

ICS 91.120.25

P 15

团体标准

T/SSC XXX-20XX

活动断层系统级联破裂模型构建 技术规范

Construction of cascading rupture models of active fault systems

征求意见稿

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国地震学会 发布

目 次

前言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
5 工作流程	2
6 成果产出	4
参考文献	5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由XX提出。

本文件由中国地震学会归口。

本文件起草单位：中国地震局地质研究所、中国地震局地球物理研究所、中国地震局地震预测研究所、天津大学。

本文件主要起草人：吴果、徐伟进、冉洪流、周庆、鲁人齐、魏占玉、王辉、姚琪、刘静等。

引 言

我国地震灾害频发，对人民生命财产安全构成重大威胁。国内外研究表明，活动断层是大震的主要发震构造，研究其活动特性并评价其地震危险性是地震科学研究的核心任务。特别是2008年汶川地震和2023年土耳其“大双震”等震例表明，级联破裂型地震能够突破基于历史地震破裂分段的传统模型限制，产生远超预期的震级和更为严重的灾害后果。我国西部地区（如鲜水河断裂）及东部地区（如郯庐断裂）均存在大量具备级联破裂潜在条件的活动断层。鉴于我国东部人口稠密区已长期未遭受强震破坏，一旦发生此类巨震，其后果将难以估量。

近年来，国际地震学界在活动断层系统级联破裂模型构建方面取得了显著进展，以美国加州统一地震破裂预测工作组（UCERF）和欧洲地震风险协调（SHARE）为代表的机构已将相关成果应用于地震区划图编制。相比之下，我国在此领域的系统性研究尚显不足，且缺乏相应的国家或行业标准。随着“九五”以来我国活动断层探测工作的推进，已积累了包括地震目录、地震地质、地球物理探测及大地测量在内的海量多源数据。充分利用这些多学科数据构建科学的级联破裂模型，是提升地震灾害风险评估水平的关键。

本标准依据国家重点研发计划项目研究成果制定，旨在明确活动断层系统级联破裂模型的构建技术流程、输入参数要求、报告内容及输出图表要素。本标准的实施将填补国内相关技术规范空白，为科学评价活动断层系统的级联破裂地震危险性提供统一的技术框架，对提升我国综合防灾能力及减轻地震灾害风险具有重要的社会与经济意义。

活动断层系统级联破裂模型构建技术规范

1 范围

本文件规定了活动断层系统级联破裂模型构建的工作流程、技术方法和成果产出的技术要求。

本文件适用于利用历史和仪器地震目录、地震地质、地球物理探测及大地测量等多源观测与探测数据，进行活动断层系统级联破裂模型的构建工作，其他相关的地震危险性评价及震害防御工作中级联破裂模型的构建也可以参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 36072-2018 活动断层探测
GB/T18207.1-2008 防震减灾术语 第1部分:基本术语
GB/T18207.2-2005 防震减灾术语 第2部分:专业术语
DB/T 53 1:50 000 活动断层填图
DB/T 65-2016 50000 活动断层填图数据库规范
DB/T 69 活动断层探察 遥感调查
DB/T 71-2018 活动断层探察 断错地貌测量
DB/T 81 活动断层探察 古地震槽探
DB/T 82 活动断层探察 野外地质调查
DB/T 93（所有部分） 活动断层探察 成果报告编写规则
DB/T 11.1-2000 地震数据分类与代码 第一部分：基本类别
DD 2015-06 三维地质模型数据交换格式（GEO3DML）
DD 2019-12 三维地质模型元数据标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 活动断层 active fault

距今12万年以来有过活动的断层，包括晚更新世断层和全新世断层。

[GB/T 36072-2018，定义3.1]

3.2 历史地震 historical earthquake

发生在有地震仪器记录之前，依据历史文献记载确定的地震事件。

[GB/T 36072-2018，定义3.15]

3.3 古地震 paleo-earthquake

没有文字记载、采用地质学方法发现的地震事件。

[GB/T 36072-2018，定义3.16]

3.4 活动断层地震危险性评价 earthquake risk assessment on active fault

判定活动断层未来一定时段内发生中强以上地震的段落(位置)、最大可能地震和发震危险性的过程。

[GB/T 36072-2018, 定义3.20]

