

盈江 5.8 级地震的震害特征及破坏机理^{*}

陈坤华, 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: 介绍了盈江 5.8 级地震震区的建(构)筑物、生命线系统和水利设施的概况, 阐述了各类建(构)筑物、生命线系统和水利设施的震害特征及破坏机理。最后提出了震区在恢复重建与规划发展时的建议、建(构)筑物在选址、施工、抗震设防方面的经验教训、各类建(构)筑物加强抗震的措施。

关键词: 建(构)筑物; 生命线系统; 震害特征; 破坏机理; 盈江地震

中图分类号: P315.94

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0110-07

0 引言

2011年3月10日12时58分, 云南省盈江县(25°04'N, 97°56'E)发生5.8级地震, 震源深度7 km。地震发生后, 有关人员立即赶往地震现场开展震害调查工作, 对盈江县、陇川县、梁河县的部分乡(镇)进行灾情调查, 调查范围涉及21个乡(镇)。地震灾害调查按照《地震现场工作第3部分: 调查规范》(GB/T 18208.3—2000)的要求进行。通过实地考察, 按照《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)的评定标准, 确定宏观震中位于盈江县城一盈江农场一带, 极震区烈度Ⅷ度。地震造成村镇民用、公用、教育系统和卫生系统房屋和供排水、交通、通信、电力和水利等基础设施的破坏, 还造成了较大的人员伤亡。在不同的地震灾区, 地震所造成的破坏有相同点, 也有其地方特性。总结地震灾害, 揭示各种破坏的特征, 分析各种破坏产生的机理, 可从一定程度上减少地震灾害损失, 提高抗震减灾能力。

笔者对震区的各类房屋和供排水、交通、通信、电力、水利的基本情况和震害特征进行介绍, 初步分析了不同建(构)筑物设施破坏的机理。通过对不同建(构)筑物破坏情况的分析, 总结了其在选址、施工、抗震设防方面的经验教训, 根据震区的震害特征, 提出了一些防震

减灾的建议和方法。

1 盈江震区房屋、生命线系统和水利工程的概况

1.1 震区房屋概况

在1990年执行的《中国地震烈度区划图》中, 盈江县的抗震设防基本烈度为Ⅶ度。在2001年执行的《中国地震动参数区划图》中, 盈江县的抗震设防烈度为Ⅶ度, 设计基本地震加速度为0.15 g。

按《地震现场工作第4部分: 灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4—2005)的规定, 结合震区的实际情况, 将房屋分为4种类型: 土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构。

土木结构房屋可分为2类: (1) 抗震较好的, 两层, 穿斗木屋架承重, 土坯(或夯冲土)围护墙, 两面坡粘土瓦(或石棉瓦)屋顶; (2) 抗震较差的, 单层, 土坯(或夯冲土)围护墙, 土搁梁屋顶, 没有木屋架, 由土墙承重。土木结构房屋均无抗震设防。

砖木结构房屋有3类: (1) 砖柱承重、土坯围护墙、人字形木屋架; (2) 红(青)砖墙承重, 人字形木屋架的房屋, 少量有由砖柱承重的前走廊; (3) 空心砖墙承重, 人字形木屋架, 其数量多于前2类。砖木结构房屋多数为一层, 少数为二层, 数量少于土木结构房屋, 主要用作乡村学校、

^{*} 收稿日期: 2011-04-27.

