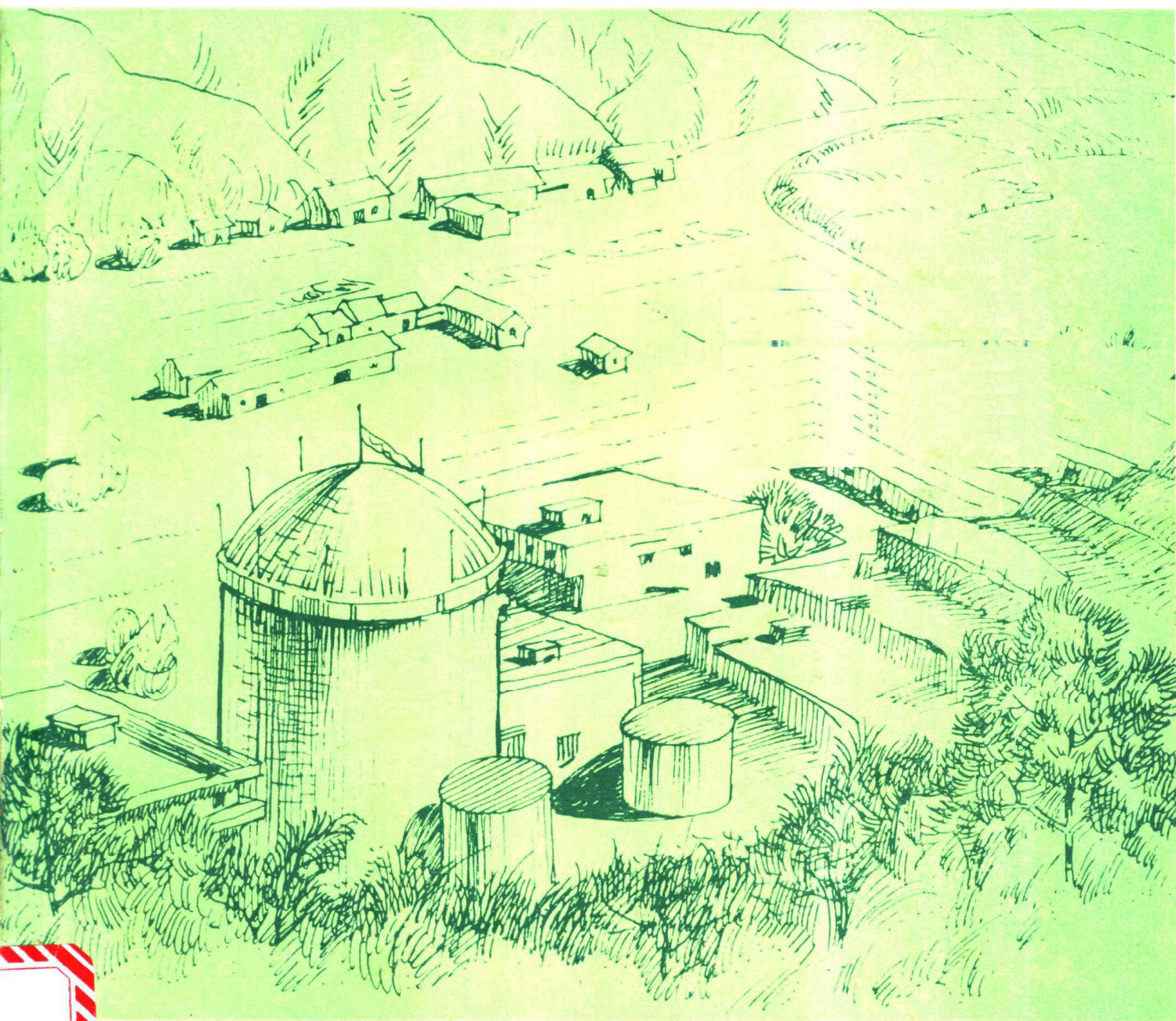


736917

活动构造与工程选址译文集

东北地震监测研究中心 译



地质出版社

活动构造与工程选址 译 文 集

东北地震监测研究中心 译
钟以章 强祖基 王振福 等校

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

内 容 提 要

本译文集选译了美、日等国有关活动构造和工程选址研究的论文共19篇。分四个部分：一、活断层；二、活动构造研究中有关各种技术的应用；三、区域活断层研究；四、大型工程中的活断层问题及处理。

活断层部分主要论述了活断层与地震震级的问题及活断层带的构造、地貌特征。第二部分探讨了工程选址中的有关活动构造，特别是活断层问题的地质评价，以及活动构造研究中有关各种技术（如地球物理方法、遥感技术、扫描电子显微镜、断层活动年龄测定等）的应用问题。第三部分介绍有关美国、日本对全球活断层、活动构造的研究情况。最后部分简介了大型工程中遇到活断层时，抗震设计及工程处理方面的内容。

本文集可供工程地质、地震地质、构造地质、地球物理、地震预报、抗震设计等专业的科研人员、现场调查人员以及高等院校相应专业的师生参考。

活动构造与工程选址译文集

东北地震监测研究中心 译

钟以章 强祖基 王振福 等校

*
责任编辑：李源明

地质出版社 出版发行

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销



*
开本：787×1092¹/₁₆ 印张：16.125 字数：386000

1991年10月北京第一版·1991年10月北京第一次印刷

印数：1—800 册 国内定价：10.40 元

ISBN 7-116-00888-8/P·758

目 录

第一部分 活 断 层

1. 活断层与地震震级——美国目前评定地震灾害的技术准则
..... D·B·斯莱蒙斯 (1)
2. 活断层带的地貌特征——附录 A D·B·斯莱蒙斯 (23)

