

四川汶川地震震害考察报告

2008年5月12日14时28分，四川省发生里氏8.0级强烈地震，全国25个省市有明显震感，其中北京地区震级为里氏3.9级；本次地震震中位于四川省阿坝州汶川县。

根据清华城市规划设计研究院的安排，建筑分院的王昌兴和徐珂于2008年5月29日至6月2日前往四川进行地震震害调研工作，期间到达了成都、都江堰、德阳、绵竹、广汉、什邡、彭州市，以及白鹿镇、荃华镇、红白镇等山区地震点，现场考察地震对建筑物的破坏情况以及地质破坏对建筑物的影响。因时间和考察路线限制，以下调查说明仅针对上述地区情况。

1 本次地震特点及地质成因

本次地震震中位置：四川省汶川县，北纬30.969，东经103.186，位于成都西北西方向90公里，绵阳西南西方向145公里处。震级：8.0 震源深度：10.0公里（属浅层地震）。

根据中国地震调查局公布的信息，对本次地震有以下三个初步判断：

1.1 印度板块向亚洲板块俯冲，造成青藏高原快速隆升。

高原物质向东缓慢流动，在高原东缘沿龙门山构造带向东挤压，遇到四川盆地之下刚性地块的顽强阻挡，造成构造应力能量的长期积累，最终在龙门山北川——映秀地区突然释放。

1.2 逆冲、右旋、挤压型断层地震。

发震构造是龙门山构造带中央断裂带，在挤压应力作用下，由南西向北东逆冲运动；这次地震属于单向破裂地震，由南西向北东迁移，致使余震向北东方向扩张；挤压型逆冲断层地震在主震之后，应力传播和释放过程比较缓慢，可能导致余震强度较大，持续时间较长。

1.3 浅源地震。

汶川地震不属于深板块边界的效应，发生在地壳脆-韧性转换带，震源深度为10~20千米，因此破坏性巨大。



图 1.1：汶川地震区域地形图

我国的地震活动主要分布在五个地区的 23 条地震带上，这五个地区是：1) 台湾省及其附近海域，位于环太平洋地震带上；2) 西南地区，主要是西藏、四川西部和云南中西部，位于喜马拉雅-地中海地震带上；3) 西北地区，主要在甘肃河西走廊、青海、宁夏、天山南北麓；4) 北地区，主要在太行山两侧、汾渭河谷、阴山-燕山一带、山东中部和渤海湾；5) 东南沿海的广东、福建等地；

