

## 地震预测研究所 2020 年第三季度地震重点监视防御区 公共服务试点工作总结

### ■ 地震预测研究所

地震数值预测研究和传统方法评估试点项目  
地震监测站网评估试点项目  
人工智能地震监测分析系统完善与应用  
地震危险区精细调查和地震现场综合科学考察试点项目  
预报员访学试点项目  
地震信息专题图试点

地震重点监视防御区公共服务试点



## 地震预测研究所 2020 年第三季度地震重点监视防御区 公共服务试点工作总结\*

### ■ 地震预测研究所

#### 一、研究背景

基于地震重点危险区判定结果,全国范围未来10年发生强震是大概率事件,然而从具体城市看,在特定城市周边发生强震则是小概率事件,因而仅依靠地震长期预测结果难以满足具体城市的防震减灾需求。针对这一问题,很多国家通过在特定区域模拟开展情景构建工作来分析设定地震对具体城市的影响。

情景构建的目的是模拟设定强震可能造成的人员伤亡、经济损失及社会影响等,使政府、机构、群众等可以提前采取相应措施,有效防范化解重大地震灾害风险。各国开展情景构建的流程大致类似,以美国地调局的 ShakeOut 项目为例<sup>1</sup>,主要分为四个步骤:第一步属于地震科学范畴,基于地震地质、地球物理等基础资料给出设定地震的发震断层段、位错,计算强地面运动并通过工程参数设置模拟次生灾害;第二步属于地震工程范畴,融合已有损失评估程序及专家意见估计设定地震所造成的建筑、生命线及基础设施破坏等一系列损失;第三步属于社会科学范畴,估计设定地震造成的紧急服务、商业中断、货物流动受限等一系列社会经济影响;最后一步是政策措施范畴,通过制定相关的政策措施,明确一系列可减少灾害损失的行动。

情景构建的效果依赖于震源、速度结构等模型的精细程度和基础信息的完备程度。目前中国大陆大部分区域基础资料不是很完善,合肥是少数几个满足开展相对精细情景构建基础需求的城市区域。作为长三角城市群副中心,综合性国家科学中心,“一带一路”和长江经济带战略双节点城市,合肥城市安全的重要性不言而喻。针对合肥地区开展情景构建试点研究,旨在探索适用于我国实际情况的情景构建技术方案,所采用的试点流程如图1所示。



图1 本研究采用的情景构建流程

#### 二、震源模型与介质模型

##### (一) 区域地震地质概况

郯庐断裂带是中国东部规模最大的断裂带,延伸长度达2400km,是一条重要的地震活动带。郯庐断裂带中段曾发生过多次强烈地震,包括公元前70年诸城7.0级、1668年郯城8½级和1969年渤海7.4级等强震<sup>2,3</sup>。然而,郯庐断裂带南部的安徽段历史上没有发生过6级以上地震。

\* 支撑新时代防震减灾事业现代化建设试点任务之七“地震重点监视防御区公共服务试点”成果。

1 Jones L M, Bernknopf R, Cox D, et al., 2008. The ShakeOut Scenario. USGS Open File Report 2008-1150.

2 国家地震局. 中国历史强震目录(公元前23世纪—1911年). 北京:地震出版社,1999.

3 国家地震局. 中国近代地震目录(公元1912—1990年  $M_s \geq 4.7$ ). 北京:中国科学技术出版社,1999.

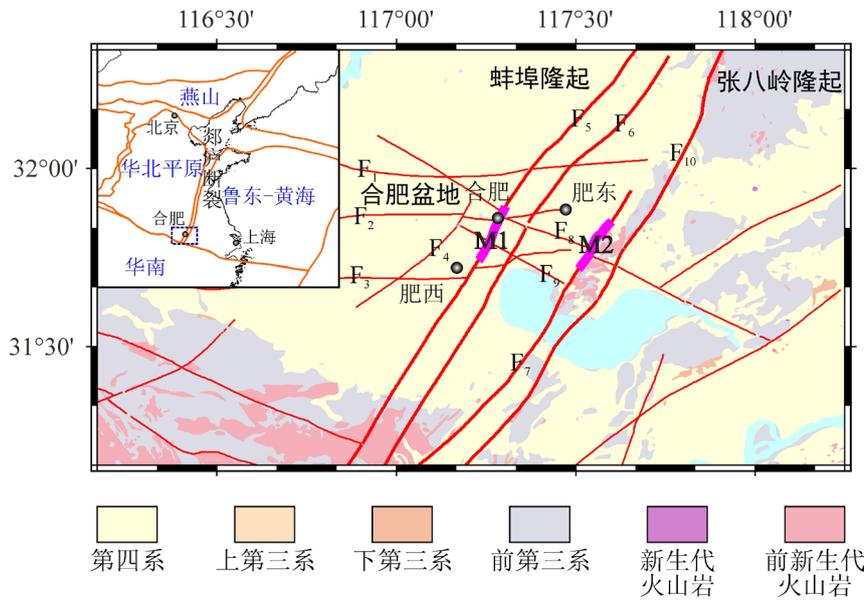


图2 合肥市附近主要活动断层

F1 肥中断裂, F2 六安 - 合肥断裂, F3 肥西 - 韩摆渡断裂, F4 大蜀山 - 吴山口断裂, F5 郟部 - 葛沟断裂, F6 沂水 - 汤头断裂, F7 安丘 - 莒县断裂, F8 桥头集 - 东关断裂, F9 大蜀山 - 长临河断裂, F10 昌邑 - 大店断裂; 其中 M1 为郟部 - 葛沟断裂 6.5 级设定地震破裂段, M2 为安丘 - 莒县断裂 6.5 级设定地震破裂段

