

基于汶川地震建筑物破坏的抗震设防要求分析^{*}

郭婷婷^{1 2}, 徐锡伟², 于贵华², 袁仁茂², 陈桂华²

(1. 山东省地震局, 济南 250014 2 中国地震局地质研究所 国家地震活动断层研究中心, 北京 100029)

摘要: 汶川 8.0 级地震给川西地区造成了严重的建筑物破坏与人员伤亡。通过大量对汶川地震灾区的建筑物破坏情况实地调查, 并根据现行建筑物抗震设防要求与建筑抗震设计规范, 从建筑物选址、抗震设计及建筑施工等多个环节, 对汶川地震中的典型建筑物破坏案例进行讨论分析, 探讨破坏原因, 并提出相应的解决措施, 为今后建筑物的抗震设防工作提供参考经验与科学依据。

关键词: 汶川地震; 建筑物破坏; 抗震设防要求; 抗震设计; 多道抗震防线

中图分类号: TU352.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-0666(2010)04-0345-08

0 引言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 四川省汶川县发生 8.0 级特大地震, 震源深度 18 km, 地震破裂持续时间为 120 s。本次地震在龙门山推覆构造带上形成两条地表破裂带, 主破裂带沿北川—映秀断裂发育, 长约 240 km; 次破裂带沿灌县—江油断裂发育, 长约 90 km (徐锡伟等, 2008)。强烈的地震地表破裂与错动使得地表破裂带沿线及其两侧靠近断层的建筑物遭受了毁灭性的破坏, 同时, 地震引发的大量山体滑坡、岩石崩塌、泥石流等次生地质灾害, 加重了建筑物破坏的程度。

汶川地震震级大、震源浅且次生地质灾害严重, 故地震灾区震害极其严重, 震中区最大烈度高达 XI 度。这场灾难性大地震引起的强烈地表破裂与错动及其引发的次生地质灾害造成建筑物倒塌、毁坏, 更造成巨大的人员伤亡与财产损失。据统计, 地震时 90% 的人员伤亡是由于各种建筑物倒塌造成的。许多专家在震后第一时间对汶川地震灾区的建筑物震害情况作了调查研究, 结合工程震害案例, 分析了汶川地震灾区的建筑物震害特点以及破坏原因 (清华大学土木工程组等, 2008; 郭婷婷等, 2009; 姜纪沂等, 2009; 任晓崧, 李梦圆, 2009)。然而, 在地震灾害不可避

免、地震预报尚未得到科学解决的现状下, 应将预防地震、减轻地震灾害的工作重点放在如何提高工业和民用建筑物的抗震设防能力上。因此, 依据建筑物的抗震设防要求, 分析汶川地震建筑物的破坏原因, 值得进一步研究与探讨。

所谓“抗震设防”, 就是在工程建设时对建筑物防御地震灾害所采取的抗震措施, 主要是指各类建设工程必须按抗震设防要求、抗震设计和施工规范进行抗震设计、施工。建筑物的抗震设防应该贯穿整个建筑工程的选址、设计、施工等各个环节 (卢寿德, 2006。), 这 3 个主要环节是相辅相成、密不可分的, 都必须按照国家相关标准、规范严格执行。

本文将结合汶川地震中受灾区的实际建筑物破坏情况, 从建筑物的选址、设计、施工等抗震设防主要环节, 逐一分析建筑物破坏原因, 并提出相应的解决措施, 为今后建筑物抗震设防工作提供参考依据。

1 建筑物破坏原因分析及其解决措施

根据汶川地震震后现场考察与分析, 灾区建筑物结构破坏情况复杂多样, 且破坏分布情况与汶川地震发震断裂有着密切的关系。

从建筑物破坏的具体情况上分析, 汶川地震

*收稿日期: 2010-03-17.

