

# 盈江 2011 年 $M_s$ 5.8 与 2008 年 $M_s$ 5.9 地震的 震害差异及原因\*

施伟华, 陈坤华, 杨树明, 卢永坤, 张彦琪, 庞卫东, 谢英情

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 介绍盈江 2011 年  $M_s$  5.8 与 2008 年  $M_s$  5.9 地震震害调查的房屋破坏比的确定方法, 揭示了  $M_s$  5.8 地震的各种震害特征, 并将两次地震的震害差异做了对比。分析造成  $M_s$  5.8 地震各种破坏重于  $M_s$  5.9 地震的原因, 提出了震区恢复重建与规划发展的建议、建(构)筑物在选址、施工、抗震设防方面的注意事项和各类建(构)筑物加强抗震能力的措施。

**关键词:** 盈江地震; 震害特征; 震害对比; 破坏原因

**中图分类号:** P315.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0666(2011)04-0518-07

## 0 引言

2008 年 8 月 21 日 20 时 24 分云南省盈江县境内发生  $M_s$  5.9 地震, 时隔两年后的 2011 年 3 月 10 日 12 时 58 分, 其南部的盈江盆地内又发生了  $M_s$  5.8 地震。

盈江  $M_s$  5.8 地震发生后, 笔者对盈江县、陇川县、梁河县的部分乡(镇)进行了灾害调查, 调查范围涉及 21 个乡(镇)。地震灾害调查按照国家标准《地震现场工作第三部分: 调查规范》(GB/T 18208.3—2000)的要求进行。通过实地考察, 确定了宏观震中位于盈江县城—盈江农场一带, 极震区烈度Ⅷ度。调查发现, 2011 年  $M_s$  5.8 地震的破坏程度、人员伤亡以及极震区的面积比 2008 年  $M_s$  5.9 地震大。

两次地震发生在相距不远的同一县的境内, 从震级上看, 2011 年  $M_s$  5.8 地震的能量要略小于 2008 年  $M_s$  5.9 地震, 但人员伤亡和建筑物的破坏程度反而更严重, 两次地震烈度区面积的大小也有着较大的差异。是什么原因造成了这些差异?

笔者亲赴两个地震现场进行震害调查, 掌握了第一手资料, 通过分析震害调查资料和查阅历史地震震害资料, 将这两次地震的震害差异进行

对比, 对其产生的原因做了探究。希望对灾区的恢复重建提供借鉴依据。

## 1 盈江 $M_s$ 5.9 和 $M_s$ 5.8 地震的概况

### 1.1 地震参数

盈江  $M_s$  5.9 地震发生于盈江盆地的北部山地, 苏典—盈江断裂与苏典—昔马断裂的交汇部位<sup>①</sup>; 盈江  $M_s$  5.8 地震发生于盈江盆地, 苏典—盈江断裂与大盈江断裂的交汇部位<sup>②</sup>。两次地震的参数见表 1。

表 1 盈江  $M_s$  5.9 和  $M_s$  5.8 地震的参数  
Tab. 1 Seismic parameter of Yingjiang  $M_s$  5.9 and  $M_s$  5.8 earthquakes

| 发震时刻<br>年-月-日 时:分 | 震中位置        |             | 震级        | 震源深度/km |
|-------------------|-------------|-------------|-----------|---------|
|                   | $\varphi_N$ | $\lambda_E$ |           |         |
| 2008-8-21 20:24   | 25°04′      | 97°56′      | $M_s$ 5.9 | 7       |
| 2011-3-10 12:58   | 24°07′      | 97°54′      | $M_s$ 5.8 | 10      |

### 1.2 房屋破坏比的确定

房屋破坏比的确定是震害调查的重要环节之一。对于中强地震, 评定地震烈度的主要依据是各类房屋的破坏程度, 即各类房屋的破坏比。

\* 收稿日期: 2011-05-03.

基金项目: 中国地震行业科研专项(200808061)资助.

① 云南省地震局. 2008. 2008 年 9 月 20、21 日盈江 5.0、4.9、5.9 级地震灾害直接提供评估报告.

② 云南省地震局. 2011. 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震灾害直接损失评估报告.

