

活断层与现代构造应力场

董治平

(兰州地震研究所)

摘 要

本文从断层的形成机制着手,讨论了活断层与现代构造应力场之间的关系。应用密集度方法,讨算了青海东部地区的活断层分布方向,得出本区现代构造应力场的主压应力方向为 $N40^{\circ}E$ 。将该结果与新构造应力场,地震应力场及大地形变场比较认为,新第三纪以来,研究区构造应力场相对稳定。

一、前 言

本文研究范围,大致从东经 98° 至 104° ,北纬 34° 至 39° (见图3),研究区在地理上位于黄河上游的青海东部,其大地构造隶属青藏高原的东北边缘地带。在这一地区,笔者拟对活断层方向的分布,进行统计分析,并将结果与根据水系,大地测量及震源机制解计算出的结果相比较,从而探讨区域构造应力场的特征。

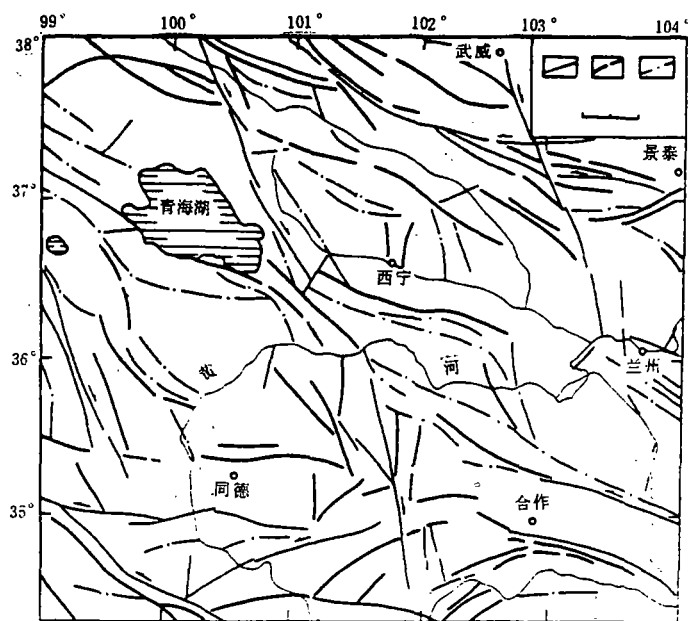
活断裂是涉及地震地质学,地震学及地球动力学中一系列理论问题的重要构造地质现象。它与构造应力场有着不可分割的因果关系。宏观地质考察表明,在野外,常可以看到X节理或共轭断层,藉此现象,往往可以判定形成这种断裂构造组合关系的应力场。这即是用节理确定主应力方向的基本思想。然而,这种共轭断裂系并不是到处都有。同属断裂构造的断层和节理,其分布方向是随着构造区域的不同而变化的,且发育程度差别很大。通常是其中某一组成几组,呈现出一定的优势方向,而其他方向并不发育。甚至个别断裂的走向呈“离散态”。这说明断裂构造的破裂和活动方向受形成该破裂时的构造应力场的制约。因而,在分布方向上主要表现为规律性和有序性。这正是内地质营力作用的特征,是地壳构造应力场作用的结果。其动力源在于板块构造。

正是根据这点。我们可以通过研究断层的分布规律,反推形成这种分布的区域构造应力场。

二、研究方法

隶属断裂构造的断层是由节理进一步发展而成的,就其力学成因来说,它们并无本质差别。因此,用断层反演构造应力场的一个根本问题是,断层面可否如同节理一样看作剪切面。

断层的形成机制研究表明,任何断层均具有一个共同的基本特征或必要条件,即断层的两盘沿断层面发生相对滑动,这种滑动实质上是剪切滑动,因此任何断层面均毫无例外地是一个剪切滑动面;就这个意义而言,可以认为剪切作用是形成断层直接的力学成因,或者说,是断层活动的普遍模式。⁽¹⁾虽然断层的剪切作用并不意味着断层一定是由剪裂面而形成,但这足以说明断层(滑动)面为剪切面是成立的。



