

研究简报

华北地区小震综合断层面解的模糊聚类分析

斯雅敏 于新昌 蒋春花
(河北省地震局)

摘要

由微震 P 波初动方向资料, 测定了华北地区 (112° — 122° E, 35° — 41° N) 1981—1983 年 9 月, 16 个综合断层面解。根据各解应力轴方向分布的不均匀性, 对最大、最小和中等主应力轴方位进行模糊聚类分析, 得到了各解间动态性的聚类谱系图。截取隶属度大于 0.93 的样本划分成四类, 分析了各类方向特征, 并讨论了地质构造与应力场及地震活动的关系。

关键词 初动方向; 综合断层面解; 模糊聚类分析; 聚类谱系图; 华北地区

一、引言

近年来, 国内地震学者对小震应力场的研究有了长足的进展^[1—4], 他们先后通过数值试验, 论证了利用多个断层面解随机取向的 P, T, B 轴推断构造应力主轴方向的可能性, 并给出了华北地区构造应力场的方向。提出中国东部大陆 P 轴方向由西部陆地中心向沿海呈放射状分布。还有些学者研究了强震前应力场的动态变化及其显示的震兆信息等。无疑, 这对地震预报和研究起了推动作用。

本文根据所测定的 16 个小震综合断层面解求解的地壳应力场方向, 以及各家测定或反演的平均应力场结果, 分析认为 P, T, B 轴方向分布存在显著不均匀性和不确定性。例如, 华北地区尽管应力场方向有较好的一致性^[5], 最大主压应力轴为北东东—南西西向, 最小主压应力轴为北北西—南南东向且水平, 中等应力轴较陡等等。但由于地区范围大, 构造条件复杂, 以及地壳介质的不均匀性影响等原因, 各解的 P, T, B 轴方向取向不一, 以至无法分类与分区研究。据此, 我们引进模糊聚类方法, 将许多解的 P, T, B 轴方向作为具有模糊概念的数据集, 根据模糊集理论, 在模糊等价关系基础上进行聚类分析, 目的是根据它们之间的隶属关系进行分类、分区。一方面了解大致相近的应力场所显示的范围, 另一方面分析局部地质构造与应力场及地震活动的关系。

1987 年 3 月 2 日收到本文初稿, 1987 年 6 月 20 日决定采用。

二、小震断层面解的测定

1. 资料 以1980年1月至1983年9月华北地区发生的 $M_{L}2.0\text{--}4.0$ 地震为主,初动方向资料取自华北一些台站短周期微震仪三分向记录图。采用上半球投影,在乌尔夫网

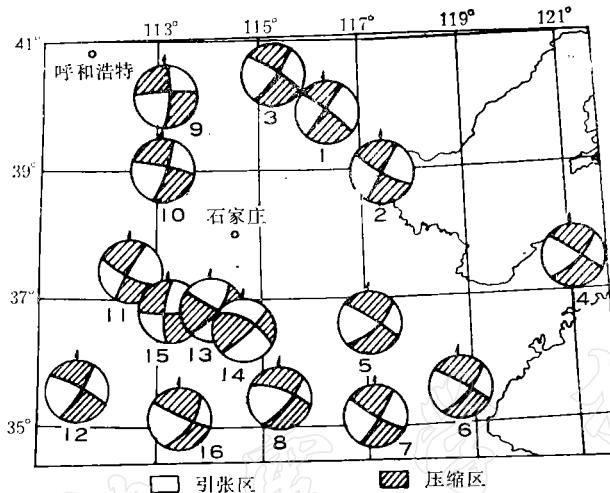


图1 华北小震断层面解分布图

- 1.北京区; 2.天津区; 3.京西北区; 4.山东半岛区; 5.济南区; 6.鲁东南区; 7.鲁南区;
8.鲁西南区; 9.大同区; 10.代县区; 11.晋中区; 12.晋南区; 13.康二城区; 14.永年区;
15.涉县区; 16.豫北区。