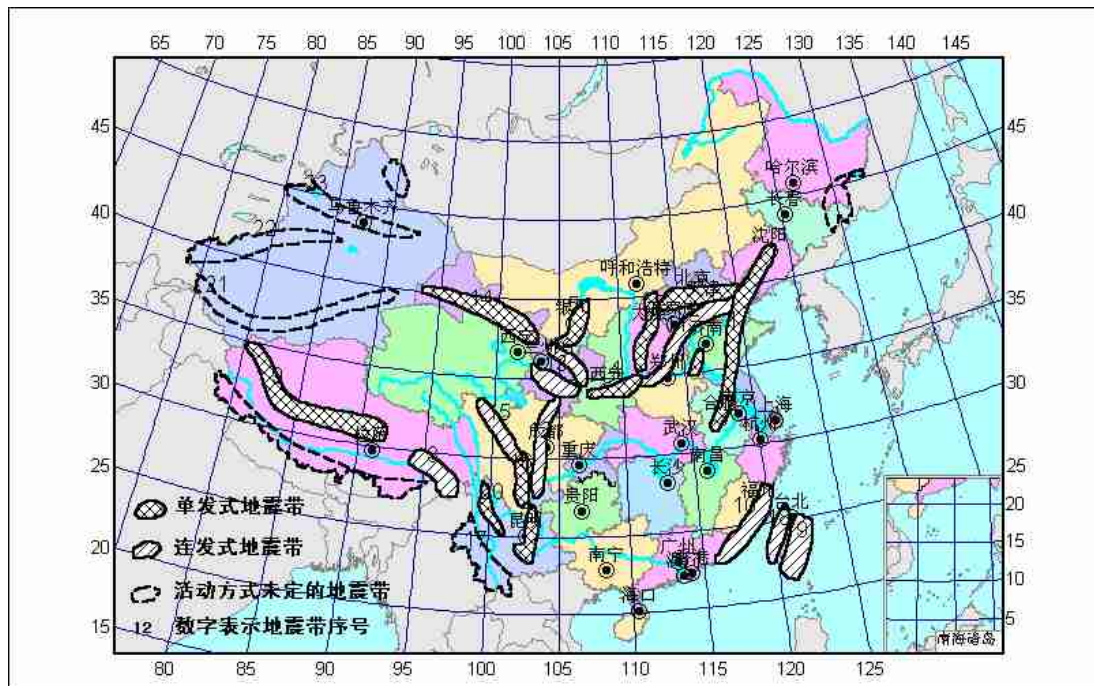


图 1.2：我国主要地震带分布图

本次汶川地震震中位于我国西南地区，发生在著名的龙门山地震断裂带上。从区域上说，四川地块岩石圈根极其稳定（深约 200 千米），自晚侏罗纪（一亿六千万年）以来深深地扎根于地球的深部，犹如“地轴”和磐石，坚强地抵抗着青藏高原的向东挤压，迫使向东流动的地壳物质沿高原东缘堆积，并向四川地块超覆，形成宽大的南北向挤压构造带（东经 105-110°），成为我国、乃至全球最活跃的地震带，龙门山断裂带是这个带中最东缘的逆冲断层带。

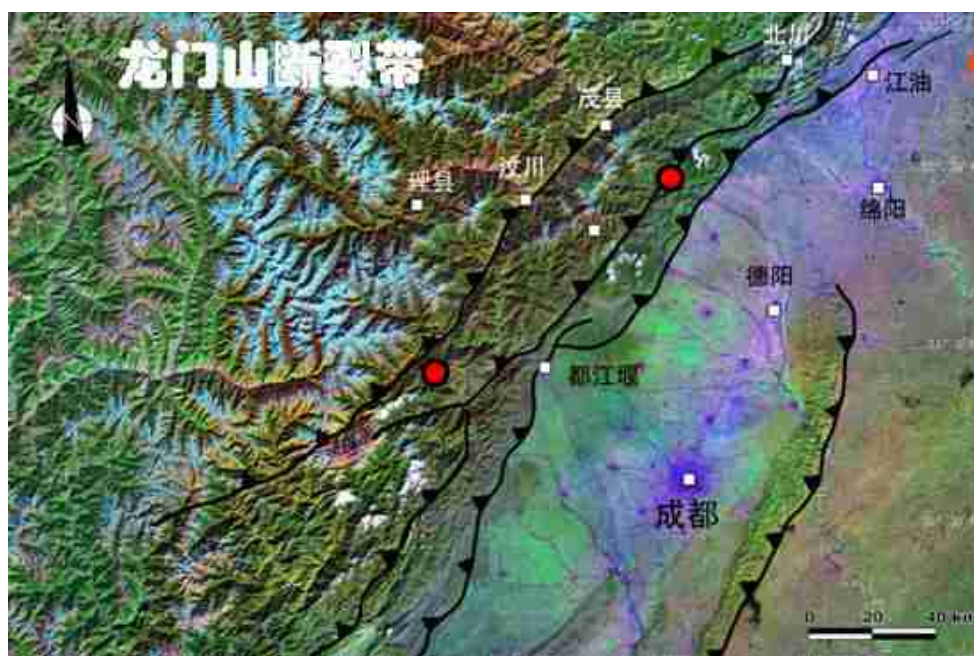


图 1.3: 龙门山断裂带平面图

龙门山构造带主要有三条断裂带组成：从西向东分别为汶川-茂县断裂、北川-映秀断裂和安县-灌县断裂（灌县为都江堰旧称），这三条断裂在地质新生代以来的活动特征均表现出由南西向北东斜向逆冲，并伴随右旋滑动分量。根据这次地震震源机制解资料推断，汶川强震的发震构造是因龙门山构造带中央断裂带，也称北川-映秀断裂，该断裂在北西西-南东东向挤压应力作用下，发生逆冲运动，属于逆冲型地震，与台湾 1999 年集集 7.3 级强震的类型一致。地震破裂滑动面向西倾，倾角约 60° 。根据主震和余震分布情况，初步推断这次大地震属于单向破裂地震，由南西向北东迁移，破裂方向主体受北东向龙门山构造带控制。

