

中国地震学会标准《基于实测地震动的区域 建筑地震破坏力评估标准》征求意见稿 编制说明

一、编制的必要性

地震对区域建筑的破坏力是震后应急决策的重要依据，影响应急资源的调度和应急力量的部署。随着我国地震台网建设的稳步推进，当前密集**的强震动台站**为基于实测地震动数据的区域建筑地震破坏力评估提供了实施基础。为满足地震应急管理部门及时了解地震破坏力的迫切需求，并充分发挥现有强震动台网优势，故制定此标准。

本标准的编制具有如下重要意义：

（1）及时、合理的地震破坏力评估对应急决策至关重要

地震发生后，区域建筑的地震破坏力情况是地震应急决策的重要依据，影响应急资源的调度和应急力量的部署。

当前，震后建筑震害评估主要依赖基于卫星图片的方法和现场调查。卫星图片评估方法需要大量人工辅助标注工作，影响了评估的实时性，而且对于内部破坏严重但表面完整的建筑无法准确评估其震害，存在一定的评估误差。现场调查方法能够深入到建筑内部，具有较高的准确性，但需要大量时间和人力。而且，地震发生后，灾区往往通讯不通畅，现场缺乏组织，短时间内难以有足够的专业人员对建筑震损进行评价。因此，亟需一种及时、合理的地震破坏力评估方法及相应标准。

（2）深度挖掘我国强震台网的数据价值

随着我国经济发展水平的日益提高，我国地震台网建设也在稳步提升。2015年，我国发布了地震密集台网建设的五年计划，共 15000 个强震台站。以北京为例，北京目前有超过 240 个强震动观测台站，百平方公里平均 1.4 台左右，分布于 16 个区县，是全国强震动观测密度最大的地区。

一方面，密集**的强震台站**为基于地震实测数据的区域建筑地震破坏力评估提供了实施基础；另一方面，利用不同区域强震台站数据结合城市抗震弹塑性时程

分析方法可以评估区域建筑的震害情况，为应急管理提供支持，进一步挖掘了强震台网的价值。

(3) 依托弹塑性时程分析给出更精细化评估结果

基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估依托先进的城市弹塑性时程分析方法，不仅给出建筑的地震破坏情况，还可给出不同建筑类型的破坏特征，例如什么类型的建筑破坏最为严重等，为开展精准的地震救援提供详细的科学决策依据。

为了满足地震应急管理及时地了解建筑震害的迫切需求，充分利用现有强震台网，需要编制基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估标准，提供专业技术指导，实现高效、合理的区域建筑地震破坏力评估，支持应急管理决策。

二、国内外情况简要说明

(1) 国际上震害评估标准主要针对现场调查阶段

在国际上，相关标准也主要针对地震后的现场调查阶段，用于评估震后建筑的安全性，相关总结如表 1 所示。例如，美国在 1989 年 Loma Prieta 地震后，总结建筑安全性评估的经验而形成的标准 ATC-20。后来，FEMA 306 和 FEMA 351 报告进一步给出了混凝土结构、砌体结构和钢框架结构详细的震害评估方法和修复技术，这两个报告进一步补充了 ATC-20 体系。整体上，ATC-20 体系指导评估人员通过合理的判据给评估震后建筑的安全等级，包括检查通过 (Inspected)、限制使用 (Restricted use)、危险 (Unsafe)，并相应张贴绿色、黄色和红色的警示标签。因此，在国际上，目前也缺乏基于实测地震动的地震破坏力评估的相关标准。

表 1. 国外地震应急评估标准对比

国家(地区)	应急评估标准名称	适用结构类型	有无定量计算	评估人员资质	评估结论
美国	Procedures for Post Earthquake Safety Evaluation of Building	木结构、钢筋混凝土结构、钢结构、砌体结构、装配式结构	无	工程人员或经应急评估培训的非工程人员	①检查通过;②限制使用;③危险
新西兰	Field Guide; Rapid Post Disaster Building Usability Assessment- Earthquake	木结构、钢筋混凝土结构、钢结构、砌体结构、装配式结构	无	土木工程师、建筑师和从事建筑行业人员	①检查通过;②限制使用;③危险
欧洲	Field Manual for Post-Earthquake Damage and Safety Assessment and Short Term Countermeasures	砌体结构、木结构、钢筋混凝土结构	有	有经验的土木工程师、建筑师	①可使用;②暂时不可使用;③部分不可使用;④需进一步详细评估;⑤不可使用
日本	受灾建筑物应急危险度判定手册	木结构、钢结构、钢筋混凝土结构	有	经过培训和注册认可的建筑工程师	①检查通过;②要注意;③危险