基金项目: 地震行业科研专项“宁洱6.4级地震现场综合考察和研究”(200808061)及云南省十项措施“云南强震活动动力学研究”联合资助。

商店、仓库或宿舍用房，且均无抗震设防。

砖混结构房屋由砖墙承重，一般为二至五层，多数为城镇居民和企事业单位职工宿舍。在城镇，有少量的砖混结构房屋底层为框架结构，上层为砖混结构。少数砖混房屋建于 20 世纪 80 年代，无圈梁和构造柱，无抗震设防；多数砖混房屋建于 20 世纪 90 年代以后，有圈梁和构造柱，抗震设防烈度为Ⅶ度。

框架结构房屋由钢筋混凝土框架承重，砖填充墙，一般为二至五层。数量少于多层砌体结构房屋，主要用作办公楼、商店、教学楼和车间。框架结构房屋均建于 20 世纪 90 年代后，抗震设防烈度为Ⅶ度。

1.2 震区生命线系统和水利工程概况

盈江震区的生命线系统主要包括供电、供排水、交通和通讯设施，均按Ⅶ度抗震设防，水利工程设施无抗震设防。

供电系统主要有 35 kV、10 kV、380/220 V 输电线路、电杆、塔架、电力变压器、瓷瓶型高压电气设备（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）。

供水系统有水厂（泵站、沉淀池、过滤设备、消毒池、清水池、加压设备、水塔）、输水管网、阀门。输水管网的材料主要为钢，少数为铸铁和预应力混凝土。管道直径 100~500 mm，管道接口分刚性和柔性，刚性接口为螺纹接口和焊接接口，或用青铅、自应力水泥、石棉水泥作为密封防水材料，柔性接口采用橡胶密封圈的承插式接口和法兰连接形式。排水系统包括污水收集沟渠及管网、泵站、污水处理厂（沉淀池、过滤设备、清水池）、排水管道。

震区的交通线路主要是二级、三级和四级公路，所包含的构筑物有桥梁、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 20 世纪 60 年代前后，少数建于 70 年代，均为均质（或心墙）土坝。多数人畜引水渠是用毛石砌筑，三面用

素混凝土抹平的明渠（俗称三面光），少数为依山傍势就地挖掘的土渠。大蓄水池为钢筋混凝土砌筑，小蓄水池为砖和素混凝土砌筑。

2 各类房屋震害特征及破坏机理

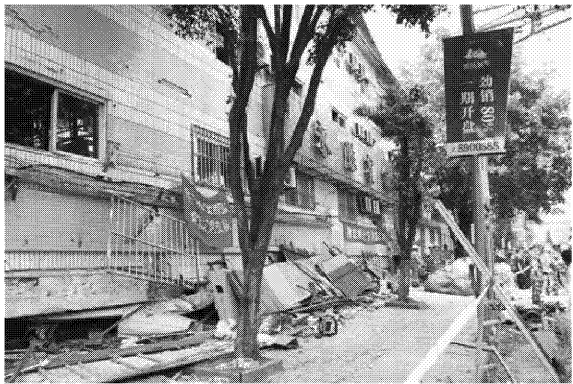
2.1 框架结构房屋震害特征及破坏机理

在Ⅷ度区，个别房屋坍塌，少数房屋的承重构件断裂，少数房屋的填充墙局部倒塌，多数填充墙出现“X”形或斜向裂缝或者填充墙上部与梁结合部严重开裂、抹灰层普遍脱落。

在Ⅶ度区，个别房屋的承重构件断裂，少数房屋的填充墙出现斜向裂缝，多数填充墙体上部与梁结合部出现裂缝、抹灰层大面积脱落。

在Ⅵ度区，个别房屋的梁、柱出现明显裂缝（多数为梁中部的纵向裂缝、柱上端与梁结合部的横向裂缝），少数填充墙上部与梁结合部出现横向裂缝。少数楼梯间墙体在楼板层高处横向开裂，少数内隔墙出现轻微裂缝，部分墙体抹灰层脱落。

框架结构房屋的底层比其它楼层的破坏严重。较典型的是盈江县城的永胜宾馆（Ⅷ度区），这是一座底层框架上部砖混的 4 层楼房。在发生地震时，由于垂直作用力和水平作用力的共同作用，底层塌落，彻底毁坏（图 1）。盈江县城的天缘超市（Ⅷ度区），是二（三）层楼的框架房屋，沿街的部分为 3 层，后半部分为 2 层。由于该楼重心前倾，在地震发生时，底层沿街部分的全部前排柱子在柱上部与梁的节点处，由弯曲开始，慢慢倾斜折断，数分钟后楼房斜趴在地上，彻底毁坏。



