

宁夏地区的震源机制与应力场

李孟銮 赵知军

(宁夏地震研究所)

摘 要

本文利用宁夏地震台网观测资料,讨论了宁夏区内七个地区的区域应力场,并且给出了16次中强地震的震源机制解。结合大地形变测量资料分析认为,宁夏北部银川平原的区域应力场以北东方向的主压应力占优势。宁夏南部西(吉)、海(原)、固(原)地区的区域应力场以北东方向的主压应力占优势。南部和北部两区域的分界带在中卫、中宁一线。中卫附近的主压应力方位为 165° ,与其南部、北部地区都不相同。本文研究结果认为,现今宁夏构造应力场的格局与印度板块和太平洋板块的共同作用有关,其中印度板块的推挤起主导作用。

一、七个区域的震源机制与应力场

宁夏是我国多地震的省区之一,但是由于受到地震观测台网控制能力的限制,不可能对所有 $M \geq 4.0$ 级的地震都做出震源机制解答。因此,我们借用文献〔1〕和〔2〕的方法,对石咀山、固原等七个地区分别做出了小地震综合断层面解,求得的结果如下。

1. 石咀山地震台所在地区的应力场 石咀山地震台建于1970年,台站位置在石咀山矿务局化工厂附近(北纬 $39^\circ 18'$,东经 $106^\circ 41'$)。该台于1974—1978年共记录到172次P波初动清晰、并且能够确定震中座标的地震。其中最大震级为4.9,最小震级为1.3,震中距离最远的为200公里,最近的为9公里,一律采用P波初动符号,做出的结果如下:

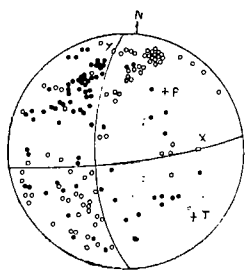


图1 石咀山小震
断层面综合解

节面A走向: 77°	倾向: 347°	倾角: 78°
节面B走向: 174°	倾向: 84°	倾角: 59°
X轴方位: 84°		仰角: 28°
y轴方位: 347°		仰角: 11°
P轴方位: 31°		仰角: 28°
T轴方位: 128°		仰角: 12°
N轴方位: 238°		仰角: 56°

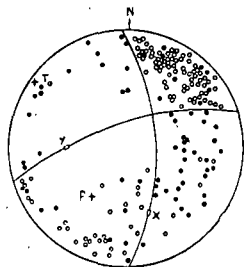


图2 宋别立小震
断层面综合解

节面A走向: 176° 倾向: 266° 倾角: 62°
 节面B走向: 72° 倾向: 162° 倾角: 68°
 X轴方位: 162° 仰角: 22°
 Y轴方位: 267° 仰角: 28°
 P轴方位: 212° 仰角: 38°
 T轴方位: 304° 仰角: 4°
 N轴方位: 39° 仰角: 52°

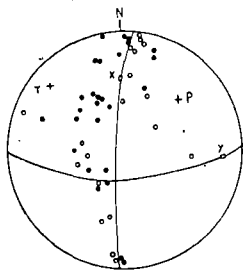


图3 灵武小震断层面综合解

节面A走向: 0° 倾向: 96° 倾角: 80°
 节面B走向: 91° 倾向: 1° 倾角: 62°
 X轴方位: 1° 仰角: 28°
 Y轴方位: 96° 仰角: 10°
 P轴方位: 51° 仰角: 27°
 T轴方位: 315° 仰角: 12°
 N轴方位: 204° 仰角: 60°

其中X、Y分别为节面A、B上盘错动方位, P、T、N分别相当于最大、最小和中等压应力轴。上述结果如图1所示。因为所用资料中68%的震中距离小于80公里, 所以该结果可以代表以石咀山地震台为中心、80公里为半径的区域应力场。

2. 宗别立地震台所在地区的应力场 宗别立地震台位于阿拉善左旗宗别立公社所在地(北纬 $39^\circ 14' 34''$, 东经 $106^\circ 11' 32''$), 台址为出露的花岗岩, 使用DD-1地震仪, 放大倍数为7万倍左右。该台于1974—1978年共记到202次P波初动清晰并能确定震中经纬度的地震。最大震级为4.4, 最小震级1.3, 震级大于2.0级的地震占地震总数的85%, 震中距离最远的205公里, 最近的17.5公里, 其中震中距离在100公里范围内的占62%。利用这202个地震的P波初动资料采取上半球投影求得的小震断层面综合解见图2。

