

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

放射性废物地质处置 设施

特定安全导则

第 SSG-14 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。

放射性废物地质处置设施

国际原子能机构的成员国

| | | |
|------------|-----------|---------------|
| 阿富汗 | 德国 | 阿曼 |
| 阿尔巴尼亚 | 加纳 | 巴基斯坦 |
| 阿尔及利亚 | 希腊 | 帕劳 |
| 安哥拉 | 格林纳达 | 巴拿马 |
| 安提瓜和巴布达 | 危地马拉 | 巴布亚新几内亚 |
| 阿根廷 | 圭亚那 | 巴拉圭 |
| 亚美尼亚 | 海地 | 秘鲁 |
| 澳大利亚 | 教廷 | 菲律宾 |
| 奥地利 | 洪都拉斯 | 波兰 |
| 阿塞拜疆 | 匈牙利 | 葡萄牙 |
| 巴哈马 | 冰岛 | 卡塔尔 |
| 巴林 | 印度 | 摩尔多瓦共和国 |
| 孟加拉国 | 印度尼西亚 | 罗马尼亚 |
| 巴巴多斯 | 伊朗伊斯兰共和国 | 俄罗斯联邦 |
| 白俄罗斯 | 伊拉克 | 卢旺达 |
| 比利时 | 爱尔兰 | 圣基茨和尼维斯 |
| 伯利兹 | 以色列 | 圣卢西亚 |
| 贝宁 | 意大利 | 圣文森特和格林纳丁斯 |
| 多民族玻利维亚国 | 牙买加 | 萨摩亚 |
| 波斯尼亚和黑塞哥维那 | 日本 | 圣马力诺 |
| 博茨瓦纳 | 约旦 | 沙特阿拉伯 |
| 巴西 | 哈萨克斯坦 | 塞内加尔 |
| 文莱达鲁萨兰国 | 肯尼亚 | 塞尔维亚 |
| 保加利亚 | 大韩民国 | 塞舌尔 |
| 布基纳法索 | 科威特 | 塞拉利昂 |
| 布隆迪 | 吉尔吉斯斯坦 | 新加坡 |
| 柬埔寨 | 老挝人民民主共和国 | 斯洛伐克 |
| 喀麦隆 | 拉脱维亚 | 斯洛文尼亚 |
| 加拿大 | 黎巴嫩 | 南非 |
| 中非共和国 | 莱索托 | 西班牙 |
| 乍得 | 利比里亚 | 斯里兰卡 |
| 智利 | 利比亚 | 苏丹 |
| 中国 | 列支敦士登 | 瑞典 |
| 哥伦比亚 | 立陶宛 | 瑞士 |
| 科摩罗 | 卢森堡 | 阿拉伯叙利亚共和国 |
| 刚果 | 马达加斯加 | 塔吉克斯坦 |
| 哥斯达黎加 | 马拉维 | 泰国 |
| 科特迪瓦 | 马来西亚 | 多哥 |
| 克罗地亚 | 马里 | 汤加 |
| 古巴 | 马耳他 | 特立尼达和多巴哥 |
| 塞浦路斯 | 马绍尔群岛 | 突尼斯 |
| 捷克共和国 | 毛里塔尼亚 | 土耳其 |
| 刚果民主共和国 | 毛里求斯 | 土库曼斯坦 |
| 丹麦 | 墨西哥 | 乌干达 |
| 吉布提 | 摩纳哥 | 乌克兰 |
| 多米尼克 | 蒙古 | 阿拉伯联合酋长国 |
| 多米尼加共和国 | 黑山 | 大不列颠及北爱尔兰联合王国 |
| 厄瓜多尔 | 摩洛哥 | 坦桑尼亚联合共和国 |
| 埃及 | 莫桑比克 | 美利坚合众国 |
| 萨尔瓦多 | 缅甸 | 乌拉圭 |
| 厄立特里亚 | 纳米比亚 | 乌兹别克斯坦 |
| 爱沙尼亚 | 尼泊尔 | 瓦努阿图 |
| 斯威士兰 | 荷兰 | 委内瑞拉玻利瓦尔共和国 |
| 埃塞俄比亚 | 新西兰 | 越南 |
| 斐济 | 尼加拉瓜 | 也门 |
| 芬兰 | 尼日尔 | 赞比亚 |
| 法国 | 尼日利亚 | 津巴布韦 |
| 加蓬 | 北马其顿 | |
| 格鲁吉亚 | 挪威 | |

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-14 号

放射性废物地质处置设施

特定安全导则

国际原子能机构
2022 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內容。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 26007 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，2022 年
国际原子能机构印刷
2022 年 11 月·奥地利

放射性废物地质处置设施

国际原子能机构，奥地利，2022 年 11 月
STI/PUB/1483
ISBN 978-92-0-510122-4（简装书：碱性纸）
978-92-0-510222-1（pdf 格式）
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。

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）（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这些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。

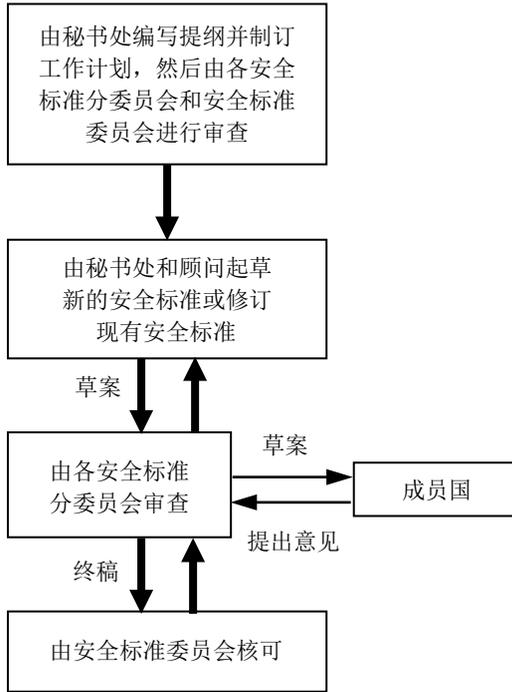


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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“引言”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 (1.1-1.7)..... | 1 |
| 目的 (1.8)..... | 2 |
| 范围 (1.9-1.13)..... | 2 |
| 结构 (1.14-1.15)..... | 3 |
| 2. 地质处置及其实施综述 (2.1-2.6) | 4 |
| 3. 法律和组织机构框架 (3.1) | 7 |
| 政府职责 (3.2-3.3)..... | 7 |
| 监管机构的职责 (3.4-3.7)..... | 8 |
| 营运者的职责 (3.8-3.13)..... | 9 |
| 4. 安全途径 (4.1-4.2) | 10 |
| 安全在开发过程中的重要性 (4.3-4.7)..... | 10 |
| 包容 (4.8-4.9)..... | 12 |
| 隔离 (4.10-4.12)..... | 13 |
| 多重安全功能 (4.13-4.16)..... | 13 |
| 非能动安全 (4.17-4.18)..... | 15 |
| 5. 安全论证文件与安全评定 (5.1-5.5)) | 15 |
| 安全论证文件和安全评定的准备、核准和使用 (5.6-5.7)..... | 16 |
| 安全论证文件与安全评定的范围 (5.8-5.19)..... | 17 |
| 安全论证文件与安全评定的建档 (5.20-5.24)..... | 20 |
| 对安全的认识和信心 (5.25-5.26)..... | 22 |
| 6. 分步开发地质处置设施的主要工作 | 23 |
| 分步开发和评价 (6.1-6.3)..... | 23 |
| 场址表征 (6.4-6.24)..... | 24 |
| 设计 (6.25-6.35)..... | 29 |
| 废物接收 (6.36-6.41)..... | 31 |
| 工程建造 (6.42-6.46)..... | 33 |
| 运行 (6.47-6.55)..... | 34 |
| 关闭 (6.56-6.59)..... | 35 |
| 监测计划 (6.60-6.64)..... | 36 |
| 非能动安全工程设施的监视与控制 (6.65-6.66)..... | 37 |
| 关闭后阶段与有组织控制 (6.67-6.68)..... | 37 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 有关国家核材料衡算和控制体系的考虑 (6.69-6.74)..... | 38 |
| 核安保措施 (6.75-6.76)..... | 39 |
| 管理系统 (6.77-6.84)..... | 40 |
| 现有处置设施 (6.85-6.92)..... | 41 |
| 附件 I 地质处置设施选址 | 43 |
| 附录 II 关闭后安全评定..... | 55 |
| 参考文献..... | 75 |
| 参与起草和审订人员..... | 79 |
| 国际原子能机构安全标准核可机构 | 81 |

1. 引言

背景

1.1. 放射性废物是一种预期不再使用的物质，包括气态、液态和固态放射性废物。其中包含或沾染有各种放射性核素，浓度或活度高于监管机构订立的清洁解控水平。放射性废物的来源包括核电厂和研究堆的运行，核燃料循环各个环节以及涉及放射性物质应用的其他活动。放射性废物对人类健康和环境均有潜在的危害，因而必须对其进行管理以确保其相关的风险始终保持在可接受的水平以下。

1.2. “地质处置”一词指的是把固体放射性废物放进设在地下稳定地质体中的处置设施当中，以此来保证对废物的长期包容，实现废物与可能接近的生物圈的隔离。“处置”就意味着接受处置的废物将不再回收或回取，尽管这种可能性尚不能完全排除。地质处置是特别针对更危害的放射性废物的一种处置方法，因为这类废物放射毒性大，且持续时间很长。

1.3. 本“安全导则”旨在为从事放射性废物地质处置设施开发与管理监督的决策机关、监管机构和营运者提供指导。本“安全导则”还就如何履行 SSR-5[1]规定的放射性废物处置安全要求提供了一系列建议。本“安全导则”及其参考文献[1]均与《基本安全标准》[2]中规定的、所有放射性废物管理活动都必须遵循的安全标准相一致。这些标准构成了《乏燃料管理安全与放射性废物管理安全联合公约》[3]的技术基础。辐射防护的相关标准和标准分别见《基本安全标准》[2]及《国际辐射防护与辐射源安全基本安全标准》（《基本安全标准》、BSS）[4]。

1.4. 放射性废物地质处置研究已经开展了数十年[5]。目前，在地质中建造中处置放射性废物的实际经验尚有限。一些国家已经开展了高放废物地质处置设施场址的表征研究，少数国家已建成了用于围岩表征研究的地下实验室或地下研究设施。而正在运行的针对中放废物的地质处置设施较少。关闭地质处置设施的经验还非常有限。

1.5. 地质处置作为放射性废物，特别是高放和中放废物的长期管理方案，获得了广泛支持。总体而言，可行性研究、特定场址的安全论证文件以及运

行经验提高了关于地质处置安全的置信度。在任何国家，采用和实施这一方案都是其国家决策层的一件大事，因为需要综合考虑经济、社会等方面的各种因素及本国采用的放射性废物管理政策、需求与标准。

1.6. 如上所述，地质处置设施建造和运行方面的经验比较缺乏，设施关闭方面的实际经验也很缺乏。因此，本“安全导则”中提供的各项建议均以原子能机构及其他国际组织确定的关于放射性废物地质处置的各项安全标准[2]以及不同国家取得的实践经验为依据。随着经验的不断丰富和地质处置计划的日益成熟，本“安全导则”将会有所修正和增补。

1.7. 在实现安全的途径方面，地质处置设施与一般核装置有明显的差别。这主要是因为，诸如燃料制造厂、核电厂或后处理厂等核装置的核心任务，即生产活动，如电力生产，是在它们运行期间完成的。这类核装置依赖于它们的能动安全系统所设定的运行限值和条件。与这类装置截然不同，长寿命废物地质处置设施的核心任务是必须在相当长的时期内（通常以成千上万年为期，或许更长）提供非能动的安全保障。因而，各种运行限值和条件对于地质处置设施而言也具有不同的意义，因为其整体安全是通过假设这些措施不起作用，或不依赖这些措施来进行评价的。

目的

1.8. 本“安全导则”旨在就放射性废物地质处置设施的开发与监管控制等方面提供指导和建议，使之符合参考文献[1]规定的安全要求。主要读者群应是参与地质处置执行及监管控制的工作人员。关于选择地质处置作为废物管理方案的决策，本“安全导则”不予讨论。

范围

1.9. 本“安全导则”涵盖的范围仅限于挖掘的地下处置设施的安全开发，而不适用于钻孔式处置设施。关于钻孔式设施的各项建议见参考文献[6]。在已有矿山设施中处置放射性废物也是一种可行的方案，但必须符合参考文献[1]规定的相同安全要求。

1.10. 本“安全导则”主要针对地质处置设施场址选定之后的各项开发活动。应该强调，选址工作包括了从初步概念设计和场址筛选到场址确认直至

认为可以建造处置设施为止的一系列活动。而本“安全导则”只讨论了其中的场址表征和场址确认，并未论及其全部活动。这是因为选址工作涉及到许多非技术性的和具体社会条件方面的问题。关于选址的技术与学术方面的一般性建议可见附件 I。

1.11. 本“安全导则”适用于含有一定量的放射性物质、不适合浅部埋藏或近地表处置的固体废物。不过，适合近地表处置的废物放到地质处置设施中去处置是没有问题的（例如低放废物与中放废物共同处置）。在采取这种行动方案时，即使采用的确是参考文献[1]规定的安全要求，本“安全导则”的某些方面也是不能适用的。按照《基本安全标准》[4]规定的分级方法，选择的包容废物、并使废物与人类及其环境隔绝的处置系统必须有能力和废物的潜在危害性匹配。

1.12. 废物运抵处置设施期间的运输安全可参照《放射性物质安全运输条例》[7]规定的安全要求执行。对于同处置设施共处一地的废物包装厂和其他工厂，本“安全导则”未提供专门的安全标准；但原子能机构针对非反应堆设施的各种安全要求可适用于此类设施[8]。

1.13. 一些国家的处置设施开发计划为使开发进程的具有可逆性（见第 2.6 段），包括保证废物的可回取性，考虑了若干专门的设计与运行规定。在有的国家，关闭后的可回取性是法律要求，并成为所有可能方案的边界条件，但这不能影响各项处置安全要求的执行。参考文献[1]对此作了这样的阐释：“决不允许以废物可以回取或通过专门规定允许废物回取为借口，对安全标准或要求有任何放松。务必切实保证，任何此类条款均不能对安全或者处置系统性能造成不可接受的负面影响”。本“安全导则”适用于所有类型的地质处置设施，无论其设计与实施方案中是否考虑了废物可回取性问题。

结构

1.14. 第 2 部分介绍了地质处置及其设施的一般要求和地质处置设施开发的分步实施推进方式；第 3 部分是各类组织机构的责任原则；第 4 部分讨论了安全途径；第 5 部分为安全论证文件和安全评定工作导则；第 6 部分阐述了地质处置设施开发中各个步骤（阶段）的工作方针。附件 I 论述了地质处置设施选址的补充信息和导则以及特殊的数据要求；附件 II 提供了关闭后安全评定的补充信息。

1.15. 参考文献[1]列出了 26 项专门针对放射性废物地质处置的安全要求，它们是本“安全导则”中的各项建议的基础。为方便起见，本“安全导则”列出了参考文献[1]每一项安全要求的原文，之后列出了相关建议。

2. 地质处置及其实施综述

2.1. 地质处置是把固体放射性废物永久地放在地下稳定地质体内的专门设施中。地质处置的标志性特征是部分地依靠地质建造固有的稳定性质来提供设施关闭后的安全。具体处置设施深度的选择取决于气候、地下水条件、岩石稳定性、围岩成分、废物危害性与性质等一系列因素，但又不仅仅局限于这些因素。

2.2. 包容废物并使之与生物圈隔离是一种可以接受的放射性废物管理策略[1]。包容和隔离可通过一系列互补的屏障层来实现，如废物体本身、废物罐、回填材料以及围岩地质性质等。其中各屏障层有着不同的有效寿命。处置深度及围岩地质特性起着隔离生物圈的作用，可以降低人类活动不经意的或意外侵入的概率。另外，在深部稳定地质建造中的处置还可以大幅度减少气候及其他地表作用的影响。

2.3. 在辐射安全方面，地质处置设施的开发可以分为以下 3 个大致的阶段：

- (1) 运行前阶段—包括确定各种概念，场址勘查与确认、安全评定、选址，与安全论证文件有关的设计、研究和开发等。这是针对运行期间和关闭之后的安全而开展的研究开发，其作用在于确定核准条件、争取获得核准并将计划推进至处置设施建造和调试阶段。运行前阶段还必须制定监测和试验计划，以便为运行管理决策提供信息。第 6 部分和附件 I 提供了更详细的选址建议；
- (2) 运行阶段从设施第一次接收废物开始算起。从此时起，作为废物管理活动结果的辐射照射开始出现，故需按照辐射防护与安全要求进行控制。控制、监督与试验计划需不断为运行管理决策提供信息，并将成为设施或其各部分关闭的决策依据。运行阶段和关闭后阶段的安全论证文件和安全评定必须持续更新以反映不断取得的新经验与新认识。在运行阶段，处置设施的建造工作可以同设施某些部分的废物处置及其他部分的关闭同时进行。这一阶段可以开展关闭前废物回取方面的各

项活动（如果必须考虑回取的话），废物处置完成后的各项活动以及关闭工作；

- (3) 关闭后阶段——一旦起包容与隔离作用的所有工程屏障全部就位，运行建筑物及各种服务设施完成退役，整个处置设施已完成最后布局，即宣告关闭后阶段正式开始。关闭以后，尽管某些常规监控措施，如为巩固公众信心采取的关闭后监测仍将继续，但处置设施的整体安全基本上要依靠非能动手段，如场址和设施的固有功能以及废物固化体自身的性质等来保证。当所有技术、法规和资金方面的要求全部满足（达标）后，许可证便告中止。

2.4. 地质处置设施的研发已开展了数十年。由于时限如此之长，信息量如此之大（需从场址表征以及支持安全论证文件编写的其他活动中获得），加之信息的多样性，必须将研究计划分成若干步骤（或阶段）来实施、评审和评定，即以易于管理的方式进行“打包”，以期自始至终贯彻落实实时控制的总体目标。这就是所谓的“分步实施”。地质处置设施开发的营运者可自行划分自己的研发计划。但在本“安全导则”中，“分步实施”进程中的“阶段”是指由监管和行政决策机关指定的阶段或步骤。

2.5. 对于任何处置计划来说，选址之后都有大量的工作要做。按照大致的类别，可称为详细场址表征与确认、地质处置设施设计、处置设施建造、处置设施运行（接收并处置废物）和处置设施关闭。这些工作的展开不一定截然分开，而是可以相互重叠的。最后三项是地质处置设施审批程序中的 3 个重要步骤（见图 1）。需要补充哪些额外步骤，在很大程度上取决于各个国家的选择。在某种意义上，场址表征与设计活动可以持续至设施关闭。

2.6. “分步实施”可以提供很大的灵活空间，使研发计划能够根据新的技术信息进行修正。“分步实施”还便于考虑处置设施开发过程的可逆性，并且在每个阶段，都可以在“推进至下一阶段”还是“等候补充信息再做决定”，抑或“推翻某一决定”之间做出选择性决策。

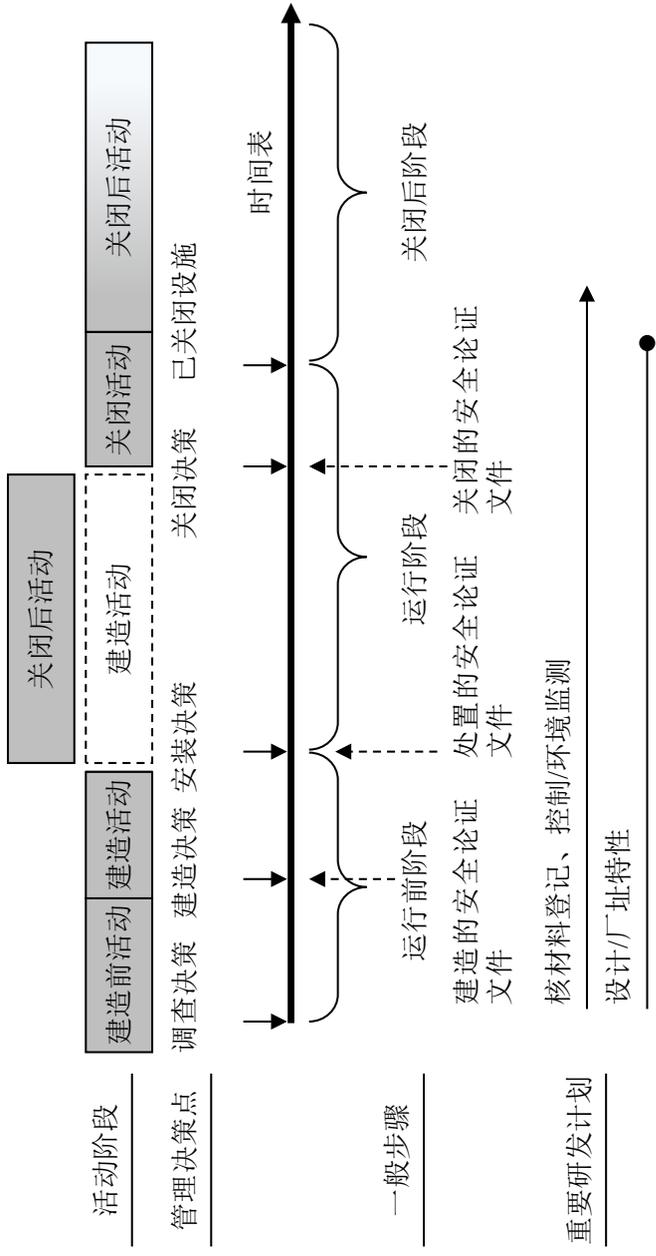


图1. 地质处置设施开发的时间表

3. 法律和组织机构框架

3.1. 地质处置设施的开发需要明确三类组织机构——政府、指定的监管机构（或多个机关）和设施开发运营者的责任范围。本部分拟就各类机构应负的责任提出若干建议。

政府职责

3.2. 地质处置要求建立专门的国家级法规与组织机构框架[9]，因为这类项目的开发需要较长的时限。

SSR-5（参考文献[1]）要求 1：政府职责

政府应建立健全包括行政机关、立法机关和监管机构在内的安全监管框架。在这个框架下，各类机关在放射性废物处置设施的选址、设计、建造、运行及关闭等活动中应负的责任必须有明确的规定。其中应包括：国家对不同类型处置设施需求的认定；不同类型处置设施开发与许可证申请步骤的详细说明；未来处置设施开发中各种职责的明确划分、财务与其他资源保障以及赋予（监管机构）独立监管职能的授权。

