

区域性地震安全性评价技术规范

Technical specification for regional seismic safety evaluation

2025 - 06 - 04 发布

2025 - 07 - 05 实施

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。

本文件由天津市地震局提出并归口。

本文件起草单位：天津市震灾风险防治中心、中国地震局第一监测中心、天津城建大学。

本文件主要起草人：高武平、刘芳、闫成国、张文朋、张安东、曹颖、付占岭、王志胜、杨菲、塔拉、周海涛、林逸、刘中宪、刘红艳、纪静、李国兴、马婷、岳鹏。

区域性地震安全性评价技术规范

1 范围

本标准规定了区域性地震安全性评价的工作内容、技术要求和技術方法。
本文件适用于天津市区域性地震安全性评价工作开展。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 17741-2005 工程场地地震安全性评价
- GB 18306-2015 中国地震动参数区划图
- GB/T 36072-2018 活动断层探测
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB/T 50269-2015 地基动力特性测试规范
- JGJ 83-2011 软土地区岩土工程勘察规程

3 术语和定义

GB 17741、GB/T 18207界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地震构造环境 seismotectonic environment

与区域地震活动及其空间分布关系密切的地壳动力学与地质构造背景的总称。

3.2

设定场地 planning engineering site

目标区内具体建设工程场地空间分布范围。

3.3

目标区 target area

区域性地震安全性评价工作中指定的场地空间分布范围。

3.4

近场区 near field region

地震活动构造、地震活动对目标区地震动特征与地震地质灾害有重要影响的区域。

3.5

区域 region

地震活动构造、地震活动对目标区地震动特征有影响的区域。

3.6

全新世断层 holocene fault

全新世期间或距今12000年以来发生过位移的断层。

3.7

晚更新世断层 late Pleistocene fault

晚更新世期间发生过位移，但无全新世活动证据的断层。

3.8

早-中更新世断层 early and middle Pleistocene fault

断错早-中更新世地层、地质或地貌单元，但无晚更新世以来活动证据的断层。

3.9

前第四纪断层 pre-Quaternary fault

第四纪以来不活动的断层。

3.10

地震地质灾害 earthquake induced geological disaster

在地震作用下，地质体变形或破坏所引起的灾害。

4 区域地震活动性和地震构造评价

4.1 区域范围和图件

4.1.1 根据目标区所处的地震构造、地震活动、历史地震影响等地震环境，以及目标区内建设工程对长周期地震动参数的需求，确定区域范围。区域范围应不小于目标区外延 150km。

4.1.2 区域地震构造图、区域破坏性地震震中分布图、区域中小地震震中分布图、等图件的比例尺应不小于 1:1 000 000。区域大地构造分区图、区域新构造图比例尺不小于 1:2 500 000。

4.1.3 所有区域图件应标明目标区位置，并标注目标区图例。

4.2 地震活动性

4.2.1 地震资料搜集和地震目录编制，应符合以下规定：

- a) 根据正式公布的地震目录和地震报告，搜集整理相关地震资料；
- b) 历史地震资料包括区域内自有地震记载以来的全部破坏性地震事件（震级大于等于 4.7 级）；
- c) 仪器记录地震资料包括区域内自有仪器记录以来所记录到的可定地震参数的全部地震事件；
- d) 编制区域破坏性地震目录。包括发震时间、震中位置地理坐标（经度、纬度）与参考地名、震级、震中烈度、震源深度及震中定位精度信息；地震震级采用震级 M ，其中仪器测定地震震级依据 GB 17740 确定，历史地震震级依据 M 震级确定；破坏性地震同时存在宏观震中与微观震中时，采用宏观震中位置；
- e) 收集区域内地震监测台网资料，评估区域内最小地震监测能力。

4.2.2 区域地震震中分布图的编制，应符合以下规定：

- a) 分别编制区域破坏性地震震中分布图和区域中小地震震中分布图，区域中小地震震中分布图包括震级大于等于最小完整震级且小于 4.7 级的地震事件；
- b) 注明资料起止时间；
- c) 标注重要地震事件的震级和发震日期。

4.2.3 地震活动时空特征分析，应包括以下内容：

- a) 区域地震资料完整性；
- b) 区域地震活动成带、丛集、弥散、重复等空间分布特征分析；
- c) 区域地震震源平均深度，以及地震密集带震源深度分布；
- d) 区域地震活动强度与频度特征，以及区域范围涉及的主要地震统计区地震活动随时间变化特征与未来地震活动趋势。

4.2.4 区域现代构造应力场特征分析，应包括以下内容：

- a) 搜集、增补本区域震源机制解资料，编制震源机制解分布图；
- b) 区域现代构造应力场方向、性质及分区等特征；
- c) 区域现代构造应力场与区域构造活动的关系。

