

# 模糊综合评判在活动断裂分级中的应用

詹文欢 钟建强

(中国科学院南海海洋研究所)

**摘要** 本文根据模糊数学的方法,建立了活动断裂的模糊综合评判模型,对活动断裂的定量研究作了初步探讨,以华南滨海断裂为例进行了试算,取得了较好的结果。

L. A. Zadeh (1965) 首先提出了模糊集合 (Fuzzy Sets) 理论,它是研究和处理模糊性现象的不确定性数学。所谓模糊性,其根源在于客观事物的差异之间存在中间过渡,存在着亦此彼彼的现象。众所周知,活动断裂的强与弱,其概念的外延也是不明确的,存在着这种模糊性,这正是本文所要研究的。

## 一、活动断裂分级的研究现状

活动断裂至今尚未有一个统一的定义。Wood (1918)、Trefeshen (1959) 等指的是人类历史时期活动的断裂;刘以宣等 (1981) 指的是晚第三纪以来活动的断裂;丁国瑜等 (1982) 指的是现在正在活动或断续活动的断裂;有的则赋予它更广泛的含义,其中包括时间、地质、地貌以及潜在活动性等。

正因为对活动断裂的定义没有统一的认识,因而导致在分类(或分级)上也存在分歧。

有些学者按断裂的活动方式来划分;有些则按活动时间来划分。前者把活动断裂分为地震断裂和蠕动断裂;地震断裂是以地震方式集中释放积累应变能量而产生突然滑动;蠕动断裂是指相对缓慢错动的构造蠕动。两种活动方式在不同断裂上,或在一条断裂的不同地段上可兼而有之,有的只按一种方式在不同时间内发生活动。

美国评定标准局 (1973) 从地震活动程度出发,把断层划分为三类,其一为活断层,其二为潜在活动的断裂,其三为不活动断裂。前两者均为活动断裂,后者为死断裂。这里所说的活动断裂是指人类历史上活动的断裂;潜在活动断裂是指根据可靠资料,确证在人类历史上沿断裂没有错动,也没有地震活动,但在最近的地质时期内曾显示强烈活动的断裂。

G. J. Lensen (1976) 指出活动断裂的分类必须反映出断裂的过去历史,并说明过去活动的高、中、低程度。他把活动断裂划分为三级:一级活动断裂是指过去五千年中发生一次或重复活动,或过去五万年中发生过多活动次活动的断裂;二级活动断裂是指较少活动的断

---

• 本文承蒙刘以宣研究员、周带副研究员的悉心指导,在此深表谢意

裂, 在过去五万年中发生过重复活动, 过去五千年中发生一次活动, 而在过去五万至五十万年中发生过多重复活动。三级活动断裂是最少活动的断裂, 在过去五万年中只活动过一次, 而在过去五万至五十万年中活动过多次的断裂。

刘以宣(1985)根据活动断裂规模大小、切割深度、新构造运动强度以及与地震活动等关系, 划分为烈、强、中、弱及微活动五类。

诚然, 多因素综合的分级比单因素好, 但怎样综合做法则不一样。本文采用前人的定性分类<sup>[1]</sup>作为基础, 然后再进行定量划分。

## 二、活动断裂评判因素的确定

考虑到活动断裂目前的研究程度以及资料本身的详细程度, 选择如下五种因素来反映活动断裂的强弱程度, 即(1)活动断裂的破裂长度(L); (2)活动断裂的切割深度(H); (3)活动断裂的差异升降速率( $V_d$ ); (4)活动断裂的水平错动速率( $V_{11}$ ); (5)活动断裂的地震震级( $M_s$ )。至于其它因素, 有些目前还无法定量, 以及有些或多或少地反映在上述五个因素之中, 所以在此不再单独列出。

## 三、活动断裂分级的模糊综合评判

### 1. 模糊综合评判原理

所谓综合评判, 就是在一个复杂的系统中, 要做出任何一个综合决策, 都必需考虑与之有关联的多个因素的影响, 这就构成了综合评判问题。模糊综合评判原理如下:

设被评判的活动断裂分级看作分级论域

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$$

上的模糊子集

$$\tilde{B} = d_1/u_1 + b_2/u_2 + \dots + b_m/u_m \quad (0 \leq b_i \leq 1)$$

式中 $u_j$  ( $j=1, 2, \dots, m$ ) 就是活动断裂等级, 取

$$U = u_1, u_2, u_3, u_4, u_5$$

$$= (\text{烈}, \text{强}, \text{中}, \text{弱}, \text{微})$$

即  $\tilde{B} = b_1/\text{烈} + b_2/\text{强} + b_3/\text{中} + b_4/\text{弱} + b_5/\text{微}$