合肥市位于郟庐断裂带南部的安徽段, 该地区主要分布 10 条断裂, 即北东向的昌邑 - 大店断裂、安丘 - 莒县断裂、郟部 - 葛沟断裂、沂水 - 汤头断裂和大蜀山 - 吴山口断裂, 北西向的桥头集 - 东关断裂和大蜀山 - 长临河断裂, 近东西向的肥中断裂、六安 - 合肥断裂和肥西 - 韩摆渡断裂。“十三五”期间的最新探测结果显示, 昌邑 - 大店断裂、安丘 - 莒县断裂、郟部 - 葛沟断裂与沂水 - 汤头断裂的最新活动时代为中更新世晚期, 活动性质为逆断层, 最大潜在发震能力为 6.5 级<sup>4</sup>; 第五代中国地震动参数区划图结果显示,

其他 6 条断裂均为前第四纪断裂, 最大潜在发震能力为 6.0 级<sup>5</sup>(图 2)。

### (二) 震源模型

基于最新活断层调查结果, 选择郟部 - 葛沟断裂与安丘 - 莒县断裂两条断层作为设定地震的发震断层(图 2), 设定震级均为 6.5 级, 结合地震地质资料给出震源模型的基本信息, 包括断层几何参数、断层运动学参数和破裂起始点等(表 1)。

表 1 设定地震震源模型参数

基本信息		破裂起始点			断层几何学参数				
编号	断层名称	经度	纬度	深度 (km)	几何分段数	整体走向	倾角	孕震层深度 (km)	滑动角
M1	郟部 - 葛沟断裂	117.28°	31.82°	6	2	36°	71°	15	110°
M2	安丘 - 莒县断裂	117.52°	31.80°	6	4	26°	70°	15	170°

利用有限差分方法计算地震震源破裂动力学过程<sup>6</sup>, 计算过程包括: 1) 根据断层地表迹线、走向、倾角构建三维断层几何模型; 2) 根据计算区域和速度

模型插值构建地下三维速度结构模型; 3) 设计断层面上初始剪应力、正应力、内聚力等动力学参数; 4) 加载滑动弱化摩擦准则计算破裂过程(图 3)。

4 “十三五”期间合肥活动断层探查结果.

5 周本刚. GB18306-2015 潜在震源区划分. <http://www.gb18306.net/detail/55>

6 Zhang Z, Zhang W, Chen X. 2014. Three-dimensional curved grid finite-difference modelling for non-planar rupture dynamics. *Geophys. J. Int.*, 199(2), 860 - 879.

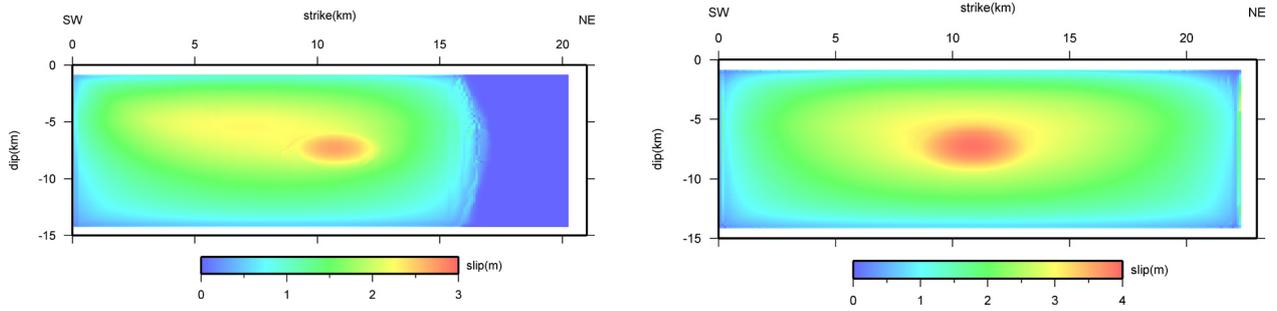


图3 合肥 6.5 级设定地震同震滑动位移分布

左为郟郟 - 葛沟断裂震源模型, 右为安丘 - 莒县断裂震源模型

### (三) 介质模型

利用背景噪声层析成像方法获得精细速度结构<sup>7</sup>。合肥地区测震台阵分布如图 4 所示, 主要由三个批次的子台阵共计 228 台短周期地震计组成。三个批次的子台阵分别为合肥主城区台阵、肥东台阵和环巢湖台阵。地震仪采样率为 100Hz, 记录时间约为一个月。