4.2.5 区域破坏性地震影响评价，应包括以下内容：

- a) 收集分析对目标区有影响的地震烈度资料；
- b) 应采用地震烈度衰减关系对无目标区地震影响烈度记载的地震进行地震烈度值估算，有明确地震烈度调查资料的以调查资料确定地震烈度；
- c) 给出目标区最大历史地震影响烈度；
- d) 历史地震影响评价，包括目标区范围所遭受到的最大历史地震影响烈度及烈度的频次特征。

4.2.6 区域地震活动性影响综合评价，应包括以下内容：

- a) 地震资料完整性和可靠性评价；
- b) 地震活动空间分布特征评价；
- c) 地震活动时间分布特征评价；
- d) 区域现代应力场特征评价；
- e) 历史地震影响评价。

4.3 地震构造

4.3.1 区域地质构造分析，应符合以下规定：

- a) 搜集区域地层、地质构造等方面的资料；
- b) 编制区域大地构造分区图，应反应大地构造分区、主要断层等内容；
- c) 分析区域地质构造背景。

4.3.2 区域新构造分析，应符合以下规定：

- a) 搜集区域新构造时期地层与地质构造资料；
- b) 编制区域新构造图，分析地震发生的新构造背景；
- c) 分析新构造运动特征；
- d) 分析新构造运动与地震活动的关系。

4.3.3 区域断层活动性评价，应符合以下规定：

- a) 搜集区域断层活动性资料；
- b) 编制主要断层活动特征一览表，包括断层走向、断层带长度及其区内长度、断层带宽度、断层活动性分段、最新活动的性质与产状、最新活动时代及其依据、断层及其附近破坏性地震、断层到目标区的最近距离等内容；
- c) 对可能产生较大影响，且展布和活动性依据不充分的区域性断层，补充相应调查工作，每条断层应设不少于 1 个确定其活动性的有效观测点；
- d) 分析区域主要断层展布、最新活动时代、断层性质和运动特征、断层活动性分段、重点地段古地震的强度及活动期次等特征；
- e) 对控制区域地震活动的主要断层进行详细的论述。

4.3.4 区域地震构造图编制，应包括以下内容：

- a) 第四纪主要断裂及其分段，并区分活动时代、断裂性质与产状；
- b) 第四纪主要活动褶皱，并区分活动时代；
- c) 历史地震和现代地震地表破裂带；
- d) 第四纪活动盆地及其性质；
- e) 现代构造应力场方向；

- f) 新近纪以来的地层;
 - g) 新近纪或第四纪以来的地层等厚线;
 - h) 第四纪岩浆岩及时代;
 - i) 破坏性地震震中位置, 并标注重要地震的震级与发震时间。
- 4.3.5 区域地震构造特征分析, 应符合以下规定:
- a) 分析地质构造背景、新构造特征、断层活动特征等与区域强震活动的关系, 评价区域地震构造条件;
 - b) 评估发震构造最大潜在地震及其与发震构造的空间关系, 分析地震构造特征及其背景地震活动特征。

5 近场区地震活动性和地震构造评价

5.1 近场区范围和图件

- 5.1.1 根据目标区邻近区域的地震活动构造、地震活动的分布和延续性, 考虑历史地震对目标区的地震动特征以及地震地质灾害的影响程度, 确定近场区范围。近场区范围应不小于目标区外延 25km。
- 5.1.2 近场区地震构造图、近场区地震震中分布图和近场区主要断层活动性鉴定实际材料图的比例尺应不小于 1:250 000。
- 5.1.3 活动构造细节图件, 根据需要选定比例尺。探槽剖面图比例尺宜不小于 1:50, 地质和地貌平面图和剖面图比例尺宜取 1:100~1:1000。
- 5.1.4 所有近场区图件应标明目标区位置。

5.2 地震活动性

- 5.2.1 应对参数有疑问且可能影响目标区的地震事件进行核查。
- 5.2.2 应编制近场区地震目录和近场区地震震中分布图, 地震目录和震中分布图均需注明资料起止时间。
- 5.2.3 地震活动性分析, 应包括以下内容:
- a) 近场区地震活动强度、频度水平;
 - b) 近场区地震活动密集、弥散等空间分布特征, 以及震源深度分布特征。

5.3 地震构造

- 5.3.1 应分析近场区地质构造展布与发育特征。
- 5.3.2 应结合地震构造背景, 综合分析近场区潜在震源区划分条件, 确定近场区主要断层。
- 5.3.3 近场区主要断层活动性鉴定, 应符合以下规定:
- a) 鉴定内容包括活动时代、活动性质和分段等;
 - b) 基岩或浅覆盖区断层, 采用露头追索、微地貌测绘、槽探、测年等地质地貌手段进行调查, 有不少于 2 个能够确定其活动性的有效观测点;
 - c) 覆盖区隐伏断层, 已有资料不能确定已知主要断层的活动时代时, 须采用浅层人工地震反射法(机械震源)、钻孔地质联合剖面探测和测年等手段进行勘察;
 - d) 调查活动褶皱的最新变形时代与特征;
 - e) 收集地壳形变等资料, 分析断层现今活动特征;
 - f) 编制近场区主要断层活动性鉴定实际材料图, 包括观测路线、观测点等实际材料位置和编号;
 - g) 编制近场区断层活动性特征一览表。
- 5.3.4 近场区地震构造图应包括以下内容:

- a) 第四纪以来有活动的主要断层及其活动时代;
- b) 断层活动性质及倾向;
- c) 第四系分布及其厚度;
- d) 第四纪盆地的范围及其活动性质;
- e) 破坏性地震震中位置;
- f) 地震地表破裂带。

5.3.5 近场区地震构造特征分析,应符合以下规定:

- a) 分析近场区地震活动与构造活动的关系;
- b) 评价近场区地震构造特征,评价发震构造最大潜在地震。

6 目标区断层勘查与活动性鉴定

6.1 研究范围和图件

- 6.1.1 目标区应取需要采用区域性地震安全性评价结果进行建设工程抗震设防的范围。
- 6.1.2 地质构造图、断层活动性鉴定实际材料图、断层活动性分布图比例尺应不小于 1:50 000。
- 6.1.3 断层活动性分布图宜包括活动断层的展布、性质、产状、活动时代等,并标明目标区位置。

6.2 断层控制性勘查

- 6.2.1 断层控制性勘查范围应不小于目标区及其外延 500m,当目标区附近 1000m 范围内可能有断层时,范围应扩大至包括该断层相关的段落。
- 6.2.2 应根据目标区地质地貌特征,区分下列情况针对性地确定断层控制性勘查方法:
 - a) 对位于基岩区或浅覆盖区的目标区,建议采用路线地质地貌调查方法;
 - b) 对位于第四系覆盖区的目标区,建议采用浅层地震勘探方法,或根据实际情况采用多种地球物理勘探方法联合探测。
- 6.2.3 采用路线地质地貌调查方法勘查,应布设不少于 4 条呈井字形穿经勘查范围的调查路线;采用浅层地震勘探方法勘查,测线宜在勘查范围内沿垂直主要构造方向不少于 2 条、平行主要构造方向不少于 1 条布设。

6.3 断层活动性鉴定

- 6.3.1 地质构造特征分析,应符合以下规定:
 - a) 搜集地质构造基础资料,资料满足 1:50 000 精度;
 - b) 编制目标区地质构造图;
 - c) 分析目标区地质构造背景、断层发育特征。
- 6.3.2 对整个目标区研究范围应开展控制性调查与探测,查明是否有断层通过目标区,并查明其位置与展布、性质、产状、活动时代、断错位移与速率等。断层调查与探测应符合以下规定:
 - a) 在基岩出露区,应采用高分辨率遥感、地质地貌、槽探等方法进行勘查,查明出露断层的性质、产状、破碎带发育情况。现场采集断层活动年代测试样品,采取释光、碳十四、电子自旋共振等有效测年方式,定量鉴定断层最新活动年代;
 - b) 在第四系覆盖区,对主要隐伏断层开展浅层人工地震勘探,应采用大于 20 吨的机械震源,道间距不大于 3m,覆盖次数应不小于 30 次;
 - c) 浅层人工地震勘探发现有断层异常的,应加密测线进行异常追踪,并根据实际需要开展钻探、探槽、测年等工作,对异常进行验证;
 - d) 每条断层至少有 2 个可靠的地质或浅层人工地震勘探证据,证据距离目标区不得大于 5km,证

明断层的最新活动和活动特征。

6.3.3 对目标区第四纪活动断层开展断层活动性鉴定，应符合以下规定：

- a) 鉴定内容包括活动时代、断错性质；
- b) 搜集影像分辨率优于 2m 的遥感影像，编制活动断层解译图，进行现场验证；
- c) 按照 5.3.3 条 b)、c)、d)、e) 的规定鉴定断层活动性；
- d) 编制断层活动性鉴定实际材料图，包括观测点、地质剖面位置等实际材料；
- e) 存在晚更新世活动断层或全新世活动断层时，其活动性鉴定同时符合 GB/T 36072 的规定。