所有 $b$ 代表相应的强度对模糊子集 $\tilde{B}$ 的隶属度。

又设在活动断裂评判中共有几个因素, 它们构成因素论域

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_n)$$

则因素模糊子集为

$$\tilde{A} = a_1/V_1 + a_2/V_2 + \dots + a_n/V_n$$

又可记为

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

其中 $a_i$ 为 $V_i$ 对反映评判作用大小的模糊子集 $\tilde{A}$ 的隶属度。关于 $\tilde{A}$ 的确定有多种方法, 本文采

表 1 活动断裂各因素权重系数表

Table 1 Weighting coefficient of each factor in the active rifts

因 素 模 糊 子 集	L	H	V <sub>L</sub>	V <sub>H</sub>	Ms
	0.10	0.16	0.25	0.25	0.24

设第*i*个因素的单因素评判为

$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$

其中*r<sub>ij</sub>*表示第*i*个因素的评判对*j*个等级的隶属度。*n*个因素的总评判矩阵为:

$$\underset{\sim}{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

给定 $\underset{\sim}{A}$ 、 $\underset{\sim}{R}$ 之后,即可进行综合评判,其表达式为:

$$\underset{\sim}{B} = \underset{\sim}{A} \cdot \underset{\sim}{R}$$

2. 隶属函数的确定

考虑到活动断裂各个因素的殊特意义,根据确定隶属函数的一般原则和方法<sup>[2-4]</sup>,建立各单因素对活动断裂分级的隶属函数。

表 2 是各单因素分级范围与平均值。

表 2 活动断裂各单因素分级指标

Table 2 Grade indexes of each single factor in the active rifts

分级	L		H		V <sub>L</sub>		V <sub>H</sub>		Ms	
	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均	范围	平均
A(烈)	1000—1500	1250	40—100	70	4—6	5	100—200	150	7.5—8.5	8
B(强)	500—1000	750	30—40	35	2—4	3	10—100	55	6.5—7.5	7
C(中)	100—500	300	15—30	22.5	1—2	1.5	1—10	5.5	5.5—6.5	6
D(弱)	50—100	75	5—15	10	0.5—1	0.75	0.1—1	0.55	4.5—5.5	5
E(微)	<50	25	<5	2.5	<0.5	0.25	<0.1	0.05	<4.5	2.25

由于上述五种物理的数据比较离散,且影响每一物理量的因素又很多,因此不妨假设所有这些物理量对同一活动断裂的隶属函数为正态型<sup>[2]</sup>,即

$$\mu(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right)$$

其中 $m$ 、 $c$ 为常数。

显然，为 $x=m$ 时， $\mu(m)=1$ ， $m$ 就是表2中所给出的平均值。又因表2中所给各种分级范围的边界值介于两种等级之间，因此对两种等级的隶属度相同，故可令其近似地等于0.5，于是，对某一等级范围，其 $C$ 值可由下式确定

$$e^{-\left(\frac{x_{\text{上}} - x_{\text{下}}}{2c}\right)^2} \approx 0.5 \quad (2)$$

其中 $x_{\text{上}}$ 、 $x_{\text{下}}$ 分别为该级别物理量的上、下界值。

上面的讨论适合于级别 $u_2$ 、 $u_3$ 、 $u_4$ 但对 $u_1$ 和 $u_5$ 级则不行<sup>[7]</sup>，因为当 $x_j > m$ （或 $x_j < m$ ）时，属于该级别的隶属度只能增大，而不是呈正态型减小，因此，可以取

$$u_1 \text{ 级: } \mu(x) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{x-m}{c}\right)^2} & (x < m) \\ 1 & (x > m) \end{cases} \quad (3)$$

$$u_5 \text{ 级: } \mu(x) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{x-m}{c}\right)^2} & (x < m) \\ 1 & (x > m) \end{cases}$$

把计算结果列于表3

表3 活动断裂分级判评因素隶属函数中的参数

Table 3 Parameter of subordinate function in the grading appreciation factor of active rifts

