

## 昌马断裂带的分维几何学特征

### 1. 前言

美国地震学者<sup>[1]</sup> P.G.Okubo 等人(1987)在帕克菲尔德—索尔顿湖长达近千公里的圣安德烈斯断裂带上,分六段对该断裂进行了分维解析,发现该断层具明显的分维结构,计算出六段的分维数为:1.12~1.43。研究表明,较大的分维数D值与断裂带上断层几何形态复杂的地段相对应,同时这些地段又是历史强震区。在国内,断层分维几何学研究也有所开展。

昌马断裂带是位于青藏高原北部地区的一条左旋走滑断裂带,1932年昌马7.6级强震就发生在该带上。本文研究了昌马断裂鲁家湾—西水峡段的分维几何学特征,分三段计算了分维数D值,并讨论了断层活动性与D值的关系及昌马地震的破裂过程。

### 2. 研究区范围及昌马断裂的几何形态

本文所划分的研究区包括了所有属于昌马断裂带的全新世活断层及地震断层。它西起昌马盆地西边的鲁家湾,沿南东方向经疏勒河、石油河、白杨河,终止于臭水柳沟一带(图1),长约120km。以昌马断裂主支为基准线,向南北两侧各加宽3.25km,这样研究区宽约6.5km(图2虚线圈定的区域)。

依据地表破裂程度、滑动速率空间分布差异及断裂运动<sup>1)</sup>,又可将研究区域分为西段(鲁家湾—疏勒河)、中段(二道川—石油河)和东段(月牙大坂—西水峡)。

昌马断裂带由一系列呈雁行排列的次级剪切断层组成,这些断层可分为三组,即NNW向、NEE向和NNW向。本文选择13条主要断层,如图1所示。

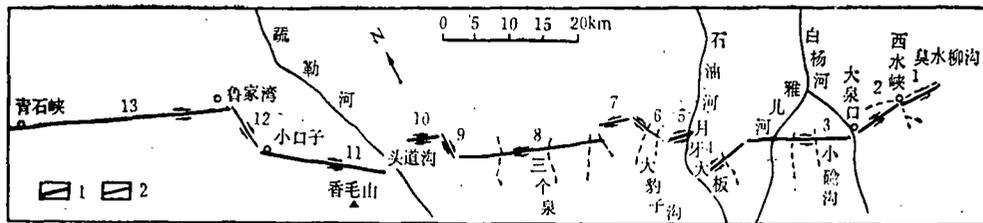


图1 昌马活断层几何形态图

1. 断层主支 2. 次级断层

### 3. 计算方法及结果

具有分形特征的单条断层与测尺r之间具如下关系:

$$L(r) \propto r^{1-D} \quad (1)$$

式中L为断层长度, r为测尺长度, D为分维数。

把一组量尺长度 $r_i$ 及与其相对应的一组断层长度 $L_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ )标在双对数图上,便得到一条直线,其斜率 $b=1-D$ 。进一步用数学公式来表达L(r)与r的关系有:

$$\lg L(r) = a + b \lg r \quad (2)$$

1) 昌马活断层研究组,昌马活断层专题报告,1989。

其中 $a$ 、 $b$ 是常数。简化(2)式得:

$$L(r) = Ar^{1-D} \quad (3)$$

式中 $A$ 为常数, $D$ 是分维数。(3)式表明, $D$ 值越大,断层长度随测尺的减少而增加的速度越快。 $D$ 值越高所表征的断层几何形态越复杂。

事实上,一条断裂带往往是由方向、长度及几何形态各异的多条断层雁列组合而成的,特别是一些走滑断裂。对于这些断裂带就不能简单地用测尺来量取断层长度。Mandelbrot给出了求取断裂带内断层长度的方法,该方法用一组不同半径的圆去覆盖断裂带内的活断层迹线,考察断层各段长度随覆盖圆半径( $R$ )变化的速度,即:

$$L(R) \approx 2RN(R) \quad (4)$$

式中 $R$ 为覆盖圆半径, $L(R)$ 为断层长度, $N(R)$ 为覆盖圆的最小数目。用 $\pi/4$ 的因子进一步归一化,得到:

$$L(R) = 2RN(R) \quad (5)$$

把 $R_i$ 和 $L_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 两组数据分别给在双对数图中,就可得到一条斜率为 $b$ 的直线。于是分维数可用下式计算:

$$D = 1 - b \quad (6)$$

依据上述方法,本文共选择了8种不同半径( $R$ )的覆盖圆,对昌马断裂带各段的活断层长度进行了测量,具体测量方法见图2。

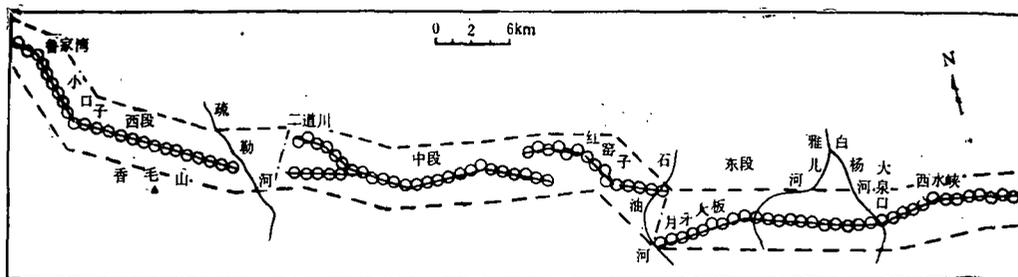


图2 昌马断裂带活断层长度测量图

该图给出了用半径 $R = 650\text{m}$ 的覆盖圆测量各段断层迹线的情况及断裂带的分段位置。本文采用文献〔1〕中的极限法,求得最大覆盖圆的半径为 $3.25\text{km}$ ,最小覆盖圆的半径为 $395\text{m}$ 。测量结果见表1。将覆盖圆半径 $R$ 及相对应的断层长度 $L$ 两组数据标绘在双对数图上(图3),分别计算得到:昌马断裂全段 $D = 1.09 \pm 0.03$ ,西段 $D = 1.04 \pm 0.02$ ,东段 $D = 1.06 \pm 0.03$ ,中段 $D = 1.14 \pm 0.02$ 。

#### 4. 讨论与结论

由上述计算结果可以看出,昌马断裂中段分维数 $D$ 值最大,东西两段近似相等。反映了昌马断裂中段断层几何形态比东、西两段复杂。根据P.G. Okubo等人的研究结果可以认为,1932年昌马地震的宏观震中应位于中段。由此可进一步推断,昌马地震破裂应为双侧破裂,即始破裂发生在断裂带的中段,然后向其两侧扩展。上述结论与野外实际考察结果相符。

(1) 1932年昌马地震在地表造成了极其复杂的构造变形。根据地震裂缝、地面沉陷、隆升、山崩、滑塌、山脊及水系位错等变形程度的差异,可以看出三段中以中段破坏最强烈,西段最弱。野外调查中共收集了山脊、冲沟及其他一些微地貌的水平位错数据200多条和垂直位错数据100多条(图4)。对这些数据进行分析发现,中段及平均水平位移最大,为

表1 昌马断裂各段活断层长度测量结果统计表

断层分段	A (西段)										B (中段)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ		
2R (m)	6250	5200	3880	2750	2250	1750	1300	750		6250	5200	3880	2750	2250	1750	1300	750			
R (m)	3125	2600	1940	1375	1125	875	650	375		3125	2600	1940	1375	1125	875	650	375			
N (个)	4	5	7	10	12	16	21	37		7	9	14	20	25	33	45	79			
L (m)	25000	26000	27160	27500	27000	28000	27300	27750		43750	46800	54320	55000	56250	57750	58500	59250			
lgR	3.495	3.415	3.288	3.138	3.051	2.942	2.813	2.574	24.716	3.495	3.415	3.288	3.138	3.051	2.942	2.813	2.574	24.716		
lgL	4.398	4.415	4.454	4.439	4.431	4.447	4.436	4.443	35.443	4.641	4.670	4.735	4.750	4.750	4.762	4.767	4.773	37.888		
lgR × lgL	15.371	15.077	14.579	13.930	13.519	13.083	12.478	11.436	109.474	16.220	15.948	15.569	14.874	14.492	14.010	13.410	12.286	116.809		
(lgR)²	12.215	11.662	10.811	9.847	9.309	8.655	7.913	6.625	77.037	12.215	11.662	10.811	9.847	9.309	8.655	7.913	6.625	77.037		
分维数D	1.04 ± 0.02										1.14 ± 0.02									
标准偏差(δ)																				
断层分段	C (东段)										全段 (D)									
编号	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ		
2R (m)	6250	5200	3880	2750	2250	1750	1300	750		6250	5200	3880	2750	2250	1750	1300	750			
R (m)	3125	2600	1940	1375	1125	875	650	375		3125	2600	1940	1375	1125	875	650	375			
N (个)	6	8	11	15	19	25	34	59		17	22	33	17	59	76	103	178			
L (m)	37500	41600	42680	41250	42750	43750	44200	44250		106250	114400	128040	129250	132750	133000	133900	133500			
LgR	3.495	3.415	3.288	3.138	3.051	2.942	2.813	2.574	24.716	3.495	3.415	3.288	3.138	3.051	2.942	2.813	2.574	24.716		
LgL	4.574	4.619	4.630	4.615	4.631	4.641	4.645	4.646	37.00	5.026	5.058	5.107	5.111	5.123	5.123	5.127	5.125	40.8		
LgR × lgL	15.986	15.774	15.723	14.482	14.129	13.664	13.066	11.959	144.273	17.571	17.273	16.792	16.038	15.630	15.072	24.422	13.192	125.989		
(LgR)²	12.215	11.662	10.811	9.847	9.309	8.655	7.913	6.625	77.037	12.215	11.662	10.811	9.847	9.309	8.655	7.913	6.625	77.037		
分维数D	1.06 ± 0.03										1.09 ± 0.02									
标准偏差(δ)																				

