

以鲁甸地震和彝良地震为例分析云南昭通地质构造与地震灾害特点^{*}

张彦琪, 李 西, 谢英情, 于 江, 陈坤华

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 通过区域活动构造及动力学背景、新构造运动特征和地震活动等资料分析了昭通地区的地震构造背景; 以2014年鲁甸 $M_s6.5$ 和2012年彝良 $M_s5.7$ 、 5.6 地震为例, 在分析其地震灾害特点的基础上, 结合区域地形地貌、地质构造条件、房屋结构, 特别是简易结构房屋特点等因素厘定该地区发生中强地震可能面临的灾害, 如地震地质灾害、房屋建筑破坏和人员伤亡等; 并着重讨论了活动构造的性质及运动方式等与震害特别是地震地质灾害的关系。最后, 从房屋建筑选址及质量、地质灾害防范、公共安全和宣传教育等方面, 对昭通地区的防灾减灾工作提出了一些思考和建议。

关键词: 地质构造; 地震灾害; 中强地震; 昭通; 鲁甸地震; 彝良地震

中图分类号: P319 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2016)02-0270-08

0 引言

2000年以来, 云南昭通地区中强地震明显增多, 共计发生10次5.0~6.5级破坏性地震, 其中2014年鲁甸 $M_s6.5$ 地震(下文简称鲁甸地震)和2012年彝良 $M_s5.7$ 、 5.6 地震(下文简称彝良地震)是该区近年来发生的最大的两次地震。鲁甸地震属主余震型地震, 震源深度12 km, 极震区烈度为IX度, VI度以上面积约10 350 km²; 地震共造成617人死亡, 112人失踪, 3 143人受伤; 直接经济损失约235亿元。彝良地震属双震型地震, 震源深度分别为14 km和10 km, 极震区烈度VIII度, VI度以上面积约3 690 km²; 地震共造成81人死亡, 832人受伤; 直接经济损失约43亿元。

根据云南地区 $M \geq 6.7$ 地震10年尺度活跃—平静的分期特征, 缅甸孟帕亚 $M_s7.2$ 地震标志着云南地区已进入新一轮强震活跃期(皇甫岗等, 2014); 另据闻学泽等(2013)研究认为, 鲁甸—昭通断裂存在中长期强震、大地震危险背景, 且鲁甸至彝良段存在最大强度 $M_w7.4$ 的潜在地震风险。

鉴于此, 笔者认为, 对时常遭受地震灾害破坏并处于中强地震增强趋势之下的昭通地区而言,

分析其所处的地质构造环境, 并通过典型历史中强地震灾害特点及震害原因分析, 可以在一定程度上厘定整个区域可能面临的地震破坏情况。这不仅对于认识该地区中强地震的发震构造条件有帮助, 而且对于指导该地的应急救援、灾后重建、防灾减灾和地震破坏研究等工作有着非常重要的现实意义, 同时对于其他山地地区的相关地震工作也有一定的参考价值。

1 区域地震构造背景

1.1 区域活动构造及动力学背景

青藏高原东南缘是中国大陆晚第四纪构造变形和强震活动最强烈的地区, 特别是巴颜喀拉、川滇和华南等板块的交界部位(王虎等, 2014), 而昭通地区所处的大凉山次级块体正好就处在三大板块的接合部位。由于印度板块N偏E向推挤和青藏高原SSE侧向挤出的叠加作用(向宏发等, 2000), 而且该区构造动力源来自巴颜喀拉和川滇菱形块体分别向E和SSE的挤出和运动, 使得大凉山次级块体形成向SE运动之势并与华南地块发生挤压作用(图1a)。由此可见, 大凉山次级块体处于重要的构造变形部位, 该次级块体吸收了来自巴颜喀拉和川滇菱形块体的挤压作用, 属于I

^{*} 收稿日期: 2015-07-02.

基金项目: “昭通—鲁甸断裂和小江断裂(东支)活动性研究”与“昭通—鲁甸断裂带地质地貌调查”共同资助。

级活动块体边界构造带的该次级块体边界断裂则表现出以挤压作用为主的活动特征，块体内部以变形为主要特征。

新生代以来大凉山次级块体的构造活动与变形作用一方面表现为断裂构造的走滑—逆冲运动，另一方面还表现为轴向近 SN 向的褶皱缩短（陈长云，何宏林，2008）。其北边界的龙门山断裂带 SW 段以逆冲挤压运动为主要特征，其右旋走滑速率和逆冲速率大致为 1.1 mm/a 和 1.5 ~ 2 mm/a；西边界安宁河—则木河断裂带以左旋走滑及挤压运动和左旋走滑及拉张运动为主要特征，新生代以来滑动速率为 4 ~ 7 mm/a，前者最大左旋走滑速率（晚全新世）约为 6.2 mm/a，最大挤压速率约为 1.4 mm/a，后者左旋走滑速率均为 (6.4 ± 0.6) mm/a（闻学泽等，2013；何宏林等，2008；程佳等，2014；徐锡伟等，2014a）；东边界马边—盐津断裂带表现为左旋走滑—挤压逆冲的晚第四纪活动特征，其左旋走滑速率为 3 mm/a 左右（程佳等，2014；张世民等，2005）；南边界的昭通、莲峰断裂带以挤压逆冲或者右旋走滑兼逆冲为主，其西南段垂直于断裂带走向的地壳挤压缩短率为 4 ~ 6 mm/a，右旋剪切应变速率为 2 ~ 3 mm/a，北东段挤压缩短率为 2 ~ 3 mm/a，右旋剪切应变速率 0 ~ 1 mm/a（闻学泽等，2013；何宏林等，2008；程佳等，2014）。