3.3. 地质处置的国家、法律和组织框架应包括以下内容[1]:

- (a) 国家对不同类型放射性废物的长期管理政策；
- (b) 为参与开发地质处置设施的组织机构规定明确法律、技术和财务方面的责任；
- (c) 确保财务规定的充分性和安全性，例如要求废物所有人设立独立的基金；
- (d) 制定地质处置设施的开发、运行和关闭的总体程序，包括各阶段的法规和监管要求（标准），决策程序以及各相关各方的参与程序；
- (e) 保证必要的科学技术专家队伍以支持场址与设施的开发、监管评审和其他评审等国家职能；
- (f) 建立法律、技术和财务方面的责任制度，必要时可针对关闭后阶段制定组织管理措施，如监测措施以及保证处置废物安保所必须的其他管理措施。

还应确保有关地质处置的具体法律和法规与国家法律框架相协调。各相关各方参与或介入放射性废物地质处置有关决策程序的行为模式可能因国家法律、法规及政策倾向的差别而有所不同。关于相关团体（相关各方）如何介入的信息见参考文献[10]。

监管机构的职责

3.4. 本部分所列建议项只针对单一监管机构，但应该承认，地质处置设施的安全管理在实践中需要多个监管机构共同参与，才能应对核安全、工业和建造安全、环保及辐射防护等同时存在的活动。

SSR-5 要求 2（参考文献[1]）：监管机构的职责

监管机构必须制定不同类型的放射性废物处置设施建造的监管要求，并须说明满足许可证审批过程各阶段要求的程序。监管机构还必须确定每个处置设施的建造、运行和关闭的条件，并须开展确保满足这些条件所需的活动。

3.5. 在制定针对地质处置设施的法规、导则和其他监管标准时，监管机构应确保与国家政策保持一致，并适当考虑参考文献[1]中规定的目标和标准。法规和导则可包括：

- (a) 针对运行阶段和关闭后阶段安全的辐射防护标准和环境保护标准；
- (b) 处置设施安全论证文件和安全评定及管理系统内容方面的要求；
- (c) 处置设施选址、设计、建造、运行和关闭的各项标准和要求；
- (d) 针对废物、废物体、处置容器、回填与封闭材料以及将要处置的废物固化中其他组成成分的标准和要求；
- (e) 关于相关各方如何参与的要求。

3.6. 监管机构必须制定并记录用于评价地质处置设施安全的程序，营运者必须遵守的许可证申请程序和证明已经达到安全要求的程序，并将之记录建档[1]。监管机构制定的程序及监管机构的职责包括：

- (a) 详细列出需由营运者提供的信息；
- (b) 评审所有要求提交的文件和监管要求执行情况的评定报告；
- (c) 签署核准文件和许可证，并界定法律法规等适用条件；

- (d) 检查、监查营运者的数据采集、安全评定及建造和运行等活动，以保证质量和核准文件、许可证所列条款的贯彻落实；
- (e) 定期评审核准令、许可证审批程序和检查程序，以判断其是否仍可适用还是需做修改；
- (f) 相关各方参与事宜的管理；
- (g) 提出终止监管控制的条件或标准。

3.7. 监管机构可以部署独立的研究和评定，还应参与必要的国际合作以保证履行其监管职能。监管机构还需定期评审各类法规与导则是否恰当和充分。如果营运者的研究工作非常充分，且已经达到足够的质量水平，已经达到可以提请独立专家评审的深度，而监管机构对此满意，则监管机构可以不开展独立的研究。

营运者的职责

SSR-5 要求 3（参考文献[1]）：营运者的职责

营运者必须对放射性废物处置设施的安全负责。营运者必须编写安全评定和安全论证文件，并且应遵照国家战略，按照监管要求，在法规和监管框架下开展选址、评价、设计、建造、运行、关闭，及必要时关闭后监视等全部工作。

3.8. 营运者负责开发安全的地质处置设施。在处置设施和安全论证文件的设计开发中，营运者应将待处置放射性废物的特性与数量、主要的地质环境、可用的工程与施工技术以及国内法规框架和各种监管要求一并考虑在内。

3.9. 营运者必须在以下两个方向开展或委托开展必要的研发活动：确保并证明所有拟议中的技术操作均可安全完成的相关研发，调查、认识并支持地质处置设施安全基准[1]的相关研发。其中包括场址勘查、处置设施设计以及安全论证文件所需要的废物特性调查等所有活动。

3.10. 营运者必须开发地质处置设施建造、运行与关闭等环节应该遵循的一系列技术规范，以保证上述活动完全符合监管要求和安全论证文件中的

各种假设条件。其中包括废物验收标准以及建造、运行、关闭过程中将要实施的其他控制与限值。

3.11. 营运者应开展运行阶段和关闭后阶段的安全评定，且必须通过编写安全论证文件证明处置设施的适宜性。

3.12. 为满足要求，营运者必须保留或保存安全论证文件的所有相关信息、地质处置设施安全评定的论证材料以及能够证明监管要求已经得到贯彻的档案记录。营运者应保存这些信息和记录直到有另一家组织或机构来接手该设施的管理职责。届时，营运者需将上述记录移交给接手的机构。

3.13. 营运者应该努力避免长期安全目标与运行目标之间的潜在冲突，也就是说运行中的任何权宜性措施均不得危及长期安全。

4. 安全途径

4.1. 安全途径包括依靠地质处置设施的有效寿命来保障人类和环境安全的所有途径。有益的实践是，政府和监管机构在地质处置计划启动伊始就通过正式的安全策略文件制定出国家将采取的途径，并定期加以修订。经济合作与发展组织核能署对安全策略的定义是“为达成安全处置采取的高水平集成方法”[11]。其中包括处置设施的选址、设计、建造和运行等方面的策略。另外，该安全策略还应包括如何编写安全论证文件的建议，因为安全论证文件在决策和监管机构的审批程序中是不可或缺的（见第5部分）。

4.2. 迄今为止，国际上尚没有专门针对电离辐射危害影响的环境保护标准。《基本安全标准》[4]和国际放射防护委员会（ICRP）的建议[12]做过这样的推论：准确恰当地定义受照射人群之后，保护人类免遭地质处置设施导致的辐射伤害也应符合环境保护的原则。关于环境辐射防护的基本问题及其可能的标准开发见参考文献[13、14]。

安全在开发过程中的重要性

SSR-5 要求 4（参考文献[1]）：处置设施开发与运行中安全的重要性
在放射性废物处置设施开发与运行的自始至终，营运者应不断地深入了解各种可选方案对处置设施的适宜性以及可选方案的安全对于

处置设施可能导致的后果。这只有一个目的：在运行阶段乃至关闭以后，可以提供最优化的安全水平。

4.3. 地质处置设施的开发是一个包括场址表征、设施设计、编写安全论证文件、开展安全评定等工作在内的，为运行期间和关闭后阶段提供最优化的安全水平，需要多次迭代进行的过程（详见参考文献[1]附录）。放射性废物地质处置设施的开发与运行可能需要数年或数十年的周期。其中的所有重要决策诸如方案选择、场址选择与评价、处置设施的设计、建造、运行和关闭等，都可视为处置计划的推进。在此过程中，一切决策均需以当时所掌握的信息为依据。这些信息可以是定性的，也可以是定量的，但都必须具备相应的置信度或可靠性。处置设施的开发、运行和关闭等决策会受许多外部因素的影响，如国家政策和优先发展方向等。“每一处置设施的安全置信度必须在决策之前达到足够的水平” [1]。

4.4. “在每一个重要的决策点上，处置设施各种现有设计方案和运行方案对于安全的意义都必须有所考虑并给与充分的重视。无论是在运行阶段还是在关闭后阶段，保证安全永远是决策点上压倒一切的重中之重。如果能够提供最安全水平的不止一个方案，则必须考虑其他因素。这类因素包括公众的接受程度、成本、场址所在地的土地所有权，现有基础设施和运输条件等” [1]。

4.5. 处置系统的所有重要组成部分（如处置设施及其所在的环境）都必须被证明是适宜的和实用的，并需采用标准的和普遍接受的试验方法来证实这些部分能够正常发挥其应有的功能或作用。如需采用新技术，那么新技术开发与核实所需要的时间必须在处置计划进度表允许的范围内。

4.6. 运行安全要靠能动的和非能动的系统来保障。能动系统包括对放射性物质释放（或泄漏）的监控和运行控制，而非能动系统则包括各类工程屏障体系。适当的时候，现有核设施中采用的运行经验和技术（如燃料管理技术）可以用于（处置设施）运行安全管理系统的开发。关闭后阶段的安全机制与运行阶段采用的机制有很大差别，因此本部分的以下部分将主要针对地质处置设施关闭后的安全途径提出若干建议。

4.7. 放射性废物地质处置的目标是包容废物中的放射性核素并将之与环境隔离开来。目前尚没有一种普遍接受的方法能够区分地质处置系统的哪些特性是其包容作用的，哪些特性是起隔离作用的。尽管区分包容的和隔离

的安全特性并不十分紧要，而且这些特性也未必相互排斥，但为明确起见，本“安全导则”仍对包容作用和隔离作用做了如下定义：

- (a) 地质处置系统的包容特性包括处置设施及其围岩地质建造中能够将放射性核素永久滞留在设施处置区的那些作用和要素；
- (b) 地质处置系统的隔离特性是指围岩的下列作用和要素：能够将放射性核素滞留在地质圈内而与广泛的生物圈保持隔离状态（即能够使废物与人类相隔离的特性），或者将放射性核素向生物圈的迁移限制在不会导致重大辐射伤害的水平。

包容

SSR-5 要求 8（参考文献[1]）：放射性废物的包容

包括废物固化体形态及其包装在内的工程屏障的设计以及围岩环境的选择都是为了一个共同的目标：**确保废物中的放射性核素得到包容。包容功能必须保持到由于放射性衰变，废物毒性得到大幅度减弱之时。此外，对于释热废物而言，包容功能应保持到废物产生的热能对于处置系统的性能不再造成负面影响为止。**

4.8. 废物包容是指处置设施的设计能够延缓或减少放射性核素的释放。包容功能可以靠坚固耐久的废物固化体及其包装，以及与之相容的其他工程屏障和围岩地质建造来保证。针对具体废物类型和场址开展的安全论证文件及辅助安全评定必须能够证明或演示处置系统的包容能力。对于低放射性的长寿命废物，依靠坚固耐久的废物包装来保证长期包容恐不现实或无必要。

4.9. 对于最高浓度的放射性废物，如（被界定为放射性废物的）乏燃料和源自燃料后处理的固化废物而言，工程屏障必须在数百年乃至数千年的时间段内提供切实完整的包容。这样方能保证大部分短寿命的放射性核素在原地衰变以及当出现明显的热梯度时废物固化体降解和放射性核素迁移中固有的不确定性减少（也就是说，只有在放射性衰变释热大幅减少之后，才能允许个别放射性核素的泄漏）。

隔离

SSR-5 要求 9（参考文献[1]）：放射性废物的隔离

处置设施的选址、设计、运行都必须本着这样的目标：将放射性废物与人类以及可接触的生态圈隔离开来。处置设施的这种隔离能力对于短寿命废物应能保持数百年，而对于中、高放废物则至少需保持数千年。对于这样的时间跨度，既要考虑处置系统的天然变化，也应注意可能对设施产生扰动的各种事件。

4.10. 隔离是指将废物及其固有的毒性隔离在生态圈之外，依靠的是这样一种处置环境：它可以将废物与生态圈截然分开、人类没有专门的技术手段难以接近、还能限制大多数长寿命放射性核素的自由活动。就放射性废物地质处置而言，隔离功能主要来自围岩地质建造，即靠处置的深度来提供。

4.11. 地质处置设施建设在适当深度上的稳定地质体中可以保护处置设施不受侵蚀和冰川作用等地貌过程的破坏性影响。而远离已知地下矿产资源和其他有价资源产地的位置选择则可以降低地质处置设施遭受不经意扰动的概率。

4.12. 地质处置设施的建造深度是否适当，可以通过综合考虑废物的性质与毒性、当地地质与水文地质条件以及水力梯度、地球化学和地质力学特性等因素来确定。

多重安全功能

SSR-5 要求 7（参考文献[1]）：多重安全功能

围岩环境应当慎重选择，工程屏障应当精心设计，设施应当规范运行，这些都是为了确保设施的安全是在多重安全功能的基础之上建立的。废物的包容与隔离要靠处置系统的一系列物理屏障来保证。这些物理屏障的功能应由不同的物理、化学作用，连同运行中的各种监控措施来共同实现。每一层屏障和每一种监控措施的功能能否与处置系统的整体功能一道，按照安全论证文件推测的那样发挥作用，必须得到证实或演示。处置系统的整体性能决不能过分依赖某一种单一的安全功能。

4.13. 由于地质处置系统的整体性能并不过度依赖某单一安全功能，所以多重安全功能既提高了系统的安全性，也提高了安全置信度。多重安全功能的建立提供了这样一种可靠性：即使某一种安全功能不能完全按照预期的方式发挥作用（如由于某种没有预见到的作用或是不太可能发生的事件），其他安全功能仍可保障处置系统的性能作为一个整体不受损害。

4.14. 在较长的时期内，工程屏障系统的退化是不能避免的，因此，放射性核素肯定会泄漏到地质环境中并最终迁移到生物圈。处置系统应具备足以有效包容和隔离废物的天然特性与工程特性相结合的综合特性：即保持废物包装的完整性、限制放射性核素和废物固化体的溶解、尽量减少可能的地下水入渗和/或延长放射性核素由处置设施向生物圈迁移的时间。限制水流、加长其运移时间的因素包括：低渗透性的地质建造、地质圈的低水力梯度和低扩散特性。放射性核素在生物圈中任何可能的浓集都将被工程屏障和围岩的迟滞作用和沉淀作用进一步减弱。而且放射性衰变作用也会使处置系统内存在的放射性核素的活度逐渐衰减。回填与密封材料的性质应保证不会过分破坏地质屏障的安全功能。

4.15. 安全功能可以由废物固化体、废物包装、回填材料或者围岩地质建造的物理完整性来提供，这一特性即是防止或限制放射性核素的迁移。安全功能也可以由化学性质或化学作用，如溶解度、腐蚀速率、溶解速率或浸出率等来提供。每一层屏障可能兼备若干安全功能。例如，回填材料除了能够迟滞放射性核素，还具有对地下水的化学缓冲功能。所以，在考虑单个屏障层安全功能的基础上，可以认为，以多重安全功能来保障系统安全的要求是能够实现的，对于危害较小的废物尤其如此。

4.16. 地质处置系统的性能取决于系统各组成部分的性能和具有不同安全功能的其他要素，而各组成部分或要素的重要性在不同的时段内会有所不同。为了满足多重安全功能的要求，安全论证文件中必须对各组成部分和要素的功能进行解释并加以证明，还需指明其发挥作用的时间段。安全论证文件中还必须指出补充安全功能：一旦某一组成部分的某种安全功能不能完全实现，这些补充功能将发挥其作用。

非能动安全

SSR-5 要求 5（参考文献[1]）：处置设施的非能动安全措施

必须有尽可能完善的非能动措施来保障安全，设施关闭后需投入的工作量应尽可能少；营运者必须本着以上两项原则进行处置设施的场址评价、方案设计、建造、运行及关闭。

4.17. 运行期间，处置设施的安全可以由废物包装材料提供的屏蔽与包容功能，即非能动特性来保障。然而，运行期间“仍然必须实施某些能动的控制手段” [1]。

4.18. 关闭后的安全应由地质屏障和工程屏障等非能动系统来保证。适当深度上的地质处置具有一种天然的安全特性，就是提供隔离功能。关闭后的设施安全决不能依靠人类控制或有组织监测等措施。但这并不是说关闭后毋需进行监控，即使现代或未来人类未必做这样的选择。很有可能，非能动的制度控制，诸如树立标识和强化土地使用控制等措施是必须采取和坚持的，起码在刚刚关闭后的一个时期内。地质处置设施关闭后的一段时间内，象监测等能动的有组织控制手段也可能是必需的，例如为了回应公众的关注和许可证申请的要求，或者为了防止人类侵入。

5. 安全论证文件与安全评定

5.1. 安全论证文件就是收集和综合分析各种证据和证物，以证明“某具体设施及其各组成部分或场址上的某项活动是安全的”。至少在地质处置设施开发、运行和关闭的每个主要阶段（或步骤）都必须编写安全论证文件，然后将分析结果提交给监管机构，以获得核准开展下一阶段工作。安全论证文件将随着研发工作、设施运行和关闭的不断深入而逐渐完善和深化，这就使所有安全事件和补救措施都能够有案可考，而且能够始终有最新版的档案材料证明设施是安全的、并将在以后甚长的时期内保持其安全状态。本部分使用了“运行阶段安全论证文件”和“关闭后阶段安全论证文件”两个术语。实际上，它们可以是独立的概念，也可以是处置设施总体安全论证文件的组成部分。

5.2. “安全论证文件必须包括安全评定的成果 ([详见下文]), 以及各种补充信息, 如支持性证据和关于设施坚稳性与可靠性判断、设计、设计逻辑, 还要包括安全评定的质量以及相关假设条件。安全论证文件还应包括与放射性废物处置相关的一般性论证和 ‘证明安全评定结果是合理的’ 有关信息” [1]。这些论证包括预测放射性核素泄漏导致的照射与天然背景浓度和辐照水平下的照射之比较以及与天然类似物之比较。残余的不确定性以及 “设施开发、或运行或关闭等所有阶段的所有未决问题, 在安全论证文件中都必须有如实反映” [1]。如果影响到评价安全, 则必须对这些未决问题开展进一步研究。

5.3. 安全评定是运用适当的方法对设施本身、场址能力及设施设计中蕴含的风险进行系统分析、使之符合安全要求的过程。地质处置设施的安全评定 “必须包括整体性能水平的定量评定、相关不确定性的分析以及与相关设计要求和标准之比较……。科学认识、资料或分析数据中所有可能影响到现有结果的重要缺陷, 在安全评定中都必须识别出来[1]” (见附件 II “关闭后安全评定”)。

5.4. “营运者的安全评定必须为当前的决策提供所需信息” [1]。当前决策系指研究目标、场址表征、设施设计、资源配置 (经费划拨) 及废物验收标准开发的方面的决策。安全评定包括一系列分析以确定事关安全的各种不确定性和作用过程。这些分析有助于提高对地质处置设施性能的科学认识, 因此可以加强安全论证文件中安全论证的基础。

5.5. 营运者主持的安全论证文件编写工作应对其他相关各方开放, 如国家政府和地方政府, 以简化相关的决策程序, 使营运者的设施开发或运行研究更易于推进至下一阶段。

安全论证文件和安全评定的准备、核准和使用

SSR-5 要求 12 (参考文献[1]): 处置设施安全论证文件和安全评定的准备、核准及使用

营运者必须在处置设施开发、运行及关闭的每一阶段开展相应的安全论证文件和开展辅助安全评定, 并不断加以更新。安全论证文件及其安全评定报告应向监管机构报批。安全论证文件及其安全评定

报告必须足够详实和全面，以满足监管机构必要的技术信息需求和每一阶段决策必要的信息需求。

5.6. 在地质处置设施开发的初期就应当编写安全论证文件，以指导各种研发活动、场址表征、设计与计划等工作[1]。安全评定是这样一个过程：对提出的概念模式（或若干模式）的稳健性、能否确定相应的放射性核素、确定其迁移通道和释放机制等方面的能力进行一系列评价计算；还要确定为此需提高哪些方面的认识并确定研究重点。初始计算赖以进行的基础往往是十分有限的数据库，如来自文献检索的、材料明细单的、室内研究和天然类似物研究、初步场址勘查和废物表征的资料等。因此，分步实施的开发过程，直到处置设施被永久地关闭或者建议中的处置概念被判定为不可接受为止，数据、资料的获取应是一个贯彻始终、持续不断的过程。

5.7. “安全论证文件应随着处置计划的推进逐步编写和细化” [1]以便为地质处置设施开发中关键步骤的许可证申请提供基础（详见图 1）。监管机构在地质处置设施开发和运行过程的某阶段向下一阶段推进的决策做出前，可以要求对安全论证文件结果进行更新或评审。安全论证文件的格式和技术水平的详细程度取决于计划编写的阶段、将要做出的决策、预案将要面对的听众以及国家的专门要求。

安全论证文件与安全评定的范围

SSR-5 要求 13（参考文献[1]）：安全论证文件与安全评定的范围

处置设施的安全论证文件应对场址、设施设计、监管控制措施以及监管机构的监督中涉及安全的所有问题进行描述。安全论证文件及辅助安全评定应当证明人员防护水平和环境保护水平能够实现，并能够向监管机构和其他相关各方保证安全要求能够得到满足。

5.8. 安全评定结果的表达方式应能演示系统每个组成部分的性能。这是一项很有价值的工作，而且，如果采用模块式建模方式是很容易完成的。每个组成部分预期性能的演示、各部分设计上的不断完善或者对其预期性能的认识的不断加深，必将有助于其性能的有效发挥，从而提高全系统性能的置信度水平。

