

2018年云南墨江5.9级地震房屋 震害特征与烈度评定^{*}

卢永坤, 周 洋, 代博洋, 杨健强, 闫 瀚

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 介绍了2018年9月8日云南墨江5.9级地震烈度分布情况, 给出了各烈度区的房屋建筑震害特征和各类结构房屋的破坏比、震害指数, 并与中国地震烈度表进行了对比, 探讨地震烈度评定的主要依据与方法。结果表明: 墨江地震灾区各类结构房屋的抗震性能依次为框架结构最好, 砖混结构次之, 传统砖木结构和土木结构较差, 空心砖墙抬梁结构最差; 各烈度区、调查点震害指数与烈度对应关系良好; 本次地震烈度评定结果符合国家标准和云南地区地震烈度分布规律。建议现场调查评定地震烈度应以灾区占比较高的房屋结构的震害作为主要依据, 并通过计算房屋平均震害指数定量评定地震烈度。

关键词: 墨江5.9级地震; 地震烈度; 破坏比; 震害指数

中图分类号: P315.943

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2019)02-0172-07

0 引言

破坏性地震发生后及时完成地震烈度评定, 能够为生命救援、应急抢险、灾民转移安置、次生灾害隐患排查、恢复重建等工作提供科学依据。地震烈度是表示地面震动强弱及地震对各类工程结构影响程度的物理指标, 地震烈度分布图显示灾区遭受破坏性地震影响或破坏强弱程度的分布。破坏性地震发生后, 尽快完成地震灾害调查与烈度评定、提供地震烈度分布图, 可及时为抗震救灾决策提供科学依据。同时生命搜索救援、紧急抢险时救援队伍调配、救灾物资调配及应急期间次生灾害隐患排查等工作也会更加有的放矢, 从而把有限的人力、物力投入到需求更紧迫的灾区中。在恢复重建工作中, 可以依据地震烈度分布图, 适时、精准地调整确定恢复重建的设防标准(周光全等, 2006; 卢永坤等, 2014; 明小娜等, 2017, 2018)。

2018年9月8日10时31分, 云南省墨江县(23.28°N, 101.53°E)发生5.9级地震。地震造

成28人受伤, 灾区房屋建筑、工程设施遭受不同程度破坏, 直接经济损失为12.92亿元^①。本文详细阐述了云南墨江5.9级地震烈度的分布情况, 对各烈度区的房屋震害特征、平均震害指数和破坏比进行对比分析, 并对烈度评定的定性和定量方法进行了讨论。

1 地震烈度分布

在云南墨江5.9级地震现场, 灾评科考组共调查了灾区207个居民点房屋建筑破坏情况, 66件基础设施破坏情况(地震现场工作第三部分: 调查规范, GB/18208.3—2011)。综合考虑地质构造背景、余震序列分布、震源机制解等资料, 评定了本次地震的烈度分布。2018年9月12日, 云南省地震局发布了墨江5.9级地震烈度图(图1)。

从图1可看出, 墨江5.9级地震极震区烈度达Ⅷ度, 宏观震中位于墨江县通关镇的丙蚌村、牛库村一带, 等震线呈椭圆形, 长轴方向呈NW向。Ⅵ度区及以上总面积约5180 km², 其中, Ⅷ度区总面积32 km², 涉及墨江县通关镇、雅邑镇、

^{*} 收稿日期: 2019-02-27.

基金项目: 地震科技星火计划(XH17032)资助.

① 云南省地震局. 2018. 云南墨江5.9级地震灾害直接经济损失评估报告.

