

# 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 火山危害

特定安全导则

第 SSG-21 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，国际原子能机构授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](http://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](mailto: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。

## 核装置场址评价中火山危害

## 国际原子能机构成员国

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  
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  
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-21 号

# 核装置场址评价中火山危害

特定安全导则

国际原子能机构  
2023 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，2023 年  
国际原子能机构印刷  
2023 年 10 月·奥地利

### 核装置场址评价中火山危害

国际原子能机构，奥地利，2023 年 10 月  
STI/PUB/1552  
ISBN 978-92-0-500923-0（简装书：碱性纸）  
ISSN 1020-5853

# 前 言

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构“制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产的危险的安全标准”。这些标准是原子能机构在其本身的工作中必须使用而且各国通过其对核安全和辐射安全的监管规定能够适用的标准。原子能机构与联合国主管机关及有关专门机构协商进行这一工作。定期得到审查的一整套高质量标准是稳定和可持续的全球安全制度的一个关键要素，而原子能机构在这些标准的适用方面提供的援助亦是如此。

原子能机构于1958年开始实施安全标准计划。对质量、目的适宜性和持续改进的强调导致原子能机构标准在世界范围内得到了广泛使用。《安全标准丛书》现包括统一的《基本安全原则》。《基本安全原则》代表着国际上对于高水平防护和安全必须由哪些要素构成所形成的共识。在安全标准委员会的大力支持下，原子能机构正在努力促进全球对其标准的认可和使用。

标准只有在实践中加以适当应用才能有效。原子能机构的安全服务涵盖设计安全、选址安全、工程安全、运行安全、辐射安全、放射性物质的安全运输和放射性废物的安全管理以及政府组织、监管事项和组织中的安全文化。这些安全服务有助于成员国适用这些标准，并有助于共享宝贵经验和真知灼见。

监管安全是一项国家责任。目前，许多国家已经决定采用原子能机构的标准，以便在其国家规章中使用。对各种国际安全公约缔约国而言，原子能机构的标准提供了确保有效履行这些公约所规定之义务的一致和可靠的手段。世界各地的监管机构和营运者也适用这些标准，以加强核电生产领域的安全以及医学、工业、农业和研究领域核应用的安全。

安全本身不是目的，而是当前和今后实现保护所有国家的人民和环境的目标的一个先决条件。必须评定和控制与电离辐射相关的危险，同时杜绝不当限制核能对公平和可持续发展的贡献。世界各国政府、监管机构和营运者都必须确保有益、安全和合乎道德地利用核材料和辐射源。原子能机构的安全标准即旨在促进实现这一要求，因此，我鼓励所有成员国都采用这些标准。

## 秘书处的说明

国际原子能机构安全标准反映有关保护人类和环境免于电离辐射有害影响的高水平安全构成要素方面的国际共识。制定、审查和确定原子能机构标准的过程涉及原子能机构秘书处和所有成员国，其中许多成员国委派代表参加了原子能机构的四个安全标准分委员会和原子能机构安全标准委员会。

秘书处、各安全标准分委员会和安全标准委员会定期对作为全球安全制度之关键要素的原子能机构标准进行审查。秘书处收集关于在适用原子能机构标准方面的经验信息以及从事件后续行动中获得的资料，以确保这些标准继续满足用户的需求。本出版物反映直至 2010 年所积累的反馈和经验，并经过了对标准而言的严格审查过程。

从研究 2011 年 3 月 11 日灾难性地震和海啸后日本福岛第一核电站事故中可能汲取的教训将在今后经修订和印发的这一原子能机构安全标准中予以反映。

# 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<sup>1</sup>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。

<sup>1</sup> 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）（从 2016 年起）、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。

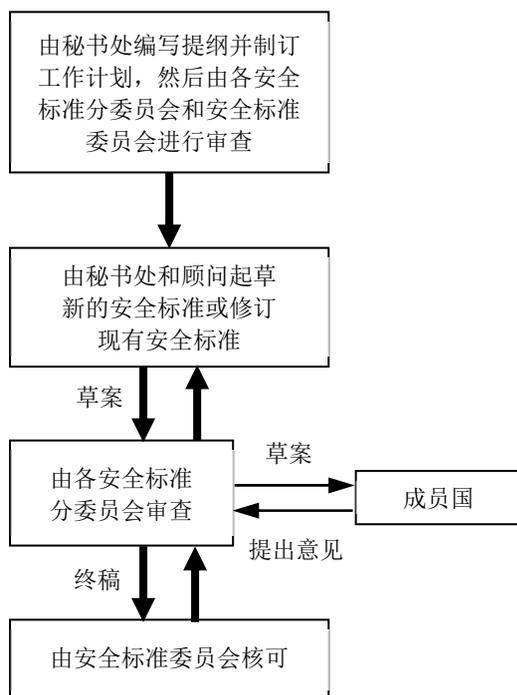


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

## 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

安全相关术语应按照《国际原子能机构安全术语》（见 <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>）中的定义进行解释。否则，则采用具有最新版《简明牛津词典》所赋予之拼写和含义的词语。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

<b>1. 导言</b> .....	<b>1</b>
背景 (1.1-1.5).....	1
目的 (1.6-1.8).....	2
范围 (1.9-1.19).....	2
结构 (1.20).....	5
<b>2. 火山危害评定综述</b> .....	<b>5</b>
火山现象和火山危害的性质 (2.1-2.10).....	5
地质记录与数据不确定性 (2.11-2.14).....	10
火山活动的备选概念模式 (2.15-2.18).....	11
火山潜能 (2.19).....	12
确定性方法和概率方法 (2.20-2.22).....	12
<b>3. 一般建议</b> .....	<b>13</b>
概述 (3.1-3.4).....	13
一般程序 (3.5-3.10).....	15
<b>4. 必要信息和调查 (数据库)</b> .....	<b>17</b>
概述 (4.1-4.3).....	17
初始评定所需信息 (第 1 阶段) (4.4-4.8).....	17
危害筛选和场址特定危害评定所需的信息 (第 2—4 阶段) (4.9-4.37) .....	19
<b>5. 火山危害筛选 (5.1)</b> .....	<b>25</b>
阶段 1: 初始评定 (5.2-5.4).....	25
阶段 2: 未来火山活动的潜在来源特征 (5.5-5.15).....	26
阶段 3: 火山危害筛选 (5.16-5.23).....	28
<b>6. 场址特定火山危害评定 (6.1-6.5)</b> .....	<b>30</b>
火山灰沉降 (6.6-6.10).....	31
火山碎屑密度流: 火山碎屑流、岩涌和岩崩 (6.11-6.17).....	32
熔岩流 (6.18-6.22).....	34
碎屑崩塌、滑坡和斜坡破坏 (6.23-6.27).....	35
火山碎屑流、火山泥石流和洪水 (6.28-6.32).....	37
新喷口的裂开 (6.33-6.37).....	38
火山产生的喷射物 (6.38-6.41).....	40
火山气体 (6.42-6.46).....	41

海啸和假潮 (6.47-6.48).....	42
大气现象 (6.49-6.52).....	42
地面变形 (6.53-6.57).....	43
火山地震及相关危害 (6.58-6.62).....	44
热液系统与地下水异常 (6.63-6.67).....	46
全面的火山危害模式 (6.68-6.71).....	47
<b>7. 核电厂以外的核装置 (7.1-7.14).....</b>	<b>48</b>
<b>8. 监控和响应准备 (8.1-8.4).....</b>	<b>51</b>
<b>9. 火山危害评定管理系统 (9.1-9.4).....</b>	<b>52</b>
附录 火山现象类型的描述.....	53
参考文献.....	61
附件 I 火山危害假想方案.....	63
附件 II 全球信息来源.....	67
火山学术语定义.....	69
参与起草和审订人员.....	83
国际原子能机构安全标准核可机构.....	85

# 1. 导言

## 背景

1.1. 本“安全导则”是根据原子能机构的安全标准方案编写的。本“安全导则”对与火山危害相关核装置[1]场址评价的“安全要求”中规定的核装置要求作出了补充，并提出了建议。因此，本“安全导则”是对其他安全导则的补充，后者涉及通过场址选择和场址评价保护核装置免受外部自然事件和人为事件的影响，并在必要时纳入适当的设计特点和场址保护措施[2—6]。

1.2. 关于核装置场址评价的“安全要求”出版物指出，“对于与该地区重大自然现象、人类引起和活动发生情况及严重性相关的史前、历史上和仪器仪表记录的资料和记录，若适用，则我们就应加以收集并仔细分析其可靠性、准确性和完整性”（参考文献[1]第 2.17 段）。对此，参考文献[1]第 3.52 段指出“关于可能对核装置安全产生不利影响的现象，如火山活动、沙尘暴、强降雨、降雪、结冰、冰雹以及低温冷却水（底冰）的地上冻结等，我们对其相关历史数据进行收集与评价”时，明确提出了火山作用。因此，在核装置的选址和场址评价阶段需要考虑火山活动。因此，正如其他原子能机构安全导则涉及了其他自然及人为诱发的外部事件一样，本“安全导则”全面考虑了所有潜在的火山危害，从而为满足安全要求提供了基础，原子能机构的其他安全导则也为其他自然和人为外部事件提供了依据。但是，不应将这种考虑解释为促进在危害的火山活动区域设置核装置的一种方式。

1.3. 本“安全导则”更新和取代 1997 年出版的暂行《安全标准丛书》第 1 号《与核电厂选址有关的火山和相关专题》。这是原子能机构就这一问题首次提供的指导意见，并在各国和国际上仍在研究该主题之际发布。此后，火山学的许多方面得到了进一步的发展。与此同时，核工业界对在现有场址建更多核电厂的兴趣日益增加，但是之前选址时并没有对现有场址的火山危害进行综合评定。对于新增核装置选址，目前正在对全球更多地区进行勘查和评定。尤其是，一些国家首次着手研发核装置，其中有些场址需要认真进行火山危害评定的可能性。原子能机构暂行《安全标准丛书》第 1 号是关于这一评定的唯一参考，并为科学界和核工业界所采用，以改进火山危害评定。在编写本“安全导则”时采用了该案例的经验反馈。

1.4. 火山现象是地球内部相当深处持续长期发生大规模地质作用在地表的表现。火山活动是由深部地质现象引起的，深部地质现象决定了局部岩浆的生成速率。本“安全导则”中提供的建议反映了在过去三十年中，经历了重大转变的火山学最新发展动态。火山学科学发展的现状，火山学在这一时期已经从一门基本上是定性的科学发展成为一门定量科学，以之前不可能实现的火山系统观测作为研究基础，并且采用了复杂的火山过程数值模式。应利用火山学不断进步的这些先进成果来加强核装置选址的安全评定，以避免这类外部危害。

1.5. 工程或运行解决方案通常可用于缓解外部事件的某些影响，如通过结合某些设计功能和/或运行程序来缓解。然而，当这些措施不可行或不足以缓解外部事件影响时，应选择备选场址。对此，本“安全导则”按照《基本安全原则》[7]原则 8 编写，帮助选取合适的场址，作为纵深防御的手段。本“安全导则”首先为在选址过程中筛选出不合适的场址提供依据，其次对影响核装置的进行火山危害评定，并为制定适当的设计基准提供依据。

## 目的

1.6. 本“安全导则”的目的是为核装置场址的火山危害评定提供建议和指导，以便能够识别可能与未来火山事件有关的所有潜在火山危害现象，并对其特征进行全面描述。这些火山现象可能会影响所选场址的适宜性，其中一些火山现象可能还会决定核装置的相应设计基准参数。

1.7. 本“安全导则”旨在为负责制定法规要求的监管机构、核装置的设计者和直接负责核装置场址火山危害评定的营运组织所使用。

1.8. 本“安全导则”的目的不是处理核装置火山危害的反应分析和能力评价（即核电厂设计方面，结构、系统和部件的能力或脆弱性计算）。

## 范围

1.9. 本“安全导则”主要用于新核装置的选址和评价过程。它也可用于现有的核装置，以便对可能影响核装置的外部火山进行回顾性的危害评定。

1.10. 选址是采用适当的标准为核装置选择合适场址的过程[8]。如在《基本安全原则》[7]原则 8 规定，选择合适的场址是用于预防事故的纵深防御理念要素之一。

1.11. 核装置的选址过程一般包括调查的初始阶段，即场址勘查，其目的是调查大面积区域识别潜在的场址，选择一个或多个候选场址并对其进行排序。随后对这些候选场址进行评价，目的是最终选定安置核装置的场址。场址选定后，选址过程结束。

1.12. 场址评价包括以下过程：(i) 选址过程的最后阶段（即，为了选择优选场地而对候选场址进行评价的阶段）；(ii) 评价所选场址以确认其适宜性，并得出装置与场址相关的设计基准；(iii) 装置的运行前阶段（即，在设计、建造、安装和调试阶段）评价；最后阶段为 (iv) 装置的运行阶段（见参考文献[1]第 1.8 段和第 1.14 段）。因此，场址评价贯穿于装置的整个使用寿命内，并延续至对场址特征、数据和信息可用性、运行记录、监管方法、评价方法和安全标准等发生变化的评价。

1.13. 本“安全导则”中涉及的火山危害显然被视为外部事件，即自然或人为诱发的事件，这些事件发生在场址和装置过程之外，营运组织可能对其无法控制或控制很少。此类事件与某个设施的运行或某项活动的执行无关，但是它们可能会对该设施或活动的安全产生影响。还应注意的是，“装置外部”这一概念不仅指场址外部区域（见参考文献[8]），因为场址区域本身不仅包括邻近场址的周边区域，也可能包含对装置构成危害的物体。在对装置进行概率安全评定（PSA）并将外部事件的全部范围视为引发事件时，也需要进行火山危害评定。

1.14. 本“安全导则”讨论可能对核装置安全系统的性能产生不利影响的火山过程，并就评定火山事件及其相关影响可采用的方法和所涉及的关键因素提出建议。本“安全导则”根据火山活动对场址适宜性的影响以及对推导设计基准参数的影响，讨论了与火山活动有关的各类现象。

1.15. 火山现象可能影响场址的适宜性和核装置的设计。火山危害可能长时间在很大范围内存在。这些危害在世界各地的分布并不均匀。大约 25% 的成员国拥有潜在的活火山，这些活火山产生的危害很容易跨越国际边界。休眠火山也可能产生这类危害。例如，在火山活动停止很久之后，火山体的坍塌可能会引起海啸。

1.16. 在本“安全导则”中，火山危害可指与影响场址的适宜性或核装置设计的火山活动相关的任何火山现象。火山活动是从地球内部涌起的岩浆喷发或几乎喷发至地球表面，并产生可能具有深远和长期影响的火山现象的自然过程。火山危害复杂多样。一些火山现象，如新火山口的打开，可能代表排除条件的一种（或多种）危害，因此在场址选择过程中，将不会进一步考虑将该地区作为核装置场址。在选址和评价过程的早期阶段，应考虑在场址邻近发生这种破坏性火山现象的可能性，以便评价场址的适宜性是否可以得到确认。一般而言，考虑到场址地形和为了与监管机构的规定保持一致，场址邻近区域可定义为从场区内向外延伸几公里的区域。同样，作为场址适宜性评定的一部分，应评价场址邻近区域可能出现的各种流动现象，如火山碎屑流或熔岩流。其他火山现象，如火山碎屑堆积的可能性可代表外部事件设计基准。由于一些火山现象可能影响到距离火山喷发数百公里的场址，因此需要着重采用一种全面的方法来进行火山危害评定。本“安全导则”在火山危害评定的范围内讨论了火山现象的性质，并概述了进行火山危害评定的概率和确定性方法的框架。

1.17. 严格地说，泥火山并不是岩浆涌至地表的火山现象，因此场址邻近形成所谓的泥火山的可能性超出了本“安全导则”的范围。然而当地球内部压力过大时将其内部沉积物、水和气体的混合物带到地表时，泥火山就会发生（见附录第 I.14 段）。虽然泥火山的形成严格来说不是一种火山现象，但可以使用本“安全导则”提出的与新喷口裂开相关的方法和参考文献[6]探讨的方法对泥火山作用相关危害进行评价。

1.18. 本“安全导则”阐述了参考文献[8]中定义的以下核装置的一系列问题：陆地固定式核电厂、研究堆、核燃料制造厂、浓缩工厂、后处理设施和乏燃料贮存设施。根据因火山危害造成核装置故障的潜在辐射后果，可通过分级方法将为核电厂推荐的方法应用于其他核装置，以此来调整这些建议方法，从而满足不同类型核装置的需要。建议的分级方法是从核电厂的相关属性开始，然后降级到放射性后果较小的装置（如有可能）<sup>1</sup>。因此，如果不进行分级，则有关核电厂的建议适用于其他核装置。

---

<sup>1</sup> 对于不同类型的核装置并置的场址，应特别考虑采用分级方法。

1.19. 出于本“安全导则”的目的，现有核装置定义为：(i) 处于运行阶段（包括长期运行阶段和延期的临时停堆期）；或(ii) 处于试运行阶段，在此期间，其结构施工、建造、安装及/或部件和系统组装、调试活动等取得重大进展或全部完成。核燃料进入核装置后，即进入运行阶段，此时需要保持高水平的运行安全[11]。在处于运行和试运行前阶段的现有核装置中，初始设计基准的改变，或与火山危害相关监管要求的改变，可能会对初始设计特征产生重大影响，从而导致硬件的重大改造。

## 结构

1.20. 在本“安全导则”中，对火山活动相关现象的描述以及必要数据和信息的收集与危害评定标准分开陈述。因此，第 2 部分和附录对不同类型的火山现象进行了综述，并对危害评定运用的一般方法和标准进行了概述；第 3 部分提出了一般性建议，并概述了在场址选择和场址评价阶段应遵循的一般步骤；第 4—6 部分为核电厂提供了详细的指导。第 4 部分为获取和开发危害评定数据库提出了建议；第 5 部分和第 6 部分为进行火山危害评定和推导设计基准参数提出了建议；第 7 部分介绍了采用分级方法对核电厂以外的核装置采用的程序 and 标准；第 8 部分总结了应对火山活动监控与准备信息；第 9 部分对任务执行的管理系统方面提供指导。作为非专业人员提供的一般信息，附件 I 提供了伴随不同类型火山喷发的一系列复杂事件的实例，而附件 II 则提供了该方面的全球现有数据来源的信息。最后，虽然科学界内部尚未就某些术语的用法和含义达成完全的共识，但仍提供仅适用于本“安全导则”中用法的火山学术语定义。

## 2. 火山危害评定综述

### 火山现象和火山危害的性质

2.1. 火山事件可能对核装置造成重大危害。火山危害源于具有广泛物理特征的火山现象。这些现象可能单独发生，也可能与其他现象一起发生，甚至发生在一次火山喷发过程中。其中一些现象可以在火山喷发之前很久或之后很久才出现。因此，本“安全导则”采用“火山事件”一词来表示可能在火山喷发之前、期间或之后发生的一系列潜在危害现象。本部分对火山现

象的性质和类型以及火山事件引起的火山危害进行了概述，并对与此类现象相关的危害评定所采用的方法和标准进行了总体介绍。

2.2. 表 1 概述了可能对场址构成潜在危害的与火山事件有关的现象，明确指出在场址选择阶段应考虑这些现象的特征，从而对候选场址进行排除选择，并通过采用设计和运行措施来应对这些现象。表 1 第三栏所列为“是”的现象，通常构成选址阶段的排除条件，根据在场区内或场址邻近区域发生的可能性来确定场址适宜性。

2.3. 如果评定结果表明，表 1 第三栏所列为“是”的现象有可能发生在场区内或场址邻近区域，并有可能影响核电厂的安全，且没有切实可行的工程解决办法，则应认为该场址不合适。

2.4. 如上所述，如果可能发生的现象（例如，火山碎屑密度流、熔岩流、新喷口）对场址或场址邻近区域产生直接影响，则该现象可作为排除条件，无需再考虑该场址。如果有些现象（如火山泥流和洪水、海啸和热液系统）对场址有直接影响，或直接发生在场址或场址邻近区域，则也被视为排除条件。然而，在某些特殊情况和环境下，可通过适当的设计、保护措施和运行措施来应对这些发生在场区内并对场址产生影响的现象。对于后者，可能需要制定适当的设计基准。第 6 部分和附录中进一步解释了影响场址适宜性或设计基准的因素。

2.5. 如果认为该场址合适，则应对发生在该场址并可能影响核电厂安全的现象提出相应的设计基准。

表 1. 影响核装置并可能影响场址选择、评价以及设计的火山现象及相关特征

现象	对核装置产生潜在不利影响的特征	是否在场址选址阶段被视为排除条件?	通过设计 <sup>2</sup> 和运行措施是否可以缓解其造成的影响?
1. 火山灰沉降	静态物理负载、空气和水中的磨蚀性、腐蚀性颗粒	否	是
2. 火山碎屑密度流：火山碎屑流、岩涌和岩崩	动态物理负载、大气超压、飞射物撞击、温度高于 300°C、磨蚀性颗粒、有毒气体	是	否
3. 熔岩流	动态物理负载、洪水及蓄水、温度高于 700°C	是	否
4. 碎屑崩落、滑坡和斜坡崩塌	动态物理负载、大气超压、飞射物撞击、蓄水及洪水	是	否
5. 火山碎屑流、火山泥石流和洪水	动态物理负载、蓄水、洪水、水中的悬浮颗粒	是	是
6. 新喷口裂开	动态物理负载、地面变形、火山地震	是	否
7. 火山飞射物	颗粒碰撞、静态物理负载、水中的磨蚀性颗粒	是	是
8. 火山气体与气溶胶	有毒的腐蚀性气体、酸雨、充气、湖、水污染	否	是

表 1. 影响核装置并可能影响场址选择、评价以及设计的火山现象及相关特征 (续)

现象	对核装置产生潜在不利影响的特征	是否在场址选址阶段被视为排除条件?	通过设计 <sup>2</sup> 和运行措施是否可以缓解其造成的影响?
9. 海啸、假潮、火山口湖破坏及冰川破裂	洪水泛滥	是	是
10. 大气现象	动态超压、雷击、下击暴流大风	否	是
11. 地面变形	地面位移、下沉或上升、倾斜、滑坡	是	否
12. 火山地震与相关危害	连续震动、多次冲击、震级通常小于 5 级	否	是
13. 热液系统与地下水异常	地热水、腐蚀性水、水污染、水泛滥或上涌、热液蚀变、滑坡、岩溶及热岩溶变形、液压突变	是	是

**注意:** 场址选择阶段一栏中为“是”表明场址邻近区域出现该现象会产生重大危害, 其通常构成场址的排除标准, 即该场址不适合安置核装置。设计与运行一栏表明可通过设施设计或运行规划来缓解特定现象潜在危害的一般可行性。两栏均为“是”即原则上表明, 尽管在某些情况下可以实现某个设计基准, 但该现象仍可构成场址的排除标准。

<sup>2</sup> 设计还包括针对某些危害场址保护措施的设计。

2.6. 与大多数可能影响核装置安全和性能的其他自然事件相比，火山事件并不常发。一些火山在休眠了数千年或更长时间之后才喷发。一般说来，在过去一万年内喷发的火山通常被认为是活火山。以此来看，世界范围内有 1500 多座活火山（见附件 II），这些火山被正式称为全新世火山，即在过去一万年内喷发过的火山（以全新世时期命名）。全新世火山可能休眠很长时间之后才喷发。一些火山在超过一万年的休眠期后又重新活跃起来。由于未对许多火山进行单独的详细研究，无法确定它们是否在全新世喷发过。因此，对火山危害的考虑并不能局限于已知的全新世火山。