6.4 断层活动性评价

6.4.1 应编制断层活动性分布图、断层活动性特征一览表，内容包括断层长度、最新活动的性质与产状、最新活动时代及其依据、断层带宽度等。

6.4.2 应评价活动断层的性质、时代、断错位移与速率等。

6.4.3 应评价活动断层对目标区的影响。

7 目标区地震工程地质条件勘测

7.1 工程地质条件资料调查

7.1.1 应调查目标区及其附近场地土类型、场地类别等已有工程地质条件资料。

7.1.2 应调查地震造成的目标区及其附近砂土液化、软土震陷、地表破裂、海啸等地震地质灾害现象。

7.2 地震工程地质条件钻孔勘察

7.2.1 开展地震工程地质条件勘察，钻探、取样和试验应按照 GB 50021 的有关规定进行。

7.2.2 地震工程地质条件钻孔，应符合下列规定：

- a) 根据目标区工程地质条件和目标区建设工程的功能布局规划，合理布置钻孔；
- b) 目标区内已规划的重要建（构）筑物建设工程场地至少布置 1 个控制性钻孔；
- c) 对于浅部土层结构复杂地段应当加密钻孔进行控制；
- d) 除基岩区外，控制性钻孔间距控制在 700m 之内，且目标区任一设定场点 200m 范围内布设至少 1 个控制性钻孔，或 700m 范围内布设不少于 2 个控制性钻孔；
- e) 目标区为不连续地块时，每个地块至少应布设 2 个控制孔，且满足本条 d) 的要求；
- f) 钻穿基岩厚度不小于 3m，或达到岩土层剪切波速不小于 500m/s 处，且其下不存在更低波速岩土层，可终孔；
- g) 当控制性钻探深度超过 100m，岩土层剪切波速仍小于 500m/s，并且 100m 以下岩土层的剪切波速值可通过经验模型确定时，可终孔。但目标区每个地块至少要有 1 个控制性钻孔达到岩土层剪切波速不小于 500m/s 的深度。

7.2.3 采集分层岩土的原状土样，应符合下列规定：

- a) 取样钻孔数量不少于控制性钻孔总数的 1/3 且不少于 2 个，对特殊地层具有控制作用，同时兼顾空间均衡分布；
- b) 对自然分层中主要岩土层采集土样，间隔分布的同类岩土层间距超过 5m 时，分别取样；
- c) 对于难以获取原状土样的土类，则进行重塑。

7.2.4 测试钻孔岩土层物理性能指标，应符合以下规定：

- a) 测试物理性能指标包括天然含水量、比重、天然密度、干密度等；
- b) 应测试地面下 30m 深度内可能发生饱和砂土液化土层的标准贯入锤击数、粘粒含量等指标，并测量地下水位、可液化地层厚度等。

7.3 场地岩土动力性质测试

7.3.1 测量场地岩土动力性质，应按照 GB/T 50269 的有关规定进行。

7.3.2 测量钻孔岩土层波速，应符合以下规定：

- a) 测量不同深度岩土剪切波速，测量深度间距不大于 1m，并地层分层界面附近加密测点；
- b) 在波速测试成果的波形记录上能够识别出剪切波速初至时间；
- c) 给出沿钻孔深度波速分布列表或图，包括土层类别、层厚度、深度、波速随深度的变化曲线等；
- d) 目标区不具备钻孔原位波速测量条件时，采集分层岩土原状土样，采用实验室测试方法测定。

7.3.3 应通过动三轴或共振柱试验，测量岩土剪变模量比与剪应变关系、阻尼比与剪应变关系。

7.3.4 当需要场地竖向向地震动参数时，应同时测量纵波速度、压缩模量比与轴应变关系、阻尼比与轴应变关系，并开展竖向向地震反应分析。

7.4 资料处理

7.4.1 应以目标区建设规划布置图为底图，编制目标区钻孔布置图，包括所有地震工程地质条件钻孔和搜集钻孔位置，标注钻孔编号、孔口标高、钻孔深度等信息。图件比例尺宜为 1:1 000~1:10 000。

7.4.2 应编制目标区地震工程地质条件基础图件，包括基岩埋深等深线图或剪切波速度 500m/s 的深度等值线图、等效剪切波速分布图、场地类别分布图，图件比例尺应选 1:25 000~1:10 000。

7.4.3 结合目标区浅部土层结构三维模型和钻孔勘测、原位测试、岩土样试验结果等，建立目标区地层结构数据体，应符合以下规定：

- a) 钻孔柱状图包括层序号、层底埋深(m)、层厚(m)、土类名称与土质描述等信息，图件比例尺视土层结构复杂程度而定，宜采用 1:100~1:1 000；
- b) 根据钻孔资料编制钻孔综合工程地质剖面图；
- c) 建立土层结构模型，完善浅部土层结构三维模型信息，各类数据的平面控制节点间隔不大于 700m，地层结构横向变化显著、或不属于相同工程地质单元的分界线附近不大于 500m；竖向控制节点间隔小于 5m。

7.4.4 应按照 GB/T 50011 的有关规定判别场地类别，并进行目标区场地类别分区。

8 地震动预测方程确定

8.1 地震动预测方程表达

8.1.1 地震动预测方程宜采用数学函数式或表格形式。

8.1.2 地震动预测方程应反映高频地震动的震级和距离饱和特性。

8.1.3 地震动时程的强度包络函数应表现上升、平稳和下降三个阶段的特征。

8.2 基岩地震动预测方程确定

8.2.1 宜采用与 GB 18306 相匹配的本地区地震动预测模型。

8.2.2 合成自由基岩场地地震动时程时，应采用考虑目标反应谱控制地震特征的人工合成方法或强震观测记录作为初始地震动时程，且满足下列要求：

- a) 合成地震动时程反应谱与目标反应谱两者相对误差的绝对值不应超过 5%；
- b) 合成地震动的加速度时程所对应的速度和位移时程应无基线漂移；
- c) 目标谱周期点数不少于 20 个，且总体均匀分布在对数坐标上。

