

地震安全性评价中若干地震地质问题探讨¹

周本刚 沈得秀

(中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘要 本文在对活动断层的工程涵义进行了简要分析后, 讨论了断层物质测年的工程应用进展及其断层活动时代鉴定问题, 并就如何加强中强地震发震构造判别、应用地震地质资料评估大地震年平均发生率、以及活动断层地表断错位移的概率评价等问题作了初步探讨。

关键词: 地震安全性评价 断层活动性鉴定 中强地震发震构造 大地震年平均发生率

引言

自国家地震行业标准《工程场地地震安全性评价技术规范》(DB001-94)颁布实施以来, 我国地震安全性评价工作有了长足的进步, 特别是随着该技术规范发展为国家标准(GB17741-1999)以后, 在大量的工程实践基础上, 通过中国地震动参数区划图(2001)的编制和国家“十五”项目“地震安全性评价与结构抗震技术”的研究, 地震安全性评价中各项评价技术有了较大的发展, 地震地质在地震安全性评价中的作用也越来越得到了重视。本文根据近年来工程地震实践及现状, 结合修订发布的国家标准《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)中的相关要求, 对其中一些关键问题及其发展趋势进行初步探讨。

1 断层活动时代鉴定

在当前地震安全性评价工作中, 断层最后一次活动时代的鉴定是近场区发震构造判别的主要依据之一, 也是场址区断层活动性及其工程影响评价的重要依据。其鉴定主要依赖于地质和地貌证据, 重点是获得被断层断错的地层和断层上覆地层的时代; 断层带内构造物质的测年数据也是当前鉴定没有上覆第四系或上覆第四系特别年轻的断层最后一次活动时代的参考依据。

1.1 活动断层的工程涵义

《工程场地地震安全性评价技术规范》(GB17741-1999)中将活动断层定义为晚第四纪以来有活动的断层, 在该标准基础上修订颁布的《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)中仍采用这一定义, 定义中“晚第四纪”一词目前一般理解为第四纪晚更新世以来的时段。

1 中国地震局“十五”重点项目, “地震安全性评价与结构抗震技术研究”资助。

【收稿日期】2006-4-22

【作者简介】周本刚, 男, 生于1964年。博士, 研究员。主要研究领域: 地震构造、工程地震与地震区划。

E-mail: zhoubg1964@263.net

场址区断层活动性鉴定的目的, 主要在于评价其未来是否可能产生潜在地表位移或地表褶皱变形, 以及对工程安全性的影响。在当前地震安全性评价实践中, 开展此项工作时, 一般只将晚更新世以来有地表或近地表错动证据的断层处理为活动断层, 并进一步根据断层位置、产状与活动性参数评价对场址的影响, 这种处理方法是适宜的。

近场区断层活动性鉴定的目的, 主要在于为判别该范围内的潜在发震构造提供基础资料, 断层活动时代鉴定是第一步, 第二步才是发震构造评价。发震构造有两种表现形式, 一种是在地表或近地表发生明显的断错或褶皱变形, 这种情况下其震源深度较浅或地震震级一般较大, 如郟庐断裂带 1668 年 $8\frac{1}{2}$ 级地震断层段; 另一种情况, 是仅有地震显示, 尽管可能存在第四纪以来有构造活动显示, 但没有晚更新世以来地表或近地表断错活动的地质、地貌显示, 这种情况下其震源深度较深或地震震级较小, 一般为中强地震, 如发生 1969 年 6.4 级地震的广东平岗断裂。Muir Wood (1984) 的统计表明, 当震级小于 7 级时, 产生地表断层的概率很低, 对正断层和走滑断层, 同样的概率水平对应的震级可低一级; 根据 Wells 和 Coppersmith (1994) 收集的全球震例资料, 在 42 个 6—6.5 级地震中, 产生地表位移的有 19 个, 约占总数的 45%; 而 6 级以下的地震则很少产生地表位移; 邓起东等 (1992) 认为, 中国大陆地区震级为 $6\frac{3}{4}$ 级以上的地震, 才可以产生不同规模的地震地表破裂带和不同大小的位移。因此, 对于大部分潜在发震能力在 6—6.5 级左右的发震构造, 在地表或近地表一般没有晚更新世以来明显断错活动的显示, 但沿断层发生的中强地震显示了断层在深部有较明显的活动。在当前一些地震安全性评价工作中, 把上述两类发震构造在地震构造图上以相同符号表示, 给工程评价带来困扰。因此, 在工程实践中有必要仅以地表或近地表的地质、地貌断错显示作为评价断层最后一次活动时代的证据。对于那些发生过高于本底地震震级的地震, 如果仅有早中更新世地表断错证据, 应评价为早中更新世断层, 在地震构造图中表示为早中更新世断层, 不过应与仅有断层物质测年显示的早中更新世断层区别开, 并在发震构造评价时应将其判别为发震构造。

