大幅度提高,至目前新疆有69个测震台站(包括1个和田台阵),因此 $M_s \geq 4.5$ 地震平均有30个台站以上有较清晰的P波初动记录(地震大初动符号更多),基础资料可靠。本次研究时段的7年中给出震源机制解的地震有88次,而前期12年中提供震源机制解的地震只有44次<sup>[6]</sup>,表明新疆地震监测能力明显提高。经对比分析境内 $M_s \geq 5$ 地震震源机制解结果与美国哈佛大学结果大多数一致(由于篇幅限制不能给出系统分析结果)。由于我们还完成了期间 $M_s \geq 4.5 \sim 4.9$ 地震震源机制(42次),认为统一选用新疆结果进行分析较合适。其中新疆南部,特别是西昆仑、阿尔金地震带和天山西部地区由于新疆台网分布的局限性,有7次地震选取了美国哈佛大学结果。

## 2 地震活动与震源机制解

大量研究表明,地壳中的应力状态与地震活动的关系十分密切,研究现代构造应力场与强震活动的关系对认识地震孕育过程和地震预测探索研究都具有重要的理论和实际意义。

### 2.1 地震活动特征分析

为结合震源机制解分析,我们首先对新疆及周边的同期地震活动基本特征进行讨论。分析认为,地震活动具有以下特征:

(1) 地震活动强度大。分析2003—2009年新疆及其周边 $M_s \geq 4.5$ 地震震中分布(图1),期间发生 $M_s \geq 7$ 地震3次,分别是2003年9月23日中、俄、蒙交界7.9级(距新疆约40 km)、2005年10月8日巴基斯坦7.8级(距新疆约180 km)和2008年3月21日新疆于田7.4级地震。5年中在新疆及周边连续发生3次7级地震,其地震活动水平与上世纪初新疆地震活动水平相当:1902年8月阿图什发生8.3级大震,1906年3月和12月在库车和玛纳斯分别发生7.3和7.7级地震,这一组 $M_s \geq 7$ 地震是上世纪最强的一组地震活动。在2003—2009年期间还发生2003年巴楚—伽师6.8级、2008年乌恰6.9级震群(6.9级、6.5级和6.0级)。这一组地震活动强度大、时间上集中。如果考虑2001年11月昆仑山口西8.1级地震,则认为2001—2008年新疆及周边经历了一组强震活跃,是自1906年以来地震强度最大的成组地震活动。一组强震活跃之后的未来几年新疆地震活动强度可能不会太高,将进入一个相对弱活动状态<sup>[9]</sup>。

(2) 中强地震时空分布差异性明显。在新疆周边强震活跃背景下,境内中强震活动频繁。期间发生的4次6级地震(乌恰6.9级震群计1次)较集中分布在天山西部约700 km范围,并沿构造呈NE向分布。除2003年巴楚6.8级地震外,其余3次6级地震沿新疆西部边境发生。区内 $M_s \geq 5$ 地震分布于 $84^\circ$ 以西的天山和西昆仑地震带。新疆流动重力测量2005—2008年南天山至西昆仑地区的重力场演化过程形态异常,重力变化空间梯度较大,反映出强震活动背景<sup>[10]</sup>。而 $84^\circ$ 以东大区域范围,特别是天山东部地区近些年处于较明显的平静状态。区内地震活动空间图像表现出西部活跃而东部平静的差异性特征,哪个区域未来几年发生强震的危险性更大?也为地震预测预报人员提出新的科学问题。

由地震活动的时间序列分析(图1),3次7级地震前都伴随6级左右地震发生,在时间上表现出1~2年的丛集性特点:2003年9月7.9级地震前7个月,巴楚发生6.8级地震;2005年10月7.8级地震前8个月,乌恰发生6.3级地震;2008年3月于田7.4级地震前,2007年7月特克斯发生5.9级地震,相隔8个月。以7级地震活动为主的三组丛集性活动持续时间分别为11个月、18个月和20个月,显示出地震强度越大,呈丛集性活动持续时间越短的特点。7级地震前,6级左右地震发震构造与7级地震都不在同一构造带,显示出一次7级大震前

