

华北地区构造应力场、断层滑动速率与强震的关系

楚全芝 汪良谋

(国家地震局地质研究所, 北京 100029)

摘 要 在华北地区选择了18个震例($M \geq 6.0$), 以断层滑动速率、应力主轴方向、断层走向为因子对震级作了二元线性回归分析。同时又作了震级与滑动速率之间的一元分析, 并将这两种分析作了对比。结果表明: ①二元回归分析优于一元分析; ②断层滑动速率、应力主轴方向与断层走向之间的夹角 α 是决定震级大小的两个主要因素; ③ $M \geq 3.5$ 级的地震与断层活动与否无关; ④运用二元分析公式可以进行震级预测, 并可以对历史地震作适当的修正。

关键词: 华北 回归分析 地震预测

0 引言

统计表明: 在华北地区, 大多数强震($M \geq 6.0$)都发生在活动断裂上, 或者与活动断裂密切相关。因此, 研究活动断裂与地震的关系就显得十分必要。许多学者在这方面做了大量的研究工作, 并获得了一系列的统计公式^[1]。不过, 多数人的研究主要是用一元线性回归分析的方法, 而且很少有人考虑应力主轴方向与断裂走向之间的夹角这一重要因素。实际上, 它是决定地震震级大小的主要因素之一。

本文从华北地区已知地震中选取了18个典型地震作样本(表1), 对地震和断层滑动速率、应力主轴方向与断层走向之间的夹角做了二元线性回归分析。同时还做了地震与断层滑动速率的一元线性回归分析, 并将这两种分析的结果作了比较。

1 样本选取

样本是分析的基础。为了提高样本的质量, 我们制定了选取样本的基本原则。①资料确切, 数据可靠; ②标准统一; ③有代表性; ④注意地震的空间分布; ⑤尽量采用最新资料。

1.1 地震

①地震的范围以华北地区为限。西侧到银川~海原, 东边到沿海, 南缘以大别山为界, 北界大致在呼和浩特~沈阳一带。②震级以 $M \geq 6.0$ 级为限, 主要是7级左右的地震。

5 级左右或者更小的地震一般来说破坏性较小或无破坏，而且与活动断裂的关系也不太显著，因而不用。③尽量选用本世纪以来的地震，尤其是 60 年代以来的地震。历史地震（1900 年以前）只选用 $M \geq 7.0$ 级的。④一条断裂或断层段上只选用最大的一次地震。⑤尽量避免地震样本在空间上过度集中。

表 1 地震构造

序号	地震			断层				应力方向			资料来源
	M	日期	地点	名称	性质	走向	速率 (mm/a)	P	T	α	
01	7.50	1830.06.12	磁县	太行山前	正断 右旋	30	2.11	332	67	37	(2, 3)
02	7.20	1966.03.22	邢台	新河	正断 右旋	20	1.00	56	147	53	(4)
03	7.40	1969.07.18	渤海	渤中一烟台	右旋	24	1.00	246	342	62	(5)
04	7.80	1976.07.28	唐山	唐山—宁河	正断 右旋	41	2.90	86	346.5	54.5	(6, 7)
05	8.00	1679.09.02	平谷	夏垫	正断	25	2.04	310	40	15	(3, 7, 8)
06	7.10	1976.07.28	滦县	沧东	正断	66	2.00	242	333.5	4	(7, *)
07	7.00	70.06.01BC	昌乐	沂沐	逆推 右旋	17	1.00	283	188	86	(5, 9)
08	6.50	1730.09.30	北京	黄庄—高丽营	正断	59	1.38	332	67	8	
09	7.00	1626.06.28	灵丘	太白维山前	正断	81	0.50	329	113	32	
10	7.25	1038.01.09	定襄	系舟山前	正断	50	0.91	41	348	62	(10)
11	8.00	1303.09.17	洪洞	霍山前	正断 右旋	18	0.70	5	95	77	(10)
12	7.50	1695.05.18	临汾	罗云山	正断 右旋	20	1.40	5	95	75	(10)
13	7.50	849	呼和浩特	大青山前	正断	70	2.83	172	273	23	(10)
14	6.20	1976.04.06	和林格尔	岱海—黄旗海	正断	60	0.37	228	323	83	(10)
15	6.00	1979.08.25	五原	色尔腾山	正断	95	0.50	46	136	41	
16	8.60	1920.12.16	海原	海原	左旋	118	9.46	216	320	22	(11, 10)
17	8.00	1556.01.23	华县	华山前	正断	74	1.52	254	332.5	78.5	(10)
18	6.25	1934.01.21	内蒙	色尔腾山前	正断	95	0.50	46	136	41	(10)

