

四川及其邻区现代构造应力场 和现代构造运动特征*

成尔林

(四川省地震局)

摘 要

本文主要根据 1933—1978 年间 76 次四川地震 ($M \geq 5$) 的 P 波初动解结果, 讨论了四川现代构造应力场的分区特征及其与邻区现代构造应力场和板块构造的关系, 并结合野外地质调查和地震宏观考察的资料讨论了四川主要断裂带现代构造运动的性质。最后指出, 若用藏(西藏)—青(青海)—川(四川) 块体向南东东转南东—南南东方向运动可以相当满意地解释四川乃至我国西部地区现代构造应力场和现代构造运动的主要特征。

一、引 言

自本世纪六十年代提出板块构造学说以来, 地震活动性和震源机制就作为板块构造学说的主要支柱相当满意地解释了若干重要的观测事实。近年来, 人们对板块构造的注意力逐渐从海洋转移到大陆内部, 并尝试着提出了在大陆内部划分板块构造的某些标志^[1]。我国是一个多地震的国家, 幅员辽阔, 地震类型多样, 地质构造复杂, 具有研究板内地震活动特征的有利条件。不少文章论述了我国及其西南地区地震活动与板块构造的关系^[2,3]。莫尔纳等人研究了亚洲的震源机制解和近期大地构造运动^[4,5,6]。这些研究工作对于在大陆内部划分板块构造, 认识板内地震的活动规律具有重要的意义。

关于由 P 波初动解求得的主应力方向能否代表区域应力场方向的问题, 目前看法还不统一。我们认为, 如果在一个区域内求得了若干次地震的主应力方向, 其统计平均值可大致代表这个区域内现代构造应力场的方向。因而, 由 P 波初动解所求得的断层错动性质以及主应力方向仍然是研究现代构造应力场和现代构造运动的重要手段之一。

二、资 料

由 P 波初动符号采用双力偶模型求得震源参数在很大程度上取决于地震记录资料的质量和数量。我们采用乌尔夫网上半球投影获得了 1933—1978 年间 76 次发生在四川境内 $M \geq 5$ (少数小于 5 级) 地震的 P 波初动解, 结果列于表 1。求解过程中主要引用了

* 1979 年 7 月 20 日收到。

下列资料: 中国地震震源机制的研究(第一集, 国家地震局震源机制研究小组, 一九七三年一月), 中国地震台网观测报告, 甘肃地震台网观测报告, 陕西地震台网观测报告及《国际地震中心汇编》(即 B. I. S. C)。通过查阅四川台网和云南台网的地震图获得 P 波初动符号。对于 1968 年以前的地震, 利用《中国地震震源机制的研究》中给出的 P 波初动符号和离源角资料在乌尔夫网上重新处理求得震源参数。个别手头无初动符号的四川地震则引用国内其他作者的结果。为了讨论问题的需要, 文中引用的四川邻区的 P 波初动解结果皆引自国内其他作者的文章。

求解过程中对资料的取舍主要考虑了以下两条: (1) 优先考虑较近的台站; (2) 优先考虑国内外记录质量较好的台站。根据节线的可活动范围和 P 波初动符号的矛盾比将求解结果大致划分为 A. B. C 三类。

三、四川地震活动概况

我国是世界上板内地震最活跃的国家, 四川则是我国几个地震活动强烈的省份之一。图 1 是公元 814 年至 1978 年发生在四川境内的 $M \geq 6$ 的强震震中与主要断裂带的分布图。看来 $M \geq 6$ 的地震严格地分布在东经 104° 以西的广大川西地区, 104° 经线仿佛成为一个难以逾越的界限, 这或许说明了印度板块向北顶撞对四川地震活动的影响在东经 104° 以东的四川境内已大为减弱。四川境内的构造线主要以北西、南北和北东三个方向占优势, 三组构造线在泸定附近会合, 大致作“Y”形。但是 $M \geq 6$ 的地震震中却主要

