

文章编号：1006-6616(2002)01-0050-07

# 重大工程选区工程活断裂调查 要点及评价刍议

吴云生<sup>1</sup>，易明初<sup>2</sup>

(1. 铁道第一勘察设计院，兰州 73000；2. 中国地质科学院地质力学所，北京 100081)

**摘要：**本文从重大工程选区活动断裂中专门划分出“工程活断裂”，并重点提出了活动年龄、地震活动和现代活动速率等三大主要确定标准，以及野外调查基本要求，从而对相关工程做出综合评价。

**关键词：**工程活断裂；预警断裂；临警断裂

**中图分类号：**P546                      **文献标识码：**A

## 0 引言

活动断裂调查的目的之一是为工程建设服务，其特殊性和重要性非同一般，因此，在实地调查中，必须紧密结合工程的需求，开展有针对性的“工程活断裂”研究。

中国西部是活动断裂分布最广、强度最大的地区，尤其是青藏高原地区更为显著。然而又有多少活动断裂能对相关工程产生直接影响或危害？因此，对众多的活动断裂不进行筛选，就找不到工程落脚的一片净土，而“工程活断裂”的提出，正好为工程选址基本解决了燃眉之急。

“工程活断裂”的提出与活动断裂一样，从理论、方法和鉴别标准等诸方多面都不完善，认识也不统一<sup>[1]</sup>。“工程活断裂”的产生和发展是与工程建设深入开展、各产业部门工程规范的制定及实施密切相关。特别是70年代以来，世界各国大力建设核电站，在相关规范或准则中提出了“能动断裂”(capable fault)、“运行依据地震”(OBE)和“安全停堆地震”(SSE)等基本概念，有效地解决了核电站的建设和安全运行。因此，工程活断裂也就随着各类工程建设的开展而逐步发展起来。但是，由于部门不同、工程大小和类型不同，其规范或准则也不统一。如它的含义、标准和判据等还有待进一步完善<sup>[2,3]</sup>，虽然如此，但强调断层与地震密切关系、时间下限不宜太长和活动速率较大等主要方面还是基本一致的。现就目前的认识水平，初拟工程活断裂的调查准则，仅供参考。

# 1 “工程活断裂”的定义、标准和依据

## 1.1 定义

“工程活断裂”着重指全新世时期 ( $1.1 \times 10^4$ a) 内, 新生或有过继承活动和位移的断裂, 以及在工程使用寿命期 (一般指 50 ~ 100a) 可能继续出现活动, 并影响工程安全的断裂称为工程活断裂。

## 1.2 标准和依据

工程活断裂的鉴别标准, 由于各自提出的角度不同, 标准多而不统一, 目前认为最为重要的三大标准是年龄标准、地震标准和断裂活动速率标准。

### 1.2.1 年龄标准

确定“工程活断裂”的时限或年龄标准, 主要依据我国大量发震断裂的测年资料、大地震原地周期或间隔时限的统计结果 (部分参考国外资料), 并结合我国在晚第四纪——全新世时期, 在没有活动的断裂上或附近所建立的古建筑数十年或数百年均没有发生错位或地震破坏等实践证明而提出来的经验总结。因此,  $1.1 \times 10^4$ a 的年龄标准, 实际是自然地质现象之间的联系性与工程实践结合的产物。

### 1.2.2 地震标准

地震标准主要突出发震断裂。凡具备: ①历史记载或仪器记录发生过  $M \geq 5$  级地震的断裂; ②沿断裂频繁发生  $1 \leq M < 5$  级地震, 具有 3 个以上地震直线分布, 线性良好, 有相应地面出露的断裂等凡符合上述两条标准之一者, 即为发震断裂。