(2) 国际上地震应急评估平台无法直接在我国应用

国际上已有面向近实时的地震评估软件平台，以满足应急评估的需求。美国地震应急产品主要由美国地质调查局（United States Geological Survey, USGS）产出。USGS 在地震后会立即给出地震三要素（震级、震中位置和震源深度），30 分钟内给出详细的预测结果，包括烈度分布、经济损失、人员伤亡、地震次生灾害（滑坡和液化）等，其中 ShakeMap 和 PAGER 为美国应急产品的两个核心模块。

日本主要的地震应急产品之一是 J-RISQ (Japan Real-time Information System for earthquake)，该系统根据所收集到的信息，动态实时地给出日本全国范围内地震灾害信息的简要总结，包括：地震基本信息（震级、震中位置、震源深度）、地震烈度分布图、主要城市烈度、不同烈度区的人口数、在该地区发生过的大地震、地震风险区划图等。

然而，由于软件权限和标准不兼容等一系列问题，以上地震应急评估的软件平台并不能直接在我国应用。因此，我国也需要地震应急评估方法及对应标注，以服务我国的地震应急管理。

(3) 我国尚缺乏基于实测地震数据的地震破坏力评估标准

在国内，涉及震害评估的标准主要包括《地震灾情应急评估 GB/T 30352-2013》、《地震现场工作 第 3 部分：调查规范 GB/T 18208.3-2011》、《地震现场工作 第 4 部分：灾害直接损失评估 GB/T 18208.4-2011》，以及《城市抗震防灾规划标准 GB 50413-2007》和《城市综合防灾规划标准 GB/T 51327-2018》。

其中，《城市抗震防灾规划标准 GB 50413-2007》和《城市综合防灾规划标准 GB/T 51327-2018》面向并不是地震应急评估，而是城市规划过程中的地震风险评估。《地震灾情应急评估 GB/T 30352—2013》在一定程度上依赖现场调查，而且评估时限在于“特别重大地震灾害不超过 10 d，重大地震灾害不超过 7 d，其他地震灾害不超过 3 d”，无法在较短时间内（几个小时内）给出震害评估结果。而《地震现场工作 第 3 部分：调查规范 GB/T 18208.3-2011》和《地震现场工作 第 4 部分：灾害直接损失评估 GB/T 18208.4-2011》这两个规范主要用于指导地震现场工作，用于给出详细的震害评估结果，与本标准不依赖现场调查的快速评估有显著差别。因此，我国尚缺乏基于实测地震数据的地震破坏力评估标准。

综上所述，目前国内外尚缺乏不依赖现场调查的、基于实测地震动数据的地震破坏力评估标准。为满足地震应急管理的实时需求，应尽快制定基于实测地震

动的区域建筑地震破坏力评估标准，为地震行业提供必要的技术指导。

三、主要过程

1. 任务来源

根据“十三五”国家重点研发计划课题“城市地震巨灾情景构建技术（2018YFC1504401）”的任务要求，需要根据实测地震动评估城市区域建筑的地震破坏力评估，辅助城市巨灾情景构建，并服务地震应急决策。因此，需要编写《基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估标准》。

2. 起草单位和主要起草人

本标准起草单位：清华大学、中国地震局地球物理研究所、中国地震局工程力学研究所、中国地震台网中心、中国震害防御中心、北京市地震局、四川省地震局、北京师范大学、深圳防灾减灾技术研究院、福建省地震局、北京科技大学、深圳大学、北京建筑大学。

本标准主要起草人：陆新征、杨建思、邢成起、许镇、林旭川、熊琛、刘艳琼、王立新、郝明辉、江鹏、汪明、蔡辉腾、王亚安、解琳琳、田源。

3. 主要工作过程

本规范编制过程中主要工作有：

（1）2019.01-2020.02，调研阶段。

调研我国基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估的关键需求和主要技术问题，收集整理了美国标准 ATC-20、国标《地震灾情应急评估 GB/T 30352-2013》等国内外地震破坏力评估相关的规范、规程、导则、科技论文等资料，明确本标准的特色与范围。经过充分调研，编制组于 2019 年 11 月 27 日向中国地震学会提交了《基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估标准》立项申请书。

