

# 汶川地震的启示—建筑应以人为本

徐珂 陈春材

(北京清城华筑建筑设计研究院, 北京 100083)

**[摘要]** 汶川地震给我国造成巨大人员伤亡、经济损失和精神创伤, 震害暴露出我国在普通建筑层面抗震安全性认识不足。建筑物的抗震性能不仅取决于结构设计因素, 总体规划时就应注意避免在发震断裂带上建设城镇, 减少地质灾害产生重大损失的概率; 单体建筑设计应注意特殊造型会加剧地震作用影响; 施工中质量、过程管理是保证结构抗震安全的重要手段。

**[关键词]** 汶川地震 断裂带 建筑造型 震害表现 学校建筑 抗震性能

**The Revelation form WenChuan earthquake, People Foremost buildings** /Xu Ke, Chen Chuncai (Beijing THCA Architectural Design & Consulting Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** WenChuan earthquake has brought tremendous destruction to peoples' livings and economics and huge mental hurt. Earthquake disaster discovered consciousness shortages in earthquake resistant designs for the general buildings. The buildings' earthquake resistant performance are not the only factor which effected by the structural design, but also, the overall plan should avoid constructing the cities in the fault zones, which can reduce the probability of heavy loss in the geological disasters; in single building design, complicated schemes should be increasing the earthquake functions; In the course of construction, the quality control and the process management are more important factors to assure the structural earthquake resistant security.

**Keywords:** Wenchuan earthquake; fault zone; architectural form; earthquake disaster; school architectures; earthquake resistant performance

## 0 前言

随着我国经济水平逐年提高, 各种高层及特种建筑不断涌现, 这些高水平的建筑充分体现了我国的建筑水平及抗震设计能力。但 2008 年 5 月 12 日发生在四川汶川县的里氏 8.0 级地震中, 有大量人员伤亡和房屋倒塌, 给社会各界造成严重的经济损失和精神创伤, 暴露出我国在普通建筑层面上仍存在很多问题, 非结构因素严重影响建筑物抗震安全, 在一定程度上还加剧了震害影响, 值得深思和讨论。

### 1 人员密集的城镇应避免设立在发震断裂带上

按照我国防震减灾法要求, 为减轻地震破坏, 抗震设防烈度为 6 度及以上地区的建筑, 必须进行抗震设计。单纯从这个强制性规定来看, 房屋经过必要的抗震设计后, 就可以有效的减少地震带来的损坏, 在本次地震中众多灾害也表明这个规定是正确的, 如 1978 年以前的建筑物破坏的情况最严重, 在此之后因为“唐山地震”的警示作用, 我国开始加强抗震设防要求, 至今为止出台了 TJ11-78<sup>[1]</sup>、GBJ11-89<sup>[2]</sup>、GB50011-2001<sup>[3]</sup>版抗震设计规范, 使得抗震内容不断充实, 相关抗震设计不断完善, 汶川地震中 2002 年以后建造的房屋严重破坏及倒塌的比例大为减少, 通过这个对比确实证明了抗震设计的必要性。

但是我们应该注意到, 中国大陆近百年发生

7.0 级以上地震有十次以上, 为什么唐山地震和汶川地震带来了巨大生命和财产损失? 这是因为除海城地震成功预测报警外, 其它的地震多发生在人口密度较低的地区, 震级虽高也不会产生过多的损失。通过这个对比, 我们可以得出让人员密集城镇远离发震断裂带更为重要。

以汶川地震为例, 地震发生在著名的龙门山断裂带上, 见图 1。该发震断裂带在最近几百年里一直处于活动状态, 历史上发生过多次大地震。该断裂带的形成是由于地壳中印度板块向亚洲板块移动, 在地质上形成青藏高原不断抬升趋势, 其边缘沿龙门山断裂带向东挤压, 与四川盆地的刚性地块不断形成阻挡积累能量、然后摩擦释放能量的过程。

