



---

# 鲁甸地震灾后重建 抗震生土建筑技术 及示范项目简介

---

香港中文大学  
昆明理工大学  
英国剑桥大学

# 鲁甸地震灾后重建

## 抗震生土建筑技术及示范项目简介

实施单位：



香港中文大学



昆明理工大学



英国剑桥大学

支持单位：

云南省住房与城乡建设厅

云南省科技厅

云南省抗震工程技术研究中心

图集编撰：

吴恩融 柏文峰 迟辛安 白羽 杨晓东  
李克翰 闫留超 王昕蕊 苏何先 赖正聪

图集排版：

王昕蕊

**技术之一**

**抗震夯土墙技术**

**技术之二**

**抗震土坯墙技术**

**技术实例**

**鲁甸县龙头山镇  
光明村杨正英住宅**

## 鲁甸地震灾后重建 抗震生土建筑技术及示范项目简介

### 技术之一：抗震夯土墙建筑技术

2014年8月3日，云南省昭通市鲁甸县发生里氏6.5级地震，传统生土民居在地震中倒塌严重，造成大量人员伤亡。由于震区农村部分群众经济能力有限，灾后农房恢复重建面临很大困难，在此情况下，引入新型抗震生土民居建造技术，在保持生土民居就地取材、社区互助建造等优点的前提下，提高抗震能力，改善生土民居舒适性就具有迫切的现实意义。

香港中文大学建筑学院筹措资金，联合昆明理工大学和英国剑桥大学，希望通过理论与实验结合的方式，开展“高科学，低技术”且具备推广性的抗震生土民居形式与结构体系研究。目前，由香港中文大学建筑学院设计并组织实施的抗震生土民居示范项目已在龙头山镇光明村投入使用，昆明理工大学开发的新型生土建筑专利技术的抗震能力已经得到试验验证。

传统生土民居就地取材，造价低廉，富有地域特色，在云南全省应用广泛。希望上述工作能为类似地区的民房灾后重建提供参考依据，为云南农村生土民居可持续营造提供理论与技术支持。



鲁甸地震灾后重建  
抗震夯土墙建筑技术



# 鲁甸地震灾后重建

## 抗震生土建筑技术及示范项目简介

### 第一章 传统夯土墙震害分析

鲁甸传统生土民居多为夯土墙承重，楼面采用原木搁栅承重，屋面采用硬山搁檩。根据地震灾区现场调研，传统生土民居墙体震害主要体现在以下九个方面：



一、地基基础破坏导致墙体开裂倾斜 (图 1.01)



二、结构体系不规则、不对称引起的破坏 (图 1.02)



三、木搁栅楼面刚度和约束不足，纵横方向夯土墙体不能协同受力 (图 1.03)



四、屋面木檩搁置在夯土墙顶部，缺乏与夯土墙的连接，地震时易发生屋面垮塌 (图 1.04)



五、墙身整体性差，裂缝展开贯通导致大块墙体掉落 (图 1.05)

