

中国工程院重大咨询项目“汶川地震工程破坏与对策”

# 芦山地震震害调查与恢复重建 对策汇编



西南交通大学  
Southwest Jiaotong University

二〇一三年五月 中国·成都

# 芦山地震工程破坏与对策学术研讨会

主办单位： 中国工程院土木、水利与建筑工程学部

中国地震学会地震工程专业委员会

承办单位： 西南交通大学

哈尔滨工业大学

中国地震局工程力学研究所

四川·成都·西南交通大学

二〇一三年五月

# 目 录

4.20 芦山地震震害考察分析及思考..... 周福霖 (01)

芦山 7.0 级强烈地震工程震害科学考察初步成果与建议简报..... 中国地震局工程力学研究所(12)

中、小跨桥梁新型隔震体系..... 李建中 (24)

芦山地震砖混结构震害初步分析..... 吕西林、翁大根、李培振(30)

村镇建筑存在的问题及对策..... 苏启旺、赵世春 (39)

芦山地震建筑工程震害调查..... 陆新征、潘鹏、李威(47)

我国建筑震后应急评估标准现状及思考..... 潘毅、龙丹冰、赵世春(61)

芦山“4.20” 7.0 级强烈地震公共建筑震害调查（不含学校、医院） ..... 戴君武、曲哲、翁旭然、张辰啸(66)

芦山 7.0 级地震城市住宅震害分析..... 张令心、余世舟、杨明儒、刘琛(71)

芦山 7.0 级地震强震动观测与记录初步分析处理..... 于海英 (76)

芦山 4.20 地震单层砖柱工业厂房震害的初步分析..... 金波、高永武、陈洪富、王涛 (81)

芦山“4.20” 7.0 级强烈地震校舍建筑震害调查与分析..... 王涛 (90)

生命线系统震害特征与经验总结.....刘金龙 (95)

推进我国城乡抗震防灾规划工作的建议.....王 威、苏经宇 (99)

## 4.20 芦山地震震害考察分析及思考 周福霖

### 4.20 芦山地震 震害考察分析及思考

周福霖  
广州大学 工程抗震研究中心

2013.05

### 说明和感谢

本PPT中的数据和照片，除本人自己收集外，还引用下列部门和专家提供的数据和照片：

部门：四川省，雅安市，芦山县

专家：潘毅，苗启松，何川，杜永峰，熊峰，周云 等

### 目 录

- 1.大地震再次突袭四川，出人意料！
- 2.建筑结构严重受损—站立着的废墟！
- 3.乡镇农村民房的破坏
- 4.交通基础设施的破坏
- 5.“不倒翁”的建筑
- 6.“屋坚强”的房子
- 7.中国隔震结构的地震考验记录
- 8.灾后重建的思考

### 1.大地震再次突袭四川，出人意料！

### 4.20 芦山 M7.0 地震 烈度分布图



9度区 长11.5公里，宽5.5公里，面积 208平方公里  
8度区 宽17.5公里，面积1418平方公里。  
7度区 长56公里，宽33公里，面积4029平方公里

## 4.20 芦山地震 简况

- ◆2013年4月20日, 8:02 时  
四川省芦山县发生里氏 M7.0 级地震,  
震源深度 13公里  
震中烈度9度(设防烈度 7.5 度)
- ◆受灾范围约1.8 万 平方公里
- ◆死亡 196人, 失踪 21人, 受伤 12.5万人  
需紧急转移安置 12.28万人
- ◆直接经济损失约 655.7亿元。

7

## 大地震再次突袭 出人意料!

- ◆专家语:  
汶川地震 M8.0 已余震 159次,能量释放已尽  
未来几百年内, 不会有大地震了!
- ◆县长语:  
已经完成汶川地震灾后重建, 建成美丽家园  
刚刚走出汶川地震阴霾的芦山, 再遭重创!
- ◆百姓语:  
汶川五年后, 又来大地震, 万万没有料到!  
瞬间, 生命陨落, 亲人哀泣, 家园被毁!

