

城市活动断裂探测和地震危险性评价问题

邓起东

(中国地震局地质研究所, 北京 100029)

摘 要 城市范围内直下型活动断裂突发错动产生的直下型大地震, 直接威胁城市和人民生命财产的安全。城市活动断裂探测和地震危险性评价是为城市减灾服务的一项系统工程, 也是活动构造研究面临的一项新的工作。这一工作的核心是要解决城市范围内的断裂定位、断裂最新活动、断裂的深部背景、断裂的地震危险性和地面错动危险性及减灾对策。为了更好地理解这一问题, 作者用“有没有、活不活、深不深、震不震、错不错、好对策”这 6 句话来表示其核心内容。文中对这些问题作了具体的说明。

关键词 活动断裂 地震危险性 城市

中图分类号: P315.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 0253 - 4967(2002)04 - 0601 - 05

0 引言

由于城市范围内隐伏活动断裂的突发错动产生大地震和地表位错, 形成巨大灾害, 并可能使作为当代政治、经济活动中心的城市毁于一旦, 这种一再发生的灾难使城市防震减灾工作越来越突出, 也使活动构造研究面临新的任务和新的问题, 即对城市活动断裂进行探测, 对其地震危险性、地表位错的可能性进行评估, 制订防震减灾对策, 以促进社会稳定和保持经济的可持续发展。本文拟对这个问题作一综述, 希望对这项工作的开展有所助益。

1 直下型活动断裂和直下型地震

1906 年沿穿过美国旧金山市 (San Francisco) 的圣安德列斯 (San Andreas) 断裂发生了 7.9 级地震, 使该市遭受毁灭性打击, 死亡人数达 3 000 人, 断裂产生的地表水平位错达 6.1m (Yeats *et al.* 1997)。时隔 70 年之后, 1976 年在中国唐山市发生了更加严重的惨剧, 一次 7.8 级地震突袭该市, 唐山断裂是其发震断裂, 在地震中沿该断裂产生的地表断层长约 10km, 右旋水平位移达 2~3m, 垂直位移 0.7~1m, 唐山市在这次巨大地震中毁于一旦, 死亡人数达 24 万以上, 创 20 世纪地震死亡人数之最 (邓起东等, 1992a)。近年来悲剧一再发生, 例如, 1995 年在日本沿野岛 - 会下山 - 西宫断裂发生阪神 7.2 级地震, 使神户市和大阪市遭受严重破坏, 经济损失高达 1 000 亿美元, 死亡人数 6 400 余人, 沿断裂在地表产生了 1.7 和 1.3m 的水平和垂直位错, 沿带地面峰值加速度亦远远高于周围地区 (韩竹君等, 1996)。此外, 1999 年发生于土耳其伊兹米特 (Izmit) 7.4 级和中国台湾集集 7.6 级地震都使附近城市遭受破坏, 沿发震断裂产生大规模地表

〔收稿日期〕 2002 - 11 - 22 收稿, 2002 - 11 - 26 改回。

〔基金项目〕 国家发展计划委员会高新技术项目 (2001977) 资助。

中国地震局地质研究所论著 2002B0058。

断层和位错带,摧毁了横跨断裂的一切工程和建筑物(王彦斌等,2000)。这种直接发生于城市范围内的地震被称为直下型地震,它是由于位于城市范围内的地下隐伏活动断裂,即直下型活动断裂突发错动的结果。由于现代社会城市人口和财富高度集中,这种由城市范围内直下型活动断裂孕育和引发的直下型大地震的破坏性和危害性更大,以上实例充分地说明了这一点。

2 城市活动断裂探测计划

巨大的灾害迫使人们必须查明在城市范围内是否存在直下型活动断裂,是否可能发生直下型大地震,对其危险性作出评价,寻求合适的防震减灾和避让措施。这就是美国在洛杉矶(Los Angeles)地区实施 LARSE(Los Angeles Region Seismic Experiment)计划,日本在东京、京都和大阪等城市密集平原区(关东平原、浓尾平原和京都盆地)实施综合地球物理探测计划和中国实施大城市活动断裂探测及地震危险性评价计划的原因。LARSE 计划主要通过多点和多剖面的人工地震探测,希望查明洛杉矶盆地下可能发生大地震的隐伏活动断裂和未来可能发生直下型地震的震源构造(Fuis, 1998; Fuis *et al.*, 2001)。日本城市密集平原区的综合地球物理探测计划,主要利用地震折射/反射、浅层地震反射、地脉动台阵技术、钻探和测井等综合了解盆地和平原的结构与构造。中国大城市活动断裂探测和地震危险性评价计划,主要利用地质地貌、地球化学和地球物理综合探测技术进行断裂定位、活动性和深部构造特征研究,通过断裂最新活动历史及其发展来评价其地震危险性和地表错动的可能性,并制定减灾对策。具体探测方法包括遥感资料判读、断错地质地貌制图、钻探、槽探、年龄测定、Rn 或 Hg 等气体测量、浅层地震反射、高密度电法和瞬变电磁法、高分辨折射成像、深地震反射和宽角反射/折射法等,这些方法我们曾在另文中作过介绍,本文不再赘述(邓起东等,2003)。