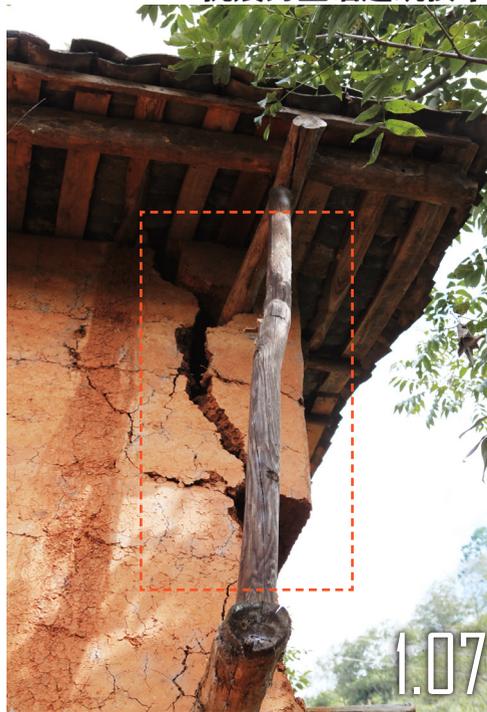
## 鲁甸地震灾后重建 抗震夯土墙建筑技术

六、夯土墙抗剪能力不足，表现为地震作用下墙面出现约 45 度斜裂缝（图 1.06）

七、夯墙过程中换板形成的施工缝处抗剪不足，地震作用下墙体沿施工缝滑移，夯土墙出现通长水平裂缝（图 1.06）

八、墙角处以及纵横墙交汇处有竖向施工通缝，地震时产生竖向贯通裂缝（图 1.06）

九、夯土墙顶面无约束，地震导致挑梁摆动拉裂墙角；（图 1.06、图 1.07）



# 鲁甸地震灾后重建

## 抗震生土建筑技术及示范项目简介

### 第二章 新型抗震夯土墙技术要点

#### 一、土料配制：

以符合要求的原土为主，添加机制砂作为骨料，添加纤维和植物秸秆作为夯土墙抗裂材料。(图 1.08)



#### 二、模板技术：

采用两种模板，分别是用于直线形夯土墙的一字形夯土墙模板(图 1.09)；以及用于纵横墙交汇处的 L 形模板(图 1.10)。

夯筑生土墙体时，上下两层夯土墙应错缝(图 1.11)，避免在夯土墙上产生竖向通缝而削弱墙体。



### 三、夯实工具

采用组合式电动夯头(图 1.12),该夯头除用于夯实土体外,还有在夯土墙水平施工缝上开锯齿槽的功能(图 1.13),增加施工缝处上下墙体的咬合,避免地震时墙体沿施工缝水平错动。



### 四、墙体构造

墙体内部设置竖向加强钢筋和水平加强钢丝网片(图 1.14),避免墙体通长裂缝的产生。在墙垛承受较大集中荷载处配置成组钢筋,并用铁丝缠绕(图 1.15),提高墙垛延性和承载能力。



# 鲁甸地震灾后重建

## 抗震生土建筑技术及示范项目简介

### 第二章 新型抗震夯土墙技术要点

#### 五、结构设计

二层采用现浇钢筋混凝土楼板(图 1.16), 楼板通过圈梁将所有夯土墙可靠连结, 共同受力。



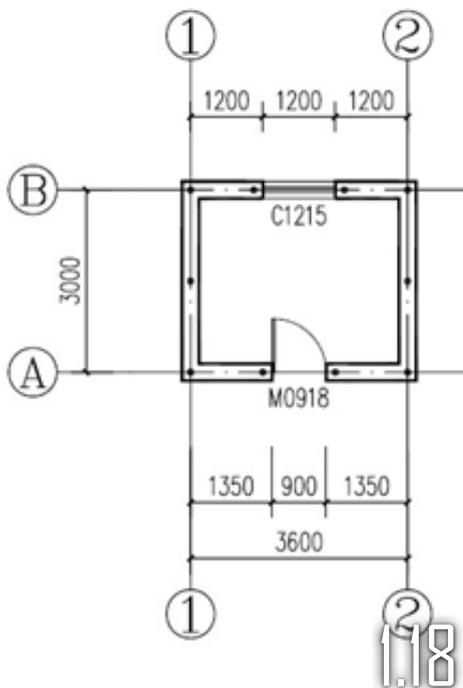
房间尺寸、开窗大小可参考砖混结构(图 1.17), 传统生土民居开间不大、布局受限制、日照不足、通风不畅的缺点得到彻底解决。夯土墙顶设钢筋混凝土压顶梁, 加强对挑梁的约束, 避免挑梁在地震作用下横向摆动破坏夯土墙体。