利用台阵所记录到的连续波形数据, 采用背景噪声层析成像方法对区域进行了速度结构成像。图 5 给出了三维横波速度模型在几个深度的水平切片, 图 6 为沿不同方位的几个垂直剖面, 合肥地区三维横波速

度结果显示: 1) 合肥地区浅层速度结构存在显著的横向差异, 郟郟断裂带东支呈现显著的高速异常, 而其两侧的合肥盆地及巢湖东南部则呈现低速异常, 速度结构异常较好地对应了区域地质构造特征 (图 5); 2) 合肥盆地的低速异常主要集中于巢湖西岸和西北岸, 4km 深度以上低速异常特征明显 (图 5); 3) 合肥盆地低速异常主要由三个低速异常体构成, 从剖面结果可见, 这三个低速体宽约 10-20km, 深度 4km 左右, 且均对应地形相对较低的地区 (图 6)。

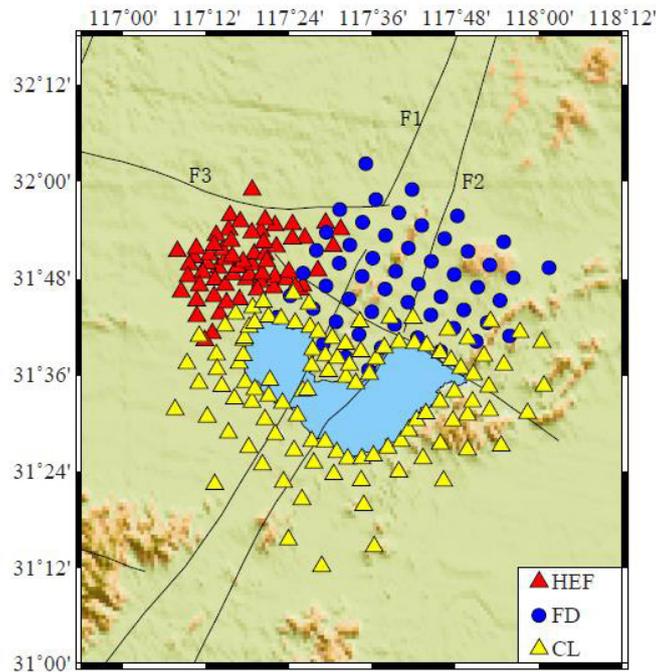


图 4 合肥地区台阵分布图

红色三角形 (HEF): 合肥主城区台阵, 蓝色圆点 (FD): 肥东台阵, 黄色三角形 (CL): 环巢湖台阵, F1 昌邑 - 大店断裂, F2 安丘 - 莒县断裂, F3 肥中断裂

7 “李玲利, 黄显良, 姚华建, 等. 2020. 合肥市地壳浅部三维速度结构及城市沉积环境初探. 地球物理学报, 63(9): 3307-3323.

