

# 滇西北地区房屋建筑特征和抗震能力评价\*

明小娜<sup>1</sup>, 周 洋<sup>1</sup>, 卢永坤<sup>1</sup>, 和嘉吉<sup>2</sup>

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 云南省住房和城乡建设厅, 云南 昆明 650228)

**摘要:** 选取滇西北地区 16 个具有代表性的县(区)为研究对象, 根据实地调查总结滇西北房屋总体建筑特征, 并结合区域内历史地震房屋震害矩阵分析不同烈度区下各结构类型房屋的震害特征, 在此基础上建立区域房屋抗震能力综合指数评价滇西北房屋抗震性能, 给出滇西北房屋抗震能力等级分布图和分布规律。

**关键词:** 滇西北地区; 建筑物特征; 震害矩阵; 区域房屋抗震性能指数

**中图分类号:** P315.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0666(2017)04-0646-09

## 0 引言

汶川、玉树、芦山、鲁甸等地震灾害发生后, 国家、社会、公众对地震灾害防御、地震紧急救援的关注度达到空前。云南地处特提斯—喜马拉雅构造域与环太平洋构造域的交接部位, 断裂构造复杂、地貌类型多样、垂直差异明显。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015), 云南所辖澜沧、东川、寻甸 3 个县(区)抗震设防烈度为Ⅸ度, 迪庆、德宏、临沧等 68 个县(区)抗震设防烈度为Ⅷ度, 昌宁、云龙、姚安等 48 个县(区)抗震设防烈度为Ⅶ度, 可见云南大部分县城都处于高烈度设防区。在云南震情形势严峻、震害重、房屋建筑抗震能力普遍较差的情况下, 本文合理分析云南省不同区域房屋建筑特征, 探讨区域房屋建筑抗震性能, 并以此为基础有针对性地提出房屋建设改进意见, 为提高房屋抗震性能提供借鉴(胡少卿等, 2007)。

## 1 研究区域选取

滇西北位于云南省西北部、四川省西南部和西藏自治区东南部交界区域, 包括迪庆藏族自治州、丽江市、大理白族自治州、怒江傈僳族自治州、保山市、德宏傣族景颇族自治州、临沧市 7 个州(市), 隶属青藏高原至云贵高原的过渡地带, 北接青藏高原, 东南与云贵高原相连, 区域内地

形起伏大, 高山深谷相间, 发育有红河断裂带、小金河—丽江断裂、程海断裂带、德钦—中甸断裂以及宁蒗断裂带等多条活动断裂, 是我国历史上地震多发区。1992—2012 年, 滇西北地区发生  $M \geq 5.0$  地震 19 次(周光全等, 2012), 2013—2015 年滇西北地区发生  $M \geq 5.0$  地震 6 次。笔者结合区域地震断裂走向、历史地震以及历年重点危险区范围, 选取具有代表性的 16 个县级行政区部分城市和农村开展房屋建筑实地调查(表 1), 其房屋建筑结构

表 1 滇西北调查区  
Tab. 1 Survey areas of northwest Yunnan

序号	州(市)	县(区)	基本抗震设防烈度
1	迪庆州	香格里拉县	Ⅷ
2	丽江市	古城区	Ⅷ
3		玉龙县	Ⅷ
4	大理州	大理市	Ⅷ
5		漾濞县	Ⅷ
6		洱源县	Ⅷ
7		永平县	Ⅶ
8		剑川县	Ⅷ
9		云龙县	Ⅶ
10	怒江州	泸水县	Ⅷ
11	保山市	隆阳区	Ⅷ
12		施甸县	Ⅷ
13		昌宁县	Ⅶ
14	临沧市	凤庆县	Ⅷ
15	德宏州	梁河县	Ⅷ
16		盈江县	Ⅷ

\* 收稿日期: 2016-10-21.

基金项目: 大中城市地震灾害情景构建重点专项项目(2016QJGJ04)资助.