后应力变化可能影响到较大区域、跨不同构造块体,从而形成大区域应力场的调整变化过程。

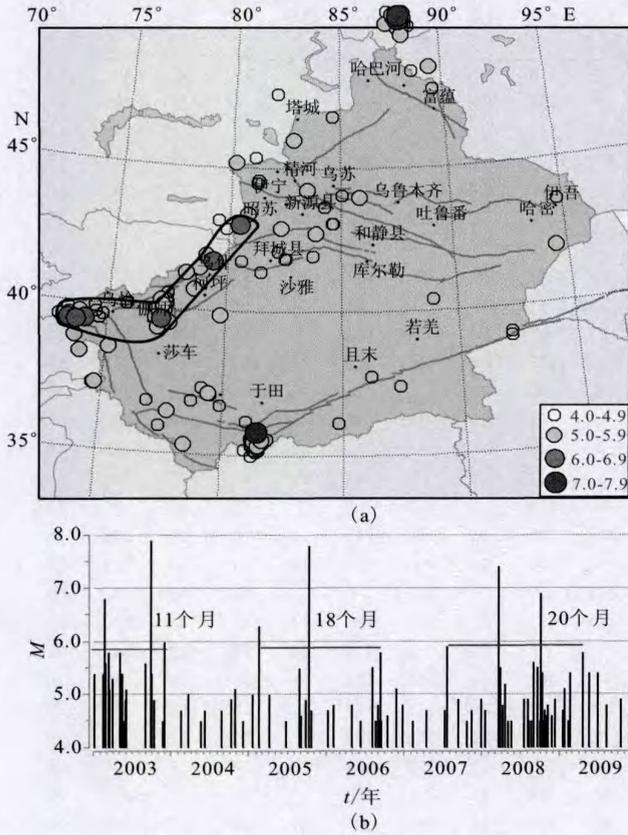


图 1 新疆地区 2003—2009 年  $M_s \geq 4.5$  地震时空分布

Fig. 1 The space-time distribution of earthquakes with  $M_s \geq 4.5$  from 2003 to 2009 in Xinjiang area.

(3) 深度分布具有区域性。  $M_s \geq 4.5$  地震深度大多数分布在 10~40 km 范围,占 96%,深度在 100~170 km 范围的少数地震集中分布在西昆仑或兴都库什中深源地震区。

### 2.2 中强震震源机制解分析

新疆是印度与欧亚板块挤压受力强烈区域。由于构造环境的差异,不同构造环境和类型的地区,其构造几何格局、地壳变形特征、位错方式和动力学过程等都有很大差异<sup>[11]</sup>。

新疆分布着多条大型构造,其中西昆仑、北天山和阿尔泰构造带走向大致为 NNW 向;阿尔金和南天山西段构造基本为 NE 走向;南天山东段近 EW 向。表 1 给出了 2003—2009 年新疆及其周边 88 次  $M_s \geq 4.5$  地震震源机制解。结合图 2 分析,震源断错性质较复杂。有 50% 地震为走滑错动;30% 为逆

冲性质;20% 为正断层。地震震源断错性质存在区域性特征,在北天山西段包括中天山地区其断层性质为走滑兼逆冲,约 55% 的地震震源断错为走滑错动;在南天山东段的乌什—库车构造活动以逆冲为主,地震震源机制表现出较为明显的逆冲性质,2005 年乌什 6.3 级地震代表了这一地区以逆冲为主的构造运动特点;南天山西段至乌恰交汇区构造运动性质复杂,约 60% 地震震源断错为走滑型,2008 年乌恰 6.9 级地震震源机制反映出走滑错动特点,而 2003 年巴楚—伽师 6.8 级地震为逆冲型;在和田南部区域,2008 年 3 月于田 7.4 级地震则是以拉张为主的正断层错动,其他几次地震既有走滑错动,也有逆冲性质;NE 走向的阿尔金山裂带其构造运动特征为走滑型,5 次地震震源断错基本为右旋走滑。各区域都存在少量的正断层错动。多数地震震源断层面走向与发震构造走向和强震极震区烈度长轴走向基本一致。6 级以上地震主要是受区域构造应力场控制,而影响中等地震的因素则可能较多。地震震源机制显示出的震源断错动的复杂性从某种程度上可能反映了新疆在大区域应力场作用下,区域内部不同构造、块体间的相互作用的差异性。通常由板块运动产生的作用力是控制区域大环境应力状态的主导因素,而板内块体间相互作用以及由于空间非均匀结构和岩石非均匀力学特性产生的影响,是造成次级和局部应力变化的原因<sup>[4]</sup>。

