



中华人民共和国地震行业标准

DB/T 100—2024

区域性地震安全性评价

Regional seismic safety evaluation

2024-12-24 发布

2025-06-01 实施

中国地震局 发布

目 次

前言 III

引言 IV

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 区域地震活动性与地震构造评价 2

 5.1 区域范围确定 2

 5.2 图件要求 2

 5.3 地震活动性分析 2

 5.4 地震构造评价 3

6 近场区地震活动性与地震构造评价 4

 6.1 近场区范围确定 4

 6.2 图件要求 4

 6.3 地震活动性评价 4

 6.4 地震构造评价 4

7 目标区断层勘查与活动性鉴定 5

 7.1 目标区范围确定 5

 7.2 图件要求 5

 7.3 断层控制性勘查 5

 7.4 断层活动性鉴定 6

8 目标区地震工程地质条件勘测 6

 8.1 工程地质资料调查 6

 8.2 控制性钻孔勘查 6

 8.3 控制性钻孔测试 7

 8.4 场地岩土动力性质试验 8

 8.5 目标区三维地层结构模型建立 8

9 地震动预测方程确定 9

 9.1 地震动预测方程表达 9

 9.2 基岩地震动预测方程建立 9

10 地震危险性概率分析 9

 10.1 潜在震源模型建立 9

 10.2 地震活动性参数确定 9

10.3 地震危险性计算 10

11 场地地震动参数确定 10

11.1 场地地震反应分析模型建立 10

11.2 输入地震动时程确定 11

11.3 场地地震反应分析 11

11.4 控制点场地地震动参数确定 12

11.5 设定场点场地地震动参数确定 12

12 地震地质灾害评价 12

12.1 断层错动评价 12

12.2 地震液化判别 13

12.3 软土震陷判别 13

12.4 地震崩塌与滑坡评价 13

参考文献 16

中国标准出版社

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国地震局提出。

本文件由地震灾害预防标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国地震局地球物理研究所、中国地震局地质研究所、中国地震灾害防御中心、应急管理部国家自然灾害防治研究院。

本文件主要起草人：俞言祥、周本刚、潘华、张郁山、吕悦军、周庆、黎益仕、吴健。

中国标准出版社

引 言

《中华人民共和国防震减灾法》规定：“新建、扩建、改建建设工程，应当达到抗震设防要求。”重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程由经审定的地震安全性评价结果确定抗震设防要求，其他一般建设工程则按照地震区划图确定抗震设防要求。随着“放管服”改革的深入，2018年5月，国务院办公厅印发《关于开展工程建设项目审批制度改革试点的通知》（国办发〔2018〕33号），提出在北京、天津、上海等16个试点地区，推行由政府统一组织对地震安全性评价实行区域评估。2019年3月，国务院办公厅印发《关于全面开展工程建设项目审批制度改革的实施意见》（国办发〔2019〕11号），在全国全面开展工程建设项目审批制度改革，将地震安全性评价纳入由政府统一组织的区域评估事项，明确了评估工作主体、工作阶段、结果使用等内容。2019年11月，中国地震局颁布实施了《区域性地震安全性评价工作大纲（试行）》（中震防函〔2019〕21号）（以下简称《工作大纲》），初步界定了区域性地震安全性评价的工作内容、方法和结果，用以引导和规范全国的业务开展。

《工作大纲》以GB 17741—2005《工程场地地震安全性评价》为参照，但其规定相对宏观。为此，部分省（自治区、直辖市）通过地方标准或技术规范，对《工作大纲》中的部分技术要求进行细化，出现了各地的技术要求存在一定差异的情况，由此带来了业务开展的不利影响。因此，亟待制定全国统一的区域性地震安全性评价标准。

在本文件的编制过程中，充分考虑了区域性地震安全性评价的业务特征，分析了各省（自治区、直辖市）相关地方标准和技术规范。在总结近年来业务开展经验的基础上，结合“放管服”改革的不断深化以及当前技术现状和抗震设防要求监管的实际需要，规定了区域性地震安全性评价的内容和方法，并对评价结果的要求统一化、具体化。本文件的实施，将对促进区域性地震安全性评价业务开展、规范评价工作过程及结果审定发挥重要作用。

区域性地震安全性评价

1 范围

本文件规定了区域性地震安全性评价工作内容、方法和成果的要求。

本文件适用于区域性地震安全性评价工作开展和业务管理。

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 17741 工程场地地震安全性评价
GB/T 18207(所有部分) 防震减灾术语
GB 18306 中国地震动参数区划图
GB 50011 建筑抗震设计规范
GB 50021 岩土工程勘察规范
GB/T 50269 地基动力特性测试规范
DB/T 69 活动断层探索 遥感调查
DB/T 72 活动断层探索 图形符号
JGJ 83 软土地区岩土工程勘察规程