3 城市活动断裂探测和地震危险性评价需要解决的关键问题

开展城市活动断裂探测,评价其地震危险性和危害性,提出减灾对策是一项复杂的系统工程,必须解决一系列科学问题,其核心是要解决城市范围内的断裂定位、断裂的最新活动和深部背景、断裂的地震危险性和地表错动危险性及减灾对策。在 2001 年中国地震局召开的一次大城市活动断裂探测和地震危险性评价工作讨论会上,我们曾用 6 句话对这些科学问题加以概括。这 6 句话是:“有没有,活不活,深不深,震不震,错不错,好对策”。实际上,这 6 句话就是大城市活动断裂探测和地震危险性评价要解决的关键问题。以下,我们对这 6 句话或 6 个关键问题进行进一步作些解读。

“有没有”是要解决城市范围内有无直下型断裂及其定位问题。它可以根据具体情况的差别通过不同方式加以解决。首先要汇总已有的资料,包括已有的地质、地貌、遥感、钻探、地球化学和地球物理勘探等多种资料,研究城市范围和区域范围内的断裂活动情况,对断裂分布特征作出判断,辅以实施控制性地球化学和地球物理勘探剖面,在资料严重不足的情况下甚至要考虑进行网格状剖面探测,以确保不漏掉规模较大的断裂。通过上述不同类型的工作对城市范围内的直下型断裂进行初步定位。然后在详细勘查中加大探测工作量和精度,逐步做到精确定位。在这方面要保证做好以下工作:首先是不能漏掉规模较大的直下型断裂,因为断裂的尺度

与地震的大小密切相关,所以对较大规模的断裂更应加以注意(邓起东等,1992a);其次,断裂定位精度应达到一定的要求,包括断裂的位置、产状、宽度、长度等问题,因为它们既关系到地震危险性和危害性评价,也关系到减灾对策的制订。

“活不活”是指对直下型断裂的活动性进行评价。地震是活动断裂发生突发错动的结果,只有晚更新世(距今 10~12 万年)以来仍然活动的断裂才有可能被考虑具有发生中强地震的危险性,所以,一旦在城市范围内发现直下型断裂就必须评价它的活动性,即距今 10~12 万年以来是否活动。此时,断裂是否切割这一时期的地层和地貌面将具有决定性的意义,显然,详细的地层和地貌面的划分、地层和地貌面的年龄及断裂活动年龄的测定是必须解决的关键问题。一个特别值得注意的问题是断裂活动面的转移和最新活动面的确定。断裂在不同时期可能沿不同的错动面活动,在盆地和平原区边缘,断裂更常由山区向盆地(或平原)转移,在城市活动断裂探测中我们最应关注的是断裂最新活动面,要通过地质地貌调查和制图、地球物理勘探、钻探和槽探等工作来发现这种最新错动面并研究其活动历史。

“深不深”是要解决直下型断裂的切割深度或直下型断裂深浅构造关系问题。地壳浅表的断裂不可能发生大的破坏性地震,板内地震一般震源深度可达 10km 以上或接近 10km,因此,要查明地壳上部断裂的深部特征,即深浅构造的关系,是否可能形成具有一定特征的震源构造。由此可见,对城市范围内主要直下型断裂的深部构造特征进行从浅部、中深层和深部等不同层次的探测是重要的,其探测深度至少应探测到该区域地震常发生的震源深度,最好应探测到莫霍面。此外,对不同受力状态下不同类型构造的探测,如对走滑断裂、正断裂和逆断裂的探测必须考虑各自的构造特性,拉张区和挤压区的正断裂和逆断裂的深浅耦合关系可能更加复杂,细结构的探测使得有可能对震源构造和发震的可能性作出更好的评价。