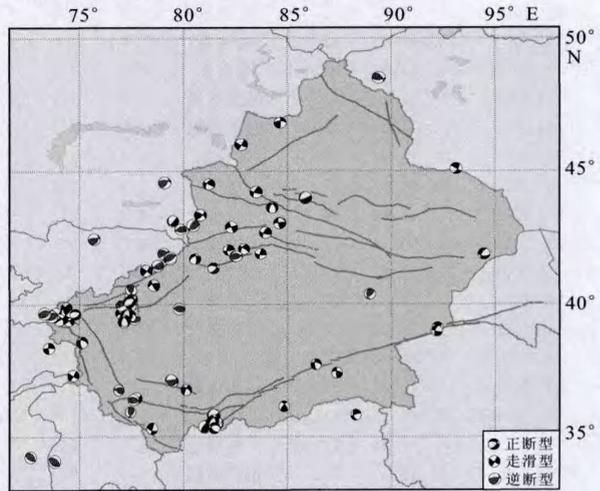


图 2 新疆 2003—2009 年  $M_s \geq 4.5$  地震震源机制解

Fig. 2 The focal mechanism solutions of earthquake with  $M_s \geq 4.5$  in Xinjiang from 2003 to 2009.

由表 1 和图 3(a)看出,地震震源机制解最大主

表1 新疆及周边2003—2009年 $M_s \geq 4.5$ 地震震源机制解

序号	时间	$\varphi_N$ /°	$\lambda_E$ /°	地区	震级 / $M_s$	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴	
						走向 /°	倾角 /°	滑动 角/°	走向 /°	倾角 /°	滑动 角/°	方位 /°	倾角 /°	方位 /°	倾角 /°	方位 /°	倾角 /°
1	2003-01-04	39.67	77.02	伽师	5.4	245	83	16	153	74	173	18	6	110	16	268	73
2	2003-02-14	43.99	85.86	石河子	4.9	253	81	72	137	20	153	358	34	142	51	255	18
3	2003-02-14	44.01	85.87	石河子	5.4	64	83	-77	182	14	-153	348	50	143	37	243	13
4	2003-02-24	39.62	77.27	巴楚	6.8	246	55	71	96	39	114	349	8	105	73	257	15
5	2003-02-25	39.57	77.37	巴楚	5.6	179	81	22	85	69	170	312	9	42	22	201	67
6	2003-03-12	39.56	77.44	巴楚	5.8	156	60	-47	274	51	-140	120	53	217	6	311	36
7	2003-03-16	39.60	77.27	巴楚	5.1	16	50	-90	196	40	-90	286	85	106	5	196	0
8	2003-03-31	39.52	77.40	巴楚	5.3	106	62	111	248	34	57	181	15	56	67	276	18
9	2003-05-04	39.40	77.17	巴楚	5.8	330	60	-132	211	50	-40	183	54	90	8	354	36
10	2003-05-07	48.47	89.42	蒙古	5.8	317	51	134	80	56	49	198	3	292	57	106	33
11	2003-05-16	39.34	77.14	巴楚	5.4	43	87	-23	135	67	-177	357	18	91	14	217	67
12	2003-06-05	39.46	77.64	巴楚	5.1	256	54	79	94	38	104	354	8	128	78	263	9
13	2003-09-02	38.57	75.14	阿克陶	5.6	181	62	-41	293	55	-145	145	48	238	5	332	42
14	2003-09-27	40.31	77.21	柯坪	5.1	233	75	-48	340	44	-158	184	44	293	19	40	40
15	2003-10-11	43.09	84.65	新源	4.9	138	81	153	232	63	10	188	12	92	25	301	62
16	2003-10-11	43.07	84.62	新源	4.6	262	77	16	168	75	167	35	2	125	20	300	70
17	2003-11-23	42.06	82.19	克孜尔	4.5	84	80	150	180	60	11	135	13	38	28	248	58
18	2003-12-01	42.99	80.47	昭苏	6.0	74	40	130	208	60	62	316	12	67	63	224	24
19	2004-05-20	40.21	77.52	柯坪	4.5	122	61	151	227	66	33	54	3	87	40	260	50
20	2004-10-08	40.31	77.46	柯坪	4.9	70	67	134	182	48	31	130	11	27	48	230	40
21	2004-12-02	39.96	77.46	柯坪	4.5	257	62	-180	67	90	-27	119	19	216	19	347	62
22	2005-01-19	41.92	79.06	乌什境外	5.0	54	73	52	303	41	153	171	19	284	48	67	36
23	2005-02-15	41.72	79.37	乌什	6.3	61	71	80	270	22	118	160	30	310	67	64	10
