

1976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*

成尔林 李桂芳 陈和川

(四川省地震局)

摘 要

本文应用1966—1976期间,甘肃南部和四川北部地区地震P波初动方向资料,求出平均节面解,据此推断松潘—平武7.2级地震前,孕震应力场的最大主压应力方向为近东西向。但由松潘台资料所得最大主压应力轴的方向,在震前显示出近90°的转动。由余震资料所得释放应力场的最大主压应力方向,亦为近东西向。

一、引 言

根据P波初动方向资料求得节面参数的通常做法是,在一次大地震发生后,把周围台站记录的P波初动符号以及每个台站的方位角和离源角资料投影到一个震源球上,从而求得节面参数。对大量的小地震而言,常常由于区域地震台网的密度不够,得不到数量足够多的各种台站方位角上的P波初动符号,因而求不出单个地震的节面参数。为了克服上述困难,安艺敬一提出了一个方法^[1],该方法的基本思想是,如果某一区域是在一个统一的构造应力场的作用之下,则这个区域内发生的地震应当有统一的震源机制解,于是可以把一个地震台记录的 n 个地震的P波初动符号,变换为一个地震有 n 个地震台的P波初动符号,由此得到P波初动节面解。随后,李钦祖等运用这个基本思想,采用双力偶模型,求得了红山地震台和沙城地震台所在区域的应力场^[2]。文献[2]中采用的资料都是1966年3月邢台地震后的小地震资料,所得应力场的结果与1966年3月邢台3次 $M \geq 6.5$ 地震的释放应力场基本一致。最近,许忠淮等讨论了1976年7月28日唐山7.8级大震前,京、津、唐、张地区地震应力场的方向特征^[3],所用资料为唐山大震前京津唐张地区的小地震资料,由小地震资料所得的平均应力场与唐山大震基本相同,未发现唐山大震前平均节面解有显著改变。

沙道夫斯基等人在中亚某些地区的强震之前,观测到了由小震的断层面解所确定的压应力轴的转动^[4],辛姆比列娃对中亚那伦河流域两次4.8级(能级 $K=12$)的地震,都曾指出过应力轴有类似的转动^[5]。

关于大震前压应力轴转动的报道并不多见。本文的目的在于考察一下1976年8月

* 1980年4月4日收到初稿,1981年3月26日收到修改稿。

16 日松潘—平武 7.2 级地震 (32.7N, 104.1E, $h = 15$ 公里) 前, 有无压应力轴转动的事实, 并对应力轴转动的原因给出可能的解释。

二、方法和资料

采用文献 [2] 的方法, 测定与多个小地震相应的某种“平均震源”的节面及相应力轴的方向, 结果一律用乌尔夫网上半球投影表示。所用震相皆为初至直达波 \bar{P} , 没有用续至震相, 方位角和震中距离 Δ 直接由震中交切图量取, 震源深度 h 取自四川台网地震目录和甘肃台网地震目录, 没有定出深度的地震则可能表明该次地震较浅, 为方便起见, 一律取 $h = 10$ 公里。离源角 i_h 由 $i_h = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta}{h}\right)$ 求得。

我们所研究的地区包括四川北部和甘肃南部的部分地区。图 1 是求平均节面解所取地震的震中分布图。把四川台网和甘肃台网加在一起, 在这块地区内共有 17 个区域地震台(图 1 中用 \blacktriangle 表示)。由图 1 可见, 这些台几乎呈北东向分布, 这对震源机制的研究显然是一种不利的台网布局, 致使在这块地区内即使发生一个 4 级左右的地震, 也难以作出 P 波初动解, 故不得不采用文献 [2] 中的方法。

在 17 个台中我们选择了记录时间长, 记录质量好的松潘、武都、岷县和甘谷台的资

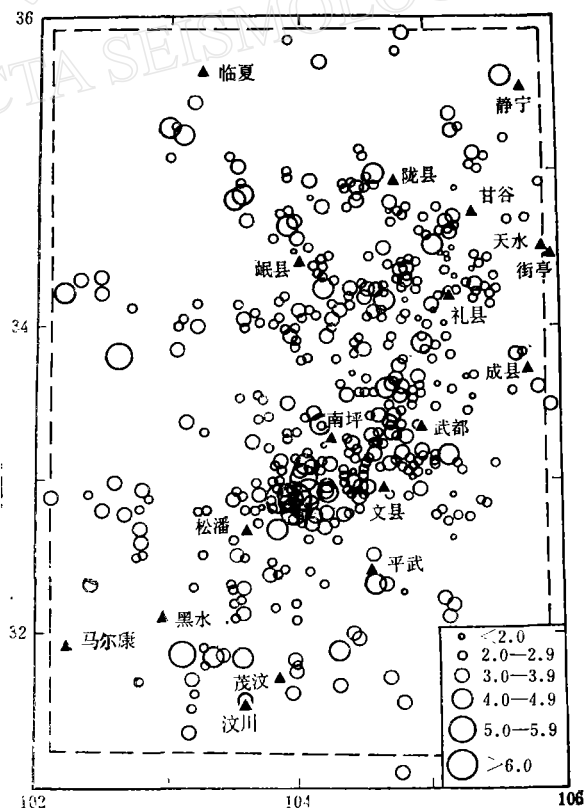


图 1 震中分布图

料, 文县台尽管建台时间较晚, 但由于它距 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震最近, 故文县台的资料也取用, 不同台站所取用的地震, 一般没有重复. 通过查阅上述五个台记录的研究地区范围内的地震图, 获得直达 \bar{P} 波的初动符号, 读图时三个分向的初动符号同时读取, 并根据震中的方位来判断垂直向的符号有无错误, 在求“平均震源”节面解时皆用; 震相的初动符号, 经过这样的筛选最后共选用 924 个 \bar{P} 波的初动符号.