照 1 盈江县永胜宾馆底层塌落

Fig. 1 First floor of Yongsheng hotel collapsed

底框架结构房屋的底层和上部的刚性差别大,地震时各层的运动不同步,导致房屋破坏加重(施伟华等,2008)。胡聿贤(1988)的研究表明:一般而言,垂直作用力大约是水平作用力的 $1/2 \sim 2/3$ 。由于盈江5.8级地震是城市直下型地震,地震烈度超出了当地的设防烈度,框架结构房屋首先受到垂直作用力的作用,使得柱子上端的混凝土酥裂、钢筋弯曲,之后的水平作用力将柱子剪裂或剪断,造成框架歪斜或倒塌。由于填充墙和柱、梁无拉接,先浇灌框架,再砌填充墙,而且砖块没有压实,填充墙和梁、柱也无连接措施,地震导致填充墙和梁、柱结合部位裂缝,特别是墙上部位与梁结合部位在水平作用力的推动下,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。

2.2 砖混结构房屋震害特征及破坏机理

在Ⅷ度区,个别房屋倒塌,少数构造柱断裂或位错,部分房屋墙体出现“X”型或斜向的贯通裂缝和位于墙上部的水平裂缝,多数墙体出现严重裂缝。

在Ⅶ度区,个别墙体倒塌,少数构造柱出现裂缝、多数墙体出现不同程度裂缝。

在Ⅵ度区,个别墙体严重裂缝;少数墙体出现明显裂缝;多数墙体出现轻微裂缝;少数门、窗、过梁轻微裂缝。

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。较典型的是盈江县糖厂的三层办公楼(处于Ⅷ度区),其底层的破坏比二、三层严重得多。

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(施伟华等,2004;付正新等,2005)。

砖混结构房屋墙体受剪切破坏普遍,呈现底层破坏重于楼上的现象。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”型或单斜裂缝。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,地震时墙体产生裂缝。

部分砖混结构房屋没有构造柱和圈梁,因而在地震中破坏严重。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。

砖混房屋的底层普遍破坏重,也是由于垂直作用力的原因,在考察中发现有些砖混房屋的底层的砂浆标号低,抗剪力弱,也是造成底层破坏重的一个重要原因。

2.3 砖木结构房屋震害特征及破坏机理

在Ⅷ度区,穿斗木屋架的砖木结构房屋个别倒塌,少数屋架倾斜,部分墙体严重开裂甚至局部倒塌。砖柱或砖墙承重的砖木结构房屋少数倒塌(其中空心砖房屋占多数),多数墙体出现“X”型裂缝或局部倒塌,普遍梭瓦、掉瓦。

在Ⅶ度区,部分房屋墙体倾斜、变形、开裂或局部墙面抹灰层脱落,少数墙体局部倒塌或出现“X”型裂缝,多数砖柱或砖墙不同程度地开裂,出现梭瓦、掉瓦普遍。

Ⅵ度区,个别年久失修房屋倒塌毁坏,多数墙体出现明显裂缝,多数房屋出现梭瓦、掉瓦现象。

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,其抗剪强度主要由砌筑的砂浆标号决定,如果砂浆标号偏低,黏结力弱,在地震时砌体就容易沿着砖缝剪裂。

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,使得砖柱或砖墙断裂或开裂(陈坤华等,2009)。灾区有相当数量的房屋采用空心砖作为承重墙,其抗震能力低下,在本次地震中大量严重破坏或倒塌,破坏程度重于其它三类结构房屋(图2)。本次地震死亡的25人中有11人是由于空心砖墙倒塌而受伤致死。

2.4 土木结构房屋震害特征及破坏机理

在Ⅷ度区,少数房屋坍塌(其中多数为土墙承重的房屋),部分墙体严重裂缝或大部倒塌,多数墙体出现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。