24	2005-02-15	41.76	79.39	乌什	5.2	55	61	78	257	31	110	153	15	297	72	60	10
25	2005-04-06	41.46	78.77	乌什	5.0	234	64	56	111	41	139	348	13	98	57	250	30
26	2005-08-25	39.84	79.79	温宿	5.2	111	48	107	266	45	72	189	2	91	77	279	13
27	2005-08-26	37.14	79.40	墨玉	5.5	265	85	72	160	19	163	11	37	157	47	267	18
28	2005-09-01	44.06	85.06	乌苏	4.6	72	87	-119	337	29	-6	315	41	187	36	74	29
29	2005-09-23	41.82	82.56	克孜尔	4.9	212	53	83	44	37	100	307	8	91	80	216	6
30	2005-09-23	41.81	82.52	克孜尔	4.8	69	87	-62	164	28	-174	4	41	135	36	247	27
31	2005-09-26	41.82	82.52	克孜尔	4.8	273	71	78	126	22	122	12	25	164	62	277	12
* 32	2005-10-08	34.10	73.82	巴基斯坦	7.8	129	37	87	312	53	92	221	9	224	64	131	2
* 33	2005-10-08	34.25	72.67	巴基斯坦	6.8	126	53	76	328	39	107	226	7	349	77	135	11
34	2005-10-20	41.82	82.56	克孜尔	4.7	64	53	64	283	44	120	172	5	274	69	80	20
35	2006-01-06	40.09	75.79	乌恰	4.5	231	89	-132	140	42	-1	107	32	354	31	231	42
36	2006-04-29	41.72	80.57	温宿	4.8	358	71	-133	249	46	-27	224	46	118	15	15	40
37	2006-06-08	40.54	77.49	柯坪	4.5	35	64	141	144	55	32	91	5	356	45	186	44
* 38	2006-08-06	37.32	74.71	中塔阿交界	5.5	36	85	-6	126	84	-175	351	8	81	1	178	82
39	2006-08-30	39.56	77.47	伽师	4.8	26	66	-7	119	84	-156	345	21	250	12	132	65
* 40	2006-09-12	35.32	78.50	和田	5.8	19	87	152	111	62	4	68	17	331	22	193	62
41	2006-09-14	36.79	76.90	塔什库尔干	4.5	133	56	127	259	48	48	197	4	100	60	290	30
42	2006-10-13	42.84	79.87	昭苏境外	4.6	243	51	61	104	47	120	353	2	87	68	262	22
43	2006-11-23	44.26	83.46	乌苏	5.1	108	78	154	204	65	13	158	9	64	26	265	62
44	200-12-24	39.90	74.42	乌恰	4.8	135	89	155	225	65	1	183	17	87	18	313	65
* 45	2006-12-26	42.47	75.72	吉尔吉斯斯坦	5.8	271	69	122	30	38	35	337	18	221	54	78	30
* 46	2007-01-09	9.87	69.78	吉尔吉斯斯坦	6.0	92	77	151	189	62	15	143	10	47	30	249	58
47	2007-02-13	37.09	79.50	和田	4.5	206	88	7	116	82	179	341	4	71	6	218	82
48	2007-04-16	39.52	74.64	乌恰	4.7	239	88	-4	329	86	-178	194	4	284	1	28	86
49	2007-07-10	39.72	74.50	乌恰	4.7	53	77	148	151	59	15	106	12	8	32	214	56
50	2007-07-20	42.92	82.31	特克斯	5.9	159	89	173	250	83	1	205	4	114	6	328	83
51	2007-09-11	37.76	86.22	且末	4.9	173	66	-33	278	61	-151	133	40	226	3	320	50
52	2007-10-22	44.57	81.21	博乐	4.5	211	55	3	119	88	145	170	22	69	26	296	55

