

城市规划中抗震减灾的新构想 ——“强震发生断层”的发现和启示

李 ， 杨美娥， 赵东芝

(中国地震局地质研究所，北京 100029)

[摘要] 不是所有的活断层都会发生破坏性地震(5~6级以上)，只有其中的极少数在未来数十年、数百年内有可能发生强震，特称之为强震发生断层。这种断层有一定宽度，一般为数米、数十米到数百米或更多。在断层范围内，地震波峰值加速度陡增，烈度可增加 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$ 或更多，抗震设计很困难。断层范围外，烈度随着离震中距离的增大而减弱，抗震按常规设计即可；台湾集集地震的观测数据却提示，0.15 g的抗震设计，竟能抵御0.5 g的破坏，抗震设计采用的地震动参数，蕴藏着巨大的抗震潜能，这使建筑物抗震达到人员零死亡的目标成为可能。强震发生断层的识别和圈定，从地震构造学的角度解决了地震预报的时、空、强三个要素。城市规划中在采用诸多有关抗震规范时，应考虑强震发生断层的有无及其增震作用，提请有关部门对规范作必要的修改和补充。

[关键词] 城市规划；抗震减灾；活断层；强震发生断层；强震发生断层的增震作用

[中图分类号] P315.2 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)07-0001-06

1 对活断层认识上的误区

人们一听到活断层就谈虎色变，认为该地将会发生地震，更下意识地认为有发生强震的危险；工程人员则更认为该地不能建筑重大工程；这是个误区。其实，不是所有活断层都会发生破坏性地震，有许多活断层是不可能发生强震的，诸如：长度数百米到数千米的小活断层；强震发生或陨石撞击而引起的已有断层再活动所形成的“活断层”；陡山崖滑塌、巨型喀斯特溶洞垮塌、矿坑崩塌、土体不均一沉陷、以及核爆炸等造成的假像，而被误认为的活断层。为数众多，有的是真正的活断层，有的是假象，很难分辨。一般活断层按其活动性质分为两种；一种属粘滑性质的，可伴生地震叫地震断层；一种属蠕滑性质，仅是平静的位错，不伴生地震，叫能动断层。显然，后者是不可能发生强震的。

地震断层可能发生大小不等的地震，包括发生强震的断层，也包括发生小地震的断层，故必须将强震发生断层从地震断层中区分开来，总之，这些

绝大多数的活断层，是不可能发生强震的。只有极少数活断层具有发生破坏性地震的可能。

活断层的时间界限，有多种说法，分别见之于现有关规范中：有定为距今1万年以来，有定为10万年以来，有定为10~12万年，或10~15万年以来，还有定为中更新世以来有过活动的断层，他们提出的不同年龄界限，意在说明，在提出的界限内断层是活动的，将来有可能再发生地震。超出界限范围，断层即是死断层，将来是不会发生地震的，这显然造成许多相互矛盾，在认识上又是一个误区。活断层的年龄时限，仅是判断活断层是否会发生强震的判据之一，而不是惟一的判据。其实判定活断层是否会发生强震还有另外3个重要条件，即

1) 能够发生强震的断层规模必需宏伟，才能聚集巨大的发震能量。一个6级的地震相当于10万吨级当量TNT，也相当于5个投于长崎的原子弹的威力。断层的长度需为数十千米、数百千米甚至上千千米，深度数千米到切穿地壳，宽度为数米、

数十米到数百米，海源地震（8.5级），其断层宽度有的地方可达3 000 m。

2) 断层的组成物质必然疏松破碎，尚未压实、固化或未被胶结抗剪强度较低才能提供地应力释放的场所。

3) 断层处于当今的高地应力场，作用力方向未发生明显的改变，当应力超过断层破碎带抗剪强度时，就爆发强震，所以强震在活断层上重复发生。未来强震在强震发生断层上重复发生，主要是由于 Q_3 以来持续至今的地应力场保持未变，作用力仍沿已形成的强震发生断层继承性活动。在 $Q_1 \sim Q_2$ 时期，中国区域地应力场处于引张状态，断层作升降差异活动，小断层众多且分散，主要分布于断裂带串珠状湖盆边缘。而到 Q_3 ，升降差异运动逐渐变为以水平走滑为主，众多小的、分散断层被区域性的单一的大断层所替代。这个时期，由于断层的水平错动，导致山体、水系的同步位错，地

貌上和卫片色调都有明显反映；从许多强震发生断层上 Q_3 砾石层的形成和砾石层又被横向断层错断作升降起伏，可以看出，自 Q_3 以来断层活动一直持续着。所以强震发生断层的时间界限，以笼统的 Q_3 起始年龄为准，它代表了水平走滑运动的开端。由于测年技术所限，拘泥于确切年龄的争论，是不必要的，坚持用1万年、10万年……而不能更长或更短，所冒的风险太大了。