类型和特征能够反应该区域房屋建筑基本特征,可用于区域房屋建筑宏观抗震能力评价。

## 2 滇西北地区房屋建筑特征分析

### 2.1 总体特征

根据地震现场工作资料和灾区实际情况,将研究区房屋结构类型主要划分为土木结构、砖木结构、砖混结构、钢筋混凝土结构4类(周光全等,2007),土木、砖木结构归为简易房屋,砖混、框架结构归为非简易房屋。

本文所使用房屋基础数据为2012年各县级地方政府报送,统计得出:滇西北房屋框架结构、砖混结构、砖木结构、土木结构在城市和农村的占比如图1所示,城市地区(县、区政府所辖区为城区)以砖混结构为主,占比为38%,农村地区以土木结构为主,占比为55.6%。其中,城区砖混结构房屋多建于20世纪90年代后期,层数为3~5层,多数设有钢筋混凝土构造柱;农村砖混结构房屋多为3层以下,一般设有圈梁;城区框架结构房屋建于2000年以后,其用途多为公共建筑;城区和农村土木结构、砖木结构房屋多建于20世纪80年代以前,一般为1~2层,穿斗木架构承重的房屋较多,有部分是空心砖或夯土为承重墙的墙抬梁结构房屋。

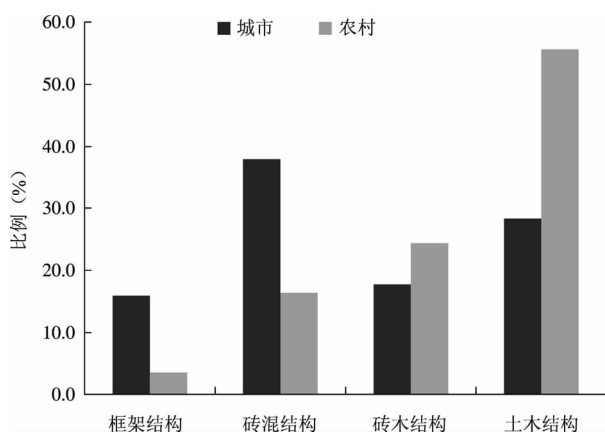


图1 滇西北地区各类建筑比例柱状图

Fig. 1 Proportions histogram of various buildings in northwestern Yunnan

### 2.2 特色民居建筑特征

滇西北地区为少数民族聚居地,房屋建筑因地域、环境、人文和经济条件不同,且多以就地

取材为主,建筑风格各异,农村土木结构房屋尤为显著。因此,笔者选取区域内有代表性的民居分析其建筑特色及房屋抗震性能。

#### 2.2.1 迪庆地区藏式民居

迪庆藏式土木结构房屋(图2)一般以木构架承重,墙体常用石料砌筑或夯土成墙,墙体底部宽(单军,吴艳,2010),墙体截面为梯形,其底部墙体厚度大多在1 m以上,内墙陡直,外墙略向内倾斜,形成上小下大的“宝塔式”建筑格局,房屋内通常用木板间隔,特有的收分墙体和柱网结构,使建筑物结构稳定。由于柱子和主梁截面尺寸较大,承载力大,抗震性能好;土墙底部宽厚坚实,设在柱子外围,遭遇地震时,墙体大多向外倒塌,不容易伤及室内活动人群。



图2 迪庆地区藏式民居

Fig. 2 Tibetan style houses in Diqing area

#### 2.2.2 丽江地区纳西民居

纳西民居(图3)建筑一般高约7 m,架构为抬梁式、穿斗式(赵龙,2015),建筑材料以木、土、石为主,石料作墙基和勒脚,垒土坯墙、砖墙或夯土墙,墙厚约70 cm,多数房屋的2层楼处采用木围护墙;面向庭院的墙体(围墙除外)采用木隔扇,外墙不砌到顶,墙上部用板枋材隔断,墙体从下到上往里微微倾斜,多为两坡悬山屋顶,屋面多数为座泥沙浆的筒板瓦,少数为冷摊小青瓦(许涛,2003)。穿斗木结构瓦屋面自重轻,节点采用榫接,整体性良好,具有一定的抗震效能,围护墙在柱子外围,遭遇地震时,墙体一般向外倾倒,不易伤及室内人群。



图3 丽江地区纳西民居

Fig. 3 Naxi houses in Lijiang area

### 2.2.3 大理地区白族民居

白族民居（图4）多为二层穿斗木楼房，三开间，筒板瓦盖顶，房屋基槽深且宽，用巨大石头做基石（高琳玲，柯卫华，2012），相互错位叠压砌石，从而分散墙体对基底的压力；房屋建筑采