续表 1

序号	时间	$\varphi_N$ /°	$\lambda_E$ /°	地区	震级 /M <sub>s</sub>	节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴	
						走向 /°	倾角 /°	滑动 角/°	走向 /°	倾角 /°	滑动 角/°	方位 /°	倾角 /°	方位 /°	倾角 /°	方位 /°	倾角 /°
53	2007-11-13	36.72	79.92	和田	4.7	304	64	-164	207	76	-26	163	29	257	7	180	60
54	2007-12-30	36.15	84.84	且末	4.9	219	69	151	320	62	23	271	4	177	35	7	54
55	2008-01-17	43.65	84.27	尼勒克	4.7	329	48	-131	203	56	-53	170	60	267	4	180	30
56	2008-03-21	35.81	81.44	于田	7.4	175	17	-157	63	83	-74	350	49	139	37	241	15
57	2008-03-21	35.62	81.44	于田	5.6	346	59	-138	231	55	-39	201	51	108	2	16	39
58	2008-03-21	35.67	81.52	于田	5.8	201	83	-145	106	56	-8	69	29	328	18	210	55
59	2008-03-21	35.49	81.62	于田	4.9	24	88	148	115	58	2	74	20	335	23	201	58
60	2008-03-21	35.84	81.52	于田	4.8	17	78	174	108	85	12	242	5	333	13	131	76
61	2008-03-21	35.34	81.49	于田	5.0	259	48	-132	133	56	-53	100	60	197	4	290	30
62	2008-03-24	35.81	81.56	于田	5.2	245	41	12	146	82	130	206	26	93	39	320	40
63	2008-03-26	35.52	81.65	于田	5.5	54	63	-9	149	83	-153	15	25	279	13	164	61
64	2008-04-10	39.64	74.81	乌恰	4.8	64	53	-115	282	44	-60	274	69	172	5	80	20
65	2008-04-20	46.02	82.82	裕民	5.2	27	85	-9	118	81	-175	342	10	72	3	177	80
66	2008-07-03	35.92	88.21	西藏班戈	4.9	250	84	-140	157	50	-8	122	32	18	22	260	50
67	2008-07-18	37.40	87.39	且末	4.9	177	76	153	274	64	16	227	7	133	29	330	60
68	2008-08-06	45.10	93.12	巴里坤	4.9	25	65	-1	294	89	-155	247	19	342	17	112	64
69	2008-08-22	41.92	83.72	库车	4.5	98	73	170	192	80	17	324	5	56	19	220	70
70	2008-08-30	42.72	83.86	和静	5.6	106	71	156	204	67	20	156	2	64	30	250	60
71	2008-09-03	43.15	79.50	哈萨克斯坦	4.6	157	22	-154	43	81	-70	336	50	117	33	220	20
72	2008-09-20	38.34	73.94	塔吉克斯坦	5.5	185	81	-173	276	83	-9	141	11	51	2	313	78
73	2008-10-01	40.39	88.96	若羌	4.6	46	64	124	169	41	41	112	13	2	57	210	30
74	2008-10-05	39.46	74.04	乌恰	6.9	327	51	172	62	84	40	188	22	292	32	70	50
75	2008-10-13	39.46	73.61	乌恰	5.2	58	66	163	321	74	25	10	5	278	29	110	61
76	2008-10-17	41.37	81.46	温宿	4.5	42	61	-138	287	54	-37	258	50	163	4	70	40
77	2008-12-28	39.12	92.22	若羌	4.6	37	62	-21	298	72	-151	255	33	349	6	89	56
78	2009-01-25	43.37	80.82	察布查尔	5.1	306	67	160	44	71	24	174	2	266	30	80	60
79	2009-02-14	46.81	84.65	额敏	4.5	268	61	174	1	85	30	131	17	229	24	10	60
80	2009-02-20	40.72	78.59	柯坪	5.4	254	62	14	158	78	151	209	11	113	29	316	58
81	2009-04-19	41.27	78.22	阿合奇	5.8	310	85	171	40	81	5	355	3	265	10	100	80
82	2009-04-22	40.10	77.40	阿图什	5.0	252	41	-75	52	51	-103	267	79	151	5	60	10
83	2009-05-21	36.46	77.75	叶城	5.4	147	82	-169	55	80	-8	11	13	281	2	183	77
84	2009-06-07	38.99	92.19	若羌	4.8	97	80	-28	193	62	-169	52	27	148	12	260	60
* 85	2009-06-14	44.58	79.10	哈萨克斯坦	5.6	276	49	140	35	61	49	153	7	252	54	58	35
86	2009-10-16	39.96	77.02	阿图什	4.9	68	80	80	295	14	135	167	34	326	54	70	10
87	2009-12-06	35.94	77.46	叶城	4.7	167	56	53	41	48	132	283	4	20	60	190	30
88	2009-12-14	41.90	94.47	哈密	5.1	7	54	-37	202	61	-138	58	50	323	4	230	40

