

# 2009年姚安6.0级地震震害特征分析\*

陈坤华, 冉 华, 张彦琪, 郑定昌, 李正光, 施伟华

(云南省地震局, 昆明 650224)

**摘要:** 介绍了姚安6.0级地震震区的土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构房屋、生命线系统的概况及震害特征。分析了各种破坏产生的机理, 提出了震区在恢复重建与规划发展时的建议、各类建(构)筑物加强抗震的措施。

**关键词:** 姚安6.0级地震; 建(构)筑物; 生命线系统; 震害特征; 震害分析

**中图分类号:** P315.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2009)04-0387-08

## 0 引言

2009年7月9日19时19分, 云南省姚安县发生 $M_s6.0$ 地震。地震宏观震中位于姚安县官屯乡官屯村—马游村一带, 按中国地震烈度表(1999)的标准, 极震区烈度评为Ⅷ度。

地震造成村镇民用、公用、教育系统和卫生系统房屋的破坏, 还造成了水利、供排水、交通、通信、电力等基础设施破坏, 其中姚安县、大姚县受灾最为严重。

影响建(构)筑物震害的因素很多, 场地条件、建(构)筑物的结构类型、抗震设防标准及施工质量的优劣对建(构)筑物的抗震性能都有着直接的影响, 因而对震区的建(构)筑物破坏特征进行调查和总结, 对该地区的恢复重建、防震减灾是有益的。本文对震区的建(构)筑物震害特征进行介绍, 初步分析了各类建(构)筑物的破坏原因; 通过对不同建(构)筑物破坏情况的分析, 总结了建(构)筑物在选址、施工、抗震设防方面的经验教训。

## 1 震区建(构)筑物概况

### 1.1 房屋概况

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, 我们将震区

房屋分为4种类型: 土木结构房屋、砖木结构房屋、砖混结构房屋和框架结构房屋。

土木结构房屋可分为两类。抗震较好的: 两层, 穿斗木屋架承重, 土坯(或夯冲土)围护墙, 墙厚60~80 cm, 两面坡粘土瓦(或石棉瓦)屋顶; 抗震较差的: 单层, 土坯(或夯冲土)围护墙, 墙厚60~80 cm, 土搁梁屋顶, 没有木屋架, 由土墙承重。

砖木结构房屋: 砖柱承重、土围护墙、人字形木屋架; 或者砖墙承重, 人字形木屋架的房屋, 少量带有由砖柱承重的前走廊。多数为一层, 少数为二层, 数量少于土木结构房屋, 主要用作乡村学校、商店、仓库或宿舍用房。现在该类房屋的数量正逐年减少。

砖混结构房屋: 砖墙承重, 少数无圈梁和构造柱, 二至五层, 多数为城镇居民和企事业单位宿舍。在城镇, 有少量房屋的底层为框架结构, 其上为砖混结构。

框架结构房屋: 钢筋混凝土框架承重, 砖填充墙, 二至五层。数量少于多层砌体结构房屋, 多数建于1990年以后, 主要用作办公楼、商店、教学楼和车间。

### 1.2 生命线系统概况

震区的生命线系统主要包括电力、交通、通讯、水利等设施。

供电系统主要有35kV、10kV、380/220V输电线路、电杆、塔架、电力变压器、电瓷型高压电

\* 收稿日期: 2009-08-05.

基金项目: 云南省科技计划项目——城市地震安全关键技术应用与示范研究(2007CA002)资助.

气设备（主要包括断路器、隔离开关、避雷器、电流互感器、电压互感器、支柱绝缘子及变压器瓷套管等设备）。

震区的多数供水管道为钢管，少数为水泥管，部分管道较陈旧。管道接口分为刚性和柔性两种类型。其中刚性接口有焊接、丝扣连接和用青铅、自应力水泥、石棉水泥等作为填料的连接形式。柔性接口采用橡胶圈的承插式接口和法兰连接形式。地上构造物有水塔、水箱、架空管道、泵房等。

