

国家标准 GB 17741—2005 《工程场地地震安全性评价》

宣 贯 教 材

二〇〇五年十二月

序

地震安全性评价是《中华人民共和国防震减灾法》确立的一项法律制度，涉及人民生命财产安全和国民经济的可持续发展，同时，地震安全性评价工作专业性强、技术含量高、综合性强，国家标准 GB 17741-1999《工程场地地震安全性评价技术规范》对地震安全性评价工作的基础资料、技术思路等作出了明确规定和具体要求。该标准实施以来，在新建、扩建、改建建设工程及大型厂矿企业、城镇、经济建设开发区的选址和抗震设防要求确定，以及社会经济发展规划、防震减灾对策的制定等工作中发挥了重要作用。

随着《地震安全性评价管理条例》和国家标准 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》的颁布实施，各行业建设工程对地震安全性评价工作提出了新的要求，原标准中部分技术内容与现行法规和相关标准已不相适应；地震安全性评价技术在工程实际应用中不断发展和相关领域研究工作的深入也为标准的进一步完善创造了条件。为了保证与现行法规和相关标准的协调，尽力满足建设工程对地震安全性评价工作的需求，吸纳近年来地震安全性评价工作经验及最新科研成果，使地震安全性评价工作更好地服务于工程建设，在原国家标准的基础上，修订完成的国家标准 GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》，已经由国家质量技术监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会批准发布，并于 2005 年 10 月 1 日正式实施。

为了保证国家标准 GB 17741-2005《工程场地地震安全性评价》的贯彻实施，便于从事地震安全性评价工作有关的工程技术人员更好地理解 and 正确使用，中国地震局组织编写了这本宣贯教材。本宣贯教材对标准条文进行了逐条解释，对关键技术内容、技术方法、工作深度、基础资料的详细程度、评价结果的合理性及适用性等进行了详细阐述和例证。本宣贯教材涵盖了地震安全性评价工作的各个环节，内容丰富，结构清晰，对国家标准的贯彻实施和正确使用具有积极的指导作用。

刘玉辰

2005 年 12 月

编辑和审定委员会

主 编：卢寿德

副 主 编：高孟潭 陈国星 唐荣余 李小军

编委会成员：赵凤新 周本刚 俞言祥 吕悦军

潘 华 陶裕录 韦开波

主 审：刘玉辰

副 主 审：杜 玮

审委会成员：张裕明 鄢家全 金 严 刘光勋

黎益仕 戴 红 刘凤麟

目 录

第一章	范围.....	1
第二章	规范性引用文件.....	4
第三章	术语和定义.....	6
第四章	地震安全性评价工作分级.....	10
第五章	区域地震活动性和地震构造评价.....	16
5.1	区域范围和图件比例尺.....	16
5.2	地震活动性.....	17
5.3	地震构造.....	22
5.4	综合评价.....	25
第六章	近场区地震活动性和地震构造评价.....	27
6.1	近场区范围和图件比例尺.....	28
6.2	地震活动性.....	30
6.3	地震构造.....	31
6.4	综合评价.....	38
第七章	工程场地地震工程地质条件勘测.....	40
7.1	场地勘测.....	40
7.2	地震地质灾害场地勘查.....	42
7.3	场地岩土力学性能测定.....	44
第八章	地震动衰减关系确定.....	46
8.1	基础资料.....	46
8.2	基岩地震动衰减关系.....	48
8.3	地震烈度衰减关系.....	51
第九章	地震危险性的确定性分析.....	53
9.1	地震构造法.....	53
9.2	历史地震法.....	55
9.3	结果的确定.....	56
第十章	地震危险性的概率分析.....	57
10.1	地震区和地震带划分.....	58
10.2	潜在震源区划分.....	60
10.3	地震活动性参数的确定.....	62
10.4	地震危险性分析计算.....	71
10.5	不确定性校正.....	72
10.6	结果表述.....	72
第十一章	区域性地震区划.....	74
11.1	基本规定.....	75
11.2	结果表述.....	76
第十二章	场地地震动参数确定和地震地质灾害评价.....	78
12.1	场地地震动参数和时程的确定.....	78
12.2	场地地震反应分析模型的建立.....	82
12.3	场地土层模型参数的确定.....	85
12.4	输入地震动参数的确定.....	86
12.5	场地地震反应分析与场地相关反应谱的确定.....	87

12.6	工程场地地震地质灾害评价	88
第十三章	地震小区划	91
13.1	工作内容	91
13.2	地震动小区划	92
13.3	地震地质灾害小区划	94
第十四章	地震动峰值加速度复核	96

第一章 范围

本标准规定了工程场地地震安全性评价的技术要求和技术方法。

本标准适用于各类建设工程选址与抗震设防要求的确定、防震减灾规划、社会经济发展规划等工作中所涉及的工程场地地震安全性评价。

本标准规定了工程场地地震安全性评价工作的基本要求、工作步骤、技术思路、技术途径和技术方法等，是工程场地地震安全性评价工作必须遵循的技术标准。

工程场地地震安全性评价是根据对建设工程场址和场址周围的地震与地震地质环境的调查，场地地震工程地质条件勘测，通过地震地质、地球物理、地震工程等多学科资料的综合评价和分析计算，按照工程类型、性质、重要性，科学合理地给出与工程抗震设防要求相应的地震动参数，以及场址的地震地质灾害预测结果。地震安全性评价工作的主要内容包括：工程场地和场地周围区域的地震活动环境评价、地震地质环境评价、断裂活动性鉴定、地震危险性分析、设计地震动参数确定、地震地质灾害评价等。

工程场地地震安全性评价是一项专业性强的技术工作，技术复杂、科技要求高、综合性强，从事工程场地地震安全性评价的专业技术人员应当在相关的科学技术领域有较高的理论水平、丰富的实践工作经验和综合分析能力；同时，必须熟悉相关的法律法规，遵循相应的技术准则。本标准严格地规定了工程场地地震安全性评价工作的技术要求、技术方法，包括：收集、整理、分析相关学科资料的范围、资料的内容、资料的精度、图件比例尺的规定；工程场地所在区域范围、近场区范围的限定；野外地震地质调查和勘察、场地工程地震条件勘测、年代样品采集与测试等工作内容、工作方法、工作量及工作深度等的要求；室内分析计算和综合研究的方法步骤、模型建立、评价结果表述等工作的具体规定，这些都是工程场地地震安全性评价工作必须遵循的技术准则。

本标准适用于各类建设工程选址与抗震设防要求的确定、防震减灾规划、社会经济发展规划等工作中所涉及的工程场地地震安全性评价。这些工程场地地震安全性评价工作主要包括：重大工程场地地震安全性评价、区域性地震区划、地震小区划、地震动峰值加速度复核等。

建设工程的抗震设防贯穿工程的选址、设计、施工和竣工验收的全过程。建设工程抗震设防的第一个环节是选址，选择潜在地震危险小的地区、选择场地地震反应较小的地段、选择工程结构地震反应较小的地段、选择地震地质灾害较小的地段是建设工程选址抗震设防的一般原则；建设工程抗震设防的第二个环节是抗震设计，确定科学合理的抗震设防要求，按照抗震设防要求进行严格的抗震设计，才能保证建筑物具备一定的抗震能力，这也是建设工程抗震设防的关键环节。

随着经济发展和社会进步，城市化已作为国家的发展战略，城市的发展必须以国土利用规划为基础，不仅要考虑城市布局对国民经济发展的推动和辐射作用，也要考虑城市应处于地震相对安全之处。因此，开展区域性地震区划或地震小区划工作，对城市、大型厂矿企业、经济技术开发区等区域范围内的地震安全环境进行地域的划分，展示不同地段间潜在地震危险的差异，为城市社会经济发展规划、防震减灾规划、重大工程和基础设施建设布局规划、国土资源合理开发利用和环境保护等工作提供科学合理的依据。

由此可见，各类建设工程选址与抗震设防要求的确定、防震减灾规划、社会经济发展规划等工作中都应考虑地震问题，都涉及到工程场地地震安全性评价工作。对应开展工程场地地震安全评价的具体建设工程或项目，国家、国务院行业主管部门、各省、自治区和直辖市人民政府已经有了较为详细的规定。以国家法律、法规和标准颁布有三部，相关的规定如下：

《中华人民共和国防震减灾法》第十七条规定：

“新建、扩建、改建建设工程，必须达到抗震设防要求。

本条第三款规定以外的建设工程，必须按照国家颁布的地震烈度区划图或者地震动参数区划图规定的抗震设防要求，进行抗震设防。

重大建设工程和可能发生严重次生灾害的建设工程，必须进行地震安全性评价；并根据地震安全性评价的结果，确定抗震设防要求，进行抗震设防。

本法所称重大建设工程，是指对社会有重大价值或者有重大影响的工程。

本法所称可能发生严重次生灾害的建设工程，是指受地震破坏后可能引发水灾、火灾、爆炸、剧毒或者强腐蚀性物质大量泄漏和其他严重次生灾害的建设工程，包括水库大坝、堤防和贮油、贮气、贮存易燃易爆、剧毒或者强腐蚀性物质的设施以及其他可能发生严重次生灾害的建设工程。

核电站和核设施建设工程，受地震破坏后可能引发放射性污染的严重次生灾

害，必须认真进行地震安全性评价，并依法进行严格的抗震设防。”

《地震安全性评价管理条例》(国务院令第 323 号，2001 年 11 月 15 日公布，自 2002 年 1 月 1 日起施行)对中华人民共和国防震减灾法中的上述规定进行了细化，对需要进行地震安全性评价的建设工程的范围进行了规定。该条例第十一条规定：

“下列建设工程必须进行地震安全性评价：

(一) 国家重大建设工程；

(二) 受地震破坏后可能引发水灾、火灾、爆炸、剧毒或者强腐蚀性物质大量泄漏或者其他严重次生灾害的建设工程，包括水库大坝、堤防和贮油、贮气、贮存易燃易爆、剧毒或者强腐蚀性物质的设施以及其他可能发生严重次生灾害的建设工程；

(三) 受地震破坏后可能引发放射性污染的核电站和核设施建设工程；

(四) 省、自治区、直辖市认为对本行政区域有重大价值或者有重大影响的其他建设工程。”

国家标准 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》第 4.3 条规定：

“下列工程或地区的抗震设防要求不应直接采用本标准，需做专门研究，即地震安全性评价：

a) 抗震设防要求高于本地震动参数区划图抗震设防要求的重大工程、可能发生严重次生灾害的工程、核电站和其他有特殊要求的核设施建设工程；

b) 位于地震动参数区划图分界线附近的新建、扩建、改建的工程；

c) 某些地震研究程度和资料详细程度较差的边远地区；

d) 位于复杂工程地质条件区域的大城市、大型厂矿企业、长距离生命线工程以及新建开发区等。”

以上各项规定的建设工程、以及国家有关行业主管部门和各省级人民政府规定的应开展工程场地地震安全性评价的各类建设工程，都应按本标准的要求，认真开展工程场地地震安全性评价工作。对规定以外的因建设需要等原因要进行地震安全性评价的建设工程，其工程场地地震安全性评价工作也应符合本标准的相关技术要求。

第二章 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 18207.1—2000 防震减灾术语 第一部分：基本术语

GB 18306—2001 中国地震动参数区划图

GB 50267—1997 核电厂抗震设计规范

为了使地震安全性评价结果更具科学性和工程适用性，在编制本标准时，充分参考了相关技术规范。

在本标准中，GB/T 18207.1—2000《防震减灾术语 第一部分：基本术语》、GB 18306—2001《中国地震动参数区划图》和 GB 50267—1997《核电厂抗震设计规范》中的条款通过引用而成为了本标准的条款。这三部被引用的标准均注明了日期，因此其随后的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不再适用于本标准。

GB/T 18207.1—2000《防震减灾术语 第一部分：基本术语》中规定了防震减灾的基本术语，适用于防震减灾有关工作及编写防震减灾有关法规、技术标准，也适用于科研、教学、新闻、出版等。本标准在“术语和定义”部分中所包括的“地震构造”、“活动构造”和“发震构造”等 23 个术语和定义均来自 GB/T 18207.1—2000。该标准中其他基本术语，如“震级”、“地震烈度”、“震中距”、“破坏性地震”、“地震活动性”、“重大建设工程”、“地震区划”、“抗震设防要求”和“地震安全性评价”等，虽未在本标准中作为术语和定义出现，但其定义同样适用于本标准。

需要特别指出的是，GB/T 18207.1—2000《防震减灾术语 第一部分：基本术语》中引用了《中华人民共和国防震减灾法》、GB 17740—1999《地震震级的规定》、GB/T 17742—1999《中国地震烈度表》和 JGJ/T 97—1995《工程抗震术语标准》，通过引用，这三项标准中的相关术语和定义也适用于本标准。

GB 18306—2001《中国地震动参数区划图》给出了中国地震动参数区划图及

其技术要素和使用规定，适用于新建、改建、扩建一般建设工程抗震设防，以及编写社会经济发展和国土利用规划。地震动峰值加速度区划图和地震动反应谱特征周期区划图的比例尺均为 1:400 万，两张区划图的设防水准为 50 年超越概率 10%。区划图的场地条件为平坦稳定的一般（中硬）场地。在该标准中，坚硬、中硬、中软和软弱四种场地类型的地震动峰值加速度保持一致；坚硬、中软和软弱这三类场地类型的特征周期可以通过 GB 18306-2001 附录 B《地震动反应谱特征周期调整表》来获取。

GB 50267-1997《核电厂抗震设计规范》适用于极限安全地震震动的峰值加速度不大于 0.5g 地区的压水堆核电厂中与核安全相关物项的抗震设计。按该规范设计的核电厂，当遭受相当于运行安全地震震动的地震影响时，应能正常运行，当遭受相当于极限安全地震震动的影响时，应能确保反应堆冷却剂压力边界完整、反应堆安全停堆并维持安全停堆状态，且放射性物质的外逸不超过国家规定限值。为达到上述安全标准，该规范对地震安全性评价工作提出了许多具体要求，如在“设计地震震动”部分规定：

“设计地震震动参数应包括两个水平向和一个竖向的设计加速度峰值、两个水平向和一个竖向的设计反应谱以及不少于三组的三个分量的设计加速度时间过程。

两个水平向的设计加速度峰值应采用相同数值，竖向设计加速度峰值应采用水平向设计加速度峰值的 2/3。

设计地震震动参数宜采用自由地面的数值；计算覆盖土层的地震动参数时，应计入土层的刚度和阻尼；计算基岩面可采用剪切波速大于 700m/s 的土层的顶面，其下应无更低波速的土层。

极限安全地震震动应取地震构造法、最大历史地震法和综合概率法确定结果中的最大值，其水平加速度峰值不得低于 0.15g。”

核电厂工程场地地震安全性评价工作属于本标准工作分级中的 I 级工作，地震安全性评价工作应密切联系核电厂抗震设计的需要进行。

本标准中注日期的引用文件，包括 GB/T 18207.1-2000《防震减灾术语 第一部分：基本术语》中的注日期的引用文件，在本标准的使用期间可能进行修改或修订，修改或修订后的内容均不再适用于本标准。但本标准鼓励各有关方面研究这些最新版本标准与本标准的协调性。

GB/T 18207.1—2000《防震减灾术语 第一部分：基本术语》中引用了《中华人民共和国防震减灾法》，此文件未注日期，因此其最新版本适用于本标准。

第三章 术语和定义

3.1

地震构造 seismic structure

与地震孕育和发生有关的地质构造。

3.2

活动构造 active structure

晚第四纪以来有活动的构造，包括活动断层、活动褶皱、活动盆地、活动隆起等。

3.3

发震构造 seismogenic structure

曾发生和可能发生破坏性地震的地质构造。

3.4

构造类比 structure analog

一种地震活动性分析方法，该方法认为，具有同样构造标志的地区有发生同样强度地震的可能。

3.5

活动断层 active fault

晚第四纪以来有活动的断层。

3.6

断层活动段 active fault segment

在一活动断层上，活动历史、几何形态、性质、地震活动和运动特性等具有一致性的地段。

3.7

能动断层 capable fault

可能引起地表或近地表明显错动的断层。

3.8

古地震 paleo-earthquake

没有文字记载、采用地质学方法发现的地震。

3.9

地震区 seismic region

地震活动性和地震构造环境均相类似的地区。

3.10

地震带 seismic belt

地震活动性与地震构造条件密切相关的地带。

3.11

地震构造区 seismic tectonic zone

具有同样地质构造和地震活动性的地理区域。

3.12

弥散地震 diffuse earthquake

在地震构造区内，与已确认的发震构造无关的最大潜在地震。

3.13

本底地震 background earthquake

一定地区内没有明显构造标志的最大地震。

3.14

潜在震源区 potential seismic source zone

未来可能发生破坏性地震的地区。

3.15

空间分布函数 spatial distribution function

地震危险性概率分析中，表征地震带内各震级档地震发生在每个潜在震源区可能性的函数。

3.16

震级档 magnitude interval

地震危险性概率分析中的震级分档间隔。

注：一般取 0.5 级。

3.17

震级下限 lower limit magnitude

地震危险性概率分析中，影响工程场地地震危险性的最小地震震级。

3.18

震级上限 upper limit magnitude

地震危险性概率分析中，地震带或潜在震源区内可能发生的最大地震的震级极限值。

3.19

地震动参数 ground motion parameter

表征地震引起的地面运动的物理参数，包括峰值、反应谱和持续时间等。

3.20

超越概率 probability of exceedance

在一定时期内，工程场地可能遭遇大于或等于给定的地震烈度值或地震动参数值的概率。

3.21

地震动反应谱特征周期 ground motion characteristic period of response spectrum

规范化的反应谱曲线开始下降点所对应的周期值。

3.22

场地相关反应谱 site-specific response spectrum

考虑地震环境和场地条件影响所得到的地震反应谱。

3.23

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。

本标准表述了工程场地地震安全性评价的技术要求和技术方法所涉及的基本术语与定义。

基本术语与定义对正确理解与把握本标准所提出的各项基本技术要求非常重要。同时，这些基本术语与定义对正确使用本标准涉及的技术方法也是非常重要的。

本标准涉及的主要术语与定义引自 GB/T 18207.1-2000，该标准是推荐性标准。同时，该标准只是给出了相关定义和术语的一般性的解释。对术语与定义的正确理解应该与对本标准提出的各项技术要求和对基本技术方法的理解结合起

来。除对 GB/T 18207.1-2000 相关内容的理解掌握外，还应结合地震安全性评价工作的技术思路和技术要求正确理解和把握。

本宣贯教材在相关的章节中对一些重要的定义和术语做了进一步的解释。

3.1 ~ 3.8 条涉及的基本术语与定义主要与区域和近场地震构造分析有关，涉及本标准的第五章和第六章。其中对地震构造、发震构造、活动断层等概念的理解，可参阅本宣贯教材第五章和第六章的相关内容。

3.9 ~ 3.12 条涉及的基本术语与定义与地震危险性的确定性分析有关，主要与本标准的第九章的内容有关，其中最为重要的概念为地震构造区和弥散地震。可参阅本宣贯教材第九章的相关内容。

3.9 ~ 3.10、3.13 ~ 3.18 条涉及的基本术语与定义是地震危险性概率分析方法的主要概念，对概念的正确理解和把握需要首先掌握地震危险性概率分析方法。可参阅本宣贯教材第九章和第十章的相关内容。

3.19 ~ 3.22 条涉及的基本术语与定义是与地震危险性分析结果及表述有关的基本概念。本宣贯教材第九章和第十章对这些重要的概念进行了进一步的解释。

3.23 条基本术语与定义是与地震地质灾害评价有关的内容，可参阅本宣贯教材第十三章的相关内容。

第四章 工程场地地震安全性评价工作分级

不同重要性的建设工程，遭遇地震破坏后引起的人员伤亡、财产损失、社会影响以及可能发生次生灾害的严重性等后果差别很大，因此对不同重要性的建设工程，必须有不同的抗震设防要求，开展技术方法、内容、基础资料精度及研究程度不同的工程场地地震安全性评价工作。

如核电站和极其重要的特大型水库等，一旦遭遇地震破坏后将导致极其严重的后果、可能会引发极其严重的次生灾害、造成巨大的人民生命财产的损失、对社会产生巨大的影响，对这类工程的抗震设计有严格的要求、国际上也有相关的规则，要采用极低的地震风险水平来确定抗震设防要求，根据抗震设防要求进行科学、认真、严格的抗震设计，因此必须进行最为详细、最为深入的工程场地地震安全性评工作；

对全国面广量大一般建设工程，由于破坏性地震是小概率事件，虽然小地震的发生频率高、发生的地域广，但小地震的影响范围有限，破坏性地震的发生频率较低、发生的地域有限，在某些特定的地区遭受大地震的可能性较低。因此对于数量巨大的一般建设工程，只要按照 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》确定的设防要求进行抗震设计和施工建设，在遭遇地震后就不太可能产生严重破坏，也不太可能产生严重的次生灾害，某些特定的、个别的一般建设工程的破坏，不会对社会产生巨大的影响，按标准设防将会把地震造成的损失降低到一定的程度之内。因此，这类建设工程就无须对每个工程都进行仔细的地震安全性评价工作，对其中某些建设工程需要进行的工程场地地震安全性评价工作，主要是复核中国地震动参数区划图提供的地震动峰值加速度。

对社会有重大价值或有重大影响的重大建设工程，遭遇地震破坏后会造成国民经济的较大损失、造成重大的人员伤亡、产生较大的社会影响。如地震破坏后可能引发水灾、火灾、爆炸、剧毒或者强腐蚀性物质大量泄漏和其它严重次生灾害的建设工程，使用功能不能中断或需要尽快恢复的重要生命线建设工程等。对这类建设工程的抗震设防要求虽然不如核电站等工程的设防要求高，但应该采用比一般建设工程高的抗震设防标准。因此，这类建设工程的工程场地地震安全性评价工作，就要有一定的详细程度和工作深度的要求。

不同重要性的建设工程，其抗震设防要求和抗震设计方法不同，对基础资料的精度要求和地震安全性评价要提供的抗震设计参数也就不同。例如《核电站选址地震安全导则》中，对工程场址 5km 范围内的断层鉴定，要求不遗漏长度大于 250m 的断层，近场区域 30km 范围内基础资料精度要求比例尺为 1:10 万，供抗震设计使用的地震动参数应包括水平向和竖向、五种不同阻尼 (0.5%、2%、5%、10%、20%) 的反应谱等多种参数；对某些结构自振周期比较长的建设工程，如超高层建筑、大跨度的桥梁、高耸结构的电视塔等，这类工程对地震长周期成分响应比较强烈，在进行工程场地地震安全性评价时，应当特别仔细地考虑长周期的地震动参数，提供能充分反映长周期地震动对工程结构作用的场地相关反应谱；而对于一般的建设工程的抗震设计，只需根据中国地震动参数区划图的要求，提供地震加速度峰值和反应谱特征周期。由此可见，从工业与民用建筑的一般建设工程，水利、交通、能源、通讯等建设项目中重要建设工程，到核电厂等特别重大的建设工程，其重要性和可能发生的次生灾害的严重性逐步加大，抗震设防要求也逐步提高，地震安全性评价工作中对基础资料的精度要求、工作的深入程度的要求也逐步提高。考虑到建设工程的重要性、遭遇地震破坏后的严重性以及工程的结构特征和抗震设计的要求，兼顾建设工程的政治、社会和经济性，对不同建设工程应作不同深度、精度、程度要求以及不同内容的地震安全性评价工作。本标准把工程场地地震安全性评价工作分为四级，规定了不同级别工作的工作步骤、技术思路、工作方法、主要技术内容和技术要求。

在重要建设工程中，核电厂和特大型水库大坝等工程又特别重要，抗震设防要求极高，为此本标准规定这类建设工程的工程场地地震安全性评价工作应按Ⅰ级进行，其它重要建设工程的工程场地地震安全性评价工作按Ⅱ级进行。

在一般建设工程中，重要生命线工程、长距离的管线路工程、区域性地震区划和地震小区划，由于工程跨越一定的区域，区域范围及周围的地震环境、地震地质状况和场地条件都会有差异，需要做比全国地震动参数区划更为详细的工作，为此本标准规定这类建设工程或项目的工程场地地震安全性评价工作应按Ⅲ级进行，其它一般建设工程的工程场地地震安全性评价工作按Ⅳ级进行。

工程场地地震安全性评价工作划分为以下四级：

Ⅰ级工作包括地震危险性的概率分析和确定性分析、能动断层鉴定、场地设计地震动参数确定和地震地质灾害评价。适用于核电厂等重大建设工程项目中

的主要工程。

Ⅱ级工作包括地震危险性概率分析、场地设计地震动参数确定和地震地质灾害评价。适用于除Ⅰ级以外的重大建设工程项目中的主要工程。

Ⅲ级工作包括地震危险性概率分析、区域性地震区划和地震小区划。适用于城镇、大型厂矿企业、经济建设开发区、重要生命线工程等。

Ⅳ级工作包括地震危险性概率分析、地震动峰值加速度复核。适用于 GB 18306—2001 中 4、3 条 b)、c) 规定的一般建设工程。

1. I 级工程场地地震安全性评价

核电厂建设项目中的主要工程涉及到核辐射外泄安全的部分，国际上都认为是最重要的建设工程，在各级设计阶段中，都要采取最安全的抗震措施；特大型水库建设工程项目中的高坝，一旦遭遇地震破坏后将导致极其严重的后果、会引发极其严重的次生灾害、造成巨大的人民生命财产的损失、对社会产生巨大的影响。因此，对核电厂等重大建设工程项目中的主要工程，必须进行最为认真、最为严格的工程场地地震安全性评价工作。对这类工程的抗震设计要采用极低的地震风险水平来确定抗震设防要求，要采用不同的分析方法进行地震危险性评价，要有多种超越概率水准、不同阻尼比的水平向和竖向的设计地震动参数，要对工程场址区内的能动断层进行严格鉴定，对工程场址区内的地震地质灾害进行详细地评价等。因此，从技术方法和内容来说，对这类建设工程项目中的主要工程必须进行最为全面、详细、深入的工程场地地震安全性评工作。由此可见，核电厂等重大建设工程项目中的主要工程的地震安全性评价工作要按Ⅰ级要求进行，工作内容包括地震危险性的概率分析和确定性分析、能动断层鉴定、场地设计地震动参数确定和地震地质灾害评价。