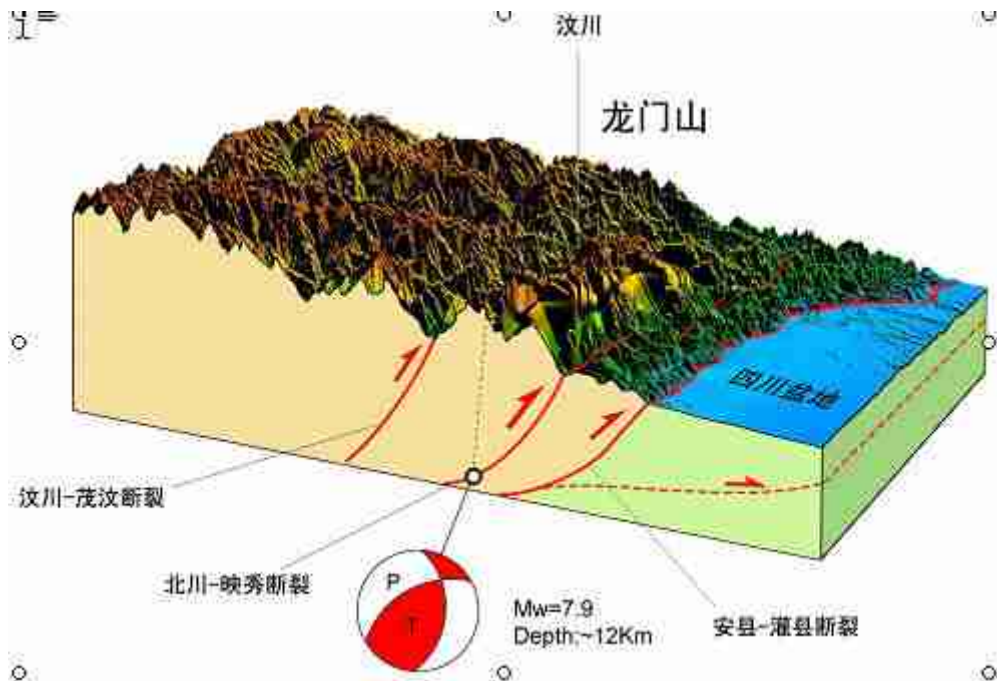


图 1.4: 龙门山断裂带剖面图

在地震能量传递方向上，地震沿云南、四川、陕西、甘肃、宁夏形成西南-东北方向地震能量传递衰减不明显，造成相应地区发生里氏 5.0~6.0 级以上地震，产生重大地质、地震灾害，如陕西西安距离汶川约 700 公里，市区内有建筑物发生结构构件破坏；而在东西方向仅造成四川省内地震灾害，但涉及距离较短，特别是地震断裂带以东区域，如成都市区距离汶川 90 公里，市内大部分建筑物结构保持完好，少量建筑物发生结构破坏、建筑材料裂缝或建筑物间碰撞情况，但其数量比例较低。距离汶川较近的都江堰、彭州、什邡、绵竹、德阳等城市破坏严重，但震害表现随距离震中远近逐步减轻。