### 第三章 抗震试验

#### 一、试验模型

试验房屋开间为 3.6m，进深 3.0m，层高 2.45 米，采用 C20 现浇钢筋混凝土平顶，在房屋正面开门，门洞宽 0.9m，高 1.8m，门洞上方设置木过梁。房屋背面开窗，窗宽 1.2m，窗高 1.35 米，现浇钢筋混凝土圈梁为过梁，墙体拐角及门窗洞口两侧配置 1 根竖向钢筋，夯土墙厚 280mm。檐口标高设置钢筋混凝土圈梁，在窗台标高处以及距地面 1.8 米标高处设水平抗裂钢丝网片。（图 1.18、图 1.19）

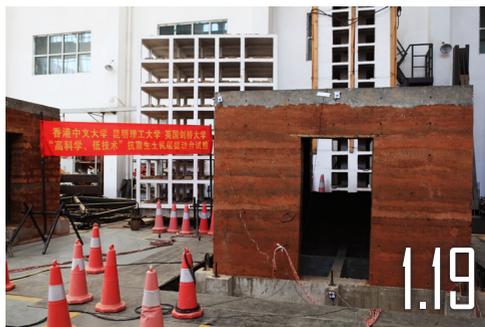


#### 二、试验过程

试验共计 23 个工况，从 7 度中震（加速度 0.1g）开始，直到超 9 度大震作用（两方向的激励加速度均超过  $10\text{m/s}^2$ ）。试验过程中，模型整体反应正常，无明显视觉扭转，整体以平动为主，模型侧移不明显。

#### 三、试验结论

7 度大震作用下，山墙墙角部位出现少量竖向裂纹，但在逐级增大的激励作用下，此裂纹并未出现明显扩展，9 度大震作用下，在夯土墙换板形成的施工缝处出现水平向裂纹，门窗洞口也出现少量水平裂纹，在超 9 度大震作用下（两方向的激励加速度均超过了  $10\text{m/s}^2$ ），施工缝处水平裂缝有一定的扩展，模型出现了一定的损伤，但并未使模型处于明显危险状态，新型夯土墙结构具有优良的抗震性能。在结构合理的情况下，采用此技术建造的二层夯土墙承重民居可满足抗震设防烈度 8 度要求。（图 1.20）为经过抗震试验的模型，状态完好。



鲁甸地震灾后重建  
抗震生土建筑技术及示范项目简介





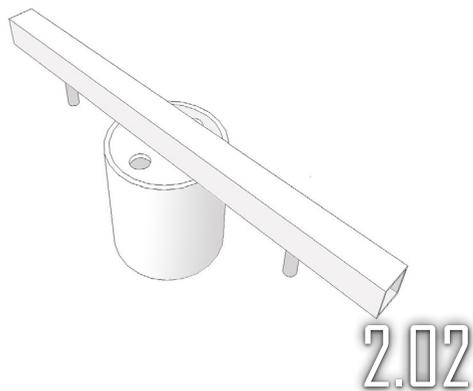
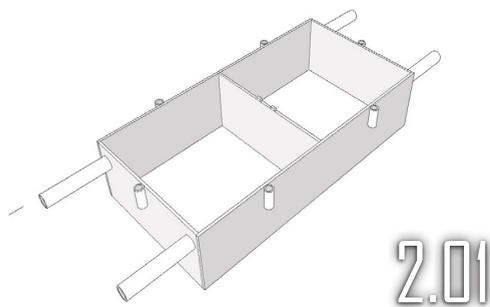
# 鲁甸地震灾后重建

## 抗震生土建筑技术及示范项目简介

### 技术之二：抗震土坯墙技术

#### 第一章 新型抗震土坯建筑技术要点

除夯土建筑外，土坯建筑在云南传统村落民居中运用也十分广泛。传统土坯建筑由于土坯强度低、砌筑方法和构造技术较为落后，抗震性能和耐久性能都很差，亟需加以改进。昆明理工大学开发的新型抗震土坯建筑技术具有良好的抗震能力，其技术要点如下：