2.7. 一个地理区域内的火山活动可能比个别火山活动持续更长的时间。尽管很多火山弧内的个别火山单独活跃期大概仅在 100 万年 ( $1\text{Ma}^3$ ) 左右，但是整个火山弧的重复火山活动持续时间超过 1000 万年。由于这种分散的火山活动可以持续数百万年，因此在过去 1000 万年以来经历过火山活动的区域被认为具有未来活动的潜力。若根据简单估计，区域火山复发率在 1000 万年内低于 1 次，意味着当前未来火山活动的年发生概率低于  $10^{-7}$ 。在核装置外部事件危害评定（见参考文献[2]第 4.3 段）中，将具有潜在放射性影响的外部事件的年发生概率的极限值称为筛选概率水平，有些会员国将此值规定为  $10^{-7}$ 。对于年发生概率低于此筛选概率水平的始发事件，无论其影响如何，不应进一步考虑。因此，在初始筛选阶段，假设火山喷发基本不会对场址产生危害影响，则年发生概率为  $10^{-7}$  是评价一座火山在未来是否发生任何类型的火山活动的合理依据。

2.8. 个别火山的火山活动喷发可以持续数小时到数十年，在极少数情况下甚至可以持续更长的时间。低能量事件与高能量事件（将农村埋在几十米热火山灰之下）火山喷发强度不同。低能量事件可能在有限范围内产生小规模熔岩流和飞射物，而高能量事件可以将一个村庄埋在数十米的热火山灰之下。因此，在火山事件中，会发生大量各种规模的火山现象。即使是距离场址数百公里以外的火山也可能造成危害现象，如火山灰沉降、远程火山泥石流、洪水或海啸，这些都可能对核装置的安全和性能产生不利影响。

---

<sup>3</sup> Ma: 百万年。

2.9. 火山的非喷发现象也可能对核装置产生危害。火山通常是不稳定的地貌。即使经过长时间的休眠，火山的某些部分也可能突然坍塌，形成滑坡和泥石流。这种大规模物质坡移现象往往是由热带气旋等极端天气事件引发的。这类事件会影响火山周围数千平方公里的区域。有些火山与构造断层或地热活动密切相关。在这种情况下，与断层作用有关的地震活动也可能引起火山体的崩塌。这些例子表明，有必要对核装置进行火山危害评定，以考虑极端天气、水文和构造过程对未来火山事件的可能性和特征产生的影响。

2.10. 火山事件很少产生单一的危害现象。相反，火山喷发可以引发一系列复杂的事件，并产生各种火山现象。火山现象的具体影响取决于各种条件，比如喷发产物的组成、温度、含水量和相关因素。一些火山现象的出现可能改变其他现象发生的可能性。火山危害评定使用系统的方法来评价可信的、相互关联的火山现象，并确保在分析中整合所有相关危害。

## 地质记录与数据不确定性

2.11. 以往事件的典型特征和发生频率是进行任何火山危害评定的关键数据。然而，这些地质记录的数据通常不完整。与小事件相比，大事件更有可能被保存在地质记录中。然而，这种未记录的小事件也可能对核装置构成危害。地质记录中小事件的缺失和对这一记录的解释，都会造成数据不确定性。在危害评定中需要对这些不确定因素作出适当说明。

2.12. 个别火山的地质记录不一定包括未来活动的潜在特征和范围。危害评定认为，火山系统在演变，危害的特征可能随着时间的推移而变化，有时变化相当迅速。类似火山的信息有助于限制和减少由于对不完整地质记录的解释所产生的不确定性，也有助于进行火山危害评定随时间的潜在变化。

2.13. 对于大多数火山而言，以往事件的发生频率和时间都不确定，并且我们也无法完全了解。例如，由于缺乏历史活动记录，很难确定最近火山喷发的时间。判断一座火山是休眠火山还是死火山，往往是主观的，很难确定。

2.14. 在大多数火山中，对以往事件的物理特征，如其规模和空间范围，比对这些事件发生的时间有更多的确定性。因此，以确定火山现象的地质特征及其空间范围为重点的火山危害评定通常得出较为确定的结论，而着重于危害现象发生可能性的评价则不那么确定。如有必要，应对可能影响有关场址的火山现象发生的可能性和相关不确定性进行详细的危害评定。

## 火山活动的备选概念模式

2.15. 火山危害评定的一个基本假设是，以往火山事件的记录可为未来可能发生的事件提供可靠的指示。为了确保这一假设的可靠性，就需要开发概念模式，从火山活动的角度解释地质记录。这种概念模式可包含岩浆起源、火山的构造环境、喷发过程中产生的喷射物的速度和规模，以及火山危害的性质。例如，场址地区火山活动的构造环境在数百万年内可能未发生过变化，因此，可以假定地质记录中解释的过程在未来会持续下去。同样，一个潜在的场址可能位于一个构造环境随着时间的推移而改变，以致以往火山活动的地质记录可能不能很好地代表未来的潜在火山活动。例如，由于地壳应力场的方向或大小发生了变化，火山弧内单一火山的特征可能在相对较短的时间内发生变化。因此，火山活动构造环境的概念模式有助于确定以往事件可适当表现未来事件的程度。

2.16. 如概念模式所示，对影响火山活动的过程有一个清楚和适当的了解，能充分利用现有的地质数据，并指导收集更多的数据。由于在场址调查过程中，会出现可用的新信息，因此可对概念模式进行更新。在某些情况下，新数据和概念模式可能在初始场址评价完成后才能出现。

2.17. 火山危害评定通常会考虑备选的概念模式。这些模式符合现有数据和当前的科学理解，并在评价时适当考虑到其对危害估计的影响。例如，火山系统种类多，既有主要的低能喷发系统，也有高能爆炸式喷发系统。在地质记录中只保留低能量喷发产物的火山使用火山活动概念模式，可能只会对该火山活动进行危害评定。相比之下，使用类似火山系统信息的备选概念模式，将包括与高能爆炸式喷发有关的危害。

2.18. 危害评定通常予以清晰地记录，备选概念模式在危害评定中可起到很大的作用。如果备选模式在危害评定中起到重大作用，则这些模式会在整个危害评定过程中普及使用。

## 火山潜能

2.19. 本“安全导则”引入了“能动”火山或火山区的概念，以表示有可能产生影响核装置场址的危害现象的火山和/（或）火山区。能动火山或火山区是指：(i) 在核装置运行期间很有可能经历在未来发生火山活动；并且(ii) 有可能产生影响装置场址的火山现象。在查明一个或多个能动火山和（或）火山区之后，需要进行一次全面的、针对具体场址的火山危害评定。指定一座火山是否为能动火山，不仅取决于从最近一次火山喷发至今的时间，还取决于火山未来喷发的可能性。进行区分的原因是：(i) 对于没有历史喷发记录的火山，其最近期火山活动的时间往往存在很大的不确定性；(ii) 有多种确定性或概率方法可用于确定未来喷发的可信度，如喷发复发率分析、利用地球物理和地球化学调查来评定火山活动的目前状态、分析表明火山系统岩浆生产力的地球化学趋势以及分析火山的构造环境。

## 确定性方法和概率方法

2.20. 目前，确定性方法和概率方法都被用来进行火山危害评定。确定性方法通过一种或几种假定的最坏情况来进行火山危害评定。因此，它们使用阈值来筛选特定现象，而不再对其进行进一步考虑。此类阈值通常基于经验证据，如火山碎屑流的最大量或最大横向伸展范围。然而，这些方法并没有考虑分析中所有的数据和模式不确定性。概率方法考虑场址的所有潜在危害情况，并将与每种情况相关的不确定性纳入最终危害计算结果。这种分析通常考虑每个事件的潜在发生概率、强度和特征。危害评定的确定性和概率方法都依赖于对火山过程的经验观察和理论理解。由于确定性方法与概率方法具有互补性，因此尽可能使用这两种方法来评定火山潜能及特定场址的火山危害。

2.21. 在确定性方法和概率方法中，均使用在场址区域收集的地质数据，并采用与火山作用概念模式一致的方式来评定火山现象的规模和空间范围。从类似的火山和火山现象的数值模拟得到的信息可对这些地质数据进行补充。如果需要用一种现象发生的可能性来评定火山潜能或特定场址的火山危害，则可以用相对和绝对年龄测定来估计火山事件的复发率。不论是使用概率方法还是使用确定性方法，根据现有数据和模式假设进行不确定性分

析，均是危害评定的一个组成部分。第 6 部分对此进行了详细讨论，该部分涉及具体的火山现象。

2.22. 如果在合理的时间框架内通过其他调查仍不能解释或解决备选模式之间的差异，则最终危害评定应考虑所有此类备选模式。火山危害评定需要对备选概念模式中的所有不确定性进行量化，并制定清晰可循的文件来支持该量化过程。该等文件记录了整个危害评定过程中普及每项不确定性所使用的方法。用于包含及普及不确定性的方法实例包括逻辑树法和基于单一模式的边界分析。无论是确定性方法还是概率等任何评定方法，都需要加以考虑其内在的不确定性，认识到这一点非常重要。

### 3. 一般建议

#### 概述

3.1. 本部分对潜在核装置场址的火山危害评定程序提出一般建议。火山危害评定结果记录用于评价场址适宜性和确定设计基准，且该记录是透明和可追溯的。实际上，该推荐方法只侧重于对场址构成潜在危害的火山现象。该方法认为，随着场址危害程度的增加，需要提供更详细的信息。该方法还认为，对于远离潜在活火山的场址，仅应考虑有限的潜在危害子集，例如，仅考虑远距离火山灰沉降和（或）火山海啸。对于靠近潜在活火山的场址，则应考虑各种潜在危害。

3.2. 火山危害评定的总体目标是确定火山源的性能（根据本“安全导则”定义为火山和/或火山区），其产生的潜在危害可能到达场址并影响核装置安全。因此，如有必要，应为该场址建立一个全面的火山危害模式。该目标可以通过以下四个阶段来实现，如图 1 所示：

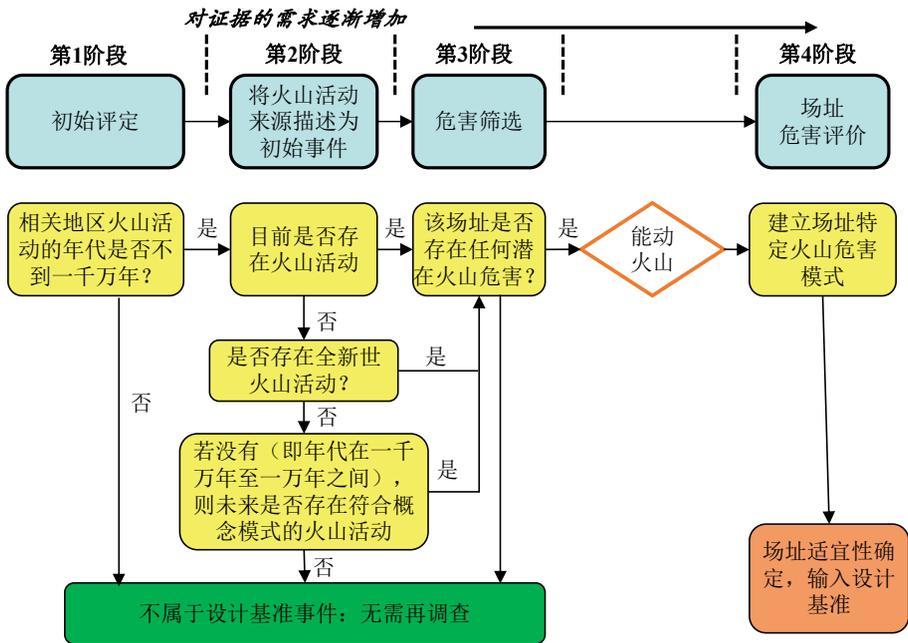


图 1. 火山危害评定方法。

- (i) 第 1 阶段：首先，应进行初始评定，以确定场址邻近的地理区域，该区域包含了 1000 万年以来可能发生的所有火山活动的来源；
- (ii) 第 2 阶段：其次，在确定这些火山活动来源后，就应对其进行评价，以确定其在未来喷发或引发另一火山事件的可能性；
- (iii) 第 3 阶段：第三，应对未来火山事件产生危害现象的可能性进行评价，因为其可能对核装置场址产生不利影响。还应筛选出场址邻近不可能造成危害的火山现象，且无需对其再考虑；
- (iv) 第 4 阶段：最后，如果确定出能动火山源，则应对场址专门进行火山危害专门评定。该评定应包含可能影响场址的每一种特定现象，并应考虑这些现象之间的潜在因果关系。

下文各段对每阶段进行了简要描述，并在后续各部分中提供额外指导。

3.3. 在评定的每一阶段，都应确定是否有足够可用信息来充分评价该场址的火山危害。在某些情况下，可利用信息足以筛选出特定的火山现象，则无须进一步考虑。在其他情况下，应获取更多信息，以进行火山危害评定，确定场址适宜性和（或）获得相关设计基准事件。

3.4. 在选址过程的第 1 阶段，即在场址调查期间，应从现有信息资源（出版物、技术报告和相关材料）收集相关数据，以确定可能对已选定的候选场址造成潜在危害的火山现象。对此，附件 II 提供了可用于该目的全球范围内的信息资源。

## 一般程序

### 阶段 1：初始评定

3.5. 危害评定的初始阶段应着重考虑两大主要因素：

- (1) 在所确定的候选场址邻近确定一个适当的地理区域，其中包括所有潜在的火山危害源；
- (2) 收集该区域过去 1000 万年以来火山活动的证据。

该地理区域取决于表 1 所列火山现象的性质和类型，规模大小不一，那些规模在数十公里的火山现象，对选址和装置安全尤为重要，而有些火山现象则规模数千公里，如火山灰沉降和海啸。该阶段应对场址邻近地理区域的现有信息进行详细评审。该评审通常使用地质图、以前地质调查结果以及载于第 4 部分其他资料。在本阶段，应确定进行危害评定的场址邻近的地理区域。<sup>4</sup>

3.6. 第 1 阶段的成果应确定在所选定的候选场址邻近地理区域是否存在年龄小于 1000 万年的火山源及其分布。如果地理区域内不存在小于 1000 万年的火山源，则无需进一步调查。

---

<sup>4</sup> 在下文各段中，“地理区域”一词是指进行火山危害评定的场址邻近区域。

## 阶段 2：未来火山活动潜在来源的特征

3.7. 如果第 1 阶段的初始评定结果表明，该地理区域存在小于 1000 万年的火山源，则应建立该区域火山作用的概念模式。该概念模式或一组备选概念模式应包括火山活动构造背景、喷发频率、地质趋势的类似信息。对符合火山作用概念模式的火山，以及全新世有活动记录的火山，应进一步描述其特征。或者，也可用火山作用概念模式证明，没有可靠证据表明有未来喷发的可能性，例如，如果导致这些火山以往活动的构造背景发生了明显变化，则应筛选出这些火山，无需对其再考虑。如第 5.5—5.15 段所述，可使用层级分析来支持以上证据。

## 阶段 3：火山危害筛选

3.8. 在无法排除场址区域未来火山活动可能性的情况下，则应对喷发或其他火山事件影响该场址的潜在危害现象进行评价。应按照第 1 阶段的定义，对场址邻近地理区域的每个潜在活火山源（即火山或火山区）相关的每种现象进行评价。应用确定性和/或概率方法来对影响场址的潜在火山现象进行危害评定。地理区域的所有潜在活火山源不一定会产生表 1 所列的所有火山现象。应筛选出不可能在场址造成危害的火山现象，且在危害评定中无须再考虑。

## 阶段 4：能动火山危害评定

3.9. 第 3 阶段确定的可能在未来喷发的火山源以及可能在场址造成危害的火山现象的火山源均视为是能动火山源（见 2.16 段）。因此，应对所有能动火山源场址进行全面火山危害评定，评价范围应包括表 1 所列的所有火山现象。该评定结果是进行下述事项决定的技术依据：

- (a) 场址的适宜性；
- (b) 针对所有现象的设计基准来源，除非认为场址是合适的，否则应针对设计和运行目的采取措施来缓解这些现象的影响。

## 其他注意事项

3.10. 如果该地理区域内的火山是该场址的可信危害源，则需要在装置的寿期内监控能动火山的特征[1]。在此情况下，应在调试前制定并实施运行阶段的早期预警监控计划，并与国家的自然灾害早期预警专门机构协同。通常，装置的应急计划应包括此类监控计划和运行程序。

## 4. 必要信息和调查（数据库）

### 概述

4.1. 对火山进行恰当和可靠的危害评定取决于对下述各项的正确认识：

- (a) 适当地理区域内每一个火山源的特征；
- (b) 此类火山源广泛的火山学、地质和构造背景；
- (c) 每个火山源可能产生的火山现象的类型、规模和频率。

为保证评价适当的透明度，应收集或获取每个火山源及其在背景的详细信息，并将其编入数据库。

4.2. 数据库应包括有助于火山危害评定每个阶段作出决定所需的所有信息。数据库结构应具有足够的灵活性，以便随着复杂性的升级在分析过程中不断提升信息的详细程度、完整性及整合度。最初，该数据库可基于或包括现有国际和国家火山数据汇编信息。随着场址特征的（调查）进展，应将专门为评定收集的其他数据纳入数据库。根据评定进展对证据的需要，本部分就进行火山危害评定所需的信息类型和详细程度提供指导。

4.3. 除作为一种信息资源之外，该数据库还应提供用以记录火山危害评定期间数据处理的结构，这将有助于记录科学决策所依据的证据和解释，并为评定所用数据的质量保证提供依据。例如，用于确定筛选标准和后来决策的所有数据都应包含在数据库中。评定所考虑的因与危害评定无关或不准确、或因其他原因而未使用的任何数据均应保留在数据库中并归为一类，并且应解释该评定不考虑这些被拒绝数据的原因。如有可能，应将数据编入拥有足够与数据资源相关的信息的地理信息系统，以实现信息陈述的一致性。应以便于比较和整合的方式存储所有数据。

### 初始评定所需信息（第 1 阶段）

4.4. 对于初始评定（见图 1），应利用现有的地质知识来确定在过去 1000 万年中是否在场址邻近相关地理区域发生过火山活动。如果判断关于该区域可利用的地质资料不足以达到这一目的，则应寻找更多的数据，如第 4.6—4.8 段所述，以便为初始评定提供充分的依据。

4.5. 评定的地理区域没有预先设定统一规模，但应根据年代小于 1000 万年的火山活动导致的、可能对核电厂安全产生影响的潜在危害现象类型来确定。对于核电厂选址和安全来说，最重要的火山现象是那些离火山很近的区域。存在此类潜在危害的区域可能距离该场址几十公里。对于火山灰沉降和其他与火山有关的大气危害，在适当考虑区域风场模式下，地理区域可以从该场址延伸数百至数千公里。<sup>5</sup> 评定火山现象引起的潜在海啸时，应考虑某些沿海场址的整个海洋盆地（见参考文献[5]）。应在火山危害评定开始时确定要调查的地理区域。

4.6. 初始评定需要使用有分级的地质图和火山数据。在该阶段，提供不同比例尺数据的可用地质图已经足够。例如，1:500 000 比例尺的地质图可用于整个研究区域，而 1:50 000 比例尺的地图可用于近场址区域。在初始评定阶段，一般需要使用比例尺为 1:50 000 或更大比例尺的火山地质图。此外，可用的卫星图像和航空照片也可用于该目的。还应从国际和各国火山学数据汇编中检索数据，尤其是全新世和第四纪火山数据。火山危害图和对特定火山的危害评定通常是作为国家减灾计划的一部分。如可用，此类危害图和评定结果应纳入初始评定。所有这些信息都可通过地理信息系统来绘制贯穿火山危害评定各个阶段的专题地图，如第 4.3 段建议的。

4.7. 应从火山类型和潜在火山喷发方面对火山活动的特征进行描述（见附件 I）。在初始阶段，考虑火山活动的年代、总体时空趋势、形态、喷发产物以及喷发行为相关范围和构造环境大有用处。在一些场址，近海数据，如测深数据或钻孔岩芯编录和说明等，在初始评定期间对查明潜在的火山源和沉积物很重要。这些详细特征为火山危害评定确定合适的地理区域奠定了基础。应使用适当精度的数据进行特征描述。

4.8. 确定与火山源有关的火山物的年代可为初始评定阶段提供基本信息。该年代确定可包括历史信息、地层关系、放射性年代测定和形态学考虑。应对信息详细程度进行严格评定，以确保识别所有相关火山源，并对其进行合适的年代测定。在很多情况下，现有的信息可能不足以支持在该场址评价阶段作出可靠评定。在此情况下，应建立或获取更多的地质年代学、地质和

---

<sup>5</sup> 南美洲大西洋沿岸几厘米厚的火山灰沉降，来自大约 1000 公里远的远安第斯地区未知火山，这可作为受火山喷发影响地区扩展的实例。

火山学数据，并加以汇编。例如，可能需要进一步取样，以确定该地理区域火山物的年代。

## 危害筛选和场址特定危害评定所需的信息（第 2—4 阶段）

4.9. 如果初始评定结果表明发生过 1000 万年以下的火山活动，下一步应检查、收集（如有必要）有关该火山活动的年代和特征以及周围区域的任何相关现象的详细信息。应将该信息添加到火山学数据库，如下文各段所述。

4.10. 数据库应包括关于相关不确定性、数据质量、数据来源和任何其他相关信息的陈述或记录，这些信息有助于评价证据的强度和数据的可靠性，以作出可靠的危害评定。尤其应注意记录知识不完备产生的不确定性（即认知的不确定性），以及数据可变性产生的不确定性（即偶然的确定性）。

4.11. 由于火山往往具有复杂的地质历史，因此确保进行全面的危害评定可能需要其他信息。首先也是最重要的，在地理区域发现的火山源的任何信息都应列入数据库。此外，需要认识到，具有确定的特定来源的火山活动地质记录可能不完整。在这种情况下，类似火山的活动频率可能有助于补充在该场址的地理区域收集的信息，以评价未来火山喷发的可能性。同样，在类似火山发现的火山物项空间分布可能有助于界定“筛选距离值”，即某一特定类型火山现象和火山源的最大距离值，超过该距离则可不考虑该现象的影响。当该类信息用于危害评定时，也应将其纳入数据库。

### 地质和火山学数据

4.12. 关于火山源特征的确定和筛选距离值的确定都取决于关于潜在火山源年代和规模的信息。因此，数据库应包括以下信息：

- (a) 火山源的类型（形态）、空间分布及其对火山岩源分布的地质控制因素（如与构造特征的关系）；
- (b) 每个火山源的喷发次数和年代；
- (c) 每个火山源喷发期次之间的休眠期和喷发持续时间（若可以确定）；
- (d) 每一可能的火山活动源的当前地形及其与场址地形的关系（该信息可纳入数字高程模式）；
- (e) 喷发量级范围、动态过程（如喷发强度、喷发方式）和喷发产物；

(f) 有关喷发活动趋势的信息，如火山源的空间迁移或地球化学的时间演变，以及喷发产物体积的变化。

4.13. 对于有任何记录的历史活动的火山源，数据库应包含相关信息，以全面了解该活动的规模和年代。从历史来源中获得的火山学信息应包括以下内容：

- (a) 火山源的位置（如纬度、经度、海拔）以及喷发日期和持续时间；
- (b) 喷发物类型的描述，包括其面积范围、体积和成分；
- (c) 相关地震活动、地面变形和其他地球物理和水文活动或异常现象的面积范围和特征（如震级、烈度、地面峰值加速度和持续时间，如可获取）；
- (d) 对当前火山活动进行描述，包括监控计划和监控数据的评审（如地震数据和地面变形数据）（若有）。

4.14. 数据库应包括对任何小于 1000 万年的火山物的描述。对于全新世和年代较近的火山，包括那些目前仍在活动的火山，不仅调查最近的火山活动时期，还应调查火山的整个地质历史。该评定应考虑年代测定的不确定性。例如，火山碎屑岩单元的地层通常是复杂和不完整的典型例子。即使无法绘制所有火山沉积物的地质图，也应尝试评定地质记录的完整性。火山沉积物的年代应用数字表示并应相互关联，以完整描述火山活动历史。

4.15. 数据库中的信息应作为对影响该场址的潜在具体现象进行评定的实质性基础，并应用于确定这些现象的筛选距离值。因此，应汇编从每一个已确定的潜在来源可到达该场址的火山物的数据。应确定和评价地理区域内年代小于 1000 万年的沉积物，以提供以下信息：