基金项目: 国家自然科学基金 (40940003)、中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (IGCEA0907) 和山东省地震局博士科研项目联合资助。

灾区建筑物的破坏类型呈多样性，主要表现形式有：砌体结构构造柱断裂、承重墙体开裂、楼梯破损、甚至整体坍塌等；钢筋混凝土框架结构的框架柱梁破坏、个别墙体与柱连接处开裂、填充墙体开裂等。

从宏观上分析，汶川地震灾区建筑物破坏分布情况与汶川地震发震断裂有着密切的关系，主要表现为以下特征：（1）与地震断层同震错动密切相关；（2）断裂带及附近的建筑物破坏严重，远离断裂带的破坏情况相对较轻；（3）位于逆冲发震断裂上盘的建筑物比下盘的破坏严重；（4）地震引发的山体滑坡与崩塌等次生灾害加重了建筑物的破坏。

现从建筑物抗震设防要求的确定（即抗震设防标准的执行）以及建筑物抗震设防的三个主要环节，逐一分析汶川地震灾区的建筑物破坏原因，并提出相应的防御措施。

1.1 提高相应抗震设防标准

汶川 8.0 级地震为南北地震带上川西历史上震级最高的一次地震。据震前我国的主要城镇抗震设防烈度标准，北川、汶川、绵竹、都江堰等地区抗震设防烈度仅为 VII 度，而本次地震对这几个地区的影响已远超过 VII 度，都江堰市达到 IX 度，绵竹市达 X 度，震中附近的映秀、北川的烈度高达 XI 度，可见，震前当地所采用的设防地震烈度严重不足。

据现行建筑抗震设计规范与相关研究成果（高小旺，鲍霭斌，1989），可以理解“大震不倒”是指地震发生时，实际地震烈度比抗震设防烈度高 1~1.5 度时，建筑物应当不倒塌。但是对于汶川地震震中及附近的高烈度地区，建筑物很难避免倒塌。事实表明，应当对当地的抗震设防标准作相应的修订与改善。

在汶川地震中，大批医院、学校等人员密集场所的楼房坍塌，造成大量人员死亡。故对于医院、学校等人员聚集的公共活动场所，应适当提高抗震设防等级，确保这类公共建筑的安全性。

此外，据实地考察，相对受灾城区，农村地区房屋倒塌情况更为严重。城区建筑物基本能够按照国家制定的抗震设防标准去设计、施工，抗震能力相对较好。但是，广大农村的自建房屋，大多都存在重大抗震设防缺陷，故建议加强对强震区农村自建房屋执行抗震设防标准的引导与监督。

1.2 建筑工程选址问题

建筑物的工程场地选择是建筑工程抗震设防的首要环节。要使建筑物能够抵挡地震灾害的破坏，选址是前提与基础，只有确定正确的选址方法和方案，建筑抗震设计与施工才能是有效可行的。

1.2.1 避开断裂带以及沿线附近

实地考察汶川地震受灾区的建筑物破坏情况可知，直接建在断裂带上及断裂带沿线上的房屋大多数发生严重破坏。越靠近断裂带，建筑物破坏越为严重，远离断裂带的建筑物破坏则稍轻。

在中央断裂带的虹口深溪沟处，由于发震断裂从山脚附近穿过，逆冲形成逆断层陡坎（上盘发生垮塌），故而形成一条新的沟（图 1）。测量该处最大垂直位移量为 3 m，右旋位移量 4.5 m。此处，修建于断裂带上的农家房在地震中坍塌，坠至沟底，下落了 3 m 多。