第二部分 活动构造研究中有关各种技术的应用

3. 核电站场址的地质评价 M·J·阿戴尔 (30)
4. 核反应堆选址评价中的地质报告 R·H·莫里斯 (43)
5. 关于核电站选址的地球物理方法 P·J·默菲等人 (49)
6. 核电站的环境选址 龙尼茨·C (53)
7. 核电站地基的现场调查 (美国联邦核管理委员会管理指南1.132号) (60)
8. 遥感资料在核电站场址区调查中的应用 R·C·麦克尔唐尼等人 (78)
9. 断层研究中的年代测定技术 P·J·默菲等人 (97)
10. 用断层泥中石英颗粒的表面结构确定断层的活动时代 Y·金织等人 (115)
11. 用断层泥中石英颗粒的表面结构分析断层的破裂方式
和确定它的相对年龄 Y·金织 (126)
12. 电力设施抗震设计中断层活动性的评价 绪方正度等人 (139)
13. 美国断层活动性的评价与研究 L·S·克拉夫等人 (159)
14. 日本核电站场址预期最大地震力的估计 表俊一郎等人 (173)

第三部分 区域活断层研究

15. 圣·安德烈斯断裂带的构造地貌 (科切拉谷地南印第奥丘陵
区, 加利福尼亚州) E·A·凯勒等人 (184)
16. 全球构造活动图 P·D·Jr·洛曼等人 (196)

第四部分 大型工程中的活断层问题及处理

17. 奥本水坝的断层问题 中村康夫 (207)
18. 活断层的工程问题及其处理 羽田 忍 (218)
19. 地震分析的改进和断层活动作用下埋设管道的设计 ... 利昂·R·L·W黄等人 (237)

第一部分 活 断 层

1. 活断层与地震震级

——美国目前评定地震灾害的技术准则

戴维·B·斯莱蒙斯 (David B. Slemmons)

一、断 层 和 震 级

对于确定设计地震的地质方法，以下各点是十分重要的：(a) 活动速率很低的或中等的断层；(b) 历史上无震的高活动速率断层，或其速率不足以代表其长期或平均活动水平的断层；(c) 缺少历史记录断层，或地震资料来自定位不准的、相距甚远的、低放大系数的地震台区域的断层。在历史上有高地震活动性，以及地震台站数量足够多且研究充分的地区，地质方法也能作为预报地震的大小及频率的一种独立手段。在确定设计地震时，同时采用地质方法和地震法所得的结果，它们一般是类似的或一致的。

现行工程应用中，常根据震级同 $\log L$ (断层长度) 和 $\log D$ (位移) 的关系式来计算设计地震的。震级与断层长度和最大位移间的相关性，有很高的相关系数，并且广泛地用于估算设计地震值。震级同 $\log LD$ 或 $\log LD^2$ 的比值，在 L 和 D 已知的工程应用中，同样是很有效的。

在通常的工程实践中，活断层是指受现代构造力影响的、并且有全新世位移证据的断层 (距今约10 000a)，这个定义已被广泛接受。

二、从断层长度和最大位移量求设计地震

1. 分析中等乃至大型地震时，必须考虑两类设计参数：(a) 可能是由未来断层位移和距震中不同距离的各地面点运动计算出来的地震震级；(b) 沿断层破裂表面的范围、位置和最大位移量。

2. 在给定场地上确定预期地震的地面运动，以及评价场地附近和远离场地的重 要 活 动断层，对于设计要求来说是有必要的。由于地震震动随距离而衰减，对于特殊地区的设计地震，应当包括断层附近的中等震级地震和 (或) 远处大断层上的大震级地震。当大断

层靠近场地（址）时，设计地震一般不考虑更远的断层，除非它对地震频度和复发期有重大的影响时。分析断层的长度和在断层上所产生的最大位移，可以推断设计地震的震级和震中距场地的距离。霍夫曼（Hofmann）等人利用这些参数，提出了用以确定地震烈度、峰值加速度、峰值速度和峰值位移的方法。此外，按霍夫曼给出的关系式，还可以估算出强震的持续时间。对该场地的所有主要断层的数据进行造册，是有助于确定设计参数的。

三、震级与断层长度、最大位移的关系

1. 为确定震级与断层长度的关系，常使用两种方法：(a) 基于对地震的地表断裂的野外观测的经验研究；(b) 以地震学及与地震能量释放、震源机制和震源参数有关的弹性理论为基础的位错震源机制的研究。各种震源机制研究，都讨论了由于早期断层汇集的复杂性而致使所得关系的不一致性。但是，博尼拉（Bonilla）等人的近期的经验关系曲线与钦纳里（Chinnery）等人的地震位错模式是非常接近的。

2. 本节总结前人用最小二乘法近似所得的直线方程，即 $y = a + bx$ 的关系式。根据其它的以及新资料，确立了新的方程和图表。新方程式的离散度较小，并改善了相关系数。人们注意到，对一组给定的数据来说，引导解答方程 $\log x = a + bM$ 的线性回归分析，在数学上与方程 $M = a + b \log x$ 并不等同。所以，两个方程的直线画在同一坐标图上时，它们的位置并不重合。由于断层分析的正常步骤是：从实测的断层参数推断出由一给定的断层长度或最大位移所测算的地震震级，故本文的方程式和图表均基于下述表达式：

$$M = a + b \log D; M = a + b \log L; M = a + b \log LD \text{ 和 } M = a + b \log LD^2.$$