### 1.2.3 断裂活动速率

断裂活动速率在美国、日本和我国均有各自的分类标准, 如斯利蒙斯分类等 (图 1)。

如果从时限上划分, 通常可分为三大类: 即地质的、历史的和现代的 (一般用 mm/a 来表示)。

地质的年限一般多指第四纪以来至 5000a; 历史的年限一般指人类有历史记载 (5000a) 以来; 而现今的主要指数十年或近年来用仪器测量的。根据我国上述三大类型所获得的断裂活动速率统计对比表明, 前两类活动速率 (S) 必须  $> 1\text{mm/a}$ , 第三类活动速率应该  $\geq 1\text{mm/a}$ 。如果均  $< 1\text{mm/a}$ , 可认为是非工程活断裂。

在上述工程活动断裂的年龄、地震和活动速率三者之中, 年龄和地震标准最重要, 凡具备其中之一者即为工程活断裂, 在工程上必须采取相应措施或对策。

# 2 工程活断裂观测

工程活断裂的观测与活断裂观测方法没有本质区别。有所不同的是在工程活断裂的调查中, 要侧重加强微观调查、工程开挖、仪器测量、地震观测和年龄测定等量化指标。

## 2.1 野外实地考察

着重在同一条断裂 (带) 上的不同地段分别进行观测, 即加强断裂活动的分段性调查。

### 2.1.1 侧重全新世 ( $1.1 \times 10^4$ a) 以来的断裂活动迹象调查

①大比例尺活动构造填图、航片解释、地形图判读及其野外验证;

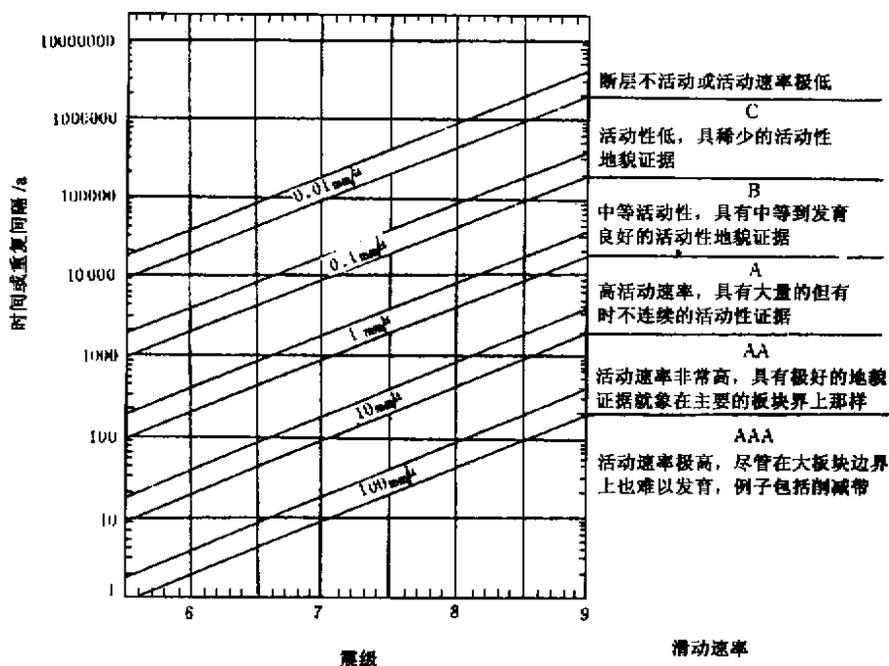


图1 地震时间或重复间隔与地震震级和断层带滑动速率的关系<sup>[4]</sup>  
(据 Matsuda (1975) 和 Slommons (1977) 修改)

Fig.1 Relationship between earthquake occurring time or repeated time-interval and earthquake magnitude and slip rate of fault.

②断崖(特别是第四纪地层中的断崖)、洪积扇的叠置和位错、河流裂点;

③河流、山脊和冲沟的水平位错;

④第四纪地层中的大小断裂和裂隙等微型构造展布方向、内部构造特征、力学属性、位移大小和方向;

⑤在高寒地区于断裂两侧及其附近冻土区开展冻土裂隙的统计和对比研究工作,查明冻裂作用与断裂活动有无内在联系;

⑥断裂沿线的冻胀、融陷、泉华等不良物理地质现象调查;

⑦崩、滑、流和寒冻风化与断裂活动的关系,其中特别注意对“醉汉树”的调查和发现;