5.9. 地质处置设施的安全论证文件应包括运行阶段和关闭后阶段的安全评定。就运行阶段的安全论证文件及其辅助安全评定而言，设施安全既需要依靠能动的，也需要依靠非能动的手段来保障；而对关闭后阶段的安全论证文件和安全评定来说，设施安全只需靠非能动的屏障来提供。另外，在整个运行阶段，设施还应接受监管机构的监督和辐射监控。因此，为演示运行阶段和关闭后阶段编写的安全论证文件及其辅助安全评定，乃至相应的监管要求，都会有所差别。

5.10. 地质处置设施运行阶段的安全论证文件应涉及到运行中辐射照射的所有问题，其中包括废物码放就位、以及在废物就位、回填、封闭和设施关闭过程中的所有地下建造工作。如果在废物就位结束以后，欲使设施长期保持开放状态，那么在运行阶段的安全论证文件中，就应该考虑该阶段所需设备的保养与更新问题。或许还必须指明：当设施处于开放状态时，废物可以安全地回取。

5.11. “在分析职业照射和公众照射时既要考虑正常运行状态，也需考虑运行事件。对可能带来严重放射后果的较小概率事故（指导致辐照剂量在短时间内迅速超出年剂量限值事故），必须要调查其发生的概率及可能导致的辐照剂量的量级” [1]。

5.12. 关闭后阶段的安全论证文件应考虑到甚长时期内（相当于废物毒性保持的时间跨度）地质处置设施及其区域背景最具可能性的所有演化假想方案及可能影响设施性能的小概率事件。就地质处置设施而言，按照要求 [1]，安全论证文件及其评定必须：

- (a) 提出证据，证明凡是可能严重影响地质处置系统的关键要素、事件和作用过程，连同其可能引起的所有演化假想方案，都经过了充分的分析研究；
- (b) 对地质处置系统性能与全部安全标准的符合度作出评定；
- (c) 确定其固有的不确定性并加以分析。

5.13. 关闭后阶段的安全论证文件应以各种定量分析为基础并须有一系列定性论据作为佐证。这种安全论证文件应包括多条证据链的论证，例如天然类比研究和古水文地质研究。安全论证文件的主要部分应当用来表述所有重要的不确定性都得到了充分的重视。

5.14. 监管机构应确定关于安全评定时间尺度的导则。至少在未来数千年内的模拟剂量值或风险值与监管要求规定的剂量限值或风险限值的比较是必不可少的，也许这个尺度还可以更长一些，例如为了评定峰值。然而应该承认，在大于数千年的时限内，未来地质圈和生物圈环境中的不确定性只能用根据适当简化的假设条件进行的参照计算来评定，其中还需考虑处置系统天然特性的各种演化假想方案以及关于人类行为和特征的“程式化”分析方法（指在某种规定的条件下），如采用参考文献[15]。

5.15. 在关闭后阶段的安全评定中，应该分析地质处置系统在预期的演化中以及某些特定的、却是小概率的演化和事件中可能表现出来的性能。还需进行敏感度分析和不确定性分析，以了解地质处置系统及其各组成部分在各种演化和事件中的性能。对可能导致严重后果的小概率假想方案必须进行调查研究以取得对处置系统坚固程度的认识。该安全评定还应包括对人类不经意侵入已关闭处置设施导致的后果的程式化计算¹。同样，对生物圈的计算也可采用程式化方法（欲进一步了解安全评定开发的详情，见附件II“关闭后安全评定”）。

5.16. 在适当条件下，可以尽量少考虑复杂作用过程对处置系统关闭后演化的影响。鉴于许多非能动要素（特征）未必不带有复杂性，在选择场址和设计要素时应尽可能避免各种复杂作用。避开了复杂作用，就可以减少安全评定模式中分析复杂作用的必要性；而且能够尽可能少考虑复杂背景下影响处置系统演化的其他因素。如果避开复杂的综合作用，还可以用一种相对简单的背景，更清晰地展示各种要素（特征）、事件和作用过程的时、空变异性[16]，而这是必须要考虑的。通过这种方式，安全评定中必须要包含的许多关键参数就可以减少，从而得以用较为简单的模式去进行安全评定。尽管都希望简单化，但场址及其天然特性提供的包容和隔离能力始终是头等重要的，理应成为选址工作中决定性标准。

5.17. 对于监管标准中明确指定的时间段和照射假想方案，必须进行剂量值或风险值计算。监管标准应对受照射组或个人的典型特征作出明确阐释以供剂量计算之用（某些国家采用关键组和关键组平均数的概念来界定照射假想方案）。对于剂量估算十分不确定的甚长时间尺度，可能需使用补充

¹ 关于在放射性废物处置安全评定中使用人为侵入假想方案的原子能机构技术发展司正在筹备之中。

证据来证明系统的安全，例如，用天然放射性核素浓度和通量作为安全指标 [17]。

5.18. 安全论证文件应包括设施关闭计划。还应根据场址表征、处置设施建造和运行期间获得的信息进行更新和精细化。在核准向设施内放置废物的文件中应包括核准设施关闭计划的内容，且应要求该计划应当随着运行的继续而更新和完善。在可能的情况下，关闭计划及相关设计应在与实际设施相当的条件下进行试验。

5.19. 安全论证文件及其辅助安全评定应随着地质处置设施的开发和运行进程不断细化与完善。安全论证文件及其安全评定的逐渐完善过程示于表 1。

安全论证文件与安全评定的建档

SSR-5 要求 14（参考文献[1]）：安全论证文件与安全评定建档

处置设施的安全论证文件及其辅助安全评定均需建立足够详细和高质量的档案，以满足每阶段决策对信息的需求，并保证安全论证文件及安全评定能够正常地接受独立评审。

5.20. 安全论证文件及其辅助安全评定档案涉及的范围和结构安排取决于地质处置设施开发计划所处的阶段和该阶段的国家标准。其中应考虑各相关各方对信息的需求。安全论证文件建档工作的要点是证实决策的正当性、推理的可追溯性和信息资料的清晰度。按照不同相关各方的需求，安全论证文件的档案可能需要编写不同详实程度、不同风格的若干版本。

表 1. 处置设施安全论证文件和辅助安全评定的特征

| 设施各阶段 | 安全论证文件的特征 ^a | 安全评定的基础 |
|---------------|--|---|
| 初步场址调查和初步设施设计 | 运行阶段安全论证文件纲要, 初步的关闭后阶段安全论证文件。 | 初步场址调查资料; 初步设计研究和关闭方案; 废水量, 材料性质的资料; 类似场址和过程的数据及观测资料。 |
| 场址特征与确认 | 中期运行和关闭后阶段安全论证文件, 需足够详细以便为建造决策提供依据。 | 详细的地表和深部场址调查资料; 设施设计与建造的详细计划; 废水量, 与具体场址相关的材料性质资料; 运行计划与关闭计划。 监管部门核准建造的决策。 |
| 建造 | 最终的运行阶段安全论证文件和预设的关闭后阶段安全论证文件, 需足够详细以便为核准投入使用和运行的决策提供依据。 | 建造期间取得的场址资料; 废水量, 废物就位作业试运行情况, 竣工设计; 在运行期间进行测试的关闭方案; 详细运行方案。 监管部门核准运行的决策。 |
| 运行 | 利用服役和运行中取得的经验、数据, 可以按照要求定期更新运行阶段安全论证文件。最终的关闭后安全论证文件可为关闭决策提供依据。 | 利用服役和运行中取得的经验、数据 (包括现场测试、监测、实验和关闭方案测试等方面的信息), 不断更新运行阶段安全评定和关闭后安全评定。 监管部门核准关闭的决策。 |
| 关闭后 | 增加若干可选的关闭后阶段安全论证文件, 以证明处置系统的性能与预测相吻合。 | 当涉及安全论证文件的新科学证据出现时, 更新关闭后部分安全评定 |

^a 指在设施开发计划的每个阶段都可能需要开发的安全论证文件。

5.21. 安全论证文件档案的详实性是指档案提供的所有论证、推理及其支持证据都必须有力、透明并可以追溯。同样，安全评定的相关档案材料应有助于读者对各种模式、数据、假设条件和定性证据的理解。

5.22. 某些档案如果是专为没直接参与过处置设施开发、运行或管理工作的专家或非专家准备的，那么，档案的透明度就显得尤其重要。一些关键性的论据、决策和假设条件必须进入高层级的档案中，而不能仅仅反映在提供给少数很专业读者的、非常详细的技术档案中。

5.23. 可追溯性对于质量保证十分重要，当设计、程序、模式、数据或者假设条件等出现变化时尤其如此。可追溯性是必不可少的，只有这样才能使监管机构、独立评审专家和其他有关人员能够自行衡量和判断论证的可靠度和数据的质量。

5.24. 从整个处置设施的起始到关闭，安全论证文件和安全评定文档的数量和长度是不断增长的。这一点在设计档案结构、制定起草档案和建档导则的时候必须牢记在心。

对安全的认识和信心

SSR-5 要求 6（参考文献[1]）：对处置设施的认识和对安全的信心

处置设施开发的营运者必须对处置设施的特征、围岩环境的特性有深入认识，对在相当长的时期内将会影响设施关闭后安全的各种因素也要有深入的认识，这样才能达到足够水平的安全置信度。

5.25. 对于处置系统的性能及其与设施内、外各种特性（要素）、事件和作用过程之依赖关系的了解是随着数据的积累和科学认识的深入而逐渐增加的。“概念开发初期取得的数据和认识水平应保证足够的置信度，才有可能调动资源投入进一步调查” [1]（见附录 II 第 II.61—II.71 段）。在设施开始建造之前、废物投放期间以及设施关闭之时，科学认识水平都必须足以支持安全论证文件，从而支持当前的决策，取得监管部门的核准。

5.26. 关闭后评定的主要内容是识别并解决各种不确定性。要评价关闭后设施性能中的不确定性，有一系列技术手段可以选择。应当利用处置系统各具体部分的详细模式和具体事件、具体作用过程的详细模式来研究处置系

统的性能，并决定在整体安全评定中如何妥善处理系统各个部分和特性（要素）、事件和作用。敏感度分析、不确定性分析和边界计算可用于详细层面，也可用于全系统层面。概率论和确定性计算既可用于随时间变化的动态环境，也可用于稳定态环境。其目的是在可能时减少安全的不确定性，在不可能时，对不确定性做定量或定性的评定。有些评定时间段内出现的不确定性会使得所有标准都不再适合作为决策依据，对这些评定时间段，运用各种标准时必须十分审慎。

6. 分步开发地质处置设施的主要工作

分步开发和评价

SSR-5 要求 11（参考文献[1]）：处置设施的分步开发和评价

放射性废物处置设施的开发、运行和关闭应分成若干阶段来进行。每一阶段都必须开展迭代式的场址评价、设计方案评定、建造方式研究、运行和管理研究、处置系统性能评定和安全评定。

6.1. 地质处置设施的开发可能需要数十年。开发过程中各关键决策点上的安全评定之目标，不仅仅是为了调配辅助资源，更重要的是要将整个开发计划划分成若干阶段（或步骤）。一般是按照监管机构或政府的核准决策点划分为地质处置设施的建造阶段、接收废物并进行处置的运行阶段、设施永久性关闭阶段。每一阶段的安全论证文件都必须是最新版的[1]。采取这样的方式，就为评定各种技术方案的质量以及评定支持决策过程的安全论证文件的质量提供了许多机会，从而可以提高其置信度。通过分步实施和在计划进行中日臻成熟的安全研究，地质处置设施的安全置信度及可行性都会得到提高。图 1 所示为处置设施开发的时间顺序以及各决策点和其间研发活动的具体说明。

6.2. 重要的研发计划可能会跨越处置设施开发的若干阶段（如场址表征、设计研究、核材料统计与控制、环境监测、安全评定等）（见图 1）。随着安全论证文件、设计及场址表征中信息的不断丰富与成熟，许多重要研发计划中的信息是可以同其他相关计划共享的（例如，可以利用安全论证文件提供的信息来判断场址表征和设计研究中发现的不确定性是否恰当；性能监测可用来判断安全论证文件中所做的假设条件是否正确）。分步实施过程是一

个允许多次反复的过程，信息在其跨阶段的丰富、演化之中得以最大限度地发挥其价值。

6.3. 在设施设计、投入使用、废物接收与运行、关闭后等工作中，为便于项目管理，可设置增加若干步骤，作为安全论证文件或其辅助安全评定评审的补充决策点。评审的性质视各国行政制度的惯例以及拟议设施的特性而定。

场址表征

SSR-5 要求 15（参考文献[1]）：处置设施场址表征

必须对处置设施的场址进行表征，其详细程度须足以支持总体了解场址的特征和场址将如何随时间演变的情况。这必须包括场址的当前状况、可能的自然演变和可能的自然事件，还有在其附近进行的可能在一段特定时间内影响设施安全的人类计划和行动。这项工作还须包括具体了解与场址和设施有关的特性、事件和过程对安全的影响。

6.4. 放射性废物处置设施的选址过程可分为 4 个阶段（见图 2）：(i) 概念和规划阶段；(ii) 区域调查阶段；(iii) 场址勘查阶段；(iv) 详细的场址表征阶段，及此后的场址确认和处置设施建造（关于前 3 个阶段的信息详见附件 I，该附录内容需与本部分一并解读）。场址勘查是从区域调查初期的一般性研究开始的，并将随着具体目的和不确定要素的确立，一直持续到更为详细的表征计划当中。详细的场址表征是场址确认和处置设施建造所要求的，且可能将持续至设施的建造和运行阶段。

6.5. 场址表征研究的目的是认识场址的各种天然要素（特征）、事件和作用（包括现在的、过去的和将来可能的）并对其时、空分布范围及其变化做充分的描述。场址表征的作用是可以对场址进行全面描述，其中包括人类活动的信息（如环境研究所需的土地使用和运输设施等等信息）。任何场址表征都应明确了解研究的背景和目标以便为必不可少的场址表征活动制定适当的工作力度和工作重心。场址表征应包括数据采集（如测量数据、取样分析数据和监测数据）和数据解译已取得信息和认识。场址表征大体上可以在

场址勘察的最初阶段启动，随着设施开发计划进入场址确认和建造阶段，表征研究的力度将逐渐加大。

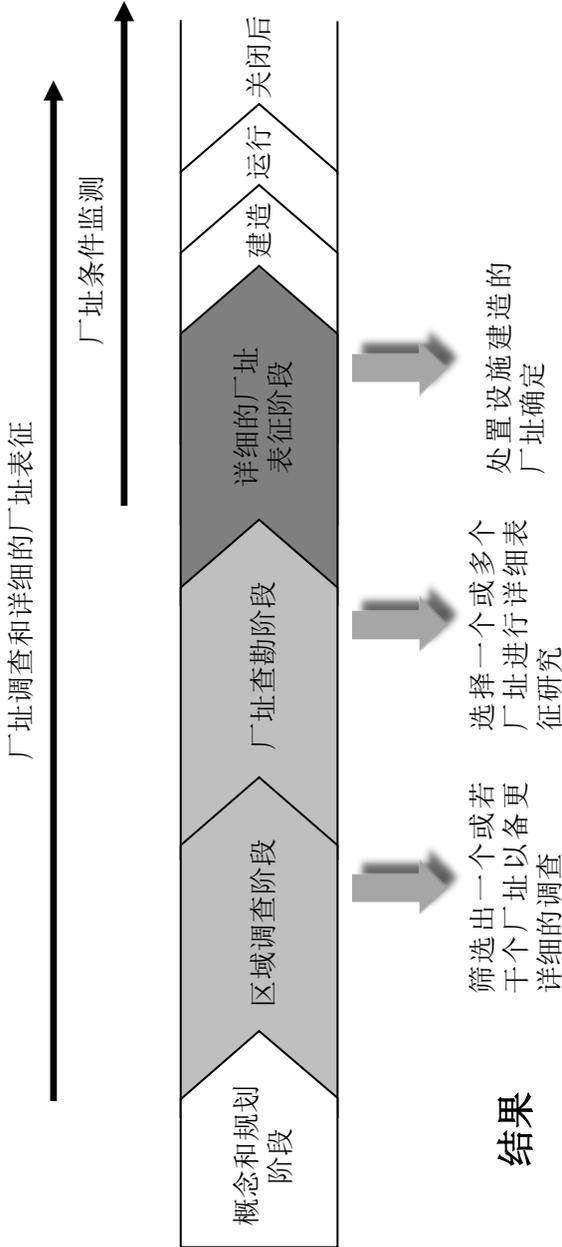


图2. 选址过程

6.6. 详细场址勘察是场址确认的基础，而后者又是前者组成部分。详细调查应在初步选定的一个或若干个场址上实施。初选场址内进一步的工作是对其地质和水文地质系统进行足够详细的表征，以便：

- (a) 支持或证实初选场址的正当性；
- (b) 为详细设计、安全评定、环境影响评定，也为申请处置设施许可证提供具体场址必要的补充信息。

6.7. 场址表征应包括地表调查和地下调查。地下调查可视为处置设施开始建造工程的先声，因为表征工作及一系列现场试验得以在未来处置场址上的地下实验室或岩石表征设施内完成。换言之，地下调查可以看成是处置设施建造工程早期的一个部分。在此种条件下，建造的核准文件（但不包括运行）就只能以地表调查的结果为依据了。地表调查可以包括，但绝非仅限于，遥感（如卫星监测、航空摄影、地震监测）和航空测量，地质和地球化学调查，岩石露头取样，地表和钻孔地球物理调查，钻孔取样，测井及水文地质试验等。

6.8. 场址表征计划的各项目标，诸如需要什么样的信息，为什么需要以及怎样提供这些信息等，应在开发计划的早期阶段确定下来，当然，应该承认，细化的目标和数据采集与解译的方法可以随着认识的深入或者安全论证文件及其安全评定的开发中确认工作重点的变化加以修正。

6.9. 场址详细表征计划的目的是提供该场址特有的必要数据，以便为评定地质处置设施的开挖空间能否长期、安全地隔离与包容废物提供技术依据。必须取得足够详细、能保证其最终用途的定量化数据（数据的精确度和准确性及其典型特征的时空变化）。附录 I 列出了场址勘察计划和表征计划中可望取得的各类信息的补充导则。但是这个目录不可能是详尽无遗的；哪些信息是必要的，需要怎样的详细程度，这些问题最终将由场址的特定环境来决定。

6.10. 归根结底，来自场址表征的认识才是最为紧要的，它能提供场址各种天然特征的最可靠的科学描述，能够证实对影响安全的各种重大作用的认识是否正确（如地质作用、水文作用、地球化学作用和力学作用等）。这种认识的另一个必要性是能够为地质处置系统的安全评定提供可靠的技术依据。

6.11. 除了科学描述场址当前的各种特性之外，场址表征还应当对用于建模的、反映场址过去变化的信息进行比较和解译。其中应包括对地质圈在古环境、古气候变化条件下的长期稳定性的地表调查和对构造作用，如断层、岩石裂隙及火山作用的影响展开的调查。在这方面，古水文地质研究是特别相关的。对这些变化考虑的时间尺度至少应与安全评定考虑的未来时间尺度大致相当。诸如此类的信息可用来支持反映场址未来天然演化的假想方案研究，也可用来评价各种特征要素、事件和作用过程同处置系统性能之间的关联及可能产生的影响，其中应包括天然单元与工程单元之间的相互作用。

6.12. 场址表征研究应考虑一定的时、空范围，因为只有这个范围足够大，才能充分认识在未来某一时间段内可能影响场址安全的天然作用，才能开发出各种可靠的物理作用模式。

6.13. 场址表征应当与安全评定以一种交互的方式开展。在这个过程中，场址表征一方面可以为开发安全论证文件提供所需的信息，反之，也可得到安全论证文件的指导。

6.14. 场址及其环境的详细信息可以通过野外的、实验室的和近地表的辅助研究来取得。这些研究将有助于根据场址的特定数据进行放射性核素迁移建模，有助于查明场址的详细工程特征，也有助于推进设施的设计研发。

6.15. 开展详细的场址表征研究，目的在于为详细的处置设计提供场址特定的必要信息和技术依据。必要信息除了各类地学参数以外，还需包括对影响水流特征的因素的认识，因为此类特征直接关系到处置设施的设计。场址表征应能为废物处置、平硐和短巷建造及其最佳布局查明可用的岩石体积。详细的场址表征还应为所有环境影响评定提供必须的场址特有信息数据，而环境影响评定的使命是为监管机构处置设施建造和运行的所有许可证决策提供信息支持。

6.16. 场址表征中应查明场址的哪些条件需在建造前、建造中乃至运行中接受监控，还要查清测量数据需要达到的精度水平（及精确度和正确性），以保证场址天然系统适当的基准记录能够保留下来，以备同将来的场址监测结果进行比较，从而发现设施建造及运行带来的变化。基准监测信息应包括水头压力测量、地下水与地表水化学成分测定、地表水流量测量以及天然放射性活度背景等测量结果。取样测量的时间范围需要精心选择才能提供

足够的分辨率，及早发现场址条件由于设施建造和运行出现的所有重大变化。来自建造扰动的信息还可用于开发和试验场址的各类模式。

6.17. 如果决定实施关闭后监控，例如为了证实并进一步保证场址的所有性能指标完全达到预期水平，那么必须事先制定出专门的要求。

6.18. 场址表征计划应包含数据的管理系统，以确保数据的质量、长期可用性及其随时可取性。管理系统应考虑到场址表征的数据中既有不同空间的信息，也有不同时间的信息；还应考虑到这些信息是为建立未来监测的基准所必需的。

6.19. 管理系统应能够兼容并协调为多重目标（科研的、工程的和安全方面的）展开的多学科研究活动。场址表征当中的各项研发活动，在可能的条件下应尽量减少对场址天然特征（要素）的影响，以免损害其长期安全。

6.20. 来自场址表征活动的信息将用于支持各类决策机制。场址条件适宜性的认证结论可以报请监管部门核准将开发计划转入下一阶段，即核准处置设施建造及/或运行。场址表征持续的时间视其必要性而定，乃至可以延续到运行阶段，可以是专门认识处置区提供基本数据，可以是挖掘工程的继续提供支持，也可以是为将来的监测准备更充分的基准，还可以是为了核实早期安全评定中所用的假设条件以及为了支持关闭后阶段的安全论证文件。