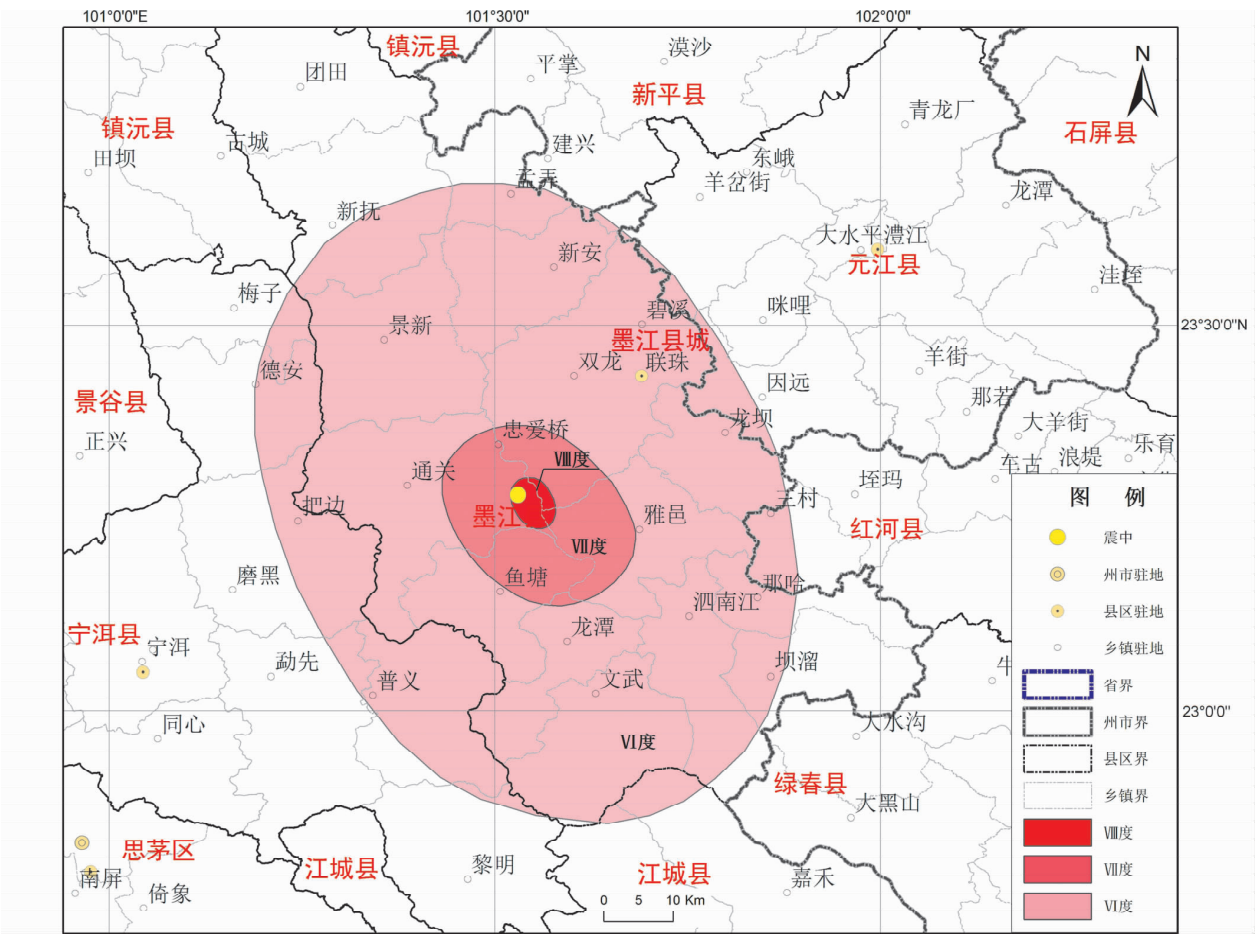


图 1 2018 年 9 月 8 日云南墨江 5.9 级地震烈度图

Fig. 1 Intensity distribution map of the Yunnan Mojiang $M_s5.9$ earthquake on Sep. 8, 2018

联珠镇；Ⅶ度区总面积 438 km²，涉及墨江县通关镇、鱼塘镇、雅邑镇、联珠镇、龙潭乡；Ⅵ度区总面积 4 710 km²，涉及墨江县、宁洱县、江城县、元江县的 24 个乡镇。

2 房屋震害特征

2.1 各烈度区房屋震害特征

灾区房屋建筑主要有钢筋混凝土框架结构、砖混结构、砖木结构、土木结构 4 种类型，农村地区土木结构与砖木结构房屋占比达 80% 以上，墨江县城砖混结构房屋占比 60% 以上。现场调查评估组在初步了解地震灾区房屋建筑震害基础上，对本次地震烈度评定的宏观判定标准进行了统一，确定农村地区以土木结构房屋震害、墨江县城以砖混结构房屋震害作为地震烈度宏观判定依据。