（2）2020.03-2020.07，立项与撰写阶段。

《基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估标准》于 2020 年 3 月 17 日正式立项。由于当时仍处于新冠疫情紧张时期，编写组暂未召开启动会议，但已经分散开始撰写工作。编制组根据立项书要求，在充分了解国内外相关标准和多次地震破坏力评估实践经验上，完成了本标准各章节的主要目录。

(3) 2020.07-2020.12, 内部审查与修改阶段。

编制组认真对待标准编写工作, 并多方面听取意见。其中, 编写组主要成员开会讨论 20 余次, 而且召集编写组所有单位和起草人, 内部函评 6 次, 集体开会讨论 3 次, 最终不断修改形成了本标准的征求意见稿。

编写组全体单位和起草人内部审查会议如下;

2020 年 7 月在北京召开标准初查会议, 咨询标准提纲和初稿意见;

2020 年 8 月在北京召开标准二次审查会议, 对标准修改稿讨论。

2020 年 12 月在北京召开标准三次审查会议, 继续提出修改建议, 形成标准的征求意见稿。

(4) 2020.12-2021.01, 公开征求意见阶段。

编制组拟向《基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估标准》相关的应急管理部、中国地震局的直属单位和各省、自治区、直辖市地震局以及相关高校各共 34 家单位征求意见, 并向标准相关的 58 名专家征求意见。同时, 该标准也在中国地震学会官网和全国团体标准信息平台上公开征求意见。

四、条文说明

标准属性是推荐性, 标准级别是学会标准, 标准类别是基础标准, 没有采用国际标准, 属于首次制定。

本标准相关条文说明如下:

1 范围

地震破坏力评估数据要求见本标准第 5、6 章。

强震动台网的地震动实测数据可由强震动台站主管部门提供。

4 基本规定

4.1 地震对区域建筑的破坏力不仅体现在建筑结构自身的破坏, 还体现在对建筑内人员引起的不适感受。这种人员不适感受可能产生恐慌, 甚至造成严重人员伤亡。因此, 本标准区域建筑地震破坏力评估结果包括不同台站关联区域的建筑破坏状态占比和人员加速度感受等级占比两方面内容。

4.2 基于实测地震动的区域建筑地震破坏力评估可按标准规定的步骤顺序执行。其中, “区域建筑承灾体属性数据确定” 步骤也可在震前开展, 提前为评估做好准备, 以节省评估时间。

5 实测地震动数据收集

5.1.1 抗震不利场地可参考《建筑抗震设计规范》GB 50011 第 4 章的相关规定确定。

5.1.2 为保证地震破坏力评估所用的实测地震动数据的准确性和可靠性，台站应符合现行地震行业标准《地震台站建设规范 强震动台站》DB/T 17 或《地震台站建设规范 地震烈度速报与预警台站》DB/T 60 的相关规定，台站的观测专用设备技术应符合《数字强震动加速度仪》DB/T 10 的相关规定，台站的观测系统设备安装应符合《强震动观测技术规程》DB/T 64 的相关规定。

5.2.1 《强震动观测技术规程》DB/T 64 中 7.1.3 规定，台站原始数据应由包含地震信息与台站信息的元数据和台站仪器记录到的事件波形数据组成。

5.2.2 该部分参考《强震动观测技术规程》DB/T 64 中 7.1 规定。

5.2.3 本标准要求根据 DB/T 64 的相关规定生成校正加速度记录和绝对加速度反应谱。校正加速度记录将用于地震破坏力评估的模型输入；绝对加速度反应谱将根据本标准第 8 章相关规定纳入评估报告，用于地震破坏力的定性判断。对于 DB/T 64 规定的数据处理应生成的其他记录和谱值，本标准不作强制要求。

考虑到多数平面规则建筑具有两个主轴方向，部分建筑对于竖向地震动敏感，本标准要求事件波形数据包含至少两个水平正交方向和一个竖直方向。

根据现有强震动观测台站的设备规格，本标准规定采样率不应小于 50 Hz。相对的时间步长不大于 0.02 s，可以满足本标准第 7 章中区域建筑抗震弹塑性时程分析的精度需要。

为了完整地分析地震动对建筑的破坏力，避免遗漏显著影响建筑响应的加速度记录区间，本标准对事件波形数据的时长和范围做出规定。

6 区域建筑承灾体属性数据确定

6.1.1 建筑承灾体属性数据可以通过实地调查、航拍、地图街景等方式进行确定。其中，“楼层数”不包括地下部分。结构类型主要可分为 5 类：框架结构、框架剪力墙结构、设防砌体结构、未设防砌体结构、土木结构。如果希望进一步对上述结构类型进行细分或增加其他结构类型，可以参考第 7 节模型参数标定方法建立对应的计算模型。位置信息包括建筑经纬度和行政归属地。特殊情况可记录建筑的特殊属性，如存在竖向不规则等。