- (a) 沉积物的类型和分布以及识别出潜在的的一个或多个火山源；
- (b) 有关喷发及其产物的年代、火山学和岩石学特征。

4.16. 这类信息的可行性和有用性高度依赖于沉积物的年代和地质记录的完整性。若可能，应收集完整的火山学信息。为了编写完整的火山学信息，可能需要在场址钻探一个或多个钻孔，并对这些钻孔中揭露的地层剖面进行记录和取样。钻孔的岩石样本可对其岩石学和地球化学方面特征进行描述，如果合适，可以利用这些样本进行放射性年代测定。

4.17. 如果识别出了火山沉积物，则应提供可能影响该场址的每个可辨别的火山灰沉降独立事件的更多信息。例如，并没有在该场址沉积的邻近火山的火山碎屑沉积物 — 可能只是由于喷发期间的气象条件 — 也应列入数据库。应收集关于以下每种火山碎屑沉积物的信息：

- (a) 显示沉积物范围、厚度、体积、粒度和分散轴的等厚图和等值线图；
- (b) 沉积物的等效静负载（湿和干）；
- (c) 推导喷发参数，如喷发柱高度（如果不是直接观测）、质量喷发速率和喷发持续时间。

4.18. 对于可能影响场址邻近的火山碎屑流、火山碎屑岩涌或火山喷发产生的每种可辨别的沉积物，应收集以下信息：

- (a) 厚度、体积、密度、区域分布、可能的速度和侵位温度，以及流动过程中达到的最大动压的估计值（若可能且必要）；
- (b) 影响流体方向和动能的地形特征的数据，该流体由重力驱动或由火山喷发导致（还应显示这些流体可能经过但未留下可测量沉积物的区域）；
- (c) 从这些数据中推断出每种情况下的来源条件（例如，涉及喷发柱坍塌的火山碎屑流喷口上方的高度）。

4.19. 对于熔岩流、火山泥流、碎屑流或碎屑崩塌物产生的每种可辨别的沉积物，应收集下列资料：

- (a) 被这些流动现象淹没的区域以及沉积物的厚度和体积；
- (b) 侵位的可能温度、速度和动压力的估计值和相关标准，以便区分与岩浆活动有关的流动和与岩浆活动无关的流动；
- (c) 关于地形特征的数据，该地形特征从来源、速度和流动分布以及沉积物与当前地形的关系等方面影响了流动路径。

## **地球物理和地球化学调查数据**

4.20. 在有关区域内个别能动火山利用仪器仪表方法收集数据可改善整体的危害评定。调查该类火山有以下几个原因：

- (a) 帮助降低对特定火山现象方面认识的不确定性；
- (b) 为探测特定火山活动水平的变化提供客观依据，预期未来喷发现象；

- (c) 利用新出现或改良的技术或方法,增强特定火山现有信息的可用性(即火山学数据库);
- (d) 遵循监控的安全要求[1]。

4.21. 将要开展的地球物理和地球化学调查的类型和范围应根据火山危害评定所需的信息确定。在为新核电厂选址时,应考虑在流程的最早阶段开展调查。除地表测量外,从场址邻近区域钻孔中获取的地球物理和地球化学数据也可提供有关水和气体化学(如岩浆气体的存在)、温度、应力状态和与火山危害评定观测结果的宝贵数据。应解释调查数据,并将其与其他有助于场址评价过程的数据结合起来,并纳入数据库。

4.22. 以下各段简要回顾了为评定火山活动而使用的一些公认的调查火山的方法。应就这些方法的设计、实施和分析征询专家意见。应寻求与现有监控系统的运行机构密切合作,例如实施国家计划的机构,其有责任和能力预测火山喷发和缓解任何危害后果。调查规划和设计应考虑数据收集活动可能演变成核电厂运行监控计划[1]。

#### 火山地震信号

4.23. 对火山地震信号的仪器仪表监控通常被认为是探测火山活动和火山状态变化的最佳方法之一。通过火山内部或邻近产生的火山地震信号的某些型式和类型,可以识别出潜在喷发活动的火山动荡。为了检测这些信号,需要进行专门的地震监控。

4.24. 一个设计、建造和运行良好的火山监控地震网络将记录所有类型的火山地震信号(如震动和瞬变事件),其技术能力使人们能够适当描述这些信号的特性。例如,地震层析成像技术和深部微震探测的近期发展表明,这些技术在研究火山系统方面是有用的。

#### 地面变形

4.25. 地面变形和火山地形的变化可反映地表不稳定或岩浆、地下水和气体的地下运动。古滑坡的复活通常反映了不稳定的地面条件或地面变形。通常,确定地面变形的可提供高程、角度和网络各点之间距离在定期内变化的测量值。这些测量值可以通过采用各种地面技术或遥感获取。由于地面变形可能极其敏感,或可能被混杂效应所掩盖,因此需要在场址评价的早期阶段部署地面变形监控网。

## 地磁与地电

4.26. 地磁和地电参数的测量可用于了解地下结构和岩浆体位置或地下水系统,并有助于探测它们的变化。这些测量结果可以提高对火山构造和火山体大规模地球物理和地质属性的认识,如热液蚀变带。

## 重力

4.27. 在火山地形上进行重力测量,以提供关于岩石性质(如孔隙率和质量密度)和地质结构(如火山体中断层的分布)的有用信息。当能够结合地面变形的精确测量对重力的时间变化进行详细测量时,就有可能探测到火山流体的运动或其他内部质量传输过程。

## 气体

4.28. 从火山口或喷气孔排放,或非能动地通过地表或进入火山口湖泊排放的气体的成分和流量,为火山活动的程度和特征提供了有用线索。化学物种的多样性和气体同位素成份的变化可预示初生岩浆起源的主导地位,或气体的热液或大气来源。为了危害评定的目的,应建立受这种排气(无论是通过该区域土壤直接排放,或通过大气质量负载排放)影响的区域,气体产量的变化也可以预示火山状态的变化。

## 地热异常与地热流体

4.29. 与喷气孔、喷口、火山口湖泊、温泉和冷泉、土壤以及冰雪场地有关的热异常的温度、组成和位置的变化往往是火山活动变化的良好预示。因此,通过实施在地面上进行检查、监控或重复测量方案或采用遥感技术,可获得以上所有信息。

## 地下水循环

4.30. 火山活动可引起地下水条件的重大变化,有时是远距离发生作用。对此,监控温泉或冷泉和火山口湖泊水位和排放速率的波动以及化学成分、温度、电导率和溶解气体含量的变化提供了有用的信息。此外,采用其他更专业的技术,如火山口湖泊的水深测量和声学监控,也是适当的。

## 其他现象学观察

4.31. 详细和定期的目测和目检可为评定火山活动状况提供最基本的原始数据。有时，最早的不稳定迹象可以通过基本观测发现，如异常的声音、地震和人类能感觉到的地面振动、温度变化、喷气孔温泉的波动、融雪模式、井、泉和湖泊的干涸以及植被状况的变化。应目视观察气体或蒸汽排放的流量、强度、颜色和其他特征，因为这些观察可以提供信息，而且易于实施和报告。如果这种目视观察是可信的，则需要安装用于远程监视的可见波长或红外照相机。

4.32. 最初，许多简单的现象观察可能不可靠，但若得到核实，这些观察结果应该与以更正式的方法收集的任何信息一起纳入数据库。

4.33. 数据库还应包含以下附加信息：

- (a) 关于季节性风向和风速随高度变化的统计数据（如可获取）；
- (b) 降雨或降雪数据；
- (c) 有助于确定火山上可能导致滑坡和碎屑崩塌的潜在不稳定斜坡的数据，如数字高程模式、地形图和水系类型。

4.34. 为了得到满意的解释，火山监控数据应与补充气象数据相结合。这些信息可通过与核电厂为其他目的而设立的监控职能的合作来获取，也可从区域、国家或国际气象服务机构合作来获取。

4.35. 应对可能涉及火山产物迁移方向或场址邻近沉积物堆积的水道特征进行描述，并应制定测量方案。在某些情况下，可能需要建立实时预警监控系统。

## 火山扰动和喷发监控

4.36. 由于监控计划对已确定的能动火山源进行监控（见第 3.9 段），关于活动和喷发的监控数据应记录在数据库中。本部分讨论的许多方法，如火山地震信号，经常用于监控目的，监控经常通过使用多种方法来改进。如果一座能动火山开始喷发，应实施对产物（例如熔岩、火山灰、气溶胶）进行系统取样的计划，以提供有关喷发过程和进一步潜在危害现象的详细信息。这种与活动和火山喷发有关的数据采集和记录应与负责和有能力实施国家火山监控计划的机构进行协调（若有可能）。

## 新兴技术

4.37. 火山监控和火山系统地球物理和地球化学勘查的新技术和改进技术将继续出现。就支持场址的特定火山危害评定或确定火山容量方面，应采用基本标准来判断是否应在进行中的火山危害评定中使用任何最新监控或勘查技术。该标准是：新试验或技术可提供实质性数据或证据，并为科学界所公认。如果满足这些条件，则来自这些技术的数据可被并入数据库中，但若出现争议，应优先考虑使用公认的“现有技术”获得的数据。还应利用为其他目的开展的工作所取得的数据（例如，为评价场址其他类型的危害、满足运行安全要求或作为国家或区域减灾方案的一部分而开展的工作）。

## 5. 火山危害筛选

5.1. 第 1 至第 3 阶段火山危害评定（见图 1）提供了识别能动火山的步骤。为此，应根据未来潜在火山活动和危害现象来源的场址位置，采用层级筛选决定来实现。在本部分中，确定了在层级评定的每个阶段作出决定所依据的标准。

### 阶段 1：初始评定

5.2. 这一阶段应侧重于两个主要考虑因素（如第 3.5 段所述）：(i) 确定初始进行火山危害评定的适当地理区域；(ii) 收集该区域在过去 1000 万年以来发生火山活动的证据。第 1 阶段工作包括详细评审所有可用的信息来源，以确定场址邻近的适当地理区域。这种详细评审通常应包括地质图、以前地质调查的结果和第 4 部分讨论的其他信息。用于评定的地理区域的定义标准载于第 4.4 段和第 4.5 段。

5.3. 对于地表径流现象，应考虑场址与潜在火山源之间的地形。在地势低或水系宽且浅的地区，地表径流可能无法改道，即使其来自于距离场址 100 公里以上的火山。相反，在地势陡峭和水深较深的区域，源自场址较近的火山低能地表径流可以有效截取和改道。然而，高能表面流，如火山喷发，很容易克服陡峭的地形。相关地理区域的定义应当是正当的，以确保在评定中充分考虑了潜在的危害火山。

5.4. 第 1 阶段的初始评定应评价过去 1000 万年内火山活动的证据。如第 2.7 段所述。在 1000 万年时间内，包括许多火山弧和板块内火山构造区均发生过区域火山活动。此外，如果可获得现代放射性测年数据，这些数据通常对区分年龄大于或远小于 1000 万年的火成岩起决定性作用，从而最大限度地减少了现有数据的模糊。因此，如果证实 1000 万年未发生火山活动，这意味着未来火山喷发的年超越概率低于  $10^{-7}$ ，因此，没有必要为火山危害评定的目的进行进一步调查。

## 阶段 2：未来火山活动的潜在来源特征

5.5. 如果第 1 阶段的初始评定结果表明，在该地理区域存在小于 1000 万年的火山源，则应在第 2 阶段进行其他调查，以进一步描述这些火山源的特征。

5.6. 如果第 2 阶段的结果确认了目前火山活动的证据，则未来可能发生火山喷发，危害评定应进入到第 3 阶段。当前火山活动的证据包括火山喷发历史、正在发生的火山活动、活跃的热液系统（如喷气孔的存在）和相关现象。

5.7. 过去 10000 年（即全新世）火山喷发的证据是一个广泛接受的迹象，表明未来的火山喷发是可信的。由于全新世往往是一个容易识别的地质界限，国家和国际数据库一般区分在全新世时期活动的火山和年代更老的火山。确定是否发生全新世火山活动的信息可能有多种来源。火山产物的放射性年代测定是全新世火山喷发的最直接证据。

5.8. 在某些情况下，尤其是在场址调查的早期阶段，可能很难确定最新火山产物准确年代。在这种情况下，可以使用其他标准来判断全新世火山，包括：(i) 覆盖在最新更新世冰碛物上方的火山产物；(ii) 预计几千年后会出现明显侵蚀区域的年轻的火山地貌；(iii) 如果火山基底超过几千年（或几百年），植被样式将更加发达。

5.9. 专家们可能对全新世火山活动的证据持不同意见，且最近一次喷发的最可靠的年代评估也可能存在很大的不确定性。在这种情况下，该火山应归类为全新世火山(?)。<sup>6</sup> 从安全角度看，全新世火山都有可能在未来喷发，包括那些全新世喷发记录不确定的火山，分析工作应继续到第3阶段。

5.10. 如果没有证据表明当前或全新世活动，则应对该区域早期活动进行更详细地年代评定。若证明在过去200万年内发生过火山喷发通常表明未来仍有可能发生火山活动。此外，对于某些火山系统，如分散式火山区或很少活动的火山口，这些在过去约500万年内活动的火山，预示着未来发生活动的潜在可能性。为了确保评价充分，应对地质数据进行评定，以确定该区域早至1000万年的任何火山源是否可能在未来喷发。

5.11. 在这一步骤中，可使用概率分析方法分析未来发生火山事件的可能性。这类事件可能是火山喷发，也可能是非喷发活动，如前一次喷发引起的斜坡崩塌。概率方法可能包括基于过去火山喷发的重现频率的方法，如可以整合其他火山信息的贝叶斯方法，或者过程层级模式，如基于喷发产物的时间-体积关系的模式。

5.12. 如第2.7段所述，某些国家在外部事件的危害评定中采用 $10^{-7}$ 的年概率值，该值作为一个具有放射性后果影响的交互作用事件概率值的可接受极限值[2]。由于火山活动是一种外部危害，因此，火山作用在场址邻近区域重新活动（即喷发复发）的年概率在 $10^{-7}$ 或以下可以视为初始筛选的合理标准。由于发生喷发时，危害现象到达场址的可能性很小，因此该值 $10^{-7}$ 可作为对初始事件的潜在火山源进行初始筛选的合理依据。然而，应有监管机构确定特定火山危害现象每年发生概率的可接受极限值。

5.13. 也可使用确定性方法。例如，可以对类似火山进行调查，以确定喷发活动期次之间最长时间间隔，并将活动间隔作为一个阈值。对于处于静止期的火山，可以通过与阈值的比较来评价恢复活动的可能性。该确定性分析应包括推导出火山活动的驱动过程的论述，并解释火山在这些过程方面类似的原因。

---

<sup>6</sup> 根据已有的火山学术语，疑似全新世时代火山标示为全新世火山(?)。

5.14. 另一种确定性方法可能会得到火山系统中的时间—体积或岩石学趋势。例如，时间—体积关系可表示在早更新世或更早的时期火山活动有明显的减弱趋势和明显的停止。在这种情况下，可以说火山活动几乎不可能重新复活。当无法依据这些标准进行判断时，则可以简单假设，任何年代小于 1000 万年的火山，未来都有可能喷发。

5.15. 可以发现，该地理区域未来发生火山活动的可能性不超过年发生频率的既定可接受限值。如第 5.12 段所述，如果有足够的资料支持这一结论，则没有必要进行进一步分析，也不需要对该场址作进一步的火山危害调查。相反，如果缺乏足够的证据，或发现有关区域今后可能发生火山事件，则可能需要进行更多的分析，危害评定应进入第 3 阶段。

### 阶段 3：火山危害筛选

5.16. 若已确定火山活动或无法排除该场址区域未来火山活动的可能性，则应对影响该场址潜在危害现象进行分析。应对表 1 所列与火山活动有关的每种现象进行分析。在某些情况下，如果这些危害现象几乎不可能影响该场址，则可以筛选出特定危害，且不需要进一步考虑。在作出筛选决定时，应考虑这些现象是否是由构成火山事件的复杂序列次生过程或假想方案所引起的（见附件 I）。

5.17. 本阶段危害评定的确定性方法可基于对每一特定火山现象的筛选距离值。筛选距离值即阈值，无法合理预期火山现象是否超过该值。筛选距离值可以根据特定喷发产物的最大已知范围来定义，其中考虑到火山源的特点和火山源与场址之间的地形特征。例如，已知大多数玄武岩熔岩流流动距离距火山喷口不超过 10—100 公里。对于大多数地形中的大多数玄武岩火山，玄武岩熔岩流的一般筛选距离值为 100 公里是合理的。根据类似火山或可能阻止该现象影响场址地形采集数据，可以得出较短距离的筛选值。一般而言，应根据类似火山的实例，决定是否对所有类型的火山现象使用特定筛选距离值。

5.18. 如果该场址位于某一特定火山现象的筛选距离之外，则无需对该现象进行进一步分析。然而，如果未来可能发生火山活动，且该场址位于特定火山现象的筛选距离之内，则应认为该火山或火山区是能动的，并应进行专

门场址的危害评定（即第 4 阶段）。应完成对与每个潜在活火山相关的每一火山现象的分析，因为每一现象可能筛选距离值不同。

5.19. 若火山源喷发，则本阶段危害评定的一个补充办法是估计特定火山现象到达场址的条件概率。有几种方法可用于估计这种概率。这些方法将在第 6 部分中进一步讨论。在某些情况下，仅凭场址特征数据可能不足以对这种概率进行可靠性估计，因为地质记录没有完整保存以往的火山活动，而且以往的火山活动可能未涵盖未来火山事件造成的所有潜在现象。

5.20. 由于估计的不确定性，对特定火山现象的条件概率的估计可以产生可用于场址评价的一系列概率值。如果火山事件产生的任何现象到达场址的可能性极低，则无需进一步分析，火山危害不代表场址可信的设计基准事件。如果仅使用条件概率不足以支持筛选，则应考虑火山活动。

5.21. 如第 2.7 段所述，在一些国家，外部事件的危害评定中使用  $10^{-7}$  的年概率值作为一个可接受的限值，将该值作为具有严重辐射后果的相互作用事件的概率值[2]。因此，如果初始火山事件影响场址的危害现象年发生概率在  $10^{-7}$  或以下，可作为一个合理的标准，如第 2 阶段建议的类似方法作出筛选决定（见第 5.12 段）。例如，若发生该事件，可以通过将火山事件发生的概率乘以与该事件相关的现象到达该场址的概率来计算年概率。初始事件发生的概率乘以条件概率也是识别能动火山或火山区的合适依据。对于与场址排除标准相关的现象，如表 1 所示，可采用年发生概率的可接受极限值  $10^{-7}$ ，但在任何情况下，该极限值的确定应与监管机构协商。最后，应对源自能动火山的现象进行具体场址火山危害评定（第 4 阶段）。

5.22. 火山喷发的规模之间存在某种关系，因此可估算其影响场址的可能性及火山事件发生概率的确定性。小型喷发通常只留下很少或没有地质记录。因此，小型喷发的频率可能存在极大的不确定性。或者，如果只有大规模的喷发可以影响该场址，则这些大规模喷发的概率是确定火山潜能的最重要因素。由于大震级喷发通常会留下重要的地质记录，因此根据过去活动的地质记录估算大震级喷发的概率更可靠。涵盖火山过程的性质和演变的火山概念模式应反映在对发生这种大规模火山事件的概率估计中。然而，在估计过去事件记录中的各种不确定性时，应注意避免过分强调地质记录中保存完好的大事件。

5.23. 许多火山现象涉及不同过程之间的组合，因此确定性和概率方法不应只孤立地考虑个别过程，而应明确考虑耦合和复合效应。例如，遥远地形坡地上的火山灰沉降有时会形成碎屑流和火山泥流的新源区。碎屑流和熔岩流可以形成蓄水。筛选决定应考虑到此类复杂性引起的次生危害来源（见附录和附件 I）。

## 6. 场址特定火山危害评定

6.1. 本部分为在地理区域内识别一座或多座能动火山时，为场址特定的火山危害评定提供指导。在火山危害评定的第 4 阶段（图 1），本导则可用于对核电厂场址的特定火山危害评定。

6.2. 在危害评定的第 1—3 阶段，可用第 2 部分所列和附录所述的火山现象进行筛选。但在场址特定的火山危害评定时，需进一步考虑第 1—3 阶段未筛选出的火山现象以确定潜在危害的频率、性质和规模。评价应提供足够的信息，以确定是否能为此火山危害建立设计基准或其他切实可行的解决办法。如果无法为这一火山危害确定设计基准或其他切实可行的解决办法（例如，场址保护措施），则应认为该场址不合适。

6.3. 如在第 2 和第 3 阶段作出的筛选决定一样，在第 4 阶段进行火山危害评定需要将确定性和概率方法结合起来。在确定性方法中，阈值是根据对过去火山活动的经验观测、来自其他火山的类似信息和/或火山过程的数值模拟来确定的。场址适宜性和设计基准的确定取决于是否超过这些阈值。概率方法还可使用一系列经验观测、来自其他火山的类似信息和/或数值模拟，以确定危害现象超过规定规模的概率分布。通过概率分布结果分析，得出场址适宜性的判定和设计基准的确定。无论采用哪种方法，都应评定火山事件发生的可能性及其对核电厂的潜在影响。该评价是场址特定火山危害评定的主题。

6.4. 将列入设计基准的每一火山危害进行量化，以尽可能将其与其他外部事件的设计基准特征进行比较。可以证明，从其他外部事件得到的设计基准包含为某些火山危害得到的设计基准。例如，根据其他外部事件产生的物理负载包含了火山灰沉降所产生的物理负载。

6.5. 以下各段涉及到场址特定的火山危害评定中应考虑火山现象，并提供了相关建议。附录中提供了每一种现象的相关火山学信息。

## 火山灰沉降

6.6. 火山碎屑沉降是最普遍的火山危害现象。即使是极少的火山碎屑堆积也有可能中断核电厂的正常运行。与火山灰沉降相关的危害包括：对结构的静负载；颗粒碰撞；水循环系统堵塞和磨损；对通风系统、电气系统以及仪器仪表和控制系统的机械和化学影响；以及核电厂周围大气中的微粒负载。水可以显著增加火山灰沉降的静负载。火山碎屑颗粒通常会在其表面吸附酸性渗滤液（如  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$  等），因此会造成供水的化学腐蚀和污染。

6.7. 对每一座能动火山灰沉降的危害评定应考虑：

- (a) 火山碎屑的潜在来源；
- (b) 产生潜在火山喷发的火山碎屑的数量和这些喷发的物理特征；
- (c) 火山碎屑的喷发频率；
- (d) 源区与场址之间的气象条件，将影响火山碎屑的运移和沉积；
- (e) 火山碎屑喷发的次生影响，例如火山泥石流的可能性增加，污染和化学腐蚀，这些均可能对核电厂的安全运行产生不利影响。

## 确定性评定

6.8. 确定性方法应为场址火山灰沉降的可能最大厚度制定一个阈值。例如，可以利用类似火山喷发产生的实际沉积物来确定一座能动火山的最大沉积厚度。并可以从这些沉积物中估计粒度特征（即粒度分布和最大碎屑粒度）。类似的沉积物或喷发也可以提供形成酸性凝液的可溶性离子的相关信息（随着火山碎屑一同散落）。火山灰碎屑物的数值模式也可用于根据火山碎屑在该场址的积聚情况，得到特定的喷发和气象条件下的阈值。应合理考虑各种参数的不确定性。

## 概率评定

6.9. 应采用概率方法对场址火山灰沉降的进行数值模拟。在这种分析中，应采用蒙特卡洛法（Monte Carlo）或其他适用的模拟技术，对每一座能动火山的火山碎屑物进行模拟，并考虑该区域喷发体积、喷发柱高度、总粒度分

布和风速分布随高度和有关参数的变化。通过模式推导火山碎屑沉积频率分布，通常表示为危害年超载概率曲线（或“危害曲线”）。应通过危害曲线的置信区间来表示所得到的危害曲线的不确定性，并应记录和说明置信水平的选择依据。