在挤压和 NNW 向左旋走滑作用力下，大凉山次级块体内部的大凉山、峨边—烟峰等主要活动断裂及其他次级断裂的运动方式以 NNW 向左旋走滑为主，其中大凉山断裂的左旋走滑速率为 (3.3 ± 0.7) mm/a。这些左旋运动在断裂南端被昭通、莲峰断裂带吸收并转化为挤压活动特征（徐锡伟等，2014a）。

1.2 新构造运动特征

（1）层状地貌发育。青藏高原自始新世中晚期以来发生抬升，尤其上新世末至第四纪出现快速抬升，显示出由 W 向 E 和由 N 向 S 的掀斜特征。自上新世以来，抬升幅度约 500 ~ 2 500 m，相对抬升幅度平均为 2 400 m，平均抬升速率约 0.12 mm/a。由于地壳的间歇性抬升，形成了夷平面和河流阶地等层状地貌：夷平面主要有三级，海拔 2 000 ~ 2 500 m；河流河谷内一般都发育多级阶地，数量从两级到十级。

（2）块体差异性抬升运动。昭通地区在区域

大面积强烈隆升的背景下伴随着十分明显的差异运动，其隆升幅度总体西部大、东部小，形成地势上显著下降的梯阶。

（3）断裂新活动特点。地处大凉山次级块体南部的昭通地区 NE、NNW（NW）和近 SN 向断裂互相交切、叠加和长期活动，形成大致的“菱”型构造块体。NE 向昭通、莲峰断裂带、NE 向会泽—彝良断裂、近 SN 向小江断裂和 NNW 至近 SN 向马边—盐津断裂分别构成该“菱”型构造块体的四条菱边，其中 NE 向鲁甸—昭通断裂为本区的主体构造。其他断裂如 NW 向包谷垭—小河断裂属二级构造单元，为块体内部构造，以一个“x”型网格形式组成了“菱”型构造块体的内部构造（图 1b）。

NE 向昭通、莲峰断裂带由鲁甸—昭通断裂和莲峰断裂两条 NE 向平行展布的断裂组成，由于该断裂带正好位于大凉山次级块体向 SE 运动的前缘和前锋位置，从活动块体构造部位上看，起着吸收和调节块体 SE 向运动的作用（闻学泽等，2013；常祖峰等，2014）。鲁甸地震和彝良地震正好发生在 NE 向昭通、莲峰断裂带之鲁甸—昭通断裂内。

鲁甸—昭通断裂主要由 3 条右阶斜列的次级断裂组成，西北起自彝良牛街西，向西南经昭通、鲁甸，止于牛栏江西南，全长约 150 km；总体走向 40° ~ 60°，倾向 NW 或 SE，倾角 35° ~ 70°；在航、卫片影像上，线性影像特征清晰，沿断裂发育昭通、鲁甸等新生代盆地，断错的最新地层为上更新统一全新统，表明该断裂在晚第四纪具有新活动迹象。其间穿插发育一些规模较小的 NNW（NW）向断裂，其中规模最大的为包谷垭—小河断裂。包谷垭—小河断裂是与 NE 向的鲁甸—昭通断裂相配套的次级断裂。该断裂走向为 N30° W，倾向 SW—SWW，倾角较陡，由数条断续展布的小断层组成，东南起于包谷垭以北的月亮山一带，北西经龙头山、乐红、小河、满天星，止于东坪一带，总长约 40 km。沿断裂表现为断层垭口、断层槽地等断层地貌，如龙头山至翠屏一线沿断裂就表现为较为平直的断层槽地。翠屏村断层破碎带宽约 80 m，以断层角砾岩为主，断面擦痕清晰，其侧伏角约 30°，侧伏向 340°，指示断裂具有走滑兼逆冲性质。翠屏以北，断裂沿线发育坡中谷等地貌，显示出断裂的新活动迹象，在龙头山镇可

见山脊左旋位错约 30 m。该断裂除了具有逆冲性质外,兼有左旋走滑分量(常祖峰等, 2014; 李西等, 2014)。

1.3 地震活动

昭通地区的破坏性地震主要沿小江断裂、马边—盐津断裂及 NE 向断裂(鲁甸—昭通断裂等)成群成带分布,形成明显沿“菱”型构造块体的 NW 和 NE 向“菱”边密集展布的地震条带(图 1b)。该地区历史记载的最大地震为 1733 年东川

7 $\frac{3}{4}$ 级和 1971 年大关 7.1 级地震,分别发生在“菱”型构造块体的 N、S 两个锐角部位。本世纪该区域破坏性地震频发,并有明显增强趋势,包括 2003 年鲁甸 5.0 和 5.1 级、2004 年鲁甸 5.6 级、2006 年盐津两次 5.1 级及彝良地震和鲁甸地震等。根据闻学泽等(2013)的研究结果,昭通、莲峰断裂带已不同程度闭锁,其中鲁甸—昭通断裂具有更高的闭锁与应变积累程度,存在中长期强震、大震危险背景。