8

Lu Shan(芦山)Earthquake in China (航拍)



9

## 2.建筑结构严重受损—站立着的废墟!

- 2.1 汶川地震灾后重建公共建筑:  
(学校、医院、体育馆和办公楼等)
- 2.2 汶川地震前修建的公共建筑
- 2.3 城镇居民住房

10

## 2.1 汶川地震灾后重建公共建筑

- 评估公共建筑2345栋, 面积387.2万平方米。  
(包括学校、医院、体育馆和办公楼等)
- ◆主体结构基本良好, 但非结构构件破坏  
经维修后可使用 占45%
  - ◆需鉴定, 结构加固及后使用 占51.2%
  - ◆主体结构严重破坏, 难以修复使用 占3.8%

11

## 5.12汶川地震后,台湾红十字组织援建

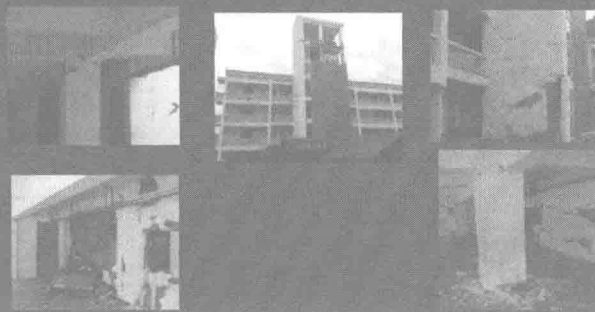
- 隔墙破坏严重, 需维修加固。
- 教学楼顶楼天花板部分垮塌。



12

### 5.12汶川地震后 香港红十字会援建

塔楼破坏严重，底层柱有明显破坏，围护墙外闪倒塌。



### 5.12汶川地震后 香港援建

墙体裂，天花板掉落



## 2.2 汶川地震前修建的公共建筑

- ◆主体结构基本良好，但非结构构件破坏经维修后可使用 占16.7%
- ◆需加固主体结构后可能使用或主体结构严重破坏，难再使用 占共72.3%，芦山县达 83.3%

15

### 芦山县 人民政府办公楼



16

### 上里镇学校（扩建项目）2004年

建筑破坏严重  
教室内隔墙全部损坏  
柱有结构破坏现象



### 结构倒塌



18

## 2.3 城镇居民住房

城镇居民住房共4.95万套：

- ◆基本完好或轻微损坏 仅占 2.5%
- ◆严重破坏、倒塌或已无维修加固 占 97.5%

19

### 城镇居民住房严重破坏或倒塌



20

### 城镇居民住房严重破坏或倒塌



21

## 3. 乡镇农村民房 的破坏

22

### 乡镇农村民房 破坏严重

调查16万农村民房：

- ◆整个雅安灾区遭严重破坏,倒塌或损毁的农房达15.58万户,占 95% 以上
- ◆龙门乡、清仁乡、宝盛乡、双石镇、太平镇农房几乎全部毁损,
- ◆其中,宝兴县灵关镇大溪乡罗家村的177户,只有1户农房可以使用,其余均为严重破坏,不具有修复加固价值。

23

### 乡镇农村民房 破坏



24

乡镇农村民房 破坏



25

乡镇农村民房 破坏



26

#### 4.交通基础设施的破坏

27

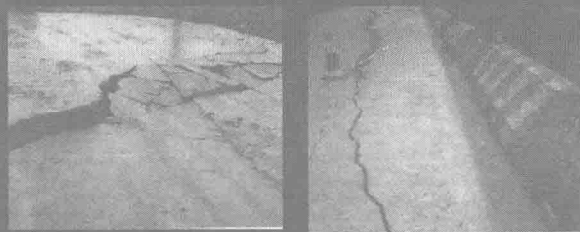
#### 重灾区域镇基础设施严重受损

雅安灾区 严重受损基础设施:

- ◆ 受损城镇道路216.5公里
- ◆ 受损桥梁45座
- ◆ 受损水厂18座
- ◆ 受损供水管道397.5 KM,排水管道311.8 KM
- ◆ 受损燃气管道450.9公里
- ◆ 芦山县供水厂供水能力仅为震前一半,
- ◆ 芦阳镇管网全部严重受损, 目前临时供水。
- ◆ 宝兴县供水厂抢修后, 仅能保障较低矮楼层的应急供水需求,

28

受损城镇道路



29

受损城镇桥梁



30

## 5.“不倒翁”的建筑

31

### 芦山县人民医院 隔震楼

澳门援建，中煤国际设计，广州大学 周云，吴从晓 分析设计



- ◆ 门诊楼 隔震 完好 三保护
- ◆ 住院楼 不隔震 三破坏

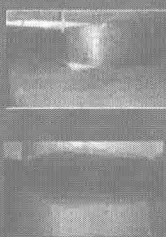
隔震 门诊楼  
成为震后 全县急救中心

+7 story

-1  
basement

32

### 芦山县人民医院 隔震楼



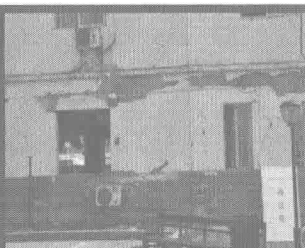
33

### 芦山县人民医院 隔震楼 (潘毅,苗启松 拍照)



34

### 芦山县人民医院 非隔震楼 (潘毅,苗启松 拍照)



35

### 芦山县人民医院 非隔震楼 隔震楼 对比



36

## 芦山县人民医院

医院曾院长说：

全县所有医院都瘫痪了，  
如果没有这栋防震楼，  
灾后就无地方急救了，  
后果不堪设想！



37

## 6.“屋坚强”的房子

38

## 中国工农红军 第四方面军 三十军团司令部



39

## 柱底 摇摆式 隔震



40

## 屋盖 榫接 消能减震 结构



41



## 刚性与柔性 抹灰层



42

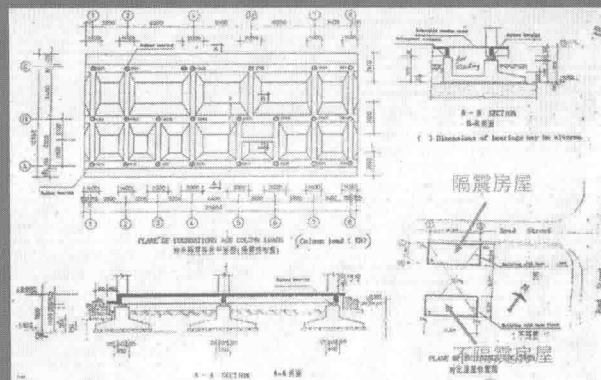
## 7.中国隔震结构的地震考验记录

(我国隔震建筑及桥梁 9次 地震考验)

### (1) 我国第一栋橡胶支座隔震房屋 (8层住宅) 广东汕头



### Seismic Isolation-Application in China 平面布置图 Houses in Shantou City



### 隔震结构 工程应用 及 地震考验 Seismic Isolation- in Shantou City-Earthquake experience

中国第一栋: 1993年 汕头8层隔震房屋

(联合国UNIDO国际项目)

中国地震考验: 1994.9.16 台湾海峡地震  
(M7.3)

传统房屋: 晃动激烈

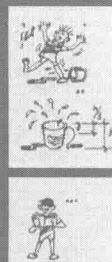
人站不稳

青少年跳窗逃 (死伤126人)

水桶溅水 1/3

隔震房屋: 人无震感

(房屋自震周期性2.6秒)



