

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

放射性废物处置的 安全论证文件和 安全评定

特定安全导则

第 SSG-23 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。

放射性废物处置的安全论证 文件和安全评定

国际原子能机构成员国

阿富汗	冈比亚	北马其顿
阿尔巴尼亚	格鲁吉亚	挪威
阿尔及利亚	德国	阿曼
安哥拉	加纳	巴基斯坦
安提瓜和巴布达	希腊	帕劳
阿根廷	格林纳达	巴拿马
亚美尼亚	危地马拉	巴布亚新几内亚
澳大利亚	圭亚那	巴拉圭
奥地利	海地	秘鲁
阿塞拜疆	教廷	菲律宾
巴哈马	洪都拉斯	波兰
巴林	匈牙利	葡萄牙
孟加拉国	冰岛	卡塔尔
巴巴多斯	印度	摩尔多瓦共和国
白俄罗斯	印度尼西亚	罗马尼亚
比利时	伊朗伊斯兰共和国	俄罗斯联邦
伯利兹	伊拉克	卢旺达
贝宁	爱尔兰	圣基茨和尼维斯
多民族玻利维亚国	以色列	圣卢西亚
波斯尼亚和黑塞哥维那	意大利	圣文森特和格林纳丁斯
博茨瓦纳	牙买加	萨摩亚
巴西	日本	圣马力诺
文莱达鲁萨兰国	约旦	沙特阿拉伯
保加利亚	哈萨克斯坦	塞内加尔
布基纳法索	肯尼亚	塞尔维亚
佛得角	大韩民国	塞舌尔
布隆迪	科威特	塞拉利昂
柬埔寨	吉尔吉斯斯坦	新加坡
喀麦隆	老挝人民民主共和国	斯洛伐克
加拿大	拉脱维亚	斯洛文尼亚
中非共和国	黎巴嫩	南非
乍得	莱索托	西班牙
智利	利比里亚	斯里兰卡
中国	利比亚	苏丹
哥伦比亚	列支敦士登	瑞典
科摩罗	立陶宛	瑞士
刚果	卢森堡	阿拉伯叙利亚共和国
哥斯达黎加	马达加斯加	塔吉克斯坦
科特迪瓦	马拉维	泰国
克罗地亚	马来西亚	多哥
古巴	马里	汤加
塞浦路斯	马耳他	特立尼达和多巴哥
捷克共和国	马绍尔群岛	突尼斯
刚果民主共和国	毛里塔尼亚	土耳其
丹麦	毛里求斯	土库曼斯坦
吉布提	墨西哥	乌干达
多米尼克	摩纳哥	乌克兰
多米尼加共和国	蒙古	阿拉伯联合酋长国
厄瓜多尔	黑山	大不列颠及北爱尔兰联合王国
埃及	摩洛哥	坦桑尼亚联合共和国
萨尔瓦多	莫桑比克	美利坚合众国
厄立特里亚	缅甸	乌拉圭
爱沙尼亚	纳米比亚	乌兹别克斯坦
科威特	尼泊尔	瓦努阿图
埃塞俄比亚	荷兰	委内瑞拉玻利瓦尔共和国
斐济	新西兰	越南
芬兰	尼加拉瓜	也门
法国	尼日尔	赞比亚
加蓬	尼日利亚	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-23 号

放射性废物处置的安全论证 文件和安全评定

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 11 月·奥地利

放射性废物处置的安全论证文件和安全评定

国际原子能机构，奥地利，2023 年 11 月
STI/PUB/1553
ISBN 978-92-0-500523-2（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。

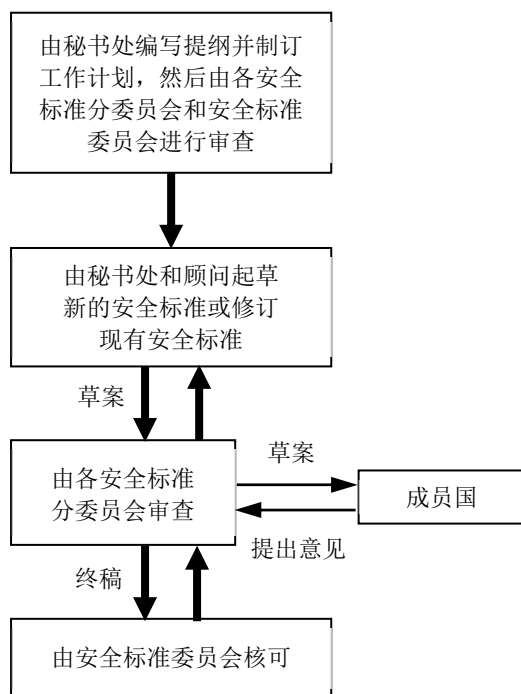


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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

1. 导言	1
背景 (1.1-1.4).....	1
目的 (1.5).....	2
范围 (1.6-1.7).....	2
结构 (1.8).....	2
2. 论证放射性废物处理的安全性 (2.1-2.10)	3
3. 安全原则和安全要求 (3.1)	7
安全原则 (3.2-3.3).....	7
安全论证文件和安全评定的要求 (3.4-3.17).....	8
4. 放射性废物处置的安全论证文件 (4.1-4.5)	13
安全论证文件的作用与编写 (4.6-4.19).....	16
安全论证文件的组成 (4.20-4.88).....	19
相互作用过程 (4.89-4.100).....	36
5. 关闭后的辐射影响评定 (5.1-5.5)	38
评定的范围 (5.6-5.34).....	39
处理系统的描述 (5.35).....	44
假想方案的开发和正当性说明 (5.36-5.46).....	44
评定模式的制定和使用 (5.47-5.50).....	47
计算和结果分析 (5.51-5.69).....	48
评定模式的改进 (5.70-5.71).....	52
与评定标准的比较 (5.72-5.74).....	52
6. 特定问题 (6.1)	53
安全论证文件的演变 (6.2-6.22).....	53
分级方法 (6.23-6.28).....	58
纵深防御 (6.29-6.37).....	60
坚稳性 (6.38-6.42).....	63
评定的时间范围 (6.43-6.51).....	64
人类侵入 (6.52-6.65).....	67
有组织控制 (6.66-6.73).....	70
废物的可回取性 (6.74-6.78).....	72
方案的评定 (6.79-6.89).....	73

7. 安全论证文件的编写和使用 (7.1)	77
安全论证文件的文件编写 (7.2-7.17).....	78
安全论证文件的使用 (7.18-7.23).....	84
8. 监管评审过程 (8.1)	85
监管评审过程的目标与特性 (8.2-8.6).....	85
评审过程的管理 (8.7-8.13).....	88
监管机构对分级方法的使用 (8.14).....	90
评审的实施与评审结果的报告 (8.15-8.18).....	91
参考文献	95
参与起草和审订人员	101
国际原子能机构安全标准核可机构	103

1. 引言

背景

1.1. 放射性废物处置是对管理的最终步骤, 为确保处置安全, 处置设施的设计、运行和关闭应提供必要的包容和隔离¹。基本安全目标是保护人类和环境免遭电离辐射的有害影响[1], 并作为一个原则:

“放射性废物管理必须避免给后代造成不合理的负担, 即产生废物的这几代人必须为废物的长期管理寻求并采用安全、切实可行及环境可接受的解决方案” [1]。

1.2. 与放射性物质和辐射的所有设施和活动一样, 处置设施的营运组织对安全负有主要责任, 必须评定这些设施的安全, 并论证这些设施的设计和运行是符合相关安全要求的[1]。放射性废物处置的安全要求, 还必须开展安全论证文件²及其辅助安全评定[2]。

1.3. 安全论证文件就是收集并研究科学、技术、行政和管理方面的论点和证据以支撑处置设施的安全, 包括场址及设施的设计、建造和运行的适宜性, 辐射风险的评定, 以及与处置设施相关的所有安全相关工作的充分性和质量保证。放射性危害的系统性评定推动的安全评定, 作为安全论证文件不可或缺的一部分, 是安全论证文件的一个重要组成部分。后者涉及为了与剂量和风险标准进行比较而对处置设施可能产生的辐射剂量和辐射风险进行定量, 并在考虑到放射性废物仍有风险的时间范围内提供在正常条件和干扰事件下对处置设施行为的理解。安全论证文件及其辅助安全评定为安全论证和许可证提供依据。它们将随着处置设施的开发而不断发展, 并将帮助

¹ 包容是指用来预防或控制放射性物质释放和扩散的所有方法或设计的实体结构。废物与可接近的生物圈隔离可大幅度地降低人类意外闯入废物处置场的可能性及其后果。

² 正如本出版物中所述的那样, 为处置设施开发一个安全论证文件的概念, 在许多国家均使用。然而, 在一些国家使用的术语是不同的。例如, 在美国使用术语“整体系统性能分析 (total system performance analysis)” (连同与特定处置方法相关的法规一起), 涵盖了本“安全导则”中描述的安全论证文件的所有方面。在法国, 使用术语“档案 (dossier)”来描述安全论证文件。在德国和瑞士, 使用术语“安全文件 (Sicherheitsnachweis)”。在西班牙, 使用“安全性研究 (estudio de seguridad)”来描述安全论证文件 (safty case)。

和指导选址、设计和运行的决策。安全论证文件也将为与相关各方进行对话和提升处置设施安全的信心提供依据。

1.4. 本“安全导则”为放射性废物处置的安全论证文件和辅助安全评定满足安全要求提供指导和建议。

目的

1.5. 本“安全导则”的目标是，为评定、论证及用文件证明所有类型的放射性废物处置设施的安全提供指导。当评定放射性废物处置设施关闭后的安全时需要识别最重要的考虑因素，为着手开始这种评定和表达安全论证文件的最佳实践提供指导。本“安全导则”与负责编写安全论证文件的营运组织以及负责制定安全论证文件的依据和范围的法规和监管导则的监管机构有关。为进一步支持监管过程，本“安全导则”也为监管机构评审安全论证文件提供指导。

范围

1.6. 本“安全导则”涵盖了对需要特定处置设施的所有类型的放射性废物进行处置的安全论证文件和辅助安全评定的编写。本“安全导则”为处置设施建造的所有阶段提供指导和建议。重点是处置设施的性能及其关闭后的影响评定。阐述了其他有关方面的影响，如运行安全和非辐射风险，但未详细讨论。虽然为满足实施措施的要求提供了建议以确保采取一个整体方案来处理放射性废物处置中的安全措施和核安保措施[2]，但未详细讨论安保方面的问题。

1.7. 本“安全导则”也为相关各方的参与、风险沟通问题和决策方法提供建议，因为其中包含使用安全论证文件的决策过程中的重要组成部分。本“安全导则”也为监管过程提供指导和建议。

结构

1.8. 本“安全导则”第 2 部分讨论了论证放射性废物处置设施安全的全过程；第 3 部分概述了在准备安全论证文件中需要遵循的主要安全原则和安全要求。后一部分的总体目标是为如何满足这些要求提供指导；第 4 部

分阐述了安全论证文件的概念，描述了安全论证文件的组成及它在处置设施的建造、运行和关闭中的作用，也讨论了在安全论证文件中建立信心的可能性；第 5 部分阐述了处置设施关闭后放射学影响评定的方法，它构成第 4 部分中所描述的安全论证文件的核心要素。概述并详细地讨论了该过程的各个步骤。尤其是为辐射影响评定中的不确定性管理以及使用评定结果与评定标准进行比较提供了指导和建议；第 6 部分讨论了在准备安全论证文件过程中所提出的具体问题；第 7 部分论述了安全论证文件的文件编写，并阐述了在建设处置设施时安全论证文件的可能用途；第 8 部分为安全论证文件的监管评审提供指导和建议。

2. 论证放射性废物处理的安全性

2.1. 基本安全目标是保护人类和环境免受电离辐射的有害影响[1]。此外，

“放射性废物必须以避免给子孙后代造成不合理负担的方式进行管理，即产生废物的这几代人必须为废物的长期管理寻求并采用安全、切实可行和环境可以接受的解决方案” [1]。

对所有放射性废物管理的优选策略是，包容放射性废物并把它与可接近的生物圈隔离[2]。

2.2. 依照分级方法[2、3]，某个选定的处置系统的包容废物及与人类和可接近的生物圈隔离的能力，应与废物的潜在危害相称。这主要是通过适当地选择废物体及包装、处置设施的场址和设计来实现的。不期望处置设施永久地提供对废物的完全包容和隔离；这是不切合实际的，同时废物的危害随时间推移而下降因此不需要具备这种性质。

2.3. 几十年来，许多国家建造并运行了放射性废物处置设施。目前运行的大多数设施都是近地表处置设施，有一个地质处置设施正在运行中³，许多国家在建造和运行适合高放废物的更深地质处置设施方面均有取得进展[4—13]。

³ 美国能源部，废物隔离中间试验厂（WIPP），位于美国新墨西哥州卡尔斯巴德。

2.4. 由于放射性废物处置的国家计划正在开发，已经投入了相当大的精力来开发适用于论证处置设施的安全和制定特定设施的安全论证文件的系统的和国际上公认的方法。安全论证文件定义为“收集用于论证设施安全的论点和证据” [2]。处置设施安全可接受水平的论证，取决于安全论证文件中有关场址特性和设施工程（如工程屏障系统）的论据，以及保证安全相关工作所有方面质量的安全评定结果和管理安排。

2.5. 安全评定必须评价处置系统的性能，并量化对人类健康和环境的潜在辐射影响。安全评定是处置设施的安全论证文件的一个主要组成部分，并应考虑运行期间和关闭后设施的可能辐射影响。辐射影响可能来自设施关闭后的渐进过程，该过程可能导致设施及部件（如天然屏障和工程屏障）退化；辐射影响也可以来自不相关联的干扰事件，这些事件可能影响废物的隔离（如地震、断层和人类意外侵入）。安全评定应论证处置设施是否满足适用的监管要求。

2.6. 参考文献[14—16]提供了针对不同类型的处置设施关于满足参考文献[2]建立的安全要求的建议。参考文献[3]建立了安全评定的要求；这些要求适用于所有的设施和活动，包括运行期间和关闭后的处置设施。对于处置设施，应当特别地考虑保证长时间内的安全需要与废物中包含的放射性核素的半衰期和数量相称。

2.7. 参考文献[17]提供了放射性废物的分类方法，如图 1 所示。参考文献 [17]定义的废物类别和第 2.8 段讨论的废物类别都是通用的。图 1 中的废物分类方法，把放射性废物的分类与废物处置设施的类型建立起了联系。针对每个处置设施，这种联系并不改变全场址特定安全评定的要求，与其他方面一起，这种特定评定可用于建立每个设施的废物验收标准。不过该废物分类方法提供了一个国际参考基准，便于不同国家之间进行废物管理的信息交流，并可协助国家废物管理策略的建立。

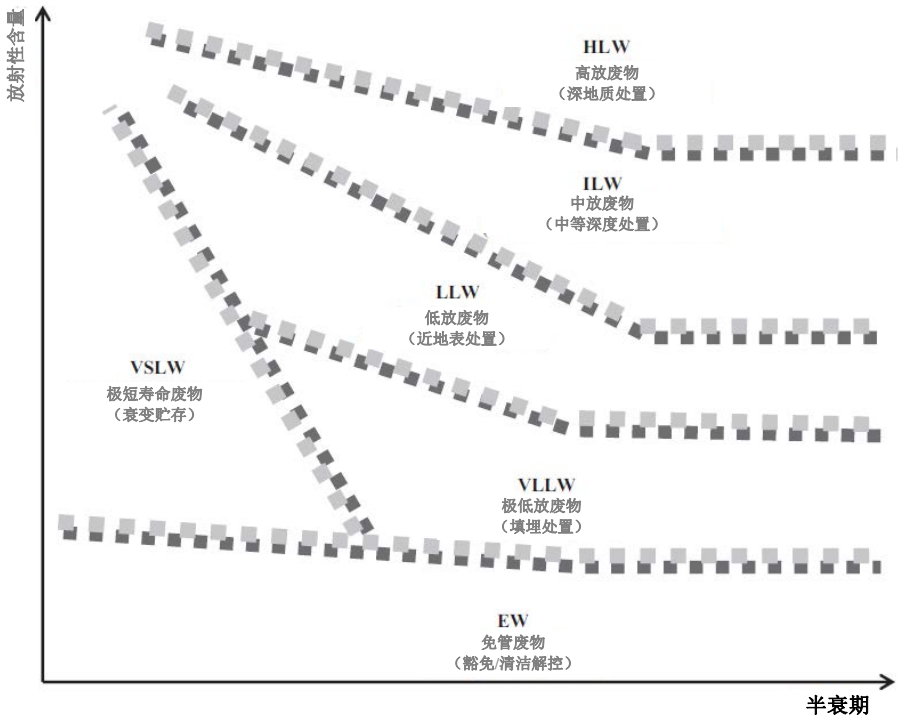


图 1. 放射性废物分类概念图。

2.8. 本“安全导则”中⁴考虑了下列废物类型：

- 极低水平废物 (VLLW): 极低水平废物来自核设施的运行和退役，采矿或矿石和矿物的加工，以及放射性物质的研究、医学和教学应用过程。极低水平废物的放射性浓度高于物料从监管控制中清洁解控的水平。极低水平废物的安全管理需要采取某些辐射防护措施，但是与下面描述的具有较高放射性浓度的废物相比，这些措施非常有限；
- 低水平废物 (LLW): 低水平废物适合近地表处置，其范围很宽，包括从稍高于极低水平废物水平的放射性废物到需要屏蔽、包容和隔离长达几百年之久的活度水平的放射性废物。尽管低水平废

⁴ 在本“安全导则”中没有过多考虑极短寿命废物和免管废物，因为它们不需要专门的放射性废物处置设施。

物中可能存在低浓度的长寿命放射性核素，但是可接受的浓度是受近地表处置能够确保废物的隔离和尤其是通过有组织控制能够足够地降低人类意外侵入该设施的可能性之时间期限限制的；