在Ⅶ度区，个别土墙承重的房屋倒毁，部分房屋的木屋架倾斜，少数房屋烟囱倒塌，其余房屋墙体稍有倾斜、变形、开裂，严重梭瓦、掉瓦。



图 2 空心砖墙体的砖木结构房屋严重破坏
Fig. 2 Brick-wood struture houses of hollow brick wall damaged severely

在Ⅵ度区，个别年久失修房屋倒塌，个别房屋墙体倒塌屋架歪斜，部分墙体局部倒塌，多数墙体有明显裂缝，多数房屋出现梭瓦、掉瓦现象。

土木结构房屋破坏重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，特别是山墙容易倒塌；就地取材的粘土粘性差，导致墙体容易开裂；年久失修也是导致部分房屋倒塌的一个原因。

土木结构房屋总的震害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，使得重心上升，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、震裂甚至倒塌（施伟华等，2003）。

土木房屋墙体的破坏重于木构架房屋。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，易倾斜或倾倒。

3 生命线和水利工程的震害特征及破坏机理

3.1 供电系统的震害特征及破坏机理

供电系统的震害特征主要表现为变压器移位，个别变压器基座震毁致使变压器悬挂空中；电杆倾斜、移位或下陷；高压线塔等个别高压电气设备损坏、高压绝缘瓷柱断裂；由于供电线路拉断、用户电表损坏、变电站阻波器引流及刀闸引流线故障，导致部分村镇停电。

盈江县高压线塔、水泥电杆、农用电网及电力设施出现破坏，主要破坏情况为：在Ⅶ度区的 35 kV 南平线铁塔有一处折断（图 3），35 kV 线路水泥电杆倒杆 6 基，倾斜 35 杆；10 kV 线路水泥线杆倾斜 15 杆。220 kV、110 kV、35 kV 及 400 V 以下变电站、变压器、高压分支器、开关柜、中控设备等损坏。

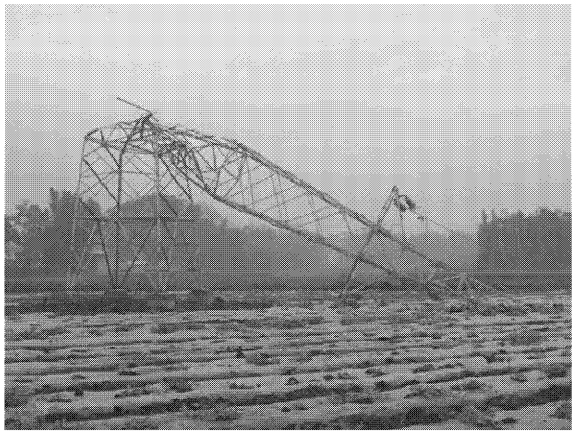


图 3 输电铁塔折断
Fig. 3 Transmission tower broken

电力变压器的破坏是地震时变压器产生位移、扭转、跳出轨道或倾倒，以致拉坏顶部瓷套管，撩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法不当或强度不足，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发生震害，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。有时继电器的保护误动作也会导致变压器遭到破坏。

电瓷型高压电气设备震害主要特点是绝缘瓷

柱断裂,使设备倾斜或跌落,断裂大多发生在瓷柱的根部。其主要原因是: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。

3.2 供水系统的震害特征及破坏机理

供水系统的震害特征表现为:供水系统管道拉裂,接头损坏;阀门和配水支管道受损;水厂的压力泵及加压配套设备受损,供水压力下降;消防栓及配套设施损坏;水厂处理池开裂及其他水处理设施受损;排水沟渠开裂、坍塌,破坏最重的是位于在Ⅷ度区的盈江县城。

由水源地引至盈江水厂的长 400 m 的灰口铸铁引水管道多处接头破坏漏水;盈江县城城区铸铁 DN400 主输水管受损 350 m,供水干管网受损 5 500 m;消防栓及配套设施受损 25 套;水厂的加压设备、加压车间和压力泵有不同程度的破坏;阀门和配水支管道受损约 170 处;排水系统的明、暗沟渠破坏 27 440 m;城区大量供水水管开裂渗漏。

