

# 用滑动方向拟合法\* 反演富蕴地震断裂带应力场

许忠淮 戈澍謨

(国家地震局地球物理研究所) (新疆维吾尔自治区地震局)

## 摘要

本文根据野外考察测得的1931年新疆富蕴8级地震形成的地震断裂带内42组断层水平和垂直位移数据,求得42个断面上的滑动方向。利用滑动方向拟合法(使计算的断面上的剪切力方向与观测的滑动方向之间夹角最小)求出了断裂带上由北向南四个区段的驱动断层滑动的平均应力场。结果表明,四个区段的最大和最小主应力轴皆水平,最大主应力轴方位大致在N15°E至N30°E之间。整个断裂带的应力场相当均一,这说明富蕴大地震的发震原因不象是局部因素,而可能是大范围构造运动的结果。

## 一、引言

产状一定的断层,当满足滑动条件时,到底向哪个方向滑动,这是受断层所在地区构造应力张量的结构控制的。同一产状的断层,构造应力张量不一样,可以有不同的滑动角(断面上滑动矢量与水平线的夹角)。若测得一组在产状各不相同的断面上发生滑动的方向数据,则可以由这组滑动方向数据去反推这些断层所在地区驱动断层运动的平均构造应力张量。该法的基本思想最初是由M. H. P. Bott 1959年提出的<sup>[1]</sup>。近年来,J. Angelier<sup>[2,3]</sup>等人在这方面做了不少定量研究工作,他们求解的是非线性反演问题。法国在这方面开展的研究工作比较活跃<sup>[4,5]</sup>。本文主要是参考美国 W. Ellsworth 使用的线性反演方法<sup>[6]</sup>。

使用该法时,首先假定存在某个平均应力张量,然后计算在该应力张量作用下,在每个断面上产生的剪应力。此外,每个断面上还有一个由观测确定的滑动矢量方向,使每个断面上计算的剪应力方向与观测的滑动矢量方向之间的夹角尽可能地小,从而求解出应力张量,这就是滑动方向拟合法。一般情况下,该法不但可求出三个主应力轴的方向,还可给出中等主应力相对大小的信息。

滑动方向拟合法,提供了根据一组地质断层上滑动方向的观测结果,去推断某一构造活动时期作用于该组断层所在地区的平均应力场(方向和中等主应力相对大小)的方法。

\* 由于本文系上期存版,故英文图题、表题未排入。

本文 1983年9月20日收到,1984年1月9日收到修改稿。

为了获得好的反演结果，要求这些产状不同的断层是在同一构造活动期中错动的。本文所研究的区域并不是在某一构造活动时期内相继发生错动的一组断层所在的区域，而是一个特殊的区域——一次大地震造成的主断裂带。

近年来，以新疆地震局的同志为主体的我国部分地震工作者，对 1931 年 8 月 11 日新疆富蕴 8 级大地震（北纬  $46^{\circ}45'$ ，东经  $89^{\circ}54'$ ）形成的地震断裂带进行了详细考察，考察过程中测得一批断层的水平和垂直位移。本文目的在于，根据这些数据用滑动方向拟合法，反演可能的驱动断层滑动的平均应力场。

## 二、分析方法

1. 这里的分析方法基于两个基本假定：(1) 断层是沿着断面上剪应力的方向发生滑动的；(2) 一组断层所分布的区域内存在着平均应力场<sup>[2,3]</sup>。

2. 记每个断面上单位滑动矢量为  $\mathbf{u}_i$ ，它给出断层上盘相对于下盘的滑动方向， $i$  为断层序号（图 1）。令  $\mathbf{n}_i$  为断层面法向单位矢量， $\mathbf{b}_i$  是与  $\mathbf{u}_i$  和  $\mathbf{n}_i$  皆垂直的单位矢量。取地平坐标系  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  如图 1。设欲求的平均应力张量在地平坐标系中的表达式为