6.21. 必须制定出一系列标准用以指导和评判营运者的行动，如：何时可以将场址表征活动从现阶段转入下一阶段（例如从地表调查转入地下调查），在何种条件下可以认为场址适合开始处置设施建造或运行，何时可以认为调查工作已经完成。

6.22. 决策中的一个关键要求，可能也是最难判断的问题之一，就是场址信息充分与否的问题。归根结底，关于场址表征何时才算完成的决策必须建立这样的基础之上：确认评定的所有目标均已达成，即用以支持安全评定、处置设计、环境影响评价或者用来佐证关于处置系统和各种自然作用的认识都具备了充分置信度的全部必要数据都达到了要求的水平。作为场址勘查的一部分，当任何补充信息的作用对安全都没有实质性的影响时，就可以认为支持安全评定和关闭后安全论证文件的数据在质量和数量上是充分的。例如，敏感度研究可以表明关键数据的不确定性是可以管理的，计算的

剂量和风险值在监管要求、管理限值或管理目标的范围之内，进一步收集的任何信息都无助于提高安全论证文件的置信度。判断用于安全评定的场址勘查可否宣告完成，这是一个十分有价值的依据（诚然，应该强调，持续不断的监测仍是有意义的）。

6.23. 场址确认阶段一般包括在优选场址上开展的，在处置设施正式开始建造之前进行的一系列详细的研究与调查。该阶段应将各种调查结果与全部相关标准进行审慎的比较，以确认一旦按照设计方案开始建造和运行，处置系统能按要求运转。根据场址适宜性确认结果，可向监管机构提交信息充分的建议，请示核准设施建造的决策。该建议应包括安全评定结论及其作为依据的场址勘查、表征和确认活动中取得的全部成果。监管机构评审了全部信息文件之后，还要针对场址适宜性的决策，对场址确认结论进行复查。如果所有必要条件均能满足，就可以签发准予处置设施开始建造的批复了（该批复可以是许可证，可以是建造授权，也可以是其他形式的核准文件）。表征活动一般应当持续进行，甚至可以持续到建造和运行阶段，以便提供更多的信息，进一步减少安全论证文件中的残余不确定性。

6.24. 按照本国相应国家政府监管机构的要求，为安全目的，在场址表征工作的同时，应一并开展环境影响评定。根据国家相关法律，环境影响评定范围可能会很广，评价内容不仅包括拟议中的处置设施对公众健康与安全的影响，还应包括其对环境的影响。同时还需就如何避免或减少这种影响、乃至该场址的处置设施对当地或本地区的其他影响进行充分的探讨。

设计

SSR-5 要求 16（参考文献[1]）：处置设施的设计

处置设施及其工程屏障应当设计成能够包容废物及其产生的危害，使其与周围地质建造和/或地表环境在物理上和化学上都能相容，并在处置设施关闭后仍然具有安全功能，以弥补周围环境承担的安全功能。设施及其工程屏障的设计还应能够提供运行阶段的安全。

6.25. 设施的设计要求是既能提供运行和关闭后阶段的安全，还需考虑到核材料监控、衡算和控制方面的各项要求，考虑到平行展开的各种地下工程

(如挖掘作业、废物就位及设备的维护、维修和更换)的需求,考虑到废物的可回取性或项目进程的可逆性。

6.26. 尽管处置的定义是“将废物放置在适当的设施内,不再取回”,但是,仍然会有诸如“已处置废物在关闭前任何时间段都能无障碍地回取”(即废物安全移除的设计方案)这样的要求。如果废物的可回取性成为一种设计要求,那么在设计过程中,就应尽早地考虑到,以免损害设施关闭后的安全。当全部设计要求均已满足,就应采取符合设计原则的最佳途径。

6.27. 虽然在设施开发的所有阶段都必须想到废物的可回取性,当设施关闭以后,可回取性仍需视为一种例外情况。但在有些国家,关闭后回取是一项法律要求,并已成为各种现有方案的基本条件(边界条件),但必须始终满足处置的安全要求。

6.28. 设施设计应足够详细和精确,以便在运行和关闭后的安全评定中能够恰当地评价设计标准的作用。由于设施的设计在设施开发的各个阶段始终在不断地调整,因此,最新版的安全评定还应针对设计变化对监管要求的执行产生的影响进行评价。

6.29. 针对关闭后阶段的安全,设施设计必须符合坚固、简单、技术上可行以及非能动性等方面的规范。如本“安全导则”第4部分所述,对于运行安全,设施设计应包括能动和非能动两个系统。针对地表活动的安全(指运行阶段废物管理与贮存等操作过程),设施设计应能反映与现有核设施相当的、最新版辐射防护、产业安全法规。针对平行展开的地下活动的安全(挖掘作业和废物就位码放等),设施设计应能代表最高水平的辐射防护、工业安全、矿业安全及土木工程安全的完美结合[2、4、18]。

6.30. 针对关闭以后的安全,地质处置设施在设计上应能最充分地利用围岩地质环境中固有的特征,最大限度地发挥工程屏障对天然屏障系统的补充作用。用于高放和中放废物的处置设施,其存续时间将远远大于一般工业应用考虑的时限。同类天然材料在天然地质背景下表现出何种性状,或者远古制品和考古建筑物在此时限内有怎样的表现,诸如此类的调查都将有助于提高设施长期性能评定的置信度。为取得设施能够达到足够性能水平的置信度,重要的一点在于必须能够证实或演示废物包装罐制造和工程屏障建造的技术可行性(如在地下实验室内)。

6.31. 如有易裂变材料存在，地质处置设施的设计应能确保这些材料在整个运行期间始终处于次临界状态。在处置系统关闭后演化的评定中应有专门针对临界态问题的评定，且应提供可以永远保持次临界条件的确证。

6.32. 必须根据评价的辐射照射条件和污染的可能性对运行中的各种操作进行分类。需要进行辐射控制的或有可能受到污染的场所应布置在设施的专门区域内，以便采取适当的监控措施。为满足运行中采取监测措施的需要，适当时，可以对需要更严格监控的区域采取分区制度进行管理。

6.33. 运行阶段辐射监测措施的设计应与预计的运行状态和假定事故状态一同考虑。监测站的设立既是为测量外部辐射水平，必要时也可用来测量空气和地下水污染。监测站的设立不仅要考虑到场址的辐射控制区和非控制区，也要选择性地考虑到处置设施周围乃至场址边界以外。

6.34. 为保证安全评定和安全论证文件确实可靠，设施设计过程应实施管理系统以控制其构型变化。设计上，工程屏障对于运行安全²和关闭后安全的贡献应区别对待，以便能够按照各屏障层的安全意义分别落实设计要求。

6.35. 根据管理系统对数据完整性的要求，有关设施安全的设计文档必须透明并建档以备未来人类之需。

废物接收

SSR-5 要求 20 (参考文献[1]): 处置设施的废物接收

凡由处置设施接收、准备进行处置的废物货包和无包装废物必须符合相关标准，即符合处置设施运行阶段及关闭后阶段安全论证文件中规定的标准。

6.36. 拟处置的废物盘存量和废物验收标准应作为安全论证文件的一部分同时开发并上报监管机构以获得运行许可证。处置设施运行必须保证废物货包的安全操作，保证废物体和废物货包的长期安全功能的完全实现。

² 运行的工程屏障通常被称为“对安全重要的系统、结构和部件”。

6.37. 最终接收和处置的废物盘存量必须全程跟踪，并在设施关闭的决策之前提交监管机构，同时，需纳入安全论证文件。

6.38. 对于运行阶段和关闭后阶段安全十分重要的废物体的特性是相关安全论证文件的组成部分。废物验收标准的开发须经历监管机构、营运者和废物产出单位之间的反复对话和沟通过程。这些标准应包括废物的所有重要安全特性，不仅针对运行阶段，也应包括针对关闭后阶段的特性，一般规范格式如下：

- (a) 废物及废物固化体化学性质、物理性质的可容许范围；
- (b) 每个废物货包可容许的体积、重量及其他详细制造规范；
- (c) 每个废物货包可容许的放射性活度水平；
- (d) 每个废物货包可容许的易裂变材料数量；
- (e) 可容许的表面剂量率和表面污染率；
- (f) 随运档案材料的要求；
- (g) 每个废物货包可容许的衰变释热量。

废物产出单位和营运者可能还想考虑一些辅助的废物验收标准，如废物处理采用何种整备方法，（在辐解作用、侵蚀作用或微生物作用下）有否气体生成，或者废物成分上的要求（如是否存在游离液体、空洞、有机成分）。

6.39. 凡拟进行地质处置的废物均需进行表征以提供充分的信息，证实所接收的废物货包完全符合废物验收标准，否则废物产出单位或者处置设施营运者便需采取补救措施[1]。关于废物货包接收的决策主要以记录、整备试验结果、制造与整备流程控制为依据。由于废物货包的潜在高剂量风险，“整备后试验和补救措施的需求应控制在可实现的水平上” [1]。

6.40. 记录文件的管理系统应能容纳废物接收时随附的信息，其中应包括前面章节规定的的数据以及废物产生和处理的相关记录。

6.41. 拟议中的废物验收标准应尽早发布，如此，在发往处置设施之前，在废物产生地，即可对废物及其安全管理进行协调。

工程建设

SSR-5 要求 17（参考文献[1]）：处置设施的建造

处置设施必须按照经过核准的安全论证文件和辅助安全评定中提出的设计方案来建造。建设工程不能破坏经安全论证文件证实的、且对关闭后安全十分重要的围岩环境的安全功能。建造还应保证设施运行阶段的安全。

6.42. 只有在设施建造的安全论证文件被证实完全达到监管机构的要求之后，才能开始地质处置设施的建造。如果建议的方案中准备以地下岩石表征设施或实验设施作为处置设施的一部分，则必须准备好充分的档案材料来证实表征设施的建造与运行采用了同处置设施完全相同的监管要求。

6.43. 设施的建造应与经过证实的设施设计方案及建造开工后必要的、但同样经过证实的更改设计方案完全一致。处置设施的设计格局必然受围岩条件的制约，因此，随着建设工程的进展，对设计进行更改可能是必然的。建造过程中围岩调查应持续进行，以确认设施的设计格局是否适宜。

6.44. 挖掘方式和设施建造的方式应能尽量避免地质环境受到不必要的扰动，如挖掘作业导致扰动带不必要的加宽，使用化学性质不利于围岩的材料以及采用导致围岩发生水文地质和地球化学突变的手段等。围岩固有的隔离与包容性能应尽可能予以保留。

6.45. 地质处置设施的建造可以持续到设施局部运行和废物处置开始以后。为保证设施建造中各类地下作业的安全，必须考虑到挖掘作业与处置作业有可能平行展开的情况，因此，设施建造应能代表最高水平的辐射安全、工业安全与土木工程安全的完美结合[2、4、18]。

6.46. 地表施工活动的安全应依赖于最先进的工业安全实践，类似于现有的核设施或工业设施。

运行

SSR-5 要求 18（参考文献[1]）：处置设施的运行

处置设施应按照许可证核定的标准和相关监管要求来运行，以保证运行期间的安全，设施运行方式还应能够保护安全论证文件中确定的、对关闭后安全十分重要的全部安全功能。

6.47. 作为获得运行许可（许可证）申请程序的一部分，在开始涉及放射性物质的运行之前，营运者必须能够证实设施的结构、系统、各部件、服务设施的配置、安全接收功能与程序、废物货包处置以及必要时回取等措施部署，即使在非常态事件中和紧急情况下，均已十分完备和妥当。服役期间还可以对设计方面的充分与否进行评价，其中包括常态条件下的运行程序，如安全处置和必要时的安全回取作业等。

6.48. 涉及放射性物质的运行获得核准授权之后，设施应按照运行许可证的条款和条件以及相关监管要求进行操作，为工作人员、公众和环境提供充分的辐射防护。运行应按照经核准的安全程序进行。[2、4、19]。

6.49. 废物管理、暂存或处置区的入口和通道应实施监控以保证安全和物料的实物保护。对于未经允许的侵入如何发现及应采取何种临时的防范措施均需制定专门的条款（另见第 6.69—6.74 段）。

6.50. 关闭工作属于设施运行阶段的一部分，但应由监管机构另行核准；反映关闭活动的安全论证文件应定期更新。为尽可能减少对围岩的扰动，处置设施的某些部分，如处置巷道，需尽早回填。该阶段的一系列关闭作业均须得到监管机构的核准。

6.51. 应考虑同时施工和废物处置安置的可能性。这些活动应按照辐射防护、挖掘安全和工业安全的要求，视具体活动而定。

6.52. 为处置核电厂运行或退役产生的废物，地质处置设施可能会运行数十年。运行程序中应包括运行阶段设备的维护保养以及可能需要的整修和更新方面的安排。对于设备、程序和运行条件的任何变化，以及需要时为之开发的安全论证文件，都必须建立明晰、完善的档案。

6.53. 对于运行期间工作人员受到的照射和放射性物质的释放（主要是向空气中释放）均应进行监测，以便为修改设计方案和运行程序提供信息，从而将释放量减到最低、将照射剂量保持在尽可能低的水平。

6.54. 作为运行阶段安全论证的一部分，营运者应就各种外部事件（如火灾、洪水、爆炸）对处置设施安全和工作人员安全可能造成的结果进行详尽分析。

6.55. 某些国家的地质处置计划拟在废物处置结束以后相当长的时段内，使设施保持开放状态。这是为了进一步延长运行阶段的时限，以便提供关闭以后设施性能方面更多的监测数据（如废物货包腐蚀、回填材料受潮、水文条件变化等）。为分析延长的运行时限对设施关闭后安全产生的影响，应开发一系列监测数据评价程序（此即以监测数据为基础的安全再评价）。对于监测数据、基准条件的全部相关变化，必要时乃至延长的运行时限给关闭后安全带来的影响，均需建立清晰、完善的档案。

关闭

SSR-5 要求 19（参考文献[1]）：处置设施的关闭

处置设施应当以这种方式关闭，即它能够确保设施关闭后安全论证文件中展示的全部的重要安全功能均可以实现。包括设施从能动管理向非能动管理转化在内的关闭计划，应当精心制定并且切实可行，以确保处置设施能在适当的时间点上实现安全关闭。

6.56. 地质处置设施的关闭涉及到处置设施地下开放空间的回填和封闭等一系列活动。关闭的目标是尽可能恢复围岩在挖掘开始作业之前的原始天然条件。

6.57. 在初步设计中就应考虑到地质处置设施关闭后的性能，之后再按照安全预案不断进行更新。在监管机构核准设施关闭之前，安全论证文件应不断更新，以提供充足的证据，证明关闭系统是有效的，地质处置设施的关闭后安全可完全达到监管要求。应充分运用对场址天然演化的现有认识、现场试验结果、数据分析和模拟结果乃至利用适当的天然类似物研究结果来证明关闭系统的有效性。

6.58. “处置设施的关闭必须严格按照监管机构在设施授权中规定的关闭条件来实施，并密切关注此一阶段出现的责任变化。据此，局部关闭工程的施工可与废物处置作业平行展开。回填和密封或封盖材料的就位，在废物就位完成以后，可以延迟一段时间，以便考虑关闭后的安全监测问题或者公众接受程度方面的问题。如果此类局部关闭工程在废物处置作业完成以后的某时间段内不能完工，那么在安全论证文件中，就必须考虑其对于运行期间和关闭后安全的影响” [1]。

6.59. 地质处置设施的关闭还应包括地表设施退役和进行任何必要的环境恢复，并可包括建造耐久标记。

监测计划

SSR-5 要求 21（参考文献[1]）：处置设施的监测计划

处置设施建造和运行之前、之中乃至关闭以后，应实施监测计划，它应是安全论证文件的一部分。监测计划的目的是收集和不断更新防护和安全所需的必要信息。应当获取相关信息，以证实设施运行期间能够为工作人员和公众成员的安全和环境保护提供必要条件。还应当开展相关监测以证实不存在任何影响设施关闭后安全的因素。

6.60. 监测意味着对放射参数或其他参数进行连续或周期性的测量，或者对设施整体结构、系统或各部分的状态进行鉴定。“在处置设施开发和运行的每个阶段都应实施监测” [1]。监测提供的信息可用于安全评定，提高设施运行安全的公信力，还可以证实现有条件与关闭后安全的假设条件完全一致。

6.61. 监测计划应在建造工程之前制定完毕，且需与安全论证文件结合起来。包括围岩特性在内的场址基准测量应在建造活动开工之前完成。监测计划应定期更新以反映建造和运行期间陆续获得的新信息。至于运行前和运行期间应开展哪些监测活动见参考文献[20]。

6.62. 监测计划应作为安全论证文件的一部分并随安全论证文件的每一次更新而不断细化。运行期间，监测计划可以指示监管要求和许可证规定的运行条件的落实情况，其中包括环境安全和辐射防护标准的落实程度[4]。

6.63. 监测计划应接受监管机构或其他授权机构的监督和独立评审。

6.64. 至于关闭后阶段，地质处置设施应是一个非能动的安全体系，不需要或不依靠关闭后监测计划提供安全置信性。如政府或监管机构有专门要求，可以实施关闭后监测以提高公众信心，但不得有损于非能动安全设计。

非能动安全工程设施的监视与控制

SSR-5 要求 10（参考文献[1]）：非能动安全工程设施的监视与控制

必须开展适当水平的监视与控制，以防护和保护非能动安全工程设施，并确保其具备关闭后安全论证文件中预定的各种功能。

6.65. 在本“安全导则”的上下文中，“监视”一词系指对处置设施进行物理检查以核实其完整性，从而防护和保护非能动安全工程设施（工程屏障）。监视的重点应聚焦在与处置系统关键的安全功能直接相关的各种工程屏障性能的参数。“就地质处置而言，非能动安全工程设施（工程屏障）必须足够坚实牢靠，以致无需维护和加固”就能实现其全部安全功能[1]。监视活动不能损害设施的关闭后安全。

6.66. 地质处置设施采取非能动的安全设计，关闭后不能依靠人类干预、监视或控制来确保安全。

关闭后阶段与有组织控制

SSR-5 要求 22（参考文献[1]）：关闭后阶段与有组织控制

必须制定关闭后有组织控制计划和处置设施信息持续掌控与管理计划。这些计划应与非能动安全工程设施紧密关联，并成为安全论证文件的组成部分，后者是授权核准设施关闭的依据。

6.67. 地质处置设施关闭后采取非能动安全设计（即无需人类介入来保障安全），且“放射性废物处置设施的长期安全决不能依靠能动的有组织控制”[1]。

6.68. 非能动有组织控制的建立是为了防止或减少不经意的人类活动扰动废物或损坏地质处置设施安全工程设施的概率。有组织控制可以包括建立

永久性标志、为后人建立记录处置设施的国际、国内档案以及向继任的管理机构移交设施的管理责任等。还需要为代际之间的责任传递建立适当的移交机制。

有关国家核材料衡算和控制体系的考虑

SSR-5 要求 23 (参考文献[1]): 有关国家核材料衡算和控制体系的考虑

处置设施的设计和运行应服从于核材料衡算和控制, 因此, 应特别关注: 核材料衡算和控制体系要求的任何措施均不得妨碍安全功能 [21—23]。

6.69. 核材料登记和控制体系主要用于含有相当数量可提取的易裂变物质的核材料[21—23]。原子能机构的核保障目标是及时发现和平核事业中的核材料大量转用于核武器或其他核爆装置的制造、或者其他未知目的, 一经发现, 立即制止。地质处置能提供长期的非能动核安全, 符合原子能机构的核保障目标。

6.70. 原子能机构核保障的实施应落实到地质处置设施开发的全部三个阶段(见本“安全导则”第 2.3 段)。目前, 原子能机构关于地质处置设施执行核保障的导则尚在编写中, 但已发布了实物保护方面的标准, 对此, 在此类设施的开发中应予以考虑。

6.71. 安全管理所需的某些信息也可服务于原子能机构的核保障。在处置设施开发之初即应确定补充信息和共享信息, 其中可以包括:

- (a) 监测数据, 可为稍后的安全评定提供基本信息, 可提供运行安全及设施性能方面的置信性, 可以证实设施执行的标准符合长期安全的目标;
- (b) 由原子能机构提供的有关乏燃料核素构成的核保障测量信息, 可用来进行次临界状态和释热量的评定计算;
- (c) 放射性核素释放测量及环境监测数据, 可以使公众相信场址上没有开展涉及易裂变材料的未经申报的活动。

6.72. 在运行之前, 原子能机构的核保障机构可能会要求提供下列信息: 挖掘开工之前未受扰动场址的原始数据, 设施及其运行的计划草案, 拟议地下

工程的详细描述和本地区的一般信息（如当地的矿业活动）。原子能机构必须掌握初期设计信息和原始或基准数据才能够对核保障标准进行评定并提供设计修改建议，以更便于开展核保障。这些信息也可用于设计核保障手段，以确保其不致妨碍安全体系和设施运行。

6.73. 运行期间，原子能机构核保障的目的是确保关于易裂变材料记录的连续性，并确保场址上不能存在与易裂变材料有关的未经申报的活动。记录的连续性由国家核材料衡算和控制体系以及原子能机构掌握。营运者必须持续保留完整的记录以备国家和原子能机构查阅。

6.74. 原子能机构对地质处置设施的政策是核保障要求要一直持续到废物在地质处置设施中被完全封存以后。在关闭后阶段，原子能机构的核保障可能会采取远程手段（如卫星监测、航空摄影、微地震检测等），诚然，也不排除使用较为简单的行政管理方法。“可能损害关闭后安全的任何侵入性手段均在规避之列” [1]。核保障措施的持续实施可以提高行政控制手段的置信性：能够成功预防地质处置设施遭到不经意的扰动。由此看来，核保障有助于提高关闭后安全的置信度。