震区的交通设施主要是公路，其所包含的构造物有桥梁、路面、路基、路堑、涵洞。

通信构筑物包括电信局、中心电话站、电台、电视台的各种设施和天线塔架，架空明线、地下光缆。

水利设施主要有水库、坝塘、引水沟渠、涵洞、水窖、水池等。灾区的水库多数建于 1960 年前后，少数建于 70 年代，无抗震设防，均为均质（或心墙）土坝。多数人畜引水渠为依山傍势挖掘后，三面用素混凝土砌筑的明渠（俗称三面光）。大蓄水池为钢筋混凝土砌筑，小的为素混凝土砌筑。

## 2 建（构）筑物震害特征及分析

### 2.1 土木结构房屋震害特征及分析

Ⅷ度区：个别房屋倒毁；部分墙体有严重裂缝或大部倒塌；大多数墙体有明显裂缝或局部倒塌；梭瓦、掉瓦现象普遍；多数房屋烟囱倒塌。

Ⅶ度区：个别房屋墙倒架歪；部分墙体局部倒塌；多数墙体有明显裂缝；多数房屋梭瓦、掉瓦；部分房屋烟囱倒塌。

Ⅵ度区：除个别年久失修房屋倒塌外，主要以轻微破坏和基本完好为主，震害现象主要为墙体轻微开裂，少量梭瓦，少数房屋烟囱倒塌。

土木结构房屋破坏程度和它的结构有直接的关系。该类房屋的土墙没有和柱、梁连接，而且比较高、重，容易倒塌；就地取材的粘土的粘性差，导致土墙容易开裂；贫困山区，经济条件差，房屋年久失修是导致个别房屋倒塌的重要原因。

土木结构房屋总的破坏特征是以墙体破坏为主。山墙的倒塌率高于纵墙，其原因是山墙比纵

墙高，重心上升，易倒塌；墙体的竖向裂缝多于横向裂缝，土木房屋墙体的开裂或倒塌是由于其强度低、自重大，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。

土木房屋墙体的破坏重于构架。木构架侧向刚度小，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。在地震中，构架与墙体的运动不一致，因而墙体易损坏或倒塌；特别在纵向，构架的位移比墙体大得多，导致山墙破坏偏重；构架由于其纵向联系不足（一般只是檩条连接），空间刚度差，易倾斜或倾倒。



照片 1 姚安白鹤村土木房屋毁坏

Fig. 1 Civil house damaged in Baihe village of Yao'an

### 2.2 砖木结构房屋震害特征及分析

Ⅷ度区：个别房屋毁坏；部分墙体或砖柱倒塌；大多数墙体有 X 形裂缝或局部倒塌；普遍梭瓦、掉瓦。

Ⅶ度区：个别年久失修房屋倒塌；少数墙体局部倒塌或出现 X 形裂缝；多数墙体有明显裂缝；多数房屋梭瓦，掉瓦。

Ⅵ度区：个别老朽房屋毁坏；少数墙体有轻微裂缝；少数房屋梭瓦、掉瓦。

砖柱或砖墙是砖木房屋承受地震作用的主要构件，砌块本身是脆性材料，其强度主要由砌筑的砂浆标号决定，如果砂浆标号偏低，在地震时砌体就容易剪裂。

从工艺的角度来看，砖柱或砖墙在楼层处是抗震的薄弱部位，除楼层木梁直接嵌入砖柱或砖墙，断面削弱过大引起应力集中外，在地震作用

下，木梁对砖柱或墙的冲击使得砖柱或砖墙错位或断裂。



照片 2 沙桥镇米娅井村排沙组  
砖木结构民房开裂

Fig. 2 Brick-wood structure house cracking  
in Miya village of Shaqiao town

2.3 砖混结构房屋震害特征及分析

Ⅷ度区：部分墙体有严重裂缝（有 X 形裂缝和位于墙上部的水平裂缝）；多数墙体有明显裂缝（楼梯间墙体的裂缝多数位于层高处，室内的裂缝多数出现在纵墙上）；个别构造柱上端出现横向裂缝。

Ⅶ度区：个别墙体有严重裂缝；少数墙体有明显裂缝；多数墙体有轻微裂缝；个别门、窗过梁有有轻微裂缝。

Ⅵ度区：少数墙体出现轻微裂缝、抹灰层脱落；个别门、窗过梁细微裂缝。

多层砖混结构房屋是由纵、横墙和楼（屋）盖组成的空间整体“盒子”结构。这种“盒子”结构本来是抗震性能较好的型式。但由于砖砌体延性差，抗剪、抗拉强度低，对承受水平地震力极为不利（非明伦等，2002，2004；付正新等，2005）。

