

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

核装置场址评价中的 地震危害

特定安全导则

第 SSG-9 (Rev.1)号



IAEA

国际原子能机构

国际原子能机构安全标准和相关出版物

国际原子能机构安全标准

根据《国际原子能机构规约》第三条的规定，国际原子能机构受权制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产之危险的安全标准，并规定适用这些标准。

国际原子能机构借以制定标准的出版物以国际原子能机构《安全标准丛书》的形式印发。该丛书涵盖核安全、辐射安全、运输安全和废物安全。该丛书出版物的分类是安全基本法则、安全要求和安全导则。

有关国际原子能机构安全标准计划的资料可访问以下国际原子能机构因特网网站：

www.iaea.org/zh/shu-ju-ku/an-quan-biao-zhun

该网站提供已出版安全标准和安全标准草案的英文文本。以阿拉伯文、中文、法文、俄文和西班牙文印发的安全标准文本；国际原子能机构安全术语以及正在制订中的安全标准状况报告也在该网站提供使用。欲求进一步的信息，请与国际原子能机构联系（Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria）。

敬请国际原子能机构安全标准的所有用户将使用这些安全标准的经验（例如作为国家监管、安全评审和培训班课程的依据）通知国际原子能机构，以确保这些安全标准继续满足用户需求。资料可以通过国际原子能机构因特网网站提供或按上述地址邮寄或通过电子邮件发至 Official.Mail@iaea.org。

相关出版物

国际原子能机构规定适用这些标准，并按照《国际原子能机构规约》第三条和第八条 C 款之规定，提供和促进有关和平核活动的信息交流并为此目的充任成员国的居间人。

核活动的安全报告以《安全报告》的形式印发，《安全报告》提供能够用以支持安全标准的实例和详细方法。

国际原子能机构其他安全相关出版物以《应急准备和响应》出版物、《放射学评定报告》、国际核安全组的《核安全组报告》、《技术报告》和《技术文件》的形式印发。国际原子能机构还印发放射性事故报告、培训手册和实用手册以及其他特别安全相关出版物。

安保相关出版物以国际原子能机构《核安保丛书》的形式印发。

国际原子能机构《核能丛书》由旨在鼓励和援助和平利用原子能的研究、发展和实际应用的资料性出版物组成。它包括关于核电、核燃料循环、放射性废物管理和退役领域技术状况和进展以及经验、良好实践和实例的报告和导则。

核装置场址评价中的地震危害

国际原子能机构的成员国

阿富汗
阿尔巴尼亚
阿尔及利亚
安哥拉
安提瓜和巴布达
阿根廷
亚美尼亚
澳大利亚
奥地利
阿塞拜疆
巴哈马
巴林
孟加拉国
巴巴多斯
白罗斯
比利时
伯利兹
贝宁
多民族玻利维亚国
波斯尼亚和黑塞哥维那
博茨瓦纳
巴西
文莱达鲁萨兰国
保加利亚
布基纳法索
佛得角
布隆迪
柬埔寨
喀麦隆
加拿大
中非共和国
乍得
智利
中国
哥伦比亚
科摩罗
刚果
哥斯达黎加
科特迪瓦
克罗地亚
古巴
塞浦路斯
捷克共和国
刚果民主共和国
丹麦
吉布提
多米尼克
多米尼加共和国
厄瓜多尔
埃及
萨尔瓦多
厄立特里亚
爱沙尼亚
科威特
埃塞俄比亚
斐济
芬兰
法国
加蓬
冈比亚

格鲁吉亚
德国
加纳
希腊
格林纳达
危地马拉
几内亚
圭亚那
海地
教廷
洪都拉斯
匈牙利
冰岛
印度
印度尼西亚
伊朗伊斯兰共和国
伊拉克
爱尔兰
以色列
意大利
牙买加
日本
约旦
哈萨克斯坦
肯尼亚
大韩民国
科威特
吉尔吉斯斯坦
老挝人民民主共和国
拉脱维亚
黎巴嫩
莱索托
利比里亚
利比亚
列支敦士登
立陶宛
卢森堡
马达加斯加
马拉维
马来西亚
马里
马耳他
马绍尔群岛
毛里塔尼亚
毛里求斯
墨西哥
摩纳哥
蒙古
黑山
摩洛哥
莫桑比克
缅甸
纳米比亚
尼泊尔
荷兰王国
新西兰
尼加拉瓜
尼日尔
尼日利亚
北马其顿

挪威
阿曼
巴基斯坦
帕劳
巴拿马
巴布亚新几内亚
巴拉圭
秘鲁
菲律宾
波兰
葡萄牙
卡塔尔
摩尔多瓦共和国
罗马尼亚
俄罗斯联邦
卢旺达
圣基茨和尼维斯
圣卢西亚
圣文森特和格林纳丁斯
萨摩亚
圣马力诺
沙特阿拉伯
塞内加尔
塞尔维亚
塞舌尔
塞拉利昂
新加坡
斯洛伐克
斯洛文尼亚
南非
西班牙
斯里兰卡
苏丹
瑞典
瑞士
阿拉伯叙利亚共和国
塔吉克斯坦
泰国
多哥
汤加
特立尼达和多巴哥
突尼斯
土耳其
土库曼斯坦
乌干达
乌克兰
阿拉伯联合酋长国
大不列颠及北爱尔兰联合王国
坦桑尼亚联合共和国
美利坚合众国
乌拉圭
乌兹别克斯坦
瓦努阿图
委内瑞拉玻利瓦尔共和国
越南
也门
赞比亚
津巴布韦

国际原子能机构的《规约》于1956年10月23日经在纽约联合国总部举行的原子能机构《规约》会议核准，并于1957年7月29日生效。原子能机构总部设在维也纳，其主要目标是“加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献”。

国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-9 (Rev.1) 号

核装置场址评价中的 地震危害

特定安全导则

国际原子能机构
2024 年·维也纳

版权说明

国际原子能机构的所有科学和技术出版物均受 1952 年（伯尔尼）通过并于 1972 年（巴黎）修订的《世界版权公约》之条款的保护。自那时以来，世界知识产权组织（日内瓦）已将版权的范围扩大到包括电子形式和虚拟形式的知识产权。必须获得许可而且通常需要签订版税协议方能使用国际原子能机构印刷形式或电子形式出版物中所载全部或部分内容。欢迎有关非商业性翻印和翻译的建议并将在个案基础上予以考虑。垂询应按以下地址发至国际原子能机构出版处：

Marketing and Sales Unit,
Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
传真：+43 1 2600 22529
电话：+43 1 2600 22417
电子信箱：sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu>

© 国际原子能机构，2024 年
国际原子能机构印刷
2024 年 5 月·奥地利

核装置场址评价中的地震危害

国际原子能机构，奥地利，2024 年 5 月
STI/PUB/1950
ISBN 978-92-0-522523-4（简装书：碱性纸）
978-92-0-522323-0（pdf 格式）
EPUB 978-92-0-522423-7
ISSN 1020-5853

前 言

拉斐尔·马利亚诺·格罗西总干事

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构“制定……旨在保护健康及尽量减少对生命与财产的危險的安全标准”。这些是原子能机构必须适用于其自身业务而且各国可以通过其国家法规来适用的标准。

原子能机构于 1958 年开始实施其安全标准计划，此后有了许多发展。作为总干事，我致力于确保原子能机构维护和改进这套具有综合性、全面性和一致性的、与时俱进的、用户友好的和适合目的的高质量安全标准。在利用核科学和技术的过程中正确地适用这些标准将为全世界的人和环境提供高水平的保护，并为持续利用核技术造福于所有人提供必要的信心。

安全是得到许多国际公约支持的一项国家责任。原子能机构的安全标准奠定了这些法律文书的基础，而且是有助于各方履行各自义务的全球基准。虽然安全标准对成员国没有法律约束力，但它们被广泛适用。对已在国家法规中采用这些标准以加强核能发电、研究堆和燃料循环设施中以及医学、工业、农业和研究领域核应用中的安全的绝大多数成员国而言，它们已成为不可或缺的基准点和共同标准。

原子能机构的安全标准以原子能机构成员国的实际经验为基础，并通过国际协商一致产生。各安全标准分委员会、核安保导则委员会和安全标准委员会成员的参与尤其重要，我向所有为这项工作贡献自己的知识和专长的人表示感谢。

原子能机构在通过评审工作组访问和咨询服务向成员国提供援助时，也使用这些安全标准。这有助于成员国适用这些标准，并使得能够共享宝贵经验和真知灼见。在安全标准的定期修订过程中，会考虑到这些工作组访问和服务的反馈，以及从使用和适用安全标准的事件和经历中汲取的教训。

我相信，原子能机构安全标准及其适用将为确保在使用核技术时实现高水平安全作出宝贵的贡献。我鼓励所有成员国宣传和适用这些安全标准，并与原子能机构合作，在现在和将来维护其质量。

国际原子能机构安全标准

背景

放射性是一种自然现象，因而天然辐射源的存在是环境的特征。辐射和放射性物质具有许多有益的用途，从发电到医学、工业和农业应用不一而足。必须就这些应用可能对工作人员、公众和环境造成的辐射危险进行评定，并在必要时加以控制。

因此，辐射的医学应用、核装置的运行、放射性物质的生产、运输和使用以及放射性废物的管理等活动都必须服从安全标准的约束。

对安全实施监管是国家的一项责任。然而，辐射危险有可能超越国界，因此，国际合作的目的就是通过交流经验和提高控制危险、预防事故、应对紧急情况和减缓任何有害后果的能力来促进和加强全球安全。

各国负有勤勉管理义务和谨慎行事责任，而且理应履行其各自的国家和国际承诺与义务。

国际安全标准为各国履行一般国际法原则规定的义务例如与环境保护有关的义务提供支持。国际安全标准还促进和确保对安全建立信心，并为国际商业与贸易提供便利。

全球核安全制度已经建立，并且正在不断地加以改进。对实施有约束力的国际文书和国家安全基础结构提供支撑的原子能机构安全标准是这一全球性制度的一座基石。原子能机构安全标准是缔约国根据这些国际公约评价各缔约国履约情况的一个有用工具。

原子能机构安全标准

原子能机构安全标准的地位源于原子能机构《规约》，其中授权原子能机构与联合国主管机关及有关专门机构协商并在适当领域与之合作，以制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产之危险的安全标准，并对其适用作出规定。

为了确保保护人类和环境免受电离辐射的有害影响，原子能机构安全标准制定了基本安全原则、安全要求和安全措施，以控制对人类的辐射照射和放射性物质向环境的释放，限制可能导致核反应堆堆芯、核链式反应、辐射源或任何其他辐射源失控的事件发生的可能性，并在发生这类事件时减轻其后果。这些标准适用于引起辐射危险的设施和活动，其中包括核装置、辐射和辐射源利用、放射性物质运输和放射性废物管理。

安全措施和安保措施¹具有保护生命和健康以及保护环境的目的。安全措施和安保措施的制订和执行必须统筹兼顾，以便安保措施不损害安全，以及安全措施不损害安保。

原子能机构安全标准反映了有关保护人类和环境免受电离辐射有害影响的高水平安全在构成要素方面的国际共识。这些安全标准以原子能机构《安全标准丛书》的形式印发，该丛书分以下三类（见图1）。

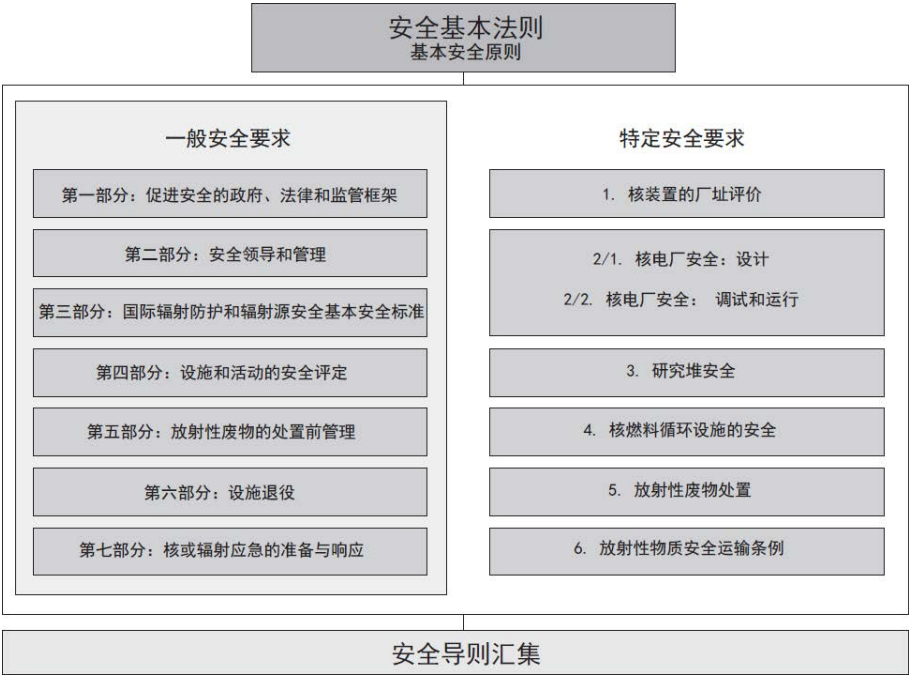


图 1. 国际原子能机构《安全标准丛书》的长期结构。

¹ 另见以原子能机构《核安保丛书》印发的出版物。

安全基本法则

“安全基本法则”阐述防护和安全的基本安全目标和原则，以及为安全要求提供依据。

安全要求

一套统筹兼顾和协调一致的“安全要求”确定为确保现在和将来保护人类与环境所必须满足的各项要求。这些要求遵循“安全基本法则”提出的目标和原则。如果不能满足这些要求，则必须采取措施以达到或恢复所要求的安全水平。这些要求的格式和类型便于其用于以协调一致的方式制定国家监管框架。这些要求包括带编号的“总体”要求用“必须”来表述。许多要求并不针对某一特定方，暗示的是相关各方负责履行这些要求。

安全导则

“安全导则”就如何遵守安全要求提出建议和指导性意见，并表明需要采取建议的措施（或等效的可替代措施）的国际共识。“安全导则”介绍国际良好实践并且不断反映最佳实践，以帮助用户努力实现高水平安全。“安全导则”中的建议用“应当”来表述。

原子能机构安全标准的适用

原子能机构成员国中安全标准的使用者是监管机构和其他相关国家当局。共同发起组织及设计、建造和运行核设施的许多组织以及涉及利用辐射源和放射源的组织也使用原子能机构安全标准。

原子能机构安全标准在相关情况下适用于为和平目的利用的一切现有和新的设施和活动的整个寿期，并适用于为减轻现有辐射危险而采取的防护行动。各国可以将这些安全标准作为制订有关设施和活动的国家法规的参考。

原子能机构《规约》规定这些安全标准在原子能机构实施本身的工作方面对其有约束力，并且在实施由原子能机构援助的工作方面对国家也具有约束力。

原子能机构安全标准还是原子能机构安全评审服务的依据，原子能机构利用这些标准支持开展能力建设，包括编写教程和开设培训班。

国际公约中载有与原子能机构安全标准中所载相类似的要求，从而使其对缔约国有约束力。由国际公约、行业标准和详细的国家要求作为补充的原子能机构安全标准为保护人类和环境奠定了一致的基础。还会出现一些需要在国家一级加以评定的特殊安全问题。例如，有许多原子能机构安全标准特别是那些涉及规划或设计中的安全问题的标准意在主要适用于新设施和新活动。原子能机构安全标准中所规定的要求在一些按照早期标准建造的现有设施中可能没有得到充分满足。对这类设施如何适用安全标准应由各国自己作出决定。

原子能机构安全标准所依据的科学考虑因素为有关安全的决策提供了客观依据，但决策者还须做出明智的判断，并确定如何才能最好地权衡一项行动或活动所带来的好处与其所产生的相关辐射危险和任何其他不利影响。

原子能机构安全标准的制定过程

编写和审查安全标准的工作涉及原子能机构秘书处及分别负责应急准备和响应（应急准备和响应标准委员会）、核安全（核安全标准委员会）、辐射安全（辐射安全标准委员会）、放射性废物安全（废物安全标准委员会）和放射性物质安全运输（运输安全标准委员会）的五个安全标准分委员会以及一个负责监督原子能机构安全标准计划的安全标准委员会（安全标准委员会）（见图2）。

原子能机构所有成员国均可指定专家参加四个安全标准分委员会的工作，并可就标准草案提出意见。安全标准委员会的成员由总干事任命，并包括负责制订国家标准的政府高级官员。

已经为原子能机构安全标准的规划、制订、审查、修订和最终确立过程确定了一套管理系统。该系统阐明了原子能机构的任务；今后适用安全标准、政策和战略的思路以及相应的职责。

