

活断层活动度和危险度评定

李起彤

(江苏省地震局, 南京)

提 要 研究活断层活动度和危险度的定量评定标准和方法, 对活断层潜在地震危险性评估具有重要意义, 在地震预报和工程地震研究中有广泛应用。作者提出了对活断层活动度和危险度概念含义的看法及其划分标准和评定方法; 主张用下次大震逼近时间作为评定活断层危险度的标准。

关键词 活断层 断层活动 断层危险度

1 活断层活动度评定

活断层活动度指断层可能的最大活动强度或程度, 一般用活断层最大潜在地震表示, 下面对活断层活动度的概念含义、划分标准和评定方法进行分析和讨论。

1.1 活断层活动度含义

根据断层活动不活动, 可以区分出活断层和“死断层”。在活断层中情况也千差万别, 有的现在正在活动, 即处在活动期; 有的现在正在“休眠”, 即处在平静期。再从活动强度看, 有的滑动速率高达几 mm/a 或更大, 有的仅几 mm/a 或更小。在地震预报和工程地震等研究中, 为更好地比较活断层的活动度, 日本学者根据断层平均滑动速率大小, 把活断层分成 AA、A、B、C 4 个等级。

断层平均滑动速率是否能完全反映出断层的活动程度? 我们认为值得商榷。有些断层滑动速率大小和断层活动程度高低是一致的, 即断层滑动速率大, 发生的地震也大, 相应的地震破裂和错距也大, 如圣安德烈斯断层、鲜水河断层、二台断层、南华山断层等。但也有一些断层, 平均滑动速率不大, 却能发生特大地震, 相应的地震断层长度和错距也很大。这方面最典型的例子要算郯庐断层了。据多种方法测定, 郯庐断层的平均滑动速率仅 0.6mm/a, 只相当 B 级活断层。但郯庐断层的实际活动程度要高得多, 最好的说明就是郯庐断层 1668 年发生了郯城 8.5 级特大地震, 产生的地震断层长 160km, 最大水平位移 7—9m。

上述情况很好地说明, 仅用断层平均滑动速率指标去衡量断层的活动强度是不够全面的。为此, 还需寻找其它更好指标, 去反映断层的实际活动程度, 这就是断层活动度问题。美、日等国地震地质学家已开始使用“断层活动度”这个术语, 丁国瑜也在探讨“断层活动度”定量指标。所以, 研究断层活动度的划分标准和评定方法是时候了。

1.2 活断层活动度评定标准

断层平均滑动速率既然不是断层活动度的唯一评定标准,那么还有什么别的标准能更好地评定断层活动度呢?从前面的分析可以看出,问题的关键是地震重复间隔。一条活断层的活动度确实是大的话,如果断层平均滑动速率不大,那么该断层的地震重复间隔一定很长。如郯庐断层,是我国东部最活动的一条巨型活断层,但平均滑动速率却很小,地震重复间隔很长,高达3000多年。又如唐山断层,1976年发生了唐山7.8级大地震,但平均滑动速率仅0.05mm/a,相当C级活断层,而地震重复间隔却长达7500a。

所以,为准确评定断层活动度,我们想必须使用一些综合的定量标准。就目前对活断层的研究程度和认识水平,最好的办法就是同时考虑断层平均滑动速率和地震重复间隔。松田时彦等在这方面已做过一些有益的尝试,我们想在前人工作的基础上再做一些补充和改进。

根据国内外大量地震重复间隔资料,我们把地震复发周期分成4类,即超长周期、长周期、中长周期和短周期(表1)。

表1 活断层地震复发周期分类表

Tab. 1 Classified table of recurring period about fault earthquake

周期分类	超长周期 (aa)	长周期 (a)	中长周期 (b)	短周期 (c)
地震重复间隔(年)	$R > 3000$	$3000 \geq R > 1000$	$1000 \geq R > 300$	≤ 300