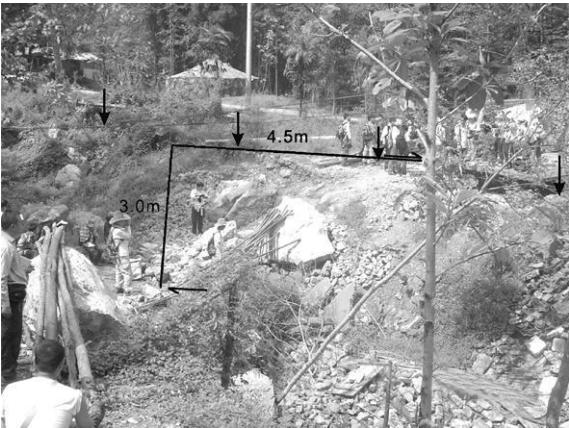


图 1 修建于断裂带上的农家房坍塌坠落

Fig 1 Fam house built on the fault collapsed

汶川地震中，建筑物破坏最严重的是地震烈度达 X~XI 度的极震区，它们主要位于北川县城（XI 度）及周边、映秀（X 度）等地。北川县城完全毁灭，整个断层带上的建筑物几乎无一幸免。断层从县城穿过，靠近断层的建筑物遭到毁灭性破坏。映秀镇及其附近的建构物也遭到毁灭性破坏。断层穿过河流与公路，河流形成跌水陡坎，路面发生严重变形，形成陡坎（图 2）。图中公路旁边的在建建筑物，其主体结构已建成，但由于几乎是跨在断裂带上建造的，故建筑物结构破坏严重（图 2）。

为进一步定量分析建筑物破坏情况与地表断裂的关系，根据实际建筑物破坏与地表变形测量



图 2 映秀公路旁在建建筑物结构严重破坏
Fig 2 Buildings under construction beside Yingxiu Road was severely damaged

资料，笔者在虹口镇小鱼洞处进行地形差分 GPS 测量与建筑物实地调查，其测线剖面与实拍照片如图 3 所示。

小鱼洞中路为典型的商业街，其两侧建筑物均为近年来新建的 2~3 层砖混建筑物，这些建筑物比较一致的结构形式与建造年代，更有利于比较断裂及其两侧的建筑物破坏情况。如图 3（b）所示，地表断裂通过约 26 m 内的地表发生严重变形，地面建筑物几乎全部倒塌；离断裂越远的建筑物破坏越轻。

以上震害案例，充分证明建筑物的选址一定要避开活动断裂带，并须根据当地实际地质情况，合理确定“避让带”宽度（徐锡伟等，2002），从而有效避开活断层同震错动对地面建筑设施的直接破坏，减轻可能遭遇的地震灾害损失。

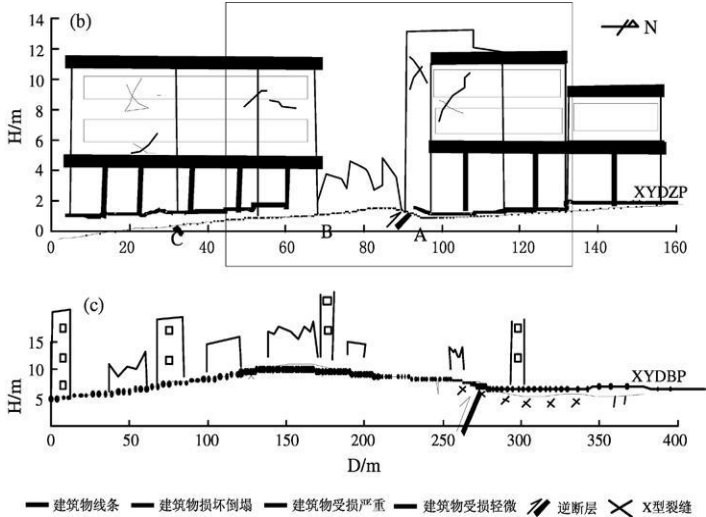


图 3 小鱼洞测线图

（a）小鱼洞中路断层通过处倒塌的建筑物；（b）小鱼洞中路测线；（c）小鱼洞北路测线

Fig 3 Measured topographic profile of Xiaoyudong

（a）collapsed buildings which went through the fault（Xiaoyudong Middle Road）；（b）survey line of Xiaoyudong Middle Road （c）survey line of Xiaoyudong North Road

1.2.2 避开地震地质灾害危险地段

汶川地震中，建筑物遭受严重破坏的另一个重要原因是强烈的地震地表破裂与错动引发了大量山体滑坡、岩石崩塌等次生灾害。地震发生时，规模巨大的崩塌、滑坡体瞬间倾泻而下，掩埋城镇、堵塞河流并切断道路。滑坡体前缘的强烈冲击波，摧毁前方及周边的建筑物，形成弧形破坏带。以北川县城为例，地震瞬间，王家岩山体滑坡掩盖了北川老县城的五条街区（图 4），几乎所有建筑物全部被