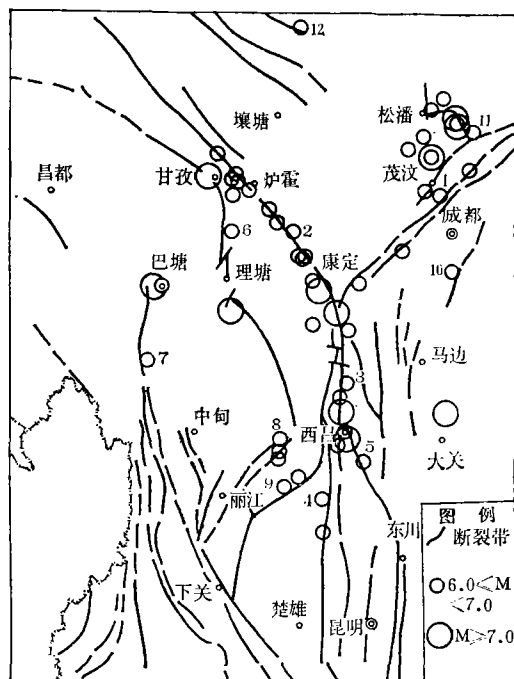


图 1 四川 $M \geq 6$ 强震震中与主要断裂带分布图

表 1 1933—1978 年间四川地震的 P 波初动解

编号	地震时间		震中位置		震级	震源深度	节面 I		节面 II		X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		精度
	年.月.日	时-分-秒	ϕ_N	λ_E 地区			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	
1	1933.8.25	19-38-53	31.7	103.4	汶川	5	48.5	SE	75	320	SW	85	230	5	138.5	15	93.5	7.5	185	14	C
2	1936.5.16	15-05-44	28.5	103.6	马边	6 $\frac{3}{4}$	75.5	直立	90	345.5	SWW	82	255.5	8	165.5	0	210.5	6	301	6	C
3	1953.4.14	09-29-02	30.0	101.9	康定	7 $\frac{1}{4}$	68.5	SSE	87	337.5	NEE	81	67.5	9	158.5	3	113.5	8.5	22.5	4.5	B
4	1955.6.7	08-48-54	26.5	101.1	华坪	6	33.5	SE	75	301	NE	80	31	10	124	15	168	4	76.5	18	B
5	1955.9.23	23-06-23	26.3	101.9	永仁	6 $\frac{3}{4}$	30.5	NW	87	300	SW	80	210	10	300.5	3	165	5	255.5	9	B
6	1960.11.9	18-43-42	32.8	103.7	松潘	6 $\frac{3}{4}$	40.5	NW	75	310.5	直立	90	40.5	0	310.5	15	264.5	10.5	356.5	10.5	B
7	1967.1.24	22-45-21	30.3	104.1	仁寿	5.5	59	SE	80	326.5	NE	75	56.5	15	149.5	10	103.5	18	12	3.5	B
8	1967.8.30	12-22-09	31.6	100.3	甘孜	6.8	33	SE	45	59	NW	48	329	42	123	45	41.5	76.5	136.5	2	B
9	1967.8.30	19-06-51	31.7	100.3	甘孜	6.0	11	SEE	80	281.5	SSW	87	191.5	3	101	10	55.5	5	146.5	9	B
10	1968.3.3	00-17-16	29.4	100.2	理塘	5.7	62.5	SE	70	334.5	SW	85	244.5	5	152.5	20	107	10.5	200.5	17.5	B
11	1970.2.24	10-07-35	30.6	103.2	大邑	6 $\frac{3}{4}$	79.5	NNW	75	352	NEE	80	82	10	349.5	15	305	4	36.5	18	B
12	1970.7.31	21-10-49	28°32'103°36'	雷波	5.4	12	52.5	NW	77	326	NE	75	56	15	322.5	13	99.5	1.5	9	20	B
13	1970.9.5	21-37-33.3	32.1	101.3	壤塘	5.5	71	NNW	85	163	NEE	72	73	18	341	5	118.5	9.5	25.5	16.5	B
14	1970.11.8	17-15-55.6	32.1	101.1	壤塘	5.5	42	NW	83	131.5	SW	79	221.5	11	313	7	177	3	267.5	13	B
15	1971.3.11	12-43-32	28°38'103°35'	马边	5.0	75.5	NNW	75	75	339.5	SWW	68	249.5	22	345.5	15	299	26.5	206.5	5	B
16	1971.8.16	12-58-00.6	28°54'103°36'	马边	5.8	16'	82	NW	73	342.5	SW	61	252.5	29	352	17	305.5	33	210	8	B
17	1971.8.17	02-53-53.6	28°49'103°40'	马边	5.8	15	80	NW	71	344	SW	74	254	16	350	19	301.5	25	32.5	2.5	B
18	1971.8.17	06-37-33.6	28°50'103°37'	马边	5.6	19	2	W	81	93	N	84	3	6	272	9	317.5	11	227	2.5	B
19	1971.8.17	17-36-13	28°46'103°44'	马边	5.4	85	NNW	75	75	347.5	SWW	64	257.5	26	355	15	309	29.5	214.5	7.5	B
20	1971.8.18	01-07-40	28°48'103°37'	马边	5.1	17	73	SSE	56	355	SWW	74	264.5	16	163	34	120	12	219	36	B
21	1971.8.23	13-36-04	28°44'103°44'	马边	4.8	5	83	NNW	65	356	NEE	83	86	7	353	25	307	12.5	42	22.5	B
22	1971.8.23	13-46-31	28°45'103°40'	马边	4.6	80.5	SSE	74	74	357.5	SWW	68	267.5	16	171	22	128	4.5	220	27.5	B
23	1971.9.4	09-10-27	28°48'103°38'	马边	4.8	55	NW	80	60	331	NE	60	60.5	30	325	10	106	13.5	8.5	28.5	B
24	1971.11.5	04-12-18	28°49'103°35'	马边	4.9	11	54.5	NW	70	321	SW	81	231	9	324.5	20	276.5	21	9	8	B
25	1972.4.8	17-33-41.1	29.4	101.8	九龙	5.2	84.5	NNW	81	179.5	E	59	89.5	31	354	9	136	15	37.5	28.5	B
26	1972.5.7	06-05-19.9	27°58'102°19'	西昌	4.8	20	4	E	76	91.5	N	80	1.5	10	93.5	14	138	3	47	17	B
27	1972.9.27	08-08-28.2	30°11'101°39'	康定	5.8	13	75.5	SSE	80	167.5	SWW	80	257.5	10	166	10	301.5	0	211.5	14.5	B