\*表中R为覆盖圆半径, L为断层长度, N为覆盖圆最小数目, D为分维数

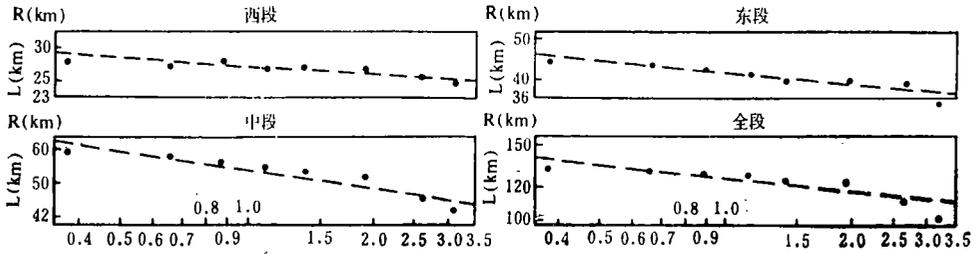


图3 断层长度L(R)对测量半径尺的双对数相关图

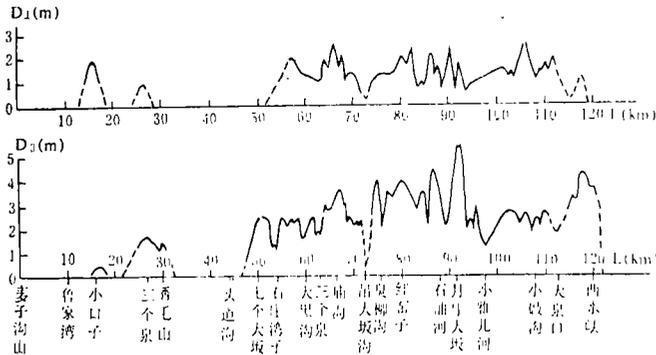


图4 1932年昌马7.6级地震破裂带水平及垂直位移(虚线为推测数据)

2.8m, 向东、西两段减小, 东段为2.4m, 西段为0.6m。垂直位错量除西段略有增大外, 基本与水平位移分布类同。

(2) 各段次级剪切断层排列组合方式的不同, 也是造成分维数D值差异的重要原因。由图1可以看出, 昌马断裂中段由6条不连续的断层组成了两个明显的“右阶”挤压区和两个“左阶”拉分区。而东、西两段无论是单条断层的几何形态, 还是断层间的排列组合方式都较中段简单。

(3) 古地震研究表明<sup>1)</sup>, 昌马断裂带的古地震事件分布、断距、断裂方式及地震类型均与1932年昌马7.6级地震十分相似。这就进一步证明了, 在一条断裂带上断层几何形态最复杂的地段往往分维数D值最高。而在这些地段最容易引起应力集中, 导致强震的发生。因此, 分维数D值在潜在震源区的划分中是可以作为定量指标加以考虑的。

笔者在野外及室内研究工作中得到侯珍清、郭敬信老师的指导, 刘百麓老师及王华林同志对本文提出了宝贵的修改意见, 在此一并表示感谢。

(本文1989年2月16日收到)

(国家地震局兰州地震研究所 侯康明)

### 参 考 文 献

- [1] P. G. Okubo, Fractal geometry in the San Andreas fault system, JGR. Vol. 92, No. B1, 1987.
- [2] 小出仁等, 地震与活断层, 陈宏德等译, 地质出版社, 61—65, 1985.

## CHARACTERISTICS OF FRACTAL GEOMETRY OF THE CHANGMA FAULT ZONE

Hou Kangming

(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Gansu, China)