灾区土木结构房屋大多以穿斗木构架承重，

土坯墙围护，为云南省常见农村民居，抗震性能比滇东北地区墙抬梁土木结构要好。另有少量空心砖墙抬梁结构房屋，归为砖木结构，此类房屋抗震性能较差。

2.1.1 Ⅵ度区

Ⅵ度区内框架结构房屋个别填充墙体与框架结合部开裂，个别填充墙剪切裂缝（图 2a）；砖混结构房屋少数墙体产生细微裂缝，个别承重墙开裂（图 2b）；砖木结构房屋少数墙体开裂、梭掉瓦；土木结构房屋个别局部倒塌，部分墙体开裂、梭掉瓦。

2.1.2 Ⅶ度区

Ⅶ度区内框架结构房屋少数填充墙开裂明显，个别梁柱轻微裂缝（图 2c）；砖混结构房屋少数承重墙体开裂（图 2d）；砖木结构房屋多数墙体角部、结合处等部位开裂、梭掉瓦，个别老旧房屋局部倒塌（图 2e）；土木结构房屋多数墙体开裂、梭掉瓦，少数墙体局部倒塌（图 2f）。



(a) 墨江县福利中心框架结构房屋填充墙破坏



(b) 墨江县中医院砖混结构门诊楼承重墙体开裂



(c) 鱼塘镇和平村框架结构房屋墙体贯穿裂缝



(d) 联珠镇曼嘎村老凹组砖混结构房屋墙体开裂



(e) 雅邑镇托洛村砖木结构房屋墙体局部倒塌



(f) 鱼塘镇梁子寨土木结构房屋墙体局部倒塌



(g) 通关镇九冲和平组砖木结构房屋墙体多数开裂



(h) 通关镇九冲和平组土木结构房屋倒塌

图 2 2018 年墨江 5.9 级地震灾区各类结构房屋震害照片

Fig. 2 Photos of earthquake damage of each various structure buildings
in 2018 Mojiang 5.9 earthquake stricken area

2.1.3 VIII度区

VIII度区内砖混结构房屋少数墙体开裂明显（图 2g）；砖木结构房屋普遍梭掉瓦、开天窗，多数房屋墙体开裂严重，少数房屋墙体局部倒塌；土木结构房屋普遍梭掉瓦、开天窗，少数房屋墙体倒塌或局部倒塌、墙体开裂或外闪（图 2h）。

2.2 平均震害指数及破坏比

平均震害指数与房屋建筑破坏比是判定烈度的量化指标，也是定量研究某烈度区或调查点房屋建筑震害的重要依据（卢永坤等，2014；代博洋等，2017；明小娜等，2018）。

2.2.1 抽样点房屋破坏面积及平均震害指数

通过现场调查获取调查点各类结构房屋不同破坏等级的建筑面积即可计算该调查点的平均震害指数。根据《中国地震烈度表》（GB/T 17742—2008），某一类结构的平均震害指数为各级震害的

房屋占比与其相应的震害指数的乘积之和：

$$D = \sum d_i \times \lambda_i$$
(1)

式中： D 为某调查点（或区域）某一类房屋建筑平均震害指数； d_i 为该类房屋破坏等级为 i 的震害指数； λ_i 为该类结构的破坏等级为 i 的房屋面积（或栋数）占比（%）。

简易房屋分为基本完好、破坏和毁坏 3 个破坏等级，其震害指数取值分别为 0.65，0.29，0；非简易房屋分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏 5 个破坏等级，其震害指数取值分别为 1.0，0.7，0.4，0.2，0（中国地震局，1998；周光全，2011）。

表 1~4 分别给出本次地震现场调查获取的部分调查点（参与评估计算损失的抽样点）各类结构房屋破坏面积与平均震害指数汇总。

表 1 土木结构房屋破坏面积与平均震害指数

Tab. 1 Summary of damage area and average seismic damage index of civil-structured houses

