4. 汶川地震对城市防灾减灾的启示

钟 珉 宋 波

（北京科技大学土木与环境工程学院，北京 100083）

摘 要：本文通过对汶川地震中四川、甘肃等地震害特点的总结，结合目前大型城市的发展趋势，分析了现代城市及城市灾害的特点，对城市防灾的关键问题进行了分析，以城市规划、结构性能设计、在役结构安全性评估为例，探讨了涉及城市抗震防灾中的主要问题。

关键词：震害特点；城市特点；城市灾害；防灾对策

1 汶川地震震害概况

2008年5月12日，四川省汶川县发生了强烈地震，全国大部分地区均有震感，四川省及其周边各省的震害情况严重（图1）。汶川地震的震源深度仅为14km，属于内陆浅源地震，主震发生时间为12日14时28分（图2），主震震级里氏8.0级，断层破裂持续了约80s，在主震之后，发生6级及以上余震5次，5级及以上余震33次，4级及以上余震223次。



图1 汶川及其附近重灾区地理位置

震中区四川省地表发生大规模变迁，山体移动、公路断裂、河道移位，救援困难，房屋大面积倒塌，砖混结构、砌体结构破坏尤其严重，同时由于震后降雨使山体产生大面积滑坡，泥石流、堰塞湖等次生灾害严重危及人民的生命安全。地震导致离震中较近的北川县城完全破坏（图3）。

此次灾害考察重点为四川省，包括四川省绵竹市汉旺镇、都江堰市和北川县。甘肃省也是考察中的一部分，包括陇南市文县、成县，其中文县的村镇与青川县仅一河之隔，距离震中汶川仅200km。在此次地震中，陇南市的破坏情况也非常严重，特别是村镇房屋。农村中生土结构、砖木结构房屋由于没有合理的设计、规范的施工而大面积坍塌（图4）。

通过对四川、甘肃两省各类工程结构的震害调查，可以发现此次地震及震害有如下特点：（1）地震震级高，能量大，竖向加速度分量比水平加速度分量大，四川周边根据据震中远近不同和地质构造的不同推测地震烈度在9～11度，较大的地震烈度导致当地山体移动、河道变迁、滑坡泥石流频发，震后大量的降雨使得水位急剧上升，形成多个大型堰塞湖直接危及下游人民的生命安全；（2）村镇房屋、中小学建筑破坏严重，因受经济条件的制约，村镇民居多采用抗震性能差的生土结构、木结构房屋，房屋无合理的设计、规范的施工，在地震中发生严重倒塌破坏；中小学建筑多采用砖混结构，房屋结构的整体性和抗

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 2 四川地震后的汉旺镇



图 3 四川地震后的北川城



图 4 甘肃陇南农村房屋破坏

震性能较弱，圈梁、构造柱等构造措施部分欠缺；(3) 桥梁坍塌，公路断裂，生命线系统严重破坏，给救援活动造成很大的障碍。总体上看，符合抗震设计规范规定的建筑破坏程度较小，常规的建筑中由于没有设置合理的构造措施或选址不当等原因而发生破坏的例子较多。

这次地震所造成的破坏严重地区大多位于县城、村镇或人口在 60 万以下的中小城市，这些地区的经济与建设水平尚处于发展中，建筑结构形式较为单一，对供水、供气、供电等生命线工程的依赖程度较弱，地区经济相对不发达，但研究与总结本次地震震害中所反映出的问题，结合大城市的特点，最大限度减少城市防灾的盲区，对于提高我国大城市的抗震与防灾减灾能力具有重要的意义。

2 现代城市灾害的特点

2.1 城市及城市灾害的特点

近年来随着经济建设的不断进行，城市的规模越来越大，人口集中化倾向显著；建(构)筑物集中，各种构筑物形式复杂多样，异型建筑形式突出；生命线等基础设施交错复杂，信息化程度不断提高，城市的正常生产和生活对交通、供水、供电、煤气等基础设施和生命线系统的依赖程度日益增强；城市及周边地区国家重点工程呈增加态势，大型重点工程使得城市与城市之间的联系更为密切。