⑧地震沿断裂带发生后所遗留的地裂缝和地震断裂陡坎的调查。

总之,通过上述8点,以及其它诸多方面的调查,不仅要求了解断裂的活动程度,更要了解断裂的位移方向和位移量,以及它的应力状态。

### 2.1.2 断裂位移测量

通过断裂位移测量,了解断裂两盘现今的位移方向,位移量大小,以及活动的全部过程,从而获得现今断裂的活动速率,这对工程的定量化评价极为重要。

最有效的基本方法有两种:即跨断层水准测量和跨断层短基线测量。前者可测出小范围内的垂直形变,后者可查明断层附近的微小水平形变。为了更精确测量断层蠕滑,可跨断层布设蠕变仪和连通管观测。在测量仪器上,有光速测距仪,以及更先进的激光测距仪,特别

是后者可使测量的精度和效益提高数倍。但是，无论采取何种方法，为了达到测量数据的准确性，必须多次的重复测量，即重复测量的时间越长，次数越多，数据也就越准确。

## 2.2 实地工程开挖

实地工程开挖是鉴定“工程活断裂”最重要的手段之一，因此，在实地要努力寻找和选择断裂通过第四纪最新地层的进出口部位、冲洪积扇地带中的微型地貌或陡坎部位，以及有其他活动迹象等处进行工程开挖，并进行详细的编录、制图、照相和采样，它不仅可获得断裂的各项指标，对古地震的发现也是一个重要手段。

## 2.3 采样测年

测年多采用间接法和直接法两种，尤其是直接法最为重要。

### 2.3.1 间接法

主要测定断层上覆未被切错的第四纪最新地层年龄，以确定最新地层年龄与其被切穿地层之间的活动时限，或称相对年龄。

### 2.3.2 直接法

主要通过断层填充物和断层形成物两种方式来测量。

#### (1) 断层填充物

①填充物没有构造形变迹象，初步判断断层没有活动。②填充物有构造形变，新断面上有擦痕，但没有发现填充物错位，说明断层受到一定量级的构造力影响。③如填充物有显著的构造形变作用，如大量的擦痕、片理和挤压扁豆体等，这标志着填充物形成之后，断层已经活动过，因此，对②和③两种现象应重点采样测年。

#### (2) 断层形成物

断层形成物是指断层活动时，在断层围岩中出现的构造破碎作用，并从中分离出来，集中所形成的断裂破碎带。但是，直接法由于受放射性元素的含量和断层风化程度等影响，降低了所测年龄的准确度，因此，必须采取相应办法来弥补其不足之处。具体办法是：①在断层穿过第四纪最新地层通过的进出口部位，同时实施间接和直接两种方法的采样测年，相互印证，进而提高断层年龄的可靠性。②同一块样品，采取两种或两种以上的方法测年。③为获得断层的多次活动性和最后（或最新）一次活动年龄值，在垂直断层带上的不同断面进行连续采样测年。④采样点位置要准确可靠，远离污染和风化影响，根据采样的物质成分，在实地要初步确定测年方法。⑤测年方法，要根据断裂采样物质成分的不同而有所区别。目前适合工程活断裂的年龄时限的方法不多，但可以分别从  $C^{14}$ 、热释光（TL）、铀系法（U 系）、电子自旋共振（ESR）、石英电镜扫描（SEM）以及其他有效方法（如树木年轮法、冰川纹泥法等）中合理选择。

## 3 工程评价

活断层可以引起大量的地质灾害，特别是地震和断错能对工程造成极大的破坏作用。因此，根据活断层最新理论和大量工程实践。对活断层进行工程评价时，以上述三大标准为中心，又着重分解出下面几个关键问题：即断层查证和准确度划分；活断层鉴定及最新活动年代测定；断层错动幅度及平均滑动速率计算；地震重复间隔和逼近时间计算；断层分段和群集；断层活动度和危险度评定等。在综合评定基础上，再对相关工程采取相应的对策。下面仅就部分评价因素再做进一步的简要说明：