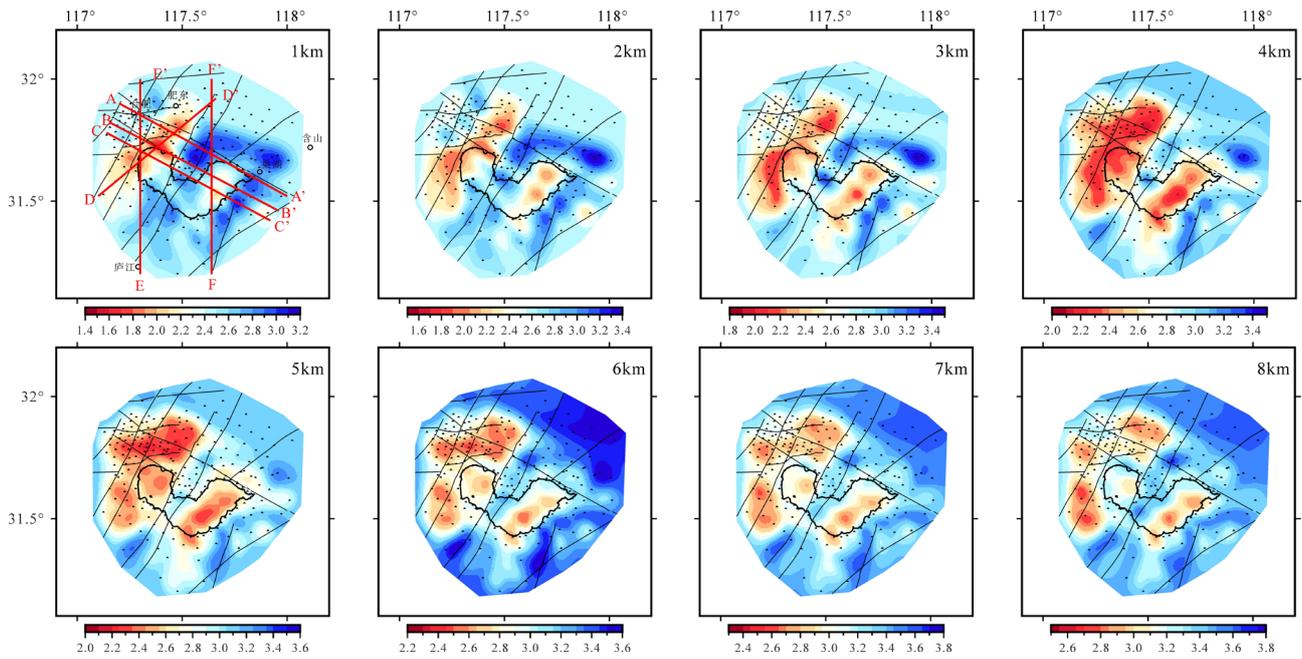


图5 不同深度的横波速度切片 (单位: km/s)

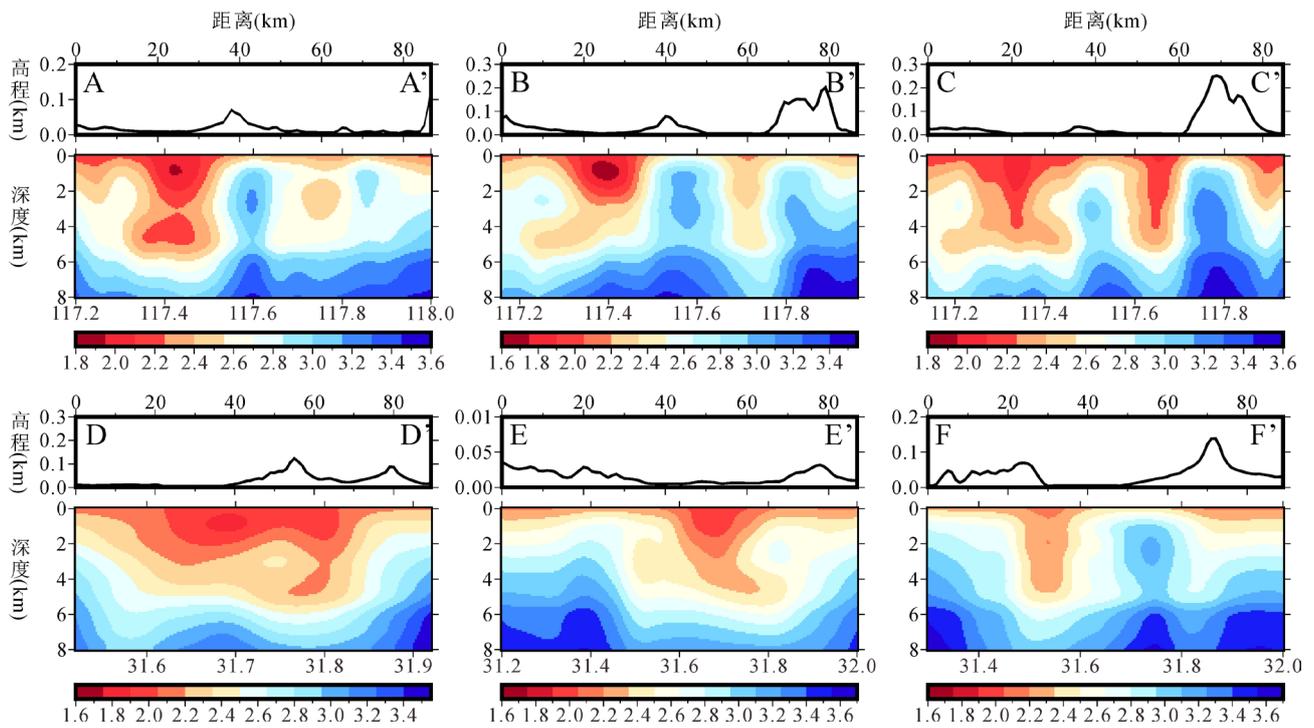


图6 不同方向的横波速度垂直剖面 (单位: km/s, 剖面位置见图5)

### 三、设定地震的地表响应

基于破裂过程计算强震引起的地表响应，主要步骤包括：1) 根据计算区域构建数字化三维介质模型；2) 构建数字化震源模型，确定断层面上各计算网格点上的破裂时间过程；3) 提取断层面上各格点滑动速率，将破裂源设置为多个点源；4) 通过差分模拟计算各网格点地表振动时程数据，进而得到强地面运动数据。

使用合肥 - 巢湖精细速度结构模型，以 100m 空

间网格，0.005s 时间步长进行地震波场计算，两个震源对应的峰值地表加速度 x 分量分布如图 7 所示，结果显示，发生在郟部 - 葛沟断裂的 6.5 级直下型地震对合肥市的影响较大。本次工作特别分析了介质模型中浅层低速体对地表响应结果的影响，由图 8 的对比结果来看，由于地震波在浅层低速体内存在多次反射的原因，导致震动幅度明显放大的效应。因此，选择精细速度结构下的郟部 - 葛沟断裂 6.5 级地震地表响应结果，开展合肥市相关影响分析。

