

姚新强, 陈宇坤, 高武平, 吴今生, 冉华, 曹忠权, 2012. 印度锡金邦 6.8 级地震中国西藏地区民房震害分析. 震灾防御技术, 7(1): 77-84.

# 印度锡金邦 6.8 级地震中国西藏地区 民房震害分析

姚新强<sup>1)</sup> 陈宇坤<sup>1)</sup> 高武平<sup>1)</sup> 吴今生<sup>2)</sup> 冉华<sup>3)</sup> 曹忠权<sup>4)</sup>

1) 天津市地震局, 天津 300201

2) 四川省地震局, 成都 610041

3) 云南省地震局, 昆明 650224

4) 西藏自治区地震局, 拉萨 850000

**摘要** 2011年9月18日印度锡金邦发生6.8级地震, 对我国西藏地区造成较大人员伤亡与民房破坏。本文在现场地震烈度调查和地震损失评估基础上, 对灾区民房震害进行了分析。给出了灾区民房的震害特点、抗震设防中存在的问题和对策建议。提出了西藏民居抗震设计的基本原则, 强调了民居抗震中的概念设计。根据相应的抗震措施和原则, 在不增加太多费用的情况下可以大幅提高房屋的抗震能力, 减少地震人员伤亡和损失, 促进西藏地区经济的和谐发展。

**关键词:** 印度锡金邦 6.8 级地震 西藏民居 概念设计 抗震能力

## 引言

2011年9月18日印度锡金邦发生M6.8级地震。震中距我国西藏边境最近20km, 地震造成中国西藏地区7人死亡, 136人受伤。大量房屋倒塌和破坏, 道路、通讯等生命线工程及水利等基础设施损坏严重。

地震发生后, 中国地震局启动地震应急协作联动机制, 派出天津、四川、云南等省市地震局的专业技术人员赴灾区协助西藏自治区地震局开展震害调查与损失评估工作。本文依据地震现场灾害调查结果, 对本次地震中国境内的烈度分布、民居房屋震害特点进行介绍, 同时还对灾害原因进行了分析, 在此基础上提出了西藏民居抗震设计的基本原则与建议。

## 1 灾区范围与烈度分布

本次地震震中位于印度锡金邦地区, 但是对中国西藏地区却造成了较大的灾害。震后, 地震现场工作队会同有关部门, 根据《地震现场工作第三部分: 调查规范(GB/T 18208.3-2000)》(中华人民共和国国家标准, 2000)、《地震现场工作第四部分: 灾害直接损失评估 GB/T

[收稿日期] 2011-11-24

[作者简介] 姚新强, 男, 生于1981年。硕士研究生。主要研究方向: 结构抗震、数值模拟与灾害学。E-mail: yxqtj@126.com

18208.4-2005)》(中华人民共和国国家标准, 2005)和《中国地震烈度表(GB/T 17742-2008)》(中华人民共和国国家标准, 2008)对西藏日喀则地区 and 山南地区部分市县进行了深入的震害调查, 确定了印度锡金邦 6.8 级地震烈度分布。本次地震灾区涉及日喀则地区的亚东县、定结县、岗巴县、定日县、康马县、萨迦县、白朗县等 7 个县, 包括 30 个乡镇, 面积约 17000km<sup>2</sup>, 其中重灾区面积为 2650km<sup>2</sup>。重灾区地震烈度为Ⅶ度, 涉及亚东县和定结县的下司马镇、下亚东乡、上亚东乡、康布乡及定结县的日屋乡、陈塘镇等 6 个乡镇, 震害以房屋毁坏、严重破坏为主, 并造成较大人员伤亡; 较重灾区地震烈度为Ⅵ度, 面积约 14500km<sup>2</sup>, 涉及亚东县、康马县、岗巴县、白朗县、定结县及定日县等 6 个县的江嘎镇、岗巴镇、帕里镇、嘎拉乡等 24 个乡镇, 房屋以轻微破坏和中等破坏为主, 局部有严重破坏, 个别出现倒塌, 并有人员受伤。日喀则和山南地区的其它县市地震烈度为Ⅴ度及以下, 为强有感区域, 房屋建筑绝大多数基本完好, 个别区域有轻微至中等破坏。根据《中国地震动参数区划图(GB 18306-2001)》(中华人民共和国国家标准, 2001), 灾区的亚东、康马县等部分地区抗震设防烈度为 7 度, 设计基本地震加速度值为 0.15g。本次遭遇同等烈度甚至低一级烈度情况下民房出现了大面积的破坏, 其中亚东县的民房倒塌严重, 地震烈度为 7 度; 定结、定日、岗巴县等地区抗震设防烈度为 6 度, 设计基本地震加速度值为 0.10g, 本次在遭遇同等烈度的地区, 民房出现了较多的破坏, 部分地区有毁坏或倒塌; 而遭遇高一级烈度的地区, 如日屋乡和陈塘镇的民房出现了大面积的毁坏与倒塌。另一方面, 亚东县以及定结县、岗巴县等严格按照规范设计和施工的砖混、框架等公用房屋却破坏较轻, 说明本次地震的烈度基本没有突破本地区的地震基本烈度, 在此情况下, 石木和土木结构的民房出现这种严重破坏, 说明这些民房的抗震性能很差。