砖混结构房屋墙体剪切破坏普遍。多层房屋呈现顶、底层破坏重，中间层破坏轻的趋势，这是因为水平地震力沿房屋的高度成倒三角形分布，地震剪力底层最大，底层破坏多出现 X 形或单斜裂缝，顶层以水平裂缝为主。墙体是砖混房屋的承重构件，墙体裂缝和质量有直接的关系。砌块是脆性材料，由砂浆将其互相粘结，有些墙体砂浆标号不达标，导致墙体的主拉应力不足，地震

时产生裂缝。

部分砖混结构房屋没有构造柱和圈梁，因而破坏严重。个别房屋破坏重，是由于选址不当、地基处理不好，或平、立面布置不规整，地震扭转力矩过大。

鞭梢效应加重震害。突出屋面的房间、小亭或楼梯间破坏严重，因为这些建筑与主体结构刚度差异较大，地震时变形不协调，形成应力集中而破坏。

有些房屋建于淤泥和松散的粉砂、粉土等不良地层，因而加重了房屋震害。如姚安县大河口乡大松树村统建点，是在遭遇 2000 年 6.5 级地震后，于 2001 年恢复重建的居民点。房屋为二层砖混结构，每层有圈梁构造柱，三角形木屋架瓦顶。该点共 43 户，分为三排，其中二排建于河谷一级阶地的坡脚，一排建于河滩上。在这次地震中，建于河滩上的 13 户的房屋的多数纵墙和横墙在 1.5 米高左右出现水平通长裂缝，震害明显重于建于山脚的 30 户房屋的震害。此类水平通长裂缝的出现，是由于地震作用引起的地基失效造成的。2000 年姚安地震发生后，因场地条件影响，其震害指数明显高于周围地区（施伟华等，2003；周光全等，2006）。九年以后这种情况故地重演，这是一个典型的由场地条件差异引起的震害差异。



照片 3 官屯村小学砖混结构教学楼墙体开裂

Fig. 3 Wall cracking of thebrick structure classroom  
in Guantun village shool

2.4 框架结构房屋震害特征及分析

Ⅶ度区：个别梁柱产生明显裂缝（多数为梁中部的纵向裂缝、柱上端与梁结合部的横向裂缝）；个别墙体产生严重裂缝（多数为填充墙上部

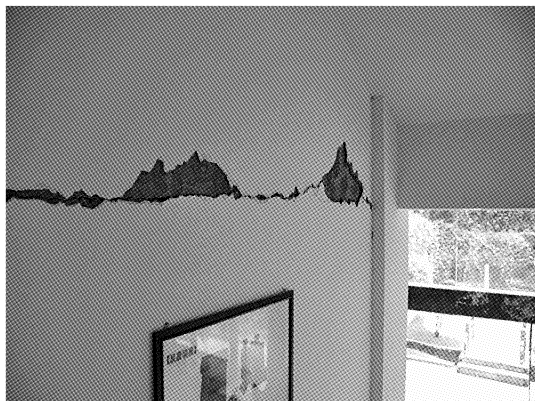
与梁结合部位的横向裂缝,个别为X形裂缝)。

Ⅵ度区:少数墙体出现轻微裂缝,部分抹灰层脱落。

框架房屋的最大问题在于填充墙和柱、梁无拉接。先浇灌框架,再砌填充墙,墙和梁、柱无连接,导致填充墙和梁、柱结合部位开裂。特别是墙上部与梁结合部位在地震力的推动下,最易开裂。

楼梯梁放置在楼梯间的墙上,梁与墙变形不协调,楼梯与楼板连接处由于刚度突变,构造上未设加密分布钢筋,混凝土强度不足造成破坏。

框架柱、梁的混凝土不达标,使得柱、梁的抗剪力弱,造成柱、梁的裂缝。



照片4 姚安县水保局框架结构墙体开裂

Fig. 4 The Water Resources Protection Bureau of Yao'an frame structure housing wall cracking