- 中水平废物 (ILW): 中水平废物含有大量的长寿命放射性核素，它需要比近地表处置提供的包容和隔离更高级别（即更长时间）的包容和生物圈隔离。低水平废物和中水平废物之间没有按照某个特定的放射性浓度水平划分的分界线，这是因为允许水平将取决于实际的废物处置设施；
- 高水平废物 (HLW): 高水平废物含有比中水平废物更高的放射性核素浓度，且因放射性衰变将产生大量的热量。由于存在高浓度的长寿命放射性核素，因而显著的释热可能延续几个世纪。高水平废物包括已声明作为废物的乏燃料、乏燃料后处理产生的玻璃固化废物以及任何其他需要类似包容和隔离等级的废物。

2.9. 术语“处置”是指把放射性废物安置在某个设施或某个场地，并无意回取该废物……处置方案设计为利用非能动工程特性和天然特性包容废物，并把废物与可接近的生物圈隔离至相关危害需要的程度”。术语处置意指不打算回取；但这并不意味着回取是不可能的。

“相反，术语‘贮存’是指把放射性废物保留在某个设施或某个场地，并打算回取废物。处置方案和贮存方案都是设计用于包容废物，并把该废物与可接近的生物圈隔离至所需要的程度。两者重要的差别在于贮存是临时性措施，随后计划了某些未来行动。这可能包括废物的进一步整备或包装及最终处置”（参考文献[2]第 1.8 段和第 1.9 段）。

2.10. 处置设施的建设填充涉及一个广泛的研究、设计和评定工作计划，该计划可能持续几年或几十年。一旦建设了一个处置设施，它可能运行几年甚至几十年。放射性废物处置设施的寿期可以定义为三个阶段：运行前阶段、运行阶段和关闭后阶段：

- 一般地，运行前阶段所开展的活动包括处置概念和安全策略制定，场址评价（选择、核实和确认），环境影响评定⁵，设施的初

⁵ 这里使用的术语具有广义上的意义。在一些国家，术语“环境影响评定”是一个涵盖了项目所有潜在影响的特定过程，以便于提请所有相关当局接受该项目，且它通常涉及到公众的参与。

步设计研究，研发与跟踪计划制定，以及设施详细设计开发。设施的许可证和建造也在该阶段进行；

- 运行阶段开始于设施首次接收废物，直至设施所有组成部分最终关闭。在该阶段废物管理活动可能有辐射照射，因此，依据工作人员辐射防护与安全的要求，这些照射应受到监管控制。应当把安全评定、监控及研发计划用于为该设施运行和关闭的管理决策提供信息。在运行阶段，建造活动可能会与废物放置和设施其他组成部分的关闭同时进行；
- 关闭后阶段开始于设施关闭之后。关闭后，一段时间的有组织控制可能会有助于某些处置设施（尤其是近地表处置设施）的安全。有组织控制可能具有能动的或非能动的性质。能动措施的例子是，环境介质中放射性核素浓度的监控，或屏障性能及其完整性的监控，尤其近地表处置设施。关闭后维护措施（即近地表处置覆盖层的修复）也属于这类情况。其他的有组织控制可能是非能动的。这些措施可以确保处置设施的记录得到保存和限制土地的利用得到落实。各国可能对最大持续时间都有明确的要求，在此期间内对安全论证文件中采用这些控制是可信的。由于这些控制的作用无法得到保证，因而不能仅仅依靠这些控制来保证安全。然而，它们可以构成纵深防御的一个重要组成部分。

3. 安全原则和安全要求

3.1. 本部分列出在准备安全论证文件和辅助安全评定时要考虑的主要原则和要求。

安全原则

3.2. 原子能机构《基本安全原则》[1]陈述了用于所有放射性废物管理活动的安全原则：

原则 1：安全责任

原则 2：政府的职责

原则 3：对安全的领导和管理

原则 4：设施和活动的正当性

原则 5：防护的最优化

原则 6：对个人风险的限制

原则 7：当代和后代的保护

原则 8：事故的预防

原则 9：应急准备与响应

原则 10：减少现存或未监管辐射风险的防护行动

3.3. 许多安全原则反映了《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》[18]第 1 条的一些要素。在《国际辐射防护与辐射源安全基本安全标准》[19]建立了辐射防护的相关要求。参考文献[18、19]采用的许多防护概念都来自于国际放射防护委员会的建议[20—24]。

安全论证文件和安全评定的要求

3.4. 下列各段落将阐述参考文献[2、3]有关于安全论证文件的制定、更新或保持和应用的主要要求。参考文献[2、3]其他要求在本“安全导则”后面各部分中阐述。

开展安全论证文件和安全评定的责任

3.5. “进行安全评定的责任必须落实到负责的法人；即，对该设施或活动负责的人或组织”（参考文献[3]要求 3）。

3.6. 对于处置设施：

“营运组织必须进行安全评定并编写和保持安全论证文件，必须依照国家战略、遵照监管要求以及在法律和监管基础结构范围内进行场址选择与评价、设计、建造、运行、关闭，以及必要时在关闭后进行监视的所有必要活动”（参考文献[2]要求 3）。

3.7. “监管部门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，必须为许可过程的不同阶段制定符合要求的程序。监管部门还必须为每个处置设施的建造、运行和关闭规定条件，必须进行确保满足这些条件所需要的活动”（参考文献[2]要求 2）。

在进行安全评定和准备安全论证文件时，营运组织必须论述这些监管要求和条件。

安全论证文件的要求

3.8. 下列安全要求适用于安全论证文件以指导处置设施的建造、运行和关闭：

- “营运组织必须准备并更新安全论证文件及其辅助安全评定，如有必要，在处置设施建设的每个步骤及其运行和关闭后都必须开展这些活动。安全论证文件及其辅助安全评定必须提交给监管当局以获得批准。安全论证文件及其辅助安全评定必须足够详细和全面，以便为在每个步骤通报监管当局和形成必要的决定提供所需的技术输入”（参考文献[2]要求 12）。
- “必须对处置设施的场址进行特性调查，其详细程度须足以支持全面了解该场址的特性和该场址将如何随时间而演变。这必须包括场址的当前状况、其可能的自然演变和可能的自然事件，也包括在关心的时间范围内可能影响该设施安全的邻近地区内的人类计划和活动。它还必须包括具体了解与该场址和该设施有关的特征、事件和过程对安全的影响”（参考文献[2]要求 15）。
- “必须按照批准的安全论证文件和辅助安全评定所描述的设计建造该处置设施。该处置设施必须以有利于保护围岩环境的安全功能的方式进行建造，安全论证文件已经表明这些安全功能对于关闭后的安全是十分重要的”（参考文献[2]要求 17）。
- “处置设施必须按照许可证条件和相关的监管要求运行，以便有利于保持运行期间的安全，并须以该方式运行以便有利于保持安全论证文件中所假设的安全功能，而这些安全功能对于关闭后的安全是重要的”（参考文献[2]要求 18）。
- “放射性废物处置设施必须按照一系列的步骤进行建造、运行和关闭。必要时，每个步骤都必须通过对选址、设计、建造、运行和管理的选定方案及处置系统的性能和安全进行迭代评价而得到支持”（参考文献[2]要求 11）。

- “处置设施的关闭必须以能够提供安全论证文件已证明对关闭后具有重要意义的那些安全功能的方式进行。关闭计划，包括该设施从能动管理的过渡，必须十分明确和切实可行，因此可以在适当的时候安全关闭”（参考文献[2]要求 19）。
- “处置设施的安全论证文件必须描述场址、设施的设计及管理控制措施和监管控制所有安全相关的问题。安全论证文件和辅助安全评定必须论证所提供的对人和环境的防护水平，还必须向监管当局和其他相关各方提供安全要求将得到遵守的保证”（参考文献[2]要求 13）。

3.9. 下列要求适用于所有的设施和活动，包括处置设施：“应当确定是否在纵深防御的每个层次上都对纵深防御的评定制定了充分的规定”（参考文献[3]要求 13）。以下陈述是对这一要求的进一步说明：

“在安全评定中必须确定是否提供了足够的纵深防御，视情况而定，通过结合多重保护（即，实物屏障、保护该屏障的系统及行政管理程序）进行防御，在将会对人类或环境有任何后果之前，这些屏障可能会失效或者被忽视”（参考文献[3]第 4.12 段）。

对安全评定的要求

3.10. 下列要求适用于安全评定：

- “对于新设施或活动，在设计阶段就必须开展安全评定，或者是在现存设施或活动的寿期内尽可能早地开展安全评定。对于长期持续运行的设施和进行的活动，在设施或活动寿期内各阶段必须更新安全评定，以便于考虑可能的情况变化（如新标准的应用，或新科学技术的发展），场址特性的变化，以及设计或运行的改造，还有老化的影响”（参考文献[3]第 4.6 段）。
- “安全评定的基本目的是确定设施或活动是否已经达到了足够的安全水平，以及设计者、营运组织和监管当局按照《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》（参考文献[3]要求 4）中规定的

防护与安全要求所制定的基本安全目标和安全标准是否已经得到满足”^{6、7}。

- “安全评定必须论述正常运行（即当设施正常运行或活动正常进行时）及来自预计运行事件和事故工况（在此情况下，已经发生的故障，或内部事件或外部事件都将对设施或活动的安全提出挑战）引起的所有辐射风险。对于预计运行事件和事故工况，安全评定还必须论述可能出现的故障及其任何故障的后果”（参考文献[3]第4.5段）。
- “安全评定中必须确定是否已经采取了充分的措施将辐射风险控制到了可以接受的水平；确定汇编在设计中的结构、系统、部件和屏障是否满足它们所要求的安全功能；还要确定是否已经采取了充分的措施防止预计运行事件和事故工况，以及如果事故一旦发生时，是否能够缓解任何放射性后果”（参考文献[3]第4.9段）。
- “安全评定必须论述设施的运行或活动的实施对个人和人群组所引起的所有的辐射风险。这包括当地人群也包括在地理上远离引起辐射风险的设施或活动的人群组，视情况而定还包括其他国家的人群组”（参考文献[3]第4.10段）。
- “安全评定必须论述当前和长期的辐射风险。这对诸如放射性废物管理活动尤为重要，其影响可能跨越许多代人”（参考文献[3]第4.11段）。
- “安全评定必须包括安全分析，它由一套采用确定性方法和概率方法用于评价和评定不同运行状态、预计运行事件和事故工况下安全挑战的不同的定量分析所组成。采用如第3部分所述的分级方法确定安全分析的范围和详细程度。确定安全分析的范围和详细程度是安全评定不可分割的一部分”（参考文献[3]第4.13段）。

⁶ 参考文献[19]是现行版本的《国际基本安全标准》。

⁷ 认识到只能估计未来的个人辐射剂量，包括对废物处置设施停止有组织管理之后可能发生的辐射剂量。“尽管如此，依然能够对长时间期间的可能剂量和风险进行估计，而且能够用作与安全标准进行比较的指标”（参考文献[2]第A.4段）。

安全评定的维护

3.11. 关于安全评定的维护，

“安全评定更新的频度，与设施或活动的相关辐射风险有关，与对设施或活动所做的改变的范围有关。至少按照监管要求预先确定的时间间隔开展定期安全评审来更新安全评定。这些设施的延续运行或这些活动的实施，在再评定中能够得到论证，并得到营运组织和监管当局的同意，落实的安全措施一直是充分的”（参考文献[3]第 4.8 段）。

3.12. 此外：

“在安全评定的更新中，还须考虑运行经验，包括该设施或该活动本身以及对于类似设施或活动，预计运行事件和事故工况以及事故前兆方面的资料”（参考文献[3]第 4.7 段）。

3.13. 特别适用于废物处置设施的安全评定的更新规定如下：

- “在处置设施整个建造和运行期间都必须开展安全评定以支持安全论证文件，并随着获得更完善的场址数据不断对其进行更新。安全评定必须为营运组织进行中的决策提供输入。这类决策可能与研究主题、评定能力发展、资源分配和废物验收标准制定相关联”（参考文献[2]第 4.13 段）。
- “营运组织经与监管当局协商必须确定安全评定的时间安排和详细程度，并得到监管当局批准”（参考文献[2]第 4.14 段）。

安全论证文件的文件编写

3.14. 关于安全论证文件的文件编写：

“处置设施的安全论证文件和辅助安全评定必须形成文件，其详细程度和质量足以形成和支持在每一个步骤将所做的决策，并使得能够对安全论证文件和辅助安全评定进行独立评审”（参考文献[2]要求 14）。

3.15. “对安全评定的结果与结论进行文件化记录，适当时以安全报告的形式反映该设施或活动的复杂性及相关的辐射风险。为了论证设施或活动是符合基本安全原则和本安全要求出版物中规定的要求以及国家

法律和规定中规定的任何其他安全要求的目的，安全报告将呈现已经开展的评定和分析”（参考文献[3]第 4.62 段）。

安全论证文件的使用

3.16. 下列关于使用安全评定结果的附加要求，特别适用于处置设施：

- “已同意放置在处置设施内的废物货包和未包装的废物，必须符合与该处置设施运行期间和关闭后的安全论证文件完全一致的以及从它推导得出的标准”（参考文献[2]要求 20）。
- “必须制定关闭后期间的计划，以解决有组织控制和保持该处置设施的信息可用的安排问题。这些计划必须与非能动安全特性相一致，并必须作为构成批准关闭该设施所依据的安全论证文件的一部分”（参考文献[2]要求 22）。

3.17. “安全评定的结果必须用于详细说明维护、监视和视察计划；用于详细说明对安全有重要意义的所有运行活动以及响应预计运行事件和事故的需要制定的程序；用于详细说明参与该设施或活动的人员所需具备的能力以及用整体的、风险指引的方法做出决策”（参考文献[3]要求 23）。

4. 放射性废物处置的安全论证文件

4.1. 本部分对安全论证文件的组成、编写及其在处置设施的建造、运行和关闭过程中的作用进行识别并提供指导。

4.2. 安全论证文件的组成如图 2 所示，应包括以下内容：背景、安全策略、设施描述、安全评定；限值、控制和条件；迭代和设计优化；不确定性管理；以及安全论据的集合。

4.3. 安全论证文件应当从设施的构思就开始编写，并应在其寿期内直至关闭和许可证终止的全过程进行更新。如图 3 所示，要求全过程应用确保所有安全相关工作质量的管理系统，并要求应用于监管流程。应当为便于所有相关各方在安全论证文件编写和使用中的参与做出安排。

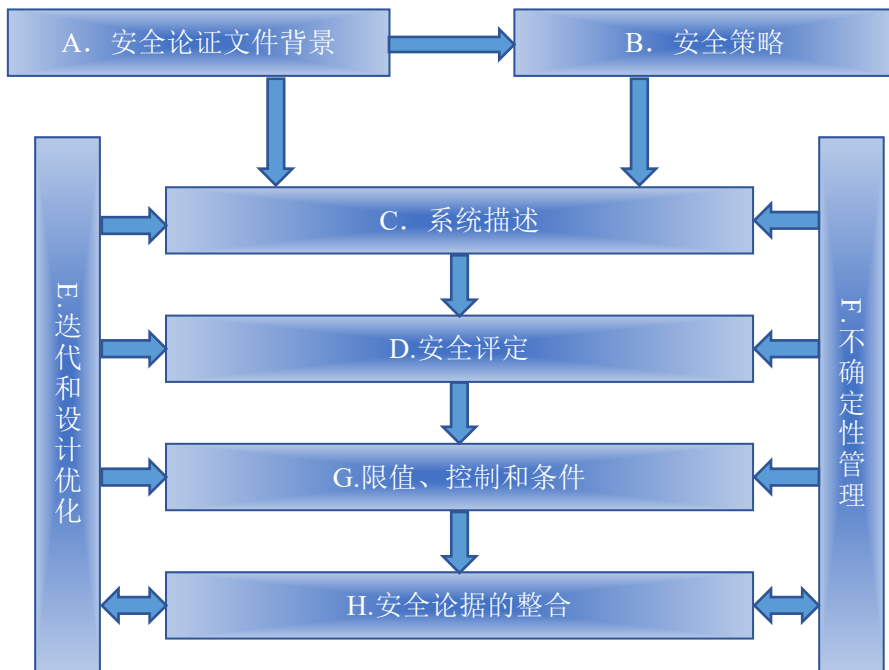


图 2. 安全论证文件的组成。

4.4. 安全评定是安全论证文件的主要组成部分，并涉及许多方面的评定，如图 4 所示。安全评定的基本要素是在辐射剂量和辐射风险方面评定对人类和环境的辐射影响。需要开展安全评定的其他重要方面是场址和工程方面、运行安全、非辐射影响和管理系统。第 4.20—4.100 段对安全论证文件的各个组成部分提供指导。

4.5. 对于大多数新的处置设施，已经或正在研发安全论证文件的单一组成部分。引入安全论证文件概念的好处在于，使用一种统一的方式来为文件记录和呈现处置设施的所有安全相关信息提供一个结构化的框架。