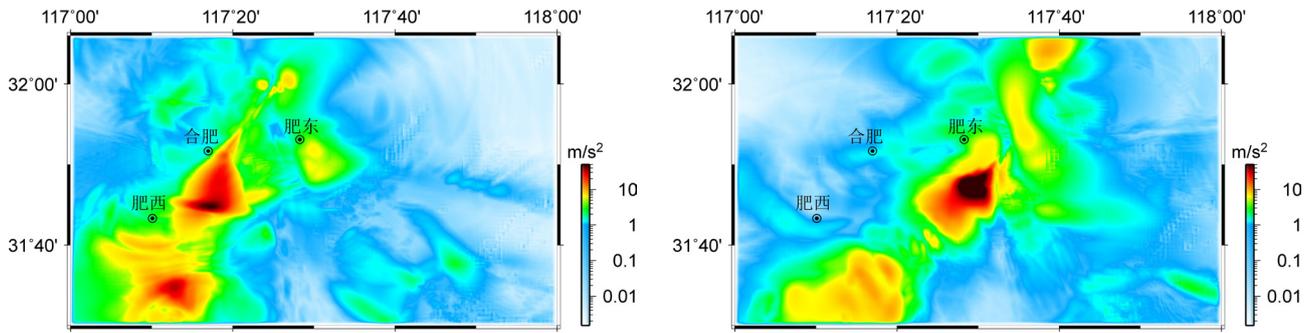


图7 峰值地表加速度 x 分量分布  
左图为 M1 郟郟 - 葛沟断裂模型, 右图为 M2 安丘 - 莒县断裂模型

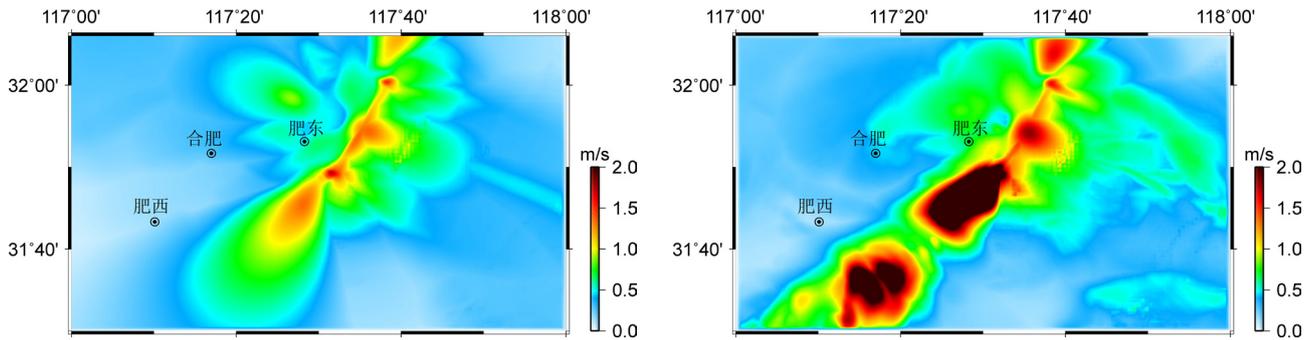


图8 基于不同介质模型获得的 M2 安丘 - 莒县断裂模型峰值地表速度 h 分量分布  
左图为未考虑浅层低速体时计算的地表响应; 右图为考虑浅层低速体时计算的地表响应

#### 四、人口与建筑物暴露度

人口、建筑物等承灾体暴露度是影响地震灾害风险评估结果的重要因素。高分辨率的人口与建筑物空间格网数据可为地震灾害风险评估提供有效支撑,提升评估结果的可信度。

基于 2000~2018 年分区县人口统计数据,采用第六次人口普查的乡镇人口数据、2017 年乡镇统计数据、2018 年统计年鉴、2018 年 1:10 万土地利用数据等资料,在居民地精细化的基础上,形成 1 公里人口密度格网数据 (图 9)。结果显示,人口密度最大区域集中于城区各街道,从城区向周围的人口密度逐步降低,人口密度较高区域多为乡镇中心。

以人口普查和抽样调查统计数据、多期土地利用资料等为基础,结合居民地精细化、兴趣点等数据,形成 1 公里建筑物面积密度格网数据 (图 10)。结果显示,城区建筑总面积密度较高,同时较发达的城镇地区框架结构和混合结构房屋面积密度也较高。距离城镇较远的地区以砖木和其他结构建筑为主。