三、结 果

我们将松潘、武都、岷县、甘谷和文县台所记录的研究地区范围内地震的直达 \bar{P} 波的初动符号, 分时段作出“平均震源”节面解及相应力轴的方向, 结果分述如下:

1. 松潘台 松潘台是 1970 年建立的, 距 7.2 级地震的震中 55 公里. 从 1970 年 7 月至 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震前, 我们求得六个平均节面解, 所得结果如表 1 和图 2 所示.

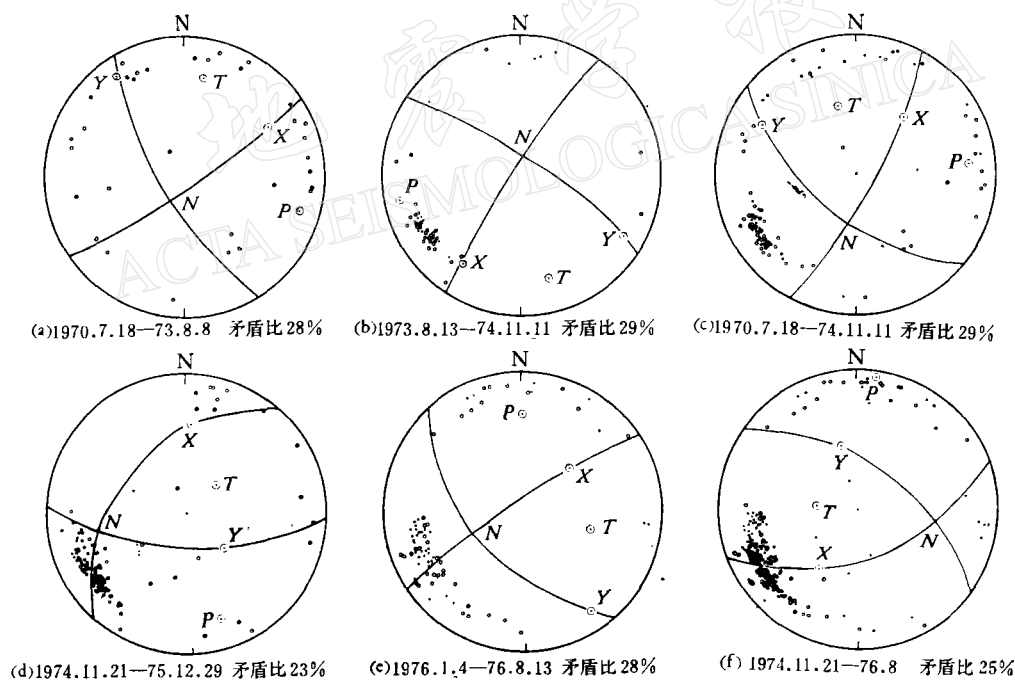


图 2 松潘台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴方向

由表 1 和图 2 均可明显地看出, 从 1970 年 7 月至 1974 年 11 月 P 轴方位近于东西, T 轴方位近于南北; 从 1974 年 11 月至 1976 年 8 月大震前, P 轴方位近于南北, T 轴方位为北东和近东西. 表明 1974 年 11 月之前和之后, P 轴方位有一个近东西向到近南北向的转动, 这点似乎与文献 [4, 5] 中指出的相同, 而与文献 [3] 中指出的“未发现唐山大震前平均节面解的显著改变”的结论不一致.

1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震的 P 轴方位为 71.5° , 表明 7.2 级地震的释

表 1 松潘台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴的方向

起止时间 (年.月.日)	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1970. 7.18.—1973. 8. 8.	56	NNW	81	329.5	NEE	70	59.5	20	326	9	104.5	7.5	11	20.5	212.5	68	28%
1973. 8.13.—1974.11.11.	31.5	SE	83	303	SW	75	213.5	15	121.5	7	258.5	5.5	167	15.5	6.5	73.5	29%
1970. 7.18.—1974.11.11.	27.5	NW	75	308.5	NE	55	38.5	35	298	15	82	13	343	36	188.5	51	29%
1974.11.21.—1975.12.29.	42.5	SE	38	272.5	N	63	2.5	27	133	52	162.5	14	47	61	259.5	24.5	23%
1976. 1. 4.—1976. 8.13.	56	SE	80	317.5	NE	50	48	40	141	10	1	19.5	105	35	247	48.5	28%
1974.11.21.—1976. 8.13.	70	NNW	51	305	SW	54	214.5	36	341	39	8	2	275	59	99	31	25%