3 术语和定义

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

3.1

设定场点 **planning engineering site**

目标区内采用区域性地震安全性评价结果进行抗震设防的拟建工程场地位置。

3.2

全新世断层 **Holocene fault**

全新世或距今 12 000 a 以来有活动的断层。

3.3

晚更新世断层 **late Pleistocene fault**

晚更新世或距今 120 000 a 以来有活动,但全新世以来不活动的断层。

3.4

地震地表破裂带 **earthquake surface rupture zone**

发震断层错动在地表产生的破裂和变形的总称。

4 基本要求

4.1 区域性地震安全性评价工作应包括下列内容：

- a) 区域地震活动性与地震构造评价；
- b) 近场区地震活动性与地震构造评价；
- c) 目标区断层勘查与活动性鉴定；
- d) 目标区地震工程地质条件勘测；
- e) 地震动预测方程确定；
- f) 地震危险性概率分析；
- g) 场地地震动参数确定；
- h) 地震地质灾害评价。

4.2 区域地震构造图和近场区地震构造图中使用的地震类要素、地层岩体类要素和断层类要素图形符号应符合 DB/T 72 的相关规定。

5 区域地震活动性与地震构造评价

5.1 区域范围确定

区域范围应不小于目标区边界外延 150 km。

5.2 图件要求

应按下列要求提交成果图件：

- a) 比例尺不小于 1 : 1 000 000 的区域地震构造图、区域破坏性地震震中分布图和区域中小地震震中分布图；
- b) 比例尺不小于 1 : 2 500 000 的区域大地构造分区图和区域新构造图；
- c) 图中标明目标区位置，并标注目标区图例。

5.3 地震活动性分析

5.3.1 应搜集区域内历史地震资料和仪器记录地震资料，并分析区域地震资料的完整性。

5.3.2 应编制区域破坏性地震目录，并包含下列参数和信息：

- a) 发震时间；
- b) 震级；
- c) 震中经度与纬度；
- d) 震中烈度；
- e) 震源深度；
- f) 震中位置参考地名；
- g) 震中定位精度。

5.3.3 应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，并标示下列信息：

- a) 地震目录的起止时间；
- b) 区域内重要地震事件的震级和发震日期；
- c) 浅源地震、中源地震和深源地震。

5.3.4 应从下列 4 个方面开展区域地震活动时空特征分析：

- a) 地震活动成带、丛集、弥散、重复等空间分布；

- b) 地震震源平均深度,以及地震密集带震源深度分布;
- c) 地震活动强度与频度特征;
- d) 区域涉及的地震统计区地震活动与未来地震活动趋势。

5.3.5 应搜集区域及邻区的震源机制解资料,编制震源机制解分布图和现代构造应力场主应力方向分布图,并从下列 3 个方面开展区域现代构造应力场特征分析:

- a) 震源机制解空间分布;
- b) 现代构造应力场方向、性质、分区;
- c) 现代构造应力场与区域构造活动的关系。

5.3.6 应搜集对目标区有宏观影响记载或调查资料的地震的烈度等震线资料,编制区域综合等震线图。

5.3.7 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。

5.3.8 应联合区域综合等震线图和地震烈度值估算结果评价目标区地震影响特征。

5.4 地震构造评价

5.4.1 应按照下列要求开展区域地质构造分析:

- a) 搜集区域内地层、岩浆岩、地质构造等资料,并评价资料的可靠性;
- b) 编制区域大地构造分区图,图中包括大地构造分区、构造层、主要断层等内容;
- c) 分析区域地质构造背景。

5.4.2 应按照下列要求开展区域新构造分析:

- a) 搜集区域内新生代地层、岩浆岩、地貌、地质构造资料,并评价资料的可靠性;
- b) 编制区域新构造图,图中包括新生代地层及新近纪以来地层等厚线,新近纪以来的火山及岩浆岩、主要褶皱和断层、盆地和隆起,新构造分区与地震等;
- c) 分析地震发生的新构造背景。

5.4.3 应按照下列要求开展区域断层活动性分析:

- a) 搜集区域内的断层活动性资料,并评价资料的完整性和可靠性;
- b) 编制区域内的主要断层活动性特征一览表,内容包括断层走向、断层带长度及其区内长度、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;
- c) 对区域性地震安全性评价结果可能产生较大影响且资料不充分的区域性断层,按 6.4.3b) 和 6.4.3c) 的规定,对其展布和活动性开展补充调查;
- d) 分析区域内的主要断层展布、最新活动时代、断层性质、运动学参数、断层活动性分段、重点地段古地震强度及活动期次等。

5.4.4 应编制区域地震构造图,并标示下列内容:

- a) 第四纪主要断层、褶皱及其活动时代;
- b) 断层性质与产状;
- c) 断层活动性分段;
- d) 地震地表破裂带;
- e) 新近纪以来的地层;
- f) 新近纪或第四纪以来的地层等厚线;
- g) 第四纪盆地及其性质;
- h) 第四纪岩浆岩、火山及其时代;
- i) 破坏性地震震中及重要地震的震级与发震时间;
- j) 区域主压应力场方向;

- k) 当新近纪以来的地层分布难以反映构造信息时,在图中增加中生代以来的地层,以确保区域地震构造图能够更完整地反映褶皱等构造信息。

5.4.5 应按照下列要求进行区域地震构造特征分析:

- a) 分析地质构造、新构造、地球物理场、深部构造、断层活动等与区域强震活动的关系,评价区域地震构造背景;
- b) 分析区域内典型地震的构造特征,评价不同震级档地震的构造条件;
- c) 给出区域内主要发震构造及其最大潜在地震震级,给出发震构造特征一览表。

6 近场区地震活动性与地震构造评价

6.1 近场区范围确定

近场区范围应不小于目标区边界外延 25 km。

6.2 图件要求

应按下列要求提交成果图件:

- a) 比例尺不小于 1 : 250 000 的近场区地质构造图、近场区地震构造图、近场区地震震中分布图、主要断层活动性鉴定实际材料图和近场区遥感影像解译线性构造分布图;
- b) 图件标明目标区边界,并标注图例;
- c) 比例尺不小于 1 : 50 的探槽剖面图;
- d) 比例尺不小于 1 : 1 000 的地质、地貌平面图和剖面图。

6.3 地震活动性评价

6.3.1 应对参数有疑问且可能影响近场区潜在震源区划分的地震事件进行核查。

6.3.2 应编制近场区地震目录,并据此编制近场区地震震中分布图。

6.3.3 应从下列 3 个方面开展近场区地震活动时空特征分析:

- a) 地震活动强度、频度水平;
- b) 地震活动密集、弥散等空间分布;
- c) 震源深度分布。

6.4 地震构造评价

6.4.1 应按照下列要求开展近场区地质构造特征分析:

- a) 搜集近场区地质构造资料,并论证近场区地质构造展布与发育特征;
- b) 编制近场区地质构造图和穿经目标区的近场区地质构造剖面图,并在近场区地质构造图中标示地层与岩浆岩、断层与褶皱等内容。

6.4.2 应按照下列要求对近场区进行遥感影像解译:

- a) 搜集分辨率优于 5 m 的遥感影像资料;
- b) 对照 DB/T 69 规定的解译要素影像特征进行构造解译;
- c) 编制近场区遥感影像解译线性构造分布图。

6.4.3 应按照下列要求对近场区主要断层进行活动性鉴定:

- a) 根据已有地质构造、遥感影像解译与核实资料,对长度达 10 km 以上断层开展活动性鉴定,鉴定内容包括活动时代、性质、位移、分段等断层活动性特征;
- b) 对基岩区或浅覆盖区断层,采用露头追索、微地貌测绘、槽探、年代测定等方法进行调查,每条断层或每个断层段有不少于 2 个能够确定其活动性的地质观测点;

- c) 对覆盖区隐伏断层,当已有资料不能确定已知主要断层的活动时代时,选用地球物理勘探、钻孔联合地质剖面探测和年代测定等方法进行勘查,每条断层或每个断层段有不少于 2 条能够确定其活动性的地球物理勘探剖面或钻孔联合地质剖面;
- d) 调查活动褶皱的最新变形时代与特征;
- e) 搜集地壳形变等资料,并分析断层现今活动特征;
- f) 对于引用的断层、褶皱活动性鉴定资料,分析论证其可靠性,对影响鉴定结果的不可靠资料开展现场工作核实;
- g) 编制近场区主要断层活动性鉴定实际材料图,并在图中标示观测点、地质剖面、探槽、地球物理勘探测线、钻孔联合地质剖面、年代测定样品等实际材料的平面位置,标示的实际材料包括开展的调查材料和搜集的可靠材料;
- h) 按 5.4.3b) 的规定编制近场区断层活动性特征一览表。

6.4.4 应编制近场区地震构造图,并标示下列内容:

- a) 第四纪主要断层、褶皱及其活动时代;
- b) 断层性质与产状;
- c) 地震地表破裂带;
- d) 第四系各统的地层分布;
- e) 第四系厚度;
- f) 第四纪盆地及其性质;
- g) 第四纪岩浆岩、火山及其时代;
- h) 破坏性地震震中和主要地震的震级与发震时间。

6.4.5 应按照下列内容综合分析近场区地震构造特征:

- a) 新构造活动背景与第四纪构造活动特征;
- b) 地震活动与构造活动的关系;
- c) 发震构造的最大潜在地震、地震复发间隔等特征。

7 目标区断层勘查与活动性鉴定

7.1 目标区范围确定

目标区应取开展区域性地震安全性评价工作并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。

7.2 图件要求

应按下列要求提交成果图件:

- a) 比例尺不小于 1:50 000 的目标区断层活动性分布图和目标区断层活动性鉴定实际材料图;
- b) 比例尺不小于 1:10 000 的活动断层带状分布图;
- c) 图件标明目标区边界,并标注图例。

7.3 断层控制性勘查

7.3.1 断层控制性勘查范围应不小于目标区及其外延 500 m,当目标区附近 1 000 m 范围内可能有指向目标区的断层时,范围应扩大至包括该断层相关的段落。

7.3.2 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。

7.3.3 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。

7.4 断层活动性鉴定

7.4.1 对发现的第四纪以来可能有活动的断层,应按照下列要求开展断层活动性鉴定:

- a) 对基岩区或浅覆盖区断层,采用露头追索、微地貌测量、槽探、年代测定等方法进行调查;
- b) 对覆盖区隐伏断层,采用钻孔地质联合剖面、年代测定等方法进行勘查;
- c) 每条断层设置不少于2个能够反映断层活动性可靠地质证据的观测点。

7.4.2 目标区存在活动断层或活动褶皱时,应按照下列要求开展断层或褶皱活动性特征调查:

- a) 查明活动断层的位置与展布、活动时代、性质、产状、位移量与速率;
- b) 查明活动褶皱的位置与展布、活动时代;
- c) 活动断层、褶皱陡坎的定位精度不小于比例尺1:10 000的要求;
- d) 编制活动断层带状分布图,编图范围涵盖活动断层的迹线、活动褶皱的变形边界线两侧外延各500 m的范围,图中标示活动断层地表迹线、隐伏活动断层上断点地表垂直投影线、活动断层性质与产状、活动褶皱的地层分布与产状、活动褶皱陡坎地表迹线、分统表示的第四纪地层等。

7.4.3 应按6.4.3g)的规定编制目标区断层活动性鉴定实际材料图。

7.4.4 应编制目标区断层活动性分布图,并标示下列内容:

- a) 全新世断层、晚更新世断层、早中更新世断层和前第四纪断层位置,表示为地表迹线或隐伏断层上断点地表垂直投影线;
- b) 断层性质与产状;
- c) 全新世褶皱、晚更新世褶皱,及其褶皱地层的产状;
- d) 全新世地层、晚更新世地层、早中更新世地层、第四纪火山岩、归并表示的前第四纪地层和岩浆岩。

7.4.5 应编制目标区断层活动性特征一览表,内容包括断层目标区内长度、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。

8 目标区地震工程地质条件勘测

8.1 工程地质资料调查

8.1.1 应搜集目标区及其附近的地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质、场地土类型、建筑场地类别等已有工程地质资料,以及地震液化、软土震陷、地表破裂、崩塌与滑坡等地震地质灾害资料。

8.1.2 应调查地震造成的目标区及其附近地震液化、软土震陷、地表破裂、崩塌与滑坡等地震地质灾害情况。

8.2 控制性钻孔勘查

8.2.1 应按照下列要求开展目标区地震工程控制性钻孔钻探。

- a) 采用适应黏性土、粉土、砂土、碎石土、岩石等地层的回转岩土芯(或无岩土芯)钻探法。
- b) 严格控制非连续取芯钻进的回次进尺,岩土分层深度的测量精度优于 ± 5 cm。
- c) 岩土芯采取率,对完整和较完整岩体不低于80%,较破碎和破碎岩体不低于65%;对需重点查明的部位(滑动带、软弱夹层等),采用双层岩土芯管连续取芯。
- d) 客观、及时地按钻进回次逐段填写野外记录,严禁事后追记。

- e) 钻探成果用钻孔野外柱状图或分层记录表示,要求全孔芯样编录;岩土芯样实物保存一定期限,并对岩土芯拍摄彩色照片后纳入成果资料进行保存,要求随深度的岩芯照片图与地质柱状图并列对应。

8.2.2 应按照下列要求布设控制性钻孔:

- a) 根据已有的工程地质资料,分析目标区浅部土层结构特征,结合目标区建设工程的功能布局规划,综合布置控制性钻孔;
- 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,加密钻孔进行控制;
- d) 当目标区每一地块的覆盖层厚度均不小于 50 m 时,控制性钻孔间距不大于 700 m,且目标区任一设定场点 200 m 范围内布设至少 1 个控制性钻孔,或 700 m 范围内布设不少于 2 个控制性钻孔;其他情况,则控制性钻孔间距不大于 500 m,且目标区任一设定场点 200 m 范围内布设至少 1 个控制性钻孔,或 500 m 范围内布设不少于 2 个控制性钻孔;
- e) 每个地块布设不少于 2 个控制性钻孔。

8.2.3 按下列要求确定控制性钻孔的钻探深度:

- a) 当控制性钻孔场地为 GB 18306 规定的 I_0 类或 I_1 类场地时,可不实施钻探,并将该场地作为目标区地震危险性计算的控制点;
- b) 钻入基岩厚度不小于 3 m,或达到岩土层剪切波速不小于 500 m/s 处,且其下不存在更低波速岩土层,可终孔;
- c) 当控制性钻探深度超过 100 m,岩土层剪切波速仍小于 500 m/s,并且 100 m 以下岩土层的剪切波速值可通过经验模型确定时,可终孔;但目标区以及相距 5 km 以上的目标区地块至少要有 1 个控制性钻孔的深度达到岩土层剪切波速不小于 500 m/s 处,或不少于 150 m。

8.2.4 应按下列要求编制成果图件:

- a) 钻孔分布图,包含所有控制性钻孔和搜集钻孔,并标注钻孔编号、以米(m)为单位的孔口标高、以米(m)为单位的终孔深度以及已规划建(构)筑物布置等信息,比例尺选 1 : 25 000 ~ 1 : 10 000;
- b) 钻孔柱状图,标注层序号、层底埋深、层厚、土类名称与土质描述、岩土层形成时代与成因、标准贯入击数、地下水位等信息,比例尺选 1 : 1 000 ~ 1 : 100;
- c) 特定方向的控制性综合工程地质剖面图,标注层序号、以米(m)为单位的层底埋深、以米(m)为单位的层厚、土类名称与土质描述等信息,比例尺选 1 : 10 000 ~ 1 : 1 000。

注:特定方向一般指垂直于目标区土层变化方向、或者选择目标区内两个相互垂直的方向。

8.3 控制性钻孔测试

8.3.1 应按下列要求采集目标区岩土试样:

- a) 采集不扰动岩土试样,能够进行土类定名,及含水量、密度、强度、固结试验;
- b) 采集试样的钻孔数量不少于控制性钻孔总数的三分之一且不少于 2 个,对特殊地层具有控制作用,同时兼顾空间均衡分布;
- c) 对自然分层中主要岩土层采集岩土试样;当间隔分布的同类岩土层间距超过 5 m 时,则分别采集试样;
- d) 每百米进尺采集的试样数量不少于 3 个,或每平方千米范围内采集的试样数量不少于 6 个;
- e) 对于难以获取原状土样的土类,则采集扰动土样。

8.3.2 应按下列要求开展钻孔岩土试样物理性能指标原位测试:

- a) 按 GB 50021 给出的土的物理性质试验要求,测试天然含水量、比重、天然密度、干密度等物理性能指标;

- b) 当存在可液化土层(饱和砂土或粉土)时,按 GB 50021 相关测试要求,测试标准贯入锤击数、黏粒含量等指标,并测量地下水位、可液化土层厚度等,调查目标区地下水历史最高水位或近 3 a~5 a 的最高水位。

8.3.3 应按下列要求开展钻孔分层岩土剪切波速的原位测量。

- a) 测量时井液稠度适中。
- b) 采用单孔法或跨孔法测量钻孔岩土层剪切波速。
- c) 采用单孔法测量波速时,使用地面激振或孔内激振;使用地面激振时,将三分量检波器固定在孔内预定深度处,并紧贴孔壁;使用悬浮式孔内激振时,上下拾振器能够记录到完整的剪切波。
- d) 采用跨孔法测量波速时,由 1 个振源孔和 2 个测试孔组成,布置在一条直线上;测量过程保持激振点和接收点位于同一水平面;当测量深度大于 15 m 时,同步测量激振孔和测试孔的倾斜度和倾斜方位,测点间距取 1 m。
- e) 测量不同深度岩土剪切波速,测量深度间距不大于 1 m,并在地层分层界面附近加密测点。
- f) 在波速测量成果的波形记录上能够识别出剪切波速初至时间。
- g) 给出沿钻孔深度波速分布列表或图,内容包括土层类别、层厚度、深度、波速随深度的变化曲线等。

8.3.4 应按照 GB 18306 场地类别划分的规定,确定钻孔土层等效剪切波速和覆盖层厚度值,判别钻孔的场地类别。

8.4 场地岩土动力性质试验

8.4.1 应按照 GB/T 50269 的规定对目标区岩土试样开展动三轴或共振柱试验,测定剪切模量比与剪应变关系、阻尼比与剪应变关系。

8.4.2 应按照下列要求编制岩土试样的试验成果报告:

- a) 介绍试验方法和使用的仪器;
- b) 给出岩土试样列表,内容包括岩土试样编号、深度、试样类型(原状、扰动)、土类名称、试验围压、固结比等;
- c) 编制标准剪应变系列(5×10^{-6} 、 1×10^{-5} 、 5×10^{-5} 、 1×10^{-4} 、 5×10^{-4} 、 1×10^{-3} 、 5×10^{-3} 、 1×10^{-2})对应的剪切模量比、阻尼比列表;
- d) 绘制剪切模量比与剪应变、阻尼比与剪应变关系曲线图,内容包括实测试验结果、拟合曲线等。

8.5 目标区三维地层结构模型建立

8.5.1 应按照下列要求建立目标区地层结构模型:

- a) 综合目标区工程物探资料、工程地质勘查资料和钻孔测试、土样试验结果;
- b) 按照空间间隔节点数据,建立目标区三维地层结构模型,内容包括基岩埋深、土层的主要分层与厚度、土层岩性、密度、剪切波速值等;
- c) 模型平面控制节点间距不大于 700 m,竖向控制节点间距不大于 5 m;
- d) 给出不同方位的地层结构模型的切面图,比例尺选 1 : 10 000~1 : 1 000,并分析典型剪切波速的土层埋深和对地震反应有敏感影响的土层厚度。

8.5.2 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 500 m/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。