续表 1

编号	地震时间		震中位置		震级	震源深度	节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		精度
							节面 I			节面 II			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		
	年.月.日	时-分-秒	ϕ_N	λ_E			地区	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	
28	1972.9.30	00-21-35.8	30°10'	101°35'	康定	22	39.5 SE	85	129 NE	82	38.5 8	129.5 5	84.5 9.5	354	2.5	249	80.5	B					
29	1972.9.30	04-24-39.4	30°10'	101°34'	康定	19	30.5 NW	70	125.5 NE	77	35 13	300.5 20	349 23.5	257	5	156	66	B					
30	1973.2.6	18-37-05	31.5	100.4	炉霍	17	26.5 SE	80	116.5 直立	90	26.5 0	116.5 10	71.5 7	162	7	297	80	B					
31	1973.2.7	17-21-00	31°26'	100°48'	炉霍	20	55.5 NW	85	328.5 NE	60	57.5 30	325.5 5	8 24.5	106	17.5	227.5	59.5	B					
32	1973.2.8	00-06-27	31.4	100.3	炉霍		75.5 NNW	86	345.5 NEE	86	75.5 4	345 4	30.5 5.5	120.5	0	208.5	84	B					
33	1973.3.24	03-14-51.9	31.7	100.2	甘孜	20	70 SSE	80	341 SWW	86	251 4	160 10	206 10	115	4.5	3	79	B					
34	1973.5.8	18-01-34.7	33°01'	104°03'	南坪	12	66.5 SE	80	157 SW	86	247 4	156.5 10	111.5 5	202	10	358.5	79	B					
35	1973.6.29	05-58-02.9	28°46'	103°40'	马边	20	43 SE	62	133 直立	90	223 0	133 28	84.5 19.5	181.5	19.5	313	62	B					
36	1973.6.29	05-59	28°46'	103°40'	马边	20	76.5 SE	58	338 NE	77	68 13	166.5 32	112.5 32.5	210.5	12.5	319.5	55	B					
37	1973.6.30	01-51-55	28°50'	103°37'	马边	20	22 SE	71	109.5 NE	83	19.5 7	112 19	64.5 18.5	157	8.5	271	70	B					
38	1973.8.2	16-58-12	27°47'	104°39'	筠连	21	23 NW	35.5	78 SSE	68	168.5 22	292.5 54.5	327 18.5	207.5	57	66.5	26.5	B					
39	1973.8.11	15-15-33.9	32°53'	104°00'	南坪	8	62.5 SE	85	153.5 SW	81	243.5 9	152.5 5	288.5 3	198	10	35.5	80	B					
40	1973.9.9	10-13-40.3	31.7	99.8	甘孜	32	73 SSE	75	342 NEE	85	72 5	163.5 15	208.5 7	117	14	324	74	B					
41	1974.1.16	06-50-24.3	32.9	104.1	松潘	18	28 NW	83	120.5 NE	70	30.5 20	298 7	75.5 12.5	342.5	19	189	68.5	B					
42	1974.5.11	03-25-16	28.2	103.9	永善		47 NW	87	316.5 SW	82	226.5 8	317 3	272 8	181.5	4	67.5	81	A					
43	1974.6.5	08-02-09	29.4	99.6	巴塘	20	86.5 S	86	356.5 E	82.5	86.5 7.5	177 4	41.5 2.5	132	8	296	81	B					
44	1974.6.15	18-19-31.3	31.6	100.0	甘孜	13	4 W	80	276 N	79	6 11	274.5 10	50.5 1	320	15	142.5	75	B					
45	1974.9.23	22-51-06.4	33.8	102.6	若尔盖	11	83.5 NNW	74	350.5 SWW	81	261 9	353 16	306.5 17.5	37.5	5.5	142.5	71.5	B					
46	1974.11.17	00-25-51.7	32.9	104.0	松潘		53.5 SE	85	326.5 SW	62	236.5 28	144 5	283 15.5	186.5	23	44	61.5	B					
47	1974.12.30	23-17-27	28°59'	103°45'	马边		8 SEE	63	99 SSW	87.5	189.5 2.5	98 27	147 20.5	50.5	17	284	63	B					
48	1975.1.15	19-34-41.5	29.5	101.8	九龙		9 SE	65	106.5 SW	75	196.5 15	99 25	150 29	56.5	7	314.5	60	B					
49	1975.1.22	20-59-35	26°27'	103°02'	会东		8.5 SEE	57	296 SSW	65	206.5 25	108.5 33	60.5 5	155.5	43	326	46	B					
50	1975.1.29	03-09-59	26°34'	102°58'	巧家	20	65.5 SE	65	331.5 NE	82	61.5 8	156 25	106.5 23.5	201	11.5	315	63.5	B					
51	1975.12.1	02-22-19	27°14'	100°25'	丽江	20	25.5 NW	30	323.5 NE	75	53 15	296 60	22 52.5	253.5	25.5	151	25.5	B					
52	1976.8.16	22-06-46	32°42'	104°06'	松潘	15	175 SWW	48.5	147.5 NE	45	57.5 45	265 41.5	71.5 3	335.5	76	162	14	A					
53	1976.8.16	23-26-08	32°35'	104°10'	松潘		52 SE	72	328 SW	74	238 16	142.5 18	100 1.5	190.5	24.5	6.5	65.5	B					