表 2 武都台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴的方向

起止时间 (年.月.)	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比	
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角		
初动符号分布紊乱,平均节面解不可信																		
1966.1.—1970.12.																		
1971.1.—1973.12.	27.5	SE	79	294.5	NE	75	24.5	15	117.5	11	71.5	18	340	2.5	242.5	71	19%	
1974.1.—1974.12.	30.0	SE	65	303	SW	85	120	25	213	5	74	13	170	21	314	64	29%	
1974.1.—1975.12.	22.5	NW	45	303	NE	80	32.5	10	293	45	71	22.5	332	38	193	43	23%	
1974.1.—1976. 8.	21	NW	84	296	NE	50	26	6	291	40	75.5	22	331	32	193.5	49	22%	
1971.1.—1976. 8.	25.5	SE	83	289	NE	45	19	45	116	7	78	36	329	24	213	44	21%	

放应力场似乎与 1974 年 11 月以前的平均应力场十分接近。

2. 武都台 武都台距 7.2 级地震的震中约 100 公里, 从 1966 年开始有地震记录资料, 至 1976 年 8 月 7.2 级地震前, 我们求得了五个平均节面解, 所得结果如表 2 和图 3 所示。

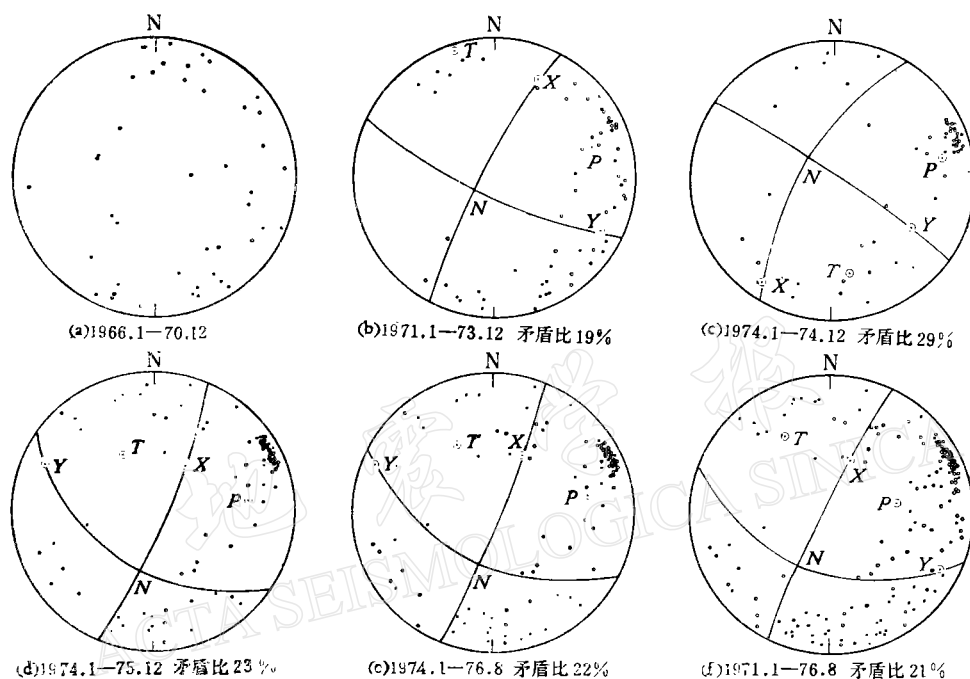


图 3 武都台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴方向

从 1966 年 1 月到 1970 年 12 月, 武都台记录的研究地区范围内地震的直达 \bar{P} 波的乌尔夫网上半球投影如图 3(a) 所示, 表明这个时期初动符号分布紊乱, 平均节面解不可信。从 1971 年 1 月到 1976 年 8 月期间, “平均震源”节面解及 P 轴方位相当稳定, P 轴方位为北东东, 并且在 7.2 级地震前, 未发现 P 轴转动的现象。

3. 岷县台 岷县台距 7.2 级地震的震中约 190 公里, 从 1970 年开始有记录资料, 至 1976 年 8 月 7.2 级地震前, 我们求得五个平均节面解, 所得结果如表 3 和图 4 所示。

从 1971 年 1 月至 1976 年 8 月 7.2 级地震前, 小震平均节面解相当稳定, P 轴方位为北东东向。

4. 甘谷台 甘谷台距 7.2 级地震的震中约 250 公里, 从 1966 年开始有地震记录资料, 至 1976 年 8 月 7.2 级地震前, 我们求得三个平均节面解, 所得结果如表 4 和图 5 所示。

1971 年以前, 由甘谷台所记录的研究地区范围内地震的直达波 \bar{P} 的初动符号分布紊乱, 平均节面解不可信。1971 年 1 月至 1973 年 12 月期间, P 轴方位近南北向, 与其它几个台在相应时段近东西向的 P 轴方位显然不同。但应指出, 这个结果的矛盾比较高, 达 31%, 因而可信度较低。从 1974 年 1 月至 1976 年 8 月大震前, P 轴方位近东西向, 并且与 7.2 级地震释放应力场的 P 轴方位大致相同。