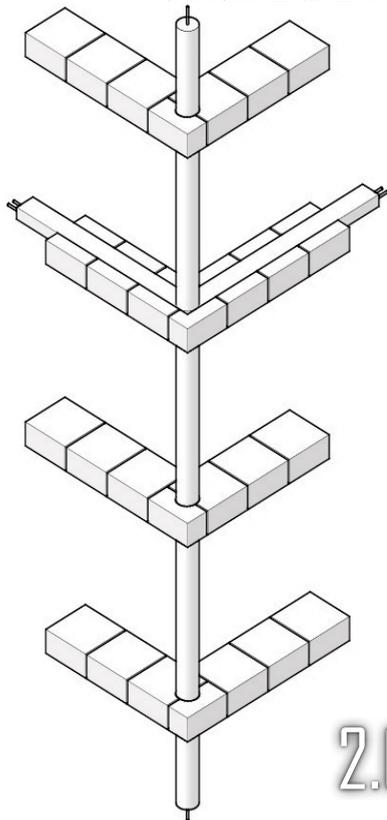
#### 一、土料配制

以符合要求的原土为主，添加机制砂作为骨料，添加纤维和植物秸秆作为土坯抗裂材料。

#### 二、土坯类型

通过研究一种生产多种土坯砖型的模具，包括标准模具（图 2.01）和附加其上的一系列附件（图 2.02），可以生产多种异形土坯（图 2.03），包括预留水平与竖向槽孔洞的异形土坯。本技术克服了传统土坯模具单一的缺点，为提高土坯建筑的整体性能创造了条件。





2.04

### 三、墙体构造

通过不同类型土坯的组合砌筑，在土坯墙内形成钢筋混凝土暗圈梁与暗柱（图 2.04），这些暗圈梁与暗柱在土坯墙内构成双向钢筋混凝土加强网格（图 2.05），起到加强土坯墙整体，提高抗震能力的作用。

### 四、结构设计：

采用现浇钢筋混凝土楼（屋面）板，楼板通过圈梁将所有土坯墙可靠连结（图 2.06），共同受力。房间尺寸、开窗大小可参考砖混结构，传统生土民居开间不大、布局受限制、日照不足、通风不畅的缺点得到彻底解决。土坯墙顶设钢筋混凝土压顶梁，加强对挑梁的约束，避免挑梁摆动破坏土坯墙体。



2.05

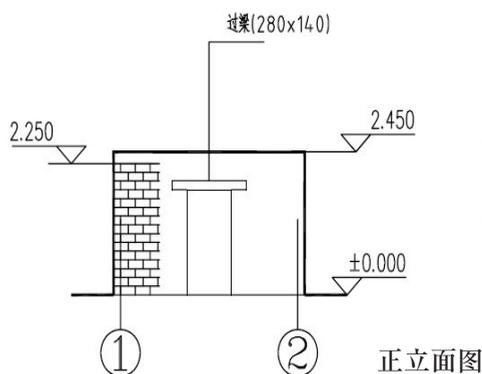
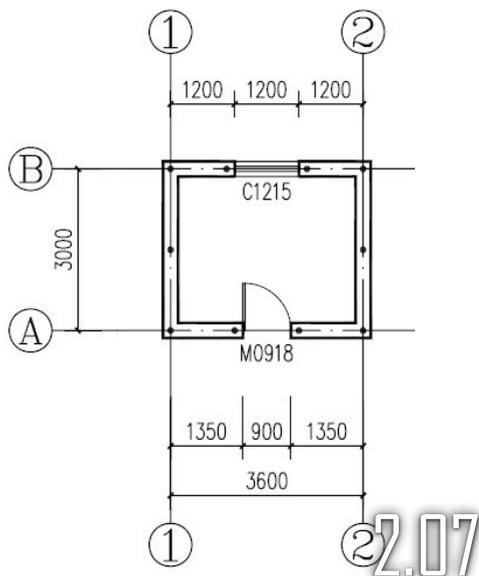