### 3 生命线系统震害特征及分析

#### 3.1 供水系统的震害特征及分析

姚安县的仁和水厂、百花冲水厂以及县城的供排水管道震裂,接头渗漏,混合反应池墙体开裂。

大姚县供排水管网遭受损坏,地震后城区出现供水压力下降,多处输水管道、供水管网断裂、变形漏水。

南华县自来水厂两组 2 000 m<sup>3</sup> 反应沉淀池管道开裂漏水,县城供水管道震裂、脱节。

地下管线是地震易损性元件,它不仅在高烈度区发生严重的破坏,在低烈度区也有发生破坏的可能。通常场地破坏会加重地下管道的震害。

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容易遭到破坏。地震引起地下管道破坏的原因可分为两类:一类是因场地破坏造成的,主要原因是在地震中引起的断层错动、地层上升或沉陷、砂土液化、土体震密、土层震裂等;另一类是由于地震波传播使其产生相对位移造成的。

属于地上结构的构筑物,它的破坏通常是由地震产生的惯性力和其他荷载共同作用引起。



照片5 左脚舞广场西北侧自来水管爆裂涌水

Fig. 5 The pipe burst and water gushing on the northwest of the Zuojiawu square

#### 3.2 电力系统的震害特征及分析

供电线电杆倒塌、线路拉断,变电站阻波器引流及刀闸引流故障,个别变压器基座震毁致使变压器悬挂空中,电表、变压器损坏,部分村镇停电。

姚安县的 35 kV、10 kV、380/220 V 线路多处受损,主要表现为电杆倒塌,线路拉断。配电变压器损坏,变电站设施受损,发电站设施受损。

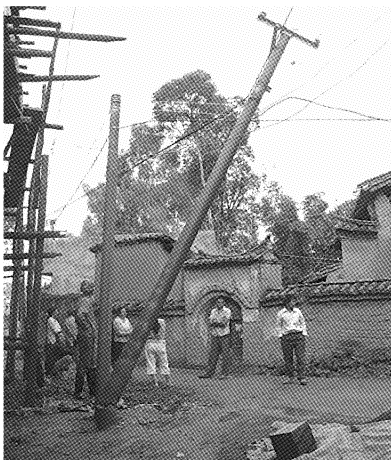
大姚县的 10 kV 仓七线路和 10 kV 石西线路等输电线路受到一定损坏,部分发电站水工设施受损,部分供电线路电杆、变压器发生倾斜。

电力变压器的破坏是由于地震使其产生位移、扭转、跳出轨道或倾倒,以致拉坏顶部瓷套管,擦坏散热器和潜油泵等附件。震害的主要原因是电力变压器浮放在轨道或基础台上,未采取固定措施或虽采取了固定措施,但方式不当或强度不足,地震时将固定螺栓剪断,拉脱或将焊缝拉开,使固定装置失效导致震害发生。尤其是带滚轮安装的电力变压器,更易产生较大的位移和脱轨倾

斜。地震时继电器保护误动作也会使变压器破坏。

电瓷型高压电气设备的震害的主要特点是绝缘瓷柱断裂，使设备倾斜或跌落，断裂大多发生往瓷柱的根部。震害的主要原因是：瓷柱为脆性材料，其储耗能力较小，加上设备的结构形状特殊，不仅又细又高，且上部重量较大，地震时瓷柱根部承受很大的弯矩，使瓷柱强度不足而发生断裂，尤其是在瓷柱与其他材料连接处，变形互不协调更易使脆性瓷柱裂损。

架空明线路自身抗震能力差，加之在复杂地段加固措施不当，在地震波、地基液化、不均匀沉降等作用下，电杆下沉、移位、歪倾、倾倒，造成线路混线、断线等，致使电力中断。



照片 6 姚安县官屯乡民用电杆受损  
Fig. 6 Civilian power-line pole damaged  
in Guantun town

3.3 通信系统的震害特征及分析

姚安县网络公司的网络器材（供电器、光发机、光收机等）损坏、光缆损坏，电杆倒塌、拉线损坏。中国移动公司的电杆倾斜，电缆断电。中国电信公司的电话会议系统损坏，造成少量的数字终端、电源等通讯设备和通讯线路受损。中国联通公司的部分网络杆路受损。姚安县广播电视局的中波天线塔拉线受损、中频接入模式“村村通”工程部分设备受损。