9 地震动预测方程确定

9.1 地震动预测方程表达

9.1.1 可采用数学函数式或表格形式表达地震动预测方程。

9.1.2 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。

9.1.3 地震动预测方程的反应谱周期应满足工程需求且不小于 6 s；周期点在对数坐标下应近似均匀分布且数量不少于 20 个。

9.1.4 地震动时程的强度包络函数应表现上升、平稳和下降 3 个阶段的特征。

9.2 基岩地震动预测方程建立

9.2.1 在强震动观测数据数量能够满足统计分析建立地震动预测方程的地区,应采用由统计方法建立的地震动预测方程。

9.2.2 在强震动观测数据数量不能满足统计分析建立地震动预测方程的地区,可采用类比性方法建立地震动预测方程。

9.2.3 应论证地震动预测方程的适用性。

10 地震危险性概率分析

10.1 潜在震源模型建立

10.1.1 应基于地震区、地震带划分,并考虑地震活动性参数统计的需要,划分地震统计区。

10.1.2 应在地震统计区内划分背景地震活动潜在震源区(背景源),需综合考虑新构造活动分区、第四纪构造活动形式及强度分区、中小地震活动强度与频度分区等方面的依据,并考虑边界位置不确定性。

10.1.3 应在背景地震活动潜在震源区内划分构造潜在震源区,需综合考虑历史地震与现代地震活动特征、断层分段与断层活动特征、地球物理场特征与深部构造、大地测量与现代地壳变形特征等方面的依据,并考虑边界位置不确定性。

10.1.4 应结合近场区地震活动性和地震构造调查与评价结果,分析论证近场区涉及的潜在震源区分与边界确定的合理性。

10.2 地震活动性参数确定

10.2.1 地震活动性参数,应包括下列两级参数。

a) 地震统计区地震活动性参数:

- 1) 震级上限 M_{uz} ;
- 2) 震级下限 M_0 ;
- 3) 震级-频度关系系数 b ;
- 4) M_0 级以上地震年平均发生率。

b) 潜在震源区地震活动性参数:

- 1) 震级上限 M_u ;
- 2) 各震级档空间分布函数 $f_{i,mj}$ 。

10.2.2 应按下列要求确定地震统计区地震活动性参数:

- a) 依据区内最大地震震级与地震构造条件,判定地震统计区震级上限 M_{uz} ;
- b) 依据区域地震活动水平及产生破坏性影响的地震震源深度特征,判定地震统计区震级下

限 M_0 ;

- c) 分析区内未来百年地震活动趋势,判别地震统计区未来地震活动水平;
- d) 分析区内不同震级地震资料可信时段,计算各震级段地震年平均发生率,并拟合震级—频度关系系数 b ,确定 M_0 级以上地震年平均发生率;
- e) 分析地震资料、拟合方法等方面认知不确定性对 b 值与 M_0 级以上地震年平均发生率的影响,综合确定地震统计区 b 值与 M_0 级以上地震年平均发生率。

10.2.3 应按下列要求确定潜在震源区地震活动性参数:

- a) 依据背景地震活动水平和地震构造背景,确定背景地震活动潜在震源区震级上限 M_u ;
- b) 依据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 M_u ;
- 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 $f_{i,mj}$;
- d) 依据潜在震源区共轭破裂方向及破裂方向统计特征,确定其方向性函数。

10.3 地震危险性计算

10.3.1 应按下列要求计算目标区内各控制点多概率水准基岩地震动参数:

- a) 计算控制点间距不大于 700 m,并将各控制性钻孔位置设置为控制点;
- b) 概率水准包括 50 年超越概率 63%、10%、2% 和 100 年超越概率 63%、10%、2%,以及区内已明确规划的建设工程抗震设防标准相应的超越概率水准;
- c) 地震动参数包括基岩峰值加速度与加速度反应谱(临界阻尼比为 5%,反应谱周期不小于 6 s)。

10.3.2 应以图和表格的形式,给出代表性控制点基岩峰值加速度超越概率曲线和不同超越概率基岩加速度反应谱。

10.3.3 应编制目标区控制点基岩峰值加速度分布图,并分析基岩峰值加速度的空间变化特征。

10.3.4 应以图或表格的形式给出对目标区代表性控制点基岩峰值加速度,以及加速度反应谱 0.2 s、1.0 s 周期谱值起主要作用的各潜在震源区的贡献率,并评价结果的合理性。

11 场地地震动参数确定

11.1 场地地震反应分析模型建立

11.1.1 应根据场地地震工程地质条件勘查结果,建立控制性钻孔场地地震反应分析模型。当地表、土层界面及基岩面均较平坦时,可采用一维土层地震反应分析模型。

11.1.2 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。

11.1.3 应根据实际情况,从下列三者中择一作为场地土层地震反应分析的地震输入界面:

- a) 钻探确定的基岩面;
- b) 钻探确定的剪切波速不小于 500 m/s 的岩土层顶面;
- c) 钻探深度超过 100 m 时,由其他方法确定的剪切波速不小于 500 m/s 的岩土层顶面。

11.1.4 应根据场地地震工程地质条件勘查结果,确定分层土层厚度、密度、波速及土动力特性等参数,并满足下列要求:

- a) 深度超过 100 m 且岩土层剪切波速仍小于 500 m/s 而终孔的钻孔,采用本地或工程地质条件相类似的其他地区的波速值随土类与埋深变化的经验统计关系式,并与目标区深度达到岩土层剪切波速不小于 500 m/s 的控制性钻孔进行对比,综合确定深度超过 100 m 的岩土层剪切波速值;
- b) 对于扰动土样的测试结果或者引用的测试结果,论证其合理性。