54	1976.8.18	11-26-08	32°48'104°09'	松潘	5.2	10	83.5	S	80	357.5	W	68	268	22	174	10	312.5	8	219	23	61	65.5	B
55	1976.8.19	20-49-43	32°51'104°03'	松潘	5.8	5	40.5	SE	67.5	316.5	SW	75	226.5	15	130.5	22.5	87.5	5	180	27	347.5	62.5	B
56	1976.8.22	05-49-50	32°36'104°08'	松潘	6.7	10	58	直立	90	148	NE	58	58	32	148	0	107	22	8	22	238	58	A
57	1976.8.23	11-30-04	32°30'104°08'	松潘	7.2	22	174	W	58	215	SE	40	125	50	264	32	101.5	9.5	214	67	8	21	A
58	1976.9.1	09-06-51	32°29'104°05'	松潘	5.1	12	45.5	SE	84	321	SW	48	231.5	42	136	6	281	24	175	33	39	47.5	B
59	1976.9.3	17-57-28	27.8 100.2	中甸	5.5		79	NNW	59	344	SWW	82	254.5	8	349	31	297.5	27.5	35.5	15.5	151.5	57.5	B
60	1976.9.21	06-45-25	32°45'104°07'	松潘	5.0		76.5	SSE	77	353.5	SWW	62	263.5	28	166.5	13	307.5	10.5	211.5	29.5	54	58.5	B
61	1976.11.7	02-04-05	27°29'101°06'	盐源	6.9	29	28	SE	72	126	SW	68	216	22	118	18	166.5	29.5	257.5	3	353.5	61	B
62	1976.11.7	02-50-06	27°23'101°04'	盐源	5.6		31.5	直立	89	121	NE	77	31	13	121.5	1	345.5	8.5	76.5	10	215	77	B
63	1976.11.7	09-57-37	27°24'101°04'	盐源	5.7	20	4.5	SEE	80	98.5	SSW	70	188.5	20	95	10	140.5	21.5	233	7	340	67.5	B
64	1976.11.7	16-13-54	27°26'101°04'	盐源	4.5	20	67	NW	70	348	NE	62	78	28	337	20	119.5	5.5	25.5	35	216.5	54.5	B
65	1976.11.9	07-27-40	27°29'101°06'	盐源	5.3		25.5	NW	80	291.5	SW	70	201.5	20	295.5	10	157.5	7	250	21.5	50.5	67.5	B
66	1976.11.13	05-27-10	27°30'101°07'	盐源	4.7		23	SE	80	300	SW	54	210.5	36	113.5	10	155.5	32.5	256.5	17	9.5	52	B
67	1976.11.16	19-19-14	27°22'101°04'	盐源	4.9		15.5	SEE	80	108.5	SSW	75	198	15	105.5	10	151.5	18	242	4	342	71.5	B
68	1976.12.13	14-36-55	27°21'101°03'	盐源	6.8	20	38.5	NW	82	130.5	NE	75	40.5	15	308.5	8	354	16	85	5	190	72.5	B
69	1976.12.13	15-23-42	27°07'101°06'	盐源	5.1	17	16	SEE	75	283.5	NNE	80	13.5	10	106	15	150.5	4	59	18	251	71.5	B
70	1976.12.22	02-39-07	27°19'101°03'	盐源	5.2	19	31.5	NW	76	305.5	NE	75	35	15	301.5	14	348.5	21	78.5	1	170.5	69	B
71	1977.1.13	01-43-32	28°15'102°13'	冕宁	5.3	30	11	NWW	73	300	NE	43	30	47	281	17	72	18.5	322	46.5	177.5	38	B
72	1977.2.7	08-57-25	27°20'100°51'	盐源	5.1	20	4	W	79	270.5	S	75	181	15	274	11	136.5	3	227.5	19	38	71	B
73	1977.2.25	14-02-53	27°20'100°54'	盐源	4.7		8	NWW	85	279	NNE	80	9	10	277	5	323	10.5	53.5	4	161	78.5	B
74	1977.5.1	10-47-14	27°16'100°58'	盐源	5.3		33	SE	76	306	SW	78	123	14	216	12	170	18.5	79.5	1.5	345.5	71.5	B
75	1977.5.3	20-26-27	27°19'101°02'	盐源	5.6		17.5	NW	75	292.5	NE	72	22.5	18	287.5	15	334.5	24	65.5	2.5	160.5	66	B
76	1978.7.13	05-49-55	31°55'102°56'	黑水	5.4		83	SSE	65	325.5	NE	45	46	45	172.5	25	124.5	52.5	20	11.5	281.5	34.5	B