### (2) 云南大理 隔震房屋 地震考验 (1995.10.24)



关于武定地震对大理橡胶隔震房屋影响的调查报告

1995年10月24日 (农历九月初一) 凌晨, 早上10点多发生 (日全食), 早上6:50分发生震级6.5级地震, 震中距大理约200公里。地震发生时, 许多人在睡梦中惊醒, 都明显感到较强烈晃动, 听到类似汽车发动的响声, 听到门窗响声, 听到桌上物品晃动, 玻璃杯等物落地, 悬挂物摇晃较大, 地震烈度约6度强。

地震发生后, 我们对大理橡胶隔震房屋大理州交通招待中心大楼进行调查, 访问了住在一、二、五、七层的装修工人约20人, 多数人有震感, 只有约10%的人感到震感很轻, 直到到某能建筑的人人, 才知道发生了地震, 经建筑单位任作检测。

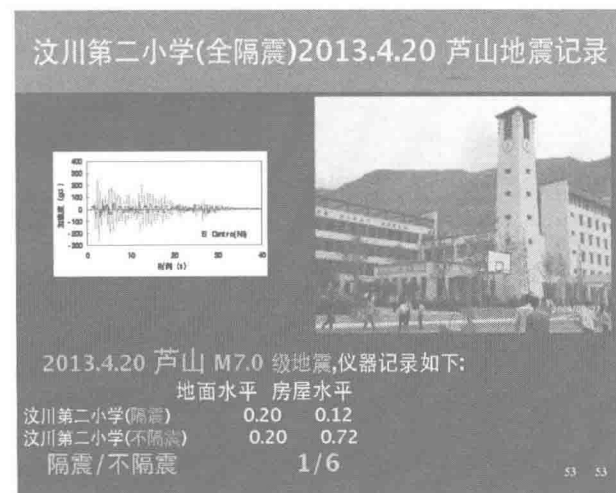
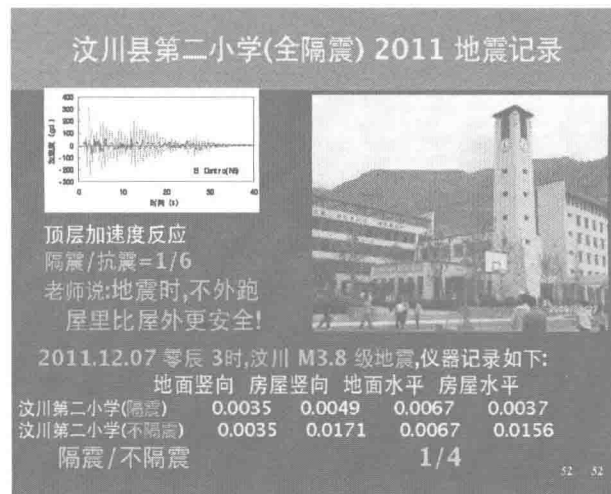
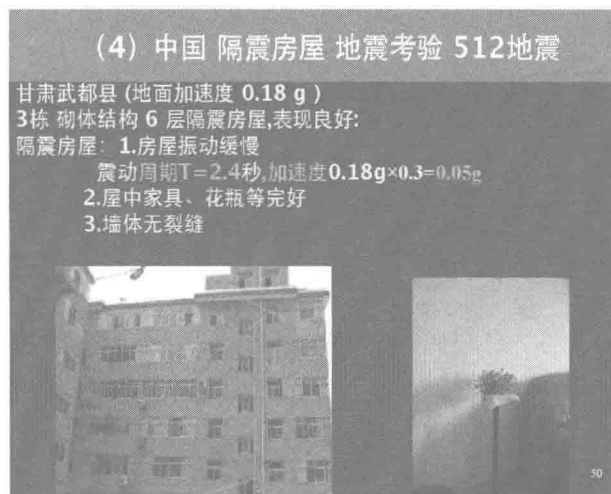
从以上调查可以看出, 橡胶隔震房屋有明显的减震效果。