四、最大位移对数 ($\log D$) 与震级 (M) 的经验关系式

这个关系式提供了统计上比断层长度与震级更好的相关性，并且它是根据过去地震中沿断层出现的最大地面位移作出的。应用这个公式，要求对地层、土壤或地貌位错的研究

表 1 震级 (M) 与最大位移对数 ($\log D$) 的关系
 $M = a + b \log D$

参考资料	地 区	断层类型	地震次数	a	b	D
托切尔 (Tocher)	加利福尼亚—内华达	各种类型	9	7.012	0.720	m
艾达 (Iida)	世界范围	各种类型	58	6.838	1.818	m
博尼拉和布坎南 (Bonilla and Buchanan)	北 美	各种类型	19	6.838	1.169	m
	全 球	各种类型	50	6.890	1.105	m
	全 球	A. 正向滑移	14	6.853	0.841	m
	全 球	B. 逆向滑移	7	7.166	1.280	m
	全 球	C. 正斜滑移	7	7.094	0.065	m
	全 球	D. 逆斜滑移	5	6.928	0.067	m
	全 球	E. 走向滑移	17	6.881	1.332	m

究，比断层长度的研究更为详细。根据方程式 $M=a+b\log D$ 的直线相关性，表1列出了已发表过的数据。

五、断层长度对数($\log L$)与最大位移对数($\log D$)的经验关系式

这个关系式能够估算出已知断层长度的最大位移值。该式表明有很好的统计相关性。表2是根据 $\log D=a+b\log L$ 的直线相关性所得到的数据。

表2 断层长度对数($\log L$)与最大位移对数($\log D$)的关系式

$$\log D = a + b \log L$$

参考资料	地 区	断层类型	地震次数	a	b	D	L
托切尔(Tocher)	加利福尼亚—内华达	各种类型	9	-2.809	0.664	m	m
艾达(Iida)	全 球	各种类型	59	-3.444	1.075	m	km
博尼拉和布坎南 (Bonilla and Buchanan)	北 美	各种类型	19	-4.268	0.952	m	m
	全 球	各种类型	61	-2.240	0.558	m	m
	全 球	A. 正向滑移	20	-3.136	0.775	m	m
	全 球	B. 逆向滑移	8	0.152	0.035	m	m
	全 球	C. 正斜滑移	7	0.198	0.042	m	m
	全 球	D. 逆斜滑移	5	-1.641	0.451	m	m
	全 球	E. 走向滑移	21	-3.273	0.752	m	m

六、断层长度对数($\log L$)与震级(M)的经验关系式

1. 这是最广泛应用于估算多发生在沿已知断层长度的未来地震震级值的公式。表3是根据 $M=a+b\log L$ 的线性关系式所列出的曾发表过的数据。

2. 阿尔伯(Albee)和史密斯(Smith)评价了南加利福尼亚的地震危险性和抗震设计问题。他们列出了加利福尼亚州内华达和贝杰地区内19个地震的震级和地表断层长度，还包括了22个没有地表断裂活动、而用余震区长度来表示的地震。这些结果表明，没有地表断裂活动的浅源小地震，跟有地表断裂活动的大地震一样，都落在同一曲线上。这就说明震级和有关的地面断裂活动长度之间呈曲线关系。

表 3 震级(M)与断层长度对数($\log L$)的关系式

$$M = a + b \log L$$

参考资料	地 区	断层类型	地震次数	a	b	L
托切尔(Tocher)	加利福尼亚—内华达	各种类型	10	3.415	0.825	m
艾达(Iida)	全 球	各种类型	35	6.27	0.63	km
艾达	日本及邻近	各种类型	12	6.62	0.49	km
艾达	北 美	各种类型	51	6.07	0.76	km
博尼拉和布坎南 (Bonilla and Buchanan)	全 球	各种类型	14	2.008	1.075	m
	全 球	各种类型	53	3.575	0.758	m
	全 球	A. 正向滑移	14	4.303	0.630	m
	全 球	B. 逆向滑移	7	7.497	0.047	m
	全 球	C. 正斜滑移	7	3.828	0.751	m
	全 球	D. 逆斜滑	5	7.137	-0.049	m
	全 球	E. 走向滑移	20	1.239	1.242	m
松井田 (Matsuda)	日 本	各种类型	14	-4.833*	1.667	km

* 对 $\log L = a + bM$ 作回归分析。

七、断层长度(L)和最大位移(D)的乘积 对数与震级(M)的经验关系式

这个关系式曾用于地震学的研究中,然而,由于对早期沿断层发震的野外研究很少解决断层长度和最大位移间的问题,所以,在确定设计地震时,该关系式根本得不到应用。

表 4 震级(M)与断层长度(L)和位移(D)乘积的对数关系

$$M = a + b \log LD$$

参考资料	地 区	断层类型	地震次数	a	b	L	D
托切尔(Tocher)	北 美	各种类型	7	4.976	0.464	m	m
艾达(Iida)	日 本	各种类型	11	6.19	0.35	km	cm
艾达	全 球	各种类型	52	5.39	0.48	km	cm
博尼拉和布坎南 (Bonilla and Buchanan)	北 美	各种类型	19	3.845	0.667	m	m
	全 球	各种类型	48	4.576	0.548	m	m
	全 球	A. 正向滑移	14	4.924	0.467	m	m
	全 球	B. 逆向滑移	6	6.200	0.314	m	m
	全 球	C. 正斜滑移	6	5.318	0.374	m	m
	全 球	D. 逆斜滑移	5	7.000	-0.014	m	m
	全 球	E. 走向滑移	17	3.797	0.722	m	m

这个关系式或许更能描述震源体积——即因弹性地震能所释放的岩石体积。故而，当知道两种断层参数时，应该使用这个关系式。尽管 M 的标准偏差相当大，但此关系式的良好统计关系，仍类似于震级相对于位移的关系，而且竟比震级与相对长度关系还要好。根据 $M = a + b \log LD$ 的直线相关性，表4列出了曾经发表过这一关系的数据。