表 3 岷县台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴的方向

起止时间 (年·月·)	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1971.1.—1972. 1.	17	NW	65	300	NE	65	30	25	288	25	69	0	339	36	158	53	29%
1971.1.—1973.12. 。	16	NW	72	313	NE	35	45	55	286	18	83	21	323	53	186	29	23%
1972.1.—1973.12.	37	SE	85	306	NE	75	36	15	128	5	83	14	351	7	235	74	19%
1974.1.—1976. 8.	16	NW	80	288	NE	85	18	5	287	10	242	4	332	11	134	78	14%
1971.1.—1976. 8.	11.5	SE	70	293.5	SW	60	204	30	101	20	244.5	6.5	150	37	341	52.5	20%

表 4 甘谷台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴的方向

起止时间 (年.月.)	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比	
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角		
初动符号分布紊乱,平均节面解不可信																		
1966.1.—1970.12.																		
1971.1.—1973.12.	32	NW	50	338	NE	55	69	35	302	40	8	59	274	2	182	30	31%	
1974.1.—1976. 8.	33	SE	60	318	SW	65	228	25	122	30	84	3	177	40	351	49	18%	

表 5 文县台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴的方向

起止时间 (年.月.)	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1974.8.--1976.8.	37	NE	75	301	SE	68	31	22	127	15	80	27	343	3	250	63	16%

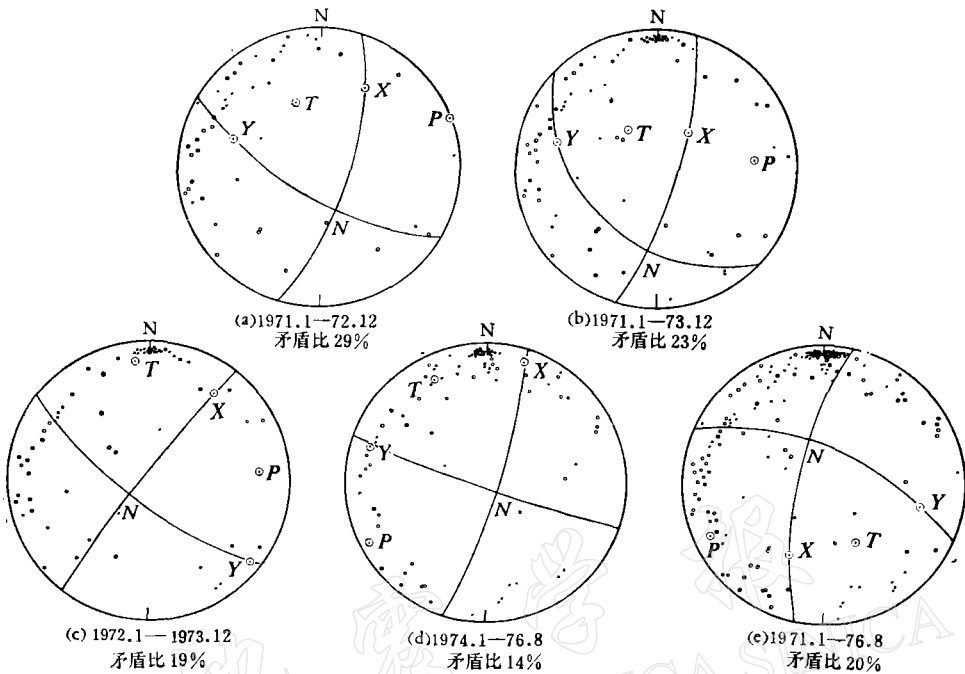


图 4 岷县台记录小震“平均震源”节面解及相应应力轴方向

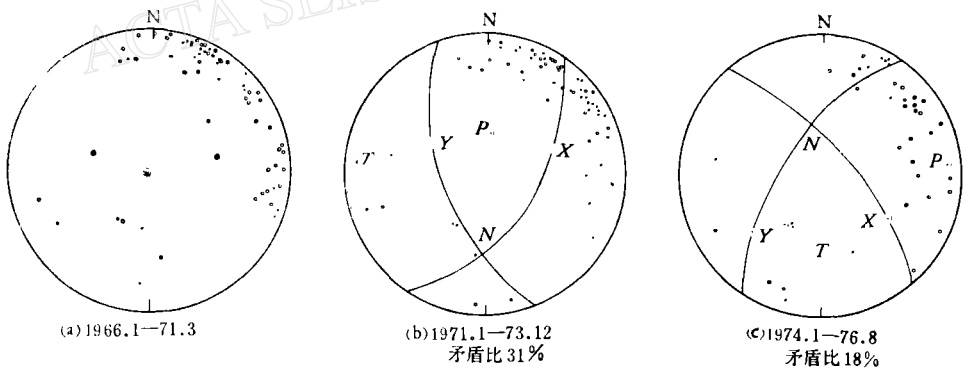


图 5 甘谷台记录小震“平均震源”节面解及相应应力轴方向

5. 文县台 文县台是研究地区建台最晚的一个台,自 1974 年 8 月开始有地震记录资料,与 7.2 级地震的震中相距 50 公里。所得结果如表 5 和图 6 所示。