按照一定的原则，挑选出 18 个样本。 α ：应力方向和断层走向的锐夹角。在正断层中取 T 轴，在逆断层和走滑断层中取 Y 轴。大多数滑动速率来自于第四纪地质和地震位移

* 国家地震局地质研究所，北京市房山区琉璃河水泥厂厂址地震基本烈度复核报告，1988

1.2 断裂和滑动速率

①一条断裂由于研究程度和研究方法的不同,往往有若干断层滑动速率值。一般来说,地质法得到的数据偏小,形变测量的数据偏大,其它方法得到的数据介于这二者之间。在实际应用中,尽可能选用最新资料或有代表性的数据。一般不用形变测量的数据。②一条断裂的走向往往发生变化,有时变化还相当大。因而,当走向变化不大时,以断裂的总体走向为准;当变化较大时,以震中位置附近的走向为准。③地质法确定的断层滑动速率是一个时段的平均速率。为了提高样本的质量,尽可能采用全新世或晚更新世以来的平均滑动速率。

1.3 应力主轴方向

①应力主轴方向主要选用震源机制解的结果。一般选用多个震源机制解的平均值或者是靠近强震震中的震源机制解。最好是样本地震本身的震源机制解的结果。一般不选用单个小震($M < 5.0$)的震源机制解,因为它的结果有较大的随机性,不能代表断层活动的构造应力主轴方向。缺少震源机制解的样本,选用其它方法得到的应力主轴方向,如构造地质法。或者选用区域上的应力主轴方向。②正断层或张扭性断层选用主张应力方向;逆断层、压扭性断层和走滑断层选用主压应力方向。③断层与应力主轴方向的夹角 α ,是指断层走向与应力轴在地面水平投影之间的锐夹角。

1.4 断层滑动速率的单位

本文的断层滑动速率以微米为单位。其主要理由是:①避免公式中出现负值。②当断层年滑动速率为 $1\mu\text{m}$ 时,10万年的滑动量才10cm。一般说来,在野外地质调查中,断层的错距至少要10cm才能给予确切的判定,而小于10cm则不易于区分断层是否活动过。所以,当晚更世以来断层的年滑动速率小于 $1\mu\text{m}$ 时,可以认为断层是不活动的。③当某断层仅仅知道其活动时代,而不知道其滑动速率时,可以估计滑动速率。如,全新世活动断层年滑动量至少大于 $10\mu\text{m}$ 。

2 原始数据的初步分析

对数据的初步分析,主要采用图像识别法。首先做出震级与滑动速率、 α 角之间的一系列散点图。通过图像识别和对比,发现各个散点图之间的差异十分明显。震级(M)和断层滑动速率(V)的散点图没有明显的规律性(图1)。而 M 与 $\text{Log}V$ 的散点图就比较规则(图2)。尽管图像还比较分散,但基本上存在着 $\text{Log}V$ 增加, M 也随之增加的趋势。从图2中,我们可以得出两点启示:① M 与 $\text{Log}V$ 之间存在着线性关系;②图像的离散度较大,说明 $\text{Log}V$ 不是唯一的相关因子。据此我们可以得出:

$$M = a_1 \text{Log}V + b, \quad (1)$$

然后再分析震级 M 与 α 角之间的关系。我们做了 M 与 α 的正弦值、余弦值、正弦和余弦的最大值和最小值等一系列的散点图。从中发现 M 与 $\sin\alpha$ 之间存在着某种周期性函数关系,只是离散度较大。而 $\text{Log}M$ 与 $\sin\alpha$ 之间的图像较为理想(图3)。在此基础上进一步改进,最终获得 M 与 $10^{\sin\alpha}$ 的散点图(图4)。二者线性关系明显,由此得出:

$$M = a_2 10^{\sin\alpha} + b_2 \quad (2)$$

将公式(1)和(2)叠加得:

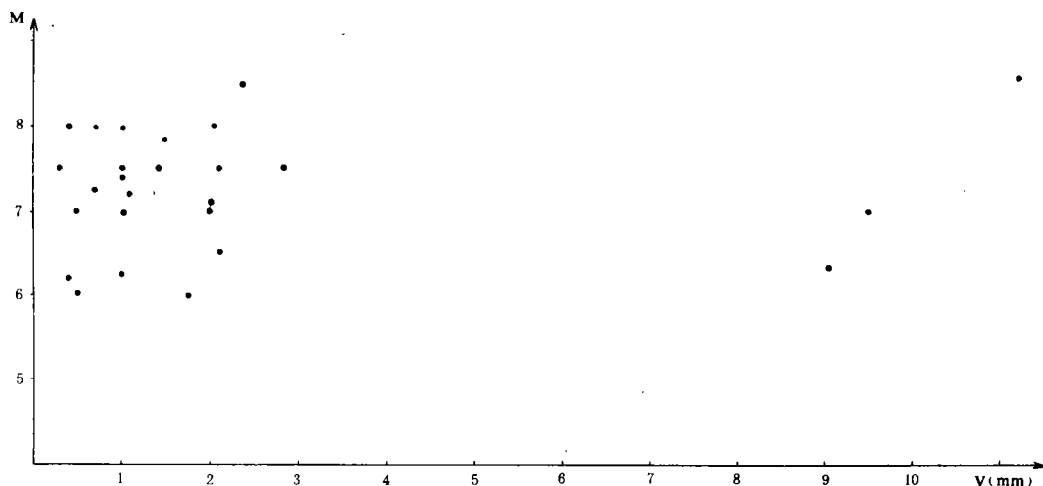


图1 M 和 α 散点图, 从图象上看不出 M 和 v 有何关系。

α 是断层滑动速率, M 是沿断层发生的已知最大震级

$$M = a \log V + b 10^{\sin 6\alpha} + c \quad (3)$$

其中, V : 断层滑动速率 (μ/a); α : 断层走向和应力场方向之间的夹角。

初步分析结果表明: ①用散点图法定性分析两变量之间是否相关, 是一种简便、直观且行之有效的理想方法。②震级与应力场方向之间存在着比较复杂的函数关系。

3 二元线性回归分析^①

前文中的公式 (3) 实际上是一个非线性的数学模型。因此, 必须对公式 (3) 进行改造, 将非线性的数学模型转换成线性数学模型, 同时对相应的数据进行必要的处理, 然后才能进行线性回归分析。这实际上是用线性分析的方法解决非线性的数学问题。

3.1 公式的改造

令: $M = y$, $\log V = x_1$, $10^{\sin 6\alpha} = X_2$

则:

$$y = ax_1 + bx_2 + c \quad (4)$$

3.2 原始数据表格化

首先将 M 、 V 、 α 的值做标准化处理, 然后制出线性回归分析的数据表 (表 2)。

3.3 求系数

用最小二乘法求出公式的系数 a 、 b 、 c 。计算步骤如下:

已知回归方程的形式为:

$$y = ax_1 + bx_2 + c$$

将已知数据 x_{1t} , x_{2t} 代入 y 的表达式中, 得到一系列的理論值 $\hat{y}$, 即:

① 长春地质学院数学地质教研室, 数学地质, P44~66, 1980.

