

# 直接多点测位法与华北地震

李平林

(宁夏地震局)

## 摘 要

本文根据大华北地区地震分布的空间特征,提出“直接多点测位法”,旨在用来预测该区域内未来可能发生强震的地区。

该方法的具体步骤是,在任一地震区外选取4个参考点,将该区内发生的各次地震震中相对参考点的地心夹角表示在坐标平面上,便可从中找出震中空间运动规律。震中的迁移符合马尔科夫过程。由此,可预测该区域未来发震的概率。经预测检验,该方法是可行的。本文还利用该方法对华北地震区未来地震趋势作了预测。

**关键词:** 地震震中 预测 多点测位法 大华北

## 一、引 言

“多点测位法”是建立在CT——层析技术基础上的。该方法用多维映象寻求事物的发展规律,它研究的是已发生的事物,只要找到事物的发展规律,反演变换简单明了,对唯一性要求条件低得多。本文将该方法用于地震活动研究中。

多点测位法包括“直接多点测位法”和“拓朴多点测位法”。前者直接利用震中分布特征寻求地震空间活动规律,只能用来预测未来地震震中(区);后者把多点测位法和灰色拓朴预测结合起来,利用地震时、空、强分布特征,寻求地震运动规律,可用于预测地震时、空、强三要素。

本文介绍了“直接多点测位法”,并选择了大华北地区进行了地震的预测检验。

## 二、直接多点测位法

在选定地震区内,有 $M \geq M_0$ 且除去一定邻域内前震及余震,有主震事件序列,

$$E = \{E(1), E(2), E(3), \dots, E(n)\};$$

$$E(i) = E(t_i, \phi_i, \lambda_i, M_i \geq M_0);$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

其中*i*为事件序号, *t*为发震时刻,  $\phi$ 、 $\lambda$ 为震中地理坐标, *M*、*M*<sub>0</sub>为震级及其下限。

在地震区外选取若干参考点:

$$F_j = F(\phi_j, \lambda_j), \quad j = 1, 2, 3, \dots, m.$$

由变换S可求得 $E(i)$ 与相对参考点 $F_j$ 之间角距序列:

$$A(i, j) = S\{E(i), F_j\} \\ = \arccos\{\sin\phi_j \sin\phi_i + \cos\phi_j \cos\phi_i \cdot \cos(\lambda_j - \lambda_i)\}.$$

当选择区域较小时, 可以不考虑地球曲率影响, 取距离序列:

$$D(i, j) = R \cdot A(i, j).$$

式中 $A$ 为地震事件 $E(i)$ 与参考点 $F_j$ 之间的地心夹角(单位: 弧度),  $D$ 为 $E(i)$ 与 $F_j$ 之间的距离,  $R$ 为地球半径(单位: 公里)。

以事件序号 $i$ 为横坐标, 以 $A(i, j)$ 或 $D(i, j)$ 为纵坐标, 作曲线 $P(i, A)$ 或 $P(i, D)$ , 考察曲线发展变化特征, 并求得特征方程

$$Q_j(i, A) = 0$$

或

$$Q_j(i, D) = 0$$

将该特征方程作为预测模型, 当前事件为 $i = n$ , 当 $i = n + 1, n + 2, \dots$ 时, 可由特征方程求得预测值:  $A(n + 1, j), A(n + 2, j), \dots$ 或 $D(n + 1, j), D(n + 2, j), \dots$ 。共有 $m$ 个参考点, 可求得 $m$ 组预测值。对 $m$ 个角距预测值 $A(n + 1, j)$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ), 在乌尔夫网上求解(具体求解方法略), 得到预测震中交汇区 $C(n + 1)$ 。进而得到 $C(n + 2), C(n + 3), \dots$ 。对 $m$ 个距离预测值 $D(n + 1, j)$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ )以 $F_j$ 为圆心,  $D(n + 1, j)$ 为半径, 作 $m$ 个圆, 交汇区亦记为 $C(n + 1)$ 等。