用梁柱式结构，各结点用榫卯相连接，构成富有弹性的构架，砖或土坯砌墙，墙面涂白并绘图案修饰，建筑物的重量由构架承担，墙壁不承重，房屋整体抗震性能好。



图4 大理地区白族民居

Fig. 4 Bai nationality houses in Dali area

### 2.2.4 德宏—保山傣族民居

傣族民居（图5）多为竹楼，房屋多以木构架承重，木板、竹编墙围护，茅草或瓦屋顶，檐部低垂，歇山屋顶陡峭，多为两层，上层住人，下养家畜、堆放农具。房屋大多以穿斗木构架承重，穿斗木构架自重轻、塑性和延性较好，木构架梁柱节点为榫接，梁柱以榫接方式形成多榫框架，具有较好的塑性变形能力和一定的消能减震效果。

### 2.2.5 宁蒗地区木楞房

木楞房（图6）以木材为主，除此之外是土、

少量当地石材、草和烧制的砖瓦，结构形式为抬梁式，结构柱之上搭梁，数榀屋架并列，形成梁—柱—枋支撑结构体系（刘柯岐，李嘉林，2007），用原木层叠搭建的垛木墙或木板墙作为维护墙体。屋顶为悬山式，在梁架上盖木片，不用钉，以石压固，其房顶除用木片搭成的外，还有用茅草或者瓦盖的。木楞房的木梁柱体系把承重结构和围护结构两者分开，其好处是“墙倒屋不塌”，有极高的抗震性，但耗材量、建筑面阔和进深受木材长度的限制，仅适于小型民居。





图 5 德宏—保山傣族民居

Fig. 5 Dai nationality houses in Dehong – Baoshan area



图 6 宁蒗地区木楞房

Fig. 6 Wood houses in Ningliang area

### 3 历史地震中滇西北房屋震害特征分析

笔者结合选定研究区域内历史地震的房屋破坏比矩阵，分析历次地震中各类房屋的震害特征，从历史震害角度反映该区域房屋的抗震性能。

#### 3.1 破坏比

房屋建筑破坏比是指房屋破坏面积与调查总面积之比，反映地震灾区各类型房屋建筑结构在不同烈度条件下的破坏情况，即该地区某类结构群体的抗震能力。笔者按照简易房屋和非简易房屋，统计 1992—2015 年发生在滇西北一带的 25 个破坏性地地震破坏比（表 2），求出不同烈度区、不

表 2 滇西北历史地震表  
Tab. 2 Historical earthquakes occurred in northwest Yunnan

序号	地点	日期	时间	$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$	震级	最大烈度
1	中甸	1993-07-17	17:46:34	27.9	99.6	5.6	VI
2	丽江	1996-02-03	19:14:18	27.3	100.2	7	IX
3	丽江	1996-07-02	15:05:02	26.9	100.1	5.2	VI
4	丽江	1996-09-25	3:24:46	27.2	100.3	5.7	VII
5	丽江	1997-10-23	20:28:30	26.9	100.3	5.3	VI
6	宁蒗	1998-10-02	20:49:29	27.3	101.1	5.3	VII
7	宁蒗	1998-11-19	19:18:32	27.3	100.9	6.2	VIII
8	陇川西	2000-10-06	20:05:36	24.3	97.6	5.8	VI
9	施甸	2001-04-12	18:46:59	24.8	99	5.9	VIII
10	宁蒗	2001-05-24	5:10:39	27.6	100.9	5.8	VII
11	施甸	2001-06-08	2:03:28	24.8	99.1	5.3	VI
12	永胜	2001-10-27	13:35:40	26.2	100.6	6	VII
13	保山隆阳	2004-10-19	6:11:41	25.1	99.1	5	VI
14	盈江	2008-03-21	20:36:55	24.5	97.6	5	VI
15	盈江	2008-08-21	20:24:28	25.1	97.9	5.9	VIII
16	盈江	2011-03-10	12:58:12	24.7	97.9	5.8	VIII
17	腾冲	2011-06-20	18:16:49	25.1	98.7	5.2	VI
18	腾冲	2011-08-09	19:50:16	25	98.7	5.2	VI
19	宁蒗	2012-06-24	15:59:32	27.7	100.7	5.7	VII
20	洱源	2013-03-03	13:41:15	25.9	99.7	5.5	VII
21	洱源—漾濞	2013-04-17	9:45:54	25.9	99.8	5	VII
22	香格里拉	2013-08-31	8:04:00	28.23	99.4	5.9	VIII
23	盈江	2014-05-30	9:20:00	25	97.8	6.1	VIII
24	沧源	2015-03-01	18:24:40	23.5	98.9	5.5	VII
25	昌宁	2015-10-30	19:26:39	25.1	99.5	5.1	VI