综合考虑断层长期平均滑动速率分级和活断层地震复发周期分类(表1),制定出活断层活动度分类标准(表2)。我们把活断层活动度分成4类,即超强活动度、强活动度、中强活动度和弱活动度,其代号分别为I、II、III、IV(表2)它们对应的最大震级分别为8、7、6、5级。

表2 活断层活动度分类表

Tab. 2 Classified table of fault activity

活动度分类		长期平均滑动速率S(毫米/年)			
		AA $100 > S \geq 10$	A $10 > S \geq 1$	B $1 > S \geq 0.1$	C $0.1 > S \geq 0.01$
地震 复发 年 周 期	aa $R > 3000$	无	I	I - II	II
	a $3000 \geq R > 1000$	无?	I - II	II	II - III
	b $1000 \geq R > 300$	I	II	II - III	III - IV
	c $R \leq 300$	I - II	II - III	III - IV	IV

1.3 活断层活动度评定方法

在明确了活断层活动度概念含义和评定标准之后,再来讨论活断层活动度评定方法就

有基础了。概略地说, 活断层活动度评定方法大致有以下程序:

- a 首先查证活断层存在和划分准确度, 并查明断层规模和性质;
- b 调查断层位移幅度, 测定断层活动年龄, 使用多种滑动速率计算方法, 求出断层长期平均滑动速率, 并分级(表2);
- c 研究历史地震、古地震等, 查明活断层地震重复间隔, 并分类(表1);
- d 根据活断层长期平均滑动速率(S)分级和地震重复间隔(R)分类, 查对表2, 进行活断层活动度分类

1.4 活断层活动度评定实例

根据表2分类标准, 举几个实例作说明。如新疆二台断层, 就是一条具有超强活动度的活断层, 能发生8级以上强震, 一次大地震产生的最大位移至少7m, 如1931年富蕴8级大地震就发生在二台断层的北段, 最大水平位移达14m。二台断层长期平均滑动速率不到10mm/a, 属A级活断层。地震重复间隔为3150年, 属周期分类表中的aa类。按活动度分类, 应属I度活断层, 即二台断层是条具超强活动度的活断层, 所以能发生8和8级以上大地震。

又如山东郯庐断层, 虽然长期平均滑动速率不大, 仅0.6mm/a, 属B级活断层。但郯庐断层强震重复间隔长, 高达3000多年。所以, 按活动度分类表, 应属I度活断层, 即郯庐断层(山东段)具超强活动度。历史上, 郯庐断层发生过1668年郯城8.5级巨大地震, 地表最大水平位移7—9m, 最大垂直位移2—3m。

再如河北唐山断层, 断层长期平均滑动速率很小, 仅0.05mm/, 属C级活断层。但唐山断层大震复发周期达7500年, 属aa类超长周期活断层。按活动度分类表, 唐山断层活动度为I度。考虑到7500年远大于3000年分度标准, 所以提高到I—II度考虑, 因而能发生1976年唐山7.8级大地震。

日本也有很多很好的实例, 说明评定活断层活动度时, 既要考虑活断层的长期平均滑动速率, 又要考虑活断层的地震复发周期。如在四国的中央构造线, 平均滑动速率为5—10mm/a, 属A级活断层; 地震复发周期为1000—3000年, 为a类周期; 所以, 中央构造线的活动度为I—II度。在四国的中央构造线, 尽管尚无历史地震记录, 但松田仍推算中央构造线未来有可能发生8级强震。又如丹那断层, 平均滑动速率为2mm/a, 属A级活断层。但地震复发周期短, 仅1000年, 为b类周期。所以, 丹那断层活动度为I度, 历史发生的北依豆地震, 震级为7级。再如石廊崎断层, 平均滑动速率为0.1—1mm/a, 属B级活断层。地震复发周期为1000年, 为b类周期。按活动度分类表, 该断层活动度为I—II度; 石廊崎断层上, 历史上发生过伊豆半岛地震, $m=6.9$ 。