八、断层长度和位移平方乘积的对数($\log LD^2$) 与震级(M)的经验关系

金(King)和诺波夫(Knopoff)提出的这个关系式是与震级相关的，最有代表性的断层参数的计测方法。

博尼拉和布坎南根据 $M = a + b \log LD^2$ 的线性关系，在表5中列出了这种关系式。虽然震级的标准偏差比有关断层长度或最大位移的标准偏差要大些，但是震级和 LD^2 对数之间的统计关系，仍然是很好的。

表5 震级(M)与断层长度(L)和位移平方(D^2)乘积的对数关系式

$$M = a + b \log LD^2$$

参考资料	地 区	断层类型	地震次数	a	b	L	D
托切尔(Tocher)	加利福尼亚 —内华达	各种类型	9	5.708	0.296	m	m
艾达(Iida)	全 球	各种类型	52	2.980	0.408	cm	cm
金和诺波夫 (King and Knopff)	全 球	各种类型	42	1.395*	0.526*	cm	cm
博尼拉和布坎南 (Bonilla and Buchanan)	北 美	各种类型	19	4.880	0.436	m	m
	全 球	各种类型	48	5.258	0.386	m	m
	全 球	A.正向滑移	14	5.567	0.310	m	m
	全 球	B.逆向滑移	6	6.441	0.249	m	m
	全 球	C.正斜滑移	6	6.112	0.200	m	m
	全 球	D.逆斜滑移	5	6.995	-0.003	m	m
	全 球	E.走向滑移	17	4.668	0.483	m	m

* 对 $\log LD^2 = a + bM$ 作线性回归分析。

九、确定活动断层或非活动断层的方法

1. 根据潜在活动性来对断层进行分类，是研究断层的目的，而且是将断层长度和位移应用于震级设计关系式的第一步。要确定某一给定断层是否为活断层，应取决于历史

的、地质的和地震的三个主要判别标志（见表6）。每种标志中，可供利用的资料一般是

表 6 识别活动断层的标志

总 标 志	
地质标志	活动断层带的年轻地貌标志有：断层崖、三角崖面、断层陡坎、断层裂谷、断片脊、封闭山脊、断移水系、封闭洼地、拗陷、断陷湖、地堑谷、断层槽、侧山脊和断层鞍状构造，以及开口裂缝、隆起带和沟、复活水系、阶地联系、新沉积物的褶皱和弯曲、新冲积层中的陡冲断层、冲积层中的雁行断层和以泉状排列及植物对照性为标志的地下水不透水层上覆新表面的断层形迹。上述标志通常是结合在一起出现的。侵蚀地形与许多活断层有关系，但可能没有什么特征。由断层引起的晚第四纪沉积层的地层水平错断，也表明断层的活动性
历史标志	历史文献、新闻或图书的叙述、个人日记、文字通讯、传记等都可能描写过去的地震、地面断裂活动、滑坡、裂缝、或其它与地震有关的现象。通常有几种历史资料可供利用。断错围墙、公路和建筑物等，或者集中于断层的观测点的移动均能表明断层的蠕动特征
地震学标志	根据仪器记录的震中分布，能够描绘出活断层的范围。无地震记录则不能确定某一断层为非活动性断层。

不全的。即使有广泛的资料，为了解决具体断层的活动性问题，还需要作其它方面的研究。克柳夫（Cluff）等人将活动性分为四种主要类型：活动的、潜在活动的、活动性不确定的和非活动的。他们还列出了每种断层活动类型尚需进行的研究工作。

十、活动断层的历史标志

直到近期，与过去位移和地震活动有关的历史资料才成为深入研究和评价设计地震的课题。大多数地区，断层的原始资料是分散的和难于核对的。对震前仪器操作时期以及确定地震期或蠕动期间是否曾有历史地面断裂活动，详细地分析历史资料，可提供出地震历史和地震烈度。由烈度可以推测出地震震级。表6列出了某些资料。对大地测量及其它水准和三角测量资料的分析，亦正在提供日益增多的记录，它们与构造变形的震前、震时和震后地面运动有关。由重力站的精密重复测量，同样可以得到监测地面变形的间接方法。

详细研究历史资料的重要性，表现在北美西部40次历史上的地表断裂活动中。其中，约有10次是从历史资料研究或断层的评定中被识别出来的。这种研究必将能进一步增加那些已知地表断裂活动例子的数量。

十一、地震学方法

详细研究一些断层带上的震中分布，可以了解断层的活动性、延展性、位置、倾角和走向、深度和震源机制。主要借助于微震确定的、位于圣·安德烈斯、萨金特(Sargent)、海沃德(Hayward)断裂带上的历史地震活动，清楚地描绘出中加利福尼亚的许多活断层。该区另外的许多活断层，则表明无微震活动。某些微震似乎与该区一些研究过的、用仪器测定过的已知断层，没有什么联系。

1966年, 帕克菲尔德 (Parkfield) 地震区的余震清楚地表明了圣·安德烈斯断层的近似垂直段(部分)。该断裂系的其它部分有更为分散的分支或雁行地表面断裂及震中图案。震中与地表面断层行迹的相互关系, 在余震活动和高角度、走滑断层时表现得最清楚; 而在倾角小而较为分散分支的逆滑和正滑断层地区的断层上, 则很难找到这种关系。总之, 大地震的余震清楚地确定了主断层。主震前, 地震活动比较分散且不能明确地说明嗣后产生大地震的断层间的关系。