烈度区	抽样点	毁坏/ m ²	破坏/ m ²	基本完好/ m ²	合计/ m ²	平均震害 指数	烈度区	抽样点	毁坏/ m ²	破坏/ m ²	基本完好/ m ²	合计/ m ²	平均震害 指数
VIII度	通关镇龙潭	200	1 100	200	1 500	0.30	VI度	鱼塘镇驻地	100	900	2 600	3 600	0.09
	通关镇曼蚌	200	1 900	0	2 100	0.32		文武镇驻地	100	800	5 100	6 000	0.05
	通关镇挖野	400	1 900	0	2 300	0.35		新安镇驻地	0	300	1 800	2 100	0.04
	通关镇嘎勒	300	2 000	0	2 300	0.34		雅邑镇芦山	0	500	2 300	2 800	0.05
VII度	通关镇大崩山	0	2 300	500	2 800	0.24		龙坝驻地	0	300	1 000	1 300	0.07
	通关镇景坝	100	600	1400	2 100	0.11		龙潭乡大寨	0	700	3 400	4 100	0.05
	景星镇驻地	0	300	600	900	0.10		新抚镇界牌	0	700	3 900	4 600	0.04
	鱼塘镇丫口寨	0	1 200	2800	4 000	0.09		联珠镇笼坪	0	400	1 200	1 600	0.07
	雅邑镇黄栗树	100	2 400	700	3 200	0.24		坝溜镇大山组	0	200	800	1 000	0.06
	雅邑镇冲头	0	1 200	0	1 200	0.29		通关镇驻地	0	400	2 700	3 100	0.04
	联珠镇瓦房	0	700	800	1 500	0.14		曼来镇光山	0	700	3 600	4 300	0.05
	联珠镇大老凹	100	600	900	1 600	0.15		泗南江镇哈的	0	400	500	900	0.13
	通关镇忠爱桥	0	100	200	300	0.10							

表 2 砖木结构房屋破坏面积与平均震害指数

Tab. 2 Summary of damage area and average seismic damage index of brick and wood structure houses

烈度区	抽样点	毁坏/ m ²	破坏/ m ²	基本完好/ m ²	合计/ m ²	平均震害 指数	烈度区	抽样点	毁坏/ m ²	破坏/ m ²	基本完好/ m ²	合计/ m ²	平均震害 指数
VIII度	九冲和平	2 300	800	300	3 400	0.51	VI度	新抚镇界牌	0	200	600	800	0.07
	通关镇景坝	0	600	2 600	3 200	0.05		普义乡驻地	0	300	1 800	2 100	0.04
	通关镇大湾	0	1 800	3 000	4 800	0.11		泗南江镇哈的	0	400	2 560	2 960	0.04
VII度	雅邑镇冲头	0	1 400	3 800	5 200	0.08		曼来镇光山	0	200	800	1000	0.06
	通关镇忠爱桥	0	1 600	5 200	6 800	0.07		龙潭乡大寨	100	300	3 200	3 600	0.04
	景星镇驻地	0	1 000	800	1 800	0.16		文武镇驻地	0	700	6 000	6 700	0.03

表 3 砖混结构房屋破坏面积与平均震害指数

Tab. 3 Summary of damage area and average seismic damage index of brick-concrete structure houses

烈度区	抽样点	毁坏/m ²	严重破坏/m ²	中等破坏/m ²	轻微破坏/m ²	基本完好/m ²	合计/m ²	平均震害指数
Ⅷ度	通关镇曼蚌	0	0	0	300	200	500	0.120
	通关镇龙潭	0	0	0	100	500	600	0.033
Ⅶ度	通关镇大崩山	0	0	0	210	120	330	0.127
	通关镇忠爱桥	0	0	0	300	900	1 200	0.050
Ⅵ度	鱼塘镇驻地	0	0	0	320	2 900	3 220	0.020
	文武镇驻地	0	0	0	400	4 400	4 800	0.017
	雅邑镇芦山	0	0	0	200	1 300	1 500	0.027
	景星镇驻地	0	0	0	100	800	900	0.022
	联珠镇笼坪	0	0	0	150	400	550	0.055
	坝溜镇大山组	0	0	0	220	2 800	3 020	0.015
	磨黑镇把边	0	0	0	100	1 500	1 600	0.013
	普义乡驻地	0	0	0	300	1 800	2 100	0.029
	鱼塘镇丫口寨	0	0	0	300	1 100	1 400	0.043
	县城一组	0	0	0	1 100	27 500	28 600	0.008
	县城二组	4 000	2 260	2 590	2 750	38 700	50 300	0.143
	县城三组	0	0	1 100	3 050	26 800	30 950	0.034