2.06

### 第二章 抗震试验

#### 一、试验模型

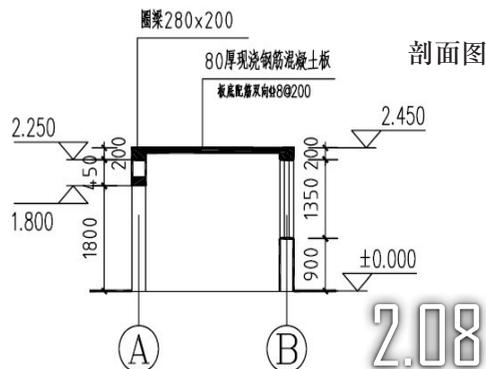
试验房屋开间为 3.6m，进深 3.0m，层高 2.45 米，采用 C20 现浇钢筋混凝土平顶，在房屋正面开门，门洞宽 0.9m，高 1.8m，门洞上方设置木过梁。房屋背面开窗，窗宽 1.2m，窗高 1.35 米，现浇钢筋混凝土圈梁为过梁，墙体拐角及门窗洞口两侧配置 1 根钢筋混凝土暗柱，土坯墙厚 280mm。檐口标高处设置钢筋混凝土圈梁，在窗台标高处设 60mm 高钢筋混凝土水平加强卧梁（图 2.07、图 2.08）。



正立面图

#### 二、试验过程

试验共计 23 个工况，从 7 度中震（加速度 0.1g）开始，直到超 9 度大震作用（两方向的激励加速度均超过 1g）。试验过程中，模型整体反应正常，无明显视觉扭转，整体以平动为主，模型侧移不明显。



剖面图

### 三、试验结论

模型在前 21 个工况设定的试验加速度激励下，未出现明显开裂、破坏现象。9 度大震后，为进一步考查模型的抗震性能，在设备能力范围内进行了超 9 度大震试验，试验地震波为鲁甸波，分别进行了 X 向和 Y 向激励，X 向最大激励加速度值为  $8.574 \text{ m/s}^2$ ，Y 向实现的最大激励加速度值为  $10.163 \text{ m/s}^2$ ，试验后仅在模型正面的门头过梁端头出现了两条斜向裂缝，其它部位未出现明显损伤，少量砌缝局部出现轻微裂纹，振动台试验未对模型结构产生明显的不良影响，新型土坯墙模型具有优越的抗震性能。采用此技术建造的二层土坯墙承重民居可满足抗震设防烈度 8 度要求。（图 2.09）为经过抗震试验的模型，状态完好。



鲁甸地震灾后重建  
抗震生土建筑技术及示范项目简介





建成后土坯厨房



建成后夯土主房

# 鲁甸地震灾后重建 抗震生土建筑技术及示范项目简介

## 一、施工过程实录



新型抗震生土技术示范 (图 3.01)



地基施工前测量放线 (图 3.02)



钢筋混凝土基础浇筑 (图 3.03)



夯土墙支模 (图 3.04)



夯土墙施工现场 (图 3.05)



楼板浇筑施工现场一 (图 3.06)

## 鲁甸地震灾后重建 抗震生土建筑技术实例



楼板浇筑施工现场二 (图 3.07)



正房二层夯筑 (图 3.08)



屋架搭建过程 (图 3.09)



夯土墙主体施工完成 (图 3.10)



安装门窗 (图 3.11)



内墙抹灰后刮白 (图 3.12)

## 鲁甸地震灾后重建

### 抗震生土建筑技术及示范项目简介

#### 二、抗震生土建筑技术实例概况

本技术实例位于鲁甸县龙头山镇光明村。正房为二层夯土墙建筑，夯土墙厚 350mm（图 3.11），二层楼板采用 C20 现浇钢筋混凝土楼板，屋面采用夹芯彩钢板（图 3.12）；厨房为一层土坯墙建筑。正房建筑面积为 137.44 m<sup>2</sup>，厨房建筑面积为 26.5 m<sup>2</sup>，总建筑面积为 164 m<sup>2</sup>。地基为老土，基础采用 C20 混凝土条形基础（图 3.13）。