某类房屋各级破坏的破坏比，是被调查的某类房屋的某级破坏的数量与某类房屋的被调查总量的比值。盈江地震灾区有土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构四类房屋。

按照《地震现场工作第 4 部分：灾害直接损失评估》（GB/T 18208.4—2005）中房屋破坏等级划分标准，进行房屋破坏等级的划分。

对于简易房屋，即土木结构和砖木结构，将毁坏、严重破坏合并为毁坏，将中等破坏、轻微破坏合并为破坏，保留基本完好，共划分为 3 个破坏等级：

① 基本完好（含完好）：土木结构房屋个别掉瓦或墙体细裂；砖木结构房屋非承重构件轻微裂缝，不加修理可继续使用。

② 破坏：承重构件出现位移或倾斜；土木结构和砖木结构房屋的非承重构件如围护墙体明显裂缝或严重开裂、甚至局部倒墙，普遍掉瓦或明显掉瓦。修理后可继续使用。

③ 毁坏：土木结构和砖木结构房屋二面以上墙体倒塌，屋架明显倾斜或倒塌，屋盖坍塌或完全倒塌；承重构件多数断裂或破坏严重，结构濒于崩溃。修理困难或无法修复。

对于非简易房屋，即框架结构和砖混结构房屋，将其破坏等级划分为 5 个：

① 基本完好（含完好）：砖混及框架结构房屋非承重构件轻微裂缝，不加修理可继续使用。

② 轻微破坏：砖混及框架结构房屋个别承重构件轻微裂缝，非承重构件明显裂缝，不需修理或稍加修理可继续使用。

③ 中等破坏：砖混及框架结构房屋承重构件轻微破坏，局部有明显裂缝，个别非承重构件破坏严重，需要一般修理后方可使用。

④ 严重破坏：砖混及框架结构房屋承重构件多数破坏严重，难以修复。

⑤ 毁坏：砖混及框架结构房屋承重构件多数断裂，结构濒于崩溃或已倒毁，无法修复。

盈江  $M_s5.8$  地震的各种房屋破坏比  $M_s5.9$  地震的严重，特别是在极震区，相当数量的砖混和框架结构房屋严重破坏或毁坏。笔者着重介绍盈江  $M_s5.8$  地震中各种房屋的破坏情况。

2 2011 年盈江  $M_s5.8$  地震的震害特征

2.1 房屋震害特征

(1) 盈江  $M_s5.8$  地震中，框架结构房屋个

别倒塌，少数严重破坏（承重构件断裂、墙体产生严重裂缝），部分填充墙局部倒塌、多数开裂、抹灰层普遍脱落。框架结构房屋的底层破坏严重。较典型的例子：① 盈江县城的永胜宾馆，是一座底层框架上部砖混的四层楼房。在地震时，由于垂直地震力和水平地震力的共同作用，底层塌落，彻底毁坏（图 1）；② 盈江县城的天缘超市，是一座二（三）层楼的框架房屋，沿街的部分为三层，后半部分为二层。由于该楼重心前倾，地震中底层沿街部分的前排柱子在柱上部与梁的节点处，由酥裂、弯曲开始，慢慢倾斜折断，数分钟后楼房斜趴在地上，彻底毁坏（图 2）；③ 盈江县星星佳园，框架结构房屋底层柱体的上端混凝土酥裂、钢筋弯曲外露（图 3）。



图 1 永胜宾馆底层坍塌

Fig. 1 First floor of Yongsheng hotel collapsed



图 2 天缘超市前倾坍塌在地

Fig. 2 Forward tilt of Tianyuan Supermarket collapsed

(2) 砖混结构房屋个别毁坏、少数严重破坏。构造柱断裂、墙体开裂、位错，部分房屋墙体“X”型裂缝贯通，多数墙体开裂明显。与框架结构房屋一样，砖混房屋也出现底层破坏较重的现象。较典型的有：① 盈江县糖厂的三层的办公楼，其底层的破坏比二、三层严重得多（图4）；② 盈江县玉锦公司，原为3层砖混结构，后在屋顶加一层轻质房。现浇楼板，无构造柱。震后第一、二层坍塌，造成人员伤亡（图5）。砖混房屋的震害累计现象突出，较典型的有：盈江县国土资源局的三层砖混办公楼，地震前只有底层的墙体开裂，第二、三层基本完好，位于中等破坏等级。地震后，破坏等级提高了二级，升为毁坏（图6）。