表 4 框架结构房屋破坏面积与平均震害指数

Tab. 4 Summary of damage area and average seismic damage index of frame structure buildings

烈度区	抽样点	毁坏/m ²	严重破坏/m ²	中等破坏/m ²	轻微破坏/m ²	基本完好/m ²	合计/m ²	平均震害指数
Ⅵ度	磨黑镇把边	0	0	0	480	6 160	6 640	0.014
	新安镇驻地	0	0	0	290	4 800	5 090	0.011
	景星镇驻地	0	0	0	360	4 770	5 130	0.014
	鱼塘镇驻地	0	0	1 540	1 440	5 040	8 020	0.113
	通关镇驻地	0	0	0	1 840	12 400	14 240	0.026
	县城一组	0	0	0	5 130	48 000	53 130	0.019
	县城二组	0	0	1 600	2 700	59 000	63 300	0.019
	县城三组	0	0	3 160	9 580	65 390	78 130	0.041

2.2.2 各烈度区破坏比

根据表 1~4 中房屋破坏数据可以计算各烈度区不同结构房屋破坏比及震害指数,列于表 5,6。

《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)给出了地震烈度与房屋震害指数的对应关系(表 7)。表 7 中,A 类建筑为木构架和土、石、砖墙建造的旧式房屋;B 类建筑为未经抗震设防的单层或多层砖砌体房屋;C 类为按照Ⅶ度抗震设防的单层或多层砖砌体房屋。结合本次地震现场调查来看,土木结构与砖木结构房屋为 A 类建筑,部分砖混结构房屋为 B 类建筑,所有框架结构与部分砖混

表 5 简易房屋破坏比与震害指数

Tab. 5 Summary of simple house damage ratio and earthquake damage index

烈度区	结构类型	毁坏/(%)	破坏/(%)	基本完好/(%)	震害指数
Ⅷ度	砖木结构	67.65	23.53	8.82	0.51
	土木结构	13.41	84.15	2.44	0.33
Ⅶ度	砖木结构	0	29.36	70.64	0.09
	土木结构	1.70	53.41	44.89	0.17
Ⅵ度	砖木结构	0.58	12.24	87.18	0.04
	土木结构	0.56	17.80	81.64	0.06

表 6 非简易房屋破坏比与震害指数
Tab. 6 Summary of non-simple house damage ratio
and earthquake damage index

烈度区	结构 类型	毁坏/ (%)	严重 破坏/ (%)	中等 破坏/ (%)	轻微 破坏/ (%)	基本 完好/ (%)	震害 指数
Ⅷ度	砖混结构	0	0	0	36.36	63.64	0.07
Ⅶ度	砖混结构	0	0	0	33.33	66.67	0.07
Ⅵ度	框架结构	0	0	2.70	9.34	87.96	0.03
	砖混结构	3.10	1.76	2.86	6.97	85.31	0.07

表 7 地震烈度与房屋震害指数对应关系
Tab. 7 Correspondence relationship between seismic
intensity and earthquake damage index

地震烈度	震害指数	
	A 类、B 类建筑	C 类建筑
Ⅸ	0.49 ~ 0.71	0.38 ~ 0.60
Ⅷ	0.29 ~ 0.51	0.20 ~ 0.40
Ⅶ	0.09 ~ 0.31	0.07 ~ 0.22
Ⅵ	0.00 ~ 0.11	0.00 ~ 0.08

