

宁夏及邻近地区震源机制解特征

赵知军, 刘秀景, 康凌燕

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001)

摘要: 采用在吴尔夫网上作图的方法求得了宁夏及邻近地区 372 个地震震源机制解, 再以各次地震的主压、主张应力轴资料在吴尔夫网上求出了该地区主压应力方向和主张应力方向. 其 P 轴的优势方向在北东 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 之间; T 轴的优势方向在北西 $300^{\circ} \sim 330^{\circ}$ 之间. 由该地区主压和主张应力以近水平方向为主, 认为发生地震的断层运动形式是以走滑运动为特征.

关键词: 震源机制解; 主压应力; 主张应力; 走滑运动

中图分类号: P315.63 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2002)02-0162-05

0 前言

利用地震的震源机制解, 可确定发震构造的产状、空间位置、运动形式及力学性质; 判定区域应力场方位及应力对断层的作用方式; 进而判断未来地震危险区及预测未来地震的孕育、发生、发展.

以前笔者曾对宁夏及其周围地区的应力场方向等问题作过探讨^[1]. 在此基础上, 本文进一步对研究区内所发生的地震断层的错动形式、应力的作用形式及主压、主张应力的优势方向等问题进行讨论.

1 资料及研究区域概况

本文所用的地震目录, 均为各省区已出版或《中国地震详目》中的地震条目, 震中及震源精度的精度均小于 5 km. 采用吴尔夫网上半球投影作图的方法求解震源机制解. 范围为宁夏及其周围地区 ($34^{\circ}00' \sim 40^{\circ}30'N$, $102^{\circ}00' \sim 107^{\circ}30'E$) (图 1). 在此区域内对自 1967 年 2 月至 2000 年 6 月 30 日期间, 凡能搜集到较多初动符号且又在吴尔夫网上分布比较均匀的地震, 都作了机制解, 共计 426 个 (1962 年的两条地震资料选自 1973 年《中国地震震源机制解的研究》). 其中 34 个为无解地震 (初动符号紊乱或单一), 20 个出了研究区, 有解地震共 372 个.

求解地震的震级分布范围为: $M_L \leq 2.9$ 地震 22 次, 占总数的 5%; $3.0 \leq M_L \leq 3.9$ 地震 231 次, 占总数的 55%; $4.0 \leq M_L \leq 4.9$ 地震 139 次, 占总数的 33%; $5.0 \leq M_L \leq 5.9$ 地震 27 次, 占总数的 6%; $M_L \geq 6.0$ 地震 5 次, 占总数的 1%. 解的矛盾比大部分都小于 25%, 说明节面解中的两条节线可变范围小, 故大部分解的稳定性较好.

2 主压和主张应力优势方向

在一定的地质时期内, 较大范围的区域构造应力场方向应保持相对稳定, 虽然局部应力场可能由于地质体或边界条件的影响而发生变化. 因此确定基本应力场的方向对中长期地震预测是很有帮助的.

1990年, 我们曾用单个地震及小震综合解求得了宁夏及其邻区的最大主压应力轴方位的平均值为北东 39° , 最大张应力轴的平均方位为南东 132° ^[4]. 这次我们又以单个地震所求得的主压、主张应力轴资料为基础, 以吴尔夫网上半球投影作图的方法, 用 $4.0 \leq M_L \leq 4.9$ 地震的震源机制解求出主压应力方向为北东 41° , 主张应力方向为南东 131° , 二者结果基本相同. 而由 $M_L \geq 5.0$ 地震求得的主压应力方向为北东 66° , 主张应力方向为南东 152° , 与平均值差别较大.

将统计区内有节面解的 372 个地震不分震级大小, 按每 10 度间隔将 P 轴折算到 1~2 象限, T 轴折算到 3~4 象限, 归一化后作玫瑰图(图 2). 由图 2 看出: 宁夏及其邻近地区主压应力 P 轴的优势方向在北东 $30^\circ \sim 70^\circ$ 之间, 主张应力 T 轴的优势方向在北西 $300^\circ \sim 330^\circ$ 之间.