I 级工作要求和和其他级别工作的主要区别在：

- a) 对基础资料要求详细程度不同；
- b) 断裂活动性评价和场地条件勘查的工作深度不同；
- c) 地震危险性分析评定方法不同；
- d) 提供的设计地震参数的详细程度不同；
- e) 地震地质灾害评价的内容及深度不同。

核电厂等重大建设工程项目中的主要工程，应采用较低的地震风险水平来确定抗震设防要求。如，核电厂的极限安全地震的年超越概率为 0.0001，即重现

周期为 10 000 年;三峡水电工程中水工建筑的设防地震年超越概率为 0.0002,即重现周期为 5 000 年。

2. II 级工程场地地震安全性评价

除 I 级以外的重大建设工程项目中的主要工程,主要是指对社会有重大价值或者有重大影响的工程,受地震破坏后可能发生严重次生灾害的建设工程,使用功能不能中断或在震后需要尽快恢复的重要的生命线建设工程等。如:超高层建筑、博物馆、会展中心、影剧院等重要的公共建筑,大型水电工程、跨大江大河的大跨度特大桥梁、重大的交通工程、海洋石油平台、甲类电视塔等。这类工程的抗震设防要求明显高于一般工业和民用建设工程,用中国地震动参数区划图、区域性地震区划和地震小区划的结果已不能满足地震安全性的要求;但是,这类建设工程的抗震设防要求又低于核电厂等重大建设工程,对基础资料的精度、工作方法和内容、研究的程度等都有别于 I 级工作的要求。因此,本标准规定除 I 级以外的重大建设工程项目中的主要工程,要进行 II 级工程场地地震安全性评价工作,工作内容包括地震危险性概率分析、场地设计地震动参数确定和地震地质灾害评价。

对需要进行 II 级地震安全性评价工作的重大建设工程,其抗震设防要求较高,应采用较低的地震风险水平来确定抗震设防要求。如甲类电视塔设防地震的年超越概率水准为 0.0005,即重现周期为 2000 年;特大型桥梁设防地震的年超越概率水准为 0.0003,即重现周期约为 3000 年;大型水利工程中的雍水建筑设防地震的年超越概率水准为 0.001,即重现周期为 1000 年;北京市高层建筑(高度 80 米以上)抗震设防地震的风险水平为 100 年超越概率 3%(变形验算)。

3. III 级工程场地地震安全性评价

区域性地震区划主要是指长距离的交通、输油、输气、送水、输电等长距离线状工程,以及大城市、城市群等区域的建设、规划、土地利用、防灾规划制定等工作中的地震安全性评价。它和全国的地震区划不同,全国地震动参数区划图是针对全国量大面广的一般建设工程,是在考虑平均场地条件下对全国范围内的地震安全环境的区域划分,其比例尺为 1:400 万,它给出的是大范围内地震危险的平均估计,不可能对局部区域的地震活动、地质构造条件做出详细的描述。区域性地震区划,则应根据区域范围及周边的地震活动、地质构造环境做更加详细、细致的工作,精度要求更高,图件的比例尺要远大于全国地震区划图的比例尺,

设防地震的概率水准一般采用 50 年超越概率 10%。

地震小区划主要是指在城镇、大型厂矿企业、经济建设开发区等建设范围内为土地利用和规划、防震减灾规划制定、一般建设工程抗震设计等工作提供科学依据的地震安全性评价。地震小区划针对区划范围及周围地区做更加细致、深入的工作，重视局部场地条件的影响，更为细致地考虑局部场地的作用，区分不同的地震破坏作用，显示地震破坏在小范围内的变动情况，与区域性地震区划相比，地震小区划所考虑的因素更多，工作更细致、资料更详细、精度要求更高。如某些地震小区划图采用的比例尺达到 1:1 万~1:5 万，设防地震的概率水准一般采用 50 年超越概率 10%，对使用年限不同的建设工程，设防地震的概率水准会有所不同，应根据工程抗震设计的具体需求来确定。

4. IV 级工程场地地震安全性评价

中国地震动参数区划图是对全国范围内的地震安全环境进行的区域划分，划分区域间存在分界线，分界线两侧的数值是不连续的，存在数值上的跳跃，在比例尺为 1:400 万的全国地震动参数区划图上，分界线本身就覆盖了一定的区域，分界线上的数值存在取哪个区域数值的问题，所以位于全国地震动参数区划图分界线附近的一般建设工程也必须进行地震安全性评价，才能科学合理地确定抗震设防要求。

编制全国地震动参数区划图的基础资源是现有的地震研究的成果，以及地震、地质和地球物理等观测资料，由于观测条件、地理位置、经济、历史、人文环境等因素的影响，地震研究程度和资料的详细程度地区性的差异性很大，某些边远地区、沿海海域等地区缺少相关的实际观测资料，地震研究程度也不高。另外，全国地震动参数区划图是在考虑平均场地条件下给出的地震动参数，是针对全国性大区域而言的，它不可能对某些地质条件复杂的地区作深入细致的工作。为此，必须对那些地震研究程度和资料详细程度较差的地区、位于地质条件复杂的地区的地震活动环境、地震地质条件作进一步深入的分析、调查和研究，对全国地震动参数区划图提供的峰值加速度结果进行复核，以便科学合理地为一建设工程提供抗震设防要求。

IV 级工作包括地震危险性概率分析，地震动峰值加速度复核。适用于中国地震动参数区划图 GB 18306—2001 中 4.3 条 b)、c) 规定的一般建设工程。因此，IV 级工作中工程设防地震的概率水准应与中国地震动参数区划图一致，为 50 年

超越概率 10%，由于是针对具体的工程场地或工程项目开展的工作，所以IV级工作比全国地震动区划图提供的资料要更详细、精度更高，实际工作中经常采用的图件比例尺为：区域范围的主要图件比例尺为 1:100 万、近场区的主要图件比例尺为 1:25 万。

第五章 区域地震活动性和地震构造评价

考虑远源与近源地震对场地影响的差异性特点,依据工作内容、详细程度和技术要求的不同,根据到场地距离的远近,地震安全性评价工作范围分为区域、近场区和工程场地。区域为工程场地外延不小于 150km 的范围,近场区为工程场地外延不小于 25km 的范围,工程场地为工程建设规划的范围。

地震安全性评价需要在一定的区域范围内开展工作。分析地震活动水平与地震发生的条件需要在足够大的空间范围内进行,评价地震对场地的影响也需要在足够大的空间范围内进行。

区域工作的重点是,在对区域范围内资料收集和整理的基础上,分析区域地震活动特征和未来地震活动趋势,评价区域范围内地震发生的条件,判识区域范围内对场地地震危险性有影响的发展构造,综合评价区域地震构造环境和地震活动水平,为地震区带和潜在震源区划分、地震活动性参数确定、地震构造区划分与弥散地震确定等提供依据。

区域地震活动性和地震构造评价,以收集、分析现有资料为主,辅以必要的现场地震与地质调查工作。

5.1 区域范围和图件比例尺

本条规定了区域工作的最小范围,图件比例尺规定了区域基础资料和成果图件的精度。

5.1.1 区域范围取对工程场地地震安全性评价有影响的范围,应不小于工程场地外延 150km。

规定区域范围大小的根本目的,在于不致遗漏对工程场地地震安全性评价结果有影响的远源潜在大地震。

震害资料和工程经验表明,场地地震危险性主要来自于 150km 范围内的地震影响,一般情况下,区域工作范围取工程场地外延 150km 可以满足评价要求。

针对具体的工程场地而言,区域范围的大小取决于场地与强震构造环境的关系。当 150km 范围不足以包含对工程场地地震安全性评价结果有影响的远源历史大地震或高震级潜在发震构造时,应当扩大区域工作范围。

在弱地震活动区,当工程场地外延 150km 附近外围区域地震活动水平较高或

存在强震的发震构造时，为了更合理分析地震活动水平和评价地震的发生条件，区域范围宜适当扩大。

当区域范围取工程场地外延大于 150km 时，区域范围根据具体情况可以不对称。例如，在西部地区天山南麓的牙哈凝析油气田工程场地地震安全性评价工作中，考虑到包括场地西北的 1716 年特克斯 $7\frac{1}{2}$ 级地震，区域研究范围向西向北分别扩展为 200km 和 180km，而场地东面和南面的范围仍为 150km。在广东台山核电项目腰古厂址地震安全性评价工作中，为考虑珠江口外滨海断裂带 7.5 级潜在发震构造的影响，区域范围向东扩展为 200km。

区域研究范围的选取直接关系到工程场地地震安全性评价结果的可靠性，在地震安全性评价工作中应对区域研究范围选取作必要的论证和说明。

5.1.2 区域地震构造图比例尺应采用 1:1 000 000，其他图件比例尺应不小于 1:2 500 000。

区域地震构造图是地震安全性评价工作中分析区域发震构造特征、划分潜在震源区等方面的重要依据，属于关键性区域基础图件，应简明扼要地反映地震和地质方面的主要内容。

区域地震构造图比例尺应采用 1:100 万，编图所依据的基础资料精度和地理底图比例尺应不小于 1:100 万。该比例尺反映了对基础资料和图件的内容、精度和详细程度的要求。

对于 II、III、IV 级工作，其他区域性成果图件，如区域新构造图、区域地震震中分布图等，比例尺应不小于 1:250 万。

对于 I 级工作，区域地质构造图、区域地震构造图、区域新构造及其分区图、区域历史破坏性地震震中分布图、区域小震震中分布图、区域布格重力异常图、区域航磁异常图和区域地壳结构图等主要成果图件，均宜采用 1:100 万比例尺。对有些内容不多，精度要求不很高的区域性分析图件，如大地构造分区图，地震区、带划分图，地震构造区划分图等，可采用较小比例尺。

5.1.3 所有图件应标明工程场地位置。

所有区域性图件均应标明工程场地的位置，以便直观地显示工程场地所处的地震活动和地震构造环境。

5.2 地震活动性

地震活动性分析的目的是通过分析地震活动的时间和空间特征，评价区域地

震活动环境，为划分潜在震源区和确定地震活动性参数提供依据。区域地震活动性分析工作的内容主要包括：地震资料的收集与分析整理，编制区域历史强震目录，编制区域破坏性地震震中分布图和区域现代地震震中分布图，编制区域震源机制解分布图，分析地震活动时空特征和未来地震活动趋势，评价工程场地所遭受的历史地震影响。

5.2.1 地震资料收集与目录编制，应符合以下要求：

- a) 根据地震部门正式公布的地震目录和地震报告，收集相关的地震资料；
- b) 历史地震资料应包括区域内自有地震记载以来的全部破坏性地震事件；
- c) 区域性地震台网地震资料应包括区域内自有区域性地震台网观测以来可定震中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、地点、震级、震源深度及定位精度等。

完整可靠的地震目录是研究区域地震活动性的最基础资料。相关的地震资料，包括历史记载的破坏性地震资料 and 现代地震观测台网记录的地震资料两部分。

自 20 世纪 50 年代以来，我国已出版多个版本的全国性地震目录，主要有：《中国地震目录》（李善邦主编，1960）、《中国地震目录》（李善邦主编，1970）、《中国地震目录》（顾功叙主编，1983）、《中国地震简目》（中国地震简目编写组，1988）、《中国历史强震目录（公元前 23 世纪至公元 1911 年）》（国家地震局震害防御司编，1995）和《中国近代地震目录（公元 1912 年至 1990 年 $M_s \geq 4.7$ ）》（中国地震局震害防御司编，1999）。同时，一些省市自治区也出版过地区性的地震目录，众多的研究著作和刊物中也包含了不同的地震资料。但是，由于不同的编者和研究者有不同的认识，他们对历史资料的不同分析处理，反映了不同的观点。在地震资料收集整理时，应使用地震部门正式公布的最新地震目录和地震报告。对地震参数有不同认识的疑难地震，应根据不同版本编目资料的可靠性和工作深度决定取舍。对地震安全性评价结果有明显影响的疑难地震，必须慎重分析，应广泛收集历史资料，认真考证，辅以必要的现场调查，确定地震参数，并将考证结果提交主管部门审定。

需要说明的是，由于最新版本《中国近代地震目录（公元 1912 年至 1990 年 $M_s \geq 4.7$ ）》的资料截止到 1990 年，1990 年以后的地震资料宜以《地震观测报

告》(中国地震局地球物理研究所)和《中国地震详目》(中国地震台网中心)为主,并参考中国地震局每年出版的《中国地震年鉴》和各省、市、自治区地震局的相关地震速报目录续补。

本标准所指的历史地震资料是指有区域地震台网记录之前依据地震破坏的文献记载分析得到的破坏性地震事件,应收集区域范围内的历史地震资料。

我国自 20 世纪 50 年代开始建设区域性地震台网,70 年代建设具有小震监测功能的区域性地震台网,现已积累了丰富的仪器测定的地震资料。地震目录应依据这些地震台网地震资料编制。

实际上我国大陆各地区地震监测能力不同。1970 年以后由区域地震台网测定的中小地震($M < 4.7$)目录主要由各省、直辖市、自治区地震局编辑处理,依据全国区域地震台网编制的地震目录已形成地震数据库。具体使用时,可从有关部门获取。

区域破坏性地震是指区域范围内有历史文献记载的震级 $M \geq 4\frac{3}{4}$ 的破坏性地震事件和区域地震台网资料中的震级 $M \geq 4.7$ 的破坏性地震事件,以表格的形式列出收集整理的区域破坏性地震目录,地震目录应包括发震时间、地点、震级、震源深度及定位精度等。

5.2.2 震中分布图的编制,应符合以下要求:

- a) 分别编制破坏性地震震中分布图、区域性地震台网记录的地震震中分布图;
- b) 注明资料起止年代;
- c) 注明主要地震的震级和发震日期;
- d) 区分出浅源、中源和深源地震。

区域地震震中分布图编制的目的是为了分析地震空间分布特征。实际编图时,区域范围和比例尺都要满足要求,内容准确,图面清晰。

破坏性地震震中分布图应以震级分档形式标示区域范围内所有震级 $M \geq 4.7$ 的地震事件。对工程场地评价有重要意义的地震,应在震中符号旁标明该地震的发震时间和震级。

区域性地震台网记录的地震震中分布图应以震级分档形式标示区域范围内有地震台网观测以来震级 $M < 4.7$ 的地震事件。

在有中源、深源地震活动的地区,震中分布图中应明显标示出浅源、中源和

深源地震，为潜源划分和地震动衰减关系的选取提供依据。

5.2.3 地震活动时空特征的分析应包括：

- a) 不同时段各级地震的可靠性与相对完整性；
- b) 地震的空间分布特征；
- c) 震源深度分布特征；
- d) 地震活动时间分布特征；
- e) 未来地震活动水平。

地震资料是地震活动性分析和统计的基础，其可靠性和完整性对分析统计结果有极大的影响。因此，应首先对历史破坏性地震目录和区域性地震台网地震目录进行可靠性和完整性分析，在合适的空间范围内，选择可信的时间域和震级域，进行地震活动性分析研究。

首先应进行历史地震资料的可靠性和完整性分析。历史地震资料是依据分析地震破坏的文献记载得到的，受各个历史时期的文化、经济、政治发展水平的限制，还可能受战乱影响出现相当程度的缺失，应当按不同的地域时段，分析不同震级的地震资料的可靠性和完整性。历史地震资料在时间分布上的完整性检验其直观方法是编制 M-T 图，从图上可以估计出地震资料缺失的时间范围。地震震级分布的完整情况通常用震级—频度关系 $\lg N = a - bM$ 的线性分布来检验。如 b 值的稳定性分析，研究不同震级范围的地震资料，从什么时代开始可以认为是完整的。一般情况下，震级越低，可靠时间越短。例如，我国历史地震资料最为丰富的华北地区，从明朝起，6 级地震才是相对完整的，而 5 级地震，到 1900 年才是完整的。

区域性地震台网地震目录的完整程度和地震台的分布和仪器的灵敏程度有关，所以应当首先分析地震台网的监测能力，从而了解台网监测范围内不同时段、不同震级地震资料的可信程度。

分析地震空间分布特征的目的是寻找强震发生的可能地点和强度的信息，为划分潜在震源区、确定地震活动空间分布函数等提供依据。地震震中空间分布图能直观地反映地震发生地点的分布状况、强震发生的时间和强度，在一定程度上反映了构造活动的情况，它为确定潜在震源及其震级上限提供了信息。在我国某些地区，地震震中分布显示出某些空间相关特征，如条带或网格图像。在进行区域性地震空间分布的分析中，应当分析已发生的强震是否与已知的构造活动有

关。

研究震源随深度的分布特征对于提高地震危险性分析的可靠性非常重要,也是地震活动性分析的重要内容之一。研究表明,震源深度对于地震危险性分析结果可能产生显著影响。例如,在华南地区某潜源近场点,震源深度变化 5km,相同超越概率所对应的加速度值变化了 25%。我国自 1970 年以来积累了较为丰富的地震震源深度资料,利用这些资料和适当的统计方法,可得到平均震源深度和优势深度分布范围等结果。根据具体情况,可给出区域内震源深度空间分布图。

分析区域地震活动时间分布特征的目的是寻找地震活动的趋势性特点,为评价未来地震活动水平和确定地震活动性参数提供依据。研究表明,我国一些地震区带的地震活动随时间表现出起伏特征,具有相对平静和显著活跃相互交替的发展过程,从平静期开始到活跃期结束称一个地震活动期。目前,分析区域地震活动时间分布特征都是在一定统计区内(地震带或地震区)进行,主要方法有 M-T 图、应变释放曲线等定性的方法,还有周期图分析、最大熵谱分析、极值分析等统计方法,实际工作中要依据具体情况选定。

地震活动随时间表现出相对平静和显著活跃相互交替的发展过程。应根据一个地震统计区(地震带)现时所处的地震活动阶段,结合以上地震活动趋势的分析,估计未来 100 年地震活动水平,为评价该地震带地震年平均发生率提供依据。

5.2.4 应收集、补充本区域震源机制解资料,编制震源机制解分布图。

现代构造应力场是研究大地震发生条件的基础资料,有助于分析判断断层活动的性质和错动类型。研究表明,震源机制解主应力轴产状的统计特征可以代表区域现代构造应力场,因此,震源机制资料是地震安全性评价中的重要基础资料。

目前,我国积累了大量的震源机制解资料,应系统收集整理。在缺乏震源机制解资料的地区,应根据地震记录反演震源机制解,也可以利用小震综合断层面解资料作为补充,以反映区域平均构造应力状态。

根据震源机制解资料编制震源机制解分布图和最大、最小主应力方位分布图,进行震源机制解 P、B、T 轴分析,统计最大主应力方位分布,以直方图或玫瑰图表示,给出区域水平最大主应力的优势方位。

5.2.5 应收集、分析对工程场地有影响的历史地震烈度资料。

通过分析场地的地震烈度值,可以得到场地所遭受过的最大地震烈度和各个烈度值的频繁程度,与概率计算结果互相佐证,因此,历史地震烈度资料是应当

认真收集的重要资料。

在收集历史地震资料时，除了区域范围内的破坏性地震外，区域外可能对工程场地产生Ⅵ度以上烈度影响的大地震也在考虑之列。历史地震烈度一般应当采用最新本地震目录中所给出的烈度。若最新本地震目录所列地震烈度资料不足时，应当广泛地收集地震烈度资料，在此基础上进行对比分析。

具体工作中，可从以下几方面进行分析：

- a) 有等震线资料的地震，可直接查明历史地震对场地的实际影响烈度；
- b) 对于没有等震线资料，但能够得到场地及附近的地震破坏宏观资料、或实际调查资料，可通过这些资料复核评定影响烈度；
- c) 也可以通过本地区的地震烈度衰减关系估算场地影响烈度值。

在此基础上，给出影响工程场地的综合等震线图，建立场地影响烈度目录，以得到场地所遭受最大历史影响烈度值和各阶段烈度的频次特征。

由于影响烈度的因素较多，许多大地震的等震线形状都很不规则，难以用“点圆”或“点椭圆”衰减模型来描述，所以，在建立用于统计分析的场地影响烈度目录时，不能简单地利用烈度衰减关系来估算场地影响烈度。对Ⅵ度以上的烈度值，要查阅《中国地震历史资料汇编》、《中国历史地震图集》、《中国历史强震目录》、《中国近代地震目录》等资料的等震线图来核实场地影响烈度；对于较大的烈度值，尤其是场地可能位于烈度异常区内的情况时，应当根据场地及附近的宏观资料复核评定烈度。对于某些近期发生的强破坏性地震，应根据对工程场地及附近村镇的实际调查资料，复核评定场地影响烈度。

5.3 地震构造

地震构造是指与地震孕育和发生有关的地质构造。

区域地震构造评价的目的在于：通过对区域地质构造背景、区域新构造活动特征、区域活动构造特征等资料收集和分析，结合区域地震活动特点，归纳区域范围内强震发生的条件，判定区域发震构造及其特征，为划分地震区、带，判定潜在震源区及其地震活动性参数等方面提供重要的依据。

区域地震构造评价应在充分收集、分析现有地质、地震和地球物理资料的基础上进行。考虑到区域地震构造评价的精度要求，以及全国范围内大部分地区活动断层、地震构造资料方面近 20 多年的积累程度，区域地震构造评价一般不需要开展现场调查工作，但当区域范围内存在对工程场地地震安全性评价有影响、

且现有资料不能满足发震构造评价的断层时,需要开展野外调查,获得必要的评价资料。

5.3.1 I 级工作, 应有下列工作内容:

- a) 收集区域地质构造和地球物理场资料, 分析其与地震活动的关系;
- b) 编制区域大地构造单元划分图、地质构造图和新构造图;
- c) 编制区域布格重力异常图、航磁异常图和地壳结构图;
- d) 建立区域地球动力学模型。

鉴于 I 级工作的重要性, 它对区域地震构造的基础资料和图件的内容和工作深度有更高的要求。

应在充分收集区域地质构造、新构造、主要断裂活动性及其分段、地球物理场及深部构造等资料基础上, 编制区域相关图件。为分析判别区域范围内发震构造, 建立区域地震构造模型提供依据。

应重视收集最新的基础资料, 并对资料可靠性进行分析。例如, 对于隐伏断裂活动性探测结果的引用, 应分析探测手段的有效性和地质上解释的合理性。

应分析不同震级档地震与区域地质构造、地球物理、现今构造变形特征的关系, 当区域范围内现有资料不够充分时, 应扩大区域范围。

大地构造单元划分图是了解本区构造发展演化和划分地震区、带的基础资料, 因此需要进行大地构造单元的划分, 给出大地构造单元划分图, 简述大地构造发育简史。

收集区域范围内的地层、岩浆活动、变质作用、地质构造资料, 编制区域地质构造图 (1:100 万), 简述区域地质构造分布与发育特征。区域地质构造图中应反映地层、岩浆岩、褶皱、断裂及其性质、新生代以来的盆地等。

收集新构造运动方面的资料, 包括新生代地层、火山和岩浆岩分布, 晚第三纪以来有活动的断层、盆地和隆起, 以及地震活动和现今形变特征等。编制区域新构造图 (1:100 万), 图中应标示 $4\frac{3}{4}$ 级以上的地震。在此基础上论述区域新构造分区特征, 阐述区域新构造活动与地震活动的关系。

收集重力、航磁和其它地球物理场资料, 结合地壳结构及其它深部构造资料, 编制区域布格重力异常、航磁异常、地壳厚度图, 比例尺 1:100 万, 并说明区域范围地壳结构特征。综合分析区域范围内地震分布与地球物理场的关系。

建立现代地球动力学模型, 应根据区域或更大范围内的地震、地质、现今地

壳形变和地球物理资料，对区域现代地球动力学和运动学特点进行分析，从总体上把握地震发生的构造环境特征。

5.3.2 II、III、IV级工作，应收集区域地质构造资料，分析区域内地震发生的大地构造和新构造背景。

II、III、IV级工作应收集区域地质构造与地貌资料，分析区域地貌特征与新构造运动的关系、区域新构造运动演化特征、主要新构造表现形式及其特点、新构造运动分区等，重点分析新构造运动的类型、活动特征、活动幅度及其与地震活动的关系。

5.3.3 对工程场地地震安全性评价结果可能产生较大影响的断层，资料不充分时，应补充下列工作：

- a) 查明断层最新活动时代、性质和运动特性；
- b) 进行断层活动性分段；
- c) 分析重点地段古地震的强度及活动期次。

对场地地震安全性评价结果可能产生较大影响的断层，当其活动长度不清楚、活动性分段不明确、最大潜在地震评价资料不充分或已有资料显示对该断层活动性的认识不一致时，应补充现场调查。

在较大比例尺（1:10 万或更大比例尺）卫星影象或航片的解译与分析基础上，调查断层不同地段地质、地貌上的活动性特征，查明断层最新活动时代，并明确给出确定断层最新活动时代的确切证据。在野外调查中，需要注意查明断层最新活动的位置，因为断层活动可能存在横向上的迁移性，例如，某地北东向南口山前断层晚更新世的一些活动露头是在距断层东南 70 米处的洪积台地中发现的，北西向镇海湾断层第四纪期间的活动位置位于老断层带以西 200m 左右。所以，调查时沿断层两侧作必要的横向追索十分必要。

可以采用地质地貌、断层结构面的观测等方法，确定断层的最新活动性质（正断层、逆断层、走滑断层或是它们的过渡类型）。

通过野外地质剖面观测，并结合实验室对断层物质的电镜扫描方法，确定断层的运动特性。

通过对比分析不同地段的断裂活动习性（包括活动历史、最后一次活动时代、活动速率、活动性质、活动特性等）、古地震和历史地震破裂特征以及地震活动性等方面的差异性，进行断层活动性分段。

通过调查重点地段古地震造成的断错位移量、地表破裂的规模,评价古地震震级大小。结合年龄测定,分析古地震的活动期次,尽可能给出其复发间隔。

5.3.4 应根据实地调查和已有资料分析,编制地震构造图,地震构造图应包括以下内容:

- a) 第四纪以来活动的主要断层及其活动时代;
- b) 活动断层的性质;
- c) 第四纪以来活动的盆地及其性质;
- d) 现代构造应力场方向;
- e) 破坏性地震震中位置。

区域地震构造图是反映区域范围内地震构造环境的重要图件,编制该图件的目的是为地震区带划分、潜在震源区判定,以及在确定性地震危险性分析中划分地震构造区、评价弥散地震等提供地震构造依据。