地震活动性的重要价值在于, 指出了应当进行活断层地质研究的地区, 或用于确定地震空区。

历史地表断裂活动区内的余震, 确定了地表断裂活动带的大概界限。这些区域的规模和形状, 对确定穿过地表断裂活动空区内地下隐伏构造的延展性, 或把活动性外推到难于进行观测的地区, 是特别有用的。

十二、地 质 方 法

有四种地质方法可以用来确切地回答某一断层是否活动这样重要的问题。所有的方法都要求能识别出年青的地质构造单元内或其上覆的构造变动, 还应特别重视第四纪事件的年代测定方法。其主要鉴别原则和方法包括:

a. 地层的水平断错 该法是评定断层活动的最确切的方法。它要求研究土壤和地层剖面, 以确定在年青的地质单元中是否存在着断层的水平错动。研究工作可以在以下地区进行: 河堑、山崩凹地、土壤流失区、路堑、公路堑、隧道和其它人工开挖处, 并且, 通过采用地震、磁法、电法或其它方法而得的地球物理剖面 and 钻孔, 或电测井等方法可直接测定水平断错。

b. 构造特点 与断裂活动有关的构造剪切作用, 通常使岩石砾化、磨碎或碾碎成细粒和粘土物质, 并使这些物质周围发生倾斜或褶皱。探槽及其它露头可以揭示出开口的裂缝、填满粘土或砂子的细脉、硬钙质裂缝系、或其它遭受系统破裂的证据。由于沿断层带的构造牵引着围岩物质, 故能使相邻物质弯曲或倾斜成异常的态势。

c. 地表活动断层的地貌特征 识别、描绘和评价与活动断层有关的地貌特征是识别活动断层、确定其长度、估算其最大地震断层的位移值以及确定将来可能重新活动的断层类型的一种最有效方法。历史上的地表断裂活动的实例包括: 从3.4~8.5级的地震; 位移大约从1cm至10~14m、长度大约在800~1000km, 并发育有小型或大型的地貌特征。沿地表发育的形迹包括各种类型的断层以及仅限于有特殊断层类型特征的地貌形态。由于基岩和地表物质的破裂, 结果形成了地质软弱面和软弱区段, 在该区段, 整个地质时期内引发(随后或同时)起重复的位移。一般说来, 它们有相似的位移量。地表位移的重复特性, 为进一步估算活动断层上各点未来地表断裂活动的预期位移量和用断层长度来预测沿断层发生的地震震级, 提供了依据。

详细研究活断层, 给在一系列断层事件中有相似位移量、速率和方向的许多重复水平断错提供了实例。在地质时期内, 断裂活动的重复特性导致了大规模的地貌要素的形成以及地层的水平断错。它们既能识别和描绘出史前活断层, 也能对未来重新活动的活断层进行识别和描绘。重复事件可能导致同样的破裂长度、位移量和滑动方式的效果; 或者它

们由于个别地震事件的大小不一而有不同。在一些地震区（但这仅是构造记载的小部分）已观测到方向或滑动类型相反的若干异常事件。

十三、大地测量方法

沿着众多断层来识别其活动性，可通过重复的大地测量（三角测量或水准测量、或两者兼具）来得出。大地测量法可以探查和测量出区域的或跨越活断层的构造应力。归纳测量资料，可以确定出地面运动的速率和方向。这种资料能提供震时断层位移，或者无震活动的蠕动位移，并有助于鉴别处于复杂断裂活动带内现代运动地带中震源团块的位置。地表断裂作用的前兆可由地表断裂活动事件前大地测量变化的速率和方向观测出来。同样还能观测到震后蠕动和再次调整的周期。

十四、探 槽 法

挖掘断层带的活动痕迹，是识别活动断层的一种较为新颖的方法，而且也是在沿断层选定部位上有效地揭露地层构造关系的一种技术手段。土地的耕耘和正常土壤的挪动，可能失去或掩埋了地表上的现代地质错动的标志。此外，几米深的断层作用可能显示为水平土层的单斜挠曲，而深部断层作用，则显现为错动。探槽法要求有清楚的和整修过的探槽面，以便揭示出未固结的地层单位和土壤内细小的不连续面。

穿过断层带的探槽，能够揭示出以下几种断层位移的痕迹：

- a. 土壤或第四纪沉积层的错位；
- b. 断层泥、粘土、钙质细脉、支根的密集或被污染的裂缝；
- c. 开口裂缝或沿断层的溶蚀坑；
- d. 新沉积层的单斜挠曲；
- e. 断裂处的水位变化；
- f. 热泉、温泉或第四纪沉积物，或土壤的热液蚀变；
- g. 横跨断层的岩性变化；
- h. 地层单元或土壤横跨断层的厚度变化。

十五、断裂活动的绝对速率和相对速率

记载断层的活动速率，一般使用两种方法：

a. 横跨某活动断层或构造区的平均形变速率（cm/a）与由地震活动、历史或地质位移及大地测量变化测得的结果相一致。

b. 地震位移间隔期内的重复间隔或周期。

形变速率既可以定量地表述；也可以定性地表示。如果知道了平均形变速率，就可以用震级和位移的经验关系式来推断给定震级的地震事件的时间间隔。在评价某个断层时，一旦确定了横跨断层的平均形变速率，最大的地震震级可由断层长度或最大的位移关系式（见本文第二十一部分讨论）来确定。于是，确定某假想震级的地震事件中的断层重复间

隔,也是可能的。这些资料与全新世、35000年和500000年资料比较之,就能确定出与全新世和核管理委员会标准相关的活动速率来。

地球六大板块间的活动速率范围是 $1.4\sim 11\text{cm/a}$ 。在俯冲带内,因这些板块间的相互挤压作用导致了在活动岛弧和海沟系内的活动速率达到 13cm/a 。