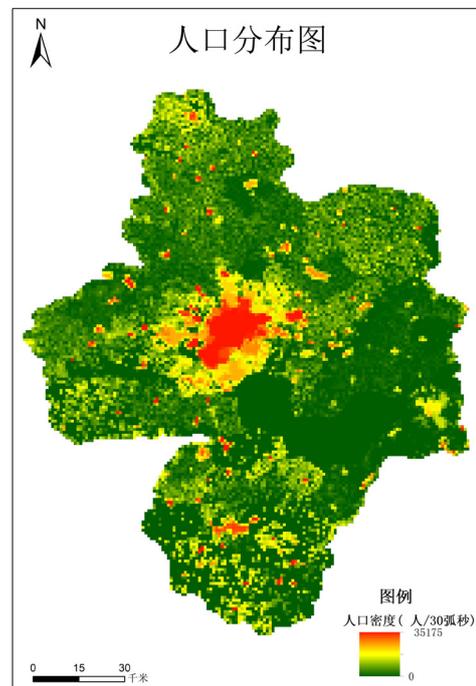


图9 合肥市人口密度分布 (人 / 平方公里)

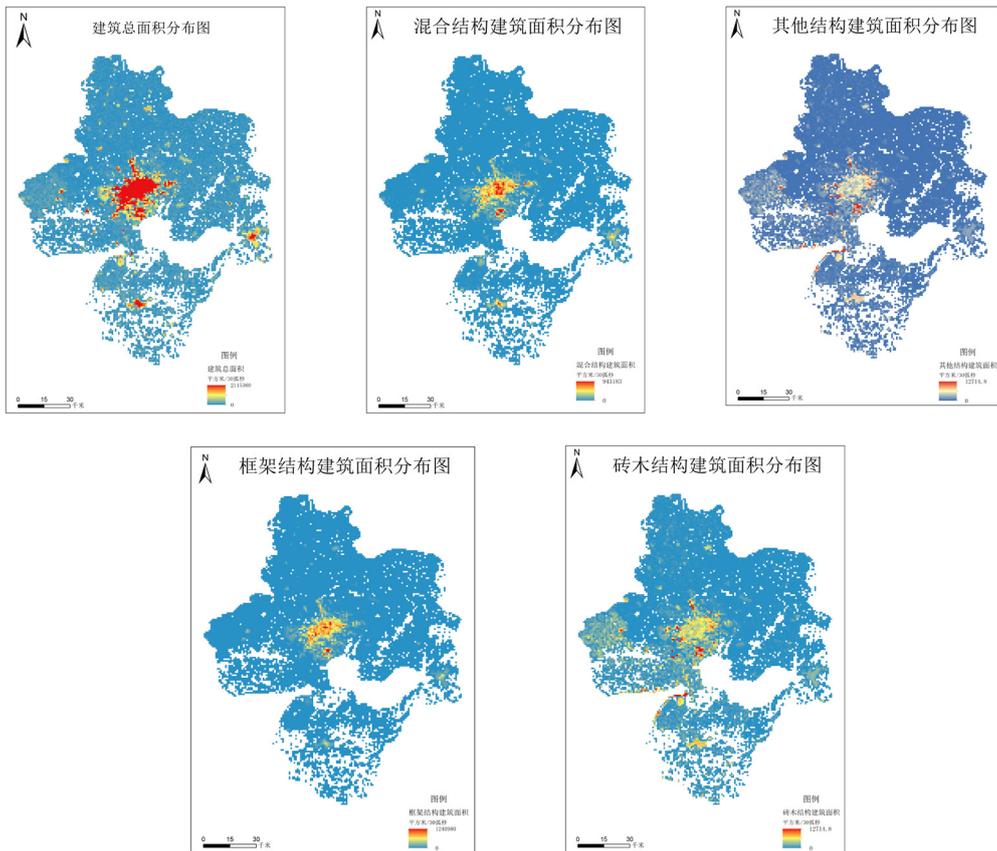


图 10 合肥市建筑面积密度分布 (平方米 / 平方公里)

## 五、地震灾害损失预测

### (一) 地震引起的生命和经济损失预测

基于强地面运动模拟结果与建筑物暴露度结果，给出了郟部 - 葛沟断裂发生 6.5 级设定地震后的 2.5 公里格网建筑物平均破坏比预测结果 (图 11)。结果显示，合肥地区的建筑破坏比整体分布与峰值地表加速度结果一致。例如：巢湖的西岸和西北岸属于峰值地表加速度高值区，同时也具有较高的建筑破坏比；而合肥城区西北部为峰值地表加速度低值区，建筑破坏比也相对较低。

基于建筑破坏比，进一步计算合肥市及周边地区的生命损失和直接经济损失。结果显示，如果合肥发

生城市直下型 6.5 级地震，将造成至少 6000 人死亡和 0.8 万亿元直接经济损失。

### (二) 核心城区典型小区建筑损坏分析

合肥核心城区主要包括瑶海区、蜀山区和包河区，各种类型建筑交错分布，本次工作针对三区交界的 6 个典型小区 23 栋住宅开展了建筑物地震破坏状态模拟 (图 12)。结果如表 2 所示。模拟结果显示：1) 剪力墙结构住宅抗震能力最好，且建筑年代均较新，只遭受轻微破坏；2) 框架结构住宅均遭受不同程度破坏，建筑年代较新的住宅抗震能力相对较好，破坏程度较小；3) 设防砌体结构住宅抗震能力较差，即使建筑年代较新也出现了倒塌的结果。