掩埋于厚厚的滑坡土体之下，造成的死亡人数多达 1 000 人。与此同时，山体崩塌灾难性的吞没了整个北川中学新区（茅坝中学）的教学楼（图 5），伤亡学生及其他相关人员多达千人。

山体崩塌等严重次生地质灾害会造成大面积建筑物与人员的彻底掩埋，因此，这种地震灾害不是单纯靠提高建筑物质量能避免的，只能选择避开有可能发生山体崩塌的地段。故建筑物选址，除了避开活动断裂带，还应避开地质灾害危险地段。



图 4 北川老县城山体滑坡

Fig 4 Landslides in the old section of Beichuan County



图 5 北川新城区山体崩塌

Fig 5 Bedrock collapse in the new section of Beichuan middle school

1.3 抗震设计问题

建筑物的抗震设计是建筑工程抗震设防的中间环节。建筑物抗震性能的好坏，除了要保证建筑工程场地的正确选取以外，一个好的工程抗震设计也是很关键的环节。国内外多次地震灾害实例表明，具有一定抗震设计的建设工程能有效的减小地震波的袭击（黄双华，1996）。要确保建筑物的抗震性能，须依据现行建筑抗震设计规范，做好抗震结构体系选取、非结构构件设计、隔震和消能减震设计等工作（国家质量监督检验检疫总局，2001）。

1.3.1 抗震结构体系选取

抗震结构体系是抗震设计考虑的关键问题，应根据建筑物抗震设防类别、烈度、建筑高度、场地条件等多种因素综合确定。目前，抗震结构体系主要有砌体结构、框架结构、框架剪力墙结构、剪力墙结构、钢结构等。本次地震发生在川西地区，当地城镇建筑物主要为砖混结构和框架结构。现根据地震灾区主要建筑物类型的结构体系破坏实例，分析如下。

(1) 框架结构优于砌体结构

汶川地震中大量倒塌的多层建筑物都是砌体结构。在北川县城内正在施工中的两座相邻建筑物主体结构均已基本完成（图 6）。图 6a 为震后的框架结构，其主体结构完好无损；图 6b 为震后的砖混结构，砖混结构的建筑物也根据建筑抗震规范，作了相应的抗震设计措施，如现浇钢筋混凝土构造柱、现浇钢筋混凝土楼板等，但由于砖混结构自身的抗震结构性较差，结果仍发生了严重的结构破坏。从图中的鲜明对比，不难得出结论。

对于多层建筑物，考虑到建筑物的抗震性能，应首选框架结构。



图 6 相邻两座在建工程的震后结构情况对比
(a) 框架结构结构性完好；(b) 砖混结构结构破坏严重

Fig 6 Comparison of post-earthquake structural condition of two adjacent buildings during construction in Beichuan County

(a) structural performance of framework structure is perfect
(b) brick-concrete structure suffers serious damage

对于要求采取砌体结构的建筑物，其设计必须按照抗震规范要求严格执行，严禁使用预制板。汶川震害实例证明，预制板与圈梁的连接、与墙体之间的连接非常脆弱，在地震的水平剪切作用下，它们之间的连接极易失稳，发生脱节，且会发生由一块预制板的塌落，引发多米诺骨牌效应的多层楼板的连续倒塌与叠压（图 7），造成巨大的损失。



图 7 预制板引发的多米诺骨牌效应
Fig 7 Domino effect triggered by prefabricated slabs

(2) 使结构体系具有多道抗震防线

多道抗震防线是抗震概念设计的重要部分，一个好的抗震结构体系，应由若干个延性较好的分体系组成，并相互连接起来协同工作，避免因部分构件破坏而导致整个体系丧失抗震能力。以框架剪力墙体系为例，其主要由延性框架和抗震剪力墙两个结构体系组成，主要抗剪切力构件是抗震剪力墙，为第一道防线，当抗震墙在一定强度的地震作用下遭受可允许的损坏，其刚度降低，并吸收相当的地震能量后，框架结构系统可起到第二道抗震防线的作用。