调查人: 刘维奎  
调查员: 纳丹美  
调查日期: 1995.10.24

### 福建省地震 隔震楼 (监测中心) 2005

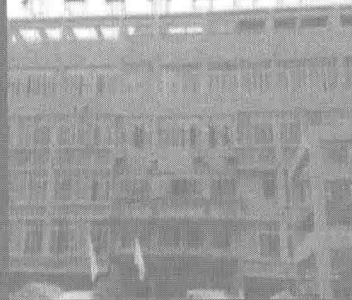
地下1层  
地上11层  
混凝土框剪结构





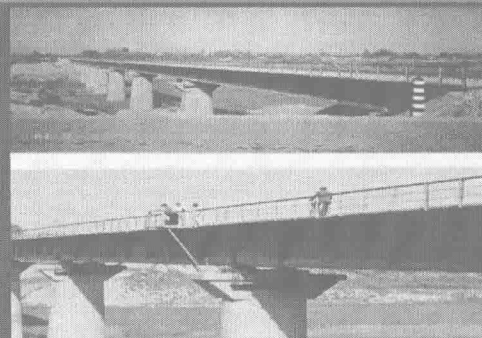
### Lu Shan(芦山) isolation hospital

芦山县人民医院



55

### (9) 中国 南疆铁路 布谷孜 隔震桥 (2000通车)



2003.2.24  
新疆  
伽师地震  
6.2 级  
L=50KM

地震后  
完好无损  
救灾物资  
源源不断  
送往灾区

南疆铁路布谷孜铁路隔震桥 (9孔, 各32米) 2000年通车

56

## 8.灾后重建的思考

57

### 汶川和芦山地震灾后重建的思考 (6条)

- 1.我国是地震大国, 震灾重国, 救灾强国, 防灾弱国  
中国梦应包括 建成 防灾安全强国
- 2.我国抗震设防标准偏低 (大部分 $0.05g-0.20g$ ),  
仍停留在旧的思维上, 上世纪60-70年代  
提高抗震设防标准要多花点钱, 钱比生命重要吗? !  
老百姓愿意花点钱 求安全, 国家规范却限制! 怪事!
- 3.我国突发超烈度地震常发生在中低烈度区 (不确定性)  
要求有较宽的“抗震安全极限边界”, 要求大 2-4 倍

58

### 汶川和芦山地震灾后重建的思考

- 4.要求从“单保护”(结构) 小震不坏, 中震可修, 大震不倒  
转变为“三保护” (结构, 非结构构件, 室内设施)  
(学校, 医院, 机场, 指挥中心, ...)hi
- 5.积极推广应用隔减震技术  
隔震结构地震反应降为  $1/4-1/8$ , 结构保持基本弹性  
有很宽的“抗震安全极限边界”, 4-8 倍  
实现“三保护”, 地震中成为安全岛
- 6.切实提高乡镇农房抗震安全性  
要求农房正规设计和施工, 不现实!  
要为乡镇农房抗震安全性, 提供确实可行的技术

59

### 隔震减震技术 的发展趋势和 展望

古代千年: 抗震结构 (一般房屋及工程结构)  
隔震结构 (庙宇等---地基灰砂层)  
消能减震结构 (1000年应县木塔等--木斗拱)

近代300年: 抗震结构 (传统方法及改进)

近期 30年: 隔震减震及控制结构 (迅猛发展)

隔震减震技术 是40年来地震工程最重要成果之一

今后年代: 从单纯采用传统抗震技术,  
过度到同时采用抗震, 隔震, 减震技术的新时代!