6.1.2 本标准 6.2 条推荐了典型建筑承灾体数据集，对于缺少建筑承灾体属

性数据的区域，可根据 6.2 条匹配推荐的数据集。

6.2.1 本标准根据《第六次全国人口普查》等数据建立了全国主要城市区域的建筑承灾体属性数据，所建立的属性数据可以考虑当地建筑的统计特征，在国内 50 多次地震中得到应用。

基于抗震设防水平的数据分级可以很好地考虑当地建筑的抗震能力，降低了数据复杂度，方便实际应用。

本标准推荐的台站关联区域的一级分级标准与人口普查统计数据相匹配，首先根据城、镇、乡级别对台站关联区域进行分级，台站关联区域城镇乡级别的划分应按照国家统计局文件《统计上划分城乡的规定》确定。S 代表城郊或城中村，一般为抗震的薄弱区域，在具有相关数据的情况下，可考虑该分类。

其次，通过对典型城区在统一地震作用下的震害结果的聚类分析，可以确定不同区域的抗震能力等级，进一步可以确定不同建筑属性和抗震能力分级的关系。选取相关性最强的两个建筑属性（抗震性能好的建筑比例和坏的比例）对区域进行第二、三级别的分级。其中，抗震性能好的建筑包括钢结构及钢筋混凝土结构。抗震性能较差的建筑包括未按抗震设防设计的建筑，或 1989 年以前建造且未加固的建筑。

采用三级别分级后可以对台站关联区域进行编码，如：某城市区域，该区域内抗震性能较好的建筑的比例 $>50\%$ ，未设防结构的比例 $<20\%$ ，分级为：C-I-1。

6.2.2 本标准附录表 A.2 推荐了建筑承灾体属性数据集，在确定台站关联区域的分级编码后根据匹配准则可以获得该区域的建筑属性数据集，并且可根据当地实际情况对建筑属性数据进行调整，如根据当地建筑统计数据修改对应附录表 A.2 中建筑组成比例。

7 区域建筑抗震弹塑性时程分析

7.1.1 区域建筑抗震弹塑性分析对区域中量大面广的一般建筑，可采用较为简单、计算效率较高的计算模型；对于区域中的典型建筑或者较为重要的建筑，可以单独建立精细有限元模型开展分析。

7.2.1 多自由度集中质量剪切层模型假设楼层质量集中于各层质点，楼层之间采用剪切弹簧连接。该模型适用于框架结构、砌体结构与土木结构等受剪切侧移模式控制的多层结构；多自由度集中质量弯剪耦合模型假设楼层质量集中于各层质点，楼层之间弯曲弹簧与剪切弹簧采用刚性链杆连接。该模型适用于钢筋混

凝土框架剪力墙结构等受弯剪耦合侧移模式控制的高层结构。

7.2.2 建筑计算模型的参数取值应考虑当地建筑的特点，可参照本标准进行取值并根据实际情况适当调整。

7.2.3 建筑楼层面积 A 可根据地理信息系统中建筑多边形数据确定。对于各楼层面积不同的建筑，应根据各层实际面积确定各层质量。

7.2.4 当建筑布置不规则时，建筑楼层刚度可根据各层抗侧力构件数量确定。

7.2.5 对于钢筋混凝土框架剪力墙结构，多自由度集中质量弯剪耦合模型中剪切刚度 对应框架的楼层总剪切刚度，弯曲刚度参数 对应剪力墙的楼层总弯曲刚度。

7.2.6 剪切弹簧的剪切性能可采用图 7.2a 所示的三线性骨架线，剪切弹簧的弯曲刚度无穷大；弯曲弹簧的弯曲性能可采用图 7.2b 所示的三线性骨架线，弯曲弹簧的剪切刚度无穷大。弯曲弹簧的有限元实现可采用弹塑性欧拉梁模型。

7.2.8 建立多自由度集中质量弯剪耦合模型的刚度矩阵与质量矩阵，并采用广义特征值分析，计算各阶周期与振型。根据各阶周期与设计反应谱，计算各阶振型位移 D_k 。根据式(7.5)计算各阶振型位移向量。振型位移向量中包含弯曲弹簧的转动自由度向量 θ_k 与剪切弹簧的平动自由度向量 u_k 。计算振型位移向量的层间差值，得到各阶层间位移向量 Δu_k 与层间转角向量 $\Delta \theta_k$ 。最终根据式(7.6)-(7.9)计算剪切弹簧计算剪力 V_a 与弯曲弹簧计算弯矩 M_a 。