沿北西向和南北向分布,历史悠久、规模宏伟的北东向龙门山构造带上仅有三次 6 级地震零星分布,似乎不成其为一个地震带。从公元 814 年到 1978 年四川共发生 51 次 $M \geq 6$ 的地震,有 23 次发生在炉霍—康定—西昌带上,其中 6 次是 7 级以上的强烈地震,这个带通过则木河断裂带与云南东部的小江断裂带相连。正如李坪等指出,这个强震活动带与中更新世以来的“活动性断裂带”的位置十分吻合^[7]。松潘—茂汶带构成了一个南北向的地震活动带,这个带上也已发生了 12 次 $M \geq 6$ 的地震,其中 7 级以上的地震 3 次。马边地区 $M \geq 6$ 的地震似乎也是沿南北向排列,这个带可能向南延伸至云南的永善—大关附近。从地震震中的南北向排列(东经 104° 附近)和地震活动的呼应关系来看,松潘—马边很可能联合成四川境内的一个大南北向地震带,尽管这个带的地表地质标志可能不是那么明显。甘孜—理塘活动性断裂带上发生了两次 $M \geq 7$ 的地震。巴塘附近的地震活动可能与金沙江活动性断裂带有关,它继续向南南东方向延伸至中甸、丽江一带。北东向的龙门山断裂、玉龙雪山断裂上也有 6 级地震活动。

四、四川地区现代构造应力场

1. 四川现代构造应力场的主要性质

国内外大量震源机制解的结果、卫星照片上所显示的构造活动方式以及地震宏观调查都表明,与地震活动密切相关的现代构造应力场主要是水平性质的。根据表 1 的数据,求得了四川境内震源参数的平均值(表 2)。

表 2 四川震源参数的平均值

主压应力轴仰角平均值	15°1
主张应力轴仰角平均值	16°2
错动面仰角平均值	16°1
错动面倾角平均值	73°9

表 2 中给出的这些数据与阚荣举等对西南地区所获得的结果一致^[3]。由表 2 可知,四川地区现今构造应力场是很接近水平的,沿断层面的错动力也是接近水平的,可能的断层面的倾角相当陡立。这个结论与李坪等根据西南地区活动性断裂带长距离直线延伸而不受地形的影响,强震震中与地表所见的活动性断裂带相当吻合,推断这些活动性断裂带的倾角近乎直立的结论也是一致的^[7]。

2. 四川现代构造应力场分区

不少作者根据震源机制和地壳现代构造运动的资料对我国现代构造应力场的分区进行了探讨^[2,3,7]。由于问题本身的复杂性,加上不同作者所用资料的数量和质量的不同,对我国现今构造应力场的分区尽管轮廓大致相同,但实际上彼此间的差别仍然存在。