地球大板块边界上的大断层,通常释放出世界上极大部分的地震能量。地震震级,看来与不同的运动速率、构造长度和岩石圈厚度有关。艾桑克斯(Isaacs)等人指出:岛弧和类似的挤压性构造,以大约 2cm/a 或更高的速率释放出90%以上的浅源地震能量,和几乎所有深源地震的能量。包括美国西部和阿拉斯加东南在内的大陆区和洋盆的延伸或断裂带,大约有不到9%的地震,其地震能量不到6%。弧状构造的已知最大地震震级是8.9级,而洋中脊系的最大地震是8.4级。

几乎所有7级以上的洋中脊系的地震都发生在大的转换断层附近。擦断层、转换断层及其它断层可以将大的板块边界分解成次一级的块体。由于这些断层均比大板块边界上的断层短,故最大震级较小,并且可能具有局部的最大值(限制每条断层带)的特性。

贯穿加利福尼亚海湾的大型转换断层带、加利福尼亚海湾北部附近的圣·安德烈斯断层系、或圣·安德烈斯断层系与北加利福尼亚对面的贝森(Basin)和兰奇(Range)省所组成的地区的滑动速率,大约是 $5\sim 8\text{cm/a}$ 。带有这种运动的单个断层的地点,其大地震的时间间隔就较短,以几十年或几百年计。在众多的断层零星分布的地区(如美国西部贝森和兰奇省地区)断层长度较短、形变速率较低,故地震震级也较小。

十六、位移速率分类

关于断层活动速率的标准或普遍接受的分类方法,还没有采用或被建立起来。美国原子能委员会将过去35000年前曾有过一次位移、或过去500000年有过运动的断层,定义为能动断层。但这些准则与位移速率并无直接联系。国际原子能局将地貌上有活动证据的断层,和速率为 1m/ka (0.1cm/a)的断层定义为活动速率。松井田(Matsuda)将断层形变速率分为A、B、C、D四类。

按照美国核管理委员会(1973)关于能动断层的定义,规定活断层的大体数限有如下几点:断层界限包括过去35000年间有过位移、或者过去500000年有过重复性位移。由于大多数7级以上的地震都有平均错位达2m的地面断裂活动,故测定断层错动的地下勘探方法可以识别出大约1m的错动,且这意味着活断层的活动速率大约是 $0.003\sim 0.006\text{cm/a}$ 。作者还注意到:在干的贝森和兰奇地区,50000年间有6m错位的断层,在地貌上有活动的证据。这就得到 $0.003\sim 0.006\text{cm/a}$ 的活动和实际不活动的界限。这种活动速率要比圣·安德烈斯断层系的速率低了3个数量级。

临时分类法将横跨活动断层的形变速率为 1cm/a 或更高的形变速率视为极高的,这相当于大构造板块和主断裂带的断裂活动水平。在一断层的某点上,7级大震的重复周期可能为几十年或几百年,而整个断裂的重复周期可能更短。在许多工程建筑的寿命期内,这样极高速率,为大断层的活动提供了很高的可能性(概率)。

十七、确定断层总长度的方法

为确定断层的总长度，要求对区域和局部构造背景有了解。为了弄清单层的延续性、分支、不同方向上的可能共轭组合断层和滑动类型，并在可能隐伏的地区内寻找断层延续性的痕迹，应当采取的方法包括：彻底评价所有已发表的区域地质和地球物理资料；与熟悉地区地质和地球物理的部门进行商议；展开广泛的野外地质构造和摄影地质研究。

1. 地质评价

评定断层长度的难度，随地质和地球物理资料的适用程度而有所差异。除美国西部一些大断层外，大多数地区关于断层长度和活动性的现有资料，通常是不合适的。由于这个原因，大多数场地的研究，要求加强评价局部地区和区域背景情况，以确定活断层的构造延续性。由于大多数滑动型断层和主要构造可能有分支或雁行式表面延伸，使得确定研究区内断层构造延续性问题，更为复杂。

奥克斯霍特 (Oakeshott) 详细讨论了由断层散布而遇到的困难。对于像加利福尼亚的圣·安德烈斯断层和加洛克 (Garlock) 断层那样的大型走滑断层带来说，破碎带图案的复杂程度是非常低的。虽然该地区内的这两条断层和其它断层相互间有共轭关系，或者可能有距主断裂带几十英里的主要分支，但这些断层一般表现出地形、地貌和地层的连续性，这种连续性使鉴别该构造的长度变得很容易。检验断层在地表显现的任何张口的连续性或不连续性，可以用地磁测量、重力测量、新的震中分布图、地震折射和反射测量等可供利用的地球物理资料。如果使用的资料不能解决连续性的问题，那么，或者要进行其它研究，或者提供一种保守的评价延续性假设是可能的。

对主要正滑动带地面断层历史的研究表明：预计在正滑或正斜滑动断层的区域里，具有更为复杂的关系。例如，在有7级或7级以上地震的6个地面正滑断层活动的历史事例中，在两个或多个大断裂带上，除一次地震外，都显示了原生断裂。这些断裂带可以分布在宽几十公里的地区，并且给出了在数量众多的、两座山岗或谷地块体对边上的地表断裂运动。

逆滑断层活动的历史实例，也表明了断层图象的很大复杂性，而许多大断层的分支特征，很难测定某一定活动断层区带的真正长度和宽度。这种现象，在1971年圣·费南多 (San Fernando) 地震区显现得相当明显。