9 概率地震危险性评价

9.1 地震统计区划分

9.1.1 应采用 GB 18306 中地震区、地震带的划分方案。

9.1.2 应基于地震区、地震带划分，并依地震活动性参数统计的需要，确定地震统计区。

9.2 潜在震源区划分

9.2.1 应在地震统计区内划分背景地震活动潜在震源区，并在背景地震活动潜在震源区内划分构造潜在震源区。

9.2.2 划分背景地震活动潜在震源区时，应综合考虑以下构造条件或地震活动特征：

- a) 新构造活动分区；
- b) 第四纪构造活动形式及强度分区；
- c) 中小地震活动强度与频度分区。

9.2.3 划分构造潜在震源区时，应综合考虑以下构造条件或地震活动特征：

- a) 破坏性地震震中；
- b) 微震和小震密集带；
- c) 古地震遗迹地段；
- d) 地震空间分布图像的特征地段；
- e) 断层活动分段与级联；
- f) 第四纪断陷盆地；
- g) 活动断层的端部、转折处或交汇处等特殊部位；
- h) 深部构造。

9.2.4 确定潜在震源区边界，应考虑地震构造展布认识不确定性，以及未来地震活动空间分布的不确定性。

9.2.5 应确定潜在震源区主破裂取向及其方向性函数。

9.3 地震活动性参数确定

9.3.1 地震活动性参数应包括：

- a) 地震统计区的震级上限；
- b) 地震统计区的震级下限；
- c) 地震统计区的震级—频度关系系数；
- d) 地震统计区的地震年平均发生率；
- e) 潜在震源区的震级上限；
- f) 潜在震源区各震级档空间分布函数。

9.3.2 确定地震统计区的地震活动性参数应符合下列规定：

- a) 基于地震统计区内已发生的最大地震震级和地震构造特征，确定地震统计区震级上限；
- b) 分析地震统计区地震资料的完整性、可靠性、代表性，以及统计方法等导致的结果不确定性，综合确定地震统计区震级—频度关系；
- c) 分析地震统计区现代地震活动水平以及未来地震活动趋势，确定地震统计区的地震年平均发生率；
- d) 根据区域地震活动水平和震源深度确定震级下限。

9.3.3 确定潜在震源区的地震活动性参数应符合下列规定：

- a) 依据背景地震活动潜在震源区内中小地震活动水平和震级、地震构造背景，确定背景地震活动潜在震源区震级上限；
- b) 依据构造潜在震源区内地质构造条件以及地震活动特征，确定构造潜在震源区震级上限；

- c) 依据潜在震源区内构造规模、活动性、大震复发特征等地震构造条件和各震级地震活动水平，综合评定不同震级档地震在各潜在震源区内发生可能性，确定空间分布函数。

9.4 地震危险性分析计算

- 9.4.1 计算目标区各控制点多概率水准基岩水平向地震动峰值加速度和加速度反应谱（周期应不小于 6s），概率水准宜至少包括 50 年和 100 年超越概率 63%、10%、2%，且应包括与目标区规划工程需求相适应的概率水准，计算控制点间隔应不大于 700m，宜采用地震工程地质条件钻孔位置作为计算控制点。
- 9.4.2 根据计算控制点地震危险性分析结果对目标区进行分区，作为后续土层地震反应分析的输入。
- 9.4.3 地震危险性分析应计算给出地震动参数超越概率曲线。
- 9.4.4 计算地震动反应谱时，周期点的分布应能控制反应谱形状，数目应不少于 50 个。
- 9.4.5 地震危险性分析结果表述应符合以下规定：
 - a) 应分析并以表格形式给出对目标区各计算超越概率地震危险性起主要作用的各潜在震源区的贡献，分析地震动参数应包括但不限于地震动峰值加速度及 0.2s、1.0s 反应谱值；
 - b) 应以图和表格的形式给出目标区不同年限、不同超越概率的基岩地震动参数。

