

西海固地区构造应力场特征 及其与地震活动性的关系

陈爱玲 赵淑兰 吕德徽 李素琴

(兰州地震研究所)

摘 要

我们根据该区11个 $M_s \geq 3.5$ 级地震的震源机制资料,求得该区主压应力轴的平均方向为北东 75° ,平均仰角为 17° 。结合地形变资料和深部构造特征,讨论了该区构造应力场特征及其与地震活动性的关系。

一、震源机制资料

(1) 资料来源和方法 我们选用该区1973年至1979年有关地震的P波初动符号,资料主要来源于陕、甘、宁三省区的地震报告,部分是重新翻阅有关地震图得到的。结果一律采用乌尔夫网上半球投影法进行处理。因为该区大部分地震都发生在20—30公里的深度内,我们一律采用30公里的深度。其结果与20公里的相近。

此外,我们还利用1973年至1979年间记到的小震P波初动符号,按文献^[1]所述方法,求得了静宁台、河西堡台和岷县台附近地区的平均震源机制解,结果与单个地震解一致。用海原台单台资料没有得到机制解,下面另行讨论。

(2) 结果 根据上述方法,我们得到该区11个 $M_s \geq 3.5$ 级地震和4个小于3.5级地震的单个地震机制解,3个单台的平均震源机制解结果。为了清楚起见,我们将单个地震结果按资料情况和节面可变动范围分为(1)类和(2)类。结果如表1和图1—4所示。

从表1可见,该区大部分地震的主压应力轴方向为北东东,平均为北东 75° ,仰角 17° ,接近水平。所以,该区是处于北东东方向水平压应力的作用之下。

该区的P轴分布范围为北北东—南东东方向,如图4所示,北东和北东东方向较占优势。

西海固地区主压应力方向与周围地区有明显的差异。如图3所示。该区北部的银川、民勤一带,P轴近于南北方向^[2],如17号、18号地震所示。兰州、古浪一线以西地区,P轴为北北东方向,如16号青海的化隆地震,21号河西堡台平均震源机制解所示。南部天水地区主压应力方向为北东东,如14号、15号、20号地震所示。天水地区与西海固地区没有明显的差别。