对大城市来讲，除遭受自然灾害如雪灾、寒潮、高温、台风、地震等灾害外，复合型灾害特征日益明显。城市灾害与自然灾害有所不同，它是以城市作为特殊的承载体，主要表现在：(1) 灾害的复杂性：城市的发展使得城市系统变得日趋复杂，新型灾害与传统灾害相互交织；(2) 灾害的多样性：即使同一类型建(构)筑物，其所能遇到的形式也有很大不同，以地铁为例，1995 年东京地铁沙林毒气事件、2001 年韩国首尔地铁遭受水灾(图 5)、2003 年韩国大邱地铁的纵火案(图 6)、2005 年英国伦敦地铁爆炸案，各国城市地铁系统成为了各种灾害的载体；(3) 灾害的广域性：城市的发展使得城市与城市之间的联系日益增强，同一灾害有可能造成多个城市受影响；(4) 灾害的扩散性和连锁性：城市灾害的空间影响性，往往要大于发生源所能波及的范围，许多等级高、强度大的自然灾害发生后，常常会诱发一系列的次生灾害。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 5 韩国首尔地铁水灾

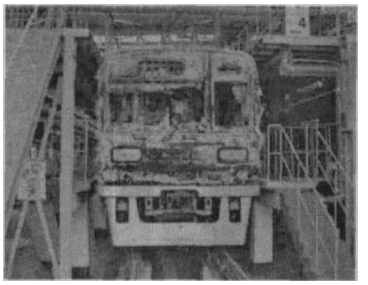


图 6 韩国大邱地铁纵火案



图 7 城市路面下陷

2.2 城市防灾中的问题

城市灾害的这些特点，使得城市防灾工作日益严峻。目前我国在城市防灾能力建设中已取得了长足的进步，但城市防灾工作中仍存在着一些问题与盲区。

(1) 城市及建筑的规划问题

现代城市内部存在着许多潜在的危险源，如因城市规划不合理，使得建筑密度过大(如图 8)，城市无绿地等配套设施，在灾害发生时没有足够的紧急避难场所，过密的建筑也使得救援工作很难开展。同时，由于城市发展的阶段性，城市中各商业区、居民区交织分布，各年代的建筑聚集在一起，导致许多建筑选址不利，民居与构筑物毗连，如图 9 所示为与居民区近接的储气罐，潜在的危险性极大。



图 8 紧密的城市布局

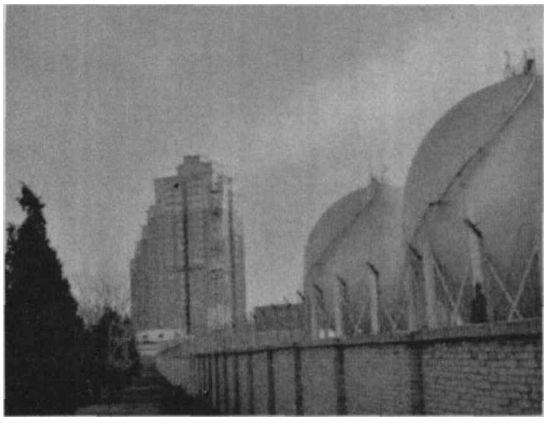


图 9 与居民区近接的储气罐

除了城市规划，建筑结构本身的规划也应合理。为节省用地，城市中的新型建筑多为一楼多用，将下部几层作为商用，如开设饭店、洗浴中心等，而上部仍作为民居使用，这样的设计在火灾发生时，由于火灾烟气向上蔓延，对居民的生命安全有很大的威胁。同时，有的建筑由于功能需要而建有过宽的裙房，如图 10 所示，这种造型可能会导致火灾时救援梯够不到高层而无法发挥作用。