1. 金新世断裂 2. 第四纪晚期活断裂 3. 第四纪早期活断裂

图1 青海东部活动断裂构造图

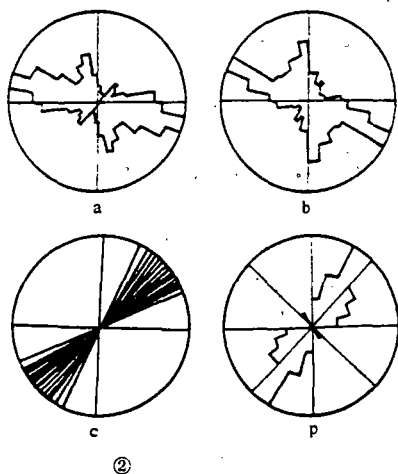


图2 A. 研究区断层分布方向玫瑰图;
B. 黄河上游水平方向玫瑰图;
C. 震源机制P轴方位图; D. 地形变最大方向玫瑰图

一个地区, 尽管单条断层走向的变化具有随机性, 但断裂分布格局的总体都呈现某种规律性, 因而断层分布上的优势方向往往是比较直观清楚的, 这即是采用统计方法的基础。

为了要对断层方向进行统计分析, 首先应对断层方向给以数量上的定义。应用直线代替曲线, 并无限逼近曲线的数学分析方法, 以分段折线的方向来定义断裂曲线的方向。图1是我们在青海东部地区经多年野外工作而编制的活断裂分布图, 在这张图上, 我们选择断层的走向和长度为统计变量,

曲线断层则以分段直线代替之, 并分段量取, 把线段的长度定义为相应断层的权重。这样每条断层可用两个量(方位角和长度)来表示, 全部断层就形成了包含两个统计变量(Q, L)的集合。在全研究区, 共量测出170个断层段, 代表断层总长度7455公里, 将这些资料输入计算机用密集度方法计算, 拟合断层的最佳优势面组合方向, 从而推导出区域构造应力场的主应力方向。

三、计算方法和结果分析

本文采用的数学模型, 是参考文献^[3]给出的“水系分布方向计算的密集度方法”。这是一种研究确定性问题的数学处理方法。其计算步骤如下:

将前述量测的断层数据, 根据走向 10° 分为一组, 这样全部断层按走向分成18组, 对应于同一角度的断层长度相加, 给出断层走向玫瑰图(图2A)。将统计好的断层各组方位角(Q_i)和线段长度(L_i), 再按角度大小重新排列, 得到 $(\theta_0, L_0), (\theta_1, L_1), \dots, (\theta_n, L_n)$, 再设 $\Lambda = [\lambda_1, \dots, \lambda_n]$

$\lambda_{-k+1}, \dots, \lambda_{-1}, \lambda_k$ 】是一组非负对称数(即 $\lambda_{-i} = \lambda_i, i=1, 2, \dots, k$), 以 λ_0 为最大。从 λ_0 两端依次严格下降。把 Λ 称作一组权(正态分布的一组权)。对于每一个 $\theta_n (0 \leq \theta_n \leq 180^\circ)$, 我们把

$$\bar{L}_n = \sum_{-k}^k \lambda_i \cdot L_{n+i} \quad (1)$$

称作断层分布方向在 θ_n 处相对于权 Λ 的密集度。

1、用(1)式, 对权 Λ 算出每个 θ_n 的密集度 $\bar{L}_n$ 。

2、在 $\bar{L}_n$ 中找出最大值, 设其相应的角为 $\bar{\alpha}_1$, 以 $\bar{\alpha}_1$ 为中心, 左右各挖去 45° , 再在余下范围内找出 $\bar{L}_n$ 的最大值, 将对应的角度记为 $\bar{\alpha}_2$ 。