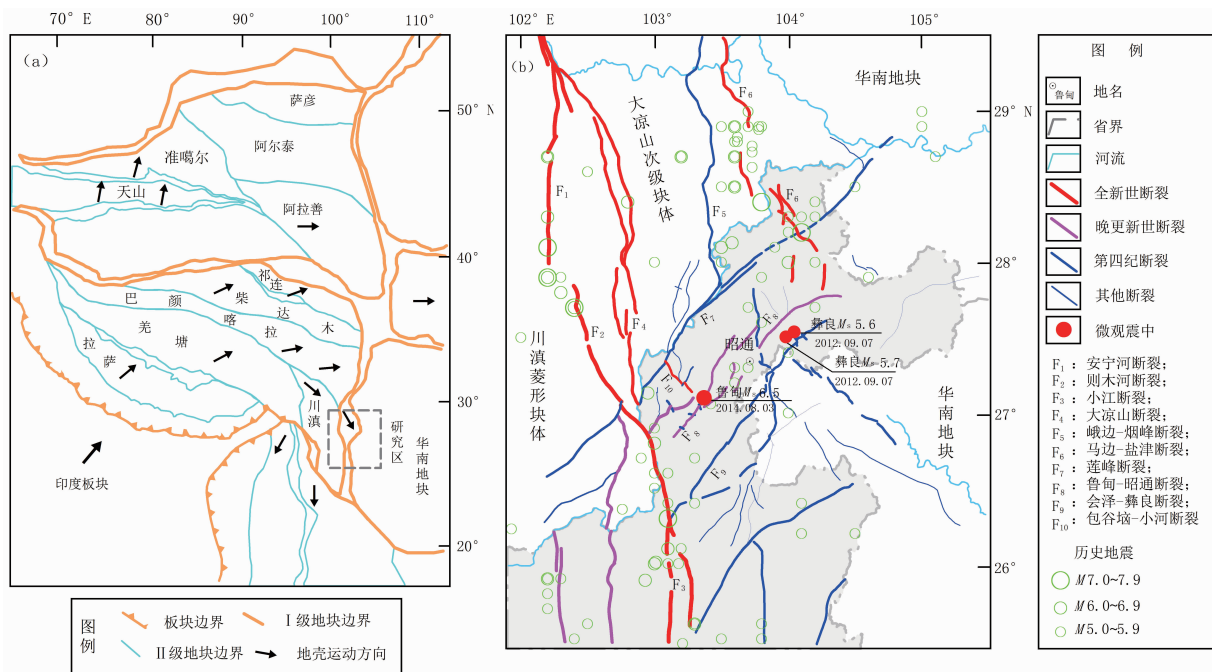


图 1 昭通地区地震构造简图

(a) 区域动力学背景; (b) 活动构造及历史地震

Fig. 1 Regional seismotectonic map of Zhaotong area

(a) regional dynamic background ; (b) distribution of active structure and historical earthquakes

2 典型地震灾害特征

2.1 鲁甸地震

(1) 人员伤亡惨重

鲁甸地震共造成 617 人死亡,其中确定身份者 615 人(鲁甸县 526 人、巧家县 76 人、会泽县 12 人、昭阳区 1 人); 112 人失踪(鲁甸县 109 人、巧家县 2 人); 3 143 人受伤(张彦琪等, 2015)。这与云南地区同等级别地震相比,创下了人员伤亡之最,也是国内自 2008 年汶川 8.0 级地震、2010 年青海玉树 7.1 级地震之后,死亡人数最多的地震,远高于 2013 年四川芦山 7.0 级地震的死

亡人数。

(2) 房屋建筑震害严重

鲁甸地震灾区房屋建筑按结构类型可分为土木结构、砖木结构、砖混结构和框架结构四类,其中普遍使用的“土抬梁”、“石抬梁”等未经抗震设防的土木和砖木结构等简易房屋的破坏最为严重。

极重灾区(IX 度区),土木和砖木结构等简易房屋大多数倒塌或局部倒塌,未倒塌者也是摇摇欲坠,毁坏率达到了 97% 和 90%; 砖混结构多数承重墙体出现较严重的水平或“X”型贯通裂缝,部分倒塌、局部倒塌或倾斜,少数基本完好,毁坏率达 19% 以上; 框架结构个别倒塌或局部倒塌,

少数框架节点开裂，甚至断裂造成整体倾斜，部分房屋梁柱出现细微裂缝，多数房屋填充墙明显出现水平或“X”型贯通裂缝，毁坏率达8%以上。严重灾区（Ⅷ度区），土木和砖木结构多数倒塌或局部倒塌，绝大多数房屋墙体开裂严重，毁坏率达71%和70%；砖混结构个别倒塌、倾斜或局部倒塌，少数承重墙体出现水平或“X”型裂缝，多数门头、窗间墙或窗角开裂明显，个别房屋墙体裂缝较宽，且完全贯通墙体，毁坏率达6%；框架结构大多数梁柱构件完好，少数填充墙出现水平或“X”型裂缝或局部脱落（卢永坤等，2014）。