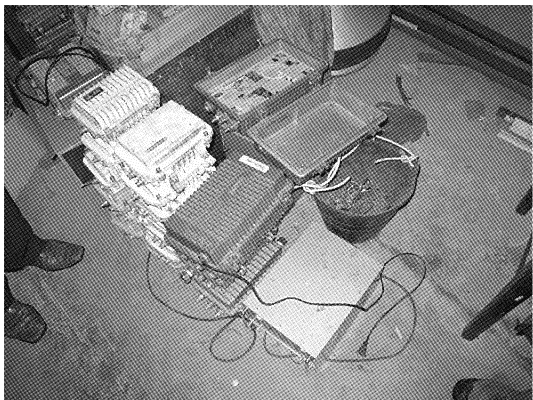
大姚县的中国电信公司部分通信线路倒杆断线。中国移动公司的中继板、时钟板、电源板等仪器损坏，部分通信线路倒杆断线。中国联通公司的交换板、电源板等仪器损坏，部分通信线路

倒杆断线。广播电视局、有线电视网络公司的天线馈管和音视频处理器损坏、部分通信线路倒杆断线，可寻址集线器损坏和接受机损坏、干线放大器损坏、供电器和数据交换机损坏。

通信设备因底部固结不牢，上部连接方式不妥，或因设备所依靠的支架、楼板或墙体破坏而受到影响。主要震害现象为：设备移位、变形、甩出、翻倒，被墙体或楼板砸毁，以及设备在变形过程中产生机械电路故障等。

架空明线路自身抗震能力差，加之在复杂地段加固措施不当，在地震波、地基液化、不均匀沉降等作用下，使电杆下沉、移位、歪倾、倾倒，造成线路混线、断线等，致使通讯中断。

地下电缆、光缆在断层运动、地塌陷、砂土液化等作用下，造成损坏。



照片 7 广播电视信息传输网络股份有限公司  
姚安支公司电源、光机、放大器损坏  
Fig. 7 The Yao'an branch Corp. of Radio and  
Television information Network Co. Ltd.'s  
transmission power light machines and  
amplifiers have been damaged

3.4 交通系统的震害特征及分析

震区交通运输以公路运输为主，公路多为山区公路，有少量国、省道。震后部分公路桥梁、涵洞和挡土墙遭到不同程度的破坏，主要表现为桥、涵洞、挡土墙开裂、路面开裂或塌陷、路基下沉或坍塌、边坡崩塌等。

受损最重的是姚安县的 8 条县（乡）公路（官屯大村公路、大河口公路、姚小公路、光左公路、前适公路、牟姚公路、仁吴公路）路基坍塌、下陷，路面开裂，涵洞开裂、挡墙开裂、桥梁的

桥面开裂。

大姚县的仓街至七街等 9 条县道受损,路面开裂,涵洞、挡墙开裂,路基塌陷。

路基的建筑材料对其抗震性能有很大的影响。一般来说,用碎石建造的路基抗震性能高,而用砂质土建造的路基容易遭到地震的破坏。用含水砂土或对震动敏感的粘结性土建造的路基,地震时可能发生液化,有时还会发生液化砂土从路堤中流出造成路基彻底破坏的现象(卢永坤等, 2006; 解丽等, 2007; 非明伦等, 2008)。因此,如果排水性能差,当路基被饱和或是在长时间降雨后路基含有大量水时,其抗震性能就会大大降低。因此,建造路基时应尽量选择性能良好的材料并注意排水。桥头路基特别容易遭受震害。路面的破坏是由于地基或作为路面基础的路基发生变形造成的。路基的沉陷、断裂等往往是路面破坏的直接原因。