区域地震构造图应包括以下内容:

a) 应标示第四纪以来有活动的主要断层,应区别晚更新世以来的活动断层与早第四纪断层(Q_{1-2}),并尽可能区分出全新世(Q_4)活动断层与晚更新世(Q_3)活动断层。基岩断层和隐伏断层须采用不同的图例标示。

b) 应标示区域范围内第四纪以来发育的活动褶皱的展布范围和性质(背斜或向斜)、断层活动性分段点的位置、断层的最新活动性质(走滑断层、正断层、逆断层)。断层的最新活动性质与判定其震级上限和评价区域地震构造环境有密切的关系。

c) 第四纪活动盆地是分析区域地震构造的重要内容,应标示盆地的范围、最新堆积物时代、活动构造展布特征,并尽可能收集盆地中第四纪不同时代地层的发育厚度资料,勾画出第四系等厚线。在地震活动强度较低的隐伏地区,宜勾画出晚第三纪以来的沉积厚度。

d) 应标示区域现代构造应力场的方向。

e) 应标示破坏性地震($M \geq 4.7$)震中。在地震活动强度较低的地区,标示的地震震级可适当降低。

5.4 综合评价

综合评价是在对区域地震活动性和地震构造基础资料收集与分析的基础上,把握区域地震活动性特点和发震构造整体特征,为合理地划分潜在震源区和确定

地震活动性参数提供依据。

5.4.1 应评价区域地震活动特征

区域地震活动特征评价应包括以下内容:

a) 地震资料完整性、可靠性评价,包括区域范围最早记录到的历史地震、历史破坏性地震数量、最大历史地震、历史地震资料完整的年代,以及区域内现代地震观测台网记录的地震资料概况。

b) 地震活动空间分布特征评价,包括不同强度地震发生的空间分布特征、区域平均震源深度和优势分布范围等。

c) 地震活动时间分布特征评价,包括各地震带的地震活动期、各活动期的起止年限、未来 100 年地震活动水平。

d) 区域现代应力场特征评价,包括现代构造应力场的特征、最大和最小主应力方向。

e) 历史地震影响评价,包括工程场地所遭受到的最大历史地震影响烈度及烈度的频次特征。

5.4.2 应评价区域地震构造环境,并分析不同震级档的地震构造条件。

区域地震构造环境的评价应包括以下内容:

a) 简述工程场地在区域大地构造上的位置,评价场地所在的大地构造单元的属性。

b) 简述区域新构造运动特征,评价场地所在新构造分区单元的活动特征及其与地震活动的关系。

c) 简述区域地震构造环境特征,评价工程场地所在地质构造单元的地震构造环境特点。

d) 给出区域范围内不同震级档的地震构造标志,判别区域发震构造,简述各发震构造特征。

第六章 近场区地震活动性和地震构造评价

近场区地震活动性和地震构造评价是进行工程场地地震安全性评价的一项基础性工作，也是核心的内容之一。区域性的地震活动性和地震构造分析，在很大程度上是为进行近场区地震活动性和地震构造评价提供必要的依据，而近场区地震活动性和地震构造评价结果又对后续的场址区地震危险性分析起主要作用。近场区地震活动性和地震构造评价的质量对工程场地地震安全性评价结果的合理性、工程抗震设防的针对性具有重要的作用。

近场区地震活动性和地震构造评价的主要技术步骤和工作内容简要概述如下：

1. 调研与准备阶段

重点是充分收集已有资料，分析前人已有工作结果，明确存在的问题，确定重点工作对象。现有资料收集得是否完整，前人已有工作结果分析得是否透彻，现存问题是否明确，重点工作对象确定得是否合理，直接影响到近场区地震活动性和地震构造评价的质量和工作效率。本阶段工作内容包括：

- a) 收集不同比例尺的地形图和地质构造图；
- b) 收集相关的地质和构造资料，重点是大地构造位置、构造发育简史、新构造和活动构造等资料；
- c) 收集解译航、卫片资料，尤其是对线性构造和第四纪地质与地貌特征的判识；
- d) 收集有关地震资料；
- e) 提出野外调查的方案，包括对象、内容、路线和具体要求等。

2. 野外调查阶段

野外调查是近场区地震活动性和地震构造评价的重要环节，主要调查内容应包括：

- a) 第四纪地质、地貌特征；
- b) 断层的展布、产状和活动性，特别是断层最新活动时代的地质地貌证据；
- c) 破坏性地震的宏观震中及发震构造的初步判识。

3. 野外小结阶段

野外小结对及时发现问题、解决问题，保证取得的调查资料的质量是很重要的，不可忽视，应作为野外调查工作内容，重点包括：初步综合各种基础资料，分析所获得的可靠性、协调性和充分性；对发现的问题，适当补充必要的野外工作；讨论形成野外调查初步结论。

4. 室内分析总结

室内分析总结是为了形成近场区地震活动性和地震构造评价的基本结论。主要工作内容应包括：

- a) 野外调查资料整理归档；
- b) 年龄样品测定；
- c) 基础图件编制，包括近场区地震构造图和震中分布图及地质剖面图等；
- d) 综合分析近场区地震构造条件，判定发震构造。

6.1 近场区范围和图件比例尺

近场区是工程场地地震安全性评价工作必须开展现场实际调查与勘测，以获取进行地震活动性和地震构造条件评价所必须的详实资料的范围。图件比例尺则是对这种调查与勘测工作精度的要求。这是对近场区工作的“量”和“质”两个主要指标的控制，必须完全满足。

6.1.1 近场区范围应不小于工程场地及其外延 25km。

一般情况下，近场区范围可以界定为工程场地及其外延 25km。但是，出现下列情况之一者，应将近场区范围适当扩大：

- a) 工程场地及其外延 25km 范围内，断裂基本被第四系所覆盖，但在这个范围外缘有较明显的地质和地貌现象出露；
- b) 工程场地及其外延 25km 范围内，与地震构造条件评价密切相关的地质和地貌证据不充分，但在这个范围外缘有其典型的或有利的证据存在；
- c) I 级工作中，工程场地及其外延 25km 范围外缘有指向近区域的断裂存在；
- d) 相关行业对近场区范围有大于 25km 的要求，如水电抗震设计规范要求近场区为半径 30km 的范围。

近场区范围适当扩大应以能够解决近场区主要断层活动性鉴定和发震构造判定等为主要问题为原则。这种扩大可以是非对称性的。

6.1.2 近场区地震构造图和震中分布图比例尺应不小于 1:250 000，I 级工作应不小于 1:100 000。

地震构造图和震中分布图是近场区地震和地质现场调查与勘测的最为主要的成果图件,是进行近场区地震活动性和地震构造综合评价的主要依据,是近场区相关潜在震源区边界和地震活动性参数确定的基础,需要有明确的精度要求和严格的成图比例尺。

规定明确的比例尺的目的,不仅仅是为了地震构造图和震中分布图等成果图件的编制,更重要的是给现场地震和地质调查工作提出了工作量和精度方面的要求。主要要求包括:

- a) 现场地震地质调查线路的设计,应将已有的地震和地质等相关资料表示在比例尺不小于 1:250000 的地形图上;
- b) 现场地震地质调查所依据的地质构造图、航片、卫片等基础资料比例尺应不小于 1:250000;
- c) 野外各种观测点、新发现的活动断裂(段)、破坏性地震的宏观震中、地震地表形变带、断层地貌现象等野外观测结果,均应定位在比例尺不小于 1:250000 的地形图上。

我国目前测绘部门提供的数字化地形图的比例尺是 1:250000,在使用它可以兼容原有的 1:200000 地质区测图和 1:200000 未数字化地形图。

6.1.3 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取 1:10~1:50,地质和地貌平面图和剖面图比例尺宜取 1:100~1:1000。

反映活动构造细节的图件,应根据实际情况和要说明的问题的需要选定比例尺。一般情况下,平面图的比例尺应大于 1:250000,表示断裂活动性的地质剖面比例尺可适当取小些,显示较大范围地质和地貌现象的平面图和剖面图比例尺可取更小些。可能对工程场地产生重要影响的活动断裂,应根据实际情况,采用较大的比例尺,进行活动断裂填图。反映活动断裂古地震现象的探槽实测剖面,宜采用较大的比例尺,以尽可能详细地反映断裂活动的信息。

活动构造细节主要是指:

- a) 可能对断裂的活动性和破裂起分段作用的阶区和障碍构造,包括活动断裂的组成、形态、介质结构与地质构造等;
- b) 活动断裂的几何形态和产状特殊变异的部位;
- c) 反映活动断裂新活动特征的断层地貌现象,如水系与山脊的错动、断层陡坎、断塞塘等。

6.2 地震活动性

对近场区地震活动性进行详细调查与分析基础上,编制 1:250000(I 级工作为 1:100000)的近场区地震活动分布图,从而为合理评定近场区发震构造、厘定潜在震源区边界和震级上限等提供依据。工作深度和资料详细程度与精度应当比区域地震活动性分析要求更高。

6.2.1 对破坏性地震的参数有疑问时,应进行资料核查和现场调查。

如果对破坏性地震的参数有疑问,则必须进行资料核查和现场调查,确认震中位置和强度,并在项目验收前将工作结果提交主管部门审定。参数有疑问的破坏性地震包括:对全国性地震目录中地震参数有争议的疑难地震、其他文献中有记载的未经确认的地震等。

对参数有疑问的破坏性地震,应首先进行资料核查,广泛收集现有的资料和研究成果,进行校核、勘误、考证。而后,根据需要进行破坏性地震现场调查,弥补现有文献资料的不足。现场调查的内容应包括:地震时间和地点的考证,建筑物破坏和人畜伤亡情况调查等。在详尽调查的基础上,尽可能合理地确定有关参数。

6.2.2 I 级工作,应对近场区内震级小于 4.7 级的仪器记录地震重新定位。

对于 I 级工作,近场区的地震活动涉及到场址区地震构造的评价和设计基准地震动的确定,常规地震目录给出的地震参数精度难以满足分析的要求,对近场区震级小于 4.7 级的仪器记录地震重新定位是 I 级工作必不可少的基础性工作。

可通过以下途径提高地震的定位精度:

- a) 补充以往测定地震参数时未曾使用的地震仪器记录资料,特别是要补充周边其他台网(站)的资料;
- b) 对收集到的地震记录资料重新辨认震相;
- c) 修正现有的定位速度模型和改进、使用多种定位程序。

6.2.3 应编制近场区地震震中分布图,分析其与活动构造的关系。

编制近场区地震震中分布图时,应注意区分历史地震和仪器记录地震,对破坏性地震,应标明发震时间和震级。

分析地震的空间分布特征,应特别注意强地震与构造活动、中小地震震中分布的成带性和成丛性与构造活动的关系。

6.2.4 I 级工作,应利用震源机制、小地震综合断层面解资料,进行局部构造

应力场分析。

局部构造应力场分析有助于发震构造及其活动性质的判识。因此，应利用震源机制、小地震综合断层面解资料，来确定近场区的局部构造应力状态。

如果近场区内仅有单个地震震源机制解，则应该在地震构造图上将该震源机制解图表示在震中位置上，表明震中所在地的发震断层性质。实际上多数情况是近场区内缺少可靠的单个地震震源机制解，若该地有相当数量的区域地震台网资料，则可以利用小震综合断层面解资料作为补充，以反映地区的平均构造应力状态。

6.3 地震构造

近场地震构造评价的工作重点是对主要断层进行活动性鉴定，目的是为了判识相关的发震构造，确定其空间位置和有关活动性参数，为工程场址的地震危险性分析和地震地质灾害评价提供依据。

发震构造是指曾发生和可能发生破坏性地震的地质构造。根据工程场地地震安全性评价工作的实践经验，发震构造应包括两种类型：一类是已经发生过破坏性地震（包括古地震事件）的地质构造，这一类地质构造根据历史地震重演原则，应判定为发震构造。另一类是尚未发生过破坏性地震，经过野外调查也未见有古地震遗迹，但根据区域强震构造标志经过构造类比，表明其与已知发震构造具有相类似的地质构造条件，可能发生破坏性地震，这一类地质构造，也应判定为发震构造。

实际上，第一类发震构造也可以称为“已知的发震构造”，第二类发震构造也可以称为“预测的发震构造”，其判定的难度更高，所需的实际材料和证据往往需要通过艰苦细致的野外调查、现场勘测和合理科学的分析推证才能获得。

需要强调指出的是，破坏性地震并非都与已知的发震构造有关，特别是震级较小的破坏性地震，也有相当一部分在发震地点上是随机的。因此，在实际工作中不可以仅仅根据较小震级的破坏性地震与已知地质构造在空间位置上的某种相关性，就将这一地质构造简单地判定为发震构造。

活动断层是指晚第四纪以来有活动的断层。根据目前地震安全性评价的经验，活动断层均应判定为发震断层，一些没有确切或充分证据表明其不是活动的断层，也可能判定为发震断层。这是由于在构造和地震活动较弱的地区，断层新活动的地质地貌迹象不明显，新活动的确切证据难以获得，或者由于种种原因造

成断层断代测定数据不可靠等因素所致。因此，一般地说可以允许 5.5~6.0 级潜在震源区中发震构造不是判定为活动断层的现象存在。

相应地，某些具有小震甚至是中等地震活动的断层，尽管有证据可以将其判定为发震构造，但却不一定是“活动”的断层。

地震活动断层在 GB 50267-1997《核电厂抗震设计规范》定义为“可能发生破坏性地震的断层”。这个定义从地震本身出发，着眼于断层是否具有“地震活动”的特性，并且要求断层的地震活动需具有工程作用的意义。这个定义与本标准中的发震构造的内涵是一致的。

6.3.1 应收集第四纪地质和地貌资料，分析第四纪构造活动特点。Ⅰ级工作应进行现场勘察，编制第四纪地质构造剖面图和平面图。

近场区第四纪构造活动特点的分析，是评价近场区构造与地震活动环境，并进行发震构造条件分析的基础。近场区第四纪构造活动特点包括：构造活动的性质（如均匀沉降，**拗陷**，断陷，均匀抬升，断隆等）、活动的程度（如缓慢、强烈或稳定、不稳定等）和活动的主要表现形式（地质与地貌方面的响应）。

收集资料的范围应视近场区在新构造单元中的位置而定，以能说明问题、反映特点为原则。相应的地质地貌图件的比例尺可以依选定的范围不同而具体确定。这种图件相对近场区范围而言可以是非对称的。

分析的内容主要是第四纪地层（时代、分布、厚度等）和地貌面（夷平面、剥蚀面、台地、阶地）的划分和时代的判定等，并建立第四纪地层剖面，重点分析与断层第四纪活动有关的地质地貌现象。

工作方法可以收集现有资料为主，但对反映断层最新活动时代及其活动性质有关的地质地貌资料和现象应在野外近场区地震地质调查中予以查验，并开展相应的补充调查工作。

分析工作的深度应视现有资料的丰富及可靠性程度并对说明近场区第四纪构造活动特点的必要性而定。一般地说，在第四纪构造活动微弱的地区，可以通过充分收集、利用现有资料，适当补充工作，达到评价目的；在第四纪构造活动强烈并且差异性显著的地区，特别是对与断裂最新活动有关的地质地貌现象，应通过补充现场调查，达到评价目的。

6.3.2 应对主要断层进行详细的活动性鉴定，包括活动时代、性质、运动特性和分段等，并判定其最大潜在地震的震级。

近场区主要断层的活动性鉴定,是近场区地震构造条件评价的主要依据,直接影响到工程场地地震安全性评价结果的科学性、合理性和针对性。

近场区断层活动性鉴定的对象是“主要断层”,一般是指:

- a) 区域地震构造图上有标示的区域性断层;
- b) 长度大于 10km 或大于 15km 的断层;
- c) 对其活动时代的认识有分歧,并且可能影响到场地地震风险分析结果的断层;
- d) 晚更新世以来有活动迹象的断层;
- e) 通过场址区并且与工程场址区安全性评价相关的断层;
- f) 与破坏性地震特别是 $M \geq 6$ 级地震在空间位置上相关的断层;
- g) 与现代小震密集活动或条带状分布相关的断层;
- h) 可能延伸到近场区内的活动断层;
- i) 指向工程场地,并且可能对工程场址区安全性评价有所影响的断层。

近场区主要断层活动性鉴定的内容包括:

- a) 断层的活动时代。断层活动时代的鉴定是判定该断层是否是发震构造,是否对场址区拟建工程产生重要影响,不能改变路由的管线工程是否采取相应的抗断措施的主要依据。

断层活动时代的鉴定,应鉴别其是否属“活动”断层。对活动断层应进一步鉴别它是晚更新世的活动断层,还是全新世的活动断层。这两类活动断层在判定潜在震源区震级上限及确定不同震级档地震活动性参数中的应用,在中国东部和西部地区应有所区别。

晚更新世以来没有活动的断层,应鉴别其是“前第四纪断层”,还是“早第四纪断层”。对于前第四纪断层,工程地震危险性分析时可不予考虑。对于早第四纪断层,应尽可能进一步鉴别其是“早更新世断层”还是“中更新世断层”。应重视中更新世断层在中国东部地区作为发震构造的可能性。

应该强调指出:对于活动断层,仅仅鉴别出其最新活动时代往往还不能满足工程场地地震安全性评价的需要,还应根据工程的需求,进一步确定活动断层的活动量、活动速率和几何产状等有关参数。

- b) 断层的活动性质。对于活动断层而言,其活动性质是划分相关潜在震源区并确定其震级上限的重要依据。潜在震源区范围与边界的确定,与活动断层的

性质（包括产状）密切相关。在近场区发震构造评价工作中，应通过野外现场调查或采用成熟技术方法的探测，查明活动断层的活动性质，鉴别出正断层、逆断层、走滑断层、正-走滑断层、走滑-正断层、逆-走滑断层、走滑-逆断层等。

c) 断层的运动特性。断层的运动包括“蠕滑”和“粘滑”两种特性。以地震的方式释放的能量往往只占活动断层应变积累的一部分。

中国西部一些晚更新世有过明显活动的规模较大的断层，其上未发生过强震，相应的潜在震源区的震级上限也不高，这是工程场地地震危险性分析需要考虑的问题的一方面。另一方面，当活动断层上未发生过历史强震事件、也未发生古地震事件时，依据其活动量或活动速率等有关参数，评估其一次地震地表同震位移量时，也需要考虑活动断层的运动特性，即需要确定活动断层的粘滑量与蠕滑量的比值。

d) 断层分段性。断层的分段性是确定相应潜在震源区边界及其震级上限的主要依据。断层的分段性研究包括活动性分段和破裂分段两方面的内容。

活动性分段主要包括活动时代与活动性质分段。断层活动时代的差别是断层分段性活动最为显著的标志，在调查中，应当首先加以鉴别，判定“活动的段落”和“不活动的段落”。对于活动的段落，还应视工程的需要和可能性，进一步对其最新活动时代以及活动性质的差别加以细分。

破裂分段是一项难度很大，专业性更强的具有研究性的工作。由于它具有较大的不确定性，只有在工程必需的情况下，可进行专题性研究。

进行主要断层活动性鉴定，应遵循以下原则：

a) 收集、分析、利用已有研究和鉴定结果，辅以现场查验、调查。经过有关地震行政主管部门和学术评审机构认定的研究和鉴定结果应予吸收采用。未经认定或有争议并且可能影响到工程评价的资料和结果，应进行现场查验和补充调查；

b) 可能对工程场地地震危险性分析有明显作用的主要断层，应通过现场实地调查与勘测进行查验和补充工作，以获取更为详细、可靠的实际资料；

c) 应编制近场区实际材料图。实际材料图应如实反映已有资料和本次工作的情况。实际材料应具有可查性（如勘测报告等）；

d) 引用的关键数据、研究成果、鉴定资料、地质剖面等均应有明确的原始出处，并且需对其作适用性和可靠性的分析论证；

e) 对场址区相关的已知断层, 应有实际材料论证其活动性。已有的证据不足以鉴定其活动性者, 应作现场实际工作, 获取必需的证据。

进行主要断层活动性鉴定, 应以地质地貌学的调查分析方法为主。在进行地质地貌调查与分析时, 应注意:

a) 宏观入手。如断层所在地区的新构造活动背景、断层与第四纪新地层的关系、断层与地貌面的关系、断层的构造地貌特征等;

b) 微观取证。仅根据宏观现象说明断层的活动性是不足取信的, 应选择典型地段和典型部位, 通过现场调查, 获得断层活动性确切的地质地貌证据;

c) 精细分析。对于活动断层, 应采用断层地貌分析、断层活动性参数确定、古地震探槽、活动性分段、活断层填图、新年代学测定等多种技术方法进行现场调查取证, 必要时进行活断层填图, 详细鉴定其活动性;

d) 综合判定。应综合地震活动性、现代构造应力场等不同学科的资料, 综合断层活动性的宏观及微观资料, 进行断层活动性的综合判定。

断层活动时代的鉴定, 是近场区地震和地质工作的核心内容, 在鉴定的技术方法上, 应注意:

a) 断层断代应以被断错地层、地貌面以及上覆地层、未受断层活动影响的地貌面的新地层年代学调查、分析、对比结果为主, 并参考断层物质样品的年龄测定结果;

b) 在不能通过断层上覆地层和被错地层的时代较准确地判定断层最新活动时代时, 不可仅用一个或两个断层泥年代鉴定数据, 简单地判定所要鉴定断层的最新活动时代。这种情况下, 应根据近场区内断层地质地貌特征, 断层物质结构、年代测定数据等, 通过综合分析推定断层的最新活动时代;

c) 应采集断层上覆第四纪地层和断层内部物质样品, 进行室内年龄测定;

d) 应在野外实地观测识别的基础上, 采集反映断层最新一次活动的年龄样品。

断层最新活动时代的鉴定, 在很大程度上要借助甚至依赖于新年代学测定技术。年代测定方法选择上应因地制宜, 有所侧重, 同时又尽可能采用多种方法进行综合测年。一般来说, 对有第四纪地层出露的地区, 可采用放射性碳(^{14}C)法、释光法、孢粉分析法; 对基岩地区的断层泥的测年可采用释光法、电子自旋共振(ESR)法、钾-氩(K-Ar)法和电镜(SEM)扫描法等。

采用放射性碳 (^{14}C) 法测年时应注意:

- a) 适用于测量距今 300 年至 5 万年含碳 (植物、木头、泥炭、淤泥、贝壳、无机碳酸盐等) 物质年龄, 其测量精度为 1%~2%, 一般误差为 50~200 年。
- b) 采集样品时, 要避免采集经过再搬运、再堆积的样品, 避免采集受到现代植物根系“现代炭”和煤、变质页岩、泥岩、石灰岩等“死碳”污染的样品。
- c) 样品应暗盒密封并尽快送实验室。

采用释光 (TL、OSL) 法测年时应注意:

- a) 适用于测量距今几百年至 20 万年的含石英、长石并经过曝光的各类碎屑沉积物或火山及烘烤过的物质年龄。
- b) 在野外采集、包装、运输过程中应处于避光状态。

采用电子自旋共振 (ESR) 法测年时应注意:

- a) 适用于测量距今几千年至 200 万年的淀积和结晶物质 (如次生和原生碳酸盐、方解石、动物牙齿等)、受热受压样品 (如火山和烘烤过的物质、断层泥) 的年龄。
- b) 断层泥样品要求其形成是受到一定强度压力的作用, 并且应是最后一次强烈活动的样品。

应该强调指出, 各种测年方法均有特定的测定对象、适用的时间段及专门的采样要求, 野外操作中应严格对待。

近场区主要断层活动性鉴定的工作深度, 应注意满足下列要求:

- a) 对于活动的断层, 应鉴定出最新活动年代, 给出其规模、产状、活动性质、活动性参数、古地震事件、最大同震位移、分段性等方面的鉴定和分析结果, 并综合判定其最大潜在地震的震级。
- b) 对于 $M \geq 6$ 级的强地震事件, 应确定其是否与已知的活动断层有关; 应判定其发震构造。
- c) 对于一些特殊类型的工程, 如核电厂、大 I 型水电工程等, 场址区存在活动断层时, 应选择合适的范围, 编制比例尺不小于 1:50000 的场址区断层活动性分布图。

6.3.3 在覆盖区, 已有资料不能确定已知主要断层的活动时代时, 应选用地球物理、地球化学、地质钻探和测年等手段进行勘查。

对近场及其邻近地区没有地表可观测的地质露头的断层, 同时出现以下情况

时，应选用地球物理、地球化学、地质钻探和测年等手段进行勘查。

- a) 主要断层，而非次要断层；
- b) 有相应证据表明其存在的已知断层；
- c) 已有资料不能确定其活动时代。

当已有资料表明已知隐伏的主要断层可能是活动断层时，应尽可能按 6.3.2 条款的要求进行。

隐伏断层的活动性鉴定一般应遵循以下步骤：

a) 进行隐伏断层位置的初步探测。根据航、卫片判读和已有的地质、地貌、化探、物探、钻探资料进行综合分析，初步推测断层的位置、延伸和展布形态，然后选择适宜的探测手段，布置探测路线；

b) 进行隐伏断层的综合探测。在初步推测出断层的大体位置后，进一步的工作按照先粗后细的原则，选择合适的物探或化探方法，初步确定断层位置。再进行浅层物探，如浅层地震勘探、地质雷达等，以查明隐伏断层的确切位置和断距；

c) 根据具体情况进行钻探和槽探，进一步帮助确定断距、断面、断错地层及上覆地层，并采集合适的样品，综合分析其活动性。

隐伏断层活动性鉴定的技术方法，应说明下列问题：

- a) 隐伏断层位置确定的依据及确定的精度；
- b) 所用技术方法和探测仪器的精度和可靠性；
- c) 上断点埋深和断距所在时代确定的依据。

6.3.4 宜收集地壳形变和考古资料，分析现代构造活动特点。

由于地质形变资料和考古资料具有很大的局限性，使用这两方面的资料时，应采取慎重的态度，应十分注意非构造活动因素的作用和影响。只有经过查验、分析论证后，才可以应用于说明构造活动性。

6.3.5 I 级工作应在工程场地及其外延 5km 的范围内进行能动断层鉴定。

场区 5km 范围内的能动断层鉴定，是 I 级工作中的一项关键性的工作，它关系到所选厂址是否适宜的问题。根据《核电厂厂址安全规定》（核安全导则 HAF0100）中 4.4.4 条的规定：“如果所推荐的厂址位于能动地表断层带内，除非证明所采用的工程措施是切实可行的，否则必须认为这个厂址是不合适的。”

有关能动断层的定义、鉴定标准和鉴定能动断层所需的调查要求见《核电厂

厂址选择中的地震问题》[核安全导则 HAF0101 (1)]。

6.3.6 应编制近场区地震构造图，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) 活动断层的性质；
- 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。