### 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.10. 如表 1 所示，由于火山碎屑物的影响可以通过适当的设计和运行措施来缓解，火山灰沉降的影响不被视为场址的部分排除标准。无论是确定性评定还是确定性评定，对每座能动火山灰沉降评定结果都应以质量累积、累积速率和粒度分布等参数来表示。为了估算作为核电厂设计基准一部分的静负载，单一特定场址的最大可信值或火山灰沉降单一危害曲线均应结合每座能动火山的贡献。这一信息还可用于评定火山碎屑沉积物的粒度分布和再移动的可能性，其中碎屑沉积物的再移动可造成大气的颗粒负载、碎屑流或火山泥流，新喷口裂开也可能造成火山灰沉降危害。

### 火山碎屑密度流：火山碎屑流、岩涌和岩崩

6.11. 火山碎屑流、岩涌和岩崩，统称为火山碎屑密度流，不仅伴随着爆炸性火山喷发，而且形成熔岩穹丘和厚熔岩流溢流或火山喷发。火山碎屑密度流对其流动路径中的障碍物影响非常严重，由于碎屑流高速流动，并且通常温度极高（例如，超过 300°C）。此外，它们还具有破坏性，由于大规模地形包裹着热熔岩块、火山灰和火山气体的混合物。火山碎屑密度流沉积的厚度可达几十米。火山碎屑密度流的影响可能超过许多一般的设计基准，因此应将其视为场址的一项排除标准（见表 1）。

6.12. 火山碎屑流会受到地形控制，但火山碎屑岩涌和岩崩受地形的限制较少，通常可以克服大多数地形障碍。众所周知所有类型的火山碎屑密度流在某些情况下都能克服地形障碍，并能流过大面积水体。

6.13. 对每座能动火山的火山碎屑密度流的危害评定应考虑下列因素：

- (a) 火山喷发事件和熔岩穹丘和熔岩流等可能崩塌的潜在来源；
- (b) 潜在火山喷发的规模和导致火山碎屑密度流喷发的物理特征；
- (c) 导致不同类型火山碎屑密度流的火山喷发或穹丘坍塌事件的频率；

- (d) 可对火山碎屑密度流的流动路径和范围造成影响的源区与场址之间的地形；
- (e) 火山碎屑密度流沉积的次生影响，如发生火山喷发和碎屑流的可能性增加。

## 确定性评定

6.14. 确定性方法应考虑火山喷发产生的火山碎屑密度流的体积和能量，因此应根据潜在的最大移动距离（流动距离）确定阈值。这些现象的筛选距离值可根据相关地理区域内暴露的火山碎屑密度流沉积物的体积和性质确定，或参照类似火山的流动事件确定。还可以利用数值模式估算潜在流动距离。应合理考虑各种参数的不确定性。

6.15. 针对火山碎屑流、岩涌和岩崩规定的阈值不一定相同。例如，岩涌也可能由火山碎屑流形成，并可能延伸火山碎屑流前端几公里。在这种情况下，火山碎屑岩涌的筛选距离值通常大于火山碎屑流的筛选距离值。

## 概率评定

6.16. 应计算发生火山碎屑密度流的发生概率，作为一种特定强度喷发的条件概率，并乘以下列条件概率分布：

- (a) 火山碎屑密度流的出现；
- (b) 这些现象的流动距离；
- (c) 方向性效应

火山碎屑密度流的条件概率值应代表岩浆的物理性质、喷发动力，包括与热液和地下水系统的相互作用，以及流动传播和扩散的物理特性。在多数情况下，能动火山和类似火山的火山碎屑密度流以往的频率和性质可用于完善评定结果。由此产生的危害曲线的不确定性应用置信区间表示，并应记录和说明置信水平的选择依据。

## 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.17. 如表 1 所示，火山碎屑密度流的影响应被视为场址的排除标准之一，因为这些影响不能通过适当的设计和运行措施来缓解。无论确定性评定或概率评定，在就火山碎屑密度流造成的危害作出场址适宜性判断时，还应考

虑若干其他因素。与大多数火山碎屑密度流有关的阈值和概率估计都可以使用能量锥模式来评价，能量锥模式是一种常用于估计潜在流动距离的经验模式。更复杂的火山碎屑密度流数值模式与蒙特卡洛模拟或其他适用的模拟技术相结合，可以对流动距离和相应破坏性影响进行概率评定。虽然这是火山学的热门研究领域，但火山碎屑流和岩涌的综合动力学模式尚未完全建立。因此，确定性评定和概率评定都应考虑各种观测和建模方法。火山碎屑密度流可引起次生危害，如火山碎屑物、火山泥流和海啸。

## 熔岩流

6.18. 熔岩流通常会摧毁或掩埋其流动路径上的工程建筑物。熔岩流的影响主要取决于两个因素：(i) 熔岩的物理性质；(ii) 喷发速率和持续时间。火山口的形态和熔岩流流经的地形也是控制熔岩流长度的因素。熔岩流由于其动、静负载及其高温（高达 1200°C）而产生直接影响。熔岩流的影响通常超过许多一般的设计基准，应将其视为场址的排除标准（见表 1）。

6.19. 对每一座能动火山的熔岩流危害评定应考虑以下因素：

- (a) 熔岩流的潜在规模（如质量喷出率、面积范围、速度、厚度）；
- (b) 未来溢流式喷发火山喷发的频率；
- (c) 喷发假想方案（例如，单一熔岩流、熔岩洞、流场）；
- (d) 喷发熔岩的物理性质。

## 确定性评定

6.20. 确定性评定应首先解决喷口的位置和新火山喷口的潜在形成。随后，熔岩流危害评定应根据可到达核电厂的熔岩流的最大可信长度、面积范围、厚度、温度和潜在速度等因素确定阈值。通过利用地理区域的其他火山、类似火山和熔岩流侵位的经验或数值模式的数据来实现。某些熔岩流侵位的经验模式依赖于熔岩流长度与喷溢速率之间的相关性，而其他取决于体积限值。应考虑流经的道路和核电厂场址的地形。因此，可以确认熔岩流筛选距离值，超过该值，熔岩侵入就认为是不可能的事件。应合理考虑各种参数的不确定性。

## 概率评定

6.21. 概率方法也可解决喷口的位置和新火山喷口的潜在形成问题。概率方法应包括熔岩流的数值模拟，并应使用随机方法对每一座能动火山进行数值模拟，同时考虑到控制熔岩流长度和厚度的参数的一系列数值。在数值模拟中，喷口位置、地形喷出率、流体黏度和喷发持续时间是控制模拟熔岩流侵位的关键参数。概率评定使用蒙特卡洛模拟和其他适用的模拟技术的熔岩流模式。可以利用能动火山和类似火山的经验观测来改进概率分析。随后应确定和整合熔岩流危害曲线，以表示核电厂不同水平熔岩流侵入和熔岩厚度的年超越频率。所产生的危害曲线的不确定性应以置信区间表示，并应记录并说明置信区间的选择依据。

## 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.22. 如表 1 所示，熔岩流的影响应被视为场址的排除标准之一，因为这些影响无法通过适当的设计和运行措施来缓解。无论确定性或概率评定，在对熔岩流危害的场址适宜性作出判断时，应考虑若干其他因素。概率方法或确定性方法都能评估任何熔岩流到达核电厂的可能性、其可能的厚度及其热特性。该评定应考虑与熔岩流有关现象的影响，如与冰和雪地相互作用后产生的洪水、蓄水、新喷口裂开以及粘性熔岩穹丘和熔岩流坍塌引发的火山碎屑流等。

## 碎屑崩塌、滑坡和斜坡破坏

6.23. 由于火山体崩塌引起碎屑崩塌应与其他斜坡失稳分开考虑，主要是因为崩塌体量非常大（可能超过数十立方千米），速度高，可达到相当远的距离（例如可能超过 150 公里）。其他规模较小的边坡破坏可在其他（即非火山）岩土危害的处理范围内[6]。火山碎屑崩塌的影响主要是机械性的，这是因为所涉物质的质量和速度以及这些沉积物可以积聚的厚度很大。鉴于体量范围很大，对场址的影响也很大，通常应将碎屑崩塌、滑坡和斜坡破坏的影响视为场址的排除标准。

6.24. 对每座能动火山碎屑崩塌、滑坡和斜坡破坏的危害评定应考虑下列因素：

- (a) 查明这些事件的潜在源区，包括潜在不稳定区域；
- (b) 这些事件的潜在规模（即体积、面积范围、厚度）；
- (c) 此类事件的频率；
- (d) 潜在流动路径；
- (e) 火山活动对地下水水位、地表水条件、静态和动态负载等因素变化的影响以及可能导致这些事件的其他因素。

还应考虑沿途的流动特性变化以及从源区到核电厂的地形，由于在喷发期间地形可能会改变，从而显著改变流动路径。

### **确定性评定**

6.25. 确定性方法应利用从类似火山上的实际沉积物和崩塌侵位模式收集的信息，确定场址崩塌沉积物最大可信体积、流动距离和厚度的阈值。因此，可针对碎屑崩塌和其他相关的大规模流体确定一个筛选距离值，超过该值将视为不可能事件。并且应合理考虑各种参数的不确定性。

### **概率评定**

6.26. 概率方法应该扩展这些流体的数值模式，并使用随机方法进行数值模拟，对于每个能动火山，应考虑到控制源区几何形状、流动长度、速度、体积和厚度等一系列参数的。可以采用能动火山的火山事件记录和分析其他火山的类似事件来完善概率方法。然后应确定并整合危害曲线，以表示侵入场址的概率。由此产生的危害曲线的不确定性应以置信区间表示，并应记录和说明置信区间的选择依据。

### **选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素**

6.27. 如表 1 所示，碎屑崩塌、滑坡和斜坡破坏的影响应被视为场址的排除标准之一，因为如果这些影响发生在场址邻近或直接影响场址，则无法通过适当的设计和运行措施缓解这些影响。无论确定性或概率评定，在判断与碎屑崩塌、滑坡和边坡破坏有关的场址适宜性时，还应考虑若干其他因素。概率方法或确定性方法的结果应包括对场址侵位可能性的估计，以及流动厚度和速度。危害评定应考虑与碎屑崩塌、滑坡和斜坡破坏有关的其他间接

现象，如火山灰沉降、飞射物、压力波、碎屑流、洪水和海啸。大型斜坡破坏是潜在的非喷发性火山事件，可能由降雨或构造地震触发。

## 火山碎屑流、火山泥流和洪水

6.28. 火山引起的碎屑流、火山泥流和相关洪水应与其他普通洪水分开考虑，主要是因为流动开始后预警时间短、流速和喷出率高、流量大，可以到达相当远的距离（例如可能距离源头超过 150 公里）。除了与普通洪水有关的影响外，碎屑流和火山泥流也产生机械效应，这是由于所涉大量物质，并且具有高流速及强侵蚀能力。火山喷发后，碎屑流和火山泥流的发生和影响可持续数月至数十年不等，由于火山碎屑密度流和火山碎屑沉积等火山物项会随着时间推移而重新移动。碎屑流和火山泥流的沉积物可达到很大的厚度（例如数十米）。鉴于体量范围广和对场址的影响，碎屑流、火山泥流和洪水的影响通常应被视为该场址的排除标准。然而，在某些情况下，可以通过场址和电厂的布置和设计考虑以及场址保护措施来解决其影响。与火山事件相关的洪水应与非火山引起的洪水处理方式一致[5]。

6.29. 对每一座能动火山的火山泥流、碎屑流和洪水的危害评定应考虑下列因素：

- (a) 查明火山碎屑和水的潜在源区，包括雪帽和冰川；
- (b) 潜在的流体规模和特性；
- (c) 沿路径流动时流动特性变化的可能性、水源、以及源区和核电厂之间的地形；
- (d) 此类事件以往的发生频率；
- (e) 源区内和这种流体途经的潜在路径上的气象数据。

### 确定性评定

6.30. 确定性方法应利用邻近类似火山和碎屑流侵位模式等的实际沉积物信息，确定场址碎屑流和火山泥流沉积物的最大可能体积、流动距离和厚度的阈值。因此，可针对这些流体确定筛选距离值，超过筛选距离值将认为是不可能事件。火山引起的洪水评价方式应与参考文献[5]相一致。应合理考虑各种参数的不确定性。

## 概率评定

6.31. 概率方法要求对这些流体进行数值模拟，并应采用随机方法对每座能动火山进行数值模拟，同时考虑到控制流动几何形状和喷出率的一系列参数值。这些模式可以通过观测能动火山的碎屑流和火山泥流沉积以及类似火山的相似观测加以改进。之后，应推导危害曲线，这些曲线可表示流体侵入场址和喷出率年超越概率值。由此产生的危害曲线的不确定性应以置信区间表示，并应记录和说明置信区间的选择依据。

## 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.32. 如表 1 所示，火山碎屑流、火山泥流和洪水的影响原则上应被视为该场址的排除标准之一。然而，由于场址和电厂的布置、设计、运行或场址保护措施可应对这些影响，则应确定合适的设计基准。无论确定性评定或概率评定，在推导设计基准和判断与碎屑流、火山泥流和相关洪水等的有关场址适宜性时，还应考虑其他因素。通过概率方法或确定性方法应估计出这些流体到达核电厂的可能性，以及流体可能的几何形状和喷发率。还应考虑间接的事件序列，如邻近雪山上能动火山源产生火山沉积物可能成为碎屑流的来源、在冰雪条件下火山喷发引发洪水，以及火山口或充满火山碎屑的山谷中火山坝破裂后突然释放导致的水和碎屑物。

## 新喷口的裂开

6.33. 新喷口的裂开是一种地质现象，它会对核电厂产生大量的流体、火山沉降物、火山产生的飞射物和地面变形等危害。新喷口可以是圆形的，或很长的裂隙。喷口通常在火山区域内形成火山群，或与大型火山系统密切相关，如盾状火山、复合火山和破火山口。在一些火山喷发过程中可形成多个新喷口。因此，对每一个能动火山或火山区进行危害评定时，应考虑到火山喷发导致或在此期间可能发生的火山现象，如火山碎屑、熔岩流、熔岩穹丘和火山碎屑流，这些火山现象既可能源自新喷口，也可能来自已有的喷口。在场址邻近新喷口裂开应被视为场址的排除标准（见表 1）。

6.34. 评价形成新喷口的可能性，需要了解该区域火山喷口的分布情况和年代。其他资料，如该区域的地球物理勘查，常被用来查明被随后的活动所掩埋或以其他方式被遮盖的喷口。此外，场址区域的地质和地球物理模式可提供有关喷口分布的地质控制的重要信息，例如喷口与断层或类似构造特征之间的关系。

### **确定性评定**

6.35. 对形成新喷口可能性的确定性评定应确定场址的筛选距离值，超过该距离，新喷口的形成认为是不可能的事件。在进行确定性分析时，还应考虑其他信息，如随着与现有火山区的距离增加，构造环境发生了重大变化。除了形成新喷口外，这种确定性分析还应考虑喷发产物可能从新喷口移动的距离。应合理考虑各种参数的不确定性。

### **概率评定**

6.36. 与新喷口形成有关的火山危害的现代分析通常包含概率方法。概率危害评定应估算空间概率密度函数，该函数描述该区域火山活动的空间或时空强度。其他的地质或地球物理信息也应在分析中纳入。除了形成新喷口外，概率分析还应考虑喷发产物可能从新喷口移动的距离。由此产生的危害曲线的不确定性应以置信区间表示，并应记录和说明置信区间的选择依据。

### **选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素**

6.37. 如表 1 所示，新喷口的裂开所产生的影响应被视为场址的排除标准之一，因为如果这些影响发生在场址邻近或直接影响场址，则无法通过适当的设计和运行措施缓解这些影响。无论确定性或概率评定，在判断新火山口裂开相关的场址适宜性时，还应考虑其他相关因素。该分析结果可以表示为在规定的时期内（例如每年）和在规定区域内（例如场址邻近）形成新喷口的概率。在其他火山现象的危害评定中，如熔岩流、火山产生的飞射物、火山灰沉降和岩涌，应考虑到形成新喷口的可能性。如果新喷口喷发，可能在场址周边发生大规模地面变形（例如数米）、火山地震活动和气体溢出。在许多火山喷发期间，新喷口的形成可能涉及蒸汽或蒸汽岩浆活动，通常极具爆炸性。在这种情况下，在水或浅层地下水系统中新喷口裂开，可能导致剧烈喷发，并且比以往的喷发产物更具有爆炸性。

## 火山产生的飞射物

6.38. 火山产生的飞射物可以与龙卷风携带的飞射物或飞机坠毁造成的影响相比较，火山产生大量潜在飞射物坠落在核电厂的可能性非常高。在喷口处，颗粒的速度在 50—300 米/秒范围内，移动距离是颗粒尺寸和空气阻力的函数，并在大喷发产生的冲击波后衰减。这些因素意味着，即使是大直径而致密的颗粒（例如直径为 1 米的颗粒）也可以从火山口移动数公里。对每座能动火山的危害，有必要对未来爆炸性喷发的来源、潜在规模和频率进行估计。火山产生的飞射物降落往往伴随着新喷口的形成。此外，当熔岩流或火山碎屑流进入水体，通常会发生飞射物降落，并产生次级（无根）喷口。飞射物降落会中断核电厂的正常运行，并可能导致核电厂的结建筑物破坏。虽然在某些情况下，通过设计保护措施来应对事件的影响。但，这些现象通常应被视为该场址的排除标准。

### 确定性评定

6.39. 确定性方法应当利用类似火山以往喷发时产生的飞射物的最大距离和最大尺寸等信息，确定火山产生的飞射物能够达到的最大距离和最大尺寸的阈值。飞射物入射模式也可用来确定作为出口速度、粒子密度、入射角和风场参数的函数的筛选距离值。该分析应考虑核电厂与喷口之间的地形屏障的影响以及从次级喷口发射飞射物的可能性。应合理考虑各种参数的不确定性。

### 概率评定

6.40. 概率方法应考虑对场址所在火山的飞射物轨迹进行数值模拟。在这种分析中，应考虑到爆炸压力、颗粒密度、出射角和有关参数的变化，对每座能动火山的轨迹进行随机分析，通过该模式可得到颗粒累积的频率分布，通常以危害曲线的形式呈现。危害曲线的不确定性应以置信区间表示，并应记录和说明置信区间的选择依据。

### 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.41. 如表 1 所示，一般而言，火山产生的飞射物的影响原则上应被视为该场址的排除标准之一。然而，在某些情况下，可通过场址和电厂的布置、设计、运行和场址保护措施来应对其影响。无论确定性或概率评定，在得出

设计基准数据和对火山产生的飞射物的场址适用性作出判断时，还应考虑若干其他因素。在分析中可以结合概率方法和确定性方法。例如，这种综合分析的结果可以表示为，规定筛选距离以外的潜在影响的概率。火山产生飞射物的可能性应被视为新喷口裂开的危害评定的一部分，以及与火山灰沉降有关的影响。由于飞射物碎片通常是炽热的，因此应考虑它们在核电厂内或周围引发火灾的可能性。分析结果应与类似外部危害的分析结果一致，如人为引起事件或极端气象现象产生的飞射物（参见参考文献[2、5]）。

## 火山气体

6.42. 火山喷发时，可能会释放大量的火山气体。即使在非喷发活动期间，它们也可从某些火山的火山口释放出来，并可通过土壤和沿着火山上和火山邻近的裂隙系统扩散。大量的熔岩流也是火山气体的重要来源。火山气体的不良影响包括窒息、毒性和腐蚀，并通常与火山气体的酸凝结、干沉积和重酸负载相关。火山气体对机械系统和人员的影响应通过适当的设计和运行措施来应对，并在推导设计基准时加以考虑。

6.43. 对火山气体造成的危害估计取决于对火山系统中此类气体潜在流量的准确估计，以及用于模拟大气中气体扩散、流动和聚集的气象和地形数据的准确性。

### 确定性评定

6.44. 确定性方法应考虑通过采用从类似火山收集的信息或在能动火山进行的气体浓度测量，确定潜在火山气体源与场址之间的偏移距离。或者，假设能动火山结果出现排气，确定性方法可以用大气扩散模式来估计这种排气的影响，并为火山气体质量流量假定一个守恒值。该模式应提供该场址可能出现的极端气体浓度和酸负载等方面的参考。应合理考虑各种参数的不确定性。

### 概率评定

6.45. 概率方法应考虑火山质量流量的预期变化，包括在其他静止火山处脉动排气的可能性，以及场址气象条件的可变性。这些概率分布应作为气体扩散模式的输入，以估计酸负载和相关因素。由此产生的危害曲线的不确定性应以置信区间表示，并应记录和说明置信区间的选择依据。

## 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.46. 如表 1 所示，火山气体的影响不应视为该场址的排除标准，因为这些影响可以通过适当的设计和运行措施来缓解。无论确定性或概率评定，在推导设计基准和判定火山气体相关的场址适宜性作出判断时，应考虑其他几个因素。该分析结果一般用于火山气体预期大气浓度和场址周边地区预期的干沉降。该分析应考虑到火山喷口和喷发烟羽直接排气以及喷发产物通过地面、热液系统和火山口湖泊间接非能动排气所造成的危害。分析还应考虑对充入气体（如二氧化碳、甲烷）的水体（如火山口或断层湖）或对场址造成影响的热液系统等灾难性排气进行评价。

## 海啸和假潮

6.47. 在喷发期间，大量的岩石可突然进入大面积水域。此外，火山斜坡会变得不稳定或在没有预警或喷发活动的情况下突然崩塌。水下火山喷发还排出大量从斜坡崩塌和火山气体等产生的水，应在场址特定危害评定中加以考虑。对于沿海场址，或邻近大面积水域的场址，如湖泊和水库，应在场址评价中考虑海啸和假潮危害（见参考文献[5]）。然而，要全面评定火山海啸的可能性和来源特征，必须具有专业知识。火山诱发海啸和假潮的影响与地震诱发海啸和假潮的影响相同。海啸和假潮导致的淹没有可能中断正常运行并破坏核电厂。因此，在场址评价和设计中都需要考虑海啸和假潮的危害。

6.48. 目前，海啸和假潮危害的评价采用确定性数值模式，应考虑潜在震源的位置、质量流量和速率、水的来源和特征以及基于特定位置水深测量数据的波浪传播特征[5]。对于位于可能受火山引发的海啸或假潮影响的区域的场址，作为海啸源潜在分布分析的一部分内容，应考虑火山喷发或不稳定的火山斜坡导致的大量岩石进入水体的可能性。

## 大气现象

6.49. 爆炸性火山喷发可产生具有潜在危害特性的大气现象。空气冲击产生的超压通常可延伸至火山物质飞射范围外的数公里。产生火山灰柱和烟

羽的喷发一般伴有频繁的闪电现象，有时还伴有强烈的下击暴流风。在确定核电厂的设计基准时应考虑这种大气现象。

6.50. 因为爆炸性火山喷发可能导致罕见的大气现象，如参考文献[5]所述。在危害评定中，应考虑使用确定性方法来模拟与潜在火山喷发有关的每一大气现象的最大危害。

6.51. 在危害评定中考虑空气冲击时，火山可被视为固定的爆炸源[2]。参考文献[2]中描述的对于固定爆炸源危害分析通常适用于爆炸性火山喷发引起的空气冲击分析。对空气冲击的分析应侧重于确定火山源的潜在最大爆炸，冲击波衰减与震源距离使用一种简化关系。

6.52. 火山引起的闪电与其他气象现象引起的闪电具有相同的危害特征，但是前一种现象经常伴随火山喷发所形成的火山灰柱。闪电击中地表的可能性很高，可能超过极端气象条件下导致的闪电击中率[5]。鉴于爆炸性火山喷发过程中火山引起的雷击的确定性危害评定应考虑采用罕见大气现象危害评定的筛选标准[5]，同时考虑到在爆炸性喷发期间有可能发生大量闪电从火山灰柱击向地面。