### 三、直接多点测位法在华北地震区的应用

本文所选取的大华北地区的范围是 $30.5^\circ - 40.5^\circ N, 107.0^\circ - 125.0^\circ E$ 。其北部以阴山、燕山构造带为边界, 同时该区域还包括渤海、辽东半岛及黄海地区(图1)。1900—1987年, 该区共发生 $M \geq 6$ 级地震27次, 去掉前震及余震, 共有16次地震[1—8]。

在华北地震区外选择4个参考点, 它们的地理坐标为:

$$F_1 (25^\circ N, 95^\circ E), \quad F_2 (25^\circ N, 135^\circ E), \\ F_3 (45^\circ N, 135^\circ E), \quad F_4 (45^\circ N, 95^\circ E).$$

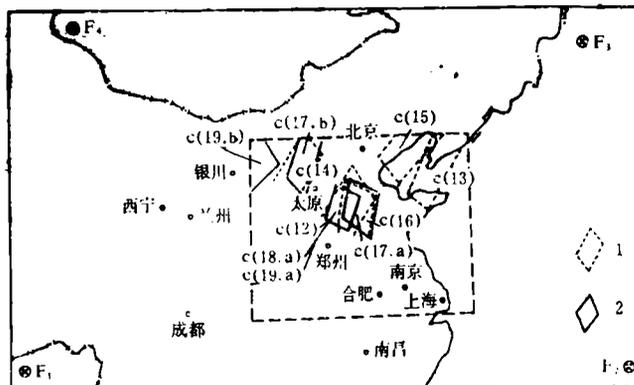


图1 华北地震区域图

1. 检验结果 2. 预测地震区

Fig. 1 Seismic area diagram in North China

16次主震震中(区)相对于各参考点的地心夹角(为方便起见化为度)见表1及图2。

表1

F <sub>1</sub>	序号	1	2	8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	角距	25.3	19.7	25.0	25.7	24.1	18.8	25.3	20.3	28.6	24.7	26.1	21.2	24.5	20.9	24.3	21.2
F <sub>2</sub>	序号	1	2	8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	角距	15.0	17.7	14.3	18.7	14.9	18.6	16.0	19.8	17.2	20.1	16.9	21.0	18.7	24.3	20.8	21.8
F <sub>3</sub>	序号	1	2	8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	角距	14.1	20.1	15.1	12.2	15.8	20.6	13.5	17.9	9.5	13.1	12.2	16.7	13.5	17.4	13.5	16.7
F <sub>4</sub>	序号	1	2	8	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	角距	22.8	21.5	23.6	19.7	23.0	20.7	22.0	18.3	22.2	18.2	21.4	16.8	19.4	13.5	17.9	16.8

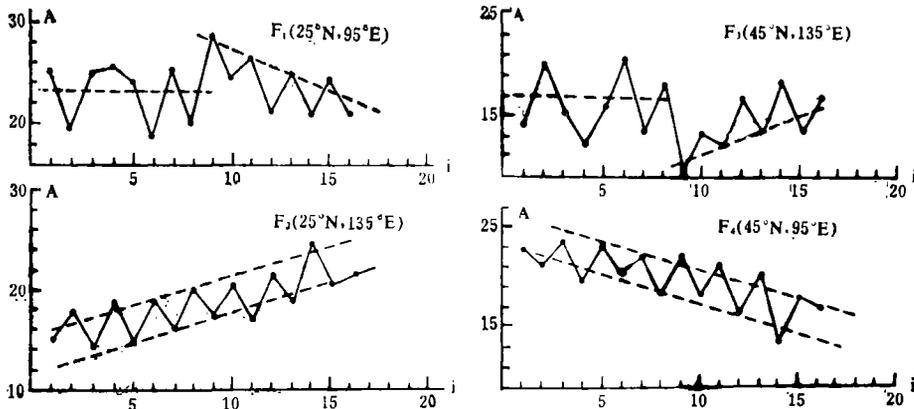


图2 各次地震相对参考点地心角距

Fig. 2 Geocentric angular distances relative to reference-points for each earthquake