上求解,分单台和多台综合两种。

2. 结果 在上述时间和地区内,得到16个小震断层面解。其中单台解5个,多台综合解11个, P, T, B 轴方位见图1,参数见表1。

三、 P, T, B 轴的模糊聚类分析

某一地区构造应力场,是特定的地质构造与地壳介质在外区给予的某种方向力的作用下响应的结果。由各家所测定的大量结果表明,在区域上反映出不均匀性,在时间上又表现出不稳定性。据文献[6]所述:苏联塔吉克队最早观测到主震前小震主应力方向发生 90° 转动。1976年松潘—平武7.2级地震前后,主压应力轴方向发生了变化,1983年菏泽5.9级地震前 P 轴摆动幅度随大震的逼近而变小^[7]。此外,近年发生的几次大震前矛盾符号比有减少的现象,如龙陵7.3,7.4级,唐山7.8级,松潘7.2级,博克图5.6级地震等。可见,区域应力场与地震活动的关系是复杂的。

(一) 方法步骤^[8,9]

1. 统计指标的选择 如前所述,我们取16个小震断层面解为样本,每个样本取 P, T, B 轴方位三个指标(各应力轴取水平投影的小角)。每个样本看成三维空间的一个向量:

$$\mathcal{A}_i = [a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}] \quad i = 1, 2, \dots, 16$$

表 1 华北各小区小

| 编号 | 区域名称 | 使用资料的地震台站 | 时间段 | 节面 I | | |
|----|---------|--------------------|----------------|------|----|----|
| | | | | 走向 | 倾向 | 倾角 |
| 1 | 北京地区 | 白家疃 | 1980.1—1983.6 | 30 | 直立 | 90 |
| 2 | 天津地区 | 塘沽、徐庄子、武清、静海、青光、宁河 | 1979.1—1983.8 | 26 | SE | 89 |
| 3 | 京西北地区 | 沙城 | 1979.9—1983.10 | 33 | NW | 65 |
| 4 | 山东半岛地区 | 蓬莱、莱阳、长岛、烟台、无染寺 | 1980.1—1983.9 | 37 | NW | 58 |
| 5 | 济南附近地区 | 济南、博山、泰安 | 1980.1—1983.9 | 52 | NW | 50 |
| 6 | 鲁东南地区 | 莒县、五莲、沂水、临沭 | 1980.1—1983.9 | 43 | NW | 61 |
| 7 | 鲁南地区 | 枣庄、费县、苍山、鲁化 | 1980.1—1983.9 | 37 | 直立 | 90 |
| 8 | 鲁西南地区 | 梁山、定陶、加祥、清丰、浚县 | 1980.1—1983.9 | 36 | NW | 60 |
| 9 | 大同附近地区 | 大同、天镇、西坪 | 1981.1—1983.9 | 354 | SW | 70 |
| 10 | 代县附近地区 | 代县、定襄 | 1981.1—1983.9 | 17 | NW | 70 |
| 11 | 晋中地区 | 晋祠、昔阳、离石、介休、武乡 | 1981.1—1983.9 | 24 | SE | 80 |
| 12 | 晋南地区 | 绛县、夏县、长治、蒲县 | 1981.1—1983.9 | 23 | NW | 80 |
| 13 | 康二城附近地区 | 康二城 | 1981.8—1983.9 | 31 | NW | 55 |
| 14 | 永年附近地区 | 永年 | 1981.8—1983.9 | 47 | NW | 74 |
| 15 | 涉县附近地区 | 涉县 | 1981.8—1983.9 | 0 | E | 64 |
| 16 | 豫北地区 | 浚县、辉县、鹤壁 | 1981.1—1983.10 | 30 | NW | 40 |

2. 对原始数据进行变换 为了便于分析和比较, 可采用不同的方法对原始数据进行变换, 我们这里采用了标准差标准化方法, 其公式为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3)$$

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (j = 1, 2, 3)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (j = 1, 2, 3)$$