综合上述分析, 在工程场地地震安全性评价中为便于区分上述两类发震构造, 合理地表述与中强地震相关断层的活动性特点, 在区域和近场区断层活动性鉴定工作中, 应将活动断层理解为晚更新世以来有地表或近地表错动证据的断层, 所谓的错动证据是指地层、地质或地貌单元具有明显位移。

1.2 基岩断层的年代测定

基岩断层是指断层发育在前第四纪地层或岩石中的断层, 断层上没有第四系覆盖或覆盖层太年轻, 依据覆盖层时代不能满足断层活动时代鉴定的要求。这类断层主要位于第四纪以来地壳相对稳定地区或快速隆升剥蚀地区, 其活动性鉴定主要依赖于两方面的依据, 一是断层构造物质特征分析与年代测定; 二是断层两侧不同时代地貌面的宏观对比分析。上世纪 90 年代及其以前, 对这类断层活动性鉴定主要强调了断层物质的年代测定结果, 一般多采用热释光 (TL) 和电子自旋共振 (ESR) 方法, 而且前一种方法占了较大的份额。工程实践的经验表明, 许多断层物质的年代测定结果与地质、地貌显示出的时代存在较大的差异, 尤其是断层泥的热释光测年结果往往比实际时代要年轻, 给工程评价带来了较大的困惑。近几年来, 随着测年技术研究的深入, 对应用上述两种方法来测定基岩断层最后一次活动时代有了一些新的认识。

1.2.1 电子自旋共振测年方法

电子自旋共振测年方法简称 ESR。在自然界中的绝缘矿物, 受放射性元素的辐照, 产生

电子跃迁, 被捕获在不同能级的晶体晶格中; 捕获电子形成顺磁中心, 这些中心产生特征的 ESR 信号谱线。ESR 信号强度与捕获电子的多少有关, 而捕获电子的数量多少取决于: ①晶体接受的放射性辐射强度(剂量率); ②晶体中陷阱数目和灵敏度; ③受辐射的时间长短(年龄)。一般认为, 在地表条件下, 晶体中陷阱数目、灵敏度是恒定的。因此, 信号强度主要与辐射强度和年龄有关, 其中辐射强度的大小可以通过分析测定样品和环境中的 U、Th、K 含量求得。ESR 测年的一个基本条件是对于 ESR 测年物质在 ESR 信号计时开始($t=0$)时, 矿物中的顺磁中心强度为零($P=0$)。保证样品在实验室中测得的 P 值为样品从计时开始后按一定的函数关系所累积起来的。样品在 $t=0$ 时, P 值是否为零直接影响 ESR 年龄值的准确性。在 ESR 测年中, 使矿物晶体原有信号强度完全消失的作用称为“复零”或“回零”作用。根据实验模拟, 一定活动强度的断层运动所产生的剪切应力和磨擦热, 能使断层滑动面附近的矿物产生“回零”作用, 断层活动结束, ESR 信号重新开始积累。所以, 在适宜的样品环境中, ESR 可以测出断层最后一次活动的年龄, 理论上其最大测年范围可以覆盖整个第四纪时段。