由图2可见, 相对于参考点F<sub>2</sub>、F<sub>4</sub>, 各地震震中位置分布于两条线上。(这两个参考点位于华北区域应力场主张应力轴向附近), 可近似用回归直线作预测。对于参考点F<sub>1</sub>、F<sub>3</sub>, 前段变化规律不明显, 但有明显的迁移特征。因此, 可将震中分布分为两个状态, 其在两个状态之间的迁移符合马尔科夫过程。由此讨论某个预测区内的发展概率, 这里用频率近似代替概率<sup>[4]</sup>。F<sub>1</sub>、F<sub>4</sub>上状态记为a, 下状态记为b; 由于地理位置关系, F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>曲线下状态记为a, 上状态记为b。第i次(i=1, 2, 3, ..., n)地震位于a状态的 概率记为P(i, a), b状态概率记为P(i, b)。在各参考点下讨论时, 相应加脚标j, 即P<sub>j</sub>(i, a), P<sub>j</sub>(i, b)。由a向b迁移的概率记为P(a→b)。其它类同。

下面进行预测检验。首先用前11次地震预测第12次地震发生区域。

(1) 发展概率分析

由4条曲线可见, P<sub>3</sub>=P<sub>1</sub>, P<sub>4</sub>=P<sub>2</sub>, 故在分析中只记P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>。由F<sub>1</sub>、F<sub>3</sub>曲线可知, 前11次地震中, 有8次呈现a状态, 3次呈b状态, 最后一次地震处在a状态。那么当i=12时, 即第12次地震处在哪个状态, 这是我们需要研究的。在曲线的记忆中没有a→a→a→a迁移过程。则P<sub>1</sub>(12, a)=0, 那么P<sub>1</sub>(12, b)=1。

由曲线F<sub>2</sub>、F<sub>4</sub>可知, 前11次地震中5次呈a状态, 6次呈b状态, 共迁10次, 且P<sub>2</sub>(b

$-a) = \frac{4}{5}$ ,  $P_2(b \rightarrow b) = \frac{1}{5}$ ,  $P_2(a \rightarrow a) = 0$ ,  $P_2(a \rightarrow b) = 1$ 。当  $i=11$  时为  $a$ , 那么  $i=12$  仍在  $a$  的概率为:  $P_2(12, a) = 0$ , 在  $b$  的概率为:  $P_2(12, b) = 1$ 。综合  $P_1$ 、 $P_2$  的结果得

$$P(12, a) = 0, \quad P(12, b) = 1。$$

### (2) 震中预测

因  $P(12, b) = 1$ , 而  $P(12, a) = 0$ , 故第12次地震应发生于  $b$  状态的预测区内。具体预测方法如下:

$F_1$ 、 $F_3$  前11个点空间位置变化规律不明显, 只能给出大致范围, 若  $i=12$  在  $b$  状态, 则  $A(12, 1) < 23$ ,  $A(12, 3) \geq 16$ 。对  $F_2$ 、 $F_4$  曲线上两状态点可作回归分析, 取  $F_2$  曲线  $b$  状态点 1、2、4、6、8、10 建立回归方程:

$$A = 15.906 + 0.467 \cdot i。$$

其相关系数  $r = 0.883$ , 剩余标准差  $S = \sqrt{\frac{1}{n-2} (1-r^2) \cdot 1}$ ,  $r = 0.968$ 。取 94.5% 置信

限  $2S$  或取 99.7% 的置信限  $3S$  求得  $A(12, 2)$  取值区间:

$$A(12, 2) \in [21.50 \pm 2S] = [19.57, 23.44] (2s)$$

或  $A(12, 2) \in [21.50 \pm 3S] = [18.60, 24.41] (3s)$ 。

取  $F_4$  曲线  $b$  状态点 1、2、4、6、8、10 建立回归方程:

$$A = 22.663 - 0.477 \cdot i。$$

其  $r = -0.914$ ,  $S = 0.827$ 。得到  $A(12, 4)$  取值区间:

$$A(12, 4) \in [15.29, 18.60] (2S),$$

或  $A(12, 4) \in [14.46, 19.43] (3S)$ 。

用上述 4 条曲线得到的预测值

$$A(12, 1) < 23, \quad A(12, 2) \in [19.57, 23.44]$$

$$A(12, 3) \geq 16, \quad A(12, 4) \in [15.29, 18.60]$$

在乌尔夫网上求解 (具体求解方法略)。最后求得两个交汇区。 $F_1$ 、 $F_4$  预测交汇区为  $C_{14}(12)$ , 其边界点地理坐标为  $34.8^\circ N, 115.0^\circ E$ ;  $37.0^\circ N, 118.8^\circ E$ ;  $40.5^\circ N, 115.2^\circ E$ ;  $35.0^\circ N, 110.0^\circ E$ 。其开口向西南方向。 $F_2$ 、 $F_4$  交汇区  $C_{23}(12)$  的边界点坐标为  $34.0^\circ N, 110.0^\circ E$ ;  $40.5^\circ N, 114^\circ E$ ;  $36.6^\circ N, 117.0^\circ E$ ;  $33.5^\circ N, 115.0^\circ E$ 。其开口向西南方向。

因  $C(12) = C_{14}(12) \cap C_{23}(12)$ ,

因此  $C(12)$  开口依然向西南, 其他三边经过地点为开封、济南、德州、定县、阳泉、三门峡, 该区域东西宽 270 公里左右, 见图 1。实际发震区在邢台, 震中位于  $C(12)$  区北部。

同理得到第13次地震发生区域的预测结果:

$$P(13, b) = 0 - \frac{1}{5}, \quad P(13, a) = \frac{5}{6} - 1。$$

交汇区为丹东、烟台、青岛、淄博至营口围成的一近似矩形的区域。实际地震发生在渤海 (1969年7月18日, 7.4级), 震中位于区域西边界。

第14次地震发生区域的预测结果:

$$P(14, b) = \frac{1}{2} - 1, P(14, a) = 0 - \frac{1}{2}.$$

交汇区在晋北及与内蒙交界地区。实际地震发生在区域北部, 即1976年4月5日和林格尔6.2级地震。

第15次地震发生区域的预测结果:

$$P(15, b) = 0 - \frac{1}{7}, P(15, a) = \frac{6}{7} - 1.$$

其交汇区边界为: 营口—黄河入海口—天津—京津之间的安次, 过安次后折向东北。实际地震发生在唐山, 即1976年唐山大震。

第16次地震发生区域的预测结果:

$$P(16, b) = \frac{5}{9} - 1, P(16, a) = 0 - \frac{4}{9}.$$

$C_a(16)$ 与 $C(12)$ 大部分重合, 犹如 $C(12)$ 整体向东南移动(见图1)。它包括邢台及菏泽老震区;  $C_b(16)$ 与 $C(14)$ 大部分重合, 犹如 $C(14)$ 整体向西南移动, 主体位于陕北。考虑构造特征和历史地震影响, 该区发震可能性较小。实际地震发生在邢台(1981年4月9日6.0级)。

#### 四、对华北地区未来地震区的预测

根据以上分析检验, 直接多点测位方法是可行的, 故用于对华北地区未来地震区域的预测。由于 $F_1$ 、 $F_3$ 曲线后段变化规律较明显, 因此也用回归直线做预测, 其交汇区域将随之缩小。

1. 对于第17次地震的发生区域的预测:

$$P(17, a) = 0 - \frac{1}{2}, P(17, b) = \frac{1}{2} - 1.$$

因 $a$ 、 $b$ 状态均须讨论, 为避免混淆, 记 $a$ 、 $b$ 状态下的角距分别为 $A(i, j, a)$ ,  $A(i, j, b)$ 。

$F_1 \cdot a$ : 用点9、11、13、15、16建立方程:

$$A = 36.44 - 0.90 \cdot i$$

其 $r = -0.95$ ,  $S = 0.98$ 。得到

$$A(17, 1, a) \in [19.18, 23.10]_{(2, )}.$$

$F_1 \cdot b$ : 因有明显发展趋势的点太少, 不足以建立方程, 故借用 $F_1 \cdot a$ 的直线斜率等, 配以直线 $A = 33.03 - 0.90 \cdot i$ , 得到