注：2001 年 12 月 17 日，经国务院批准中甸县更名为香格里拉县。

同结构类型、不同破坏等级的破坏比最大值、最小值和均值（表3、4）。

根据统计结果，滇西北区域非简易房屋破坏比均值与全省均值（表5）相差不大，但简易房屋，尤其是土木结构房屋破坏比均值与全省均值相差较大。在相同烈度下，滇西北地区房屋震害毁坏等级下的破坏比比全省平均值小，说明滇西北地区简易房屋抗震性能优于全省平均水平。

3.2 震害特征分析

震害的一般规律往往与烈度分布紧密相关，笔者结合25次历史地震的烈度分布以及灾害损失评估报告，对震害资料重新进行归类、梳理，总结得出：

（1）Ⅵ度区内土木、砖木及石木结构房屋部分房屋墙体开裂，少数土木房屋局部倒塌，部分梭（掉）瓦，少数空心砖房屋墙体开裂或老裂缝加宽、加长；砖混结构房屋个别墙体出现明显裂缝，部分墙体出现细裂；框架结构房屋少数填充墙体开裂，极个别承重梁可见细微裂纹；木楞房

个别梭、掉瓦。

（2）Ⅶ度区内极个别年久失修穿斗木结构房屋倾斜、脱榫；砖木结构房屋个别山墙倒塌，部分墙体开裂，梭、掉瓦，个别空心砖房屋局部倒塌或墙体酥裂；砖混结构房屋少数2~3面墙体开裂，多数梭、掉瓦；框架结构房屋个别填充墙开裂、抹灰层脱落；木楞房少数屋顶梭、掉瓦，个别整体倾斜。

（3）Ⅷ度区内房屋破坏严重，土木、砖木及石木结构房屋少数倒塌或局部倒塌，部分墙体倾斜、变形，墙体开裂现象较普遍；穿斗木构架个别倾斜、木架脱榫、柱脚位移；砖混结构房屋个别倒塌、少数构造柱断裂、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；框架结构个别倒塌，少数承重构件断裂、多数产生裂缝，部分填充墙局部倒塌、多数开裂、抹灰层普遍脱落。

（4）Ⅸ度区内土木结构和砖木结构多数倒塌或局部倒塌，未倒塌的房屋墙体开裂严重；砖混结构房屋多数承重墙体出现较严重的水平或“X”

表3 滇西北非简易房屋破坏比统计表

Tab. 3 The statistics of damage ratio of non-simple houses in northwest Yunnan

烈度	结构类型	统计样本数	统计项目	各破坏等级所占比例（%）				
				毁坏	严重破坏	中等破坏	轻微破坏	基本完好
Ⅵ度	框架结构	18	最大值	0	0.72	9.09	45.30	96.65
			最小值	0	0	0	3.35	54.70
			均值	—	0.04	1.38	17.01	81.57
	砖混结构	23	最大值	0.77	2.00	12.46	65.50	90.23
			最小值	0	0	0	9.67	24.50
			均值	0.03	0.17	2.34	21.31	76.15
Ⅶ度	框架结构	12	最大值	0	9.80	18.57	57.14	88.05
			最小值	0	0	0	9.62	19.16
			均值	—	1.53	6.05	31.07	61.35
	砖混结构	12	最大值	1.84	9.99	26.36	53.67	77.83
			最小值	0	0	0	21.58	15.47
			均值	0.43	2.57	11.90	32.18	52.92
Ⅷ度	框架结构	5	最大值	8.37	13.83	26.00	43.00	70.42
			最小值	0	0	0	14.30	26.00
			均值	1.67	6.59	13.19	28.22	50.33
	砖混结构	6	最大值	11.57	25.00	58.33	37.05	44.72
			最小值	—	8.22	15.03	16.67	0
			均值	5.40	13.85	28.16	29.04	23.55
Ⅸ度	框架结构	1	均值	0	12.00	33.00	34.00	21.00
	砖混结构	1	均值	11.00	38.10	14.50	19.60	16.80