7.2.10 式(7.15)-(7.16)建议了两种屈服后刚度参数的计算方法，对于框架结构与框架剪力墙结构可采用式(7.15)计算；对于设防砌体结构、未设防砌体结构与土木结构可采用式(7.16)计算。

7.2.11 式(7.17)-(7.18)建议了两种软化段刚度参数的计算方法，对于框架结构与框架剪力墙结构可采用式(7.17)计算；对于设防砌体结构、未设防砌体结构与土木结构可采用式(7.18)计算。

7.2.13 单参数滞回捏拢模型如图 7.3 所示。对于不同捏拢滞回参数取值，捏拢点位于理想弹塑性滞回模型对角线组成的滑动线上。例如捏拢滞回参数为 0.5 时，捏拢点位于滑动线的中央。

8 结果后处理与评估报告编写

8.1.1 后处理工作主要是针对区域建筑抗震弹塑性时程分析得到的建筑各层工程需求参数，采用统一的等级划分标准和统计格式进行结果处理，以保证分析

结果的可对比性和可靠性。

8.1.2 建筑破坏状态划分等级根据 GB/T 24335-2009 第 3.4 条确定。

出于安全性的考虑，保守地选取建筑各层中最严重破坏状态等级作为建筑整体的破坏状态等级。

附录 C 的损伤限值数据主要根据国内外试验数据确定。如针对台站关联区域内建筑开展了专门研究，可根据实际情况确定各类建筑的损伤限值。

对于多层框架结构、砌体结构与土木结构，其破坏主要受层间位移角控制，采用剪切弹簧层间位移角确定其各层的破坏状态等级。

对于高层钢筋混凝土框架剪力墙结构，剪力墙墙肢作为其主要抗侧力构件，通常表现出明显的弯曲变形，采用弯曲弹簧层间转角确定其各层的破坏状态等级。

8.1.3 人员加速度感受等级及其与楼层最大加速度的关系表参考 JGJ3-2010 条文说明第 3.7.6 条。出于安全性的考虑，采用所有楼层最大加速度确定建筑的人员加速度感受等级。

8.1.4 参考 GB/T 30352-2013 第 8.4 条中房屋震害评估步骤，采用统计方法给出台站关联区域内所有建筑不同破坏状态的占比和不同人员加速度感受等级占比，通过各等级的占比反映地震破坏力的大小，并建议以表格的形式总结，为地震破坏力评估报告编写和抗震应急救灾建议提供必备数据。

8.2.1 一报应能迅速给出评估结果，包含可能造成严重破坏的地震动记录。二报应尽可能包含全面的评估结果，评估所收集到的全部地震动记录。

8.2.3 规定了评估报告中地震基本参数应包括的内容。其中，震中位置应包括经度、纬度及其所位于的城市；震级应说明震级的类别。

8.2.4 代表性地震动记录，宜包括 PGA 最大或谱加速度 S_a 较大等代表性特征的地震动记录。

8.2.7 除了 8.2.5 与 8.2.6 条所规定的图的形式，台站关联区域地震破坏力评估结果，还宜用表格形式进行统计，便于展示量化结果。

8.2.8 可根据不同台站关联区域破坏力评估结果，给出地震破坏力整体结果，并可根据对应地震破坏力提出地震应急避险与抗震救灾的建议。

五、其他问题说明

（1）标准水平分析

目前国内外尚缺乏不依赖现场调查的、基于实测地震动数据的地震破坏力评估标准。本标准具有显著的创新性和技术先进性。

（2）与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本标准与《地震灾情应急评估》GB/T 30352 有内容上相互配合之处，但时限要求和评估对象不同。本标准侧重在更短时间内评估地震对于区域建筑的破坏能力，而非评估地震对区域建筑造成的破坏情况。但当具有区域建筑的详细建筑承灾体属性数据时，本标准也可以用于评估区域建筑的震害。

（3）重大分歧意见的处理过程及依据

无。

（4）作为强制性标准或推荐性标准的建议及理由依据

本标准实施与强震动台网建设程度相关，因此编写组建议本学会标准为推荐性标准。

（5）贯彻标准的有关措施建议

建议早日公布，以满足地震应急管理部门及时了解地震破坏力的迫切需求，并充分发挥现有强震动台网优势。

标准编制工作组

2020年12月28日