## 地面变形

6.53. 地面变形通常发生在火山活动之前、期间和之后。与地面变形有关的危害有多种形式。现有能动火山出现地面变形时，与岩浆侵入有关的地面变形可产生间接影响，如滑坡、碎屑流或相关现象、以及火山气体流动的可能性增加。地面变形也伴随着新火山喷口的裂开。地面变形的量级差别很大，距离火山很远的地方（例如超过 10 公里）垂直位移仅有数毫米，而一些火山中心邻近（例如，新喷口裂开或“无静止”的破火山口）的位移却有数米。因此，场址位置的最大潜在变形与新喷口的裂开有关。所以，与较远的能动火山有关的火山变形可纳入核电厂的设计基准。场址邻近区域（场址邻近约 5 公里）变形可能超过大多数设计基准，因此，应将大型火山变形的视为场址的一项排除标准。

6.54. 应根据位移估计地面变形的潜在量级，并将其结果叠加到地形图或数字高程模式上，以评价滑坡等次生影响的可能性。

## 确定性评定

6.55. 在确定性评定中，应推导出可反映场址地面变形最大潜在量级的阈值。可利用直接观察到变形的类似火山信息和地面变形模式中获得的信息来估算该阈值，地面变形模式应考虑具有各种几何形状和各种岩石力学性质的岩浆体的运动和增压。应合理考虑各种参数的不确定性。

## 概率评定

6.56. 潜在地面变形的概率评定可以简单采用模式估算的地面变形的量级与这种事件的可能性和侵入体的系列潜在几何形状联系起来。与确定性方法一样，地面变形模式应考虑不同几何形状和不同岩石力学性质的岩浆体的运动和增压作用。概率分析可以通过使用已观测到地表变形的类似火山的信息来提高精度。

## 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.57. 如表 1 所示，地面变形影响应被视为场址的排除标准之一，因为如果场址邻近出现地面变形或地面变形直接影响场址，无法通过适当的设计和运行措施来缓解这些影响。无论确定性或概率评定，该分析的结果应包括因火山活动，包括新喷口的裂开而导致场址发生地面位移的可能性评定。但是，地面变形分析最重要的方面应该是将该分析与其他火山现象的可能性分析相结合。尤其应评价滑坡和火山碎屑崩落源区的地面变形可能性，因为滑坡和火山碎屑崩落源区地面变形可能会极大地改变这些流体（即滑坡和碎屑崩塌）的可能流量，并进而改变其到达核电厂场址的可能性。火山活动或岩浆侵入可能改变地下水流动模式或引起地下水位波动。在洪水危害评定时应考虑到与此类变化相关的潜在危害[5]。

## 火山地震及相关危害

6.58. 火山地震和相关危害通常是由于岩浆上升至地表导致应力和应变变化而引起的。火山—地震活动的特征可能与构造地震特征明显不同。火山地震可能足够剧烈或频繁（每天几百到几千次），共同构成潜在危害。因此，应考虑对特定的火山—地震危害进行评定，并在适当时，采用与参考文献[4]所列方法类似方法进行评定。

## 确定性评定

6.59. 按照构造地震（即地壳运动产生的地震）的危害评定方法，评定火山地震地面运动的确定性方法应综合考虑这些要素，包括确定火山地震活动的震级、震源深度以及在场址产生最大地面运动位置与场址的距离，同时考虑场址当地的条件。（必须证明火山—地震源构造不能被视为会产生地表位移的能动断层（见参考文献[4]第 8 部分），应推导火山—构造地震的恰当关系，以获取地面运动替代参数，如地面峰值加速度、震动持续时间或频谱成分。（火山—构造地震的特定地面振动特征可能与参考文献[4]所考虑的不同，但应采用同样的原则。）并应合理考虑各种参数的不确定性。

## 概率评定

6.60. 对一个场址的火山—地震危害的概率评定应遵循与参考文献[4]所列原则类似。应考虑到参数的不确定性和其他解释。应用概率法包括以下步骤：

- (a) 火山—地震震源模式的建立和参数化，包括震源位置的不确定性；
- (b) 评价所有此类震源的活动震级—频率分布以及不确定性；
- (c) 估计场址区域地面运动衰减及其随机变异性。

通过这些步骤，应从以下方面表示地面运动危害的概率计算结果：针对水平和垂直地面运动的不同水平相关地面运动参数（如地面峰值加速度、反应区间、加速度反应谱）的年超越频率值。

## 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.61. 如表 1 所示，火山地震产生的影响不视为该场址的排除标准之一，因为这些影响可以通过适当的设计和运行措施来缓解。在许多情况下，如果靠近能动火山的场址也位于因处在构造断层和断裂带而面临重大地震危害区域，而且可以证明，该场址的火山地震危害远远低于那些与其他地震活动源相关的地震危害。火山活动的发生可能改变地震活动的区域格局。例如，火山活动可能导致沿区域构造断层的孔隙流体压力上升。如果该分析未显示出明显差异时，应进行确定性或概率火山地震危害评定。

6.62. 火山—地震活动可导致边坡破坏的可能性增加，且可能改变建筑物的负载（例如随着火山灰沉降负载增加）。应考虑和评价这些影响对设计基准和场址评价的潜在影响。

## 热液系统与地下水异常

6.63. 热液系统可产生蒸汽爆炸，将岩石碎片喷出数公里远，并可形成直径数百米的坑，并形成新喷口。热液系统也会使岩石变成粘土和其他矿物，通常导致地面不稳定，极易引发滑坡。由于这些因素的影响，能否为位于活跃热液系统中的核电厂推导设计基准尚存疑。因此，热液系统的出现和形成这种系统的可能性应被视为该场址的一项排除标准，虽然在某些情况下，可通过在场址采取保护措施来应对其影响。由于能动火山源导致的热液系统活跃和地下水扰动可导致产生某些条件，从而引起火山泥流、地面下沉和斜坡失稳。

6.64. 在评价热液系统的发展和潜在影响时应考虑的因素包括：

- (a) 与能动火山有关的活跃热液系统的水平范围和性质；
- (b) 可能产生热液系统的地下水循环模式；
- (c) 可能影响热液系统位置和发展的一些特征（如断层）的分布。

## 确定性评定

6.65. 确定性评定应确定一个与现有热液系统的距离阈值，超过该阈值，热液系统将不会扩展，并且形成新热液系统发展的可能性也会很小。确定该阈值应考虑到每座能动火山热液系统的水平范围和性质、类似火山热液系统的水平范围以及场址和周围区域的水文地质条件。应合理考虑各种参数的不确定性。

## 概率评定

6.66. 概率评定应考虑在特定地质背景下构建热液系统的数值模式，给出每座能动火山的火山活动变化和伴随的新喷口裂开情况。可以通过类似火山的数据来改进这些概率模式。概率模式的结果应该是在场址形成热液系统的可能性，给出与火山热状态和控制水文地质系统中流动和运移的特性有关的系列输入参数。

## 选址、场址评价和制定设计基准应考虑的因素

6.67. 如表 1 所示，原则上应将火山热液系统发展的影响视为场址的排除标准之一。然而，在某些情况下，由于可通过在场址和电厂布置设计、运行或场址保护等措施应对这些影响，因此应确定适当的设计基准。目前，大多数热液系统内特定场址发生蒸汽爆炸的可能性很难确定。与特定现象有关的危害，如蒸汽爆炸期间形成的喷气孔或新喷口裂开，远不如明确考虑热液系统本身的形成和水平范围重要。应评价地下水异常对发生火山泥流、泥石流、地面塌陷和斜坡失稳的潜在影响，并作为这些现象分析的一部分。

## 全面的火山危害模式

6.68. 应建立一个全面的、场址特定的火山危害模式，为相关决策提供场址适宜性和核电厂的设计基准等信息。在作决策时，应对对核电厂安全（包括核电厂运行的可用性）潜在影响，考虑未来火山活动的可能性及其潜在影响。

6.69. 一个全面的、场址特定火山危害模式涉及到很多复杂的相互作用现象。建立这种模式需要火山专家的协助，最好是通过一个旨在考虑与场址火山危害相关所有专家判断的正式程序。此外，应对技术依据和危害模式应用进行外部同行评审，以增加评定中模式和数据范围的可靠性。

6.70. 火山活动可引起多种危害现象（例如火山灰负载和地震负载）。火山危害可能是该区域其他危害的起因（例如，火山产生的地震可能造成滑坡，从而影响水坝或当地河道）。这些危害组合则会增大核电厂的风险，即使每个危害产生的单一风险相对较小。因此，全面的火山危害模式应考虑到火山现象的组合影响。

6.71. 非火山事件，如区域地震或热带风暴，可引发火山危害现象发生。全面的火山危害模式应考虑到这些与非喷发活动相关的危害的可能性。另外，与许多外部危害相比，火山活动可能持续时间更长，并影响核电厂周围更大的区域。例如，爆炸性火山喷发后，某一区域的碎屑流可能会持续数年。虽然这种碎屑流不会直接损害核电厂，但对周边区域的居民和基础设施造成广泛或破坏性影响，也可能导致核电厂无法正常运行。

## 7. 核电厂以外的核装置

7.1. 本部分为核电厂外的各种核装置的火山危害评定提供指导。本“安全导则”涉及参考文献[8]中所定义的范围更为广泛的核装置：陆上固定式核电厂、研究堆、核燃料制造厂、浓缩厂、后处理装置和乏燃料贮存装置。

7.2. 为了进行火山危害评定，应根据这些装置的复杂性、潜在的辐射危害和由于存在其他材料造成的危害进行分级，并按照相应等级进行火山危害评定。

7.3. 在采用该分级方法对某一装置进行分类之前，应采用保守的筛选过程，假定该装置所释放的全部放射性物质，是由火山引发的事故造成的。如果这种放射性释放不会对工作人员或公众造成不可接受的后果（即，如果该放射性物质的释放导致工作人员或公众吸收的剂量低于监管机构规定的授权剂量限值），或不会对环境造成不可接受的后果，且监管机构没有对这种装置提出其他具体要求，则无需对该装置进行进一步的火山危害评定。

7.4. 如果保守筛选过程的结果表明，这种释放的潜在后果是“严重的”，则应按照 7.5—7.14 段所述步骤进行火山危害评定和核装置安全评定。

7.5. 火山事件造成辐射后果的可能性大小，取决于核装置的具体特征（例如其建造目的、总平面布置、设计、建造和运行）以及火山事件本身的自然特性。这些特征应包括以下因素：

- (a) 场址放射性物质的数量、种类和状态（例如，固体还是液体，经过处置的还是暂存的）；
- (b) 与在装置中发生的物理过程（如达到临界状态）和化学过程有关的内在危害（如适用）；
- (c) 核装置的热能（如适用）；
- (d) 不同类型活动的建造配置；
- (e) 核装置内的放射源浓度（例如，对研究堆而言，大多数放射性物质位于反应堆堆芯和燃料贮存池内，而在燃料制造和贮存装置中，这些放射源可能分布在整个装置中）；
- (f) 为实验工作而设计的装置，其配置和布局的变化（这类活动具有相关的内在不可预测性）；

- (g) 需要有能动安全系统和/或运行人员行动，以防止事故和缓解事故后果；
- (h) 为预防事故和缓解事故后果而设计的安全装置（例如安全壳和安全壳系统）的特性；
- (i) 在发生事故时可能显示陡边效应<sup>7</sup>的工艺或工程特征；
- (j) 与放射性物质向大气层和水圈扩散的后果有关的场址特征（如面积、该区域的人口结构）；
- (k) 火山事件造成场内和场外污染的可能性。

7.6. 应按照本“安全导则”中所描述的程序对场址进行火山危害评定。

7.7. 虽然大多数核装置位于地表场址，但有些核装置可能位于地表以下。大多数地表火山作用（如熔岩流）产生的危害对地下装置的安全性影响十分有限。来自火山的流动可能会影响与此类地下装置相关的通风和水循环系统。在地下装置的火山危害评定中，主要关注的是岩浆的直接侵入或伴随新的火山口开放导致的其他火山作用，包括火山气体的排放、地面变形、火山地震和地热流体的循环等。如果有可能通过地下装置形成火山喷发的通道，则在地下装置的火山危害的分析时，可能需要考虑到放射性物质通过火山活动（如火山灰沉降和熔岩流动）向生物圈的迁移和释放。

7.8. 根据监管机构使用的标准，应考虑上述所提及的部分或全部因素。例如，燃料损坏、放射性释放或剂量都有可能成为监管机构感兴趣的条件或指标。

7.9. 分级过程应基于以下信息：

- (a) 应作为主要信息来源的现有装置安全分析报告（如可获取）；
- (b) 火山全面危害评定结果（（第 1—4 阶段），若执行了该项评定）；
- (c) 第 7.5 段指出的核装置的特性。

---

<sup>7</sup> 核装置中陡边效应是由于在系统参数小偏差之后从一个系统状态突然转变到另一个系统状态而引起的严重异常系统行为的实例，且因此响应于输入中的小变化而突然大的系统条件变化。

7.10. 对装置进行等级划分可得出其分类，该等级划分可在设计阶段或稍后进行。如果已执行了此分级，则应对分级所采用的假设条件及由此产生的分类结果进行评审及核实。一般而言，应根据装置中所含放射性物质释放的放射性后果确定分类标准，从极低的辐射后果到潜在严重辐射后果不等。或者，也可以按照装置内部辐射后果、核装置场址边界以内的辐射后果、场址以外对公众及环境的辐射后果来界定分类范围。

7.11. 作为这种装置分级程序的划分结果，按照国内实践和标准，装置类别可分为三种或多种（见第 7.10 段）。例如，该类别可按以下方式定义。

- (a) 最低危害类别，包括至少应采用国家常规装置（如医院等基础设施）或危害装置（如石油化工厂或化学工厂）建筑规范的核装置。
- (b) 最高危害类别，包括采用核电厂标准与规范的核装置。
- (c) 通常至少有一个中间危害类别，最低限度也要执行危害装置专有规范。

7.12. 应使用以下导则进行火山危害评定：

- (a) 对于最低危害等级的装置，应使用国家火山危害图或类似的特定火山危害评定资料对其进行火山危害评定。
- (b) 对于最高危害等级的装置，应采用本“安全导则”前几部分所述的火山危害评定方法（即适用于核电厂的建议）。
- (c) 对于归类为中间危害类别的装置，通常使用与本“安全导则”所述方法类似的方法进行火山危害评定，但在确定性分析中，对于此类装置的选址、评价和设计而言，采用较高概率的火山事件或较高活动阈值进行评价是可以接受的。对于中间危害类别的此类装置，如果发现本“安全导则”中推荐的数据库和方法过于复杂，耗时且对所涉及的核装置的工作要求很高，则采用简化方法可能是适当的。这种分析可参考国家或类似的区域火山喷发数据库（见附件 II），且简化的假设条件可以用于评价影响场址的特定火山现象的可能性。

7.13. 除非国家法规另有规定，对属于最低危害类别的核装置应以适用于该场址的现有火山危害图为基础，进行火山危害评价，评价包括火山活动的速率、活动特征以及场址区域的地形等因素。如果没有此类火山危害图，则应根据国家火山危害评定标准标准，编制此类危害图，并将其应用于场址评价。

7.14. 关于监控有关地理区域能动火山的建议（见第 3.9 段和第 4.36 段）的适用性应与第 7.11 段所界定装置的分类类别相对应。

## 8. 监控和响应准备

8.1. 参考文献[1]第 5.1 段指出，在核装置的整个寿期内，应对与核装置有关的自然灾害、人为诱发危害的特征，以及人口、气象和水文条件加以监控。由于能动火山是自然诱发的危害，如果建造的核装置与能动火山有关联，该火山可能产生对核装置产生有害的现象，则在设计或考虑场址保护措施时，应在核装置的整个寿期内对该火山进行监控。因此，如果在场址适宜性评价阶段没有制定火山监控计划，则应在开始建造装置之前制定监控计划，并应在整个运行阶段对其进行维护和更新。

8.2. 由于火山危害可能来自于超出装置边界以外的遥远地区，因此应与负责火山观察和监控工作的相关国家和国际机构合作进行监控。由于国家和国际火山观测站的主要任务是监控火山活动并在国家范围内缓解火山灾情，因此可能存在这些机构目前并未对能动火山进行监控、或者对其监控的力度远远不够的情况。因此，所有相关方（如营运组织、监管机构及其他政府部门）均应与这些火山观测站合作，按照能动火山的性质及其对核装置产生的危害来实现适当水平的监控。如果未建立火山观测站，则有必要建立此类观测站，并作为要求执行的监控计划的一部分。

8.3. 在场址特征评价阶段（参见第 4 部分）开展的一些数据收集活动可能包括对潜在能动火山活动的目前状态所进行的评定。由于执行评定的人员可能来自火山观测站，且监控能动火山所需的仪器仪表在本阶段均已就位，因此应制定一项最可行的充分利用这些人员和设施的监控计划。参与早期场址特征评价的观测站人员可以协助开发一项合适的能动火山监控计划。

8.4. 制定核装置应急计划应考虑关于如何将火山监控计划的结果与警报应用于应急响应。应制定详细的程序，以对监控系统探测到的火山危害的潜在变化予以响应。大多数火山系统显示，喷发前的火山扰动指标会出现系统性增加，从而可以开发并使用不同级别的警戒等级。世界上大多数火山观测站都根据监控系统提供的信息建立了警戒等级。应急计划中的响应等级应根据火山观测站确定的警戒等级来确定。应与火山观测站的相关代表合作，共同开发应急计划，以确保对火山活动期间提供的警报信息作出适当响应。

## 9. 火山危害评定管理系统

9.1. 应建立和实施一套包括质量保证方案[9、10]在内的适当的管理系统，以涵盖本“安全导则”范围中所述数据收集、数据处理和解释、现场和实验室调查、数值模拟和技术评价等所有相关活动。在危害评定的每一个步骤，都应提供文件来支持评定结果。

9.2. 鉴于火山危害评定的复杂性，应由同行评审小组进行独立的同行评审。同行评审员不应参与火山危害评定的其他方面，也不应从评定结果中获取既得利益。同行评审的级别和类型可能因火山危害的性质而异。同行评审应涉及火山危害评定的所有部分，包括火山危害评定进程、所有技术要素（如火山能动性的确定、地质和地球物理调查、评价过去的火山活动速率）、用于火山危害评定的方法（如数值模式）以及量化和文件编制。同行评审小组应具备必要的多学科专业技能，以应对该研究的所有技术和程序方面的问题。

9.3. 同行评审旨在确保按照适当的程序进行火山危害评定，分析处理并评价了认识上的不确定性，文件是完整和可追溯的。

9.4. 可使用两种同行评审方法：(i) 参与性同行评审；和 (ii) 后期同行评审和后续同行评审。在研究过程中进行了参与性同行评审，使评审员能够在开展火山危害评定和出现技术问题时能提出解决意见。“后期和后续同行评审在研究临近结束时进行。进行参与式同行评审会降低在后期放弃该项研究的可能性。

## 附 录

### 火山现象类型的描述

I.1. 本附录简要描述了各种火山现象的物理特征，并指出了与各种现象有关的代表性参数的数量级。然而，全面的火山危害评定应量化某一特定场址的具体参数值。关于以下各段中使用的火山术语的更多信息，详见定义清单。

#### 火山灰沉降

I.2. 火山灰、浮石和熔岩渣等火山碎屑物质通过爆炸喷发上升到几公里至几十公里的高度（通常小于海平面以上 40 公里）后，就会下落和沉积。这种物质是通过风在大气中传输的。火山喷发产生的火山灰体积变化千差万别，但一次爆炸式的火山喷发释放的总质量通常超过  $10^{11}$  千克（约  $10^8$  立方米火山碎屑）。火山碎屑在降落时通常达到一个恒定的速度（所谓的终端速度），该速度取决于降落颗粒的大小、形状和密度、空气密度和空气粘度。火山沉积物的分布受风速和风向以及喷发柱的性质控制。单位面积火山灰的沉积厚度和质量，随着离火山距离的增大，呈指数级减小。因此，火山灰沉降可能降落在距离喷发口超过 100 公里的地方，单位面积沉积物质量可从远离喷发口小于 10 千克/平方米到接近喷口大于 1000 千克/平方米不等。潮湿时，火山灰沉降负载可能会增加一倍以上。颗粒的大小可以从微米级到分米级不等，平均颗粒大小随着距离火山的距离增大而减小。普林尼式火山喷发会产生大量的沉降碎屑物。武尔卡诺式和斯特朗博利式火山喷发也会产生沉降碎屑物。火山灰沉降在所有类型的火山喷发中都很常见，但大量的火山灰沉降通常与破火山口式喷发和复合型火山喷发有关。

#### 火山碎屑流、岩涌和岩崩

I.3. 火山碎屑流是岩石碎片、火山气体和空气的高温混合物，它们以高速沿斜坡流动。这些流体的形成原因有：火山喷发口的重力崩塌、厚喷发柱喷口边缘“沸溢”或穹顶和粘性熔岩流前端的崩塌。火山碎屑流的流速可达 10—100 米/秒。温度可以从高至接近初始岩浆的温度（在许多情况下约为  $1000^{\circ}\text{C}$ ）到低至环境温度，这取决于与空气的混合程度。受重力作用的影响，火山碎屑流沿斜坡发生快速流动。流体的高速迁移表明流体的内部阻力很

低。火山碎屑流可能具有足够的势能以脱离河道束缚并跨越地形障碍，迅速到达距火山数十公里的地方，具体流动距离取决于喷发量和流体厚度。火山碎屑流产生的动压可能超过 100 千帕，单股流体沉积物的厚度可能从几毫米到几十米不等。这些流体携带的飞射物可能对某些结构造成重大损害。

1.4. 火山碎屑的涌、气流是一种稀薄的气固悬浮体，以高速流过地表，受地形的影响比火山碎屑流小。据估计，火山碎屑涌流的密度在 1—6 千克/立方米之间。火山碎屑涌流可分为三种类型：(i) 基底涌流；(ii) 灰云涌流；和 (iii) 地表涌流。当火山初始喷发始于喷发柱的底部，通常会形成基底涌流。基底涌流的流动距离通常不超过源头 10 公里。地表涌流通常形成于火山碎屑流的底部。当喷发柱既不通过对流使喷发物质向上漂浮，也不塌陷时，就会形成灰云涌流。<sup>8</sup> 这类沉积物可以在火山碎屑流形成之前、之后和期间形成。底部浪流通常含有水和/或蒸汽，其温度在水的沸点或低于水的沸点。因此，底部涌流可从火山口向周边扩散至 10 公里以外。地表涌流的形成与火山碎屑流的形成过程相同，且通常早于火山碎屑流的形成。地表涌流具有火山碎屑流的许多特征，但其更稀薄，体积更小，通常留下的沉积物也更薄。当浅层地下水或地表水与岩浆相互作用，发生岩浆水气的爆炸，产生基底涌流。火山喷发是一种与火山灰云有关的定向压力波。岩涌和岩崩造成各种危害，包括岩石碎块的掩埋和撞击。热火山碎屑涌流还会带来了几个额外的危害，包括焚烧、中毒和窒息。火山碎屑流、涌、气流能够在水体行进数十公里。在某些情况下，浓稠的火山碎屑流进入水中可能引发海啸。

1.5. 火山碎屑流、岩涌和岩崩通常与喷发式火山活动相关，例如破火山口和复合型火山的武尔卡诺式和普林尼式喷发。然而，所有类型的火山，包括单成因凝灰岩环和火山渣锥，都可能是这种活动的场所。

## 熔岩流和穹丘

1.6. 熔岩流由重力驱动，并沿着地表水系流动。熔岩流是粘性的、稠密的（约 2000 千克/立方米）流体，通常表面有半固体外壳，以小于 1 米/秒至约 20 米/秒（极端情况下）的速度流动。熔岩流的形态和速度取决于粘度、喷发速率、温度、成分、喷口几何形状和地形。厚厚的熔岩流可以淹没和改变地形。熔岩流可流动至喷口几十公里以外的地方，个别情况下甚至可达几百

---

<sup>8</sup> <http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/hazards/primer/images/volc-images/basesurge.jpg>