10 目标区地震动参数确定

10.1 目标区地震反应分析模型的建立

- 10.1.1 根据地震工程地质勘察结果和浅部土层结构三维模型，建立地震反应分析模型。目标区场地表面、土层界面及基岩面均较平坦时，宜采用一维土层反应分析模型；场地表面、土层界面或基岩面起伏较大时，宜采用二维或三维土层反应分析模型。
- 10.1.2 应采用下列三者之一作为地震反应分析模型输入地震界面：
 - a) 钻探确定的基岩面；
 - b) 剪切波速不小于 500m/s 的土层顶面；
 - c) 钻孔深度超过 100m，且剪切波速有明显跃升的土层分界面或由经验模型确定的界面。
- 10.1.3 在选用二维或三维土层地震反应分析模型时，应考虑边界效应。
- 10.1.4 确定场地土层模型参数应符合下列规定：
 - a) 根据场地地震工程地质勘察结果，结合浅部土层结构三维模型综合确定场地分层土厚度、密度值、波速值及土动力参数等场地土层模型参数；
 - b) 根据浅部土层结构三维模型及相关资料，合理推定缺少实测资料的部分土层模型参数。

10.2 输入地震动时程的确定

- 10.2.1 各计算控制点应按自由基岩表面地震动时程幅值的 50%确定输入地震动时程。
- 10.2.2 合成自由基岩表面地震动时程的目标反应谱应选择指定超越概率水平的基岩地震动反应谱。
- 10.2.3 合成自由基岩表面地震动时程时，可采用人工合成的地震动时程或强震动观测记录作为初始地震动时程，且符合以下规定：
 - a) 分析不同超越概率水平下对计算控制点地震动反应谱起控制作用的等效震级与等效地震距；
 - b) 人工合成的初始地震动时程，应基于目标地震动反应谱主要控制地震，确定其强度包络参数；
 - c) 以强震动观测记录作为初始地震动时程，应依据目标地震动反应谱主要控制地震，选择强震动观测记录。
- 10.2.4 合成各计算控制点自由基岩表面地震动时程，应符合下列规定：
 - a) 每条目标谱合成地震动时程样本不少于 5 组，不同地震动时程样本之间的相关系数不大于 0.16；
 - b) 反应谱的周期控制点在对数坐标轴上应分布合理，0.04s~6s 间的控制点个数应不少于 50 个；

- c) 合成地震动时程反应谱与目标谱在控制点频率处的相对误差的绝对值不应超过 5%；
- d) 合成地震动加速度时程对应的速度和位移时程无基线漂移。

10.3 地震反应分析计算

10.3.1 采用等效线性法进行计算时，一维土层模型的土层厚度应划分得足够小，控制在所考虑的有效地震波最短波长的 1/20~1/5 范围内取值，且不大于 5m。

10.3.2 采用有限元法求解二维及三维分析模型时，有限元网格在波传播方向的尺寸应在所考虑最短波长的 1/12~1/8 范围内取值。

10.3.3 土层反应分析模型的地震反应分析计算应符合以下规定：

- a) 针对每种基岩地震动输入的所有输入地震动时程样本进行地震反应分析；
- b) 计算土层反应分析模型地表和特定深度处地震反应的地震动时程、相应的地震动反应谱；
- c) 基于输入地震动时程样本计算结果，综合给出每种基岩地震动输入下，土层反应分析模型所代表场地的地表和特定深度处的地震动峰值和地震动反应谱。

10.4 目标区场地地震动参数的确定

10.4.1 场地地震动参数应包括地表和特定深度处的地震动峰值和地震动反应谱。

10.4.2 场地地震动参数确定应符合以下规定：

- a) 第四系覆盖厚度不大于 3m 的场地，可根据概率法地震危险性分析获得的基岩场地地震动反应谱确定；
- b) 第四系覆盖厚度大于 3m 的场地地震动参数应根据基于概率法基岩地震动输入的地震动场地相关反应谱确定。

10.4.3 应编制场地地表和特定深度处的地震动参数分区图，且应符合以下规定：

- a) 可用等值线形式表示场地地震动参数分区，相邻分区线两侧地震动参数值幅值差异宜为 5%且为 5gal 的整数倍，地震动反应谱特征周期相邻等值线宜为 0.05s；
- b) 图件比例尺宜采用 1:1 000~1:10 000。

10.4.4 采用竖向与水平向地震动比值来确定场地竖向地震动时，其比值应不小于 65%。当目标区附近地震活动对场地地震危险性起主要贡献情况下，比值可取为 1。

10.4.5 应按公式 (1) 的量值关系确定场地地震动参数。

$$S_a(T) = \begin{cases} \left(1 + 1.5 \frac{T}{T_1}\right) A_{max} & T \leq 0.1 \\ 2.5 A_{max} & 0.1 < T \leq T_g \\ 2.5 A_{max} \left(\frac{T_g}{T}\right)^{0.9} & T > T_g \end{cases} \quad (1)$$

式中：

$S_a(T)$ ——场地地震动加速度反应谱，单位为标准重力加速度 (g_n)；

T ——周期，单位为秒 (s)；

A_{max} ——场地地震动峰值加速度，单位为标准重力加速度 (g_n)；

T_g ——场地地震动加速度反应谱特征周期，单位为秒 (s)；

T_1 ——场地地震动加速度反应谱平台段起点周期， $T_1 = 0.1s$ 。

10.5 设定场点工程场地地震动参数确定

10.5.1 设定场点工程场地地震动参数，应根据工程结构特征、场地工程地质条件和目标区地表地震动参数数据库、地震动时程数据库综合确定。

10.5.2 应提供场地工程地质勘察报告，给出场地类别。

10.5.3 按照 GB 18306 关于场地地震动参数调整和多遇、基本、罕遇地震动参数确定的规定，根据场地类别以 50 年超越概率 63%、10%、2% 的地震动参数值作为区划图地震动参数；