3.5 滑动速率 slip rate

断层滑移量与滑移累积时间的比值,一般通过地质或大地测量方法获得。

3.6 最小完整震级 minimum magnitude of completeness

地震观测台网能够完整记录的地震事件的最小震级阈值。

3.7 震级—频度关系 magnitude-frequency relationship

地震震级与其发生频率之间的统计关系,通常用以评估某一地区的地震活动水平。

3.8 地震破裂分段 earthquake rupturing segment

活动断层上迹线连续性好、地震活动性相近的地震破裂段落,与相邻段落之间具有阶区、拐弯等明显的分段标志。

3.9 断层段 fault section

在地震破裂分段的基础上进一步划分的长度更小的断层段落,作为级联破裂的基本单元。用于考虑一个地震破裂分段中仅局部参与一次级联破裂的情况。

3.10 级联破裂 Cascading rupture

一个地震破裂分段的地震破裂触发了一个或多个相邻地震破裂分段的破裂,形成了规模更大的地震破裂。

4 基本要求

4.1 区域范围应为具有类似地质构造背景和地震活动特征的地理区域,应包含区域内断层可能的级联破裂延伸范围。

4.2 应对地震目录、断层空间展布、滑动速率等相关基础资料进行充分收集和整理,对重要基础资料宜进行对比和不确定性分析。

5 工作流程

活动断层系统级联破裂模型的构建技术流程如图1所示。

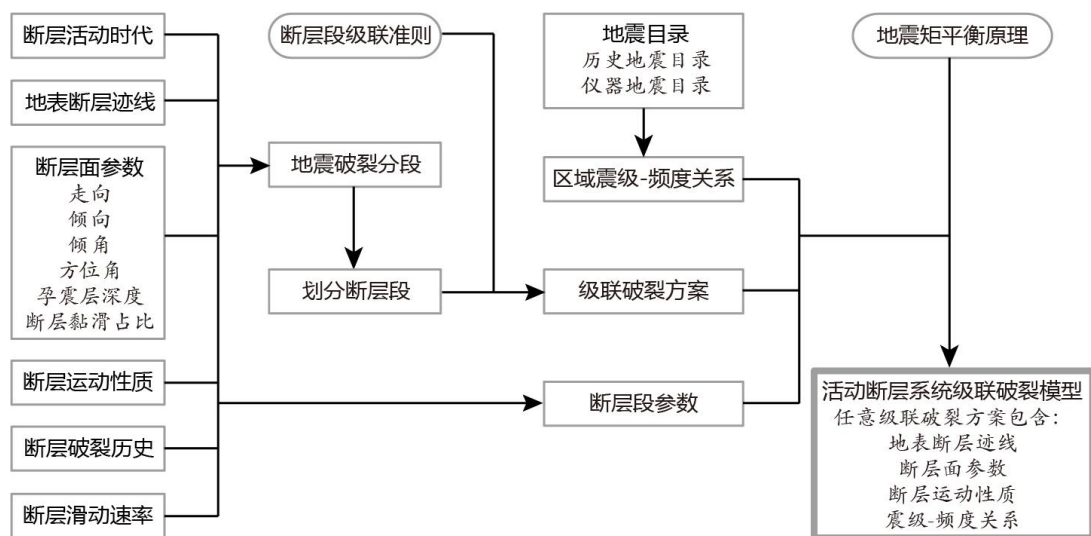


图1 活动断层系统级联破裂模型构建技术流程图

5.1 数据资料收集和整理

5.1.1 地震目录：应全面收集研究区内的历史地震目录与仪器地震目录。

5.1.2 断层活动时代：应明确区分第四纪断层、早中更新世断层及活动断层。

5.1.3 地表断层迹线：指断层在地表的展布特征，应系统收集已有地质调查、填图或遥感解译获取的断层点、线、面数据及相关图件。

5.1.4 断层面参数：应全面收集断层面的几何与运动学参数，包括走向、倾向、倾角、方位角、孕震层深度及断层黏滑占比等。

a) 倾向和倾角应结合地震地质调查、小震精定位及地球物理探测等结果综合确定；

b) 方位角应依据历史地震震源机制解数据确定；

c) 孕震层深度应结合小震精定位、地壳速度结构及地温梯度等资料综合确定；

d) 当研究区内相关数据较为丰富且成熟时，宜收集断层黏滑分量的相关信息。

5.1.5 断层运动性质：应综合地震地质解译结果、区域构造应力场、现今地壳形变场及震源机制解等资料，判断断层的主体运动性质（走滑型、正断型或逆断型）。

5.1.6 滑动速率：应广泛收集基于地震地质和大地测量获取的断层沿线滑动速率数据，通过对比分析进行筛选，并评估不同研究成果的不确定性范围；对于倾滑型断层，宜同时收集水平向与垂向的滑动速率数据。

5.2 构建区域震级—频度关系

5.2.1 地震目录的震级宜统一换算为矩震级（ M_w ）。

5.2.2 宜对地震目录进行除丛处理，剔除前震和余震，保留主震事件。

5.2.3 宜采用统计方法与监测能力评估相结合的方式，分析地震目录在不同时段的最小完整震级。

5.2.4 应依据各时段的最小完整震级，筛选出记录完备的地震目录数据。

5.2.5 区域震级—频度关系的拟合，应分别采用最小二乘法与极大似然法进行。拟合过程中，应充分考虑最小完整震级的时间和空间变化特征。最终拟合结果应依据目标震级段内两种方法的拟合优度及适用性综合确定。