照片 8 马游公路路面塌方

Fig. 8 Surface collapse of Mayou road

### 3.5 水利系统的震害特征及分析

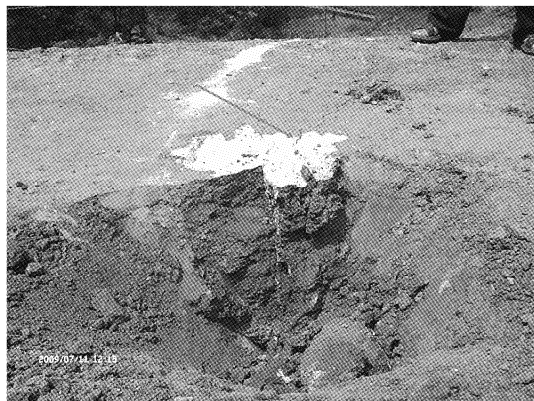
水利系统主要的破坏现象有:水库坝塘坝体开裂渗水,输水道闸门变形,不能正常启闭;输水道闸门竖井震裂,溢洪道开裂、局部垮塌,输水洞漏水。极震区各乡(镇)的管引、水窖、水池受到不同程度破坏,主要表现为开裂漏水或失效。

如姚安县官屯乡马游水库、光禄镇大康朗水库和太平镇下口坝水库,主要破坏情况有:大坝坝肩出现横向和纵向裂缝;迎水坡和背水坡出现纵向裂缝;排水沟渠出现交叉裂缝;泄洪通道山体滑坡;排水涵洞出现裂缝。

大姚县白鹤水库大坝防浪墙右坝顶出现多条裂缝、大坝右顶纵裂缝明显,长约 20 m,宽 1.5 cm;操作闸门右边漏水。初步分析是闸门水封损坏导致。马家坝水库的底涵输水隧洞断裂;小花园水库底涵闸门变形出现渗漏。

坝肩横裂缝的形成,一方面由于在坝肩的结合处,其密实程度和结合程度均较差;另一方面,坝的两端基岩坡度较大,在平时就容易产生不均匀沉降,地震时,特别是在震中附近,由于地震垂直分量的作用,易在坝肩出现横裂缝。纵裂缝(大致和土坝轴线方向一致)属于地震作用下的张性裂缝,与坝的走向有关。引水沟和排水沟的开裂、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。

水库建造年代早,无抗震设防,年久失修,是其遭到破坏的另一主要原因。



照片 9 马游水库坝顶出现裂缝

Fig. 9 Dam cracking of Mayou reservoir

## 4 结论与建议

建(构)筑物的地震破坏机制大体上可以分为地基失效和结构振动破坏两类。一般来说,前者属于静力作用,由于地基失效产生的相对位移引起结构的破坏;后者属于动力作用,由振动产生结构物的惯性力引起结构的破坏。

地基失效破坏指的是由于地震动使地基丧失其承载能力的多种破坏,例如震区常发生的断层错位、滑坡、不均匀沉陷和开裂,使地基承载力下降或全部丧失。结构振动破坏指的是各种工程结构由于地震时地基振动而产生的结构地震力引



起结构自身或结构—地基体系的破坏,包括水平和竖向振动所引起的各种破坏、扭转破坏、脆性或塑性破坏以及结构的整体或局部破坏。

根据震区建(构)筑物的震害特征,为了提高其抗震性能,努力减轻地震灾害,提出以下建议:

(1) 灾区在恢复重建和发展规划中,须按规范设计、施工,尤其应避免膨胀土、淤泥和松散的粉砂、粉土等抗震不利地段和地层。

(2) 没有木屋架,抗震差的土坯(或夯冲土)围护墙承重的墙体是易损构件,最易倒塌伤人,应尽早淘汰,以防造成严重后果。

(3) 砖墙承重的房屋应在每层楼(屋)盖水平处设置现浇的钢筋混凝土圈梁并与砖墙拉结。圈梁对多层砖房的抗震有重要作用,可以提高房屋的整体性;减少墙体在竖向的自由长度,增加墙体的稳定性,减少墙体在平面内振动的振幅,提高墙体在平面内的抗剪能力,约束墙面裂缝的开展,抵抗由地震引起基础不均匀沉降对房屋的破坏作用,提高楼(屋)盖的水平刚度和整体性。