结构房屋为 C 类建筑。表 5 中各烈度区土木结构与砖木结构房屋震害指数与《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008) 给出的震害指数(表 7) 对应较好;表 6 中Ⅷ,Ⅶ度区砖混结构房屋震害指数与表 7 对应较差,Ⅵ度区对应较好,主要是因为框架结构、砖混结构房屋在农村地区分布数量较少,且抗震性能良好破坏较轻。这也恰好说明在建筑结构占比迥异的农村地区和城市地区开展烈度评定,应以该区域面积占比最多的结构类型的震害作为评定烈度的主要依据。

3 讨论与建议

《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008) 给出了评定地震烈度时的 4 类依据,即人的感觉、房屋震害、地质灾害等其它震害现象及强震动记录,V ~ Ⅸ度时,以房屋震害作为评定烈度的主要依据是目前被普遍接受的一种观点。但同一个调查点,用不同结构类型房屋建筑进行震害评定得出的地震烈度不一定相同。有种观点认为Ⅷ度及以上高烈度区应该以砖混结构、框架结构等现代建筑的震害作为首要依据,甚至认为地震烈度达Ⅷ度时必须要有砖混、框架结构的结构性破坏作为证

据。结合云南多次地震现场烈度调查评定工作,笔者认为:

(1) 在评定烈度时应以灾区占比较高的房屋结构类型的震害作为主要依据,即便高烈度区也应如此。如云南多数农村地区房屋仍以土木结构、砖木结构房屋为主,多数村落仅有几栋砖混结构和框架结构房屋,甚至没有此类结构,此时应以土木结构、砖木结构房屋震害作为评定此地地震烈度的主要依据,才更能反映该调查点平均意义上的破坏程度,也能较好地解决同一调查点几种房屋结构类型平均震害指数与对应烈度值不匹配的问题。

(2) 在评定地震烈度时应以平均震害程度(指数)作为主要依据。1978 年版的《中国地震烈度表》开始引入震害指数这一概念,除了为地震学与工程学建立了纽带外,也为科研人员提供了定量评定地震烈度的方法,同时也解决了地震烈度评定时平均震害程度与极端震害程度的取舍问题。平均震害指数即代表了调查点的平均震害程度,而前述Ⅷ度时砖混结构、框架结构的结构性破坏则代表了调查点的极端震害程度。如表 3,4 所示,Ⅷ度调查点土木结构、砖木结构房屋倒塌、毁坏并不多,但多数墙体开裂、局部倒塌、梭掉瓦,其震害指数反映该调查点已经达Ⅷ度破坏;表 5 中,县城二组调查显示,有一定量的毁坏、严重破坏砖混结构房屋,但并不能因此判定县城地震烈度达Ⅷ度。

(3) 对比鲁甸 6.5 级地震各类房屋结构破坏比与震害指数(卢永坤等,2014),Ⅵ度 ~ Ⅷ度时,框架结构分别是 0.02,0.09,0.15,砖混结构分别是 0.05,0.16,0.37,砖木结构分别是 0.07,0.26,0.54,可以看出墨江地震各烈度区对应的房屋破坏显著轻于鲁甸地震灾区,侧面印证了云南省滇南—滇西南房屋建筑抗震性能普遍强于滇东北地区。从现场调查掌握的房屋建筑震害情况来看,本次地震灾区框架结构房屋抗震性能最好,砖混结构房屋次之,传统砖木结构与土木结构房屋抗震性能相对较差,而空心砖墙抬梁结构房屋最差。

(4) 地震灾区的最高烈度与长轴展布方向是地震烈度圈定时需要确定的首要因素。烈度圈定主要依据现场调查获取的房屋建筑震害资料,同时参考工程结构震害、地震地质背景、强震动记录、余震展布、震源机制解等资料确定的。本次

地震最高烈度主要依据房屋破坏情况判定,长轴 NW 走向与灾区震害分布、地震地质背景、余震展布方向、强震震源机制解等科技支撑成果显示了较好的一致性。各烈度区、调查点震害指数与烈度的对应关系良好,说明 2018 年云南墨江 5.9 级地震烈度圈定严谨、依据充分,符合国家标准《中国地震烈度表》(GB/T 17742—2008)。