1.2.2 热释光测年方法

热释光测年方法简称 TL。是通过加热使晶体中储存的电离辐射能释放出来的一种测年方法, 该方法主要用于陶片、古砖瓦、年轻的火山烘烤物等高温($>400-500^{\circ}\text{C}$)烘烤物以及黄土、沙丘砂等经过充分曝光的风积物的测年。样品的热释光年龄代表了受热样品最后一次热事件距今的时间或沉积物样品最后一次曝光距今的时间¹。虽然 ESR 和 TL 都采用石英等作为测年矿物, 其测年的理论机制是断层活动时产生的热和压力作用可以使石英中的 ESR 和 TL 信号“回零”, 但目前的实验模拟和理论计算表明, 热释光信号需要的断层活动强度更大; 其次, 热释光容易饱和, 对于目前常规热释光测年中采用的 $200-400^{\circ}\text{C}$ 的热释光信号, 石英热释光的可信有效测年时段在通常为距今 $10-15$ 万年以内, 超过此范围内的样品可能获得一个比实际年龄要年轻的热释光年龄。基于上述两个原因, 目前基岩断层活动鉴定中的断层物质测年已倾向于主要采用 ESR 测年方法, 一般不采用 TL 测年方法。

由于断层物质不处于一个完全封闭的系统, 并且样品中常有风化、次生物质混入和地下水的的作用, 有时 ESR 年代测定结果比实际要年轻(Y.J. Chen, 1997); 另外 ESR 测年技术本身也需要不断完善, 因此, 在实际工作中应用 ESR 测年结果, 也需要结合断层物质的发育特征, 分析测年结果的合理性。

1.3 断层活动时代的综合鉴定

在断层活动时代的鉴定工作中, 应着重调查断层活动性的地质、地貌表现, 参考年代测定结果, 综合分析其最后一次的活动时代。首先, 应分析需要鉴定的断层所在地区的新构造以来, 特别是第四纪以来的构造活动环境, 注意所鉴定的断层活动时代与整体构造环境的协调性; 其次, 需要注意断层附近地貌发育特征, 分析是否存在活动的地貌显示, 充分发挥不同时代地貌面在断层活动时代鉴定中的作用, 例如, 一些基岩地区发育的断层, 尽管难以寻找到适宜的上覆第四系, 但如果断层两侧第四纪甚至更早的地貌面没有被断错, 该地貌面的时代可以作为断层最后一次活动时代的上限; 第三, 对于基岩断层活动时代的鉴定, 不必过分依赖断层物质的测年结果, 应仔细分析断层物质的发育与变形特征, 给出断层最后一次活动时代的合理鉴定结果, 例如, 如果断层物质已经硅化、成岩, 则应判定为前第四纪断层。

1 《中国地震活断层探测技术系统》项目组, 中国地震局地质研究所, 2005. 活断层探测中的年代学方法.

值得提出的是,在进行场址区断层活动性鉴定时,如果场区断层外围附近存在活动断层(或断层活动段),需要分析场址区断层是否与外围附近的活动断层存在构造上的联系,这种联系的内涵是指,当外围活动断层活动时可能导致场址区断层产生地表或近地表破裂。构造联系具体有两种表现形式:一是两条断层处于同一构造体系下,具备相同的运动机制,一条断层的活动可能直接牵动另一条断层的活动。如北京平原南口地区的北东向南口山前断层和北西向南口—孙河断层,它们的北端呈直角交汇,分别为马池口第四纪断陷的西北边界和东北边界,二者在晚更新世晚期以来都有明显的地表断错活动(时振梁等,1995);二是诱发破裂,主要体现为活动断层段的突发错动在相邻断层段上诱发地表破裂。如1983年美国西部Lost River断层上发生的Borach Peak 7.3级地震,其地表破裂主要位于Lost River断层上长22km的Thousand Springs断层段上,但向北跳过Willow山脊(地表破裂带出现长4.7km的空缺),在Warm Spring断层段上诱发了长约8km的地表破裂(Crone A.J.和Haller K.M.,1991)。