2 强震发生断层及其增震作用的发现

强震发生断层的发现：1999年台湾集集地震（7.6级，震源深8~10 km）石冈大坝高20余米的钢筋混凝土坝体在断层通过处，全部垮塌，它遭受的地震峰值加速度为 $0.6 g \sim 1.0 g$ （相当于地震烈度Ⅷ度或Ⅸ以上），而不在断层上的其余部分基本保持完好；跨越断层的公路桥和铁轨等破坏情况类同（图1、图2、图3）^[1]。

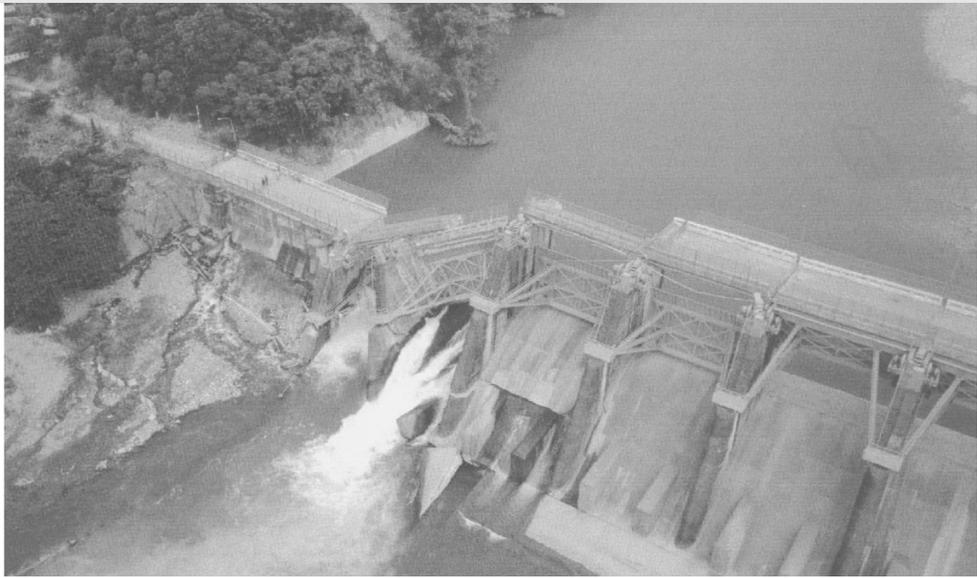


图1 石冈大坝破坏情况

（石冈大坝全长700 m，受断层作用北段断塌，断裂处南侧拱起约9.8 m，北侧拱起约2 m）

Fig.1 Collapse of the north part of the 700 meters long Shigang dam due to faulting, with a bulge of 9.8 m at its south side and 2 m at its north

民房建筑，在断层上的也荡然无存，而在断层外与之仅相距数米~数十米的高楼和3~4层楼房，仅遭受了不同程度的损坏，有的尚可住人（图4、图5）^[1]。这次地震死亡2000余人，主要是在强震发生断层范围内。

1955年四川鱼一拉 $6\frac{3}{4}$ 级地震的构造变形与集集地震建筑物的破坏有异曲同工之妙。极震区

的昔格达村有南北向强震发生断层通过，断层上的民宅荡然无存，这与断层剖面情况一致。

图6示断层剖面。断层东壁向东陡倾，与逆冲的白云质灰岩接触，断层西壁以 Q_1 昔格达湖相砂页岩层中出现对冲断层形成的小背斜为特征。在宽约百米的断层破碎带中，昔格达层被许多小断层剪切成巨型块体，东倒西歪，有的层面几成直立，这



图 2 公路桥破坏情况

(横穿断层的公路桥在断层通过处破坏严重, 断层外的部分保存完好)

Fig.2 Highway bridge was seriously damaged at the site where the fault runs through, while the other parts (off the fault) remains intact



图 3 南投县铁路轨道因断层通过发生隆起而扭曲变形

Fig.3 The railway in Nantou was twisted due to ground upheaval caused by the fault that passes through

种强烈变形, 只能用遭受了强烈的地震动来解释^[3]。

从上面几张图可以看出, 在强震发生断层的宽度范围内, 其上的建筑物, 均遭到严重破坏, 在地表呈现的露头和断层剖面都有明显的反映。

强震发生断层的定义: 未来数十年、数百年、甚至上千年内可能发生破坏性地震的断层, 称之为强震发生断层^[3]。国内地震界不成文地认为, 强震的震级 $M \geq 6$ 级。但也有个别 $M \geq 5$ 级的地震, 在地表引起破坏, 故将 5 级以上的地震称之为破坏性地震。