## 2 房屋结构类型与破坏形式

如上所述, 虽然本次地震震中位于境外, 且中国境内地震烈度不大, 但造成的房屋破坏和损失却十分严重, 这是西藏地区民居房屋的结构特点所致。现场调查表明, 西藏地区的民居房屋主要以土木结构和石木结构为主, 这种房屋结构的抗震性能很差, 是造成严重震害的主要原因。震区少量的砖混结构和框架结构建筑主要是县城和乡镇的学校、医院及其它公共建筑, 这类房屋结构抗震性能较好, 在本次地震中普遍破坏较轻, 多为轻微破坏, 极少数为中等破坏。

(1) 土木结构(图 1)一般为 2 层, 基础采用片石, 其余墙体采用土坯或夯土填砌, 用泥土砌筑, 木窗门, 木屋顶上面铺设片石, 顶面铺一层泥土, 平均厚度约 15cm。该类结构房屋在偏远地区有一定的分布, 总体上占灾区房屋的比例不大。破坏形式主要表现为: 门窗洞口开裂, 梁下端墙体开裂, 墙体外闪甚至倒塌, 木柱折断或梁柱节点破坏严重的造成屋盖失稳, 女儿墙开裂严重的会掉落。由于墙体的粘结性能低等因素, 这类房屋抗震性能很差, 一般较易破坏或毁坏。

(2) 石木结构(图 2)一般为 2 层, 墙体分内外 2 层, 外层采用当地的石块作砌块且大小不均, 少许砂浆抹缝, 主要用泥土砌筑, 内层用土坯、泥土砌筑, 墙体内外层无咬砌, 纵横墙也无咬砌, 屋顶同土木结构, 亚东县部分乡镇采用彩钢板屋顶(图 5、图 17, 由四川地震局史丙新提供)。这类房屋是灾区的主要类型, 由于砌筑强度低、结构形式不合理、施工不当等, 造成房屋抗震性能非常差, 容易倒塌。破坏形式和土木结构相同, 不同点是, 因为石木结构的墙体有上述不同特点, 墙体较土木结构更易外闪, 甚至倒塌。这类房屋的抗震性能相对更差, 更容易毁坏倒塌。

(3) 砖混结构主要由砖墙承重，预制板或钢筋混凝土浇注楼板或屋顶。震区的砖混结构主要集中在县、乡政府所在地，多为政府、医院、学校等公共房屋。震害表明，经过正规设计与施工的砖混结构经受住了这次地震的考验，没有发现毁坏、严重破坏。少数砖混结构在烈度较高地区个别承重构件出现了可见裂缝，非承重构件有明显裂缝的轻微破坏，而大部分保持基本完好（图 3）。



图 1 土木结构

Fig. 1 Soil and wood structure



图 2 石木结构

Fig. 2 Stone and wood structure

(4) 框架结构主要由钢筋混凝土梁柱承重，现浇楼板形成楼盖和屋盖，这种类型的房屋在震区数目很少，一般为政府、医院、学校房屋等公房。由于抗震性能较好，在烈度Ⅶ度区内，无毁坏或严重破坏，只有少量的轻微破坏且损失也较小；在烈度Ⅵ度区内，保持基本完好<sup>1</sup>。