1.4 地震构造图上断层活动时代标示

《工程场地地震安全性评价》(GB17741-2005)中规定,区域和近场地震构造图上需要标示第四纪以来活动的主要断层及其活动时代。对第四纪以来有活动的主要断层,该标准的宣贯教材进一步要求:“应区别晚更新世活动断层与早第四纪断层,并尽可能区分出全新世活动断层与晚更新世活动断层(卢寿德,2006)”。这里所指的断层活动时代是断层最后一次的活动时代,由于不同鉴定方法获得的断层活动时代涵义有一定的区别,最好分别采用不同的图例标示。例如,对于同样鉴定为中更新世的断层,采用断层物质测年获得的时代与根据断错地层和上覆盖层获得的时代应予区别。

2 中强地震发震构造的判别

中强地震的发震构造一般指具备发生 $5\frac{1}{2}$ — $6\frac{1}{2}$ 级最大潜在地震的发震构造。中强地震发震构造的判别是中国东部低地震活动地区地震安全性评价中十分关键的工作。

2.1 中强地震发震构造的特点

相对于大地震发生地区而言,中强地震震中区晚第四纪以来地表断错活动相对微弱,发震构造的地表活断层标志不甚明显,发震构造的判别有较大的难度。

在中国东部中强地震震中区,还没有发现断层断错晚更新世以来的地层或地质体的确切实例。但是,中强地震震中区与其周边相对稳定地区在构造活动性及其地震活动性上显示了一定的差异。

2.1.1 构造活动性显示

中国东部中强地震发震构造在构造活动性方面主要显示为:①断错中更新世地层,特别是中更新世晚期的地层;②第四纪中晚期以来地貌面的发育与变形;③控制晚第四纪以来地层分布;④现今地壳形变上差异明显。

例如,1969年在广东阳江发生了一次6.4级地震,根据地震宏观考察与震源机制研究结果,推断这次地震的发震断层为平岗断裂,地震发生在平岗断裂与早第四纪有过活动的北西向洋边海断裂交汇区。北东向平岗断裂在中更新世发生过断错地表的活断层(根据地貌显示与断层物质特征推断),但晚更新世以来没有断错地表的活断层活动证据,断裂带上覆盖在断裂上的沉积物最老时代距今约14万年。根据断裂附近地区晚更新世以来地层沉积分布资料,晚更新世至中全新世期间,沉积区分布在断裂的东北段与西南段,中段处于隆起剥蚀状态;至中全新

世以来,除断裂北东和南西段仍有沉积外,沉积区已由北东段向南西扩展到中段,形成平岗西南新的沉积中心¹。说明晚第四纪以来断裂深部仍有活动,导致近地表的带状沉降,也就是说,断裂深部差异性活动没有显示为地表断错活动,但在地表有一定的体现,表现为不均匀沉降。

2005年江西瑞昌5.7级地震发生在北东向瑞昌盆地西侧,该地震的具体发震构造有待于进一步调查来确定。初步调查结果表明,瑞昌盆地最早形成于古近纪,古近系厚度大于260m,第四纪以来,瑞昌盆地仍表现出一定的活动性,瑞昌盆地内水系和新生代地层的分布明显不对称。河流主要发育在盆地东南边缘地带,如王家河和九瑞河基本上沿着盆地东南缘贯穿整个盆地区。古近纪地层仅见于盆地的西北边缘。在盆地西北边缘,由网纹红土和冰积泥砾组成的中更新世台地海拔高约40m左右,而盆地东南侧中更新世台地的海拔高度仅20m左右,这种趋势表明盆地西北侧的山地和台地隆升的速率要高于盆地东南侧,反映了盆地第四纪以来一种不对称的掀斜运动特征²。由于盆地的掀斜运动造成了东西两侧中更新世地貌面高程的明显差异,这种构造活动有可能延续至晚更新世以来。

2.1.2 地震活动显示

沿一些中强地震发震构造显示出中小地震成带分布特点,有的中小地震条带中还有4—5级的地震,如沿瑞昌—武宁断裂分布的小地震带中,除数个3级以上的地震外,1995年在范镇附近还发生了4.9级地震。因此,当沿断层带存在中小地震成带分布,特别是带内有较大中等强度的地震时,应结合地质构造资料分析,考虑鉴定为发震构造的可能性。