“震不震”是指在直下型断裂定位、活动性和深部构造特征解决以后,对那些距今 10~12 万年以来仍在活动、且具有一定深部活动背景的断裂是否可能发生大地震作出评价。这涉及到要查明断裂活动方式、运动特征和断裂活动历史,如断裂活动的突发性和黏滑特性、突发错动的历史和重复模型等。在这里,最近 3 万年左右时间内是否发生过古地震及古地震重复间隔的研究具有特别重要的意义;断裂黏滑特性的鉴定也是需要的。为了解决这些问题,槽探和钻探将起到决定性的作用,在断裂作用达到近地表条件下,槽探或所谓大地切片(Geoslicer)将可能提供古地震及其复发历史的各种证据,从而确定古地震事件及其年龄和复发间隔、最后一次事件发生的时间、古地震同震位移量和同震破裂带的宽度等。在某些情况下,由于槽探和大地切片揭露深度的限制,高密度和高精度的钻探可能起到很好的作用,通过断裂两侧钻孔内地层分层、岩性、岩相和厚度等的细致划分和对比,发现其中的变化,就有可能恢复断层错动和古地震活动历史(徐锡伟等,2000)。在这一工作的基础上,可能对未来一定时期内是否会发生直下型地震及其发震概率作出评价。活动断裂的规模或活动断裂分段尺度的大小则与震级大小相关。

“错不错”是指直下型地震发生后,发震断裂是否会出露地表,在城市范围内的地表出现同震地表破裂带或位错带。若可能出现,则要评价其规模,即地表破裂带的长度、宽度、位移性质及水平和垂直位移幅度。中国地震资料表明,在大陆板内地区只有震级在 6.2 级以上的地震才有可能发生地表破裂带,小于这一震级的地震均可以不考虑地表破裂和位错带发生的可能性。震级与地表破裂带的长度、垂直和水平位移量等参数之间具有一定的统计关系,应加以利用,活动断裂未来错动量的评估可以用“古地震法”、“滑动速率法”等不同方法加以计算(邓起东等,

1992a, b)。地震破裂带的宽度既可以参考历史地震地表破裂带宽度的统计资料,也可参考槽探和地质考查中发现的断层最新错动带和古地震破裂带的宽度确定。近断裂强地面运动带宽度的评价则可通过实际记录统计资料和理论计算结果进行评定。城市一般位于盆地或平原区,具有一定厚度的覆盖层,关于覆盖层厚度的影响是又一个必须考虑的问题。现时的处理方法似乎是倾向于规定超过某一厚度时即不再考虑地表破裂发生的可能性,其实这是不很可靠的,基岩中的破裂和松散盖层中的破裂可能具有不同的特征,后者更常表现为不连续的破裂带,但同样不能忽视,对此我们必须十分谨慎。

最后,还有一个“好对策”问题。根据上述研究结果,针对不同的情况,制订针对直下型断裂、直下型活动断裂、直下型地震和地表错动带的不同对策,其中特别是制订直下型地震和地表错动带发生时的对策,包括避让带位置和宽度的确定以及其他防震减灾对策。同时,建立活动断裂基础数据库,在计算机平台上反映出图形化和可视化的成果,供政府及有关部门决策时使用。

4 结束语

城市活动断裂探测和地震危险性评价既是保证人民生命财产安全,促进社会稳定,保持经济可持续发展的一项重要工作,也是活动构造研究发展所面临的一项新的任务。由于城市常位于覆盖区,人类活动改造强烈,存在各种强干扰背景,环境污染问题突出,社会活动复杂,这使得城市活动断裂探测和地震危险性评价工作会遇到许多特殊的困难和问题,因而无论在探测和评价方法、探测设备的选择及资料分析和处理等各个方面都有特殊的要求,而且,更加需要地质地貌、地球化学和地球物理各种方法的综合探测才能取得较好的勘探效果。本文主要是就这一工作要解决的一些关键问题进行分析和评述,本专辑则对其中的某些问题和解决方法进行了具体讨论。随着工作的深入,一定会发现更多的问题,也会采取更多更好的新技术和新方法,使得这一工作不断地开展和向前推进,这正是本文的目的。