### 3 民居的破坏现象与震害分析

在灾区现场调查中发现，因砖混结构和框架结构不是震区的主要结构形式，且这两种结构的破坏较轻，所以本文不再对这两类结构房屋进行讨论，而重点分析灾区结构形式普遍、破坏较重的土木结构和石木结构房屋。在灾区现场调查过程中发现，土木结构和石木结构的房屋多为农牧民自己建造，由于缺少必要的建造技术，砌筑所用砂浆强度低或根本无砂浆，场地选择不当，结构不合理等原因造成其破坏较重，倒塌比重较大。

在破坏形式上，这两种结构均在门窗洞口出现较大裂缝，梁下端墙体出现通透裂缝，墙体外闪甚至倒塌，木柱折断或梁柱节点破坏严重的造成屋盖失稳而坍塌，女儿墙产生裂缝严重的塌落。由于墙体的粘结性能低，因此，这类房屋抗震性能很差，一般较易破坏或毁坏。在Ⅵ度区内（表 1），土木结构约 75% 保持基本完好，不到 25% 的遭到破坏，极少数毁坏；对石木结构而言，约 80% 保持基本完好，约 17% 遭到破坏，存在 3% 的毁坏。在Ⅶ度区内，土木结构只有 15% 的保持基本完好，约 30% 遭到破坏，而多于 50% 毁坏；对石木结构而言，只有 6% 保持基本完好，约 23% 遭到破坏，多于 69% 毁坏。总体来看，无论在Ⅵ度区还是Ⅶ度区，石木结构比土木结构的破坏更重，而石木结构的造价却远远高于土木结构，造成这几点的主要原因是石木结构的墙体分内外层，且内外层间无咬砌，墙体抗震能力更差。两种结构都因为开窗过大，二层的柱子直接垫在楼面的石块上，地震力不能有效地向下传递，造成震

1 西藏地震现场工作队，2011.9.2011 年 9 月 18 日印度锡金邦 6.8 级地震中国西藏灾区灾害直接损失评估报告。

害部位主要集中在二层，而一层的破坏较轻。而二层震害的主要形式为二层的承重墙体产生竖向和斜向裂缝，后纵墙外闪（图 5，四川省地震局史丙新提供），严重的倒塌，梁下端墙体竖向开裂（图 6），门窗洞口开裂（图 7、图 8），木柱倾斜（图 14），严重的梁柱连接处折断（图 15），女儿墙 破裂甚至倒塌（图 2）。这种因结构不合理、施工不正规，而使震害过度的集中在二层，对抗震极为不利。

表 1 地震 VI 度、VII 度区内民房建筑破坏比（%）

Table 1 Building damage ratio in the areas of seismic intensity VI and VII

| 烈度    | 结构类型 | 破坏等级（%） |       |       |
|-------|------|---------|-------|-------|
|       |      | 毁坏      | 破坏    | 基本完好  |
| VI 度  | 土木   | 0.03    | 24    | 75.97 |
| VI 度  | 石木   | 3.11    | 17.31 | 79.58 |
| VII 度 | 土木   | 52.6    | 31.6  | 15.8  |
| VII 度 | 石木   | 69.98   | 23.61 | 6.41  |



图 3 砖混结构

Fig. 3 Brick-concrete structure



图 4 石木结构

Fig. 4 Stone and wood structure

通过对两种结构房屋的震害分析，可归纳出以下造成这些震害原因。①场地选择不当。有的房屋建在草甸上，震时产生不均匀沉降，造成墙体加大裂缝（图 10）。②建筑材料差。当地房屋多数用泥土和石块砌筑且石块大小不一极其不规则，泥土粘合力差，强度非常低，房屋抗剪能力差，非常容易倒塌（图 9、图 16，四川省地震局史丙新提供）。③建造技术差。主要表现在：门窗过梁锚入墙内长度过短，使裂缝较多破坏较重（图 12）；纵横墙及墙体内外层均无咬砌，纵横墙交接处震前已存在裂缝，在地震中裂缝扩展造成墙体外闪，地震中这种破坏现象较多（图 5、图 11）；梁下端垫板尺寸过小，长度只有几十厘米，厚度不足 40mm，且施工不规范，有的甚至没有垫板，地震中梁下端是应力集中部位，墙体产生较大裂缝，容易引起梁的倒塌（图 12）；木柱和木梁连接不可靠，多数用胶粘合，少数还使用了铁钉，地震中连接处还会产生倾斜（图 13、图 14），严重的引起屋盖失稳而坍塌（图 15）；房屋开间过大，不符合《建筑抗震设计规范（GB 50011-2010）》（中华人民共和国国家标准，2010）的规定，且每单间梁下架设木柱，但二层的木柱直接搁置在二层楼面的垫石上，地震力不能有效地向下传递，这也是造成地震时二层破坏比较重的一个原因（图 14）；木屋盖上铺设片石