2.2 中强地震发震构造判别的技术途径

中强地震发震构造的特点表明,采用寻找地表活动断层的技术途径难以达到判别中强地震的发震构造的目标,而从解剖中强地震震中区第四纪,甚至晚第四纪以来的构造活动特征入手,归纳总结出一些相关的构造活动标志,可能不失为一个值得探索的途径,具体可从从以下几个方面开展工作:

- (1) 利用高精度卫星影像和DEM高程数据,研究区内不同级别地貌面的发育高程及其变形特征,包括定量分析地貌面抬升幅度及其掀斜幅度等;
- (2) 通过野外调查获得不同级别地貌面最终形成的地质时代,分析地貌面抬升与掀斜变形速率;
- (3) 通过水系发育特征与统计分析,研究其反映的研究区新构造活动特征;
- (4) 利用历史地震和现今小地震分布资料,分析地震与构造活动性的关系;
- (5) 研究震中区不同方向第四纪以来活动构造的组合特征,分析其与中强地震发生的关系。

值得讨论的是,对于中国东部那些发现断错中更新世地层,特别是中更新世晚期以来地层的断层是否可以鉴定为潜在的发震构造,在工程评价上还没有达成共识,不过根据其断错中更新统推断,当时断层的活动已达到一定的强烈程度,尽管晚更新世以来活动强度减弱,地表没有断错活动,其深部可能仍具有一定的活动性。例如,在湖南常德附近太阳山谷地东侧的肖伍铺断层上,仅发现断错中更新世晚期(约距今12万年)的地层,同一剖面上距今约8万年的地层没有被断错³。说明至少晚更新世以来地表断错活动不明显,而太阳山地区于1631年发

1 国家地震局地质研究所,1994.广东第三核电厂沙环厂址设计基准地面运动确定。

2 中国地震局地质研究所,江西防震减灾工程研究所,2006.江西核电帽子山厂址初可研阶段地震地质补充调查专题报告。

3 中国地震局地质研究所,湖南省地震局,2004.湖南核电项目初可研阶段地震专题报告。

生过 $6\frac{3}{4}$ 级地震, 并有多次 5 级左右的历史地震。因此, 从工程安全角度出发, 倾向于将这类断层判定为中强地震的发震构造。但对于仅有断层物质测年结果显示的中更新世有过活动的断层, 又没有充分的地震资料证据, 则需做进一步研究, 亦可暂时不判定为发震构造。

3 大地震年平均发生率估计

潜在震源区内大地震年平均发生率的评价是地震安全性评价中需要重视的关键问题, 尤其是在西部地区, 许多重要工程场地近场或近场外围附近存在大震的发震构造, 如某水电工程场址距离 1850 年西昌 $7\frac{1}{2}$ 级地震的发震构造约 30km 左右, 其大地震年平均发生率的估计结果对坝址地震动参数有重要的影响。此外, 我国第五代地震区划图初步考虑采用 50 年超越概率 2% 作为编图的基准概率水平, 大地震复发周期与年平均发生率估计是其中的关键技术之一 (高孟潭等, 2006)。

《工程场地地震安全性评价 (GB17741-2005) 宣贯教材》中对确定高震级档地震空间分布函数有专门的说明: “考虑到高震级地震的复发周期较长, 在确定该震级档空间分布函数时要注意采用由历史地震数据或古地震数据得到的复发周期资料加以约束”。强调了确定高震级档空间分布函数时应用地震地质资料的必要性, 但如何应用这些资料估计年平均发生率, 进而达到科学合理地约束该震级档空间分布函数的目的, 是值得讨论的问题。

3.1 目前的处理方法

在当前地震安全性评价工作中, 对高震级档地震年平均发生率的估计, 一般仍采用编制《中国地震烈度区划图》时提出的方法 (中国地震局, 1996), 即按潜在震源区内历史地震或古地震重复间隔数据, 取比较保守的下限, 按均匀模式得到其年平均发生率。这种处理方法意味着即将发生的地震与以前发生过的地震无关, 一个刚刚发生过大地震的区域, 存在很快再次发生大地震的可能性, 这与现有大多数地震重复资料所反映出的客观事实不协调。因此, 对于大地震刚发生过不久, 距下一次地震的时间较长的情况下 (如唐山地区), 均匀模式获得的结果将过高地估计了地震危险性。