核安保措施

SSR-5 要求 24（参考文献[1]）：核安保措施的要求

必须执行各种措施，以确保采取综合性方案落实放射性废物处置中的安全措施和核安保措施。

6.75. “凡有必要采取核安保措施来防止未经允许的个人进入及未经授权的放射性物质搬运之处，安全措施和核安保措施均需综合协调” [1、2、24]。

6.76. “核安保的水平需与放射危害水平及废物的毒性相匹配” [1]³。在执行核保障要求的地区，安保标准应是最严格的（见第 6.69—6.74 段）。

³ 关于放射性废物实物保护的技术指导正在准备中。

管理系统

SSR-5 要求 25（参考文献[1]）：管理系统

在处置设施开发和运行的所有阶段，凡与安全相关的活动、系统、及其各部分均需建立保障质量的管理系统⁴。各个部分的质保水平应当与其安全要求相匹配。

6.77. 参考文献[25]规定了每个机构建立、实施、评定和不断完善管理系统的要求。管理系统的责任是全面执行安全、健康、环境、安保、质量和经济等方面的综合标准。其中安全基本原则，也是建立管理系统的依据。管理系统对于实施过程规定了明确的组织结构。该体系还对参与设计、实施和评定工作的个人和组织的责任及权力范围做了明确界定，同时规定了各项工作应如何开展。地质处置设施开发和运行的所有阶段内，所有工序、活动、系统及其各组成部分均需实施管理系统。

6.78. 营运者的管理系统应执行国家管理系统的标准，可能的条件下，应执行国际公认的法律、法规和标准[25—27]。一个能够全面执行安全、健康、环境、安保、质量和经济等综合标准、恰如其分的管理系统可以使人相信：场址表征、设计、建造、运行、关闭以及关闭后安全的相关要求均已达到。应根据体系安全评定结果来确定相关的活动、系统及其分体系，管理系统要求的实施应与其安全意义相匹配。

6.79. 营运者的管理系统应是监管机构和相应资质认证机构能够接受的。该管理系统必须得到营运者高管层的核准，并承诺管理系统在本机构内部得到全面执行。

6.80. 营运者必须定期接受外部评定，以保证管理系统中的所有程序都得到不折不扣的执行。

6.81. 因为地质处置方案中既有天然屏障，也有工程屏障，所以管理系统的设计必须照顾到如下事实：天然系统中的不确定性因素是与生俱来的，必须使用专门的手段，系统解决长期安全评定中的此类不确定性。

⁴ 术语“管理系统”包括质量控制的所有初始概念（控制产品质量）及其通过质量保证（确保产品质量的体系）和质量管理的（质量管理系统）的演变。

6.82. 就地质处置设施而言，管理系统及其综合质量保证计划应随时准备提取、保持或保留客观证据（材质样品以及文档证物），这是拟设的质量目标所要求的。

6.83. 对于纸质和电子文档形式的记录材料应给予同样的关注，以保证这些信息随时可以调阅，满足未来人类查找档案的需求（见第 6.68 段）⁵。

6.84. 在开发工作的所有阶段及其所有研发活动，营运者都应明确人员要求，应招募和培训有合适资格的新工作人员，培育并保持安全文化。鉴于处置设施可能会运行数十年，营运者应采取一系列措施，通过培训、教育和知识传承来保持本单位的能力和 safety 文化。

现有处置设施

SSR-5 要求 26（参考文献[1]）：现有处置设施

应定期评定现有处置设施的安全，直到许可证到期。在此期间，如计划对安全设计做重大更改，或者授权文件规定的条件出现变化，也要对设施安全进行评定。如果本“安全要求”出版物列出的任意一条要求不能满足，都必须结合经济和社会因素的考虑，采取措施对设施安全进行升级。

6.85. 目前，尚不存在高放废物的处置设施，只有为数不多的中放废物地质处置设施。一些老旧设施并不是按照现行的安全要求建造的，因此，不能满足参考文献[1]制定的全部安全要求。

6.86. 对现有设施必须进行关闭后安全评定以判断其是否能够满足现行的关闭后安全标准。对于正在运行的设施，应以其现有的继续运行计划、最终关闭计划、及关闭后有组织控制计划为依据进行评定。

6.87. 如果评定结果显示某设施符合当前的关闭后安全标准，则无需采取进一步行动。如不能符合当前标准，那么，下一步行动则取决于该设施是否继续运行。

⁵ 正在编写一份安全报告，其中载有关于维护和保存此类记录的进一步信息。

6.88. 不符合标准的现有设施要想继续安全运行、最终实现安全关闭，就必须提高其安全性能水平。因此，评定和比较可能的补救措施，修改现行的废物验收标准、运维程序及关闭计划，可能是很有必要的。新的监测与监督程序也必不可少。

6.89. 确定是否需要采取补救措施，及如果需要，以哪种措施为最好，也很有必要。从辐射防护方面来讲，应掌握的原则是正当性原则与最优化原则[4]。正当性原则是指在采取补救措施的意义和不采取补救措施的意义之间、以及在决定采取的补救措施可能导致的利、弊之间进行反复权衡。当选定了可能正当的补救措施以后，还需与其他措施进行比较，以便为最后决定采用该措施提供依据。这里，被比较选项应包括制定最优化方案（即益处最大的补救措施）所要求的所有因素。

6.90. 对于运行中的设施，补救措施或运行计划、运行程序修正案的选择决策需要掌握的辐射防护方面的主要原则是最优化原则[4]。这类决策需要的依据应该是各种补救措施和修正案的比较结果。比较的内容包括：补救措施和修正案在关闭后对人类和环境的放射影响、非放射影响、社会影响、经济成本以及其他因素。可行性研究和论证计划可以支持决策过程。由于需要考虑的问题十分广泛，由监管机构来评定和比较运行设施的补救措施和运行修正案，远不如交给各相关各方（如当地社团）去负责。

6.91. 对于已关闭的设施（或地质处置设施的已关闭区域），补救措施的可选方案比运行中的设施要少得多。重新开启设施（或其某一部分）来实施补救措施可能需要承担巨大的负担，工作人员还可能要承受严重的辐射照射风险。

6.92. 此外，实施补救措施的时机也是个问题。过早行动可能有利也有弊。此时废物固化体和废物货包尚未降解，从设施中取出废物相对容易些，但衰变尚未开始，因此，对工作人员造成的辐射照射也会较为强烈。解决时机问题的途径是采取最优化的实施方案，包括在不同的时段内分别实施不同的补救措施。像对运行中的设施一样，对于已关闭设施，吸收各相关各方参与选择补救措施的决策，同样利大于弊。

附件 I

地质处置设施选址

引言

I.1. 选址是放射性废物地质处置中重要的基础性活动。放射性废物处置设施的选址过程可分为四个阶段：(i) 概念设计与规划阶段；(ii) 区域调查阶段，筛选出一个或若干个场址以备更详细的调查；(iii) 场址勘查阶段，对具体场址进行详细研究和表征；(iv) 场址确认阶段。选址工作的任务是通过在大区域的调查，剔除不适宜的场址、并对剩下的场址进行筛查和对比，优选出一个或几个候选场址。也就是说，要以地质背景为依据，结合其他一些因素，从选址开始时圈定的若干或者许多有远景的场址中选出一个或几个优选场址。其中，社会政治因素是所有选址规划都不能回避的重要因素（人口分布条件、运输条件、现有土地使用类别等）。选址过程中的一系列决策牵涉到不同层次的公众参与和地方社团参与，包括使用否决权和自愿原则。各个国家选址中考虑的重点不尽相同，因此，本导则作为一个国际性的地质处置设施安全导则就不可能一一详述。在选址开始时，针对具体场址的地质和水文地质资料可能十分稀少或贫乏。但在一个或几个地下处置远景场址的选择决策中，可以采用现有资料和专家评判作为支持的依据。远景场址对于待处置的各类废物应具有十分有利的天然包容和隔离能力并能证明：为防止或阻滞放射性核素从处置系统向可到达的环境运动、迁移，可以设置、建造所有必要的工程屏障。这些证据在此后的详细调查、表征以及安全评定模拟中必须一一试验。

I.2. 详细的场址勘查与表征工作可持续到选址规划的最后阶段（即第 3、第 4 阶段），本“安全导则”的第 6 部分针对详细场址表征和场址确认阶段提出了若干具体建议。本附录拟就概念设计与规划、区域调查和场址勘查诸阶段的几个重要决策点做一扼要介绍，之后，再就调查与表征计划应该获取的数据类型提出若干进一步的指导性意见。

概念和规划阶段

I.3. 概念设计与规划作为选址过程前端的第一个阶段，必然处在处置设施开发规划的最开始。概念设计与规划阶段的目标是制定选址工作的整体

规划并根据现有资料，圈出适当的岩石和地质建造类型作为下一阶段区调工作的基础。在规划阶段早期，营运者应制定选址工作的指导原则。必须根据实际工作需要，对人、财、物、装备、时间需求进行评价，并对整个选址研究进行明确的职责界定。负责选址工作的和负责场址详细表征或负责处置设施建造与运行的很可能是同一个机构或组织。根据职责划分，这样的决策应该出自国家层面。然而选址工作应按照具体的规划进度来推进，而这个规划可能需要定期更新，且需根据监管机关的意见进行修订。规划的主要内容包括：

- (a) 总体任务的详细、明确说明；
- (b) 各项任务的流程图；
- (c) 各种场址特性应遵循的导则或标准；
- (d) 应用这些导则或标准的主要实践；
- (e) 综合进度表；
- (f) 成本估算；
- (g) 设计优化中如何考虑长期安全；
- (h) 初步筛选的场址已被排除或正在考虑将其排除的理由。

I.4. 从概念设计与规划阶段伊始就应根据处置设施的需要和年限确定出所有的关键决策点。对于行将进入处置设施的废物类型和数量需做详尽说明和表征。对预期的废物体积与活度应有定量评定。根据上述信息应当开发出处置设施概念设计雏形。

I.5. 营运者应当根据国家监管要求开发各类关键的地球科学标准，以支持今后关于场址潜在适宜性的判断。这些标准包括对围岩及其周围地质体的构造背景、岩性、地下水特征等方面的要求或优选条件。根据这些标准应当制定选择适宜区域、适宜围岩乃至以后推荐场址的指导性筛选导则。已经意识到，在选址过程中，随着认识的深入，这些标准或关于这些标准的所有限值都有可能发生变化。也已经意识到，采用全系统初步评定的结果会加强对这些标准的重视。

区域调查阶段

I.6. 区域调查阶段的目标是利用前一阶段确定的选址因素，先圈出较大的区域，再逐步确定可能包含有适宜场址的地段。这一阶段选址工作的内容

是对有利区域进行分步筛选，最后圈出若干较小的适宜地段。如果某些地段已经得到确认，那么该阶段便可开展进一步研究并收集必要的区域信息已确定更好的边界条件。

1.7. 区域调查阶段一般又分为两个阶段：

- (1) 区域填图或调查阶段，圈定含有潜在适宜场址的地段；
- (2) 筛选出一个或几个候选场址供进一步详细评价。

(a) 区域填图或调查阶段

1.8. 这是一种常用的分步筛选方法，先是确立各种标准，再用这些标准来筛选远景区域。这些标准包括地理、地质和水文地质等。一般说来，虽然某些因素有时被认为对于某具体处置概念的成功与否至关重要，然而，归根结底，全系统的整体性能才是最重要的。区域填图或区域调查是对某一由天然边界或政治边界圈定的整个区域进行调查，或对某一国家废物产生单位附近的区域进行调查。之后的工作应向越来越小、适宜性越来越明显的地段集中，最终选出一个或几个候选场址。

1.9. 应以拟建处置设施类型、使用简单指导原则的能力和已有的必要数据为基础，来确定区域填图阶段的选址因素。所有监管方面的具体要求都应考虑在内，例如，距大型活动断层和岩浆活动中心保持安全距离的要求等。这一阶段的分析主要以现有信息为依据（如前期勘探提供的数据、历史地震资料、遥感数据等）。

(b) 场址筛选阶段

1.10. 接下来是在适宜地段中圈出候选场址。候选场址的筛选可能涉及到区域填图阶段未曾考虑过的一些因素，包括以前没有用过的社会政治标准。例如，在区域分析和此后的候选场址筛选中，需要将国家的很多法律和监管法规考虑进来（如关于重要地下水源、国家公园、历史遗迹等方面的规定）。但这些方面一般都有明确的规定，因而无需再经过监管部门特别的评审。

场址勘查阶段

1.11. 场址勘查阶段的任务是对区域调查阶段圈定的一个或几个候选场址进行详细研究，以便从几个方面，尤其是从安全角度，判断这些场址是否可以被接受。该阶段应获得针对具体场址开展初步设计所需的信息。

I.12. 较之区域填图阶段，场址勘查阶段需要进行更详细的研究工作。其目的是获取具体特定场址的信息，确定场址的特性和相关参数的范围，并为确定拟建处置设施的位置服务。其间需要进行场址勘查和调查来获取场址的地质、水文地质及环境条件方面的实际资料。为此可能需要进行现场地表调查和近地表调查（如钻孔），以及室内实验室工作。为进一步了解该场址并对场址进行描述，还需收集其他资料，如运输条件、人口分布条件和某些社会学方面的考虑等。场址勘查可以分成若干阶段来完成：不断采集并解释越来越多的信息，最终筛选出一个或几个推荐场址以备进行更详细的表征。

I.13. 应在比较早的时候进行初步的安全评定，以便尽早判断一个场址是否具有成为处置设施场址的前景。初步安全评定应包括初步场址勘查的结果以及决策过程的介绍。

I.14. 如果是同时调查几个场址，就有可能在各场址之间进行比较评价：哪个场址更有可能符合全部安全要求，哪个更适合或更有条件接受处置设施建造。

I.15. 当场址勘查阶段结束时应能圈定一个或几个推荐场址。整个工作过程，包括初步安全评定，连同全部数据及分析档案，应编写成综合、完整的报告。可以预见，最终的场址选择必将同时考虑一系列社会经济与政治因素。按照国家主管部门的规定，这个阶段还需要开展环境影响评定。还可以预见，监管机关将评审选址结果并作出决策：该推荐场址是否能够适宜进行处置设施建造，计划中的场址确认研究是否能够达到许可证申请所需要的水平。

场址勘查与表征指南及其数据需求

概述

I.16. 由于不同因素具有不同的主导意义，而且所有选址过程都与场址有很强的针对性与互动性，因此，在判断候选场址是否适宜作为处置设施围岩的问题上，只能提供一般性的指导原则。特别是社会政治因素，在很大程度上，往往取决于各国意向及其内部情况，因此，本“安全导则”没有提出详细的意见或指导。

I.17. 本附录所述问题的排序并不代表任何优先顺序，也不意味着所有问题已经全部包括在内，因为，在不同的情况下，不同的问题对于场址勘查过

程的相对意义可能是变化的。因此，在选址过程中，本“安全导则”的实施也好，开发任何补充标准也罢，都必须以长期安全、技术可行、社会、经济条件允许以及环境保护为出发点。为此开发的标准应该是将技术和社会公益方面的考虑变为可实际操作的措施。

I.18. 本“安全导则”可用来指导总体决策过程，但不必用来设定严细的前提条件。为了评定一个处置系统是否能够达到其性能目标，天然屏障与工程屏障应视为一个整体。处置系统设计中留有相应的灵活性十分重要，惟其如此，才始终有可能用提高某一组成部分的可靠性来补偿另一部分性能上的不确定性。

I.19. 本“安全导则”第 1.21—1.52 段列举了场址勘查与表征应该获取的各种信息类型。这些信息可用来支持安全评定、处置设施设计研究或环境影响评定，或许还可以为处置方案的选择提供额外的置信度。根据定义，在开展地质、水文地质和其他科学调查、开始了解某一场址的特性时，即开始了场址表征。一个场址的表征工作应至少持续到处置设施建造阶段，甚至可持续到运行阶段。选址和建造过程中的不同阶段对于数据的详细程度和数据范围的要求可能是不同的。最初，在区域调查和初步调查阶段，一般应以选址过程中必须考虑的各种选址因素为背景来评定数据和认识。部分或全部选址因素都可能发展成为具体的选址标准，并成为选址决策或判断的依据。以下段落不应理解为全部数据需求的详细说明，也不代表这些数据有什么特别的权重。在确定这些信息需求是否恰如其分，应该如何使用时，应综合考虑现有处置方案、具体场址的特性以及各国现行的监管标准。进一步讲，本“安全导则”列举的各类信息都不能孤立地理解，而应综合地用于选址和场址确认过程的整体优化。

I.20. 综合的场址描述应包含地球科学信息与环境信息以外的辅助信息，以便支持关于选址及场址确认的决策。例如，土地使用、运输条件和人类活动对场址的影响等均对场址决策有影响。就这一问题，本“安全导则”的最后提出了若干一般性的指导意见。

地质背景

I.21. 处置设施的地质背景应经过全面的表征，应该具有几何学、物理学和化学等一系列有利特征：适宜作处置设施的围岩，在考虑的时限内，能够抑制放射性核素从处置设施向地表环境运移。

I.22. 围岩的深度及其体积应足以容纳处置设施。相对简单地质背景中的均匀岩石建造比较有优势，因为它们更易于进行表征，其各种性质更易于预测。同样，大断裂或潜在运移通道较少的岩石建造，因其对设施性能的影响比较容易评定，也是比较好的。不过，随着调查和表征工作的深入，看上去简单的环境可能远比初始预测的复杂许多，对此应有清醒的意识。

I.23. 围岩的力学性质应有利于处置设施安全地建造、运行和关闭，有利于保证处置设施周围地质屏障的长期稳定性。对于释热废物，还必须考虑围岩的热学和热力学性质。在场址适宜性评定过程中，还应针对处置系统产生气体的可能性，对地质屏障的导气性进行评定。

I.24. 要充分认识地质背景，必须将许多信息集中起来进行梳理。这些信息包括区域性的和局部的构造及地层数据，岩石、沉积物及土壤数据，它们的化学、物理性质，力学性质以及热学性质。

未来自然变化

I.25. 围岩应尽量避免未来地质动力现象（如气候变化、新构造运动、地震活动、火山作用、底辟作用等）的影响，以免整个处置系统的包容和隔离能力受到无法接受的损害。

I.26. 以冰川周期为代表的气候演化可能引起水圈的根本性改变，诸如海平面的升降、侵蚀与沉积作用强度和速度变化、冰层和冰缘环境变化以及地表和近地表水文平衡的变化。地质动力效应诸如地震引起的地表移动、地表沉降和抬升、火山作用与底辟作用等，可能诱发地壳环境和地壳作用的变化。此类事件有时相互关联，有可能破坏场址的完整性或改变地下水流量和通道，从而影响到整个处置系统。在选址工作的初期阶段就应对上述现象在未来某时段内出现的概率和影响进行预测和粗略评定。场址所处的地质背景和地理位置应该是这样的地方：上述地质动力作用或事件不致引起放射性核素发生不可接受的泄露。

I.27. 地质圈对地表环境变化的响应随着深度的增加而减弱。影响地质圈稳定性的所有因素需逐项进行评定。支持各种评价工作的必要信息包括：

- (a) 气候历史（局部和区域）以及区域和全球性长期变化趋势；
- (b) 局部和区域性构造史、地质背景以及地震的历史记录；

- (c) 新构造作用（第四纪甚或晚第三纪）的活动证据，如抬升、沉降、倾斜、褶皱和断裂；
- (d) 地质背景中的断层（位置、长度、深度、及最近活动的年代信息）；
- (e) 当地的区域应力场；
- (f) 场址区现有地震构造背景下可能发生的地震特征和最大强度评定；
- (g) 地温梯度评价和温泉活动的证据；
- (h) 活火山（第四纪甚或晚第三纪）活动证据；
- (i) 底辟作用的证据；
- (j) 古水文学。

在区域调查阶段，可能无法获得上述信息。但在场址勘查、表征以及确认研究中却应当陆续收集到。

水文地质

I.28. 地质环境和水文地质特征应能将地下水流限制在处置设施之内，并保证在需要的时段内安全地包容和隔离废物。对地下水系统必须有完全充分的了解，才能令人信服地证明：从处置设施释放出来的任何放射性核素，因为有限的连通性，其迁移将受到迟滞，或仅能以弥散方式在地质圈中迁移。最后，这些核素迁移到地表的时间足够长，其浓度也大为降低。

I.29. 对于任何场址的安全评定而言，关于地下水运动机制和水流方向与流速的评价、分析都是十分重要的原始资料，因为放射性核素最可能释放的模式就是地下水运移。无论废物性质或者处置方案如何，能够将流入、流出和径流的地下水限制在处置设施以内的地质环境都是防止放射性核素发生不可接受的释放的主角。地质体中的含水层和裂隙带等是放射性核素释放的潜在的天然通道。此类通道应局限于处置设施的围岩之内，以保证地质屏障和工程屏障系统的防护功能完好无缺。水文地质系统的稀释能力同样十分重要，也应进行评价。选址最优化的原则是有利于在处置设施与环境之间保有流程长、速度慢的地下水运动通道。

I.30. 放射性废物处置会引发一系列作用，这些作用给水文地质条件带来的可能的后果（如热效应和辐射效应、开挖引起的水力连通率的升高等）均应考虑在内。

I.31. 水文地质调查需要的数据包括：

- (a) 局部和区域性地质单元的水文地质评价以及含水层和滞水层的详细表征与识别；
- (b) 区域内重要水文地质单元的识别和表征（位置、规模及其相互关联）；
- (c) 局部和区域性重要水文地质单元的补、排水评定（位置与水平衡计算）；
- (d) 围岩的水文地质特征（孔隙度分布、水力传导率、水头梯度）；
- (e) 研究区内所有水文地质单元的地下水流情况（平均流速及主导水流方向）；
- (f) 研究区内地下水和围岩的物理特征和化学特征；
- (g) 场址的古水文地质调查。