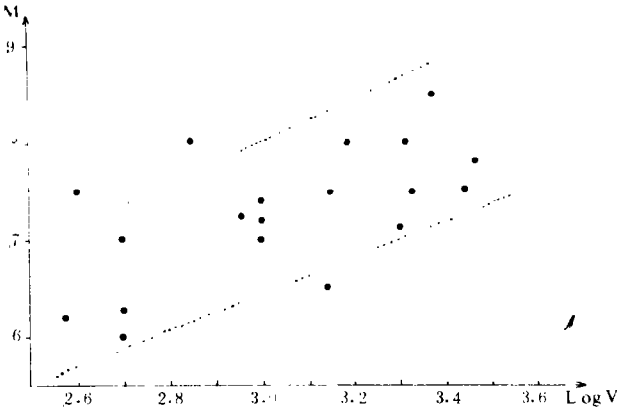


图 2 M 和 $\text{Log} a$ 散点图, 二者有线性关系

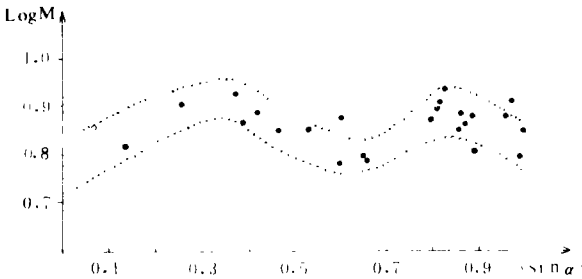


图 3 $\text{Log} M$ 和 $\sin \alpha$ 散点图, 二者相关性好

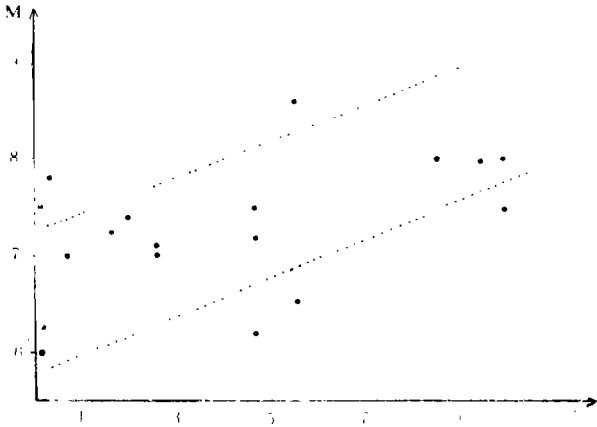


图 4 M 和 $10^{\text{Lin} a}$ 散点图, 二者有线性关系

$$a = \frac{L_{12}L_{20} - L_{10}L_{22}}{L_{12}^2 - L_{11}L_{22}} = 1.3705$$
$$b = 0.0630$$
$$c = 2.7817$$

$$\hat{y} = ax_1t + bx_2t + C$$
$$\text{令: } Q(a, b, c) = \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 = \sum_{t=1}^n (y_t - ax_1t - bx_2t - c)^2$$
$$\frac{\partial Q}{\partial C} = -2 \sum_{t=1}^n (y_t - ax_1t - bx_2t - c) = 0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial a} = -2 \sum_{t=1}^n (y_t - ax_1t - bx_2t - c) x_{1t} = 0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial b} = -2 \sum_{t=1}^n (y_t - ax_1t - bx_2t - c) x_{2t} = 0$$

经计算整理, 最终得:

$$\begin{cases} L_{11}a + L_{12}b = L_{10} \\ L_{21}a + L_{22}b = L_{20} \end{cases} \quad (5)$$