其中 n 为样本个数。

3. 计算模糊相似性矩阵 这一步就是计算出衡量被分类的样本间相似程度的统计量 r_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3$; 其中 n 为所选用的样本个数), 从而确定论域 v 上的相似关系 R 。一般参考资料中给出的计算 R 的方法较多, 我们这里选取 $[-1, 1]$ 区间的普通相似系数, 即夹角余弦 $r_{ij}^* = \cos \theta$ 构成相似系数矩阵, 其公式为:

$$\cos d_{ij} = \frac{(x_i, x_j)}{\|x_i\| \cdot \|x_j\|} = \frac{\sum_{k=1}^3 x_{ik} \cdot x_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^3 x_{ik}^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^3 x_{jk}^2}}$$

在此基础上作变换:

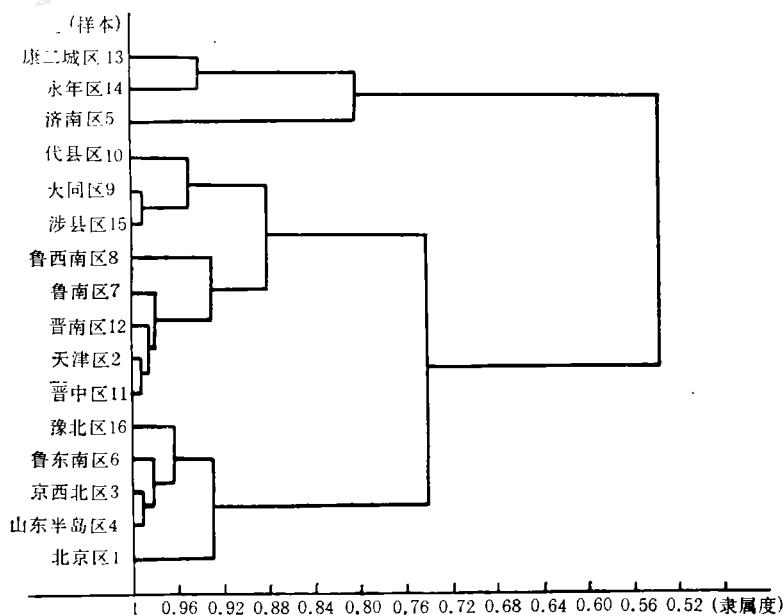
$$r_{ij} = \frac{1 + r_{ij}^*}{2},$$

使得 r_{ij}^* 被压缩到 $[0, 1]$ 区间内, $R = (r_{ij})$ 构成一个模糊阵。

震断层面解参数表

| 节面 II | | | P 轴 | | T 轴 | | B 轴 | | 符号总数 | 矛盾符号百分比 (%) |
|-------|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|------|-------------|
| 走向 | 倾向 | 倾角 | 方位 | 仰角 | 方位 | 仰角 | 方位 | 仰角 | | |
| 120 | 直立 | 90 | 75 | 0 | 165 | 0 | 0 | 直立 | 46 | 20 |
| 115 | NE | 75 | 72 | 11 | 340 | 10 | 209 | 74 | 40 | 25 |
| 300 | SW | 85 | 254 | 21 | 349 | 14 | 110 | 65 | 31 | 13 |
| 121 | SW | 80 | 254 | 31 | 353 | 15 | 106 | 56 | 114 | 20 |
| 129 | SW | 75 | 266 | 40 | 5 | 16 | 115 | 46 | 29 | 14 |
| 125 | SW | 75 | 261 | 31 | 356 | 9 | 101 | 56 | 62 | 20 |
| 127 | NE | 80 | 82 | 7 | 352 | 7 | 217 | 80 | 69 | 16 |
| 108 | SW | 61 | 251 | 47 | 344 | 3 | 13 | 46 | 48 | 19 |
| 82 | SE | 85 | 216 | 17 | 310 | 10 | 68 | 70 | 50 | 22 |
| 103 | SW | 80 | 239 | 21 | 331 | 7 | 76 | 67 | 102 | 24 |
| 109 | NE | 65 | 69 | 25 | 334 | 10 | 223 | 65 | 423 | 26 |
| 110 | SW | 75 | 246 | 17 | 160 | 5 | 53 | 72 | 61 | 21 |
| 118 | SW | 85 | 350 | 20 | 248 | 29 | 110 | 55 | 60 | 21 |
| 121 | SW | 45 | 167 | 18 | 276 | 44 | 62 | 41 | 53 | 30 |
| 87 | NW | 85 | 40 | 23 | 135 | 15 | 254 | 63 | 43 | 28 |
| 113 | SW | 85 | 238 | 38 | 353 | 29 | 109 | 39 | 72 | 19 |