表 4 滇西北简易房屋破坏比统计表

Tab. 4 The statistics of damage ratio of simple houses in northwest Yunnan

烈度	结构类型	统计样本数	统计项目	各破坏等级所占比例（%）		
				毁坏	破坏	基本完好
Ⅵ度	砖木结构	22	极大值	5.00	38.45	91.17
			最小值	0	8.83	61.40
			均值	0.86	24.15	74.99
	土木结构	25	最大值	2.21	42.70	91.02
			最小值	0	8.98	68.42
			均值	0.60	27.91	71.49
Ⅶ度	砖木结构	12	最大值	14.74	71.53	82.77
			最小值	0	16.80	19.90
			均值	5.76	48.94	45.30
	土木结构	16	最大值	22.31	69.70	85.88
			最小值	0.00	14.12	24.09
			均值	6.42	51.27	42.31
Ⅷ度	砖木结构	6	最大值	60.44	75.00	27.78
			最小值	15.00	33.29	0
			均值	33.12	54.29	12.59
	土木结构	6	最大值	64.36	83.60	67.38
			最小值	5.15	27.47	0
			均值	27.42	56.60	15.96
Ⅸ度	砖木结构	1	均值	55.00	45.00	0
	土木结构	1	均值	67.8	32.20	0

表 5 云南房屋破坏比均值表

Tab. 5 The statistics of damage ratio of houses in Yunnan

烈度	结构类型	毁坏（%）	严重破坏（%）	中等破坏（%）	轻微破坏（%）	基本完好（%）
Ⅵ度	框架结构	0.00	0.09	0.89	15.83	83.19
	砖混结构	0.02	0.29	2.21	19.33	78.15
	砖木结构	0.77	—	23.59	—	75.64
	土木结构	1.11	—	27.25	—	71.64
Ⅶ度	框架结构	0.00	1.69	8.49	31.86	57.96
	砖混结构	0.39	4.21	13.70	33.02	48.68
	砖木结构	5.91	—	51.90	—	42.19
	土木结构	9.01	—	51.74	—	39.25
Ⅷ度	框架结构	1.69	8.89	15.38	34.08	39.96
	砖混结构	3.71	13.59	30.72	33.39	18.59
	砖木结构	28.67	—	61.07	—	10.26
	土木结构	31.82	—	57.34	—	10.84
Ⅸ度	框架结构	19.26	10.45	19.16	28.01	23.12
	砖混结构	17.11	33.67	24.96	13.21	11.05
	砖木结构	61.07	—	38.17	—	0.76
	土木结构	65.65	—	34.35	—	0.00

注：砖木结构与土木结构的严重破坏合并至毁坏，中等破坏与轻微破坏合并为破坏。

型贯通裂缝，部分倒塌、局部倒塌或倾斜，少数基本完好；框架结构房屋个别倒塌或局部倒塌，少数框架节点开裂、甚至断裂整体倾斜，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。

4 区域房屋建筑抗震能力快速评价方法

4.1 区域房屋抗震性能指数

从建筑结构性能分析，影响房屋抗震性能的

主要因素为建筑物易损性,包括结构平立面规则程度、结构对称性、结构材料、建筑场地等(杨仕升等,2004);林世铤等(2011)将区域地震危险性也作为影响因素,通过 Push-over 分析方法结合抗震能力指标,研究群体建筑物抗震能力。笔者仅考虑房屋结构比例以及各地区设计基本地震加速度值,建立区域房屋抗震性能指数  $AS$ ,用于量化表达区域房屋抗震性能,如公式 1 所示。该方法参数容易获取,计算简单,已用于云南省 2014 年、2015 年及 2016 年重点危险区各县(区)房屋抗震能力评价,其评价结果得到认可。

$$AS = C_p \times (S_{cw} \times CW_{cp} + S_{bw} \times BW_{cp} + S_{bc} \times BC_{cp} + S_{rc} \times RC_{cp}) + R_p \times (S_{cw} \times CW_{rp} + S_{bw} \times BW_{rp} + S_{bc} \times BC_{rp} + S_{rc} \times RC_{rp}) \quad (1)$$

式中:  $AS$  表示区域房屋抗震性能指数;  $C_p$  表示城区房屋总面积占全县房屋总面积的比例;  $R_p$  表示农村房屋总面积占全县房屋总面积的比例;  $CW_{cp}$ 、 $BW_{cp}$ 、 $BC_{cp}$ 、 $RC_{cp}$  分表指得是城区土木结构、砖木结构、砖混结构、框架结构房屋所占比例;  $CW_{rp}$ 、 $BW_{rp}$ 、 $BC_{rp}$ 、 $RC_{rp}$  分别代表农村土木结构、砖木结构、砖混结构、框架结构房屋所占比例,  $S_{cw}$ 、 $S_{bw}$ 、 $S_{bc}$ 、 $S_{rc}$  分别表示土木结构、砖木结构、砖混结构、框架结构房屋的抗震性能指数。