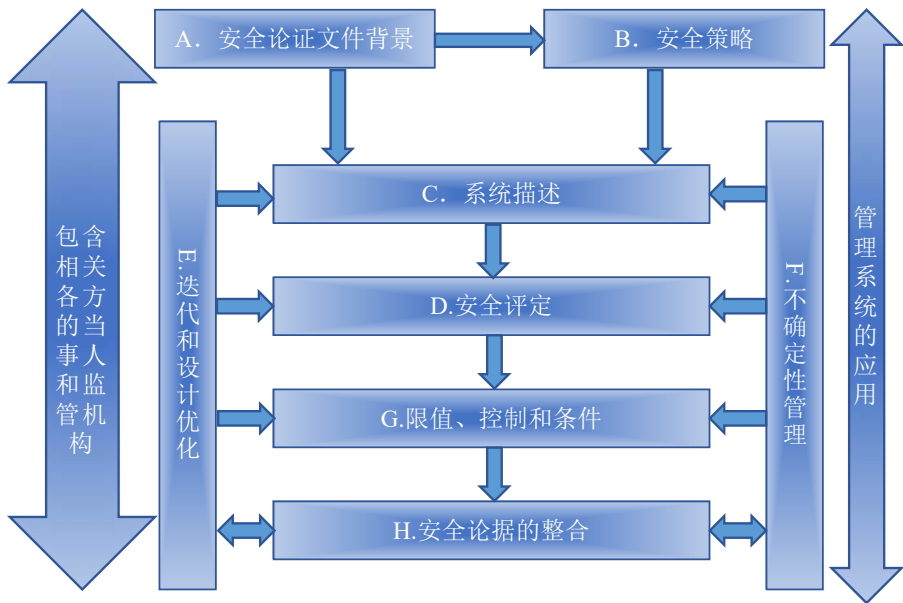


图3. 管理系统的应用和监管机构与相关各方的互动过程。



图4. 安全评定包括的内容。

安全论证文件的作用与编写

4.6. 根据参考文献[2]要求（见第 3.8 段），要求编写安全论证文件用于论述处置设施运行期及关闭后的安全。本“安全导则”专注于关闭后的安全，并为呈现处置设施安全的所有论据和辅助评定、分析和证据所需要的安全论证文件的作用和组成提供指导。从这个意义上讲，安全论证文件应提供：

- 以一种结构化、可追溯的和透明的方式整合相关信息，论证处置系统在关闭后期间行为和性能的认识；
- 识别处置系统的行为和性能的不确定性及其不确定性的重要性分析，并识别重要不确定性的管理方法；
- 通过提供合理的保证来论证长期安全，以确保处置设施将以一种保护人类健康和环境的方式运行；
- 采用循序渐进的方法支持处置设施建造的决策；
- 促进相关各方对处置设施相关问题的沟通。

4.7. 如第 2.10 段中所列出的那样，处置设施是以循序渐进的方式建造的。采取循序渐进的方法应能使：

- 系统地收集和评定必要的科学与技术资料；
- 评价可能的场址；
- 开发处置概念；
- 随着资料的逐步完善，对设计和安全评定进行迭代研究；
- 吸取技术与监管评审的意见；
- 与有明确决策意见的公众进行磋商；
- 政治参与。

根据设施的类型和国家实践，确定所应遵循的后续确切流程。

4.8. 安全论证文件应当在项目一开始就着手进行编写，并应当在设施开发和运行，直至关闭及许可证终止全过程的所有步骤中持续进行。安全论证文件也应当用于指导场址选择过程、设施设计、开挖和建造活动、设施的运行及其关闭全过程的所有步骤。它也应用于在不同步骤时识别研发的需求及识别并制定限值、控制和条件，并主要地为取证过程提供依据。就说明安

全特性和将如何确保一个合理的安全水平而言，它也将是与相关各方沟通的主要工具。

4.9. 可以采用不同方法编写安全论证文件，其内容和结构在很大程度上将会受到各国具体法律和监管要求及地方关切的影响。虽然某些国家不使用“安全论证文件”这一术语，但用于论证安全的方法和过程都是一致的，实质上与安全论证文件的概念相似。

4.10. 按照参考文献[2]要求，安全论证文件的编写应当是一个随着处置设施建造的演变而变化的迭代过程。根据参考文献[2]，安全论证文件的技术详细程度和形式取决于项目的开发阶段、决定权和特定的国家要求。处置设施建造所采用的循序渐进方法，为设施的选址、设计、开挖和建造、运行和关闭有关的决策提供了基础，且为了改进对影响处置系统安全的问题的认识和（或）通过适当的设计选择减少仍存在的不确定性，应当允许识别那些需要进一步关注的问题。

4.11. 编写安全论证文件时，应当识别将会评审、使用和批准该安全论证文件的各关键方（例如，政府、监管部门和相关各方）的需求，且各方应当得到良好的理解；这种需求将取决于地方和国家的情况。安全论证文件，包括辅助安全评定，是设施营运组织的责任，它需要以满足不同相关各方的需求的方式进行呈现。只要有可能，通过与那些相关各方的沟通就所包含的、所评定的和所计算的问题应当事先达成协议，视情况而定，还应针对设施开发的每个步骤以及与设施有关的危害的相应水平进行沟通。举例来说，随着许可决策意见的邻近出台，相关各方对于安全评定结果的表达和解释的预期可能会与日俱增。

4.12. 循序渐进方法与所考虑的一系列的处置设施的设计和运行方案一起，应当能为对新的科学或技术信息以及废物管理与材料技术进步做出响应提供灵活性。它也应当以一种能使社会、经济和政治方面的问题将得到考虑的方式进行。如认为适宜，该方法也可以包括在处置设施建造中撤销某个特定步骤和废物放置后进行回取的选择方案。

4.13. 在循序渐进方法中，对处置系统的科学认识和对处置设施的设计应当是逐步推进的，而安全论证文件应当更加集中于所关注的重点领域。它应当不仅是先进技术的科学认识，而且也是对风险重要贡献因素的认识。在每个步骤（即，在每一个主要决策点），安全评定应当以一种能够对处置系统

的目前认识水平进行评价和能够在做出决策继续进行下一个步骤之前对相关不确定性进行评定的方式进行。考虑到与长期安全有关的运行问题，安全论证文件和辅助安全评定应当在做出每个主要决策点之前进行评审和更新，以及如果必要时定期地反映实际的经验和正在增长的知识（例如，从科学研究中获得的知识）。在设施开始运行之后，如果识别运行实践、废物形式和设计有了重要的变化，就应当对安全论证文件和辅助安全评定进行修改或更新。

4.14. 应当对安全论证文件和辅助安全评定从一次迭代到下一次迭代的演变进行文件化记录，以便它对相关各方是透明的（例如，新数据的解释，或关于概念模式或数学模式变化方面的原因）。关于这方面的重要性，是为了避免一种印象，即，该评定正在被人为操纵以给出更多有利的结果。

4.15. 监管机构应当明确变化的类型和（或）大小，以及要求更新的时间范围。考虑到这些因素，如新资料的可获得性、重要设计或运行方面的修改、人员的转岗和培训、知识的增长和计算能力的进步，典型的期限在 5 年到 10 年之间。

4.16. 在场址选择过程中，将不得不做出关于该场址详细特性和该处置设施设计的某些假设，因此，安全评定将仅提供该处置设施将如何建造的初步估计。因为在该阶段安全论证文件的作用仅仅是从原则上确定一个场址是否适宜于处置设施，这是可以接受的。在之后的阶段，更多的场址详细数据将是必需的且拟定的设计详细程度将会得到发展，这将促使在安全论证文件中将会更为详细地论述运行方面和长期的性能问题。

4.17. 在每个步骤安全论证文件的修订版，都应当基于该设施及其演变的最新知识，包括已经发生的事件、已接收的废物等。在该设施寿期内每个步骤所准备的安全论证文件都应当提供足够深度的支撑决策所需要的信息和评定，这也是重要的。

4.18. 在该设施寿期结束时，安全论证文件应当包括需要传递给未来后代的所有信息（例如，有组织控制的依据）。

4.19. 应当认识到，不同的设施将适应于具有不同潜在危害水平的不同类型的放射性废物。参考文献[1]原则 3（第 3.15 段）规定“必须评定所有设施和活动的安全，并与分级方法相一致。”这一点在原则 5 中得到更为详细

的描述：“许可证持有者专用于安全的资源，法规的范围和严格性及其应用必须与辐射风险的大小及其可控性相适应。”（参考文献[1]第 3.24 段）。必然地，“[安全]评定的程度和复杂性将随设施的类型而变化，并将与废物的潜在危害相关”（参考文献[2]第 1.24 段）。此外，该处置设施建造和运行的每个步骤所开展的安全评定的详细程度也将随风险的大小而变化。因此，对于安全论证文件编写的迭代方法，包括安全论证文件中参数的相关重要性以及这些参数受到监管当局和其他相关各方（可能会随时间而改变）详细评审的程度，都应当与潜在危害相称。第 6.23—6.28 段给出了关于分级方法应用于安全论证文件编写的进一步指导。

安全论证文件的组成

安全论证文件的背景

安全论证文件的目的

4.20. 如第 4.13 段中所述，安全论证文件将随着项目的进程而发展，也将作为决策、监管决定和诸如与设计、辅助研究工作或场址特性调查活动相关的其他决定的依据。应当清楚地陈述安全论证文件每个修订版的背景，如果认为必要和适当的话，针对安全论证文件的后续更新，也应当对其背景进行更新。

4.21. 安全论证文件每次更新的目的将取决于许多因素，例如，处置设施的开发阶段，安全论证文件是否作为正式许可程序的一部分提交给监管机构或得到监管机构的指导。对于安全论证文件的每次修订，依赖于设施的建造阶段营运组织都应当对其目的提供一个清楚的说明，它可能包括：

- 安全概念初步设想的检验；
- 场址选择；
- 处置设施的安全论证；
- 设施设计的优化；
- 研发计划所陈述的安全相关问题识别；
- 限值、控制与条件的规定或修订，例如，废物验收标准；
- 最大处置废物量的评定（设施的“放射性容量”）；

- 有组织控制时限的正当性；
- 监控和数据获取计划的输入；
- 法律或规定所要求的定期再评定；
- 应用于扩展或升级设施，或应用于把新电厂或废物管理设施布置在同一场址；
- 无论是因为到了设施计划的寿期末期还是因为不符合规定导致的后果，都要关闭设施；
- 设施的关闭，应用于重新启动因违反规定或其他原因而关闭后的设施；
- 确定是否需要治理行动。

安全论证

4.22. 安全论证的方法是指必须采用的安全目标和安全原则和必须满足的法规要求。安全目标和安全原则可以由监管机构制定，并应反映参考文献[2]第 2.15 段所规定的安全目标：

“安全目标是针对场址、设计、建造、运行和关闭处置设施的，因而在考虑到社会和经济因素的情况下，该设施关闭后防护是最优化的。也必须提供正当的保证，在长期时间内公众的剂量和风险将不超过作为设计标准的剂量约束值和风险约束值。”

所采取的安全原则应当反映那些在参考文献[1]规定的内容，尤其是应参考原则 7 关于当代和后代的保护：“必须保护人类与环境及当代与后代免受辐射风险。”监管标准将由监管机构制定，作为最低要求，需要论述工作人员和公众（当代和后代）的辐射剂量约束值和风险约束值及环境保护。它们需要涵盖该设施的正常演变和干扰事件—自然来源和人为引起的事件，例如人类侵入该设施。参考文献[2]列出了涵盖这些问题的国际一致标准。

4.23. 除了定量的标准之外，监管机构还应当规定需要满足的定性标准，并且应当对如何遵守这些应得到论证的标准提供指导。这些标准应当涵盖参考文献[2]所有要求，目的在于确保该处置设施将符合这些要求。

4.24. 论证安全的方法也应当明确地规定如何在安全论证文件中论述不确定性管理。至少应当涵盖如何鉴别不确定性，如何对其进行表征，以及不确定性的管理方法。第 5 部分提供了关于不确定性管理的具体建议。

分级方法

4.25. 在确定安全论证文件和辅助安全评定的范围、广度和详细程度时[2、3]，要求采用分级方法。应当对所采用的分级方法进行说明和正当性分析，且安全论证文件和辅助安全评定的范围、广度和详细程度应当与设施或活动所引起的风险水平和设施建造的阶段是相称的，例如，场址选择前正在考虑的通用处置概念，可能比针对某个特定场址和处置设施来说所考虑的细节会更少。参考文献[3]给出了分级方法将所考虑的三个问题：可能的辐射风险的大小，该设施的成熟度和复杂性。第 6.23—6.28 段中提供了这些标准应用于废物处置设施的更进一步的指导。

安全策略

4.26. 安全策略的早期开发和采用是安全论证文件编写中的一个关键点。参考文献[22、25]把安全策略解释为实现放射性废物安全处置的一种高度集成方法。根据参考文献[25]，安全策略应当包含处置设施的规划、运行和关闭所需要的各种活动的一个整体管理策略，包括选址和设计、安全论证文件的编写、安全评定、场址特性调查、废物形式表征，以及研发。

4.27. 安全策略，是指在场址选择和设施设计中采用的方法，以遵守安全目标、原则和标准；遵守监管要求，以及确保已采用了良好的工程实践、安全与防护得到了优化。在构思处置设施的早期阶段就应当建立安全策略。在早期阶段，策略可能就已经开发且成熟，但在尽可能早的阶段就应当得到明确。在直到场址选定之前，执行该策略的设计概念就应当已经得到充分良好的开发，以便为整个处置系统将提供并保持该处置设施所设想的安全功能提供保证。随着项目的发展，该安全策略应当是持续有效的，对安全策略的任何改变都应当在安全论证文件中进行正当性分析。该安全策略的任何演变都应当仔细地记录在案并保存该记录，以便将来工作人员更换后使用这些记录。

4.28. 安全策略应当说明一些关键要素，即：多重安全功能和纵深防御规定，废物的包容和隔离，采用非能动安全特性，处置系统的坚稳性，安全相关特性及各方面的论证⁸，以及与废物处置前管理的互相依赖性。还应当论述管理不确定性的方法，确保考虑到了第 4.17 段中所描述的安全方法。

4.29. 参考文献[2]要求提供多个安全功能，以确保安全不过度依赖于任何单一的安全功能，并确保如果一个安全功能没有按照预期执行，还有更多的安全功能可以弥补。举例来说，如果对废物货包赋予包容的功能，但当它比预期的衰退快时，周围的回填材料能够提供进一步的包容，通过吸附来延迟放射性核素的迁移；或者围岩地质环境能够滞留放射性核素弥散。安全策略应当识别预期的安全功能和这些功能将能够得到保障的时间范围，并应明确一种屏障的性能退化将如何由另一种机制或处置系统的部件来弥补。安全策略还应当论述各种不同安全功能的充分性是如何论证的，例如，评定、类推和试验等。该策略应当指出各种安全功能是如何确保纵深防御的充分程度的。纵深防御的充分性可以用定量和定性的方式来表示。

4.30. 在安全策略中应当规划为放射性废物提供包容的方式，连同与监管方法一致的、为论证包容充分性的方式也应当一并进行规划。应当详细说明包容功能将会得到保障的时间范围，并应当提供该时间范围的正当性分析。

4.31. 隔离的概念基本上涉及两个方面：将废物从可进入的环境中分离出来，以及确保把安全功能与其干扰影响隔离开来。在安全策略中，应当给出是如何实现这两个方面的解释和正当性，连同与监管方式一致的、为论证它们的充分性的方式也应当一并给出。

4.32. 尽可能利用处置设施的非能动特性[2]提供所要求的不同安全功能，而安全策略应当解释并论证这些功能将如何实现。还应当指出并论证什么地方需要采用能动控制或能动特性，以及它将如何论证对这些能动控制所具有的信心，例如，关闭后的监控或有组织控制。

⁸ 这种论证的可能性可以通过评定、试验或其他功能性的物理论证确定。

4.33. 安全策略应当阐述如何提供安全功能的坚稳性⁹，以及如何论证这种坚稳性的充分性。

4.34. 安全策略应当解释如何论证设施的预期设计能够在实践中得到实现。无论是地表处置设施还是地下处置设施，这都可以通过在实物模式设施或处置设施的场址进行物理论证来完成。

4.35. 安全策略应当阐述如何论证对废物处置前管理的互相依赖性将得到考虑，以确保待处置废物与处置设施的设计和运行相适应。

4.36. 另外，安全策略应当阐述以下问题：

- 决策时将需要审核的谨慎程度，以及使用多重推理方法；
- 关于评定方法、时间范围和评定时间窗口选择的正当性，包括对不同评定方法以及将用于核实、确认和比较评定结果的工具进行讨论；
- 如何进行同行评审；
- 如何证明与国际导则和实践的一致性；
- 视情况而定，其他高层次的论据。

处置系统的描述

4.37. 处置系统的描述应当记录处置系统所有的信息和知识，并应当提供开展所有安全评定的基础。随着项目的进展和以迭代方式做出的评定，将会得到的信息及关于处置系统的知识也将会不断发展和成熟。随着知识的发展，它应当用来确定关于系统表征和设施设计的未来需求。随处置设施的类型而定，系统描述应包含下列信息：

- 近场，包括：(i) 废物的类型（例如，废物的来源、性质、数量和特性及放射性核素库存量）；(ii) 系统工程（例如，废物的整备和包装、处置单元、工程屏障、该处置设施的顶盖或掩蔽体、排水特征）；以及 (iii) 任何挖掘或建设工程所扰动区域的范围和特性；

⁹ 任何类型的令人不安的事件都可以合理地预期发生，如果它将继续执行预期安全功能，那么可以认为该处置系统的部件是坚固的。在可以合理地预期发生宽泛的条件和假想方案下，如果它将继续提供充分的防护与安全，那么可以认为该处置系统是坚固的。

- 远场，例如，地质、水文地质、水文、地球化学、构造和地震条件、侵蚀速率；
- 生物圈，例如，气候和大气、水体、当地居民、人类活动、生物群、土壤、地形、处置设施的地理范围和位置。

4.38. 随处置设施的类型而定，该处置系统的描述应当包括：

- 系统部件及其接口和相关不确定性的清楚说明和描述；
- 总体安全概念和安全功能的描述；
- 针对系统的预期演变和不太可能事件，该系统部件将如何能够继续执行赋予它们安全功能的描述；
- 在该设施设计中，是如何考虑系统部件的监管或其他要求的描述；
- 可能影响该处置系统的放射、热、水力、机械、化学和生物过程的描述；
- 系统部件之间可能发生的相互作用的描述；
- 如何考虑废物空间不均匀性的描述，包括相关的不确定性；
- 系统部件及其接口的特性和行为可能随时间的相关变化的描述，包括部件可能会如何退化或失效，以及相关的不确定性；
- 可能的环境变化及其对该处置系统部件影响的描述；
- 针对系统的预期演变和不太可能事件，可能的放射性核素迁移途径的描述。