### (1) 断层分段性

断层分段性已有 40 年左右的研究历史,在我国更为年轻,对其问题的复杂性和一系列理论认识都还有待进一步的深入研究。但就目前来说,断层分段主要采取了断层的形态几何、结构、活动性和破裂等方法<sup>[5]</sup>,特别是在断层的破裂分段中所使用的地震学和分形几何学等方法,对地震危险区划和重大工程地震危险性评价有着极其重要的实际意义。但是,由于各地的地震台网和历史地震记录程度不同,对分段性研究带来较大困难,因此,必须在综合性分段研究基础上,重点采用断层位移活动性和断层地震活动性两种方法进行断层分段,前者可以通过地质和仪器等方法获得断层的位移大小;后者可以通过古地震、历史地震和现今地震的综合统计和估算来判断地震强度,由此划分出对重大工程评价具有实际意义的断层分段,这种断层分段同时也贯穿到以下各项工程评价中。

### (2) 活断层准确度划分

活断层的准确度或可信度可划分为实测的和推测的两大类:根据其定位精度可分为 4 个等级:

A 级:证据确凿,位置准确;

B 级:有一定证据,位置基本准确;

C 级:证据不多,位置较模糊;

D 级:纯属推测,存在与否尚待查实;

对工程活断层,要求达到 A 级,或至少达到 B 级。

### (3) 地震重复间隔和逼近时间计算

断层活动是有规律的,这种活动规律或周期一般是通过地震活动而表现出来,因此,断层的活动期幕也一般是通过地震活动期幕反映的。通过 R.E. 华莱士(1970)、D.B. 斯利蒙斯(1977)和松田时彦(1977)等研究表明<sup>[3]</sup>,地震重复间隔与震级和滑动速率有着极为密切的关系(图 1)即  $R = D/S$ , 式中的  $R$  为地震重复时间; $D$  为一次地震的断层位移; $S$  为长期平均滑动速率。但是  $D$  值大小又与震级  $M$  有关,松田时彦对  $R$ 、 $M$ 、 $S$  导出的公式为: $\log R = 0.6 - (\log S + 4.0)$ 。尽管如此,由于工程实践的需要,对国内外大量地震的时间间隔统计结果表明,一般来说,在速率相同的情况下,地震震级越大,时间间隔越长;反之则越短。根据我国大地震( $M = 7$ )统计结果,除少数以外,绝大多数地震周期为 1500 ~ 3000a<sup>[2]</sup>。

如果已知地震间隔时间或地震周期( $R$ ),对下次地震发生时间就不难确定。如果将  $T$  代表下次地震的逼近时间; $T_1$  为上次地震发生时间; $T_2$  为现在时间;消逝时间为  $t = T_2 - T_1$ ,由此得出  $T = R - t = R - (T_2 - T_1)$  关系式。地震逼近时间对工程极为重要,逼近时间越短,对工程越具有威胁感,故建议划分出逼近时间进入工程使用寿命期称“临警断裂”和逼近时间在工程使用寿命期外或接近寿命期的称“预警断裂”,但是这种类型的活断裂均属工程活断裂,必将成为工作重点。

### (4) 断裂活动度

断裂活动度是指断层的活动强度。对强度的划分,一般是依据断层平均滑动速率大小划为 AAA、AA、A、B、C(图 1);或 AA、A、B、C;或 A、B、C、D 等多级,但是,断层平均滑动速率又不是判断断层活动度的唯一标准,必须结合地震重复周期来划分活动强度,即分别为 I(超强、相当于 8 级地震)、II(强、7 级)、III(中强、6 级)和 IV(弱、5 级)等四类(表 1)<sup>[3]</sup>。因此, I、II 两类成为工程活断裂的重点。

表 1 活断层活动度分类表

Table 1 Activity of active fault

活动度分类		断层长期平均滑动速率 $S$ (mm/a)			
		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 周期 R (年)	aa $R > 300$	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

表 2 活断层危险度分类表

Table 2 Dangerous degree of active fault

危险度分类	逼近时间 (a)			
	$T < 200$	$200 \leq T < 500$	$500 \leq T < 1000$	$T \geq 1000$
断层危险度	高危险度	中危险度	低危险度	弱危险度