强震发生断层范围内的增震作用: 据台湾水利工程专家程禹先生来信介绍, 石岗重力坝采用仿静态分析法, 按规范规定值, 水平向地震系数 $K_h = 0.15g$, 垂直向地震系数 $K_v = 0.10g$ 设计。集集大地震时该坝附近之中央气象局石岗国小测站, 测得水平向地震峰值为 $0.5g$, 垂直向为 $0.53g$ ^[4]。我们从以上数据, 又再根据台湾地震专家的讯息, 得知强震发生断层范围内, 地震峰值达到 $0.6 \sim 1.0g$, 以 $0.15g$ 的抗震设防, 肯定难以抵挡此袭击, 故坝体摧毁。而在断层范围之外的坝体, 却以 $0.15g$ 的设防, 抵御了 $0.5g$ 的袭击, 这充分说明强震发生断层范围内具有增震作用, 抗震困难; 而范围外, 按常规抗震设计, 还可蕴有巨大抗震潜能。

从鱼一拉地震的昔格达层变形剖面, 亦可见到在断层带的内、外, 同样的昔格达地层, 在咫尺之隔, 变形程度绝然不同, 带内强烈变形, 带外几乎没有明显变动 (如图 6)。与石岗大坝有异曲



图 4 断层通过的地方，地形起伏同时也倾倒了部分建筑物
 Fig.4 On the way that the fault passes through, the ground undulated and some buildings toppled over



图 5 在断层上的房屋成了一片瓦砾，而其旁的楼房与平房相对完好
 Fig.5 Houses on the fault turned to ruins, while those on the sides remained intact

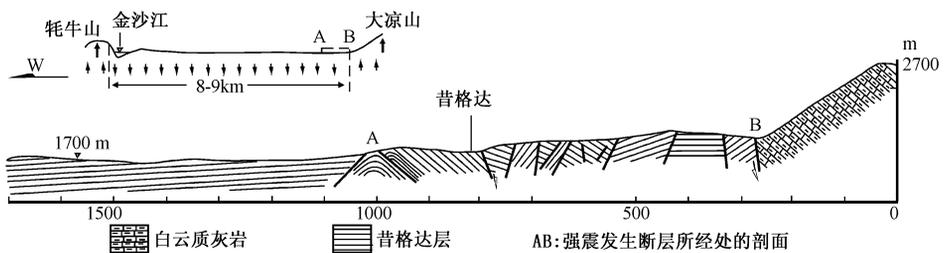


图 6 牦牛山—大凉山之间的安宁河谷红格昔格达村昔格达层的构造变形示意图
 Fig.6 Sketch map showing the tectonic deformation of Xigeda group at Hongge-Xigeda Village in the Anninghe river valley between Maoniushan and Daliangshan

同工之妙。

3 城市规划中强震发生断层的应用

考虑强震发生断层增震作用的必要性：

1) 2001年中国地震局颁发了《中国地震动参数区划图》^[5]作为国家标准规范，规定要强制执行。但仅用地震动参数而不考虑强震发生断层的具体分布范围，不免潜在巨大危险。

中国地震动参数区划图中北京市及其邻近的几个县都划在0.2g（相当于Ⅷ度）区。定为Ⅷ°的主要依据是区内有几条北东向和北西向的活断层存在，在活断层上曾发生多次破坏性地震，这从《首都圈地区地表活动构造分布图》^[6]中可以看出震中与活断层有密切的依附关系。这些活断层就相当于我们所说的强震发生断层，鉴于强震发生断层有一定的宽度和增震作用，故城市规划在使用地震动参数图的基础上更应考虑强震发生断层的分布范围和范围内的增震作用。若不考虑，则是十分危险的，因为，这些断层内的地震动参数已大大超过0.2g。这个以首都圈为例说明的情况，对全国均是如此。

2) 唐山地震（M=7.8）将唐山市建筑物全部摧毁，给人一个错觉：大地震的破坏力，建筑物是无法抗御的。其实，全市建筑物全部被摧毁的主要原因在于：旧建筑物基本上没有抗震能力；新建筑物也顶多只有抗御Ⅶ°的能力；而当时实际遭受的地震烈度却达Ⅸ°~Ⅹ°，显然无法逃脱被摧毁的厄运。假若当时掌握了台湾集集地震的经验教训，事先找出强震发生断层的分布范围（据震后，有人调查得出，唐山的强震发生断层宽约100m，长约5km），并且考虑强震发生断层的增震作用，建筑物避开在断层范围内兴建，对断层范围外的建筑物，采用0.15g（Ⅶ°）静态设计，使建筑物坏而不倒，如图4、图5所示。那么在强震中大量的生命也就能免于遭劫。目前国家规定为了唐山的灾难不再重演，灾后的重建工作，设计时采用基本烈度为Ⅷ度（0.2~0.3g），这对强震发生断层范围以外的地方，抗震设计是足够了，但在强震发生断层范围内，由于它的增震作用，这样的抗震设计就无济于事了，设若再次发生7.8级地震，强震发生断层上的建筑物仍然将荡然无存。当然，一次强震后若再次发生强震，需要数百年的时间，才有可能聚集起如此巨大的地应力，一般来说强震不会在短期内重复发生，但从长远计这种情况仍应提请后人考虑。