所以与邻区相比,该区的P轴分布有它的独特性。前有文章^[3]提到,由于印度洋板块

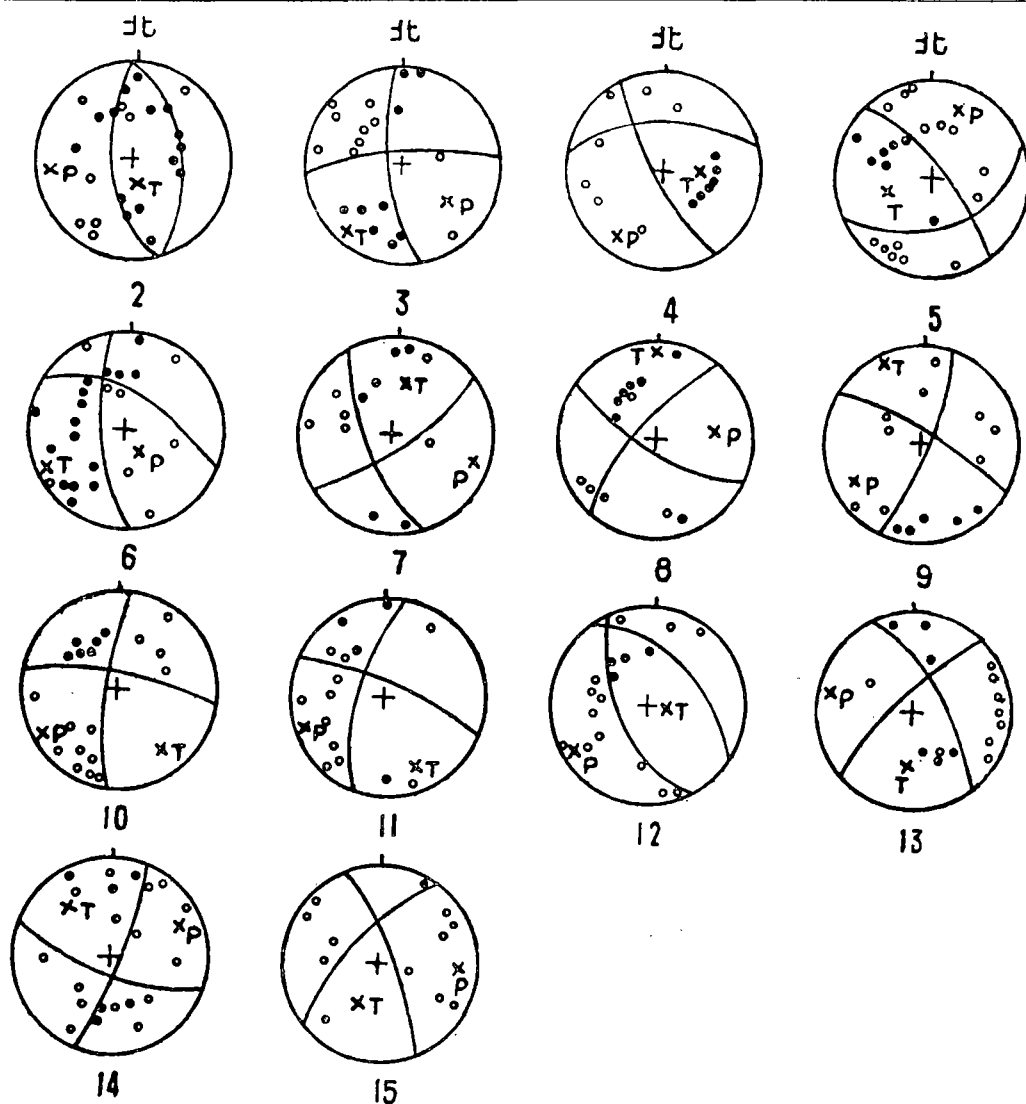


图1 西海固地区震源机制解

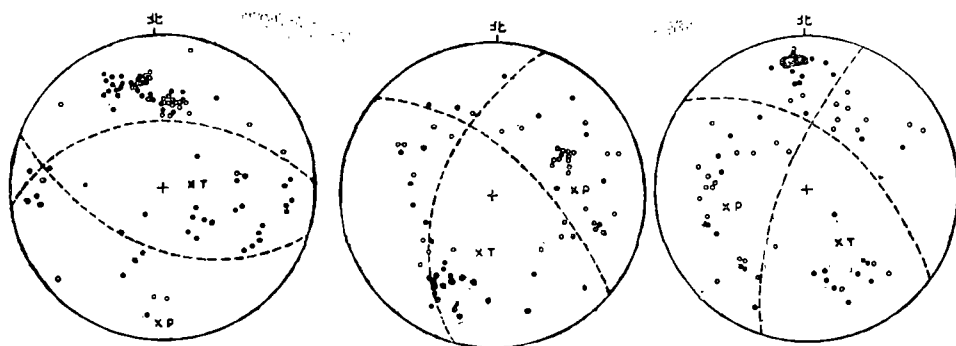


图2 平均震源机制解

静宁台
点数: 76
矛盾符号比: 20%

河西堡台
点数: 93
矛盾符号比: 21.5%

岷县台
点数: 108
矛盾符号比: 18.5%

西海固及邻近地区震源机制解

表 1

编号	发震日期	震中位置	地点	震级 M _s	节 面 A			节 面 B			X 轴		Y 轴		P 轴		T 轴		N 轴		精度	备注
					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		
1	70.12.8	N: 35.9° E: 105.5°	西吉	5.5	175	NW	46	284	SW	86	194	4	288	44	230.5	32.5	339	26.5	100	45.5	<1>	•
2	73.5.16	36°24' 106°22'	固原	4.4	357	SW	36	357	NE	54					266	10	87	80			<1>	
3	74.4.22	35°49' 106°05'	西吉	3.9	349	NE	70	84	SE	78	179	26	78	20	126	34	218	4	292	66	<1>	
4	74.12.2	35.3° 106°32'	华亭	3.7	264	SE	46	331	NE	70	62	20	173	43	213	12	108	48	314	40	<1>	
5	74.8.23	36°24' 106°19'	固原	4.1	316	SW	74	61	NW	38	335	48	227	14	19	19	256	40	126	35	<1>	
6	76.2.13	36°05' 106°13'	固原	3.6	345	NE	58	29	SW	48	200	42	77	32	130	58	229	6	324	32	<1>	
7	76.4.23	37°08' 105°57'	同心	3.2	326	NE	60	47.5	NW	74	317	14	56	30	100	10	8	33	205	55	<2>	
8	76.7.6	36°46' 104°56'	靖远	3.0	303	NE	66	43	SE	70	133	21	34	24	85	34	353	2	158	58	<2>	
9	77.6.4	35°37' 105°00'	会宁	3.0	284	SW	80	16	WN	80	276	10	194	9	240	14	330	0.5	62	77	<2>	