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

这里利用了  $\mathbf{S}$  的对称性。

设共有  $m$  个断层（必须  $m \geq 4$ ），作用于第  $i$  个断层面单位面积上的力  $\mathbf{f}_i$ （图 2）为

$$\mathbf{f}_i = \mathbf{S} \cdot \mathbf{n}_i. \quad (2)$$

作用于该面上的剪切应力为

$$\tau_i = \mathbf{f}_i - f_{n_i} \mathbf{n}_i \quad (3)$$

这里  $f_{n_i} = \mathbf{f}_i \cdot \mathbf{n}_i$ （图 2）。我们的目的就是寻找一个适当的应力张量  $\mathbf{S}$ ，使作用于每个

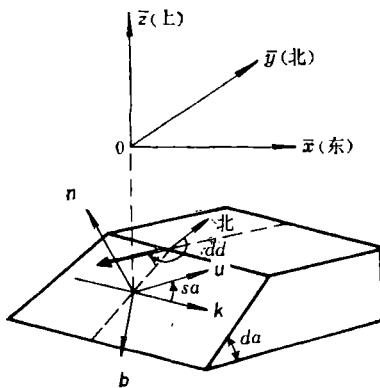


图 1

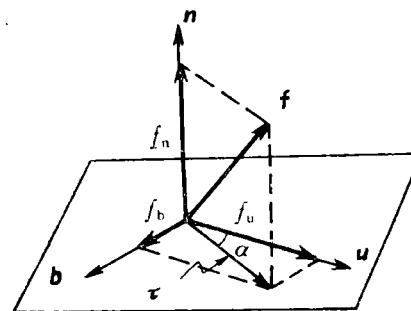


图 2

断面上的剪应力  $\tau_i$  与该面上的  $\mathbf{u}_i$  之间的夹角  $\alpha_i$  尽可能地小。一个可能的办法是使量

$$Q = \sum_{i=1}^m \cos \alpha_i \quad (4)$$

达极大值,由此条件求出的  $\mathbf{S}$  便可满足要求。求(4)式中  $Q$  的极值问题涉及求解含未知应力分量  $S_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) 的非线性方程组的问题。为用线性问题代替非线性问题, 我们改求量

$$Q_1 = \sum_{i=1}^m f_{u_i}^2 - \sum_{i=1}^m f_{b_i}^2 \quad (5)$$

的极大值,由此解出  $S_{ij}$ 。上式中  $f_{u_i}$  和  $f_{b_i}$  分别为  $\mathbf{f}_i$  在  $\mathbf{u}_i$  和  $\mathbf{b}_i$  方向的分量。

3. 利用公式(2)和(3)可以证明<sup>[3]</sup>, 应力张量

$$\mathbf{S}' = t_1 \mathbf{S} + t_2 \mathbf{I} \quad (6)$$

与应力张量  $\mathbf{S}$  在任意法向单位矢量为  $\mathbf{n}$  的断层面上,产生的剪切应力方向相同,式中  $t_1$  和  $t_2$  为两个任意常量,  $t_1 > 0$ ,  $\mathbf{I}$  是单位张量。这就是说, 单由若干断层面上的剪切应力方向只能反推应力张量  $\mathbf{S}$  的 6 个独立分量中的 4 个, 还有 2 个分量不定。 $t_1$  的任意性表示不能由一组断层面上剪应力的方向确定偏应力张量的绝对大小,  $t_2$  的任意性则表示不能由这些数据确定流体静压强的大小。

为使求解的问题确定起见,现对所求的应力张量  $\mathbf{S}$  加以下两个限制条件<sup>[6]</sup>:

$$1) \quad S_{11} + S_{22} + S_{33} = 0, \quad (7)$$

$$2) \quad J_2 = - \left\{ \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{12} & S_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} S_{22} & S_{23} \\ S_{23} & S_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} S_{33} & S_{13} \\ S_{13} & S_{11} \end{vmatrix} \right\} = 1. \quad (8)$$