其中, $L_{io} = \sum_{t=1}^n (x_{it} - \bar{x}_i)(y_t - \bar{y})$

$$L_{ij} = \sum_{t=1}^n (x_{it} - \bar{x}_i)(x_{jt} - \bar{x}_j)$$

则: $L_{10} = \sum x_1y - \frac{1}{18} \sum x_1 \sum y$

$$= 3.1121$$

$$L_{11} = \sum x_1^2 - \frac{1}{18} (\sum x_1)^2$$

$$= 2.0475$$

$$L_{12} = \sum x_1x_2 - \frac{1}{18} \sum x_1 \sum x_2$$

$$= 4.8599$$

$$L_{22} = 227.7861$$

$$L_{20} = 21.0055$$

$$L_{00} = \sum y^2 - \frac{1}{18} (\sum y)^2$$

$$= 8.395$$

表 2

二元分析数据

NO.	y	x ₁	x ₂	x ₁ ²	x ₁ x ₂	x ₂ ²	x ₁ y	x ₂ y	y ²	y	v (μ/a)
01	7.50	3.3243	0.2142		0.7121		24.9323	1.6065		7.351	2.11
02	7.20	3.0	0.2142		0.6426		21.6	1.5422		6.907	1.0
03	7.40	3.0	1.6140		4.8420		22.2	11.9436		6.995	1.0
04	7.80	3.4624	0.2853		0.9878		27.0067	2.2253		7.545	2.9
05	8.0	3.3096	10.0		33.096		26.4768	80.0		7.948	2.04
06	7.10	3.3010	2.5512		8.4215		23.4371	18.1135		7.466	2.0
07	7.0	3.0	2.5512		7.6536		21.0	17.8584		7.054	1.0
08	6.5	3.1399	5.5353		17.3803		20.4094	35.9795		7.434	1.38
09	7.0	2.6990	0.6196		1.6723		18.8930	4.3372		6.520	0.5
10	7.25	2.9590	1.6140		4.7758		21.4528	11.7015		6.939	0.9
11	8.0	2.8451	9.5093		27.0549		22.7806	76.0744		7.280	0.7
12	7.5	3.1461	10.0		31.4610		23.5958	75.0		7.723	1.4
13	7.5	3.4518	4.6680		16.1130		25.8885	35.010		7.806	2.83
14	6.2	2.5682	4.6680		11.9884		15.9228	28.9416		6.596	0.37
15	6.0	2.6990	0.1220		0.3293		16.194	0.7320		6.488	0.5
16	8.60	3.9759	5.5353		22.0078		34.1927	47.6036		8.579	9.46
17	8.0	3.1818	8.5818		27.3056		25.4544	68.6544		7.683	1.52
18	6.25	2.6990	0.1220		0.3293		16.8688	0.7625		6.488	0.5
Σ	130.8	55.7621	68.4056	174.7926	216.7732	487.7487	408.3167	518.0862	958.875	130.80	

y: 实测震级, x₁: LogV, V 是断层滑动速率, X₂: 10^{sin6α}, α 是断层走向和应力方向之间的锐夹角。
则:

y=1.3705x₁+0.0630x₂+2.7817

(5)

即:

M=1.3705LogV+0.0630×10^{sin6α}+2.7817

(6)

其中, V≥1 (μ/a), 当 V<1 时, 1.3705LogV=0

3.4 结果分析

在公式 (6) 中, 当 V≤1μ/a 时, Mmax=3.41。这意味着, 小于 3.5 级的地震与断层是否活动无关。令 sin6α=1, 则第二项的最大值为 0.63。这意味着在同一地区滑动速

率相同,走向不同的两条活断层,发生的最大震级可以相差 0.6 级左右。同一条活动断裂,不同的断层段之间,由于走向的变化或弯曲,也可导致震级大小的差异。这可以解释较大的地震为什么仅仅发生在某方向的断裂上,或断裂的某些地段。第三项可能与地区的深部结构和介质条件等因素有关。因而,不同的地区,常数项的大小可能会有变化。

4 一元线性回归分析

一元线性回归分析用断层滑动速率为自变量,震级为因变量。具体步骤如下:

(1) 根据散点图的分析(见图 1, 2),构造出数学模型:

$$M=a\log V+b$$

令 $y=M$, $x=\log V$ 则:

$$y=ax+b$$

(2) 对原始数据处理

(3) 用最小二乘法求系数得:

$$a=1.5200, b=2.5580 \quad \text{则:}$$

$$y=1.52x+2.558 \quad (7)$$

$$\text{即: } M=1.52\log V+2.558 \quad V \geq 1 \quad (\mu/a) \quad (8)$$

若令 $1.52\log V=0$, 则 $M=2.558$, 这可表明小于 2.6 级的地震与断层活动与否无关。常数项 2.558 与介质条件、应力场方向及深部结构等因素有关。与公式(6)对比可以看出,一元分析的常数项包含的因素多于二元的,其值应该较大才合乎逻辑。实际上反而更小,这可能意味着一元分析的质量不高。

5 方程式的检验与对比

方程式的检验是必不可少的环节,通过检验可以确定公式的显著水平,即质量的高低、有否实用价值。同时可以对其误差和可信度有一个明确的了解。通过一元分析和二元分析公式的对比,才能够显示出孰优孰劣。

5.1 二元回归分析的检验

(1) 复相关系数

$$S_T = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum y_i^2 - \frac{1}{n} \sum y_i \sum y_i - \bar{y} \sum (y_i - \bar{y})$$

$$\because \sum (y_i - \bar{y}) = \sum y_i - n\bar{y} = \sum y_i - n \cdot \frac{1}{n} \sum y_i = 0$$

$$\therefore S_T = \sum y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum y_i)^2 = 8.395$$

$$S_{\square} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^k b_i L_{i0}$$

$$\text{其中, } L_{i0} = \sum_{t=1}^n (X_{it} - \bar{x}_i) (y_t - \bar{y}) = \sum_{t=1}^n y_t x_{it} - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sum_{i=1}^n x_{it}$$