11.1.5 应建立目标区场地地震反应分析模型数据库。

11.2 输入地震动时程确定

11.2.1 应针对每个控制性钻孔,以地震危险性概率分析得到的基岩地震动反应谱为目标反应谱合成自由基岩地震动时程。

11.2.2 每条目标反应谱应合成不少于 10 组自由基岩地震动时程,且不同地震动样本之间的相关系数应不大于 0.16。

11.2.3 应按照下列要求合成自由基岩面地震动时程:

- 考虑目标反应谱控制地震特征和场地条件特征,采用人工合成方法或选择强震动观测记录确定初始地震动时程;
- 按表 1 确定目标反应谱控制点的频率值,在控制点处合成地震动的反应谱与目标反应谱相对误差的绝对值不大于 5%;
- 合成地震动的速度和位移时程无基线漂移;
- 时程的离散时间步长不大于 0.02 s,总持时不小于目标反应谱最长周期的 5 倍。

表 1 目标反应谱控制点频率间隔

单位为赫兹

频率范围	频率间隔
<0.2	0.02
$[0.2, 3.0)$	0.10
$[3.0, 3.6)$	0.15
$[3.6, 5.0)$	0.20
$[5.0, 8.0)$	0.25
$[8.0, 15.0)$	0.50
$[15.0, 18.0)$	1.00
$[18.0, 22.0]$	2.00
>22.0	3.00

11.2.4 应按自由基岩地震动时程的 50% 确定输入地震动时程幅值。

11.2.5 应建立目标区自由基岩场地地震动时程数据库。

11.3 场地地震反应分析

11.3.1 采用等效线性法进行场地地震反应分析时,一维模型土层厚度应在所考虑的地震波最短波长的 $1/20 \sim 1/5$ 范围内取值,且不大于 5 m。输入地震动时程的尾部应补充零点,且零点数不低于时程离散点数的 $1/2$ 。

11.3.2 当场地类别符合 GB 18306 规定的 IV 类场地或者覆盖层厚度超过 100 m,且输入地震动峰值加速度大于 $0.1g_n$ 时,宜使用适用于大变形分析的场地地震反应计算方法(例如,时域非线性方法)进行计算;同时,宜考虑土性参数与分析结果的不确定性。

11.3.3 当采用有限元法进行二维或三维场地地震反应分析时,有限元网格在波传播方向的尺寸应不大于相应地震波最短波长的 $1/12 \sim 1/8$ 。

11.3.4 当采用有限差分进行二维或三维场地地震反应分析时,有限差分网格在波传播方向的尺寸应不大于相应地震波最短波长的 $1/10 \sim 1/6$ 。

11.4 控制点场地地震动参数确定

11.4.1 应按公式(1)的量值关系确定场地地震动参数。

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

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, $T_1 = 0.1$ s。

11.4.2 基岩场地地震动参数应根据地震危险性概率分析结果确定,土层场地地震动参数应根据场地地震反应分析结果确定。

11.4.3 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%。当近场区潜在震源区对目标区 50 年超越概率 10% 的基岩地震动峰值加速度贡献率最大时,比值应取为 1。

11.4.4 应建立目标区地表场地地震动参数数据库,内容包括各控制点多概率水准水平向地震动峰值加速度和加速度反应谱特征周期。

11.4.5 应编制目标区多概率水准的地震动峰值加速度和加速度反应谱特征周期分布图。

11.5 设定场点场地地震动参数确定

应根据场地工程地质条件和目标区地表地震动参数数据库综合确定设定场点场地地震动参数,并满足下列要求:

- 确定设定场点场地类别;
- 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;
- 依据工程结构所需的概率水准,选择距离设定场点 700 m 范围内的控制点结果综合确定场地地震动参数;
- 设定场点 200 m 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;
- 设定场点 200 m 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 700 m 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 700 m 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。

12 地震地质灾害评价

12.1 断层错动评价

12.1.1 根据 7.3.1 确定的勘查范围内有活动断层通过时,应评价活动断层的潜在地震地表破裂带的范围大小,编制活动断层潜在地震地表破裂带边界分布图;图件比例尺应不小于 1:10 000。

12.1.2 应评估活动断层的最大断错位移量,可采用同震位移或经验统计关系等评估方法。

12.1.3 根据 7.3.1 确定的勘查范围内发育活动褶皱时,应确定活动褶皱类型,评价其潜在褶皱变形影响带范围,确定褶皱陡坎、褶皱调节断层等褶皱相关构造的发育位置,编制褶皱相关构造及褶皱变形影响带分布图,比例尺应不小于 1 : 10 000。

12.2 地震液化判别

12.2.1 应针对 11.4 确定的不同超越概率地震动,初步评价目标区场地地基土地震液化。

12.2.2 应在工程地质资料调查(见 8.1)的基础上,分析目标区地形、地貌、地层、地下水等与液化有关的场地条件,并结合目标区附近历史地震液化资料,分析场地地基土地震液化的可能性。