地球化学

I.32. 地质与水文地质环境的物理化学特征和地球化学特征应具备限制放射性核素从处置设施向可达到环境释放的能力或至少能够限制它们的迁移。

I.33. 选择的围岩及其地质环境对于长寿命放射性核素具有适当的地球化学特征和良好的迟滞作用，在地质处置中是至关重要的。在有地下水沿裂隙和孔隙运动的岩石建造中，岩石基质内和裂隙表面矿物的迟滞作用是支持处置系统长期性能的重要因素。控制放射性核素迁移速度和迁移通量的地球化学滞留作用和迟滞作用包括扩散、沉淀、吸附、离子交换和化学反应。地下水搬运放射性胶体的能力也十分重要，必须有所考虑。对于个别场址而言，生物化学可能也是一个重要因素。

I.34. 评定放射性核素向可及环境迁移的前景，必须掌握的信息应该包括围岩及周围地质单元、水文地质单元、水流系统的地球化学条件和水化学条件的描述。具体包括：

- (a) 地质介质的矿物学和岩石学成分及其地球化学性质；
- (b) 地下水化学。

I.35. 废物固化体、处置容器、回填材料与处置设施环境之间的化学反应和物理化学反应必须经过评价。岩石-水-处置容器的长期反应必然引起处置容

器的腐蚀，废物体中的放射性核素将会释放。由此导致的放射性核素向可达到的环境的迁移也需进行评定。应收集以下方面的信息：

- (a) 岩石（包括裂隙填充物）的化学、放射化学和矿物学成分；
- (b) 矿物与岩石对重要放射性核素的不同离子的吸附能力；
- (c) 地下水化学成分及其放射性核素浓度，水的 pH 值和 Eh 值；
- (d) 辐射及衰变热对岩石和地下水化学的影响；
- (e) 有机物、胶体及微生物的影响；
- (f) 岩石的孔隙结构和矿物表面特征（包括裂纹、裂隙）；
- (g) 核素在岩石单元中的有效扩散速率；
- (h) 放射性核素的溶解度和种态。

人类活动引起的事件

I.36. 处置设施选址必须考虑到场址及其周围现在和未来可能的人类活动。这种人类活动影响处置系统包容与隔离能力乃至引起不可接受后果的概率必须降到最低。

I.37. 在评定处置设施围岩时，应考虑围岩是否有其他使用价值或潜在使用价值，是否可能进行矿产开发或建设仓储设施。例如，存在天然气、石油、其他金属矿产和重要地热资源的各种可能性均应考虑在内，务必将人类活动侵入地质处置系统的可能性减少到最低限度。在这个意义上，围岩位于开发利用价值最小、概率最低的区域中，这样的场址最为理想。

I.38. 围岩及其周围原有的钻孔和巷洞可能已经或将会导致水力连通，当其对安全产生威胁时，就必须进行甄别。在这种情况下，钻孔以及所有其他结构，凡有可能成为放射性核素潜在迁移通道的，均需进行封闭。

I.39. 现有的或规划中的地表水库类设施，一旦损毁将可能导致处置设施被淹没，对此类地表因素应谨慎考察和评价。在选择远景场址的区域分析中，对洪涝影响应从最严重的情况为出发点（即做最坏的打算）。对于建在靠近山坡的设施，评价时应考虑到山林砍伐等人类活动可能引起的滑坡和滚石现象。

I.40. 评价实际的和可能的人类活动对处置系统的影响，需要掌握下列信息：

- (a) 场址附近过去的和现在的钻探、采矿记录；
- (b) 场址周边地区能源和矿产资源存在的信息；
- (c) 场址区内地表水和地下水现在的和将来可能的用途评价；
- (d) 现有的和规划中的地表水体位置。

建造和工程条件

I.41. 场址的地表特征和地下特征应能允许地表设施与地下工程最优化方案的实施，使全部地下工程建设都能达到相应的安全要求。

I.42. 应制定总体建造或施工进度，并将其应用于地下设施的建设，以确保其符合国家地下设施建设的法规标准，并确保同时进行的开挖和废物处置活动不会相互干扰。开挖工程应确保围岩不发生变化，从而构成从处置设施到生物圈的不可接受的迁移通道。例如，可对竖井、巷道和处置洞室开挖所产生的碎石进行评价，以便判断其是否可用于处置系统的回填。如果不可能，则应考虑使用碎石进行景观美化，以改善自然环境。建造工程应接近水源和混凝土供应站。

I.43. 建造和工程条件评价所需的数据包括：

- (a) 关于围岩及覆盖层的详细地质和水文地质资料；
- (b) 场址及周围地区的地形资料；
- (c) 该地区的洪水历史；
- (d) 指明易受山泥倾泻、潜在不稳定斜坡或承载强度低或液化可能性高的地区；
- (e) 开挖过程中可能出现的不利条件（岩石温度高、气态浓度高、岩石应力强度比高、存在剪切带）；
- (f) 该地区的历史地震活动；
- (g) 围岩的地质力学和热力学性质。

环境保护

I.44. 选址时应充分保护环境质量，并考虑到技术、经济、社会和环境因素，在可接受的程度上减轻潜在的不利影响。

I.45. 地质处置设施与任何其他大型工业设施一样，必须遵守环境保护的要求以及其他非放射性相关规定。地质处置设施可能对环境产生的不利影响包括：

- (a) 开挖活动及其他工业活动引起的环境恶化，包括听觉、视觉环境恶化以及物理环境恶化，如废石堆中的浸出物；
- (b) 对具有重大公共价值的区域影响；
- (c) 公共供水破坏。
- (d) 对动植物，特别是濒危物种的影响。

I.46. 为评定潜在的环境影响，以下信息或问题应该是环评工作必不可少的：

- (a) 国家公园、野生动植物区、具有特殊科学或文化价值和历史价值的区域；
- (b) 现有地表水和地下水资源；
- (c) 现有陆地、水生植被和野生生物。

场址利用

I.47. 在选择适当场址时，应结合有关地区今后可能的发展和区域规划，考虑场址使用和场址所有权问题。在大多数国家，场址的所有权是经济和公众接收的重要因素。拟建设施场址的所有权是营运者或政府，场址规划和评价工作可简化，并减少了土地使用权收回方面的许多问题。以选址为目的的信息收集应包括工作区内现有土地资源、土地产权人和土地使用规划等方面的详细资料。

废物运输

I.48. 为了选址，应收集以下方面的资料：

- (a) 废物的运输方式和相关的基础设施；
- (b) 其他交通路线；
- (c) 建议的交通路线沿途的人口密度。

I.49. 将放射性废物运往地质处置设施，可能会使公众受到电离辐射的照射。废物运输的距离越远，照射的可能性就越大。废物向处置设施转运的问题是争取公众接受处置设施定位的关键因素。

I.50. 某些情况下，可能需要开辟新的道路或改造原有道路。当地表条件不适宜，如需穿越陡峭地形或跨越天然障碍时，开辟新路将困难重重，且费用很高。因此，要求的运输路线短、额外建筑工程量有限、新开道路无需穿越困难地段的场址应当更具优势。不过，开辟新路或建设新的交通设施，却可以使营运者有机会全面或部分地实现运输网的优化，如可以绕过无人区和敏感地带，或者建立当地居民点之间的交通联络。

社会影响

I.51. 任何大型工业活动的建造和地表运行，如接收和处理废物容器、净化和重新包装，不应在人口稠密地区进行。另一方面，场址应位于可容纳与工程有关的人口变动及对所需服务需求的地区，例如建造劳工、运行人员、房屋、宿舍及餐厅、支援服务行业及已成立的文娱机构等。一般而言，应优先考虑远离人口稠密地区的场址，但该地区能够应对基础设施中的预期变化，并拥有可用的劳动力。

I.52. 为评价在某一场址建立处置系统可能产生的社会影响，所收集的信息数据如下：

- (a) 人口组成、密度、分布和趋势；
- (b) 就业分布和经济趋势；
- (c) 社区服务和基础设施，包括娱乐设施；
- (d) 住房供应和需求；
- (e) 该区域的工业基础和期望；
- (f) 该区域的农业基础和期望。

附录 II

关闭后安全评定

导言

II.1. 安全评定是一种处置系统性能的评价手段，其主要目标是评定其对人类健康和环境的潜在辐射影响。处置设施关闭后由于屏障退化等渐进过程以及可能影响废物货包容和隔离的个别事件造成辐射影响。可以推测，当有组织控制有效时，不经意的人类侵入的概率可以忽略不计，但此后却会日渐加大。处置设施在技术方面可接受与否，在很大程度上将取决于废物盘存量、处置设施的工程要素以及场址的适宜性。这一判断应以安全评定结果为依据：因为评定结果可以详实确凿地证明处置设施完全符合设计目标、性能标准和监管要求。安全要求[1]对此作了规定，本“安全导则”对此作了进一步说明。本附录中提出的许多概念源自《放射性废物近地表处置安全评定》[28]安全导则。尽管近地表处置和深部地质处置之间存在明显差异，但开展安全评定的许多原则是相似的。例如，原子能机构关于改进近地表处置安全评定方法的协调研究方案中所述的安全评定方法的许多内容都作了调整，其中许多段落稍加变化即可用于地质处置方案[29、30]。

II.2. 本附录总结了在评定处置设施安全时的重要考虑因素，并建议在在进行关闭后安全评定时应遵循的步骤。关于地质处置设施的运行活动仅在探讨设施对关闭后安全的潜在影响时略有涉及。尽管放射性废物中或许还含有非放射性的有害成分，但本附录只讨论废物中的放射性危害。当然，对放射性物质向环境中的释放进行安全评定时所用的绝大多数信息，都用来评定各种非放射性污染物的释放。

安全评定的一般考虑

安全问题

II.3. 对于地质处置设施的关闭后阶段，主要的安全问题是未来很长一段时间内可能的辐射照射和环境影响问题。有些影响是可以预见的，例如，放射性核素逐渐渗入地下水，随后通过环境介质迁移并转移到人类身上。因此，评定工作必须要透视场址和设施在未来数千年乃至更久远的时段内的性能和状态。因此，关闭后评定考虑到概率很低（例如每一千年发生一次）

但可能造成重大后果的特定事件，如重大地震事件和气候变化。关闭后评定的目的是获得合理的保证，即处置系统将提供足够的安全水平，而不是以任何具体方式预测其今后的性能。

II.4. 处置设施安全评定的一个关键问题是提高模拟结果的可信度。处置设施的概念模式是对已有的一般要素及其细节特性的描述。其中最重要的是确定放射性核素可能迁移途径。对一组特定特征、事件和过程的描述，用来代表处置设施性随时间的变化情况，称为假想方案。各种假想方案可包括渐进过程（例如废物货包的腐蚀、放射性核素在地下水中的迁移）和离散事件（例如由于地震活动造成废物货包的中断）。处置设施的安全评定应当具有坚稳性，即能对不确定性进行包容。包括不确定因素识别在内的评定结果，必须与设计目标和监管要求进行比较，并需同时考虑其他有效的证据链，以及关于处置设施接受度的考虑。

安全评定的使用

II.5. 安全评定在处置设施建设的不同阶段起着不同的作用。在早期阶段，应利用安全评定来确定主要处置概念的可行性，指导场址勘查，并协助初步决策。在早期概念开发和选址之后的阶段，使安全评定的意义更为重要。这时的安全评定，通过对不同废物货包设计方案和关闭方案的比较评定，应能有助于系统的最优化和设施设计。从处置设施的计划、建造、运行直到关闭前阶段，应定期进行安全评定，并由此开发和不断更新安全论证文件。关闭后安全论证文件是一种集各种证据、分析和论证于一身的综合诊断（或判断），其作用是定量地说明和证实这样一个判断：在关闭以后，乃至在设施的主动控制结束或失效以后，处置设施都将是绝对安全的（见第 5 部分和参考文献[11]）。

II.6. 安全评定的完整性和可靠性将取决于废物特性、场址特性、废物货包性能以及其他工程屏障的功能和性能相关信息的数据采集范围和质量。因此，安全评定与数据采集计划之间的紧密协调是十分必要的。同时，安全评定也是确定或选择优先研发方向的有效手段。

II.7. 安全评定的主要作用是用于许可证申请和核准过程中。评定内容包括辐射和环境方面。出于监管目的，这类安全评定在处置设施开发的所有阶段的许可证申请中都是必不可少的，如建造许可证、运行许可证和关闭许可证，甚至当处置设施的状态出现任何重大变化，也需要重新进行安全评定。

因此，在处置设施开发的所有相应的阶段，都应运用适当的模式和数据进行新一轮的安全评定。

II.8. 安全评定结果是确认可处置废物量的重要手段，同时还为确定处置设施的废物验收标准提供了依据。废物固化体或废物货包是否能被接受，往往取决于放射性核素向环境中释放并在环境中迁移的假想方案分析结果。尽管地质处置的首要目标是处置数量最多的长寿命放射性核素，然而废物中经常存在大量的高活度、短寿命放射性核素，因为其释热，也是关闭后安全评定所关注的。此外，安全评定还应能确定废物中可能导致工程屏障退化或加速放射性核素溶解的化学物质的水平。

II.9. 安全评定和相关的许可证条件在很大程度上决定了对处置设施的一些主要控制和要求。例如，在确定处置设施的废物接受要求时，安全评定可用于确定废物货包的要求，包括单个包和整个设施的要求。安全评定还应用于评价潜在的接触途径，并用于制定和评审场址和周围地区的环境监测计划。安全评定应基于处置设施实际使用或拟议的设计，包括关闭计划。

安全评定导则

概述

II.10. 安全评定需要根据场址表征结果、废物特征、设计数据和数学模式，提出定性和定量的论据。评定结果反过来也可以为处置设施开发的一系列决策提供必要的信息。安全评定所依据的假设和判断必须是可靠的，并且应易于同广泛的相关各方进行沟通，以便对安全评定结果产生信心。

II.11. 安全评定过程应涉及范围计算，以便评价所提出的概念模式的坚稳性（评定其是否符合监管要求），并将重点放在相应的放射性核素、迁移通道与释放机制方面。而对释放机制的认识还需要进一步深化。范围计算通常只能依靠有限的的数据，如来自文献检索、材料规格说明、室内研究、天然类似物研究、场址初步调查和废物表征的资料等等。数据的采集应贯穿处置设施开发的每一阶段，直到处置设施被接受或者所选方案被判为不可接受。

II.12. 在安全评定过程中，应确定相关的假想方案[16、31]。确定每种情况与处置设施评价的相关性可能需要辅助性研究和额外的数据收集，并需要安全评定过程的进一步迭代。在试图量化导致放射性核素释放和迁移的事件和现象时，这种研究和分析也可能有助于减少不确定性。即使安全评定是

可靠的，例如它们显然依赖于确定保守的假设，并得到监管机构的核准，不确定性不可避免地与长期预测联系在一起。

安全评定的迭代法

II.13. 安全评定的迭代方法见图 3。其中的许多活动不仅是重复的，还有相互重叠的，大致包括：

- (a) 确定评定目标、安全要求和性能标准；
- (b) 获取处置系统的信息和说明，包括废物形态、场址表征和工程结构；
- (c) 确定可能影响长期性能的特征、事件和进程；
- (d) 开发反映全系统或其子系统性状的概念模式和数学模式并进行试验；
- (e) 确定和说明有关的假想方案；
- (f) 查明可能导致放射性核素从处置设施转移到人类和环境的途径；
- (g) 通过概念和数学模式进行评定；
- (h) 评定结果可靠性评价；
- (i) 将评定结果与指定的安全要求进行比较；
- (j) 其他考虑。

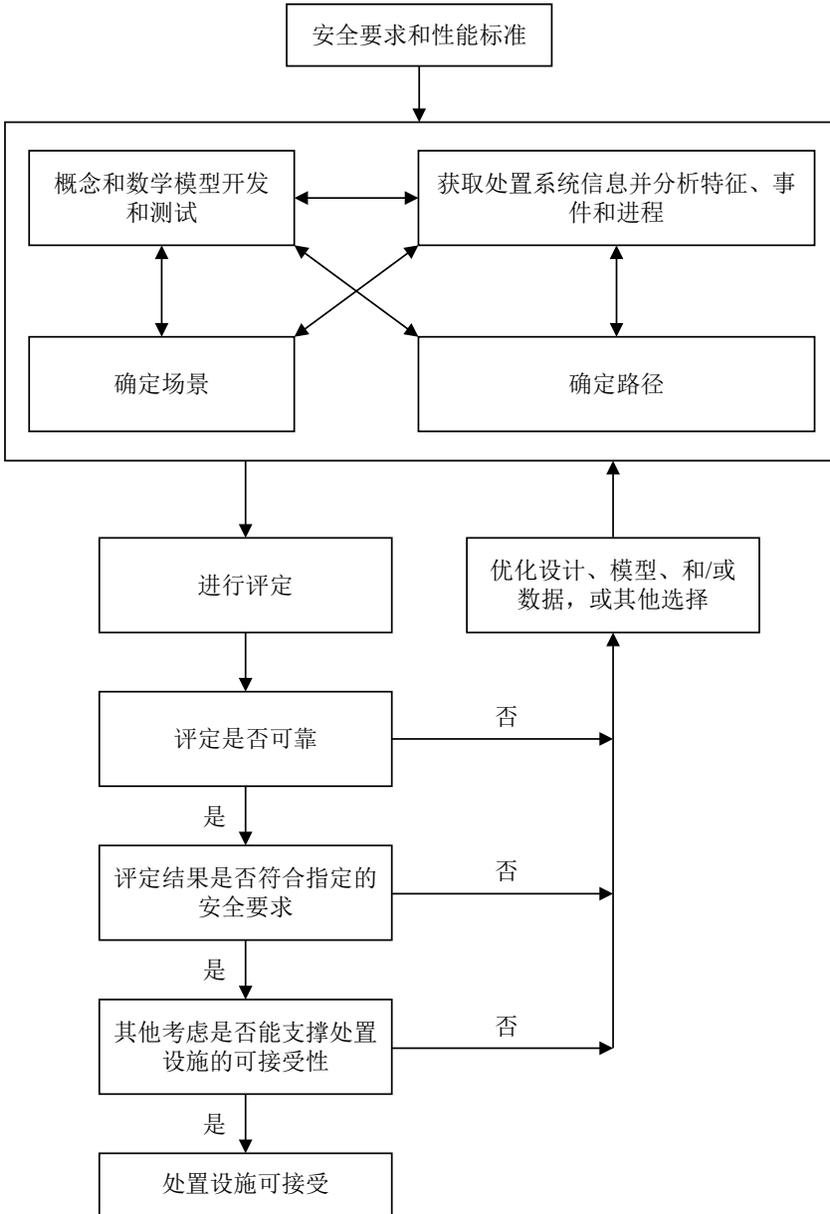


图 3. 安全评定的迭代方法示意

II.14. 系统表征和迁移通道的描述需要在野外试验和室内研究中取得适当的数据。假想方案分析则要求识别和确定哪些自然现象可能引起或增加放射性核素向处置设施以外释放，使人类受到照射。安全评定的迭代过程中，补充数据的采集仍然是必须的，但注意力应集中在对处置设施安全十分重要的参数上。

确定目标

II.15. 安全评定在处置设施开发中发挥着核心作用，可用于多种目的。因为这些不同的用途可能需要不同程度的详细分析，并意味着不同的数据需要，或向不同的有关方面，例如技术专家介绍结果。应根据具体情况明确安全评定的目标。

II.16. 安全评定的成果之一是取得一系列数字结果，可用于在系统性能和已建立的标准之间进行比较。这就要求根据相关数据，逐个甄别并一一检验所有重要的要素、事件和作用过程。借助于一系列模式的开发，可以更深刻地认识处置系统的行为及其与环境的相互关系。定量评价需要利用计算机程序进行数学建模。在一定程度上，模式可以按其开发的目标或用途适当简化。必要的复杂模式应予慎重考虑，因为，针对某一具体用途，最复杂和最详细的模式未必是最好的。

安全评定数据要求

II.17. 所需数据的数量和质量取决于评定的目标。初期的评定只需要相对简单的模式，使用已经掌握的数据。评定结果一般只用来指导下一步研究。在这种情况下，对评定结果中不确定因素的判断只需要有限的精准度。然而当处置设施的设计结束、进入许可证申请阶段以后，营运者的申请报告就必须能够证明自己的安全评定拥有坚实的基础：即拥有并使用充分的、确保质量的数据来描述场址、设计和废物特性。在设施开发过程中，按照要求，应尽早建立（并遵循）数据采集的计算机系统。尽管如此，也不得不承认，在处置设施的早期设计和范围规划阶段，并不需要这么多高质量的数据。营运者应制定慎重的数据采集计划，以确保成本-效益目标的顺利实现。

II.18. 将需要来自几个方面的数据，其详细程度和不确定性取决于具体安全评定的目标。通常需要以下数据：

- (a) 废物特性（放射性核素组成随时间的变化；总库存；物理、化学和热特性；处置条件下的传质参数）；
- (b) 容器特性（处置条件下的力学和化学性能）；
- (c) 处置设施特性（尺寸、回填/缓冲材料、结构材料、工程特性）；
- (d) 场址特征（地质、水文地质、地球化学性质、气候条件）；
- (e) 生物圈特征（自然环境、大气条件、水生条件）；
- (f) 人口和社会经济特征（场址使用、饮食习惯、人口分布）。

II.19. 早期数据需求的筛选和评定一般通过文献检索、材料规格说明和很有限的场址勘查或设计专项调查即可满足。这些数据经过初步分析可形成初步设计。处置设施最早的概念模式（和系列模式）就是根据这些数据开发出来的。这一阶段的初步安全评定是为了检查处置系统充分发挥功能的前景。因为该阶段安全评定需要的数据很少，且详实程度要求也不高，所以简单的模式即已足够。