3 区域应力场方向与断层错动类型

由多个地震震源机制解求出的震源区平均主压应力 P 轴、主张应力 T 轴和中等应力 N 轴, 总体上反映了区域构造应力的作用. 在研讨力轴的作用方式时, 为了讨论问题的方便, 按以前的作法^[4], 是将 P 轴仰角 β 和 T 轴仰角 γ 分别按不同角度划分, 其统计结果见表 1. 看出, $\beta \leq 30^\circ$ 的地震为 294 个, 占总数的 79%; $\gamma \leq$

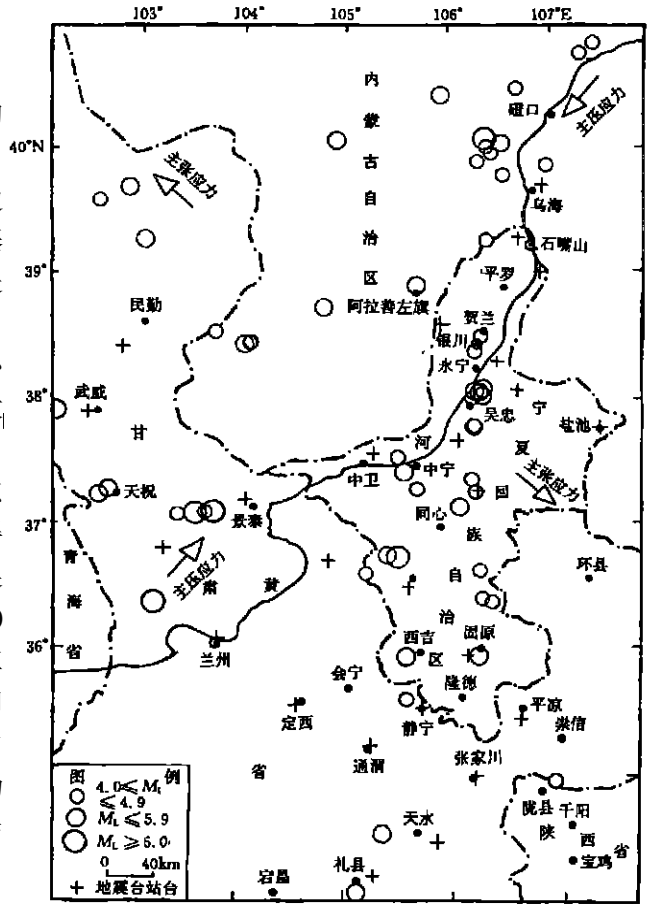
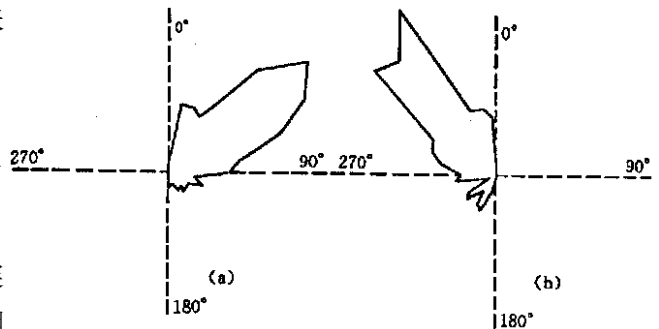


图 1 研究区范围内有震源机制解的震中 ($M_L \geq 4.5$) 分布图

Fig. 1 Studing region and epicenter distribution of $M_L \geq 4.5$ with focal-medianism solutions.



a 主压应力 P 轴; b 主张应力 T 轴

图 2 主压、主张应力轴水平投影玫瑰图

Fig. 2 Rose circle of horizontal projection of principal compressive and strain stress axes.