震区的砌体结构与框架结构发生严重破坏，主要体现在：砌体结构的构造柱断裂、圈梁破损（图 8）、承重墙体开裂、整体坍塌等；钢筋混凝土框架结构的框架柱破坏、填充墙体开裂楼梯间破损等。

分析以上破坏案例可知，对于砌体结构，应严格按照抗震规范要求，设置钢筋混凝土构造柱和圈梁，并确保两者的连接，以便加强建筑物的稳定性，提高多层砌体结构的抗震性能。构造柱、圈梁虽然不能提高结构的抗震承载力，但作为约

束构件，可以提高墙体的延性。在大震作用下，砖墙被破坏后，被圈梁构造柱箍起的墙体还可不倒塌，这就形成了抗震的第二道防线。



图 8 构造柱与圈梁受力失效
Fig 8 Loading failure of constructional column and ring beam

鉴于纯多层框架结构的破坏案例，在汶川地震中多为“强梁弱柱”类型的破坏形式（图 9），即框架结构的柱端发生裂缝或破损，而框架梁却完好无损，或柱倒塌，梁随之倒塌，这就不能达到抗震设计目的。图 9 为现场考察的映秀镇漩口中学主教学楼，在地震中发生部分坍塌。现场分析其原因，主要是该教学楼的竖柱太细且截面配筋细而不足，呈“强梁弱柱”类型。因此，抗震设计与施工应保证“强柱弱梁”的延性框架，“强柱弱梁”即在地震时，保证让梁端先出现裂缝，形



图 9 “强梁弱柱”类型的破坏案例
Fig 9 Damage case of strong beam and weak column

成塑性铰来吸收一部分地震能量，梁为第一道防线，柱为第二道防线，从而避免柱子先于梁遭受破坏。同时，也可以适当的在大跨度框架结构中墙体位置处增设剪力墙，或在柱间设置支撑等，来形成抗震的多道防线。大震发生时，让其增设部件作为结构的“第一道防线”率先破坏，消耗地震能量，减小对整体结构的破坏程度，从而保护主体结构的安全。

(3) 尽量避免刚度不连续结构体系

通过地震灾区建筑物破坏情况的调查，可知：底层框架砖混结构的建筑物，也是发生严重破坏的结构类型（图 10）。由于这种结构的底层框架与上层砖混的结构不同，造成建筑物结构的强度和刚度不连续，这种不连续性会造成局部薄弱部位产生过大的应力集中。若该部位没有作特别加强性设计，便会提前于相邻部位进入屈服状态，刚度进一步减小。在地震反复作用下，该部位的塑性变形集中，最终可能导致严重破坏甚至倒塌，故其抗震性能很差。在地震多发、高烈度地区应尽量避免采用此类建筑结构体系或需要采取特别加强性设计与措施来提高其抗震能力。



图 10 底层框架砖混结构发生严重破坏
Fig 10 Brick-concrete structure of bottom frame was seriously damaged

(4) 确保各构件之间的连接

震区现场可见，许多建筑物的破坏是由于建筑物各构件之间连接性失效造成的。映秀镇漩口中学宿舍楼为典型的砖混结构，震后没有发生坍塌，从外观看其主体结构相对完好，但其窗间墙体发生较为严重的剪切破坏，出现大量“X”形的

裂缝，墙体局部已发生崩塌现象，建筑整体结构已经严重受损（图 11）。究其原因，则是砌块墙体为脆性材料，抗压能力尚可，但其抗拉、抗剪强度都很低，故抗地震剪切能力较差。由于砌体结构中的墙体之间、墙体与楼盖之间缺少拉结筋的设置，在地震剪切力与竖向荷载共同作用下，使得构件以及各构件间的连接性失效，当墙体所受拉应力超过自身强度时，墙体就会产生“X”形的斜交裂缝。故对于此类砖混结构建筑物，需采取墙内设置拉结筋等措施，加强承重墙体的抗剪切能力，确保各构件之间的可靠连接。



图 11 映秀镇漩口中学宿舍楼剪切破坏
Fig 11 Dormitory of Yingxiu Middle School suffered shear damage