2. 构造的连续性

构造的连续性一般被水体和新的地面沉积层所掩盖，或由于区域地质图不完整而未表示出来。对于填补遗留空缺（张口）或确定分开的断裂是否连在一起，地质方法是非常有用的。该方法包括：详细测定走向和两部分的走向变化；测定断层面倾斜；识别两部分的位移方向，以确定错位是否适应连结点；确定相邻地区地层或构造在断层的两部分上是否有类似的差别。两条断层的地貌关系，在地形测量方面的类似性或差异性能够分辨出两条断层是否相连的问题。

对过渡地区的摄影地质和遥感资料分析，特别是借助于各种比例尺和各类照片或图象以及低太阳角的分析方法，可以经常揭示出受评价的断层是否延伸到其它部分而连接在一起，或者是否呈不整合，或被截断关系而排除已知断层部分的延伸。

3. 历史的类似性

大多数断层一般有相同的历史,并且与其主要部分有相关的地层。确定断层是否在延伸,或是外延而与其它构造相连,有时可以通过对断层活动程度、活动类型、活动速率的差别来分析,或者对相联物质和构造的影响程度、方式来判定。资料来源不一致,可以影响到相互间的对比关系。有一个极好实例谈到阿拉斯加的海恩思(Hines)克里克(Creek)县断层是否是极活跃的迪纳利(Denali)断层的分支这样的问题。虽然海恩思克里克断层并没有表现为沿断层方向有明显的地形标志,但许多地质学家都推测它是活动的,因为断层两端看上去是同迪纳利断层相连的。瓦尔哈夫梯格(Wahrhaftig)等人因发现了95Ma前的、穿过断层而未被断层错开的侵入体,从而最终解决了这个课题的争端。

用以下几种方法可以确定与震级有关的最大位移量和平均位移量。对于地质初期的错位来说,海成、湖成和河流阶地的地貌研究,一般表现为周期性和累计的错位、上升或倾斜。用碳-14和其它年代测定法测定这些时期(加上每个时期的位错量),并对沿断层上某个特定的位置,采用最大错位-震级、断层长度-震级方程和曲线,以及华莱士(Wallace)方法计算出重复周期等,来确定断层活动的重复周期和最大错位-震级是可能的。对于历史上的活动断层或者更长的断层,地震学和华莱士型的分析,都可以确定其断层上特定点的重复周期,或者用已知的或假定的整个断层长度,确定整个断层的重复周期。安布莱依斯(Ambraseys)、斯莱蒙斯(Slemmons)、艾伦(Allen)等人指出:在一个地震期间,1~100%的给定断层可能活动起来。松井田(Matsuda)描述了日本的一个实例——1891年的8级地震沿整个野尾(Nobi)断层系产生了几乎连续的地表断裂运动。他和冈田(Okada)和艾伦还描绘了:1930年的7.1级地震,沿日本丹那(Tanna)断裂的整个段落(约35km)部分为雁行状,产生了地面断裂。

4. 地形-地貌分析

研究地形至少要着手进行下述两方面的仔细工作:*a.*对地区或省区作评价;*b.*对局部和场地进行评价。

评价地貌,应深入地查阅文献,向熟悉区域地质、地貌、地震的专家们请教,以及对文献、航空照片和图像进行研究。

评价区域地貌时,应当利用现有各种比例尺的地形图、晕染地形图、塑料晕渲地形图和航空照片及图像。这方面的工作应着重识别那些影响该区域地貌形态的主导的和巨形构造的走向。即:主断层——形成巨型构造板块边界的断层;大断层——长达数百公里,在地区和省区范围内占有重要地位的断层;局部断层——长达几十公里,位于或靠近某个具体场址上的断裂。

活动主断层是标志着地球大板块界限的那些断层。它们一般有每年数厘米的较高形变速率。这些断裂带一般有高的地震活动,且长达数百公里或数千公里。震级-断层长度关系表明,主断层可以出现于高约8.6级地震时,并伴随长达数百公里的地面断裂,其最大位移可达7~10m。1857年和1906年,圣·安德烈斯断裂的地面断裂运动发生了8.2或8.3级的地震,地面右旋滑动为10m和7m,位移段长约为200km和270km,为整个圣·安德烈斯断层系长度的15%和20%。这种断层,不仅对评估断层附近的地面运动,而且还为断层两盘几百公里范围内的抗震设计提供了依据。它们同时还对跨越断裂的建造结构的抗震设计提出了重大的难题。

长度为几十到几百公里的大断层，可致使发生8级以上的大地震，同时还伴随有长度约为断裂总长度30~100%的地面断裂；最大位移约为1~7m。这种断层，对于距结构物50~100km的场址提供了预计地震资料，并为断层附近的建筑物提出了值得慎重考虑的问题。

局部断层的长度达几十公里。这些断裂产生的地震，一般是6.5~7级，并伴随产生的地表断裂为断层总长度的一半或更长，其最大位移约为5m。

5. 摄影地质和图象分析

探测和描绘活动断层的最有效方法之一是摄影地质和图象分析。这种分析，对测定主导断层、大型断层和小断层的长度最为有效。小比例尺或概略性比例尺的图象或象片（包括卫星图片）最适合于测定主导断层、大型断层。因为它们对识别长断层是很灵敏的。而这些断层是由横穿众多主河道或由控制着长线型山前缘的线性断裂线所确定的。

中、大比例尺的照片和图象，多用于研究较短的断层。而这种比例尺的照片和图象，可以更好地分析沿断层的详细情节。详细研究断层的最有效办法是使用由克柳夫和斯莱蒙司（Slemmons）等人研究的那种低太阳角照片。