地下管线是地震易损性元件,它不仅在高烈度区易发生严重的破坏,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,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。

3.3 通信系统的震害特征及破坏机理

通信设备因底部固结不牢,上部连接方式不妥,或设备所依靠的支架、楼板或墙体受到破坏而影响到设备。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

在遭遇地震时产生的变形过程中,发生机械电路故障等都会造成设备损坏。通信系统的震害主要表现为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。破坏最重的是位于Ⅷ度区的盈江县城的通讯设备。

盈江广播电视局的中继站、光纤收发机、光端机、接收发射设备、村村通设备(每套村村通设备包括一个小型卫星天线、1 个高频头及一台机顶盒)、数字微波和传输线路受损;那邦供电稳压设备、盈江电视台设备、允营山转播台接收发射设备发生倾覆、移位、接头拉断现象;盈江电视台的播出系统、演播厅系统设备、摄像机、编辑系统设备坠落、内部附件脱出、硬件出现故障。

盈江通讯部门的部分通讯线路倒杆或断线、部分主设备板件和 36 个基站电池受损、11 个基站交流电力引入设备不同程度受损。5 个基站入局光缆杆路和光缆受损。城区城域网光纤、Epon 接入点、用户接入电缆、长途光缆多处受损或拉断。营业厅的电脑、自助查询终端设备、传真机等遭到破坏。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、地层塌陷、砂土液化等作用下,易造成损坏。

3.4 交通系统的震害特征及破坏机理

震区交通运输以公路运输为主,公路多为山区公路,有少量国道、省道。震后部分公路桥梁、涵洞和挡土墙遭不同程度的破坏,主要表现为路面开裂或塌陷、路基下沉或坍塌、边坡崩塌等;桥梁桥面和桥台路基开裂、桥拱开裂,护栏、挡块损毁;涵洞开裂。

盈江县的芒胆公路路面开裂,宽约 1 cm,长约 100 ~ 200 m,拉芒线、平卡线、苏典线、户拉公路、莲花公路等都有不同程度的损坏。桥梁受损 24 座,合计约 1 980 m。如拉护练大桥护栏多数

损毁，挡块多处受损；思梦桥桥面开裂，桥台路基开裂；贺双河大桥桥拱开裂；田心吊桥、黑山吊桥等均有不同程度的损坏。

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，地震时路基可能发生液化，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。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。

3.5 水利系统的震害特征及破坏机理

水利系统的震害特征主要表现为：输水道闸门变形、不能正常启闭、溢洪道开裂、局部垮塌、输水涵洞漏水；输水沟渠开裂、局部垮塌、挡墙开裂、基础下沉；江堤路面开裂、下陷。

盈江县人畜饮水设施、农田灌溉、大盈江堤岸、防洪站房和水文站等水利工程施工设施受到不同程度破坏。具体破坏情况为：蓄水池开裂，西大沟灌溉渠的 9 号渡槽与灌溉渠衔接处开裂漏水。东大沟 K6 + 200 m 处，芒咪渡槽下游挡墙基础沉陷，不能正常灌溉。龙江乡新寨村的人畜饮水沟渠坍塌（图 4）。大盈江两岸帮巴堤、大砂堤、勐展堤



图 4 饮水渠坍塌

Fig. 4 Drinking water ditch collapsed

震裂，裂缝断续延伸约 38 km，其中最深裂缝大约深 2.5 m，最宽裂缝宽约 30 cm。部分堤面下陷，最大落差处大约为 10 cm。关纯、勐展等 28 座防洪站房，拉贺连水水文站的站房、缆道房、水位计房测验断面等不同程度受损。