4.39. 对处置系统的描述，应当提供关于支撑安全评定数据方面的信息，包括：

- 管理系统应概述将如何确保所使用的所有安全相关数据的质量；
- 所使用的所有数据的来源（例如，测量和报告的参考文献）；
- 场址特性调查计划（例如，样品选择、样品位置）的正当性 — 数据采集计划应当反映任何以前的安全评定中关于评定的后续迭代所需信息方面的结论；
- 已用于表征场址和收集监控数据的技术以及与这些技术和数据相关的不确定性的描述；

- 放射性核素库存量是如何估计的以及与该库存量相关的不确定性的描述；
- 用于支持对该处置设施区域内可能的未来人类行为了解的任何信息（例如，该区域内目前的人类实践，矿藏勘探的记录）。

4.40. 描述中所提供的信息的深度和广度将受到该处置设施类型的影响，而对于设计用于处置更大数量、更长寿命或更高活度废物的设施，并将更加广泛和复杂。对于设计用于处置极低水平废物设施的描述，与高水平废物处置设施相比不需要那么广泛和复杂。对于任何特定设施描述的实际广度和复杂性将取决于许多因素，包括废物量、其特定的放射性特性、所选场址的性质和复杂性以及相关的气象和水文特征。关于描述的范围和复杂性的正当性分析，应当作为安全论证文件的一部分予以提供，并且作为在该处置设施的构思及其建造和运行全过程都应进行讨论的一部分，它应当得到监管部门的同意。

安全评定

4.41. 在本“安全导则”中，术语“安全评定”是指作为安全论证文件的一部分而进行的所有评定（见图4）。这包括与该处置设施的建造、运行和关闭的安全有关的所有方面。因此，安全评定也涉及定性方面，非放射性问题，以及组织和管理方面。

4.42. 在早期的出版物（例如，参考文献[26]）中，术语“安全评定”用来描述主要集中于该设施辐射影响方面的评定：

- 安全评定被定义为对关闭后期间该设施的辐射影响开展定量评定的全过程。这包括关于该处置系统及其环境的评定与描述开发的来龙去脉，以及结果的说明。然而，如图2所示，就安全论证文件更广泛的背景而言，这些要素被视作全部安全论证文件的一部分，而不仅仅是定量安全评定的一部分。在安全论证文件的更广泛背景中考虑这些要素，并不代表对参考文献[26]所讨论的定量评定性能实际方法学的任何改变；这些出版物中开发的方法目前被集成到安全论证文件的更广泛背景之中。

- 在本“安全导则”中，安全评定也与辐射风险定量评定以外的安全相关方面有关，例如，运行安全和管理系统。术语“安全评定”的这个扩展，作为本“安全导则”的一个基础，是采纳关于安全论证文件的更广泛概念的必然结果。

4.43. 以下各部分提供如图 4 所示安全评定关键要素的概述。

关闭后的辐射影响评定

4.44. 关闭后的辐射影响评定构成了处置设施安全论证文件的核心。除定性评定以外，这涉及对该处置系统及其环境的演变、安全功能遭受到的可能挑战以及由此产生的潜在辐射影响的全面定量分析。参考文献[26]已经开发并描述了关闭后期间辐射影响评定的系统方法。在此方法中，采用假想方案来描述该处置系统及其环境的可能演变。采用概念模式和数学模式定量分析放射性物质从该处置设施的可能迁移、它们在环境中的迁移及其由此产生的辐射风险。第 5 部分提供关于该方法的详细指导。

场址及工程方面

4.45. 作为关闭后期间辐射影响评定的一部分，该处置系统演变的定量评定应当得出关于所选场址或拟建场址以及该处置设施预期设计的适宜性的结论。定性论证和评定应当对定量评定结论进行补充。一整套的定性和定量评定结果应当提供：

- 场址和工程适宜性的充分论证；
- 遵守如第 3 部分中归纳的相关安全要求的合理保证；
- 落实为该设施所制定的安全策略的保证。

4.46. 任何处置设施的安全，主要依赖于天然屏障和工程屏障的适宜特性或性质。该天然屏障和工程屏障的重要特性包括其长期的坚稳性和可靠性。有利于处置设施及其环境的坚稳性和可靠性问题在下文中描述，而对特定场址及设施设计质量的论证应当根据在这些问题中所做出的规定进行。

非能动安全

4.47. 营运组织应尽可能证明处置系统的安全是通过非能动措施来保证的。这意味着对于设施的长期安全无需能动部件或行动（例如，监控），尤其是对于近地表处置设施的安全，尽管这些能动部件或行动同样有助于安全。因此，主要是天然屏障和工程屏障的组合为该设施关闭后的安全提供保障（见参考文献[2]）。

4.48. 在该设施的设计中需要考虑非能动安全措施，使运行和关闭后安全对能动系统的依赖性最小化。

多重安全功能

4.49. 按照参考文献[3]，对于废物处置设施，需要对“纵深防御”进行评定，这将需要论证在该处置设施中提供多重安全功能。术语“纵深防御”是指一种分层次布置的多样性设备和程序，以便为了在该设施正常运行、预计运行事件时维持设置在放射性物质与工作人员、公众或环境之间的实体屏障的有效性，以及在事故工况下某些屏障的有效性。

4.50. 纵深防御概念应用于处置设施，将确保安全不是不恰当地依赖单一部件或控制程序，或单一安全功能的执行。安全功能的作用和相对重要性可能随时间而变化。纵深防御概念在放射性废物处置设施中的应用在第 6 部分中予以进一步讨论。

坚稳性

4.51. 坚稳性（见第 4.33 段）是一个与纵深防御概念有关的概念，可应用于处置系统的各个部件或整个处置系统。第 6 部分中提供关于坚稳性概念和处置系统坚稳性论证的指导。

科学和工程原则

4.52. 良好科学实践的要素，除个别的以外还包括观测、提出并检验假设、评定再现性和同行评审。例如，可以考虑通过旨在深入了解特定场址地下水流动的工作来说明良好科学原则在安全论证文件编写中的应用。这种工作可能涉及进行地表和钻孔测量、提出关于对地下水流动的影响的假设、利用收集到的数据采用模式检验这些假设、在建模工作中利用一种以上的方法

或一个以上的团队评审可供选择的模式及其再现性、让该工作得到独立的同行评审（见第 4.92—4.94 段）。

4.53. 安全论证文件应当论述良好工程实践原则在该设施的设计中是如何应用的，营运组织应当在安全论证文件中论证对该处置设施所预期采用的材料和建造技术是有很好的了解的，以及从类似应用中获得的知识来证实这些材料是很适合于预期用途的。只要有可能，营运组织应当使用良好的建造技术，并应当充分考虑在这些技术使用中获得的经验反馈。

场址特性调查的质量

4.54. 安全论证文件应当包括清楚地描述在场址选择时所采用的方法和标准，并应当证明所选场址是与已制定的安全策略和标准一致的。安全论证文件应当综合场址及其周围环境（例如，地质、水文地质、地表特征、气候、当地人口）的知识，并应当采用建模来帮助了解系统的可能行为；场址信息应当足够地全面，以便能够实现建模。

4.55. 如果场址特性调查和安全评定计划具有高质量；就所采用的参数值和测量方法而言，如果营运组织收集的场址数据与其他现有数据是相一致的；如果所建立的安全评定模式与该场址的特性和基于科学原则对该场址的概念性了解是相一致的；以及仅作微小改进后，如果对场址的概念性了解和安全评定模式仍然将是与可获得的关于该场址的任何新信息是相容的和相适宜的，那么都将会提高评定结果的置信度。

运行安全方面

4.56. 在运行阶段的安全评定中，应用与如参考文献[27]所述的关于放射性废物处置前管理所应用的那些安全评定中相类似的方法。处置设施的运行与核电厂运行的安全要求和安全导则也是相关的，例如，参考文献[28、29]。此外，其他问题，诸如采矿的安全，可能需要在处置设施（例如，深地质处置情况）运行阶段的安全评定中得到考虑。以综合的方式与放射性方面的要求一起，非放射性方面的适用要求也应当得到应用（例如，职业健康与安全要求）；如何实现这个目标，将取决于设施的类型、法律和监管框架，以及设施建造的阶段。

非放射性环境影响

4.57. 放射性废物可能包含具有潜在危害的非放射性成份（例如，重金属、病原体）。尤其是，铀开采废物通常含有许多显著浓度的非放射性有毒物质和（或）致癌物质。处置系统的选址和设计开发，应当为人类和环境免受这种非放射性危害提供充分的防护。

4.58. 将需要评定处置设施的非辐射影响，并将受到环境保护法律的控制。这超出了本“安全导则”的范围。然而，本“安全导则”中所述的评定方法，在非放射性废物的危害评定以及在所有潜在危害的防护与安全最优化中也可能是有用的。

4.59. 环境保护法律及其相关规定，将会对处置设施的建造、运行和关闭提出若干要求。例如关于交通或噪声污染方面的限制，它可能会限制设施的建造和运行。其他例子是设施建造和运行中水管理所要求的限值、控制和条件，以及为关闭后排水控制所制定的规定。在设施设计中应适当地考虑环境保护法律的这些要求。因此，安全论据的集合（见图 2）也应当考虑到非辐射影响，并且应当证明该处置设施的总体安全及总体上符合所有有关法规和监管要求。

管理系统

4.60. 参考文献[2]要求 25 规定：

“管理系统……提供质量保证，必须应用于贯穿处置设施建造与运行的所有步骤的一切安全相关的活动、系统和部件。”

在参考文献[30]规定了管理系统的一般要求，在参考文献[31]提供了如何满足这些要求的建议。一个合适的管理系统的应用将有助于安全论证文件的置信度，并且应当对管理所有安全相关工作的管理系统的适宜性进行评定，包括提供必要的财务资源和人力资源。

4.61. 对管理系统的要求以两种方式影响着安全论证文件的编写。第一，对用于设施建造不同阶段的管理系统的描述，应当作为安全论证文件的一个重要要素，有助于确信满足选址、设计、建造、运行、关闭及关闭后的安全有关要求和标准。第二，应当制定确保与安全论证文件和安全评定相关的所

有活动的质量的计划，例如，数据收集和建模。第 4.39 段讨论该方面的问题。

不确定性的管理

4.62. 参考文献[3]第 4.59 段反映论述安全评定中不确定性的重要性，该段规定，“利用定量方法，专业判断，或二者同时使用，必须对安全分析中不确定性的来源、性质和程度进行特性评定”。参考文献[3]进一步要求，“在不确定性和灵敏度分析中，将要可能会对安全分析的结果和基于该结果做出决策有影响的不确定性进行阐述”。

4.63. 第 5 部分关于与关闭后辐射影响定量评定有关的管理不确定性的方法提供指导。

迭代与设计优化

4.64. 对设计方案做出决策的过程是多方面的，在该过程中必须把几个不同的且有时是相互竞争的因素组合起来并协同做出决策。在大多数实际情况下，决策过程将是迭代的。迭代的次数将取决于该设施建造的阶段和将所做出的决策的性质，以及数据和模式的可用性。

4.65. 利用可获得的数据和进行评定的能力应当开展决策过程的早期迭代。只有当针对其目的而言评定是适当的时候才需要进行迭代。此外，只有当要把将做出决策的依据改进到所需的程度时才需要获取补充信息。仅就安全论证文件的一个特定方面（例如，针对某个特定模式，数据改进的要求）来说，某些决策可能会使得迭代成为必要。其他决策可能会使得更多的迭代成为必要，这可能涉及安全论证文件的若干组成部分的修订，例如：

- 可能会调整安全论证文件的背景，例如，更加现实地处理不确定性或扩展所考虑的受体的范围。
- 可能会修订安全策略。
- 可能获得关于场址的新数据和（或）设计可能已经得到了进一步开发。
- 因这些变化或其他因素（例如，同行评审的结果）引发，可能需要对安全论证文件和辅助安全评定的组成部分进行修订和进一步改进。

4.66. 处置设施的防护最优化是一个判断过程，它应用于该设施设计开发中做出决策。应当采用良好的工程和技术方法，并应当应用良好的管理原则以确保该处置设施的开发、建造、运行和关闭期间所有阶段所有安全相关工作的质量。

4.67. 对于防护与安全最优化的某些决策，基于专家判断以及最佳可用的和得到论证的技术的定性方法可能就足够了。问题越复杂及与该处置设施的其他方面的相互联系越多，就更需要论证最优化。为了论证安全是能够视为最优化的，应当表明以下重要论据是有效的：

- 在该处置设施的开发、建造和运行的每个阶段，对各种设计方案的长期安全影响已经给予了适当的关注。
- 在不确定性不至于大到妨碍对结果进行有意义的解释的整个时间范围内，对该处置系统的预期演变所导致的剂量和（或）风险将不会超过约束值有一个合理的保证。
- 通过选址或设计，对可能扰动该处置设施的性能且以致于引起更高剂量或风险的事件的可能性，已经降低到合理可行尽量低水平。

4.68. 应当证明所选设计方案是根据明确规定的合理程序选定的。如果在安全论证文件中给出了备选设计方案及其优、缺点的评定，并提供了最佳方案的正当性分析，那么就可以提高所选设计方案的置信度。在某些成员国，考虑备选方案是一项监管要求（例如，参考文献[32]）。

4.69. 在项目的设计阶段，通常会针对一个项目考虑具有显著差别的备选方案。安全论证文件应当描述用于根据一组预先规定的标准或考虑因素选择最适宜方案的过程。除安全标准外，用于比较备选方案的标准还应当包括环境和社会经济因素（例如，某些方案的费用和公众接受度）。

4.70. 检查提出项目的备选方法，涉及回答下列三个问题：

- 备选方案是什么？
- 与每个备选方案相关的影响是什么，尤其是其优、缺点？
- 选择首选方案的根本原因是什么？

4.71. 应当确认并足够详细地描述备选方案，以对这些问题给出清楚的回答。例如，如果正在考虑诸如不同的屏障类型这样的备选设计方案，那么应当对每个备选方案进行描述，并应当确定每个备选方案的潜在辐射影响、代价和利益。因此，应当以文件的形式完整地记录不同方案的标准和分析，以支持拟议的设计。在第 6.79—6.89 段中提供了关于备选方案的决策和评定的进一步建议。应当记录设计的演变和与设计相关的决策的依据，并且应当在该设施整个寿期演变期间保持这些记录。

限值、控制和条件

4.72. 安全论证文件应当用于帮助制定限值、控制和条件。它们将应用于对该设施的安全具有影响的所有工作和活动，并将应用于处置在该设施的废物。例如为了确保运行和长期安全及对监控和人员培训的要求，对建造过程、放置操作、回填材料和技术、针对可能处置的废物类型、活度和数量的场址特定限值进行控制。

4.73. 对处置设施尤其重要的限值和条件是可以接受的废物库存量和（或）废物中特定放射性核素可以接受的浓度水平。应当基于安全评定来规定和（或）证明这些限值和条件的正当性。通过考虑对各种假想方案（例如，放射性核素向环境的释放，以及放射性核素沿着环境途径的迁移）的分析，既可以针对各个废物货包也可以针对整个设施来制定废物的接受标准。考虑人类侵入假想方案也很重要，它常常用来确定在近地表处置设施情况下长寿命放射性核素的可接受水平。然而，应当指出的是，大量短寿命放射性核素也可能出现潜在的问题，尤其是对于运行安全，也应当在安全评定中和在详细说明库存量和浓度水平的限值时考虑这种短寿命放射性核素。此外，安全论证文件也应当用来评定该废物中（例如化学的）物质的水平或可能导致天然和工程屏障退化的工程屏障。参考文献[33]提供了关于推导近地表处置设施废物接受标准进一步的详细细节。

4.74. 安全论证文件和辅助安全评定，也应当用来制定适宜于特定处置设施的场址和周围环境区域的监控和监视计划及对该计划的后续评审。应当制定并实施监视和监控计划，以便在某一特定时间内为该处置设施按照预期的那样运行以及部件能够执行其安全功能提供证据。

4.75. 处置设施的安全将取决于场址特征和行政安排的结合，而行政安排又可能取决于是否有合格工作人员。应根据安全评定中确认的潜在危害以及为防止预计运行事件和事故工况而需要采取的措施，确定可能参与设施开发和运行工作人员的培训需求。

安全论据的整合

4.76. 安全论证文件应当对可用的证据、论据和分析进行集成。这些集成应当解释说明是如何考虑相关数据和信息的，是如何检验模式的，是如何遵守合理和系统的评定程序的。安全论证文件也应当承认目前可用的证据、论据和分析存在的任何局限性，应当强调关于已做出该处置系统的规划和开发仍应当继续开展的这一判断的主要理由。安全论证文件应包含阐述和管理可能损害安全的任何未解决问题和不确定性的方法。如果这些证据、论据和分析不能为支持一个明确的决定提供足够的置信度，那么该安全论证文件、该设施的设计或甚至该处置概念都可能会需要修订。

4.77. 总的来说，关于处置设施的规划和建造的每个阶段的安全论证文件，将包含可以获得用来支撑该处置设施的质量评定及性能评定的所有不同证据、论据和分析。也应当对与安全论证文件中所提出的论据相矛盾的调查结果和不确定性进行讨论和分析。这使得有必要详细地讨论下述问题：

- 安全论证文件和辅助安全评定中不确定性的处理；
- 构成安全论证文件基础的科学和设计工作的质量与可靠性；
- 安全评定的质量和可靠性，包括每种假想方案的开发，所考虑假想方案范围的适当性及其可能性评定，所用方法、模式、计算机程序和数据库的适当性；
- 为提供其质量保证，对安全评定计算性能的管理系统要求。

4.78. 然而，在论述安全论证文件时论据的重点可能随以下因素而变化：

- 预期读者的关注和要求；
- 欲论证的处置系统的安全时间尺度，以及危害随时间的变化；
- 项目开发的阶段；
- 处置系统的可能演变；
- 相关的不确定性及对处置系统性能的影响。

4.79. 定量评定结果的一个重要用途是与安全标准进行比较；尤其是与剂量和风险限值或约束值进行比较。此外，辅助性安全与性能指标可以用于评价和估算计算结果。定量分析也应当得到考虑半定量和定性论据的其他推理方法的补充。