编制近场区地震构造图应达到下列技术要求：

a) 主要断层的活动时代应按前第四纪、早第四纪 (Q_1-Q_2)、晚更新世、全新世 4 种图例表示。在中国东部地区，与地震构造判定、潜在震源区划分可能相关的中更新世断层，应与早更新世断层相区别。

b) 对于第四纪以前活动的区域性断层以及与场址区关系密切的主要断层，宜表现在近场区地震构造图中，以充分反映近场区的构造格架及主要断裂活动性鉴定的结果。

c) 对活动断层，由于其活动性质与工程的抗断评价、潜在震源区边界及震级上限的确定均密切相关，应按剪切（走滑）、拉张（正断）及挤压（逆冲）三种主要力学（运动）类型标示在地震构造图中。

d) 第四系应尽可能按 Q_1 、 Q_2 （或 Q_{1-2} ）、 Q_3 、 Q_4 以不同图例表示，特别是主要断层两侧相关的第四系分布，应加以细分，尽可能详细地表现其实际情况。

e) 应反映第四纪盆地的范围及活动性质，尽可能给出第四系等厚线。

f) 破坏性地震应有震级、发生时间的标注。

6.4 综合评价

综合评价的目的是为了给近场区地震活动性和地震构造评价的基本结论。其必要性主要体现在如下几个方面：

a) 近场区的地震活动性和地震构造的调查、分析结果，需要与区域性分析评价结果相结合，才能更准确地判定近场和场址区在区域总体地震构造框架和地震活动性空间图像中的地位，更恰当地把握近场区的发震构造及其潜在地震危险性。

b) 地震活动性与地震构造两个方面的资料和分析评价结果，需要进一步的结合，相互补充印证。

c) 归纳出工程场地地震安全性评价有关的基本评价结果。

综合评价的深度应达到：对场址区安全性可能产生影响的主要断层给出明确的鉴定结论；判定发震构造，给出其震级上限。

6.4.1 应综合评价近场区地震活动特征。

地震活动特征综合评价，应包括以下结论：

a) 历史强震或疑难地震的调查、复核结果，明确已知破坏性地震的震中位置和强度；

b) 现代地震观测台网记录的地震资料概况，包括起始震级、最大地震、资料可靠性等。对 I 级工作，需论述重新定位后的地震情况；

c) 地震活动和近场地震构造之间的关系，以及在区域地震活动趋势背景下的近场区未来地震活动水平；

d) 对 I 级工作，应给出近场区现代构造应力场特征及断层活动性质。

6.4.2 应综合评价近场区发震构造。

发震构造综合评价，应包括以下结论：

a) 近场区所处的大地构造位置及其新构造活动的强度与特点；

b) 近场区第四纪构造活动的强度及特点；

e) 近场区主要断层活动性的鉴定结果及对工程场地的影响性评价；

f) 近场区相关的发震构造及其震级上限的综合判定结果；

h) 工程抗震设防所需的断层或发震断层的有关参数。

第七章 工程场地地震工程地质条件勘测

场地地震工程地质条件是指对场地地震效应产生影响的场地条件,大致包括场地内及附近地区的工程地质、水文地质、地形地貌、地质构造条件及场地土体物理与力学特性等。场地地震工程地质条件资料是确定场地设计地震动参数和评价场地地震地质灾害的基础。场地地震工程地质条件勘测的内容包括:在分析现有资料的基础上,进行场地钻探及场地土体物理与力学特性测试,编制相关的工程地质图、表,综合评价场地特性。

7.1 场地勘测

7.1.1 场地范围应为工程建设规划的范围。

对于小区划工作,场地范围可取区划所覆盖的范围;对于 I、II 级工作,场地范围可取其建设工程所覆盖的范围。

7.1.2 应收集、整理和分析相关的工程地质、水文地质、地形地貌和地质构造资料。

收集、整理、分析工程场区及附近地区已有的工程地质勘查资料,为场地勘测的钻孔布设、钻孔深度确定,以及开展必要的原位测试工作提供依据。

应充分利用工程可行性研究报告中勘察阶段或初步勘察阶段的工程地质勘查资料。通过收集、整理、分析这些资料,再结合场地及附近地区已有的工程地质和水文地质勘查结果,便可以对场地的工程地质概况有个基本的了解。

7.1.3 应进行场地工程地质条件调查、钻探和原位测试。

场地工程地质条件调查包括:查明工程场地的地貌、地层、岩性、地质构造、水文地质条件、场地土类型和场地类别等。

在调查的基础上,合理布设钻孔,开展场地钻探。钻探方法根据地层类别,按采取不扰动土样的要求确定,钻探要求可按规范 GB 50021-2001《岩土工程勘察规范》确定。钻探要有野外详细编录,一般要连续取芯钻探,钻探成果可用钻孔柱状图表示,可拍岩土芯彩照纳入勘察成果资料。

原位测试可根据 GB 50021-2001《岩土工程勘察规范》的相关要求进行,给出的物理力学指标包括:天然含水量、密度、天然密度、干密度、饱和度等。对于可能发生饱和土液化的场地,应给出地下水位、标准贯入锤击数、粘粒含量

资料等。

7.1.4 应编制钻孔分布图及柱状图。

编制钻孔分布图，需选择与场地规模相应的比例尺图件。钻孔柱状图的比例尺视土层结构复杂程度而定，一般用 1:1000 至 1:100。

任何钻探与原位测试都会存在一定的误差，在场地土层地震反应分析模型中，应合理地使用这些钻探测试结果，以减少直接使用钻探和原位测试结果进行土层地震反应分析引起的偶然误差，使其结果更趋合理。通常可在前面工作的基础上，对场地工程地震地质条件进行综合评价，建立相应的工程地质综合剖面，可用图表的形式描述，包括层序号、层底埋深(m)、层厚(m)、土类名称与土质描述、剪切波速(m/s)、纵波波速(m/s)、密度或容重(g/cm^3)等。

7.1.5 地震小区划应编制工程地质分区图。

地震小区划重视场地工程地质条件，特别是局部场地条件对地震动的影响。因此，为计算局部场地条件的影响，需要对小区划场地范围内的工程地质条件进行详细分析，以补充场地勘测的直接资料。

在进行地震小区划场地勘测之前，先利用已有的工程地质勘察资料，进行工程地质单元划分，也就是将场地地震效应相同或相近的地质单元进行归类合并，然后再根据工程地质单元情况，进行场地勘测。这是因为，对于具体场地而言，地质成因、物质组成及其物理力学特性相同或相近的地质单元，在地震动影响方面也具有相同或相近的作用，因此，进行场地工程地质单元划分，既保证了地震小区划结果的科学和合理性，又降低了场地勘测的成本。

基于地震小区划的精度要求，应编制一定比例尺的工程地质单元划分图，比例尺宜为 1:100 000 至 1:50 000。在工程地质单元划分图中，重点要突出工程地质单元划分要素，包括钻孔位置、井口标高(m)、钻孔深度(m)、覆盖层厚度(m)，以及古河道、古湖塘等，也要包括相应比例尺的地形、地貌、村镇、街道、河流等。

7.1.6 钻探应符合下列规定：

a) I 级工作应有不少于三个深度达到基岩或剪切波速不小于 700 m/s 的钻孔；

之所以规定应有不少于三个钻孔来控制场地的土动力参数，是为了减少钻孔测试中的不确定性影响，使最终评价的工程地震地质条件能够较真实地反映场地

特征。

对 I 级工作,为了保证土层地震反应分析的精度,要求钻探须揭示出土层下卧基岩层,选择基岩层顶面作为地震输入界面。同时规定,如果钻探未能揭示出土层下卧基岩层,则应选用剪切波速不小于 700m/s 的土层顶面作为地震输入界面。其依据是,根据岩性与波速的对应关系,大部分基岩的剪切波速在 700m/s 以上,目前这一结论已为工程界所公认和采用。

b) II 级工作的钻孔布置应能控制工程场地的工程地质条件,控制孔应不少于两个;地震小区划钻孔布置应能控制土层结构和工程场地内不同工程地质单元,每个工程地质单元内应至少有一个控制孔;

工程重要性的不同,场地条件对地震反应分析过程中选取精度的要求也不同,在 II 级工作中,地震动影响分析对场地条件的精度要求低于 I 级工作,所以要求至少要有两个控制孔,这样既能合理地评价场地工程地震地质条件,减少钻探测试中的不确定性影响,又合理地降低了勘测工作量。对地震小区划工作,规定按工程地质单元来布设控制钻孔数,也是为了在满足地震小区划要求的前提下,尽可能节省场地勘测工作量和费用。

c) II 级工作和地震小区划,控制孔应达到基岩或剪切波速不小于 500 m/s 处,若控制孔深度超过 100 m 时,剪切波速仍小于 500 m/s,可终孔,应进行专门研究。

对于 II 级工作和地震小区划,当钻探已揭示出土层下卧基岩层时,应选择基岩层顶面作为地震输入界面;如果钻探未能揭示出土层下卧基岩层,应选用剪切波速不小于 500m/s 的土层顶面作为地震输入界面,这一规定的依据是 500m/s 的剪切波速值实际上相当于工程中的坚硬土层的经验剪切波速值,目前已为工程界所公认和采用。同时要求:若控制孔深度超过 100m 时,剪切波速仍小于 500m/s 时,可终孔,应进行专门研究。作出这一规定的原因是,对于这种情况的场地,若要求钻孔深度达到基岩或剪切波速大于等于 500m/s 处,钻孔深度将过深,从而大大增加钻孔施工的难度及工程费用。应进行专门研究,指的是需根据物探等其它手段或邻区相关深孔资料确定基岩输入面等。以上要求可以满足建立场地土层地震反应模型的需要。

7.2 地震地质灾害场地勘查

通过对历史地震资料的考证、调查与分析,查明工程场地及附近地区有没有

遭受过地震地质灾害，以及灾害的类型和程度等。在此基础上，参照与建设工程相关的勘察设计规范或工程地质勘察结果进行地震地质灾害场地勘查，为评价场地可能发生的地基土液化、软土震陷、崩塌、滑坡、地裂缝和泥石流等地震地质灾害提供资料。

7.2.1 地基土液化

应调查历史地震造成的液化现象，勘查地下水位、可能液化土层的埋藏深度，测定标准贯入锤击数和颗粒组成。I级工作应符合 GB 50267-1997 中 5.3 条的规定。

在历史地震资料考证、调查与分析的基础上，判别场地是否存在能产生液化的饱和砂土地基。

应调查地下水位、标准贯入锤击数、粘粒含量、可液化地层厚度、非液化地层厚度等资料，并进行剪切波速测试。

7.2.2 软土震陷

应收集和调查软土层厚度分布及软土震陷等资料。

软土主要包括淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性土层。软土震陷与土的静承载力标准值的大小有关，经验表明，地震烈度Ⅶ度及Ⅶ度以下时，产生有害震陷的实例很少，可不开展软土震陷调查工作。

除收集和调查场地软土厚度分布等资料外，还应收集软土的物理性质和钻孔剪切波速测试资料。

7.2.3 崩塌、滑坡、地裂缝和泥石流

应收集和调查地形坡度、岩石风化程度、古河道、崩塌、滑坡、地裂缝和泥石流等资料。

崩塌资料的调查和收集包括：崩塌类型、规模、范围、崩塌体的大小和崩落方向，崩塌区的地形地貌、岩性特征、地质构造、水文气象等资料。

滑坡资料的调查和收集包括：滑坡的类型、范围、规模、主滑方向、形成原因和稳定程度，以及场地的易滑坡地层分布与山体地质构造、地貌形态等资料。

地裂缝资料的调查和收集包括：场地裂缝发育的规模、特征和分布范围，分析形成裂缝的地质环境条件（地形地貌、地层岩性、构造断裂等），以及产生地裂缝的诱发因素（地下水开采）。

泥石流资料的调查和收集主要内容有工程场地及其上游沟谷、邻近沟谷形成

泥石流的条件，包括地形地貌、水文气象和地下水活动情况、地层岩性、地质构造等，查明形成区断裂、滑坡、崩塌等不良地质现象的发育情况及可能形成泥石流固体物质的分布范围。

7.2.4 海啸与湖涌

I 级工作应收集历史海啸与湖涌对工程场地及附近地区的影响资料。

对于 I 级工作，应对场地及附近地区是否存在历史地震引起的波浪影响进行调查与分析，并收集工程场地所在地区的地震构造环境、地理环境、以及已有水坝的设防标准等。

7.2.5 地表断层

应收集地震引起的地表和近地表断层的分布、产状、活动性质、断层带宽度、位错量及覆盖层厚度等资料。

在近场区和场区地震构造分析的基础上，要注意收集地震引起的地表和近地表断层的分布状况，比如展布位置方向、产状、活动性质、断层带宽度、位错量及覆盖层厚度等资料。

7.3 场地岩土力学性能测定

场地岩土力学性能测定是确定场地力学模型的关键，模型力学参数是用场地土静力与动力参数测定结果确定的。本节对场地土静力与动力参数的测定作了具体规定。

7.3.1 应进行分层岩土剪切波速的原位测量和密度的测定。

在开展场地工程地质条件勘测钻孔的同时，应进行钻孔分层岩土剪切波速的原位测量和样品密度测定，给出场地钻孔剖面岩土分层剪切波速和密度随深度的变化值。

开展钻孔分层岩土波速的原位测量，是为了获得实际场地条件与环境下的土层波速资料，确保场地地震反应计算中所建立的场地力学模型的合理性。其测量方法可采用单孔检层法或跨孔法，但测量间距不得大于 2m，在地层分界面附近应加密测点，以便得到较合理的波速剖面。

本条款是针对陆地工作制定的，对于一些深水区域如海域中的工程场地，由于波速原位测量的作业条件难以满足，致使波速原位测量精度较低，在此情况下，可在场地钻孔时获取分层岩土原状土样，利用室内模拟土层埋设环境下的土样波速测试手段测定钻孔分层岩土波速值。

7.3.2 应测定剪变模量比与剪应变关系曲线、阻尼比与剪应变关系曲线。Ⅰ级工作应对各层土样进行动三轴和共振柱试验；Ⅱ级工作和地震小区划应对有代表性的土样进行动三轴或共振柱试验。

场地工程地质条件钻孔勘测时，应获取钻孔分层岩土的原状土样，并进行土样动力特性测试试验，即土样动三轴试验、共振柱试验，为场地地震反应计算中合理地考虑场地土体的非线性特性影响提供剪变模量比与剪应变关系曲线、阻尼比与剪应变关系曲线数据。

Ⅰ级工作应对钻孔揭示的各自然分层土取样，并对土样进行动三轴和共振柱试验，但对于较薄、难以获得原状土样的夹层土可不取样；Ⅱ级和地震小区划工作应对钻孔揭示的自然分层中有代表性土层的土样进行动三轴或共振柱试验。

土样动三轴或共振柱试验，可获得土体动力非线性特性参数，动三轴试验一般给出的有效试验值是较大剪应变范围（大约为 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 量级）的值，共振柱试验一般给出的有效试验值是较小剪应变范围（约为 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 量级）的值。因此，Ⅰ级工作要求动三轴试验和共振柱试验都做，共同确定大小剪应变范围（约为 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ 量级）的剪变模量比和阻尼比值，以确保提供较为准确的数据；而Ⅱ级和地震小区划工作采用动三轴或共振柱试验来确定剪变模量比和阻尼比值，这一作法既可提供相对合理的剪变模量、阻尼比数据，同时又考虑了工作量和经济性问题，在这一情况下，试验有效值范围外的剪变模量比和阻尼比值可由经验公式外推获得。

7.3.3 进行竖向地震反应分析时，应取得纵波速度值、压缩模量比与轴应变关系曲线、阻尼比与轴应变关系曲线。

一些工程的抗震设计需要考虑结构的竖向地震反应，则必须确定场地竖向地震动参数。因此，应取得分层土体纵波波速、压缩模量比与轴应变关系曲线、阻尼比与轴应变关系曲线。

对于需要进行竖向地震反应分析计算的工程场地，应利用动三轴、共振柱试验获取土样的压缩模量比与轴应变关系曲线、阻尼比与轴应变关系曲线数据。

第八章 地震动衰减关系确定

地震动是地震波引起的地表附近土层的振动。烈度是最早用来表示地震动特性的参数,但更为合理的表示地震动工程特性的地震动参数一般认为至少应包括以下三种,即地震动幅值(加速度、速度、位移)、谱型(反应谱的形状)及强震动持续时间(简称持时)。不同的地震动参数有不同的衰减规律,例如峰值加速度、峰值速度与反应谱值都是随震级加大而加大,随距离增加而减小的,一般用公式或表格来表示。

确定地震动衰减关系是地震安全性评价工作的重要环节。在区域和近场地震地质和地震活动性评价的基础上,无论是用地震危险性的概率分析方法,还是用确定性分析方法,都需要利用地震动衰减关系,来计算工程场地的地震动参数。

在确定地震动衰减关系的过程中,有一些关键的技术问题需要特别加以重视,包括确定的地震动衰减关系是否针对工程场地地震环境,是否针对工程特点,不同地震动参数的衰减关系是否匹配等。这些问题直接关系到所确定地震动衰减关系的合理性,进而影响到地震危险性分析结果的可靠性。

确定地震动衰减关系主要包括以下步骤:

- a) 资料收集;
- b) 衰减关系模型确定;
- c) 地震动衰减关系统计回归;
- d) 缺乏足够强震动观测数据地区可采用转换方法或类比方法确定地震动衰减关系;
- e) 地震动衰减关系适用性分析。

8.1 基础资料

目前,地震动衰减关系的确定一般采用经验方法,即根据地震烈度资料和强震动观测资料,用统计方法得到相应的地震动参数衰减关系。对于用转换方法来确定地震动衰减关系,也需要用地震烈度资料来建立本地区的地震烈度衰减关系,用仅有的少量强震动观测资料来论述地震动衰减关系的适用性。因此,基础资料的收集是十分必要的。

8.1.1 应收集区域及邻区的等震线图或地震烈度资料。

收集区域及邻区等震线或地震烈度资料主要用于建立地震烈度衰减关系,以及用于论述地震烈度和地震动衰减关系的适用性与合理性。在收集地震烈度资料时应注意以下几点:

a) 地震烈度资料有两类,一类是等震线资料,另一类是原始烈度点资料。等震线是根据原始烈度点的资料勾绘成的比较平滑的曲线。在研究地震烈度衰减关系时,应正确理解这两类资料。按照等震线求得的烈度衰减关系一般为烈度外包线衰减关系,不同于用原始点求得的烈度衰减关系。因此,应注意资料的匹配问题,特别是在用转换方法确定地震动衰减关系时,除了要确认我国与参考地区的地震烈度标度有可比性外,所使用的烈度衰减关系还要求来自于同一类烈度资料。如果本地区的烈度衰减关系是用等震线资料求得的,则参考地区的烈度衰减关系也应用等震线资料求得的。

b) 正确理解“区域及邻区”的概念。不同地区的地震烈度有不同的衰减规律,但这里的地区并不是行政上的概念,而是地震构造上的划分。之所以要将收集的区域扩大到邻区,是因为区域范围内的地震样本较少,不足以稳定地用经验方法求得衰减关系,因此将收集资料的范围扩大到与本区有相似地震地质和地震活动性特征的邻区是必要的。

c) 在收集地震烈度资料时,要选用国家正式出版物、地震考察报告等权威性资料。

8.1.2 应收集区域及邻区的强震动观测资料。

收集区域及邻区的强震动观测资料主要用于建立地震动衰减关系和论述地震动衰减关系的适用性与合理性。我国大陆由于强震台站相对稀少,获得的有工程意义的强震动记录虽然不多,但极为宝贵,应注意收集利用。在收集强震动资料时应注意以下几点:

a) 强震动资料的完整性。完整的强震记录资料应包括地震资料(时空强参数、震源机制、破裂过程等)、台站位置与场地条件资料、强震仪仪器特性、校正记录所用的滤波器特性等。

b) 注意强震资料的适用范围。由于模拟式强震仪特别是早期强震仪的仪器特性较差,这类强震记录通常存在丢头现象、记录长周期地震动的能力不强、动态范围较小等问题,它们可使用的周期范围很窄,因此,对于近年来数字式强震仪的强震记录要着重收集和使用。

c) 由于国内强震记录较少, 因此要注意收集与所研究区域有相似地震活动性、地震地质和场地条件特征的国外一些地区的强震记录, 用于求取地震动衰减关系, 或对所确定的地震动衰减关系进行适用性分析。

8.2 基岩地震动衰减关系

工程场地地震安全性评价工作一般是在地震地质和地震活动性评价的基础上, 用地震危险性分析方法得到基岩场地的地震动, 再通过场地地震反应分析, 得到场地相关的地震动参数。因此, 基岩地震动衰减关系的确定是十分重要的。

8.2.1 在基岩地震动衰减模型中, 应考虑地震动峰值加速度和反应谱的高频分量在大震级和近距离的饱和特性。

地震学理论和地震动强震记录反映出地震动的峰值以及反应谱的高频分量存在着近场大震饱和特征, 即它们随震级增大的速度在近场小于远场, 同时衰减关系曲线的形状应与震级相关。地震动衰减模型应该对上述特点有所体现。

可反映近场大震饱和的地震动衰减关系模型一般采用如下形式:

$$\log Y = C_1 + C_2 M + C_3 M^2 + C_4 \log(R + R_0(M)) + C_7 R + \varepsilon \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (8.2-1)$$

其中, $R_0(M) = C_5 \exp(C_6 M)$ 。式中 Y 为地震动峰值或不同周期的反应谱值, M 为震级, R 为距离, 当 Y 为反应谱时各系数 C_i ($i=1, 2, \dots, 7$) 为周期的函数。

式 (8.2-1) 中 $R_0(M)$ 的引入一方面反映了地震动幅值的近场距离饱和范围随震级 M 一同增大, 这也决定了衰减曲线形状与震级相关, 另一方面还在一定程度上反映了近场大震饱和特性。 $C_3 M^2$ 项的引入更充分体现了地震动幅值的大震饱和特性。 C_7 为非弹性衰减系数, 可参照研究地区的介质品质因子 Q 确定, 如果主要是近场影响, 则可以不考虑这一项。其余参数由回归分析确定。 ε 为回归分析的误差项。

8.2.2 具有足够强震动观测资料的地区, 应采用统计回归方法确定地震动衰减关系。

如果区域和邻区有足够多的强震记录, 则建立该区域地震动衰减关系最直接最可靠的方法是统计回归方法。我国大陆已有个别地区有一定数量的强震记录, 在采用统计回归方法确定地震动衰减关系时, 应分析样本量的充足性及震级距离分布的合理性。

8.2.3 缺乏强震动观测资料的地区, 可采用转换方法确定地震动衰减关系。

缺乏强震动观测资料的地区，在确定工程场地所在地区地震动衰减关系时，可根据本区地震烈度衰减关系和有丰富强震记录的参考区的地震烈度和地震动衰减关系转换求得。目前，强震记录主要集中于美国西部、日本和我国台湾地区；地震动与震级、距离的关系主要是美国西部和日本已有的强震动记录统计得来的，由于宏观烈度的衰减关系显示出地区性的差异，所以严格地说，这些经验关系只适用于原地区。在我国缺乏强地震动记录但却有宏观地震烈度资料的地区，可以通过地震烈度的衰减关系得出地震动的衰减关系。其方法为先得本区的烈度衰减关系，然后利用参考区的地震烈度与强地震动观测资料得到烈度与地震动的关系，将烈度换算为地震动，从而得到本区的地震动衰减关系。

美国西部是现在世界上强震记录最多的地区之一，而且其震级与距离的覆盖范围较大，烈度标度也与我国相近，因此一般选用美国西部地区作为参考地区。

在用转换方法确定地震动衰减关系时，应注意以下几点：

a) 本区和参考地区的地震烈度衰减关系应按同一原则确定。在资料选择、处理、衰减关系回归分析时，对本区与参考区也应遵循相同的原则。

b) 地震动衰减关系换算结果的标准差。在概率地震危险性分析中，衰减关系的标准差对危险性分析结果，特别是小概率结果的影响较大。已有研究表明，美国、日本、欧洲地区的地震动标准差相差不大，其常用对数标准差一般在 0.2 ~ 0.3 之间。目前，地震动衰减关系换算结果的标准差一般直接采用参考地区地震动衰减关系的标准差。

在缺乏强震动观测资料的地区，除了用转换方法外，也可以采用其它方法来确定地震动衰减关系，如类比方法、半理论半经验方法等。

8.2.4 应论述地震动衰减关系的适用性，Ⅰ级工作应进一步论证其合理性。

无论是用强震动观测资料直接统计回归得到的地震动衰减关系，还是用转换方法得到的衰减关系，或者是其它方法得到的衰减关系，都需要进行衰减关系的适用性论证。

论述衰减关系适用性可从以下几方面进行：

a) 应分析所选用的衰减关系是否能反映本地的地震地质和地震活动性特征（大震或小震影响、近场或远场影响等），是否能针对工程的结构特性（如超高层建筑、长跨桥梁、大型储液罐等对反应谱长周期部分有特殊要求），并针对这些特征进一步论述衰减关系的适用性。对于长周期衰减关系，还要论证所采用地震

动观测资料的长周期可靠性;

b) 应与常用的衰减关系和本区其它衰减关系进行对比, 并对所获得的衰减关系的特点进行说明;

c) 应将地震动衰减关系与收集的区域和邻区强震动观测资料进行对比, 论述所选用的衰减关系是否适用于本区。

在进行超高层建筑、长跨度桥梁、巨型储液罐等具有较长自振周期的工程的地震危险性分析时, 需要专门研究长周期地震动反应谱衰减关系。这是因为, 用传统强震记录得到的地震动反应谱衰减关系在长周期段是不可靠的。因此, 对于长周期地震动衰减关系, 不宜采用由传统强震记录建立的地震动反应谱衰减关系, 而应使用具有可靠长周期地震动信息的地震观测资料, 确定反应谱衰减关系的长周期部分。同时, 应根据此类大型结构的特点, 合理确定地震动持时等参数。

各项地震动参数的衰减关系应互相匹配一致, 例如, 所使用的烈度衰减关系与用来转换地震动衰减关系的本区烈度衰减关系应为同一个, 峰值加速度、反应谱或其它地震动参数的衰减关系应来源于同一数据集。

对于 I 级工作, 还应进一步论证衰减关系的合理性。应结合对工程场地地震动参数起控制作用的地震震级、距离的确定结果, 侧重论述衰减关系在相应震级与距离档地震动衰减关系的合理性以及标准差的合理性。

