

汶川 8.0 级地震云南灾区震害特征及地震烈度^{*}

施伟华, 谢英情, 张彦琪, 陈坤华

(云南省地震局, 昆明 650224)

摘要: 介绍了汶川 $M_s 8.0$ 地震云南灾区的地理环境和地质构造特点。通过现场考察, 分析了云南灾区各种建(构)筑物的破坏特征及其产生的原因。阐述了地震烈度评定的方法和结果, 并总结了云南灾区的震害特点, 对恢复重建和规划发展提出建议。

关键词: 汶川 8.0 地震; 云南灾区; 震害特征; 地震烈度

中图分类号: P315.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0666(2008)增刊-0525-05

0 引言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分 04 秒, 四川省汶川县 (31°N 103.4°E) 发生 $M_s 8.0$ 地震, 其微观震中距离云南灾区最近的直线距离为 263 km。在地震中, 云南灾区 1 人死亡, 2 人重伤, 49 人轻伤, 受灾人口 (房屋轻微震害等级以上的居民) 约 148 009 人。汶川 $M_s 8.0$ 地震能量大、传播距离远, 造成云南昭通市村镇的民用、教育、卫生和其它公用房屋破坏, 生命线工程及水利等基础设施损坏。昭通市周边各州 (市) 的房屋等设施也有轻微破坏现象。

影响地面运动特征的因素很多, 如震源机制、传播路径、地形和土层条件等。建 (构) 筑物的破坏程度除了受地面运动强弱的影响外, 还与其本身的结构布局和质量有关, 因而对地震灾区的建 (构) 筑物破坏特征、烈度衰减和分布进行调查、研究和总结, 有助于灾区的恢复重建, 也将对建 (构) 筑物的抗震设计提供借鉴和参考。

1 灾区自然概况

云南灾区位于云南省东北部, 地处滇东高原乌蒙山区、金沙江下游的南岸峡谷地带, 与四川省的雷波县、屏山县、宜宾市隔江相望, 山势陡峭、地形复杂。属中亚热带气候, 春旱夏热, 四季分明, 5~10 月为雨季。

在地质构造上, 云南灾区地处扬子准地台

(I 级) 滇东台褶带 (II 级) 滇东北台褶束 (III 级), 地质构造格局为发育 NE 向、NW 向及近 EW 向 3 组区域褶皱、断裂, 主要断裂为全新世活动的 NW 向马边—盐津断裂及晚更新世活动的 NE 向五莲峰—华蓥山断裂。该区域为马边—大关地震带强震区, 历史上破坏性地震发生频繁, 共有 74 次 $M \geq 4.7$ 地震, 其中 6.0~6.9 级地震 5 次, 7 级以上地震 3 次。云南灾区发生过 1917 年大关 7.1 级、1974 年大关 7.1 级大地震。

2 震害调查方法

2.1 房屋分类

按中国地震局地震现场工作大纲和技术指南 (1998), 结合震区的实际情况, 我们将房屋分为以下 4 种类型:

(1) 土 (石) 木结构房屋: 云南农村传统的木穿斗“人”字型木屋架承重, 主要为夯土墙或石块砌筑的墙、两面坡瓦顶房屋。多数为每楹五柱, 少数为每楹三柱, 墙体起围护作用, 一至二层, 部分房屋由墙体承重, 为土搁梁或石搁梁房屋。绝大多数为农村住房。

(2) 砖木结构房屋: 主要为木穿斗“人”字型木屋架承重、砖墙、两面坡瓦顶房屋, 或者砖墙“人”字型木屋架瓦顶房屋, 由砖柱、砖墙承重。一至二层, 数量少于土木结构房屋, 主要为乡村学校、商店、仓库或宿舍用房。

(3) 砖混结构房屋: 主要由砖墙或石块砌筑墙承重, 多数有圈梁, 少数设置有构造柱, 预制

^{*} 收稿日期: 2008-07-22.