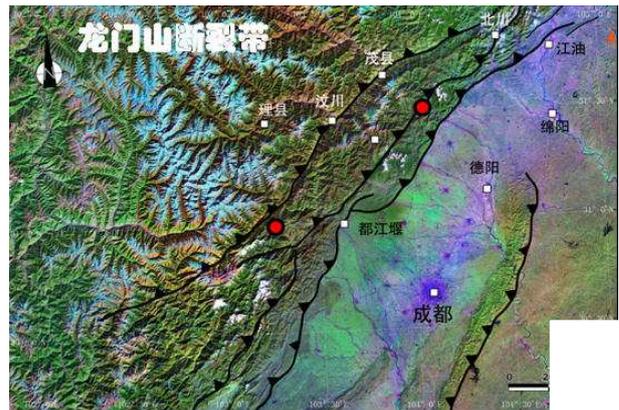


图 1 龙门山断裂带平面图

龙门山断裂带主要由三条断裂组成：从西向东分别为汶川-茂县断裂、北川-映秀断裂和安县-灌县断裂（灌县为都江堰旧称），见图 2。汶川地震的发震点即震中位于北川-映秀断裂。将上述断裂带与实际相对应，映秀镇、北川县、茂县、汶川县、青川县、都江堰市等地区基本上位于发震断裂带上，这些地区的城镇在地震中损失最为严重。

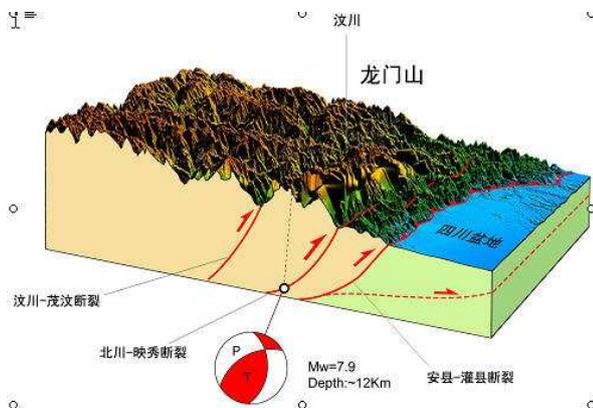


图 2 龙门山断裂带剖面图

汶川地震在能量传递方向上，西南-东北方向（即断裂带分布方向）地震能量传递衰减不明显，造成相应地区发生里氏 5.0~6.0 级以上余震震，如西安距离汶川 700 公里，抗震设防烈度为 8 度，依然有建筑物发生结构破坏的情况；而在东西方向仅造成四川省内地震灾害，涉及距离较短，如成都市区距离汶川 90 公里，抗震设防烈度为 7 度，仅少量建筑物发生结构破坏，比例较低，由此可以看出发震断裂带对城镇安全的影响

发震断裂带是个比较宽泛的地质工程概念，在地震中可能会形成很多地面位错，当地面位错超过基础允许变形时，直接会导致建筑物倒塌，图 3 拍摄于四川白鹿镇中学附近，地震前该地面为平缓坡地，地震造成后部地面向上整体抬升 2~4 米，形成前后有高差的台地，图片中部原为一座变电站建筑物，由于巨大的地面位错导致粉碎性倒塌，其破坏表现没有常见的震害特征。对于这座建筑物，抗震设计和安全构造可能推迟了房屋倒塌的时间，但不能改变最终结果。



图 3 地面位错造成房屋损毁



图 4 地面位错造成房屋倾斜

图 4 是白鹿中学学生宿舍在地面错动中的表现，该建筑主要部分位于地面位错未抬升一侧，由于另一侧地面抬升高度较大，造成建筑物整体倾斜，墙体多处变形裂缝，局部墙体坍塌，按照危房鉴定标准属于 D 级严重受损房屋，已失去维修加固的价值。除此以外因地震引起的地质灾害，如山体滑坡、岩石崩落、地面沉陷都会直接造成建筑物失去承载、抗震性能。

从上面的例子可以看出，城镇的选址对建筑的抗震安全性更具重要性。龙门山断裂带地区上一次发生大地震距今不过百年，1933 年 8 月 25 日在茂县叠溪镇发生震级为 7.5 级的大地震，直接导致 6000 多人死亡，地震造成当地数十公里山河改观，叠溪古羌镇在地震中全部陷落从此消失。其后由于山体堵塞形成堰塞湖，一个月后坝体突然溃决水淹数百里，造成较大的次生灾害。汶川地震与叠溪地震表现有相似之处，且两者震中距离不过 50 公里，那么在灾后重建中，我们是否应从中总结出一些经验教训？