实施单位核心成员在光明村抗震生土建筑施工现场合影：

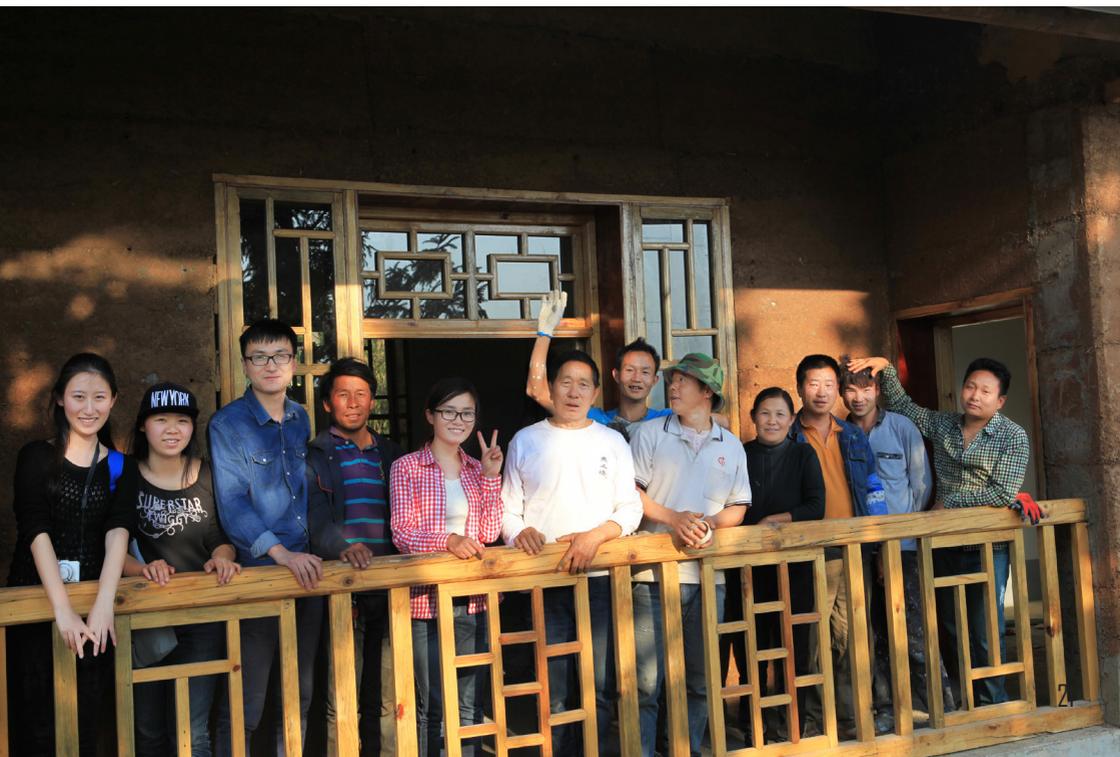
香港中文大学： 吴恩融 教授（前排中）  
迟辛安 博士（前排右 3）  
李克翰 博士（前排右 1）  
昆明理工大学： 柏文峰 教授（前排右 2）  
英国剑桥大学： Emily K. M. So 教授（前排左 4）



## 鲁甸地震灾后重建 抗震生土建筑技术实例



户主杨正英（右4）  
项目建设现场技术督导杨昌福（左6）  
昆明理工大学志愿者  
及部分施工人员  
在示范项目竣工现场合影



# 鲁甸地震灾后重建 抗震生土建筑技术 及示范项目手册

香港中文大学  
昆明理工大学  
英国剑桥大学

支持单位：  
云南省住房与城乡建设厅  
云南省科技厅  
云南省抗震工程技术研究中心