与安全标准的比较

4.80. 安全目标和标准与用于证明满足标准和实现目标的指标二者之间需要做出明确的区别。安全目标是用一般性术语表示的，而这些目标存在于国际协定之中。国家法规通常制定与特定指标（例如，剂量或风险指标）相关的标准和标准，以目的、约束值或限值表示。这些指标可能在各国是不同的。

4.81. 安全评定的目的之一是对安全评定的终点与安全标准进行比较。然而，计算的剂量或风险低于有关剂量或风险约束值的指示结果，对于处置设施的安全论证文件的可接受性来说其本身是不充分的，这是因为必须满足其他要求，例如，提供多重安全功能。此外，还需要对安全进行最优化。相反，在一些不大可能的情况下表明剂量可能超过剂量约束值，但不一定需要否决该安全论证文件。

辅助安全指标和性能指标

4.82. 除剂量和风险以外的指标，也可以用于安全论证文件，且这些指标可以提供附加的置信度，并可以用于规定适当情况下辐射影响评定结果。辅助安全指标的概念（即，评定终点其他数值的计算，以补充剂量或风险计算值）已主要用于地质处置设施的情况，但也可以用于其他类型的处置设施。

4.83. 常用的辅助安全指标包括放射性核素浓度和通量。其他这种指标可能是基于与放射性核素库存量无关的特性，但是，例如包括关于工程屏障性能的结论。其他辅助安全指标可能包括核实该设施性能的监控计划的目标。

4.84. 为了判断该处置设施或各个部件性能的有效性，可以把辅助安全指标与导则、标准和参考值进行比较。可以从许多来源推导得到参考值，例如，法律或法规和其他考虑，可能包括：

- 关于环境介质中最大容许放射性核素浓度的监管标准；
- 安全评定中进行的敏感度分析的结果（例如，可能表明某特定废物容器的特别最短寿命对于整个处置系统的安全是决定性的）；

- 提供该处置系统安全功能工艺的独立考虑；
- 社会价值或期望。

多重推理方法

4.85. 通过采用多重推理方法也可以增强安全论证文件的置信度。通过提供一系列不同的论据来共同建立某些数据、假设和结果的置信度，使用多重推理方法可以增加安全论证文件的价值，此外，对于特定的读者，某些论据可能更具有意义。

4.86. 用于补充安全评定结果的可供选择的推理方法是，例如，天然模拟和人工模拟；这种推理方法在安全论证文件中可能会建立的方方面面，包括那些涉及古水文地质学、古气候学和新构造学的部分。此外，通过提供放射性核素迁移或辐射影响的简化计算（“范围边界计算”），可以增强安全评定中模拟结果的置信度。

处理未解决问题的计划

4.87. 要求在处置设施的整个寿期内开发并逐步更新放射性废物处置设施的安全论证文件[2]。必要时，如果安全论证文件的每次修订都包括处理重要的未解决问题的进一步工作计划，尤其是，通过诸如改变系统部件的设计，减少重要的剩余不确定性或减少它们的相关性或完全避免它们，那么将会增强任何阶段的安全论证文件的置信度。

4.88. 在处置设施建造计划的最早期阶段，可能会有许多未解决的问题和不确定性，因而安全论证文件应当包括在未来阶段处理这些未解决的问题和不确定性的明确计划（例如，通过场址特性调查或系统设计的最优化），并应当提出完成这些计划的方法。在处置设施建造计划的后期阶段以及明确地作为许可证申请的一部分提交安全论证文件的时候，关于安全的不确定性和未解决的问题，应当以适当的尽快决策的方式得到处理。做出这种处理的方式应当反映在安全论证文件中。将会不可避免地剩余某些不确定性（例如，在地质屏障特性调查过程中，在一定程度上不扰动地质屏障的有利特征是永远都不能彻底调查清楚地质屏障的特性的），但是安全论证文件应当说明这些不确定性不会有损于该设施的安全论据的原因。

相互作用过程

4.89. 如图 2 所示，有许多与安全论证文件的编写相互影响的外部过程，以确保其质量及其充分性。这些过程中最重要的就是监管过程，通过该过程制定遵守的标准，提供满足这些标准的监管指导。为了保证监管机构对安全论证文件的所有期望得到满足以及为了保证需要解决的问题得到识别和管理，它也应当涉及到一个周密安排的互动和沟通过程。第 8 部分提供应当如何周密安排并执行监管评审过程，以提供安全论证文件的附加置信度。

4.90. 这些互动过程也应当包括独立专家和相关各方的参与。此外，应当在确保安全论证文件及其文件编写的质量的全面管理系统内开展安全论证文件（见第 4.95—4.100 段）。

相关各方参与

4.91. 应当确保把相关各方的早期参与作为建立该处置设施安全的置信度的过程的一部分。关于相关各方参与的一系列不同的模式已经应用于不同的成员国，以及相关各方参与国家和国际研究计划的方法已经进行了广泛的研究。一个关键的考虑是，相关各方参与应当在一个公开和透明的咨询框架内进行，并且具有明确的议事规则。相关各方的参与过程应当在安全论证文件中予以陈述。

独立评审

4.92. 独立同行评审应当在建立放射性废物处置设施安全论证文件的可信度中发挥着重要作用。同行评审应当需要由未直接参与该安全论证文件的编写以及在工作成果方面没有直接利益（例如，财务或政治利益）关系的适宜合格专家或专家组对工作的技术计划或工作的特定方面进行正式文件化的检查。

4.93. 独立的同行评审应当是一项积极和持续进行的引领安全论证文件编写工作的一部分，且应当在项目的早期阶段就开始[34、35]。同行评审应当是完全地文件化的，包括授权评审范围及职责范围、选择评审人员的依据、同行评审的评审结果、营运组织对评审人员意见的答复和评审人员对该答复的评价。

4.94. 在某些情况下,应当建立国际同行评审组,集中于一个或更多的特定主题, 或评价整个安全论证文件和(或)辅助安全评定。

管理系统

4.95. 监管机构和营运组织需要建立一个适当的管理系统,以确保所有安全相关工作和活动的质量[30]。在建立一个设计用于为安全论证文件的编写和评审提供充分依据的适宜管理系统时,应当考虑以下方面:

- 需要含义明确、协调一致和透明的标准,根据这些标准对安全论证文件进行评价并做出决定;
- 需要内部和外部监督,视情况而定,确定管理系统及其实施的充分性;
- 需要用文件证明并增强那些开展、评审安全论证文件和辅助安全评定的人员的资格、能力和信誉,例如,通过提供培训计划和它们参与国际项目;
- 在安全论证文件的编写和评审过程中,需要透明和公众参与;
- 在安全论证文件的编写中,需要确保考虑国际建议、安全目标、安全评定方法学、时间范围和处置概念等;
- 在工程项目整个时间范围内,需要开发并保持营运组织和监管部门的能力和知识。

4.96. 管理系统应当包含一组有计划的、系统化的程序,用于完成并用文件证明在为输入数据、模式和结果具有良好质量提供置信度的过程中的各种步骤。为建立安全评定结果的置信度的需要,从处置设施开发早期阶段就需要保证各种评定要素质量的应用计划。

4.97. 如果认识到相关问题还未得到处理,那么将会降低安全论证文件的置信度。完整性是监管机构在评审安全论证文件中可能要考虑的首要事项之一(第8部分)。其他相关各方也可能会期望核实对它们来说是重要的问题是否已经得到解决。因此,明智的做法是采用各种方法证明安全论证文件解决了所有相关问题,包括相关的不确定性。待解决问题的范围将取决于该处置设施的建造阶段,可能通过若干途径推动,包括法律、法规和相关各方。因此,证明完备性的方法可能包括良好结构化的相互参考的资料或绘图,以建立起这些原始资料和安全论证文件之间的联系。

4.98. 可追溯性要求对所做出的决策和假设以及对获得的给定的一组结果所用的模式、参数和数据都有一个清楚和完整的记录。可追溯性也包括追溯到安全论证文件中所用数据和其他信息的原始资料的可能性。因此，应当建立一个支撑安全论证文件的协调一致的参照体系。记录应包括结构化信息，即关于各种决策和假设是何时做出的、依据是什么以及是由谁做出的，这些决策和假设是如何实施的，采用了什么样的模拟工具，以及数据的基本来源是什么。

4.99. 透明性要求公开、沟通和问责制。这意味着应当以清楚、公开和公正的方式用文件证明安全论证文件和安全评定，例如，既要认识到为处置系统提供安全保障的特性，又要承认存在不确定性。目的应当是为了告知决策者，给出一幅关于评定中已经做了什么，结果和不确定性是什么，结果为什么是那样，以及关键问题是什么的清楚图像。为了提高透明性，使公众可以获得安全论证文件的文件化资料并确保以适宜于预期受众的方式和详细程度编写这些文件化资料，也许是适当的。

4.100. 在第 7.12—7.17 段中，提供关于安全论证文件的文件化资料之可追溯性和透明性的进一步建议。

5. 关闭后的辐射影响评定

5.1. 如第 4.44 段所述，处置设施关闭后的辐射影响评定是其安全论证文件的核心。关闭后的辐射影响评定是评价处置系统的性能，并量化它对人体健康和环境潜在影响的过程。评定包括处置系统性能总体水平的量化及分析相关的不确定性。用于辐射影响评定的方法学应当是系统化的，而评定应当以分级的方式充分地阐述所有安全相关问题（见第 5.6 段）。

5.2. 在近地表处置设施安全评定方法学的改进（ISAM）项目[26]，提出了评定近地表处置设施关闭后影响的通用方法学。该方法学已经得到修改和检验，且经证明同样适用于评定其他类型处置设施的影响。

5.3. 关于术语，必须指出的是在参考文献[26]术语“安全评定”主要用于关闭后的辐射影响评定。而如第 4.42 段的说明，在本“安全导则”中术语“安全评定”用于反映集成到安全论证文件中更广概念的所有评定要素（见

图 4)。这并不意味着对评定方法要做出任何改变，它仍然基于参考文献[26]陈述的方法。

5.4. 如本部分所讨论的那样，关闭后辐射影响评定方法学的基本组成部分是：

- 评定范围的说明；
- 废物处置系统的描述；
- 假想方案的设计和正当性；
- 模式的开发和使用；
- 模拟的性能和结果的分析，包括敏感性和不确定性分析；
- 与安全标准的比较；
- 如有必要，评定的评审和修改（即，迭代）。

5.5. 这些组成部分的某些内容（评定的范围、废物处置系统的描述、结果的评价）与第 4 部分中描述的安全论证文件中各自的组成部分，是相互重叠的。考虑到关闭后期间的辐射影响评定作为更广泛的安全论证文件的一个要素，这是一个自然的结果。本部分的讨论具体地涉及定量评定，且对第 4 部分相对一般性的内容进行补充。

评定的范围

5.6. 评定的范围涉及以下基本问题：评定的目的、评定的基本方法学、监管框架、评定终点以及评定的时间范围。除在第 4 部分中讨论的一般性问题外，以下指导应用于关闭后设施的辐射影响的定量评定。

评定的方法学

5.7. 第 4 部分已经概括地讨论了评定的基本方法学，即开展评定中所采用方法的选择。关于定量评定，存在一些特殊方面。

不同评定方法的使用

5.8. 为了证明符合法规要求，通常需要论证来自该处置设施的放射性核素的可能迁移所致辐射剂量或风险仍低于预先规定的剂量或风险约束。然

后，证明放射性核素的可能释放上限估计满足约束值的要求就足够了。这种类型的评定方法常常被称作确定性方法，一般以一种保守的方式进行。

5.9. 原则上讲，一个参数值的不确定性可以通过概率密度分布来描述，既可以从观测数据统计分布得到，或更普遍地是基于专家判断对该数值精度的置信度区间引入一个表达式。与非数值参数相关的许多不确定性仍然是可以量化的，并表达为一个概率分布。采用概率计算的方法从评定中所用参数的概率密度分布导出评定结果的概率分布。

5.10. 应当选择适合的方法来进行关闭后期间的辐射影响评定，当这些方法以一种互补的方式使用时能够增加对处置设施安全的信心。可以考虑的不同方法包括：概率方法和确定性方法、使用简单保守模式以及复杂、使用更加现实的模式。如果采用保守的方法，尽实际可行地在选择照射假想方案、概念模式、参数及简化计算模式中利用经验数据及专家判断，那么评定结果应是现实的。

概率和确定性方法

5.11. 概率方法和确定性方法的组合，可有助于增加对评定结果的信心。然而，意识到这两种方法的优点和局限性是重要的。

5.12. 确定性方法更易于实现，且可能会更易于向相关各方解释。该方法对于说明具体的某个不确定性或替代模式假设的影响可能也是有用的。确定性方法的局限性包括没有考虑概率和可变化性的可能性，以及难于说明这些参数的最佳估计值或保守值的正当性。

5.13. 概率方法的优势在于通过考虑不确定参数的整个变化范围，它能够对不确定性提供一个更加全面和明确的描述。这种方法也能够提供更加全面和系统的敏感度分析，并能够用来推导风险的估计值。概率方法的另一个优势是它允许在一系列的条件和假设下对该处置系统的预期性能进行检验，因而有助于安全论证文件和监管决策的坚稳性。

5.14. 概率方法面临的挑战包括，获取或详细描述这些参数的适宜概率分布的困难，把合理的概率赋予给替代模式假设的困难，概率假定和结果及必要的附加资源沟通中的困难。

保守评定和现实评定

5.15. 现实评定旨在对该处置系统最有可能的行为提供一个指示。在保守评定中，处置系统提供防护的能力被有意地低估了。如果采取保守的方法，评定应当描述把某些参数值或假设标注为保守的正当性，如有可能，还应当提供保守程度的定量估计。第 5.67 段提供了关于使用保守假设和赋予参数保守值的进一步建议。

5.16. 在关闭后的辐射影响评定中保守计算和现实计算都可能会是需要的，两种方法均可以用来增加对处置设施安全的信心。例如，尤其是在评定的初期阶段保守模式可以用来快速评定部分或整体处置系统的性能。简单的保守模式也可能用来增加对采用更加复杂的模式得到的结果的信心。处理无法量化的不确定性时，保守模式也是需要的。保守估计可以用来评定某些参数，而基于详细的特性调查和（或）更加现实的模式可以用来评定其他参数。

5.17. 采用保守方法、现实方法或两者结合的决定，将依赖于许多因素，例如评定的性质和目标、监管要求、数据的可获得性及科学认识、场址和设施的复杂性，以及可利用的资源等。

5.18. 对于设施设计的最优化或为了论证对处置系统行为的具体了解，评定应当是尽可能地现实，这取决于用于模式参数的数据的可获得性。然而，现实评定可能需要使得涉及大量参数的复杂计算，且需要大量资源来证明所采用的数据和模式实际上导致对该处置系统性能的真实表达。

5.19. 为了证明符合性能的数字量度或标准，基于相对简单的模式开展保守分析可能是适宜的。如果有大的安全裕度，这种方法是可行的。然而，应该谨慎分析，这是因为，如果误用此方法从对处置系统过度保守或最坏情形的描述得到的结果可能会导致糟糕的决策，该决策是基于几乎与该设施的实际性能没有什么相似性评定结果的。此外，如果后续评定采用更现实的（或不太保守的）方法来论证符合监管要求，那么采用过度保守的方法可能引起相关各方关于操纵结果的质疑。为了避免这种情况，保守方法或现实方法的选择及修改方法的理由（如果是修改了方法）都应当清楚地文件化记录和交流沟通。

监管框架

5.20. 管理安全评定实施的监管框架应当作为评定背景的一部分进行文件化记录，且安全评定应当以与该框架相一致的方式进行。因此，监管框架通常将会详细地规定评定中将采用的安全标准。

5.21. 关于量化的监管标准，参考文献[2]第 2.15 段指出：

“由于可能的自然过程……影响到该处置设施，所导致的在未来可能会受到照射代表人的估算剂量或风险，不得超过每年 0.3 毫希沃特/年的剂量约束值或每年 10^{-5} 量级的风险约束值”。

5.22. 此外，如果意外的人类侵入：

“预计将对生活在场址周围的那些人产生小于 1 毫希沃特/年的年剂量，那么降低侵入概率或限制其后果的努力都是无法保证的。

“(d) 如果预计人类侵入将对生活在场址周围的那些人产生可能超过 20 毫希沃特/年的年剂量，那么就需要考虑废物处置的替代方案，例如，把废物处置在地表以下，或把引起较高剂量的放射性核素成分分离出来。

“(e) 如果已表明年剂量在 1—20 毫希沃特/年范围内，那么在该设施的建造阶段就通过该设施设计的优化来降低侵入概率或限制其后果，这些合理的努力是有保证的”¹⁰（参考文献[2]第 2.15 段）。

5.23. 定量标准和必须表明符合标准的时间范围，在不同国家可能是不相同的，并需要对安全论证文件和安全评定的背景进行详细说明。

5.24. 如果在同一场址存在或规划几个设施时，那么在考虑制定什么标准以及在把评定结果与这些标准进行比较时都应当考虑所有设施的影响。如果在同一场址同时存在新旧设施时，或如果在该场址原则上讲可能存在风险的时间段对每个设施是不同的时候，这不可能是一件简单的事。在这种情况下，为了规定评定中将用到的标准，营运组织与监管机构之间的磋商通常是必要的。

¹⁰ 术语“场址”是指原场址范围及其周边区域，由于在将来场区边界的意义很小。

评定的终点

5.25. 应当对评定的终点及其选择的正当性提供清楚描述，包括：

- 辐射影响的评定终点，如剂量或风险水平。这些评定终点将通常与可用于该设施的法规有关，且证明所选评定终点与评定目的及有关监管要求和导则相一致将是必要的。
- 其他安全指标，如放射性核素的浓度和通量、非放射性污染物的浓度和通量，以及对非人类物种的影响。
- 描述如何使用这些评定终点，如确定满足放射性标准和环境标准，或与天然本底放射性水平进行比较。