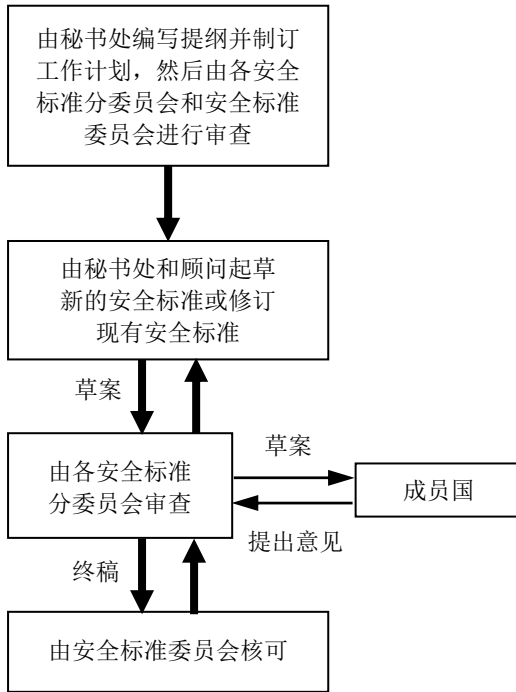


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

与其他国际组织的合作关系

在制定原子能机构安全标准的过程中考虑了联合国原子辐射效应科学委员会的结论和国际专家机构特别是国际放射防护委员会的建议。一些标准的制定是在联合国系统的其他机构或其他专门机构的合作下进行的，这些机构包括联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、国际劳工组织、经合组织核能机构、泛美卫生组织和世界卫生组织。

文本的解释

安全和核安保相关术语应理解为《国际原子能机构核安全和核安保术语》（见 <https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary>）中的术语。就“安全导则”而言，英文文本系权威性文本。

原子能机构《安全标准丛书》中每一标准的背景和范畴及其目的、范围和结构均在每一出版物第一章“导言”中加以说明。

在正文中没有适当位置的资料（例如对正文起辅助作用或独立于正文的资料；为支持正文中的陈述而列入的资料；或叙述计算方法、程序或限值和条件的资料）以附录或附件的形式列出。

如列有附录，该附录被视为安全标准的一个不可分割的组成部分。附录中所列资料具有与正文相同的地位，而且原子能机构承认其作者身份。正文中如列有附件和脚注，这些附件和脚注则被用来提供实例或补充资料或解释。附件和脚注不是正文不可分割的组成部分。原子能机构发表的附件资料并不一定以作者身份印发；列于其他作者名下的资料可以安全标准附件的形式列出。必要时将摘录和改编附件中所列外来资料，以使其更具通用性。

目 录

1. 导言	1
背景 (1.1-1.3).....	1
目的 (1.4-1.5).....	2
范围 (1.6-1.11).....	2
结构 (1.12-1.13).....	4
2. 地震危害性总体评定 (2.1-2.11)	4
3. 基础资料与调查	8
概述 (3.1-3.15).....	8
地质、地球物理和岩土基础数据库 (3.16-3.35).....	11
地震基础数据库 (3.36-3.59).....	16
4. 震源模式	21
概述 (4.1-4.8).....	21
发震构造 (4.9-4.20).....	22
弥散地震活动区 (4.21-4.30).....	24
5. 地面运动评价方法	26
概述 (5.1-5.5).....	26
地面运动衰减关系 (5.6-5.16).....	27
地面运动模拟 (5.17-5.23).....	29
6. 地面运动危害分析	31
概述 (6.1-6.7).....	31
概率地震危害分析 (6.8-6.14).....	32
确定性地震危害分析 (6.15-6.18).....	34
场址反应分析 (6.19-6.24).....	37
7. 场址潜在断层错动评价	39
概述 (7.1-7.2).....	39
能动断层 (7.3-7.9).....	40
新选场址的能动断层问题 (7.10-7.11).....	42
在运场址的能动断层问题 (7.12-7.18).....	42

8. 地震动、断层错动和其它相关地震危害参数	44
地震动危害 (8.1-8.17).....	44
断层错动危害 (8.18).....	46
其它地震相关危害 (8.19-8.30).....	47
9. 核电厂以外核装置的地震危害评价	49
概述 (9.1-9.2).....	49
筛选过程 (9.3-9.7).....	49
分类过程 (9.8-9.9).....	51
地震动危害分析及相关问题 (9.10-9.13).....	51
10. 项目组织与管理系统的	52
项目管理方面 (10.1-10.11).....	52
工程用途和成果说明 (10.12-10.14).....	54
独立同行评审 (10.15-10.19).....	55
参考文献	57
附件 概率地震危害分析的典型输出	59
参与起草和审订人员	61

1. 引言

背景

1.1. 原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-1 号《核装置场址评价》[1]对如何评价地震引发的核电厂和其他核装置安全问题作出了要求。本“安全导则”就如何满足该要求提供特定建议。

1.2. 本“安全导则”取代原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-9 号《核装置场址评价中的地震危害》(2010 年版)¹。本“安全导则”考虑了成员国对 SSG-9 (2010 年版)应用的反馈意见。此次“安全导则”的修订工作考虑了以下几方面：

- (a) 近年来的地震危害评价实践与相关领域研究取得的进展，以及成员国监管实践活动获得的认识。这些进展和认识均基于近年来数起强震引发核装置安全问题后的经验反馈；
- (b) 近年来的技术进步和新的监管要求。这些技术进步和监管要求主要是关于采用风险决策分析方法以及基于绩效的分析方法评定核装置的安全问题；
- (c) 地震危害评定获得的经验与成果。这些经验和成果是在成员国开展工作取得的，包括评价新建和已有核装置场址；
- (d) 对地震诱发的地质与岩土危害以及伴生相关危害采用更为一致的评价方式；
- (e) 对于专家意见的分歧以及地震危害评价中不确定性问题的处理采用更为一致的方法。

1.3. 本“安全导则”还明确界定了针对特定场址的地震危害评定过程与核装置相关设计基准确定的过程。因此，这一界定弥合了这两个不同过程之间的技术缺口，同时避免了这两类评价过程中一些不必要的工作重叠。这两个评价过程本身就分属于核装置安全评价中不同的阶段。

¹ 国际原子能机构《核装置场址评价中的地震危害》国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-9 号，国际原子能机构，维也纳（2010 年）。

目的

1.4. 本“安全导则”定位于为如何满足 SSR-1[1]关于地震引发的核电厂和其他核装置安全问题方面的要求提供指导性意见，特别是关于如下内容的特定评价建议：

- (a) 地震动²：合理评价地震动，以用于新建或已有核装置确定适宜的设计基准地面运动以及其它相关的用于设计和安全评定目的的参数；
- (b) 断层错动的可能性和错动速率：断层错动现象可以影响到一个新核装置场址的可行性，也会影响一个在运核装置的安全运行；
- (c) 地震地质危害：采用合理的地震参数，评定地震相关的地质和岩土危害（如：砂土液化、滑坡、差异沉降、洞穴相关的垮塌以及地面沉陷现象）和次生危害（诸如海啸的外部洪水现象与火灾）。

1.5. 本“安全导则”可供监管机构使用，或供直接负责核装置场址地震危害评价的营运组织使用。

范围

1.6. 本“安全导则”中提供的建议旨在用于核装置的地震危害评价，适用于任何地震构造条件。

1.7. 本“安全导则”适用于原子能机构《安全术语》[2]所界定的所有类型的核装置，具体如下：

- (a) 核电厂；
- (b) 研究堆（包括次临界和临界组件）和任何相关的放射性元素生产设备；
- (c) 乏燃料贮存设施；
- (d) 铀浓缩设施；
- (e) 核燃料组件厂；
- (f) 转换设施；
- (g) 乏燃料后处理设施；

² 在本“安全导则”中，术语“地震动”和“地面运动”涵义相同。在一些国家或地区，地震动被称为“地震地面运动”或“抗震地面运动”。

- (h) 核燃料循环设施产生的放射性废物预处理管理设施；
- (i) 核燃料循环相关研发设施。

1.8. 采用分级评价的方式，导则中的核电厂相关建议可适用于其它核装置。因此，可以基于相应的地震负载作用下故障放射性后果的可能性，对这些建议灵活进行调整，以适用于不同类型核装置的评价需要。本导则建议的方式是：以核电厂评价相关原则为基准进行调整，使得对于这些原则的运用与该核装置相关的潜在放射性后果相匹配。如果不采用分级评价的方式，应将核电厂相关的评价原则用于其它类型的核装置。在运核装置地震危害评价的深度与投入须与一些因素相匹配（如：停堆前的剩余役期、退役后场址治理阶段、场址所在地地震危害的严重程度）。

1.9. 出于明确安全指导原则的目的，核装置在运阶段指的是 (a) 处于运行阶段（包括长期运行和较长的临时关闭期）；(b) 运行前阶段（在此期间，结构建造、系统与部件的制造/安装/组装、调试活动等主体完工或完全完成）；(c) 临时关闭、永久关闭或退役阶段（在此期间，放射性物质仍然安放于仪器仪表记录内，如反应堆堆芯或乏燃料水池）。

1.10. 地震会产生直接的和间接的现象，从地面运动震动到相关的地质和岩土危害，如永久地面位移（砂土液化、斜坡失稳、构造和非构造沉陷、导致地面塌陷的空洞、差异沉降），再到后续的次生危害，如地震引发的火灾和洪水。本“安全导则”对于如何从一致角度表征并确定合理的地震参数用于评价地质与岩土危害和次生危害提供了指导意见。对这些危害的具体阐释请分别参见原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-3.6 号[3]与第 SSG-18 号[4]。

1.11. 本“安全导则”阐释的是对场址可能造成影响的地震引发的各类危害评价涉及的方方面面。这些评价工作将在场址选择与评价阶段进行，有可能在核装置的设计特征评价所需要的相关资料获取之前的情形下进行，也有可能是在在运核装置的运行阶段进行。因此，有可能在核装置的设计参数尚不明确的情形下，仍需完成地震危害评价。关于如何合理地确定设计基准，并应用合理的标准对核装置的安全进行评价，原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-67 号[5]提供了相应地指导性意见。

结构

1.12. 本“安全导则”第 2 部分提供的是总体性建议；第 3 部分是关于地震危害评定所需的所有基础资料获取的指导意见；第 4 部分是关于怎样利用基础资料建立震源模式；第 5 部分对进行地震动分析的现行方法使用提供指导意见；第 6 部分对概率和确定性方法评价地面运动提供了指导意见；第 7 部分对评价断层错动可能性的方法进行了介绍；第 8 部分就地震危害评定得出的参数问题提供指导意见，这些参数涉及地震动分析、断层错动等方面

1.13. 第 3—8 部分侧重于核电厂的评价；第 9 部分则是关于除核电厂以外的其它核装置地震安全分级方法评价方面的推荐意见；第 10 部分介绍了地震危害评定涉及的管理系统，包括项目管理与同行评审。附件则是一个关于概率地震危害分析典型成果的示例。

2. 地震危害性总体评定

2.1. SSR-1[1]提出了以下要求：

“要求 1：核装置场址评价的安全目标

“核装置场址评价的安全目标是评价可能对核装置的安全构成影响的自然和人为外部危害的表征，以证明能够为保护人类和环境免受电离辐射的有害影响，提供了充分的输入依据。”

.....

“要求 15：断层能动性评价

“须对于距场址一定范围内，大于一定规模，以致于构成显著安全问题的地质类断层进行评价，以判断这些断层是否应考虑为能动断层。能动断层从地震动与断层错动角度均对核装置安全构成威胁，必须对其危害进行评价。”

.....

“要求 16：地震动评价

“之所以必须进行地震动评价，在于其为抗震设计提供所必需的输入，亦为核装置的结构、系统和部件的安全升级提供所需的输入，也可以为核装置寿期内所需开展的确定性/概率安全分析提供输入。”

根据这些要求，并遵从国际公认的实践，须对核装置场址开展地震危害评定，评价过程中应围绕场址周边一定范围内调查地质、地球物理和地震特征以及场址区域的岩土特征。

2.2. 评价区域尺度大小的确定须考虑对核装置安全有影响的地震导致的潜在危害现象的类型、大小，以及震源至场址的距离。因此，评价区域尺度必须是充分的，须包括所有可能对场址地震危害有贡献的震源。评价区域没有必要预设统一的尺度，而应根据场址和区域特定条件进行确定。必要时，评价区域应跨越国界或涵盖相关海域。

2.3. 在地震危害评定项目初始阶段，应确定开展调查工作所涉及的区域的尺度、资料搜集的种类、范围和特定细节。对于涉及其它国家或海域的地震构造特征评价，所要搜集的资料必须具有充分性。

2.4. 核装置场址地震危害评定的实施过程须有目标明确且翔实的项目策划。项目组织机构应确保搭建的基础资料库具有连贯性和一致性，而且是一个可供所有地震危害评定项目类型比较的数据平台。项目策划案中须加入独立同行评审元素。同行评审工作须由一个多学科专家团队来完成，包括地质、地震、地球物理、地震危害分析、工程管理，甚至可能包含其它学科（如：历史学）。无论是地震危害评定项目团队成员还是独立同行评审成员，均应具备与其项目中的角色匹配的专业素养和经验。图 1 展示的是地震危害评定的全流程以及须遵循的总体步骤和顺序。

2.5. 地震危害评定的通行方法均为在项目全周期内围绕不确定性问题的切实识别、量化、处理和减小。经验表明，实现这一目的最有效的方式是搜集与场址相关的充分可靠的特定数据资料。通常需要在编写一份翔实可靠的基础数据库所需的投入与评价中的每一步所需考虑的不确定性程度之间寻求一种平衡。因此，在为评价震源表征、断层能动性和地震动而建立的基础数据库方面如果投入较少，则会导致最终获取结果的不确定性增大。

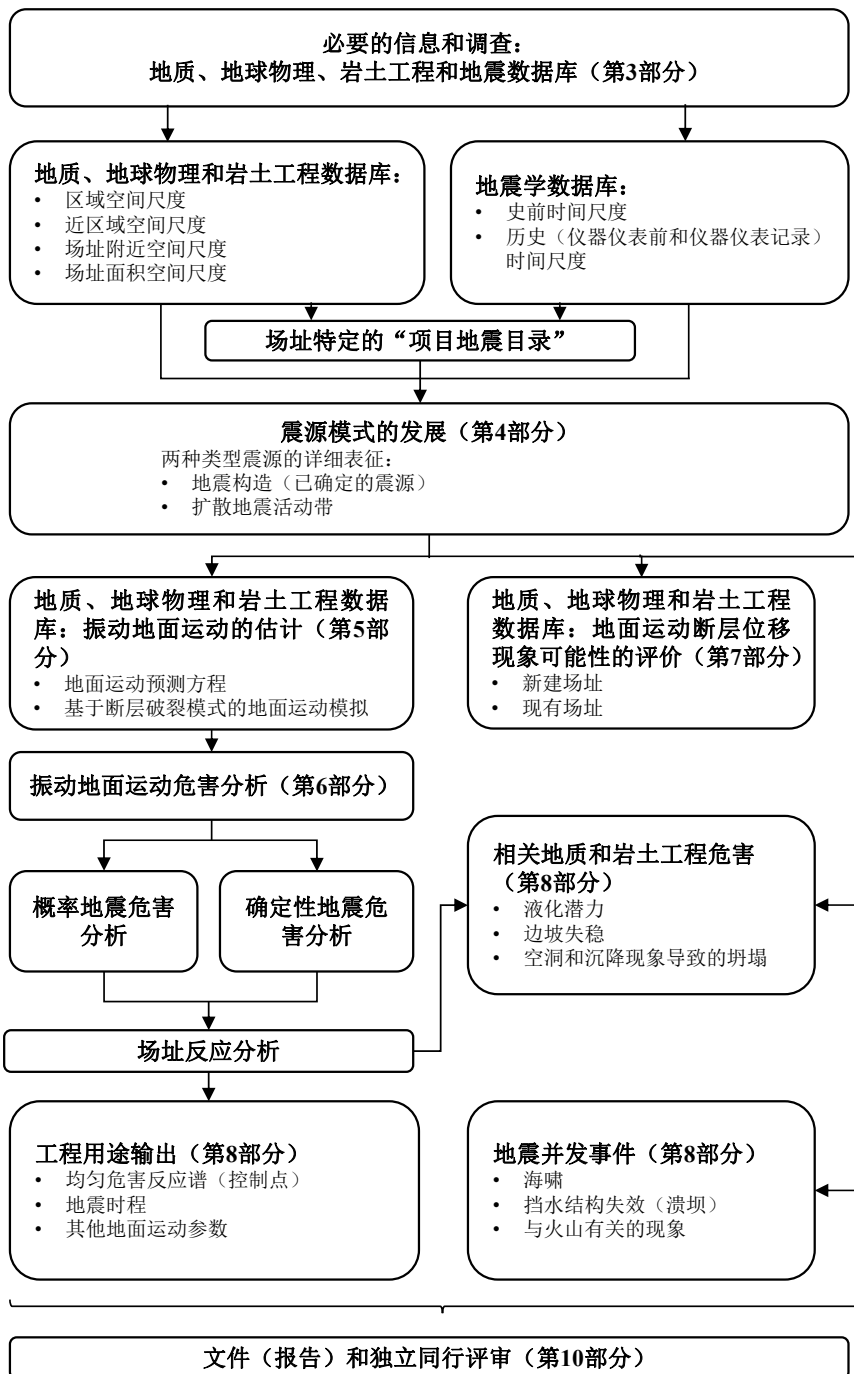


图 1. 核装置地震危害评定流程图。

2.6. 因此，在项目开始时，应进行充分考虑，制定出一套识别、量化和处理不确定性的适当方法。地震危害评定过程通常存在诸多较大的不确定性问题。基本上，地震危害评定在实际应用领域存在的不确定性通常可分为两类：(i) 地震过程的随机可变性，这是以随机方式发生的固有现象，即使累计再多的数据样本也无法减小其不确定性；(ii) 认知不确定性，归因于对某种现象的认识不够完备（因此影响对其进行建模分析），可以通过资料补充（包括特定场址的数据）、进一步的研究和认识有分歧的专家之间的反复讨论，来减小这类不确定性[2]。³