对策与建议

## 芦山7.0级强烈地震工程震害科学考察初步成果与建议简报

中国地震局工程力学研究所

2013.5.27

芦山4.20“7.0级”强烈地震发生后当天，工力所即派出以孙柏涛所长为首的14人现场应急工作队，参加中国地震局组织的地震现场灾害调查工作；22日增派4人参加住建部牵头组织的房屋安全性应急鉴定工作组。5月13日，工力所组织了一支28人组成的工程震害科考队奔赴雅安，按专业和工程特点，分成强地震动、工程场地、生命线、医疗卫生系统、学校、农居、城市住宅、公共建筑等八个工作组，历时10天，基本完成芦山地震工程震害现场科学考察任务。

根据上述现场调查工作，对芦山地震各类工程震害进行了简要总结，并提出初步的尚未系统分析的思考建议。分述如下：

### （1）强地震动

主震发生时，等强震4个省的部分观测仪被触发。其中四川台站触发83组，云南33组、陕西8组、甘肃2组。截至2013年4月24日18时，国家强震动台网中心在本次地震中收到四川省、云南省、甘肃省、陕西省获取的126组主震三分量加速度记录378条，震中距19.4~769km，宝兴地办台获得最大地震动峰值加速度1005.4gal。截至4月27日下午7时，共获得余震173组三分量加速度记录519条，增加137组三分量加速度记录411条。截至4月23日上午5时54分48秒，共发生余震874次，其中3级以下643次，3-4级183次，4-5级40次，5-6级8次。