5.3 求解可能的级联破裂方案

5.3.1 应结合地质、地貌、破裂历史等信息确定初步的地震破裂分段。

5.3.2 应在初步地震破裂分段基础上，进一步划分断层段作为级联破裂基本单元，其长度不宜大于30km。

5.3.3 断层段间发生级联破裂的可能性与位置，可参考下列规则判定：

- a) 同属一个地震破裂分段的断层段之间，可发生级联破裂；
- b) 发生级联破裂的断层段，其阶区间隔不宜大于 5km；
- c) 发生级联破裂的断层段，其走向拐角不宜大于 60°；
- d) 发生级联破裂的两个地震破裂分段，其整体走向变化不宜大于 120°；
- e) 间距较小的相邻断层段，在满足走向拐角小于 60°的前提下，可取距离最近点作为级联破裂的连接位置；
- f) 级联破裂过程可不考虑中间跳过一个或者数个断层段的情况。

5.3.4 断层段参数信息应依据其所属的地震破裂分段确定，宜包括以下内容：所属断层名称、断层性质、活动时代、起点坐标、终点坐标、水平滑动速率及垂直滑动速率（含各自不确定性范围）、倾向、倾角。

5.3.5 应对所有可能发生级联破裂的断层段进行自由组合，生成全部可能的级联破裂方案。

5.3.6 应根据地震破裂尺度与震级之间的经验关系，估算各级联破裂方案对应的震级。结合研究区的历史地震资料和地震构造背景等因素，初步评估区内断裂的最大发震能力，并据此剔除对应震级明显不合理的级联破裂方案。

5.4 级联破裂方案震级—频度关系求解

5.4.1 地震矩和矩震级的关系可按式（5.4-1）计算（Hanks 和 Kanamori, 1979）：

$$\text{Log}M_0 = 1.5M_w + 16.1 \quad (\text{式}5.4-1)$$

5.4.2 断层段发生同震位错为 dsr 时，所释放的地震矩 dM_0 可按式（5.4-2）计算：

$$dM_0 = \mu \times A \times dsr \quad (\text{式}5.4-2)$$

式中 μ 为断层面的剪切模量；A 为断层段的面积；

5.4.3 采用地震矩平衡原理求解级联破裂方案对应的震级—频度关系时，应同时满足下列约束条件：

- a) 断层段参与级联破裂方案消耗的地震矩之和受断层段自身累积地震矩速率的约束；
- b) 各级联破裂方案对应的震级—频度关系受区域震级—频度关系的约束；
- c) 断层有完善的古地震记录时，可以引入作为约束条件之一。

5.4.4 根据工作需要，求解算法可参考 SHERIFS 算法或模拟退火算法等。

5.4.5 所建立的活动断层系统级联破裂模型中，各级联破裂方案均应包含以下要素：

- a) 断层地表迹线；
- b) 断层面参数；
- c) 断层运动性质；
- d) 震级—频度关系。

6 成果产出

活动断层系统级联破裂模型的成果产出应包括下列内容：

- a) 以断层段为基本单元，应提供以下参数信息：所属断层名称、运动性质、活动时代、地表断层迹线、水平滑动速率与垂直滑动速率（含各自不确定性范围）、倾向、倾角、孕震层深度。
- b) 应提供各级联破裂方案所包含的断层段信息。
- c) 应提供所有级联破裂方案的震级—频度关系，并与区域震级—频度关系对比。
- d) 应绘制区域内未来一定年限沿断层的大震发生率分布图。
- e) 应撰写报告和图件说明。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20001.4-2015, 标准编写规则 第4部分:试验方法标准
- [2] GB/T 36072—2018 活动断层探测
- [3] 王辉, 曹建玲, 姚琪, 王力维, &朱亚玲. (2024). 走滑断层几何结构复杂区对地震破裂传播影响的研究回顾. 地震地质, 46(1), 201-219.
- [4] 张盛峰, 张永仙, 蒋长胜. (2017). CSEP混合地震预测模型研究进展及启示意义. 国际地震动态, (3), 3-8
- [5] Chartier, T. , Scotti, O. , Hélène Lyon-Caen. (2019). SHERIFS: open-source code for computing earthquake rates in fault systems and constructing hazard models. Seismological Research Letters(4).
- [6] Field, E. H., Dawson, T. E., Felzer, K. R., et al. (2009). Uniform California earthquake rupture forecast, version 2 (UCERF 2). Bulletin of the Seismological Society of America, 99(4), 2053-2107.
- [7] Field, E. H., Arrowsmith, R. J., Biasi, G. P., et al. (2014). Uniform California earthquake rupture forecast, version 3 (UCERF3)-The time-independent model. Bulletin of the Seismological Society of America, 104(3), 1122-1180.
- [8] Hanks, T. C., Kanamori, H. (1979). A moment magnitude scale. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 84(B5), 2348-2350.
- [9] Rhoades, D. A., Christophersen, A., Gerstenberger, M. C., et al. (2018). Highlights from the first ten years of the New Zealand earthquake forecast testing center. Seismological Research Letters, 89(4), 1229-1237
- [10] Schorlemmer, D., Werner, M. J., Marzocchi, W., et al. (2018). The Collaboratory for the Study of Earthquake Predictability: Achievements and priorities. Seismological Research Letters
- [11] Weichert, D. H. (1980). Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. Bulletin of the Seismological Society of America, 70(4), 1337 - 1346