图3 星星佳园框架房屋的柱子上部钢筋弯曲外露  
Fig. 3 Pillars of the upper frame house exposed steel bending in Xingxing Residential Quarter

(3) 穿斗木屋架的砖木结构房屋个别倒塌，少数屋架倾斜，部分墙体“X”型严重开裂或局部倒塌，另有部分房屋墙体稍有倾斜、变形、开裂或局部墙面抹灰层脱落，多数房屋普遍梭瓦、掉瓦开天窗。灾区相当数量房屋采用空心砖作为承重墙，俗称的“墙搁梁”的砖木房屋，其抗震能力低下，在本次地震中大量严重破坏或倒塌。在地震中死亡的25人中有11人都是由于空心砖墙倒塌而受伤致死。

(4) 少数土木结构房屋倒毁，部分房屋出现墙体倒塌、屋架倾斜现象。其余房屋墙体普遍稍有倾斜、变形、开裂，梭瓦、掉瓦现象。穿斗木屋架土木结构房屋比没有木屋架，土坯（或夯冲土）



图5 玉锦公司三层砖混楼的一、二层坍塌  
Fig. 5 First and the second floor of a brick-concrete and three-story building of Yujin Company collapsed

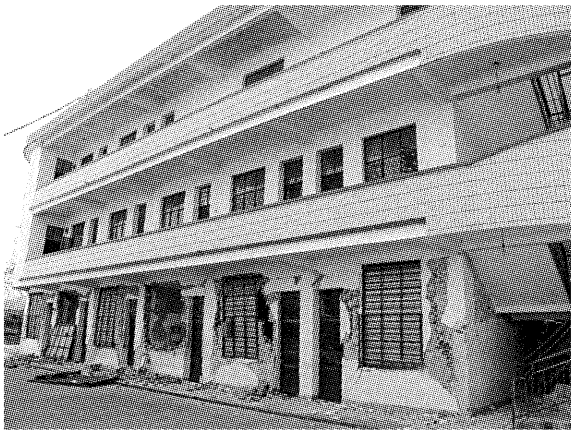


图4 盈江县糖厂的三层砖混楼的底层严重破坏  
Fig. 4 Three-story brick building of Yingjiang Sugar Plant serious damaged to the bottom



图6 盈江县国土局砖混办公楼毁坏  
Fig. 6 Brick-concrete building of Yingjiang County Land Resource Bureau destroyed

墙承重的土木房屋的震害轻得多。

2.2 工程结构震害特征

(1) 电力系统：变压器移位，电线杆倾斜、移位或下陷；线路损坏；用户电表损坏；个别高压线塔和少数高压电气设备折断或损坏。

(2) 交通系统：县乡道路路面开裂，路基下沉、开裂、塌方，挡墙开裂；桥梁桥面、路基、桥拱开裂，护栏、挡块损毁；涵洞开裂。

(3) 通信系统：电视台接收发射设备发生倾覆、移位、接头拉断现象；硬件播出系统、演播厅系统设备、摄像机、编辑系统设备受地震震动坠落、内部附件脱出、硬件出现故障；城域网光纤、Epon 接入点、用户接入电缆和长途光缆拉断，导致网络通讯一度中断；干网传输设备、光发射机、光接收机、播出监看设备、用户放大器、机房空调、机房机柜不同程度受损。

(4) 供排水系统及其它市政设施：管道拉裂，接头破坏；阀门和配水支管道受损；加压设备、加压车间和压力泵受损；消防栓及配套设施损坏；水厂处理池及其他设施受损；市政道路开裂，公园路面开裂、围栏倒塌、湖心亭柱子破坏，绿化带、市政照明等设施损坏。