板或钢筋混凝土现浇注楼板和屋盖。主要为城镇的商店、办公和宿舍用房

(4) 框架结构房屋：钢筋混凝土梁柱承重，现浇楼板和屋盖，砖围护墙，数量少于砖混结构房屋，主要为办公楼、商店、教学楼和车间。

按照国家质量技术监督局《地震现场工作第 4 部分：灾害直接损失评估》(2005) 规定，土(石)木和砖木结构房屋为简易房屋，砖混和框架结构房屋为非简易房屋。

2.2 调查方法

我们用震害指数量化地表示房屋震害程度。本次地震烈度考察中，我们对调查点的各类房屋逐栋进行了震害等级评定，取其相应的震害指数。房屋的震害指数 $i=0$ 表示完好， $i=1$ 表示毁坏。对于非简易房屋而言，按其破坏程度，从轻到重共分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏 5 个等级。通过现场调查得到某一抽样点非简易房屋的震害等级，取其对应的各震害等级的震害指数 (表 1)。

表 1 非简易房屋的各震害等级破坏的震害指数 (d_i)

震害				
毁坏	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好
1	0.7	0.4	0.2	0

简易房屋分为 3 个震害等级，即毁坏、破坏、基本完好。该两类房屋的毁坏的震害指数就取表 1 中非简易房屋的毁坏和严重的中值、破坏就取中等和轻微的中值，具体取值列于表 2

表 2 简易房屋各震害等级破坏的震害指数 (d_i)

毁坏	破坏	基本完好
0.8	0.3	0

2.3 震害特征及分析

(1) 各类房屋

① 土(石)木结构房屋

多数房屋梭瓦，少数封火檐瓦震落。多数墙体轻微裂缝或明显裂缝，裂缝多数在纵横墙交接处、山墙上部和门窗洞附近。部分山墙上部垮塌，个别纵墙或隔墙局部倒塌。

墙体的开裂或倒塌是由于其强度低、自重较大，地震时承受的地震作用较大，加之与构架无拉接，好似一个三边无约束的悬臂结构，因而易震酥、震裂或倒塌。构架的倾斜或倾倒是由于其纵向联

系不足(一般只是檩条连接)，空间刚度差，因而易倾斜或倾倒。

墙体的破坏重于构架。构架侧向刚度小，允许有较大的侧向位移，而墙体刚度较大，允许的侧向位移较小，在地震作用下，构架与墙体的运动不一致，因而墙体易损坏或倒塌。特别是在纵向，构架的位移比墙体大得多，导致山墙破坏偏重。

② 砖木结构房屋

多数房屋梭瓦，少数掉瓦。少数砖墙或砖柱横向或斜向沿砖缝轻微开裂，个别砖墙明显裂缝。

砖柱或砖墙是承受地震作用的主要构件，砌块之间的粘结强度主要由砌筑的砂浆标号决定。如果砂浆标号偏低，或者不满浆，在地震时砌体就容易沿砖缝开裂。砌块是脆性材料，砌块的质量越差，墙体或者柱子就越容易剪裂。

③ 多层砌体房屋

部分墙体轻微裂缝，横向裂缝多数发生在墙体上部，斜向裂缝多数发生在门窗洞口四角。个别房屋发生整体倾斜。

墙体是此类房屋的承重构件。砌块是脆性材料，由砂浆将其互相粘结，砂浆标号低会导致墙体的主拉应力不足，在地震时产生裂缝。如果砖墙砌筑前不润砖也会影响砌块之间的粘结力，从而减小墙体的主拉应力，所以这是一道不能省略的工序。另外，有些单位和个人为利用空间，房屋的底层设计为框架结构，使得房屋底层和上部的刚度差别较大，地震时各层的位移不同步。或者立、平面布置不规整，使房屋的重心上升、偏移，地震时产生扭转力矩，导致房屋发生弯曲变形。房屋的倾斜或下沉主要是地基软弱、基础形式不当或者埋深不够造成的。