2.7. 在地震危害评定中，搜集的资料须是特定场址的，翔实且可靠。但地震危害分析间接使用的某些数据可能不是场址特定的（特别是用于建立地震动预测方程的强地面运动数据），因此，须考虑相关的不确定性。

2.8. 地震危害评定中一个主要的认知不确定性源于其中不同专家对已有数据解读的分歧，对此须特别注意避免主观偏好，其中使用专家论断替代数据获取过程是不合适的。项目团队应摒除主观偏好，对所有特定数据支撑的观点和模式进行论证，据此构建一个统一的模式，这个模式不仅考虑既有的认识，也要考虑资料本身的不确定性。如果需要评价的时间跨度（较低的超越概率）超出了数据本身的时间范围，那么可利用区域和当地的地球动力学与新构造方面的认识支撑专家论断的采用。

2.9. 为了避免不确定性估计对结果的主观人为影响，专家之间的反复讨论宜采用结构化分层的方式。为了解决科学解释的多样性问题，应当恰当地反映出那些在技术层面站得住脚的解释的核心、主体和范围[6]。地震危害评定项目团队是由多学科的小组构成。每一个学科小组内包含了来自各自相关领域内具有一定资格的专家。从认知不确定性处理的角度，各学科小组均参与模式构建，构建的模式均应合理可靠地反映出方法和模式相关的不确定性。如果某种方法采用了某一业界说法，须特别小心，应从实际可行角度出发，确保这些观点能够被现有的地球科学数据所支撑。此外，应采用合适的（如保守估计、最佳估计）且可信的模式、方法和流程对不确定性进行充分的考虑，这些考虑建立在一个基本概念的理解上一解释在技术层面能站得住脚，也要与评价的基础架构（确定性与概率）和目标置

³ 地震危害分析假定地质作用过程是一个稳态过程，因为对一个场址进行分析所需跨越的时间尺度（几十年）远比地球动力学变化所历经的时间尺度小得多。

信度水平相适应。同行评审专家组的成员构成通常也应根据项目大小和评价的复杂程度进行灵活调整。

2.10. 应编写一整套质量保证文件并在地震危害评定过程中适时升版。考虑到评价过程中采用的指导性原则有可能以各种方式解读，列出所有参考的技术文件则是有益的。应编写一套明确特定的项目质量文件（如质量计划、工作计划和程序），且须包含适用于手头运转的某一项目的标准，也须包括所有专家解译过程的文件记录。更多相关指导意见参见第 10 部分。

2.11. 如第 2.8 段所述，对于一些无法通过场址调查而减少不确定性的类型（如，将世界其他地区得出的 GMPEs 用于本地产生的不确定性），须确保不低于相关阈值。基于这一原因，且不考虑任何与场址相关的任何明显较低的地震危害，须界定一个地面运动水平的最小值，以用于抗震设计、安全评定以及任何核装置的抗震安全评定，如应用 SSG-67[5]时这个最小值须配套使用。

3. 基础资料与调查

概述

3.1. 应以一致的格式汇编出一套全面且统一的基础资料数据库，包含地质、地球物理、岩土和地震等基础资料，用于评价并解决与地震相关的安全问题。

3.2. 在将各项要素整合成一个统一的数据库之前，应确保各自类型数据库的每项要素进行了尽可能全面的调查。统一的数据库应囊括所有相关资料，不仅包括地质、地球物理、岩土和地震内容，而且还包括与评价地震动、断层位移、相关地质和岩土危害以及影响场址的次生危害相关的任何其他信息。

3.3. 获取的地质、地球物理、岩土和地震数据和资料，应涵盖与地震危害评定相匹配的地理区域和时间尺度。

3.4. 关于调查涉及的目标地理区域，SSR-1[1]阐述其要求如下：

“要求 5：场址区域和区域范围特征

“应就可能影响核装置安全以及核装置对人类和环境的潜在辐射影响对场址及区域进行调查。

“4.12. 区域范围内的自然现象和人类活动可能在场址区域引发危害，这些危害可能会影响到核装置的安全，应对其进行查明并评价。评价的范围应与场址区域的潜在危害对场址区域的安全意义相匹配。

“4.13. 核装置潜在的辐射性影响可能对区域范围内自然环境构成影响，因此须对区域范围内的自然环境特征进行调查与评价，评价过程须考虑核装置寿期内的所有阶段以及运行状态和事故工况（见SSR-1[1]第6部分）。

“4.14. 对于每一类自然和人为引起的外部危害须确定区域调查的尺度。在确定调查区域的大小时，应考虑危害程度以及危害源至场址的距离。对于某些外部自然事件，如海啸和火山，应从考虑潜在影响的角度，确保被调查区域的尺度足够大。

“4.15. 须研究场址区域及周边区域，评价其可能对核装置安全造成影响的当前和未来可预见的特征，包括外部自然事件的严重性和/或频率的潜在变化，以及该区域人口分布的变化、土地和水在目前和将来的使用情形、现有核装置的进一步发展或其他仪器仪表记录的建造。须知其它核装置的建造可能影响现有核装置的安全或应急响应计划的可行性。”

3.5. 调查涉及的时间尺度，SSR-1[1]规定：

“要求 14：核装置场址评价中的资料搜集

“应收集必要的数据库，用以评价自然和人为造成的外部危害，并评价环境效应对核装置安全的影响以及核装置对人类和环境的影响。

.....

“4.47. 应尽量获取相关史前、历史上和最近的重要自然现象发生和严重程度的资料与记载，并对其可靠性、准确性、时间与空间的相关性以及完整性进行分析。”

3.6. 在搭建区域地质、地球物理、岩土和地震数据库时，各类数据的区域尺度可能因地质和构造背景而有所差异，须采用第 2.3 段的指导原则确定合适的区域调查范围。

3.7. 场址地震危害评定中的地质、地球物理和岩土勘查应按在四个空间尺度进行一区域、近区域、场址附近和场址区域—逐步获得渐为详细的调查数据资料。这些资料的详细程度和类型是由不同的空间尺度决定的。调查的前三个尺度主要是逐步获取更加详细的地质和地球物理数据。场址区域的调查定位于建立地球物理和岩土数据库，用以评价地面震动运动和断层错动。

3.8. 随着四个空间尺度的调查完成，所有已鉴定出的发震构造特征，包括所有断层参数的不确定性评价，都应以系统的方式最终记录下来，并确保一致性和完整性，使得所有震源的相似属性都能得以编入“项目断层目录”中（也称为“项目断层汇总”）。

3.9. 地震数据库应包括在区域内发生的地震事件的所有现有资料和数据，这些资料和数据须涵盖包括史前的时间尺度。历史上的时间尺度应进一步细分为仪器仪表记录时期之前和之后。

3.10. 对于海域以及其它缺乏地震资料的地区，须进行充分的调查，并详尽地分析该区域的构造特征，弥补地震资料的缺失或不足。

3.11. 在评价地震可能引发海啸的地质与地震调查中，还应考虑包括距场址非常遥远的震源。因此，能够在场址产生相关地震危害和相关海啸危害可能来源于不同的地震。对于地震诱发海底滑坡产生的海啸，用于计算诱发滑坡的地震动模式应与用于核装置地震危害分析的模式一致。

3.12. 应当采用这些年来在数据获取和处理方面出现的新技术（例如遥感、年代测定、密集地震台网观测）来识别和表征震源。新技术的发展使得获取新型数据成为可能。当建议采用紧跟潮流且公认技术进步的同时，也须在将这些进步的事物用于核装置场址评价项目之前，应首先检验其充分性与有效性。

3.13. 由于地震对环境产生可观测的影响，必要时应在四个空间尺度中的任何尺度上进行古地震研究，以实现以下目标：

- (a) 基于对区域内已发生地震形迹的认知，鉴别发震构造。
- (b) 为了提高大震级地震目录的完备性，可以利用化石等地质标志进行鉴定和年代测定，例如，横跨已查明的潜在能动断层上进行探槽观测，对于错动量（如崩积楔的厚度）和复发率（如沉积物的年代测定）的估计可能很有帮助。此外，对古液化、古滑坡和古海啸的研究可以找到地震烈度和复发的证据。
- (c) 评估某一特定发震构造的最大可能震级（和相关的 uncertainty），通常基于构造的最大面积、每次事件的错动量（源于探槽方法的估计），以及所有发震构造的累积效应（源于对地震景观⁴的估计）。

3.14. 为了做到资料的展示具有一致性，这些数据必须在配备了充足元数据的地理信息系统中汇编。为方便对比分析与整合，所有数据都应存放在一个统一的参考框架内。

3.15. 核装置的寿期内也会开展地震危害评定（如：定期的安全评审，或地震概率安全分析），这一复核过程须对已有数据库进行相应更新，同时也遵从了上述第 3.1—3.14 段的导则意见。

地质、地球物理和岩土基础数据库

区域调查

3.16. 获取区域尺度的地质和地球物理数据的目的是提供相关该区域的一般地球动力学背景和当前构造状况的知识，并识别和表征通过调查评价的地质特点，如岩性、地貌、地层和断层调查，这些地质特点可能影响或与场址地震危害相关。

⁴ 地震景观指的是，地质历史上最近的一段时期内，通过数次地震事件对一个地区的物理环境所遗留下来的标志，总体反映出的累积的地貌和地层效应。

3.17. 因此，应根据第 3.6 段意见，并考虑对选定的核装置场址的安全可能受影响的潜在震源，在区域尺度下界定目标地理范围。评价地震动涉及的区域尺度应有足够范围，须囊括所有可能影响核装置的发震构造：这个区域范围一般有几百千米半径，或根据各自国家的要求进行调整。

3.18. 应搜集公开或未公开的任何来源类型的地质和地球物理现有数据（如：文献检索的数据、国家级数据平台、遥感数据、馆藏或道桥工程数据、各类勘查数据），必要时直接开展野外地质调查或走访进行数据确认。

3.19. 如果现有数据不够充分，则应考虑进一步的调查；必要时可基于合理可靠的推测对这些数据进行解译。有时候采用类似于近区域数据获取的深度来补充区域地质与地球物理数据也很有必要。视特定情形，必要时可对相关地质和地貌证据（第 3.13 段中的古地震）进行鉴定与分析。

3.20. 区域范围内收集的数据须具备一定的精度，以能够揭示任何对分析有用的特点为目的，并辅以适当比例尺的剖面。收集的数据和获得的结果在图上展示的精度须有相匹配的合适的比例尺。整合在地理信息系统中的数据须有相应的主题图层，同时应编写一份总结报告，说明所进行的研究、开展的调查以及取得的成果，尤其是在此研究阶段与查明的发震构造相关的信息。

近区域调查

3.21. 近区域范围内应开展更为详细的地质、地球物理调查和岩土勘查，提供比区域研究更具体的资料，目标如下：

- (a) 确定近区地震构造特征；
- (b) 确定近区域发震构造和已查明的潜在能动断层的最新活动；
- (c) 确定与各分段的断错性质、位移量、活动速率以及与此相关的证据。

3.22. 近区域研究的范围一般不小于 25 千米的半径，范围大小应结合当地的地震构造条件进行调整。对于尚未完成总图布置工作的新建场址来说，近区域范围应从预期的场址区域边界起算。

3.23. 近区域范围内更为详细的地质、地球物理调查和岩土勘查资料应补充已搜集到的公开或未公开的资料，这些资料须包括地层、构造地质和构造历史。为评价现今构造机制，构造历史须彻底弄清，现今构造机制的跨度将取决于构造活动的速率。例如，对于断层能动性研究来说，对于高发震区，自晚更新世至全新世（即现今）的构造活动信息可能是足够的，而对于弱地震活动区，可能需要有从上新世至全新世的构造活动信息才是合理的。

3.24. 一般而言，对于近区域范围，应按照公认的行业规范和标准所确立的程序和方法开展下列调查。其中一些调查应特别围绕已查明的可能对场址有地震危害的地质现象进行：

- (a) 第四纪地层地貌研究：利用广为认可的遥感图像技术（如航空与卫星影像、雷达）开展第四纪地层地貌研究，如阶地分析、土壤与沉积研究。对于滨海或准滨海场址，海域地貌调查须获取测深资料。
- (b) 野外地质填图：以确定近区域研究所必需尺度的地貌。
- (c) 钻探和物探获取潜地表资料：如通过高分辨率地震反射和/或折射剖面、重力，以及电磁层析成像技术，从几何表征、变形的范围与速率的角度查明相关发震构造。热流数据的使用可能也是必要的。
- (d) 地质年代测定：对于地层年龄的测定须合理谨慎，采用公认、可靠和适用的技术手段。
- (e) 测量方法获取数据：如全球导航卫星系统（GNSSs），包括全球定位系统（GPS）和干涉测量以及应变测量，用以评定构造变形的速率与型式。
- (f) 水文地质调查：按照近区域研究所需的尺度，利用新开和已有的钻孔、水井和其他技术确定所有含水层的几何构型、物理和化学性质以及稳态行为（如：水头深度、补给率、渗透性）。
- (g) 古地震与探槽研究：基于上述 (a)-(f) 研究获取的数据和成果，根据特定情形视需要开展古地震与探槽研究。
- (h) 地震台网的仪器仪表记录数据收集：见第 3.54—3.59 段。

3.25. 应进行足够详细的调查。每一个相关的地质和地貌现象（如：航片、遥感影像或地球物理数据中发现的地形或构造特点）的成因，从该地区地质新近演化的角度，可以被适当地放入一个进行了合理假定的模式中。

3.26. 在近区域范围内调查取得的成果和收集的数据，其精度须大致与 1:50 000 或更大比例尺的图件相匹配，并辅以适当比例尺的剖面。数字高程模式也应该是这项任务中获得成果的一部分。项目数据应在地理信息系统中以近区域尺度主题图层的形式呈现。同时应编写一份总结报告，说明所进行的研究、开展的调查、放入模式中的资料的评价，以及取得的成果，尤其是在此研究阶段与进一步查明的发震构造相关的信息。

场址附近范围调查

3.27. 除了在区域和近区域尺度收集的信息外，还应在场址附近范围进行更为特定的地质、地球物理调查和岩土勘查，目的是为这一小块范围提供一个更完整的数据库，用于更详细地界定已查明的发震构造（如断层）的新构造历史，特别是确定断层错动的可能性以及活动速率（断层能动性），并查明潜在的地质和/或岩土失稳的条件以及可能影响核装置的相关地震危害。

3.28. 场址附近范围研究应覆盖足够的面积，须包括所有断层和其他需要进行详细物探调查的地震构造特点。这一面积的半径通常不小于 5 千米（见 SSR-1[1]第 1.12 段）。对于尚未确定总平面布置的核装置新场址，5 千米半径须从预期的场址区域边界起算。

3.29. 场址附近范围地质与地球调查和岩土勘查工作的策划和实施需要比近区域工作更为详尽，同时须注意与区域和近区域研究中构造环境和已查明的地质特点之间的协调。为此，应在场址附近范围开展更为详细的调查工作，包括钻探工作须有足够数量和深度的钻孔，以及取样和实验室试验。

3.30. 这些详细调查应按照公认的行业规范和标准所确立的程序和方法开展，并得到如下内容：

- (a) 场址附近范围地质图，并有相应剖面；
- (b) 场址附近范围查明的所有发震构造的活动时代、类型、数量和错动速率；
- (c) 地震危害（如：滑坡、沉陷、地下洞穴或溶洞的塌陷、大坝或挡水构筑物失效）的鉴定与描述。

3.31. 场址附近范围收集的数据和获得的成果具备的精度须匹配 1:5000 或更大比例尺的图件，并辅有适当比例尺的剖面。数字高程模式也应该是从这项任务中获得成果的一部分。这些数据应在地理信息系统中以场址附近范围主题图层的形式呈现。同时应编写一份总结报告，说明所进行的研究、开展的调查、放入模式的资料经过了怎样的评价，以及取得的成果，尤其是在此研究阶段与进一步查明的发震构造相关的信息。

场址区域调查

3.32. 应在核装置场址区域进行地质、地球物理、岩土和地震方面的特定场址的专项研究，主要目标为 (a) 关于永久地面断错现象的可能性（如：地表断层破裂、液化、沉陷或地下空洞成因的塌陷）方面的具体认识；(b) 结构基础下岩土材料的静力和动力特性的信息（如：P 波和 S 波波速、Q 值⁵和密度），用于场址反应分析。

3.33. 场址区域研究应包括核装置覆盖的整体范围。对于拟建核装置的新场址，在总图布置尚不明确的评价阶段，应预估可能的场址区域范围。对于要求进行抗震安全复核的在运场址，场址区域范围比较容易确定。对于在现行场址区域的扩建，确定场址区域范围时须考虑建造计划。

3.34. 应按照公认的行业规范和标准所确立的程序和方法开展详细的调查工作，涉及的野外和室内试验手段如下：

(a) 应通过地质、地球物理调查和岩土勘查得出研究区详细的地层和构造。根据场址条件，钻孔应触及基岩，应动用取样和开挖试验（包括原位试验）、物探和试验等各种手段，确定土层模式构建（如泊松比、杨氏模量、剪切模量折减或非线性、动阻尼、密度、相对密度、剪切强度和固结特性、粒径分布、P 波和 S 波速度）所需的各土层参数（厚度、深度、倾角，动、静）。必要时，比如在灰岩区，钻孔进尺深度应足够，确保基础以下没有岩溶或空洞。