公里，厚度从不足 1 米到超过 100 米不等。熔岩流的温度范围为 1200°C 至 800°C 或更低。熔岩可能从主火山主管道喷发，或从位于距离主喷口位置达几十公里的火山两翼上的多个喷口喷出。熔岩流通常淹没的区域为 0.1—1000 平方公里。有时单一喷口的喷溢活动可能持续几年。

1.7. 根据其性质，熔岩流可以通过垂直扩张形成新的地形，使岩熔流能够侵入最初与岩浆源不相连的新区域。低粘度熔岩流过茂密的植被可能会引燃植被，并因封闭的二氧化碳和甲烷气体而引发爆炸。当熔岩流进入水体或大海时，可能发生爆炸活动和脱气。冰雪覆盖下的熔岩喷发会导致大规模的洪水，就像在冰岛（jökulhlaups）那样。

1.8. 粘性熔岩的喷出可持续数天、数年甚至数十年，导致形成与排气（二氧化硫、二氧化碳、水、盐酸、氢氟酸）有关的熔岩穹丘，这可能对环境产生重大影响。粘性熔岩的喷出通常因熔岩穹丘和熔岩流发生重力坍塌和爆炸式分解而产生大量火山碎屑物。这些物质堆积在火山底部和火山体上，喷发停止后数至数十年后，可能再次移动（即火山泥石流）。频繁反复的岩浆侵入（例如，那些流入多年熔岩流的岩浆）也会促使形成可活跃数年、数十年、甚至数世纪的热液系统。热液系统的动力将在某种程度上控制岩浆上升的过程及喷发模式，进而导致山体的蚀变部分的斜坡失稳。

### **碎屑崩落、滑坡和边坡破坏**

1.9. 陡峭的火山体，如火山穹隆和复合型火山，可能会因岩石蚀变、火山喷发、地面变形和侵蚀变得不稳定。斜坡局部或完全破坏可产生夹杂气体的高速流动的碎屑崩落，崩落物直径数厘米至数十米不等。直径很大的单一块体可因其动能会造成重大破坏。因此，碎屑崩落物的运动模式与火山碎屑流的运动模式相似，都是在重力作用下沿坡体加速流动的液态流体（高达 50—70 米/秒）。复合型火山的碎屑崩落物体积可能超过 10 立方千米，这些崩落的沉积物可能从火山延伸至 100 公里以外。有时火山崩落物的温度很高（高达 100°C）。虽然规模没有碎屑崩落物那么大，但火成侵入、地震或暴雨触发的火山体的不稳定斜坡的滑脱和崩塌可能导致滑坡和其他类型的斜坡突然破坏。山体崩塌可能触发热液爆炸或引发火山喷发，包括侧向爆炸。这些块体运动可能产生足以堵塞江河流域的崩塌物。在有些情况下，碎屑崩落和滑坡流入水域可能引发海啸。

I.10. 如上所述，在陡峭的地形上，碎屑崩落、滑坡和斜坡破坏是常见的。然而，在海洋环境中，盾状火山发生过大规模的碎屑崩落（100—1000 立方千米），并引发海啸长期休眠的火山也会发生这些现象。

### **碎屑流、泥流和洪水**

I.11. 火山碎屑流和泥流是由直径为  $10^{-6}$  米至  $10^2$  米的火山岩碎块与不同比例的水以及其他岩石、土壤和植被混合而成。有时火山碎屑流温度很高（高达  $100^{\circ}\text{C}$ ）。它们不仅包括含有很多沿着陡峭斜坡跌落的巨大块石的流体，还包括席卷火山底部广阔区域顺河道而下的泥流。碎屑流和泥流可成为负载大量悬浮泥沙和粘土颗粒的湍流。这些流动可能发生在火山活动的任何阶段，包括喷发的早期阶段。伴随着多次爆炸式火山喷发，席卷整个区域的碎屑流可持续数十年。其流速可达 10—50 米/秒，冰下火山浊流喷出率可达  $10^5$  立方米/秒。大规模碎屑流和泥流的移动距离可达到 150 公里或以上，体积超过  $10^7$  立方米（碎屑崩落物转变成的冰下火山浊流、碎屑流和泥流达几千立方千米）。碎屑流可能越过地形障碍，尤其是火山体底部附近的障碍。

I.12. 洪水可能与火山活动有关。这些可能是多种复杂过程的结果。例如，洪水可能由以下原因造成：火山口湖的灾难性排水、火山浊流（冰川下的熔岩喷发产生的洪水）的形成、火山岩碎屑崩落物和大量流体沉积物形成的临时水坝的破坏以及这些流体进入现有水体等。

I.13. 碎屑流和相关现象在复合型火山是很常见，有时在火山喷发停止多年之后仍有发生。除特殊情况以外，其他类型的火山很少出现此类流体。例如，众所周知，河流在有地形限制的地方被堵塞，并在单成火山的火山碎屑喷发后引发洪水。如果来自火山的物质使附近低地的河道容量变小，爆炸式喷发后这些地区也通常会出现洪水。

### **新喷口的裂开**

I.14. 当岩浆沿着一条新路径穿过地壳上升时，就会形成一个新喷口，导致熔岩在一个新位置喷发。新火山可能形成于距前几次喷发场址数十公里以外的地方。新喷口可能沿长达数公里的裂隙带启动，但通常当喷发持续时，喷发活动会集中在局部范围内，并形成火山碎屑锥，如火山渣锥、熔岩穹丘、喷发裂隙和类似构造。当熔岩或火山碎屑流进入水体时，可能形成次级喷口。这些喷口有时被称为无根喷口。这些新喷口的喷发可能持续几个小时到

几个月，或者喷发可能在几十年中零星地发生，喷发活动的间隔很大。在与较大的火山构造有关的地方，如盾状火山和破火山口，新喷口往往沿断裂带或火山上的其他主要构造形成。新喷口也形成于火山区，由数十到数百个单独的火山组成，这些火山与较大的火山构造无关。这些喷口可能是大量火山碎屑沉降物和熔岩流的源头。非火山现象（如所谓的泥火山）的出现也被视为与新喷口的开启类似。泥火山是岩石颗粒与水和气体（通常是甲烷）的悬浮液喷发形成的。它们的半径可能超过 100 米，高度可能超过 20 米。虽然它们可能出现在火山地区，但它们更多地出现在下伏粘土质—砂质基岩非火山区域。泥火山的形成是由于地下流体压力过大，通常还伴有轻微的温度升高，可能会导致岩层破裂并变为流体状态。泥火山中的气体可能含有大量甲烷，与空气接触后可能易燃。持续多年的泥火山喷发，会产生大量长时间流动的泥浆。与泥火山有关的土壤流态化和泥流可能会导致与地表稳定性有关的潜在危害（见参考文献[6]）。本“安全导则”中没有具体涉及泥火山现象，不能用本“安全导则”中规定的确定火山潜能和相关火山危害的标准来评价泥火山。然而，目前在评价新火山喷口打开的可能性和确定火山泥流特征方面所使用的一些方法，可用于泥火山的危害评定。

## 火山产生的飞射物

I.15. 火山岩块、火山弹和其他固体碎片等飞射物的喷射是由火山口、穹丘或喷口内部发生的爆炸引起的。这些物体由高压气体推动，在重力作用下沿轨道飞行。飞射物的速度可达 300 米/秒以上，最大水平飞行距离可达 5 公里。由于受到的阻力的影响减小，大火山岩块或火山弹会比预期投射得更远。如果其尺寸足够小时，空气的摩擦力会使它们减速，从而影响它们的飞行轨迹。直径大于 1 米的火山飞射物通常不会受到阻力的显著影响。

I.16. 火山产生的飞射物可能与各种各样的喷发有关，但特别值得注意的是斯特朗博利式和武尔卡诺式喷发的产物，因此与复合型火山和盾状火山及单成火山喷发有关。飞射物的喷射几乎总是伴随着与熔岩流和火山碎屑流相关的新喷口和次级喷口的裂开。

## 火山气体

I.17. 火山气体是火山排放物质总量的很大一部分。从火山喷口、喷气孔、硫质喷气孔（Solfataras）、二氧化碳喷气孔（Mofettes）和热液系统喷出的气体可能非常活跃，且会对对人类和财产造成危害。虽然火山气体主要由水组成，但它们也包括二氧化碳、二氧化硫、硫化氢、一氧化碳、盐酸和氢氟酸，并可形成低 pH 值的冷凝物。气体可以通过现有喷口或与现有喷口无关的新裂缝大量排出，或在喷发之前或之后通过火山上的土壤排出。例如，一座没有喷发的火山每天可以释放的几吨到几千吨二氧化硫，并可以被风输送到很远的地方。大量岩浆气体，特别是二氧化碳，也可能突然从火山口湖和构造裂隙中释放出来。由于二氧化碳比空气重，浓稠的二氧化碳气体气流可能随排水系统流动并聚集在低洼地带，取代空气并造成窒息的危害。火山气体与大气中的水相互作用也可导致酸雨，并可能污染地表水。

I.18. 在火山喷发期间，熔岩流可能会释放出火山气体，因为这些熔岩流在流经地表时会持续冷却和结晶。热液系统的变化可能导致火山气体排放量的增加或减少。对火山热液系统状况的调查可提供关于火山气体排放潜力的重要信息。广泛和持续的气体排在破火山口和复合型火山是常见的。这种排放也发生在一些盾状火山上，特别是出现在这些火山上的断裂带。

## 海啸和湖震

I.19. 当大量（例如从  $10^6$  立方米到  $10^9$  立方米以上）滑坡、火山碎屑流或碎屑崩落物迅速进入海洋或大型湖泊时，或海底火山喷发时，均可能会引发火山海啸和湖震。火山喷发或湖震引起的火山体崩塌可能导致斜坡发生大规模位移，进而导致临近水域发生海啸。

I.20. 由于陡峭的火山是不稳定结构，任何位于水体附近的火山都是产生这些现象的潜在来源。此外，水深测量显示，海洋环境中的盾状火山是发生海底碎屑崩落的地方。这种现象可能导致整个流域发生海啸。此外，即使是岛屿火山的中等强度喷发，也会引发海啸，尽管在极端情况下，引发海啸的通常是大规模的爆炸式喷发。

## 大气现象

I.21. 爆炸性火山喷发，如武尔卡诺式爆炸和地下爆炸，可以产生强大的空气压力波，足以震破几公里以外的窗户。伴随着横向火山喷发，可能产生空气冲击会影响到距火山数十公里以外的区域，具体距离取决于冲击波与地形的相互作用。如第 I.15 段所述，空气冲击还伴随着火山弹和火山岩块的飞射，但冲击波影响半径可能大于飞射物的影响半径。

I.22. 经常随着许多类型的火山喷发产生闪电，而且可能有数百道闪电击中地面。在某些情况下，闪电和高静电会出现在距喷发火山数公里以外的地方。

I.23. 可能伴随火山喷发当地会出现恶劣天气。由于大气中的火山灰颗粒导致雨滴突然聚集，可能伴随爆炸式喷发柱的形成出现暴雨。碎屑物沉降期间的大雨可能会导致火山泥流的产生。喷发柱或热岩熔流的侵入会造成下向风暴（局部强风），这些风可能会造成超出熔岩流本身的破坏。

I.24. 虽然这种大气现象可能发生在任何火山喷发期间，但它们通常与大的爆炸式喷发有关。

## 地面变形

I.25. 据观察，曾有火山上发生过一些最大幅度的天然地面变形。在火山喷发之前，地面变形可能包括几米或更大幅度的快速抬升。更普遍的情况是，由于岩浆侵入火山，在广大区域可能会发生毫米至厘米的地面位移。变形通常与喷发断层作用或岩浆浅层侵入同步作用而发生在火山周围。变形方式有抬升、下沉和延展。例如，1977 年北海道（日本）Usu 火山喷发产生了 100 米以上的垂直位移。随着时间的推移，即使斜坡缓慢变形也会导致显著的水平垂直位移，地表断层、地裂缝和地面起伏证实了这点。在不同时间尺度上，破火山口的地面变形可导致不同时段大面积区域上的巨大垂直移动。大规模的地面变形几乎在所有火山中都很常见。

## 火山地震与地震事件

I.26. 火山地震和地震事件通常是由于岩浆向地表上升引起的应力释放而发生的。火山-地震活动有两种主要形式，这些活动可能导致场址上发生具有潜在危害的地面运动。第一种是瞬时活动，如火山构造地震和火山地震。

这些瞬时地震震动最多持续几秒或数十秒。第二种通常统称为“震动”，其持续时间和持续时间要长得多，可能持续数小时或数天。震动的影响一般较小，局限于火山中心范围发生，而火山—构造地震可能发生在距火山中心 10 公里或更远的地方。火山震动的最大特点是频率有限，持续时间长。因为涉及大规模（即几百米至几千米）系统的谐振现象，所以它们具备几赫兹的频率，且与流体运动有关。

I.27. 通常，最大的火山地震的震级比在地球动力学活动区域最大的构造地震的震级要小。火山—地震事件的特征可能与构造地震有很大不同。此外，火山地震可能足够剧烈或频繁（每天几百到几千次），因此可作为地震危害评定的一部分加以考虑（见参考文献[4]）。

I.28. 火山地震可伴随着各种类型的火山喷发，且各类火山都会产生火山地震。

### **热液系统与地下水异常**

I.29. 广泛的热液系统有时与火山有关。热液系统使近地表温度升高，从而使水沸腾，使固体岩石变成粘土。活动的热液系统或热液蚀变的存在表明可能发生大规模块体运动，如滑坡或山体崩塌。此外，热液系统可产生蒸汽爆炸，能够将岩石碎片喷出数公里的距离，并形成直径数百米的爆裂火山口。上升岩浆与地下水的相互作用可能导致地下喷发或地下岩浆喷发。火山活动或火成岩侵入，如岩墙，可能改变地下水流模式，导致地下水位波动。火山体内部可能会意外地排放出与降雨无关的水和泥。因为火山侵入扰动热液系统或地下水系统，这些排放物可能引发火山泥石流。岩浆侵入也会引发热液系统的爆炸。地下水系统的变化可能导致岩溶地形中出现地表沉降。在北极地区，地下水流发生变化或热液系统的形成会造成热岩熔现象。火山活动引起的场址水文地质变化也可能导致土层和含水层的水压发生变化。热液系统的形成和地下水异常最常见于破火山口，且可能与所有类型的火山有关。

## 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 NS-R-3 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [2] 国际原子能机构《核电厂场址评价中的外部人为事件》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-3.1 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [3] 国际原子能机构《核电厂放射性物质在空气和水中的扩散与场址评价中人口分布的考虑》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-3.2 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [4] 国际原子能机构《核装置场址评价中地震危害》，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）。
- [5] 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）。
- [6] 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）。
- [7] 欧洲原子能联营、联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、国际海事组织、经济合作与发展组织核能机构、泛美卫生组织、联合国环境规划署、世界卫生组织，《基本安全原则》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SF-1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [8] 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》（2007 年版），国际原子能机构，维也纳（2007 年）。
- [9] 国际原子能机构《设施和活动管理系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-R-3 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [10] 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）。

[11] 国际原子能机构《核电厂安全：调试和运行》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/2 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。

## 附件 I

### 火山危害假想方案

I-1. 火山活动经常涉及一系列复杂的事件，并可能涉及一系列危险的火山现象的发展。火山活动往往始于一段动荡时期，动荡可能会持续很长一段时间（例如几十年），而动荡之后往往不会喷发。一旦开始喷发，可以持续几分钟到很多年。这种活动的持续时间及与之相关的不确定性意味着火山事件是多样和复杂的，通常最好将其视为可能假想方案的组合。对这种情况的考虑是火山危害评定的一个重要部分。以下三种假设假想方案用来说明火山喷发的复杂性，以及由此导致的危害评定的复杂性。

#### 假想方案 1：复合型火山的喷发特征

I-2. 复合型火山是由熔岩流和熔岩穹丘喷溢物形成的陡峭锥形火山，火山碎屑物的爆炸式喷发产生的火山碎屑流及火山灰沉降的沉积也能形成复合型火山。虽然一些复合型火山过去的活动模式可以用来评价发生危害现象发生的可能性，但复合型火山可能是不可预测的，评价时需要适当考虑大范围的潜在爆炸危害和喷溢现象。许多复合型火山的地质记录表明，喷发物的成分或喷发特征的突然变化是很常见的，喷发中心可能突然出现在远离中心（山顶）喷口几公里的地方。

I-3. 典型的火山喷发，一般始于火山体本身的动荡的开始，如背景地震活动性变化、火山体变形或岩浆气体加剧排出，所有这些变化都可以通过监控活动发现。潜在的前兆性动荡可能持续几个小时甚至几十年。动荡的发生并不一定意味着火山将会喷发。事实上，火山体长时期动荡而不喷发的现象比长期动荡而导致火山喷发的现象更为常见。

I-4. 通常，在经历过一段长时间没有活动的间歇期后，随之而来的火山喷发可以在几个小时到几年的时间里产生一系列同时发生的各种危害，初期活动可能是熔岩从侧面喷口缓缓流出开始，然后是火山顶喷口突然出现喷发性活动。在其他例子中，喷发一开始便是爆炸式喷发。以火山碎屑流及火山灰沉降为特征的火山活动可持续数日，然后停止喷发或熔岩穹丘持续喷溢。如果火山碎屑流侵入活动的排水系统，或出现暴雨，通常会发生泥石流。在整个喷发过程中，火山地震不断发生，山体滑坡或斜坡失稳的可能性也会

增大。高海拔复合型火山体的意味着大规模（例如立方千米级）山体崩塌引发的泥石流和滑坡具有巨大的势能。虽然在一次复合型火山喷发期间，并非所有这些现象都一定会发生，但对于此类火山而言，在一次喷发期间出现多种危害现象的可能性极高。

I-5. 在正经历这种喷发活动的复合型火山几十至几百公里范围内建造的核装置，可能会面临多种潜在的危害现象，且可能会持续很长一段时间。例如，火山灰沉降在该场址的沉降活动可能会持续数周、数月或更长时间。爆炸性的火山活动可能会导致泥石流的发生，因为在火山喷发后的几年里，由于这种喷发活动，向水道输送的泥沙量要高得多。总之，此类核装置可能会因一次火山喷发而面临多种危害假想方案。

### **假想方案 2：盾状火山和复合型火山的溢流式喷发特征**

I-6. 流体熔岩的溢流式喷发一般始于喷发裂缝的形成，其形成与当地经历的地震活动、地表变形、气体散发和异常热流有关。一般说来，在喷发前数月甚至数年会有一些非喷发现象或活动，在理想情况下，随着岩浆向地表上升，这些活动或现象会在某些参数上显示出显著变化。然而，通过产生流动熔岩的喷溢系统，岩浆可以快速上升到地表，从高水平的喷发前地震活动到熔岩的实际喷出，期间可能只有几个小时。然而，通过产生流动熔岩的喷系统，岩浆可快速上升至地表，有时从熔岩实际喷出到地震喷发前的高级阶段仅相隔短短几个小时。因此，如果发生溢流式喷发，可能只有很短的时间可供在邻近的核装置采取安全措施。

I-7. 在盾形火山和某些复合火山上，这种溢流式喷发活动可能发生在火山中心喷口的几十公里范围内。一旦岩浆到达地表，熔岩喷泉就可以达到喷口上方几十到几百米的高度，并延伸好几百米（即形成一道火幕）。最终，喷口将缩小至更像圆柱形，并可能持续喷发数小时至数天不等，从而可能产生大量的火山灰，通过相对较低的喷发柱（例如高度不到几公里）向下风方向迁移，大量的气体（例如二氧化硫、二氧化碳、水、盐酸、氢氟酸）可在向下风方向引发酸雨，给人和动物的带来毒害，并腐蚀基础设施和对民用航空产生干扰。熔岩流将从这个喷口喷出，在同一喷口中，熔岩喷发可能持续数小时或数月。

I-8. 流动的熔岩流能以 1—20 米/秒的速度移动。它们可能在不同的时空尺度上形成广泛的熔岩流场、单一的熔岩流或两者兼而有之。结壳熔岩流的

形成通常导致熔岩管道的形成，熔岩流过该熔岩管道时损失热量极少，因此可以到达距离喷口相对较远的区域。若熔岩管道或沿着熔岩流形成的次级熔岩池或侧向熔岩流前沿（即 Levées 堤坝）产生突然破裂，会产生额外快速移动的熔岩流，其具有与主流不同的特征，且沿着与主流不同方向移动。

I-9. 溢流式火山的喷发模式可以持续很长一段时间，然后突然转变为另一种喷发方式（例如，以火山口为中心的喷发转变为侧翼的横向喷发），或在两种喷发模式中变换或始终以同一模式喷发。中心喷口与位于火山断裂带侧翼下方的侧喷口也可能同时喷发。产生熔岩喷泉的火山碎屑可以与来自同一火山体及同一次喷发的长期存在的熔岩流共存。

I-10. 因此，如果核装置附近存在一个正在喷溢的火山，则其可能面临以下危害现象：熔岩流侵入场址、新的喷口开放、火山灰沉降、火山气体排放或与火山相关的地震活动等。其中一些危害现象被认为超出了核装置的设计基准，因此必须通过选址和场址评价流程加以避免。因此，评定火山系统产生这种可能影响场址安全的喷溢能力至关重要的。如果确定火山具备这种能力，该场址的火山危害模式就必须考虑到不同火山危害现象的组合，例如新喷口开放和喷溢的熔岩流从这些侧喷口中流出的假想方案。

### **假想方案 3：火山区的喷发特征**

I-11. 并非所有的火山活动都发生在现有复合型火山或盾状火山的中心喷口。在许多情况下，火山作用分布在邻近的火山区域，复活的火山活动导致了新喷口的形成。在大型火山带，如日本富士山或意大利埃特纳火山，新喷口的形成过程可以从散布在火山周围数十公里范围内的数百个熔渣锥及其相关火山特征中看得很清楚。在其他区域，火山活动会形成火山区，有时由数百个独立的喷口组成，散布在数百或数千平方公里的区域，每一个喷口都随着一批涌向地表的岩浆单独裂开。

I-12. 与新喷口的裂开有关的活动始于上升的岩浆穿过地壳。这种岩浆通常以片状岩墙的形式上升，通常宽度不到 1 米，长度可能达几公里，以 1 米/秒的速度穿过地壳上升。这一活动的最先表现出来的迹象可能是该地区发生了一系列低震级地震。每天可观察到的数百至数千次地震与这种岩浆上升有关。如果地震台网观测足够精确，可能会发现这些地震震源会随着岩浆岩墙顶端上升到更浅的地表而逐渐上升，尽管这种地震震源的迁移很少被

观测到。在某些情况下，这种上升被自然过程所阻止，岩墙在地球内部冷却，不会形成新喷口。

I-13. 当一个新喷口形成时，地表的最初表现通常是地面变形。这种地面变形通常由宽约 10 米、长数百米至几公里（其规模堪比岩墙本身的长度）的断裂带组成，当岩浆到达地表时，它通常以一定间隔沿整个断裂系统分布。数小时后，这种活动通常集中到一个或几个新喷口。来自这些喷口的岩浆流随着时间的推移迅速增加，形成了一个炽热的碎屑火山喷泉，喷发到几百米高的空中，颗粒物质像雨一样降落在附近地带。如果地表或其邻近地段有大量水存在，这种初期活动则可能演变成剧烈爆炸，造成火山碎屑喷涌形成直径超过 1000 米的火山口景观。在某些情况下，具有浮力的火山烟流，会将火山灰带到新喷口上方几公里甚至几十公里的高度。由于这种火山活动，火山渣锥迅速生长，其高度通常可达 100 米以上，基底直径可达几百米。通常，熔岩流随着喷发的进行而发展。取决于熔岩的成分和喷溢速度，这些熔岩流可到达离新喷口几十公里的以外的地方。沿着原始断裂处，随时可能形成新的喷口。据观测，此类喷发有些可能持续不到一个月，而有些会持续长达数十年。在某些情况下，据悉间歇性活动会在新喷口处持续超过一百年。因此，一个新喷口的裂和预示此类事件的先兆现象有着复杂的顺序，可能对位于该区域的核装置构成一系列广泛的危害现象。