2 活断层危险度评定

活断层危险度系指活断层未来实际发生破坏性地震的危险水平或程度。下面对活断层危险度的概念含义、划分标准和评定方法进行分析和讨论。

2.1 活断层危险度含义

这里说的活断层危险度, 是指活断层未来实际发生破坏性地震的危险水平或程度。虽然, 它和活动度关系密切, 但它们又是两个独立的评定标准。

我们可以举一个实例,说明区分活断层活动度和危险度的必要性和重要性。郯庐断层是世界著名的巨型活断层,1668年发生的8.5级大地震,在地表产生了160km长的地震断层带和7—9m的水平位移。因此,可以说郯庐断层具有很高的活动度。但今日郯庐断层仍有昔日那么高的地震危险度吗?在郯庐断层平均滑动速率、地震复发周期等未弄清楚之前,人们确曾认为郯庐断层大地震潜在危险很大,需要高度重视和警惕。这种认识在全国第二代地震区划图上反映得很清楚,如把郯城附近地区地震基本烈度订为11度。这种正式公布的高烈度,对该区工程建设产生了重大影响。因为这等于把郯城地区宣判为“工程禁区”。此外,还经常引起很多地震社会学问题。同样,在苏北,如新沂、宿迁地区,也存在类似的高烈度重大问题。

自1985—1988年,山东省地震局等对鲁南地震基本烈度重新做了复核研究,结果取得重大进展和突破。他们新发现了1668年郯城地震断层,修订了震中位置。根据断层开挖和古地震研究,查明了郯庐断层8级强震复发周期为3000多年。据此得出结论,未来100年,鲁南地区不可能很快重复发生8级大地震。这样,鲁南地震基本烈度就大大降低了。如郯城在50年超越概率为0.1危险水平下,烈度值为7.5。若取超越概率为0.05,则烈度值为8.8。这个实例清楚地说明,活断层危险度反映的是断层未来实际发生破坏性地震的危险水平或程度,它和活断层活动度概念不一样。

2.2 活断层危险度评定标准

如何评定活断层危险度,是个很值得探讨研究的问题。为了区分活断层发生大地震的紧迫程度,日本松田时彦曾用“消逝率”(E>0.5)去鉴别“警告断层”或“预警断层”,其思路和方法大致如下:距上次大震时间越长,则离下次大震就越逼近。所以可用地震“消逝率”,来粗略地表示不久的将来该断层发生大地震的潜在趋势和可能。

我们认为消逝率还不能直接用来作为活断层危险度的评定标准,问题在地震重复间隔和逼近时间。下面就解释一下我们的分析和认识。

不同活断层的地震重复间隔相差很大,短的仅几十年、几百年;长的上千年、近万年。如日本室户岬断层,地震重复间隔(R)为110年;房总南端断层,R=320年;丹那断层,R=1000年。郯庐断层,R=3000多年;唐山断层,R=7500年。若用E>0.5,表示活断层危险程度,则下次地震逼近时间(即现在至下次大震发生的时间间隔,可用T表示)差别就太大了。如当E=0.5时,室户岬断层逼近时间为55年;房总南端断层T=130—160年;丹那断层T=500年,郯庐断层T=1500年;唐山断层T=3750年。所以,同样当E=0.5时,有些断层,仅剩55年时才被警告或预警;而另一些断层,则超前500年、1500年、甚至3750年就给“警告”或“预警”,这显然是不恰当的。特别在工程建设方面,超前几百、几千年警告,就没什么实际意义了,因为一般工程使用期或寿期仅50—100年。

评定活断层危险度究竟用什么标准呢?我们想结合地震预报和工程建设的实际需要,在松田的时间速率概念基础上,再做一些补充和改进。即试用逼近时间T,作为活断层危险度的定量评定标准(表3)。

一次大地震发生过了,下次大地震何时再发生?这是地震预报和工程建设最为关切的问题。我们说的逼近时间,简单的说就是逼近下次大地震发生的时间,即是从现在起至下次地震发生时的时间。逼近时间表达式为 $T=R-t$,式中T为逼近时间(年),R为地震重复间隔(年),t为消逝时间(年)。