### (5) 断层危险度

断层危险度一般指活断层未来实际发生破坏地震的危险程度，而危险程度的评定标准主要依据上述提到的地震逼近时间，逼近时间越接近，对工程的危险度也就越大。但是，由于工程类型不同，在参考表 2 的基础上，对逼近时间的长短做进一步调整，再进行高危险度、中危险度、低危险度和弱危险度的划分<sup>[3]</sup>。由此可以得知，哪怕是刚发生大地震的活动断裂，即使强度最大的 AA 级或 A 级活断裂，反而是安全地带，对工程最不具有危险性。

### 参 考 文 献

- [1] 易明初. 活断层的国内外研究综述 [J]. 中国地质科学院五六二综合大队集刊 (3). 北京: 地质出版社, 1982, 125.
- [2] 李兴唐. 活动断裂研究与工程评价 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [3] 李起彤. 活断层及其工程评价 [M]. 北京: 地震出版社, 1991.
- [4] 马宗晋主编. 活动构造基础与工程地震 [M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [5] 丁国瑜, 等. 活断层分段——原则、方法及应用 [M]. 北京: 地震出版社, 1993.

## ENGINEERING ACTIVE FAULT INVESTIGATION AND ITS ASSESSMENT IN MAJOR ENGINEERING SELECTED SITE AND AREA

WU Yun-sheng<sup>1</sup>, YI Ming-chu<sup>2</sup>

(1. First Railway Prospecting and Designing Institute, Lanzhou 73000, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China.)

**Abstract:** The "Engineering active fault" is paid a special attention to in study of active fault of major engineering selected site and area, and 3 criteria for the determination of engineering active fault are given: age of fault activity; earthquake activity of fault; current active rate of fault. The key gists on field investigation of engineering active fault and how to assess active fault are stated in the paper.

**Key words:** engineering active fault; early warnng fault; critical fault

### 青藏铁路沿线活动断裂研究的新进展

地质力学研究所研究人员自 2000 年 1 月 27 日开始在格尔木—唐古拉山约 600km 铁路沿线开展活动断裂勘测和安多—拉萨段约 500km 铁路沿线活动断裂踏勘工作。时值高原寒冬季节，青藏高原含氧量不及北京地区的 40%，白天气温  $-20^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ ，夜晚气温低至  $-30^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ ，常遇 5~7 级大风和风沙天气，野外工作条件极端艰苦。但项目全体野外工作人员团结协作，克服了高原缺氧、极端寒冷等各种难以想象的困难，高质量地完成了青藏铁路格尔木—唐古拉段沿线活动断裂勘测任务。

经过近 30 天的野外工作，青藏铁路格尔木—唐古拉北段活动断裂勘测取得重要进展，野外勘测初步成果包括：

①研究表明，铁路沿线大部分北西—北西西向与近东西向活动断层属左旋走滑活动断层，其性质以扭性和张扭性为主。②在铁路沿线及邻区，厘定出数十条不同方向、不同性质、不同产状的活动断裂系和若干大型拉分盆地和小型拉分盆地，绝大部分活动断裂系都穿切铁路或临近铁路分布，对铁路安全有不同程度影响。③对铁路沿线重大工程隧道和特大桥址进行了综合地球物理探测和详细地表地质调查，发现大量较大规模的活动断层及相关不良地质现象，为重大工程安全和地质灾害防治提供了重要资料。④按时完成并提交青藏铁路格尔木—唐古拉北段沿线 1/2000 活动断裂分布平面图、活动断层纵断面图和 1/10 万遥感影像图、1/10 万活动断裂分布图，为青藏铁路格尔木—唐古拉北段设计修改和合理施工提供了重要科学依据。⑤对重要活动断层的走滑位移量进行了详细观测，取得一批珍贵观测资料；对活动断裂形成时期和滑动时代，采集了近百件年代学样品，为进一步测定断层运动速度奠定了良好基础，具有重要的科学意义。

(吴珍汉供稿)