3、记 $A = (\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2)/2, B = A + 90^\circ$ 。在 (A, B) 内(顺时针方向), 从 A 到 B 依次用 (A, B) 内角度所对应的断层线段长度, 仍用(1)式进行计算(当式中 L_n 所对应的角度 θ_n 超出 (A, B) 时, 令 $L_n = 0$), 算出新的密集度, 其中最大者所对应的角度记为 β_1 , β_1 即为断层分布的一个优势方向。在 (B, A) 内, 用同样的方法算出 β_2 , 即为另一个优势方向。采用类似步骤, 本文共算出了四组断层优势分布方向, 计算结果见表 1。

表 1 断层优势方向计算结果

优势方向				夹 角		
max. 1	max. 2	max. 3	max. 4	1 与 2	P	T
265°	355°	41°	290°	90°	40°	130°

将表 1 计算出的各级优势方向与图 1, 图 2a 对比, 可以看出, 研究区呈现出多组剪切面, 其中北西 290° 方向最为发育, 这是早期断裂构造影响的结果, 可能与古构造应力场有关, 表明断层的活动具继承性特点。

莫尔破裂理论认为, 最大主应力(σ_1)和最小主应力(σ_3)近于水平, 中间主应力(σ_2)近于垂直的情况下, 两组剪切破裂面的锐角(接近 90°)等分线指向主压应力方向, 钝角等分线指向主张应力方向。按照这种理论, 取 Max. 1, 和 Max. 2, 作为剪切面的“最佳组合”, 来确定主应力方向。得到 $P=N40^\circ E, T=S130^\circ E$ 。显然, 这儿计算出的 P 和 T 只是形式上的。地质构造是复杂的, 主压应力和主张应力所对的剪切破裂面锐角和钝角也是可以相互转化的^[4,5]况且本文计算应力轴的两组剪切面夹角为 90° 。因而要准确判断计算出的 P 和 T 何者是主压应力方向, 何者是主张应力方向。有赖于宏观地质资料和其他资料。野外考察表明(图 1), 研究区活断层北北西向以右旋水平剪切为主。北西向则以垂直剪切(挤压逆着)为主, 或水平垂直剪切兼有之。这些现象说明, 本区构造应力场的主压应力方向不仅在北东方向, 而且与计算结果相吻合。所以, 上述计算和判断是正确的。在计算主压应力方向时考虑到老构造及古构造应力场的影响, 舍弃两组值 MAX. 3 和 MAX. 4 是合理的, 因为由该两组值确定的主应力方向与宏观考察不符。而由 MAX. 1, MAX. 2 两组值计算出的主应力方向则属于现代构造应力场。

四、各种资料得出的应力场比较

进一步拟将上述结果与根据水系, 震源机制解和地形变资料所得的结果加以比较, 定量地检验上文计算的主应力方向, 以探讨它们之间的内在联系。

1、新构造应力场

研究新构造应力场的地质方法, 是根据新构造时期的褶皱, 断裂及其力学性质, 判断最大

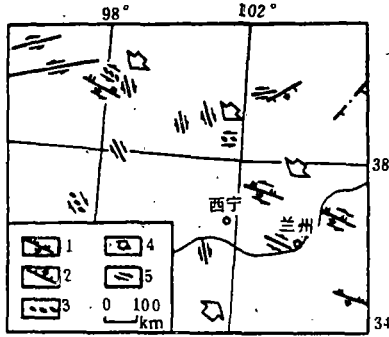


图3 研究区新构造期活动断裂褶皱构造

- 1、逆断层；2、正断层；3、褶皱；
4、最大挤压力方向；5、水平运动方向

主压应力方向。宏观地质考察表明(图3),研究区活动构造带以北西西、北北西走向最为发育,前者多为左旋逆冲断层,后者多为右旋高角度逆断层;北东东向者则为左旋逆断层。这种构造组合形式,反映全区受北东南西向的强大挤压作用。