看出, $\beta \leq 30^\circ$ 的地震为 294 个, 占总数的 79%; $\gamma \leq$

30° 的地震为 288 个, 占总数的 77%。由此可见, 宁夏及其邻近地区的主压和主张应力作用方式是以水平或近水平方向作用力占主导地位的。而由震源机制解中两条节线中的任一条作为断层面, 其倾角大部分都大于 60° , 说明断层倾角较陡。我们用已求得的震源机制解资料, 可以分析研究区范围内发震断层的错动情况, 而断层错动性质反映了发震应力的作用方向和形式。

表 1 主压应力 P 轴仰角 β 、主张应力 T 轴仰角 γ 统计表

仰角/ $^\circ$	P 轴		T 轴	
	地震数	百分比	地震数	百分比
0~10	131	35.2	116	31.2
11~30	163	43.8	172	46.2
31~60	58	15.6	65	17.5
61~80	16	4.3	14	3.8
81~90	4	1.1	5	1.3

断层错动类型可按震源机制解中中等应力轴 N、主压应力轴 P 和主张应力轴 T 轴仰角 α 、 β 、 γ 来划分^[3] (图 3)。不同错动性质的断面统计结果显示 (表 2): 在所有的震源机制解中, 正断层次 6 个, 逆断层次 3 个, 所占比例很小, 震级也不大; 而 $\alpha > 60^\circ$ 的走滑型地震为 181 次, 占求解地震的 49%; 另有 38% 为垂直兼有走滑性质。由此可以认为: 宁夏及其邻近地区发生地震的构造断层是以走滑或近走滑型运动特征为主的。

这就说明发震的应力作用方式是以水平和近水平力的推扭。从构造应力力源的角度分析, 由于这一地区是受鄂尔多斯块体向西推挤, 阿拉善地块向南挤压的影响, 使这一地区的构造断层形成了以走滑和近走滑的运动特征^[4]。