(2) 新型建筑结构的抗灾能力

大型文化体育场馆、商业娱乐设施、大型会议展览中心、大型交通枢纽中心、超高层或异型复杂地标建筑等对结构抗震、抗风、防火等安全保障提出了更高的要求，新的结构

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

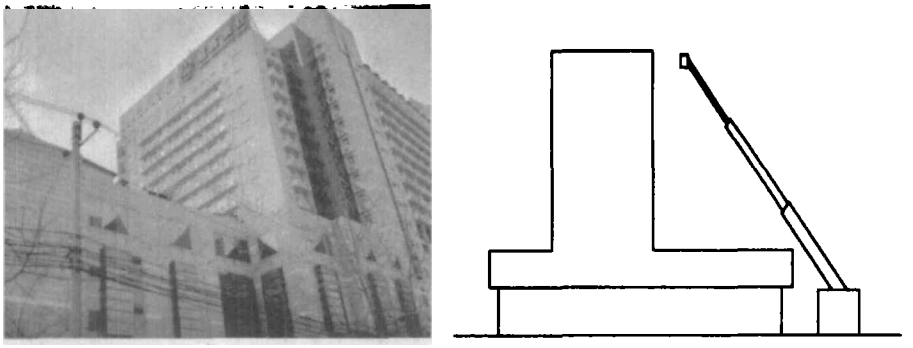


图 10 新造型建筑带来的潜在危险

形式中未曾经受过地震考验的形式较多。因此，基于性能的建筑设计理论发展起来，对于城市中的重大建设工程的防灾能力在设计层面上予以加强，但目前性能设计理论的应用并不是很成熟，许多地方仍需进行研究，例如建筑结构在经受地震荷载后塑性铰的出现位置问题，原则上希望框架结构的破坏遵循“强柱弱梁”原则，但此次汶川地震的震害实例表明塑性铰多出现在柱的端部，形成“强梁弱柱”结构（图 11），这恰恰与设计目标相反。如何解决此类性能设计的应用问题是城市建筑防灾减灾工作中的一大难题。因此，应用性能设计理论指导建设工程仍需继续进行研究。

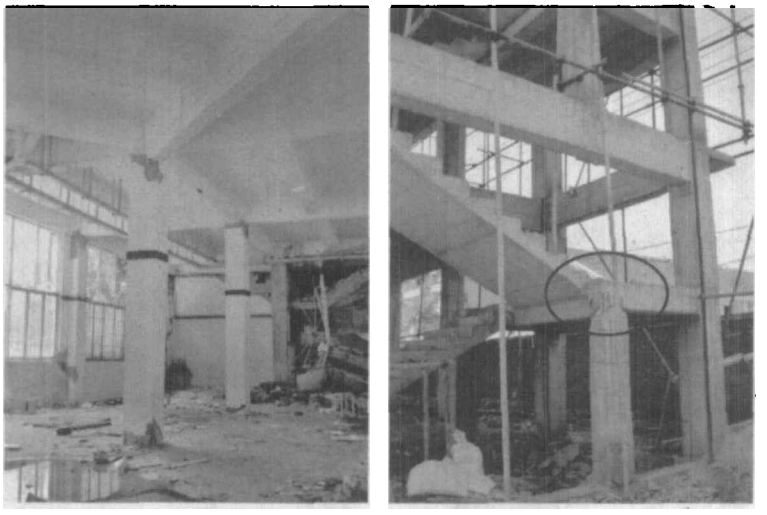


图 11 四川地震“强梁弱柱”实例

(3) 在役工程结构的安全性问题

城市中老旧建筑、基础设施的日益劣化也给城市的安全问题敲响了警钟，老旧的建(构)筑物如不进行适当的加固维修，经受不住灾害的突然袭击，甚至在正常的使用阶段就会发生破坏，如一些大城市中的桥梁，建造年代较早，而目前仍在使用，并且作为重要道路上的连接使用，在这样的高负荷、长周期的运营下，有些桥梁已出现明显的损伤（如图 12、图 13 所示），在这种情况下，如再受到地震等突发荷载的影响，破坏将会非常严重。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 12 桥面系漏水



图 13 桥墩钢筋锈蚀

综上所述，城市防灾的关键问题应注意加强城市合理规划的力度及新型建筑的合理布局；对于重大工程，应重视结构的性能设计，选择合理的实现方法；对于城市中的老旧建筑、桥梁，应注重其安全运营问题，避免出现在正常使用阶段的损伤破坏。

3 加强城市防灾工作应采取的对策

结合汶川地震震害概况及大城市的防灾现状，城市防灾减灾工作应注意以下几方面的问题：(1) 工程结构的抗震设防，如对于地质结构复杂地区，如何确定设防烈度与目标；(2) 城市建筑规划与选址；(3) 建筑结构合理的性能设计，如如何完善与推广抗震性高、经济性好的房屋结构形式及建设机制；(4) 城市防灾减灾技术的应用；(5) 灾害知识的普及工作。我国城市近年来虽没有大规模灾害的发生，但目前城市中存在的防灾问题以及国外的灾害实例让我们认识到我国进行城市防灾减灾工作的重要性。