构造地貌学研究表明,水系格局与新构造应力场有关,并可通过水系方向的统计分析,去恢复形成水系排列格局的构造应力场。⁽⁷⁾用上述水系分布方向计算的密集度方法,计算了黄河上游的水系资料(图2、B),得出本区的主压应力方向为 $N42.5^{\circ}E$ (表2)。该结果既吻合了地质资料的判断,也与活断层计算的结果基本一致。

表2 黄河上游水系方向计算结果

优势方向				夹 角		
Max. 1	Max. 2	Max. 3	Max. 4	1 与 2	P	T
85°	0°	43°	110°	85°	42.5°	132.5°

2. 地震应力场

一般认为,震源应力场本身就是现代构造应力场在其演化过程中的一个不可分割的组成部分。因此,用震源机制解研究构造应力场,是近年来应用比较广泛的一种方法。因为一定数量的震源机制解的统计结果,是能够揭示区域构造应力场的大致轮廓的。

本文搜集了研究区范围内24个震源机制解。其中14个中强地震震源机制解,9个小震综合机制解(表3)。图4标出了震源机制解的

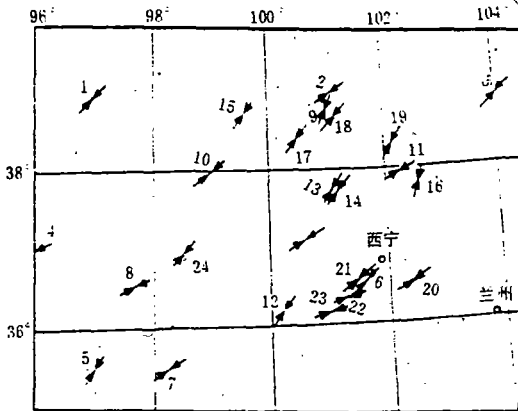


图4 研究区震源机制解图

位置及P轴方向。由图2c可以看出,P轴均落在北东南西象限,变化范围 $N23^{\circ}-66^{\circ}E$ 。P轴的平均值为北东向($43.7^{\circ}/25^{\circ}$)。该结果吻合了研究区7级以上地震考察结果。大震破裂带的水系位移。陡坎错动方向,裂缝及鼓包的组合方式所反映的力学性质表明,凡属北西西走向者多为挤压兼左旋型;北北西走向者多为右旋型;北东东走向者多兼左旋型;北北东走向者多为张性兼右旋型。这种构造形变带的组合关系说明,大震的最大压应力方向为北东向。由北可见,无论是微观震源机制解,还是宏观地震破裂带,均反映了统一的震源应力状况。可以认为 $N43.7^{\circ}E$ 基本代表了本研究区的地震应力场。该结论与徐纪人(1986)用震源机制解得出的青海东

部区现代地壳应力场亦趋一致^①。

表 3 青海东部震源机制解

编号	发震日期	震 中		P 轴 (方位/仰角)	T 轴 (方位/仰角)
		φ_N	λ_E		
1	1941. 4. 19	39. 1	97. 0	221/25	131/4
2	1954. 2. 11	39. 0	101. 3	235/4	328/36
3	1954. 7. 31	38. 8	104. 2	220/4	315/25
4	1962. 5. 21	37. 1	96. 0	61. 5/25	153/3
5	1963. 4. 19	35. 7	97. 0	36/5. 3	305/12. 8
6	1968. 12. 22	36°30'	101°48'	220/26	26/64
7	1971. 3. 24	35°27'	98°10'	230/48	126/38
8	1972. 8. 31	36. 6	96. 24	51/24	309/24
9	1978. 8. 16	38. 6	101. 0	23/2	323/39
10	1980. 4. 18	38°	98°51'	50/4	319/17
11	1984. 1. 6	37°55'	102°11'	242/37	41/50
12	1984. 2. 17	37°38'	100°40'	50/80	144/1
13	1986. 8. 26	37°42'	101°34'	212/55	106/10
14	1986. 9. 17	37°43'	101°37'	217/38	104/26
15	1990. 4. 26	36°15'	100°15'	35/6	126/
16	1971—1977	37°50'	102°33'	204/35	108/7
17	1972—78. 8	民 乐 盆 地		217/5	309/19
18	1980. 1—82. 12	38°50'	99°37'	214/9	113/19
19	1980. 1—86. 2	38°46'	101°02'	45/25	302/34
20	1980. 1—86. 2	38°23'	102°06'	212. 5/33	299/30
21	1982. 7—84. 7	36°33'	102°23'	237/35	102/45
22	1977. 1—84. 7	36°37'	101°43'	43. 5/45	149. 5/16
23	1977. 1—86. 6	37°28'	101°23'	241/30	144/33
24	1979. 9—84. 7	36°56'	98°25'	212/6	304/22