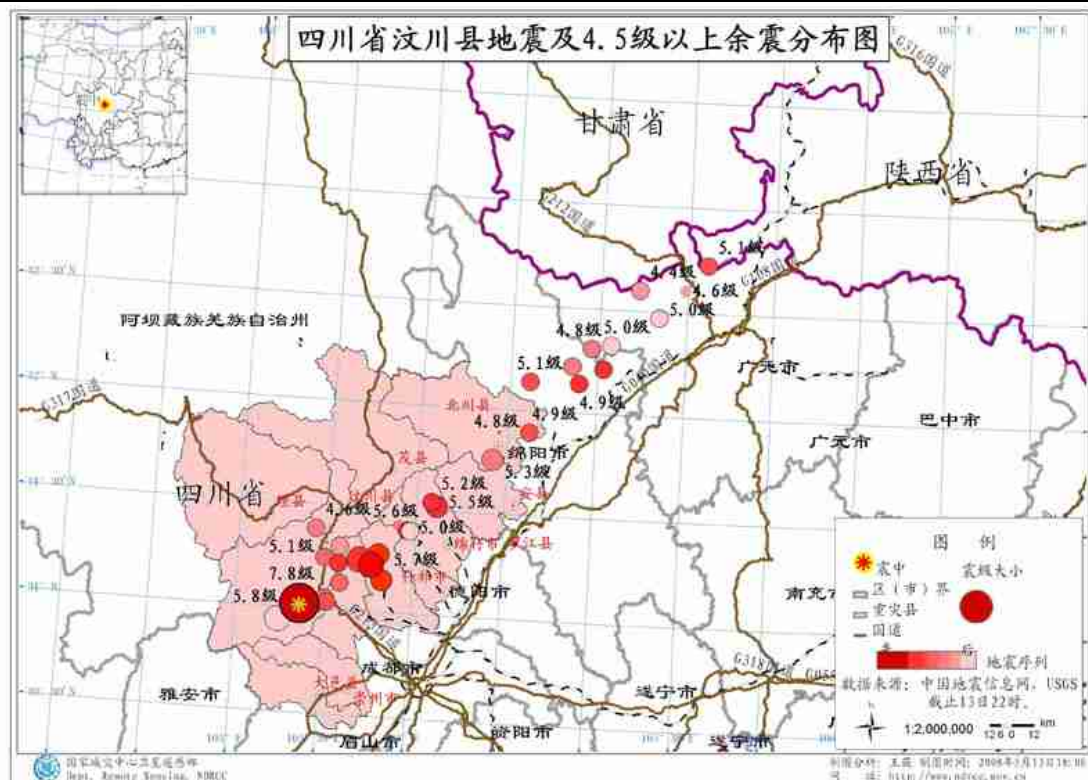


图 1.5: 汶川地震发生时震级分布图

本次地震所涉及的主要城市,在《建筑抗震设计规范》中所设定的抗震设防标准一般为设防烈度 7 度,设计基本地震加速度值为 $0.10g$,根据城市重要性和地理位置划归不同的设计地震分组。

震中地区的汶川县城遭受地震烈度约为 10~11 度,超过抗震设防标准 7 度,除此以外,像茂县、北川、青川这些地区遭受强烈的地质灾害破坏,致使该地区出现大面积地基变形、泥石流掩埋、建筑物整体倾覆状况,地质灾害影响已超越结构本身承受的能力;

地震使成都市区遭受地震烈度约为 5~6 度,小于抗震设防标准 7 度,该地区建筑物在地震中的表现属于“小震不坏”弹性阶段;

靠近震中的都江堰市遭受地震烈度为 7~9 度,接近或超过抗震设防标准 7 度,该地区建筑物在地震中的表现属于“中震可修”-“大震不倒”弹性-塑性阶段;

距离震中较远的绵阳、德阳等城市遭受地震烈度约为 5~6 度,接近或等于该地区抗震设防标准 6 度,城市建筑物破坏较轻,主要表现在附属建筑构件破坏,基本上达到了“中震可修”目的;