5.26. 在不同评定时间范围内的不同时间段（时间窗口）可以使用不同的终点（见第 5.34 段和第 5.35 段，以及第 6 部分）。

受体

5.27. 放射性废物处置的基本原则是未来的个人及群体必须得到充分的保护，而无需对它们采取任何重大防护行动[1]。对非人类物种的保护已经讨论好几年了（如参考文献[24]），然而，关于解决这个问题的方法和标准尚未完全达成国际共识。因此，本“安全导则”不进一步考虑此问题。

5.28. 在参考文献[23]，“代表人”的概念用于评定公众的辐射影响。依据监管要求，潜在受照射人群组的代表人的剂量或风险就可以用作评定的一个终点。应当清楚地规定并描述与每个不同的终点相关的受体。应当考虑使用一系列的潜在受体。

5.29. 通常，假定代表人位于可接近的生态圈放射性核素潜在污染区域内，这里的污染将产生最高的辐射影响。也可以假定由于来自该处置设施的放射性物质释放所引起的生态圈放射性污染，在比人类寿命长得多的时间内很可能会保持相对恒定。因此，通过在个体寿命时间内进行平均，计算年剂量或风险是合理的。

5.30. 在参考文献[23]，建议对于前瞻性评定应当用三个年龄组别来估算代表个人的年剂量。这些组别是 0—5 岁（婴幼儿）、6—15 岁（儿童）和 16—70 岁（成人）。对于该建议的实际实施，应当采用 1 岁婴幼儿、10 岁儿童和成年人的剂量转换系数和生活习性数据来代表三个年龄组别。

5.31. 对于长期剂量评定，可以假定由于来自该处置设施的放射性物质释放所引起的生态圈放射性污染，在比人类寿命长得多的时间内很可能会保持相对恒定。因此，通过个体寿命的平均值来计算年剂量或风险是合理的，这意味着计算不同年龄组的剂量是不必要的；年平均剂量完全可以由成人的年剂量或风险来代表[23、24]。

5.32. 应确保为该组个体所假设的特征是与维持这个组的生态圈生产能力相一致的，例如，根据假定的环境条件（位置、气候等），农业的生产能力或其他某个特定环境的生产力可能会限制能够合理地预期存在的人群组的大小。

评定的时间范围

5.33. 对于关闭后的辐射影响评定，评定的时间范围是计算中所考虑的最长的时间期间。应当解释并证明选定评定时间范围正当性的理由。第 6.43—6.51 段中提供了有关安全评定时间范围更详细的建议。

5.34. 根据评定的目的，出于建模或表达的原因把整个时间范围分为几个较短的时间窗口可能会是方便的。不同的时间窗口也可能采用不同的评定终点[36]。

处理系统的描述

5.35. 在第 4.37—4.40 段中已经提供了关于描述废物、处置系统及其周围环境的指导，这是因为在某种程度上对描述安全论证文件的所有组成部分都是必要的。长期辐射影响的定量评定需要提供特定的数据，它取决于选定的假想方案和使用的模式。对于定量评定所需要数据的收集，应随着假想方案和模式的发展和精细改进在一个迭代过程内平行进行。

假想方案的开发和正当性说明

5.36. 在评定废物处置设施的安全时，考虑处置系统在现在和未来的条件下的性能是重要的。这意味着需要考虑许多不同的因素（例如，未来的人类行为、气候和其他环境变化以及可能影响处置设施性能的事件或过程）。这

可以通过对一组假想方案的构建和分析来实现。从这点上讲，假想方案的开发将构成定量评定的基本依据。

5.37. 假想方案是处置系统可供替代的可能演变的描述。假想方案的开发用于说明并定义与评定背景相一致的“评定案例”。每个评定案例可以代表或限定该处置系统的一系列类似的可能演变。一系列适宜假想方案及相关评定案例理由的选择及选择的正当性都是极其重要的，所选假想方案将极大地影响废物处置系统性能的后续评定。

5.38. 假想方案代表与处置系统性能有关的特征、事件和过程的结构化组合。通常考虑各种不同类型的假想方案，包括“基本案例假想方案”和“替代演变假想方案”（它们将包括干扰过程和事件）。在某个评定中所考虑的各种替代演变假想方案的特征、事件和过程绝大部分与基本案例假想方案（亦称为“基准假想方案”，“预期演变”，“正常演变”或“未受干扰性能”）一样。然而，一些特殊的特征、事件和过程在不同的假想方案间将是不同的，而这些不同之处就是每个特定假想方案的特征。

5.39. 假想方案常常不是以阐明处置系统及其周围环境的可能演变为目标而进行设计的，而是为了阐明一个或多个天然或工程屏障的特性。为此而为该屏障系统的其余部分这样设定参数值或其他性质可以是有意义的，使得正在考虑的屏障将以一种夸大的方式受到影响。于是其目标就是决定性地证明这种夸大的条件确实不成立或通过设计可以避免这些条件。通过假设这种极端条件，可以更加清楚地显示不同天然和工程屏障的坚稳性。为区别于现实假想方案，这样的假想方案通常被称作虚拟（what if）假想方案。

5.40. 有两种主要的方法已经用于构建假想方案。例如，在 ISAM 项目中 [26]描述的方法可以被描述为“自下而上”方法，是基于对特征、事件和过程进行筛选的方法。使用此方法时，应当制定一个全面的特征、事件和过程清单作为一个起点。这可能涉及使用特征、事件和过程的通用清单（国际认同清单、规章等）及确定场址相关和系统相关的特征、事件和过程。接下来通过一个筛选过程，把对该处置系统影响极小或出现概率极低的特征、事件和过程从进一步的考虑中予以排除。对于相关的特征、事件和过程，对它们相互之间及适当假想方案中它们的组合的相互作用进行全面评审。应当完整地以文件化形式记录用于假想方案开发的过程，并证明其正当性。关于筛

选特征、事件和过程的标准，可能包括与规章制度和（或）事件及过程发生的概率或后果有关的规则。

5.41. 另一可供选择的（“自上而下”）假想方案开发方法，以对可能的事件及过程可能是如何影响该处置系统的安全功能的分析为基础（见参考文献[4、7、11、13]）。接下来可能是一个对照适宜的特征、事件和过程清单对开发的假想方案进行审核的过程。

5.42. 无论采用哪一种假想方案开发方法，在评定中都应当涵盖所有可能显著影响该处置系统性能的特征、事件和过程。这包括在评定时间范围内关于可能重复地出现的事件（如洪水、地震等）的特征、事件和过程。因此，应表明已经考虑到了所有可能来自该设施的显著迁移途径及该系统的可能演变。

5.43. 应当说明并证明把哪些假想方案视作代表该系统的正常或预期演变及哪些假想方案体现具有低的或极其不确定的发生概率的事件和过程的理由。为助于评定风险，应尽可能地提供所考虑的每种假想方案的可能性的指标。

5.44. 依赖于评定的时间范围，应当考虑在场址未来可能发生的环境条件的范围，并应当识别潜在受到照射群组的范围。通常假设在场址存在人类且将利用当地的资源。由于不可能确切地预测未来人类的行为，一般假定在未来人类将具有与当代人类类似的习惯，除非这种假定是明确地与场址假设的气候条件变化不一致。

5.45. 在评估风险时，描述所采取的确定风险的方法及清楚地识别是否对事件和过程和（或）假想方案发生的概率进行评定，以及如何处理与每个假想方案相关的不确定性及在风险评价中包括了哪些假想方案，这些都是必要的。如果在风险计算中采用事件和过程的发生概率，那么就能够在结果与风险标准进行比较。如果未采用每个假想方案的发生概率，而仅仅计算以假想方案发生为条件的剂量或风险，那么应当解释如何把不同假想方案的评定结果与监管风险标准进行比较。

5.46. 在参考文献[22]为表明是否符合约束值，规定了两种方法：(i) 通过剂量及其发生概率的组合对风险进行合计；(ii) 单独描述剂量及其发生概率。在合计方法中，把来自于对未来个人可能产生剂量的所有可信过程的总

风险与风险约束值进行比较。在剂量及其概率分离方法中，能够根据独立考虑所致剂量及其发生概率来评定辐射影响的重要性。应当指出的是，第二种方法并不需要对特定假想方案的发生概率进行准确地量化，而是针对它们的发生概率的估算结果对放射性后果进行评定。在评价每个假想方案的重要性时，还应当考虑到其他因素，例如计算得到的剂量或风险的持续时间或空间范围。尽管通过这两种方法可以证明相似的安全水平，但是为了决策的目的，单独地考虑产生剂量的某个特定假想方案的发生概率及其造成的剂量，可以提供更多的信息。

评定模式的制定和使用

5.47. 一旦开发了假想方案，就应当开展相应的评定。一般采用评定模式。将根据以下组成部分开发评定模式：

- 概念模式，它是对适宜于在上下文评定中定义的特定评定目的系统的行为的表达：概念模式对系统部件及这些部件之间的相互作用给出描述。它也包括与可获得的信息和知识相一致的一组关于系统的几何结构及化学、物理、水文地质、生物及机械行为的假设。
- 数学模式，它是利用数学方程式对包括在概念模式中的特征和过程的表达：依据对建模的现象或过程的知识水平和可获得的信息和数据，该表达可能随范围和复杂性而变化。数学模式可以用于开展定量分析。
- 计算机程序，它是数学模式的实现软件，以便于性能的评定计算：计算机程序包括用于求解数学模式中方程式的数值计算方案。

5.48. 对于特定的过程和（或）系统部件，经常须开发具体的模式。为了评定关闭后的辐射影响，这些精细模式给出的信息将需要以这样一种方式进行整合，使得有可能对该处置系统的整体性能进行评定。这种整合过程可能需要简化，这种简化应当适当地证明其正当性并得到管理。

5.49. 在开发评定模式时应尽可能地确保：

- 考虑到某处置设施建造计划的状态和评定及该处置系统的现有知识的背景，适当权衡建模中的精细水平及其现实性与保守性之间的平衡；
- 概念模式提供处置系统的合理描述，而数学模式充分地表达概念模式；
- 为了提供关于所选模式充分性的辅助论据，用文件记录已考虑或已评价的任何备选概念模式和数学模式；
- 为了模式的核实和评价开展适当的演练，并进行文件记录，以建立对模式适宜于其预期目的的信心；
- 对所使用的软件采取充分的质量保证和质量控制措施。

5.50. 在开发模式时识别并选择可以量化的参数是必要的，这个过程称作模式参数化。还须选择参数值。在此过程中应确保：

- 应当用文件记录用于评定计算的模式和程序中所采用的参数值，以及说明采用它们的理由。模式参数化的过程应可追溯到源数据。
- 应当保持如何利用场址相关和系统相关的特性数据导出用于评定计算的参数值的记录。
- 在应用确定性方法时，应当提供说明计算所选参数值的保守性或现实性的理由。
- 在评定中应用概率方法时，应当提供所选概率分布的理由。

计算和结果分析

5.51. 一旦模式已经参数化，它们就可以用来针对相应于不同假想方案的评定案例进行确定性和（或）概率计算。

5.52. 评定系统分析应利用概念模式、场址和设计资料及足够范围的敏感度和不确定性分析，充分地讨论适宜的假想方案。后者将有助于对系统的了解。识别不确定性和参数相关性并以适当的方式加以处理是重要的。

5.53. 在表述计算输出时，应当提供充分的结果，既包括那些与最终评定终点进行比较所需的结果，也包括那些与备选的安全或性能指标进行比较所需的结果。为了改进对评定的认识及使评定具有可追溯性，除了提供完整的合计结果（如，年剂量或风险随时间的演变）之外，还应当提供分离的量（例如，通过系统的不同部件的通量）。在安全论证文件中应当提出用于处理评定结果的方法。例如，应当阐明评定结果（终点）是否将直接与监管标准（如安全目标）进行比较，或是否将用作是说明性的目的或其他的目的。

不确定性的管理

5.54. 考虑到放射性废物处置系统的复杂性，应当在评定中做出努力以了解不确定性的重要性及减少或限制不确定性。

5.55. 不确定性分析应当是计算过程不可分割的一部分，且只要有可能，报告的结果应当包括可能的数值范围（表明每个范围代表什么）而不是单一数值。对于评定目的而言，不确定性的分析应当是充分的。

不确定性的来源

5.56. 在处置设施关闭后的辐射影响评定中，有多个不确定性的来源，可以大致分为：(i) 假想方案的不确定性；(ii) 建模的不确定性；和 (iii) 数据和（或）参数的不确定性。

5.57. 假想方案的不确定性是指该处置系统未来状态的不确定性。它包括该处置系统的演变、环境的人类利用、地质和其他长期过程及人类侵入的不确定性。

5.58. 建模的不确定性来自于对过程的必然不完全认知，它将导致不完善的概念模式。对概念模式的数学表达将会涉及某些简化，也将引入建模的不确定性。一个案例就是利用一维模式来描述输运过程。数学模式的数值解法中的误差是归入这类不确定性的另外一个来源。

5.59. 数据和（或）参数的不确定性是指用于评定模式的参数值的不确定性。这类通常包括系统部件固有属性的不确定性，如：

- 废物的特性：放射性核素库存量、物理和化学形态、化学物质的含量，如络合剂、有害物质等；

- 废物货包的特性：容器和基体的机械和化学性能，废物体的组成等；
- 处置设施的特性：尺寸、回填材料、混凝土的特性等；
- 岩石圈的特性：水文地质、地球化学性质等；
- 生态圈的特性：土壤性质、农作物的特性等。

不确定性和敏感性分析

5.60. 应当区分因变量随机变化引起的变量数值的不确定性（称作偶然不确定性）和因知识缺乏引起的不确定性（称作认知不确定性）。区分这两类不确定性的主要原因在于，尽管在建模过程中通常对它们做类似的处理，但量化和减少这两类不确定性的可能性和方法是不同的。原则上讲，偶然不确定性可以根据测量结果进行客观地量化并可以用概率分布来描述。认知不确定性的量化永远是主观的且可能是困难的，或在某些情况下甚至是不可能的。与偶然不确定性不同，认知不确定性有时（尽管未必总是）是可以进一步的研究而降低的。在某些情况下，给认知不确定性赋予概率可能是有用的，因此能够研究它们的影响。然而，必须把这些概率与偶然不确定性的概率区分开来，因为它们具有不同的量化方法，因为减少认知不确定性的可能性也是不同的。

5.61. 不确定性分析是估计因输入数据和模式参数的不确定性引起的评定终点的确定性。敏感性分析用来识别每种不确定的输入参数对评定结果的相对重要性。参考文献[37]详细地描述了不确定性分析和敏感性分析。

5.62. 在确定不确定性的处理方法时，区分假想方案的不确定性、建模的不确定性以及数据和（或）参数的不确定性是方便的。对于处理它们的可能方法概述如下。

假想方案不确定性的处理

5.63. 通常通过对一系列的假想方案开展评定来处理假想方案不确定性，这些假想方案一般包括一个基本案例假想方案和几个替代演变假想方案。应当利用适宜的、明确规定的程序来得到这些假想方案，该程序中选择和决策是结构化的、引导性的和文件化记录的。对不同假想方案评定的比较将提供一个涉及该场址和处置系统演变的不确定性的指示。可以确定

假想方案的不确定性在安全论证文件的整体背景下是可以接受的，或比较可以表明应当考虑对设计进行变更。

建模的不确定性以及数据和参数的不确定性的处理

5.64. 对于每种假想方案，论述所使用的模式和参数值的不确定性是必要的。在不确定性的处理中也必须考虑到参数之间的相互关系。尽管可以采取行动减少某些不确定性，但总是存在不确定性，必须以这种方式论述这些不确定性从而有可能从评定结果得出结论并做出决策。

5.65. 处理建模的不确定性的常用方法是对备选模式进行相互比较，以及在某些情况下也对模式预测值和经验观测值进行相互比较。当然，不可能对长期预测值和观测结果进行直接比较。

5.66. 有时，通过敏感性和（或）不确定性分析可能证明某个给定的不确定性对于该处置设施的安全是不重要的。例如，敏感性研究可以表明模式对某些参数是不敏感的，即使这些参数在参数可能的整个范围内变化时都是如此。

5.67. 另一种处理不确定性的常用方法是采用保守的（谨慎的）假设。例如，当对所使用的模式进行简化时可以采取保守的观点。另一个例子是给模式参数赋予保守值。此方法有几个优点，特别是在论证符合监管标准时更具优势。然而，在某些情况下，这种保守假设可能导致评定代表了极端不现实的或不可能的情况，因而难以解释和交流。此外，当把保守值赋予给多个参数时，计算结果也许是过于保守的，并可能为决策提供一个糟糕的依据。另一个重要的考虑是，在一个假想方案中或针对于一个核素时假设是保守的，而对于另外一个情况时该假设也许就不会是如此；例如，高估放射性核素从设施迁移的假设可能会低估侵入的长期风险。关于这些假设对评定终点的影响，应当证明这些假设的保守性的正当性。

5.68. 概率评定能够以考虑因相关的不确定性引起的一系列的参数值的方式来量化与假想方案相关的风险。概率评定应当避免把在实践中是不可能的或极不可能的系统状态的相应参数进行组合。在蒙特卡罗模拟中当从不同变量的概率分布中抽取样本时，例如若不考虑到其关联性，那么将会产生不可能存在的参数组合。也应当对概率评定进行引导以便避免不恰当的“风险稀释”，即，当与事件的发生概率相乘时，在风险的整体评定中对该设施

寿期内某些时刻非常重要事件的后果给予很小的重要度，掩饰了该重要事件的影响[38]。

5.69. 一个重要的问题在于与决策者及其他相关各方进行概率评定结果的沟通。出于这种目的，为了阐明不确定性如何影响该处置系统的性能，进行确定性计算和分析虚拟假想方案可能是有用的。在处理不确定性时，应当给出关于它们与安全的相关性的判断，并应当对将来解决这些不确定性提出策略。