3. 灵武地震台所在地区的应力场 灵武地震台建于1970年, 台站位置在灵武县城东南(北纬 $38^\circ 05' 24''$, 东经 $106^\circ 22' 06''$), 使用64型熏烟地震仪, 放大倍数仅一万倍。该台于1974—1978年记到36次P波初动符号清楚并且能够确定震中座标的地震。最大震级4.4, 最小震级1.9, 震中距离最远的为184公里, 最近的167公里, 震中距离小于50公里的占72.3%。根据这39次地震的初动资料, 采用上半球投影做出的灵武地震台小地震断层面综合解如图3所示。这个结果实际上代表以灵武地震台为中心以50公里为半径的区域内的应力场。

4. 固原地震台所在地区的应力场 固原地震台建立于1965年, 1970年又进行了改造, 该台位于固原县城附近(北纬 $36^\circ 00' 42''$, 东经 $106^\circ 16' 54''$), 使用的64型熏烟地震仪, 放大倍数为一万倍。1974—1978年间该台记录到52个P波初动清晰并且能够确定震中座标的地震, 最大震级为4.6, 最小震级为1.8, 震中距最远的180公里, 最近的18.3公里, 其中震中距离小于80公里的地震占83%。用上半球投影得到小震断层面综合解如下(见图4):

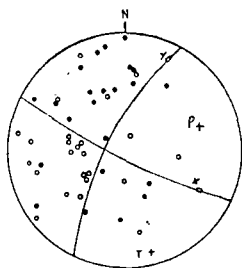


图4 固原小震断层面综合解

节面A走向: 116° 倾向: 26° 倾角: 80°
 节面B走向: 30° 倾向: 119° 倾角: 70°
 X轴方位: 119° 仰角: 20°
 Y轴方位: 26° 仰角: 10°
 P轴方位: 72° 仰角: 21°
 T轴方位: 164° 仰角: 7°
 N轴方位: 268° 仰角: 67°

上述结果实际上可以代表以固原地震台为中心，以80公里为半径区域内的应力场。

5. 海原地震台所在地区的应力场 海原地震台设在海原县城南偏西方向，摆房距县城9公里。该台1974—1978年记录到49次P波初动清楚并且能够确定震中位置的地震，最大震级为4.5，最小震级为1.6。震中距离最远的为210公里，最近的为10公里。其中震中距离小于80公里的占64%，能够确定震源深度的地震占60%，无法确定深度的地震一律采用20公里（该地区的优势震源深度）。利用这49次地震资料，求得的海原地区小震断层面综合解（采用上半球投影）见图5。上述结果实际代表以海原台为圆心，以80公里为半径区域的应力场。

6. 西吉地震台所在地区的应力场 西吉地震台位于西吉县城东南角（北纬 $35^{\circ}57'42''$ ，东经 $105^{\circ}44'17''$ ），地震仪放大倍数为5千倍。该台1975—1978年共记录到P波初动清楚并且能够确定震中位置的地震40次。最大震级4.4，最小震级1.6，震中距离最远的为214公里，最近的为17.5公里，其中小于100公里的地震占80%。采用上半球投影，做出的西吉台小震断层面综合解见图6。

7. 中卫地震台所在地区的应力场 中卫地震台建于1970年，位于中卫县黄河以南常乐公社附近（北纬 $37^{\circ}27'00''$ ，东经 $105^{\circ}07'00''$ ）。由于该地区近几年来地震次数较少，所以中卫地震台从1974年至1978年只记到51次P波初动清楚并且可以确定震中位置的地震，其中最大震级4.4级，震中距离小于170公里的地震占72%。根据这些资料，求得的该地区小震断层面综合解见图7。

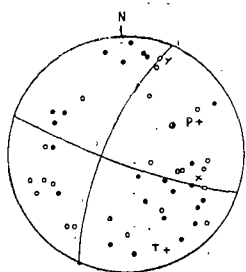


图 5

海原小震断层面综合解

节面A走向: 110° 倾向: 20° 倾角: 80°
 节面B走向: 25° 倾向: 115° 倾角: 70°
 X轴方位: 115° 仰角: 20°
 Y轴方位: 20° 仰角: 10°
 P轴方位: 67° 仰角: 21°
 T轴方位: 159° 仰角: 7°
 N轴方位: 265° 仰角: 67°

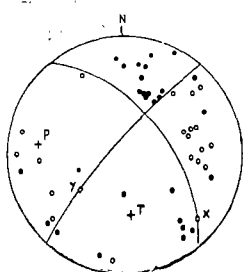


图 6

西吉小震断层面综合解

节面A走向: 141° 倾向: 231° 倾角: 50°
 节面B走向: 42° 倾向: 132° 倾角: 80°
 X轴方位: 133° 仰角: 10°
 Y轴方位: 232° 仰角: 40°
 P轴方位: 277° 仰角: 19°
 T轴方位: 174° 仰角: 35°
 N轴方位: 31° 仰角: 48°