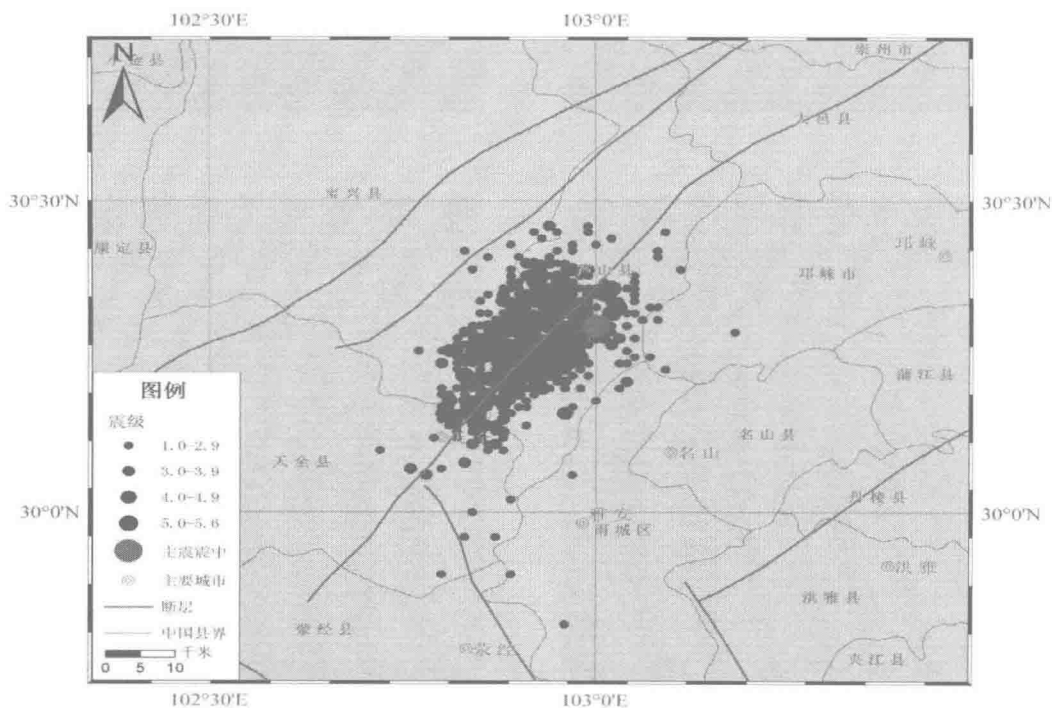


图1. 芦山地震主余震分布图

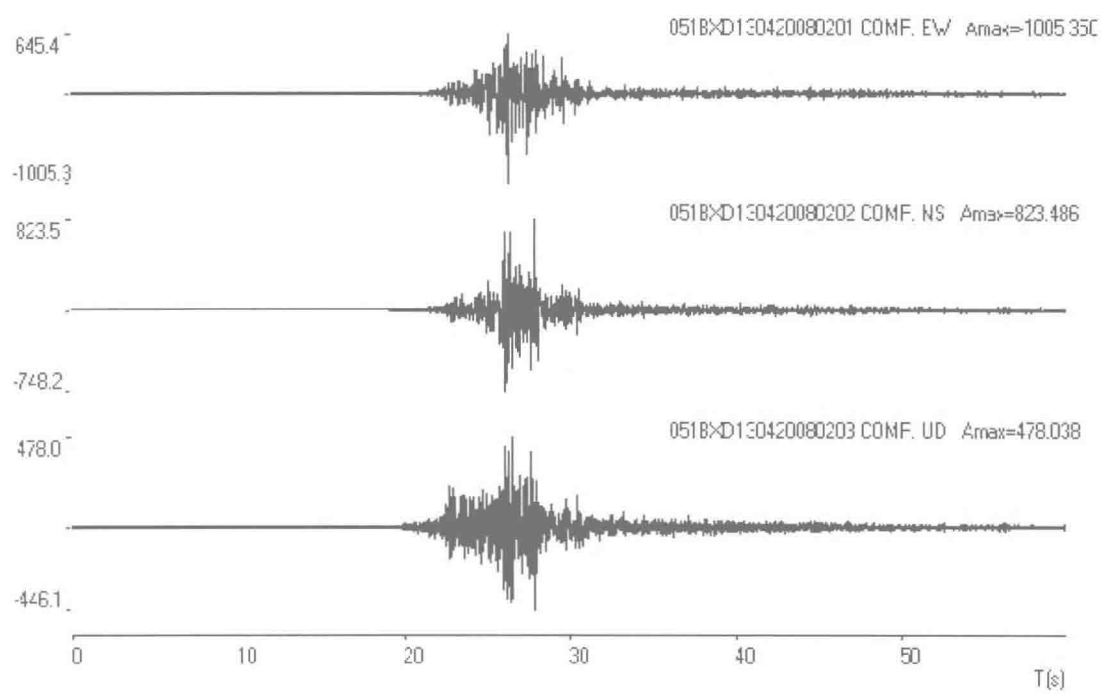


图2 四川宝兴地办

地震动卓越周期介于0.5~1.0Hz之间，与大部分工程结构自振周期接近，是导致结构破坏的主要外部荷载

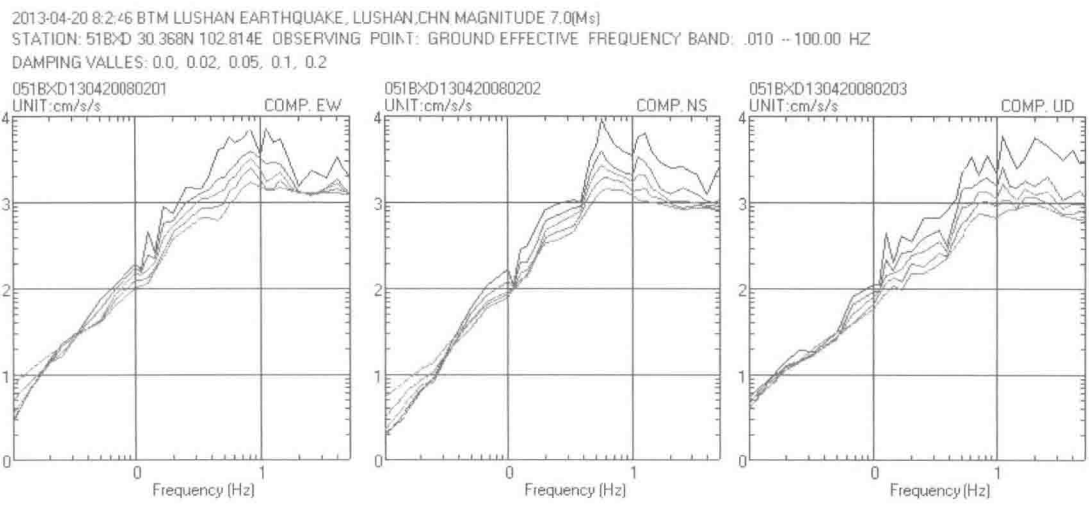


图3 四川宝兴地办台未校正加速度记录

(2) 场地条件

通过为期10天的芦山7.0级地震科考工作，对芦山县、天全县、宝兴县、雨城区等地的实地考察发现，本次地震中震害与场地条件有较为密切的关系，表现如下：

(2-1) 软土震陷：调查点有不少村镇建在河湾、古河道、古滑坡之上，覆盖土层较厚，水位较高，场地较软弱。采取圈梁、构造柱等抗震措施的房屋本身破坏较轻，但地面震陷严重，采用条形基础的砖混房屋（如雨城区上里、中里地区），地基出现明显沉降，表现为院落地面比基础面高出许多，甚至一楼的地板也出现隆起；采用桩基础的大楼（龙门乡政府大楼），则基础面高出院落地面约10公分。未采取抗震措施的房屋则出现了地基不均沉降，房屋倾斜、倒塌（中里镇），导致房屋失去使用功能。

(2-2) 河谷地形控制震害分布：村镇沿着老河床平坦处建设是这里常见的做法，老河床不同位置的房屋震害差异明显，据在龙门乡和思经乡的调查发现，河床上靠近山体的房屋震害较轻，而河床中间的房屋震害明显加重。

(2-3) 滑坡滚石等地震地质灾害常见：滑坡滚石等地震地质灾害比较普遍，特别是下雨之后，多处道路边山体出现塌方、滚石、滑坡等，堵塞道路、砸坏路面，使交通受阻、中断。至今，通往宝兴县的道路仍实行限行。为减少避免地质灾害的危险，政府采取在地质灾害隐患点派驻专人看守的做法。