（3）地震地质灾害极其严重

鲁甸地震引发了极其严重的地质灾害，具有分布广、数量大和灾害重等特点，灾害点主要分布在鲁甸县城西南牛栏江干流的两岸以及2条支流的河谷两岸（周庆，吴果，2015）。根据笔者的统计，地震地质灾害是造成鲁甸地震人员死亡和人员失踪数量巨大的第二大原因，其中在人员死亡原因中占比达21.3%，在人员失踪原因中占比36%（张彦琪等，2015）。由此，不难看出鲁甸地震地质灾害的严重程度。

①点或面状地质灾害

鲁甸地震的点或面状地质灾害主要表现为滑坡、崩塌、滚石、泥石流、地震陷坑和公路塌方等类型。笔者所在的工作组主要针对高烈度区（Ⅷ度及其以上）采取点、线、面相结合的调查方法，共调查发现84个点或面状地质灾害，其中以滑坡为主（90.5%），崩塌（滚石）次之（4.7%），堰塞湖、泥石流、地震陷坑、公路塌方较少（各占1.2%）。

中国地震局地震预测研究所在对收集的遥感影像进行几何校正、图像融合和灰度匹配的基础上，辅助震前国产卫星影像，对无云遮盖区域内的地震滑坡、崩塌、泥石流、堰塞湖等地质灾害进行了遥感解译，共解译滑坡崩塌点950多个。这些滑坡除红石岩堰塞湖为大型滑坡外，其余大多为中、小型滑坡，且以崩塌为主；除此之外，这些滑坡主要是地震造成的新生滑坡，少数为继承性滑坡。

典型灾害：（1）红石岩滑坡堰塞湖：位于鲁甸县火德红镇李家山村和巧家县包谷垭乡红石岩村交界的牛栏江EW向干流上，两岸山体崩塌、滑

坡堵塞河道并在该处形成堰塞湖，堰塞体位于红石岩水电站取水坝下游600 m，堰塞湖库容2.6亿 m^3 ，堰塞体方量约 $(1\ 200 \sim 1\ 700) \times 10^4 \text{ m}^3$ ，坝高110 m、宽70 m。该堰塞湖属大型堰塞湖，危险级别为极高危险级，风险等级为Ⅰ级（最高级别），具有“巨大、极险和艰难”三个特点。与汶川地震后形成的最大堰塞湖—唐家山堰塞湖1.3亿 m^3 的库容相比较，红石岩堰塞湖规模明显更大。该堰塞湖致使附近村寨农户部分房屋整体性连片式被摧毁或掩埋，其中涉及鲁甸县528户、巧家县48户、会泽县82户；（2）甘家寨滑坡：位于沙坝河甘家寨段，在昭巧公路龙头山镇到天生桥段，崩塌、滑坡沿NE向山谷断续出现，在甘家寨南崩塌、滑坡绵延超过1 km，西北坡是本次地震诱发的第二大崩塌、滑坡体，沿公路宽约400 m，巨砾最高超过2 m。滑坡体巨量的土石方致使甘家寨32户人家顷刻间消失，55名村民被埋失踪。

②线状地质灾害

鲁甸地震的线状地质灾害主要表现为地裂缝（含地表破裂）。按照调查点或面状地质灾害点的方法，对高烈度区（Ⅷ度及其以上）进行现场调查，共发现95条地裂缝（含地表破裂），并伴随其他类型地质灾害。地裂缝走向以NW向为主（62.1%），NE向次之（26.3%），近EW向（6.3%）及近SN向（5.3%）较少。

典型灾害：（1）从龙头山镇南东方向沿谢家营盘—光明村—王家坡一线，即 $\text{N}22^\circ\text{W}$ — $\text{N}55^\circ\text{W}$ 走向，断续展布着总长约8 km，包括地裂缝、地震鼓包、滑坡、崩塌、滚石等现象的地表形变带。其中，地裂缝总体呈右阶展布，各分段则以左行右阶排列为主，局部段落伴有约30 cm的走滑分量和25~30 cm的倾滑分量；（2）在龙头山镇、老君山和光明村大凹子南西等地分别出现了 $\text{N}60^\circ\text{E}$ — $\text{N}73^\circ\text{E}$ 、 $\text{N}30^\circ\text{E}$ — $\text{N}40^\circ\text{E}$ 和 $\text{N}60^\circ\text{E}$ — $\text{N}80^\circ\text{E}$ 走向的地裂缝（李西等，2014；Li *et al.*, 2015）。

2.2 彝良地震

（1）人员伤亡较重

彝良地震共造成81人死亡、832人受伤，其中死亡人数是云南地区自1993年以来同等级地震中死亡人数第二多的（云南省地震灾害损失评定委员会，云南省地震局，2012）。

（2）房屋建筑震害显著

彝良地震灾区房屋建筑按结构类型可分为土

木结构、石混结构、砖木结构、砖混结构和框架结构五类,其中以夯土墙和垒石墙加简易人字屋顶的土木、石混等简易房屋破坏最为严重。极震区(Ⅷ度区)土木结构房屋部分倒毁,部分墙体倒塌、整体倾斜,多数墙体开裂变形,梭掉瓦普遍,毁坏率达65%;石混结构房屋部分倒毁,多数局部倒塌或基础变形、酥裂,毁坏率达41%。