10.5.4 依据工程结构所需的概率水准，选择距离场点 700m 范围内的控制点结果综合确定场地地震动参数。

- a) 设定场点 200m 范围内有控制点时，对于 50 年超越概率 63%、10%、2%，取控制点地震动参数和区划图地震动参数之间的高值作为该场点相应超越概率的场地地震动参数，对于其他超越概率，取控制点地震动参数之间的高值作为该场点相应超越概率的场地地震动参数；
- b) 设定场点 200m 范围内没有控制点时，对于 50 年超越概率 63%、10%、2%，取设定场点 700m 范围内的多个控制点地震动参数和区划图地震动参数之间的高值作为该场点相应超越概率的场地地震动参数，对于其他超越概率，取设定场点 700m 范围内的多个控制点地震动参数之间的高值作为该场点相应超越概率的场地地震动参数。

10.5.5 对需要地震动时程的建设工程，依据场点与选定控制点地震动参数结果差异，按比值法对选定的控制点地震动时程进行调整处理，作为该场点的场地地震动时程。

10.5.6 对需要竖向地震动的建设工程，依据水平向地震动参数结果，采用竖向与水平向地震动比值确定场地竖向地震动，比值宜取 2/3。在场地危险性的主要贡献为近场强震情况下，比值可取为 1。

11 目标区场地地震地质灾害评价

11.1 断层错动

11.1.1 目标区及其外延 500m 范围内存在活动断层时，应调查和研究活动断层变形带宽度，并依据断层性质及产状、最大潜在地震和覆盖层厚度等因素评估潜在地震地表破裂影响，活动断层断错灾害评价，应包含以下内容：

- a) 活动断层地表破裂影响带宽度应当包含地震断层造成的地表直接断错、破裂在内的断层带宽度以及断层两侧以外、具有较强变形程度的范围；
- b) 通过跨断层地质剖面或跨断层探槽地质剖面，确定活动断层变形带宽度，利用浅层地震勘探、钻探或槽探等结果确定隐伏活动断层变形带宽度；
- c) 根据活动断层几何结构、性质与产状、最大潜在地震、覆盖层厚度等因素评估潜在地震地表破裂影响带宽度；
- d) 分析活动断层性质，宜给出断层面上走滑和倾滑位移分量，并根据断错事件实测位移数据或依据统计关系估算等方法，评价最大潜在位移。

11.1.2 编制活动断层地震地表破裂影响带分布图及其说明书，并满足以下要求：

- a) 明确目标区与潜在地震地表破裂影响带的空间关系；
- b) 阐述潜在地震地表破裂影响带的确定方法、资料依据、认识与结论等；
- c) 图件比例尺宜为 1:5 000~1:10 000。

11.1.3 对设定场点工程，应分析场地与活动断层地表破裂影响带的空间关系。

11.1.4 依据断层错动评价结果，宜提出避让措施建议。

11.2 砂土液化

11.2.1 针对多概率水准地震动作用，初步评价目标区场地地基土液化，应符合以下规定：

- a) 依据地形、地貌、地层、地下水等与液化有关的场地条件和目标区及其附近历史地震液化遗迹资料，分析目标区内场地地震液化的可能性；
- b) 场地存在可液化土层且具液化可能性时，对地面以下 10m 深度内和 10m~30m 深度范围的可液化土层进行地震液化判别，其中，地面以下 10m 深度范围内，可依照有关行业标准进行地震液

化判别，地面以下 10m~30m 深度范围，可采用标准贯入试验判别法进行地震液化判别，实测标准贯入击数（未经杆长修正） N 不大于液化标准贯入击数临界值 N_{cr} 时，判为液化。液化判别标准贯入击数临界值 N_{cr} 按下式计算：

$$N_{cr} = \gamma \beta_0 \frac{58 \alpha_{max}}{\alpha_{max} + 0.4} \times (1 - 0.02 d_w) \times \left(0.27 + \frac{d_s}{d_s + 6.2} \right) \times \sqrt{3 / \rho_c} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- N_{cr} ——液化判别标准贯入击数临界值；
- γ ——工作等级系数，取1.0；
- β_0 ——调整系数，位于GB 18306中基本地震动加速度反应谱特征周期0.35s、0.40s和0.45s分区内场地，分别取0.85、1.00和1.10；
- α_{max} ——场地地震动峰值加速度(gn)；
- d_w ——地下水位深度，单位为米(m)；
- d_s ——可液化土层标准贯入点深度，单位为米(m)；
- ρ_c ——黏粒含量百分率，小于3或为砂土时取3。