此外, 目前地震安全性评价中所谓的高震级档, 一般仅指 7.5 级以上的震级档, 如海源 8.5 级潜在震源区和银川 8 级潜在震源区等。根据近年来的研究, 中国大陆尤其是西部地区, 许多震级上限为 7.5 级的潜在震源区 (高震级档为 7—7.4 级震级档) 内高震级档地震也有丰富的历史地震或古地震资料, 如沿青藏高原东北缘的罗山山前断层划分的 7.5 级潜在震源区、沿甘肃老虎山断层划分的 7.5 级潜在震源区等, 这些震级档也应尽可能利用实际的历史地震与古地震资料来估计年平均发生率。

3.2 应用地震地质资料估计年平均发生率

应用古地震和历史地震资料, 考虑强震复发行为, 采用时间相依模型, 可为估计大地震的年平均发生率提供一个有效的途径。其技术途径分为两步: 首先, 需根据潜在震源区内古地震和历史地震资料, 评估高震级档地震符合何种具体的实时复发模式, 如特征地震模式、时间可预报模式等; 其次, 依据不同模型发震概率的计算方法, 计算预测时段 ΔT 内的发震概率, 将求出的发震概率等效于未来 ΔT 年内的泊松复发模式的概率, 从而求出高震级档的地震年均发生率 λ_{eff} (式 1), 该处理方法可以纳入我国当前地震危险性分析方法框架 (周本刚, 2004)。

$$\lambda_{\text{eff}} = -\ln(1 - P_c) / \Delta T \quad (1)$$

式中 P_c 为根据时间相依模型求出的条件概率, 考虑到地震区划和一般工程场地地震安全性评

价的时间尺度， ΔT 一般可以取 100a。

以川滇地区的则木河断裂北段为例，该断层段于 1850 年发生过 $7\frac{1}{2}$ 级地震，地震地表破裂带长达 90km，根据全新世以来古地震事件时代研究结果，结合历史地震记载，其大地震实际复发间隔为 1036—1758a¹。从偏安全角度考虑，以 1036a 作为大地震的复发间隔，采用布朗模型，计算得到未来百年内发生大地震的条件概率为 2.52×10^{-2} ，转换为年平均发生率为 2.56×10^{-4} ，如果采用均匀模式估计，1850 年地震的离逝时间为 156a，得到的年平均发生率为 1.14×10^{-3} ，两种估计结果相差较大。

在资料允许的条件下，采用时间相依模型来作为估计大地震年平均发生率是一个值得探索的途径，尤其是在大地震离逝时间不长的情况下，更有其必要性，当然，在实际估计中需要考虑模型的不确定性因素。

4 活动断层地表断错位移的概率评价方法

对活动断层未来某一时段可能发生的断错位移作出评估，是线状工程选址和抗断对策的重要基础。一方面，大部分工程设施选址时，可以通过评价断层地表的断错位移来优化线路；另一方面，评价结果又可为必经线状工程提供抗断设计依据。在工程实践中，对断错发生的潜在危险性评价结果往往是指该活动断层可能发生的最大位移值（冉勇康等，2004），从本质上讲仍属于确定性评价方法，没有考虑工程重要程度高低的差别，与现行考虑风险设计的抗震思路不协调，可能导致一般工程抗断处理相对保守（周本刚等，2001）。因此，发展活动断层地表断错位移的概率评价方法，具有重要的意义。

活动断层地表断错位移的概率评价可遵循如下评价思路：研究区域活动断层上突发断错发生规律与断错位移的衰减特征；构造沿断裂走向上各点未来发生的断错位移量超越概率的关系式；针对特定断层研究发生断错的实际复发规律；断层某处在工程使用期内以一定超越概率水平表述的位移值。

例如，仅考虑断层活动以突发位错造成的地表断错时，断裂上大于规定值的概率由两个关联的概率所组成，第一个是地表发生断错事件的概率 (E_v)、第二个是断错位移超过规定值的概率 (E_d)，表达式为：

$$P(D > d | S, x) = P(E_d \cap E_v)$$

式中 S 为突发断错事件的最大断错量； x 为沿断层线从破裂中点到场地的距离； d 为一定超越概率水平下的断错位移值。

根据上述评价思路，考虑地震沿断层上分布的概率和最大位移两侧断错位移的分布特征，可以实现地表断错位移的概率评价，给出活动断层上不同概率水准下位移分布曲线以及特定点地表位移超越概率曲线（图 1）（冉洪流等，2004）。随着该评价方法的不断