和泥土比较重，地震时产生的较大地震力，容易引起倒塌（图 15）；开窗过大，这是西藏农牧民房屋中普遍存在问题，地震中窗间墙、窗下墙破坏较重，房屋整体抗震能力不强（图 1、图 2、图 16）。上述几点充分说明，地震灾区民居房屋的建造，在选址、选材和建造技术上不符合抗震设计规范，并在建筑理念上没有考虑抗震设防的因素，这也是震区民房抗震能力较差的主要原因。



图 5 后纵墙外闪

Fig. 5 External longitudinal pull apart on the wall



图 6 梁下端墙体开裂

Fig. 6 Wall cracking under the beam



图 7 土木结构

Fig. 7 Soil and wood structure



图 8 土木结构

Fig. 8 Soil and wood structure



图 9 泥土砌筑

Fig. 9 Soil filling masonry



图 10 选址不当

Fig. 10 Improper site location



图 11 纵横墙无咬砌

Fig. 11 Crossbar wall without jointing



图 12 窗过梁和木两层木垫板

Fig. 12 Window crossing beam



图 13 梁柱连接

Fig. 13 Beam and column connection



图 14 二层的木柱

Fig. 14 Wood column tilting on second floor



图 15 屋盖坍塌

Fig. 15 Roof collapse



图 16 开窗过大,泥土砌筑

Fig. 16 A masonry with over-sized-windowing and soil filling

## 4 民居抗震设计基本原则

本文从抗震设计理念出发,结合《建筑抗震设计规范(GB 50011-2010)》(中华人民共和国国家标准,2010)提出了以下民居建筑抗震的概念设计方案:①选择对抗震有利的场地,地基和基础;场地要选择开阔、平坦、密实均匀的中硬性土,不要选择软弱土、液化土、条状突出的山嘴、高耸孤立的山丘、非岩质的陡坡、河岸、状态明显不均匀土层,避免选择可产生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流及发震断层带上,地基要选择均匀的,不要一幢房屋选在两种地基土。对于地基差的要加强基础的刚性和整体性。②选择对抗震有利的建筑平面和立面;对建筑抗震有利的平面宜规则、对称,质量和刚度分布均匀,即纵向和横向墙体分布均匀,相反平面突出、凹进不对称,会产生扭转,对抗震不利。对建筑立面也要刚度均匀、连续,反之产生应力集中,对抗震不利。如果体型平均复杂可以用抗震缝分开,成为简单对称的结构。③选择对抗震有利的结构体系;要有明确的承受和传递地震水平作用的结构体系,要设立多条抗震防线,不能只设一条,震坏就倒,要一个地方发生破坏,另一个地方仍能继续承受荷载,要在结构中加强薄弱环节,抵抗水平地震作用的结构要具备必要的强度,变形能力和耗能能力,例如木柱梁之间榫接,加支撑连接等。④加强房屋的整体性和稳定性;对于墙体或纵横墙交接处,外墙转角处,每隔几层用草筋、木筋、铁丝、钢筋加强,基础顶面和房屋墙体顶面用木圈梁、钢筋水泥砂浆圈梁、钢筋混凝土圈梁,都是加强房屋整体性的措施。对于各构件之间连接可靠是加强房屋稳定性的措施<sup>1</sup>。