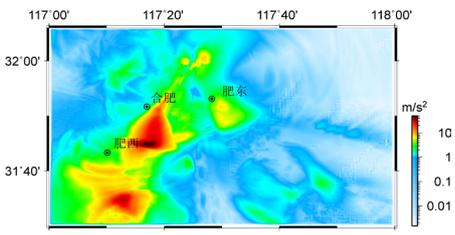
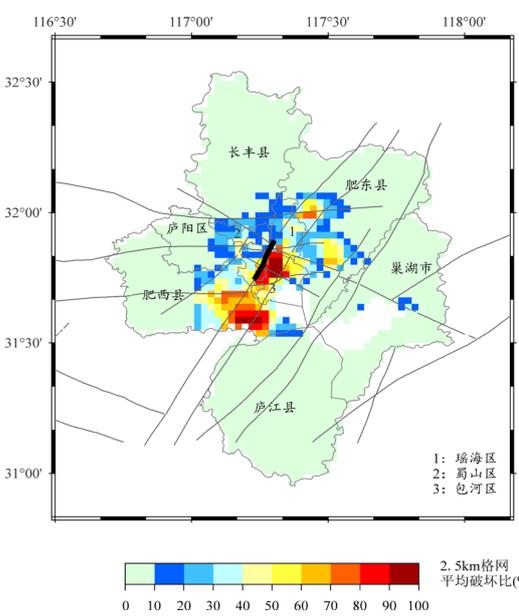


图 11 郟部 - 葛沟断裂发生 6.5 级设定地震后合肥市建筑破坏比分布 (2.5km 格网平均结果) 与峰值地表加速度 x 分量分布

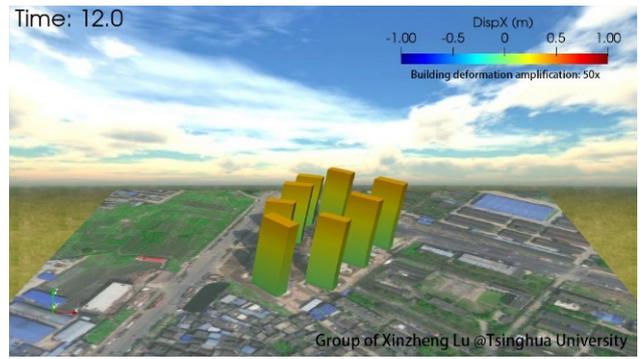
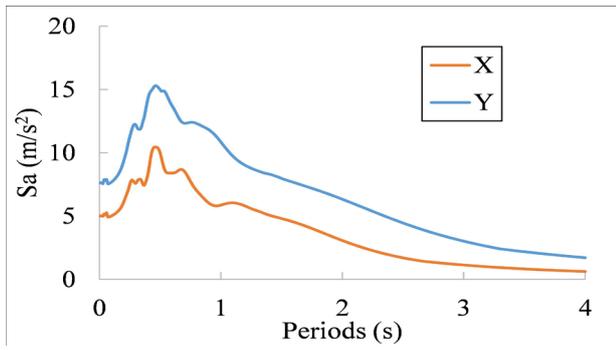


图 12 左图为晨光苑北苑 1 号楼输入的地震动反应谱；右图为瑶海区广和花园小区建筑地震位移响应 ( $t=12.0\text{s}$ , 变形放大 50 倍)

表 2 各建筑基本信息及地震破坏状态

编号	名称	破坏状态	层数	建造年代	结构类型	平均破坏比
1	晨光苑北苑 1 号楼	严重破坏	6	2006	框架	82.76%
2	晨光苑北苑 2 号楼	严重破坏	6	2006	框架	82.76%
3	晨光苑北苑 3 号楼	严重破坏	6	2006	框架	82.76%
4	晨光苑北苑 4 号楼	严重破坏	6	2006	框架	82.76%
5	晨光苑北苑 5 号楼	严重破坏	6	2006	框架	82.76%
6	晨光苑北苑 6 号楼	严重破坏	6	2006	框架	82.76%
7	西环中心广场 7 号楼	轻微破坏	24	2010	框架	20.88%
8	西环中心广场 8 号楼	轻微破坏	30	2010	框架	20.88%
9	西环中心广场 9 号楼	轻微破坏	30	2010	框架	20.88%
10	西环中心广场 10 号楼	轻微破坏	30	2010	框架	20.88%
11	西环中心广场 11 号楼	轻微破坏	28	2010	框架	20.88%
12	互感器厂宿舍	倒塌	6	2011	设防砌体	55.44%
13	华兴 A 小区	倒塌	6	2001	设防砌体	55.44%
14	华兴 B 小区	倒塌	6	2001	设防砌体	55.44%
15	广和花园 1 号楼	中等破坏	26	2017	剪力墙	62.37%
16	广和花园 2 号楼	轻微破坏	33	2017	剪力墙	62.37%
17	广和花园 3 号楼	轻微破坏	33	2017	剪力墙	62.37%
18	广和花园 4 号楼	轻微破坏	30	2017	剪力墙	62.37%
19	广和花园 5 号楼	轻微破坏	35	2017	剪力墙	62.37%
20	广和花园 6 号楼	轻微破坏	30	2017	剪力墙	62.37%
21	广和花园 7 号楼	轻微破坏	32	2017	剪力墙	62.37%
22	广和花园 8 号楼	轻微破坏	32	2017	剪力墙	62.37%
23	天鹅湖购物中心 B 区 imore 公寓	中等破坏	35	2013	框架	50.49%