$$A(17, 1, b) \in [15.77, 19.69]_{(1, s)}.$$

$F_2 \cdot a$ : 用3、5、7、9、11、13、15、16点建立直线方程:  $A = 12.35 + 0.52i$ 。

其 $r = 0.98$ ,  $S = 0.60$ 。得到

$$A(17, 2, a) \in [19.93, 22.33]_{(1, s)}.$$

$F_2 \cdot b$ : 用1、2、4、6、8、10、12、14点建立直线方程:  $A = 15.58 + 0.54 \cdot i$ 。

其 $r = 0.93$ ,  $S = 1.06$ 。得到

$$A(17, 2, b) \in [22.59, 26.82]_{(1, s)}.$$

$F_3 \cdot a$ : 用9、11、13、15、16点建立直线方程:  $A = 2.24 + 0.85 \cdot i$ 。

其 $r=0.93$ ,  $S=1.08$ 。得到

$$A(17, 3, a) \in [14.53, 18.86]_{(i, s)}。$$

$F_3 \cdot b$ , 同 $F_1 \cdot b$ 方法处理, 得到

$$A(17, 3, b) \in [17.77, 22.09]_{(i, s)}。$$

$F_4 \cdot a$ , 用3、5、7、9、11、13、15、16点建立直线方程:  $A=25.74-0.50 \cdot i$ 。

其 $r=-0.95$ ,  $S=0.80$ , 得到

$$A(17, 4, a) \in [15.61, 18.81]_{(i, s)}。$$

$F_4 \cdot b$ , 用1、2、4、6、8、10、12、14点建立直线方程  $A=23.15-0.59i$ 。其

$r=-0.95$ ,  $S=1.00$ 。得到

$$A(17, 4, b) \in [11.12, 15.12]_{(i, s)}。$$

用预测值 $A(17, 1, a)$ 、 $A(17, 2, a)$ 、 $A(17, 3, a)$ 和 $A(17, 4, a)$ 在乌尔夫网上求解, 再变换到地理坐标上, 得到交汇区 $C_a(17)$ 边界点地理坐标为 $38.0^\circ\text{N}$ ,  $117.5^\circ\text{E}$ ;  $39.0^\circ\text{N}$ ,  $115.0^\circ\text{E}$ ;  $37.0^\circ\text{N}$ ,  $117.0^\circ\text{E}$ ;  $34.5^\circ\text{N}$ ,  $115.0^\circ\text{E}$ 。交汇区位于以 $36.5^\circ\text{N}$ ,  $115.0^\circ\text{E}$ 为中心大约200公里的范围内, 包括菏泽及邢台震区, ( $P(17, a) = 0 - \frac{1}{2}$ )。

同理得到 $C_b(17)$ 边界点地理坐标为:  $38.0^\circ\text{N}$ ,  $112.0^\circ\text{E}$ ;  $36.0^\circ\text{N}$ ,  $110.0^\circ\text{E}$ ;  $38.0^\circ\text{N}$ ,  $108.0^\circ\text{E}$ ;  $40.0^\circ\text{N}$ ,  $110.0^\circ\text{E}$ 。该区域的北部和 $C(14)$ 的北部区重合, 只是 $C_b(17)$ 南边封口, 为晋西北和内蒙交界地区。

## 2. 对第18次地震的发生区域的预测:

因 $i=17$ 尚未发生, 仅以已发生的16次地震为样本。在这种情况下就有发生在 $a, b$ 两种可能性, 故须考虑第17次地震对第18次地震的影响。

若 $i=17$ 发生在 $b$ , 则(记 $i=18$ 发生在 $b$ 的概率为 $P(18, b, 17, b)$ ; 其它类同);

$$P_1(18, b, 17, b) = 0, P_1(18, a, 17, b) = 1,$$

$$P_2(18, b, 17, b) = \frac{1}{3}, P_2(18, a, 17, b) = \frac{7}{8}。$$

若 $i=17$ 发生在 $a$ , 则:

$$P_1(18, b, 17, a) = 0, P_1(18, a, 17, a) = 1,$$

$$P_2(18, b, 17, a) = 1, P_2(18, a, 17, a) = 0。$$

那么就有:

$$P_1(18, b) = P_1(18, b, 17, b) \cdot P_1(17, b) + P_1(18, b, 17, a) \cdot P_1(17, a) = 0;$$

$$P_1(18, a) = \frac{1}{2}, P_2(18, b) = \frac{1}{3}, P_2(18, a) = \frac{7}{8}。$$