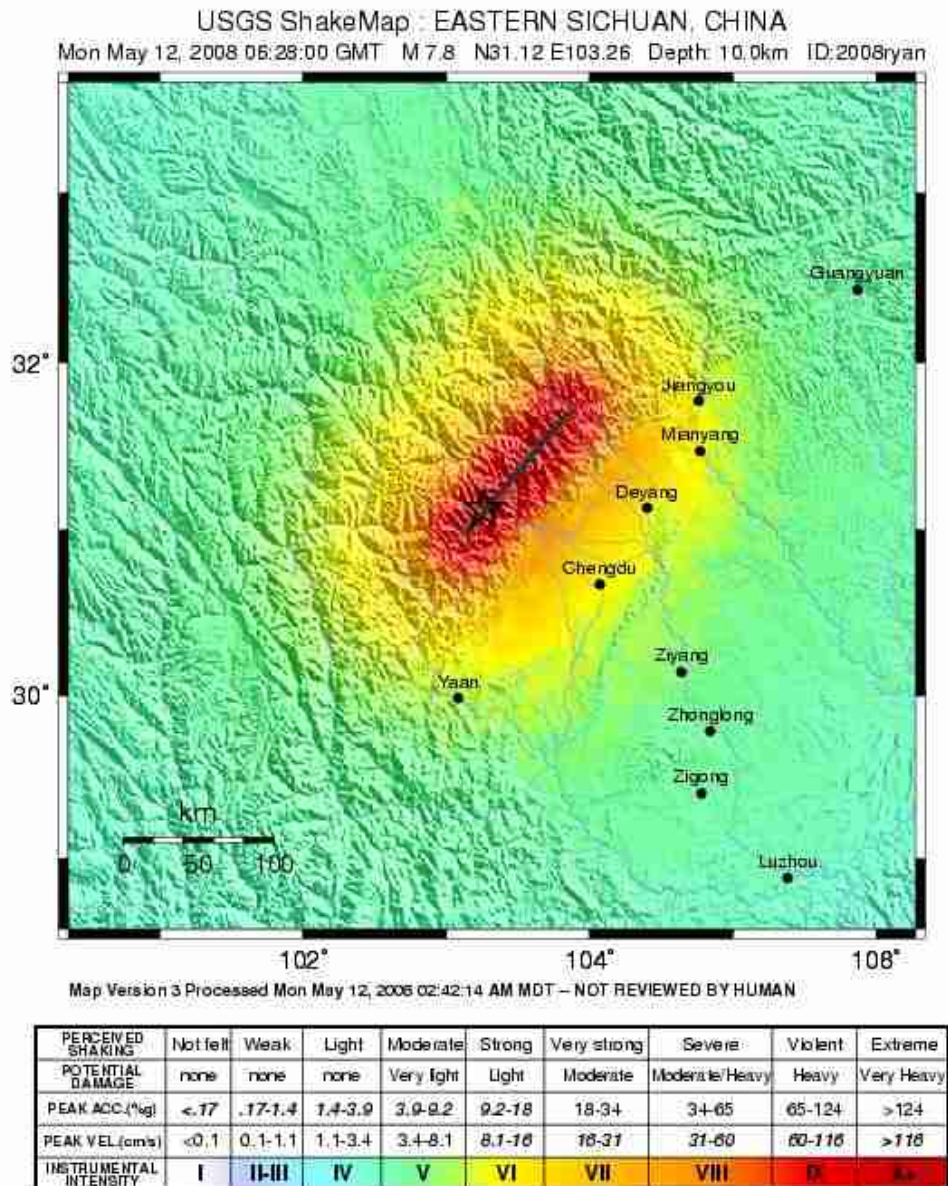


图 1.6 汶川地震时地震烈度示意图

成都及周边地区平原地带虽然距离断裂带很近，在地震过程中未遭遇更强的地震能量，是因为成都处于扬子板块以西最边缘，紧挨青藏板块与龙门山断裂带，在后者的冲撞中向下凹陷，填集了大量沙泥、石灰岩等密度相对松软的沉积物；而四川盆地的基底由元古界或太古界以下结晶基底组成，硬度和稳定性非常强，这使得成都平原好比是结实的床架上搁的一张席梦思，地震来时好比一锤重拳，柔软的席梦思吸收了拳头的部分力量，整张床被震了一下。2003 年，成都地震局根据石油部门提供的勘探资料，做了地震测线分析，证实成都平原地下不存在断裂层，减少成都平原发生强烈地震的可能性。