11.2.2 编制不同概率水准下目标区场地地震液化初步判别结果图，图件比例尺宜不小于 1:50 000。

11.3 软土震陷

11.3.1 针对多概率水准地震动作用，初步判断目标区场地软土震陷，应符合以下规定：

- a) 根据目标区历史地震软土震陷资料，分析软土震陷分布与特征；
- b) 对于含有较厚淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性软土覆盖层的钻孔，基于勘察得到的软土层等效剪切波速等资料，按照 JGJ 83 中 6.3.4 的规定进行软土震陷判别评价；
- c) 根据钻孔软土震陷判别结果以及地震软土震陷记载资料，评价场地软土震陷特征。

11.3.2 应编制不同概率水准下目标区场地软土震陷初步判别结果图，图件比例尺宜不小于 1:50 000。

11.4 其它地震地质灾害

11.4.1 针对多概率水准地震动作用，初步评价目标区及周边坡体地震崩塌滑坡危险性。

11.4.2 根据目标区实际情况，可增加地裂缝、塌陷等地震地质灾害评价内容，并参照 GB/T 40112 或有关技术要求进行。

12 区域性地震安全性评价技术服务系统建设

12.1 成果数据库

12.1.1 基础资料数据库应包括以下内容：

- a) 区域范围内地震构造与地震活动性资料；
- b) 近场区范围内地震构造与地震活动性资料；
- c) 目标区断层勘查与活动性鉴定资料；
- d) 地震工程地质条件勘测资料与成果；
- e) 目标区浅层地层结构三维模型。

12.1.2 地震动参数与地震地质灾害评价成果数据库应包括以下内容：

- a) 目标区各控制点多概率水准基岩地震动参数；
- b) 目标区各控制点多概率水准场地地震动参数；
- c) 目标区多概率水准地震动参数等值线或分区数据；
- d) 土层反应分析模型所代表场地的地震动参数计算值、规准的场地地震动反应谱；

- e) 目标区各控制点多概率水准基岩和地表地震动时程;
- f) 目标区活动断层地表破裂影响带评价, 以及针对目标区多概率水准地震动作用下的地基土液化评价、软土震陷评价以及工程场地及周边坡体地震崩塌滑坡危险性成果等。

12.2 技术服务系统功能

12.2.1 技术服务应用系统应具有以下基本功能:

- a) 浏览、查询目标区基础资料, 制作相应文档;
- b) 浏览、查询目标区地震动参数与地震地质灾害评价成果, 制作相应文档;
- c) 具备扩展模块, 方便扩展服务内容。

12.2.2 通过人机交互平台, 技术服务应用系统应实现以下服务功能:

- a) 提供目标区内设定场地在给定超越概率水准下的地震动参数;
- b) 提供与设定场地的地震动参数、建设工程结构自振特征相匹配的地震动时程; 当数据库中没有可选用的地震动时程时, 提出相关建议;
- c) 提供设定场地的地震地质灾害初步评价结果。断层影响评价结果的范围为设定场地及其外延500m;
- d) 提供设定场地的地震安全性评价成果简要报告。

12.2.3 技术服务系统应具有人机交互平台, 应与电脑操作系统的兼容性较好, 方便用户使用。

参 考 文 献

[1] GB/T 17741—2005 工程场地地震安全性评价
[2] GB/T 17742—2020 中国地震烈度表
[3] GB/T 18306—2015 中国地震动参数区划图
[4] GB/T 50011—2010（2024年版） 建筑抗震设计标准
[5] GB/T 40112—2021 地质灾害危险性评估规范
[6] GB 17740—1999 地震震级的规定
[7] GB/T 17742—2020 中国地震烈度表
[8] GB/T 36072—2018 活动断层探测
[9] GBT 18207.1—2008 防震减灾术语 第1部分：基本术语
[10] GBT 18207.2—2005 防震减灾术语 第2部分 专业术语
[11] JGJ 83—2011 软土地区岩土工程勘察规程
[12] GB 50021—2001（2009年版） 岩土工程勘察规范
[13] DB/T 53—2013 1:50 000 活动断层填图
[14] DB/T 69—2017 活动断层探索 遥感调查
[15] DB/T 92—2022 活动断层探查 钻探
[16] 天津市防震减灾条例（2020修订）
[17] 区域性地震安全性评价工作大纲(试行)(中震防函（2019）21号)
[18] DB 37/T 3646—2019 区域性地震安全性评价技术规范
[19] DB 32/T 4050—2021 区域性地震安全性评价技术规范
[20] DB 51/T 2946—2022 四川省区域性地震安全性评价技术规范
[21] DB 14/T 2259—2021 区域性地震安全性评价技术规范
[22] DB 34/T 4165—2020 区域性地震安全性评价技术规范