## 六、经验和启示

由合肥地区地震灾害情景构建试点研究看，地震灾害风险评估的关键影响因素主要包括：震源模型、介质模型和建筑物暴露度等，为确保每个中间结果的可靠性，需要相关基础工作作为支撑，具体包括：

(一) 活动断层和同震破裂过程是震源模型的工作基础。根据“十三五”期间合肥活动断层探察结果，进一步明确了合肥城区活动断层及其发震能力，震级可达 6.5 级，该结果相较于五代区划的结果更加精细、更加完善。另一方面，对于 7 级左右及以上地震，地震破裂起始点和破裂方向等对地表响应空间分布至关重要。因此，针对断层基本信息和同震破裂过程，需要进行活断层的精细探察和震源物理模型的深入研究。

(二) 高精度浅层介质模型是强震地表响应分析的工作基础。本次研究结果表明，巢湖西岸和西北岸存在地壳浅层低速体，导致强震地表响应持续时间和幅度显著增加，加剧了地震灾害损失。但目前针对地壳浅层低速体系统开展的层析成像和浅层勘探工作普遍存在不足，因此，需要利用密集测震台阵观测资料，构建高精度浅层介质模型。

(三) 建筑损坏程度的评估需要精准的承灾体信息。本次试点研究工作由于人口和建筑等承灾体暴露度基础数据空间分辨率的限制，得到地震灾害损失预测结果是 2.5 公里格网内的平均结果。但实际情况是不同结构类型的建筑交错分布，导致同一格网内实际灾害损失与平均结果差别较大。因此，更精准的地震灾害损失预测，需要承灾体暴露度数据细化到具体单体建筑。

目前开展的合肥地区地震灾害情景构建试点研究，仅涉及到地震科学和地震工程学领域，尚未涉及到社会科学和政策措施范畴。我们仍认识到，要实现精准防范化解地震灾害风险，就需要按照“一城一策”或“一地一策”，进一步拓展完善防震减灾工作链条，全面提升地震灾害风险综合防范能力。

该工作也是重防区确定工作的部分内容，具体由监测预报司领导，地震预测研究所、安徽省地震局、合肥市地震局、中国科学技术大学、中再巨灾风险管理股份有限公司、清华大学、工程力学研究所等多家单位共同完成的尝试性工作。阶段性工作是 2020.4-2020.8 执行完成的，前期工作以参与单位的工作积累为主。

加强科技创新支撑新时代防震减灾事业现代化建设  
全国地震重点监视防御区公共服务 **试点** 工作通讯目录

关于观测仪器中的模拟滤波与数字滤波	2020年第1期(总第1期)
推进新时代地震预测研究现代化框架方案(2020-2035年)	2020年第2期(总第2期)
2020年6月26日新疆于田 $M_s$ 6.4地震虚拟科学考察试点工作报告	2020年第3期(总第3期)
研究所加强科技创新支撑新时代防震减灾事业现代化建设试点行动方案(2020~2022年)	特刊第1期(总第4期)
地震预测基础研究成果支撑引领地震预测业务的若干基本问题	2020年第4期(总第5期)
地震监测预报预警科技进展和发展趋势	2020年第5期(总第6期)
地震危险区精细调查与地震现场综合科学考察规划(初稿)	2020年第6期(总第7期)
北京地区活动断裂与地震图	2020年第7期(总第8期)
科学规划地震预测的进步	2020年第8期(总第9期)
中国地震科学实验场地震科学考察工作预案(初稿)	2020年第9期(总第10期)
预测所地震重点监视防御区公共服务试点工作方案	2020年第10期(总第11期)
地震大形势科学问题清单	2020年第11期(总第12期)
人工智能实时地震监测分析系统的应用	2020年第12期(总第13期)
亚太经合组织地震科学合作项目 ACES	2020年第13期(总第14期)
地震电磁短临监测手段评估—GPS TEC	2020年第14期(总第15期)
2021-2030年中国大陆地震重点监视防御区确定工作报告	2020年第15期(总第16期)
人工智能研究进展分析报告(2017-2020)	2020年第16期(总第17期)
混淆矩阵评估的若干指标与地震预测预报评估讨论	2020年第17期(总第18期)
地震预测研究所2020年第三季度地震重点监视防御区公共服务试点工作总结	2020年第18期(总第19期)

## 编委会

---

王武星 王琳琳 田勤俭 汤毅 孙汉荣 吴忠良 李营 杨林章 张永仙 张晓东 邵志刚  
赵翠萍 黄伟

## 编辑部:

---

中国地震局地震预测研究所科研管理部  
E-mail:sycglb@ief.ac.cn