分级	L		H		V <sub>L</sub>		V <sub>H</sub>		Ms	
	m	C	m	C	m	C	m	C	m	C
$u_1$ (烈)	1250	300.5	70	36.1	5	1.2	150	60.1	8	0.6
$u_2$ (强)	750	300.5	35	6.0	3	1.2	55	54.1	7	0.6
$u_3$ (中)	300	240.4	22.5	9.0	1.5	0.6	5.5	5.4	6	0.6
$u_4$ (弱)	75	30.0	10	6.0	0.75	0.3	0.55	0.5	5	0.6
$u_5$ (微)	25	30.0	2.5	3.0	0.25	0.3	0.05	0.1	2.25	2.7

利用表3，按(1)或(3)求出 $\mu(x)$ ，从而求得 $R$ 的各素 $r_{ij}$ ，即 $r_{ij} = \mu_{ij}(x_j)$  ( $j=1, \dots, 5$ )，而

$$r_{ij}(x_j) = e^{-\left(\frac{x_j - m_{ij}}{c_{ij}}\right)^2} \quad (j=1, \dots, 5)$$

#### 四、实 例

以华南滨海断裂带为例。该断裂带东起礼示列岛一兄弟屿附近陆架，往西南经南澎列

岛、红海湾口、担杆列岛及海陵岛等南部海域，最后伸进琼雷盆地的北侧，全长900—1100公里（图1），经野外地质调查以及地球物理资料证实，该断裂切割深度为35—40公里；差异升降速率相当明显，据南澎南侧水深30—40米左右采集的海堆岩（年龄约5000年）估算，平均差异升降速率达3—6毫米/年；据卫星照片推测该带为一右旋平移正断层，并经野外考察证实，早期有明显的压剪现象，后期常呈张性，断裂近期活动明显，据估算水平错动速率达5—15毫米/年；沿带地震活动十分强烈，如南澎7级（1900，9.29）和7级（1918，2，

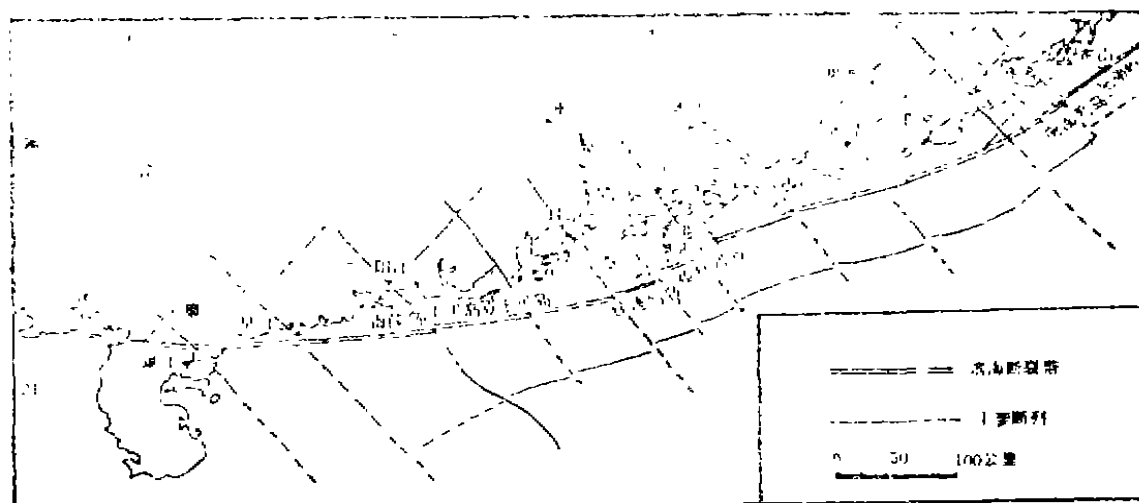


图1 华南滨海断裂带构造造架格图

Fig. 1 Structure map of Binghai fault of south China Sea

18)、红海湾口5级（1911.5.14）、香港东南5级（1874.6.23）、阳江西南6.4级（1969.7.26）、电白近海6级（1611.9.9）及廉江附近5级（1653.8.12与1933.4）等地震。在计算时取 $M_s=6.4-7.25$ 。

根据上面所提供的资料，华南滨海断裂带的因素指标分别为 $L=1000$ ； $H=37.5$ ； $V_L=4.5$ ； $V_{L1}=10$ ； $M_s=6.8$ 。