\* 为美国哈佛大学结果

压应力 P 轴方位优势分布 NNW340°~NS360°。P 轴方位基本与新疆主要构造走向垂直,不同区域 P 轴方位优势分布存在差异。在北天山西段—中天山以及南天山东段的库车周围主压应力多数以 NNW 向分布,也存在 NNE 方向的压应力。表 1 中 2003 年巴楚 6.8 级和 2008 年于田 7.4 级地震余震 P 轴方位的一致性较差,可能是由于震后强震震源区处于应力的不断调整变化中,造成余震震源断错性质和 P 轴方位的多变。T 轴优势分布为近 EW 向,2008 年于田 7.4 级地震就是在拉张作用下产生的正断层错动。结果显示这一时期新疆主要受近 NNW 向的主压应力和近 EW 向的张应力控制。

### 2.3 应力场时空变化特征分析

新疆 1944—1990 年  $M_s \geq 6$  地震震源机制解研究得到,新疆区域应力场主压应力优势分布在 NS 向 10°左右<sup>[12]</sup>,表现出强震活动主要受近 NS 向的应力场控制。1991—2002 年新疆 44 次中强震震源机制解 P 轴优势分布为 NNE 向约 30°<sup>[6]</sup>(图 3(b)),尤其是 1997—1998 年伽师—巴楚 11 次 6 级地震显示出较明显的受 NNE—SSW 向作用力的结果。

本文选取 2003—2009 年全疆  $M_s \geq 5.5$  地震进行应力场反演,得到最大主压应力为 339°,上述分析主压应力 P 轴优势方向为 NNW340°~NS360°,二者结果基本吻合。据 GPS 观测结果,天山及邻近