II.20. 数据采集工作应以概念设计的数据需求为目标、以有关场址的现有认识以及处置设施初步安全评定结果为基础。根据初步设计、场址特性的现有信息及初步评定结果，应能推断出按照监管要求或标准进行安全评定所需要的最小数据量。数据采集计划应该确定出安全评定与场址表征数据采集之间的直接关系。例如，假如断层系统在地下水运移预测中起着某种重要作用，那么，断层系统的导水率、连通率以及运移方向等信息就必须达到适当的详细程度。

运行前监测数据

II.21. 应将场址的环境条件定义为衡量运行期间和任何监测计划执行情况的基线。通常对放射性核素和某些其他“指示剂”参数进行背景测量。这些可能包括与地表和地下水文学或地下水化学有关的数据。运行前的监测数据可提供一个基准，可据以试验模式。

II.22. 安全评定中使用的水流模式和气体迁移模式，在校正时可能需要使用场址的某些参数，而这些参数是随时间变化的。对这类参数应进行定期测量以便评定其变异程度。对某些参数而言，评定其极端变化值也许是举足轻重的。由于地质处置设施存留的时限甚长，对于随时间变化的参数必须有自始至终的连续测量计划，以期提高现有信息的可靠性。

运行期和关闭后监测数据

II.23. 运行期间的监测数据可以指示实际条件同预测或假设条件之间的差异。找出造成这种差异的原因便可以提高对全系统的认识水平。如果实际条件同预测条件之间的差异过大，则必须进行新的安全评定来确认其仍能满足监管要求。

II.24. 实施关闭后监测的目的在于证实设施不会产生无法接受的放射性影响并确认处置系统各屏障层的性能状态。例如，可以通过地下水化学监测来论证废物货包的腐蚀速率。然而，由于处置设施开发的周期甚长，在此期间本来就采集各种各样的数据来论证系统的性能状态，还因为未来释放需要预测的时间跨度太大（数千年乃至更久远），所以，并非所有国家的处置计划都准备通过关闭后监测来提供确认数据。

系统定义

II.25. 对处置设施的安全评定是基于对系统定义的多学科方法和对可能影响处置系统性能的事件和过程的系统分析[16]。处置设施的说明要求提供关于废物特性、处置设施设计和场址特性的信息，并构成制定废物处置系统概念模式、其可能行为的设想方案和评定潜在放射性核素迁移路径的基础。

概念模式的开发

II.26. 开发概念模式的最终目标是提供一个框架，允许对整个处置系统的行为作出判断。如果可能，该模式应具有足够的细节，以便能够开发数学模式来描述系统及其组件的行为，从而提供对系统随时间变化的性能评定。在不同的阶段，我们需要不同程度的详细资料，因为我们会进行反复的安全评定，并最终作为许可证核准决定。模式应尽可能简单，但应包括足够的细节，以充分反映系统的行为，从而确保符合安全要求。

II.27. 概念模式的开发应包括以下步骤：

- (a) 从库存、形式和包装方面对废物进行识别和定性。这一信息应足够详细，以便对放射性核素释放（即源项）进行适当建模。至少应提供资料，作为说明简单释放模式正当性的依据，例如假定释放速率不变或每年释放的比例是固定的。随着获得关于废物和处置设施的更多信息，可以通过迭代来改进源项的概念模式；

- (b) 通过必要的参数,包括地质学、水文地质学、地球化学、构造和地震活动、火山活动、地表过程、气象学、生态学和当地人口分布及其社会和经济活动,确定处置场址的特征。需要此场址信息来定义途径和受体,从而开发场址的物理、化学和生物的概念性模式;
- (c) 制定设施的设计规范。在评定开始之前,必须制定详细的设计规范,诸如使用的材料和各子系统构成等。设计上的任何变化,不论是以安全评定为依据的,还是由于其他原因,都可能需要新一轮的安全评定。
- (d) 增加对场址的认识。这表明存在一个或多个可行的替代概念模式,需要加以考虑。无论是否考虑采用替代模式,其原因都必须有明确的档案记录,适当时可在安全评定中予以确认。

数学模式的建立

II.28. 由概念模式开发数学模式是概念模式在计算模式中通过数学方程定量表达的一个重要步骤。用于开发此类模式的一般程序已得到广泛接受,在关键领域开发的预测数学模式的详细程度和复杂程度各不相同。它们应该用于描述单个流程、子系统和整体系统性能。在从概念模式到数学模式,最后到使用计算技术的实现过渡过程中,由于所使用的简化、近似、偏差、建模假设或数学方法,可能会引入误差。因此,用于性能评定的模式不仅应根据其产出与经验数据的比较加以试验和更新,而且还应根据同行评审、程序间比较、与其他性能评定的比较、概念模式与数学模式某些问题的专门试验结果以及同某些已知分析结果的实例的比较。

特征、事件和过程分析

II.29. 应系统地评审实际和潜在的特征、事件和过程,以查明可能影响处置设施长期安全的因素,从而协助制定适当的安全评定模式[15]。安全评定模式既可以通过假想方案分析建立,也可以通过抽样参数空间等替代技术建立。

II.30. 要在众多的自然现象中甄别出同安全评定最相关的现象,第一步是先列出检查项目清单。最近,经合组织核能署的工作组在国际上收集了关于特征、事件和过程的资料。在开发适当的假想方案清单时,天然事件和作用以及对废物本身或对处置设施诸要素有影响的一切作用都必须考虑在内。

假想方案分析

II.31. 各种假想方案取决于环境和处置设施的特点，以及可能导致放射性核素从废物中首次释放或影响其最终去向和向人类和环境迁移的事件和过程。营运者和监管机构都应特别关注适当假想方案和相关概念模式的选择，因为这可能会对处置设施的后续分析产生重大影响。有些国家的监管机关对假想方案选择有专门的规定，当然，营运者也可以做其他选择。而有些国家是由营运者来选择假想方案，但必须对监管机关就所做的选择进行论证说明。

II.32. 正常的演变假想方案通常是根据现有条件对未来的推断，并预期随着时间的推移而发生的变化。由于可能存在一系列可能的演变，因此应制定一套正常的演变假想方案，为处置设施的预期演变提供正当的依据。有些事件不大可能发生，而一旦发生，却会对系统产生严重的扰动，因而需要开发若干替代的假想方案。其中一些可以用相同的、但其参数经过校正的模式来控制。而其他一些假想方案则需要建立新模式。拟入选的设计方案可以正常演化的假想方案为依据，但必须根据其他的、不大可能发生的假想方案的评定结果进行某些修正。

II.33. 应考虑并记录一系列假想方案，以便尽可能全面地了解该系统。然而，如果有备选办法，则应选择最有可能发生的情况进行详细评定，或选择相对不太可能发生但可能产生重大后果的情况。应在安全评定文件中明确说明选择详细评定方案的理由，并在适当情况下提供支持性证据。这一选择是为了确保有效利用广泛的评定工作，并确保处置设施的设计能够保护人类健康和环境。

II.34. 假想方案开发应能系统地引导安全评定将注意力集中到与处置设施性能密切相关的重要条件和自然现象上来。对于重要的假想方案，可以集中使用专家评判、故障与事故树分析、作用影响直方图以及其他技术手段[29]。这个过程本身、得出的判断以及纳入考虑范围的所有因素均应建立清晰的档案。

核素迁移途径的识别

II.35. 放射性物质从处置设施向环境的释放，无论是在未扰动条件（正常的）还是在扰动条件（非正常）下，都有为数众多的潜在途径，其中重要

者必须识别出来。试验表明，在处置设施性能未受扰动的条件下，其重要迁移途径只有极少的几条。如地下水、土壤、陆生植物、陆生动物、地表水、水生动物和气体迁移途径等。而在扰动条件下（如人类侵入假想方案中），除上述途径外，还应加上因扰动而暂留的放射性物质和直接照射。

结果分析

模式计算

II.36. 一旦确定了与人类有关的所有情况和途径，安全评定过程的下一个阶段就是后果分析。这涉及开发和应用迁移和照射模式，以评价处置设施释放对人类和环境的潜在影响。

II.37. 使用模块化系统方法来模拟放射性核素通过选定的途径向人类和环境释放和迁移非常有用。这将确保各个子模式可供检查，且有助于了解如何确定评定剂量。总模式可分解为一系列独立的子模式：进入处置设施的地下水流模式、废物货包降解模式、处置区内及周边的近场迁移模式、地下水迁移模式、地表水模式、大气圈迁移模式、动、植物吸收模式以及人体受照剂量模式等。模块法的应用可以十分灵活，并允许将主要力量集中在系统的某些部分，如只有建立高级模式才能保证其计算结果技术上可接受的那些部分。当使用高级模式进一步论证处置设施能以可接受方式运行时，模块法的优势会更形突出。

II.38. 模式中使用的源项表示各种废物中放射性核素在一定环境范围条件范围内的潜在释放，而诸如废物罐和回填材料等工程屏障的退化作用必须予以重视。初期的模式可以相对简单，但随着对系统认识的深入，模式的详细程度必须逐渐提高才能保证充分地表述和描摹整个系统。然而，所谓详细模式却应该尽可能简约，以便同现有的数据相容、相对应。这里可以使用专家评判或判断，以便在应用简单模式、仅要求现有数据和应用较详细模式、要求某些尚未掌握的数据之间保持适当的平衡。但这并不排除对系统的某些部分使用较为复杂的模式来提高对某些自然现象的认识。如果天然特征或地下水监测结果表明必须进一步详细了解系统的变化，那么，使用地下水数值模式或地球化学模式来评定水文边界条件和地下水化学随时间的变化，就可以算是这些高级模式的应用实例。

II.39. 在安全评定模式计算中,从一开始就应确立正当的、经得起科学质疑的保守计算策略。建立简单模式可能是最有效、最易于理解且最合理的实践。假设条件的确立应以现有系统或类似系统的已有数据和认识为依据,选择假设条件至少不应导致对放射性核素释放和迁移的低估。评定结果能否被接受是评定工作最大的难题,因此,凡能使评定结果更容易被接受的方法都具有长期价值。能在简化、保守与现实之间保持大体平衡的策略大概是评定工作最好的起点。

II.40. 所选择的模式应与评定目标相一致,易于使用(考虑到系统的复杂性),并能获得所需的数据。模式要适合实际应用,算法的精确性要有说服力,假设要合理,输入的数据要有代表性。

II.41. 所选择的建模方法应与制定时考虑的事项完整和明确地记录在案。建档的目的是使建模方法的开发和使用过程中采用的全部假设及决策都能有据可查。其中还应包括建模方法开发过程中所有经过调研的替代模式最终被放弃的理由。

不确定性来源

II.42. 安全评定结果必须结合模式输入数据的不确定性、模式各组成部分所用的假设条件、总模式各独立部分之间界面所用的假设条件以及处置系统长期演化过程中的相关不确定性一同考虑。所有这些不确定因素均需采用敏感度分析和不确定性分析进行研究,并辅之以其他能够建立置信度的手段,适当的时候也可使用专家评判。

II.43. 不确定性是所有安全评定固有的特征。敏感度和不确定性分析的重要目标是深化认识,并通过更确切地确定那些对结果及其不确定性影响最大的参数,尽可能减少安全评定结果中的不确定性。敏感度分析和不确定性分析是紧密相关的。敏感度分析用来确定或甄别严重影响处置设施预期性能的参数、系统构成或作用。概念模式的灵敏部分和重要假想方案的甄别一般是通过变换系统参数来实现的。每一种假想方案都有自己独特的参数分布。通常,预案采用的极限值可用来调查系统在不确定情况下的性能状况。统计方法也可用来调查参数预期变化的整个范围[29]。

II.44. 大体上说,安全评定中必须考虑的不确定性来源主要有两个。一是模式描述真实系统的程度。这种不确定性来自模式的输入数据。如描述处置系

统的信息、场址特性信息、处置设施工程要素信息及其与环境相互作用的信息，还有建模本身的信息。不确定性的另一个来源与设施及其环境在甚长时期内演化的不可预测性有关。其中所有的不确定因素都或多或少地受处置系统变化程度的影响，并受到人类对系统未来演化的认知水平的制约。

II.45. 第一种来源的不确定性可以通过多种途径区应对，如提高场址表征和废物信息的质量，提高设施设计和概念模式的详细程度、变换假想方案选择的思路等。其目的是评定并减少这种不确定性，使之达到可以接受的水平，或者能够证明该不确定性在处置设施的总体性能中是无足轻重的。对于第二种来源的不确定性则需做周密的调查，以了解在未来出现破坏性事件时处置设施性能方面可能出现的变化。利用这一调查结果，应能合理地证实，尽管模式的输出信息存在不确定性，处置系统依然是安全的。因此，对于管理决策而言，敏感度分析和不确定性分析的首要意义就是用来评定在诸多不确定因素并存的情况下，处置系统同安全要求的符合度。如果用其他方法，例如使用明显保守的模式，能够证实系统同安全要求的符合程度，那么，不再要求进行不确定性分析也就顺理成章了。

II.46. 假想方案开发中不确定性的一个主要来源是可能遗漏一个重要的假想方案。由同行专家对入选的假想方案进行评审将有助于减少这种不确定性。

II.47. 同样，场址概念模式和数字模式开发中的不确定性也应由同行专家进行评价。一般倾向于采用易于解释和计算效率高的简单模式。现存于概念模式和数字模式建模过程中、因简化处理导致的不确定性往往可以通过补充模拟研究数据采集来确定。另外，通过模块法和对中间计算结果的审慎分析也能获得对整个系统更详实的认识。

II.48. 如欲推测未来事件，不确定性是无可避免的。其中某些不确定因素，在谨慎地考察过极端的或边界假想方案，或者考察过概率评定结果之后，是可以忽略的，但只限于对处置系统性能影响不大的因素。而其他不确定因素，特别是在未来社会—经济条件下的人类活动中，或者遥远未来的重大气候变化中蕴含的那些不确定因素，大多经不起严格的定量预测或评定。这种情况下，必须通过专门的计算来认识其对处置设施的潜在影响。安全评定以概念模式为基础，而概念模式的首要目标是为开展各种分析提供一个总体框架。当可以推导出适当的数值模式且有现成的数据可用时，安全评定应该

是定量的。如果情况并非如此，则应开展定性评定。这并不是要否定评定本身，而是说评定工作应更多地依靠专家们的定性评判，可能时，且需提供计算结果来支持。不过，在这个框架下，所有赖以判断的依据都必须作为安全评定工作的一部分认真地建档备查。对于已有信息的可靠性也应审慎对待。这些信息的可靠性在安全评定计算中及其结果解释中将会有所反映。因此，随着时间尺度越来越大，这些结果也要作相应的修正。

敏感度分析

II.49. 应对整个系统进行分析，以判断预测的处置设施的性能状态对所使用的概念模式、模式所用的各种假想方案以及输入模式用于系统描述的某些参数的变化有着怎样的和多大程度的依赖关系。假如结果对初始条件和边界条件十分敏感，那么就有可能产生出更多的数据。在此过程中还应检查模式对不同假想方案和照射途径的敏感度。若能确认评定结果对这些参数是灵敏的，就必须考虑作进一步的评价。

II.50. 在安全评定中，敏感度分析应从单个参数变换或少数参数组合的变换入手。对某些参数应考虑其极端的、但必须是合理的变换，因其可能改变不同核素迁移途径的相对意义（重要性）并导致模式不再适用。

II.51. 变换参数值可以有不同的方法，但分析过程必须精心部署，以保证由计算机程序挑选的参数组合具有实际合理性。另外，部署分析过程还应保留某些必要信息，以确定灵敏参数组合、甄别灵敏参数。

II.52. 敏感度分析应指导用于改进模式制定、假想方案开发和收集更多数据的迭代过程。敏感度分析结果应用于指出哪些设计特性应得到有效改进，以获得更好的性能。此外，还可以通过识别敏感性分析中的关键参数来确定研究方向，以减少不确定性。此外，敏感性分析可用于确定对安全评定结果没有重大影响的过程和相关参数，以便排除对这些专题的进一步研究。

不确定性分析

II.53. 对于有关变异性（如主岩渗透率的变化）和未来可能发生的事件的特征（如地震的位置、时间和烈度），在安全评定中，可用一系列参数来描述其不确定性。不确定性分析的着眼点应放在灵敏度分析指示的、决定着安全评定结果的那些重要参数上。普遍采用的方法大多与涉及单变量或多变量变化的灵敏度分析技术有关，其目标是确定处置设施预计性能的边界范围。

简单的边界分析即可获得性能参数范围的全部充分信息，但必须指出，由于系统太过复杂，即便所有单个参数及其极值均已齐备，也未必总能获得系统性能参数的边界范围。蒙特卡罗分析，通过对输入参数变化评价值的统计分析，也能获得预期结果的分布。在确定蒙特卡罗分析的输入参数分布和参数间的相关关系时，运用专家判断是必要的，而且应以正规的和有据可查的方式引用。此外，在确定输入参数或参数组合的数值范围时应该十分谨慎，以免引起没有依据的风险稀释（例如：指将某输入参数值随意放大到数据可以支持的范围以外，可视为设定参数范围的一种保守方法，但也可能导致估算剂量的减少，因而不恰当地降低或稀释了风险值）。

介绍安全评定的结果

概述

II.54. 安全评定结果的表述对于增进理解和获得认可非常重要。这些结果将用于各种目的。在决策过程中，它们主要用于与监管标准进行比较。需要建立一种共识，即处置设施在今后很长一段时期内废物的安全处置，这增加了安全评定及其结果表述的重要性。

II.55. 安全评定成果一般可以为制定废物验收标准和处置设施设计标准提供基础，因此，为了描述处置设施各部分能够提供的防护水平，向系统设计者乃至最终向监管机构提供系统各部分性能的相关信息是非常必要的。安全评定中所用模式的输出信息虽非实际意义上的预测，但实际上却能够指示在未来某种条件下将会发生什么。将这一层意思，连同安全评定模式反映的、复杂的地质处置设施是由天然部分和工程部分组成的等要点，准确传达给各相关各方是非常重要的；因此成果表述必须精心准备。

与监管标准的比较

II.56. 安全评定结果的最常见用途是证明符合监管要求。为此，为了证实安全评定的结果，需要下列内容：

- (a) 明确说明场址、选定的设计方案和废物处置清单；
- (b) 深入讨论概念模式和模式的物理基础；
- (c) 关于替代模式及其被放弃的原因讨论；
- (d) 选择或开发假想方案与途径的依据；

- (e) 所用简化假设和理由的文件记录；
- (f) 对模式输入的总结；
- (g) 所使用的实际数据、其来源和理由；
- (h) 结果解释。

安全评定结果的文件应包括关于不确定性的信息以及任何敏感性和不确定性分析的结论。

系统组成部分的性能

II.57. 安全评定结果应当以能够证明系统各组成部分性能的方式来表述。当采用模块法开展模拟时，这项工作很容易做，并且很值得做。展示每一部分的预期行为、为确保其有效性能而对该部分的设计进行反复完善、对各个部分的预期行为的认识不断深入，这一切都有助于提高整个系统性能置信度的水平。

未来的辐射影响

II.58. 安全评定的结果应以能够考虑到预测影响随时间变化的方式提出。这一方法可能特别有用，因为对未来的预测结果仅仅是系统性能的指示，而将处置设施随时间的变化表述出来则可提高评定结果的可信度。在任何情况下，展示放射性衰变效应随时间推移是如何逐渐减弱的，是非常有用的。在对长期放射性影响和天然照射水平进行比较时，也可以采用这种方法。例如，定性地论证长寿命放射性核素处置带来的影响。

表述的详略程度

II.59. 为了描述地质处置设施的复杂性，通常必须使用复杂模式。要描述并解释这些模式可能十分困难，特别是面向广大公众的时候。另外，申请处置设施的许可证也是一种法律行为。因为，在司法层面上讨论复杂模拟研究的结果是非常困难的，所以，为了解释的需要，应尽量用较为简单的模式来弥补复杂模式的缺憾。

II.60. 处理有可能导致细节丢失时，可以通过论证简单方法与复杂方法所得结果的一致性来解决，条件是首先要证明，这种简化处理实际上是重点针对与系统安全直接相关的关键因素的安全评定。这常被称为系统的坚稳模拟计算。坚稳评定应当证明，通过简单的模式和最少的数据，可以较好地评

定系统的行为。令人满意的简化处理一般要求对于处置设施及其性能有十分深入和全面的了解。如果这种了解能够得到证明，那么，较之需要大量数据的复杂模式，使用很少数据的简单的坚稳模式和安全评定方法，对公众进行解释就容易多了。

建立信任

II.61. 安全评定是处置设施建设过程中一系列理性、技术决策的基础。如前文所述，在这个过程的不同阶段，安全评定起着不同的作用。在选址阶段，初步评定可用来识别不确定性、确定研究重点。安全评定既为处置设施设计提供输入信息，又使根据处置设施具体条件制定废物验收标准成为可能。最后，处置设施的许可证申请，至少部分地需以安全评定结果为依据。

II.62. 科学家、监管机构、决策者和其他有关各方都应对安全评定提供的信息、见解和结果抱有信心。有助于建立信任的活动包括：

- (i) 核实、校准并在可能的情况下核实模式；
- (ii) 相关天然类似物的研究；
- (iii) 质量保证；
- (iv) 专家同行评审[33]。

模式的核实、校准和确认

II.63. 安全评定基于处置设施及其自然环境的模式。这些模式被用来模拟系统的演变，并表明一些情况的后果。建模工作包括开发概念模式和数学模式以及相应的计算机代码或其他计算方法。对建模结果的信心取决于两个问题。首先，计算方法是否准确地解决了构成模式的数学方程？核实过程用来回答这个问题。第二，该模式是否足够精确地再现场和/或实验结果？使用不同数据集的校准和核实用于回答这个问题。

核实

II.64. 为表明数学模式中的方程能够得到满意的解，可以设计若干试验性的问题，求解试验性问题的过程就是计算方法的验算。通过试验问题的使用和方法不同应用结果的反馈，就有可能在数学校正上达到高水平的置信性，并表明方程的编程和解法都是正确的。用不同方法解决相同问题以及使