(5) 水利工程结构：蓄水池、管网等开裂漏水，沟渠开裂、局部垮塌；挡墙开裂、基础下沉。江堤路面开裂、下陷；防洪站房、水文站房受损。

2.3 地表破坏

极震区地表开裂，砂土液化引起地面沉陷和大量喷沙冒水，贺哈村和附近江堤两侧出现大规模的喷沙冒水现象。在弄璋镇贺哈村一带，发育宽数百米，长千米的地裂缝带。其中，沿大盈江南岸江堤公路分布的地裂缝规模及变形强度最大，该地裂缝长约 3 km，宽 1~40 cm，垂向落差可达 40 cm。

3 两次地震的震害对比

3.1 人员伤亡

地震造成的人员伤亡数量由有关部门在现场统计上报得到。

死亡是指因地震直接或间接致死，以及在地震灾害损失评估期间死亡的人员。重伤是需要住院治疗的伤员。轻伤是无须住院治疗的伤员。两次地震的伤亡人数差别很大，2011 年  $M_s5.8$  地震的人员伤亡数比 2008 年  $M_s5.9$  地震大了很多（表 2）。

表 2 两次地震的伤亡人数（人）

Tab. 2 Casualties of the two earthquakes

| 地震事件               | 死亡 | 重伤  | 轻伤  |
|--------------------|----|-----|-----|
| 2008 年 $M_s5.9$ 地震 | 5  | 29  | 101 |
| 2011 年 $M_s5.8$ 地震 | 25 | 134 | 180 |

3.2 失去住所人口数

失去住所人口数是指因地震失去住所而在室外避难的人数。失去住所的人数  $T$  按下式统计计算：

$$T = \frac{c + d + e/2}{a} \times b - f.$$
 (1)

式中， $a$  表示户均居住面积； $b$  表示户均人口； $c$  表示所有住宅房屋的毁坏面积； $d$  表示所有住宅房屋的严重破坏面积； $e$  表示所有住宅房屋的中等破坏面积； $f$  表示死亡人数。参数  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$  由统计计算得到。对于简易房屋而言，破坏等级中的“破坏”就相当于非简易房屋中的“中等破坏”。

2008 年盈江  $M_s5.9$  地震中，失去住所人数为 99 480 人<sup>①</sup>。2011 年  $M_s5.8$  地震失去住所人数为 123 729 人<sup>②</sup>。

3.3 各烈度区的面积

两次地震的极震区的烈度均为Ⅷ度，但其烈度区的面积却有着较大的差别。两次地震各烈度区的面积见表 3<sup>①,②</sup>。

表 3 两次地震各烈度区的面积（km<sup>2</sup>）

Tab. 3 Area of intensity zone of the two earthquakes（km<sup>2</sup>）

| 地震事件               | Ⅷ度 | Ⅶ度  | Ⅵ度    | 面积合计  |
|--------------------|----|-----|-------|-------|
| 2008 年 $M_s5.9$ 地震 | 26 | 391 | 4 094 | 4 511 |
| 2011 年 $M_s5.8$ 地震 | 70 | 490 | 3 620 | 4 180 |

① 云南省地震局. 2008. 2008 年 8 月 20 日、21 日盈江 5.0、4.9、5.9 级地震灾害直接损失评估报告。  
② 云南省地震局. 2011. 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震灾害直接损失评估报告。

3.4 房屋破坏比

在地震现场通过对各个调查点的各类房屋的破坏情况的调查, 计算得出各类房屋的各级破坏

的破坏比, 列于表 4<sup>①、②</sup>、表 5<sup>①、②</sup>。从表 4、5 中可以看出, 2011 年  $M_s5.8$  地震的各类房屋的破坏比 2008 年  $M_s5.9$  地震更严重, 特别是框架结构和砖混结构房屋。