④ 钢筋混凝土结构房屋

少数门窗洞口四角出现细小的剪切裂缝。个别设计施工差的房屋梁中部出现竖向裂缝，柱的上端出现轻微裂缝。少数填充墙和柱、梁的结合部位出现裂缝，个别明显裂缝。

个别框架柱、梁的混凝土不达标，使得柱、梁的抗剪力弱，造成柱、梁出现裂缝。

工艺上的缺陷造成填充墙与柱、梁的结合部位出现裂缝。先浇灌框架，再砌填充墙，砌筑时没有填实，墙和梁、柱无连接或者连接差，都会使填充墙基本上不承担垂直荷载，降低抗剪强度。

框架对墙体的约束力小，使得墙体处于易失稳的立悬臂状态，在地震作用下墙体和框架的运动不同步，容易相互脱离，导致填充墙和梁、柱的结合部位裂缝。

对于框架结构的填充墙，在砌筑时应该待下部所砌平砖沉实以后（一般需 5 天左右）再砌顶部的斜砖，并且一定要填实、压紧。在进行Ⅷ度和Ⅸ度设防时，墙顶还应与楼板或梁拉结。

(2) 水利工程

震区的水库少数建于 20 世纪 50 年代，多数建于 20 世纪 60、70 年代。坝体有单曲石拱坝、砼面板堆石坝、粘土心墙坝和均质粘土坝。

水利系统的震害有：水库坝体变形，坝脚、坝肩的山体漏水（如绥江县会议镇的峰顶山水库，在震后坝脚、坝肩的山体严重漏水 3 处，轻微漏水 5 处）；毛石引水渠道、溢洪道轻微开裂；输水涵洞轻微裂缝或旧裂加宽、渗漏加大，闸门轻微变形（如水富县向家坝镇团结水库）；引水沟和放水沟不同程度地塌方；人畜饮水工程的蓄水池、调节池、过滤池开裂漏水，水窖开裂漏水，河堤局部坍塌。

坝两端山体的基岩较破碎，而且坡度较大，平时就容易产生不均匀沉降，在地震作用下坝体沉降加快、山体岩石的裂隙加大，导致漏水，峰顶山水库就属于这种情况。引水沟和放水沟的塌方，主要和地形、岩石破碎程度有关，地震加速了这一过程的发展。灾区的水窖多数为素砼砌筑，没有铺设钢筋网，在地震作用下很容易开裂。

(3) 生命线系统

交通系统的震害有：路面开裂、下沉，路基下沉，边坡塌方，挡墙开裂，桥梁、桥翼墙受损开裂，桥涵引道开裂，涵洞开裂。

电力系统的震害有：变压器、计电箱、基杆塔受损。电杆倒塌或倾斜，输电线路拉断或受损。

通讯系统的震害有：个别光缆杆路倾斜，光

端机受损。广播电视光缆损坏，频道发射机损坏，中波发射天线受损。

给排水系统的震害有：地震后出现供水压力下降，人畜饮水的蓄水池、取水池、调节池开裂。配水管网和排水管道开裂或断裂。

电力、通讯设备应加强固定或者和基座的连接，在可能的情况下可在设备基座的底下铺设防震垫，使之吸收地震产生的能量，获得一个缓冲，从而减轻设备的震动。

震区的多数供水管道为钢管，柔性接口，少数为水泥管、铸铁管，柔性或刚性接口。多数管道较陈旧。地震动引起地表变形是供水管道破坏的主要原因，而刚性接口的水泥管和年代久远的钢管或铸铁管容易遭到破坏。在铺设管道时应尽量避开软弱或容易沉降的地段，当无法避开时就应做好地基处理，以防止地震时管道下沉过大造成的损坏。同时，逐步将管道、接口替换成抗震性能好的产品。

3 地震烈度

以现场调查资料为基础，按中国地震局《地震现场工作大纲和技术指南》（1998），以房屋的破坏程度为主，用下式计算某调查点或者评估区的加权平均震害指数：

$$I=\sum_s\sum_ji_j\lambda_{sj}\frac{n_j}{n}.$$
 (1)

式中 I 为加权平均震害指数；s 为房屋类型；i 为房屋震害等级；i 为 s 类房屋 i 级破坏的震害指数；λ_{sj} 为 s 类房屋 i 级破坏的破坏比；n_j 为调查点或者评估区的 s 类房屋的面积之和；n 为调查点或者评估区的所有类型房屋的面积之和。