$J_2$  是  $\mathbf{S}$  的第二不变量。条件 1) 表示只考虑构造应力场的偏应力张量。条件 2) 表示人为地规定了八面体剪应力  $\tau_0$  的大小,因为

$$\tau_0^2 = \frac{2}{3} J_2.$$

满足约束条件(7)和(8)的应力张量  $\mathbf{S}$  只有 4 个待定独立分量, 由它们可以确定三个主应力轴的方向和一个表示应力相对大小的量  $\varphi$ , 其定义为<sup>[2]</sup>

$$\varphi = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \quad (9)$$

式中  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ , 分别是  $\mathbf{S}$  的最大、中等和最小主压应力。显然有  $0 \leq \varphi \leq 1$ 。 $\varphi$  的大小反映中等主应力  $\sigma_2$  的相对大小,  $\varphi = 0$  表示  $\sigma_2 = \sigma_3$ ,  $\varphi = 1$  则表示  $\sigma_2 = \sigma_1$ 。

此外,为避免出现  $\tau_i$  和  $\mathbf{u}_i$  夹角接近  $180^\circ$  的解,还需考虑条件

$$\tau_i \cdot \mathbf{u}_i \geq 0. \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

4. 已知观测数据是  $m$  个断层的倾向  $dd_i$ 、倾角  $da_i$  和滑动角  $sa_i$  (图 1),由它们可算出每个断层的  $\mathbf{u}_i$ 、 $\mathbf{n}_i$  和  $\mathbf{b}_i$ 。本文的滑动角  $sa$  定义为从断层走向  $\mathbf{k}$  反时针量至滑动矢量  $\mathbf{u}$  的角度,  $-180^\circ < sa \leq 180^\circ$ , 对逆断层有  $sa > 0$ , 对正断层有  $sa < 0$ 。为确定断层走向  $\mathbf{k}$ , 规定当面朝走向方向看去时,断层上盘在右。

根据  $m$  组  $dd_i$ 、 $da_i$  和  $sa_i$  计算平均应力张量  $\mathbf{S}$  的三个主应力轴方向和  $\varphi$  值的主要数学步骤见附录。

表 1 1931 年富蕴地震断层测量数据

编 号	地 点	产 状		错距(米)		滑动角 (度)	$\alpha$ (度)	备 注
		倾向 (度)	倾角 (度)	水平	垂直			
1	恰尔沟南	78	60	1.0	-1.0	-131	35	
2	恰尔沟南	68	55	3.0	-0.35	-172	2	
3	水磨沟北	70	50	5.0	-0.5	-173	4	
4	水磨沟北	73	45	3.5	-1.0	-158	7	
5	水磨沟北	75	25	1.5	-0.45	-145	18	
6	水磨沟北	75	51	3.5	-0.35	-173	8	
7	水磨沟口	70	70	2.0	0.5	165	22	
(8)	水磨沟口	210	73	6.0	-0.4	-176		(1)
9	回八哈尔北	64	59	3.0	-0.2	-176	3	
10	回八哈尔南	67	72	5.0	-0.4	-175	1	
11	白杨沟北	70	77	11.0	-1.0	-175	0.8	
12	卡拉辛格尔南	65	60	3.3	-0.35	-173	1	(2)
13	鸡冠山	53	81	8.0	-1.0	-173	1	
14	鸡冠山南	58	64	9.7	-0.52	-177	0.8	
15	鸡冠山南	60	65	10.8	-1.3	-172	4	
16	鸡冠山南	70	60	9.4	-0.4	-177		
17	鸡冠山南	70	56	10.6	-0.9	-174	2	(3)
18	苇子沟	70	53	11.6	-0.3	-178	6	
19	大拐弯南	65	46	8.9	-0.4	-176	0	
20	阿克赛依	77	42	7.9	-0.4	-176	10	
21	萨热巴斯套	65	45	2.2	-0.3	-169	8	
22	萨热巴斯套	52	45	1.6	-0.2	-170	20	
23	萨热巴斯套	65	60	7.0	0.8	-174	6	
24	洞 沟	62	69	2.1	0.4	169	11	
25	奥尔塔哈勒苏	58	60	9.0	0.8	174	3	(2)
26	卓勒萨依	55	79	6.0	-0.7	-173	6	
27	卓勒萨依	68	58	7.5	0.45	176	7	
28	科克吐木苏克	238	82	7.5	0.6	175	0.7	
29	白石包	78	85	5.5	0.8	172	3	
30	南 口	50	80	3.0	-0.3	-174	4	
(31)	南 口	285	60	2.5	-0.9	-157		(1)
32	南 口	94	53	6.5	-0.5	-174	21	(2)
33	干 沟	62	74	6.5	0.6	175	5	
34	卡布尔特	62	75	8.5	0.8	174	5	
35	羊圈沟北	60	70	7.0	0.5	176	9	
36	羊圈沟北	74	86	5.2	0.6	173	2	
37	羊圈沟北	85	86	2.0	1.0	153	22	
38	乌伦古河北	247	85	6.0	0.6	174	8	
39	乌伦古河北	270	85	2.0	0.1	177	13	
(40)	乌伦古河北	295	76	2.4	-0.2	-175		(1)
41	乌伦古河南	264	68	3.5	-0.3	-175	6	
42	交勒巴斯套	252	80	2.5	-0.2	-175	2	