1.3.2 非结构构件要求

非结构构件主要包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备。常见非结构构件为隔墙、女儿墙、走廊栏杆、装饰吊顶等，均应进行抗震设计与施工。非结构构件的损坏不会直接造成建筑主体结构的破坏，但若与主体结构连接不牢固，地震时易倒塌坠落砸伤人员或损坏物件，因此非结构构件与主体结构之间应做可靠锚固与连接。

以北川县计划生育服务站办公楼的破坏情况为例（图 12）。图中主体结构相对完好，但外走廊的栏杆砖墙几乎全部倒塌。栏杆砖墙作为非结构构件，最好采用现浇钢筋混凝土结构，但若是采用砖砌筑，则应根据相应的规范要求（国家质量监督检验检疫总局，2001），在外走廊砖砌围栏墙内与主体构件之间设置拉结钢筋，以便两者之间具有可靠连接与锚固。但是本案例没有采取这些抗震措施，因而造成栏杆砖墙的全部倒塌。



图 12 北川县计生服务站办公楼外走廊栏杆倒塌
Fig 12 Brick fence in outside corridor
of office building collapsed

1. 3. 3 隔震和消能减震设计

隔震技术是在建筑物基础与上部结构之间设置隔震器（图 13），以阻止地震能量向上传递，降低上部结构的地震反应，从而达到一定的抗震设防要求。消能减震设计则是在建筑物的抗侧力构件中设置阻尼器等消能部件，来吸收和消耗地震能量，从而减少输入主体结构的地震能量，达到降低结构地震反应的目的（田文斌，2002）。近十几年，隔震和消能减震技术应用逐渐增加，但大多应用在高烈度区的桥梁工程与高层重要建筑物中（方海等，2005；林新阳，周福霖，2002），其它建筑物上还未得到广泛应用。目前，在川西地区，隔震和消能减震新技术的应用很少。对于汶川地震灾区这样的高烈度地区的建筑物和其它地区的重要建筑物中，应采用隔震、消能减震高新技术，来提高结构整体抗震水平。

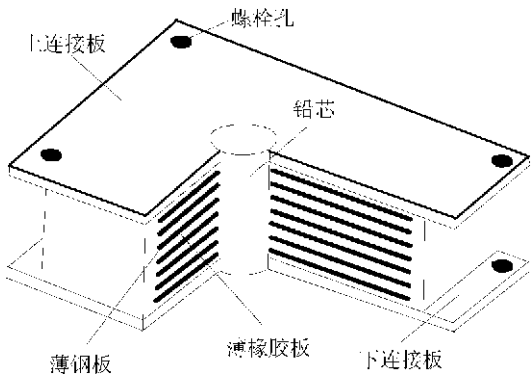


图 13 隔震橡胶支座结构示意图（田文斌，2002）
Fig 13 Structure diagram of isolation rubber bearings
(TIAN Wen-bin, 2002)

1. 3. 4 抗震建筑材料的应用

现场考察汶川地震灾区主要破坏的建筑物类型，其中砌体结构多为普通砖混结构（图 14），钢筋混凝土框架结构的填充墙体亦多为砖墙体或砌块墙体。此类砖与砌块材料均为脆性材料，刚度较大，但抗剪强度低，延性差，故其构建而成建筑物的结构整体性与抗震性能较差。为了增加建筑物整体结构性，抵抗地震剪切作用，材料选择上应减少脆性材料的应用比例，优先采用延性与韧性较好的钢筋和强度等级较好的混凝土材料，在整体抗震设计的基础上，确保建筑物具有可靠的抗震性能。例如，加气混凝土是一种具有轻质多孔、保温隔热等特性的新型建筑材料，已被广泛应用于上海大厦、福州大楼等建筑工程中。因其自重轻，地震破坏力小，故其抗震能力得到大大提高。因此，应加大对此类抗震且环保的建筑材料的研究开发力度，并将其广泛应用于实际建筑工程中，从抗震各个环节共同提高建筑物的综合抗震能力。