4. 进行合成运算, 获得模糊等价关系 前面得到的 R , 一般情况下都满足自反性(即 $r_{ii} = 1$)和对称性(即 $r_{ij} = r_{ji}, ij = 1, 2, \dots, n$), 但往往不满足传递性(即 $R \circ R \subseteq R$), 此时不能直接进行分类, 必须通过合成运算, 将 R 改造成为一个模糊等价关系, 其方法为: $R \rightarrow R^2 \rightarrow R^3 \cdots R^n$, 经过有限次合成后使得 $R^n \circ R \cong R^n$, 由此得到模糊等价关系 R^n .

图 2 华北 16 个小震断层面解 P, T, B 轴方位聚类谱系图

若 $R = (r_{ij})$, $R^2 = (C_{ij})$, 则 $R^2 = R \circ R$ 即

$$C_{ij} = \bigvee_{k=1}^3 (r_{ik} \wedge r_{kj}) \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3)$$

5. 模糊聚类 对满足传递性的模糊等价关系 R^n 进行聚类处理, 其方法为: 给定不同截值 λ , 求 R_λ 截阵, 找出 R 的 λ 显示, 得到普通的等价关系 R_λ . 当 $\lambda = 1$ 时, 每个样品自成一类, 随 λ 值的降低, 由细到粗逐渐并类, 最后得到动态性的聚类谱系图.

(二) 计算结果

采用标准差标准化变换处理后, 得到模糊相似矩阵. 模糊矩阵 R 经 16 次合成得到模糊等价关系 R^n , 最后给出聚类结果. 我们截取最高隶属度为 0.93, 画出聚类谱系图(图 2).

四、讨 论

1. 谱系排列结果示出: 16 个解按 P , T 轴的平均主体方向由西到东大致可分成四类:

- (1) P 轴近南北向(北西 11.5°)、 T 轴近东西(北东 82°)的康二城、永年区.
- (2) P 轴为北东向(北东 45°)、 T 轴为南南东向(北东 139.6°)的代县、大同、涉县区.
- (3) P 轴为北东东向(北东 72°)、 T 轴为南南东向(北东 162°)的鲁西、鲁中南区.
- (4) P 轴为北东东向(北东 72.4°)、 T 轴为近南北向(北东 171.2°)的京西北、鲁东南区.

以上四类的 P , T 轴方向呈规律性变化: P 轴由近南北向的北西 11.5° 方位角逐渐增大为 $45^\circ \rightarrow 72^\circ \rightarrow 72.4^\circ$, 几乎呈东西向. T 轴由近东西向的 82° 逐渐增大为 $138.6^\circ \rightarrow 162^\circ \rightarrow 171.2^\circ$ 几乎呈南北向. 四种类型中, 康二城、永年区在华北较特殊, 文献[10]中已讨论过. 后两种区域广阔, 形成华北区地壳应力场的一致性, 即总体方向主压应力轴为近东西向, 主张应力轴为近南北向的特征.