10	77.7.9	36°20' 106°17'	固原	3.6	2	SE	72	95	SW	70	185	10	92	8	229	1	140	13	319	64	<2>	
11	77.7.17	36°12' 106°18'	固原	3.5	293	SW	76	12	SE	50	111	10	204	14	246	8	156	17	306	46	<2>	
12	77.8.30	35°52' 106°22'	固原	3.1	326	NE	56	314	SW	34	224	55	54	34	230	10	68	78	320	5	<1>	
13	74.6.24	34°51' 103°40'	临泽	3.5	332	SW	60	50	SE	70	140	20	243	30	284	6	189	36	21	53	<1>	
14	79.7.25	34°29' 105°18'	礼县	4.7	14	NW	86	104	NE	70	15	20	174	4	60	11	327	17	184	70	<1>	
15	74.1.26	34°59' 104°34'	陇西	3.5	331	SW	68	41	SE	50	132	40	242	22	92	10	194	36	354	42	<2>	

单台平均震源机制解

19	1973~ 1978	静宁台			16	SE	54	308	SW	64	208	16	106	36	62	13	162	37	334	41		
20	1973~ 1976	岷县台			354	SW	30	347	NE	60	80	30	262	60	259	14	74	76	170	2		
21	1973~ 1976	河西堡台			88	SE	48	111	NE	48	23	42	177	46	182	1	97	78	282	12		

• 国家地震局资料

向北推挤作用,造成青藏块体上放射状分布的主压应力线,其方向随着块体边缘方向的变化而改变。该区正是主压应力方向由北北东向转为北东东方向的转折地区。详细研究该区应力场情况是很有必要的。

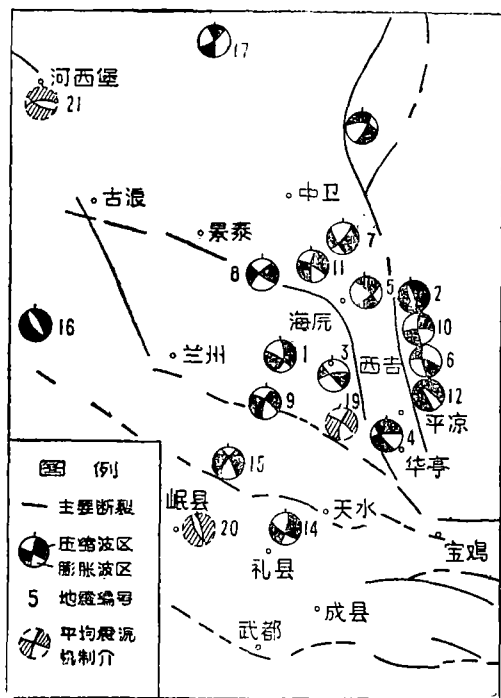


图3 西海固地区P波节面解平面图

准等同志认为华北地区小震反映的构造应力场方向与大震一致〔4〕,叶洪等同志认为华北地区4.0级以上地震的机制解才可用以讨论应力场特征〔5〕。日本西南地区的资料表明3.0级以上的地震其主压应力方向与强震的一致〔6〕。我们认为,多大地震的机制解能够反映应力场特征的问题,主要取决于各地区构造应力场的均一性和稳定性程度,在一些应力场较均一和稳定的地区,小地震P轴优势分布方向可以代表区域应力场的主压应力方向。我们所得多数小地震的P轴方向与1970年西吉5.1级地震机制解的P轴方向一致。与海原地震形变带反映的主压应力方向也一致。