注：所有断层皆为右旋滑动。垂直位移上盘向上为正，向下为负。 $\alpha$  为计算剪切力方向与观测滑动方向夹角。

(1) 初次计算时因计算剪切力方向与观测滑动方向差别太大，复算时弃之； (2) 滑动角为二处产状相同断层上滑动角的平均值； (3) 滑动角为七处产状相同断层上滑动角的平均值。

### 三、结 果

富蕴地震地表断层迹线示于图 3, 其上标出了断层测量点的大致位置。断层测量数据列于表 1。对产状相同或相近的两个或几个断层, 计算时只取其一, 而滑动角则取各滑

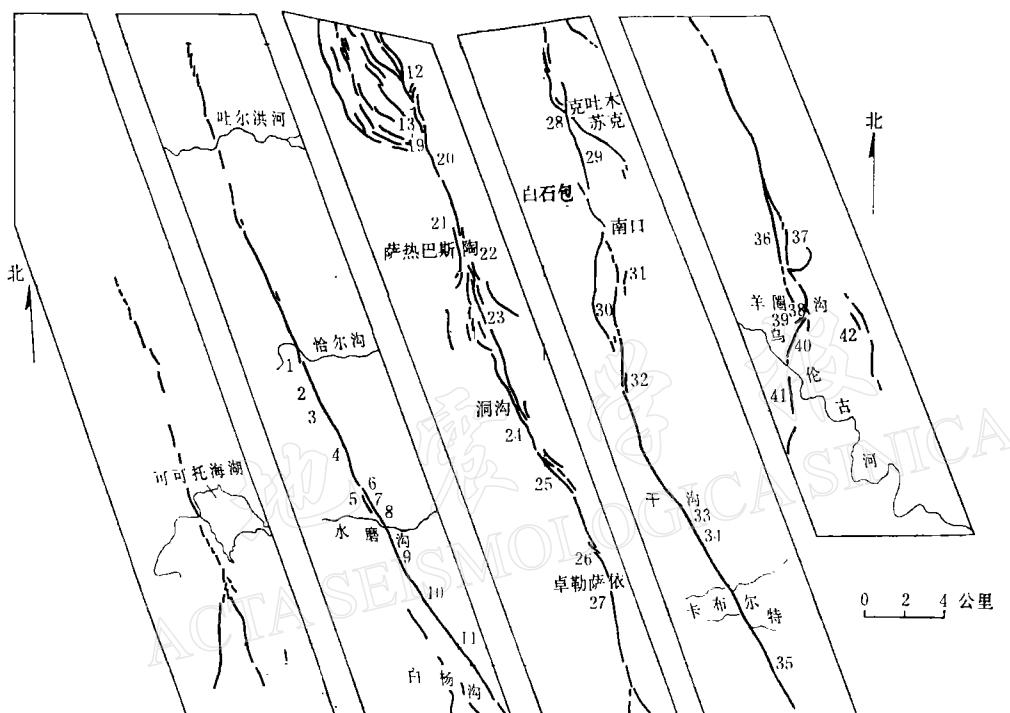


图 3 1931 年富蕴地震断裂带平面图

(数字表示断层测量点大致位置)