以国家质量技术监督局《中国地震烈度表》（1999）为评定烈度的依据，得到评估区加权平均震害指数和烈度的相应关系如表 3。

表 3 震害指数与地震烈度的对应关系

震害指数	0~0.10	0.11~0.30	0.31~0.50	0.51~0.70	0.71~0.90	0.91~1
地震烈度	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	X	XI

震区处于山区，为统一评定烈度的标准，选择量大面广、未抗震设防的土木结构和砖木结构房屋的震害程度作为评定烈度的主要依据，并考虑其它建（构）筑物的震害和地面破坏现象加以综合评

定。对灾区 26 个居民点进行了抽样调查，其中评估区内 16 个，确定了云南地震灾区烈度为Ⅵ度（图 1）。云南灾区Ⅵ度区总面积为 1 666 km²，东北起自水富县、绥江县，西南到永善县、盐津县。

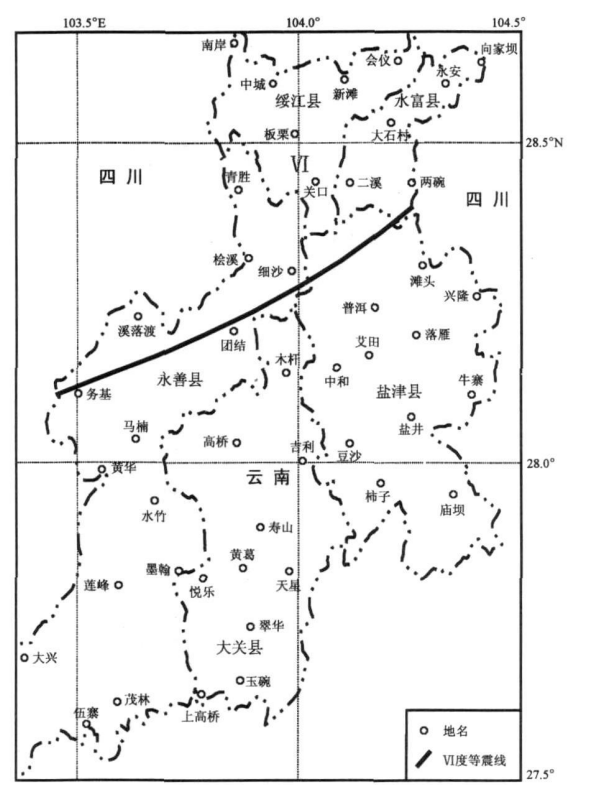


图 1 汶川 $M_s8.0$ 地震云南灾区烈度分布图

评估区各类房屋的破坏比、震害指数和评估区的加权平均震害指数列于表 4

表 4 评估区房屋的破坏比、震害指数和评估区的加权平均震害指数

房屋类型	各震害等级的破坏比 (%)					各类房屋震害指数
	毁坏	严重	中等(或破坏)	轻微	完好	
框架	0.00	0.00	0.00	22.00	78.00	0.04
砖混	0.00	0.00	1.87	24.69	73.44	0.06
砖木	0.00		26.40		73.60	0.08
土木	2.63		24.07		73.29	0.09
评估区的加权平均震害指数						0.08

4 地震灾情的特点及建议

4.1 地震灾情的特点

汶川 $M_s8.0$ 地震的云南灾区处于发震构造 NE 向龙门山断裂的南东侧，逆冲型震源破裂面的下盘，其地震动和烈度衰减明显慢于北西侧的上盘，导致破坏和波及范围较大。云南昭通市北部的绥江、水富、永善和盐津 4 个县各类房屋、生命线工程和水利等基础设施都遭受了较严重的破坏，形成了明显的 VI 度破坏区，其中包含了绥江、水