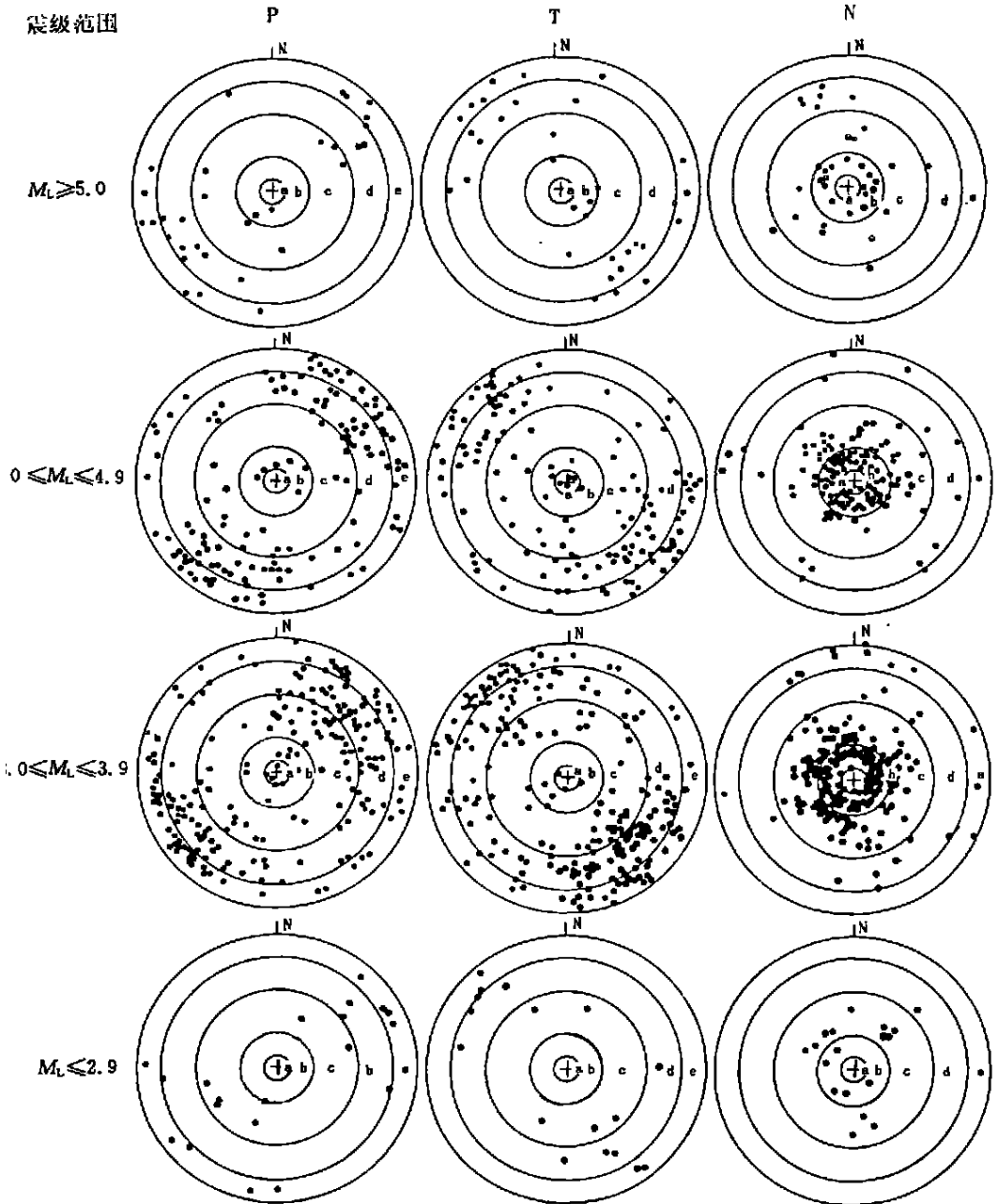
表 2 断层错动类型统计表

类型	仰角范围及条件	个数	百分比/%
走滑断层(SS)	$\alpha > 60^\circ$	181	48.7
正断层(N)	$\alpha < 30^\circ, \beta > \gamma$	26	7.0
逆断层(T)	$\alpha < 30^\circ, \beta < \gamma$	23	6.2
正走滑断层(SSN)	$45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ, \beta > \gamma$	55	14.8
逆走滑断层(SST)	$45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ, \beta < \gamma$	53	14.2
走滑正断层(NSS)	$30^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ, \beta > \gamma$	15	4.0
走滑逆断层(TSS)	$30^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ, \beta < \gamma$	19	5.1

4 由震中分布及震源机制解的性质确定地震活动断层

确定发震构造的空间位置 (长度、宽度、埋深), 是中长期地震预测中一项重要的工作。目前还未看到利用震源机制解的性质来确定地震活动断层的报导。笔者想充分利用大量震源机制解的宝贵资料对此问题进行粗略地讨论。首先, 划定断层时应满足以下条件: (1) 每条断层线上由表 2 中确定的同种属性如 S 型、T 型或 N 型的地震数不少于 3 个。(2) 考虑到断层在地面的投影宽度取决于断层的埋深及倾角, 根据节面解中的两条节线中的任一条的倾角一般都大于 60° 及本地区震源优势深度在 10~20 km 之间的特征^[5], 所画断层线条两边的地震震中, 离线条在平面图上的垂直距离要小于 4 km。(3) 节面解中其中一条节面走向大致与断层线走向相同。在综合考虑了以上三个条件的情况下, 分别点出不同类型地震的平面分布图, 然后叠加连线, 就画出了宁夏及周围地区的地震活动断层分布图 (图 4)。

由图 4 可看出, 宁夏地区地震活动构造从方向上主要分三块地区: 一是牛首山 ($37^\circ 40' N$) 以南的中卫、中宁、同心及西吉、海原、固原地区, 该区主要活动构造沿北西方向展布。二是内蒙古乌海市 ($39^\circ 30' N$) 以北地区, 呈现出北北东方向展布。第三是灵武、吴忠及银川平原地区, 其主要的活动构造为近南北向为主, 间有北北西和近东西向的小规模活动构造。贺兰山以西及其它地区由于资料太少, 难以确定。



a 垂直力; b 近垂直力; c 斜力; d 近水平力; e 水平力

(1962-12 ~ 2000-06-30)

图 3 各应力轴出地点图

Fig. 3 The points of principal stress axis.