动角的平均值。所用 42 条断层数据, 大体是沿断层迹线由北向南编号的。我们将此数据分为 4 组, 各组断层的编号如表 2。它们对应由北向南的 4 个区段。初次计算后发现第 8、第 31 和第 40 号断层的  $\tau_i$  与  $u_i$  夹角过大, 超过了各组  $\alpha_i$  值方均根偏差的三倍, 再次计算时遂舍弃这三条数据。图 4 在上半球面的乌尔夫网投影图上表示出这 4 组断层面及相应滑动矢量位置, 计算结果列于表 3, 并表示于图 5。此外, 表 1 中还列出按所得平均应力张量计算的各断面上剪切力方向与观测滑动方向的夹角  $\alpha$  值。

由于我们是根据地表断层分析地表附近的应力场, 因而也可事先假定有一个主应力轴是与地表垂直的。这时要求解的应力张量  $S$  的独立分量只剩 2 个了, 其中一个反映水平主应力轴的方位, 另一个反映主应力的相对大小。表 4 给出固定一轴与地表垂直时的

表 2

区 段	断层编号
1	1—12
2	11—21
3	20—33
4	32—42

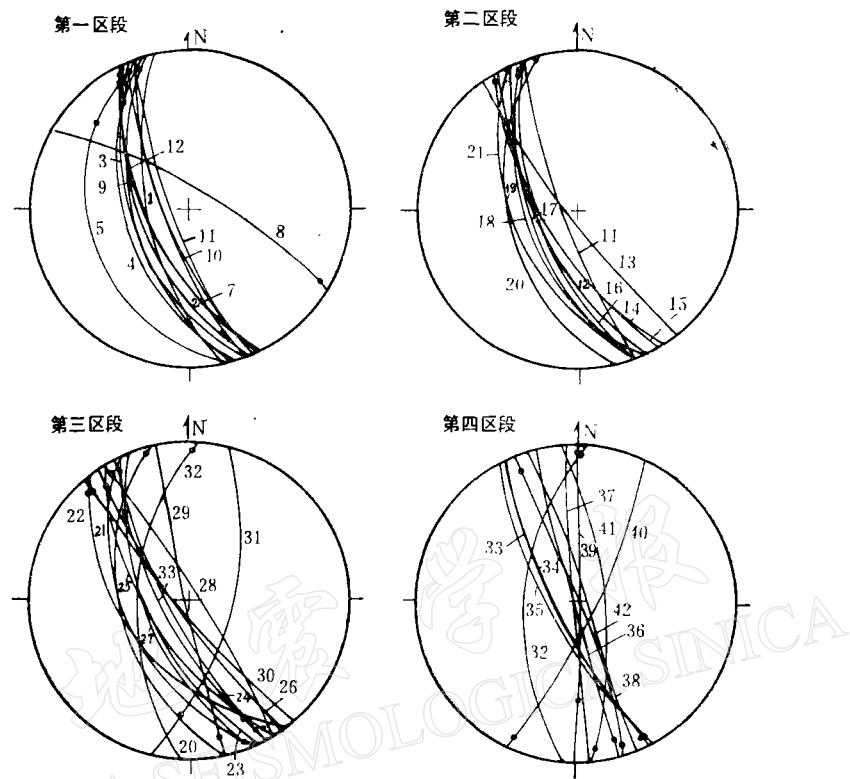


图 4 各区段断层面及滑动极在上半球乌尔夫网投影上的表示图

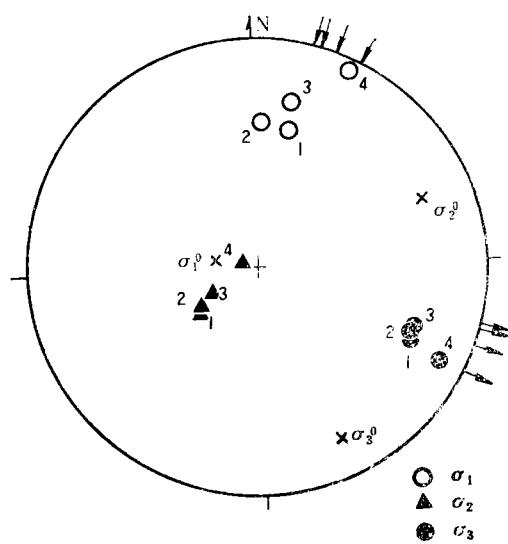


图 5 主应力轴空间方位在上半球乌尔夫网上的投影

(数字表示区段号, 小箭头是固定一轴垂直于地表时计算的主应力轴方位, 符号×示全区“零解”.)