I-14. 虽然前面的例子只是为了说明起见，但它们确实表明了火山危害的复杂性，并表明有必要开发综合的火山危害模式，以便识别出那些能够影响核装置场址安全的火山。正如这些例子所显示的，在一次火山事件中可能发生多种火山危害。火山活动可以持续很长一段时间（有时是几年），并可影响大片区域。

## 附件 II

### 全球信息来源

II-1 对火山活动潜在来源的评价非常复杂，即使在初始评定（第 1 阶段）期间也是如此。该项评价需要火山危害评定方面的专业技能和可靠的数据源。在国际上，国际地球内部火山学和化学协会（IAVCEI，参考文献[II-1]）是专门研究火山和缓解火山危害的主要组织。IAVCEI 中专门进行核装置火山危害评定的委员会包括：世界火山观测站组织（WOVO，参考文献[II-2]）、城市和火山委员会[II-1]和火山统计委员会[II-3]。AVCEI 和 AVCEI 的委员会提供有关火山危害评定的最新技术的必要信息、按地区划分的某一火山活动的具体信息以及定量进行火山危害评定所需的特定技术。现有的几个数据库可能对火山危害评定大有用处，尤其是在初始评定（第 1 阶段）中。

II-2. 史密森全球火山活动计划（GVP）致力于收集和核实全球范围内全新世火山活动数据[II-4、II-5]（见图 II-1）。尽管仅凭全球火山活动计划数据库无法进行核装置初始评定，但其却是支持这些评价的极好资源。世界火山观测站组织还在建立一个全球历史火山动荡的数据库。

II-3. 许多国家拥有全新世火山活动国家数据库（例如俄罗斯联邦[II-6]、美国[II-7]）。日本地质调查局有一个关于日本活火山[II-8]和第四纪火山[II-9]的详细数据库，包括具体火山的详细地质图和最近火山活动的记录。这些资源为开发某一场址用于初始评定的特定数据库提供了一个有用的模式。

II-4. 关于核电厂火山危害评定的最新标准和方法的重要信息来源见参考文献[II-10]。

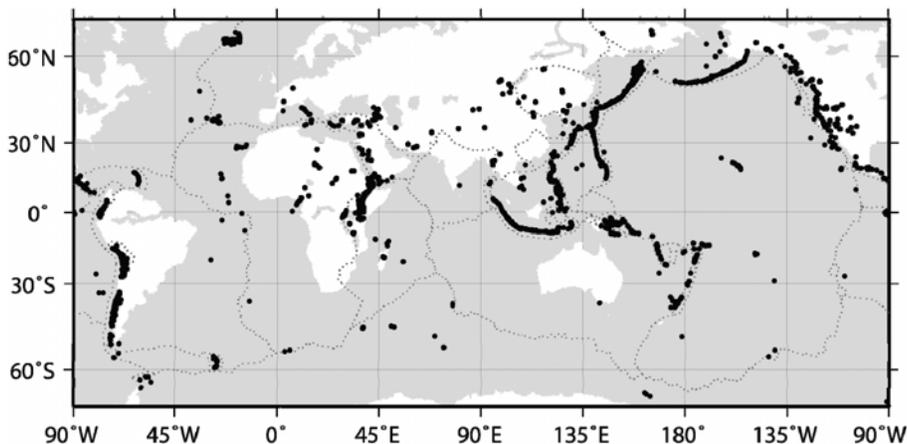


图 II-1. 显示近年来活动的亚区域和海底火山全球分布的地图，包括主要板块边界（虚线）。由全球火山活动计划[II-5]提供的数据。

## 附件 II 参考文献

- [II-1] 国际火山学与地球内部化学协会（IAVCEI），<http://www.iavcei.org>
- [II-2] 世界火山观测站组织（WOVO），<http://www.wovo.org>
- [II-3] IAVCEI 火山学统计委员会（COSIV），<http://cosiv.rc.usf.edu/>
- [II-4] SIMKIN, T., SIEBERT, L. 《世界火山》第 2 版，地球科学出版社，亚利桑那州图森（1994 年）。
- [II-5] 史密森学会的全球火山活动计划，<http://http://www.volcano.si.edu>
- [II-6] “克瓦特：堪察加半岛和北库尔群岛的活火山”，  
[http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/index\\_eng.php](http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/index_eng.php)
- [II-7] 《火山》，美国地质调查局，  
<http://vulcan.wr.usgs.gov/Volcanoes/framework.html>
- [II-8] 日本活火山数据库，<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db099/index-e.html>
- [II-9] 日本第四纪火山，  
[http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL\\_JP/EN/index.htm](http://riodb02.ibase.aist.go.jp/strata/VOL_JP/EN/index.htm)
- [II-10] CONNOR, C. 等，“核设施火山和地质构造危害评定”，剑桥大学出版社，剑桥（2009 年）。

## 火山学术语定义

**安山岩 (andesite)**。许多复合型火山中常见的一种火山岩。安山岩成分（二氧化硅含量为 52—63%）介于玄武岩和英安岩之间。它经常形成厚重、碎石状的熔岩流。然而，岩浆中通常含有适量的水，因此可形成爆炸性极强的火山喷发。产生极高的富含浮石及火山渣的喷发柱、火山碎屑流以及岩涌。安山岩通常在 900—1100°C 的温度下喷发。

**火山灰 (ash)**。因不同的喷发分裂过程产生，平均直径小于 2 毫米的火山岩碎片。到目前为止，最常见的类型为玻璃火山灰（通过液体岩浆中气泡爆炸形成的玻璃颗粒）。另可参见火山碎屑 (tephra)、火成碎屑 (pyroclast)。

**玄武岩 (basalt)**。一种深色火山岩，通常形成熔岩流和地势较低的火山。玄武岩成分中的二氧化硅含量低于 52%（重量百分比），这使得玄武岩具有较低的粘度，并允许溶解气体从岩浆中逸出。虽然这类岩浆的爆炸性低于粘度更高的岩浆，但玄武岩岩浆仍会喷发，尤其是在与地下水或海水发生相互作用的情况下。玄武岩通常在 1100—1250°C 的温度下喷发。

**贝叶斯统计 (Bayesian statistics)**。一种概率推理范式，其依据所有未知参数先验分布的技术参数，然后应用贝叶斯定理整合包含在数据中的额外信息。该法则可在火山学中用作一种有助于限制结果和不确定性的方法，用以评价统计和数字建模，从尽可能多的数据和其他相关信息中获益。与之相反，概率统计借助以往事件的模式来模拟一个事件在今后发生的可能性。与概率方法相比，贝叶斯方法可将更多地质信息整合到发生概率的评价中。

**岩崩 (定向岩崩) (blast (directed blast))**。一种因火山穹丘、火山较浅处岩浆岩体或较浅处热液系统突然降压而引起老岩浆或新鲜岩浆火山喷发，具有侧向低角度喷发成分。火山爆炸会产生一种稀释的气体与火山碎片（火山块及更小的碎片）混合物，这些混合物通常作为横向扩展的极度混乱的火山碎屑岩涌以极高的速度（高达 500 公里/小时）移动，并可造成广泛的破坏。另请参见火山碎屑岩涌 (pyroclastic surge)。

**火山块 (block)**。一种平均直径大于 64 毫米的棱角状火山岩碎块，即使在高温下也不会在运输过程中变形。火山块通常在撞击地表时发生破碎。另请参阅词条火山碎屑 (Tephra) 和火山弹 (Bomb)。

**火山块和火山灰流 (block and ash flow)**。一种火山碎屑流，由粒度更细的颗粒混合物中包含稠密的熔岩块 (直径从几分米到几米不等) 组成。这些流体因熔岩穹丘和粘性熔岩流前端发生重力坍塌而产生。另请参见火山碎屑流。

**火山弹 (bomb)**。一种在火山喷发时喷出的平均直径大于 64 毫米的火成碎屑 (火山岩碎屑)，其温度非常高，足以承受运移过程中发生的韧性变形。另请参见火山碎屑和火山块。

**破火山口 (caldera)**。一种大的盆地状凹陷，直径通常大于 1 公里，其形成方式有几种：(i) 强烈的喷发活动将岩浆从浅层岩浆房中移出，产生的火山灰流和火山碎屑流散布在大片区域；(ii) 岩浆从浅层岩浆房中移出，其上覆岩石下沉；(iii) 火山因结构不稳定而发生扇形塌陷。许多破火山口都有长时间的休眠期、动荡期和不同规模的喷发。它们的地质历史常常证明其寿命很长，往往持续数百万年。

**能动火山或火山区 (capable volcano or volcanic field)**。在本“安全导则”中，将能动火山或火山区定义为在核装置寿期内，很有可能在未来发生活动且产生危害现象，包括非喷发现象，并有可能对场址产生潜在影响的火山。正如本文第 3 部分和第 5 部分所述，确定一座火山或火山区是否有能动的分级标准是：(i) 地理区域内当代火山活动或与任何火山岩浆活动有关的活动性近地表作用的证据；(ii) 地理区域内任何火山的全新世火山活动的证据；(iii) 潜在活动的一些证据，如每年火山活动的复发率大于  $10^{-7}$ ，以及可能产生可能影响场址周边地区的危害现象的可能性。

**火山渣锥 (cinder cone)**。也称为“scoria cone”。是一种直径不到 1 公里、高度不超过几百米的小型圆锥形火山，是由火山渣和火山弹等熔岩碎屑在中等规模的喷发后落回地面，在喷口周围堆积而成。通常，它们被来自同一喷口的熔岩流所包围。火山渣锥通常生长迅速，很快达到其最大尺寸。它们成组出现，通常位于大型复合型火山和盾状火山的两翼。火

山渣锥的例子包括墨西哥帕里克坦（Paricutin）火山和尼加拉瓜黑山（Cerro Negro）火山。

**碎屑（火山）（clast（volcanic））。**在喷发过程中，因岩浆的机械破碎或火山通道的岩石或岩浆库周围的主岩破碎而形成的单块固体火山碎片。

**复合型火山（composite volcano）。**也称为成层火山，这是一种大型火山，其底部直径一般大于 1 公里，高度大于几百米，主要由中心喷口的火山碎屑和熔岩喷发而成。一些复合型火山在历史上可能发生过山顶崩塌，从而形成破火山口，或火山整个侧面滑动形成大的碎屑崩落。在数十万年的复合型火山中，火山喷发与几年或几个世纪（或者更长时间）休眠现象可以反复出现。复合型火山的例子包括意大利的维苏威（Vesuvius）火山和美国圣·海伦（St. Helens）火山。

**火山通道（conduit）。**岩浆到达火山表面的路径。火山通道的几何形状十分复杂，从扁平的岩墙到近圆柱形管不等。火山通道在地表处的开口为一个喷口。另请参见喷口（vent）。

**伴生火山碎屑流烟羽（co-pyroclastic-flow plumes）。**上述火山碎屑流淘洗中产生的任何上浮的火山灰烟羽，无论火山碎屑流最初是如何形成的。伴生火山碎屑流烟羽会与下方火山碎屑流分离，飘过丘陵并进入邻近的山谷，带来与主火山碎屑流不同的其他危害。火山喷发的类型会影响产生的火山灰和浓缩挥发物的量体积、其散布、烟羽中颗粒和气体的浓度、颗粒与气体的比率以及烟羽中火山灰的输送时间。

**地壳（crust）。**地球最外层的固体层。其体积不到地球的 1%，厚度从约 6 公里（海洋下）到山脉下约 60 公里（山脉下）不等。

**英安岩（dacite）。**一种火成岩，成分介于安山岩和流纹岩之间。含有 63—68%（重量百分比）的二氧化硅。由于英安岩岩浆二氧化硅含量较高，其具有较高的粘度，可发生爆炸式喷发，产生火山碎屑流等喷发现象。英安岩岩浆一般在 800—1000°C 喷发。

**碎屑崩落（debris avalanche）。**因火山体局部或全部崩塌瓦解而产生的大量碎屑在重力作用下沿斜坡高速（200 公里/小时）滑动和/或流动。碎屑崩落物经常从火山体热液蚀变部分的刨掘出重要部分。碎屑崩落物含有从几毫米的小碎片到几百米的火山块的混合物，它们作为一个紧密

的实体一起移动，最终破碎成更小的颗粒。它们可能还有大量水或与流入的水体混合，转变成流动性更强的泥石流。火山体崩塌会使浅层岩浆热液系统出现大规模喷发降压。另请参见岩崩（blast）。

**碎屑流（debris flow）。**一种浓稠的像泥浆一样的碎屑与水的混合物，其在重力作用下沿火山的斜坡快速向火山的下坡移动，其通过各种过程形成，经常具有很高的能量，足以冲走流动路径沿途的房屋和树木的高能量。它们有如下几种形成方式：滑坡的火山块中块体的水饱和；或暴雨、冰雪快速消融或火山口湖带来大量水；或火山体、重新组合的富含火山灰的火山沉积物中挤出排出的水。在一次火山喷发后数年，暴雨会使碎屑物重新活动。碎屑流具有极高的屈服强度，通常含有体积超过 60% 的沉积物。另请参见高含沙水流（hyperconcentrated flow）和火山泥流（lahar）。

**脱气（degassing）。**溶解在岩浆中的挥发物形成单独的气态并从岩浆中逸出的过程。缓慢的脱气作用会在熔岩流中形成气泡，而快速的脱气作用会使岩浆爆炸破碎并形成火山碎屑。岩浆到达地表前的脱气效率是火山喷发爆炸性的一个控制因素。

**穹丘（dome）。**由于熔岩的喷出而形成的陡峭的岩石堆。穹丘通常由安山岩或流纹岩岩浆组成，但并非只由这两种岩浆组成。穹丘经常在岩浆非常黏或缓慢喷出时形成，因此堆积在喷口附近，而没有流走。熔岩穹丘崩塌可产生火山碎屑流。产生熔岩穹丘的近期火山喷发包括：蒙特塞拉特岛苏弗里尔山（Soufriere Hills）火山的近期喷发、日本云仙岳 1991—1995 年的喷发以及印度尼西亚梅拉皮（Merapi）火山 1994 年和 2006 年的喷发。

**岩墙（dyke）。**一种板状火成岩岩体，通常垂直或近乎垂直，因岩浆填充贯穿已有的岩石和地质结构的裂隙后凝固而成。将岩浆从深部储集层运移到地表的岩墙可能在地壳浅部被阻挡，为火山通道输送岩浆，或在地表自行喷发。浅层位置的岩墙会使地表变形或促使火山山坡崩塌。

**溢流式喷发（effusive eruption）。**粘连的岩浆从喷口喷出而形成熔岩流的一种火山喷发形式。另见爆炸式喷发（explosive eruption）和喷出流（extrusive flow）。

**淘洗 (elutriation)**。在气流、空气或水流的作用下，较轻的火山灰颗粒上升，较重的火山灰颗粒下沉造成较细的火山灰颗粒与较粗的火山灰颗粒分离的过程。

**(火山) 喷发 (eruption (volcanic))**。火山或火山喷口上发生的任何涉及到碎屑物爆炸性喷射、熔岩喷溢及大量的火山气体（如二氧化碳）的突然释放的过程，或不同深度的火山系统的埋藏区（如热液系统）在火山体坍塌过程中被带到地表的过程。喷发产物中存在新凝固的岩浆于，则喷发时有岩浆，如果喷发产物只涉及再生的岩石碎片，则喷发时无岩浆（水汽式喷发）。火山喷发的时间长短不一（几秒到几年）。另请参见蒸气喷发（**phreatic eruption**）、蒸气岩浆喷发（**phreatomagmatic eruption**）、普林尼式喷发（**plinian eruption**）、斯特朗博利式喷发（**strombolian eruption**）、夏威夷式喷发（**Hawaiian-style eruption**）、武尔卡诺式喷发（**vulcanian eruption**）、爆炸式喷发（**explosive eruption**）、溢流式喷发（**effusive eruption**）。

**喷发云 (eruption cloud)**。爆炸式火山喷发时，在火山喷口上方形成的由火山灰和气体组成的云状物。在大多数爆炸活动中形成的垂直的柱状火山灰和气体称为喷发柱或强烟羽，包括一个冲力控制区域和一个浮力控制区域。喷发云可能在重力作用下快速横向扩散，特别是在最猛烈的喷发中，可能顺风漂移数千公里。巨大的喷发云可以在几天内环绕地球。

**喷发裂缝 (eruptive fissure)**。熔岩、火山碎屑和气体通过地表的线性断裂喷发。

**爆炸式喷发 (explosive eruption)**。一种火山喷发模式，其中气泡膨胀或岩浆与水快速发生爆炸性相互作用，足以使岩浆分离（即使岩浆破碎）。当加压的热液气体和过热的流体突然打破火山体中的主岩时，也会发生爆炸式喷发。火山碎屑流、沉降物和火山产生的飞射物是爆炸式喷发的特征。另见蒸气喷发（**phreatic eruption**）。

**喷出流 (extrusive flow)**。来自火山通道的岩浆出现非爆炸式喷发，形成熔岩流和穹丘。

**火泉 (fire fountain)**。一种爆炸强度较低的、压力推动的气体和岩浆喷发，其产生的力量足以将岩浆碎片推到喷口上方几百米的地方。火泉喷发经常产生熔岩流，是夏威夷式玄武岩火山喷发的特征。

**喷气孔 (fumarole)**。在高温下释放火山气体或水蒸气的裂缝或小的喷口（通常直径只有几厘米）。喷气孔温度从仅略高于环境温度到岩浆温度不等。硫质喷气孔表示释放含硫气体（二氧化硫、硫化氢）的喷气孔。碳酸喷气孔指当温度低于水的沸点时主要排放二氧化碳的喷气孔。

**地质记录 (geological record)**。这也被称为地层记录，是地球垂直剖面上的岩层序列。最古老的地层出现在剖面的底部，年代更近的岩层按顺序出现在剖面中较高的位置。地质学家利用地层记录来确定沉积物的相对年龄。火山地层学通常很复杂其沉积物具有如下特点：横向展布范围相对有限、岩相变化快速、历经多次山谷侵蚀和回填。

**夏威夷式喷发 (Hawaiian-style eruption)**。火山喷发的一种类型，其特征是火山碎屑喷发到喷口上方 500 米以上的高度，经常形成可能延伸一公里或更远的裂缝或喷口系统。当整个裂隙带集体喷发时，夏威夷式喷发的喷溢速度会相当快，熔岩量会相当大，这些喷发会持续较长时间，通常超过一年。

**全新世 (Holocene)**。第四纪地质时期的最近时代，定义为距今 10 000 年前至今。

**全新世火山 (Holocene volcano)**。在过去 10 000 年（全新世）内喷发的火山或火山区。报告的历史活动和火山产物的放射性年代测定为全新世时期的火山喷发提供最直接的证据。在某些情况下，尤其是在场址调查的早期阶段，可能很难确定最近期火山活动的准确年代。在此类情况下，可能使用额外的证据，按照史密森学会使用的方法来判定一座火山是否属于全新世<sup>1</sup>。这些证据包括：(i) 覆盖在最新更新世冰积物上方的火山产物；(ii) 几千年后预期会出现侵蚀的地区中的年轻火山地貌；(iii) 如果火山底层的年代超过几千（几百）年，植被格局将非常丰富；(iv) 喷气孔正在排气或火山中存在热液系统。此外，有些火山可能被分类为全新世 (?) 火山。当权威机构不同意对存在全新世火山活动证据

---

<sup>1</sup> 见 SIMKIN, T., SIEBERT, L., 《世界火山》第 2 版，地球科学出版社（1994 年）。

不认可时，或当原始来的调查员者对最近期一次喷发的可靠年代估算表示不确定时，火山被标示为全新世 (?) 火山。在这些情况下，对本“安全导则”和继续后续开展的危害评定而言，将此类火山视为全新世火山是合理的。

**热点 (hot spot)**。因地幔中的热量或成分扰动或烟柱活动而使地球表面发生火山活动的位置。许多热点位于内陆板块构造背景中，远离经常发生火山活动的地壳板块边界。

**高含沙水流 (hyperconcentrated flow)**。沉积物和水的流动混合物，具有介于泥石流和碎屑流的之间的特征和沉积物含量。高含沙水流没有明显的屈服强度，通常含有 20—60% (体积百分比) 的沉积物。

**火成岩 (igneous)**。用于描述由岩浆形成岩石的特征的术语。喷出的火成 (火山) 岩石通常根据其二氧化硅含量分为四种基本类型：玄武岩、安山岩、英安岩和流纹岩。

**熔结凝灰岩 (ignimbrite)**。也称火山灰流凝灰岩，是指一种主要由浮石和火山灰组成火山碎屑流沉积物。熔结凝灰岩的外观可以是松散的火山碎屑堆积，也可以是类似砖块的异常密实的 (如同焊接过) 沉积物。

**冰下火山浊流 (jökulhlaup)**。因冰川下火山喷发引起的冰川或冰雪融化而产生的洪水或碎屑流。

**火山泥流 (lahar)**。来自火山的碎屑流或高含沙水流，主要由火山碎片组成。另请参见碎屑流 (debris flow)。

**火山砾 (lapilli)**。一种平均直径大于 2 毫米而小于 64 毫米的火山碎屑 (即火山岩碎片)。火山砾有时因火山灰大小的颗粒堆积而形成于喷发柱中，称为“增生火山砾”。另请参见火山碎屑 (tephra)。

**熔岩 (lava)**。通过火山或喷发裂缝 (如溢流丘或溢流)，从地球表面喷出的熔化的岩石。刚从火山口中射出时，熔岩是一种温度极高的液体，通常可达 700—1200°C。熔岩流的黏度有许多数量级的变化，这强烈地影响着它们的流动特性。

**岩浆 (magma)**。一种熔化岩石混合物 (800—1200°C)，也可含有悬浮晶体、溶解气体，有时还含有气泡。岩浆是由地壳或地幔中现存的岩石熔化而形成的。岩浆成分和气体含量通常控制火山喷发的类型。一般说来，较热、较低粘性的岩浆 (如玄武岩) 可使气体能够更高效地分离，从而限制了喷发的爆炸性，而较冷、较粘稠的岩浆 (如安山岩、英安岩和流纹岩) 更有可能在喷发过程中发生剧烈破碎。

**岩浆房 (magma chamber)**。充满岩浆并在火山喷发过程中流出岩浆的地下储层。这些储层中的岩浆可以部分结晶或与新岩浆混合，这可导致随着时间的推移改变喷发成分或喷发危害。

**地幔 (mantle)**。位于地壳和地核之间的一层固体层，厚约 2300 公里。玄武岩岩浆形成于地幔岩石的部分熔融。

**单成因火山 (monogenetic volcano)**。一段时期 (从几个月到几个世纪不等) 内，因一次或多次喷发而形成的一种火山。在这段活动期结束后，单成因火山将不再喷发。大多数火山渣锥火山被认为是单成因火山。另请参见火山区 (volcanic field)。

**泥石流 (mudflow)**。用于描述在其移动中具有极高流动性的水和泥土的混合流的一般术语。另见碎屑流 (debris flow) 和火山泥流 (lahar)。

**蒸气喷发 (phreatic eruption)**。一种由于地表下的水体积快速膨胀或水蒸发而引起的喷发，地表处没有岩浆喷出。蒸气喷发通常是在热水突然降压时发生的蒸汽爆炸，但有时也可能指增压或受热的含水层中的水和 / 或火山中的热液流体的非爆炸式排出。在上升的岩浆与地下水相互作用的地方，蒸汽喷发很常见，通常发生在火山体内部。尽管其规模经常较小，但随后可能会发生规模较大的蒸汽或岩浆喷发。蒸汽喷发可能产生碎屑流和热火山泥流。另见蒸气岩浆喷发 (phreato magmatic eruption)、碎屑流 (debris flow) 和火山泥流 (lahar)。