$m$ 、 $c$ 由表3所示。

这样就可以根据（1）和（3）进行计算，例如 $L$ 隶属于 $u_1$ 级的隶属度为

$$\mu(L) = e^{-\left(\frac{L-m}{C}\right)^2} \quad (L=1000 < 1250=m)$$

即

$$\mu(1000) = e^{-\left(\frac{1000-1250}{300.5}\right)^2}$$

$$= 0.5$$

其余的类推。

现把计算出各评判因素的隶属度列于表4。

表4 各评判因素隶属度

Table 4 Subordinate degree of each appreciation

因素	$u_1$	$u_2$	$u_3$	$u_4$	$u_5$
L	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00
H	0.44	0.84	0.06	0.00	0.00
V	0.84	0.21	0.14	0.00	0.00
V <sub>II</sub>	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00
Ms	0.02	0.89	0.17	0.00	0.00

模糊子集 $\tilde{A}$ 由表1选取,即

$$\tilde{A} = (0.10 \ 0.16 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.24)$$

那么模糊子集 $\tilde{B}$ 为

$$\tilde{B} = \tilde{A} \cdot R = (0.10 \ 0.16 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.24)$$

$$\begin{bmatrix} 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.44 & 0.84 & 0.06 & 0.00 & 0.00 \\ 0.84 & 0.21 & 0.14 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 \\ 0.02 & 0.89 & 0.17 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

$$= (0.33 \ 0.58 \ 0.21 \ 0.00 \ 0.00)$$

根据最大隶属原则,华南滨海断裂带属于强活动断裂带,其 $\tilde{B}$ 值为0.58。

## 结 语

以上讨论的是模糊综合评判方法在活动断裂分级中的应用。该方法的优点在于能较好地体现活动断裂的自然属性,克服了目前一些分级所存在的局限性。由于影响活动断裂的因素很复杂,加之实测资料比较欠缺,以及评判标准的非唯一性,要精确地确定分级是困难的,故引入模糊综合评判是可行的。文中关于隶属函数和模糊子集 $\tilde{A}$ 的确定方法还可以进一步研究与改进。该方法是探讨性的,不完善之处有待今后进一步研究。

## 参 考 文 献

- [1] 刘以宣, 华南沿海的活动断裂, 海洋地质与第四纪地质, 5卷3期, 1985。
- [2] 黄克中等, 随机方法与模糊数学应用, 地震出版社, 1987。
- [3] 汪培庄, 模糊集合论及其应用, 上海科学技术出版社, 1983。
- [4] 冯德益等, 模糊数学方法与应用, 地震出版社, 1983。
- [5] 薛佳谋, 南澎大断裂的发育特征及其发震意义, 华南地震, 6卷3期, 1986。
- [6] 钟建强, 滨海断裂带之所在及其活动性初探, 华南地震, 7卷4期, 1987。
- [7] 刘启千等, 工程岩体质量分级的模糊综合评判, 地球科学, 14卷3期, 1989。

# APPLICATION OF FUZZY INTEGRATIVE APPRECIATION IN A STUDY OF THE ACTIVE FAULT GRADING

——AN EXAMPLE OF BINGHAI FAULT OF SOUTH CHINA SEA

Zhan Wenhuan Zhong Jianqiang

(South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica)

[Abstract] According to the method of Fuzzy mathematics, the model of the Fuzzy integrative appreciation of the active faults are set up. It supplies a new way for the quantitative appreciation of the active faults.

Taking Binghai Fault of South China Sea as an example for the model, the results demonstrate that the model is significant.

~~~~~

## 广东省1990年度地震趋势会商会在省地震局召开

广东省1990年度地震趋势会商会于1月28至30日在省地震局召开。参加会议的代表有85人，主要来自各市地震局（办）、各地震台站。省地震局有关科技、管理人员参加了会议。

会上先后有10名代表作了大会发言。会议共收到地震趋势分析报告17篇。与会代表根据全国及我省现有地震资料进行了认真分析讨论，提出了1990年广东省地震趋势会商意见。

会上，一些代表认为，从历史地震看，广东不是最多地震的省份，但随着全国地震活动进入新的活动期，我们一定要提高震情观念。广东经济发达、人口稠密，鉴于其在改革开放中特定的地理位置，我们要加强地震监测预报工作，做到有备无患，常备不懈。也有代表认为，我们要做好群测群防宣传工作，使群众掌握一定的地震基础知识，做到“无震有备、有震不慌”，充分发挥我国在地震预测预防工作中的优势。

省地震局各级领导自始至终对这次会议高度重视。丁原章局长在会上介绍了中国专家组在美国旧金山地震考察情况并作了会议总结报告。

（陆积顺）