参 考 文 献

- 邓起东,于贵华,叶文华. 1992a. 地震地表破裂参数与震级的关系研究 [A]. 见:国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(2). 北京:地震出版社. 247—264.
- DENG Qi-dong, YU Gui-hua, YE Wen-hua. 1992a. Relationship between earthquake magnitude and parameter of surface rupture associated with historical earthquake [A]. In: Institute of Geology, SSB (ed). Research on Active Fault(2). Seismological Press, Beijing. 247—264 (in Chinese).
- 邓起东,刘百箴,张培震,等. 1992b. 活动断裂工程安全评价和位错量的定量评估 [A]. 见:国家地震局地质研究所编. 活动断裂研究(2). 北京:地震出版社. 236—246.
- DENG Qi-dong, LIU Bai-zhi, ZHANG Pei-zhen, *et al.* 1992b. Research of active fault in evaluating engineering safety and assessing amount of displacement [A]. In: Institute of Geology, SSB (ed). Research on Active Fault (2). Seismological Press, Beijing. 236—246 (in Chinese).
- 邓起东,徐锡伟,张先康,等. 2003. 城市活动断裂探测的方法和技术 [J]. 地学前缘, 10: (出版中).
- DENG Qi-dong, XU Xi-wei, ZHANG Xian-kang, *et al.* 2003. Methods and techniques for surveying and prospecting active faults in Urban areas [J]. Earth Science Frontiers, 10: (in press) (in Chinese).
- 韩竹军,任伏虎,小川雄二郎,等. 1996. 1995年1月17日日本阪神7.2级地震的构造条件研究 [J]. 地震学报, 18(4): 523—528.
- HAN Zhu-jun, REN Fu-hu, Yujiro Ogawa, *et al.* 1996. Research on the seismotectonics of the January 17, 1995

- Hanshin M7.2 earthquake [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 18(4):523—528 (in Chinese).
- 王彦斌,王永,李建成,等. 2000. 1999 年台湾集集大地震的地表断层破裂特征 [J]. *地震地质*, 22(2):97—103.
- WANG Yan-bin, WANG Yong, LEE Jian-cheng, *et al.* 2000. Characteristics of ground ruptures caused by the 1999 M7.3 earthquake of Jiji, Taiwan [J]. *Seismology and Geology*, 22(2):97—103 (in Chinese).
- 徐锡伟,计凤桔,于贵华,等. 2000. 用钻孔地层剖面记录恢复古地震序列:河北夏垫断裂古地震研究 [J]. *地震地质*, 22(1):9—19.
- XU Xi-wei, JI Feng-ju, YU Gui-hua, *et al.* 2000. Reconstruction of paleoearthquake sequence using stratigraphic records from drill logs: a study at the Xiadian fault, Beijing [J]. *Seismology and Geology*, 22(1):9—19 (in Chinese).
- Fuis G S. 1998. West margin of North America—a synthesis of recent seismic transects [J]. *Tectonophysics*, 288:265—292.
- Fuis G S, Ryberg T, Godfred N J, *et al.* 2001. Crustal structure and tectonics from the Los Angeles Basin to Mojave Desert, Southern California [J]. *Geology*, 29(1):15—18.
- Yeats R S, Sieh K, Allen C R. 1997. *The geology of earthquakes* [M]. New York and Oxford: Oxford University Press. 473—485.

EXPLORATION AND SEISMIC HAZARD ASSESSMENT OF ACTIVE FAULTS IN URBAN AREAS

DENG Qi-dong

(*Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China*)

Abstract

Displacements along active faults buried directly beneath major cities create devastating earthquakes that seriously threaten the safety of human lives and properties. Exploration and seismic hazard assessment of active faults in urban areas are thus an important systematic engineering for disaster mitigation in major cities. It is also a new field for active tectonic studies. The kernel of this work includes determining of the exact location of active faults, dating the ages of last tectonic activity, relating the shallow level faults to structures in the crustal depth, assessing seismic hazard and potential for surface offsets, and formulating countermeasures for disaster mitigations. We use the following simple phrases to express these key scientific problems: Where are the faults? Are they active? How deep are they? Will they create earthquake? Will they form surface offsets? What are the countermeasures? This paper explains these key scientific problems in detail.

Key Words active fault, seismic hazard assessment, urban areas

〔作者简介〕 邓起东,男,1938 年生,1961 年毕业于中南矿冶学院地质系,先后就职于中国科学院地质研究所和国家地震局地质研究所,曾任国家地震局地质研究所副所长和学位委员会主任,现任研究员,博士生导师,中国地质学会和中国地震学会理事,地震地质专业委员会主任,现在主要研究方向为活动构造和地球动力学,电话:010-62009027, E-mail: qddeng@yahoo.com.cn.