富和永善 3 个县城（图 1）。在评估区外的昭通市的大关、镇雄、昭阳、彝良、威信、巧家和鲁甸 7 个县，曲靖市的会泽县、楚雄州的永仁、元谋和牟定 3 个县，丽江市的宁蒗、华坪 2 个县，迪庆州的香格里拉、德钦 2 个县，部分乡镇的房屋、生命线工程和水利等基础设施也遭受了不同程度的损坏。

云南灾区地处滇东北高原乌蒙山区、金沙江峡谷地带，山高坡陡、地势险峻、岩土酥松、植被稀疏，自然环境恶劣，汶川地震在灾区引发了滑坡、崩塌等次生地质灾害，并留下大量次生灾害隐患，使得大量村庄处于滑坡体和危岩的威胁之下，山高坡陡亦加重了震害。由于灾区经济落后、贫困面广，与云南其他地区相比较，房屋抗震能力显著低下，导致震害较严重。加之近年来该区已连续发生多次破坏性地震，致使原本已受损的房屋在本次地震中震害进一步加重。由于多种原因，相对来说，教育系统房屋的震害要重一些。

4.2 建议

有关部门应加大基本建设抗震设防设计、施工的监管、引导和技术服务。加强震区地质灾害监测、预测和防治工作。对地处受到滑坡和危岩威胁的村庄制定搬迁方案，隐患突出的部分村落的居民应尽快转移。

云南灾区有大量上世纪五、六十年代建造，个别四十年代建造的水库，病险程度严重。水库关系农田灌溉和人畜饮水，无论在城市和农村都至关重要。历次大地震，水库的安危最受人们关注，水库一旦出问题，不但影响生产、生活，还会造成水灾，威胁生命和财产的安全。这次地震造成灾区部分水库坝体开裂，已有裂缝加宽变长变深，原有病险进一步加剧。目前正值雨季，建议有关部门对灾区的水库进行全面检查、鉴定，制定计划和设计方案，除险加固。

电力、通讯等系统的设备应加强抗震措施，特别要在如何减小设备的地震动作用方面多下功夫，如本文前面提及的在设备的基座下铺设隔震垫，就是一个比较经济而且有效的抗震措施。

对于需要重建的土（石）木结构和砖木结构房屋，为达到长治久安的效果，宜建成抗震效果较好的砖混结构房屋。由于教育系统和卫生系统的重要性，在恢复重建时应提高这两个系统房屋

的抗震设防标准。具体到新建房屋，应当注意以下几点：

一是选址要好。重新选址时，应当避开地震活动断层或者生态脆弱和可能发生洪灾、山体滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等灾害的区域。

二是设计施工水平要高。要选择有资质的设计单位和施工队伍，加强施工队伍技术能力培训。

三是建筑材料的质量要控制好。要从正规厂家购进建筑材料。

四是要加强工程监理，按规范的要求施工，坚决杜绝偷工减料。

总之，规划、设计、施工、监理四大环节都

很重要，都要严格把关，有一个环节出问题，房屋的抗震能力就保证不了。

笔者在云南灾区考察时得到了当地政府和地震系统同行的大力支持和帮助，在此表示感谢！

参考文献：

中国地震局．1998．地震现场工作大纲和技术指南 [K]．北京：地震出版社．

GB/T18208.4—2005 地震现场工作第4部分：灾害直接损失评估 [S]．

GB/T17742—1999 中国地震烈度表 [S]．

The Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake: Characteristics of Damage and Seismic Intensity in Yunnan

SHI Wei-hua, XIE Ying-qing, ZHANG Yan-qi, CHEN Kun-hua

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

The Wenchuan $M_s8.0$ earthquake caused damage to the Yunnan area. We introduce the geographic environment and geologic structures in the Yunnan earthquake area, and analyze the characteristics and reasons for the damages of various types of buildings and structures based on the field survey in Yunnan. The intensity evaluation shows that the Yunnan earthquake area is situated in the intensity VI region, the area of which is 1 666 square kilometers. According to the characteristics of the earthquake damage in Yunnan, we present the suggestions of restoration, reconstruction and projecting development in the future.

Key words: Wenchuan $M_s8.0$ earthquake; disaster area in Yunnan; characteristic of damage; seismic intensity