$$\therefore S_{\square} = b_1 L_{10} + b_2 L_{20} = 5.5885$$

$$S_{\text{偏}} = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = S_T - S_{\square} = 2.8065$$

$$R = \sqrt{\frac{S_{\text{回}}}{S_T}} = 0.8159$$

(2) F 检验

$$f_r = n - 1 = 18 - 1 = 17 \quad (\text{总数据的个数减 } 1)$$

$$f_{\text{回}} = k = 2 \quad (\text{自变量的个数})$$

$$f_{\text{偏}} = f_r - f_{\text{回}} = n - 1 - k = 15$$

$$F = \frac{S_{\text{回}} \times f_{\text{偏}}}{K \times S_{\text{偏}}} = 14.93$$

令 $\alpha = 0.05$ (α 为置信度), 查 F 表得:

$$F_{0.05}(2, 15) = 3.68$$

由于 $F = 14.93 > 3.68 = F_{0.05}(2, 15)$

所以认为回归平方和是高显著的。

(3) 回归方程的剩余标准差。

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_{\text{偏}}}{f_{\text{偏}}}} = 0.4326$$

(4) 总方差

$$\sum (y - y_2)^2 = 2.89045$$

其中, y 是实测震级, y_2 是据二元方程得出的理论震级。

5.2 一元线性回归分析的检验

(1) 相关系数

$$S_T = \sum (y_i - \bar{y})^2 = 8.395$$

$$S_{\text{偏}} = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = 3.7579$$

$$S_{\text{回}} = 8.395 - 3.7579 = 4.6371$$

$$r = \sqrt{\frac{S_{\text{回}}}{S_T}} = 0.7432$$

(2) F 检验

$$F = \frac{(n-2) S_{\text{回}}}{S_{\text{偏}}} = \frac{16 \times 4.6371}{3.7579} = 19.7434$$

令 $\alpha = 0.05$ (α 为置信度), 查 F 表得:

$$F_{0.05}(1, 16) = 4.49$$

因为 $F = 19.74 > 4.49 = F_{0.05}(1, 16)$

所以认为一元回归平方和是高显著的。

(3) 回归方程剩余标准差

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_{\text{偏}}}{f_{\text{偏}}}} = 0.4846$$

(4) 方差总和

$$\sum (y - y_1)^2 = 3.7579$$

其中, y : 实测震级, y_1 : 据一元方程得出的震级。

5.3 回归分析结果的对比

经过上述检验和分析我们可以获得如下认识:

①两方程的第一项系数的值比较接近;而二元方程中第二项的系数很小。这说明,震级的大小主要取决于断层滑动的速率;而应力场方向的变化对震级的影响较小。②一元分析和二元分析的 F 检验表明其显著水平都比较高,这也进一步说明了断层滑动速率的确是决定震级大小的主要因素。③二元的相关系数大于一元的。④二元的剩余标准差小于一元的。⑤二元的方差总和小于一元的(表 3)。所以我们有理由认为:二元分析的公式优于一元的;同时也证实,震级的大小的确与应力场方向和断层走向之间的夹角 α 有关。

表 3 检验与对比

	相关系数	F	σ	方差总和
一元	$r=0.7432$	$F=19.74>4.49=F_{0.05}(1, 17)$	$\sigma_1=0.4846$	3.7579
二元	$R=0.8159$	$F=14.93>3.68=F_{0.05}(2, 15)$	$\sigma_2=0.4326$	2.89045

F: F 检验, σ 剩余标准差。从表中可知, 一元二元分析的公式显著水平较高, 而 $R>r$, $\sigma_2<\sigma_1$, 所以二元分析优于一元分析。

6 二元回归分析的地震预测

由于地震的成因是多种因素共同作用的结果, 所以根据断层滑动速率和 α 角计算出的理论震级 ($\hat{y}$) 与实际观测的或可能发生的震级 (y) 之间存在着一定的偏差。这个偏差的大小与剩余标准差 σ 有关。我们可以借助于 σ 来预测某一范围的发震概率。实际震级将以不同的概率落入下列各区间内^[12]:

$\hat{y}-0.5\sigma < y < \hat{y}+0.5\sigma$	概率: 38.3%
$\hat{y}-0.67\sigma < y < \hat{y}+0.67\sigma$	50%
$\hat{y}-\sigma < y < \hat{y}+\sigma$	68.3%
$\hat{y}-2\sigma < y < \hat{y}+2\sigma$	95.4%
$\hat{y}-3\sigma < y < \hat{y}+3\sigma$	99.7%