所以  $P(18, b) = 0 - \frac{1}{3}, P(18, a) = \frac{1}{2} - \frac{7}{8}。$

将 $i=17$ 改为 $i=18$ 即得到相应预测值及相应交汇区:  $C_a(18)$ 相当于 $C_a(17)$ 向西北移50—100km;  $C_b(18)$ 相当于 $C_b(17)$ 向西南移50—100km。该交汇区位于陕北地区。由于该

区构造特征及历史上未发生过强震，且 $P(18, b) = 0 - \frac{1}{8}$ ，故舍弃 $C_0(18)$ 区。

3. 对第19次地震的发生区域的预测，

$$P(19, a) = 0 - \frac{1}{3}, P(19, b) = \frac{1}{3} - \frac{7}{32}。$$

将 $i=17$ 转换为 $i=19$ 得到： $C_0(19)$ 分布于太行山西侧，中心在太行山西侧左权县； $C_0(19)$ 在鄂尔多斯地块西北角，即石咀山以东地区。

综合以上结果可得出如下预报意见：

(1) 位于冀、鲁、豫交界区的 $C_0(17)$ 发震概率为 $P(17, a) = 0 - \frac{1}{2}$ ，位于晋西北及内蒙与之相邻地区的 $C_0(17)$ 发震概率 $P(17, b) = \frac{1}{2} - 1^*$ 。

(2) 位于晋、冀、豫交界区的 $C(18, a)$ 发震概率为 $P(18, a) = \frac{1}{2} - \frac{7}{8}$ 。

(3) 位于晋东及太行山一带的 $C_0(19)$ 发震概率 $P(19, a) = 0 - \frac{1}{3}$ ，位于鄂尔多斯西北角即石咀山以东地区的 $C_0(19)$ 发震概率 $P(19, b) = \frac{1}{3} - \frac{7}{32}$ 。

对于上述预测结果，不排除在黄海首先发震的可能性。例如本世纪初在黄海先发生地震，尔后地震向西北迁移。

#### 四、结 论

1. 使用本文提出的方法时，选取的参考点越多，预测结果越可靠，分辨率越高。可以设想，只要选择的参考点足够多，地震资料比较完整，对于任何复杂的地震过程，都能用该方法分析、寻找出地震空间分布规律来，从而确定未来地震区。

2. 由于概率分析以近期历史资料为样本，历史上未发生过强震的地区，发震概率也较小，如位于鄂尔多斯地块中部（陕北）的 $C_0(18)$ 预测区，发震概率只有 $0 - 1/8$ ，因此概率分析受历史资料的限制。

（本文1990年3月21日收到）

#### 参 考 文 献

- [1] 时振梁等，东亚、中亚大陆地震活动特征，大陆地震活动和地震预报国际学术讨论会论文集，地震出版社，1984。
- [2] 时振梁等，世界地震目录（1900—1980， $M_s \geq 6.0$ ），地图出版社，1986。
- [3] 国家地震局分析预报中心，地震速报目录，1981—1987。
- [4] 冯义，用马尔科夫全过程做中强震迁移预报，地震统计预报论文集，地震出版社，1982。

\*用改造后的灰色预测模型预测该地震发生时间为：1989年4月—1990年7月。

**METHOD OF DIRECT FORECASTING EPICENTER WITH MULTIPPOINT  
AND THE EARTHQUAKES OCCURRED IN NORTH CHINA**

Li Pinglin

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

**Abstract**

This paper proposes the method of direct forecasting epicenter with multipoint aimed at predicting the probable areas of coming strong earthquakes. The procedures of this method are, selecting four reference-points out of any seismic areas, writing down geocentric angles relative to the reference-points of each epicenter on the coordinate plane, finding out the curve of epicentral space movement law. Different curves show different movement states, each state migration of epicenters accords with Markov process. Thus, the earthquake occurring probability in future can be predicted for any seismic area. Finally, Using this method, the future seismic situation for some seismic areas in North China is predicted.