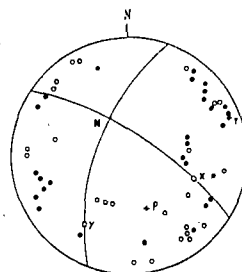


图 7

中卫小震断层面综合解

节面A走向: 123° 倾向: 213° 倾角: 70°
 节面B走向: 21° 倾向: 111° 倾角: 60°
 X轴方位: 111° 仰角: 30°
 Y轴方位: 214° 仰角: 20°
 P轴方位: 165° 仰角: 37°
 T轴方位: 70° 仰角: 6°
 N轴方位: 331° 仰角: 52°

结果表明，中卫地区的小区域应力场与宁夏北部银川平原和南部的西海固地区都不一样。这一方面表现在它的最大主压应力方向为 165° ，另一方面还表现在主压应力与水平面的夹角比较大。从历史强震资料分析，1709年中卫7级地震的内圈等震线长轴方向是近东西向的，与北部地区和南部地区强震等震线长轴方位相差也比较大。由于内圈等震线的长轴方向受发震构造走向和震时破裂方式的影响，所以推测该次地震的发震构造也是近东西向的，这

一点与地质资料提供的结果相吻合。据1972年宁夏地震区划小组的工作成果,展布在中卫、中宁一带的宁卫北山构造就是近东西向的。再结合近十几年来的弱震活动情况来看,宁夏地震活动的分区性特别明显,银川平原与西海固地区是宁夏的两个主要地震区,它们的发震构造走向、区域应力场、地震活动强度与频度等都不相同,而中卫、中宁地带则为宁夏南北两地震区的过渡地带。

尽管有人对用小震综合断层解代替区域应力场提出了异议,但是考虑到地壳结构的不均匀和目前观测水平等情况,至少作为定性的讨论问题还是可以的。综合上述七个地区的小震断层面综合解,我们可以看到,宁夏北部地区的主压应力方向是以北北东方向为主的,这与1976年巴音木仁6.2级地震的震源机制结果也是一致的〔8〕。宁夏南部地区的主压应力方向则向东偏转,以北东东方向占优势。处于中间地带的中卫、中宁地区的主压应力近乎南北方向。但是,它们的仰角都比较小,反映出宁夏地区的应力场以水平方向的压力为主。这与我们整个华北地区的应力场格局也是相类似的〔4—8〕。

二、大地测量资料

七十年代以来,原国家地震局兰州地震大队地震测量队(现国家地震局第二测量队)在宁夏先后开展了基线和水准形变测量工作。根据他们的测量成果,基线测量最大缩短方向和三角网计算边的最大缩短方向都以北东——南西方向占优势,反映出本区地壳主要受北东——南西方向的挤压力作用。其中部分测量成果如表1和表2所示

宁夏及邻区三角网计算边的最大缩短方向

表1

测点地名	测点位置	复测年限	最大缩短方向
海 渤 湾	39°42'N 107°02'E	1971—1973	N60°E
海 渤 湾	39°26'N 106°51'E	1971—1973	N27°E
乌 达	39°35'N 106°36'E	1971—1973	N15°E
正 义 关	39°16'N 106°36'E	1970—1976	N8°E
小 口 子	38°38'N 105°58'E	1970—1976	N22°E
石 咀 山	39°15'N 106°46'E	1970—1976	N45°E
中 卫 南	37°23'N 105°12'E	1971—1976	N35°E
干 盐 池	36°40'N 105°19'E	1971—1977	N30°E
固 原	36°03'N 106°04'E	1971—1977	N28°E
靖 远	36°57'N 104°42'E	1971—1976	N27°W
静 宁	35°33'N 105°40'E	1971—1974	N76°E
陇 县	35°54'N 106°48'E	1971—1977	N45°E
冯 家 山	34°35'N 107°55'E	1971—1976	N45°E

根据李玉龙同志的分析,上述测量结果显示宁夏北部和南部地区有明显的差异〔9〕。北部地区的最大压缩方向以北东——南西为主,南部地区则以北东东——南西西方向为主。这一特点与前述七个地区应力场特征是相吻合的。