从上述可以看出, 如果我们要求预测的震级比较确切, 那么就要缩小区间, 结果落入区间的概率就要降低。如果加大区间, 那么预测震级的范围势必加大, 概率也随之增加。因此震级的精确性就降低。例如, 已知某断层滑动速率为 1mm/a, α 角为 45° , 则: $\hat{y}=6.9$ 。在 $\sigma=0.4326$ 的情况下, 可以预测该断裂发生 6.7~7.1 级的概率为 38.3%, 发生 6.6~7.2 级的概率为 50%, 发生 6.5~7.4 级的概率为 68.3%, 发生 6.0~7.8 级地震的概率为 95.4%, 发生 5.6~8.2 级地震的概率为 99.7%。

如果作回归曲面的两个平行面:

$$II_1 \quad M=1.3705\text{Log}V+0.0630\times 10^{\sin\alpha}+3.6469$$

表 4 地 震 预 测

序号	已知最大震级		活断层				α	预测 M (概率: 95%)
	M	日期	名称	性质	走向	速率 (mm/a)		
01	7.50	1830.06.12	太行山前	正断 右旋	30	2.11	37	6.5—8.2
02	7.20	1966.03.22	新河	正断 右旋	20	1.00	53	6.0—7.8
03	7.40	1969.07.18	渤中—烟台	右旋	24	1.00	62	6.1—7.9
04	7.80	1976.07.28	唐山—宁河	正断 右旋	41	2.90	54.5	6.7—8.4
05	8.00	1679.09.02	夏垫	正断	25	2.04	15	7.1—8.8
06	8.00	1739.01.03	银川—平罗	正断 右旋	25	0.5	55	5.6—7.4
07	7.10	1976.07.28	沧东	正断	66	2.00	4	6.6—8.3
08	6.30	1967.03.27	大城	正断	38	9.0	63	≥ 7.5
09	8.50	1668.07.25	沂沭	右旋逆 推	20	2.35	69.5	7.0—8.7
10	6.50	1730.09.30	黄庄—高丽营	正断	59	2.11	8	6.8—8.6
11	7.00	1626.06.28	太白维山前	正断	81	0.50	32	5.6—7.4
12	7.50	0512.05.21	五台山	正断	15	0.2	25	5.3—7.0
13	7.50	849	大青山前	正断	70	2.83	23	6.9—8.7
14	6.20	1976.04.06	岱海—黄旗海	正断	60	0.37	83	5.7—7.5
15	8.60	1920.12.16	海原	左旋	118	9.46	22	≥ 7.7
16	6.25	1934.01.21	色尔腾山前	正断	95	0.50	41	5.6—7.4

预测 M 据下列公式:

$$M=1.3705\text{Log}V+0.0630 \times 10^{\sin\delta\alpha}+2.7818-2\sigma_2, \quad M=1.3705\text{Log}v+0.0630 \times 10^{\sin\delta\alpha}+2.7818+2\delta_2$$

8 号和 10 号: 速率值来源于形变测量, 所以 $M=6.3$ 和 $M=6.5$ 分别落在区间 $[I>=7.51]$ 和 $[6.8, 8.6]$ 的外边, 6 号和 12 号是历史地震也落在区间外边。由此可见, 形变测量数据不适用本公式。另外, 该公式还可以用于修正历史地震震级。

$$I_2 \quad M=1.3705\text{Log}V+0.0630 \times 10^{\sin\delta\alpha}+1.9165$$

则可以预测, 实际发生的地震将有 95% 落在这两个平行面内。

7 讨 论

作者在华北地区选了 16 个地震做了实际检验 (表 4)。有 3 例落在预测曲面之外。其中两例 (6 号, 12 号) 是实际震级大于预测震级, 落在区间的右侧。另外一例 (8 号), 实际震级小于预测震级, 落在了区间的左侧。究其原因, 前者是历史地震, 震级的大小是根据文献记载的破坏程度推算的。若考虑到古时的房屋多数抗震性能差, 或许记载时有夸大灾情等因素, 推算的震级易于偏高。后者, 断层的滑动速率是地形变测量的数据。由于地形变是多因素的叠加, 一般偏大, 不能代表断层的实际滑动速度。故此, 理论震级也偏大。