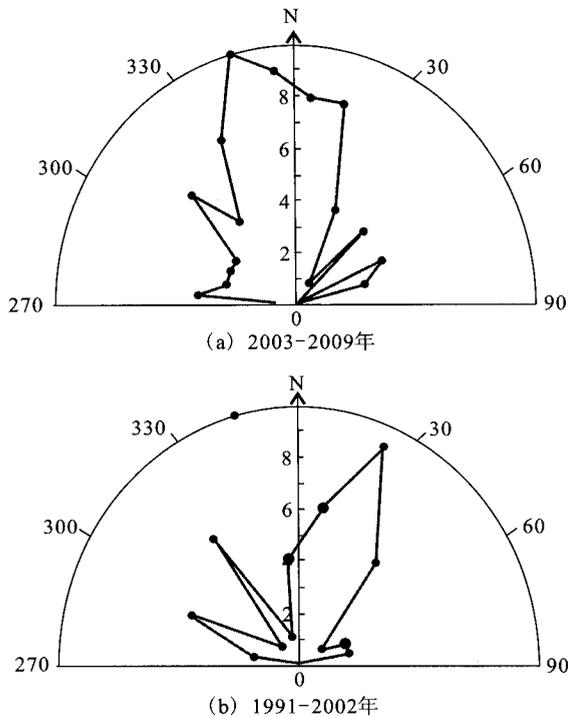


图3 不同时段中强地震P轴方位优势分布  
Fig. 3 The predominance distribution of P axis of moderate-strong earthquakes in different time

地区应变场的主压应变优势分布方向为NNW,基本与天山山体的走向正交<sup>[13]</sup>。结果与新疆近SN向的背景应力场和作者前期给出的NNE向结果有差异,反映出不同时期新疆大区域应力场的变化特点。新疆及周边在大范围和长时间内区域应力作用保持均匀和稳定,基本受近NS向应力场控制。但在基本应力场作用下,可能由于不同时期由南向北挤压作用的某种变化,以及受力的动力环境或者应力强弱发生改变,有可能造成不同时期应力场方向的偏转变化。

在南天山西段—乌恰以及和田周围地区主压应力基本为NE向分布,展示出在新疆南部塔里木块体以南区域受NE向应力场控制。尤其是发生在新疆南部的2005年巴基斯坦7.8级、2008年于田7.4级和乌恰6.9级地震P轴方位分布在 $N10^{\circ}W \sim N40^{\circ}E$ 范围内。这几次强震震源机制既反映了各自震源区及其附近受力状态,同时也显示出较大区域范围内不同级别的构造受控于同一动力源应力作用。构造应力区受控于区域块体间的相互作用,在较大区域范围内应力作用具有较强的相关性<sup>[4]</sup>。

P轴倾角随时间过程的阶段性变化伴随强震活跃与平静(图4)。2003年新疆强震活跃,曾发生巴楚6.8级、中俄蒙交界7.9级等多次中强地震,期间

P轴倾角稳定性较差;2005年乌什6.3级和巴基斯坦7.8级强震前P轴倾角的变化也是较明显的,特别是巴基斯坦7.8级强震前P轴倾角达这两年中最大值( $41^{\circ}$ );2006—2007年新疆地震处于弱活动状态,P轴倾角稳定在 $20^{\circ}$ 以内,平均 $13^{\circ}$ ;2008年于田7.4级地震开始新疆进入一组强震活动,P轴倾角平均为 $33^{\circ}$ 。尤其是于田7.4级和乌恰6.9级地震前,几次中等地震P轴倾角分别增大至 $60^{\circ}$ 和 $69^{\circ}$ ,为2003年以来最大值。P轴倾角的变化与新疆地震活动的强弱交替相关,这一特点与1991—2002年中强地震主压应力P轴仰角的变化类似<sup>[6]</sup>。新疆构造运动的基本特点是以水平挤压为主的逆断层活动,出现主压应力P轴倾角明显增大现象,表明在不同时期张应力起控制作用。

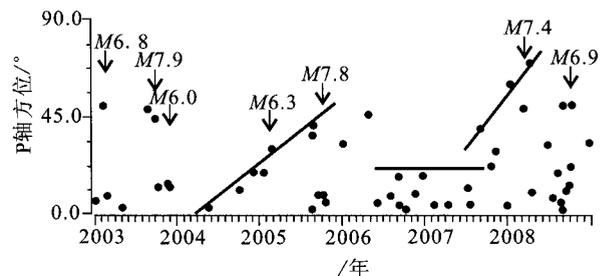


图4 88次地震P轴倾角随时间变化  
Fig. 4 The change of the P axis elevation angle with time from 88 events.