图 2 表示四川地区主压应力轴的平面分布和应力场分区。根据 P 轴的优势方向及主要构造线的展布特征,将四川现今构造应力场划分为 A、B、C 三区。

A 区 包括龙门山断裂带以南、安宁河断裂带以东的广大地区,向南可能延伸到云南的永善、大关一带。这个地区主压应力轴的优势方位为北西—北西西,北东东方位似乎也

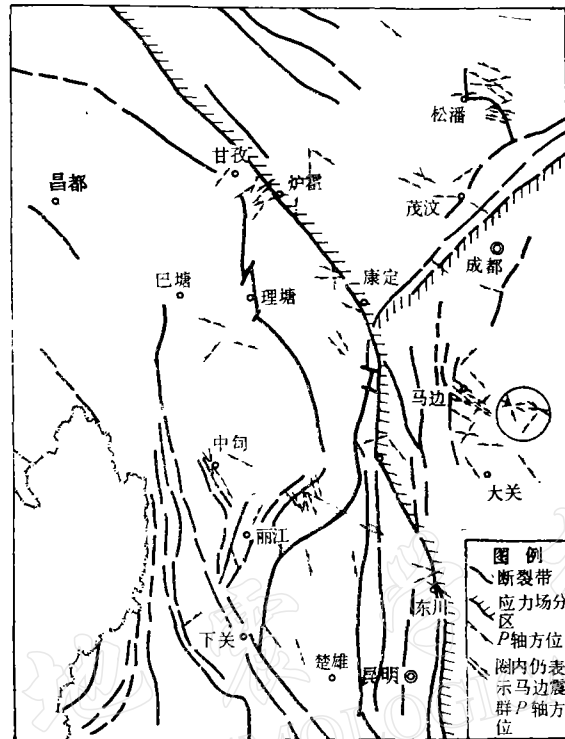


图2 四川地区主压应力轴的平面分布和应力场分布

有显示。1967年1月24日发生在此区龙泉山断裂带中段的仁寿5.5级地震其主压应力轴方位 103.5° ,大致与龙泉山断裂的走向正交。马边地区的应力场相当一致,绝大多数地震的 P 轴为北西-北西西方位,但1936年5月16日马边 $6\frac{3}{4}$ 级地震的 P 轴方位为 210.5° (北东向)。1974年5月11日永善-大关7.1级地震的 P 轴方位为 272° ,即近乎东西向,文献[3]中仅说这次地震主压应力轴方位为北西西,但无具体数据不好对比,看来仍与A区应力场的方向大体一致。

B区 包括龙门山断裂带以西、鲜水河断裂带以东的倒三角地带,向北延伸至青海、甘肃境内。此区主压应力轴的优势方位由西往东逐渐由北西偏转到北西西,但在此区的边界龙门山断裂带上主压应力轴的方位又变为北西,几乎与龙门山断裂带的走向正交。在这个倒三角带的北东角,似乎有两组优势主压应力轴的方位,一组为北西西,另一组为北东东。

C区 包括鲜水河断裂带与安宁河断裂带以西、金沙江断裂带以东的地区,向南延入云南境内。甘孜-炉霍一带 P 轴方位似以北东和北北东向为主,至康定一带转为北西西,再往南转为北西到北北西。1972年四川省地震局地震地质队在渡口三堆子进行地应力解除试验,得到平均最大主应力方向为北 37° 西,这与1955年6月7日华坪6级地震的 P 轴方位(北 12° 西)和1955年9月23日永仁 $6\frac{3}{4}$ 级地震的 P 轴方位(北 15° 西)相差不大。巴塘一带 P 轴方位既有北西西方向,也有北东方向,向南至中甸、丽江一带, P 轴方位

似以北西和北北西向为主。

3. 四川地区现代构造应力场与邻区现代构造应力场及板块构造的关系

如上所述, A 区主压应力轴的优势方位为北西-北西西, 这与阚荣举等的结论是一致的^[3]。王妙月等指出, 1962 年 3 月 19 日广东河源 6.1 级地震的 P 轴方位为北 73° 西。徐明同指出^[8], 发生在台湾东部及西部的大多数地震, 其主压应力轴方向为北西西-南东东, 与地震带的走向几乎垂直^[9]。A 区主压应力轴方位与我国华南地区以及台湾东带和西带的主压应力轴方位的一致性, 似乎表明欧亚板块和菲律宾海板块冲撞所引起的应力可能影响到本区。当然, 印度洋板块通过印度次大陆对欧亚大陆的碰撞看来造成了喜马拉雅北部和东部的广阔地区上传递的较高应力大概也影响到本区。

B 区主压应力轴的优势方位似乎有两组, 一组为北西-北西西, 另一组为北东东。C. 诺曼研究了我国西藏、新疆的震源机制后, 指出西藏断块相对新疆向东错动^[10]。但是, 我们认为在印度次大陆向北与欧亚板块顶撞时, 受到北面塔里木地块、柴达木地块、阿拉善地块和鄂尔多斯地块的阻挡, 迫使整个青藏块体向南东东方向错动, 这或许是造成包括喜马拉雅山、横断山、阿尔金山、祁连山、龙门山以及滇东断裂带所围限的广大地区内现代构造应力场和现代构造运动的根本原因。

C 区的 P 轴方位发生了规则的偏转。C 区北部的巴塘-炉霍一带 P 轴优势方位为北东-北东东, 这可用印度板块向北与欧亚板块顶撞时, 其喜马拉雅弧与缅甸弧的交汇部位可能如楔子的一角深深地嵌入了川滇藏交界一带来解释, 其交汇顶角直指巴塘-炉霍一带, 碰撞所引起的应力可能传递到 B 区的东北角。C 区中部和南部 P 轴方位由北西西转为北西-北北西, 这可能是如上所述的青藏块体向南东东方向错动时, 以花石峡断裂(北西西向)、鲜水河断裂(北西向)、金沙江断裂(北北西向)、安宁河断裂和绿汁江断裂(南北向)、则木河断裂(北北西向)、小江断裂这些容易错动的边界所围限的块体便自然地向南东或南南东方向错动, 造成了 C 区 P 轴方位的规则偏转。

图 3 是北纬 27° — 36° 、东经 80° — 104° 范围内 P 轴方位随经度的变化。东经 80° — 92° 范围内(即喜马拉雅弧的西段) P 轴方位由西往东逐渐由北西转为北东, 在 92° 经线附近, P 轴方位接近南北。东经 92° — 100° 地区 P 轴方位逐渐由南北转为北东。看来印度板块与欧亚板块正面顶撞范围的东界大概在东经 100° 附近, 其西界可能在东经 70° 的兴