计算结果,并在图5上用小箭头给出主应力轴的方位。由表4和图5可见,后一结果与前面的结果大致接近,尤其是第4区段,两种方法的结果非常接近。

表3 各区段平均应力张量计算结果

区段	$\sigma_1$ 方位角 伏角	$\sigma_2$ 方位角 伏角	$\sigma_3$ 方位角 伏角	$\phi$	$\alpha$ 角 方均根偏差
1	15° 62°	231° 34°	115° 72°	0.43	14°
2	15° 65°	238° 32°	114° 71°	0.52	4.7°
3	15° 71°	243° 27°	112° 71°	0.49	10.7°
4	29° 89°	292° 8°	119° 83°	0.52	10.7°

注: 方位角由正北顺时针量, 伏角为向上垂直轴与力轴夹角。

表4 固定一轴垂直于地表时平均应力张量计算结果

区段	$\sigma_1$ 方位角 伏角	$\sigma_2$	$\sigma_3$ 方位角 伏角	$\phi$	$\alpha$ 角 方均根偏差
1	22°		112°	0.37	12.3°
2	19° 水	直	109° 水	0.45	8.4°
3	18°		108°	0.51	16.5°
4	29° 平	立	119° 平	0.53	11.7°

#### 四、讨 论

1. 表3, 表4和图5说明,用现在的分析方法所推断的驱动富蕴地震断层滑动的应力场,还是比较均一的,由北到南4个区段的主应力空间方位比较接近。无论是否事先固定一轴垂直于地表,计算结果皆表明,中等主应力轴是直立的。就两种方法计算结果的接近程度而言,第4区段更好些,这可能与该段断层产状相对来说变化较大,可较完整地反映出应力场的信息。4个区段的 $\varphi$ 值皆接近0.5,对于满足条件 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$ 的偏应力场而言,这相当于 $\sigma_3 \approx -\sigma_1$ 。但 $\varphi$ 值结果的可靠程度还有待进一步研究。

2. 若某个解尽管能使(5)式中的 $Q_1$ 达极大值,但(5)式右端两项数值都很小,我们称这种解为零解 $\mathbf{S}_0$ 。因为它在各个断面上产生的切应力都接近于零。这是不合理的解,因为断面上无剪切力是难以滑动的。这种情况当一组断层面的几何产状非常接近时很容易出现,这时各个滑动矢量也比较趋近于一个共同的滑动矢量 $\mathbf{u}_0$ ,而零解 $\mathbf{S}_0$ 的一个主应力轴将取 $\mathbf{u}_0$ 的方向,相应的主应力大小或是 $\sigma_1 \approx \sigma_2 > \sigma_3$ ,或是 $\sigma_1 > \sigma_2 \approx \sigma_3$ 。

在图5中我们也标出了使 $(\sum f_{u_i}^2 + \sum f_{b_i}^2)$ 达极小而求出之全区的零解,相应的 $\varphi = 0.15$ 。一般情况下有

$$\text{实际解 } \mathbf{S}_r = \text{特解 } \mathbf{S} + \text{零解 } \mathbf{S}_0.$$

由于零解在各断面上产生的剪应力接近于零,因而它的存在对实际解与观测滑动方向的拟合并无重大影响。

若所用断层各种产状皆有,则可设想,要使各断层上的剪切力皆为零的解,只会是流体静压强。如果是分析地表附近的应力场,还可假定零解就是零。富蕴地震主断裂带内

断层产状多数比较接近，因而本文之零解并非完全是流体静压强解。根据本文数据还难以推断断裂带内总的地下应力场。但当我们关心的不是总应力场，而只是引起断层滑动的那部分“驱动应力场”时，亦可暂时置零解于不顾。