针对于非简易房屋,城区绝大部分房屋经过正规设计,抗震能力基本能达到本区域基本抗震设防烈度要求,其抗震性能指数 ( $S_{bc}$ 、 $S_{rc}$ ) 按《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)取当地设计基本地震加速度值;而农村地区大部分为自建房,多未按照正规设防标准建房,存在抗震缺陷,其抗震性能指数 ( $S_{bc}$ 、 $S_{rc}$ ) 采用当地设计基本地震加速度值乘以折减系数,根据云南历次地震专家经验,框架结构折减系数取 0.95,砖混结构折减系数取 0.85。针对于简易房屋,城区和农村均为自建房,没有统一的标准,做工、用料因地而异,故其抗震能力离散性较大,为此采用专家经验打分法(取均值)计算简易房屋的抗震性能指数。

基于区域房屋抗震性能指数,参照《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)设计基本地震加速度值将其划分为 5 个区间,并给出“强”“中强”“中等”“一般”“差”五个抗震能力评价等级及对应的抗震设防烈度描述(表 6)。

表 6 建筑物抗震能力评估标准表

Tab. 6 Evaluating standard of seismic capacity of buildings

编号	区间	抗震能力等级	抗震设防烈度描述
1	$AS \geq 0.35$	强	相当于设防烈度达到 IX 度
2	$0.18 \leq AS < 0.35$	中强	相当于设防烈度达到 VIII 度
3	$0.13 \leq AS < 0.18$	中等	相当于设防烈度达到 VII 度
4	$0.05 \leq AS < 0.13$	一般	相当于设防烈度达到 VI 度
5	$AS < 0.05$	差	未达到设防标准

4.2 滇西北地区房屋抗震能力评价

按照公式(1),根据 2012 年滇西北地区房屋基础数据(表 7)、各县(区)设计基本地震加速度值以及 10 位专家对滇西北调查区土木结构、砖木结构房屋抗震性能指数打分值,计算出滇西北地区房屋抗震性能指数以及抗震能力评价等级(表 8、图 7)。

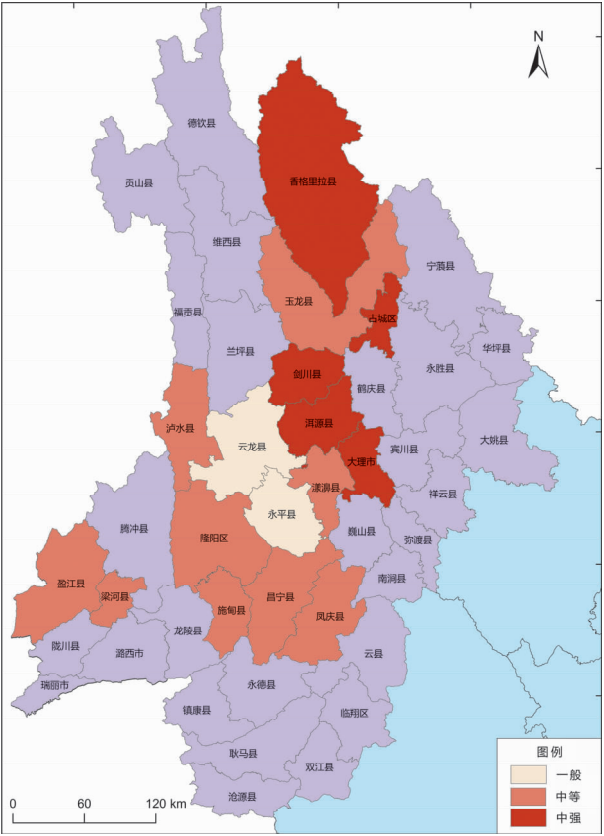


图 7 滇西北地区抗震能力综合评价图  
(据云南省地震局防灾研究所研究区  
抗震能力评价图修改)

Fig. 7 Comprehensive evaluation of earthquake resistant capacity in northwest Yunnan (modified from the evaluation map of earthquake resistant capacity of Disaster prevention institute, Earthquake Agency of Yunnan Province)