8.2.5 强度包络函数应表现上升、平稳和下降三个阶段的特征。

地震动时程的强度包络函数是描述地震动振幅变化的经验函数。强度包络函数主要用于合成基岩地震动时程, 以作为场地地震反应分析的输入, 或根据场地相关谱合成场地地震动时程, 用于工程结构的动力分析。通常强度包络函数已被地震动时程的峰值归一化, 这时时程的峰值、放大倍数反应谱和强度包络函数分别反映了地震动强度、频谱和持续时间三要素。本规范采用的强度包络函数由上升、平稳和下降三个阶段构成。

8.2.6 应确定强度包络函数特征参数与震级、距离的关系。

强度包络函数特征参数一般包括 t_1 (上升段终止时间)、 $t_2 - t_1$ (平稳段长度)、 c (下降段衰减指数) 等。与地震动峰值、反应谱和烈度不同, 强度包络函数中的上升段 t_1 和平稳段 $t_2 - t_1$ 随着震级和距离的增加而增大。这些参数与震级、距离关系, 一般用统计回归的方法确定。强度包络函数一般采用下式:

$$\begin{cases} f_1 = \left(\frac{t}{t_1}\right)^2 & 0 \leq t < t_1 \\ f_2 = 1 & t_1 \leq t < t_2 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (8.2.2) \\ f_3 = e^{-c(t-t_2)} & t \geq t_2 \end{cases}$$

地震动持时参数的确定,应采用地震危险性分析结果与地震动时程合成过程中地震动能量匹配的原则,即以地震危险性分析所得等效震级与距离,以及由地震动持时参数经验统计关系所得的地震动持时参数值作为参考,还应考虑到这些参数值的不确定性,在地震动时程合成过程中,综合考虑地震动反应谱与强度包线参数之间的匹配情况,调整地震动持时参数值,并加以最终确定。

8.3 地震烈度衰减关系

8.3.1 应采用有仪器测定震级的地震烈度资料确定地震烈度衰减关系。

之所以规定应采用有仪器测定震级的地震烈度资料确定地震烈度衰减关系,一是因为历史地震的震级是由震中烈度换算的,不能作为独立参数使用,二是历史地震的记载一般来自县志,其记录的破坏情况往往是以一个县的范围来勾划等震线,不如现代地震调查详细,如果将这些历史地震与仪器记录地震资料混合使用,势必使得到的衰减关系误差增大,可信度下降。因此,在确定地震烈度衰减关系时,应采用有仪器测定震级的地震烈度资料。

8.3.2 地震烈度衰减模型应体现近场烈度饱和并与远场有感范围相协调。

我国的地震烈度等震线特别是高烈度等震线一般表现为近似椭圆形,因此,目前我国的地震烈度衰减关系多使用椭圆模型。采用椭圆衰减模型时,一般要先确定长短轴方向,再对长短轴分别求其衰减关系,最后用椭圆连接起来。

椭圆型烈度衰减关系一般用下述函数表示:

$$I_a = C_{a1} + C_{a2} + C_{a3} \log(R_a + R_{a0}) + C_{a4} R_a \cdot \cdot \cdot (8.3-1)$$

$$I_b = C_{b1} + C_{b2} + C_{b3} \log(R_b + R_{b0}) + C_{b4} R_b \cdot \cdot \cdot (8.3-2)$$

式中,下标 a 和 b 分别表示长、短轴方向。这里应注意,当 R 采用震中距时, R_{a0} 和 R_{b0} 不得取为零,否则在 $R=0$ 时,震中烈度将趋向无穷大。 R_{a0} 和 R_{b0} 的物理意义是考虑震源体尺度的,其作用是使地震烈度在震中区变化缓慢,客观上起到了近场烈度饱和的作用。另外,采用上述衰减模型时要注意满足以下三个条件:

- a) $R_{a0} \geq R_{b0}$, 即震源体的尺度在长轴方向大于短轴方向;

b) 当 $R_a = R_b = 0$ 时, $I_a = I_b$, 即在震中处, 长、短轴方向的烈度应相同;

c) 当 R_a 和 R_b 很大时, $I_a = I_b$, 即在远场时, 震源尺度的影响已很小。这与低烈度等震线和地震有感范围近似为圆形的事实相对应。

8.3.3 应将确定的地震烈度衰减关系和实际地震烈度资料进行对比, 论述其适用性。

在 8.1.1 条中已说明, 为确定地震烈度衰减关系所使用的资料一般为较大区域的, 地震烈度衰减关系是否适用于工程场地所在地区, 还需要与本地区的地震烈度资料进行对比后才能确定。应与常用的地震烈度衰减关系和本区其它烈度衰减关系进行对比, 并对所获得的衰减关系的特点进行说明。

第九章 地震危险性的确定性分析

地震危险性确定性分析方法包括地震构造法和历史地震法,主要用于 I 级工作,如核电厂等重大建设工程项目中的主要工程的相应工作。

9.1 地震构造法

地震构造法包括以下基本内容:一是划分地震构造区和确定弥散地震;二是确定地震构造区内发震构造及其最大潜在地震;三是利用适宜的地震动衰减关系确定工程场地的地震动参数。

9.1.1 应依据地震活动和地质构造划分地震构造区,确定弥散地震。

1. 地震构造区划分

地震构造区是指具有同样地质构造和地震活动性的地理区域。地震构造区的确定是地震构造法的重要内容,它关系到地震动参数确定的合理性。

在具体工作中,须在综合协调分析地质、地震和地球物理场资料的基础上,将地震活动性和地质构造一致的区域,划归同一个地震构造区。这里所说的“一致”主要包括地震活动水平、地质构造格架、新构造、特别是晚第四纪活动构造以及现今构造应力场的一致。

在进行地震构造区划分时应考虑如下原则:

a) 地震构造区应反映大地构造分区的特点,地震构造区内的大地构造格架、性质和发育历史应具有一致性,所划分的地震构造区不应跨越不同的 I、II 级大地构造单元;

b) 地震构造区内的地质构造、新构造、第四纪特别是晚第四纪发育史以及现代构造应力场等特征应具有一致性;

c) 地震构造区内的地震活动性特征应具有一致性;

d) 同一地震构造区具有相同的地壳结构特征;

e) 应侧重工程场地所在地震构造区的划分,并通过详细的分析,说明划分依据。对于相邻地震构造区的划分,当确认其可能存在的弥散地震小于工程场址所在地震构造区最大弥散地震时,其划分可简化;

f) 场地所在的地震构造区应独立封闭。

2. 确定弥散地震

弥散地震是地震构造区内与已确认的发震构造不相关的最大潜在地震，作为地震构造模型的组成部分，是确定核电厂工程抗震设计基础的重要地震类型之一。在地震活动水平不高的地区，特别是弱地震活动区，弥散地震对工程抗震设计基准具有重要影响，因此，对地震构造区内的弥散地震进行合理判定十分重要。

应根据历史地震、地震活动水平、应变释放速率等资料确定弥散地震的震级。

确定最大弥散地震时应考虑如下原则：

- a) 充分收集利用已有的地震和地质资料，进行综合评定；
- b) 应以地震构造区为单元进行评定；
- c) 震级不得低于地震构造区内已被确认为与已知发震构造无关的最大地震震级；
- d) 对于缺乏地震记载的地震构造区，可与地震构造特征相近并具有丰富历史地震资料的地震构造区类比确定；
- e) 工作重点应放在场址所在的地震构造区。

9.1.2 宜根据断层活动时代、力学性质、地震活动性等对活动断层进行分段，确定发震构造。

在区域范围内强震发生的构造条件综合分析结果的基础上，根据地震构造区内断层活动时代、力学性质、地震活动性等资料，并对活动断层进行分段，鉴定出地震构造区内的发震构造。并编制区域范围内发震构造分布图。

一般情况下，发震构造可以以地表或近地表发震断层表示，但在一些中强地震活动地区，特别是在第四系覆盖区，由于中强地震与地表断层的关系不明确，发震构造难以归入一条具体的发震断层，需要考虑发震构造位置的不确定性，宜以一定的范围表示，如包括晚第四纪以来断陷带的范围、晚第四纪以来隆起与断陷的交汇地带、两组构造交汇的范围等。

9.1.3 应根据各断层活动段的尺度、活动特点、最大历史地震和古地震，判定最大潜在地震。

最大潜在地震是指发震构造上可能发生的最大地震，判定原则如下。

- a) 需要从发震构造所处地震活动背景和构造位置对其最大发震能力进行分析，宏观上控制最大潜在地震大小；
- b) 当历史地震可以代表发震构造的最大潜在地震或沿发震构造有古地震地表破裂时，可采用历史地震和古地震震级来评价最大潜在地震；

c) 可以采用活动断层段的规模、活动性定量参数等方面的经验统计关系来评价最大潜在地震；

d) 与已发生强震的发震构造类比确定最大潜在地震。

考虑到地震成因的复杂性，以及地震、地质和地球物理等资料存在不确定性，在评价最大潜在地震时，应尽可能考虑多种依据进行综合判定。

9.1.4 确定工程场地地震动参数，应遵照下列规定：

a) 将最大潜在地震置于其可能发生范围内距工程场地最近处；

b) 考虑衰减关系的不确定性，分别计算工程场地的地震动参数；

c) 计算结果中的最大值为地震构造法所确定的地震动参数。

为考虑发震构造的最大潜在地震对工程场地的最大影响，应将最大潜在地震置于发震构造距工程场地最近处，确定计算距离。

为考虑最大弥散地震对工程场地的最大影响，应将最大弥散地震置于地震构造区距场地最近或特定距离处，确定计算距离。

对场地所在地震构造区，最大弥散地震应置于距场地的特定距离处。特定距离的确定取决于能够排除场地附近发生最大弥散地震的范围，应保证该距离内没有发震构造。特定距离应在研究和调查的基础上予以确认，可能为几公里到几十公里的范围，例如，当场地附近 5km 范围内做过详细的调查，表明该范围内不存在潜在发震构造时，可以将 5km 作为计算距离。如果不能排除场地附近一定范围内存在发震构造，应假定最大弥散地震置于场地下面。

对于场地相邻地震构造区内的弥散地震，应将弥散地震移至地震构造区边界上距场地最近距离处，将该距离作为计算距离。

根据最大潜在地震和最大弥散地震到场地的距离，考虑衰减关系的不确定性，分别计算场地地震动参数。

将上述计算结果的最大值作为地震构造法地震动参数的结果。

9.2 历史地震法

采用历史地震法是为了考虑场地所处的特殊的地震环境和场地条件，确定历史地震对场地地震动参数的影响。

9.2.1 应计算历史地震在工程场地处的地震动参数。

计算历史地震在工程场地处的地震动参数时，应采用适宜的衰减关系。

9.2.2 应根据历史地震的记载与调查资料，确定工程场地的烈度值，转换得到

地震动参数。

通过收集或调查考证，获得历史地震在场地的影响烈度，根据烈度与加速度的统计关系，把历史地震在场地处引起的烈度值换算为加速度值。

9.2.3 应将计算和转换结果中的最大值作为历史地震法所确定的地震动参数。

将历史地震在场地处地震动参数的计算结果和采用场地烈度值转换方法获得的结果中的最大值，作为历史地震法地震动参数的结果。

9.3 结果的确定

应取地震构造法和历史地震法结果中较大者作为地震危险性确定性分析的结果。

取地震构造法和历史地震法结果中较大者作为地震危险性的确定性分析方法的结果。

第十章 地震危险性的概率分析

I 级工作除进行确定性地震危险性分析外，还应进行概率地震危险性分析；而 II、III、IV 级工作只进行概率地震危险性分析。因此，概率地震危险性分析是工程场地地震安全性的主要评价方法。

为了使工程具有抗御未来可能遭遇到的地震破坏的能力，在其设计阶段，需要考虑工程寿命期内当地可能遭遇的地震动的强弱及其相关特性。然而，在目前的科学认识水平下，地震的发生及地震动特性都具有一定不可预见性，**必须以概率方式评价和表达工程场地未来可能遭遇的地震影响**，称为概率地震危险性分析（PSHA，Probabilistic Seismic Hazard Analysis）。**概率地震危险性分析方法将工程场地周围地震构造环境特征、地震活动性特征以及地震动衰减特征的调查分析结果，表达为相应的概率分布函数，并通过概率理论计算，最终获得对工程场地地震危险性的概率表达。**

概率地震危险性分析方法的基本理论框架，是 Cornell 于 1968 年最先提出的（Cornell C. A. 1968）。数十年来的理论研究和实践，使其成为世界范围内地震危险性分析的最为常用的概率方法。我国现行地震安全性评价工作中使用的地震危险性概率分析方法，是在 Cornell 提出的概率地震危险性分析方法的理论框架上，结合我国地震活动时空不均匀性的特点，吸收我国地震中长期预测的大量科研成果，经对一些关键环节的改进形成的，称为“**考虑地震活动时空不均匀性的概率地震危险性分析方法**”，简写成 CPSHA（C 代表 China）。CPSHA 方法是我国当前地震安全性评价工作普遍使用的地震危险性概率分析方法，也是本标准规定的方法。该方法**最突出的特点可以概括为：以考虑地震带未来地震活动水平趋势预测的地震活动性参数反映地震活动的时间不均匀性；以地震带及潜在震源区划分及其地震活动性的差异来反映地震活动的空间不均匀性。**

该方法有三个最基本的假定：①地震带（地震统计区）内地震震级服从指数分布，所以仅用震级 - 频度关系系数 b 值一个参数就可以确定地震带（地震统计区）的震级分布；②地震带（地震统计区）在所考虑的未来时间段内，地震活动满足泊松分布，所以仅用能够反映该时段地震活动水平的地震年平均发生率 ν 一个参数就可以确定地震活动的时间和频度特征；③地震带（地震统计区）内地震

活动满足空间不均匀分布，以潜在震源区及其地震活动性参数来表述，潜在震源区内地震活动满足均匀分布。

CPSHA 方法实质上也就是围绕地震区带和潜在震源区划分及其地震活动性参数确定而展开的。

10.1 地震区和地震带划分

CPSHA 方法中的地震区、带，就是地震活动性参数的统计单元，也可称为地震统计区。地震区和地震带划分就是在一定的地震构造和地震活动性依据的基础上，在空间上确定地震活动性参数统计的样本空间。

10.1.1 应依据地震活动空间分布的分区性和地震与活动构造区的相似性划分地震区。

地震区是指区域地震活动性、区域现代构造应力场、区域地质构造活动性及区域现代地球动力学环境相类似的区域。地震区划分的目的主要是在更高层次上考虑地震带的区域构造和动力学背景，以及具有较大孕震范围的特大地震的地震活动性统计特征。

我国地震活动性区域性特征非常鲜明，例如，中国东部和西部在地震活动空间分布的密度、强度、频度、条带分布等特征上存在显著的差异。又如，中国东部的东北地区、华北地区、华南地区、台湾地区，无论从构造演化历史、新构造活动性、现代构造应力场、地球动力学背景、地震活动强度频度特征等方面均区分明显。中国西部的青藏地区、新疆地区在地质构造背景和地震活动性上也存在显著的差异。因此，在地震区划分中，应重点考虑地震活动及其相关背景在空间上的分区性。同一地震区内的地震活动的相似性，通常是指区内地震带地震活动的方式、活动期次划分及其时段长度等特征具有一定的可比性。同一地震区内的活动构造区的相似性，通常是较大范围（相当于一级构造单元）的地震构造环境和地球动力学特征的一致性。

10.1.2 应在地震区内依据地震活动空间分布的成带性和地震与活动构造带的一致性划分地震带。

GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》编制中地震区带的划分原则指出：地震带是地震区的次级地震统计区域。一个地震带内的地震，具有相同的地震活动周期，大致相同的孕育发展过程，空间上连接成带或相对集中，受一条大的活动构造带或一组现代构造应力条件和变形条件相似的构造带所控制。该划分原则

与《中国地震烈度区划图（1990）》地震区带划分的原则大致相同。

上述划分原则强调了地震带划分的三个重要的方面：①地震活动的空间密集成带或相对集中；②相对一致的地震活动特征；③相对一致的地震构造背景。

CPSHA 方法中，地震带划分根本目的是确定统计单元，因此，确定某一地震带划分时，还应在上述原则基础上，考虑地震活动性统计关系的合理性。统计合理性是指：①地震带内的地震样本应大致归属于同一样本空间，由此得到统计模型能够真正反映特定构造背景的地震活动特征；②地震带内应包括足够大的样本量；③地震带内大小地震震级分布应能较好地符合具有统计显著性的指数分布。

在我国西部地区，历史地震较缺乏，相当于地震区或亚区的较大区域范围内地震样本才能够满足统计要求；而在我国东部，历史地震记载相对丰富，一些地震带内的地震样本就能够得到满足统计要求的 b 值。因此，为了获得统计参数而划分的地震区带，可以是多个地震密集带或构造带的联合区域，取决于统计描述的样本需要。例如，银川地震带和河套地震带合并成一个地震带，东南沿海地震带内外带可以合并为一个地震带等等。同时，应注意，地震带强调带内大小地震的发生具有统计上的协调性，因此，地震带不单纯是强震带或弱震带，通常是兼而有之，不能仅仅关注强震活动带和强震活动的构造背景，而必须将强、弱地震活动统一起来考虑。

当前安评工作中，一般推荐使用全国性区划图工作中使用的地震区带划分方案。早期使用较多的是《中国地震烈度区划图（1990）》方案，2000 年以后使用较多的是 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》方案。涉及具体工程场地的地震安全性评价工作因为研究区域所限，不可能占有更广大范围内的地震活动性和地质构造背景资料，也不可能进行大量详细的工作区域范围以外的研究分析工作，因此，不可能对涉及较广大范围的地震区带划分有更充分的认识。只有全国性的地震区划工作才可能对地震区带的划分进行深入细致的工作。采用已有的较为成熟的地震区带划分方案是一般性地震安全性评价工作中切实可行的做法。

对区划图的地震区带划分进行任何调整，都必须满足上述的划分原则和统计上的合理性，还必须与现行颁布的区划图在工作区域外围广大地区地震活动性总体评价方面具有一致性，所进行的调整必须进行更加充分的论证，且不能仅仅局限在研究区域（150km）范围内，避免任意调整地震区带划分。

对于样本丰富的地区，不能仅考虑能够满足统计需要而任意割裂同属一个构

造体系的地震带，否则统计的结果有可靠导致错误地震活动信息。

由于地震带的边界决定地震样本的不同归属，而大地震样本较为稀少，且对震级－频度关系敏感，因此，对位于大地震附近的边界，需要仔细论证。

10.2 潜在震源区划分

潜在震源区定义为“未来可能发生破坏性地震的震源所在地区”。“未来”一词不一定指几十年或几百年，可以是几千年或更长的时段；“可能”具有概率的含义，一般来说，时间段愈短发生地震的可能性愈小，相反，则愈大；“震源所在地区”有两层含义，一是这一范围内各处的地震发生的可能性相同，二是可能的地震震中集合范围。

潜在震源区的划分是地震危险性概率分析方法的一个重要组成部分，划分结果在很大程度上反映了该地区地震危险性的分布轮廓。近场区相关的潜在震源区的划分结果，则对工程场地地震安全性评价有很大影响，有时甚至起决定性的作用。

潜在震源区划分包括潜在震源区的识别和确定其地震的主要破裂方向、位置、范围、震级上限和各震级档的地震年发生率。

潜在震源区划分的工作深度应达到如下要求：

a) 发震构造与潜在震源区协调一致的原则。这一原则要求每一个潜在震源区均要有明确的地震构造对其负责，相应的地震构造的空间形态、活动性、潜在发震能力，应与所划分的潜在震源区协调一致；

b) 高震级档地震活动水平的确定与大震复发间隔协调的原则。特别在中国西部大震活动地区，地震危险性分析结果极大地取决于近场及其邻区高震级档地震的活动水平。确定这一结果必须有分析、有证据；

c) 近场及其邻区潜在震源区复核的原则。对近场及其邻区的潜在震源区，应根据近场区地震活动性和地震构造的评价结果进行位置、边界、震级上限的复核。

10.2.1 应在地震带内划分潜在震源区。

目前在我国的地震危险性的概率分析中，地震活动性参数统计和分配单元采用两级划分。地震带是地震活动性参数的统计单元，潜在震源区则是地震活动性参数的分配单元。前者是从较大范围内考虑了地震构造条件的一致性，后者则在划分地震带的基础上进一步确定具有相同地震发生可能性和相同震级上限的发

震构造范围。因此,在确定潜在震源区空间位置 and 不同震级档地震活动性参数时,应十分注意与相应地震区带的协调性。

潜在震源区划分一般采用地震构造类比和地震活动重复这两条原则。

在使用地震构造类比原则时,应注意下列问题:

a) 这种构造类比原则应用在同一地震带内的不同地区、或同一地震区内地震构造条件类似的不同地震带内;

b) 主要是进行新构造、活动构造和地震水平的相似性,以及发震构造条件和应力场一致性的类比;

c) 在强震原地重复发生情况不高的地震区,在历史上从未记录到较高震级破坏性地震的情况下主要使用该原则。

在使用地震活动重复这一原则时,应注意以下情况:

a) 历史上发生过 5.5 级或 6 级以上地震的地区均应划入大于或等于该震级的潜在震源区;

b) 充分运用小震活动条带和中等强度地震聚集区等地震活动性特征资料来勾划潜在震源区;

c) 要充分注意不同发震构造类型的地震重复发生模型的差异。

10.2.2 综合判定潜在震源区时应考虑下列标志:

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) 断层活动段;

f) 晚第四纪断陷盆地;

g) 活动断层的端部、转折处或交汇处等特殊部位。

潜在震源区的判定是一项综合性的工作,应充分利用地震资料和地震构造资料。地震资料应考虑破坏性地震的震中分布、微震和小震密集带、古地震遗迹地段和地震空间分布图像的特征地段;地震构造资料包括断层活动段、晚第四纪断陷盆地、活动断层的端部、转折处或交汇处等特殊部位。在深入研究上述资料的基础上,分析场址所在地震区、带不同震级档地震的发震构造标志和地震活动性特征,总结归纳地震活动性和地震构造评价工作所得到的相关发震构造的各种条

件，分析其潜在发震能力。具体划分时，还应注意强地震活动区与弱地震活动区判定潜在震源区方法上的差异，注意新资料、新成果的应用。

10.2.3 应根据地震活动空间分布图像和地震构造几何特征确定潜在震源区边界。

划分潜在震源区时，地震震中分布特点是必须考虑的因素之一。第 6.2.3 条规定的地震活动空间分布特点包括：有某种规则的地震活动图像，例如地震活动的空区、条带状分布中的空段，震中所形成的网络的交汇部位等。

发震构造的空间几何特征及活动的性质，是确定潜在震源区边界的重要依据，具体方法详见《地震安全性评价技术教程》（胡聿贤主编，地震出版社，1999 年 9 月）。

10.2.4 应考虑各个潜在震源区主破裂取向，确定其方向性函数。

椭圆长轴取向随地而异，与相应潜在震源区的构造走向有关，其方向性函数可表示为：

$$f(\theta) = c\delta(\theta_1) + d\delta(\theta_2) \dots \dots \dots (2-3)$$

式中 θ_1 和 θ_2 为潜在震源区内可能的主破裂面走向与正东方向的夹角； c 和 d 为相应的取向概率。具体确定时，可按研究区内已有资料的统计结果，并结合各潜在震源区的构造条件取值。

10.3 地震活动性参数的确定

对工程场地周围地震活动性特征的认识，最终表达为各个地震活动性参数。它们决定了描述工程场地周围地震环境的概率模型，构成概率地震危险性分析的输入。地震活动性参数合适与否直接关系到地震安全性评价结果的可接受性。

10.3.1 地震活动性参数应包括：

- a) 地震带的震级上限；
- b) 地震带的震级下限；
- c) 地震带的震级—频度关系；
- d) 地震带的地震年平均发生率；
- e) 地震带的本底地震震级及其年平均发生率；
- f) 潜在震源区的震级上限；
- g) 潜在震源区各震级档空间分布函数。

CPSHA 方法需要确定的地震活动性参数分为两个层次：地震带的地震活动性

参数、潜在震源区的地震活动性参数。

地震带活动性参数包括震级上限、震级下限、震级－频度关系、地震年平均发生率、本底地震震级及其年平均发生率。

地震带震级上限 M_{uz} : 是指地震带内震级－频度关系中累积频度趋于零的上限震级值。在概率分析方法中, 这一震级极限值是 与地震带震级概率密度函数 $f(m)$ 的积分上限联系在一起的, 是地震带内发生概率趋于零的最大震级值。

地震带震级下限 (也称起算震级 M_0): 是指地震带内考虑其对场地地震影响的最小震级值。

地震带震级－频度关系: 是指地震带内地震震级 M 与大于等于 M 的地震频数的常用对数值的线性拟合关系, 通常也称为古登堡－里克特关系或 $G-R$ 关系。关系式为 $\lg N = a - bM$ 。该关系式的斜率系数 b 值, 与地震带内大、小地震活动性相关, 为重要的地震带地震活动性特征参数。

地震带地震年平均发生率: 是指地震带内大于等于某一特定震级地震的年发生次数, 反映了地震带内的地震活动水平。

地震带本底地震: 是指地震带内已划定的潜在震源区外的地震。这些地震通常是因为其发震构造标志不明显而无法划入潜在震源区。

潜在震源区活动性参数包括: 震级上限 M_u , 各震级档空间分布函数 $f_{i,mj}$ 。

潜在震源区震级上限 M_u : 是指潜在震源区内发生概率趋于零的最大地震震级值。

潜在震源区各震级档空间分布函数 $f_{i,mj}$: 是指一个地震带内发生的一次 mj 档震级地震落在第 i 个潜在震源区内概率的大小, 空间分布函数是表述地震带内地震活动空间不均匀性的重要参数。

10.3.2 确定地震带的地震活动性参数应符合下列要求:

- a) 按地震带内历史地震的最大震级和地震构造特征, 确定地震带的震级上限;
- b) 考虑地震资料的完整性、可靠性、代表性以及必要的样本量, 统计确定震级－频度关系;
- c) 根据地震活动趋势确定地震带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;

e) 本底地震震级，应取地震带内潜在震源区震级上限的最低值减去 0.5。

1. 地震带震级上限 M_{uz}

地震带震级上限在概率地震危险性分析的计算中是震级分布的积分上限。根据震级－频度关系，地震带的震级上限 M_{uz} 与地震带地震活动水平、 b 值以及最大历史地震的重现期相关，且震级上限应大于等于历史最大地震。