⁵ Q 是一个无量纲因子，用于地震波吸收效应（滞弹性衰减）的量化分析，这类地震波是由流体运动和晶界摩擦产生的。Q 值能够通过各种手段实验测得，通常是能够代表一些特定掩体类型的特征。Q 值与衰减系数成反比。

- (b) (a) 项所述调查获取的数据应足以表明场址下面的地层是否明显不水平。例如，土层剖面可能会因倾斜的地质分层而发生变化。为了能充分反映倾斜地层表征，场址的土层结构最好进行三维建模，而不是二维，可能很有必要加强调查（如更多钻孔）。
- (c) 应采用钻探和其他技术进行水文地质调查，获取场址区域内所有含水层的几何构型、物理和化学性质、稳态行为（如地下水位深度、补给率、渗透性），其特定目的是查清土层的稳定性以及土层如何影响基础的稳定性。
- (d) 评价场址反应和土-结构相互作用所需的数据，应通过场址区域的这些调查获取。基于调查的完整性和效率的考虑，这些调查工作应与 NS-G-3.6[3]和 SSG-67[5]土-结构动力相互作用所需的调查工作相结合。

3.35. 场址区域工作成图的比例尺一般不小于 1:500，并辅以适当比例尺的剖面。这些数据应在地理信息系统中以场址区域主题图层的形式呈现。同时应编写一份总结报告，说明所进行的研究、开展的调查、放入模式的资料经过了怎样的评价，以及取得的成果，尤其是在此研究阶段与进一步查明的发震构造相关的信息。

地震基础数据库

3.36. 为了能够得出可靠的具有较长复发期（或较低年超越概率）地震事件的特征，地震数据库应包括那些可能对场址构成地震危害地震事件的信息。数据库须识别两类具有事件尺度的数据 — 历史上和史前，如下：

- (a) 历史时期：地震事件有参考文献记载的时期。这一时期进一步细分为：
 - (i) 前仪器仪表记录（或无仪器仪表记录）期：这一时期尚无仪器仪表研发用来记录地震参数；
 - (ii) 仪器仪表记录期：开始使用研发的仪器仪表记录地震参数的时期。
- (b) 史前时期：这一时期没有地震事件的记载。这一时期内的地震证据可能需要从考古遗址中留下的石刻、壁画、纪念碑、绘画和其他人工制品中获取，也包括古地震研究和地震研究证据。

3.37. 应通过地震调查建立一个特定项目的地震目录，以作为地震数据库的终端产品。它应包括为该项目开发目的的所有地震相关资料，并涵盖第3.36段所界定的所有时间尺度。

史前和前仪器仪表记录期地震资料

3.38. 所有史前和前仪器仪表记录期的地震数据都应收集，并尽可能往前追溯。历史上和史前的古地震和考古地震资料也应为此目的进行收集。

3.39. 在这些时间尺度内，每一地震应尽最大可能具备如下信息：

- (a) 事件的日期、时间和期间；
- (b) 事件的宏观震中位置；
- (c) 事件的震源深度估计；
- (d) 事件的震级估计，包括震级类型（如矩震级、面波震级、体波震级、地方震级、期间震级），由宏观地震烈度估计震级方法的文件记录，以及震级估计中的不确定性估计；
- (e) 宏观震中烈度和估计的最大烈度如果不同，说明当地的条件与观察到的破坏；
- (f) 事件的等震线；
- (g) 场址所在地的烈度，以及任何能够获取的土层效应和地震景观的详细描述；
- (h) 上述 (a)-(g) 中所有参数的不确定性估计；
- (i) 估计这些参数所依据的数据要进行质量和数量评价；
- (j) 有感前震和余震；
- (k) 成因断层。

3.40. 地震目录中使用的烈度标度须特定说明，因为使用标度不同，烈度的等级可能会不同。每一地震的震级和震源深度的估计应基于相关的经验关系，经验关系通常是由仪器仪表记录和宏观烈度得来的，宏观烈度要么是从记录到的地震烈度直接得到，要么是根据等震线进行推测。

仪器仪表记录地震资料

3.41. 应收集所有可获取的仪器仪表记录地震。应获取地壳模式的现有信息用以震中定位。

3.42. 对于具有充足的仪器仪表记录地震的地区，数据库中应包括每一地震的如下信息：

- (a) 事件发生的日期、期间和时间；
- (b) 震中位置坐标；
- (c) 震源深度；
- (d) 所有测定震级，包括不同的震级标示；
- (e) 观测或记录的前震和余震；
- (f) 其他可能有助于理解发震机制的信息，如震源机制、地震矩、应力降和其他震源参数；
- (g) 宏观地震细节；
- (h) 断层破裂的不均一性如凹凸体（或强震发震区）、位置和大小（详见参考文献[7]）；
- (i) 每个参数的不确定性估计；
- (j) 成因断层的资料，包括破裂的几何特征（即长度、宽度、深度、坐标、走向、倾角和逆推角度）、方向性和期间等；
- (k) 宽频带地震仪和强震仪的记录，并附有地震台站的详细信息。

3.43. 如第 6 部分所述，在具备条件的地方，应收集可获取到的区域和当地强地面运动记录，用于推导地面运动特征。

地震目录

3.44. 对于新建场址，应建立整个区域范围内的地震目录，可划分为四个主要阶段：(1) 目录编写；(2) 统一震级标示（这将包括震级转换工作，通常以矩震级 (M_w) 表示）；(3) 地震相关性的识别（目录消减）；(4) 根据位置、时间和震源大小评价目录的完整性。对于已有地震目录的在运场址，应更新这些目录，以反映数据和方法的时效性。

3.45. 在原始地震目录编写完成后，应进行完备性与可靠性评价，尤其是需要根据宏观烈度、震级、日期、位置和震源深度等参数核实所有已知地震的记载信息，这些震级分布范围对于后续评价地震危害非常重要。通常，鉴于记录敏感性的阈值问题，小震级事件记录可能不完整；并且由于较长的复发间隔，高震级事件记录也有可能不完整。应采用适当的方法来处理这类不完备性。通常，采用统计方法并综合考虑历史和社会背景来识别不同时期记录的完整性。

3.46. 当对现有目录进行整合，并将现有目录中的数据转变为项目专用的地震目录时，对某个点是增是减须特别小心。对于不同来源的地震目录，如果数据不一致或不兼容，须确立清晰的标准来解决这种问题，数据增减要有合理性说明。

3.47. 如果地震危害分析过程要求地震数据库由独立的事件（即泊松事件）组成，则应进行消减分析，识别并分离出前震和余震。

3.48. 应尽可能识别并量化地震参数的不确定性。这些不确定性也应包括在目录中。

3.49. 总之，在使用项目专属地震目录之前，无论是为了估计震源的震级—频度关系，还是为了估计每个震源的最大潜在地震，都应该对目录中的数据进行彻底的评价和处理。这类评价和处理应包括以下内容：

- (a) 选择一致的震级标示；
- (b) 确定每次事件的统一震级；
- (c) 识别主震（即去除前震和余震）；
- (d) 评价目录的完备性；
- (e) 对得出的数据进行质量评价，并对所有参数进行不确定性估计。

3.50. 建立地震目录的所有方面应形成报告内容，证明在此过程中所作判断的正当性。应特别注意经验性震级转换关系的选择以及震级标示的选择。应将项目专属目录与与该区域相关的类似目录进行比较。

3.51. 选择的震级标示应与 GMPEs 中使用的震级标示一致。在推导震级-频度关系时，为避免震级饱和效应，所选震级标示应在关注的震级范围内几乎与 M_W 呈线性变化。由于 M_W 在地震学中使用的增加和 GMPEs 的发展，这种方法与 M_W 的使用是一致的。 M_W 正在逐渐成为一种世界标准。

3.52. 每个震源都应建立震级-频度关系式。每个震级-频度关系式应包括最大潜在震级。

3.53. 震级-频度关系式中参数的不确定性应由考虑了参数间相关性的概率分布来确定。

场址仪器仪表监控数据

3.54. 为了获得潜在震源更特定的信息，安装或使用具有高灵敏度地震仪的台阵是很有利的。台阵应布置在场址周边近区域范围内和场址区域。地震仪应具有记录微震的能力且有足够宽的高频段。地震监控台阵的设计应与地质背景以及地震危害评价相适应。从台阵获取的数据可作为断层能动性判断的工具（见第 7 部分）。

3.55. 从对新建场址评价的开始阶段就应安装地震监控台阵。对于原先没有部署地震台阵的在运场址，须在地震安全复核工作开始时布置地震监控台阵。这些监控系统应在核装置的整个寿期内运行。

3.56. 这些地震监控台网的运转和数据处理应与现有的区域和/或国家地震监控台网络相关联。

3.57. 如果地震监控台阵选择的仪器仪表不能充分记录强地面运动，则应在高灵敏度地震仪的基础上配置几个强震加速度计，获得关于传播路径效应、经验格林函数、GMPEs 和场址反应方面的更详细信息。此外，必要时应测量环境噪音（即地微动），用于场址反应分析。

3.58. 须结合近区域范围内的地震构造研究，对地震监控台网记录的地震进行仔细分析。

3.59. 所使用的仪器仪表应定期合理维护，进行升级和校准，以便根据最新的国际实践提供充分的信息资料。应制定维护计划，包括数据通信方面，确保不发生重大记录缺失。

4. 震源模式

概述

4.1. 地质、地球物理、岩土和地震基础数据库与地震危害评价之间的纽带是震源模式。震源模式的建立则以各数据库之间的有机融合为基础，包括任何现有地震构造模式的既定考虑。震源模式可视作震源物理性质的概念和数学表达。而震源的鉴定则基于数据库中汇编的信息和地震构造模式。可以合理假定一个或若干个震源模式。在构建震源模式过程中，所有基于现有数据的解读都应考虑在内，同时须有所有相关不确定性的既定考虑。震源模式包括了震源的详细表征，并且是专门为地震危害评定构建的，采用确定性或概率方法。

4.2. 震源模式的构建过程首先是将地震、地球物理、地质和其他相关数据库的要素整合成一个综合数据库（参见第 3 部分意见），获得一个合理的模式（有可能是多个模式）。这一综合数据库还应包括区域地震构造模式。区域地震构造模式也应考虑到其表征中明确的或隐含的不确定性。

4.3. 应利用综合数据库中的信息资料以及相关专家的解释，以切实地鉴定出所有可能对场址有危害贡献的震源为目的，对所有已查明和合理假定的震源进行详细论述。对震源的论述中应交待所有必要的特征（如：震源位置、几何构型、潜在最大震级、复发）。

4.4. 在数据库汇编过程中识别出的发震构造可能无法解释所有观测到的地震活动。这是因为发震构造可能存在而没有地表或潜地表显示标志，也是因为涉及不同的时间尺度；举例来说，断层破裂相对于地震观测周期可能有很长的复发间隔。因此，震源模式应或多或少地包括两类震源：

- (a) 利用已有资料可以鉴定出的发震构造；
- (b) 弥散地震活动（通常但不总是由中小地震活动组成），可能不能归属于某一特定发震构造[8]。

4.5. 这两类震源的鉴定应包括对每种类型所涉及的特定不确定性的评价。弥散地震活动对地震危害评价提出了一个特别复杂的问题，通常会涉及更大的不确定性，因为对地震的成因断层要么没有很好的理解，要么没有利用好现有信息。

4.6. 震源模式的构建以及每个要素的所有参数表征应主要以现有数据的解释和评价为基础。

4.7. 如果基于现有资料得出其它几套震源模式，也无法在合理的时间范围内通过补充调查解决这些模式之间的差异问题，那么在最终的危害评价中应考虑所有这些模式。

4.8. 应根据现有的认知和资料来评价所提出震源模式的有效性，例如，将该模式预测的长期应变率与现有可靠的测量和地质观测进行比较。

发震构造

发震构造识别

4.9. 震源模式中应包括所有可能对地震危害有贡献的发震构造，并通过敏感性分析评价模式中的不确定性。

4.10. 在断层错动评价时，应特别注意并考虑那些靠近场址的发震构造，其有可能在地表或潜地表发生错动（即能动断层；见第 7 部分）。应评价为此目的收集的资料，判断它们是否与为地震动分析收集的资料一致。考虑它们之间的不协调会影响各自的分析，须对任何不一致之处进行协调处理。

4.11. 对发震构造的识别应考虑那些直接或间接的地质证据，其显示在现今构造机制内有过活动。

4.12. 当针对某一特定地质特点，现有特定资料不足以解释其表征时，应从成因年代、运动方向和活动历史等角度，采用构造类比法进行详细比较分析。

发震构造论证

4.13. 对于已确定与场址地震危害相关的发震构造，应鉴定出此类构造的相关特征。应尽可能确定断层的几何特征（如长度、宽度、深度）、方向性特征（即走向、倾角和逆推角度）、变形速率和地质复杂性（如分段、破裂起始点、次生断层）。确定这些特征应基于对地质、地球物理、岩土和地震基础数据的评价。

4.14. 应利用断层或构造破裂的地震和地质历史的现有资料（如分段、断层长度、断层宽度）来估计最大破裂面积和/或错动。这些资料连同震级—面积比例关系，应用于评价所考虑的发震构造的最大潜在震级。其他可用于建立流变剖面的数据，如关于热流、地壳厚度和应变速率的数据，也应在这一估计中加以考虑。

4.15. 对于包括多条断层段的断层带，应对每一个断层段进行独立和合并考虑。还应评价多个断层段同时破裂的可能性。为了得出最大潜在震级的保守估计结果及其相关不确定性，须设定整条断裂破裂长度的的可能情形。

4.16. 须指定每一震源相关的最大潜在震级，并通过离散或连续的概率分布来描述最大潜在震级的不确定性。对于每一震源，最大潜在震级值作为 (a) 概率地面运动计算的积分上限，得出震级—频度关系；(b) 确定性地面运动分析中的设定震级。通常意义上，特别是对于板内构造背景的场址，观测到的最大震级数据较少，用其作为最大潜在震级则是一种不保守的估计。应考虑使用适当的经验关系，从该区域的控制性断层或重要断层特征（如断层几何构型、破裂机制）中得出最大潜在震级。但如果不能得出断层可靠的现今破裂机制，应考虑使用全球范围内的构造类比，并须特别注意选择合适的构造类比对象。须对选取的最大潜在震级进行危害结果的敏感性分析。

4.17. 还应酌情考虑在统计分析 with 特定构造相关的震级—频度关系的基础上估计潜在最大震级的其他方法。这些方法假定构造与所用的所有地震数据之间存在关联。无论何种情形，须对用这些方法得出的结果进行检验，确认其是否与现有资料相符合，也包括是否与古地震相关资料吻合。

4.18. 无论采用何种方法或方法组合，最大潜在震级的确定都可能具有很大的不确定性，这些不确定性应与地震、地质、地球物理及地貌等资料结合起来进行综合分析。

4.19. 除最大潜在地震外，还应论证震源模式中的每一发震构造的如下特征：(a) 地震活动的发生率；(b) 合理的震级—频度关系（例如特征、指数）；(c) 这种关系及其参数的不确定性。对于特征地震发生模式，应尽可能识别最近的事件。

4.20. 对于地震样本较少的震源，确定震级—频度关系（如 G—R 关系）可能涉及不同的方法，其可能包括采用 G—R 关系中的系数（斜率 b 和截距 a ）。G—R 关系能反映震源的区域构造背景（如稳定大陆构造背景）。这种方法可行的，因为诸多研究表明，对于某一构造背景， b 值的变化范围相对较窄。无论采用何种方法确定震级—频度关系的 a 和 b 值，都应适当评价这些参数及其关联性的不确定性。

弥散地震活动区

识别

4.21. 根据现有资料以及地震构造模式，在某一地区地震活动的证据无法归属到任何已鉴定的发震构造，这样的地区指的就是弥散地震活动区。基于某一弥散地震活动区内具有类似的地震构造条件，建立各自弥散活动区的震源模式。

4.22. 进行地震危害分析时，须考虑弥散地震活动（如：从地震、地质和地球物理基础数据库中获得的认识）的震源震度分布，孕震地带的深度和大小也应进行论证。

4.23. 地震发生率的显著差异可能表明构造条件的不同，因此可用以确定弥散地震活动区的边界划分。震源深度的显著差异（如地壳深度），以及震源机制，应力状态和 b 值的显著差异都可以用以划分弥散地震活动区。

表征

4.24. 应根据地震学资料和弥散地震区的地震构造特征，评价与弥散地震区相关的最大潜在震级。与拥有大量地震资料的世界范围类似地区进行对比分析可能会比较有用，但这种分析作出的判断需要有充分的事实依据。由于地震资料涵盖较短的时间周期，造成评价的最大潜在震级往往具有很大的不确定性。这种不确定性应该在震源模式中进行适当说明。

4.25. 发震构造中的地震和地质历史的相关资料（如应力机制、应变率）应用来评价最大潜在震级。其他可用于建立流变剖面的数据，如关于热流、地壳厚度和微震分布的数据，也应在这一评价中加以考虑。

4.26. 须指定每一震源相关的最大潜在震级，并通过离散或连续的概率分布来描述最大潜在震级的不确定性。对于每一震源，最大潜在震级值作为 (a) 概率地面运动计算的积分上限，得出震级—频度关系；(b) 确定性地面运动分析中的设定震级。通常意义上，特别是对于板内构造背景的场址，观测到的最大震级数据较少，用其作为最大潜在震级则是一种不保守的估计。全球范围内的构造类比例应得到考虑，并须特别注意选择合适的构造类比对象。须对选取的最大潜在震级进行危害结果的敏感性分析。