用相同参数所得结果的比较也是一条有效的途径。因此，对计算方法的验算是可行的实践，应用于建立安全评定的信心。

校准

II.65. 校准旨在减少概念和数值模式及参数的不确定性，通过将模式或子模式预测与场址观测和实验测量进行比较来进行。因此，校准是一种特定于场址的程序，其中使用一组特定于场址的输入数据来比较该场址的预测和观测。在实践中，如果一个模式能够成功地针对各种场址特定条件进行校准，则可以提高对该模式表示系统行为的那些方面的能力的信心，从而在无法测量它们的情况下估计它们的影响。然而，在校准过程中经常遇到的一个困难是，不同的概念模式及其相关的组输入数据产生的结果与观测数据显示出同样好的一致性。这限制了可以实现的不确定性的减少。

核实

II.66. 对模式计算的输出数据应尽可能进行核实，使之与某一实际条件下取得的经验数据对应起来。与校正不同的是，校正是针对某一具体场址进行模式的调试，而核实则更偏重于针对若干场址或者更大的条件范围求得可靠的结果。尽管针对某一具体场址在相应时段内的长期演化来核实模式是不可能的，但利用天然类比研究或气候类比研究的数据进行有限核实还是能够做到的。核实还可以用来对模拟结果同处置设施某些组成部分性状的观测结果进行比较，例如同现场试验数据或场址表征及运行阶段的实际测量数据进行比较。

天然类比

II.67. 对天然类比进行了研究，以便将在自然界中观察到的结果与处置系统中预期的成分或工艺的性能进行比较[34]。天然类似物与废物处置设施之间的类比并不完美，因为在大多数情况下只能观察到自然发生过程的最终结果，而且初始条件及其随时间的演变存在很大的不确定性。

II.68. 目前，可以肯定地说，利用天然类比定量研究来校正/核实模式或为这些模式提供所需的参数值都是非常困难的。但某些相关的作用过程，如废物货包包装材料的退化作用、地下水对放射性核素的搬运作用或者某些元素从土壤向生物圈的迁移作用等，都可以通过适当的天然类比研究进行研究，条件是研究必须达到足够的详细程度，且应充分地控制边界条件以满足

模式某些试验的需要。因此，尽管仍有一些保留，但在处置系统的各种作用以及所用材料的论证方面，天然类比研究将有助于提高置信度。天然类比研究提供的信息尤其有助于提高决策者和公众对安全评定的信任程度。

管理系统

II.69. 管理系统能够提供一套有计划、有系统的程序，以记录过程中的各个步骤，并使人们相信过程的结果是高质量的。这些程序已经或正在引入放射性废物管理的许多领域[27]。为了使人们对安全评定的结果产生信心，需要从最早的阶段就对评定的各个组成部分，特别是数据采集、设计活动、模式开发和计算方法，适用各种程序。管理系统提供了一个框架，在该框架中执行和记录安全评定活动，以证明符合程序。通过这种方式，可以表明使用了可靠和可追踪的信息来源。因此，对安全评定结果的信心将会增强。

安全评定同行评审

II.70. 在科学活动中，对结果有效性的信心在很大程度上取决于同行评审进程的结果。应在公开文献中公布与安全评定有关的科学工作和结果，以便活跃在同一领域的其他专家以及对这一主题感兴趣的任何人能够详细评审这些工作和结果。

II.71. 安全评定基础性科研工作的同行专家评审方式，除与学术论文和项目成果相同的同行评审方式之外，还应包括其他的评审方式。很多国家的放射性废物管理计划都包含有关于重要活动技术评审的条款。监管机构应提高独立评审安全评定结果的能力。某些情况下，可由处置设施开发的营运者或主管机构来组织独立机构进行一些关键的评审。此外，这类评审也可以组织一些自然科学和社会科学方面的专家来进行，这对提高评定工作的置信度水平会更有效。

其他注意事项

II.72. 由于地质处置设施的安全评定涉及到对假设的未来事件及其后果的考虑，因此没有期望特定的预测将成为现实。唯一现实的目标是根据全部恰当证据的评价，包括职业判断和数学模拟结果，在合理的程度上确保处置设施能在可接受的安全基准上运行。

II.73. 应当铭记，地质处置设施方案的实施不仅取决于科技人员、监管机构和决策者对其安全性的信心，还取决于公众的接受程度。为了取得公众的信任，废物处理设施的开发过程应包括若干旨在促进公开、公众参与和有效广泛传播信息的一系列要素或机制。依据有坚实基础的概念模式，采用简洁、坚稳的性能评定技术而开展的精心设计的安全评定工作，将有助于提升公众对地质处置设施的认识水平和接受程度。国际比较和同行专家评审对于获得公众接受是大有益处的。

参 考 文 献

- [1] 国际原子能机构《放射性废物处置》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-5 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [2] 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）。
- [3] 国际原子能机构《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》，国际原子能机构《国际法丛书》第 1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [4] 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、经济合作与发展组织核能机构、泛美卫生组织、世界卫生组织，《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》，国际原子能机构《安全丛书》第 115 号，国际原子能机构，维也纳（1996 年）。（修订中）
- [5] 经济合作与发展组织核能机构《安全论证文件下的工程屏障系统（EBS）：设计确认和论证》（研讨会论文集，东京，2006 年），经济合作与发展组织，巴黎（2007 年）。
- [6] 国际原子能机构《放射性废物钻孔处置设施》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-1 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。
- [7] 国际原子能机构《放射性物质安全运输条例（2009 版）》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 TS-R-1 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。
- [8] 国际原子能机构《核燃料循环设施安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-5 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [9] 国际原子能机构《促进安全的政府、法律和监管框架》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 1 号，国际原子能机构，维也纳（2010 年）。

- [10] 国际核安全咨询组《相关各方参与核问题》，《国际核安全咨询组丛书》第 20 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [11] 经济合作与发展组织核能机构《地质处置库关闭后安全论证文件：性质和目的》，经济合作与发展组织，巴黎（2004 年）。
- [12] 国际放射防护委员会《国际放射防护委员会 1990 年建议书》，国际放射防护委员会第 60 号出版物，培格曼出版社，牛津和纽约（1991 年）。
- [13] 国际放射防护委员会《非人类物种电离辐射影响评定框架》，国际放射防护委员会第 91 号出版物，爱思唯尔，阿姆斯特丹（2003 年）。
- [14] 国际放射防护委员会《国际放射防护委员会 2007 年建议书》，国际放射防护委员会第 103 号出版物，爱思唯尔，牛津（2007 年）。
- [15] 国际原子能机构《固体放射性废物处置的“参考生物圈”》，生物圈建模和评价计划的生物量报告主题 1，第 IAEA-BIOMASS-6 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [16] 经济合作与发展组织核能机构《放射性废物地质处置的特征、事件和过程（FEP）》，国际数据库，经济合作与发展组织，巴黎（2000 年）。
- [17] 国际原子能机构《放射性废物处置安全评定的安全指标》，国际原子能机构《技术文件》第 1372 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [18] 国际原子能机构、国际劳工局，《职业辐射防护》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.1 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。
- [19] 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、经济合作与发展组织核能机构、泛美卫生组织、联合国人道主义事务协调厅、世界卫生组织，《核或辐射应急的准备与响应》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-R-2 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [20] 国际原子能机构《高放废物地质处置库的监测》，国际原子能机构《技术文件》第 1208 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。
- [21] 国际原子能机构保障系统，国际原子能机构《情况通报》第 INFCIRC/66/Rev.2 号，国际原子能机构，维也纳（1968 年）。

- [22] 《各国和国际原子能机构间实施保障协定的附加议定书范本》，国际原子能机构《情况通报》第 INFCIRC/540（更正本）号，国际原子能机构，维也纳（1997 年）。
- [23] 《国际原子能机构与各国之间就〈不扩散核武器条约〉所需要的协定的结构和内容》，国际原子能机构《情况通报》第 INFCIRC/153（更正）号，国际原子能机构，维也纳（1972 年）。
- [24] 《核材料和核设施的实物保护》，国际原子能机构《情况通报》第 INFCIRC/225/Rev.4（更正）号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。
- [25] 国际原子能机构《设施和管理活动的管理系统》，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）。
- [26] 国际原子能机构《设施和管理活动的适用》，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）。
- [27] 国际原子能机构《放射性废物处置管理系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.4 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [28] 国际原子能机构《放射性废物近地表处置的安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-1.1 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。
- [29] 国际原子能机构《近地表处置设施安全评定方法论》第一卷-《审查和加强安全评定的方法和工具》，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。
- [30] 经济合作与发展组织核能机构《放射性废物处置：安全评定方法回顾》，经济合作与发展组织，巴黎（1991 年）。
- [31] 经济合作与发展组织核能机构《国家环境局放射性废物处置绩效评定情景识别和选择工作组：情景发展的系统方法》，经济合作与发展组织，巴黎（1992 年）。
- [32] 经济合作与发展组织核能机构《安全论证文件中不确定性的管理以及风险的作用》（研讨会论文集，斯德哥尔摩，2004 年），经济合作与发展组织，巴黎（2005 年）。
- [33] 经济合作与发展组织核能机构《对深地质长期安全贮存库的信心、发展和沟通》，经济合作与发展组织，巴黎（1999 年）。

[34] 国际原子能机构《使用天然类似物支持长寿期放射性废物深部地质贮存库的放射性核素运输模式》，国际原子能机构《技术文件》第 1109 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。

参与起草和审订人员

| | |
|-----------------|---------------------|
| Baumgartner, P. | 加拿大原子能有限公司 |
| Besnus, F. | 法国辐射防护与核安全研究所 |
| Bruno, G. | 法国辐射防护与核安全研究所 |
| Cool, W. | 比利时国家易裂变材料与放射性废物管理局 |
| Crossland, I. | 英国克洛斯拉咨询公司 |
| Degnan, P. | 英国尼瑞克斯公司 |
| Flavelle, P. | 加拿大放射性废物咨询有限公司 |
| Hautojärvi, A. | 芬兰波西瓦·奥伊公司 |
| Hill, M. | 顾问（英国） |
| Maudoux, J. | 比利时联邦核管局 |
| McCartin, T. | 美国核管制委员会 |
| McEwen, T. | 英国安全评价管理有限公司 |
| Metcalf, P.E. | 国际原子能机构 |
| Narayan, P.K. | 印度巴巴原子研究中心 |
| Okuyama, S. | 日本核废物管理组织 |
| Orrell, S.A. | 美国桑迪亚实验室 |
| Pfeiffer, F. | 德国装置与反应堆安全公司 |
| Rowat, J.H. | 国际原子能机构 |
| Ruokola, E. | 芬兰辐射与核安全局 |
| Salo, J.-P. | 芬兰波西瓦·奥伊公司 |
| Smetnik, A. | 俄罗斯联邦核与辐射安全局 |

| | |
|----------------|--------------|
| Stefanova, I. | 保加利亚核能与核研究所 |
| Ström, A. | 瑞典核燃料与废物管理公司 |
| Summerling, T. | 英国安全评价管理有限公司 |
| Vahlund, F. | 瑞典核燃料与废物管理公司 |
| Van Luik, A. | 美国能源部 |
| Vigfusson, J. | 瑞士联邦核安全监察局 |
| Walsh, C. | 英国核退役管理局 |
| Zlobenko, B. | 乌克兰环境地球化学研究所 |

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: Loy, J.; 比利时: Samain, J.-P.; 巴西: Vinhas, L.A.; 加拿大: Jammal, R.; 中国: 刘华 (Liu Hua); 埃及: Barakat, M.; 芬兰: Laaksonen, J.; 法国: Lacoste, A.-C. (主席); 德国: Majer, D.; 印度: Sharma, S.K.; 以色列: Levanon, I.; 日本: Fukushima, A.; 韩国: Choul-Ho Yun; 立陶宛: Maksimovas, G.; 巴基斯坦: Rahman, M.S.; 俄罗斯: Adamchik, S.; 南非: Magugumela, M.T.; 西班牙: Barceló Vernet, J.; 瑞典: Larsson, C.M.; 乌克兰: Mykolaichuk, O.; 英国: Weightman, M.; 美国: Virgilio, M.; 越南: Le-chi Dung; 原子能机构: Delattre, D. (协调员); 核安全咨询小组: Hashmi, J.A.; 欧盟: Faross, P.; 国际核安全小组: Meserve, R.; 国际放射防护委员会: Holm, L.-E; 经济合作与发展组织核能署: Yoshimura, U.; 安全标准委员会主席: Brach, E.W. (运输安全标准委员会); Magnusson, S. (辐射安全标准委员会); Pather, T. (废物安全标准委员会); Vaughan, G.J. (核安全标准委员会)。

核安全标准委员会

阿尔及利亚: Merrouche, D.; 阿根廷: Waldman, R.; 澳大利亚: Le Cann, G.; 奥地利: Sholly, S.; 比利时: De Boeck, B.; 巴西: Gromann, A.; *保加利亚: Gledachev, Y.; 加拿大: Rzentkowski, G.; 中国: 李京喜 (Jingxi Li); 克罗地亚: Valčić, I.; *塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克: Šváb, M.; 埃及: Ibrahim, M.; 芬兰: Järvinen, M.-L.; 法国: Feron, F.; 德国: Wassilew, C.; 加纳: Emi-Reynolds, G.; *希腊: Camarinopoulos, L.; 匈牙利: Adorján, F.; 印度: Vaze, K.; 印度尼西亚: Antariksawan, A.; 伊朗: Asgharizadeh, F.; 以色列: Hirshfeld, H.; 意大利: Bava, G.; 日本: Kanda, T.; 韩国: Hyun-Koon Kim; 利比亚: Abuzid, O.; 立陶宛: Demčenko, M.; 马来西亚: Azlina Mohammed Jais; 墨西哥: Carrera, A.; 摩洛哥: Soufi, I.; 荷兰: van der Wiel, L.; 巴基斯坦: Habib, M.A.; 波兰: Jurkowski, M.; 罗马尼亚: Biro, L.; 俄罗斯: Baranaev, Y.; 斯洛伐克: Uhrík, P.; 斯洛文尼亚: Vojnovič, D.; 南非:

Leotwane, W; 西班牙: Zarzuela, J.; 瑞典: Hallman, A.; 瑞士: Flury, P.; 突尼斯: Baccouche, S.; 土耳其: Bezdegumeli, U.; 乌克兰: Shumkova, N.; 英国: Vaughan, G.J. (主席); 美国: Mayfield, M.; 乌拉圭: Nader, A.; 欧盟: Vigne, S.; 欧洲原子能公司: Fourest, B.; 原子能机构: Feige, G. (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署: Reig, J.; *世界核能协会: Borysova, I。

辐射安全标准委员会

*阿尔及利亚: Chelbani, S.; 阿根廷: Massera, G.; 澳大利亚: Melbourne, A.; *奥地利: Karg, V.; 比利时: van Bladel, L.; 巴西: Rodriguez Rochedo, E.R.; *保加利亚: Katzarska, L.; 加拿大: Clement, C.; 中国: 杨华庭 (Huating Yang); 克罗地亚: Kralik, I.; *古巴: Betancourt Hernandez, L.; *塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克: Petrova, K.; 丹麦: Øhlenschläger, M.; 埃及: Hassib, G.M.; 爱沙尼亚: Lust, M.; 芬兰: Markkanen, M.; 法国: Godet, J.-L.; 德国: Helming, M.; 加纳: Amoako, J.; *希腊: Kamenopoulou, V.; 匈牙利: Koblinger, L.; 冰岛: Magnusson, S. (主席); 印度: Sharma, D.N.; 印度尼西亚: Widodo, S.; 伊朗: Kardan, M.R.; 爱尔兰: Colgan, T.; 以色列: Koch, J.; 意大利: Bologna, L.; 日本: Kiryu, Y.; 韩国: Byung-Soo Lee; *拉脱维亚: Salmins, A.; 利比亚: Busitta, M.; 立陶宛: Mastauskas, A.; 马来西亚: Hamrah, M.A.; 墨西哥: Delgado Guardado, J.; 摩洛哥: Tazi, S.; 荷兰: Zuur, C.; 挪威: Saxebol, G.; 巴基斯坦: Ali, M.; 巴拉圭: Romero de Gonzalez, V.; 菲律宾: Valdezco, E.; 波兰: Merta, A.; 葡萄牙: Dias de Oliveira, A.M.; 罗马尼亚: Rodna, A.; 俄罗斯: Savkin, M.; 斯洛伐克: Jurina, V.; 斯洛文尼亚: Sutej, T.; 南非: Olivier, J.H.I.; 西班牙: Amor Calvo, I.; 瑞典: Almen, A.; 瑞士: Piller, G.; *泰国: Suntarapai, P.; 突尼斯: Chékir, Z.; 土耳其: Okyar, H.B.; 乌克兰: Pavlenko, T.; 英国: Robinson, I.; 美国: Lewis, R.; *乌拉圭: Nader, A.; 欧盟: Janssens, A.; 联合国粮食及农业组织: Byron, D.; 原子能机构: Boal, T. (协调员); 国际放射防护委员会: Valentin, J.; 国际电力委员会: Thompson, I.; 国际劳工处: Niu, S.; 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署: Lazo, T.E.; 泛美卫生组织: iménez, P.; 联合国原子辐射影响科学委员会: Crick, M.; 世界卫生组织: Carr, Z.; 世界核能协会: Saint-Pierre, S。

运输安全标准委员会

阿根廷: López Vietri, J.; **Capadona, N.M.; 澳大利亚: Sarkar, S.; 奥地利: Kirchnawy, F.; 比利时: Cottens, E.; 巴西: Xavier, A.M.; 保加利亚: Bakalova, A.; 加拿大: Régimbald, A.; 中国: 李晓清 (Xiaoqing Li); 克罗地亚: Belamarić, N.; *古巴: Quevedo Garcia, J.R.; *塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克: Ducháček, V.; 丹麦: Breddam, K.; 埃及: El-Shinawy, R.M.K.; 芬兰: Lahkola, A.; 法国: Landier, D.; 德国: Rein, H.; *Nitsche, F.; **Alter, U.; 加纳: Emi-Reynolds, G.; *希腊: Vogiatzi, S.; 匈牙利: Sáfár, J.; 印度: Agarwal, S.P.; 印度尼西亚: Wisnubroto, D.; 伊朗: Eshraghi, A.; *Emamjomeh, A.; 爱尔兰: Duffy, J.; 以色列: Koch, J.; 意大利: Trivelloni, S.; **Orsini, A.; 日本: Hanaki, I.; 韩国: Dae-Hyung Cho; 利比亚: Kekli, A.T.; 立陶宛: Statkus, V.; 马来西亚: Sobari, M.P.M.; **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: Rashid, M.; *巴拉圭: More Torres, L.E.; 波兰: Dziubiak, T.; 葡萄牙: Buxo da Trindade, R.; 俄罗斯: Buchelnikov, A.E.; 南非: Hinrichsen, P.; 西班牙: Zamora Martin, F.; 瑞典: Häggblom, E.; **Svahn, B.; 瑞士: Krietsch, T.; 泰国: Jerachanchai, S.; 土耳其: Ertürk, K.; 乌克兰: Lopatin, S.; 英国: Sallit, G.; 美国: Boyle, R.W.; Brach, E.W. (主席); 乌拉圭: Nader, A.; *Cabral, W.; 欧盟: Binet, J.; 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.; 国际航空飞行员协会联合会: Tisdall, A.; **Gessler, M.; 国际海事组织: Rahim, I.; 国际标准化组织: Malesys, P.; 国际源供应和生产者协会: Miller, J.J.; **Roughan, K.; 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: Green, L.

废物安全标准委员会

阿尔及利亚: Abdenacer, G.; 阿根廷: Biaggio, A.; 澳大利亚: Williams, G.; *奥地利: Fischer, H.; 比利时: Blommaert, W.; 巴西: Tostes, M.; *保加利亚: Simeonov, G.; 加拿大: Howard, D.; 中国: 曲志敏 (Zhimin Qu); 克罗地亚: Trifunovic, D.; 古巴: Fernandez, A.; 塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克: Lietava, P.; 丹麦: Nielsen, C.; 埃及: Mohamed, Y.; 爱沙尼亚: Lust, M.; 芬兰: Hutri, K.; 法国: Rieu, J.; 德国: Götz, C.; 加纳: Faanu, A.; 希腊: Tzika, F.; 匈牙利: Czoch, I.; 印度: Rana, D.; 印度尼西亚: Wisnubroto, D.;

伊朗: Assadi, M.; *Zarghami, R.; 伊拉克: Abbas, H.; 以色列: Dody, A.; 意大利: Dionisi, M.; 日本: Matsuo, H.; 韩国: Won-Jae Park; *拉脱维亚: Salmins, A.; 利比亚: Elfawares, A.; 立陶宛: Paulikas, V.; 马来西亚: Sudin, M. 墨西哥: Aguirre Gómez, J.; *摩洛哥: Barkouch, R.; 芬兰: van der Shaaf, M.; 巴基斯坦: Mannan, A.; *巴拉圭: Idoyaga Navarro, M.; 波兰: Wlodarski, J.; 葡萄牙: Flausino de Paiva, M.; 斯洛伐克: Homola, J.; 斯洛文尼亚: Mele, I.; 南非: Pather, T. (主席); 西班牙: Sanz Aludan, M.; 瑞典: Frise, L.; 瑞士: Wanner, H.; *泰国: Supaokit, P.; 突尼斯: Bousselmi, M.; 土耳其: Özdemir, T.; 乌克兰: Makarovska, O.; 英国: Chandler, S.; 美国: Camper, L.; *乌拉圭: Nader, A.; 欧盟: Necheva, C.; 欧洲核设施安全标准: Lorenz, B.; *欧洲核设施安全标准: Zaiss, W.; 原子能机构: Siraky, G. (协调员); 国际标准化组织: Hutson, G.; 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署: 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 • 网址: 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

单个订单:

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 • 网址: 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 • 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