## 5 民居抗震设计建议和结论

基于上述对西藏农牧民房屋的震害分析,本文提出了以下对策和建议:①选择坚硬场地,当场地不当时,应采取适当的应对措施。②提高建筑材料强度,建议采用统一规整的石料或砖块作建材,尽量采用 M5 左右的砂浆作灰缝。③建造技术应符合有关建筑设计规范:门窗过梁锚入墙内长度一般为每端不低于墙厚且不低于 25cm;内外层墙体咬砌,纵横墙咬砌,增强墙体之间的拉结;根据《镇乡(村)抗震加固技术规程(JGJ161-2008)》(中华人民共和国行业标准,2008)第 3.2.2 第一条规定,搁置在砖(砌块)墙和石墙上的木屋架或木梁下应设置木垫板或混凝土垫块,木垫板的长度和厚度分别不宜小于 500mm 和 60mm,宽度不宜小于 240mm 或者墙厚,这有利于减轻应力集中;木柱与木梁间除采用胶粘合外,另采用钢钉或扒钉增强其连接,增强承重部位的连接;二层的木柱应和一层的木柱连续,增强木柱和地面的连接,这样地震力可以有效地向下传递;采用彩钢板坡屋面,屋盖较轻,有利减少地震力,同时也符合抗震原则中轻屋盖的提法,采用彩钢轻屋盖(图 4、图 16),即使墙体部分倒塌,也不至于造成屋盖坍塌,砸伤人;减小窗户面积,增大窗间墙的宽度,增强抗震能力;对于出现裂缝不严重的房屋,可在不拆除原有墙体的情况下以比较低的费用进行抗震加固,建议采用打包带网进行抗震加固,这种加固措施在中国地震局工程力学研究所地震模拟振动台实验室进行了模型试验,取得了较好的结果。

总体来讲,西藏地广人稀,调查地区的农牧民房屋抗震能力普遍偏低,如果采用上述抗震措施和原则,在不增加太多费用的情况下可以大幅提高房屋的抗震能力,减少地震人员伤亡

1 西藏地震现场工作队,2011.9.2011年9月18日印度锡金邦6.8级地震中国西藏灾区灾害直接损失评估报告。

亡和损失, 促进西藏的和谐发展。

**致谢:** 衷心感谢参加本次地震灾害现场考察与灾害评估的史丙新、郑定昌、庞卫东、李海、毛利、文升梁、王希康、张潜、格桑土登、朱德富、郑昕、司金罗布、才旺绕登、巴珠等其他地震现场工作队队员。西藏自治区地震局党组书记李振海与郭星全副局长为本次现场工作提供了大力支持; 中国地震局工程力学研究所对西藏农牧民安居工程抗震加固提供了技术指导 and 科学依据, 在此表示衷心感谢!

## 参考文献

- 中华人民共和国行业标准, 2008. 镇(乡)村建筑抗震技术规程(JGJ161-2008). 北京: 中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国国家标准, 2010. 建筑抗震设计规范(GB 50011-2010). 北京: 中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国国家标准, 2001. 中国地震动参数区划图(GB 18306-2001). 北京: 中国标准出版社.
- 中华人民共和国国家标准, 2005. 地震现场工作第四部分: 灾害直接损失评估(GB/T18208.4-2005). 北京: 地震出版社.
- 中华人民共和国国家标准, 2000. 地震现场工作第三部分: 调查规范(GB/T18208.3-2000). 北京: 地震出版社.
- 中华人民共和国国家标准, 2008. 中国地震烈度表(GB/T17742-2008). 北京: 中国标准出版社.

# Analysis of Building Damage in Tibetan Area Cased by Sikkim $M_S$ 6.8 Earthquake of India

Yao Xinqiang<sup>1)</sup>, Chen Yukun<sup>1)</sup>, Gao Wuping<sup>1)</sup>,  
Wu Jinsheng<sup>2)</sup>, Ran Hua<sup>3)</sup> and Cao Zhongquan<sup>4)</sup>

1) Earthquake Administration of Tianjing City, Tianjing 300201, China

2) Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, China

3) Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China

4) Tibetan Municipality Earthquake Administration, Lhasa 850000, China

**Abstract** On September 18, 2011, a  $M_S$  6.8 earthquake stroke Sikkim, India, which also had a great impact on its adjacent area in Tibet of China. After conducting field investigation on building damage and economic loss, we analyzed the problems that are related to anti seismic issue, and proposed some suggestions for the earthquake resistance consideration in future. The basic principles of seismic design for buildings in Tibet then was put forward and concept design of residence anti-seismic was emphasized. Through anti-seismic measures and principles, we can greatly improve the seismic resistance of houses, reduce earthquake casualties and losses, and promote the harmonious development of the Tibet with a reasonable increase of the construction budget for earthquake safety countermeasure.

**Key words:** Sikkim magnitude 6.8 earthquake; Tibet dwellings; Concept design; Seismic ability