表 3 活断层危险度分类表

Tab. 3 Classified table of fault risk

危险度分类	逼近时间 T (年)			
	T < 200	200 ≤ T < 500	500 ≤ T < 1000	≥ 1000
断层危险度	高危险度	中危险度	低危险度	弱危险度

2.3 活断层危险度评定方法

在明确了活断层危险度的含义和评定标准之后，再来讨论断层危险度的评定方法就不难了。概略地说，活断层危险度评定大致有以下程序：

- 研究历史地震、古地震等，查明活断层地震重复间隔 (R)。
- 用各种方法，调查和判定活断层最后一次地震事件发生时间 (T_1)。
- 根据公式 $t = (T_2 - T_1)$ 算出消逝时间 t ，式中 T_2 为现代时间；再根据公式 $T = R - t$ ，求出逼近时间 (T)。
- 根据逼近时间 T，查对表 3，进行活断层危险度分类。

2.4 活断层危险度评定实例

郯庐断层 (沂沭段) 8 级以上强震复发周期 (R) 为 3000 多年，最近一次大地震 (M=8.5) 发生在 1668 年。根据上述公式，可计算出消逝时间 (t) 和逼近时间 (T)，即：

$$\begin{aligned}
 t &= T_2 - T_1 & T &= R - t \\
 &= 1991 - 1668 & &= 3,000 - 323 \\
 &= 323 \text{ (年)} & &= 2677 \text{ (年)}
 \end{aligned}$$

查对表 3，得知郯庐断层 (沂沭段) 危险度属弱危险度。

又如日本丹那断层，地震重复间隔为 1000 年，1930 年曾发生北伊豆 7 级地震，根据公式，可计算出丹那断层的逼近时间 $T = 939$ 年。查对表 3，丹那断层危险度为低危险度。所以，久野考虑日本东海新干线虽然通过丹那断层，但要再次发生大地震，时间还很久远，故丹那断层不威胁工程建设。

从上述实例可知，刚发生过大地震的活断层，即使是 A 级活断层，反而是安全的。因为逼近时间较长，或消逝率 $E \leq 0.5$ 。所以，用最新的地貌学、地质学和地震学方法，查明活断层最新一次活动年代，了解断层现在处在地震复发周期的什么时段，对活断层危险度评定来说，是极其重要的。

参 考 文 献

- 丁国瑜。古地震标志问题。中国活动断裂，地震出版社，1982。
- 王景明。渭河地震带地裂与地震活动的周期性。地震学报，1984，7 (2)。
- 李起彤，等。浙江泰山核电站厂址区断层活动性评定。地震学刊，1987，(3)。
- 高维明，等。1668 年郯城 8.5 级地震的发震构造。中国地震，1988，4 (3)。
- 李起彤编著。活断层及其工程评价。地震出版社，1991。

- 6 松田时彦。活断层と地震—その地质学的研究, 地质学论集, 1976, 12, 15—32。
- 7 松田时彦, 张立人译。日本活断层和破坏性地震—强震分区和警告断裂带。活断层研究, 地震出版社, 1983。
- 8 堀见俊弘。活断层による地震の評価とその問題点, 地震动予测の研究, 損害保険料率算定会, 1985, 61—79。
- 9 S. G. Wesnousky, C. H. Scholz, 岛崎智彦, 松田时彦。活断层と历史地震テーマ综合した地震危険度マップ。地震学会讲习予稿集, 1983。
- 10 Geophysics Study Committee et al., Active Tectonics studies in Geophysics, National Academy Press, Washington, D. C. 1985。

EVALUATION OF FAULT ACTIVITY AND ITS RISK

Li Qitong

(Seismological Bureau of Jiangsu Province)

Abstract

Setup of standards and development of methods for quantitative evaluation of fault activity and its risk are of great significance for estimating potential seismic risk along active faults and very useful in earthquake prediction and engineering seismological research. The author suggests a conception about fault activity and its risk, their dividing standards and evaluating method, and takes the time before the next imminent great earthquake as a standard for evaluating the risk on an active fault.

Key words: Active fault, Fault activity and its risk