应用强震发生断层的具体措施：

1) 规划时首先查清城市中强震发生断层的有无，若有，则需进一步查清其分布范围。

2) 建筑物避免建在强震发生断层上。若不能避开，则应采取特殊的抗震措施，使建筑物不至于垮塌，致多倾倒，不危及生命。

3) 不位于强震发生断层范围的地方，应对已有建筑物进行抗震能力的测试，查明有无抗御Ⅶ°（0.1~0.15g）的破坏能力，如无，则需加固之。这是借鉴台湾集集地震的经验，即Ⅶ°的抗震设计，事实上能抗御Ⅸ°的破坏，建筑物可保持坏而不倒。当然，台湾的Ⅶ°抗震和大陆的Ⅶ°抗震，其抗震能力是否一致，需要注意。

4) 广大贫困地区，绝大多数民房难以抗御Ⅶ°的破坏，则可根据经济情况，因地制宜，推行抗震床的使用以保全生命。

4 小结

强震发生断层的发现，可以基本解决地震预报三要素，即发震的地点可以确定，强度可以确定，发震的时间可以立足于震。这样，预报的时空、强三要素，基本上也就得到了解决。好在强震发生断层的宽度有限，虽在断层范围内，地震动峰值加速度增加甚多，建筑物需避开或采取特殊抗震措施。但在断层之外，常规抗震设计，却有巨大的潜力。

地震预报的目的，是在地震发生之前，提前告诉人们破坏性地震即将来临，使人们有时间采取措施，避免生命、财产的损失。强震发生断层的发现，却从地震构造的角度提前做好了抗震措施，达到一劳永逸的抗震减灾目的。

此文为2006年9月24~25日中国西安国际建筑科技大会和谐建筑管理组上宣读的论文。

参考文献

- [1] 中国地震局编著. 台湾集集地震照片[A]. 台湾9.21地震灾害图录[M]
- [2] 李 等, 刘行松, 杨美娥, 等. 昔格达层构造变形形成因素分析[J]. 中国地震, 1995, 1(3)
- [3] 李 等, 黄广思, 杨美娥. 中国强震发生带地震构造的几点思考[J]. 高教地质学报, 2001, 7(3): 245~255
- [4] 程禹先生来信
- [5] GB 18306-2001, 中国地震动参数区划图国家质量技术监督局发布[S]

- [6] 徐锡伟,吴卫民,张先康,等. 首都圈地区地表活动构造分布图[A].首都圈地区地壳最新构造变动与地震[M].北京:科学出版社,2002

New Perspectives of Seismic Safety Evaluation in Urban Planning: The Discovery of “Macro-seism Generating Fault” and Its Inspirations

Li Ping, Yang Mei'e, Zhao Dongzhi

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

[**Abstract**] Though not all active faults will generate strong earthquake, people still turn pale at only mention of them. Strong earthquake will take place only on a fraction of the active faults in a time scale as long as tens or hundreds of years, so we call them the macroseism generating fault. The macroseism generating fault is not merely a line but has a certain width from several meters to tens or hundreds of meters or more. During a strong earthquake, the seismic intensity may increase abruptly by 2 to 3 or more degrees along the fault, so it brings forth much difficulty to anti-seismic design, or nearly makes the design impossible. Off the fault, the seismic peak ground acceleration decreases with distance. In anti-seismic design, the commonly-used seismic ground motion parameters (or the seismic intensity) often have a bigger anti-seismic potential, e. g. a building with a design acceleration of 0.15 g (intensity VII^o) may actually resist a damage of 0.5 g (IX^o). The discovery of macroseism generating fault enables us to deal with the three factors, i. e. the time, location and magnitude, of earthquake prediction from another aspect. When using the “ground motion parameter zoning map” in urban planning, correction and amendment are necessary as for whether or not the macroseism generating fault exists and its influences.

[**Key words**] urban planning, active fault; macroseism generating fault; seismic amplifying effect of macroseism generating fault