在确定地震带的震级上限时，有两条主要依据：一是具有足够长时间和相对完整的历史地震资料的地震带，地震活动经历了一个以上的活动期，其记录到的最大地震强度可以反映该地震带能够发生的最大地震，可依据地震带内发生过的最大地震强度确定 M_{uz} ；二是根据地震构造特征进行构造类比外推，认为具有相似地震构造条件的地震带，其震级上限应该相似。在实际工作中，应综合考虑上述两条原则。当认为历史上发生的大地震已经足以代表该地震带的未来地震发生的上限震级时，则可以直接采用历史最大地震震级；当从构造条件分析认为已有历史最大地震活动不足以作为未来可能发生地震的上限时，则根据构造条件将历史上已经发生过的最大地震震级加 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 或 1 级（归到 0.5 的整数倍）作为地震带的震级上限。例如，对于已经发生过 8.5 级以上特大地震的地震带，可以认为在所考虑的时段内再次发生同样大震级的地震的可能性趋近于 0，此时，地震带的震级上限可以历史特大地震的震级来确定。

在 CPSHA 方法中，将震级作为一个离散的随机变量，以 0.5 个震级单位为间隔划分震级档。设震级 m 分成 N_m 个震级档， m_j 表示震级范围为 $(m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m)$ 的震级档， $\Delta m = 0.5$ 。震级上限 M_{uz} 被简单处理成最高震级档的上边界值，震级下限（起算震级） M_0 被简单处理成最低震级档的下边界值。

地震带的震级上限 M_{uz} 涵盖了地震带内所有潜在震源区最大地震活动能力，因此，地震带内潜在震源区震级上限 (M_u) 应小于等于地震带的震级上限 (M_{uz})。

2. 地震带震级－频度关系及其系数 b 值的确定

震级－频度关系式的系数 b 值，是确定地震带震级概率函数的重要参数。 b 值是根据实际地震资料用统计回归的方法得出的，故所取资料的空间范围是否恰当、时间段是否合适、所取资料的完整程度如何，对于 b 值的合理性有极大影响。因此，地震安全性评价工作中在确定 b 值时，应对地震带内地震资料的完整性、可靠性、代表性进行必要的论证和说明，并对统计样本量以及结果的统计显著性

进行必要的检验。

震级 - 频度关系在实际工作中是指震级 - 累积频度关系, 表示成下式

$$\lg N(m) = a - bm \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (10.3-1)$$

其中, $N(m)$ 表示 m 级以上的累积地震数目。在实际使用时, 震级 m 取离散值, 一般按间隔 Δm 将最小震级 $m_{\min}$ 以上震级分成 n 档, m_i 取 $m_{\min} + (i-1) \cdot \Delta m \leq m < m_{\min} + i \cdot \Delta m$ 震级区间的下限值, a, b 为回归系数。

地震统计样本对 b 值估计有直接的影响。在实际应用中, 回归样本的合适与否取决于以下两个方面:

a) 是否能够反映地震带未来地震活动趋势

我国一些历史地震记载较悠久的地震带, 其地震活动常表现出显著活跃与相对平静时段交替出现的特征, 尤其在东部地区, 地震活动强弱交替的特点表现得比较显著。在不同的活动时段, 地震活动水平差异极大。当处在地震活跃期时, 大地震可以接连发生, 而在相对平静期, 仅有少量中强地震。

对未来地震活动 b 值的估计, 使用的是以往地震样本, 为了使选取的地震统计样本能够代表地震带未来地震活动水平, 就必须合理地确定地震统计时段。如果预测未来地震带将处于活跃期时段, 则应使用历史上相应活跃时段的地震样本进行统计, 否则会低估未来地震活动的水平, 使地震危险性分析结果偏于不安全。如果预测未来地震带将处于相对低活动水平时段, 则应使用历史上包括了活跃与平静期整个时段的地震样本, 以平均地震活动水平来考虑未来地震活动。

b) 地震带内地震样本的分布是否反映地震带可能的地震发生状况

尽管我国历史地震记载丰富, 但是不同区域地震资料的分布极不平衡。有些地震带, 历史地震记载缺乏, 地震样本对中强地震的反映明显不足, 用这样的样本得到的 b 值, 会低估其地震活动水平。有些地震带地震样本集中于狭窄的震级域, 造成样本点分布不均匀, 这样得到的 b 值, 也难以全面反映地震带可能的地震活动性。因此, 必须对地震带地震样本的分布状况进行分析, 并判断其分布的合理性。

当样本分布不理想, 可考虑采用拥有较多记录的小震级档样本和大震级档样本联合进行统计回归。不同震级档地震的可信时段 (即在此时段内可认为地震资料没有严重的漏失) 不同, 因此, 联合回归时必须对不同震级档可信时段进行选

择和论证,在可信时段内将相应震级档样本规算到同一时间单位内的地震数,并以此统计 b 值。该方法实质是在一定的假设条件下,对地震样本进行了补充,因此,对 b 值必然有较大的影响。

3. 震级下限 M_0 的确定

震级下限(起算震级) M_0 关心的是工程地震安全所需要考虑的最小震级。较小的地震事件不会对工程产生破坏影响,通常不予考虑。我国大部分地区的地震活动属于地壳内浅源地震,有资料记载一些 4.0 级地震也会产生一定程度的破坏,故地震安全性评价需要考虑的震级下限 M_0 可取为 4.0 级。在一些特定地质条件的地区,3.0 级左右的地震也会产生破坏影响,因此,在这些地区可以根据以往经验适当调低起算震级。

4. 地震带地震年平均发生率 ν_4 的确定

ν_4 在 CPSHA 方法中,代表 4.0 级以上地震年平均发生次数。它与地震震级概率分布一起,确定了地震带的地震活动程度和水平,从而决定了工程场地所处地震活动背景。该参数得自于历史地震的统计,但是,它必须能够反映未来工程寿命所处地震活动时段内的地震活跃水平。如果认为未来地震活动将处于高水平阶段,那么就应当取高活动水平时期的资料进行统计;如果认为将处于低活动水平阶段,为了安全,应当取长时间资料(包括高、低活动阶段)进行统计;如果认为未来地震活动将处于高、低活动水平之间的状态,则可取长时间平均水平的结果,再加以适当的修正。

在 b 值回归时,有明确的统计时间段,因此, ν_4 值也应在相应的时段内统计,以保证两个参数的协调。但是,震级-频度关系是对地震分布的一种近似,存在不确定性,因此,当高震级样本点对回归直线有偏离时,出于地震危险性评价的保守性原则,应分析高震级地震发生率的理论值是否低于实际统计值。如果确实低估了该震级档的年平均发生率,并且认为有可能对工程造成不安全的影响,就需要对 ν_4 进行调整。

5. 本底地震震级及其年平均发生率

目前,只能了解震级较高的地震的构造条件。对于震级小到一定程度的地震,还认识不到它的构造条件,而只能当作地震活动的背景来看待,认为它在地震带内到处都可能随机地发生,称为本底地震。本地地震表示地震带内划定的潜在震

源区以外的地震活动。一般潜在震源区的震级上限是按半个震级单位为间隔来划分的,所以本底地震的震级可以按本地震带内各潜在震源区最低的震级上限减去半个震级单位来确定。

需要说明的是本底地震并不是特定的地震类型,而是对具有上述特征的地震的一种工程意义上的划分,目的是采用特定的工程处理办法来考虑其对厂址的影响。

各地的地震构造环境不同,本底地震的强度也不尽相同,华北地区可定为 5.5 级;华南地区可定为 5.0 级;西部地区的某些地震带(如,川滇、昆仑等)可定为 6.0 级。

在 CPSHA 方法中,本底地震发生率是指地震带内潜在震源区以外地震的年平均发生率。

在实际地震安全性评价工作中,对于弱地震活动区,应重视本底地震的影响。

10.3.3 确定潜在震源区的地震活动性参数应符合下列要求:

a) 依据下列因素确定潜在震源区震级上限:

- 潜在震源区内最大地震震级;
- 构造类比结果;
- 古地震强度;
- 地震活动图像判定的结果;

b) 潜在震源区震级上限按 0.5 级分档;

c) 按各潜在震源区资料依据的充分程度和相应各震级档地震发生的可能性大小确定空间分布函数。

1. 潜在震源区震级上限

这里需要说明的是潜在震源区震级上限与地震带震级上限的关系。前面论述了地震带的震级上限值是地震带震级概率密度函数 $f(m)$ 的积分上限,是发生概率趋于零的最大震级值。由于潜在震源区是实际参与计算的离散化的空间积分单元,因此,其震级上限可以看作分段的震级积分上限,它小于等于地震带的震级上限值,同样是潜在震源区内发生概率趋于零的最大震级值。

在以 0.5 个震级单位为间隔划分震级档的情况下,潜在震源区震级上限 M_u 简单处理成最高震级档的上边界值。潜在震源区的震级上限通常取为 5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0 和 8.5 级。

潜在震源区震级上限是根据潜在震源区本身的地震活动和地震构造特征,与潜在震源区划分同时确定的。

潜在震源区震级上限确定的主要依据有两条:一是具有足够长时间和相对完整的历史地震资料的地震带,地震活动经历了一个以上的活动期,地震分布状况足以反映地震带的地震活动特征,则对地震带内的历史地震记载相对较丰富的潜在震源区,其最大历史地震足以代表该潜在震源区未来地震发生的上限震级时,则可以直接采用历史最大地震震级;二当历史最大地震活动不足以代表潜在震源区可能发生地震的上限震级时,可根据地震构造特征进行构造类比外推,认为与已知地震发生区具有相似地震构造条件的潜在震源区,可具有相同的震级上限值。当进行构造类比时,要充分利用已有的关于地震构造条件的统计结果,并应考虑统计不确定性。在实际工作中,应综合考虑上述两条原则。

2. 潜在震源区各震级档空间分布函数

在 CPSHA 方法中,地震带内不同部位(潜在震源区)各震级档地震发生概率不同,空间分布函数就是表示地震活动空间不均匀性的参数。空间分布函数通常表示成 $f_{i,mj}$ 。在同一地震带内对某一震级档 mj , $f_{i,mj}$ 满足归一条件,即:

$$\sum_{i=1}^n f_{i,mj} = 1 \quad (\text{对震级档 } mj)$$

震级档 mj 表示震级范围为 $(m_j \pm \frac{1}{2} \Delta m)$, $\Delta m = 0.5$ 。

对于小震级档,往往发震构造标志比较模糊,不同区域活动性上的差异难以区分,因此,通常不分更细的档次;较高的震级档的发震构造标志尽管较为清晰,但统计样本少,对其发震能力的判断难以达到 0.5 级的精度,因此,7.5 级以上的震级档在空间分布函数确定时也不区分。当前实际工作中将空间分布函数分成 7 个震级档来确定,即 4.0~4.9、5.0~5.4、5.5~5.9、6.0~6.4、6.5~6.9、7.0~7.4、 ≥ 7.5 ,这一分档也反映出潜在震源区的上限震级为发生概率趋于 0 的震级。潜在震源区震级上限与空间分布函数震级档的关系列于下表:

表 10.3-1 潜在震源区震级上限与其包含的空间分布函数震级档

潜在震源区震级上限 M_0	空间分布函数震级档						
	4.0~4.9	5.0~5.4	5.5~5.9	6.0~6.4	6.5~6.9	7.0~7.4	≥ 7.5
5.0	✓						
5.5	✓	✓					
6.0	✓	✓	✓				

6.5	✓	✓	✓	✓			
7.0	✓	✓	✓	✓	✓		
7.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
8.0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

地震带各局部区域某震级档地震的发生概率，严格地讲，应该根据地震样本统计得到。然而，实际上潜在震源区内不可能有丰富的地震样本用于确定其各震级档发生概率，因此，通常需要利用其它方面的信息来综合评判。

在编制《中国地震烈度区划图（1990）》时（50年超越概率10%），CPSHA方法中空间分布函数的确定采用的是多因子综合评判方法。其目的是尽可能地利用各种与地震发生相关的空间因子，根据它们在某一潜在震源区内的分布状况，以及它们与地震发生的相关程度，推断不同空间位置上地震危险程度的相对强弱差异。采用的主要因子有：

- a) 潜在震源区的可靠性：考虑的是划分潜源时所依据的构造条件的可信程度；
- b) 中长期地震预报成果：借鉴已有的中长期地震危险性预测研究成果，以中长期地震危险程度作为对潜在震源区未来危险程度的一种的评判；
- c) 大地震的减震作用：考虑大地震后，在一定的时空范围内，地震发生的可能性有一定的降低，以此对历史上大地震影响区域内的潜在震源区地震危险性程度进行一定调整；
- d) 小震活动：考虑小震活动所提供的大震活动危险性背景；
- e) 强震复发间隔与构造空段：考虑6级以上地震原地重复发生的概率分布；
- f) 地震活动的重复性：用于在台湾和西部地区考虑地震发生的重复特点；
- g) 相同震级档次地震的随机性：实际上考虑的是潜在震源区面积大小。

通过对上述各种因子的分析，确定因子的可能状态值，根据历史资料建立各因子状态值与地震危险性程度的统计或经验关系。针对潜在震源区内各因子的状态取值，确定相应的危险程度值，经加权综合，并对地震带归一化，得到各潜在震源区的空间分布函数。

GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》中各潜在震源区划分方案潜在震源区空间分布函数的确定也采用的是相似的原则。

由于各地区不同强度地震的活动特征及构造条件不同，在确定不同震级档地

震的空间分布函数时所选用的因子也不同。

对于 4.0 ~ 5.9 级以下的震级档，考虑到地震受构造因素的控制不明显，其随机性表现得比较强。因此，主要是考虑小地震空间分布密度。对 6.0 ~ 7.4 级以上的潜在震源区，主要考虑上述因子的综合加权分析。对于 7.5 以上震级档，空间分布函数的确定有所不同。

7.5 级以上的地震其孕震的范围往往大于一个地震带的范围，甚至相当于一个地震区，这从 7.5 级以上地震的影响场的分布特征上就能够看出。因此，该震级档的空间分布函数不能在地震带内进行归一化，应考虑更大的地震区范围，否则会极大地影响空间分布函数的合理性。同时，能够发生该档地震的潜在震源区数目很少，而且该震级档潜在震源区大多是历史上，甚至近期刚刚发生过大地震的地段（如唐山），考虑到高震级地震的复发周期较长，在确定该震级档空间分布函数时要注意采用由历史地震数据或古地震数据得到的复发周期的资料加以约束。

3. 潜在震源区的其它地震活动性参数

潜在震源区其它的地震活动性参数还有方向性概率分布函数。

我国大陆地震构造背景通常具有共轭断裂控制的特征，而地震发生又大多只沿一个方向破裂，导致地震影响场表现出椭圆形分布特征，地震影响在长轴和短轴方向衰减特征不同。究竟沿共轭断裂的哪一个方向破裂具有一定的随机性。在 CPSHA 方法中采用了椭圆衰减模型，将破裂方向考虑为一个随机变量。因此，在计算各潜在震源区对场地的影响时，需要考虑沿不同方向破裂的概率分布，即方向性概率分布函数。方向性概率分布函数即互相垂直的两个可能的长轴走向 θ_1 和 θ_2 的发生概率 P_1 和 P_2 。通常依照两个方向作用的大小，给予不同的概率值。在不考虑共轭影响的潜在震源区，可将某一方向的概率值赋为 0。 θ 角度是指断裂构造走向与正东方向间的夹角。当不采用椭圆衰减模型时，可以不考虑方向性概率分布函数。

4. 当前工作中潜在震源区地震活动性参数确定的一些问题

自《中国地震烈度区划图（1990）》和 GB 18306 - 2001《中国地震动参数区划图》颁布以来，CPSHA 方法开始得到广泛的应用，该方法涉及到的重要参数，长久以来被接受的只有区划图提供的方案，在实际的工程地震安全性评价工作中，多直接使用区划图的参数方案。

需要注意的是，区划图方案是全国尺度的工作，其基础资料基本精度是 1:400 万。潜在震源区的划分方案是比较粗线条的，但这与区划图目的是协调的。具体到某一实际工程场址，对其周围地震构造环境的考虑应该更加精细，尤其是在场址近场区范围内，应在更详细的现场实际调查工作的基础上，对潜在震源区划分及其地震活动性参数进行调整，但应该进行仔细的论证。

还有需要注意的一点是，区划图关心的地震风险水平为 50 年超越概率 10%，对于具体的工程，通常需要考虑不同风险水平的地震动参数值。需要论证区划图参数对于其它风险水平计算的适宜性，尤其在重大工程工作中考虑的地震风险水平较高（例如，核工程通常需要考虑年超越概率 10^{-4} ），更需要注意参数的合理性。

不同局部的空间分布函数是相互关联和影响的。因为每一震级档空间分布函数对整个地震带是归一的，因此，地震带内任何一个局部的潜在震源区参数调整，都必然影响到带内其它潜在震源区空间分布函数的变化，必须进行空间分布函数在地震带内的重新分配。应注意工程场地区域内的调整对整个地震带地震危险性评价的协调性的影响。

10.4 地震危险性分析计算

10.4.1 应给出地震动参数超越概率曲线。

10.4.2 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 15 个。

依据全概率公式完成对场址地震危险性的超越概率计算。基于潜在震源区参数的场点超越概率计算公式为

$$P(A \geq a) = 1 - \exp\left(-\sum_{j=1}^{N_m} \sum_{k=1}^{N_z} \sum_{i=1}^{N_{kz}} \iint_{(x,y)_{ki}} \frac{2\nu_k}{A_{ki}} \cdot P(A \geq a | m_j, r_{(x,y)_{ki}}) \cdot f_{ki,mj} \cdot \frac{\exp[-\beta_k(m_j - m_0)]}{1 - \exp[-\beta_k(m_{uk} - m_0)]} \cdot \text{Sh}(\frac{1}{2} \beta_k \Delta m) dx dy\right) \quad (10.4-1)$$

其中， $P_E(A \geq a | m_j, r_{(x,y)_k})$ 为第 k 个地震带内发生一次地震，在场点处产生的地震动 A 大于或等于给定值 a 这一事件出现的条件概率； $r_{(x,y)_{ki}}$ 第 k 个地震带内第 i 个潜在震源区中的点 (x, y) ； ν_k 为第 k 个地震带的地震年平均发生率； m_{uk} 为第 k 个地震带震级上限； m_0 为起算震级； $\beta_k = b_k \ln 10$ 。

在离散情况下, m 分成 N_m 档; m_j 表示震级范围为 $(m_j \pm \frac{1}{2}\Delta m)$ 的震级档; 第 k 个地震带被划分成 N_{ks} 个潜在震源区; f_{ki,m_j} 为第 k 个地震带内第 i 个潜在震源区第 m_j 档的地震空间分布函数。 A_{ki} 为第 k 个地震带内第 i 个潜在震源区的面积。

$P(A \geq a)$ 称为场点给定地震动参数值 a 的年超越概率。 $P(A \geq a) - a$ 曲线即通常所谓的超越概率曲线。地震危险性概率分析计算需要给出给定年超越概率水平 P 的场点的地震动参数值。

概率地震危险性分析输出地震动参数的不同, 取决于所采用的衰减关系的类型, 但不同地震动参数的概率危险性分析计算过程是一致的。常用地震动参数类型有: 地震烈度、地震动峰值加速度(水平向/竖直向)、地震动加速度反应谱(水平向/竖直向), 有些特殊工程, 如生命线工程, 有时还需要提供地震动峰值速度等地震动参数。在进行反应谱的计算时, 周期范围应当满足工程特点的需要, 为了可靠地限定反应谱的形状, 周期点数不应少于 15 个, 并且应注意这些周期分布应相对均匀。

10.5 不确定性校正

10.5.1 应考虑地震动衰减关系不确定性校正。

10.5.2 宜分析潜在震源区及地震活动参数不确定性对结果的影响。

概率地震危险性分析中, 每个环节都存在不确定性, 往往对结果会产生较大的影响。对于地震安全性要求较高的重大工程, 应充分考虑不确定性的影响。

在目前实际应用的概率计算程序中, 已经考虑了衰减关系的回归参数的不确定性。

对于其他方面的不确定因素的影响, 可根据结果对参数变化的敏感性分析来考虑对计算结果的适当的调整。

I 级工作, 可以针对潜在震源区划分、地震活动性参数等的认识不确定性, 形成多种可能方案, 分别计算, 对结果用“逻辑树”的方法处理。

10.6 结果表述

10.6.1 I、II、III级工作应以表格形式给出对工程场地地震危险性起主要作用的各潜在震源区的贡献; IV级工作应说明起主要作用的潜在震源区。

10.6.2 根据工程需要, 应以图和表格的形式给出不同年限、不同超越概率的地

震动参数。

概率地震危险性分析计算的地震动参数峰值结果应表示成不同年限（如 1 年、50 年、100 年）的超越概率曲线，并以表格形式给出不同概率水准的地震动峰值结果。

概率地震危险性分析计算的地震动参数反应谱结果应表示成不同概率水准的反应谱曲线，并用表格形式给出反应谱值。

周围地震构造环境对场址的影响，在概率地震危险性分析中是通过潜在震源区地震活动性参数方案体现的，参数方案是否合适，直接影响到概率分析计算结果的合理性。通常场址周围潜在震源区对工程场址的地震危险性贡献情况，反映了参数方案对场址周围地震环境特点的认识。如果这一认识与地震环境特征、历史地震影响特征一致，则概率分析的结果具有合理性，可以接受，否则结果是不合理的，需要进行调整。因此，I、II、III级工作应给出对工程场地地震危险性起主要作用的潜在震源区的贡献表，对于IV级工作应说明起主要作用的潜在震源区。

第十一章 区域性地震区划

区域性地震区划是指针对特定地区或长输管线等重要工程的地震区划工作。如，特定行政辖区的地震区划工作，输油管线沿线、输气管线、长距离输水工程沿线的地震区划等。由于区划的目的和工程对象的性质及重要性不同，区划的内容、比例尺等也可以不同。

GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》是适用于全国一般建设工程的抗震设防要求，没有考虑各个地区的特殊要求。该标准涉及的两张区划图的概率水准为 50 年超越概率 10%，区划图的比例尺为 1:4 000 000。因此，也不能满足对区划精度要求更高、工程重要性更高的长输管线等特殊工程的选址、选线和抗震设计的需求。

随着经济的快速发展，经济发展区域性更加明显，一些地区已经在超越小康社会阶段，向中等发达国家的水平靠近，因此对一般建设工程地震安全提出了更高的要求。这些地区已经提出了编制与当地经济发展水平相适应的区域性地震区划图的需求，上海等地区已经编制完成了以 50 年超越概率 2%为基准的区域性地震区划图。同时，随着能源建设和水资源的区域性调配，各种长输管线和输水工程也提出了编制区域性地震区划需求，以满足规划选线和这些工程的一般工程中建设部分的抗震设计需求。另外城际高速铁路、高速公路建设等也需要提供区域性地震区划结果。

鉴于对区域性地震区划工作的需求越来越普遍，本标准特制定相应条文。

区域性地震区划的工作要点为：

- a) 开展区域地震构造和地震活动性的调查、分析研究；对于重要的线性工程，还应开展线路两侧 25km 范围内的近场工作。
- b) 确定潜在震源区和相应的地震活动性参数。
- c) 确定适用于地震区划区域的地震动参数衰减关系。
- d) 进行地震危险性概率分析计算，得到计算控制点的特定超越概率水平的地震动参数。
- e) 进行地震动参数分区或绘制地震动参数等值线。
- f) 编写使用说明和研究报告。

11.1 基本规定

区域性地震区划工作的基本规定如下：

11.1.1 应根据地震危险性概率分析结果，编制地震区划图

采取地震危险性概率分析方法来编制区域性地震区划图，不仅符合地震科学的水平，也符合工程抗震设计的需要，是当前国际上通用的地震区划方法。同时，采取地震危险性概率分析方法编图与国家颁布的地震动参数区划图相一致，与现行的抗震设计规范相衔接。因此，本标准规定区域性地震区划采用地震危险性概率分析方法，并要求根据地震危险性概率分析结果编图。采用地震危险性分析方法进行分析计算时，应符合本标准第 10 章的有关规定。地震危险性概率分析结果一般是指计算控制点的特定超越概率水平的地震动峰值加速度或峰值速度。

11.1.2 地震区划的概率水平应根据工程的特性和重要性确定

与全国地震动参数区划图相比，区域性地震区划涉及工程对象具有更高的重要性或抗震设计具有特殊要求。不同经济发展水平地区对一般建设工程的抗震设防标准也有不同要求。因此，本标准规定根据工程特性和重要程度确定地震区划的概率水平。在一般情况下，长输管线等线状工程中的一般工程的抗震设防，要求提供 50 年超越概率 10% 的地震区划结果。

11.1.3 区域地震活动性和地震构造评价，应符合第 5 章的规定

区域地震活动性和地震构造评价的工作内容、工作深度应该符合第 5 章中关于Ⅲ级工作的有关要求。区域范围应包括区域性地震区划范围外延不小于 150km 的范围。基础图件的比例尺一般应大于编制全国地震动参数区划图所采用的基础图件的比例尺（1:2 500 000），具体比例尺应根据区划目的、工程特性及重要性确定，并应与所编制地震区划图的比例尺相匹配。研究报告除给出基础图件的示意图外，还必须给出相应比例尺的地震构造图等相关基础图件。

11.1.4 近场区地震活动性和地震构造评价，应符合第 6 章的规定

对于针对特定行政区域一般建设工程抗震设防的区域性地震区划，不需要开展专门的近场工作。但在得到地震区划的初步结果后，应对重要的分区界线附近的地震构造和地震活动性进行更为详细的工作，以保证区划图的精度。

对于针对长输管线等重要工程中的一般建设工程的区域性地震区划，应在管线两侧 25km 内开展近场区地震活动性和地震构造工作，工作内容和深度应满足第 6 章有关要求。对虽然位于 25km 以外，但对区划结果有重要影响的活动断裂