表7 滇西北地区房屋基础数据表

Tab.7 Fundamental data of surveyed houses of survey areas in northwest Yunnan

编号	县（市、区）	农村各结构类型房屋建筑(%)				城市各结构类型房屋建筑(%)				房屋总面积比值(%)		设计基本地震 加速度值/g
		$CW_{rp}$	$BW_{rp}$	$BC_{rp}$	$RC_{rp}$	$CW_{cp}$	$BW_{cp}$	$BC_{cp}$	$RC_{cp}$	$R_p$	$C_p$	
1	香格里拉县	73.1	15.22	7.28	4.4	27.08	10.55	50.57	11.8	65.00	35.00	0.2
2	玉龙县	81.73	14.54	0.68	3.05	21.92	10.97	58.69	8.42	90.03	9.97	0.3
3	古城区	25.51	21.28	38.86	14.35	15.06	54.75	21.74	8.45	86.47	13.53	0.3
4	大理市	37.98	10.05	48.55	3.42	10.46	7.35	73.46	8.73	77.68	22.32	0.2
5	漾濞县	85.18	5.17	8.15	1.5	38.35	5.03	46.79	9.83	52.55	47.45	0.2
6	永平县	90.66	5.19	3.77	0.38	60.52	14.31	22.46	2.71	83.63	16.37	0.15
7	云龙县	81.58	10.1	7.33	0.99	58.7	13.05	19.51	8.74	91.20	8.80	0.15
8	洱源县	64.76	11.63	17.05	6.56	57.81	23.13	14.72	4.34	16.44	83.56	0.3
9	剑川县	84.36	10.12	4.89	0.63	51.18	16.56	19.38	12.88	65.55	34.45	0.3
10	泸水县	25.92	30.91	12.26	30.91	23.82	29.34	22.94	23.9	85.95	14.05	0.2
11	隆阳区	59.28	16.06	20.13	4.53	30.44	12.29	45.12	12.15	92.59	7.41	0.2
12	施甸县	68.34	19.04	9.17	3.45	50.89	6.85	14.1	28.16	82.58	17.42	0.2
13	昌宁县	58.78	20.07	20.01	1.14	27.94	19.85	43.97	8.24	78.63	21.37	0.15
14	凤庆县	57.11	20.52	21.22	1.15	31.1	32.91	0.79	35.2	72.81	27.19	0.2
15	梁河县	64.51	26.35	6.77	2.37	28.18	30.1	17.33	24.39	92.00	8.00	0.2
16	盈江县	24.57	37.33	29.08	9.02	1.14	11.93	64	22.93	67.19	32.81	0.2

表8 滇西北地区综合抗震能力计算表

Tab.8 Comprehensive seismic capacity of survey area in northwest Yunnan

编号	县（市、区）	简易房屋抗震性能 指数（专家打分）		城市非简易房屋 抗震性能指数		农村非简易房屋 抗震性能指数		区域房屋抗震性能 综合指数（AS）	抗震能力 评价等级
		$S_{cw}$	$S_{bw}$	$S_{bc}$	$S_{rc}$	$S_{bc}$	$S_{rc}$		
1	香格里拉县	0.23	0.17	0.2	0.2	0.17	0.19	0.21	中强
2	玉龙县	0.16	0.15	0.3	0.3	0.26	0.29	0.17	中等
3	古城区	0.17	0.16	0.3	0.3	0.26	0.29	0.22	中强
4	大理市	0.17	0.15	0.2	0.2	0.17	0.19	0.18	中强
5	漾濞县	0.14	0.14	0.2	0.2	0.17	0.19	0.16	中等
6	永平县	0.11	0.12	0.15	0.15	0.13	0.14	0.11	一般
7	云龙县	0.11	0.12	0.15	0.15	0.13	0.14	0.11	一般
8	洱源县	0.16	0.16	0.3	0.3	0.26	0.29	0.18	中强
9	剑川县	0.18	0.17	0.3	0.3	0.26	0.29	0.19	中强
10	泸水县	0.09	0.11	0.2	0.2	0.17	0.19	0.13	中等
11	隆阳区	0.12	0.13	0.2	0.2	0.17	0.19	0.14	中等
12	施甸县	0.12	0.13	0.2	0.2	0.17	0.19	0.13	中等
13	昌宁县	0.13	0.13	0.15	0.15	0.13	0.14	0.13	中等
14	凤庆县	0.13	0.13	0.2	0.2	0.17	0.19	0.14	中等
15	梁河县	0.13	0.13	0.2	0.2	0.17	0.19	0.14	中等
16	盈江县	0.14	0.15	0.2	0.2	0.17	0.19	0.17	中等