评定模式的改进

5.70. 所开发的模式的详细程度和所需数据的数量及质量，将取决于评定的背景（见第4部分）。例如，在安全论证文件的早期版本（如场址选择或初步调查）中，为了筛选的目的，利用简单的计算机工具如电子制表软件和容易可获得的数据就能够完成，提出相对简单的模式也许就足够了。在对结果进行评审之后，改进某些模式和收集更多的数据并采用更加复杂的计算机程序来实现它们，也许是适宜的。对于安全论证文件的后期版本，尤其是最终版本，可能需要更加全面的模式和数据。

5.71. 在应用模式和解释结果中得到的任何教训，都应当用于重新考虑在模式开发过程中所做出的假设和决定。也许通过对特别重要的特征、事件和过程或敏感参数的识别，这种信息有可能用来改进模式。

与评定标准的比较

5.72. 未来对人类产生的辐射剂量只能进行估算，而与这些估算相关的不确定性将随着时间延续到更远的未来而增加。基于对该处置系统的当前认识，能够对非常长时间范围内的剂量和风险进行估算，并与提供该处置设施是否可以接受的指标的相应标准进行比较。这种估算不应视作是对未来健康危害的预测。

5.73. 把计算得到的剂量与天然存在放射性核素可能产生的剂量的估计值进行比较，也许可能是处置系统非常长时间期间影响的重要度的一个有用指标。也应当考虑其他指标，例如环境中的放射性浓度或该处置系统的滞留能力。

5.74. 对于近地表处置设施的人类侵入假想方案的分析结果，应当与第5.22段中提供的标准进行比较。然而，对于除近地表设施以外的其他设施，例如地质处置设施，已经基本上消除了人类侵入的可能性，可以对人类侵入假想方案进行评定以检验系统的坚稳性。考虑人类侵入的可能性也应当是场址选择方面的问题之一。

6. 特定问题

6.1. 本部分为放射性废物处置设施安全论证文件编写时可能需要特别考虑的几个问题提供指导。所考虑的问题有：

- 设施开发不同阶段的安全论证文件的作用和内容；
- 分级方法；
- 纵深防御；
- 处置系统和安全评定的坚稳性；
- 评定的时间范围；
- 人类侵入；
- 有组织的控制；
- 废物回取；
- 方案评定。

安全论证文件的演变

6.2. 安全论证文件的演变将分为几个阶段：

- 概念设计；
- 场址勘查及选址；
- 设计和建造的开发；
- 运行及关闭；
- 关闭后期间。

尤其在处置设施开发的早期，这些阶段可能重叠，也可能需要一些迭代。本部分对每一个阶段安全论证文件的作用和内容进行了概述。

6.3. 每个阶段安全论证文件的细化水平将取决于设施的类型、将采用的技术及其他因素，且应按分级方法来确定。

概念设计

6.4. 处置设施开发的第一步就是提出概念定义。此步骤的安全论证文件应提出安全策略及实现该策略的方式。在此阶段，一般不太可能提供对该设施的详细描述和评定。尽管如此，也许可以获得一些诸如围岩类型之类的初始信息。应说明与安全策略及设施概念设计相关的关键问题。在对所采用的安全策略缺乏任何定量论证的条件下，在安全论证文件中必须对所采用的安全策略提供定性的正当性说明。此外，应建立并解释安全评定方法、管理系统和不确定性管理，尽管这些问题在项目的后续步骤中将发生明显的变化。

6.5. 按照应用于该处置设施及其部件的安全策略，安全论证文件应详细地阐述该处置系统的部件，单独地或组合在一起，将如何确保满足所有的安全要求。一般来讲，安全论证文件应包括对该处置系统（在运行期间和在关闭后期间）每个部件指定的安全功能的描述，还应提供对这些部件（包括天然屏障）完成其给定功能的能力的评定。安全论证文件还应阐述建造的可行性。在所有这些方面中，关于该处置系统性能的陈述均应给出正当性理由，且也应对该项目的具体步骤中遗留的不确定性进行识别。

6.6. 安全论证文件应说明该处置系统各部件的特征和性能是如何满足为它们分配的安全功能的，以及将如何随时间发展变化。这些说明应得到下述内容的支持：

- 对拟议设计方案的技术可行性的概述，识别依赖成熟技术的方面，以及鉴别那些新的和需要将来通过试验检验的方面；
- 对该处置系统各部件在预期条件和已识别为可能扰动的干扰事件下实现其预期功能的能力之认识水平的概述；
- 对该处置系统各部件将如何以互补的方式一起发挥作用以确保具有足够的纵深防御及安全不是过度地依赖单一的安全功能的评定。

这些要素应当通过对拟议场址的特性调查计划及研究与开发计划的概述而得到补充，以表明将如何在未来获得缺失的信息。

6.7. 在概念界定阶段，安全评定只能是非常初步的。尽管如此，还是希望进行这样的一个初步评定，以便基于对该场址演变的一般考虑对可能的影响大小的量级给出一个大致的估算，并希望开始识别该设施和环境的特征，这些特征对安全可能是重要的。

6.8. 安全论证文件还应包含管理系统的信息，特别强调与该项目相关的时间段及在这些时间段内该项目的迭代性质。在与管理系统相关的这些主题中，在这个早期阶段该安全论证文件应说明该项目的组织结构和所需资源、项目规划的计划以及将落实到位的信息管理系统。在此阶段，应安排并实施与监管机构及相关各方的沟通。

场址调查与场址选择

6.9. 在场址调查与选址阶段，安全论证文件应对引领一个或更多个潜在处置场址识别的过程给予支撑，且应有助于向开发的下一个步骤过渡。安全论证文件及其内容将随着该项目在工程方面以及随着对该处置系统不同天然和工程部件的特性调查的发展而演变。在此阶段，本质上讲安全评定最初是通用的，但会随着设计的发展及场址特性调查详细程度的提高而改进。在此阶段，应当确定否定一个场址以及一个场址适宜特性的标准；场址特性调查应是允许核实场址是否提供了适宜的特性，或当与标准进行比较时确定场址是否应被否定。

6.10. 在场址调查与选择的阶段，基本的场址特性应以这样的方式描述，它们表明在拟议的设计方案中每个天然和工程部件的安全功能对于所考虑的场址将是如何实现的。该描述应得到以下方面的支持：

- 对该处置系统每个部件实现其预期功能的能力之知识水平的概述，包括在识别为可能的扰动干扰事件下；
- 证实在概念设计阶段确定的场址的预期特性的研究与开发计划；对于建造高水平废物处置设施的各种计划，这可能包括地下研究实验室的建造和运行；
- 对该场址的容量及其容纳现有的废物流和未来预期的废物流的能力的评定；

- 与其他评价一起，识别各部件及该整体设施可能遭受的干扰的初步评定，包括内部来源（例如，热、化学、机械、放射性或反应性变化）和外部来源（例如，侵入、气候变化、地震活动）；
- 对该处置设施的安全所必需的部件材料（一般为金属、粘土和混凝土）的有利特性的调查；
- 关于将如何通过适当的资格和性能确认计划证明该处置系统的技术可行性的建议；
- 在依赖经论证的和（或）可容易地论证的特性以及能够适应与该处置系统不同部件预期性能相关的不确定性的意义上，证明至少有一个设计方案表现出可行性的良好前景；
- 再一次考虑该处置系统各部件将如何以互补方式的一起发挥作用，以确保具有足够的纵深防御，包括对该系统部件的整体兼容性的广泛确认；
- 对存在的对安全重要的不确定性的领域的识别，它将必须作为安全论证的一部分加以管理。

6.11. 假想方案和评定建模能力的开发应足够地先进，以便使估计值具有至少与影响大小同数量级的合理的置信度。在这方面，即使假想方案的选择和处理不详尽，但它们应涵盖该设施预期的正常演变，并应考虑已识别的主要的潜在干扰事件。

6.12. 应给出所使用的主要假设和所采用的简化的正当性。应当进行敏感性分析，以评定该系统及其部件的坚稳性，且有助于指导和更新研究计划以及发展该设施的设计。

6.13. 安全论证文件应包含关于管理系统的更新信息，并强调以下内容：

- 落实到位的组织结构和程序，以确保对安全评定工作的良好管理以及对数据采集的良好质量控制，尤其是场址数据；
- 活动的整体规划，特别是涉及监管机构及其他相关各方的计划；
- 记录保存系统的实施，它应既涵盖场址数据也涵盖安全论证文件及辅助安全评定；
- 资源的合理配置，以继续进行该项目的后续步骤。

设计开发和建造

6.14. 在设计开发和建造阶段，应进一步开发安全论证文件，以能够证明所采用的设计将满足处置的安全要求，且它是一种可行的方法。安全论证文件还应有助于对所选废物管理方案和处置概念设计的精细改进。

6.15. 在安全评定中应证明某个部件丧失安全功能不会危及整个系统的安全。因此，安全评定应提供对工程方面和该处置设施影响方面的成熟评定。

6.16. 应对运行安全和长期安全进行评定。在该设施开挖和（或）建造及调试开始之前，应制订并实施适宜的监控和监督计划。

6.17. 在安全论证文件及相关安全评定中，应考虑在设施开挖和（或）建造期间对任何已实施的设计修改的影响。此过程应得到以下支持：

- 对在该设施正常演变和干扰事件（包括预期事件与不太可能发生的事件）情况下该处置系统的每个部件发挥其预期作用的能力之知识水平的更新。这应包括对该场址的全面特性调查和该设施的最大废物库存量，包括：废物的放射性特性及其他性质，得到试验适当支撑的设计特征的描述和说明及对确定关键部件原型的演示。
- 建造施工技术的选择及其论证，即，证明这些技术可在一定程度上把天然屏障的包容和隔离特性维持到所必需的程度。
- 对仍然存在的对安全重要的不确定性的领域的识别，它将必须作为安全论证的一部分加以管理。

6.18. 在此阶段，安全论证文件中应包括证明评定的质量信息，特别是有关所考虑的假想方案和评定案例的范围、模式和程序的充分性的信息，包括所选模式的合理性及其充分性的证实。此外，应提供用于核实和尽最大限度地使模式和计算机程序有效的方法。

6.19. 作为安全评定的一部分，应进行敏感性和不确定性分析。这包括识别不确定性的主要来源，评定不确定性对结果的影响，以及制订减少不确定性的计划，例如采用附加的研发工作。或者，可以避免不确定性（例如使用更熟悉的材料）或减轻其影响（例如某些屏障采用超大尺寸）。

6.20. 安全论证文件应当更新关于管理系统的信息，特别强调以下内容：

- 落实到位的组织机构和程序，以确保对已实施的设计工作的质量及研究与开发工作、场址特性调查和安全评定工作的结果之间的关联。
- 活动的整体规划，特别是涉及监管部门及其他相关各方的计划，以及该计划实施的定期和系统评定。
- 记录保持及跟踪系统的实施，它应覆盖所采取决策的数据、信息和记录。应当收集关于设计基准和设计修改以及关于其论证的信息。

6.21. 为了对决策提供支持，应获得所有适宜的信息，包括参考其他处置项目的输出和信息来源。

运行和关闭及关闭后期间

6.22. 当已完成建造后，应通过一个持续的评审和改进过程继续编写该安全论证文件；第 4 部分和第 5 部分提供了关于运行和关闭阶段以及关闭后安全论证文件的详细建议。

分级方法

6.23. 应确保安全论证文件及辅助安全评定基于对该处置系统及其潜在行为认识的适当水平，以及所有安全相关问题均已得到考虑和解决。但是根据参考文献[1]原则 5，专门用于确保安全的资源必须与可能的辐射风险的大小及其可控性相称。根据此原则，应当编写安全论证文件且应当开展评定，其详细程度仅仅只能与该风险的大小和该处置设施的建造阶段相适应。

6.24. 本“安全导则”适用于许多各种不同类型的废物和处置设施，并依赖于场址相关和设施相关的特性，这些可能构成不同水平的危害和风险。因而考虑到不同水平的危害和风险，要求对安全论证文件及辅助安全评定采用分级方法。因此，与低水平废物处置设施和填埋型处置设施相比，可以预期应把更多的努力放在开发高水平废物处置设施的安全论证文件和安全评定上。尽管一般来说这是正确的，然而对于低水平废物处置设施，安全论证文件和全面的安全评定仍然是必需的，其详细程度将取决于场址因素、设施设计、待处置废物的特性及其他因素。对于近地表处置设施的安全论证文件和

安全评定的某些部分，与地质处置设施相比甚至可能需要做出更多的努力。一个案例便是对人类侵入的评定，对于一个选址良好的地质处置设施来说，人类侵入可以认为是一个不太重要的事件，然而对于一个近地表处置设施来说，却可以认为几乎是不可避免的事件。安全论证文件和安全评定所需的详细程度应取决于，首先开展一个提供与该设施相关的可能的风险水平的指示的相对简单的评定。

6.25. 可以采用各种标准来帮助确定关于安全论证文件和安全评定，或对特定处置设施及该处置系统部件（例如某个特定屏障的特性描述）或影响该处置系统性能的过程的评审所应耗费的工作量。参考文献[3]识别了应用分级方法中要考虑的以下标准：该类型设施的可能辐射风险、成熟性和复杂性。对于废物处置设施安全评定中这些标准的使用在第 6.26—6.28 段中讨论。

6.26. 根据参考文献[3]，安全重要性通常是需要考虑的最重要的标准。该设施的性能应根据在正常运行、预计运行事件和可合理预见的干扰事件中放射性物质的释放，以及具有潜在严重后果的低概率事件的潜在重要性来考虑。此标准可以直接应用于处置设施的运行阶段，还应当应用于关闭后阶段。它应基于正常演变和替代演变假想方案期间已评定的放射性物质的释放，包括对干扰过程和事件的影响的考虑。基于虚拟假想方案的评定计算（剂量和概率）结果，把相对较少的努力应花费在仅仅对安全似乎是重要的问题上（见第 5.39 段）。

6.27. 用成熟度作为指导来确定对某特定处置设施、该处置系统的部件或影响该处置系统性能的过程的评定和评审应花费的工作量也是可能的。在这个意义上，成熟度考虑是指：(i) 得到良好检验的实践、程序和设计的利用；(ii) 类似设施或实践的运行性能（及相关不确定性）的知识的可获得性；以及 (iii) 富有经验的制造商、建造商和开展安全评定的那些人的可获得性。通常，评定和评审工作所需的深度将随着成熟度水平的提高而减小。尽管成熟度标准能够用于放射性废物处置设施，但是必须认识到关于处置设施实际的长期性能数据是不可获得的。还必须认识到有限的设施数量及每个处置系统的独特性。

6.28. 复杂性也可以用作指导为有关用于评定或评审某特定处置设施、该处置系统的部件，以及过程或评定模式的工作量决策提供支持。对于处置设施，一般不必要复杂的能动系统或复杂的部件。某处置设施的复杂设计可能会预示在安全评定中需要对该设计有一个相应复杂的表述。因此，对于许多处置系统，设计简化被视为一个优点（例如，因为对于一个简单系统编写一个令人信服的安全论证文件更容易）。营运组织应首先考虑是否能够通过采用一个更简单的设施设计来消除在安全评定中的复杂性，而不是编写一个复杂的安全评定。

纵深防御

6.29. 参考文献[2]说明了对于处置设施的纵深防御概念的应用，其要求 7 规定：

“必须选择围岩环境，必须设计该处置设施的工程屏障……以确保通过多重安全功能来提供安全。必须通过该处置系统的许多实体屏障提供该废物的包容和隔离。这些实体屏障的性能必须通过多种多样的物理和化学过程来实现……单一屏障的能力……必须得到论证。该处置系统的整体性能不必过分地依赖于单一安全功能。”

参考文献[2]（在第 1.16 段）也指出：“根据分级方法……已选定的处置系统所提供包容[和隔离]该废物的能力……将与该废物的潜在危害相称。”因此，必需符合要求的屏障数量和范围将取决于待处置废物的类型。所需求的对纵深防御的评价应当包括对该处置设施的屏障所提供的防御水平的评价（见第 3.9 段和第 4 部分）[3]。

6.30. 采取纠正行动以影响处置设施的演变的可能性是有限的。在关闭后，仅仅能够在有组织控制期间采取行动。一般来讲，废物包容和隔离所必需的期间比有组织的控制期长得多。因此，对于处置设施实施纵深防御概念的重点是，确保该设施的设计和建造将实现多重互补的安全功能。

6.31. 在为废物处置设施准备安全论证文件时，对纵深防御进行评定正在变成正常的做法。它包括识别处置系统的各种各样的要求和安全功能，设计处置设施及特别是工程屏障以实现这些安全功能，以及评定处置系统和屏障实现安全功能的能力。

6.32. 安全功能通过处置设施的要素来实现，例如处置系统的某部分，或某过程或过程组合的物理或化学特性，有助于对该废物的包容和隔离（例如低渗透系数、低腐蚀率、该废物基体的低溶解性、放射性核素低浸出率、放射性核素低溶解度、高吸附率）。能动控制，例如预防人类侵入或监控，也能够提供安全功能或有助于天然和工程屏障及安全功能的置信度，尽管应当看到在这种控制的有效时间段内的局限（见第 6.66—6.73 段关于有组织的控制）。

6.33. 在安全论证文件中，应当评定处置系统的设计在阻止放射性核素迁移中安全功能是互补的。这意味着应当确定一种安全相关特征中的缺陷是否通过其他安全功能的设计性能得到补偿。随着时间的推移，放射性核素迁移的阻滞将成功地通过该处置设施的不同单元得到实现。应证明在处置设施的一个单元没有完全执行或不再完全执行其安全功能的事件中，由其他单元提供安全。