2. 结果表明, 相邻地区并构造类似则应力轴方向类同. 如大同、代县、康二城、永年、鲁东南、山东半岛等等. 然而, 不相邻甚至相距很远局部构造差异很大的地区, 有些也属同一类, 如(2)中的天津与晋中区, 两个解相似, 隶属度为 0.9965. 但在构造上, 一个是沧县隆起的北延, 一个是山西断陷带的中段. 从中可看出, 局部地质构造影响区域地壳应力场的方向, 但不是制约应力场的唯一因素. 当然, 介质不均匀结构以及目前尚无法确切估计的测定误差等影响不能忽视.

3. 根据前述捕捉到大震前小震应力场方向的变化和矛盾符号比减少的事实说明, 除了太平洋板块向西推挤的力控制大区域应力场的主导方向外, 地壳所积累的应力, 或谓大震孕育的不同阶段也制约着区域地壳应力场方向. 由于太平洋板块运动时间上的不稳定性, 从而产生的应力多旋迴的积累与释放^[11]应力传递到华北, 加上局部构造的影响, 各区水平不一, 使地震活动时起时落, 应力场方向而随之变化.

4. 从近年的地震活动水平来看, (3)、(4)类中一些地区活动性高. 如 1983 年 4 月 3

日北京西北的张家口地区曾发生万全 4.7 级地震。1983 年 11 月 7 日, 山东又发生了菏泽 5.9 级地震。它们除了 P 轴与华北区应力场方向一致外, 矛盾符号比在震前都比较低, 北京西北为 20%、鲁东南为 20%、鲁南 20%、鲁西南 19%。这似乎说明, P 轴方向与大区域应力场方向一致、且矛盾符号比低是强震前一个可能的震兆。

参 考 文 献

- [1] 许忠淮、阎 明、赵仲和, 1983. 由许多小地震推断的华北地区构造应力场的方向. 地震学报, 5, 268—279.
- [2] 汪素云、许忠淮, 1985. 中国东部大陆的地震构造应力场. 地震学报, 7, 17—32.
- [3] 成尔林, 1982. 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. 地震学报, 4, 136—148.
- [4] 华祥文, 1980. 唐山强震前后北京、天津周围地区应力的变化过程. 地震学报, 2, 130—146.
- [5] 李钦祖、靳雅敏、于新昌, 1982. 华北地区的震源机制与地壳应力场. 地震学报, 4, 55—61.
- [6] 许绍燮, 1982. 地震活动性图象述评. 大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集, 3—29, 地震出版社.
- [7] 靳雅敏、于新昌、卢志刚, 1987. 河北地区近期地震危险性估计. 华北地震科学, 5, 83—89.
- [8] 冯德益、楼世博、林命周、陈化成、顾瑾平、钟廷姣, 1985. 模糊数学方法与应用. 58—67. 地震出版社.
- [9] 罗积玉、邢 瑛、苏显康、罗昌荣, 1986. 微机用多元统计分析软件, 256—273. 四川科学技术出版社.
- [10] 于新昌、靳雅敏、孙 迎, 1985. 晋、冀、鲁、豫交界地区的地震活动性估计. 华北地震科学, 3, 4, 52—59.
- [11] 岛崎邦彦, 1982. 远东板内、板块边缘和板块边界地震及应力的传递. 大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集, 69—79, 地震出版社.

FUZZY CLUSTER ANALYSIS OF COMPOSITE FAULT PLANE SOLUTIONS OF SMALL EARTHQUAKES THAT OCCURRED IN NORTH CHINA

JIN YAMIN YU XINCHANG and JIANG CHUNHUA

(Seismological Bureau of Hebei Province)

Abstract

Composite fault plane solutions of earthquakes between January 1981 and September 1983 in the North China area (35° — 41° N, 112° — 122° E) are determined by the data of first motion direction of P wave of macroearthquakes. According to the inhomogeneity of the distribution of stress axis directions of various solutions, the fuzzy cluster analysis is made for the directions of maximum, minimum and medium principal stress axes and a map of dynamic cluster spectral system of various solutions is obtained. Cut samples with subordinate degree of greater than 0.93 and divide them into 4 types. The characteristics of various types of directions are analyzed and the relationship between geologic structure and stress field and seismicity is discussed.