下面的评述说明了通常使用的不同比例尺照片和图象的作用。

a. 概略性的（小的）比例尺—— $1/100\,000 \sim 1/1\,000\,000$ 该范围内的比例尺在测定和识别主导断层和大型断层时，最为有效。放大各光谱带的卫星图象，一般采用这种比例尺。 $1/500\,000$ 的比例尺则给出一个适当的详细程度和适度分辨力间的良好平衡。

b. 中等比例尺—— $1/20\,000 \sim 1/100\,000$ 在填绘、编制区域地质图时，一般使用这类比例尺。 $1/60\,000$ 的比例尺，对于高度小于5~10ft（1.5~3.05m）的断层悬崖、甚至在缺少植被的地方，刚好勉强能起到作用。对于追踪几英里^①长的、而且看来破坏了许多聚水盆地的主导断层和大断层，这类比例尺也是有用的。

此外，对于有疑问的地带，或者需要详细研究的活断层的地区，应该采用其它大比例尺照片。

c. 详细的（大的）比例尺—— $1/5\,000 \sim 1/20\,000$ 为绘制断层之间的详细关系和区分及描述只有几英尺高的低矮断崖的断层图，这类比例尺是最适宜的。

6. 图象和照片的类型

谢拉德（Sherard）等人简要地讨论了各种图象和照片的优、缺点。就大多数的研究来说，为探测、圈定和评价断层特征以取得最佳效果，最有效的办法应当是综合利用所有现代的技术方法，进行多种比例尺的、各种形式的研究。而最有效的单一方法是直接利用低太阳角照明来高照悬崖；或者为取得更明显的结果，按照一定的太阳照明角度，遮蔽悬崖使之呈显阴影的办法来强化断层阴影。但如果没有报上阴影，则悬崖的细部便盖住。当太阳从垂直方向照射或者至少与悬崖呈最大角度相交时，遮蔽的效果为最佳。

十八、地球物理分析

1. 地震法

① 1英里等于1.609公里（km）。

测定断层活动性和连续性的地震法，是对断层进行地球物理分析的重要部分。但是由于许多历史的地表断裂作用的大断裂，常常发育在大震前没有地震的地方，或只是在附近地区和断层局部地段具有活动性，所以地震法的使用可能会受到限制。凯兰海尔（Keller）和萨维诺（Savino）等人讨论了单向断裂的实例，该断裂始于以前的活动断裂带，并延伸到无震或微弱活动的断层地段。然而，余震活动所圈定出的断层连续性，比地面破裂所显的范围要大得多。

曾用地震活动性研究测定了加利福尼亚州的圣·哈辛托（San·Jacinto）-凯奥特（Coyote）：克里克（Creek）-苏必利斯特兴（Superstition）山·因皮里尔（Imperial）断层带贝莱戈（Borrego）山区的断层延续性。1968年前的地震活动，模糊地显示了断裂带，但在1968年以后，贝莱戈山区地震的余震活动，清楚地展现出横穿该地区的连续性、对断层长度-震级的关系来说，由连接这些断层段而得到的断层长度上的增量，说明潜在震级要比以前在断层图上所推断的震级要大。另一种解释是：断层带的凯奥特·克里克和苏必利斯特兴山段是以频繁的小地震为特点的。探槽揭示了这种可能性，并还表明该地区有频繁的小位移地震。如果有更频繁的小地震活动，进一步的探槽挖掘就无助于探讨预定断层震级的单一的断层长度。这种方法可以与地质年代的研究和震级-位移关系相结合使用。

2. 重力法

重力法是研究活动断层带的另一种有用的地球物理法。在断层两盘，物质密度有悬殊的差别的地方使用重力法最为有效。一般在沿基岩被未固结的沉积所取代时，或者对于断层两盘来说沉积盖层的深度在断层两侧均不同时，就有这种密度差。在张性断层区，这种方法特别有效。吉姆利特（Gimlett）证明：此方法在贝森（Basin）和兰奇（Range）地区内提供了良好的结果，它给出了河谷堆积沉积层基底和厚层的结构资料。他还指出，重力法的优点是价格低廉、快速、易于操作，特别是用于有详细地形图和地形高程控制得较好的地区。这种方法不仅对贝森和兰奇地区地堑的边界断层有效，而且可以确定熔岩流错位残体（倾斜断块）的倾斜范围和倾斜量。这种方法对探查和圈定由地堑块体内冲积物所掩盖的断层，也同样很有用的。

3. 磁法和航磁法

安德烈逊（Andreasen）等人曾著文讨论过用地面磁测和航磁对活动断层进行评价的方法。这些方法可以探查和圈定被现代沉积所掩盖的断层，还可作为用于探明盆地充填物厚度的一种比较经济的方法。史密斯（Smith）确定了迪克西（Dixie）山谷地堑盆地内、极大部分被掩盖了的大地堑的位置。1954年，迪克西山谷地震的断层作用，精确地描绘出了一些地堑的断层边界。史密斯将此法应用于具有正滑断层和斜滑断层的贝森和兰奇地区，并提供了一个详细的轮廓。

4. 地震折射和反射法（包括振动测量、痕量元素测量、电火花测量和气枪测量）

这些方法，一般仅限于海洋和深湖泊。方法的新改进、专门技术的研究和借计算机分析对资料的提高，扩大了这些方法的应用范围，而且它们对陆地或浅水域也是有效的。这些昂贵方法主要用于纽波特-英格尔伍德（Newport-Inglewood）断层，某些海峡群岛（Channel Island）断层、蒙特里湾（Monterrey Bay）断层和加利福尼亚的博列纳司（Bollinas）海湾北部的圣·安德烈斯断层的研究中。研究表明：对大洋盆地和大陆架地区，这些方法可以计算断层活动速率和重复周期，以及预期地震值。罗伯特·史密斯（Ro-