另外,根据原兰州地震大队地震测量队的水准复测结果,宁夏海原地区呈现出大面积的隆起。这个隆起变化是以兰州市基准水准点作为固定不动点,其余点与它比较而得到的。隆起与当地第四纪以来的地形是相一致的。这说明由大地水准测量显示出的大面积隆起是带有继承性质的,它继承了第四纪以来的构造运动。1920年海原8½级大震的发生可能与这种隆起作用有关。无论如何,隆起现象的存在证实了该区是以受压力作用为主的应力场,而不是

宁夏及邻区基线测量缩短方向

表 2

测点地名	测点位置	复测年限	变化值 (mm)	变化方向	备 注
老石旦 (内蒙海勃湾)	39°23'N 106°51'E	1971—1973	-3.90 +2.28	N 8°E N 38°W	三个基线方向
克沙洞 (内蒙海勃湾)	39°45'N 106°50'E	1971—1976	-0.92 +1.21	N 80°W N 37°E	六个基线方向
正义关 (石咀山)	39°14'N 106°15'E	1970—1976	-1.03 -2.62 -1.99	NEE N 6°E NE	三个基线方向
大口子 (甘省民勤)		1971—1975	+0.39 -0.11 -1.03	NWW NNE N 68°E	"
干盐池 (海原)	36°40'N 105°19'E	1977—1978	-0.49 -0.97	NW N 35°E	"
后磨河 (固原)	36°00'N 106°14'E	1971—1978	-2.28 -0.98	N 58°E N 3°E	"

受引张作用为主。与此同时，宁夏北部贺兰山东麓晚第四纪洪积扇裙，被北东、北北东向断层切断，地貌上形成连续长达数公里的断层陡坎。明代长城（距离4—5百年）被右旋走滑正断层错开，水平错距达1.45米。上述这些地貌特征及构造运动形迹也证明了前述应力场的存在。

三、宁夏地震的震源机制解

根据宁夏、甘肃、陕西、内蒙四省区的地震台网观测报告，我们处理了12次中强地震的震源机制，另外还借用了国家地震局震源机制研究小组处理的4次宁夏地震的结果（见表3图8）。这16次地震的震源机制解一致表明，宁夏地区的最大压应力方向是以北东——南西方向占优势的。主压应力轴的仰角都比较小（75%的小于30度），反映出宁夏地壳运动以水平作用为主。另外，举世闻名的1920年海原8½级大地震虽然由于资料的限制，做不出满意的震源机制解答，但是根据文献〔10〕的分析，该次大地震是沿北西方向的断裂逆时针扭动的，受到的应该是北东或北东东方向的主压应力。因为这次地震震级特别大，所以由它确定的应力场其影响范围也应该是很大的。根据日本浅田敏的观点可影响地壳几百公里，还包括与此相应的深度。