(5) 按云南地区地震烈度分布的一般规律(周光全等, 2006; 国家地震局, 国家统计局, 1996; 中国地震局监测预报司, 2001; 毛玉平, 韩新民, 2003; 乔森等, 2000; 苏有锦等, 2001; 周光全等, 2011), $M_{5.8} \sim 6.2$ 地震极震区烈度可达 VIII 度, VI 度区以上面积为 $900 \sim 5\,500\text{ km}^2$, 本次地震灾区面积略大, 可能与该区域地形地貌对灾害的放大作用有关。

综上所述, 房屋震害程度是一种定性评定烈度的方法, 不能过于依赖现场调查人员的经验, 建议评定地震烈度时, 应以灾区占比较高的房屋结构类型的震害作为主要依据, 并建议通过计算平均震害指数定量评定地震烈度。

参考文献:

代博洋, 吴波, 卢永坤, 等. 2017. 2016 年云龙 5.0 级地震民房震害对

比分析[J]. 地震研究, 40(2): 271–276.

国家地震局, 国家统计局. 1996. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1990~1995 年)[M]. 北京: 地震出版社.

卢永坤, 张建国, 宋立军, 等. 2014. 2014 年云南鲁甸 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.

毛玉平, 韩新民. 2003. 云南地区强震($M \geq 6$)研究[M]. 昆明: 云南科技出版社.

明小娜, 周洋, 卢永坤. 2018. 云南砖混结构房屋震害矩阵修正研究[J]. 地震研究, 41(4): 605–612.

明小娜, 周洋, 钟玉盛, 等. 2017. 2017 年云南鲁甸 $M_{5.4}$ 9 地震房屋震害特征与烈度评定[J]. 地震研究, 40(2): 295–302.

乔森, 姜朝松, 陈敬, 等. 2000. 云贵地区地震等震线图集[J]. 地震研究, 23(增刊 1): 1–112.

苏有锦, 李忠华, 刘祖荫, 等. 2001. 20 世纪云南地区 $M_s \geq 5.0$ 级地震活动基本特征[J]. 地震研究, 24(1): 1–9.

周光全, 非明伦, 卢永坤, 等. 2011. 云南地震灾害特征及经济损失评估计算研究[M]. 昆明: 云南科技出版社.

周光全, 施伟华, 非明伦, 等. 2006. 云南地震烈度分布面积的统计特征[J]. 地震研究, 29(4): 193–196.

周光全. 2011. 云南地区简易房屋的震害指数研究[J]. 地震研究, 34(1): 88–95.

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.

中国地震局监测预报司. 2001. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996~2000)[M]. 北京: 地震出版社.

GB/18208.3—2011, 地震现场工作第三部分: 调查规范[S].

GB/T 17742—2008, 中国地震烈度表[S].

Building Seismic Damage Characteristics and Intensity Evaluation of Yunnan Mojiang $M_{5.9}$ Earthquake in 2018

LU Yongkun, ZHOU Yang, DAI Boyang, YANG Jianqiang, YAN Han
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

The distribution of the seismic intensity of the Mojiang $M_{5.9}$ earthquake occurred on Sep. 8, 2018 in Yunnan Province is introduced, and the damage characteristics of buildings, the damage ratio and seismic damage index of various structure building in each intensity area are compared with those of the *Chinese Seismic Intensity Scale*. Then the main basis and method of seismic intensity assessment are discussed. It is concluded that the aseismic performance of all kinds of buildings in Mojiang earthquake disaster area is as follow: The frame structure is the best, brick-concrete structure is the second, traditional brick and civil structure is poor, and the hollow brick wall is the worst. The seismic damage indexes of each intensity area and investigation point correspond well with the intensity. The intensity distribution of the Yunnan Mojiang $M_{5.9}$ earthquake meets the national standard and the distribution law of seismic intensity in Yunnan. We suggest that the seismic intensity by field investigation should be based on the earthquake damage of the housing structure, which takes up a high ratio in the seismic intensity assessment. The earthquake intensity should be quantitatively evaluated by calculating the average seismic damage index of buildings.

Keywords: Mojiang $M_{5.9}$ earthquake; seismic intensity; damage ratio; seismic damage index