5 结论与讨论

(1) 采用吴尔夫网求解震源机制解时, 很难用定量值来表达资料的可信度. 一般来说, 资料点数(即台站数)愈多, 矛盾点愈少或矛盾比愈小, 即机制解图中的两条节线可变范围愈小,

则可信度愈高. 对于震级较大的地震可以搜集到很多台站的首波符号, 所以解的可信度较高. 但中小地震由于传播距离和台网布局等因素的限制而可信度较低. 在我们所做的 426 次地震震源机制中, 符号总数多于 20 个的为 207 次, 15 个符号以上为 318 次, 小于 10 个符号的有 12 次. 由于宁夏仅有 14(台)套仪器的台网, 为了补充资料, 我们查阅了大量陕、甘、宁、晋、蒙等邻近省区的地震图, 使大部分地震具有 15 个以上的符号. 同时在作图时首先要保证一条节线的可变范围要小于 ± 2 度, 其次我们规定, 只有当同性质的符号多于总数的 85% 时才定为“大部分为正”或“大部分为负”, 当矛盾比大于 30% 时就定为“符号紊乱”.

(2) 一般认为, 是断层的运动孕育发生了地震. 但已知的地表断层与机制解做出的震源深度断面并不都能一一对应, 这里除了受目前观测定位精度不高的影响外, 描画地震断层的方法不是很严格. 但是多次地震沿某一方向具有条带分布的特征, 这对地震预测还是有参考意义的.

(3) 据统计结果显示, 宁夏及邻近地区的地震在力的作用形式上以水平和近水平力的推扭作用为主, 因此导致了断层面的错动形式大部分以走滑性质的运动形式为主. 属接近纯正断层和逆断层的地震次数很少, 其震级都不大, 一般在 3.0~4.9 级之间.

(4) 我们在求解过程中还发现, 在一定的时段内, 震中有连续落在负号区和连续落在正号区的现象. 当连续一批地震的震中(即网心)落在负号区时, 说明压扭性力在持续或增强; 反之说明拉张力在持续或增强. 这种现象反映了主压或主张应力的积累和增强的过程, 其后一般都有中强地震发生. 如 1971 年 6 月 28 日吴忠 5.2 级地震前“网心”落在压缩区, 1976 年 9 月 23 日巴音木仁 6.4 级地震前“网心”落在膨胀区, 及 1983 年 1 月 17 日、1987 年 8 月 10 日、1989 年 11 月 2 日、1991 年 1 月 13 日和 1996 年 1 月 4 日均有这种现象, 是否有一定的规律, 有待于进一步探讨.