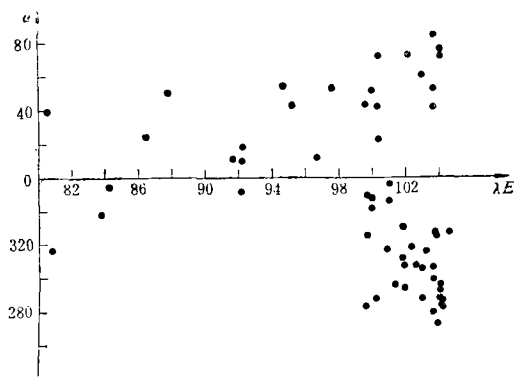


图 3 北纬 27° — 36° 、东经 80° — 104° 范围内 P 轴方位随经度的变化

都库什山附近, 其北界大概以塔里木地块、柴达木地块和阿拉善地块为界(大约北纬 40° 附近), 再往北由于印度板块的顶撞所产生的应力虽仍可传递过去, 但可能已经大为减弱了。在东经 100° 以东的范围内, P 轴优势方位似以北西西-北西-北北西为主, 北东-北东东也有显示。 P 轴方位的这种特点似乎反映印度板块向北与欧亚板块顶撞遭到北面坚硬地块的阻挡后, 迫使我国西部地区的一系列弧形断裂带之间的块体发生侧向错动, 随着这些弧形断裂带的弯转, 弧形断裂带之间的块体错动方向自然也发生偏转, 即由南东东逐渐转为南东和南南东方向。

五、四川地区现代构造运动特征

众所周知, 仅由 P 波初动解的结果还不能确定两个节面中究竟哪一个是断层面。我们的做法则是根据地震时形成的地裂缝带的走向、内圈等震线的长轴方向、余震区的长轴方向以及震中附近断裂带的走向从 P 波初动解的两个节面中选取走向相近的那个节面作为断层面, 进而讨论四川主要活动断裂带的现代构造运动特征。综合 P 波初动解的结果以及野外地质调查和地震宏观考察的资料, 得出以下的结论(参看图 4)。

A 区中北北东向的龙泉山活动性断裂带的现代构造运动以右旋水平错动为主, 南北向的利店断层、玛瑙断层也以右旋水平错动为主。区内南北向的主干断裂为峨眉-金阳大断裂, 地质调查发现它有右旋扭动的迹象, 因此我们有理由推测与利店断层、玛瑙断层平行的峨眉-金阳大断裂现代构造运动亦以右旋水平错动为主。

B 区中龙门山断裂带显示右旋错动, 并且逆掩错动和走向滑动都有。1976 年 8 月 16 日松潘 7.2 级地震群显然与北北西向的虎牙断裂带的活动有关, 逆冲与左旋走滑错动都有。

大量资料表明, C 区中北西向的鲜水河断裂带以左旋水平错动为主, 南北向的安宁河断裂和绿汁江断裂以及小江断裂、北北西向的则木河断裂和甘孜-理塘断裂的现代构造运动均以左旋水平错动为主。

1976 年 11 月 7 日盐源 6.9 级地震群可能与北东向的玉龙雪山断裂的活动有关, 现代构造运动以左旋水平错动为主。金沙江断裂似乎右旋走向滑动和左旋走向滑动都有。应当指出, 三江断裂带的现代构造应力场和现代构造运动是非常复杂的, 这里既受到印度板块与欧亚板块的直接顶撞, 同时藏青川块体向南东东转南东-南南东方向错动对这里的现代构造应力场和构造运动也有很大影响。