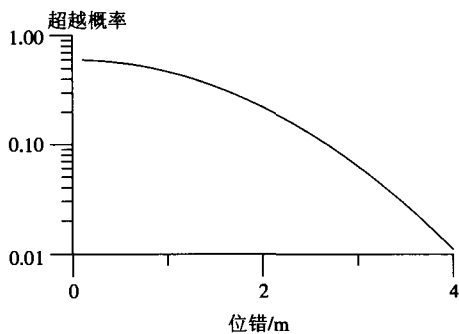


图 1 鲜水河断裂松林口—乾宁段中心点未来百年地表位移超越概率曲线图

Fig. 1 The exceeding probabilities of the ground offset at the center of the Songlinkou-Qianning fault segment in next 100a

1 中国地震局地质研究所，2003. 金沙江白鹤滩水电站工程场地近场构造稳定性评价及场地地震危险性分析报告。

完善,有望逐步在线状工程的地震安全性评价中得到应用。

致谢: 本文得到了张裕明研究员、尹功明研究员、陈杰研究员和冉洪流副研究员的帮助。

参考文献

- 邓起东, 刘百箴, 张培震, 袁道阳, 1992. 见: 活动断裂工程安全评价和位错量的定量评估, 活动断裂研究 (2). 北京: 地震出版社, 236—246.
- 高孟潭, 卢寿德, 2006. 关于下一代地震区划图编图原则与关键技术的初步探讨. 震灾防御技术, 1 (1): 1—6.
- 卢寿德, 2006. 工程场地地震安全性评价 (GB17741-2005) 宣贯教材. 北京: 中国标准出版社.
- 冉永康, 陈立春, 2004. 中国长线工程场地地震安全性评价工作中的活动构造问题. 地震地质, 26 (4): 732—741.
- 冉洪流, 周本刚, 2004. 地表潜在断错位移的概率评价方法. 工程地质学报, 12 (1): 93—97.
- 时振梁, 张裕明, 环文林等主编, 1995. 核工程地震安全性评价方法的研究——以南口工程场地为例. 北京: 地震出版社.
- 中国地震局, 1996. 中国地震烈度区划图 (1990) 概论. 北京: 地震出版社.
- 周本刚, 杨晓平, 2001. 天山地区管道工程沿线的活动构造评价问题. 成都理工学院学报, 28 (增刊): 200—205.
- 周本刚, 2004. 论发震构造特性在潜在震源区参数确定中的应用. 地震地质, 26 (4): 750—760.
- Crone A.J. and Haller K.M., 1991. Segmentation of basin and range normal faults: examples from east-central Idaho and southwestern Montana. J. Struct. Geol., 13 (2): 151—164.
- Donald L. Wells and Kevin J. Coppersmith, 1994. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. BSSA, 84 (4): 974—1002.
- Muir Wood R., 1984. Problems of estimating earthquake recurrence from geological investigation in thrust fault terrains. Proc. Int. Comp. On Seismic Microzonation, Ech-cheliff Algerea. 1, 147—159.
- Y. J. Chen, et al., 1997. Observations on the micro-texture and ESR spectra of quartz from fault gouge. Quaternary Science Reviews, 16 (3-5): 487—493.

Discussion on Some Geological Problems in Earthquake Safety Evaluation

Zhou Bengang and Shen Dexiu

(Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China)

Abstract Base on the definition of active fault and its meaning to engineers, this paper reviews some geological aspects and problems, such as the application of dating results in determination of active faulting ages, seismo-tectonics background studying on moderate-strong earthquakes, estimating earthquake recurrence from geological investigation, and probabilistic evaluation of the ground offset of active fault.

Key words: Earthquake safety evaluation; Fault activity; Seismogenic structures; The annual average rate of earthquake recurrence