从表8可知，滇西北地区16个县（市、区）调查中，9个县（市、区）的房屋抗震能力达到“中等”水平、5个县达到“中强”水平、2个县达到“一般”水平。“中强”水平的县（市、区）具有3个特点：一是处于高烈度设防区；二是经济相对发达地区，三是特色民居分布广泛。相应的，“一般”水平的县（市、区）处于高山峡谷带，经济水平都相对落后。鉴于该调查区能宏观反应滇西北地区房屋整体情况，因此整个滇西北地区房屋抗震能力达到“中等”水平。



## 5 结论

为宏观评估滇西北地区房屋抗震能力, 本文根据实地调研总结了滇西北地区房屋总体特征和特色民居特征, 并结合区域内历史地震房屋震害矩阵分析不同烈度条件下各类房屋震害特征, 在此基础上通过计算区域房屋抗震性能指数宏观评定各县区房屋抗震能力, 发现滇西北房屋抗震能力为中等水平, 造成此现象的原因与当地经济条件落后、居民抗震设防专业知识缺乏、抗震设防意识薄弱等紧密相关。为减少和避免破坏性地震带来的生命和财产损失, 结合滇西北地区房屋建筑抗震能力的调查实际, 建议加大防震减灾知识宣传, 提高民众抗震设防意识, 重视房屋建筑的抗震质量; 继续加大民居建设资金扶持, 做好农村民居安全工程、危房改造工程、十项重大措施等项目, 同时加强农村民房建设的抗震技术指导, 切实提高民居抗震性能。

## 参考文献:

- 高琳玲, 柯卫华. 2012. 白族民居建筑的物理环境[J]. 大理学院学报, 11(10): 24-27.
- 胡少卿, 孙柏涛, 王东明, 等. 2007. 经验震害矩阵的完善方法研究[J]. 地震工程与工程振动, 27(6): 46-50.
- 林世斌, 谢礼立, 公茂盛, 等. 2011. 城市建筑物抗震能力评估方法[J]. 自然灾害学报, 20(4): 31-37.
- 刘柯岐, 李嘉林. 2007. 泸沽湖木楞房建筑新特色探讨[J]. 山西建筑, 33(10): 19-31.
- 单军, 吴艳. 2010. 地域性应答与民族性传承—滇西北不同地区藏族民居调研与思考[J]. 中建筑学报, (8): 56-60.
- 许涛. 2003. 地域建筑研究—纳西族传统民居的现代启示[D]. 重庆: 重庆大学.
- 杨仕升, 秦荣, 赵小莲, 等. 2004. 建筑结构抗震能力评估技术的研究及应用[J]. 世界地震工程, 20(4): 100-106.
- 赵龙. 2015. 滇西北纳西族聚居区域传统建筑形式和材料研究[J]. 武夷学院学报, 34(2): 74-78.
- 周光全, 安晓文, 非明伦, 等. 2012. 1992—2010 云南地震灾害损失评估及研究[M]. 云南: 云南科技出版社.
- 周光全, 谭文红, 施伟华, 等. 2007. 云南地区房屋建筑的震害矩阵[J]. 中国地震, 23(2): 115-123.
- GB18306—2015, 中国地震动参数区划图[S].
- GB50011—2010, 建筑抗震设计规范[S].

## Evaluation of Building Features and Seismic Capacity in Northwest Yunnan

MING Xiaona<sup>1</sup>, ZHOU Yang<sup>1</sup>, LU Yongkun<sup>1</sup>, HE Jiaji<sup>2</sup>

(1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. Housing and Urban - Rural Development Department of Yunnan Province, Kunming 650228, Yunnan, China)

## Abstract

In this paper, 16 representative counties in northwest Yunnan are selected as the research objects. Based on the field investigation, we summarize the overall building characteristics and characteristics of minority residential buildings in the northwest of Yunnan Province, and analyzes the different earthquake intensities of the different intensity zones according to the earthquake disaster matrix of the historical earthquake buildings in the northwest of Yunnan Province. And then we build the comprehensive index of the regional earthquake resistance capacity to evaluate the seismic performance of houses in northwest Yunnan, and summarizes the distribution of different seismic capacities and the distribution laws.

**Keywords:** northwest Yunnan; building characteristics; seismic damage matrix; seismic performance index of regional buildings