文县台所得 1974 年 8 月至 1976 年 8 月平均节面解的 P 轴方位为 80° ,与 7.2 级地震机制解的 P 轴方位相当接近。

6. 与几个中强震的比较 在 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震之前,松潘、南坪及若尔盖一带曾发生了五次 $M > 5$ 的中强震。7.2 级地震和五次中强震的机制解如表 6 和图 7 所示。除 1974 年 9 月 23 日若尔盖地震的机制解因补充近台资料而稍加修改外,其它数据直接引自文献 [6] 的结果。

表 6 几个中强震的机制解

地震时间 (年·月·日)	震级	节 面 I			节 面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴	
		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
1973. 5. 8.	5.1	66.5	SE	80	157	SW	86	247	4	156.5	10	111.5	5	202	10	358.5	79
1973. 8.11.	6.5	62.5	SE	80	153.5	SW	81	243.5	9	152.5	5	288.5	3	198	10	35.5	80
1974. 1.16.	5.7	28	NW	83	120.5	NE	70	30.5	20	298	7	75.5	12.5	342.5	19	189	68.5
1974. 9.23.	5.6	80	NNW	74	348	SWW	82	258	8	350	16	303	17	34.5	6	141.5	72
1974.11.17.	5.7	53.5	SE	85	326.5	SW	62	236.5	28	144	5	283	15.5	186.5	23	44	61.5
1976. 8.16.	7.2	175	SWW	48.5	147.5	NE	45	57.5	45	265	41.5	71.5	3	335.5	76	162	14

表 7 松潘台记录余震平均节面解及相应力轴的方向

起止时间 (年·月·)	节 面 I			节 面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		矛盾比
	走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	
1976.10.—1977.6.	48	SE	65	326	SW	75	235	15	135	25	95	7	189	29	349	60	24%

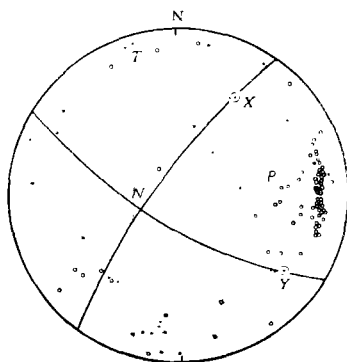


图 6 文县台记录小震“平均震源”节面解及相应力轴方向

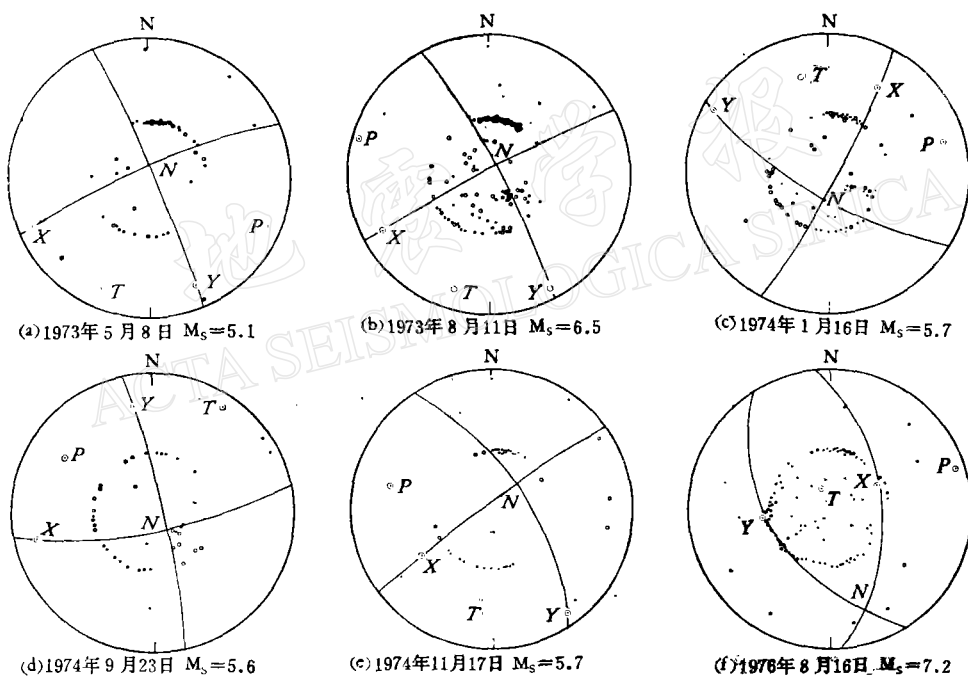


图 7 几个中强震的机制解

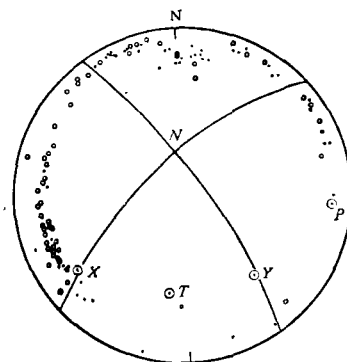


图 8 松潘台记录余震平均节面解及相应力轴方向

由表 6 可见, 四个中强震的机制解所得 P 轴方位为北西西和北东东, 即大致呈东西向。但 1974 年 9 月 23 日若尔盖 5.6 级地震的机制解与其余四个中强震的机制解有些差别, 可能表明这次地震与其它四个中强震不同, 它不属于 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震的前震系列。1974 年底以前, 由松潘台、武都台和岷县台所得小震平均节面解的 P 轴方位为北东东向。可以说, 在 1974 年底以前, 研究地区大致处于近东西向的孕震应力场作用之下。