4.27. 还应酌情考虑在统计分析 with 特定构造相关的震级—频度关系的基础上估计最大潜在震级的其他方法。这些方法假定构造与所用的所有地震数据之间存在关联。无论何种情形，须对用这些方法得出的结果进行检验，确认其是否与现有资料相符合，也包括是否与古地震相关资料吻合。

4.28. 无论采用何种方法或方法组合，最大潜在震级的确定都可能具有很大的不确定性，这些不确定性应与地震、地质、地球物理及地貌等资料结合起来进行综合分析。

4.29. 除最大潜在地震外，还应论证震源模式中的每一发震构造的如下特征：(a) 地震活动的发生率；(b) 合理的震级—频度指数关系（如 G—R 关系式）；(c) 这种关系及其参数的不确定性。

4.30. 对于地震样本较少的震源，确定震级—频度关系（如 G—R 关系）可能涉及不同的方法，其可能包括采用 G—R 关系中的系数（斜率 b 和截距 a ）。G—R 关系能反映震源的区域构造背景（如稳定大陆构造背景）。这种方法是可行的，因为诸多研究表明，对于某一构造背景， b 值的变化范围相

对较窄。可以采用基于应变率的方法得到 a 值，前提是能够从地球物理调查中可靠地获得这样的数据无论采用何种方法确定震级 — 频度关系的 a 和 b 值，都应适当评价这些参数及其关联性的不确定性。

5. 地面运动评价方法

概述

5.1. 地震危害评价中，未来地震的地面震动运动预测相关的多变性是最大的不确定性来源中的一类典型。目前，评价地震动的方法包括 GMPEs 和直接模拟方法，前者主要为经验性方法，后者则基于等比缩放的物理过程，以少量数据进行插值。第 5.17—5.23 段还会介绍替代方法。鉴于目前地震动预测所固有的较大的认知不确定性，应使用多种关系和/或方法。应该考虑以一致和互补的方式进行不同方法的地震动评价。

5.2. 地震动预测模式应包括振幅中值的估计和平均值随机可变性的度量。对于前者，在通常采用的对数正态模式中，振幅中值是对数正态分布的平均值。最终完整的地面震动运动应包括均值预测认识不确定性的评价以及以对数标度随机变异性的评价。

5.3. 在论证地震动表征中使用的地震动强度的定义应与 (a) 在后续的核装置结构、系统和部件的工程设计和概率安全分析中使用的地震动；(b) 诸如边坡失效和液化等地面失效的评价相一致。通常需要为横向加速度反应谱⁶（临界阻尼的 5%）建立经验性关系。其它阻尼水平的地震动可以根据已经发表的等比关系进行转换。通常采用模拟方法生成地震动时程。一些必需的强度数据是可以直接从时程里读取的。

5.4. 应注意确保在选定的 GMPEs 中地面运动水平分量的表示方式与后续设计或脆弱性分析中的工程应用相一致。所选择的谱周期点数要以能勾勒出光滑谱形为宜（见第 8 部分）。

⁶ 加速度反应谱是一组具有不同自振周期/频率、不同阻尼比的线性单自由度振荡器在加速度时程作用下的最大加速度反应。

5.5. 地震动应在核装置场址土层剖面内的特定位置进行计算，该位置被定义为控制点。可能在某些情况下需要多个控制点。控制点的特定定义是地震动危害分析与场址反应分析技术接口中的一个重要问题。控制点应从项目一开始根据评价链条中终端用户的需求明确界定（见第 10 部分）。控制点的位置可以定义在自由场址表面、基岩露头处或土层剖面中任何其他指定深度处，该深度足以忽略土—结构相互作用的影响。在特定控制点的地震动将被用作结构、系统和部件反应计算的输入，因此，指点控制点的地震动评价应进行合理的场址反应分析。

地面运动衰减关系

筛选标准

5.6. 衰减关系根据有限描述性变量（如地震震级、场址与破裂面的距离、场址条件和断层性质），规定了地震动振幅的中值。衰减关系模式可以是方程或表格的形式。即使对于主要基于经验数据的模式，模拟结果也是通常用于对震级、距离或现有数据库中没有特定表示破裂面的等比缩放方式进行约束。通常，在地震危害分析中选择一系列衰减关系式进行使用。

5.7. 选择合适的衰减关系应基于衰减关系式与地震构造条件的符合性以及地震危害评定所需的输出参数的符合性（见第 10 部分）。应对衰减关系式中的震级范围、距离和其他参数的有效性进行检查。

5.8. 候选衰减关系式的筛选须基于以下通行标准：

- (a) 衰减关系应该是最新的，并有经过适当处理的足够数据支撑。
- (b) 它们应该通过合理的回归分析来确定，避免主观固定系数的误差传导至其它系数。
- (c) 它们应该符合地震的类型以及区域的衰减特征。
- (d) 它们应尽可能与区域的构造环境密切匹配。
- (e) 它们在定义时应尽可能利用现有的当地地震动数据。如果不得不使用来自其它地方的衰减关系式，则应通过与尽可能多的本地强震数据进行比较来校准它们。如果没有从感兴趣的区域获得合适的的数据，则应定性说明为什么选择的衰减关系式是合适的。
- (f) 它们应与控制点位置的物理特征相符合。

5.9. 在活动的构造区，经验性数据相对丰富，应以这类数据或类似地震构造背景的资料为主建立衰减关系。在地震活动性较低、数据不丰富的地区（例如稳定大陆区），采用已得到论证的经验或半经验方法来推导衰减关系，这类方法的示例包括混合经验法和参考经验法，两种方法都依赖于利用在数据丰富地区（主参考区）建立的衰减关系。使用混合经验法时，利用震源物理性质和地震能量随距离递减的简化参数地震模式来调整参考区衰减关系，以达到与目标区或场址的数据（目标条件）相匹配。对于参考经验方法，应根据目标区的经验数据与参考区的衰减模式之间的残差/剩余误差进行调整⁷，这一方法需要有目标区足够数量的经验数据来进行调整分析。

5.10. 如果场址区域没有足够的数据来建立可靠的衰减关系，则应采用第5.9段所述的调整原则，并满足第5.8段中的通行标准，使其它场址的衰减关系经过合理调校后适用于本地区。为了避免衰减关系系数主观评价产生的误差进一步的传导，这些系数应基于等比的物理过程进行评价。如果采用非遍历各态的衰减关系，所有系数都应合理鉴别，以反映特定条件下的地震动。如果采用遍历各态的衰减关系，通常是以更少的参数来反映总体地震动特征，尽管标准偏差可能相比非遍历各态的衰减关系要大。

5.11. 随机可变性应在衰减关系中进行考虑，并可从观测和预测地震动之间的剩余误差得出。剩余误差可能取决于震级、距离或地震动水平本身。对于选定的特定场址，为减小随机可变性，应进行细致的场址反应分析或使用场址地震动记录的残差检查。

5.12. 经验性垂直地震动的得出可通过衰减关系的垂直分量，也可通过经验性横向和垂直地震动比值。考虑到衰减关系垂直分量的特征可能不同于横向的情形，当采用衰减关系垂直分量预测垂直地震动时须特别小心。

⁷ 在高地震活动区，许多核装置场址所在地区观测记录到丰富的强地面运动数据，利用观测地震动和预测地震动之间的比值可以确定特定场址的剩余误差，由衰减关系预测的地震动可以用特定场址的剩余误差进行修正。例如：日本的监管导则中包含了特定场址的参考经验法。

5.13. 在对筛选出的衰减关系与本地小震的记录地震动进行对比时应特别小心。这类记录的使用（如在等比放大选定的衰减关系时）的正当性需要被证明，证明过程中，推测震级与距离之间关系特性须适用于核安全关注的震级和距离范围内的地震。然而，在衰减关系选择时，应尽最大努力体现出对这些观测数据的考虑。

5.14. 如果有宏观地震烈度数据，也可用于对衰减关系赋权重的过程，或校验在那些强震观测时间不够长而没有足够记录数据的地区筛选出的衰减关系式。宏观地震烈度数据至少可以从定性角度核实用于计算地震危害的衰减关系是否能反映出区域地震动特征。从宏观地震烈度数据转换为期望的地震动强度指标带来的不确定性可能很大，因此，采用这种转换时应特别小心。

合理技术见解的认知不确定性

5.15. 合理处理认知不确定性要求识别、评价和量化可能在一个场址发生的地震动的范围。除了已经发布过足够数量的独立的、区域特定的衰减关系这样的地区外，对于特定区域使用可用的衰减关系可能无法对地震动的可能范围进行全面量化。这就需要采用其它地区的模式并进行调整（如第 5.9 段和第 5.10 段所述），使得模式更适合当地条件，或使模式在变量预测方面兼容。

5.16. 为了评价未来地震引起的场址地震动，应该使用多种方法来表达合理技术见解的核心、主体和范围。所有的方法都应该从建立一套具有代表性的衰减关系开始，这些关系式满足第 5.8 段所述的筛选标准。衰减关系赋权重的方法应基于对每条衰减关系式、和/或方法的信心程度，以及与现有数据的符合性，在应用这一方法时，应考虑使用一套完整（尽可能扩展）、具有代表性和相互独立的衰减关系来计算发展未来中值地面震动。

地面运动模拟

5.17. 地面运动模拟的结果可用于改进和校验经验性衰减关系，直接建立地面运动预测模式，并能够为特定设定地震事件计算地面运动。存在多种模拟方法，任何模拟方法都应论证其有效性，并以目标区域的现有记录数据仔细验证。

5.18. 一种常用的方法是利用基于简化参数模式的随机模拟方法，这些参数模式反映了震源的物理特性以及地震能量的传播和衰减。该方法可以将震源表示为一个点源，或者一条破裂具有时空演化特点，且破裂范围有限的断层，也可以将震源表示为一个有限的断层，断层的破裂在空间和时间上都是演化的。这一方法须建立震源、路径和场址效应的特定区域的参数模式，这些模式需要用目标地区的经验数据加以校验。

5.19. 对断层破裂机制和地震波传播进行更直接的物理表达也是一类模拟方法。这类方法是基于断层破裂建模和特定类型地震波传播的物理过程的模拟来评价地面运动。这些模拟程序可能特别适用于对场址地震动有显著影响的近场断层和/或现有经验数据有限（例如：在近场断层的上盘）的情形。基于物理过程的断层破裂模拟方法分为两大类：运动学方法和动力学方法[7]。

5.20. 在运动学模拟方法中，需要首先确定断层的宏观参数（如破裂面积、地震矩、平均应力降、分段等），以及微观参数（如滑动速度函数的分布和上升时间）。对于某一特定断层的未来破裂，模式参数不能预先获知。因此，模拟的时候这些参数值被认为是随机变量，参数之间具有相应的关联性。场址所处的地震构造背景的特定特征也要有相应的考虑。要有足够次数的模拟来得出目标场址地震动中值的稳定估计值，以及中值的可变范围。运动学模式通常使用随机方法将频谱的高频部分建模为格林函数。然而，考虑到这种运动学模拟方法的一个潜在缺陷在于它们无法识别出可变性，其中的随机可变性需要类比参考与经验衰减关系相关的随机可变性。

5.21. 在动力模拟方法中，断层上的应力状态和摩擦律属性需要通过诸如滑移弱化摩擦模式来确定，滑移弱化摩擦模式是以断层上的动态应力降、过剩强度和临界滑移距离分布等参数来构建。与运动学模拟方法一样，对于可能发震的某一断层来说，这些属性是未知的，需要作为相关随机变量进行处理。

5.22. 如果场址或附近有地震记录（见第 3.54 段），这些数据应用于校准理论格林函数，或直接作为具有高信噪比频率范围内的经验格林函数。

5.23. 应考虑断层破裂模式的潜在不均匀性，使地震波的高频成分和类脉冲信号可以从断层上的任何特定区段中分离出来。对于确保高频和低频成分并非总是从断层同一区段产生应特别小心。为了得出更为真实的地震波传播模拟，须进一步考虑对任何偏离了均匀水平成层模式的假定的现有相关的二维或三维非均质地壳结构模式。

6. 地面运动危害分析

概述

6.1. 核装置场址地震危害评定须在一开始确定评价地面运动危害的方法。地面运动危害评价可通过地震危害分析的概率或确定性方法（见第 6.8 段和第 6.15 段）。选择什么方法取决于国家监管要求和终端用户需求，而终端用户须在项目工作计划中进行体现（见第 10 部分）。

6.2. 地面运动危害分析须用到构建的震源模式中的所有要素和参数（见第 4 部分），包括量化的不确定性。危害计算中也应纳入地震危害分析领域其他专家提出的模式。

6.3. 无论采用哪种方法，地面运动危害分析都应考虑随机不确定性和认知不确定性这两类不确定性。

6.4. 用于地震危害评价的程序代码应能够适用于项目中所确定的各种地震动预测模式和震源模式，同时能够合理处理不确定性。

6.5. 危害分析过程中，应考虑对地面运动危害分析与场址反应分析之间接口的合理处理。这通常是通过在场址下方定义一个控制点或层位，此处是地震危害分析定义地面运动的位置，场址反应分析和土—结构相互作用分析都以此作为地震动输入的位置（见 SSG-67[5]）。在接近控制点或层位的地方，应评价因减小的阻抗（地震波速度和密度）和近地表地层中的衰减带来的放大效应，但硬岩场址除外。实际的近地表地层并不总是横向均匀的，这类结构的不均匀性—包括非线性效应—可能影响地震波的传播。孔内垂直地震台阵监控有助于评价场址的地震波传播特征（见第 6.19—6.24 段）。

6.6. 人类活动（如水库蓄水、水体压入、排水）可能诱发断层破裂，进而可能带来地面运动危害，应考虑这类可能性。

6.7. 设计基准可以用概率方法或确定性方法推导，而进行核装置的概率安全评定只能用概率地震危害分析结果。原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/1 (Rev.1) 号《核电厂安全：设计》[9]规定了对核电厂使用概率安全评定的要求。原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-3 号《研究堆安全》[10]和《安全标准丛书》第 SSR-4 号《核燃料循环设施安全》[11]规定了对研究堆和核燃料循环设施使用概率安全评定的要求。

概率地震危害分析

6.8. 通过明确的考虑相关地震危害（如：地震动水平）来证明核装置在地震负载下的安全，须采用概率方法。对于约束的最小震级和估计的最大潜在地震之间的所有地震来源，概率方法考虑地震事件的复发率。为了确定一个适宜的设计基准或/和开展地震概率安全分析，须评估相关参数（如：PGA）不同水平下的年超越概率。

6.9. 概率方法评价地面运动危害应包括以下步骤：

- (1) 资源投入和评价颗粒度的选择：主要考虑核装置安全级别、技术复杂性及相关输入的不确定性、监管理念与要求、业界的争议性问题的数量。⁸
- (2) 翔实工作计划的建立：建立工作计划时，既要认真考虑项目团队中专家的参与，也要认真考虑独立同行评审的参与。如果工作计划中考虑了同行评审的全程参与（PPRT），则需要安排由项目组专家和评审团队共同参加的主题会议，涉及：(a) 危害如何确定、数据的充分性和质量；(b) 数据解译；(c) 项目实施过程中的经验反馈。如果工作计划中没有考虑同行评审的全程参与，须提供相应正当性。

⁸ 一些营运组织（官方或民间）可能也会集中更为广泛的资源开展一些项目，以回应公众的关注点，但这并不属于技术评价的范畴，本“安全导则”亦不考虑这种方式的利弊。

- (3) 实施过程：按照导则第 3 部分，整合地质、地球物理、岩土和地震数据库，并根据第 4 部分，建立区域震源模式，须包括边界和尺度的不确定性。“不划分潜源（或划定弥散地震区）”的方法[8]可避免一些问题，但这种方式需要充分说明正当性。
- (4) 震源参数：对于震源模式中识别出的每个震源，估计最大潜在地震，评价地震发生率，推导震级—频度关系，以及每一相关的不确定性；
- (5) 选择合适的衰减关系：为场址区域选择合适的 GMPEs，并评价地震动的均值和可变性随震级和震源到场址距离的变化的不确定性。第 5 部分所述的基于数值模拟的物理过程是评价地面运动的替代方法，须使用足够数量的计算时程来确定技术可靠的核心、主体和范围。GMPEs 的选择和/或调整应考虑其在场址反应分析中的使用（即必须考虑步骤 (7)）。
- (6) 地震危害分析：确立分析模式（如逻辑树）并进行危害分析计算，包括分阶段进行的敏感性分析，从初步分析和讨论初步结果，到最后一轮分析结束，最后一轮分析将提供根据最终用户需要确定的必要交付物。
- (7) 在地震动评价中未包括场址反应功能的情况下场址反应分析的执行。
- (8) 形成最终报告，包括所有必要的交付成果。

6.10. 须计算的最小的年超越频率地震危害是多少，取决于概率地震危害分析的最终如何使用（即：设计目的，或地震概率安全分析的输入），并应在项目计划中注明（见第 10 部分）。如果与地震概率安全分析相关，这个值可能会非常低，对于概率安全分析来讲，非地震相关的对象的概率水准（例如，堆芯熔化概率（CDF）、大剂量早期排放概率）很低，因此，须特别谨慎对待评价数据的适宜性和有效性、震源模式、衰减关系，以及专家意见的逻辑与理论基础，因为与这些因素相关的不确定性会很大程度上影响危害分析的结果。