表 4 两次地震简易房屋的破坏比  
Tab. 4 Simple house damage ratio of the two earthquakes

| 地震事件        | 烈度区       | 结构类型 | 各级破坏比 (%) |       |       | 地震事件        | 烈度区       | 结构类型 | 各级破坏比 (%) |       |       |
|-------------|-----------|------|-----------|-------|-------|-------------|-----------|------|-----------|-------|-------|
|             |           |      | 毁坏        | 破坏    | 基本完好  |             |           |      | 毁坏        | 破坏    | 基本完好  |
| $M_s5.9$ 地震 | Ⅷ         | 砖木结构 | 39.86     | 45.23 | 14.91 | $M_s5.8$ 地震 | Ⅷ<br>(县城) | 砖木结构 | 60.44     | 33.29 | 6.27  |
|             |           | 土木结构 | 25.55     | 62.04 | 12.41 |             |           | 土木结构 | 64.36     | 30.16 | 5.48  |
|             | Ⅶ         | 砖木结构 | 6.17      | 37.25 | 56.58 |             | Ⅷ         | 砖木结构 | 30.33     | 66.95 | 2.72  |
|             |           | 土木结构 | 5.17      | 47.66 | 47.17 |             |           | 土木结构 | 35.34     | 62.07 | 2.59  |
|             | Ⅵ         | 砖木结构 | 3.56      | 31.56 | 64.88 |             | Ⅶ         | 砖木结构 | 5.42      | 40.96 | 53.62 |
|             |           | 土木结构 | 2.16      | 24.19 | 73.65 |             |           | 土木结构 | 4.12      | 51.82 | 44.06 |
|             | Ⅵ<br>(县城) | 砖木结构 | 2.48      | 28.54 | 68.98 |             | Ⅵ         | 砖木结构 |           | 18.70 | 81.30 |
|             |           | 土木结构 | 7.84      | 13.73 | 78.43 |             |           | 土木结构 | 0.22      | 20.00 | 79.78 |
|             |           |      |           |       |       |             |           |      |           |       |       |

表 5 两次地震非简易房屋的破坏比  
Tab. 5 Non-simple house damage ratio of the two earthquakes

| 地震事件        | 烈度区    | 结构类型 | 各级破坏比 (%) |       |       |       |       |
|-------------|--------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|             |        |      | 毁坏        | 严重破坏  | 中等破坏  | 轻微破坏  | 基本完好  |
| $M_s5.9$ 地震 | Ⅷ      | 框架结构 |           |       |       | 30.86 | 69.14 |
|             |        | 砖混结构 | 11.57     | 13.23 | 15.03 | 37.05 | 23.12 |
|             | Ⅶ      | 框架结构 |           |       |       | 16.67 | 83.33 |
|             |        | 砖混结构 | 1.82      | 4.56  | 13.67 | 27.79 | 52.16 |
|             | Ⅵ      | 框架结构 |           | 0.72  | 2.76  | 22.69 | 73.83 |
|             |        | 砖混结构 | 0.77      | 2.00  | 4.90  | 15.71 | 76.62 |
|             | Ⅵ (县城) | 框架结构 |           |       | 3.04  | 15.85 | 81.11 |
|             |        | 砖混结构 |           |       | 6.06  | 19.41 | 74.53 |
|             |        |      |           |       |       |       |       |
| $M_s5.8$ 地震 | Ⅷ (县城) | 框架结构 | 8.37      | 13.83 | 19.88 | 27.88 | 30.04 |
|             |        | 砖混结构 | 10.00     | 15.96 | 21.76 | 30.96 | 21.32 |
|             | Ⅷ      | 框架结构 |           | 18.63 | 25.16 | 31.68 | 24.53 |
|             |        | 砖混结构 | 2.01      | 8.44  | 38.68 | 34.18 | 16.69 |
|             | Ⅶ      | 框架结构 |           |       | 10.87 | 32.93 | 56.20 |
|             |        | 砖混结构 |           |       | 5.81  | 53.67 | 40.52 |
|             | Ⅵ      | 框架结构 |           |       |       | 12.19 | 87.81 |
|             |        | 砖混结构 |           |       |       | 17.57 | 82.43 |
|             |        |      |           |       |       |       |       |

4 震害差异的原因和提高抗震能力的建议

4.1 震害差异原因

(1) 震害积累

盈江县在 2008 年 5.0、5.1、5.9 级地震中屡

遭破坏, 县城处于Ⅵ度区, 许多建筑物虽然破坏不太严重, 但普遍存在“内伤”。2011 年 1 月 1 日、1 月 2 日、2 月 1 日盈江地区分别发生  $M_s4.6$ 、 $M_s4.8$ 、 $M_s4.8$  小震, 3 月 10 日再次遭受  $M_s5.8$  中强地震的破坏, 震害的积累效应使得震害加重。在云南地区的历史地震中, 震害的积累效应普遍而突出 (姜葵等, 1993)

① 云南省地震局. 2008. 2008 年 8 月 20 日、21 日盈江 5.0、4.9、5.9 级地震灾害直接损失评估报告.  
② 云南省地震局. 2011. 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震灾害直接损失评估报告.