(3) 地震地质灾害严重

彝良地震引发了严重的滑坡、崩塌、滚石、泥石流等地质灾害。据初步统计,地震引发的地质灾害点多达448处,其中滑坡259处,方量约40 130 m³,崩塌、滚石189处,方量约1 635 m³,这些地质灾害总体上具有分布广、数量多等特点,规模以小型、中型为主(王东坡等,2013;殷志强等,2013)。

3 分析与讨论

3.1 分析

对鲁甸地震和彝良地震灾害特点的分析,对厘定昭通地区的地震灾害情况(或者说是主要地震破坏情况)有很大的帮助和参考价值。

(1) 地震地质灾害如滑坡、崩塌、滚石、泥石流等普遍存在,在局部地段尤其严重,由此导致房屋建筑、道路等基础设施遭受不同程度破坏,并会造成一定数量的人员伤亡。

①从地形地貌条件看,昭通地区地处乌蒙山区的金沙江下游,是云贵高原向四川盆地过渡的倾斜地带,呈典型高原山地构造地貌,地形复杂,国内少见(殷志强等,2013)。西北侧的金沙江水流湍急,强烈下切,两岸支流发育,均为青年期的深切V型谷,对山形的改造起着很大的作用,形成了崇山峻岭、山高坡陡、河流深切的高山深谷。这种地貌特点成为了导致山体边坡失稳的一个重要条件。

②从地质构造条件看,昭通地区处在大面积间歇性强烈抬升,并伴有一定差异性的新构造运动背景之下。从新构造运动本身的特点来看,高山深谷地区往往是新构造运动强烈的地区(谢宇平,1987),强烈的新构造运动充分说明了该区域是不够稳定的,而区域的不稳定给边坡的稳定性带来极为不利的影响,它构成了山坡不稳定的基础与因素。

由于地壳剧烈抬升以及断裂的长期活动,昭通地区山体岩石节理和裂隙发育,岩层完整性较差,岩石长期遭受强烈风化,更增加了山体边坡的不稳定性;加之河流相应强烈下切,使得山坡坡面岩体基本处于或接近于极限平衡状态,只要稍遭破坏或外力影响,就很容易失稳,引发滑坡、崩塌和滚石等次生地质灾害;另外,由于山坡失稳,使原来有利于边坡稳定的因素,如岩性与构造等,向着不利的方向转化。

③从地层岩石条件看,昭通地区主要分布于中志留统以上的古生界地层及下侏罗统以下的中生界地层,其中中—上志留统出露于东北部,泥盆系地层则出露于中部及东部,石炭系、二叠系出露于西部,三叠—侏罗系地层出露于北部。岩性上,峨眉山玄武岩组地层遍布全区,沉积岩岩性以碳酸盐岩为主,砂岩、页岩次之。玄武岩由于性脆,因此在外力作用下,岩体很易破碎;砂岩由于性坚,往往易形成崩塌。

④人类活动致使本来就十分脆弱的自然环境变得更加脆弱。一方面,近几年大力发展经济建设,开发道路交通、水电设施,大规模砍伐森林、破坏生态,导致植被覆盖率低、地层裸露、石漠化不断扩大;另一方面,煤矿、铅锌矿等矿山开采不断加剧,形成井下采空区及堆放在沟谷或河滩上的废渣、弃石及废矿,不仅如此,开山切坡还会直接形成陡坡。

⑤其它方面,如降雨等气候条件,也是触发地质灾害的一大诱因。降水会引起斜坡岩土体力学性能下降,从彝良地震和鲁甸地震看,两次地震的发生时间都正值当地雨季,灾区普降100 mm以上的暴雨,甚至局部地区大暴雨,使得部分灾区引发泥石流灾害,从而加大了地质灾害的严重程度。

(2) 房屋建筑普遍遭受破坏,尤以山区农村地区广泛分布的土木结构等简易民房破坏最为严重,也相应造成了一定数量的人员伤亡。

①房屋遭受破坏的程度首先取决于地震震级的大小。中强地震由于本身震级较大,加之昭通地区的地震具有震源浅、震动强烈等特点,因此可能会造成相对于其他地区发生同样等级地震更为严重的房屋破坏。闻学泽等(2013)研究的该地区断裂带的剖面结构显示,区内深度最大的断裂在15~20 km,与基底滑脱带相连,引发的地震

深度一般在 20 km 内,表明该区域所发生地震一般为浅源地震,地震的能量释放发生在地壳浅部,因此往往造成地表相对来说更为强烈的震动。根据鲁甸地震和彝良地震的地震序列及区内历史地震的震源深度分布看,都在 20 km 内。

②房屋抗震能力。昭通地区 11 个县(区)中有 10 个是国家级贫困县,经济发展水平落后。由于经济和技术水平有限,建(构)筑物在建造中,只凭经验,未经过规范设计,加上施工方法及施工质量存在问题,大多数房屋的整体性和抗震性都比较差,而这一现象在广大农村地区尤为常见。