图 14 脆性材料使用的弊端
Fig 14 Disadvantages of using the brittle materials

1. 4 建筑施工问题

对于建筑物的抗震设防能力的影响，建筑施工的好坏，与抗震设计的优劣同样重要。在地震灾区，不少损坏倒塌的建筑物存在诸多施工质量问题，比如，悬挂的断裂楼板没有钢筋连接、砌筑砂浆不饱满、预制楼梯安装不规范造成其悬挂塌落、钢筋混凝土构件配筋不足等现象。同时，也不乏施工过程中对建筑材料把关不严问题，造成使用不合格建材情况，比如水泥标号、钢筋不合规等。在本次地震中，以上各种建筑施工质量不过关，施工过程偷工减料、不按规范严格施

工等现象，严重加剧了建筑物破坏程度。故国家应加强建筑施工质量管理，把好建筑施工与材料的质量关，并加大建筑施工监管力度，确保建筑物严格按抗震设计进行施工。

2 结论与展望

通过对汶川地震中的大量建筑物破坏情况的实地调查与分析，根据现行建筑物的抗震设防要求与建筑抗震设计规范，从建筑物选址、建筑抗震设计及建筑施工等各个环节，对汶川地震灾害中的典型建筑物破坏案例进行了破坏原因分析与讨论，初步得到以下主要结论与解决措施，可为今后建筑物的抗震设防工程提供经验与依据。

(1) 建筑物的选址一定要避开活动断裂带，须根据当地实际地质情况，合理确定“避让带”宽度。同时也要避开地质灾害危险地段。

(2) 抗震结构体系的选取应考虑：结构体系是否具有多道抗震防线、尽量避免刚度不连续结构体系、确保各构件之间的连接等问题。

(3) 隔震和消能减震设计以及抗震新型建筑材料的广泛应用将从抗震各个环节共同提高建筑物的综合抗震能力。

汶川地震虽已过去 2 年多，但是沉痛的教训不能忘记。自 2008 年以来全球板块运动进入了一个新的活跃阶段，强震频频发生。前车之鉴，后事之师。

对汶川地震亡者最好的纪念，是从建筑物破坏实例中分析问题，反省不足，解决现存问题。

参考文献:

方海, 李升玉, 王曙光, 等. 2005. 高烈度区连续梁桥的减震设计方法研究 [J]. 地震工程与工程振动, 25(6): 178—182
高小旺, 鲍霭斌. 1989. 抗震设防标准及各类建筑物抗震设计中“小震”与“大震”的取值 [J]. 地震工程与工程振动, 9(1): 58—66
郭婷婷, 徐锡伟, 于贵华, 等. 2009. 川西地区农村民居建筑物震害调查与分析 [J]. 建筑科学与工程学报, 26(3): 59—64.
建筑抗震设计规范, GB50011—2001 [S].
黄双华. 1996. 从日本阪神地震论攀枝花市的城市抗震设防 [J]. 攀枝花大学学报, 13(2): 67—71
姜纪沂, 迟宝明, 谷洪彪, 等. 2009. 汶川 8.0 级地震北川县城震害原因分析 [J]. 地震研究, 32(4): 382—386.
林新阳, 周福霖. 2002. 消能减震的基本原理和实际应用 [J]. 世界地震工程, 18(3): 48—51.
卢寿德. 2006. 中华人民共和国国家标准 GB17741—2005《工程场地地震安全性评价》[M]. 北京: 中国标准出版社.
清华大学土木结构组, 西南交通大学土木结构组, 北京交通大学土木结构组. 2008. 汶川地震建筑震害分析 [J]. 建筑结构学报, 29(4): 1—9.
任晓崧, 李梦圆. 2009. 关于提高中小学砌体建筑抗震能力的讨论 [J]. 地震研究, 32(4): 402—408.
田文斌. 2002. 建筑隔震与消能减震技术 [J]. 电学学报, 17(4): 265—267.
徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 2008. 汶川 $M_s8.0$ 地震地表破裂带及其反震构造 [J]. 地震地质, 30(3): 597—629.
徐锡伟, 于贵华, 马文涛, 等. 2002. 活断层地震地表破裂“避让带”宽度确定的依据与方法 [J]. 地震地质, 24(4): 470—483