3. 这里对驱动应力场的计算结果不可避免地是有误差的。误差主要来源为：(1) 观测数据的误差；(2) 所用模型的误差。后者又包括：(a) 实际应力场可能不均匀，但选了均匀应力场模型；(b) 具体选用应力场模型是否符合实际，例如，是否假定有一轴垂直于地表等。由表 3 和表 4 可见，对 1—3 区段，假定一轴垂直于地表的计算结果与不用此条件的计算结果，力轴的伏角差异达  $20^\circ$ — $30^\circ$ ，而此两种情况下  $\alpha$  角均方根偏差只有此数量的一半。可见模型误差仍是主要误差来源。此外，(5)式中的  $Q_1$  还涉及到  $f$  和  $r$  (图 2) 之间的夹角，这个夹角对结果的影响，以及观测误差影响的定量估计，尚须进一步研究。

4. 富蕴地震断裂带全长达 180 余公里，获得断层测量数据的地段也有 120 余公里。本文分析结果说明，尽管断裂带这么长，跨沟越岭，但各区段驱动断层滑动的应力场却比较一致，并未显示出强烈的局部变化。这可能说明，引起富蕴 8 级大地震的原因不象是局部力源作用或局部应力集中所致，而可能是大区域构造运动的结果。

作者感谢吴明熙同志在数学上给予的帮助，并感谢美国地质调查局 W. Ellsworth 博士的大力协助。

\* \* \*

#### 附录 求主应力方向和 $\varphi$ 值的主要数学步骤

根据每个断层的倾向  $dd$ 、倾角  $da$  和滑动角  $sa$  计算属于每个断层的单位矢量  $u$ 、 $n$ 、 $b$ ，这里采用代数矢量表示法，例如  $u = (u_1, u_2, u_3)^T$  等， $T$  表示转置。我们有：

$$\begin{aligned} \begin{cases} u_1 = -\sin(dd)\cos(da)\sin(sa) - \cos(dd)\cos(sa) \\ u_2 = -\cos(dd)\cos(da)\sin(sa) + \sin(dd)\cos(sa) \\ u_3 = \sin(da)\sin(sa) \end{cases} \\ \begin{cases} n_1 = \sin(dd)\sin(da) \\ n_2 = \cos(dd)\sin(da) \\ n_3 = \cos(da) \end{cases} \\ \begin{cases} b_1 = \sin(dd)\cos(da)\cos(sa) - \cos(dd)\sin(sa) \\ b_2 = \cos(dd)\cos(da)\cos(sa) + \sin(dd)\sin(sa) \\ b_3 = -\sin(da)\cos(sa) \end{cases} \end{aligned}$$

与以上公式相应的坐标如图 1。利用以下变量代换

$$\left. \begin{aligned} s_{11} &= -a(x_1 + x_2) \\ s_{22} &= (a/b)[(1+b)x_1 - x_2] \\ s_{33} &= (a/b)[-x_1 + (1+b)x_2] \\ s_{12} &= x_3, \quad s_{13} = x_4, \quad s_{23} = x_5 \end{aligned} \right\} \quad (A-1)*$$

$$a = \sqrt{2/3}, \quad b = 1 + \sqrt{3}$$

\* 代换(A-1)是根据 W. Ellsworth 博士的通信。

并考虑  $f_{u_i} = (\mathbf{u}^T \mathbf{S} \mathbf{n})_i$  及  $f_{b_i} = (\mathbf{b}^T \mathbf{S} \mathbf{n})_i$ , 可将目标函数写成

$$\Omega_i(\mathbf{X}) = \sum_{i=1}^m f_{u_i}^2 - \sum_{i=1}^m f_{b_i}^2 = \mathbf{X}^T \mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{X} - \mathbf{X}^T \mathbf{B}^T \mathbf{B} \mathbf{X} \quad (\text{A-2})$$

这里  $\mathbf{X} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)^T$ . 矢量  $\mathbf{A} \mathbf{X}$  的第  $i$  个分量为

$$(\mathbf{u}^T \mathbf{S} \mathbf{n})_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + a_{i4}x_4 + a_{i5}x_5,$$

其中

$$\begin{cases} a_{i1} = \left[ -au_1n_1 + \frac{a}{b}(1+b)u_2n_2 - \frac{a}{b}u_3n_3 \right]_i \\ a_{i2} = \left[ -au_1n_1 - \frac{a}{b}u_2n_2 + \frac{a}{b}(1+b)u_3n_3 \right]_i \\ a_{i3} = [u_1n_1 + u_2n_2]_i \\ a_{i4} = [u_1n_3 + u_3n_1]_i \\ a_{i5} = [u_2n_3 + u_3n_2]_i \end{cases}$$

$a_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, 5$ ) 是矩阵  $\mathbf{A}$  的分量. 矩阵  $\mathbf{B}$  的分量  $b_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, 5$ ) 有与上面完全类似的表达式, 只不过需将  $\mathbf{u}^T$  及其分量换成  $\mathbf{b}^T$  及其分量.