2 地震时人体感受

在本次地震中，不同的地区给人的感受不同，基本可以归纳为以下几种感受：

- 1) 地震时有主要有两种声音存在，一种是从地下传出的地壳变动产生的声音，类似机器轰鸣声音，声音巨大；另一种是地面建筑物变形及互相碰撞的声音，但分贝量低于前者；
- 2) 地面存在上下跳动状况，造成物体、人员在地面上出现悬空状态，许多人反映

地震时首先有这种感受；

- 3) 地面在地震波影响下，出现波浪晃动状态，人在这种情况下有坐船的感觉，明显感受到地震波传递的波动感；
- 4) 地面出现水平晃动情况，这是反映最多的地震感受，剧烈时人无法站稳，需要握牢其它物体或蹲在地上以保持平衡；
- 5) 地面在水平晃动后，出现旋转感受，人体产生眩晕感觉；
- 6) 由于主要地震持续时间较短，多数人在逃生过程中只观察到 6 层或 6 层以下建筑物震动情况，如成都多数人对多层建筑顶部水平晃动的距离感在 40cm~60cm 左右，都江堰有人在地震时看到老式房屋上瓦片跳起情况，而在山区灾点如白鹿镇、红白镇，地震过程中直接看到建筑在巨幅晃动后，发生压垮、倾覆、楼层折断、竖向构件损毁情况；

3 城市建筑物震害情况

本次震害调查的城市包括成都、都江堰、彭州、德阳、绵竹、什邡、广汉。由于城市经济发展差异，成都市已建成各种结构类型建筑，但破坏情况较少。都江堰市主要以砌体、框架结构为主，包括大量时代久远的民居建筑，部分重要建筑物和新建商业建筑物采用框架-剪力墙结构。其它城市多为 8 层以下建筑物，高层建筑物较少，且距离震中较远，其破坏程度低于都江堰，因此都江堰的震害情况更具代表性。

根据都江堰市规划局人员介绍，本次地震造成市内 30% 的建筑倒塌或严重损毁，考虑次生灾害的影响，这部分建筑物经财产转移后，立即进行拆除和垃圾清运。市内另有 30% 的建筑物在地震中受损严重，初步鉴定为危楼以保护人员安全，待专业人员进行全面鉴定后确定处理方案。余下的建筑物初步鉴定为安全的，可继续使用，但需专业人员进行必要的安全鉴定及结构加固工作。

在都江堰建筑物主要有如下几种结构形式：

木、石结构。这些建筑主要集中于老城区，建筑层数多为 1 至 3 层，使用时间较长，如西街较完整地保留了清末民初的历史风貌，由于缺少抗震措施和牢固的连接方式，导致构件间拉结脱开，不能继续承重而损坏严重。很多屋面在上下震动中整体坠落，而墙体未发生太多损坏。还有一些老建筑由于使用时间太久，主要的木构件存在虫蛀、腐烂问题，在地震中受损严重。



图 3.1 西街木结构建筑整体倾斜及屋面脱落情况。



图 3.2 四川省文物保护单位采用石砌墙体、木屋架结构在地震中损毁



图 3.3 建于清道光年间、现存层数最多的古塔-奎光塔受损情况（高度 52.67 米，17 层）

砌体结构。该类结构在城市中使用量最大的，主要用于住宅、办公楼、学校等建筑，建筑层数多在 4~7 层。在地震中砌体结构建筑物破坏严重，主要有以下几种破坏形式：1) 楼层窗间墙剪切破坏；2) 横向墙体剪切或拉弯破坏；3) 底层整体剪切破坏；4) 建筑物整体倾斜；5) 多数楼板采用预制板结构，在地震中发生脱落现象，对主体结构产生更大破坏；6) 临街砌体建筑为满足商业使用要求，多采用底框砌体结构，在地震中底部框架破坏；