在实际适用本文的数学公式时, 应注意以下几点:

①避免使用形变测量的数据, 非用不可时, 要对公式作适当的修正。②对历史地震的震级明显大于理论震级, 且落在预测区间 (概率 95%) 之外时, 要从两个方面查找原因。一是历史地震的震级可能偏大, 需要重新核实; 二是断层活动速率可能偏小, 需要进一步调查研究。③在其它地区运用本公式时, 由于介质条件, 深部结构及其它参数的变化, 可能会出现较大的系统偏差, 这时要修正公式的常数项。

本文的研究结果表明:

①震级大小不但与断层滑动速率相关, 而且应力作用方向与断层走向之间的 α 夹角也是不可忽略的因素之一。②经分析对比表明二元分析的效果要优于一元分析的效果。③ $M < 3.5$ 级的地震与断层是否活动无关。④在断裂走向弯曲的部位易于发生较大的地震。主要原因是 α 角发生的变化。⑤利用二元回归分析公式可以对已知滑动速率、应力场方向、断层走向和活动性质的活断层进行预测, 并给出相应的概率值。另外, 通过公式的计算还能够对历史地震的震级提供适当的修正数据。

(1992 年 10 月 5 日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 D. P. Schwartz, et. al (汪雍熙译). 估算地震最大震级的各种方法. 地震地质译丛. 1986, 8 (4): 47—50
- 2 商宏宽, 吕梦林. 晋冀鲁豫交界地区地震地质条件. 华北地震科学, 1985, 3 (3): 1—16
- 3 黄立人, 谢觉民. 北京地区断裂活动分析及其对地震前兆和应力场的表现. 华北地震科学, 1989, 7 (2): 1—12
- 4 马宗晋, 等. 中国九大地震 (1966—1976). 北京: 地震出版社, 1982. 6—11
- 5 国家地震局地质研究所. 郯庐断裂. 北京: 地震出版社, 1987. 142—15
- 6 马廷著, 黄佩玉. 唐山 7.8 级地震前后的断裂运动. 地震地质, 1982, 4 (4): 44—51
- 7 业成之. 从跨断层测量资料探讨唐山地震孕育的断裂运动特征. 华北地震科学, 1987, 5, 增刊: 292—299
- 8 马杏垣. 中国岩石圈动力学地图集. 北京: 中国地图出版社. 1989. 30
- 9 周翠英, 魏光兴. 沂沭断裂带现代构造应力场与地震活动. 华北地震科学, 1987, 5 (2): 29—39
- 10 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系 (中国活断层研究专辑). 北京: 地震出版社, 1988. 20—154
- 11 李孟奎, 赵知军. 宁夏地区的震源机制与应力场. 西北地震学报, 1981, 3 (4): 49—54
- 12 浙江大学数学系高等数学教研组. 概率论与数理统计. 北京: 人民教育出版社, 1979. 111—119

THE CORRELATION OF TECTONIC STRESS FIELD AND FAULT SLIP RATE WITH STRONG EARTHQUAKES IN NORTHCHINA

Chu Quanzhi Wang Liangmou

(Institute of Geology, S S B, Beijing 100029)

Abstract

Since 70 B. C. , 77 earthquakes with $M \geq 6.0$ have been recorded in North China. Thirty-three of them occurred on active fault zones or were closely related to active faults. According to some principles, eighteen of them are selected as samples and the univariate and bivariate linear regression analysis is made by least-square approximation for them. The results of the two regression analyses are compared and are shown as follows: 1. The significance level of F test on the bivariate regression analysis is as high as that on the univariate analysis. 2. The correlation coefficient of the bivariate analysis is larger than that of the univariate analysis. 3. The residual standard deviation of the bivariate analysis, σ , is less than that of the univariate analysis. We may draw the conclusion as follows: 1. The earthquake magnitude is not only related to the fault slip-rate, but also to the stress direction. 2. The earthquakes with $M \leq 3.5$ is not correlative with whether the fault is active or not. 3. In the bent place of a fault, it is easy that a large earthquake may occur. 4. A slip-rate and a stress direction are two important factors to determine earthquake magnitude 5. The effect of a multivariate regression analysis is superior to that of a univariate analysis.