变换(A-1)自动满足条件  $S_{11} + S_{22} + S_{33} = 0$ , 且有

$$\|\mathbf{X}\|^2 = 1 \quad (\text{A-3})$$

这里  $\|\mathbf{X}\|^2 \equiv \mathbf{X}^T \mathbf{X} = J_2$ .

在条件(A-3)下, (A-2)中  $\Omega_i(\mathbf{X})$  的最大值就是矩阵

$$\mathbf{G} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} - \mathbf{B}^T \mathbf{B}$$

的最大本征值  $\lambda_i$ , 而使  $\Omega_i$  达到极大值的矢量  $\mathbf{X}$  就是与最大本征值相应的本征矢量  $\mathbf{X}_i^{[7,8]}$ .

于是, 只要对  $\mathbf{G}$  作本征值分解, 即可求得  $\mathbf{X}_i$ , 再由(A-1)求得地平坐标中应力张量  $\mathbf{S}$  的各个分量. 对  $\mathbf{S}$  再作本征值分解, 即可求得主应力轴在地平坐标中的方向余弦和主应力大小的相对数值, 并由正文(9)式算出  $\varphi$  值. 根据各轴的方向余弦不难改用各轴在地平坐标中的方位角和伏角来表示它们的空间方位.

## 参 考 文 献

- [1] Bott, M. H. P., The mechanism of oblique slip faulting, *Geological Magazine*, 96, 2, 109—117, 1959.
- [2] Angelier, J., Determination of the mean principal directions of Stresses for a given population, *Tectonophysics*, 56, T17—T26, 1979.
- [3] Angelier, J., Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress — I. Single phase fault populations: a new method of computing the stress tensor, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 69, 3, 607—622, 1982.
- [4] Etchecopar, A., G. Vasseur, M. Daignieres, An inverse problem in microtectonics for the determination of Stress tensors from fault striation analysis, *J. Struct. Geol.*, 3, 1, 51—55, 1981.
- [5] Angelier, J. et Stratis Manoussis, Classification automatique et distinction des phases superposées en tectonique de failles, *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 290, Série D, 651—654, 1980.
- [6] Ellsworth, W. L., A general theory for determining the state of stress in the earth from fault slip measurements, *Terra Cognita*, 2, 2, 170—171, 1981.
- [7] 法捷耶夫 Д. К. 和 B. H. 法捷耶娃, 线代数计算方法, 上海科学出版社, 109, 1965.
- [8] 斯米尔诺夫, B. H. 高等数学教程, 第三卷第一分册, 人民教育出版社, 143, 1957年1月新1版.

## STRESS FIELD IN THE FUYUN, XINJIANG EARTHQUAKE FRACTURE ZONE DETERMINED BY FITTING FAULT SLIP VECTOR DATA

XU ZHONGHUAI

(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau*)

GE SHUMO

(*Xinjiang Seismological Bureau*)

### Abstract

Based on the horizontal and vertical offset data of 42 faults obtained from field survey in the epicentral zone, caused by the great 1931 Fuyun earthquake of magnitude 8, the slip directions on the fault planes are deduced. The mean stress fields corresponding to 4 segments, from north to south, of the fracture zone have been estimated by minimizing the angle between the calculated shear stress and the observed slip vector on each fault.

The result indicates that for the 4 segments the maximum and minimum compressive principal stress axes are all horizontal, while the maximum compressive principal stress axes take approximately the azimuths between N15°E to N30°E. The overall stress field in the entire fracture zone is rather homogeneous, this implies that the underline cause for the great Fuyun earthquake could hardly be some local factors, but possibly tectonic movement on a large scale.