图 3.4 破坏较轻的砌体住宅，仅发生窗间墙 X 型剪切破坏



图 3.5 砌体结构横墙破坏情况



图 3.6 右侧楼梯二层整体压溃，致使临近开间预制楼板脱落破坏

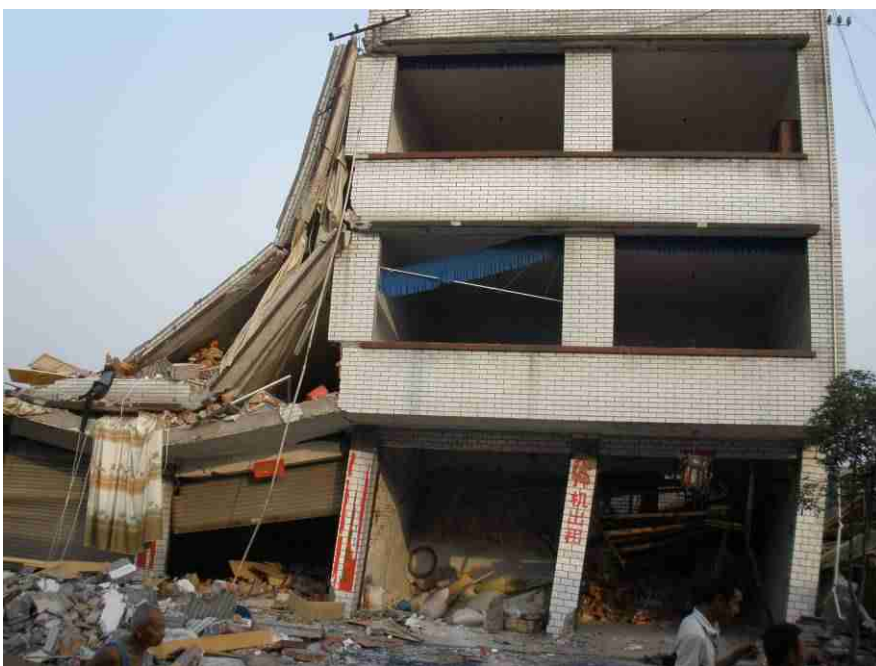


图 3.7 底框建筑物破坏情况，后部压垮，整体倾斜



图 3.8 中间的居民楼倾斜倚靠在旁边框架楼（居民楼属底框结构）

框架结构。该类结构由于变形能力较强，在地震中破坏很少，建筑外观主要表现为建筑墙体裂缝和墙体脱落情况，对非专业人员产生较大的心理压力，建筑墙体脱落还造成人员伤亡。其震害表现主要有：1）建筑墙体参与抗剪作用，发生剪切破坏，特别是端墙和单跨框架；2）建筑墙体脱落，给人感觉该建筑已成为危楼；3）少量梁、柱出现结构裂缝，可以通过加固手段予以恢复；