**蒸气岩浆喷发 (phreatomagmatic eruption)**。一种爆炸式喷发，其涉及到地表下岩浆和水的相互作用，产生岩石、蒸汽和岩浆的爆炸混合物，通常形成火山碎屑流和岩涌。舒尔特赛型喷发和 Phreato-普林尼式喷发属于蒸气岩浆喷发，涉及热火成碎屑与水相互作用 (当岩浆从喷口喷入水体中时)。另请参见喷发 (eruption) 和蒸气喷发 (phreatic eruption)。

**普林尼式喷发 (plinian eruption)**。一种爆炸性火山碎屑喷发，其特征是持久的喷发柱一般可上升到 10—50 公里的高度。普林尼式喷发可能在 500—5000 平方公里的区域产生厚层火山灰沉降和 / 或火山碎屑流及岩涌（可流动至距离火山 10 公里远的地方）。1991 年菲律宾 Pinatubo 火山喷发是近期的一次普利尼式火山喷发。

**上新世 (Pliocene)**。指 530 万年前至 260 万年前这段地质时间。

**复成火山 (polygenetic volcano)**。一种由多次喷发形成的火山，其中一些喷发是在长时间休眠之后才喷发的。由于许多复成火山可以持续活动 10 000—1 000 000 年，且有很长的休眠期，对于第四纪复成火山，可能很难区分其消亡还是休眠。大多数复合型火山为复成火山。

**浮石 (pumice)**。一种特别多孔（空隙率通常为体积的 60—80%）的浅色火成碎屑岩，形成于爆炸式喷发中，漂浮在水上。浮石经常形成于流纹岩或英安岩岩浆，偶尔形成于安山岩岩浆。由于浮石由广泛的气泡“冻结”在易碎的火山玻璃和矿物质中组成，其像凝固的泡沫。在喷发性火山喷发过程中，溶解在液体岩浆中的火山玻璃快速展开，形成泡沫。若有浮石，泡沫的液体部分很快凝固成玻璃，封闭气泡。

**火成碎屑 (pyroclast)**。一种在火山喷发（通常是爆炸式喷发）中产生的任何尺寸或成分的颗粒。

**火山碎屑密度流 (pyroclastic density current)**。用于描述因火山喷发在地面上到处流动的火山气体、火成碎屑和岩石的混合物（如火山碎屑流、岩涌和岩崩）的一般术语。

**火山碎屑流 (pyroclastic flow)**。一种贴着地面流动的火成碎屑和热气体的集中流动。这些热流通常是由喷发柱或穹丘崩塌而形成，并快速沿斜坡向下流动。火山碎屑流可以运输大量碎屑（火山块、火山弹），通常沿地形梯度移动。火山碎屑流内的温度通常高于 500℃。其流速取决于流体的成因、来源和其流经的地形坡度，但通常大于 50 公里/小时，有时超过 100 公里/小时。

**火山碎屑岩涌 (pyroclastic surge)**。一种相对稀薄、粘度高、比大多数火山碎屑流更动荡的火山碎屑流。火山碎屑岩涌可能因穹丘和喷发柱崩塌而形成，也可与更浓稠的火山碎屑流分离。与大多数火山碎屑流相比，火山碎屑岩涌受地形梯度的限制较小。

**休眠间隔 (repose interval)**。同一座火山连续两次喷发之间的时间间隔。理想情况下，休眠间隔是从一次火山喷发结束到下一次火山喷发开始的时间。然而，喷发持续时间很难确定。因此，休眠间隔是从一次喷发到下一次喷发所经历的时间的最佳估值。

**流纹岩 (rhyolite)**。一种浅色的火山岩，通常形成玻璃穹丘或火山碎屑沉积物。流纹岩成分中二氧化硅含量超过 68% (重量)，使其具有很高的粘度，能在岩浆中捕集气体。因此，流纹岩火山喷发通常是爆炸性的，可形成火山碎屑沉积物，虽然尽会出现熔岩和穹丘。流纹岩通常在 700—850°C 的温度条件下喷发。黑曜岩是流纹岩成分中的一种火山玻璃。

**火山渣 (scoria)**。一种在玄武岩至安山岩喷发中形成的深色多孔状火山碎屑岩，与浮石不同，火山渣会沉入水中。火山渣形成火山渣锥，出现在火山喷发的地方。另见火泉。

**盾状火山 (shield volcano)**。一种由夏威夷式喷发产生的易于形成宽而低角度的锥体的火山，如美国的基拉韦厄火山，其轮廓像古代武士的盾牌。

**岩床 (sill)**。一种板状火成侵入结构，通常是水平的或近水平的，与已有地质构造一致，另见岩墙 (dyke)。

**斯特朗博利式喷发 (strombolian eruption)**。火山喷发的一种类型，其爆炸性介于火泉喷发和普林尼式喷发之间。岩浆的碎裂程度比普林尼式喷发时要小，气体通常从聚合的块状物而非连续的喷射流中释放出来。斯特朗博利式喷发通常是不连续的事件，不时会出现一段相对沉寂的间隔 (持续几秒到几小时不等)。斯特朗博利式喷发 (其成分通常为玄武岩至安山岩) 可形成较弱的喷发柱，其高度甚少超过 5 公里，熔岩流的体积通常等于或大于火成碎屑岩的量。意大利斯特隆博利 (Stromboli) 火山和萨尔瓦多伊扎尔科 (Izalco) 火山的喷发属于此类喷发特征。

**火山碎屑 (tephra)**。从火山中喷发的任何类型的火山碎屑物，不论其大小、形状、成分或形成方法，尽管该术语最常用于描述降落的而非流动的火成碎屑。

**热岩溶现象 (thermokarst)**。由于永冻层融化和随后土壤的移动而形成复杂的、变化多端的陆地表面的过程。

**喷口 (vent)**。地壳中火山产物（如熔岩、固体岩石、气体、液态水）从中喷出的开口。喷口可能是圆形结构（如火山口）或伸长的裂纹或裂缝，或是地面上的小裂口。

**挥发物 (volatile)**。一种在高温高压下溶解在岩浆中并在温度和压力降低时形成分离的气态物质的成分。岩浆中最常见的挥发性物质是水，其次是二氧化碳和二氧化硫。火山通道中岩浆释放的气体迅速膨胀，将岩浆碎片（熔岩、浮石、火山渣、火山灰等）从喷口喷向空气中。

**火山活动 (volcanic activity)**。火山或火山区内与存在岩浆、地球散发出热气体及其与附近地壳岩石或地下水相互作用这类现象有关的特征或过程。火山活动包括：地震活动、喷气活动、高速热液流动、地表气体排放、温泉、变形、地面开裂、含水层增压和火山灰排放等。这一术语包括火山动荡和火山喷发。

**火山地震 (volcanic earthquake)**。一种由火山活动引起且与火山进程直接相关的地震事件，火山地震和地震活动在喷发前、喷发过程中及喷发后有多种形式和类型（如火山构造地震、长期事件、混合事件、震动、震群），其特征和模式用于推断不同时期火山中发生的事件。地震监控是预测火山喷发开始时间和评定火山喷发可能性的最基本方法。地震活动增加、连续震动、震源随时间推移转向地表、出现浅层长周期（或低频率）事件均意味着很有可能即将开始喷发。在整个喷发过程中也会持续震动。

**火山事件 (volcanic event)**。与火山有关的可能引起火山危害的任何事件或一系列现象。为了给停顿间隔和危害提供有意义的定义，可将火山事件正式规定为危害评定的一部分。火山事件可以包括喷发，通常也包括出现非喷发性危害，如滑坡。

**火山区（亦称火山群）（volcanic field（also termed volcano group））。**任何空间的火山群。火山区的规模从几座火山到 1000 多座火山不等。火山区可以是单成因火山（如美国的西玛（Cima）火山区），也可以是由复成火山和单成火山共同组成（如俄罗斯联邦的克鲁奇夫斯基（Kluchevskoy）火山群）。

**火山危害（volcanic hazard）。**一种会对人类或基础设施造成不利影响的火山作用或现象。在风险评价更严格的背景下，指在给定区域内和指定时期内潜在在破坏性火山事件（针对给定强度值，如火山灰沉降的厚度）的发生概率。

**火山动荡（volcanic unrest）。**根据对火山的观察和记录，其性质、强度、时空分布和地球物理年代表、地球化学与地质活动和现象发生变化，且已偏离喷发活动期外该火山或其他类似火山已知的活动基本水平。火山动荡可能是预兆，可能在达到高潮时出现喷发，尽管在大多数情况下，造成动荡的上升岩浆或增压流体并不会涌至地表并喷发。

**火山（volcano）。**地球表面自然出现的一种喷口，可从中喷出熔岩、固体岩石及相关气体和液态水。火山也是这些产物随时间推移通过爆炸式或溢流式堆积而形成的山体。

**火山喷发指数（VEI）（volcano explosivity index（VEI））。**一种针对火山喷发的喷发量级的分类方案，主要根据火山喷发的火山碎屑的总体积来定义，但在某些情况下，也使用喷发柱的高度和连续爆炸式喷发的持续时间来确定 VEI 值。VEI 值从 VEI0（非爆炸式喷发，喷出的火山碎屑小于  $10^4$  立方米到 VEI8（地质记录中认定的规模最大的爆炸式火山喷发，喷出的火山碎屑大于  $10^{12}$  立方米）不等。VEI 等级的爆炸性增加一个单位通常表示其对应的喷出的火山碎屑的量增加到十倍。唯一的例外情况是从 VEI0 到 VEI1 的过渡，其表示喷出的火山碎屑的量增加到一百倍。

**火山产生的飞射物（volcano generated missile）。**一种火山碎屑颗粒，通常尺寸较大，因喷口处的喷发活动从喷口沿高角度轨迹强力喷出，在重力作用，从喷口降落至地表。飞射物可以是任何物质，如岩石碎屑、树木和结构碎屑，即便是已超过主流本身的范围，飞射物在具有巨大动能的流体中迅速运移，可能影响构筑物并造成相当大的破坏。

**火山监控 (volcano monitoring)**。为了评价即将来临的喷发可能性、预测何时开始喷发、了解正在发生的喷发和评价因喷发产生的潜在火山危害而进行的地球物理、地球化学和地质监控。诸如地震仪、全球定位系统接收机、倾斜仪、磁力仪、气体传感器、摄像机和 / 或相关仪器仪表等仪器仪表安装在火山上或其四周,用于评定火山活动、识别火山动荡和评定火山喷发的可能性。使用人造卫星的远程传感在监控火山的临时热量、地形及地质变化方面有时非常有效。

**武尔卡诺式喷发 (vulcanian eruption)**。一种不连续喷发的火山喷发,产生冲击波和火山碎屑喷发。武尔卡诺式喷发通常在火山气体积聚在凝固的浅层火山通道或穹丘中,使岩浆加压到脆性破裂点时发生。安山岩和英安岩岩浆是武尔卡诺式喷发中最常见的。近期武尔卡诺式喷发的例子包括日本樱岛(Sakurajima)火山、蒙特塞拉特岛苏弗里尔山(Soufriere Hills)火山以及墨西哥科利马(Colima)火山。



## 参与起草和审订人员

Aspinall, W.P.	英国阿斯皮纳尔及合伙人公司
Chigama, A.	国际原子能机构
Coman, O.	国际原子能机构
Connor, C.B.	美国南佛罗里达大学
Godoy, A.	国际原子能机构
Hill, B.E.	美国核管制委员会
Jaupart, C.	法国巴黎地球物理学院
Komorowski, J.C.	法国巴黎地球物理学院
Nakada, S.	日本东京大学
Newhall, C.	新加坡地球观测站
Pasquaré, G.	意大利米兰大学
Sparks, R.S.J.	英国布里斯托尔大学
Uchiyama, Y.	日本核能安全组织



## 国际原子能机构安全标准核可机构

星号表示通讯成员。通讯成员收到征求意见稿和其他文件，他们一般不参加会议。两个星号表示候补者。

### 安全标准委员会

阿根廷: González, A.J.; 澳大利亚: Larsson, C.-M.; 比利时: Samain, J.-P.; 巴西: Salati de Almeida, I.P.; 加拿大: Jammal, R.; 中国: Jun Yu; 捷克共和国: Drábová, D. (主席); 芬兰: Reiman, L.; 法国: Lacoste, A.-C.; 德国: Vorwerk, A.; 印度: Bajaj, S.S.; 以色列: Markovits, M.; 日本: Nakamura, K., A.; 韩国: Yun, C.-H.; 立陶宛: Demčenko, M.; 马来西亚: Raja Adnan, R.; 摩洛哥: Soufi, I.; 巴基斯坦: Habib, M.A.; 俄罗斯: Bezzubtsev, V.S.; 南非: Phillips, C.O.; 西班牙: Gurguí Ferrer, A.; 瑞典: Lund, I.; 阿拉伯联合酋长国: Travers, W.; 英国: Weightman, M.; 美国: Weber, M.; 国际原子能机构: Delattre, D. (协调员); 核安保咨询组: Raja Adnan, A.; 欧盟: Faross, P.; 国际放射防护委员会: Cousins, C.; 国际核安全小组: Meserve, R.; 经济合作与发展组织核能机构: Yoshimura, U.; 安全标准委员会主席: Feron, F. (核安全标准委员会); Massera, G. (辐射安全标准委员会); Brach, E.W. (运输安全标准委员会); Williams, G. (废物安全标准委员会)。

### 核安全标准委员会

\*阿尔及利亚: Merrouche, D.; 阿根廷: Waldman, R.; 澳大利亚: Ward, J.; 奥地利: Sholly, S.; 比利时: De Boeck, B.; 巴西: Gromann, A.; \*保加利亚: Vlahov, N.; 加拿大: Rzentkowski, G.; 中国: Jingxi Li; 克罗地亚: Medakovič, S.; \*塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克共和国: Vesely, J.; 埃及: Ibrahim, M.; 芬兰: Järvinen, M.-L.; 法国: Feron, F. (主席); 德国: Weidenbrück, K.; \*希腊: Nikolaou, G.; 匈牙利: Adorján, F.; 印度: Vaze, K.; \*印度尼西亚: Antariksawan, A.; 伊朗: Mataji Kojouri, N.; 以色列: Harari, R.; 意大利: Matteocci, L.; 日本: Maki, S.; 韩国: Lee, S.; 利比亚: Abulagassem, O.; 立陶宛: Šlepavičius, S.; 马来西亚: Azlina Mohammed Jais; 墨西哥: Carrera, A.; 摩洛哥: Soufi, I.; 巴基斯坦: Mansoor, F.; 巴拿马: Gibbs, E.; 波兰: Kielbasa, W.; 罗马尼亚: Ciurea-Ercau, C.; 俄罗斯: Stroganov, A.;

斯洛伐克: Uhrik, P.; 斯洛文尼亚: Vojnovič, D.; 西班牙: Zarzuela, J.; 瑞典: Hallman, A.; 瑞士: Flury, P.; \*泰国: Siripiom, L.; \*土耳其: Kilinc, B.; 乌克兰: Gromov, G.; 阿拉伯联合酋长国: Grant, I.; 英国: Hart, A.; 美国: Case, M.; 欧盟: Vigne, S.; 欧洲核装置安全标准: Bassing, G.; 国际原子能机构: Svab, M. (协调员); 国际电力委员会: Bouard, J.-P.; 国际标准化组织: Sevestre, B.; 经济合作与发展组织核能机构: Reig, J.; 世界核能协会: Fröhmel, T.

## 辐射安全标准委员会

\*阿尔及利亚: Chelbani, S.; 阿根廷: Massera, G. (主席), \*\*Gregory, B.; 澳大利亚: Topfer, H.; \*奥地利: Karg, V.; 比利时: van Bladel, L.; 巴西: Da Hora Marechal, M.H.; \*保加利亚: Katzarska, L.; 加拿大: Thompson, P.; 中国: Yang, H.; 克罗地亚: Kralik, I.; \*塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克共和国: Petrova, K.; 丹麦: Øhlenschläger, M.; 埃及: Hamed Osman, A.; 芬兰: Markkanen, M.; 法国: Godet, J.-L.; 德国: Helming, M.; \*希腊: Kamenopoulou, V.; 匈牙利: Koblinger, L.; 印度: Sharma, D.N.; \*印度尼西亚: Rusdian, Y.; 伊朗: Kardan, M.R.; 爱尔兰: Pollard, D.; 以色列: Koch, J.; 意大利: Bologna, L.; 日本: Nagata, M.; 韩国: Rho, S.; 利比亚: El-Fawaris, B.; 立陶宛: Mastauskas, A.; 马来西亚: Hamrah, M.A.; 墨西哥: Delgado Guardado, J.; 荷兰: Vermeulen, T.; 新西兰: Cotterill, A.; 挪威: Saxebol, G.; 巴基斯坦: Nasim, B.; 巴拿马: Gibbs, E.; 秘鲁: Ramirez Quijada, R.; 波兰: Merta, A.; 罗马尼亚: Rodna, A.; 俄罗斯: Mikhenko, S.; 斯洛伐克: Jurina, V.; 斯洛文尼亚: Sutej, T.; 南非: Tselane, T.J.; 西班牙: Álvarez, C.; 瑞典: Hägg, A.; 瑞士: Leupin, A.; \*泰国: Suntarapai, P.; \*土耳其: Celik, P.; 乌克兰: Pavlenko, T.; 阿拉伯联合酋长国: Loy, J. 英国: Temple, C.; 美国: McDermott, B.; 欧盟: Janssens, A.; 欧洲核装置安全标准: Lorenz, B.; 联合国粮食及农业组织: Byron, D.; 国际原子能机构: Colgan, P.A. (协调员); 国际放射防护委员会: Clement, C.; 国际劳工处: Niu, S.; 国际放射防护委员会: Kase, K.; 国际标准化组织: Rannou, A.; 国际源供应商和生产者协会: Fasten, W.; 经济合作与发展组织核能机构: Lazo, T.E.; 泛美卫生组织: Jiménez, P.; 联合国原子辐射影响科学委员会: Crick, M.; 世界卫生组织: Peres, M.; 世界核能协会: Saint-Pierre, S.

## 运输安全标准委员会

阿尔及利亚: Herrati, A.; 阿根廷: López Vietri, J.; 澳大利亚: Sarkar, S.; 奥地利: Kirchnawy, F.; 比利时: Lourtie, G.; 巴西: Xavier, A.M.; \*保加利亚: Bakalova, A.; 加拿大: Faille, S.; 中国: Xiaoqing Li; 克罗地亚: Ilijas, B.; \*古巴: Demetriades, P.; 捷克共和国: Ducháček, V.; 埃及: Nada, A.; 芬兰: Lahkola, A.; 法国: Kueny, L., \*\*Sert, G.; 德国: Richartz, M., \*\*Nitsche, F.; \*希腊: Vogiatzi, S.; 匈牙利: Sáfár, J.; 印度: Singh, K.; \*印度尼西亚: Sinaga, D.; 伊朗: Eshraghi, A.; 爱尔兰: Duffy, J.; 意大利: Trivelloni, S.; 日本: Kojima, S.; 韩国: Cho, D.; 立陶宛: Statkus, V.; 马来西亚: Mohd Sobari, M.P.; \*\*Husain, Z.A.; 墨西哥: Bautista Arteaga, D.M.; \*\*Delgado Guardado, J.L.; \*摩洛哥: Allach, A.; 荷兰: Ter Morshuizen, M.; \*新西兰: Ardouin, C.; 挪威: Hornkjøl, S.; 巴基斯坦: Muneer, M.; 巴拿马: Francis, D.; \*波兰: Dziubiak, T.; 俄罗斯: Buchelnikov, A., \*\*Ershov, V., \*\*Anikin, A.; 南非: Mohajane, P., \*\*Hinrichsen, P., \*\*Mmutle, N.; 西班牙: Zamora, F.; 瑞典: Zika, H.; 瑞士: Koch, F.; \*泰国: Jerachanchai, S.; \*土耳其: Türkes Yilmaz, S.; 乌克兰: Kutuzova, T.; 英国: Sallit, G.; 美国: Boyle, R.W.; \*\*Brach, E.W. (主席); \*\*Weaver, D.; 欧盟: Binet, J.; 国际原子能机构: Stewart, J.T. (协调员); 国际航空协会: Brennan, D.; 国际民用航空组织: Rooney, K.; 国际标准化组织: Malesys, P.; 国际源供应和生产者协会: Miller, J.J.; 联合国欧洲经济委员会: Kervella, O.; 万国邮政联盟: Bowers, D.G.; 世界核能协会: Gorlin, S.; 世界核运输研究所: Neau, H.J.

## 废物安全标准委员会

\*阿尔及利亚: Ghezal, A.; 阿根廷: Lee Gonzales, H.A.; 澳大利亚: Williams, G. (主席); \*奥地利: Fischer, H.; 比利时: Blommaert, W.; 巴西: De Souza Ferreira, R.; \*保加利亚: Alexiev, A.; 加拿大: Howard, D.; 中国: Zhimin Qu; 克罗地亚: Trifunovic, D.; 塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克共和国: Lietava, P.; 丹麦: Hannesson, H.; 埃及: Abdel-Geleel, M.; 芬兰: Hutri, K.; 法国: Evrard, L.; 德国: Götz, C.; \*希腊: Mitrakos, D.; 匈牙利: Molnár, B.; 印度: Rana, D.; \*印度尼西亚: Wisnubroto, D.; 伊朗: Sebteahmadi, S.; 伊拉克: Al-Janabi, M.; 以色列: Torgeman, S.; 意大利: Dionisi, M.; 日本: Shiozaki, M.; 韩国: Park, W.-J.; 利比亚: Gremida, K.; 立陶宛: Paulikas, V.; 马来西亚: Hassan, H.; 墨西哥: Aguirre Gómez, J.; \*摩洛哥: Bouanani,

A.; 荷兰: van der Shaaf, M.; \*新西兰: Cotterill, A.; 挪威: Lystad, R.; 巴基斯坦: Mannan, A.; 巴拿马: Fernández, M.A.; 波兰: Skrzeczkowska, M.; 罗马尼亚: Rodna, A.; 俄罗斯: Polyakov, Y.; 斯洛伐克: Homola, J.; 斯洛文尼亚: Kroselj, V.; 南非: Mosoeunyane, S.; 西班牙: López de la Higuera, J.; 瑞典: Hedberg, B.; 瑞士: Altorfer, F.; \*泰国: Supaokit, P.; \*土耳其: Ünver, Ö.; 乌克兰: Kondratyev, S.; 英国: Chandler, S.; 美国: Camper, L.; 欧洲核装置安全标准: Nocture, P.; 欧盟: Necheva, C.; 国际原子能机构: Siraky, G. (协调员); 国际标准化组织: James, M.; 国际源供应商和生产者协会: Fasten, W.; 经济合作与发展组织核能机构: Riotte, H.; 世界核能协会: Saint-Pierre, S。

## 当地订购

国际原子能机构的定价出版物可从下列来源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。联系方式见本列表末尾。

### 北美

#### ***Bernan / Rowman & Littlefield***

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA  
电话: +1 800 462 6420 • 传真: +1 800 338 4550  
电子信箱: [orders@rowman.com](mailto:orders@rowman.com) • 网址: [www.rowman.com/bernan](http://www.rowman.com/bernan)

### 世界其他地区

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商:

#### ***Eurospan Group***

Gray's Inn House  
127 Clerkenwell Road  
London EC1R 5DB  
United Kingdom

交易订单和查询:

电话: +44 (0) 176 760 4972 • 传真: +44 (0) 176 760 1640  
电子信箱: [eurospan@turpin-distribution.com](mailto:eurospan@turpin-distribution.com)

单个订单:

[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://www.eurospanbookstore.com/iaea)

欲了解更多信息:

电话: +44 (0) 207 240 0856 • 传真: +44 (0) 207 379 0609  
电子信箱: [info@eurospangroup.com](mailto:info@eurospangroup.com) • 网址: [www.eurospangroup.com](http://www.eurospangroup.com)

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至:

Marketing and Sales Unit  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria  
电话: +43 1 2600 22529 或 22530 • 传真: +43 1 26007 22529  
电子信箱: [sales.publications@iaea.org](mailto: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