注: 资料引自参考文献⁽⁸⁾

3、大地形变场

现代地壳的各种形变特征是地壳介质受力作用在地表的直接产物, 因此, 通过对区域地形变规律的系统研究, 就能根据区域地形变场的特征去追索现代构造应力场的活动状况。本文收集了研究区范围内的三角网测量, 基线测量和应力测量等资料 23 个(表 4), 这些测点大都分布在本区的东北部, 尽管各种测量资料数据有限, 在观测方法, 时间及精度上有所差别, 但观测结果却一致反应了最大形变量的主要方向为北东向(图 2d)。值得注意的是, 这些形变点有从

* 徐纪人, 青海省及龙羊峡周围地区地壳应力场讨论, 1986

西向东由北北东向北东东方向偏转的趋势。震源机制解P轴的变化也有类似的特点^[6]。表4列出的观测结果及其均值(N41.4°E),是地表形变的优势方向,基本反映了本区的大地形变场。由于地表形态的变化是地壳应力作用的结果,所以,N41°E即是导致本区现代地壳形变的主压应力方向。

表4 最大地形变和地应力方向

编号	测点地名	测 点 位 置	测量时间	变化方向	测量手段
1	民 勤	102°46' 38°23'	1971—1975	N90°E	三角网测量
2	扁都口	100°55' 38°13'	"	N48°E	"
3	槽大板	101°49' 38°43'	"	N30°E	"
4	门 源	101°51' 38°27'	"	N8°E	"
5	大 梁	101°2' 37°44'	"	N21°E	"
6	永 靖	103°16' 35°59'	1971—1974	N87°E	"
7	上杂让	101°38' 36°10'	1971—1975	N35°E	"
8	民 和	102°39' 36°12'	"	N61°E	"
9	岷 县	104°4' 34°30'	1974—1977	N82°E	"
10	永 昌	102°8' 38°21'	1971—1975	N42°W	"
11	民 和	下 滩	"	N53°E	基线测量
12	永 昌	滑石井	"	N32°E	"
13	民 勤	大口子	"	N68°E	"
14	红寺湖	101°7' 38°50'	1975—1985	N27.4°E	跨断层测量
15	青山堡	102°17' 38°18'	1980.8	N59°E	应力测量
16	平口峡	101°55' 38°26'	1980.11	N43°E	"
17	金 川	102°14' 38°28'	1978	N32°E	"
18	河西堡	102°6' 38°23'	1980	N21°E	"
19	永 登	103°41' 36°48'	1984.10	N16.3°E	"
20	刘家峡	103°19' 35°48'	1982.8	N29°E	"
21	白 银	104°7' 36°37'	1983.5	N65.6°E	"
22	水峡口	102°45' 37°56'	1983.5	N65.6°E	"
23	昌 马	96°35' 39°45'		N36.8°E	"

注:资料引自参考文献[8]