图 3.9 框架楼端墙建筑墙体裂缝及墙体脱落



图 3.10 建筑填充墙破坏造成构造柱剪切破坏

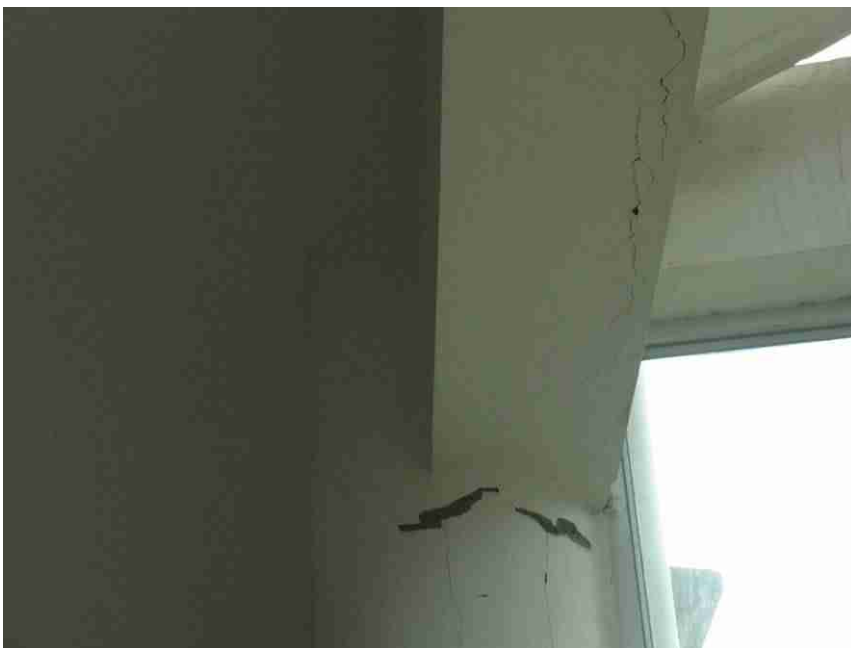


图 3.11 框架梁、柱出现裂缝

框架剪力墙结构。该类建筑物中的框架部分在地震中的表现同框架结构，但由于剪力墙的存在，梁柱基本没有裂缝等震害表现，剪力墙在地震中吸收了大部分地震能量，剪力墙破坏主要有：1) 连梁出现剪刀型剪切破坏；2) 底部剪力墙出现层间斜裂缝；3) 局部剪力墙出现压裂现象；



图 3.12 框架剪力墙震后外观，两道竖线间为剪力墙，下部有裂缝出现



图 3.13 从建筑物内部看外部剪力墙出现的裂缝



图 3.14 内侧剪力墙连梁出现剪切破坏，多数楼层出现类似状况



图 3.14 建筑物两侧楼梯间剪力墙出现斜线裂缝



图 3.15 建筑物两端楼梯间剪力墙底层窗间出现裂缝，建筑墙体与剪力墙间也有裂缝

4 山区建筑物震害情况

本次调查到达的山区受灾点仅荃华镇、白鹿镇和红白镇，其中民用建筑层数较低，结构形式多为木结构和砌体结构，工业建筑多采用框架结构和排架结构。在这次地震中，山区地震烈度高于平原城市，因此山区建筑破坏程度远高于平原城市建筑物，除震害表现和城市震害基本相同外，山区震害影响最大的破坏形式是环境地质变化对建筑物产生影响，这些地质变化引起的震害主要有：1) 山区坡地滑坡，造成建筑物被掩埋、倾覆等；2) 山体石头滚落造成结构构件损坏，导致结构主体破坏；3) 地基情况发生变化，使结构主体丧失原设计假定，承担额外地基变形导致结构主体失效；4) 竖向地震力造成严重震害；



图 4.1 倾斜的砌体建筑，采用了构造柱圈梁抗震措施，旁边未采用该措施的房屋倒塌

图 4.2~4.9 是一组白鹿镇地形发生变化对建筑物影响的照片，按照直观理解，地面错动位置及相邻位置地震作用强烈，但该处的震害表现很奇特，地质变动处的房屋受损严重，而两侧的建筑震害表现不同。



图 4.2 该场地原为缓坡地段，地震时图中右侧地面升高两至三米，变化处的民居全部损毁，两侧民居多发生屋面瓦震落现象



图 4.3 一栋位于地面急剧变化处的三层建筑物，结构无法承担地形变化而粉碎性破坏，



图 4.4 地形变化处东侧教学楼，楼体基座受到严重横向挤压发生错位



图 4.5 多数构造柱发生剪切破坏，砌体砂浆强度的直观感觉并不高



图 4.6 楼体受到严重损坏，可以看出震时的水平晃动相当剧烈，砌体成松散状



图 4.7 地形抬高处西侧的教学楼，结构保持完好，可能未受到水平地震作用影响



图 4.8 西侧教学楼仅在抗震缝两侧有碰撞痕迹及轻微变形裂缝，未发现受损痕迹



图 4.9 距离地面错动位置几百米外的几栋底框建筑物保持完好，但该镇多数建筑损毁