昭通农村 90% 以上的房屋结构为夯土墙和垒石墙加简易人字屋顶,由于没有采取抗震措施,房屋的结构形式、材料、砌筑方法等均不利于抗震。其中,石混结构房屋承重墙体采用乱石与泥浆彻筑,泥浆标号极低,砌体基本没有形成整体强度,加之多数屋顶采用混凝土屋盖,加大了房屋自身的重量,整体性较差;土木结构房屋的破坏程度和它的结构有直接的关系,该类房屋结构简易,属墙抬梁,地震时容易倒塌,就地取材的粘土的粘性较差,导致土墙容易开裂而降低了房屋承载力。

③地形地貌条件。昭通地区地形地貌条件复杂,广大农村地区的房屋多建于山体边坡及地质相对不稳定地带,极易遭受破坏。区域内地形坡度在 25° 以上的陡坡山地面积占总面积的 43.7% (张彦琪等, 2015), 平均海拔 1 685 m, 相对高差 3 773 m。就两次地震而言:鲁甸地震极震区山高谷深、沟壑纵横,最高海拔 2 860 m,最低海拔 910 m, 76% 以上的灾区面积地形坡度大于 15° , 其中 46% 的灾区面积坡度大于 25° ;彝良地震极震区毛坪至洛泽河村一带,处在洛泽河的峡谷地段,大部分处于 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的斜坡区,局部地形坡度达 $60^\circ \sim 80^\circ$,地貌高差在 200 m 以上,导致沿该峡谷地段展布的公路两侧山体滚石、崩塌和滑坡随处可见。

④地震引发的地质灾害造成部分房屋建筑的破坏。昭通地区是云南省滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害活动较强的区域,根据鲁甸地震现场的亲身体验,给人印象最为深刻、也最为震撼的就是地质灾害。

(3)地震会造成一定数量的人员伤亡,而且人员伤亡数量要高于同等地震水平下的云南其他

地区和国内其他地区,这主要是由该区域的人口分布特点造成的。昭通地区的人口分布相当密集,2013 年末人口密度为 255 人/ km^2 ,和同年云南省 120 人/ km^2 、全国 141 人/ km^2 的平均人口密度相比,远超出了二者的平均水平(樊杰等, 2014)。就鲁甸地震和彝良地震而言,鲁甸 2013 年末的人口密度为 277 人/ km^2 (樊杰等, 2014),彝良 2011 年末的人口密度为 230 人/ km^2 (张彦琪等, 2015),均远高于全省和全国的平均水平。

3.2 讨论

从鲁甸地震和彝良地震来看,除去一些主观因素如房屋建筑质量、人口密度等,地震灾害特别是地震地质灾害的空间分布客观上与活动断裂(发震断层)、地形坡度、地貌高差和距离河流的距离等关系密切,其中以活动断裂(发震断层)的影响作用最为突出。

(1)活动断裂(发震断层)的展布影响震害的分布。

①极震区烈度圈的长轴展布方向受发震断层主控。云南历史地震表明,大多数地震的极震区烈度圈展布在发震断层上或者其附近,烈度圈长轴方向与发震断层走向高度吻合(周光全等, 2011)。从鲁甸地震和彝良地震的极震区烈度圈展布看,前者的极震区烈度圈沿包谷垴—小河断裂 NW 向展布,后者的极震区烈度圈基本沿鲁甸—昭通断裂 NE 向展布,二者的长轴方向均与发震断层的走向基本一致。

②地震地质灾害主要沿着发震断层呈带状分布。一般情况下,断裂构造的转折部位、交接部位以及错列部位是地震地质灾害的集中发育部位;另外,河谷的断裂交汇区或断裂与河流的交汇区也是地震地质灾害的密集分布地带。

李西等(2014)的野外调查结果显示,鲁甸地震造成大量滑坡、崩塌、地裂缝等地质灾害:从大量滑坡分布看,方向既有 NE 向的也有 NW 向的,但主体沿 NE 向鲁甸—昭通断裂或在其附近呈带状分布;地裂缝表现为 NE、NW 两个主要方向,沿 NW 向包谷垴—小河断裂及与其交汇的 NE 向鲁甸—昭通断裂一线断续分布。

另外,中国地震局地震预测研究所遥感解译出的山体滑坡主要分布在Ⅷ度及以上区域,总体呈 NW 向为主、NE 向次之的分布特征,大滑坡均分布在河谷的多组断裂交汇区。

(2) 活动断裂(发震断层)的破裂方式,是否产生地表破裂及产生地表破裂的方式、形态等对地震地质灾害的分布有着重要的影响。

从鲁甸地震看,众多研究者(徐锡伟等,2014a, b;王未来等,2014;房立华等,2014;程佳等,2014)认为NW向包谷垭一小河断裂是鲁甸地震的发震构造;但也有学者(常祖峰等,2014;李西等,2014;周庆,吴果,2015)认为鲁甸地震的发生除与NW向包谷垭一小河断裂有主要关系外,还不能排除NE向鲁甸—昭通断裂的作用,其中周庆和吴果(2015)就认为鲁甸地震是NW、NE两组断层共同作用的结果,其中以NW向断层左旋错动为主,NE向断层逆冲为辅。对于鲁甸地震的发震过程和破裂方式,刘成利等(2014)、许力生等(2014)和张广伟等(2014)认为其具有明显的共轭破裂现象,破裂开始于EN至WS展布的断层,结束于WN至ES展布的断层,两个方向的破裂起初都是双侧破裂,但很快演变成向EN和SE的单侧破裂。前述鲁甸地震的地质灾害的分布,可能是在NW向包谷垭一小河断裂左旋走滑错动的大背景下和NE向鲁甸—昭通断裂发生小规模逆冲的条件下造成的。