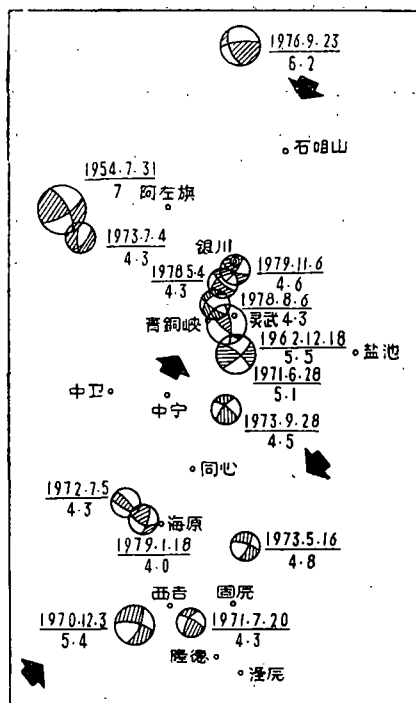


图 8 宁夏部分地震的节面解

宁夏部分地震的震源机制解

表3

编 号	发震日期 年、月、日	震 中 位 置			震 级	A 节 面			B 节 面			P 轴		T 轴		备 注
		纬 度	经 度	地 名		走向	倾向	倾角	走向	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	
1	1954.7.31	38.8°	104.7°	民勤东	7	150	SW	85	60	NW	80	15	4	285	10	
2	1962.12.18	38.0°	106.2°	吴 忠	5.5	284	NE	60	140	SW	35	209	19	323	66	
3	1970.11.30	35.9°	105.5°	西 吉	4.0	279	NE	65	34	SE	48	57	50	161	11	
4	1970.12.3	35.9°	105.6°	西 吉	5.4	284	SW	87	18	NW	48	238	24	346	34	
5	1971.6.28	37.8°	106.3°	吴 忠	5.1	58	NW	50	310	SW	70	9	15	268	45	
6	1971.7.20	35°50′	105°54′	西 吉	4.3	294	SW	59	7	ES	65	241	8	149	41	
7	1972.7.5	36°7′	105.3°	海 原	4.3	277	NE	66	342	SW	48	216	11	320	50	
8	1973.5.16	36.4°	106.4°	固 原	4.8	15	NW	78	280	SW	65	211	31	145	9	
9	1973.7.4	38.6°	104°9′	左 旗	4.3	44	NW	30	356	E	70	53	60	283	21	
10	1973.9.28	37.4°	106.2°	同 心	4.5	22	ES	55	304	SW	75	70	12	181	35	
11	1974.8.23	36.4°	106.3°	固 原	4.5	12	ES	40	45	NW	54	273	85	102	6	
12	1978.5.4	38.3°	106.2°	永 宁	4.3	32	ES	40	110	EN	80	56	42	170	25	
13	1978.6.14	35°52′	105°38′	西 吉	4.4	344	SW	56	98	NE	60	222	2	313	49	
14	1978.8.6	38°1′	106°2′	永 宁	4.3	36	ES	30	112	NE	82	51	45	179	31	
15	1979.1.18	36°38′	105°27′	海 原	4.0	8	NW	68	286	NE	66	58	3	326	32	
16	1979.11.6	38°4′	106.2°	银 川	4.6	18	NW	80	112	NE	70	66	6	333	22	

四、讨 论

宁夏地处我国东、西两部分交接地带，我国大陆地壳埋藏深度在宁夏以东和以西变化很大。因此，这里是地壳应力集中的地区。北部的银川平原地震区和南部的西海固地震区都是我国有名的地震区，现今地震活动仍然十分频繁。六盘山正处青藏高原块体东北角的拐弯部位，这里巨厚的第三系和白垩系岩层遭受强烈的褶皱隆起，在小关山处见到白垩系地层向东推复到第三纪地层之上，这条断裂在小关山为北北西方向展布，向西呈弧形转为北西西并与祁连山北缘大断裂相连。这样的构造形迹与上述大地水准测量结果证明，印度次大陆对欧亚大陆的碰撞作用，通过青藏高原块体传递到宁夏，甚至还可能通过六盘山褶皱带将应力从青藏高原传递到鄂尔多斯块体和华北地区。同样来自太平洋方向的推挤力也将通过鄂尔多斯块体传递到宁夏地区。这两种力的相互作用共同影响了宁夏地区的现今构造应力场。

顺便指出，印度次大陆在向北推挤的过程中，一方面造成青藏高原地壳缩短变厚，六盘山的强烈褶皱与大面积隆起；另一方面由于青藏高原块体本身是一个西窄东宽的楔形，所以在整体向北推挤的同时，还会产生向东的侧向滑动。况且因为青藏高原块体比四周地形（尤其是东部）明显的高，所以在重力作用下，还会产生自身的下滑运动。上述的侧向滑动和下滑运动也会影响到宁夏地区的应力状态。

（本文1981年2月2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, No.16, 1973.
- [2] K. AKi, Earthquake Generating Stress in Japan for the years 1961 to 1963 Obtained By Smoothing the first motion Patterns, Bull Earth Res Inst, No.44, 1966.
- [3] 李孟銮, 巴音木仁6.2级地震的活动特征, 西北地震学报, Vol.1, No.3, 1979.
- [4] 鄢家全等, 中国及邻区现代构造应力场的区域特征, 地震学报, Vol.1, No.1, 1979.
- [5] 环文林等, 中国及邻区现代构造形变特征, 地震学报, Vol.1, No.2, 1979.
- [6] 李钦祖等, 河北地区的震源机制与应力场, 地震战线, No.2, 1976.
- [7] 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, No.1, 1979.
- [8] 孙加林, 内蒙古地区的震源机制与区域应力场, 地震科学研究, No.1, 1979.
- [9] 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, No.4, 1979.
- [10] 国家地震局兰州地震大队、宁夏回族自治区地震队, 1920年12月16日的海原大地震, 地球物理学报, Vol.19, No.1, 1976.

FOCAL MECHANISM AND STRESS FIELD OF NINXIA REGION

Li Meng-luan Zhao Zhi-jun

(The Seismological Institute of Ninxia)

Abstract

Basing upon the data of seismological observations, this paper has discussed the stress field of seven zones of Ninxia region and has given the focal mechanism solutions of sixteen moderate earthquakes. According to the crustal deformation, the stress fields of the region are mainly subjected to a strong NE—NEE compressive stress. The stress field is controlled by the joint action of the Indian and Pacific plates, and the former plays the major function.