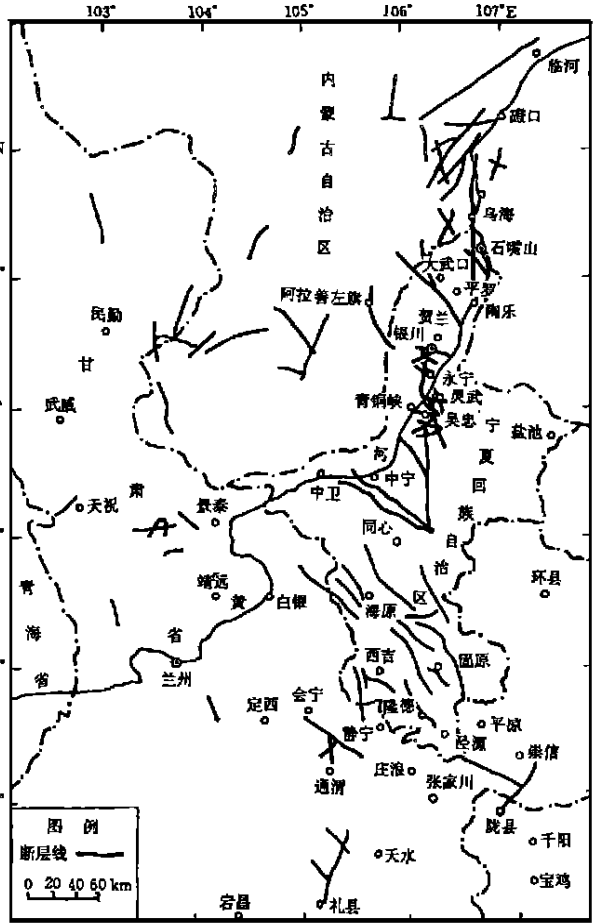


图 4 由震源机制解确定的断层地表分布图

Fig. 6 Projection on the ground of faults obtained from focal-mechanism solutions.

STUDY ON THREE EARTHQUAKE CASES FOR FRACTURE FEATURE OF MODERATE AND SMALL SHOCKS NEAR SEISMIC BELTS AND GAPS

WANG Jing-zhou¹, LIU Wen-long², CHEN Yu-wei³
LIN Xue-shu³, HE Xiao-wei³, LIU Dong-wang³

- (1. *University of China Science and Technology, Hefei 230026, China;*
2. *Seismological Bureau of Shanghai, Shanghai 200062, China;*
3. *Seismological Bureau of Anhui Province, Hefei 230031, China*)

Abstract: Three cases of Xingtai $M_S5.8$, Heze $M_S5.9$ and Sheyang $M_S5.1$ earthquakes are chosen and the fracture feature of moderate and small shocks before the earthquakes are studied. The result shows: 1. The shocks occurred during the seismogenic period show ten dency of unilateral fracture; 2. The shocks before Xingtai and Heze earthquakes possess a dominant direction of fracture plane, that is similar or conjugate to the strikes of seismic belts and fracture planes of main earthquakes; 3. The environment stress τ_0 of the shocks before the earthquakes is slightly larger than those during the normal period; 4. There is not a dominant direction of fracture plane for the shocks before Sheyang earthquake, therefore it is deduced that there is not seismic belt before the event; 5. Before Heze and Sheyang earthquakes, the moderate and small shocks occurred on the edge of seismic gaps show tendency of unilateral fracture, and their directions of principal fracture generally do not point to the interior of gaps.

Key words: Unilateral fracture; Direction of fracture plane; Environment stress; Seismic gap; Seismic belt

(上接 166 页)

- [1] 赵知军, 刘秀景. 宁夏及其邻区地震活动带与小区域构造应力场[J]. 地震地质, 1990, 12(1): 31-46.
[2] 李孟奎, 赵知军. 宁夏地区现代构造应力场及其与地震活动的关系[J]. 地震研究, 1986, 9(3): 299-313.
[3] 臧绍先. 缅甸山弧地区 Benioff 带的形态及其应力状态[J]. 地球物理学报, 1987, 30(2): 144-157.
[4] 国家地震局兰州地震研究所等. 一九二〇年海原大地震[M]. 北京: 地震出版社. 1980. 89-90.
[5] 赵知军. 宁夏及其邻区虚波速度与震源深度分布[J]. 西北地震学报, 1982, 4(4): 35-40.

FEATURES OF FOCAL-MECHANISM SOLUTIONS IN NINGXIA AND ITS NEIGHBORING REGION

ZHAO Zhi-jun, LIU Xiu-jing, KANG Ling-yan

(*Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China*)

Abstract: The focal-mechanism solutions of 372 earthquakes in Ningxia and its neighboring regions are evaluated by using Nulff net. Basing on these data the direction of principal compressive stress and principal strain stress in this region are obtained by use Wulff net again. The dominant direction of P axle is NE $30^\circ \sim 70^\circ$, and one of T axle is NW $300^\circ \sim 330^\circ$. According main acting force is horizontal or nearly horizontal, most of the tectonic faults which causing earthquake should be strike-slip or nearly strike-slip faults.

Key words: Focal-mechanism solution; Principal compressive stress; Principal strain stress; Strike-slip movement