(3) 活动断裂的“上、下盘效应”明显。

活动断裂的性质不同,往往造成的地震地质灾害也各有轻重。许冲等(2012)的研究结果表明,逆冲型活动断裂比走滑型活动断裂更具破坏性,造成的地质灾害更强,并具有显著的“上、下盘效应”,反映在断层两盘则是上盘的地质灾害数量、规模、密度等均明显高于下盘。从昭通地区分布的主要断裂的活动性质看,NNW向至近SN向马边—盐津断裂以左旋走滑或左旋走滑兼逆冲为特征,NE向莲峰—昭通断裂带表现出右旋走滑兼逆冲或者以逆冲为主要错动方式(闻学泽等,2013)。这说明该区域主要断裂构造的活动具有一定的逆冲分量,在一定程度上会加重地震地质灾害的受灾程度。

就这两次地震而言,鲁甸地震的滑坡、崩塌、地裂缝等地质灾害沿发震断层呈带状展布,总体上分布于上盘的数量、密度、规模等都多于下盘;彝良地震以发震断层为界,上、下盘发育的地质灾害点为107处和46处,上、下盘15 km范围内地质灾害发育密度为5.4处/km和1.4~2.1处/km(张杰等,2014)。

4 结论与讨论

鲁甸地震和彝良地震灾害具有一定的代表性,由这两次地震可以推断,若昭通地区再次发生中强地震,同样会引发严重的地震地质灾害、房屋建筑破坏和人员伤亡,会对经济、社会、生态等各方面造成影响。通过本文的分析,可以对该地区的防灾减灾问题提供一些建议和思考。

(1) 房屋建筑选址。面对昭通地区地形地貌条件差、地质构造条件复杂、地壳稳定性弱且强震活动频繁等现状,要科学合理地选择房屋建设位置,有效避让活动断裂带和地质灾害易发区;其次广大农村地区应该建立规范的房屋建设审批制度,先把第一步工作做到位,才可以更加有效地防灾减灾。

(2) 房屋建筑质量。昭通地区房屋建筑建设普遍标准低、抗震能力差,特别是广大农村地区的民房基本上没有经过正规设计及采取抗震措施。针对这个问题,首先,应该彻底取缔“墙抬梁”等毫无抗震能力的土木或砖木结构房屋;其次,对于目前还在使用的抗震设防不达标的房屋建筑,必须进行加固改造;要建设砖混结构及其他具有地域特色的较强抗震能力的房屋结构类型,且要经过规范设计,并适当提高设防标准;除此之外,还要确保房屋建筑材料的质量和施工等环节符合国家要求的抗震设防标准。

(3) 地质灾害防范。昭通地区是滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的密集分布区。一方面,要充分掌握全区地质灾害分布的地点、规模、危害程度等;另一方面,要加强对地质灾害特别是重点防范对象的日常监测、治理等工作;同时,还要运用科技手段进行灾害风险等级的防范控制等。

(4) 公共安全。由于昭通地区所处的特殊地理地质环境,当遭遇地震或其他自然灾害后,公共安全问题如避难场所或临时安置场所的设置等在保障人民群众生命财产安全方面的作用就显得更为突出。

(5) 宣传教育。加强对广大人民群众的地震科普知识和防震减灾知识的宣传教育,提高人们对地震的认识水平,提升人们对地震的警觉程度和临震时的心理状态,从各个方面加强群众应对地震灾害和自救互救的能力。