6.11. 为便于理解场址的地震运动特征，通常需要对整体的地面运动危害进行分解。分解过程中可以针对某一目标年超越概率，通常是确定设计基准地面运动的年超越概率。进行分解时须至少在两个频率范围内进行，通常是在高低频段中各取一段，这样做既可以识别哪一对震级—距离关系对所选地面运动频段范围年超越概率有最大贡献，也可以为场址反应分析提供输入。

6.12. 为了外推或限定在推导 GMPEs 时使用的数据库所表示的地震震级范围，须选取一个地震震级对应的下限值。使用相应的下限。这一选取须综合考虑与工程措施相关的地面运动水平下限值，在该地面运动水平对应震级下的地震对核装置安全较为重要的结构、系统和部件不会发生破坏。一个单一的震级值不是表示潜在破坏的最好方式。作为使用震级度量的替代办法，可能需要确定下限地面运动过滤方式（根据已确定的潜在破坏参数，例如累积绝对速度（CAV）、峰值地面速度或仪器仪表地震烈度），并综合考虑一个特定参数值，对于该参数可以清楚地表明对损害或风险不会产生显著贡献。下限地面运动过滤方式的选择须与抗震设计、脆弱性分析和安全分析中所用的参数一致。

6.13. 由于危害评定过程中的每个阶段都涉及不确定性，主要是认知性质的不确定性，先前步骤中采用的假定和分析得出的总体结果都应基于现有观测资料 and 实际地震事件的数据进行评价，同时对于可获得数据的短周期与核装置抗震设计通常采用的重现期之间的差异，需要有既定考虑。这种评价应该用来检查所作假定的一致性和逻辑树建立分支的充分性，或者在逻辑树中分配适当的权重。

6.14. 使用概率方法进行地面运动危害分析的结果应与附件所示的典型结果一致。

确定性地震危害分析

6.15. 确定性方法可以作为概率方法的替代方法。应注意根据国家的实践情形选择相关地震危害中的一种保守情形（例如，地面运动危害中的一类保守性水平）。这种情形下，应评估关键危害参数的保守值，用以确定适宜的设计基准，对应于根据应用纵深防御概念确定的安全裕度。确定性方法假定关键参数的单一值（即发生概率为 1），从而得出原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-3 号《制定和使用核电厂一级概率安全评定》[12]所定义的结果的单一值。

6.16. 确定性地震危害分析比较适用于对于确定设定地震涉及的关键性参数有充分且适宜的数据支撑的地区。如果不是这种情形，每个参数的统计不确定性水平可能导致采用过于保守的限定值，这可能反过来导致对地震危害水平的预测严重过度。确定性分析与概率分析的主要区别在于前者不

采用定量的统计方法对参数中的不确定性进行明确的建模，对于弱地震活动区开展的地震危害评定来说，这类不确定性考虑是一项特别重要且有时是主要的考虑因素。

6.17. 确定性方法评价地面运动危害应包括以下步骤（这一评价过程的前五个步骤类似于第 6.9 段中关于概率地震危害分析的步骤）：

- (1) 资源投入和评价颗粒度的选择：主要考虑核装置安全级别、技术复杂性及相关输入的不确定性、监管理念与要求、业界的争议性问题的数量（同样见脚注 8）。
- (2) 翔实的工作计划的建立：建立工作计划时，既要认真考虑项目团队中专家的参与，也要认真考虑独立同行评审的参与。如果工作计划中考虑了同行评审的全程参与（PPRT），则需要安排由项目组专家和评审团队共同参加的主题会议，涉及：(a) 危害如何确定、数据的充分性和质量；(b) 数据解译；(c) 项目实施过程中的经验反馈。如果工作计划中没有考虑同行评审的全程参与，须提供相应正当性。
- (3) 如何使用震源模式：根据第 4 部分导则意见构建震源模式，基于构造特征、发生率及地震—频度关系类型，甚至包括非泊松模式等对震源进行明确定义。
- (4) 最大潜在地震及不确定性评价：对于震源模式中识别出的每个震源，估计最大潜在地震，以及评价其中的不确定性。
- (5) 选择合适的衰减关系：选择适合该区域的衰减关系和评价地震动的平均值和随机可变性，随即可变性是震级和震源到场址距离的函数，包括特定场址土层条件的影响。
- (6) 开展地面运动危害计算：
 - (i) 对于每一个发震构造，须假定潜在最大地震发生的部位为该发震构造最靠近场址区域的点，并要有震源物理尺度的考虑。当发震构造在场址附近范围内时，且其位置和范围不能准确确定，应假定最大潜在地震为直下型。
 - (ii) 对于不包括场址的弥散地震活动区，应假定相关的最大潜在地震在离场址最近的部位发生。

- (iii) 在包括场址在内的弥散地震活动区，应假定最大潜在地震发生在距场址经鉴定的特定水平和垂直距离处。这一距离应以详细的地震、地质和地球物理调查（陆域和海域）为基础，目的是显示场址附近范围没有断层作用或者，如果存在断层，则确保明确其活动的方向、范围、历史和/或速率，以及最新活动的时间比既定的断层能动性界定的时间要早（见第 7 部分）。涉及的调查范围一般不超过 10 公里。衰减关系中使用的实际距离将取决于震源深度的最佳估计以及预计在地震构造区发生地震的潜在断层破裂的物理面积。
 - (iv) 应使用几套适宜的衰减关系或在某些情况下使用基于断层破裂建模的模拟地面运动，用以确定每个最大潜在地震在场址可能引起的地震动，同时须考虑地震动的随机可变性。
 - (v) 应通过确定性方法来理解地面运动特性，实施过程参照第 5.3 段的建议。
- (7) 不确定性问题处理：确定性评价的每一步都须考虑随机不确定性和认知不确定性，以确保上上述第 (1)-(6) 项中的保守性处理环节已经涵盖了涉及到的所有不确定性，同时须避免保守性的重复计算。关于不同步骤中作出的选择（例如，最大潜在地震安放于距场址最近位置的假定），这一方法应明确评价其所涉不确定性处理的充分性，以便在最终过程获得合理的置信度水平。
- (8) 开展场址反应分析。
- (9) 形成最终报告，包括所有必要的交付成果。

6.18. 如果同时开展概率和确定性评定，则应将两者的结果进行比较。从识别一些技术风险以及理解实施过程的合理性角度，这将使确定性结果，包括设计基准地震动，能够以概率结果进行校准。应针对危害分解分析进行进一步的校准工作，以确定场址设计基准地面运动的特征（见第 6.11 段）。

场址反应分析

6.19. 一旦对选定的参考场址位置和高程开展地面震动运动分析，就应进行场址反应分析，其中须考虑场址区域范围内关于土层剖面的详细且特定的地球物理和岩土信息。场址反应分析的目的是获取土层剖面顶部自由表面和/或剖面中其它层位的地震动参数，例如，核安全相关构筑物地基。

6.20. 对于新建场址的确切位置和布置尚不清楚（包括缺乏地基基础特征）的新场址进行地震危害评定，场址反应分析可考虑如下任一位置：

- (a) 场址区域范围内核装置最可能的位置；
- (b) 场址区域总体岩土特征的代表性位置；
- (c) “平均”位置，即土层剖面岩土特性平均值的假定位置。

6.21. 在早期阶段采用第 6.20 段假定开展的场址反应分析，应视为初步分析，以用作确定地震危害设计基准的需要。后续须在构筑物位置最终确定后进行一个最终的场址反应分析。也可以在提供了构筑物的确切位置和充分的地基基础参数后开展场址反应分析。

6.22. 如果是核装置在运场址，或是有明确定位和布置的特定类型的核装置场址，则应专门进行场址反应分析。

6.23. 可以采取两种方法来适当地考虑一个场址的特定地质和岩土条件。第一种方法是使用适合于场址特定岩土条件的衰减关系（即采用针对该场址类型建立的衰减关系）。第二种方法是，针对场址区域详细且特定的岩土特征开展场址反应分析。具体使用哪种方法取决于采用了什么样的衰减关系。

6.24. 如果采用第 6.23 段所述的第一种方法，得出的土层顶部的自由地表的震动参数可直接用于确定设计基准地面运动。如果使用第二种方法，则须遵循如下流程：

- (1) 须建立一个从基岩露头层到自由地表的地基土层剖面模式，包括表征土层属性随机可变性的参数，根据第 3 部分中的建议，以确保与地球物理和岩土数据库一致。这一地基土层剖面须通过土层属性随机性统计来确定，并配以与属性相关的不确定性。须确定剖面中每一层的如下参数：

- (i) 低应变剪切波速 (V_S)；

- (ii) 应变相关的剪切模量折减和滞后阻尼属性；
 - (iii) 土层密度；
 - (iv) 层厚；
 - (v) 视需要，如需求出垂直分量，则需要压缩波速 (V_p)。
- (2) 在概率场址反应分析中，需要有足够数量的模拟来表示参数的概率分布。使用这种方法时，所建立的土层剖面须与地基土层剖面一致，并考虑与土层属性相关的不确定性。所生成的土层剖面应与场址特定数据进行对比分析。在低应变模拟过程中，还应考虑地基土层剖面中土层间属性的相关性⁹。由于土层剖面具有相当随机的属性参数，通过建模作为一系列简化的水平层，以及由于地震波传播过程和与土层属性相关的不确定性的过度简化，可能会有高估场址反应共振的趋势。概率方法可以通过量化角度的参数随机性建模来弥补这种偏差。
- (3) 通过危害分解或基于确定性的保守的设定地震而确定的地面运动输入，对地基土层剖面以及每一模拟的剖面，须进行等效线性或完全非线性分析。或者，在频域内应用随机振动理论方法，通过在反应谱和傅里叶振幅谱之间进行转换产生场址反应的平均放大因子。
- (4) 须在场址的目标层位（如：控制点）以及为确定抗震设计基准（如： 10^{-4} 和 10^{-5} /年）而选定的年超越频率，计算一致危害反应谱。计算中须考虑场址反应中的不确定性（即：应该与危害分析相一致的不确定性）。根据 SSG-67[5]建议，最终设计基准地面运动应具有足够的安全裕度，以满足设计基准的期望值要求。在确定性方法中作为输入的基于卷积的设定地震须具有足够的保守性，以满足导则建议。
- (5) 如果场址地层水平不均匀（如山谷、陡倾地层），应检查场址反应中潜在的不均匀效应。
- (6) 可能情况下，应利用任何现有的仪器仪表观测记录校验场址反应分析的结果，因为场址反应分析是复杂的，其固有的不确定性可能削弱其支撑核装置设计的价值。

⁹ 层间相关性指的是，在同一剖面内，一个土层中的随机参数的概率分布与另一个土层（通常是相邻层）中同一参数的概率分布之间的关系。如果需要，还可以指定某一层的一个参数与另一层中的另一个参数之间的相关性。

7. 场址潜在断层错动评价

概述

7.1. 关于断层能动性的评价，SSR-1[1]阐明（脚注略）：

“要求 15：断层能动性评价

“大于一定尺度、在场址一定距离内、安全重要的地质断层应进行评价，鉴定这些断层是否应考虑为能动断层。对于能动断层，应评价在地震动和/或断层错动方面对核装置安全的潜在影响。”

.....

“5.2. 应识别能动断层并进行评价。评价过程应考虑场址附近范围内断层的特征。所使用的方法和所开展的调查应足够详细，以支持安全相关决策。

“5.3. 应评价断层错动对安全相关结构、系统和部件的潜在影响。断层错动危害的评价应包括安全相关构筑物开挖的详细地质填图，以便能够评价场址的断层能动性。

“5.4. 当有可靠证据表明能动断层的存在可能影响核装置的安全，且无法通过场址保护措施和设计改进的组合方式加以弥补，这个新场址应被视为不适宜。如果在现有核装置场址附近范围鉴定出能动断层，如果不能证明该核装置的安全，则该场址应被视为不适宜。”

本部分提供的建议旨在满足上述要求，并区分新场址和在运场址之间考虑的差异。

7.2. 断层错动是由地震引起的断层两侧在地表或近地表的相对运动。主要的断层作用是沿主断层的破裂面（或多面）发生，这些面即为能量释放的部位。次生的断层作用是发生于主断层作用附近的破裂，可能发生在主断裂的“花状”扩展构造上，也可能发生在共轭断裂上。换句话说，错动可能与成因断层（即发震构造）相关，或可能发育于同震的次生断层上。与褶皱（即向斜和背斜）相关的构造相对位移也包含在“断层错动”的范畴中。如果被证明是断层蠕变，须考虑为一种缓慢发展的地质危害，可能

影响核装置的安全，但不是地震诱发成因的，因此不在本“安全导则”考虑的范围內。

能动断层

定义

7.3. 评价潜在断层错动的首要问题是，在场址附近和/或场址区域内的断层（隐伏或出露）是否考虑为能动（即断层在地表或潜地表产生错动的显著可能性）。回答这一问题须基于对综合数据库（见第 3 部分）中的数据解释和合理分析，并整合为震源模式（见第 4 部分），以及进行这一评价可能需要的其他特定数据。

7.4. 基于地质、地球物理、测量和/或地震数据，一条断层如考虑为能动断层，则须适用下述条件：

- (a) 如果断层显示出过去活动的证据（例如：显著变形和/或错动），在这样一个时期內可以合理推测，在核装置的寿期內，地表或近地表可能发生进一步活动，这样的断层须考虑具有能动性。对于地震和地质资料一致显示较短的地震复发间隔这样的高度活动地区，在上更新统至全新统（即现今地层）中过去活动的证据可合理用于能动断层的评价。对于弱活动区，考虑更长周期（即上新世至全新世）可能比较合适。对于活动性介于上述两者之间（即：既不像板块边界那样高度活动，也不像克拉通块体那样稳定）的地区，考虑的时间长度须进行保守性选择（如：根据区域的构造活动水平考虑第四纪，并可能延伸到上新世）。标定断层能动性时间框架的一种方式是在场址是否处于区域主要断层的变形区。当场址远离这些区域构造的潜在变形区时，应使用更长的时间框架。
- (b) 如果因为通过现有方法不大可能获取可靠的地质年龄资料，断层能动性无法按上述 (a) 中条件进行评价，但如果它可能与一条已知能动断层（即：显示出与已知能动断层的构造联系以致于一条断层的活动可能引起其它断层在地表或潜地表的的活动）存在构造上的联系，该断层应判断为具能动性。

(c) 如果因为通过现有方法不大可能获得相关可靠数据，断层能动性无法按上述 (a) 和 (b) 中所述条件进行评价，但如果根据第 4 部分中的原则鉴定的发震构造，其相关的最大潜在地震足够大，并且地震活动可能发生于某一深度（即足够浅）以致于可以合理推测在现今构造背景下发生地表或潜地表的的活动，那么该断层应判断为具能动性。

7.5. 如根据第 7.4 (a) 段的条件，具备活动证据的这一时期可用于确定断层能动性，应在地震危害评定项目开始时，根据区域构造环境的特点以及近区域和场址附近范围的条件，通过场址特定标准对这一时期进行界定。断层能动性评价的这一标准需要征得监管机构的认可或由其制定。

能动性鉴定所需的调查

7.6. 应从区域、近区域、场址附近和场址区域的调查中获得足够的地表和潜地表数据（见第 3 部分），以证明场址或场址附近是否有断层作用，如果存在断层，则说明这些断层的方向、范围、历史和活动速率以及最新活动年龄。

7.7. 当地表断层作用为已知或怀疑存在地表断层作用时，应在场址附近范围内进行调查，并应包括非常详细的地质和地貌填图、地形分析、地球物理探查（必要时包括测量）、槽探、钻探、沉积物或断层物质的年代测定、本地地震调查以及任何其他适当和先进的技术（例如遥感方法），以确定先前位移或变形量和年龄。

7.8. 没有表现出近地表新近活动的断层，可能会因人类活动（如：水库蓄水、流体注入、流体抽吸）而激活，应对这种可能性进行考虑。

7.9. 关于断层是否可能对核安全有危害，如果判定可能有危害，则需要根据第 10.3 段提供充足的定量信息，以供后续的场址评价工作、设计和安全分析。能动断层的调查必须是充分的，以增强这方面决策的信心。需要将能动断层调查与地震动评价相关的调查进行关联，二者须具有一致性。如果这两类评价在具体的数据需求和得出成果方面有些不一致，那么在报告分析时需要通过阐述认识到这两类危害源出于区域内相同的构造。

新选场址的能动断层问题

7.10. 在场址的选择和评价阶段，如果收集到可靠证据，表明在场址附近或场址区域存在能动断层，而且其影响无法用经证实的设计改进或工程保护措施加以弥补，则应将这一问题作为“排除属性”处理（见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-35 号《核装置场址勘查和选址》[13]第 3.8 段），并应考虑另选场址。

7.11. 在场址的选择和评价阶段，如果收集到可靠证据，表明在场址附近范围内的次生断层与其它活动断层相关联，这一次生断层可以按“酌情属性”进行处理（见 SSG-35[13]第 3.8 段）。然而，如果可靠证据表明，这一次生断层可被追踪，或可能延伸至场址区域，而且其影响无法用经证实的设计改进或工程保护措施加以弥补，则应将该次生断层的存在问题视为“排除属性”，并应考虑另选场址。如果没有足够的证据或数据来区分主次断层，则应采用保守性方法，将这些断层视作能动断层。