陇川县景罕广水库闸门房和启闭设备损坏，造成闸门起闭困难；海港水库启闭塔工作桥基础开裂；新建南洼河堤防工程损坏；灌溉排涝沟损坏，海岗水库南灌渠损坏 2 处，清平章巴沟取水坝受损。

闸门的变形和地震时的扭转力有直接的关系。输水涵洞开裂漏水、沟渠开裂或局部垮塌、挡墙开裂、有地震作用的原因，也有地形的影响。基础下沉、江堤路面开裂、下陷与盈江盆地的松软土层在地震的作用下产生地基喷砂冒水、下陷有关系。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。

4 恢复重建与规划发展建议

我国的抗震设防原则是“小震不坏，中震可修，大震不倒”。此处的“小震”是指小于当地设防烈度的地震，“中震”是相当于当地设防烈度的地震，“大震”是大于当地设防烈度的地震。2011 年盈江 5.8 级地震的震中位于县城边，属于直下性地震，破坏烈度达Ⅷ度，超过了当地的设防烈度，属“大震”，有些房屋的破坏越过了“大震不倒”的抗震设防原则，造成了县城严重破坏。为了提高震区建（构）筑物抗震性能，努力减轻地震灾害，根据震区震害特征，提出以下建议：

（1）灾区在恢复重建和发展规划中，应提高设防烈度，按规范设计、施工，加强多层房屋底层的抗震能力，避免地震垂直作用力对房屋底层的破坏。避开粉砂、粉土和淤泥等地段和地层。

（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，以防造成不良后果。空心砖的黏结面积小于普通砌砖，所以其抗剪力的能力大大减小，今后不应再使用。

（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。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地震时底框架与上部砖混结构运动不同步造成房屋破坏。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。

(5) 供水管道接头应替换成抗震性好的柔性接头。优良的柔性接口取决于截面型式优良的密封圈、橡胶密封圈的密封型式。新型的密封柔性接口由密封圈及锁紧带组成,在密封圈内表面设有环形凸台,锁紧带套装在密封圈外表面,由于密封圈采用弹性橡胶材料,并且在密封圈与锁紧带之间安装钢质开口垫带,改变了传统的插接式管道须在端头加工有承口或法兰的缺陷,简化了安装工序,适用于

任何材质和规格的管道。铺设管道时,应避免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:

- 陈坤华,冉华,张彦琪,等. 2009. 2009 年姚安 6.0 级地震震害特征分析 [J]. 地震研究, 32(4): 67-74.
- 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.
- 胡丰贤. 1988. 地震工程学[M]. 北京:地震出版社, 158-159.
- 施伟华,谢英情,张彦琪,等. 2008. 汶川 8.0 级地震云南灾区震害特征及地震烈度[J]. 地震研究, 31(增刊): 525-529.
- 施伟华,周光全,付正新,等. 2003. 永胜 6.0 级地震的破坏特征及分析 [J]. 地震研究, 26(4): 88-95.
- 施伟华,周光全,赵永庆,等. 2004. 2003 年大姚 6.2 级地震房屋震害特征及分析[J]. 地震研究, 27(4): 84-88.
- 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.
- GB/T 17742-2008, 中国地震烈度表[S].
- 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 4 部分:灾害直接损失评估 [S].

Seismic Disaster Characteristic and Damage Mechanism of the Yingjiang $M_s5.8$ Earthquake

CHEN Kun-hua, LU Yong-kun, ZHANG Yan-qi, PANG Wei-dong, XIE Ying-qing
(Earthquake Administrator of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

First, we introduce the general situation of buildings, lifeline system and water conservancy in Yingjiang $M_s5.8$ earthquake, then elaborate the seismic disaster characteristic and the damages mechanisms of various buildings, lifeline system and water conservancy. At last, we propose the suggestions to restoration and rebuilding, the experience of site selection, construction and seismic fortification of buildings, and the measures for reinforcing anti-seismic of various buildings in the seismic area.

Key words: buildings; lifeline system; characteristics of earthquake disaster; destroy mechanism; Yingjiang earthquake