(2-4) 不利地形上房屋破坏严重：由于平摊的河湾地区面积有限，不少自然村镇的房屋建在山坡上。其做法是在山坡上抠出一块平地来，并把抠出的土在山坡上堆积，前面建一简易毛石挡土墙，平整出一块平地，在平地上建房。震害表现为，靠近挡土墙受地震作用，出现挡土墙倾斜失效，导致地面出现开裂而地基失效，进而导致震害严重。

(2-5) 滑坡的潜在影响：在边坡上建造房屋是本次受灾地区的又一建房选址方式（天全县如思经乡进步村），震后山顶处边坡出现裂缝，而其正下方的几处民房破坏比周边的更加严重，推测为潜在滑坡的影响。此外，公路护堤出现沉陷、坍塌，给交通留下成潜在隐患。

(2-6) 地震液化现象：本次地震中约有5处地震液化点，但是没有明显相关震害。液化点大多分布在河边田地，表现为冒砂现象，规模较小。大多液化痕迹现已被雨水冲掉。

### 思考与建议：

雅安地区的第四纪土分布较少，故平坦场地较少，很多房屋建设无法避开《建筑抗震设计规范》中规定的不利场地条件，应研究经济、简单、有效的基础加固措施，以解决该类场地上房屋抗震问题，如采用地圈梁等提高基础整体性抗震措施十分必要；河谷地形对震害分布的影响的机理应进行深入研究，为类似场地上的结构提供参考依据；河湾软土地区震害机理及抗震措施研究亦应深入研究。

## （3）生命线系统

(3-1) 电力系统：在芦山地震应急工作的基础上，全面系统地收集了芦山、天全县电力系统中土建结构、变电设施设备、输电线路等的基础信息资料，共调查变电站10余座，输电线路7条，深入的调查了系统的地震破坏情况、功能失效状态和恢复时间等灾害信息，为电力系统地震破坏机理、灾害成因、网络系统功能失效模式以及地震防御对策研究等积累第一手资料，总结经验与不足，为今后抗震研究、抗震设防、工程加固等提供科学依据。