在运场址的能动断层问题

7.12. 一般而言，由于核装置需要开展广泛的场址调查工作，因此不会出现需要进一步考虑在运场址的断层错动可能性的情形。然而，后续可能浮现一些资料，表明需要评价场址附近范围断层错动的可能性。因此，关于现存核装置的地震危害评定（见原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.13 号《现有核装置地震安全评定》[14]），评价工作应包括潜在断层错动评价，所依据的资料须从最初选址和评价阶段以及资料的升版和当前技术和标准的升级所引发的变化，确保资料最新并进行适宜的解译。

7.13. 如果新增核装置将毗邻已有核装置场址建造，并且有资料表明场址附近范围内有潜在的能动断层，则新仪器仪表记录的评价工作应按照第 7.10 段和第 7.11 段进行。

7.14. 如果在场址附近范围和/或场址区域内有潜在的能动断层，则须对该断层进行评价，鉴定其是否有可能延伸至核装置并引起地表错动，进而带来安全问题。评价时须基于断层的表征，如滑动趋势和几何特征（即长度、宽度、深度和位置，包括走向、倾角和逆推角）。对于构造关联（即次生）断层，评价也应基于其与成因断层的关联。评价应从保守角度使用验证过的经验和/或理论模式，包括相关认知和随机不确定性的既定考虑。

7.15. 如果没有充分依据来判断断层不能动，且如果已鉴定的断层有可能影响到核安全相关物项，则应按照第 3 部分导则使用汇编的所有现有数据，使用概率方法评估各种地表或潜地表错动量的年超越概率。

7.16. 在概率断层错动危害分析中，应考虑以下两类可能的错动，并谨慎且合理处理相关不确定性（认知和随机）：

- (a) 沿一个（或多个）主断面发生的主断错，这是地震能量释放的场所。
- (b) 发育于主断错附近的次生/分散错动，可能处于主断层的“花状”扩展部位，或为共轭断错。在某些情况下，触发的滑动¹⁰被认为是一种次生/分散式错动。

断层错动通常是作为三位位移矢量来评价，该位移矢量分解为沿断层走向和沿断层倾向的滑动分量，其得出的幅度等于所评价的总滑动量（对于给定的年超越频率和给定的危害分位数）。

7.17. 应根据核安全重要结构、系统和部件基础的布置，在基础的相关点位，确定各种错动量对应的年超越概率。应采用最新和最可靠的概率评价方法，包括经验关系和/或工程模式（例如：有限元分析、库仑静态应力传递模式），这些模式须与断层作用类型和场址区域所在地质背景相适应，并使用所有可用数据。

7.18. 断层错动计算的年超越概率范围应与核装置的安全级别相匹配。须计算核安全相关频段范围内对应的断层错动危害曲线。可以评价核装置在这些错动条件下如何响应，用以判断对于概率断层错动危害（即作为断层错动函数的失效概率）的承受能力。根据危害曲线和失效概率函数，原则上可以计算出由断层错动危害带来的失效频率，并将其与相关监管安全目标进行比较，如早期大剂量排放频率。根据这些资料，可以判断该仪器仪表记录是否符合 SSR-2/1（Rev.1）[9]第 5.27 段和要求 20 中关于事故后果“实质性消除”的要义，事故后果可能导致早期放射性排放或显著放射性排放（另见 SSR-2/1（Rev.1）[9]第 2.11 段、SSR-3[10]第 6.8 段和 SSR-4[11]第 6.7 段。）

¹⁰ 触发滑动是由远震触发的沿断层的滑动。

8. 地震动、断层错动和其它相关 地震危害参数

地震动危害

参数与控制点

8.1. 无论采用哪种方法（即概率、确定性方法或两者兼用），场址地震动危害均须通过适当的参数，如谱和时程来确定。

8.2. 原则上，地震动参数计算应根据最终用户的需求确定控制点（见第 10 部分）。控制点通常定义为自由场条件（即在地表、关键性埋藏深度或基岩水平）。在表土层完全移除的情况下，参数应在移除后的露头水平上确定。应考虑合理场址反应分析与定义的参考地面运动之间的技术接口。

场址反应分析

8.3. 按照第 6.19—6.24 段的建议开展的场址反应分析为设计核安全分析相关的部位提供地震动参数（例如自由场址表、基础水平）。

反应谱

8.4. 按导则第 6 部分意见计算的地震动危害应通过控制点水平和垂直向的反应谱来表示。

一致危害反应谱

8.5. 为若干频率/周期从地震危害曲线中选取感兴趣的年超越概率对应的反应谱坐标值，形成一致危害反应谱。一个或多个一致危害反应谱计算可以由概率地震危害分析以及随后开展的场址反应分析的结果得出。

基于设定地震的反应谱

8.6. 在确定性地震危害分析中，以及概率地震危害分析经过危害分解后，应使用设定地震来真实地表示地面运动的频率成分。源于概率地震危害分析结果分解过程的设定地震，须具有对应的年超越频率值。

标准化反应谱

8.7. 平滑的标准反应谱用于工程设计，并考虑了多个震源的贡献，多震源的贡献用包络线来表示，包络线考虑了充分的低频核高频地震动。标准反应谱的形状是从基于地震记录和工程考虑的各种反应谱综合得出来的。标准化反应谱应进行等比缩放，以在较宽的频段内包络中值地震动水平。

8.8. 具有中低震级的近场址震通常有较为丰富的高频成分和期间较短的特点，并有较高的峰值地面加速度。采用这类地震的峰值地面加速度来标定标准反应谱，可能会导致标准反应谱的形状不切合实际情况。在这种情形下，出于设计目的，应多组反应谱以合理反映出震源的不同类型。

时程

8.9. 时程应较好地反映出反应谱中所蕴涵地地面运动参数，并有诸如期间、相位和相干性等其它参数。进一步的详细分析所需的时程数量、生成时程所使用的程序，取决于后续分析的性质，应由终端用户明确将开展哪些类型的分析评价（参见第 10 部分），是用于设计还是安全分析。

8.10. 基于地震波传播路径和场址效应的断层破裂建模（例如使用经验格林函数方法）来模拟地面运动已经取得了长足进步。对于具有相关参数的地区，用这种方法获得的地面运动的方式可以采用，以弥补那些更传统的方法。时程应谨慎使用，尤其是对于那些预期有非线性响应的土层。

8.11. 在使用反应谱合成设计时程时，应确保时程中包含了设计地震动所代表的适当能量成分，可通过计算相应的功率谱密度函数来实现。

地面运动期间

8.12. 地震动期间大小取决于很多因素，包括断层破裂的规模（一般以震级表示）、沿传播路径的地壳参数（一般以距离表示）和场址条件（例如是否存在一个较大规模的沉积盆地）。应在整个评价过程中使用一致的期间定义。期间的常见定义如下：

- (a) 从地震动开始至加速度下降到峰值的 5%之间的时间间隔；
- (b) 加速度均方值积分的 5%分位数与 95%分位数（高噪声记录为 75%分位数）之间的时间间隔；
- (c) 加速度超过重力加速度 5%的时间间隔。

8.13. 在确定合理的时程期间过程中，应侧重于区域数据库提供的任何经验性证据。对于一些场址，远场大震的相对低振幅运动可能会造成液化危害。在这种情况下，用于液化判别的时程应包括适当期间的低振幅时程。

垂直地震动

8.14. 垂直振动地震动（反应谱和时程）应采用与计算水平振动地震动相同的方法。如果没有垂直衰减关系，可以合理假定一个竖直向与横向地震动之间的比值，这种方式是目前最好的实践。然而，如果使用为每个分量单独定义的衰减关系（见第 5.12 段），应特别小心。

基础隔震结构、埋置结构和储液库的地震动

8.15. 对于具有常规基础的核装置结构，目前已经开发出了计算设计地震动的方法。对于使用基础隔震系统来保护核装置免受地震产生的地震动的结构，可能需要额外的考虑，包括仔细评审世界各地关于特定性能和设计标准的经验，以及相应的监管要求。最值得关注的是，在基础隔震系统中，具主导地位长周期效应（潜在的较长期间）可能会导致过多的剩余位移（永久性位移）。对于考虑基础隔震系统的核装置结构，须对时程进行检查，并在必要时考虑这一效应对其进行修改。如果沉积层较厚，评价时应考虑面波影响。

8.16. 对于埋置结构，如廊道和管道，应计算出合理的反应谱和时程，须与结构设计中使用的参数相一致。

8.17. 如果项目计划中要求考虑液体贮存库（如乏燃料水池、厂用水库、有独立基础的储罐）的振荡效应，须对地震动进行合理的表征。

断层错动危害

8.18. 对于根据第 7.12—7.18 段进行断层错动危害分析的现有核装置，应鉴定场址区域内与能动断层相关的地表断层错动。这些错动量须对应于年超越概率水准所能接受的值，这在 SSR-1[1]已有明确要求，也需要在项目计划中明确。鉴于可获取的数据较少，相较于地震动模式，经验性断层错动模式具有更大的不确定性，这一点应予以相应考虑。

其它地震相关危害

8.19. 地震危害分析的结果还应用于地震相关其它危害的评定，这些危害也可能影响核装置的安全，包括海啸、砂土液化、边坡失稳、震陷、岩溶特征和洞室垮塌，以及可能由地面运动或地表断裂作用引发的挡水构筑物破坏。应进行全面的评价，确定地震危害水平或适用于所考虑的相关危害的支持模式。

海啸

8.20. 对于滨海场址，应在水文危害的框架内（见 SSG-18[4]）仔细评价海啸的可能性。地震会引起海床的构造变形或海底滑坡，进而引发海啸。对于构造成因的海啸，调查的区域可能非常大，半径可达数千公里。调查应集中于那些有可能引起海床显著垂直位移的震源，这类垂直运动最有可能引起海啸。

8.21. 对于与近区域的海底滑坡相关的海啸危害，应根据与核装置场址安全相关的危害水平确定引发滑坡的相应地震危害。

8.22. 为了评价与断层相关的海啸危害，应估计海岸的沉降和隆起。应开展近区域范围内的古海啸研究，以了解沿海地区海啸的历史。这类评价是地震危害评定或海啸危害评定内容的一部分，但无论如何，这些评定都应相应展开。

液化可能性

8.23. 地下水位以下松散沉积条件下的非粘性土易发生液化；如果是这种情况，当受到地震动时，土的承载力（强度和刚度）就会降低。因此，应在场址区域进行详细的岩土勘查，评定土层（包括非粘性回填材料）液化的可能性。

8.24. 对于易液化的土层，需要土层剖面建模的详细信息，应按照 NS-G-3.6[3] 第 3.16 段和第 3.17 段的要求获取。为了使用 NS-G-3.6[3] 第 3.18—3.25 段所述的三种方法中的任何一种来评定液化可能性，应提供抗震设计基准的特定特征或场址的地震危害特征。因此，如果采用经验性方法评定液化的可能性（见 NS-G-3.6[3] 第 3.19 段），则应利用用于地震危害分析的相应信息和数据，合理确定不同设计条件下的地震震级。如果采用其中一种分析方法（见

NS-G-3.6[3]第 3.20—3.25 段), 应合理识别与时程筛选相关的地震特征, 用以确定应力循环次数和用于非线性应力分析的足够的输入地震动。在任何情况下, 都应该与进行液化分析和基础设计的岩土工程专家建立密切的协作关系。应避免选择可能发生大规模液化的场址 (见 SSG-35[13]附件 1)。

边坡失稳

8.25. 考虑到滑坡可能会严重影响对安全重要的结构、系统和部件, 应调查位于场址区域和场址附近范围的自然和人工边坡在地震动影响下的稳定性问题。边坡的稳定性评价应利用从地震危害分析中获得的地震动中的适当参数。根据 NS-G-3.6[3]第 5.5 段, 抗震设计基准的峰值地面加速度通常是用于估计惯性负载的参数, 尽管在某些情况下可能需要更精细的动力分析。

洞穴垮塌核沉陷现象

8.26. 应按照 NS-G-3.6[3]第 2.35—2.47 段的建议, 对复杂的潜地表条件进行调查。场址区域的这类条件可能会严重影响对核装置安全物项的基础完整性。在进行地震危害评定时, 对地下条件的预测、探测和评价应使用足以满足目的的数据和方法。由于洞穴可能倾向于沿发震构造发育, 因此应研究发震构造同震运动的可能性。

挡水构筑物失效 (溃坝)

8.27. 应调查位于场址区域上游的挡水构筑物因地震事件而可能发生的破坏, 同时须考虑可能影响核安全的水灾后果。因此, 用于这类结构的抗震设计基准, 包括地震危害、性能和安全标准, 应向负责这类结构的当局和组织获取。应合理分析这些信息, 包括特定特征信息 (例如大坝对水体的控制或阻挡), 确保场址核装置的安全, 或充分落实与场址相关的缓解措施。

8.28. 应该考虑上游地区可能存在若干大坝, 这可能会产生多米诺骨牌效应。应基于防洪水位和流速速度考虑水动力影响。滑坡可能产生泥石流、浮渣和临时滑坡坝, 而这些溃坝的可能性是高度不确定的。

8.29. 如果可能影响所考虑的挡水构筑物的所有发震构造都处于在核装置地震危害分析的调查范围内, 则在挡水构筑物进行地震危害评价时, 应采用地震动模式和断层错动模式所使用的相同震源特征。如果情况并非如

此，则应考虑核装置地震危害分析中使用的属性特点，对核装置和挡水构筑物共用的震源进行建模。任何情况下，都应与进行溃坝分析和防洪设计的水文工程专家建立密切的协作关系。

火山

8.30. 如原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-21 号《核装置场址评价中的火山危害》[15]表 1 所示，地震及相关危害是与火山事件相关联的现象。火山活动产生的地震通常比构造地震小。如果在活火山附近发现一条能动断层，则应同时考虑地震危害和火山危害，由于构造运动和岩浆侵入的相互影响，该断层可能在火山爆发之前、伴随或之后发生地震。此外，在明确界定的局部地区识别的成列火山口可能表明存在构造断层或能动断层。

9. 核电厂以外核装置的地震危害评价

概述

9.1. 核电厂以外核装置的地震危害评价，应当与仪器仪表记录的复杂性、潜在的放射性危害以及场址内存放的其它物项造成的危害相匹配。

9.2. 推荐的分级评价方法是以核电厂相关属性为基准，如果可能，对放射性后果较轻属性的装置相应调整这些评价的等级。如果这种办法对核电厂以外的核装置不可行，则应适用与核电厂相关的建议。

筛选过程

9.3. 在采用分级方法之前，应进行一个保守的筛选过程，其中假定该装置因潜在的地震事故而引起其放射性物项清单中整体的排放。如果这种放射性排放的潜在结果是对工作人员或公众（即对工作人员和公众的剂量将低于监管机构确定的剂量限值）或对环境不太可能产生不可接受的后果，并且如果监管机构对这种仪器仪表记录没有其它特定要求，则可将该装置排除在进行全面地震危害评定的要求之外。即使达到这样的后果，有必要开展一定深度的地震危害评定，则应使用有危害的和/或工业设施的国家抗震规范。

9.4. 如果保守性筛选的结果表明，这种释放的潜在后果是不可接受的，则应从与核电厂相关的导则建议开始，对该仪器仪表记录进行地震危害评定。

9.5. 第 9.3 段所述的保守筛选过程，应考虑地震事件将导致具有放射性后果事件的可能性。这种可能性在很大程度上取决于与核装置特征（例如其目的、布局、设计、建造和运行）相关的下列因素：

- (a) 场址放射性盘存的数量、类型和状态（例如，是固态、液态和/或气态；放射性物质是正在加工还是仅仅贮存）；
- (b) 与在该装置发生的物理过程（例如核链式反应）和化学过程（例如燃料加工目的）相关的固有危害；
- (c) 核装置的热功率（如适用）；
- (d) 不同类型活动的安装配置；
- (e) 放射源在装置中的分布（例如，对于研究堆，大多数放射性库存将在反应堆堆芯和燃料贮存水池中，而对于燃料加工和贮存设施，则可能分布在整个设施中）；
- (f) 为试验设计的装置的配置和布局不断变化的性质（这种活动具有相关的内在不可预测性）；
- (g) 为预防事故和缓解事故后果而采用的能动安全系统和/或运行人员行动的必要性，以及为预防事故而设计安全设备特点，以及缓解事故的后果（例如安全壳和安全壳系统）；
- (h) 核装置结构的特点和放射性物质的限制手段；
- (i) 在发生事故时可能显示陡边效应的过程或工程特点的特征；
- (j) 与放射性物质扩散到大气和水圈的后果相关的场址特征（例如区域的面积和人口统计）；
- (k) 场址和场外污染的可能性。

9.6. 根据监管机构适用的标准，第 9.5 段中的部分或全部因素，在应用保守筛选过程时应予以考虑。例如，燃料损坏、放射性排放或对工作人员和公众的剂量可能是值得特别考虑的因素。

9.7. 分级方法的应用应以下列资料为基础：

- (a) 现有装置安全分析报告，应作为主要信息来源；
- (b) 概率安全评定的结果（如果已经进行）；
- (c) 第 9.5 段中规定的特征。

分类过程

9.8. 如果保守筛选过程表明将对该仪器仪表记录进行地震危害评定（见第 9.5 段），则应进行对该仪器仪表记录进行分类的过程。这种分类可以在设计阶段或以后执行。如果进行了分类，则应评审和核实分类所依据的假设。一般而言，分类标准应以装置放射性排放的放射性后果为依据，从极低到可能严重的后果不等。作为一种替代办法，分类可考虑装置本身、装置场址以及对公众和环境的辐射后果。