7. 余震的平均节面解 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震伴随有丰富的余震活动, 至 9 月 21 日发生最后一个 5 级余震。我们作出松潘台 1976 年 10 月至 1977 年 6 月小震平均节面解, 如表 7 和图 8 所示。

上述结果以及文献 [6] 中关于 7.2 级余震的结果都表明, 7.2 级地震之后, P 轴方位为北西西—北东东, 即近乎东西方向。

四、结 论

1. 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震的孕震应力场大致经历了三个阶段: 1970 年 7 月以前, 武都台和甘谷台的 P 波初动符号分布比较紊乱, 平均节面解不可信, 表明在我们所研究的范围内发生的小地震, 不是在一个统一的孕震应力场作用下发生的; 从 1971 年开始到 7.2 级地震之前, 整个研究地区似乎处在 P 轴方向为近东西向的统一孕震应力场的作用下, 由松潘台所得小震平均节面解及相应力轴的数据(表 1) 得知, 从 1974 年 11 月至 7.2 级地震之前, P 轴方位近于南北, 即 P 轴方位发生了由近东西向到近南北向的转动。但是, 离 7.2 级大震同样很近的文县台却没有观测到 P 轴的转动。距 7.2 级大震震中 250 公里的甘谷台, P 轴方位先是近南北向后变为近东西向, 这可能是因为 1971 年 1 月—1973 年 12 月甘谷台的平均节面解不可信, 也可能是由于甘肃省东南部孕育着的震源所引起。

2. 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震的孕震应力场, 从 1970 年 7 月开始形成, 即整个异常时间约为 6 年。由小震平均应力场得到的前兆时间, 比我们目前所有其它前兆观测手段得到的该次地震的异常时间都长。这个结论与韦斯对 1969 年 3 月加尔姆地震 ($M_L = 5.7$) 得到的前兆时间顺序是一致的^[8]。

3. 图 9 是研究地区范围内的加权和 $\Sigma(z)$ 随时间的变化曲线, 所取震级下限为 $M_0 =$

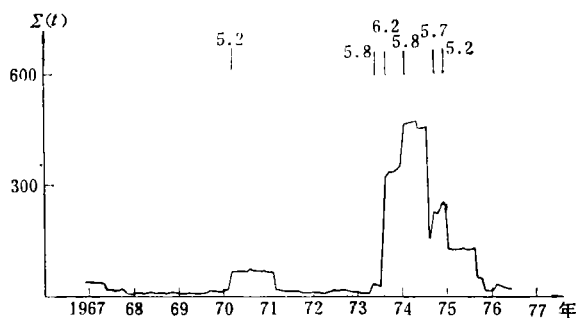


图 9 加权和 $\Sigma(z)$ 随时间的变化曲线

3.5, 时间长度取 1 年, 步长一个月的滑动值, 方法根据文献 [7]. 由图可见, 整个研究地区的震情在 1973 年 5 月以前变化不大, 从 1973 年 5 月开始, $\Sigma(t)$ 出现了一个明显的峰值, 并且从这个峰值下来之后 (1974 年底), 松潘台开始观测到 P 轴方位由近东西向到近南北向的转动。

4. 根据巴特关于震源体积的公式^[9]

$$\log V \text{ 厘米}^3 = (9.58 \pm 0.51) + (1.47 \pm 0.14)M$$

求得 1976 年 8 月 16 日松潘—平武 7.2 级地震、8 月 22 日 6.7 级地震以及 8 月 23 日 7.2 级地震的体积总和为 3.2×10^5 公里³. 这三次地震的震源深度分别为 15、10 和 22 公里, 它们的平均震源深度约 16 公里. 如果取震源深度的两倍 (即 32 公里) 作为这三次大震震源体的垂向延伸范围, 则震源体的等效面积正好为 10^4 公里², 这相当于 100 公里长 100 公里宽 (或者是 200 公里长 50 公里宽) 的区域. 形成规则小震平均应力场的面积, 不小于 500 公里长 350 公里宽的区域 (图 1 中虚线的范围). 即前兆异常范围的线度约为震源线度的五倍左右. 这个结论与韦斯关于前兆体积和震源体积之比的结论相一致^[8], 也符合于傅承义教授的“红肿假说”^[10].