当然,不能否认大震前小震的震源参数会发生某些变化〔7〕,但是看来这种变化时间较短,不会改变其常年优势分布方向。我们统计了1976年巴音木仁6.2级地震前、后共四年时间内,震源区附近的石咀山台,宗别里台所记到的一定范围内小震P波初动符号的变化情况。这些震中的分布范围为:北纬 $39^{\circ}46'$ ~ $40^{\circ}10'$,东经: 106° ~ $106^{\circ}56'$ 。宗别里台的震中距范围为53公里~165公里。石咀山台为53~124公里。震级范围为:1.0~3.0级,其结果如表2和图5所示。

从表2和图5可以看到:

<1>在统计时间内,石咀山台以正号占优势,宗别里台以负号占优势。

<2>震前几个月,两个台的符号比都发生了变化,石咀山台的正号所占百分比由原来的71%降至40%,宗别里台的负号比由89%降至69%,确切地说,从1976年4月27日开始,两

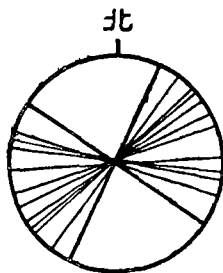


图4 P轴分布方位

应当提出,在海原和固原东北地区,有几个发生在小范围内的地震,其P轴分布很不一致,甚至彼此交汇。如2号、5号、14号地震所示。这可能是由于该处是南北向构造与北西向构造的交汇处,构造情况复杂所致。我们用海原台单台资料也没有得到节面解。

关于多大地震的机制解可用以讨论应力场特征的问题,目前尚存在不同看法。许忠

两个台的P波初动符号变化表 表 2

	石 咀 山 台		宗 别 里 台	
	正号 %	负号 %	正号 %	负号 %
1975年	5 71%	2 29%	1 11%	83 89%
1976.9.23前	10 40%	15 60%	13 21%	29 69%
1976.9.23 ~1977年	70 66%	36 34%	10 17%	73 83%
1978年	2 100%	0 0%	1 20%	4 80%
总平均	62%		79%	

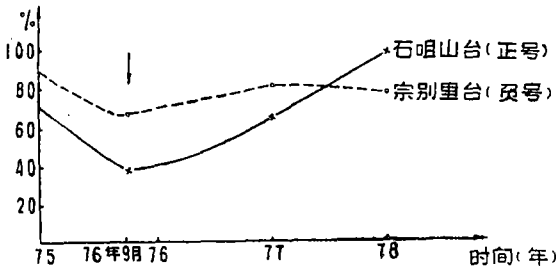


图 5 两个台的 P波初动符号百分比变化

个台的初动符号才开始发生了反向变化，震后 P波初动符号又恢复到原来的状况。

虽然大震前小震的 P波初动符号会发生变化，但变化时间短，在较长时间的统计过程中，这种短期的波动被过滤掉了，所以单台所记到的一定范围内的多个地震的 P波初动符号，仍能反映构造应力场的方向。

以上所述该区构造应力场的特征

也为地形变资料所证实。

二、地形变测量结果

根据该区的三角网和基线测量结果，其最大压缩方向为北东至北东东方向〔8〕，与上述震源机制解结果吻合。地壳形变的总特征为地壳受水平挤压而缩短。这种缩短的形变不仅表现在边缘断裂上，而且也表现在块体内部，据测量结果*，自兰州到海原，存在几条北西向的隆起和凹陷，它们彼此平行相间排列，这种继承性的隆皱特征可追溯到新生代，说明该区构造应力场的稳定性，自新生代以来就处于水平的北东方向的挤压应力场作用之下。