加强城市的抗灾能力首先应合理进行城市总体规划，其中应设立城市防灾专项规划。特别对于地震灾害，要搞好城市抗震防灾规划的编制工作，对城市抗震有关的城市建设、工程地质、水文地质、地形地貌、土层分布及地震活动性等情况进行深入调查研究，以取得准确的基础资料。在抗震防灾规划的编制中，应考虑到采取合理的抗震防灾措施，诸如应根据城市的地震烈度模型、人口密度情况、建筑抗震性能等设置避难通道及避难疏散场地（如绿地、广场）和避难中心，以保证灾害发生时，有足够的避难场地确保人民生命的安全。防灾疏散的安排应坚持“平震结合”的原则，考虑梯级避难公园与配套设施的建设，设置广域多功能防灾机能公园，将平日城市中的广场、公园、公共设施等合理地分布在各建筑群中，以备在灾害发生时能及时作为区域避难公园使用，而路边的绿地可作为临时避难绿地使用，整体上建设成为节能、环保、多功能（娱乐、运动、防灾教育、防灾体验、临时指挥、医疗等）的梯级防灾综合公园（如图 14、图 15 所示）。除了防灾公园的设置，对于建筑的选址问题也应引起注意，从地形地貌上看，要避开非岩质的陡坡、突出的山嘴、高耸的山包；从地质构造看，要避开活动断层，可能发生滑坡、山崩、地陷的地段；从场地条件上看，要避开饱和砂层、软弱土层、硬软不均的土层，要避开靠河流古道两岸的地区。

对于城市中的新型建（构）筑物应重视结构的性能设计，构筑多道结构安全防线，考虑建筑的功能及重要程度，设立多样化的设防目标，并且利用新型的技术，如减（隔）震技术等保证其实现。确定各建筑结构抗震的目标性能，达到结构局部与整体抗震性能同时

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

提高，确保灾害发生时，建筑的破坏不超过预期的目标。随着结构性能设计方法的深入，性能设计应能达到多阶段的抗震设计要求（图 16），相应的规范内容也应作出修改，以保证新型设计思想及设计方法的正确使用。同时还应对建筑的抗震性能进行多参数、全面的评价。