9.9. 可根据国家实践和标准以及第 9.7 段所述信息界定三个或三个以上类别。例如，可以定义以下类别：

- (a) 最低危害类别，其中包括应至少适用国家常规设施（如医院等基本设施）或危害设施（如石化或化工厂）建筑法规的核装置；
- (b) 最高危害类别，包括应适用核电厂标准和守则的仪器仪表记录；
- (c) 在 (a) 和 (b) 之间通常至少有一个中间类别，对应于危害仪器仪表记录，至少应适用危害仪器仪表记录专用代码。

地震动危害分析及相关问题

地震动危害分析

9.10. 第 9.8 段和第 9.9 段中建议的分类仪器仪表记录的地震动危害分析应按照以下要求进行：

- (a) 对于危害较小的仪器仪表记录，设计输入地震动可以取自国家建筑规范和区划图。
- (b) 对于很高危害等级的仪器仪表记录，应使用本“安全导则”第 3—8 部分所述的地震危害评定方法（即适用于核电厂的建议）。

- (c) 对于被归为中等危害等级的仪器仪表记录，可适用以下方法：
- (i) 如果地震危害评价采用的方法与本“安全导则”中描述的方法类似，则根据仪器仪表记录的安全要求，宜采用不高于 (b) 所评价的输入地震动进行设计。
 - (ii) 如果发现本“安全导则”中建议的数据库和方法对相关核装置过于复杂、耗时和要求过高，则可采用简化的地震危害评定方法。在这种情况下，最终用于设计的输入地震动须与缩减的数据库和简化的方法相匹配，须考虑到这两项因素均会增加不确定性。

9.11. 核电厂以外核装置的设计基准地震动水平应根据第 9.10 段所建议的危害评定方法来决定。

9.12. 关于在场址安装地震仪器仪表的建议（见第 3.54—3.59 段）应与第 9.9 段界定的仪器仪表记录类别相匹配。

与地震危害相关的地质和岩土问题

9.13. 关于与地震危害相关的地质和岩土方面，用于核电厂的同样考虑应适用于其它类型的核装置。如果有可靠证据表明，在场址附近和/或场址区域内可能出现由这些方面引起的断层错动现象，则应进行详细和特定的断层错动评价。根据具体确定的适宜性标准，该场址仍可被认为是适宜的，并应确立设计基准，通过设计、建造和运行措施确保核装置的安全。

10. 项目组织与管理系统

项目管理方面

10.1. 应按照原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 2 号《安全的领导和管理》[16]要求为地震危害评定相关活动建立、应用和维护一套管理系统。

10.2. 应制定项目工作计划，至少应包括如下内容：

- (a) 项目目标和范围；
- (b) 适用的规章和标准；
- (c) 项目管理组织内的角色和分工；

- (d) 工作分解、流程和任务、进度安排和里程碑；
- (e) 任务（例如：野外工作、实验室试验、分析）和所涉学科（例如地球科学、工程）之间的接口，包括所有必要的输入和输出；
- (f) 项目交付成果和报告。

10.3. 工作范围须识别出所有核安全相关地震危害。本“安全导则”阐释的是与地震相关的各类危害。工作范围内考虑其中一些或所有危害种类取决于特定项目目标。如果确信一些危害与场址不相干而在工作范围内不予考虑，则应采用一套筛选流程来说明并记录这种情况。

10.4. 项目工作计划应包括与项目相关的所有要求的说明，包括工作范围内相关内容的适用性监管要求。在开展地震危害分析之前，监管机构应评审这套监管要求的适用性。

10.5. 所有参考了较低层级监管文件（如监管导则、行业规范和标准）的方法和方论都应清晰识别并说明。如果为了更好地识别认知不确定性而采用一套专家互动讨论的流程，那么须基于项目需求，由项目甲方来确立这些流程的精细程度和复杂等级。应在项目工作计划中阐明方论，明确说明方法的特定细节。这些细节应包括参与项目的各类专家（如提议者、资源专家、技术整合者、评审小组成员）的职能及其在项目中的责任。

10.6. 至少应采用以下通用管理系统中的流程来确保项目质量：文档控制、成果控制、测量和试验设备控制、记录控制、分析控制、采买（采购）、软件校验和核实、监查（如自评、独立评定和独立评审）、不符合项控制、纠偏措施、预防措施和人力资源管理[17]。应用的流程须覆盖场址调查、实验室试验、数据收集以及对观测数据的分析和评价。还应制定参与项目专家之间的沟通协作程序。

10.7. 对于重要数据收集，或为了回应专家要求，项目工作计划应体现出资源保障和进度保障，并包括如何平衡可能相互冲突的项目需求。

10.8. 为了使评价过程有据可查，且对最终用户（例如同行评审专家、项目甲方、监管机构、设计方、甲方供应商和分包商）具有足够的透明度，地震危害评定文字报告应说明项目的所有要素，包括下列信息：

- (a) 评价参与人员及其角色的说明；

- (b) 具有分析过程记录的背景材料，包括原始数据和处理数据；
- (c) 所用计算机软件的说明和输入输出文件；
- (d) 参考文献或报告；
- (e) 所有支撑不确定性问题处理、专家意见和相关讨论的文件；
- (f) 中间计算成果和敏感性研究。

该文档系统应该由甲方以可访问、可用、可监查的方式进行维护。

10.9. 文档系统和参考文献须识别出地震危害评定中所有使用资料的来源，包括关于在哪里找到那些可能难以获取的重要引用的信息。评定中使用的未公开的数据应以适当可访问和可用的形式放入文档系统中。对于在其它地方也能便捷查阅的文件须以合理的方式进行引用。

10.10. 地震危害评定的文件系统应明确所使用的计算机软件。应包括用于处理数据（例如地震目录）的计算机程序和用于计算地震危害的程序。

10.11. 鉴于需开展各种调查（如：野外调查、实验室试验、计算），以及技术决策过程中对于专家判断的需求，项目中需制定特定技术流程，以指导和促进这些实施和核实过程。

工程用途和成果说明

10.12. 地震危害评定工作通常是为了核装置的抗震设计和/或地震概率安全分析的目的而开展的。因此，地震危害评价工作计划从一开始就应确定评价的预期工程用途和评价目标，并应明确必要的评价成果（即：为预期工程用途和目标所必需的所有结果）。

10.13. 地震危害分析的成果说明应尽可能全面。成果说明文件应根据需要进行更新，以匹配其它结果，和/或减小成果的范围。成果说明文件须考虑如下要素：

- (a) 地面运动参数：具体化的地面运动参数应足以生成需要的结果和工程使用所需的任何其它参数（概率地震危害分析计算地震动的典型输出样式，见附件）。
- (b) 优势频率：一致危害反应谱中具体化的优势频率的范围和密度，应足以充分代表对所有结构、系统和部件安全分析的输入。

- (c) 阻尼：特定的阻尼值应足以充分代表对所有结构、系统和部件响应分析的输入。
- (d) 地面运动分量：应使垂直向和横向地震动结果具体化。
- (e) 参考潜地表基岩场址条件：对于场址反应分析，须明确其结果是在基岩条件下（通常是深度明显大于 30 米，对应于硬岩剪切波速的特定值）。场址反应分析的结果须对应于此参考条件。
- (f) 控制点：成果说明中应明确指定控制点部位，在该部位计算地震动分析结果。控制点通常设定在地表面和主要的构筑物基础水平。控制点应足以用来给土—结构相互作用分析作输入。

10.14. 在任何地震危害评定中，受限于地震目录（见第 6.12 段），需要考虑震级下限。因此，除了预期工程用途的成果说明外，项目计划中还应明确下列与工程有效性或地震危害分析用途相关的其它参数：

- (a) 下限运动过滤因子：在地震危害分析中，为了实际计算的目的，需要使用下限运动，下限运动应被选择以包括所有具有潜在放射性后果的事件。下限运动过滤因子的选择应与抗震设计和地震概率安全分析中的脆弱性分析所使用的参数一致，并应确认过滤因子的设定是为了识别所有具有潜在放射性后果的事件。
- (b) 震级下限：选定的下限震级不应超过 $M_W=5.0$ 。
- (c) 作为使用像 M_W 这样的震级量度的替代方法，下限运动过滤因子可以根据潜在破坏的指标进行特定表达，例如累积绝对速度，并结合一个特定参数值来表达，对于该参数，可以清楚地证明不会产生破坏和风险。

独立同行评审

10.15. 鉴于地震危害评定的复杂性，应将独立同行评审作为项目工作计划的一部分，这种安排是为了确保 (a) 在进行地震危害分析时已经适当地遵循了适当的流程；(b) 该分析已经解决并评价了所涉及的不确定性（包括认识的和随机的）；(c) 文件记录系统是完整的，任何要素有据可查。

10.16. 应采用两种同行评审方法：全程参与的同行评审和后期同行评审。全程参与的同行评审贯穿于评定全程，评审人员能够出现技术问题时提供意见。在评定接近尾声时进行后期同行评审。全程参与的同行评审将减小晚期发现问题导致评定不合适的风险。

10.17. 独立同行评审应涉及地震危害评定的所有内容，包括资料收集和评价、地震危害分析过程、所有技术要素（例如震源鉴定、地面运动评价）、地震危害分析方法、不确定性问题量化和文字报告。这一评审流程应以专业胜任、学科交叉的专家团队的参与和整合不同的专业判断为基础。流程中应包括举行技术会议或主题研讨会，讨论现有数据的可靠性和质量、危害的安全意义以及其它解读意见，并向项目团队提供意见反馈。主题研讨会的数量和时间安排应根据必要资源的投入水平来确定并体现在工作计划中。每次会议应有合理的记录和报告。

10.18. 独立同行评审团队成员应包括跨学科专家，处理所有技术和流程相关问题。同行评审人员不应参与特定分析过程，也不应在成果方面有既得利益。同行评审的级别和类型可能不同，这取决于地震危害分析的预期应用。

10.19. 在处理地震危害评定相关问题时，项目团队可以通过与不直接参与项目的专家（“特邀专家”）的互动讨论，论述技术合理解释的核心、主体和范围，特邀专家参与提供他们特定的解读核专业判断。受邀专家应向独立同行评审团队提供相关素材，尽管他们不直接参与同行评审。这种方式非常适合于与区域模式问题相关的主题；对于近区域和场址附近尺度相关问题，特邀专家可能无法充分提供意见，因为他们不参与处理项目特定数据。

参 考 文 献

- [1] 国际原子能机构《核装置场址评价》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-1 号，国际原子能机构，维也纳（2019 年）。
- [2] 国际原子能机构《国际原子能机构核安全和辐射防护安全术语》（2018 年版），国际原子能机构，维也纳（2019 年）。
- [3] 国际原子能机构《核电厂场址评价和地基的岩土工程问题》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-3.6 号，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。
- [4] 国际原子能机构《核装置场址评价中气象和水文危害》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-18 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [5] 国际原子能机构《核装置抗震设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-67 号，国际原子能机构，维也纳（2021 年）。
- [6] 美国核管制委员会《SSHAC 危害研究实施导则修订版》，第 NUREG-2213 号报告，核管制研究办公室，华盛顿特区（2018 年）。
- [7] 国际原子能机构《核设施场址评价地震危害评定中基于断层破裂模式的地震动模拟》，国际原子能机构《安全报告丛书》第 85 号，国际原子能机构，维也纳（2015 年）。
- [8] 国际原子能机构《核装置场址评价地震危害评定中的扩散地震活动》，《安全报告丛书》第 89 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [9] 国际原子能机构《核电厂安全：设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/1（Rev.1）号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [10] 国际原子能机构《研究堆的安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-3 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [11] 国际原子能机构《核燃料循环设施的安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-4 号，国际原子能机构，维也纳（2017 年）。

- [12] 国际原子能机构《制定和实施核电厂一级概率安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-3 号，国际原子能机构，维也纳（2010 年）（修订版编写中）。
- [13] 国际原子能机构《核装置场址勘查和选址》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-35 号，国际原子能机构，维也纳（2015 年）。
- [14] 国际原子能机构《现有核装置地震安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.13 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）（修订版编写中）。
- [15] 国际原子能机构《核装置场址评价中火山危害》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-21 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [16] 国际原子能机构《安全的领导和管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 2 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [17] 国际原子能机构《设施和活动管理系统的适用》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

附 件

概率地震危害分析的典型输出

表 A-1 显示了从概率地震危害分析中获得的典型输出，包括这些输出通常呈现的格式。

表 A-1. 概率地震危害分析的典型输出

输出	描述	格式
平均危害曲线	平均危害曲线是由概率地震危害分析中为各个逻辑树分支生成的危害曲线组(即作为感兴趣的地震动参数的函数的年超越频率)计算出来的。	平均危害曲线通常以表格和图形形式报告每一个感兴趣的地震动参数。
分次危害曲线	分数危害曲线表示概率地震危害分析中，在高斯分布的假设下，为各个逻辑树分支生成的危害曲线组分布的一定分数。	分形危害曲线通常以表格和图形格式报告每个感兴趣的地面运动参数。除非工作计划中另有规定，否则通常报告 0.05、0.16、0.50、0.84 和 0.95 的分位数水平。
均匀危害反应谱	一致的危害反应谱表示光谱响应具有相等的年值衍生超越频率从地震危害曲线个别频率或周期。	平均值和分位数均匀危害响应谱通常以表格和图形形式报告。除非工作计划中另有规定，否则通常报告年度超标频率为 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 或 10^{-7} 以及分位数为 0.05、0.16、0.50、0.84 和 0.95 的统一危害响应谱。
震级—距离 (M—D) 解聚	M—D 解聚量化了不同大小、不同距离的地震对场址地震危害的相对贡献。	M—D 解聚结果提供了在特定 M—D 范围内 (即 “bins”) 发生地震对地震动参数水平的相对贡献，对应于估计的危害曲线上的某一年超过兴趣的频率。一般而言，对设计或地震概率安全评定中使用的平均危害和年超越频率进行解聚，并通常以表格和图形格式 (例如三维条形图) 报告。

表 A-1. 概率地震危害分析的典型输出（续）

输出	描述	格式
平均和模态震级和距离	根据 M-D 解聚的结果，可以确定造成危害的地震的平均震级、模态震级和距离。	通常报告每个地震动参数和水平的平均和模态震级和距离，并给出 M-D 解集危害结果。除工作计划中另有规定外，这些结果一般是针对 1、2.5、5、10 和 25 赫兹的反应谱频率以及峰值地面加速度报告的。
震源解聚	场址的地震危害是在概率地震危害分析中模拟的单一震源的危害的总和。在震源基础上的解聚可以洞察未来地震发生的可能位置和类型。	震源解聚一般是根据地震危害概率分析中考虑的地震动参数水平来进行的。一般对平均危害进行解聚，并以一系列地震危害曲线表示。
地震动时程	时程以表示地震动（例如加速度）随时间变化的波形表示。为了工程分析的目的，可能需要与概率地震危害分析结果相一致的时程。可在工作计划中指定用于选择和/或生成时间历史的标准。示例标准包括选择与指定地震动或年超越频率的平均和模态震级和距离一致的时程。	工作计划一般将规定介绍地面运动历史的格式（例如加速度单位、时间间隔）（例如加速度以 g 表示，时间间隔为 0.01 秒）。

参与起草和审订人员

Ake, J.	法国电力公司
Altinyollar, A.	德国环境、自然保护与核安全部
Asfaw, K.E.	西班牙福格罗公司
Baize, S.	德国电厂和反应堆安全协会
Coman, O.	法国辐射防护与核安全研究所
Contri, P.	法国辐射防护与核安全研究所
Dalguer, L.	法国辐射防护与核安全研究所
Ford, P.	国际原子能机构
Fukushima, Y.	国际原子能机构
Godoy, A.	国际原子能机构
Guerrieri, L.	国际原子能机构
Gürpınar, A.	国际原子能机构
Hok, S.	国际原子能机构
Johnson, J.	国际原子能机构
Kalinkin, I.	国际原子能机构
Kammerer, A.	国际原子能机构
Labbé, P.	国际原子能机构
Morita, S.	国际原子能机构
Nakajima, M.	国际原子能机构
Nishizaki, S.	国际原子能机构
Ono, M.	国际原子能机构
Renault, P.	俄罗斯联邦 JSC 原子能

Secanell, R.	美国 Lettis 国际咨询公司
Serva, L.	意大利国家环境保护研究所
Sugaya, K.	日本核监管局
Suzuki, A.	日本核监管局
Tajima, R.	日本核监管局
Toro, G.	日本核监管局
Viallet, E.	美国核管制委员会
Wattelle, E.	法国核安全局
Weidenbrück, K.	日本核安全技术中心
Wu, C.	芬兰辐射与核安全局

当地订购

国际原子能机构的定价出版物可从我们的主要经销商或当地主要书商处购买。
未定价出版物应直接向国际原子能机构发订单。

定价出版物订单

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商：

Eurospan

1 Bedford Row
London WC1R 4BU
United Kingdom

交易订单和查询：

电话：+44 (0) 1235 465576

电子信箱：trade.orders@marston.co.uk

个人订单：

电话：+44 (0) 1235 465577

电子信箱：direct.orders@marston.co.uk

网址：www.eurospanbookstore.com/iaea

欲了解更多信息：

电话：+44 (0) 207 240 0856

电子信箱：info@eurospan.co.uk

网址：www.eurospan.co.uk

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至：

Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100

1400 Vienna, Austria

电话：+43 1 2600 22529 或 22530

电子信箱：sales.publications@iaea.org

网址：https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu

通过国际标准促进安全

国际原子能机构
维也纳