Analysis on Seismic Protection Requirements Based on Buildings Damage in Wenchuan Earthquake

GUO Ting-ting^{1,2}, XU Xiwei¹, YU Guihua², YUAN Renmao², CHEN Guihua²

(1. Earthquake Administration of Shandong Province Jinan 250014 Shandong China)

(2. National Center for Active Fault Studies Institute of Geology CEA Beijing 100029 China)

Abstract

$M_s8.0$ Wenchuan earthquake brought about serious buildings damage and casualties in western Sichuan. Now that earthquake prediction has not yet resolved scientifically at present, our emphasis of earthquake prevention and earthquake disaster mitigation should be put on how to improve capacity of fortification against earthquakes of industrial and civil buildings. In this paper, according to seismic protection and the Code for Seismic Design of Buildings, typical buildings damage and its causes were analysed and discussed from buildings location, seismic design, buildings construction and other aspects. It is suggested that corresponding measures which can provide experience and basis for seismic protection of buildings.

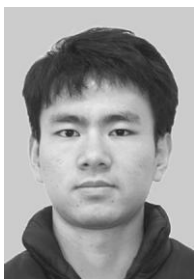
Key words: Wenchuan earthquake; buildings damage; requirements for fortification against earthquakes; seismic design; seismic defensive line of multitrack



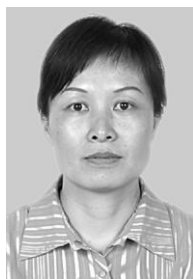
徐桂明 江苏省地震局高级工程师。毕业于河海大学水文地质与工程地质专业，获学士学位。主要从事地震流体预报地震工作。中国地震学会地震流体专业委员会委员。



刘 锦 广东省地震局工程师。1991年毕业于防灾技术学院应用地球物理系，获大专学历；2004年毕业于华南理工大学工商管理系，获管理学学士学位。主要从事地下流体分析预报等研究。



阮 祥 四川省地震局预报研究所助理工程师。2004年云南大学固体地球物理专业毕业，获理学学士学位；2007年中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获理学硕士学位。目前从事地震学与地震预报方面的研究。



杨晶琼 云南省地震局高级工程师。1990年毕业于云南师范大学地理系，获理学学士学位。主要从事地震分析编目与数字地震资料应用研究工作。



蒋翠荣 河北省地震局张家口中心台工程师。1985年毕业于河北电大。现主要从事地震台站监测工作。



王建军 甘肃省地震局工程师。1996年毕业于防灾科技学院地球物理系；2008年兰州地震研究所固体地球物理专业毕业，获硕士学位。曾参与开发中国地震前兆数据处理系统、中国地震前兆数据管理系统，现主要从事地震监测、软件开发、地磁基本场研究等方面的工作。



郭婷婷 山东省地震局助理研究员。2004年毕业于西北农林科技大学水利与建筑工程学院，获硕士学位；现就读于中国地震局地质研究所攻读博士学位。主要从事构造应力场分析及其相关数值模拟等工作。



马文娟 宁夏地震局工程师。1999年毕业于宁夏大学数学系软件工程专业，获理学学士学位；现为同济大学在读硕士研究生。主要从事前兆观测技术、数据处理、数据库开发利用等研究。2009年中国地震局地壳应力研究所交流访问学者。



单维锋 防灾科技学院讲师。1998年毕业于山东大学威海分校计算机应用专业；2005年毕业于云南大学软件工程专业，获硕士学位；现于北京工业大学计算机学院攻读博士学位。主要从事地震前兆数据处理、并行计算等方面研究工作。ACM专业会员，新加坡国际计算机科学与技术协会 (IACSIT) 会员。

注：钱晓东、张希、苏琴、张昱、刘强、施伟华、吴立辛、曾宪伟、何案华、周光全的简历分别刊登在本刊 Vol 29 No 1; Vol 30 No 3 Vol 32 No 2 Vol 31, No 3; Vol 30 No 4 Vol 30 No 4 Vol 30 No 1; Vol 31 No 2 Vol 31, No 3 Vol 29 No 4