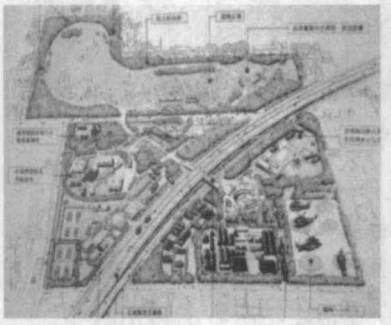


图 14 综合机能防灾公园与绿地



图 15 日本防灾公园

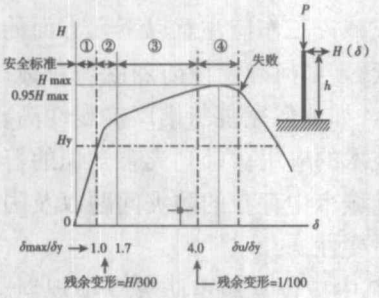


图 16 多阶段抗震设计

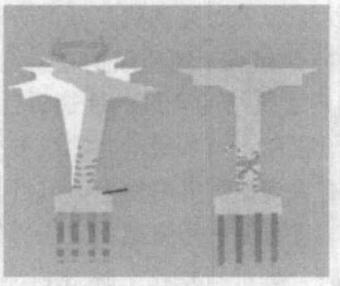


图 17 塑性铰出现位置与先后次序的控制图

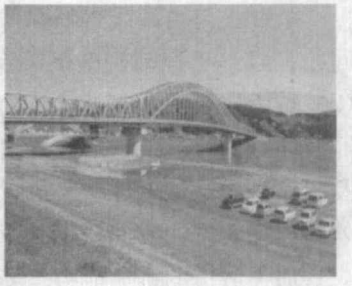


图 18 日本北上大桥

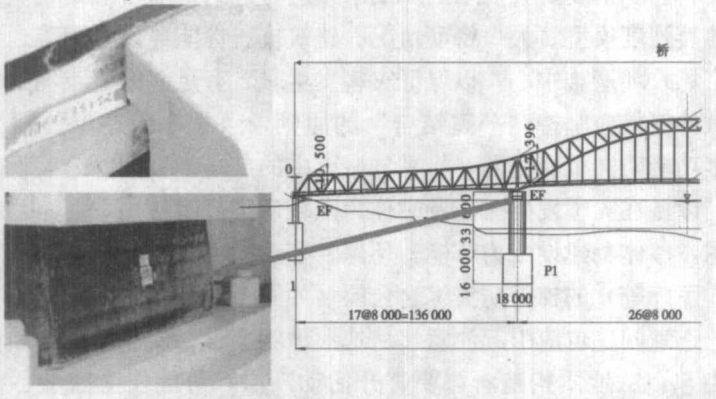


图 19 北上大桥震后支座残余变形

阪神地震后，日本对道路桥示方书（规范）进行了修订，对于复杂桥梁均要通过地震反应时程分析来确定其在大震下的力学性能，并引入性能设计方法进行设计，以控制主结构塑性变形发生的位置及先后次序（图 17）。性能设计方法是目前公认的确保结构安全性

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

十分有效的方法，在国外的抗震实例中已被证实，如日本的北上大桥，长 430m，设计时采用性能设计的抗震方法，于 2003 年 4 月建成，建成后一个月即发生了震级达 7.0 级的三陆冲地震。北上大桥距离震中的距离为 200km，但在地震中结构完好无损（图 18），支座产生约 4cm 的残余变形（图 19）。

此外，对于城市在役结构，其日积月累的损伤是其在意外荷载作用下破坏的先导因素，研究特殊的外部条件（环境及荷载）导致的损伤机理，开展城市在役结构日积月累的环境损伤特征与突变荷载（如地震）共同作用下结构灾变规律的研究，对结构的损伤提出对策及预警措施对于保障城市在役结构的安全性具有十分重要的意义。

同时，应加强防灾减灾教育的宣传，提高公民防灾意识。开展专门的综合防灾教育，加大专业人才的培养力度；做好城市公众的安全文化宣传教育，传授灾害的知识，最大限度地提高城市公众防灾的自觉行为；加强对低年龄层灾害教育的重视；传授应对、处理灾害问题的实际技能，定期进行防灾演练，提高公众的自救与互救能力；通过各种媒体手段开展减灾宣传教育（图 20、图 21、图 22）。



图 20 日本的地震体验台



图 21 防灾体验馆鸟瞰图



图 22 韩国的移动安全体验车辆

4 结语

本文针对汶川地震的震害情况，结合当代城市及城市灾害的特点，对于涉及城市防灾的关键问题进行了探讨，针对城市防灾有关问题，并对城市防灾减灾工作提出了建议。

（1）进行合理的城市总体规划，在规划中除了考虑城市的发展速度，建筑的合理布局等外，还应设立一定规模的绿地、广场等避难场所，进一步建设梯级避难公园，设置广域多功能防灾机能公园。

（2）对于城市大型重要建筑，应遵循结构的性能设计思想，加强结构的局部与整体抗震性能，构筑多道结构安全防线。

（3）对于城市在役结构，应研究其日积月累的环境损伤与突发荷载共同作用下的破坏机理，为保障城市在役结构的安全性提供理论支持。

（4）防灾减灾意识的宣传与提高是以人为本的，防灾教育公众安全文化宣传一定要以人为主线，目的在于提高公众对灾害的重视程度以及防灾自觉行为。

参 考 文 献

[1] 建筑抗震设计规范（GB 50011—2001）. 北京：中国建筑工业出版社，2001.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[2] 包志毅，陈波. 城市绿地系统建设与城市减灾防灾. 自然灾害学报，2004，13 (2)：155－160.
[3] 马东辉，周锡元，苏经宇，钱稼茹. 城市抗震防灾规划的研究和编制. 安全，2006，(4)：3－6.
[4] 高永昭，朴学东. 城市抗震防灾规划与建筑工程震害预测. 四川建筑科学研究，2000，26 (1)：35－38.
[5] 毕于瑞，马东辉，苏经宇，范继平，郭小东. 城市抗震防灾空间布局研究初探. 工程抗震与加固改造，2008，30 (2)：118－121.
[6] 左进，周铁军，林岭. 从城市震灾的角度探析中小型城市公园的发展. 重庆建筑大学学报，2008，30 (2)：23－26.
[7] 苏幼坡，刘瑞兴. 防灾公园的减灾功能. 防灾减灾工程学报，2004，24 (2)：232－235.
[8] 曾宪云，李列平，邓曙光. 城市公共安全的现状及防灾减灾策略. 安全生产与监督，2006，(1)：44－46.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net