和发震构造，也应进行详细的研究工作。研究报告除给出基础图件的示意图外，还必须给出相应比例尺的地震构造图等相关基础图件。

11.1.5 按第 8 章的规定，建立适合于区划范围的地震动衰减关系

适用于区域性地震区划的地震动参数衰减关系，一般情况下应包括地震动峰值加速度衰减关系和峰值速度衰减关系，以满足双参数标定反应谱的需要。衰减关系的适用范围指地震区划范围及外延不小于 150km 的区域。具体地震动衰减关系的建立和适用性分析应符合第 8 章的有关规定。在同时考虑地震动峰值加速度衰减关系和峰值速度衰减关系时，还要注意两个衰减关系间的匹配，特别要注意不同震级段和震中距所形成的地震动反应谱的合理性。如果采用与中国地震动参数区划图一致的原则，即不同的场地地震动反应谱的确定，采用不调整反应谱的高度，只调整反应谱特征周期的方法，则不宜直接使用现有的平均场地地震动参数衰减关系，应使用基岩地震动参数衰减关系，区划结果采用本标准第 14 章的方法处理。如果一定使用一般场地土层的地震动衰减关系或采用基岩场地的地震动参数衰减关系，则必须同时给出不同场地条件地震动反应谱的调整方法，并进行相应的论证工作。

11.1.6 计算控制点的间距，应不大于地理经纬度 0.1° 。在结果变化较大的地段，应加密控制点

区域性地震区划是在计算控制点地震危险性概率分析的基础上编制的。控制点密度是影响区划精度的重要因素之一，分析计算中应保持足够数量与合理分布。控制点布置的基本原则是保证区划的精度。本标准要求间距不小于 0.1° ，根据需要加密控制点，特别是结果变化较大的分区界线附近或等值线密集的区域。

11.2 结果表述

区域性地震区划结果表述应符合下面规定：

11.2.1 地震区划比例尺宜采用 1:500 000

本条文为推荐性条款。一般情况下，区域性地震区划的比例尺要根据区划目的、工程特性及重要性确定。对于长输管线等线状工程的地震区划，其近场地震构造图的比例尺应不小于 1:250 000，考虑到各种不确定性的影响，地震区划编图比例尺一般可采用 1:500 000。研究报告必须提供相应比例尺的成果图件。

11.2.2 地震区划采用分区线和等值线表述

区域性地震区划采用分区线或等值线的方式表述。如果采用等值线方式表述，应同时给出插值方法，以便于工程使用。对于线状工程的地震区划，应给出各个分区点的地理坐标，以方便工程使用。

采用多参数进行地震区划时，分区界线的确定要同时考虑参数之间的协调性，其中要特别注意多参数确定的抗震设计反应谱的科学性和合理性。

11.2.3 根据计算结果确定分区界线时应考虑下列因素：

- a) 潜在震源区和地震活动性参数的可变动范围及其对结果的影响；
- b) 地形地貌的差异；
- c) 区划参数的精度

潜在震源区和地震活动性参数都有一定的不确定性。这种不确定性对区划结果可能产生重要影响。因此必须考虑在震源区和地震活动性参数的可变动范围及其对结果的影响，通常可以采用参数敏感性分析结果来衡量其影响，作为综合考虑确定分区界线的主要依据之一。

目前所有地震烈度与峰值加速度的衰减关系都没有考虑地形、地貌的影响。在确定区划图的分区界线时，应考虑地形、地貌的影响，对仅根据计算值确定的分界线进行合理必要的调整。具体调整方法可参考《GB 18306-2001〈中国地震动参数区划图〉编制工作报告》中有关地形、地貌对地震动影响的相关内容。

11.2.4 应编写地震区划图说明

区域性地震区划图说明应包括：编图技术思路和技术方法，所使用资料的来源、精度，清楚地说明区划结果的表示方式和内容、使用范围以及使用过程中应注意的事项等。

第十二章 场地地震动参数确定和地震地质灾害评价

场地地震动参数确定和地震地质灾害评价是工程场地地震安全性评价的目标，其结果作为建设工程抗震设防的依据。

场地地震动参数与地震震源特性、地震波从震源传播至场地的途径及介质特性有关，同时还与局部场地条件有关。场地地震动参数确定中，首先应进行地震危险性分析计算确定地表自由基岩场地的地震动参数，再在此基础上，进行场地地震反应分析，以考虑局部场地条件对工程场地地震动的影响。场地地震地质灾害的评价应基于区域和近场区特别是场地及附近范围内的地震地质调查和评价结果、工程场地的地震动参数计算分析结果，结合场地工程地质条件勘测资料采用经验方法评估或理论计算方法计算分析，评定其可能性及影响范围与程度。

12.1 场地地震动参数和时程的确定

场地地震动参数和时程的确定作为工程场地地震安全性评价工作的结果，为工程抗震设防提供依据。应根据工程结构特点及抗震设计的需要，首先选取合适的地震动描述量，包括地震动参数和地震动时程，而后基于地震危险性分析及场地地震反应分析计算结果，确定场地地震动参数值，必要时还应确定场地地震动时程。应注意对于不同的工程，抗震设防所要求的场地地震动描述量不同，因此，对于每一特定的工程场地地震安全性评价工作，必须有针对性地选取工程抗震设计所需要的地震动描述量。

12.1.1 场地地震动参数应包括场地地表及工程建设所要求深度处的地震动峰值和反应谱。

场地地震动参数包括场地地震动峰值（峰值加速度、峰值速度及峰值位移）、反应谱和时程强度包络函数等。

应根据建设工程的结构特点选择与工程结构设计相适应的参数。地震动峰值加速度和加速度反应谱是最常用的地震动参数，这些参数对于地震影响主要为惯性力作用的地面结构工程是合适的，但对地震影响主要为非惯性力作用的地下结构工程并不合适，如埋地管线工程。因此，必须结合工程结构的特点及地震影响模式选择相应的场地地震动参数，并确定参数值。对于埋地管线之类的工程，应选用地震动峰值速度、峰值位移等；对于超高或大跨等自振周期很长的结构工程，

还应考虑长周期反应谱值。

对于基础埋藏较深的地面结构工程（包括桩基结构工程）或地下工程，工程抗震设计不仅需要场地地表地震动参数，更需要工程基础或结构埋置深度处即工程结构设计所要求深度处的地震动参数值，以便为工程抗震设计提供合理的地震输入。因此，应给出场地地表和所需深度处的场地地震动参数值。具体的深度位置应与工程抗震设计人员共同来确定。

12.1.2 反应谱宜以规准化形式表示

场地地震动参数中加速度反应谱宜以规准化形式表示，如采用 GB 50011-2001《建筑抗震设计规范》中的标准反应谱的形式。反应谱以规准化形式表示，可以方便工程抗震设计使用，特别是对于利用反应谱法进行抗震设计的工程，同时能在一定程度上消除随机因素所造成的计算场地地震动反应谱谱值随周期剧烈变化的不合理性。

加速度反应谱规准化形式往往以零周期值（即地震动峰值）、两个拐点周期值（即特征周期值）及平台高度值（即反应谱最大值）等几个参数值来表示。在加速度反应谱规准化处理时，应充分理解每一个特定工程场地的地震、地质环境和场地条件的不同而导致的场地地震动之间的差异，在合理地拟合场地地震动峰值加速度和加速度反应谱计算值的基础上，确定规准化加速度反应谱参数值，特别是反应谱的平台高度和特征周期值。

12.1.3 自由基岩场地，应根据地震危险性分析结果确定场地地震动参数：

a) I 级工作，应综合考虑确定性方法和概率方法的结果确定场地地震动参数；

b) II 级和 III 级工作，应根据概率方法的结果确定场地地震动参数。

对于工程区及附近范围的场地为自由地表基岩场地或场地分类属于 I 类场地的情况，不存在或可不考虑工程场地局部土层条件对地震动影响的问题，地震危险性分析计算得到的基岩地震动将代表工程场地的地震动。因此，可根据地震危险性分析结果直接确定场地地震动参数值。

I 级工作，场地地震动参数值应按确定性方法和概率方法的计算结果来综合确定。这些计算结果包括确定性方法和概率方法地震危险性分析计算给出的自由基岩场地的地震动参数值，如地震动峰值加速度、加速度反应谱和时程强度包络函数参数值等。这里所指的综合确定方法包括：统一考虑确定性方法和概率方法

的计算结果，取计算反应谱（包括地震动峰值）外包络谱参数值（以多折线形式给出）作为场地地震动参数值；分别考虑确定性方法和概率方法的计算结果，取各自计算反应谱（包括地震动峰值）外包络谱参数值分别作为场地地震动参数值。具体工作中，应根据工程结构设计计算的要求选取相应的综合确定方法。

Ⅱ级和地震小区划工作，场地地震动参数值应按概率方法的计算结果来确定。概率方法地震危险性分析的计算结果为自由基岩场地地震动参数值，如地震动峰值加速度、加速度反应谱参数和时程强度包络函数参数值等，取自由基岩场地地震动反应谱计算值（包括地震动峰值）的均值拟合谱参数值作为场地地震动参数值。

12.1.4 土层场地，应建立场地地震反应分析模型，进行场地地震反应分析，并基于场地地震反应分析结果确定场地地震动参数。

对于工程场地及附近范围场地为覆盖土层场地的情况，存在工程场地土层条件对地震动影响的问题，对此应进行场地地震反应分析计算，给出工程场地地表及所要求深度处的地震动，基于计算分析结果确定场地地表及所要求深度处的地震动参数值。

场地地震反应分析计算的基本思路是：

1. 以地震危险性分析所给出的自由基岩表面地震动参数值为目标，人工合成地震动时程，并确定场地地震反应分析计算的输入地震动。

I级工作，自由基岩表面地震动反应谱值应按确定性方法和概率方法的计算结果分别确定；Ⅱ级工作，自由基岩表面地震动反应谱值应按概率方法的计算结果确定；地震小区划工作，自由基岩表面地震动反应谱值应按概率方法的计算结果确定，小区划范围较大时，应根据不同位置的自由基岩表面地震动反应谱值的差异情况，划分不同的分区范围并确定分区自由基岩表面地震动反应谱值并以此确定分区计算输入地震动。

2. 建立与工程场地相对应的场地计算力学模型，如一维场地计算模型，二维场地计算模型或三维场地计算模型。

3. 利用场地地震反应分析数值计算方法，计算工程场地在已知计算输入地震动情况下的反应，并给出场地地表和不同深度处的地震反应时程及相关的（加速度）反应谱和其它参数值。

对于每一工程场地包括地震小区划场地，需要进行多个钻孔场地力学模型和

多个输入地震动时程样本的组合情况的场地地震反应分析计算。

4. 综合评判多个钻孔场地力学模型和多个输入地震动时程样本组合情况的场地地震反应分析计算结果，以确定场地地震动参数值。综合评判通常采用对计算地震动反应谱值的平均拟合方法或外包络拟合方法。

由于场地地震反应计算中，利用人工地震动合成技术给出计算输入地震动时程，每一人工合成的地震动时程均只能看作是给定反应谱对应的一个样本时程，要提高反应计算结果的可靠性，在场地地震反应分析计算时，应利用多条样本时程作为计算输入地震动。I 级工作要求不少于 5 条，II 级和地震小区划工作要求不少于 3 条。

5. 根据综合评判结果确定场地地震动参数值。

I 级工作，场地地震反应分析计算分为以确定性地震危险性分析方法和概率地震危险性分析方法的计算地震动作为输入的两种情况，计算结果包括工程场地地表及所要求深度处的地震动参数值，如地震动峰值加速度、加速度反应谱（包括多阻尼谱）和时程强度包络函数参数值等。场地地震动参数值应根据反应计算结果综合确定。这里所指的综合确定方法包括：（1）统一考虑上述两种情况的计算结果，对两种情况下不同的钻孔模型和输入地震动样本时程的计算场地地震动反应谱（包括地震动峰值）进行外包络拟合，并取外包络谱参数值作为场地地震动参数值；（2）分别考虑上述两种计算的结果，分别对每一种情况下不同钻孔场地力学模型和输入地震动样本时程的计算场地地震动反应谱（包括地震动峰值）进行外包络拟合，并取外包络谱参数值，分别作为场地地震动参数值。应根据工程结构设计计算的要求选取相应的确定方法。

II 级和地震小区划工作，场地地震反应分析计算以概率地震危险性分析方法的计算地震动作为输入，计算结果包括工程场地地表及所要求深度处的地震动参数值，如地震动峰值加速度、加速度反应谱和时程强度包络函数参数值等。场地地震动参数值应根据反应计算结果确定，其确定方法为取对应不同的钻孔模型和输入地震动样本时程的计算场地地震动反应谱（包括地震动峰值）均值拟合谱参数值作为场地地震动参数值。地震小区划工作，小区划范围较大时，应根据场地地震反应所给出的小区划范围内不同位置的场地地震动反应谱值（包括地震动峰值）的差异情况，确定不同分区范围及相应的场地地震动反应谱值（包括地震动峰值）。

12.1.5 应根据工程需要，依据场地地震动参数合成场地地震动时程。

应根据工程需要，依据场地地震动参数值人工合成场地地震动时程，以作为工程结构动力反应分析计算的地震输入。

在场地地震反应分析计算输入地震动时程及场地地震动时程的合成方面，工程实践中常用的方法是拟合反应谱的三角级数叠加法。该方法以给定的地震动参数值包括峰值加速度、加速度反应谱和时程强度包络函数为目标参数值，采用迭代调整技术合成满足一定拟合控制精度的地震动时程。对于Ⅰ级工作，反应谱的拟合应符合 GB 50267-1997《核电站抗震设计规范》中第 4.4.2.3 条的规定；对于Ⅱ级和地震小区划工作，反应谱拟合周期控制点数不得少于 50 个，周期控制点应大体均匀地分布于周期的对数坐标上，控制点谱的相对误差应小于 5%。

12.2 场地地震反应分析模型的建立

场地地震反应分析模型即场地力学模型的确定是场地地震反应分析的关键问题，场地工程地质条件资料是确定场地力学模型的基础。Ⅰ级、Ⅱ级和地震小区划工作中涉及到场地地震反应分析计算，考虑工程场地条件对地震动的影响以确定工程场地地震动参数。本节对如何建立工程场地合适的力学模型做出了具体规定，明确了对于不同的场地工程地质条件情况需要建立地震反应分析的一维场地模型、二维场地模型或者三维场地模型的要求，也给出了分析模型中地震输入界面确定的原则。

12.2.1 Ⅰ级、Ⅱ级工作和地震小区划，地面、土层界面及基岩面均较平坦时，可采用一维分析模型；土层界面、基岩面或地表起伏较大时，宜采用二维或三维分析模型。

在地面、土层界面及基岩面均较平坦的场地工程地质条件情况下，水平成层土层模型能合理地反映场地条件，可采用一维场地模型；而在土层界面、基岩面或地表起伏较大时，水平成层土层模型不能合理地反映场地条件，需要采用二维场地模型或三维场地模型。

一维场地模型是一种半无限弹性均匀基岩空间上覆盖水平成层土体的模型，它是一种理想化的场地力学模型。假定土层沿两个水平方向均匀不变，而仅沿竖向分层变化（层内无变化）。虽然一维场地模型是理想化的场地力学模型，但从工程近似的角度它能用以模拟局部范围内地面、土层界面及基岩面较平坦的场地。因此，对于大多数局部场地或大面积场地（如城市区划场地）的局部范围它

适用。对于局部场地地面、土层界面及基岩面起伏较大的情况，由于场地土体特性沿水平向变化显著，以一维场地模型进行场地地震反应分析则难以模拟场地条件对地震动的影响。因此，对于局部范围内地面、土层界面及基岩面在一个水平方向较平坦而在另一个水平方向起伏较大的场地，宜采用二维场地模型；对于局部范围内地面、土层界面及基岩面在两个水平方向起伏均较大的场地，宜采用三维场地模型。

12.2.2 确定地震输入界面时应符合下列规定：

a) I 级工作应采用钻探确定的基岩面或剪切波速不小于 700 m/s 的层顶面作为地震输入界面；

b) II 级工作和地震小区划应采用下列三者之一作为地震输入界面：

——钻探确定的基岩面；

——剪切波速不小于 500 m/s 的土层顶面；

——钻探深度超过 100 m，且剪切波速有明显跃升的土层分界面或由其他方法确定的界面。

对于不同级别的工作，地震输入界面确定的要求有所不同。对于 I 级工作，当钻探已揭示出土层下卧基岩层时，应选择基岩层顶面作为地震输入界面；如果钻探未能揭示出土层下卧基岩层，则应选用剪切波速不小于 700m/s 的土层层顶面作为地震输入界面。对于 II 级和地震小区划工作，当钻探已揭示出土层下卧基岩层时，应选择基岩层顶面作为地震输入界面；如果钻探未能揭示出土层下卧基岩层，则应选用剪切波速不小于 500m/s 的土层层顶面作为地震输入界面；对于深软覆盖土层场地情况，在钻探深度超过 100m 时所揭示出土层剪切波速值仍小于 500m/s 时，可选择剪切波速有明显跃升的分界面或由其它方法确定的界面作为地震输入界面。

无论是一维场地模型、二维场地模型或三维场地模型，模型中均涉及到地震输入界面的确定问题。地震输入界面指的是，场地计算模型中（假想）弹性均匀基岩空间与非均匀土层的交界面。该界面在场地地震反应分析计算时作为引起界面内土体反应的地震输入（地震入射波）的输入界面，同时它又是界面内土体反应能量（地震波）向无限远处辐射的传递界面，即地震波由界面内通过界面向外传播后不再返回界面内。真实地球介质中并不存在这一个理想的界面，一般来讲，即使地下很深处的基岩，其波速值也并不非常值而是随深度发生变化，且存在波速

值突变面，它们不能完全满足弹性均匀基岩空间的假设。这些介质的突变界面将对上、下行至界面处的地震波具有反射作用。因此，适当地设定地震输入界面对正确地计算场地地震反应十分重要。严格上讲，地震输入界面应具有两个基本特性：①地震输入面以外的介质应为基岩或足够坚硬且非线性较小的土体；②地震输入界面之下介质的波速值与其上部的土层的波速值之间应满足一定的比值条件。特性①用以保证地震输入界面之下介质为线性或近似线性介质；特性②用以保证以弹性半无限空间介质来模拟界面之下的真实介质的精度。

基于这些考虑，规范中给出了相应的地震输入界面确定的原则。700m/s 和 500m/s 的剪切波速值相当于一般性基岩和坚硬土层的经验剪切波速值，这些经验数据为目前工程界所公认和采用。但无论选择多大剪切波速值的土层（包括基岩层）顶面作为地震输入界面，它均应尽可能使界面上下土层之间波阻抗比值($\rho_{\text{下}}V_{\text{s下}}/\rho_{\text{上}}V_{\text{s上}}$)较大（如大于 2）的土层分界面，且其下不存在较小波速值的土层。

地震输入界面确定中由其它方法确定的界面作为地震输入界面，指的是需根据物探等其它手段或邻区相关深孔资料确定的基岩面等。在进行原位波速值测定时其波速值尽量测至基岩深度处，这将为计算力学模型中的计算地震输入面的确定提供依据。若钻孔深度超过 100m 时，剪切波速仍小于 500m/s，规范规定了在此条件下可以终孔，并应进行专门研究。对于这些钻孔，在确定场地模型的计算地震输入面时，应首先采用近似估计方法弥补所缺波速值，而后确定计算地震输入面。波速值的近似估计见后面的场地土层模型参数确定一节所述。

12.2.3 选用二维或三维分析模型时，应考虑边界效应。

当采用二维场地模型或三维场地进行场地地震反应分析计算时，应设置人工边界，以考虑边界效应即对地震输入界面处波传播的模拟。

设置人工边界的目的在于利用有限空间分析方法处理地震输入界面外的无限空间问题。取满足某种条件的人工边界，使之能代替人工边界以外介质的作用，以尽可能模拟波在人工边界处的完全透射效应。因为人工边界是在原连续介质中设置的一种虚拟边界，该边界处实质上不应出现波的反射。人工边界处理方法有许多种，如远置人工边界方法、粘性边界方法、旁轴近似方法、一致传递边界方法、无穷元方法及透射人工边界方法，可以根据实际情况并结合人工边界内点运动的求解方法选用合适的人工边界。

12.3 场地土层模型参数的确定

场地地震反应分析模型参数包括土层剖面描述参数及土体力学性能参数,它们是土层厚度(空间三维变化)、土体密度、土体 S 波(剪切波)与 P 波波速、土体动力非线性关系,即剪变(或压缩)模量比与剪(或轴)应变关系曲线、阻尼比与剪(或轴)应变关系曲线。这些参数均可根据场地工程地质条件勘测与试验结果确定。

12.3.1 I 级工作应根据土力学性能测定结果确定模型参数。

对于 I 级工作,应根据场地分层岩土静力和动力特性实际测定结果直接确定场地计算模型的所有参数,包括场地计算模型分层土的厚度、密度值、波速值及剪变(或压缩)模量比与剪(或轴)应变关系曲线、阻尼比与剪(或轴)应变关系曲线,以准确地反映真实的场地条件。

12.3.2 II 级工作和地震小区划应由土力学性能测定结果及相关资料确定模型参数。

II 级和地震小区划工作,应利用钻孔资料和土静力与动力特性实测资料直接确定控制性钻孔的场地计算模型参数,包括分层土的厚度、密度值、波速值;对钻孔揭示的自然分层中代表性土层应取样并进行动三轴或共振柱试验,以直接确定这些土层的剪变(或压缩)模量比与剪(或轴)应变关系曲线、阻尼比与剪(或轴)应变关系曲线;非控制性钻孔的场地计算模型参数确定中,当实测资料不足时,可根据土的常规物理力学性能或岩(土)性指标,采用经验关系确定相应的模型参数。对于深度大于 100m 的那些控制性钻孔在其 100m 以上深处(地震输入界面之上)没有实测波速值或非控制性钻孔没有实测波速值的情况下,确定相应的计算力学模型参数时应采用近似估计方法弥补所缺波速值。波速值的近似估计分两种情况:①对具有土性描述的钻孔,如果此钻孔附近有完整钻孔波速值的测点,则可以采用土性及深度类比方法估计此钻孔所缺波速值;如附近无完整钻孔波速值的测点,可以采用本地或工程地质条件相类似的其它地区的波速值随土类及埋深变化的统计经验关系式,估计此钻孔所缺波速值;②对于深部无土性描述的钻孔,则应利用钻孔附近其它钻孔的土性描述及波速值资料勾画出此钻孔周围的土层分层面分布图,并由此得到此钻孔深部的土性描述,而后利用土性及深度类比方法依据附近钻孔波速资料估计此钻孔所缺深部波速值,并确定计算地震输入面。在采用近似估计方法弥补所缺波速值和地震输入面后,应进行波速值和地

震输入界面位置的不确定性对场地地震反应的影响分析。

12.4 输入地震动参数的确定

输入地震动参数指场地地震反应分析计算中地震输入界面处的入射地震波参数，它反映的是地震震源特性、地震波从震源传播至场地的途径及介质特性对场地地震动的影响。本节给出了输入地震动参数和地震动时程确定的原则和方法。

12.4.1 I 级工作的基岩地震动参数应按确定性方法和概率方法得到的结果确定。

I 级工作，基岩地震动参数应分别按确定性方法和概率方法的计算结果确定。这里的计算结果包括计算给出的自由基岩场地的地震动参数值，如地震动峰值加速度、加速度反应谱和时程强度包络函数值等。分别考虑确定性方法和概率方法的计算结果，取各自反应谱（包括地震动峰值）外包络谱参数值分别作为基岩地震动参数值。

12.4.2 II 级工作和地震小区划的基岩地震动参数应按概率方法得到的结果确定。

II 级和地震小区划工作，基岩地震动参数应按概率方法计算给出的自由基岩场地的地震动参数值确定，包括峰值加速度、加速度反应谱和时程强度包络函数值等。取计算地震动反应谱（包括地震动峰值）均值拟合谱参数值作为基岩地震动参数值。

12.4.3 合成适合工程场地的基岩地震动时程，应符合下列要求：

- a) I 级工作，反应谱的拟合应符合 GB 50267—1997 中第 4.4.2.3 条的规定；
- b) II 级工作和地震小区划，反应谱的周期控制点在对数坐标轴上应合理分布，个数不得少于 50 个，控制点谱的相对误差应小于 5%；应给出三个以上相互独立的基岩地震动时程。

不同级别的工作，基岩地震动时程合成的要求有所不同。对于 I 级工作，反应谱的拟合应符合 GB 50267—1997《核电站抗震设计规范》中第 4.4.2.3 条的规定；对于 II 级和地震小区划工作，应给出三个以上相互独立的随机样本时程，反应谱拟合周期控制点数不得少于 50 个，周期控制点应大体均匀地分布于周期的对数坐标上，控制点谱的相对误差应小于 5%。

12.4.4 本地有强震动记录时，宜充分利用其合成适合工程场地的基岩地震动时

程。

本地有强震动记录时,宜充分利用强震动记录作为基岩地震动合成迭代拟合的初始时程,以充分利用实际强震动记录中所带有的地震动相位特性信息。

12.4.5 应按基岩地震动时程幅值的 50%确定输入地震波。

在确定场地地震反应分析的地震输入时,地震输入界面处的输入地震波应按自由基岩地震动时程幅值的 50%确定。

对于弹性均匀介质半无限空间问题,地震动场在自由表面处的值为入射波场值的二倍,基于这一理论结果对实际问题进行近似处理,则是规范中规定地震输入界面处的输入地震波应按自由基岩地震动时程幅值的 50%确定的依据。

12.5 场地地震反应分析与场地相关反应谱的确定

采用与工程场地相适应的场地力学模型(一维、二维或三维场地模型),利用适当的分析方法,在已知场地力学参数及计算地震动输入的情况下,可以给出场地不同位置(包括不同深度处)地震反应的地震动时程,而后计算出地震动时程对应的场地相关反应谱,并考虑输入地震动随机样本时程的差异对场地相关反应谱值的影响,采用取包络谱或平均反应谱值的方法给出计算场地地震动相关反应谱。另外,因为直接计算所得场地地震动相关反应谱曲线形状较复杂,为了便于结构地震反应分析计算,场地地震动相关反应谱通常以规准化形式给出。一般情况下,标定反应谱值为计算反应谱的平均拟合值,而对于核电站等十分重要的工程场地,标定反应谱值为计算场地反应谱的外包线值。

12.5.1 一维模型土层厚度应划分得足够小,使层内各点剪应变幅值大体相等,计算可用等效线性化波动法。

一维场地计算模型中,在钻孔波速测试确定了等波速层分层厚度后,实际计算时还应对各等波速土层进行计算细分层,以获得足够小的计算土层厚度,确保计算土层层内各点剪应变幅值大体相等,以在计算中合理地反映较厚土层中不同深度位置土体的非线性程度的差别。理论上讲,计算土层厚度值越小计算反应精度越高。然而,计算层厚越小其计算量越大。为此,取一个计算量尽可能小且能获得足够的计算精度的计算层厚度值是必要的。根据理论分析及计算经验,计算土层厚度值控制在所考虑的有效地震波最短波长的 $1/20 \sim 1/5$ 范围内,计算土层厚度与土层的波速值成正比例关系。