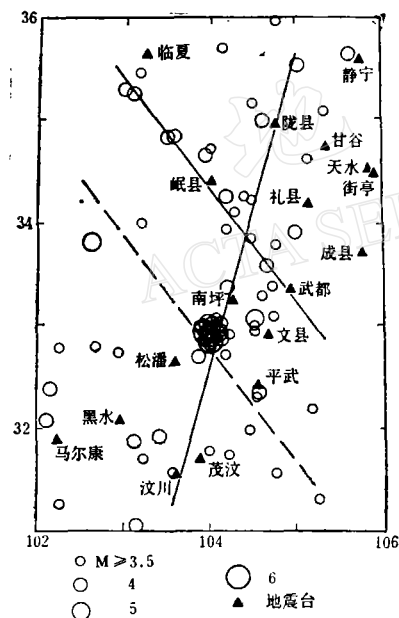


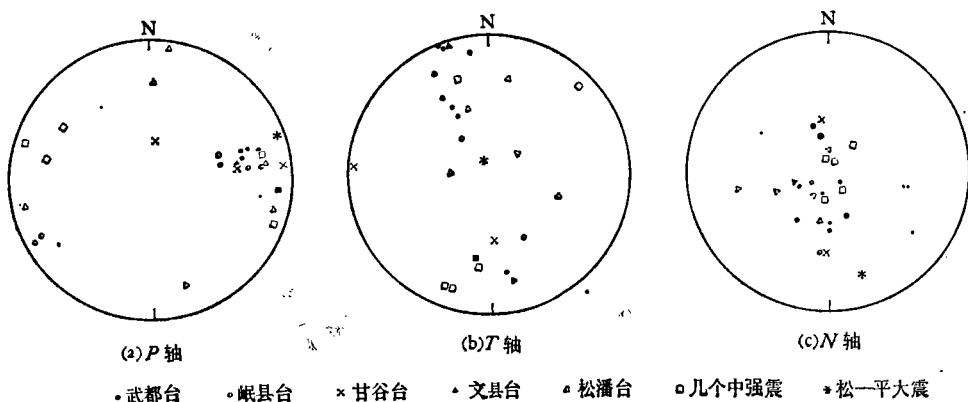
图 10 $M \geq 3.5$ 地震震中分布

5. 图 10 是本地区 1970—1976 年 7.2 级地震之前, $M \geq 3.5$ 地震的震中分布图, 表明在研究地区范围内自形成一个统一的孕震应力场之后, 该范围内 $M \geq 3.5$ 的地震并不是随机分布的, 它们形成一种规则的条带分布, 条带的优势方向为北北东和北西向, 与平均节面解的两个节面的方向大致相当, 表明大震前的地震活动主要沿孕震应力场的两个最大剪切面分布. 考虑到测定震源位置的误差、求平均节面解时节面的一个小的摆动范围以及节面的一定倾角, 7.2 级地震之前 $M \geq 3.5$ 地震形成的条带方向与小震平均节面解的两个节面的走向, 并不完全一致就是很自然的事了。

6. 地震发生时释放的最大和最小主应力的方向, 分别与最大和最小构造主应力方向成一个 $45^\circ - \theta$ 的角, 其中 θ 是断层角^[11]. θ 不等于 45° , 将成为用双力偶模型求解震源机制时出现矛盾符号的一个重要原因. 显然, 由这一个因素造成的矛盾符号比等于 $(45^\circ -$

$\theta)/90^\circ$. 我们考虑一个极端的情况, 即认为矛盾符号比全是由于 $\theta \neq 45^\circ$ 引起的, 则可以据此估计出断层角的下限. 根据表 1—5 的数据, 我们求得平均矛盾比为 24%, 从而求得断层角 θ 大约为 23° . 显然, 造成矛盾符号比的因素不止这一个, 故实际的断层角应比 23° 大. 由库伦-摩尔破裂条件 $\mu = 1/\tan 2\theta$, 若取 $\theta = 25^\circ$, 则得到研究地区范围内地壳介质的摩擦系数 $\mu = 0.84$.

7. 图 11 是把图 3—8 中 P 、 T 、 N 轴迭加在一起的乌尔夫网上半球投影图. P 轴、 T 轴的方位分布呈现出明显的规律性, 即 P 轴方位多数近于东西向、 T 轴方位多数近于南北向, 而 N 轴则相对集中于网心, 说明 N 轴的仰角较大, 但方位分布则不如 P 、 T 轴集中. 这

图 11 P 、 T 、 N 轴迭加的乌尔夫网投影

表明,人们经常用 P 轴方向来讨论现今构造应力场的方向,不是没有道理的。

五、讨 论

1. 由双力偶模型求得的上述小震平均节面解,究竟可信不可信呢? 由文献 [3] 的图 6 可知,若矛盾符号比超过 30% 则认为不可信的话,对显著性水平 $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.01$,要求初动符号总数 N 分别大于 20 和 40。实际上我们在获得表 1—5 的数据时,初动符号的总数绝大多数均大于 50。显然,对于 50 个以上的符号总数,观测的矛盾符号比均小于 30%,结果都是可信的。但由松潘台资料所得的 P 轴转动,是否在其它大震前也出现? 即大震前 P 轴的转动是否具有普遍性? 现在还难断言,需要用更多的地震来检验。