单纯依靠结构抗震能力只能在一定程度上证建筑物的安全性。如我国抗震规范主要针对

烈度为 6 度到 9 度的建筑进行设计指导，对超过 9 度的抗震设计，仍然处于探索、研究阶段，而汶川地震中极震区的烈度已经达到 11 度，远远超越常规结构设计能力，这些地区原抗震设防烈度一般为 7 度，按照“小震不坏，中震可修，大震不倒”的设计原则，地震作用达到 9 度时，建筑物如果倒塌就属于结构正常失效范畴，人员和财产安全只能依靠偶然的幸运来保障了。

地震能量等级与地震烈度的关系一般按下列公式初步估算：

震中(10 公里以内)烈度：

$$I=0.24+1.29M$$

周边地区烈度随震中距(R)的增大而衰减：

$$I=0.92+1.63M-3.49\text{Log}R$$

式中：

M 为地震里氏等级，表示一次地震释放能量的度量值，震级每相差 1 级，所释放的能量约相差 32 倍，汶川地震的能量为里氏 8.0 级；

I 为地震设防烈度，表示一个地区的建筑物受到地震作用的影响指标；

按照上式估算，汶川震中的地震烈度约为 10.5 度，与实际烈度 11 度相差半度。

一般情况下，建筑物离震中越远，受到的地震作用越小，因此城镇布局远离发震断裂带应是灾后重建首要思考的问题，城镇发展远景应综合考虑未来地震可能产生的后果，不能简单依靠抗震设计应对未知的大级别地震。上述公式只是作为一般情况下的概算，真正的烈度不能一概而论。

## 2 建筑造型对建筑物抗震性能的影响

建筑造型与结构合理性之间的矛盾一直是建筑设计的突出问题，以往多集中于高层建筑及特种建筑中。汶川地震的震害表明，任意进行建筑平面布局和随意设计立面造型，也会对低层建筑造成严重的灾害，其破坏的设计原因有以下两个方面：

2.1 建筑师追求外观、立面造型，限定结构截面尺寸，客观上限制了结构构件的承载能力；

2.2 结构师对于建筑造型可能出现的破坏点没有预见性的认识，从而忽视对结构薄弱点进行加强设计；

图 5 是这类建筑的典型震害案例，地震中顶部甩动位移过大，人员从塔上掉落。通过图片可以看出上部突出部位的下部楼层属于建筑物平面端部，已属于结构设计中水平位移较大部位，为满足建筑造型进行二层以上立面收紧，属于刚度突变楼层，这部分框架柱间设置建筑墙体，虽然增加了该部位

侧向刚度，但上部突出部位为空旷框架，结构刚度急剧减弱，在客观上形成“鞭梢效应”。



图 5 都江堰某框架楼震害

从图片可以看出，建筑师为达到建筑效果和使用要求，设计上就会要求竖向结构构件不能很好地上下连续布置，从而削弱结构构件在该变换层的承载能力；结构师为满足建筑尺寸要求，计算上未对地震作用进行有效放大分析，没有对重要构件进行加强处理，在地震中上部塔楼底层框架柱全部剪断，整体倾斜严重。从灾后重建角度分析，该建筑物为框架结构，地震中主要发生柱间砌块填充墙剪切破坏，框架部分保持较好，属于“可修”状态，但由于上部塔楼的破坏，给修复工作带来很多难题。

图 6、图 7 是常见的弧形造型，也是汶川地震中典型的震害表现。相比矩形平面，弧形设计更富变化，在震区低层建筑中经常被采用。从抗震构造上分析，采用构造柱、圈梁抗震约束措施可以有效提高砌体变形能力，减少砌块因变形过大造成脱落退出结构体系的可能，当墙体为直线型式时，约束效果最好。采用弧形墙体时也应遵循这个要求，即在墙体弧度变化不大的位置就要设置构造柱，使构造柱间墙体接近直线型式。从图 6 破坏情况分析，墙体裂缝是连续出现，说明沿弧形未设置构造柱等约束措施，地震使墙体在反复拉压过程中崩出脱落。如果该墙体在转角处、窗洞边，以及墙段中部设置构造柱，就会有效减少震害出现的可能性。但这样设置构造措施，就会带来结构造价增加较多的问题，这也许是该类震害较多的原因之一。图 7 所示的建筑物为五层教学楼，右侧大开间教室仅出现少量可修复的窗下墙剪切裂缝，左侧小开间的弧形承重墙在一、二层破坏、错位严重，加固的可能性很小，这与常规小开间结构安全性