西吉地震前，静宁一带出现北西向隆起，说明临震前由于水平挤压力的增强引起的隆皱作用的加剧。海原地震形变带所表现的田埂的水平错动，鼓包呈边幕式的排列，由此显示了水平压应力的作用〔12〕，此外，由该区的深部构造特征也证明了这个结果。

三、深部构造轮廓

由该区的百万分之一重力异常图，用安德烈夫方法反演地壳厚度，得到了该区莫氏面埋深图**，如图 6 所示。

• 兰州地震大队测量队：甘肃东部地壳形变现状与地震趋势意见，1976。
• 兰州地震大队中长期队：兰州地区基本烈度区划报告。

由图6可见,该区莫氏面呈现东高西低的斜坡带特征。其埋深由海原、固原一带的49公里,向西逐渐加深,至庄浪河一带为54公里。是一个向西倾伏的斜坡。莫氏面等值线形态复杂,扭曲明显,但没有显示出上地幔隆起的现象。这与喜马拉雅中部地区地壳结构特征很类似〔9〕。

我国西部地区受印度洋板块向北推挤作用,主要是水平挤压应力场。青藏块体中的每个小板块,由于水平滑移条件的差异,如壳一幔之间粘着程度的不同,物质组分,温压条件等的差异〔10〕〔11〕,使各块体产生不同的滑移速度和方向。西海固地区位于青藏块体的东北边缘,在北东向水平应力作用下,向北东方向移动,由于受到鄂尔多斯块体的阻挡,地壳褶皱缩短,断裂多表现为逆冲和逆冲一走滑性质。如六盘山断裂和南西华山断裂。莫氏面显示斜坡带特征。这与我国东部地区引张应力场造成的正断层活动、震源区往往与上地幔隆起密切相关、垂直力在我国东部地区地震孕育过程中起了很大作用的情况很不相同。而该区深部没有上地幔隆起现象,主要是水平力的作用。

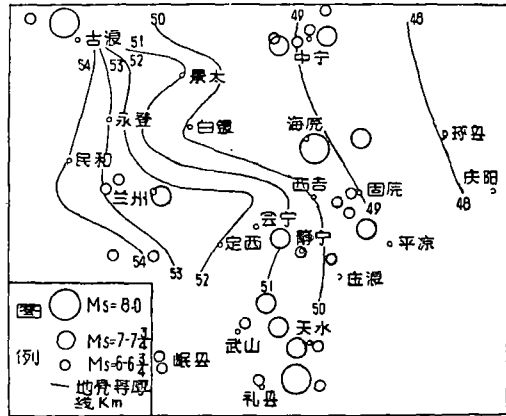


图6 兰州地区地壳厚度与强震震中分布图

四、地震活动性

如图7强震震中分布图所示,强震主要分布在几条边缘断裂带上和一条近南北方向的地震带上。

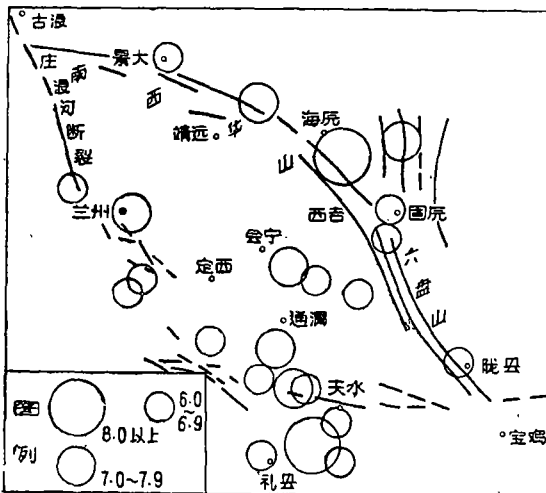


图7

有趣的是,南西华山和六盘山断裂带,据地质资料〔12〕,无论是断裂规模、断裂切割深度或是断裂晚近活动程度,两者都很相似。但它们在地震活动性上却有很大的差异。海原地震及其强余震都分布在南西华山断裂上,而六盘山断裂历史以来地震很少,最大的地震是1706年的陇县6.0级地震。这可能与断裂展布特征和应力作用方式有关。南西华山断裂走向北西西,在北东东向水平压应力作用下,作左旋走滑运动。曾有人提到该断裂的转换断层性质〔3〕,这些都可能是地震活动性强的原因。而六盘山断裂,展布方向为近南北,产状