对突出屋面的烟囱、小屋、女儿墙等,要注意做好抗震处理,不宜突出过多。采用这些构件时,要加强其本身的强度,注意构造以及同主体结构的锚固。

(4) 底框架砖混结构房屋上部重量大、刚度大,下部重量轻、刚度小,具有头重脚轻的特性,因此,在平、立面布置对称性要求上应更严格,尽量减少各层刚性的差异,以防止地震时扭转力矩的产生和运动不同步。

框架结构的边柱,特别是角柱,安全度较低,容易开裂或破坏,因此需要适当加强,除考虑垂直荷载、水平荷载外,还要考虑扭转的影响。

必须妥善考虑避免或减轻填充墙等非承重结构的震害问题。为达到这一目的,可以选择下列措施:

① 采用强度较高、自重较轻的材料作填充墙,并与框架连牢,使填充墙成为抗侧力结构的一部分与主体结构共同抗震;

② 加强主体结构(如增设剪力墙等),提高其刚度,限制建筑物的侧向变形,使填充墙不开裂

或只有小裂缝;

③ 采用许可变形比较大的材料(柔性材料)做填充墙,或者从构造上采取措施在填充墙与框架之间设置柔性接头,使主体结构变形时不强制填充墙随之同样变形,以减轻填充墙的震害。

(5) 已存在问题的水库应及早采取加固措施,作好坝体和坝基的防渗和排水措施,以降低坝体的浸润线,防止土体饱和后抗震性能降低。土坝与两岸、混凝土建筑物结合面和坝下埋管部位刚度突变,易受震害,结合面坡度宜较平缓,其土料需有较大的粘性,并经仔细夯实。选择粘性大、塑性好的土料、提高坝体填土的压实度,可显著提高坝体的抗震性能。

供水管道刚性接头应逐步替换成抗震性好的柔性接头,铺设管道时,应避开易变形或沉降的地段,对不能避开的可能产生液化的地基,应采取防止液化措施,如夯实、换土等稳定措施。

加强供电和通讯设备与基础的稳固措施,安装隔震或减震装置,使设备在地震作用下减少震动强度。

## 参考文献:

- 非明伦,崔建文,赵永庆,等.2002. 施甸地震震害分析[J]. 地震研究, 25(2): 192-199.
- 非明伦,周光全,施伟华,等.2004. 大姚6.2级地震烈度与震害分析[J]. 地震研究, 27(增刊): 70-74.
- 非明伦,朱月芬,周光全,等.2008. 汶川8.0级地震现场灾害调查统计与分析[J]. 地震研究, 31(增刊): 535-543.
- 付正新,非明伦,施伟华,等.2005. 大姚6.1级地震烈度与震害分析[J]. 地震研究, 28(2): 197-201.
- 解丽,非明伦,卢永坤,等.2007. 宁洱6.4级地震建筑物震害特征[J]. 地震研究, 30(4): 364-372.
- 卢永坤,非明伦,陈坤华,等.2006. 镇源4.6级地震典型建筑震害分析[J]. 地震研究, 29(增刊): 477-481.
- 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.
- 中国地震局.1998. 地震现场工作大纲和技术指南[M]. 北京:地震出版社.
- 周光全,非明伦,施伟华,等.2006. 1992~2005年云南地震灾害及其对农村居民的影响[J]. 地震研究, 29(4): 407-410.
- GB/T 17742-1999. 中国地震烈度表.

## Analysis of characteristics of earthquake disasters for buildings (structures) and lifeline system in the Yao'an $M_s6.0$ earthquake

CHEN Kun-hua, RAN Hua, ZHANG Yan-qi, ZHENG Ding-chang, LI Zheng-guang, SHI Wei-hua  
(*Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming, 650224, Yunnan, China*)

### Abstract

In this paper, we introduce the overview and characteristics of earthquake disasters in the earthquake struck area of the Yao'an  $M_s6.0$  earthquake, including buildings with mud-brick-wood, brick-wood, brick-concrete, and frame structures, and lifeline system. We analyze the mechanisms for various damages, and make suggestions for recovery, reconstruction, planning and development, as well as the measures for reinforcement of various buildings (structures) in the earthquake struck area.

**Key words:** Yao'an  $M_s6.0$  earthquake, Building (structures), Lifeline system, Characteristics of earthquake disaster, Analysis of earthquake disaster