### 3 结论与讨论

(1) 研究时段内,不同强度地震空间分布具有较明显的层次性特征。3次7级地震分布在新疆周边,时间集中、强度较大,是上世纪以来较强的一组7级地震活动;期间发生的4次6级地震(包括1次震群)集中分布在天山西部约700 km范围内;5级地震显示出明显的西强东弱的特点。地震活动特点与1991—2002年有较大差异。1991—2002年新疆境内地震活动强度大、频度高,境内发生1次7级和16次6级地震。二个时段地震活动水平的差异,可能说明不同时期新疆区域应力场强度的变化。

(2) 88次地震分布在不同的构造区域,震源机制解存在较大差异。在北天山西段包括中天山地区,以走滑错动为主;南天山东段表现出较为明显的逆冲性质;南天山西段至乌恰交汇区又表现出走滑错动特点。地震震源机制显示出的震源断层错动的复杂性,从某种程度上可能反映了新疆在大区域应力场作用下,区域内部不同构造、块体间的相互作用的差异性。

(3) 地震震源机制主压应力 P 轴优势方向为 NNW340°~NS360°, 与  $M_s \geq 5.5$  地震反演得到最大主压应力 339°一致。结果与新疆近 SN 向的背景应力场和 1991—2002 年期间 NNE 向结果有差异, 表现出不同时期新疆大区域应力场的变化特点。造成大震前 P 轴倾角增大现象的因素也许是多方面的, 但其中的主要原因可能是在强震前大区域应力增强的同时, 其应力性状, 包括受力方向、应力强度以及结构等都发生了改变, 因此造成受力状态的改变, 在一定的构造应力环境中张应力起控制作用。

感谢审稿专家对本文提出的修改意见。

#### [参考文献]

- [1] 许忠淮, 汪素云, 黄雨蕊, 等. 由大量的地震资料推断的我国大陆构造应力场[J]. 地球物理学报, 1989, 32(6): 636-647.
- [2] 汪素云, 高阿甲, 许忠淮. 中国及邻区地震震源机制特征[A]// 国家地震局震害防御司编. 中国地震区划文集[G]. 北京: 地震出版社, 1993: 10-26.
- [3] 阙荣举, 张四昌, 晏凤桐, 等. 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, 1977, 20(2): 96-108.
- [4] 谢富仁, 崔效锋, 赵建涛, 等. 中国大陆及邻区现代构造应力场分区[J]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 654-662.
- [5] 新疆地震局. 天山地震目录级中强震震源机制解[J]. 内陆地震, 1997, 11(增刊): 127-180.
- [6] 高国英, 温和平, 聂晓红. 1991—2002 年新疆中强震震源机制解分析[J]. 地震, 2005, 25(1): 81-87.
- [7] 许忠淮, 戈澍谟. 用滑动方向拟合法反演富蕴地震断裂带应力场[J]. 地震学报, 1984, 8(5): 395-404.
- [8] 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.
- [9] 高国英, 龙海英, 聂晓红, 等. 2008 年乌恰 6.9 级地震与新疆地震趋势研究[J]. 西北地震学报, 2009, 31(4): 397-402.
- [10] 刘代芹, 王晓强, 李杰. 新疆南天山地区重力场动态演化特征[J]. 西北地震学报, 2009, 31(2): 174-178.
- [11] 邓起东, 冯先岳, 张培震, 等. 天山活动构造[M]. 北京: 地震出版社, 2000: 8.
- [12] 王盛泽, 高国英, 新疆及邻近地区现代构造应力场的区域特征[J]. 地震学报, 1992, 14(增刊): 612-620.
- [13] 王晓强, 李杰, 等. 利用 GPS 形变资料研究天山及邻近地区地壳水平位移与应变特征[J]. 地震学报, 2007, 29(1): 32-36.