12.2.3 控制性钻孔场地存在可地震液化土层且具备地震液化可能性时,应依照 GB 50011 的规定进行地震液化判别。

12.2.4 当需要对地下 20 m(不含 20 m)下方更深部可液化土层进行地震液化判别时,可采用标准贯入试验判别法。当实测标准贯入击数 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} 按公式(2)计算。

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

式中:

N_{cr} ——液化判别标准贯入击数临界值;

A_{max} ——场地地震动峰值加速度,单位为标准重力加速度(g_n);

d_s ——可液化土层标准贯入点深度,单位为米(m);

d_w ——地下水位深度,单位为米(m);

ρ_c ——黏粒含量百分率,小于 3 或为砂土时取 3;

β_0 ——调整系数,依场地地震动反应谱特征周期 T_g 根据表 2 确定。

表 2 调整系数 β_0 的取值

场地地震动反应谱特征周期 T_g s	调整系数 β_0
<0.40	0.85
0.40 ~0.45	1.00
>0.45	1.10

12.2.5 应编制目标区不同超越概率地震动作用下的地震液化等级分布图。

12.3 软土震陷判别

12.3.1 应针对 11.4 确定的不同超越概率地震动,初步评价目标区软土震陷。

12.3.2 应依据工程地质资料调查(见 8.1)获得的历史地震软土震陷资料,分析目标区软土震陷分布与特征。

12.3.3 对于含有较厚淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其他高压缩性软土覆盖层的钻孔,应基于勘查得到的软土层等效剪切波速等资料,按照 JGJ 83 中关于软土震陷判别条件的规定进行工程场地软土震陷判别。

12.3.4 应编制目标区不同超越概率地震动作用下的软土震陷等级分布图。

12.4 地震崩塌与滑坡评价

12.4.1 应对目标区边界外延一定范围开展坡体调查,一般地区外延 500 m,高山、丘陵地区外延至 1 级

分水岭范围。

坡体调查应符合下列要求：

- a) 通过实地调查与高精度数字高程模型(DEM)数据,获取坡体调查范围内主要坡体的坡度、坡高、坡向等地形地貌信息；
- b) 通过现场岩土体特征调查,结合地质图,获取目标区及邻区各个坡体岩性、完整性、风化程度、岩土体内部结构等基本特征参数。

12.4.2 应按公式(3)计算地震崩塌滑坡危险性指数 H 。

$$H = S_s \times S_p \times S_r \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- S_s ——坡体坡度危险度因子,见 12.4.3；
- S_p ——地震动危险度因子,见 12.4.4；
- S_r ——坡体性状危险度因子,见 12.4.5。

12.4.3 应根据坡体斜坡角度大小,按表 3 确定坡体坡度危险度因子 S_s 。

表 3 坡体坡度危险度因子 S_s 取值

滑坡坡度	崩塌坡度	S_s
$<21^\circ$	$<41^\circ$	1
$21^\circ \sim 40^\circ$	$41^\circ \sim 60^\circ$	2
$>40^\circ$	$>60^\circ$	3

12.4.4 应根据 10.3 确定的各控制点不同超越概率基岩峰值加速度的最大值,按表 4 确定该超越概率地震作用下的坡体地震动危险度因子 S_p 。

表 4 地震动危险度因子 S_p 取值

地震动峰值加速度 g_n	S_p
<0.04	1
$0.04 \sim 0.19$	2
>0.19	3

12.4.5 应按表 5 确定坡体性状危险度因子 S_r ,其中坡体质地划分为土质坡体和岩质坡体,岩体完整程度和岩石风化程度可按 GB 50021 判定。

表 5 坡体性状危险度因子 S_r 取值

坡体性状	S_r
岩体完整或较完整,结构基本未变,岩石未风化或微风化;或斜坡内主要结构面倾向与坡向相反	1
岩体较破碎,结构部分破坏,岩石中等风化;或斜坡内主要结构面倾向与坡向斜交	2
岩体破碎或极破碎,结构大部分破坏或基本破坏,岩石强风化或全风化;或斜坡内主要结构面倾向与坡向大致相同、并存在软弱地层	3
土质坡体;或有崩塌滑坡发育现象	

12.4.6 应根据不同超越概率基岩场地地震动作用下地震崩塌滑坡危险性指数 H ,按表 6 确定各坡体地震崩塌、滑坡危险程度。

表 6 坡体地震崩塌、滑坡危险程度

地震崩塌滑坡危险性指数 H	崩塌、滑坡危险程度
1~4	低
6~12	中
18~27	高

12.4.7 应针对坡体所在位置多概率地震动,分别评价给出目标区及邻区各个坡体地震崩塌、滑坡危险性。

12.4.8 应编制目标区及邻区不同超越概率地震动作用下的崩塌、滑坡危险性分区图。

中国标准出版社

参 考 文 献

- [1] GB 17740 地震震级的规定
 - [2] GB/T 17742 中国地震烈度表
 - [3] GB/T 36072 活动断层探测
 - [4] DB/T 58 地震名称确定规则
-

中国标准出版社