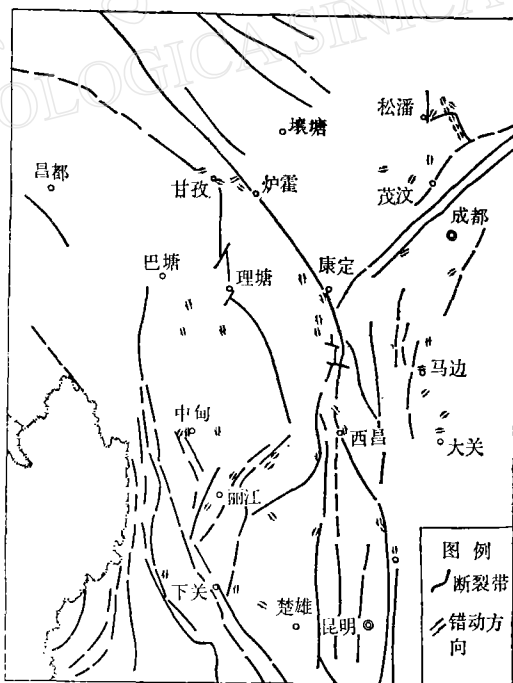


图 4 四川主要断裂带现代构造水平错动特征

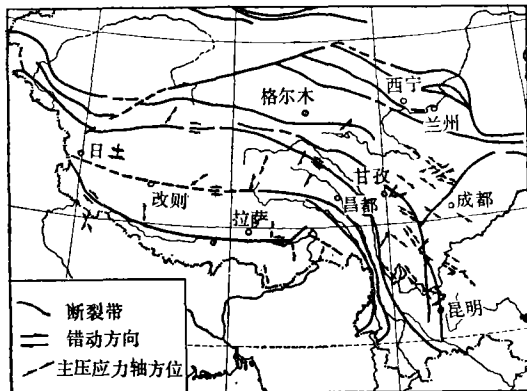


图5 我国西部地区 P 轴方位平面分布图

六、藏(西藏)—青(青海)—川(四川)块体向南东—南东—南南东方向运动

莫尔纳等认为,在亚洲的大多数古老褶皱带中,板块边界范围很宽,以至地震不在一个很确定的平面上发生,取向一致的震源机制解参数似乎是主压应力轴 $P^{[1]}$ 。应当指出,我国大陆和邻区大多数浅源地震是以水平错动为主的地震,滑动向量和主压应力轴方向具有同样重要的物理意义。

图5为我国西部地区 P 轴方位的平面分布图。如上所述,察隅—巴塘—甘孜一线以西的青藏地区 P 轴方位的规则偏转主要反映印度板块与欧亚板块的正面顶撞。察隅—巴塘—甘孜一线的 P 轴方位为北东—北东东向,表明遭受北东向弧顶的强烈挤压,因而迫使这一线南东侧以鲜水河断裂带、安宁河断裂带、则木河断裂带、小江断裂带以及金沙江断裂带和红河断裂带所围限的岩石圈块体向南东—南南东方向错动,这便是文献[3]中所说的川滇菱形块体向南南东方向运动。印度洋板块通过印度次大陆向北与欧亚板块顶撞的势头逐渐减弱,在北面遇到坚硬的塔里木地块和柴达木地块的阻挡,迫使昆仑山断裂带—花石峡断裂带和可可西里山断裂带—鲜水河断裂带之间的块体向南东东—南东方向运动。这样,我们就解释了上述广阔范围内现代构造应力场和现代构造运动特征的总轮廓。

上述结果都是极其初步的,随着资料的逐步积累,震源参数可能需要作进一步的修订,文中关于四川现代构造应力场的分区以及四川主要断裂带现代构造运动特征的讨论可能会有与其它观测资料不完全相符的地方,对应力场分区特征的定性解释也不一定妥当,这些都需要在实践中进一步改正。

参 考 文 献

- [1] 李春昱,用板块构造学说对中国部分地区构造发展的初步认识,地球物理学报, **18**, 1, 1975.
- [2] 时振梁等,我国强震活动与板块构造,地质科学, **4**, 1973.
- [3] 阙荣举等,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,地球物理学报, **20**, 2, 1977.
- [4] P. Molnar, & P. Tapponnier, Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision, *Science*,

- 189, 4201, 419—426, 1975.
- [5] 三東哲夫, 大陸内部の浅い地震とプレートテクトニクス, 地震, 2 輯, 24 卷, 3 号, 1971.
- [6] 三東哲夫, ヒマラヤ連峰周辺の地震活动, 科学, 41, 4, 1971.
- [7] 国家地震局西南烈度队著, 西南地区地震地质及烈度区划探讨, 地震出版社, 1977.
- [8] 王妙月等, 新丰江水库地震的震源机制及其成因初步探讨, 地球物理学报, 19, 1, 1976.
- [9] M. T. Hsu., Seismicity of Taiwan and Some related problems, *Bull., Intern. Inst. Seism. Earthquake Eng.*, 8, 41—160, 1971.
- [10] C. Roman, Buffering plate: Set of continental collision, *New scientist*, 57, 830, 1973.
- [11] P. Molnar, T. J. Fitch, and F. T. Wu, Fault plane solutions of shallow earthquakes and contemporary tectonics in Asia, *Earth planet. Sci. Lett.*, 19, 2, 101—112, 1973.

RECENT TECTONIC STRESS FIELD AND TECTONIC MOVEMENT OF THE SICHUAN PROVINCE AND ITS VICINITY

CHENG ER-LIN

(*Seismological Bureau of Sichuan Province*)

Abstract

This paper deals with the P-wave initial motion solutions of 76 earthquakes of magnitude greater than 5 occurred in Sichuan Province during the years 1933—1978. It discusses the particular features of the recent stress field in each separate region and its relation to the recent tectonic movement of the neighbouring regions and to plate tectonic theory. In combination with the results of geological and seismological field observations, the character of recent tectonic movement of the principal fracture systems of Sichuan Province has also been discussed. Finally, it is pointed out, that if we assume a rotation of the Tibet-Tsinghai-Szechwan block from SEE toward SE to SSE, the principal features of the recent tectonic stress and tectonic movement of Sichuan Province or entire West China can be explained.