基于已有工作的实践经验,采用等效线性化处理土体的非线性问题具有一定

的理论依据和合理性,规范中仍然规定了可以采用等效线性化波动法进行场地地震反应分析计算。开展场地地震反应分析计算的另一类方法则是直接的非线性时域方法。直接的非线性时域方法进行场地地震反应分析计算已在一些工程场地地震安全性评价工作得到了应用,直接的非线性时域方法具有为更为合理地反映土体非线性特性对场地地震动影响的物理过程的优势,特别是对于具有较厚覆盖土层的场地及地震动输入强度较大(如基岩地震动峰值加速度大于 $0.20g$)的情况。因此,利用直接非线性时域方法进行场地地震反应分析成为发展的趋势。

基于一维场地模型的场地地震反应分析计算包括水平向和竖向反应计算。是否进行场地地震反应分析的竖向反应计算取决于工程抗震设计要求。

12.5.2 二维及三维模型采用有限元法求解时,有限元网格在波传播方向的尺寸应在所考虑最短波长的 $1/8\sim 1/12$ 范围内取值。

基于二维场地模型或三维场地模型的场地地震反应分析方法有多种,规范中针对推荐的有限元方法,其中包括有限元有限差分方法,规定了具体的场地计算模型要求。如采用有限元法求解,有限元离散场地计算模型中有限元网格在波传播方向的尺寸应在所考虑的有效地震波最短波长的 $1/12\sim 1/8$ 范围内取值,以确保场地地震反应计算中所考虑的地震动高频成分计算结果的精度。

12.5.3 应根据场地反应分析得到的地震动时程,计算场地相关反应谱。

应根据场地地震反应分析得到的地震动时程,计算场地相关地震动参数,包括场地地表及工程建设所要求深度处的地震动峰值加速度、加速度反应谱和时程强度包络函数等。

12.5.4 应根据计算所得到的场地相关反应谱,综合确定场地地震动参数。

应综合分析不同钻孔场地力学模型和不同地震动输入情况下的场地地震反应分析计算结果,包括场地地表及不同深度处的地震动计算结果,确定场地地震动参数。场地地震动参数中反应谱宜以规准化形式表示,如采用建筑抗震设计规范中的标准反应谱的形式。

12.6 工程场地地震地质灾害评价

场地地震地质灾害是由地震动或断层错动引起的可能影响场地上工程性能的场地失效。震害经验表明,具不良地质条件的场地,常诱发产生各种地质灾害。地震地质灾害主要包括三大类:①由于地震动作用导致的对工程有直接影响的工程地基基础失效,包括饱和砂土液化、软土震陷等;②由于地震动作用导致的对

工程有可能间接影响的工程场地失效，包括岩体崩塌、岩体开裂、岩土滑坡等；
③由地震断层作用导致的地表错动、地裂缝与地面变形等地质灾害。

12.6.1 应根据工程场地工程地质条件，确定工程场地地震地质灾害类型，评价其影响程度。

本规范对场地地震地质灾害评价工作只作出了应开展相应工作的原则性规定，但未明确评价方法。这是考虑到对于不同类型的地震地质灾害，我国现行的一些规范均给出了相应评价方法的要求，地震地质灾害评价工作应基于相应规范要求来开展。

饱和土液化的评价，应基于地下水位、标准贯入锤击数、粘粒含量、可液化地层厚度、非液化地层厚度及剪切波速等调查和勘测资料，并结合场地地震动参数值（包括场地地震烈度值），评价方法和要求可依据 GB 50011-2001《建筑抗震设计规范》的规定，评价内容包括是否存在液化的可能性，如有可能，则应进一步判定液化等级和液化深度。

软土震陷是软厚覆盖土层场地的主要地震灾害之一，如上海、天津等地区，因此，对于软厚覆盖土层场地应开展软土震陷判别与评价工作，判别与评价工作应基于淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土或其它高压缩性软土层的特性和分布勘测资料，评价方法和要求可依据 JGJ 83-1991《软土地区工程地质勘察规范》的规定。

地震可能引起与地质构造直接相关的变形与破坏，如断层错动引起的地裂缝和地面变形等。这一类地震地质灾害的破坏力强，很难进行人工防御，一般采取避开建设的原则。因此，对地震断层错动可能直接引起地表或近地表变形与破坏的工程场地，应评价其变形与破坏的可能性及判定变形与破坏的范围与程度，评价方法和要求可依据 GB 50011-2001《建筑抗震设计规范》的规定。

场地地震地质灾害中，对于其它一些类型的地震地质灾害，如岩体开裂、崩塌与滑坡及地面陷落或陷穴、地震海啸、江和湖涌等，其评价方法复杂或尚无成熟和系统的方法。在实际评价工作中，应根据场地及其附近范围内的相关工程地质资料的收集、调查和勘测资料，结合当地已有的历史资料与历史记录采用适当的理论计算或经验方法，对这些地震地质灾害进行判定，评价其对工程场地的影响。

12.6.2 根据断层活动性调查结果，评价断层的地表错动特征及其对工程场地的

影响。

断层地表错动包括非强震活动断层引起的错动和地震活动断层产生的地表断错、地裂缝及其它地面变形，一般前者影响范围较小，后者影响范围较大。其评价结果往往直接关系到工程的可行性。

当场地及其附近范围存在活动断层或存在与已知活动断层有构造联系的断层时，应评价其产生地表错动与变形的可能性、可能分布范围与发育程度。在此基础上，评价对工程场地的影响。

当线状工程通过地表活动断层时，应给出工程通过处断层活动性质和活动速率，评价一次断错事件可能产生的最大位移量；当线状工程通过地表活动褶皱时，应评价活动褶皱水平缩短速率和最大垂直活动速率。

第十三章 地震小区划

地震小区划是对某一特定区域范围内地震安全环境进行的划分、预测这一范围内可能遭遇到的地震影响的分布。

地震小区划的目的是为城镇、厂矿企业、经济技术开发区等土地利用规划的制定提供基础资料，为城市和工程震害的预测和预防、救灾措施的制定提供基础资料，为地震小区划范围内的一般建设工程的抗震设计提供设计地震动参数。

13.1 工作内容

地震小区划应包括地震动小区划和地震地质灾害小区划。

地震小区划与全国地震区划相比有共同之处，都是为一般建设工程提供抗震设防要求、为抗震设计提供设计地震动参数。但工作的细致程度、工作深度和工作内容有很大差别。全国地震区划是在平均场地条件下对全国范围内的地震安全环境进行的区域划分。地震小区划是对某一城镇、厂矿或开发区范围内的地震安全环境进行的划分、预测这一范围内可能遭遇的地震影响的分布，包括设计地震动参数的分布和地震地面破坏的分布。因此，地震小区划应包括地震动小区划和地震地质灾害小区划。

地震小区划必须针对具体场地做更加深入细致的工作，针对性更强、考虑的因素更多、精度要求更高。与全国地震区划相比，地震小区划具有以下特点：

a) 地震小区划重视场地工程地质条件，特别是局部的场地条件对地震破坏作用的影响。大量的震害经验表明，地震破坏作用在几百米以至几十米以内也可能出现显著差异，这种差异主要是场地工程地质条件引起的。除了最重要的地表土层的影响外，局部地质构造环境和地形的影响也得认真考虑。因此，在地震小区划工作中必须深入细致地进行场地地震工程地质条件勘测，以了解场地的地震工程地质条件。

b) 地震小区划要更为详细地研究周围的地震活动环境、地质构造环境，分析近场区范围内的地震活动特征、鉴定活动构造的活动性质。

c) 进行较全国地震区划更为详细的地震危险性分析，并把地震环境和场地条件密切地结合起来，选择合适分析的计算模型，进行土层地震反应分析。

d) 区分不同的地震破坏作用，对地面断裂错动、滑坡、崩塌、地基土液化

和软土震陷等地震地质灾害进行评价。

e) 编制比例尺远大于全国地震区划的图件, 通常视地震小区划范围的大小来选择合适的比例尺, 如某些范围较小的地震小区划的图件比例尺达到 1: 50 000 ~ 1: 10 000。

13.2 地震动小区划

13.2.1 地震动小区划应包括地震动峰值与反应谱小区划。

地震动小区划的结果是用于一般建设工程的抗震设计、加固及预测结构振动破坏等的地震输入, 即提供一套设计地震动参数, 主要包括地震动峰值和反应谱。所以地震动小区划应包括地震动峰值与反应谱小区划。

地震动小区划基于场地地震反应分析所给出的场地地震动参数结果, 同时还需要考虑小区划范围内的地形、地貌和岩土性质的特点, 即工程地质单元的分区结果, 经综合分析后, 按照地震动峰值加速度的大小与反应谱的形状进行划分, 地震动小区划可以是分区的, 也可以是等值线而容许内插。地震动小区划的结果可以以两套小区划图及一些表格数据给出。一套图给出场地地震加速度峰值的分布, 另一套图给出加速度反应谱的特征周期分布, 表格给出与加速度反应的特征周期分布图相对应的放大系数反应谱平台高度值等。

13.2.2 地震动小区划应符合下列要求:

a) 根据工程场地工程地质分区图, 选择有代表性的控制点或工程地质剖面。

地震小区划工作应按本标准 7.1 的要求进行场地勘测, 并编制工程地质分区图。应充分收集、分析和整理小区划范围内的工程地质、水文地质和地形地貌等资料, 进行现场工程地质调查, 并在此基础上进行补充勘察, 包括物化探、坑槽探和钻孔等, 详细勘测小区划范围内的场地工程地质条件, 编制工程场地工程地质分区图。在每个工程地质单元分区内, 选择能代表本分区地震工程地质条件和特征的地震反应计算控制点或地质剖面。控制点应能控制场区内各个不同的工程地质单元及其边界, 并注意适当均匀分布。为了编制地震动参数分区图或等值线图, 还应注意控制点应有适当的密度分布, 特别是在边界线或分界线附近。

在自由基岩场地的工程地质单元分区内, 选择的有代表性的控制点就是地震危险性分析的计算点; 在第四纪复盖的土层场地的工程地质单元分区内, 计算控制点的选择应结合区内的工程地质钻孔, 选择有代表性的控制性钻孔, 对控制性钻孔应进行场地土分层剪切波波速测量、对典型场地不同类型和不同深度的土层

取样并进行室内土动力学参数测定、取得包括动剪切模量和滞回阻尼比等土的动力性能随剪应变变化关系的参数。

b) 按 12.1~12.5 的规定，计算控制点或工程地质剖面的地震反应，确定控制上的地震动参数。

对选择的每个工程地质分区内的有代表性的计算控制点，应按本标准 12.1~12.5 的规定，进行场地地震反应分析，确定控制点上的地震动参数。计算控制点或剖面是自由基岩场地时，应根据地震危险性分析结果确定场地设计地震动参数；计算控制点或剖面是土层场地时，应根据场地土力学性能测定结果及相关的资料，建立场地地震反应分析模型，确定场地土层模型的参数，进行场地土层地震反应分析，依据地震反应分析结果确定场地地震动参数。在场地地震反应分析中，当地面、土层界面和基岩顶面较为平坦时，可采用一维场地地震反应分析模型；当土层厚度变化较大，地面、土层界面、基岩顶面起伏变化较大时，不仅要考虑场地土的竖向非均匀性，而且应考虑局部场地条件的横向非均匀性，因此，宜采用多维场地地震反应分析模型。

13.2.3 应根据控制点上的地震动参数，并结合工程地质单元分区结果，编制给定概率水平的工程场地地震动峰值和反应谱分区图或等值线图。

在地震小区划所涉及的场地范围内，加速度峰值大小及反应谱形状的变化一般主要来自场地工程地质条件的差异，所以在编制地震动小区划图时，要根据确定的计算控制点的地震动参数，并结合工程地质单元分区结果，综合分析编制给定的概率水平的工程场地地震动峰值和反应谱小区划图。小区图的比宜不小于 1:250 000，对某些占地范围小的地震小区划图比例尺宜采用 1:50 000~1:10 000，不同建设工程的抗震设计要求给定的概率水平不同，对一般建设工程的地震小区划工作中，设防地震的概率水平通常取 50 年超越概率 63%、10%和 2~3%。

地震动小区划的结果可以是分区图或者等值线图，地震动峰值和反应谱分区图或等值线图，应能提供地震小区划范围内任一场地一般建设工程的抗震设计参数。

地震动小区划分区图应根据场地工程地质单元分区和控制点上的地面地震动参数，把小区划范围划分为若干个小区，并在每个小区内确定平均意义上的地震动参数。这种方法的优点是编图简单、与工程地质单元结合紧密、在工程地质单元划分合理的基础上对控制点的密度要求不高，结果便于工程应用。弱点是地

震动参数值在边界上不连续、有突然跳跃，每个小区内的地震动参数是平均值，与各控制点的计算值之间离散较大。

地震动小区划等值线图可以直接根据各控制点计算得到的地震动参数进行绘制。这种方法的优点是直接，不需要按工程地质单元分区给定平均的地震动参数值，数值连续无跳跃。弱点是控制点要有足够的密度，与工程地质单元分区结合不紧密，当场地工程地质条件、地形、地貌复杂时，等值线图绘制困难。

13.2.4 相邻分区或两条等值线，地震动峰值的差别宜不小于 20%，反应谱特征周期的差别宜不小于 0.05s。

在地震动小区划结果的实际使用过程中，相邻分区或两条等值线地震动峰值和反应谱特征周期的差别太小，对工程抗震设计和其它的应用来说实际意义不大，差别太小既没有必要也使用不上；同时，在地震安全性的评价工作的分析计算过程中，存在地震活动参数的不确定性、潜在震源划分方案的差异、地震动衰减关系的偏差、场地模型和参数确定的误差等等，这些因素最终将直接影响到场地地震动参数的精度，考虑地震动参数的精度，也不宜把数值分得过细。因此在地震动小区划图的编制过程中，相邻两区或两条等值线，地震动峰值的差别宜不小于 20%，反应谱特征周期的差别宜不小于 0.05 秒。

13.2.5 应编写地震动小区划图说明。

完整的地震动小区划除了给出地震动峰值加速度和反应谱两套图表外，还应认真编写地震动小区划图说明，介绍地震动小区划图编制的技术要求、技术思路和技术方法，编制过程中所使用资料的来源、资料的精度，清楚地说明地震动小区划结果的表示方式和内容、地震动小区划结果的使用范围以及使用过程中要注意的事项等。

13.3 地震地质灾害小区划

地震的破坏作用多种多样，极其复杂，不同地质条件的场地在不同地震作用下会产生不同程度及类型的地震地质灾害。为了对城市或厂矿等范围内不同场点的地震地质灾害评价结果进行综合表述，需要进行地震地质灾害小区划。在进行地震地质灾害小区划时，应结合场地地质条件对某种或某几种类型的灾害作重点分析，并基于场地地震地质灾害评价结果给出地震地质灾害小区划图。

13.3.1 应按 12.6 条的规定，评价工程场地地震地质灾害的类型、程度及其分布。

地震地质灾害主要是由不良地质环境条件在地震的作用下,由地震力触发造成地质体的破坏而形成的。因此,评价工程场地地震地质灾害时,应按 12.6 条的规定,判别地震时地质不良环境与地质体破坏的危险所在,并结合区内已发生过的地震地质灾害特征,判别不同工程地质单元内地震地质灾害类型与其分布,根据评价区工程场地的工程地质条件和地震地质灾害判别标准,预测这些地震地质灾害的强度或破坏程度。

13.3.2 应编制给定概率水平地震作用下的地震地质灾害小区划图。

在工程场地控制点或剖面上,分别标明给定概率水平地震作用下不同类型地质灾害的程度指标,勾画出严重、中等、轻微和无四种不同等级灾害的分区界限。

地震地质灾害小区划图的比例尺选择宜与地震动小区划图一致,但结合灾害类型和具体工程,图件比例尺可以适当放大、缩小。

地震地质灾害小区划图上所表示的地震地质灾害类型可以是综合性的,如砂土液化、软土震陷、地震断层等都在一幅图中表示出来;也可以是单一类型的地震地质灾害小区划图,如砂土液化分布图等。表达方式上除了平面图之外,宜以必要的柱状图与剖面图辅助说明。

13.3.3 应编写地震地质灾害小区划图说明。

地震地质灾害小区划除了给出相关的图件外,还应认真编写地震地质灾害小区划图说明,介绍图件编制的技术思路和技术方法,编制过程中所使用资料的来源、资料的精度,说明地震地质灾害小区划的分区原则和依据,说明各分区内潜在地震地质灾害类型、程度及空间分布,并介绍地震地震灾害小区划结果的使用范围以及使用过程中要注意的事项等。

第十四章 地震动峰值加速度复核

根据 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》的规定，地震动峰值加速度复核指对位于地震动峰值加速度区划图中分区界线附近和资料缺乏地区的工程场地的峰值加速度值进行专门研究和确认。复核的工程对象主要针对新建、扩建、改建的一般建设工程。

GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》是依托中国地震局“九五”重点项目“中国地震动参数区划图编制”完成的。GB 18306-2001 发布时以为“两图一表”的形式表达，即标准的附录 A“中国地震动峰值加速度区划图”、附录 B“中国地震动反应谱特征周期区划图”和附录 C“地震动反应谱特征周期调整表”。

编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》所使用的地震构造图等主要基础图件比例尺为 1:2 500 000，区划图计算控制点的间距为 $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$ ，分区界线是通过插值和综合考虑各种因素得到。该区划图的比例尺为 1:4 000 000。GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》第 4 章“使用规定”明确该区划图不得放大使用。受编图精度的限制，位于 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》分区界线上或附近的地震动参数具有一定的不确定性。因此，GB 18306-2001 规定位于地震动参数分界线附近的新建、扩建、改建建设工程不应直接采用该标准，而需做专门研究。

GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》采用分档方式编制。其中，“中国地震动峰值加速度区划图”的峰值加速度 α 各分区值包括 $\alpha < 0.05g$ 、 $0.05g$ 、 $0.10g$ 、 $0.15g$ 、 $0.20g$ 、 $0.30g$ 、 $\alpha \geq 0.40g$ (g 为标准重力加速度)。分区界线两侧地震峰值加速度有跳跃。因此根据 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》的规定对位于分区界线附近的一般建设工程场地的峰值加速度值进行复核确认是非常必要的。

编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》依据的主要资料包括地质构造资料、地球物理场资料和地震资料等。所有资料截止于 1996 年底。由于不同地区地震研究程度较大差别，因此资料的精度和详尽程度也有较大差别。个别资料缺乏地区的地震区划精度达不到全国编图精度的要求。近年来发生的一些强

震，突破了所在潜在震源区的震级上限，如 1996 年张北地震等。GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》规定，资料缺乏地区的新建、扩建、改建一般建设工程的地震动参数应做专门研究。

GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》附录 B“中国地震动反应谱特征周期区划图”给出的 T_g 值为最低要求，主要是考虑抗震设防要求的连续性及其与主要抗震设计规范的接轨。在区划图编制过程中，对国内外已有的强地面运动记录进行了深入的分析研究，发现 6.5 级以上地震基岩场地强地面运动 T_g 值大于 0.40s。根据对各国规范 II 类土 T_g 值选取情况的分析，大多数国家的 T_g 值规定为 0.50s 或 0.60s。日本规范中 T_g 值取为 0.60s，美国规范中取为 0.58s。根据对美国地震区划资料的分析研究，其基岩场地 T_g 值均达到 0.40s~0.50s。对我国重大工程地震安全性评价结果的统计分析表明，50 年超越概率为 10% 的 II 类场地 T_g 值大部分大于相应场点区划图的结果。鉴于区划图给出的结果有很强的政策性考虑，一般情况下不对地震动反应谱特征周期进行复核。综上所述，区划图地震动参数复核工作只包括地震动峰值加速度值的复核。

地震动峰值加速度复核的基本思路和工作要点为：

①搜集工程场地不小于 150km 范围内的有代表性的通过评审的地震安全性评价工作报告和地震区划工作报告，特别是国家地震安全性评价委员会评审通过的地震安全性评价报告。分析报告中提供的潜在震源区及其地震活动性资料，确定对场地 50 年超越概率 10% 峰值加速度起主要影响的潜在震源区；

②搜集工程场地周围不小于 25km 范围内的仪器记录地震资料、活动断层探测资料、地震地质调查资料，对历史地震资料进行补充调查和确认，在上述工作的基础上对主要潜在震源区的边界和震级上限进行复核、确认或进行必要的修改，对潜在震源区的地震活动性参数进行分析论证，形成地震危险性分析计算所使用的基础数据；

③直接选用编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》所使用的地震动峰值加速度衰减关系，采用中国地震局推荐的计算软件包进行地震危险性分析计算；

④根据计算得到的 50 年超越概率 10% 的地震动基岩峰值加速度，按编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》采用的转换系数，得到 50 年超越概率 10% 的一般场地（中硬场地）地震动峰值加速度；

⑤对上述结果进行综合分析判断，并按编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》的区划分档方法确定工程建设场地的地震动峰值加速度。

地震动峰值加速度复核应符合下列要求：

a) 应按第 6 章的要求，对工程近场区地震活动和地震构造资料进行搜集和补充调查，对相关潜在震源区及参数进行论证；

地震动峰值加速度复核工作的重点是在搜集区域范围内地震安全性评价资料的基础上，对 50 年超越概率 10% 概率水平的峰值加速度计算结果影响最大的潜在震源区及其参数进行分析论证。

地震安全性评价资料应重点搜集重大工程地震安全性评价报告，特别是经过国家地震安全性评价委员会评审的报告。将报告中的地震危险性分析的基本参数，包括潜在震源划分结果、地震带地震活动性参数、地震震源深度研究结果作为地震动加速度峰值复核的基础。

在上述工作的基础上，应按第 6 章的要求，对工程近场区地震活动和地震构造资料进行搜集和补充调查。调查的重点是台网地震资料，特别是近期地震记录资料。应搜集工程场点附近开展的地震构造研究、活动断层探测等方面的研究成果。调查范围半径应不小于 25km。

之后，对主要潜在震源区，特别是近场潜在震源区的震级上限和潜在震源区的边界以及地震活动性参数进行论证和分析研究。确定相应潜在震源区基本参数。

b) 应采用编制中国地震动参数区划图所使用的地震动峰值加速度衰减关系；

考虑到强地面运动资料近期不会有显著的增加，同时考虑与 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》的衔接，本标准规定地震动峰值加速度复核采用编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》所使用的衰减关系。该衰减关系为基岩场地衰减关系，分为中国东部地区衰减关系和中国西部地区衰减关系，以东经 105° 线为界。地震动峰值加速度衰减关系的具体表达式，中国东部地区为：

$$\begin{aligned}\ln a_{Ra} &= 5.304005 + 1.719594M - 2.59029\ln(R_{Ra} + 2.789e^{0.451m}) \\ \ln a_{Rb} &= 2.726514 + 1.346759M - 1.76361\ln(R_{Rb} + 1.046e^{0.451m})\end{aligned} \quad \cdot \cdot \quad (14.1)$$

中国西部地区为：

$$\begin{aligned}\ln a_{Ra} &= 5.912025 + 1.836588M - 2.84658\ln(R_{Ra} + 3.400e^{0.451m}) \\ \ln a_{Rb} &= 2.509012 + 1.360759M - 1.79151\ln(R_{Rb} + 1.046e^{0.451m})\end{aligned} \quad \cdot \cdot \quad (14.2)$$

上述衰减关系的标准差为 0.546。

上述衰减关系式中距离项 R_{Ra} 和 R_{Rb} 为震源距，在具体使用时应考虑震源深度。震源深度选取时，应主要考虑近场区潜在震源区的震源深度，并应进行相应分析论证工作。

c) 应确定 50 年超越概率 10%的工程场地基岩峰值加速度；

使用经过分析论证的潜在震源区数据和编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》所使用的衰减关系，采用地震危险性的概率分析方法进行计算，绘制超越概率曲线，确定 50 年超越概率 10%的基岩场地地震动峰值加速度。

d) 应根据中硬场地地震动参数的对应关系，确定中硬场地的地震峰值加速度，并按 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》的分区原则进行归档，并作为复核结果。

根据中硬场地地震动参数与基岩场地地震动参数的对应关系，确定中硬场地的地震峰值加速度。在编制 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》时，对不同场地类型地震动参数的关系进行了大量研究工作。经过与主要抗震设计规范的沟通和考虑保持抗震设防标准的相对连续性，由 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》确定不同场地类型的设计反应谱时，采用了不调整峰值加速度，只调整反应谱特征周期的方法。综合考虑上面各种因素，确定了 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》中地震动峰值加速度（中硬场地）与基岩场地地震动峰值加速度的对应关系：

$$a_{hs} = k_s a_r \quad (14.3)$$

$$k_s = \begin{cases} 1.25 & a \leq 62.5 \\ 1.25 - (a - 62.5) / 1250 & 62.5 < a \leq 375 \\ 1 & a > 375 \end{cases} \quad (14.4)$$

其中 a_{hs} 为一般场地（中硬）地震动峰值加速度， a_r 为基岩地震动峰值加速度， k_s 为转换系数。

将经过上述转换得到的中硬场地地震动峰值加速度按 GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》的分区原则进行归档。峰值加速度分档如表 14.1 所示：

表 14.1 加速度分档

加速度分档	参数值范围
$\alpha < 0.05g$	$\alpha < 0.04g$
$0.05g$	$[0.04g, 0.09g)$
$0.10g$	$[0.09g, 0.14g)$
$0.15g$	$[0.14g, 0.19g)$
$0.20g$	$[0.19g, 0.28g)$
$0.30g$	$[0.28g, 0.38g)$
$\alpha \geq 0.40g$	$\alpha \geq 0.38g$

在进行归档时，应综合考虑各种不确定性因素的影响，归档后得到的场地地震动峰值加速度值作为复核结果。

GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》在处理城市附近的分区界线时，进行了政策性考虑，一般采取了保守原则，尽量将城市划入较高的地震动峰值加速度分区内。在归档处理地震动峰值加速度值复核结果时还应遵循这一原则。

考虑到华中、华南弱地震活动背景地震的影响和近年来发生的 3 级左右的地震就可能造成破坏的现象，GB 18306-2001《中国地震动参数区划图》中将这些地区的 $0.05g$ 分区的下界确定为 $0.025g$ 。这些地区的地震动峰值加速度值复核工作也应对此予以充分的考虑。

按要求编制地震动峰值加速度复核报告。