## (2) 地基失效

盈江盆地是云南省 8 大盆地之一,沿大盈江断裂呈长条状分布,北东走向,属河流冲积盆地。盆地内主要发育第四纪及新近纪河流及湖泊沉积,地表以下 20 m 内主要为第四系冲积砂、粉质粘土和圆砾层。

发生  $M_s5.8$  地震后,盈江盆地内多处出现喷砂冒水,特别是大盈江江堤两侧多为松软的冲积砂和粉质粘土,导致地基下沉、失效,因而发生了建(构)筑物倾斜、下沉,严重开裂等震害加重的现象。

## (3) 覆盖层影响

盈江盆地的覆盖层较厚。基岩接受到的地震波相同,由于覆盖层的不同,地表反应也会大不相同。这是由于地震波携带的能量进入覆盖层后,在地表和强界面间形成多次反射,不易散失到基岩中。因此,地表的地震动将反应出场地的特征,而基岩面的埋深是控制因素,因为它决定了地震波来回反射的时间。覆盖层越厚,地震动的放大率越高,导致震害加重(施伟华等,2002,2003)。强震观测和理论研究表明,土层对地震动有放大作用,主要表现在地动位移幅度加大、震动持续时间增长等方面,尤其是软土层,这种影响更大。

## (4) 软土效应

盈江盆地的覆盖层中存在大量的软土。当地震波到达盆地时,由于软土与基底的波阻抗比不同,于是在软土与基底之间形成了波阻抗比很高的强界面,地震波在地表与强界面之间多次反射。在这一过程中,地震动被放大,加重了地面建筑物的震害。这一现象在云南的历次地震中屡次出现过(施伟华等,2002;陈立德,赵维城,1979;孙平善,1992)。

## (5) 垂直地震力的影响

本次地震震中距盈江县城 2 km,是城市直下型地震。地震发生时,建筑物的底层首先受到较大的垂直地震力,而水平地震力沿房屋的高度成倒三角形分布,底层受到的水平地震剪力最大,在这两个合力的作用下,最终导致底层破坏严重。 $M_s5.8$  地震中,垂直地震力对震害的贡献很突出,较典型的有:盈江县星星家园,其框架结构房屋

底层柱体的上端混凝土酥裂、钢筋弯曲外露就是垂直地震力作用的效果。盈江县糖厂的三层砖混结构办公楼,其底层的破坏比二、三层严重得多。底框结构的永胜宾馆,底层坍塌在地,造成整个楼房毁坏。

当地震动加速度不超过 0.5 g 时,  $a_v$  (竖向最大地震动加速度) 总是小于  $a_h$  (横向最大地震动加速度),一般而言,  $a_v$  大约是  $a_h$  的 1/2 ~ 2/3。当加速度最大值很大时 (大于 0.5 g), 那么  $a_v$  接近等于  $a_h$  (胡聿贤,1988)。

## (6) 建筑材料抗震力弱

空心砖的相互黏结面积小于普通砌砖,因而其抗剪力降低,遭遇地震后,众多住房的空心墙体或者围墙倒塌,造成严重的人员伤亡和财产损失。 $M_s5.8$  地震中死亡的 25 人,其中有 11 人是由于空心砖房屋或者围墙倒塌压埋受伤致死。

## (7) 设计缺陷

部分房屋的设计存在缺陷。如平、立面布置不合理,构造措施不到位等原因造成了部分房屋的严重损坏。比较典型的如前述的永胜宾馆、天缘超市和玉锦公司。

## 4.2 提高抗震能力的建议

以上所述的诸多原因,造成了盈江 2011 年  $M_s5.8$  地震的震害显著重于 2008 年  $M_s5.9$  地震,为了提高震区建(构)筑物的抗震性能,努力减轻地震灾害,根据震区震害特征,笔者提出以下建议:

(1) 较厚的软土地基由于地震波持续时间比较长,对上部建筑的动力效应也将增大,研究场地条件对建筑物震害的影响,加强地震地质的勘察工作,判明震害轻重的地区、地段,搞好场地选择对建筑防震抗震具有重大的现实意义。对于必须建在软土地带的建筑物,应改变建筑物的基础形式,使用承重力大的桩基、箱基或筏基。

(2) 液化地基和软土地基上的建筑物的长高比值较小时,可以增强建筑物的刚度,这对减轻因地基的不均匀沉降导致建筑物的损坏有一定效果。如果条件允许,也可以采取更换地基土的方法以避免砂土液化。

(3) 建筑材料是建筑物具备抗震能力的物质基础,不同的材料,具备着极不相同的抗震能力。

因此,要从抗震的观念上,加快改革建筑材料。同时,根据不同基本烈度和不同工程对象,尽可能选用抗震性能较好的材料,淘汰或改良性能不好的材料。空心砖比实心砖粘接面积小,抗震能力低,不应再使用。

(4) 对于容易遭遇近震作用的地区,在建筑物抗震计算设计时,必须考虑垂直地震作用的影响,特别要加强建筑物底层的抗震能力。不应再建造底层框架上部砖混的多层房屋。

(5) 提高抗震概念设计水平,注意建筑物平立面的布局,加强构造措施,注意施工质量。

(6) 云南省全面加强预防和处置地震灾害能力建设的十项重大措施实施以后,2011 年盈江  $M_s5.8$  地震灾害中,当地政府的抗震减灾工作取得明显效益。灾区于 2008 年盈江  $M_s5.9$  地震后重建的中小学校舍地震安全工程和农村民居地震安全工程经受住了 2011 年盈江  $M_s5.8$  地震考验,全部

保持完好。在下一步的恢复重建工作中,这些经验措施值得借鉴推广。

### 参考文献:

- 陈立德,赵维城. 1979. 一九七九年龙陵地震[M]. 北京:地震出版社.
- 胡聿贤. 1988. 地震工程学[M]. 北京:地震出版社.
- 姜葵,刘正荣,刘祖英,等. 1993. 澜沧—耿马地震[M]. 昆明:云南大学出版社.
- 孙平善. 1992. 施甸高烈度异常区的场地特征[A]//地震工程研究文集[C]. 北京:地震出版社.
- 施伟华,崔建文,包一峰,等. 2003. 姚安 6.5 级地震场地与震害的关系[J]. 地震研究,26(1):86-91.
- 施伟华,崔建文,吕明,等. 2002. 施甸 5.9 级地震场地与震害的关系[J]. 地震研究,25(3):299-301.
- GB/T 18208.3-2000,地震现场工作第三部分:调查规范[S].
- GB/T 18208.4-2005,地震现场工作第四部分:灾害直接损失评估[S].

## Differences between the $M_s5.8$ Earthquake Damage and the $M_s5.9$ Earthquake Damage in Yingjiang: the Possible Reason

SHI Wei-hua, CHEN Kun-hua, YANG Shu-ming, LU Yong-kun,  
ZHANG Yan-qi, PANG Wei-dong, XIE Ying-qing

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

### Abstract

We explained how to determine the house-damage ratio in the disaster areas of the Yingjiang  $M_s5.9$  earthquake in 2011 and the Yingjiang  $M_s5.8$  earthquake in 2011. Comparing the earthquake damage caused by the  $M_s5.9$  earthquake with the one by the Yingjiang  $M_s5.8$  earthquake, we found the latter is more severe than the former, and then we proposed the reason. On the Basis of the characteristics of the damage caused by the  $M_s5.8$  earthquake, we put forward the suggestions for recovery, reconstruction, planning and design for the Yingjiang disaster area, especially, we stressed the construction, the site selection, and the aseismic-fortification measures for buildings and structures in this area.

**Key words:** Yingjiang earthquake; characteristics of earthquake damage; comparison; cause of damage