直立,在北东东向水平压应力作用下,主要承受正面挤压作用,不容易沿断层面发生错动,所以地震少而小。显然,地震的发生是断裂和应力共同作用的结果。

从图7还可以看到,自礼县、通渭直至海原一带,地表虽无明显的大断裂与之对应,但从该区百万分之一重力异常图上,略可看出有一条近南北方向的重力异常带,推测深部可能存在断裂。

西吉地震前,通渭,会宁一带小震活动明显增强,表明西吉、海原一带的地震活动与这条近南北向的地震活动带有关。今后仍应注意这条带上的地震活动情况。

小 结

从以上资料分析,可以得到如下看法:

(1)在构造应力场比较稳定和均一的地区,小震机制解的P轴优势分布方向可以代表构造应力场的方向。

(2)从该区震源机制资料,地形变和深部构造特征都说明该区的地震活动是受水平的北东东方向的应力场的控制的。地震带及邻近地区没有显示上地幔隆起的现象。

本文的完成得到郭敬信、张诚同志的指导,在此表示感谢!

(本文1980年9月30日收到)

参 考 文 献

- [1] 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。
- [2] 国家地震局,中国震源机制的研究,1973。
- [3] 刘百箴,中国大陆地震的应力调整场动态模型,地震地质,Vol.1, №.3, 1979。
- [4] 许忠准等,京、津、唐、张地区地震应力场的方向特征,地震学报,Vol.1, №.2, 1979。
- [5] 叶洪等,初论华北板内地震断层特征及其与地壳上地幔动力学过程的关系,地震地质, Vol.2, №.2, 1980。
- [6] Kiyoji Shiono, Focal mechanism of major earthquakes in Southwest Japan and their tectonic significance. J. phy. earth, Vol.25, №.1, 1977。
- [7] Precursory reorientation of axes due to vertical migration of seismic activity? J.G.R. Vol.82, №.2, 1975。
- [8] 李玉龙,陕、甘、宁、青四省区新构造与现代构造应力场及其动力来源的初步分析,西北地震学报, Vol.1, №.4, 1979。
- [9] 刘元龙等,喜马拉雅山脉中部地区的地壳构造及其地质意义的探讨,地球物理学报, Vol.20, №.2, 1977。
- [10] 郭增建、秦保燕,震源物理,地震出版社,1979。
- [11] 邓起东等,中国构造应力场特征及其与板块运动的关系,地震地质, Vol.1, №.1, 1979。
- [12] 兰州地震研究所、宁夏回族自治区地震队,一九二〇年海原大地震,地震出版社, 1980。

THE CHARACTERISTICS OF TECTONIC STRESS FIELD
AND ITS RELATIONS TO SEISMICITY IN
XIJi-HAIYUAN-GUYUAN REGION

Chen Ai-ling Zhao Shu-lan Lu De-huei Li Su-qin
(The Seismological Institute of Lanzhou)

Abstract

Based on the ^{obtained} data of fourteen earthquakes mechanism solutions ($M_s \geq 3.5$), the average orientation of principal compression stress axis ^{is} NE74° and its dip (18°) in Xiji-Haiyuan-Guyuan region ^{have} ~~been~~ ^{measured} ~~obtained~~ in connection with the data of ^{crustal} ~~crustal~~ deformation ^{measurements} ~~measurements~~ and the ^{deep} ~~deep~~ structure, the relations between tectonic stress field and seismicity have been discussed.