五、结论和讨论

1、无论是地质资料,还是大震考察资料,均表明,本区构造应力场的压应力方向,在北东—南西象限。我们用活断层、水系、震源机制解和形变测量资料计算出的主压应力方向,不仅全部落在同一范围内,而且在数量上彼此相吻合(表5)。这证明,(1)视断层面为剪切面,从统计分析的观点来看,是可以接受的,因为断层总是易于沿着构造应力场的剪切面形成或活动。也就是说断层的分布方向,除受约于区域构造外,在总体上,主要受区域构造应力场的控制。它们在分布方向上的规律性,正是现代构造应力场演变的体现。^{〔10〕}(2)地震应力场和大地形变场以不

同的地球物理场,展示了构造应力场的最新活动状况,它们同活断层、水系格局一样,共同表征了研究区构造应力场的统一格局和演化规律。

表5 各种资料计算的主压应力方向

应力方向 地区	资料	断层	水系	地震	测量	备注
青海东部区		N40°E	N42.5°E	N42.8°E	N41.7°E	本文
青海东部				N35°—80°E		[1]
陕、甘、宁、青区			N40°E	N43°E	N41°E	[4]
甘肃、青海区			N36°E	N35°E	N31°E	[4]

2、地质历史研究表明,同一地质时期不同阶段的构造运动之间,往往表现出一定的继承性。既体现了老构造对新构造的控制,也说明了构造应力场的连续性特点,即区域构造应力场在某一地质时期内,大致是稳定的(最大主应力方向变化不大)。如果说,地质资料和水系分布格局所反映的是新构造应力场,活断层,地震和地形变所代表的是现代构造应力场。那么,本文的结论充分说明了,研究区自新第三纪以来,构造应力场是相对稳定的。而且,这种长期稳定的“大一统”应力场格局,是与印度板块和欧亚板块的碰撞和推挤分不开的。

3、由表5可以看出,本文计算结果与参考文献^[4]得出的结果存在差值。可能有两个原因,(1)研究区范围不同,这正好说明了地壳应力是位置的函数。主应力轴随着区域的不同而变化。如青海西部主压应力为北北东向,东部为北东向。青海北部的河西走廊,主压应力方向为北北东至北东向。而兰州及其东部则为北东至北东东向。(2)选用不同的资料或不同时段资料,可能会得出不同时期的应力场。因为地壳应力也是时间的函数。此外,资料的多寡、精度以及不同的研究,计算方法都会影响到应力方位的变化。

应该指出,本文的活断层资料局限于青海东部地区,所以,研究和认识是初步的。如前所述。地壳应力既是位置的函数也是时间的函数,可以预见,随着研究区域的扩大,断层资料的更新,将会得出不同时期,不同区域的构造应力场。毋庸置疑,用活断层反演现代构造应力场,是一条值得探索的途径。

参 考 方 献

- (1)武汉地院、成都地院、南京大学、河北地院合编,《构造地质学》,地质出版社,1981
- (2)艾南山等,东南沿海水系及新构造应力场,地理学报, V01. 37, NO. 2, 1982
- (3)余庆余等,水系分布方向计算的密集度方法,地理科学, V01. 5, NO. 1, 1985
- (4)N. S. Ai and others, The Neotectonic Stress Field in the Regions of Shaanxi, Gansu, Ningxia and Qinghai(China), Rock Mechanics, 14: 167—185(1981)
- (5)N. S. Ai, Scheidegger, A. E., Vally trends in Tibet, Z. Geomorph., 25: 203—212(1981)
- (6)李玉龙,陕甘宁青四省(区)新构造与现代构造应力场及其动力来源的初步分析,西北地震学报, V01. 1, No. 4, 1979
- (7)鲁守宽,滦河中下游水系和新构造应力场,地震研究, V01. 1, 1989
- (8)董治平,青海东部地区新生代构造应力场探讨,内陆地震, V01. 4, NO. 3, 1990
- (9)北京大学、南京大学、武汉地质学院编《地震地质学》,地震出版社,1982
- (10)董治平,民东盆地现代构造应力场的初步研究,西北地震学报, V01. 9(增刊), 1987