2. 山川宜男指出,一般说来,地震前震源区的应力张量 T 、地震后的应力张量 T' 以及应力变化张量 ΔT ,在主轴坐标系中的应力主轴是不重合的^[11],因此由单个地震的 P 波初动解来推断区域应力场的方向时,应持谨慎的态度。一般说来,求得一个区域内若干次地震的 P 波初动解后,其主应力优势方向可大致代表这个区域内的构造应力场方向。单个地震的 P 波初动解,严格说来只能代表在这次地震震源体范围内的释放应力场的方向,用这个方向来代表线度比震源体线度大得多的范围内的构造应力场方向,显然是缺乏说服力的。在用单台小地震的资料求得平均节面解,从而推断构造应力场的方向时,同样应当十分小心,仅用某一较短时段的单台小地震资料,甚至可能得出完全不同的结果。

3. 关于地质新构造运动时期区域应力场方向是否稳定的问题,严格说来,现有 P 波初动解的结果难以回答这一问题。因为能够求解震源机制的都是 1900 年以后的地震,充其量 80 年的资料,怎么能够回答几十万年的问题呢? 加之大地震的复发周期又比较长,一个区域内能够求震源机制解的地震数目常常是不多的,这就使我们讨论现代构造应力场稳定性的问题发生了困难。正如本文作者所指出的那样,在一次强烈地震的孕育过程中,由单台小地震的资料求出的 P 轴方位是可能变化的。

4. 关于压应力轴重新取向的问题,目前还没有一个令人满意的解释。布雷迪认为,震源区内压应力轴的 90° 转动,对应于闭合阶段裂纹的闭合,剪切方向由于震源区内最小主应力数值的增加而倒转^[12]。古普塔则认为,采用在逆冲构造区内前震活动的系统垂向迁

移的方式, 可以提供压应力轴转动的一种可能的解释^[13]. 考虑到目前我们测定震源深度的精度很差, 三个主应力随深度的理想变化是否如文献 [13] 中图 2 所示的那样? 是值得进一步讨论的问题, 因而我们暂且采用布雷迪的解释.

参 考 文 献

- [1] K. AKI, Earthquake generating stress in Japan for the years 1961 to 1963 obtained by smoothing the first motion patterns, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 44, 447—471, 1966.
- [2] 李钦祖等, 由单台小地震资料所得两个区域的应力场, *地球物理学报*, 16, 49—61, 1973.
- [3] 许忠淮等, 京、津、唐、张地区地震应力场的方向特征, *地震学报*, 1, 2, 121—132, 1979.
- [4] M. A. Sadovsky et al., The processes preceding strong earthquakes in some region of Middle Asia, *Tectonophysics*, 14, 3/4, 295—307, 1972.
- [5] I. G. Simbireva, Focal Mechanism of Weak earthquakes in the Naryn River Basin, in: M. A. Sadovsky (Editor), *experimental seismology*, Science Press, Moscow, 1973, 423 pp. Translated in English from Russian by D. B. Vitaliano, U. S. Geological Survey.
- [6] 成尔林, 四川及其邻区现代构造应力场和现代构造运动特征, *地震学报*, 3, 3, 231, 1981.
- [7] V. I. Keylis-Borok and L. N. Malinovskaya, One regularity in the occurrence of strong earthquakes, *J. G. R.*, 69, 14, 3019—3024, 1964.
- [8] M. Wyss, Precursors to the Garm earthquake of March 1969, *J. G. R.*, 80, 20, 2926—2930, 1975.
- [9] M. Bâth and S. J. Duda, Earthquake Volume, fault plane area, Seismic energy, Strain, Deformation, and related quantities, *Ann. Geofis (Rome)*, 17, 353—368, 1964.
- [10] 傅承义、陈运泰、陈颢, 我国的震源物理研究, *地球物理学报*, 22, 4, 315—320, 1979.
- [11] N. Yamakawa, Stress fields in focal regions, *J. Phys. Earth*, 19, 347—355, 1971.
- [12] B. T. BRADY, Theory of earthquake, II, inclusion theory of crustal earthquake, *Pure and Appl. Geophys*, 113, 149—168, 1975.
- [13] I. N. Gupta, Precursory reorientation of Stress axes due to vertical migration of seismic activity, *J. G. R.*, 80, 2, 272—273, 1975.

ON THE DIRECTION OF THE MAXIMUM COMPRESSIVE PRINCIPAL STRESS BEFORE AND AFTER THE 1976 SONGPAN-PINGWU EARTHQUAKE (M=7.2) OF THE SICHUAN PROVINCE

CHENG ERLIN LI GUIFANG CHEN HECHUAN

(Seismological Bureau of Sichuan Province)

Abstract

The average nodal plane solutions of the earthquakes occurred in southern Gansu and northern Sichuan Provinces from 1966 to 1976 are obtained by use of P-wave onset data. On the basis of these solutions, it can be inferred that the direction of the maximum compressive principal stress during the process of development of the earthquake is nearly east-west before the Songpan-Pingwu Earthquake. Whereas that obtained from the data of the Songpan seismological station, it appears to have been rotated by an angle of about 90°. However the direction of the maximum compressive principal stress in releasing as obtained from data of aftershocks is also nearly east-west.