参考文献：

- 常祖峰,周荣军,安晓文等. 2014. 昭通—鲁甸断裂晚第四纪活动及其构造意义[J]. 地震地质, 36(4): 1260–1279.
- 陈长云,何宏林. 2008. 大凉山地区新生代地壳缩短及其构造意义[J]. 地震地质, 30(2): 443–453.
- 程佳,刘杰,徐锡伟等. 2014. 大凉山次级块体内强震发生的构造特征与2014年鲁甸6.5级地震对周边断层的影响[J]. 地震地质, 36(4): 1228–1243.
- 樊杰,王传胜,汤青等. 2014. 鲁甸地震灾后重建的综合地理分析与对策研究[J]. 地理科学进展, 33(2): 1011–1018.
- 房立华,吴建平,王未来等. 2014. 云南鲁甸 M_s 6.5 地震余震重定位及其发震构造[J]. 地震地质, 36(4): 1173–1185.
- 何宏林,池田安隆,何玉林等. 2008. 新生的大凉山断裂带—鲜水河—小江断裂系中段的裁弯取直[J]. 中国科学(D辑), 38(5): 564–574.
- 皇甫岗,苏有锦,张建国等. 2014. 新世纪滇缅交界大震活动研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 141–149.
- 李西,张建国,谢英情等. 2014. 鲁甸 M_s 6.5 地震地表破坏及其与构造的关系[J]. 地震地质, 36(4): 1280–1291.
- 刘成利,郑勇,熊熊等. 2014. 利用区域宽频带数据反演鲁甸 M_s 6.5 地震震源破裂过程[J]. 地球物理学报, 57(9): 3028–3037.
- 卢永坤,张建国,宋立军等. 2014. 2014年鲁甸6.5级地震烈度分布与房屋震害特征[J]. 地震研究, 37(4): 549–557.
- 王虎,冉勇康,李彦宝等. 2014. 川西地区安宁河断层古地震行为及其与则木河断层的比较[J]. 地震地质, 36(3): 706–717.
- 王东坡,何思明,葛胜锦等. 2013. “9·07”彝良地震诱发次生山地灾害调查及减灾建议[J]. 山地学报, 31(1): 101–107.
- 王未来,吴建平,房立华等. 2014. 2014年云南鲁甸 M_s 6.5 地震序列的双差定位[J]. 地球物理学报, 57(9): 3042–3051.
- 闻学泽,杜方,易桂喜等. 2013. 川滇交界东段昭通、莲峰断裂带的地震危险背景[J]. 地球物理学报, 56(10): 3361–3372.
- 向宏发,虢顺民,徐锡伟等. 2000. 川滇南部地区活动地块划分与现今运动特征初析[J]. 地震地质, 22(3): 253–264.
- 谢宇平. 1987. 新构造运动学的研究现状[J]. 世界地质, 6(2): 1–10.
- 徐锡伟,江国焰,于贵华等. 2014a. 鲁甸6.5级地震发震断层判定及其构造属性讨论[J]. 地球物理学报, 57(9): 3060–3068.
- 徐锡伟,程佳,许冲等. 2014b. 青藏高原块体运动模型与地震活动主体地区讨论: 鲁甸和景谷地震的启示[J]. 地震地质, 36(4): 1116–1134.
- 许冲,徐锡伟,于贵华等. 2012. 玉树地震滑坡分布调查及其特征与形成机制[J]. 地震地质, 34(1): 56–60.
- 许力生,张旭,严川等. 2014. 基于勒夫波的鲁甸 M_s 6.5 地震震源复杂性分析[J]. 地球物理学报, 57(9): 3006–3017.
- 殷志强,陈红旗,褚宏亮等. 2013. 2008年以来中国5次典型地震事件诱发地质灾害主控因素分析[J]. 地学前缘, 20(6): 289–302.
- 云南省地震灾害损失评定委员会, 云南省地震局. 2012. (1992–2010)云南地震灾害损失评估及研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 47–50.
- 张广伟,雷建设,梁姗姗等. 2014. 2014年8月3日云南鲁甸 M_s 6.5 级地震序列重定位与震源机制研究[J]. 地球物理学报, 57(9): 3018–3027.
- 张杰,王宇,张红兵等. 2014. 云南彝良9·07地震次生地质灾害特征分析[J]. 工程地质学报, 22(2): 280–291.
- 张世民,聂高众,刘旭东等. 2005. 荣经—马边—盐津逆冲构造带断裂运动组合及地震分段特征[J]. 地震地质, 27(2): 221–233.
- 张彦琪,李西,谢英情等. 2015. 云南鲁甸 M_s 6.5 级地震人员震害研究[J]. 地震研究, 38(3): 432–441.
- 周光全,非明论,毛燕等. 2011. 云南地震灾害特征及经济损失评估技术研究[M]. 昆明: 云南科技出版社: 4–7.
- 周庆,吴果. 2015. 鲁甸6.5级地震崩滑地质灾害分布与成因探讨[J]. 地震地质, 37(1): 269–278.
- Li X, Xu X, Ran Y, *et al.* 2015. Compound Fault Rupture in the 2014 M_s 6.5 Ludian, China, Earthquake and Significance to Disaster Mitigation[J]. Seismological Research Letters, 85(3): 764–774.

Analysis on Seismotectonic Background and Earthquake Hazard Characteristic in Zhaotong, Yunnan: Taking Ludian $M_s6.5$ Earthquake and Yiliang $M_s5.7$ 、 5.6 Earthquake as Examples

ZHANG Yanqi, LI Xi, XIE Yingqing, YU Jiang, CHEN Kunhua

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

Abstract

Firstly, we analyzed the background of earthquake tectonic in Zhaotong area through the regional activity structure, its dynamics background, the new tectonic movement features and seismic activity etc. . Secondly, taking Ludian $M_s6.5$ earthquake in 2014 and Yiliang $M_s5.7$ 、 5.6 earthquake in 2012 which were the two largest earthquakes since 2000 in Zhaotong as an example, we analyzed the disaster characteristics of the two earthquakes. And on the basis of it, combined with the regional topography and geomorphology, geological structure condition and building structure (especially for the characteristic of simple structure housing) etc. , we also analyzed if a moderate-strong earthquake takes place in Zhaotong, there will be likely to happen the disaster as follows: seismogeological disasters, building destroy and casualties etc. . And we focused on discussing the relationship between the property and movement patterns of active tectonic etc. and earthquake disaster, especially earthquake geological disaster. Finally, we put forward some thinking and suggestions for disaster prevention and mitigation work in Zhaotong from the aspect of the location selection and quality of the building, geological disaster prevention, public safety, propaganda and education etc. .

Key words: geological structure; earthquake disaster; moderate-strong earthquake; Zhaotong City; Ludian earthquake; Yiliang earthquake