6.34. 应当在不同时期对不同安全功能的互补实现进行评价。每个安全功能都应最大可能地独立于其他安全功能，以确保它们是互补的，并确保通过单一故障模式那些屏障是不可能失效的。在该安全论证文件中，应对每个屏障提供的功能进行说明并给出正当性理由，并应当识别预计各个屏障执行其不同安全功能的时间段，以及如果某个屏障不能完全起作用时与可替代的或附加的安全功能一起发挥作用的时间段（例如，图 5）。图 5 针对乏燃料和高水平废物处置在“博姆（Boom）黏土”¹¹中的一种概念，说明执行各种各样的安全功能的时间段。在这个案例中，预计工程屏障预计在处置设施经受升温的整个时间期间，大约几千年的时间，将对该废物提供完全包容。此后，预计博姆黏土预计将阻滞放射性核素的迁移。参考文献[11]给出了关于该特例的更详细的资料。

¹¹ 比利时博姆镇地区发现的一种中等膨胀粘土。

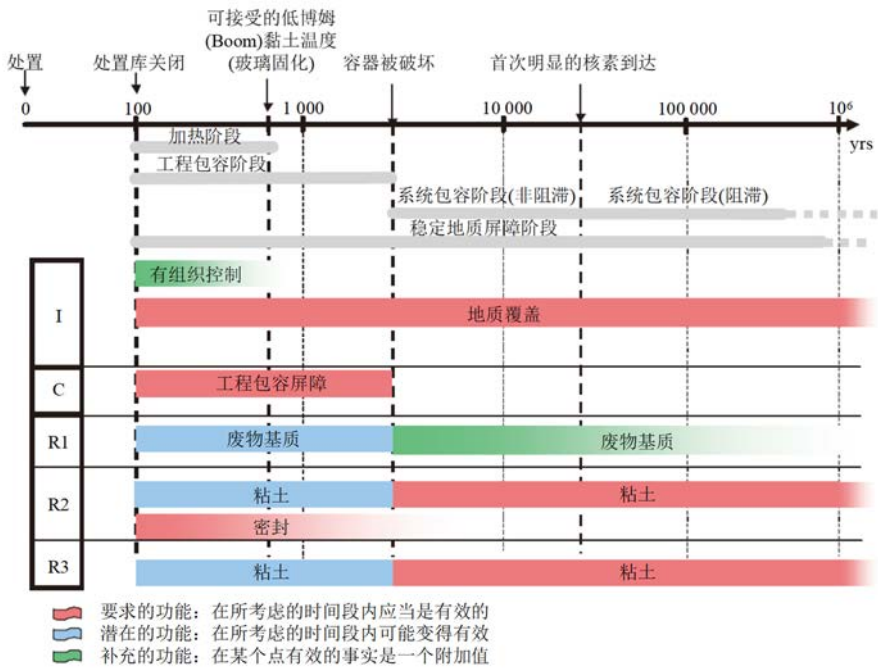


图 5. 针对乏燃料和高水平废物处置的一种概念安全功能与时间之间的关系示意图[11]。I 代表隔离，C 代表包容，R 代表阻滞。

6.35. 对处置设施各单元是如何执行各种安全功能的详细分析，可通过把处置系统的安全功能与可测量的或可计算的量关联起来进行。例如，如果某特定屏障执行与限制水流相关的安全功能，那么该屏障的渗透系数可以作为评价安全功能实现程度的一个合适参数。在这种情况下，对于该项安全功能，该屏障的渗透系数称作“安全功能的指标”。因此，安全功能指标是一个可测量的或可计算的量，通过这个指标可定量地评价一项安全功能。为了确定某安全功能是否将继续执行，应明确定量标准，根据这个标准可以在安全评定涵盖的时间范围内对安全功能指标进行评价。针对该安全功能指标定义一个的先验定量数值，可能会有助于开始最优化过程，但是这不应视为其本身的目标（至少在安全论证文件编写的第一阶段），由于令人满意地实现一项安全功能可能会依赖几个过程和部件的组合，其特征可能或能够被后续的设计或运行变更所改变。

6.36. 确定安全功能指标是否得到满足的标准，将有助于确定安全是否将得到实现。鉴于将有一系列的安全功能、安全功能指标和标准，对于某个特定的安全功能指标未满足标准的要求并不一定意味着该处置系统未遵守监管限值或未达到目标（例如，关于剂量或风险），而是意味着为了评价安全需要更细致的分析和数据（见参考文献[13]）。演示纵深防御的其他方式包括对该处置设施性能的其他测量量的评价（例如，不同放射性核素在不同屏障内的包容）及该结果的描述。

6.37. 此外，在某些废物处置设施的开发过程中，已使用了假想的虚拟假想方案（见第 5.39 段）。这些假定，例如，没有特定屏障或安全功能，或对于近地表处置设施在假定的有组织控制期间内缺失有组织控制。此类假想方案允许就该处置系统对干扰的响应进行调查，即使此类干扰被认为是假想的。然而，尽管在虚拟假想方案假设中做出了有关丧失某特定安全功能的假设，仍需花费努力以确保这个安全功能将继续执行，因为它是该设施纵深防御的一个要素。

坚稳性

6.38. 坚稳性的概念可以应用于处置系统的个体部件、处置系统整体和安全评定。

6.39. 处置系统部件的坚稳性意味着，尽管可能会发生合理预期的干扰，但它将继续执行预期的一项或多项安全功能（见第 4.33 段和第 4.51 段）。场址能够得到选择，例如通过选择那些受自然过程如洪水和地震影响较小的场址。同样，针对坚稳性工程屏障能够得到设计，例如通过把某部件尺寸扩大至超出必要的值，以确保对它们能够抵御干扰和不确定性。

6.40. 一个相关的术语是处置系统的坚稳性，它处理单一部件的坚稳性及其他它们之间的相互作用。这是从概念上比仅仅是系统部件的坚稳性更宽泛的坚稳性。评定处置系统的坚稳性依赖于几个要素：

- 个体屏障及其安全功能的坚稳性论证；
- 纵深防御概念的评价，即存在多重不同的安全功能，以确保该处置系统的整体性能不依赖单一的安全功能，整体性能失效或意外地变差将导致不可接受的放射性后果（见第 6.29—6.37 段）；

- 对已采用了良好工程实践的核实（论证可能性和可行性）；
- 对通过非能动措施实现安全的论证。

6.41. 通过对基础论据的分析结果与各种阐明具体干扰或不确定性的假想方案进行比较，来评价处置系统的坚稳性。在各种类型的干扰中，最通常考虑的干扰是一个部件或其特征之一被认为已失效（虚拟假想方案）的那些干扰。涉及施加于处置系统的此类强干扰的假想方案，与描述处置系统退化行为的假想方案是不同的。

6.42. 一个相关的概念就是如参考文献[3]所要求的安全评定的坚稳性和可靠性，即，安全评定的结果对于假想方案、模式和数据中的不确定性不敏感。安全评定的坚稳性将取决于该设施设计，因为与评定相关的不确定性程度在某种程度上是由该系统部件的物理和化学性质以及它们与环境的相互作用来确定的。

评定的时间范围

6.43. 评定的时间范围就是安全评定计算所涵盖的时间期间。在每个评定的时间范围内，考虑多于一个的评定时间窗口可能是必要的。关于安全评定计算的时间范围的选择，将永远都不存在完整的科学依据。在这种情况下，关于时间范围的决策应在监管程序内做出。

6.44. 评定时间范围应通过考虑国家的法律法规和监管导则及该特定处置设施、该场址和待处置废物的特性进行界定。当决定评定的时间范围和时间窗口时应考虑的其他因素包括如下内容：

- 安全评定计算应覆盖一个足够长的时间段以确定最大或峰值剂量或风险。但这并不一定会总是可能的。例如，在把长寿命废物（例如，来自铀矿开采）处置在地表或近地表的情况下，在这里关于工程屏障（如坝和覆盖层）的耐久性是否存在不确定性的，剂量和风险可能会保持不变或可能甚至会在未来很长时间内增加，在整个时间范围内，评定中的不确定性大幅增加，并限制了该评定的意义。一般地，这可能会限制评定的时间段，或至少是定量评定的时间段。

- 能够显著地影响安全评定结果的几个因素可能会随时间而变化。例如，设施及其周边的景观和水文状况可随气候变化而变化，这些变化也会使受体及其习性发生改变。对长寿命废物的评定应考虑此类可能的变化。作为评定处置系统的可能演变的一种方法，一些评定考虑了包括未来冰川时期或循环更替的一个或多个气候假想方案。评定的时间范围应根据该场址的可能变化酌情确定。
- 有关评定的时间范围的决策对于在安全评定中所考虑的干扰事件的类型和严重程度是有影响的。例如，预计千年一遇的洪水或地震比百年一遇的洪水或地震的破坏性更大。

6.45. 鉴于这些因素的复杂性和变化性，在能够通过模拟得到有意义的定量结果的时间段内确定一个通用时间段是不可能的。对于地表以上的处置设施（例如，对于采矿产生的废物），当考虑到数百年的时间范围时，模拟结果的不确定性将已经是显著的，而对于超过千年的时间期间时定量估计可能已经变得毫无意义。对于近地表工程处置设施，它们将遭受可能会影响其完整性（例如侵蚀、人类侵入）降低到更低程度或具有更小概率的过程，几千年的模拟时间期间可能会仍是合理的。对于深度更深的设施，例如对于高放废物地质处置设施，数万年甚至更长时间期间的模拟仍可能会获得对潜在辐射剂量的上限有意义的估计。

6.46. 为了处理不同的假想方案，可能会有必要在一个安全论证文件中确定几个不同的时间窗口。例如，一些假想方案可包括将扰乱和（或）破坏某些类型处置设施的事件。在某些场址，侵蚀或冰川作用可能会破坏近地表处置设施。虽然预期覆盖冰川化时期的时间范围与主要含短寿命放射性核素的废物无关，但铀尾矿的处置设施也许会受冰川化影响，这将限制对此类废物地表堆积进行有意义评定的时间范围。另一个案例，对于某些废物类型需要考虑防止临界，应主要考虑放射性核素的衰变和增长来确定可以想象可能会发生临界的时间范围。出于表达的原因，也可以希望在一个安全评定中确定几个不同的时间窗口。例如，定义不止一个的评定时间窗口，可以使评定计算得以进行，并提供不同的详细程度和（或）不同程度的保守性或现实性。

6.47. 基于这些考虑, 处置设施的寿期可能包括一组或多组评定计算。在这种情况下, 应最大程度地表明各种计算一起涵盖了整个时间范围, 在整个评定时间范围内都已做出了一致的假设或不一致性都已给出了正当性的理由。在某些情况下, 可以做出不同甚至前后不一致的假设, 以证明不同评定时间段的安全, 因为可以做出的假设对于一个具体时间期间是保守的, 但对于另一个时间段却未必也必须是保守的。例如, 对有关运行期间放射性物质的释放所做的假设也许是保守的, 而对于关闭后期间全部库存量仍然存留在该设施内的假设也许是保守的。在这种情况下, 在假设中慎重地引入的差异和矛盾应仔细地以文件形式书面记录并给出正当性的理由, 以便使整个安全论证文件不会因基于前后不一致的假设而变得不可信。

6.48. 在安全评定的不同迭代整个过程中, 评定的时间范围通常是保持固定的。然而在另外一些情况下, 可能有必要在安全评定的不同迭代中对评定的时间范围进行修订, 以反映所收集到的新信息。例如, 可能有必要考虑延长时间范围以确保在评定计算内包含最大或峰值剂量。如果新信息表明废物中含有比以前假设数量更多的长寿命放射性核素, 这可能是必要的。或者, 考虑到不确定性, 把定量评定的时间范围限制在安全评定的结果是有意义的时间内可以认为是恰当的。作为限定该评定时间范围的一种可替代方案, 放在时间范围后期部分时间的定量结果的重要性可能被削弱。然而, 在所有此类情况下, 应在安全论证文件中以适当的方式说明超出定量评定时间期间的各种影响。

6.49. 如果在超出安全评定计算终点不可忽略的危害预期仍将存在, 安全论证文件还应说明以后时间处置设施的演变及其可能影响。这应通过简化估算和定性论证而不是通过应用定量安全标准来评定。例如, 对于深地质处置设施, 关于场址的地质稳定性也许需要通过论证来评定。

6.50. 对于在该处置设施及其环境的演变中任何指定时间, 安全论证文件的重点应放在那些预计是最有效的安全功能, 以及那些被认为是最令人信服的论据上。例如, 最初也许可以确信地预期废物桶可完整地包容废物, 安全论据可以强调支撑该废物桶在一个确定的时期内保持完整性的证据。在以后的时间, 完整的包容是不可靠的, 基于诸如废物体的稳定性、地球化学的稳定性、较慢的地下水流速和地质环境的稳定性的论据应用来说明放射性核素向环境的任何释放将是小到忽略不计的[36]。

6.51. 在第 6.43—6.50 段中的考虑表明，确定适当的安全评定时间范围和时间窗口对于判定和平衡各种竞争因素是必要的。应当清晰地描述安全评定所采用的时间范围和时间窗口的理由。特别是如果第 6.44 段所陈述的因素之一将该评定限定在一个比处置设施原则上可能会产生不可忽略的危害的时间更短的时间范围内时，应对于不延长评定时间范围给出明确的正当性的理由。例如，如果把评定的时间范围延长到超出了预期的冰川时期（见第 6.46 段），那么对铀尾矿废物地表处置的辐射照射的评定是没有意义的，尽管该废物的危害的可能性大大地超过了此时间段。

人类侵入

6.52. 未来的人类活动也许会破坏废物处置系统。影响处置设施完整性以及导致潜在放射性后果的人类活动被称之为人类侵入。人类侵入尤其与地表或近地表处置设施有关。可能导致人类意外侵入废物处置设施的大多数人类活动（如建筑作业、耕作等）发生在有限的几十米深（一般为地表以下 30—50 米）。在长时间范围内，人类很可能会侵入此类设施。深度超过 30 米的人类活动是不太可能的，但钻探（如水、石油或天然气）、勘探和采矿活动、地热引出或石油、天然气或二氧化碳贮存活动是可以达到该深度的。在这方面，以下指导主要针对地表或近地表处置设施。在第 6.65 段中给出了人类侵入假想方案与深地质处置设施的相关性讨论。

6.53. 在本“安全导则”中，仅把那些对处置设施产生直接干扰（即废物、受污染的近场或工程屏障）人类活动视为人类侵入。导致干扰超出处置设施及其紧邻区域以外周围环境的人类活动不归类为人类侵入，因为它们不会导致直接侵入处置设施。此类活动应在用于长期风险评定的假想方案（见第 5 部分）中予以考虑。第 6.54—6.64 段对安全评定中人类侵入的假设和适当的方法提供进一步的指导。这些与所有人类侵入成为一种安全问题的近地表处置设施相关。

6.54. 在设施运行期和任何后续的有组织的控制期间，为了确保人类活动不会对处置系统的安全构成不利影响假定各种措施将落实到位。这些措施将不仅是基于安全考虑，而且将满足安保相关的要求，且如果相关的话，还将满足与核材料衡算和控制相关的要求。然而，在此期间可能会发生故意的（蓄意的）人类侵入；蓄意的人类侵入定义为实施侵入的某一个人或一群人

在知道设施的存在并知道其一些内容的情况下进入或破坏某设施。因此，很可能侵入者们会采取措施来限制对它们侵入的可能影响，例如，通过把它们与废物接触的时间减少到最低程度。即便不是这种情况，侵入者们也会将不得不承担它们的责任和后果，因为它们的行动是蓄意的。

6.55. 尽管认识到由于其他方故意侵入而导致第三方有可能在不知不觉中受到辐射照射，但在参考文献[39]指出“在安全评定中不应当考虑蓄意破坏行动”。为了支持该观点，在参考文献[39]指出，尽管普遍认为，产生放射性废物的社会应当承担开发一个考虑到未来社会的安全处置系统的责任，即使是未来社会得到了对它们的行动后果的预先警告，当前社会仍然不能保护未来社会免受它们自身行动的影响。

6.56. 总之，在对某废物处置设施的安全评定中应当考虑人类意外（非故意的）侵入，但不必对与故意侵入相关的潜在风险进行量化。因此，应当假设人类意外侵入将在不知道关于该场址及其风险信息的某个时间发生。这意味着侵入处置设施的某一个人或一群人（侵入者们）在不知道相关潜在风险下至少在短时间内直接受到辐射照射。侵入还可导致放射性物质释放的增加及在处置设施附近的个体或群体的长期照射的增加。

6.57. 对于某特定的处置设施，如果不能排除人类侵入，那么应当评定一个或多个视乎合理的侵入假想方案的后果。然而，侵入概率的估算是不确定的，在参考文献[20]建议安全评定应设法评价与可能发生的人类侵入相关的剂量，但是不应试图采用基于风险的概念，即用评定侵入概率及该侵入所产生的剂量之乘积作为基础。

6.58. 尽管评定人类侵入所采用方法的详细细节可能是针对考虑中的废物类型和处置设施的，但是评定方法应是和第 5 部分中描述的一般方法相一致的。第 5.22 段给出了该评定的标准。

6.59. 根据参考文献[22]，应把“居住在场址周边的那些人”作为人类侵入假想方案中的受体。然而，这并不意味着侵入者就应自动地排除在考虑之外。不对侵入者和居民加以区分。事实上，就居住在已没有场址相关信息的以前场址上面的居民而言，这些人都是一样的。反之，应对居住在场址附近或甚至居住在场址内的人们的正常行为，与影响少量人群的短时间和（或）低概率的事件（例如公路建造活动）加以区分。关于被视为“工业事故”的后者，不可能要求在这些情况下对侵入者应用与场址内或场址周边

居民所适用的那些相同的剂量标准。根据此区别，在假想方案中可以考虑受体与废物的实际接触，如果认为在正常居住的情况中此事件是可能的，那么参考文献[2]规定的对于侵入的剂量标准就可以适用于该实际接触所导致的照射。

6.60. 在开发人类侵入的假想方案时，可以采用两种对比方法。一种方法是所有或大多数情况设计的若干通用假想方案。另一种替代方法是基于场址相关为基础而设计的假想方案。这两种方法各有优缺点，且应根据特定评定的目的做出方法（通用的或场址相关的）的选择。即使决定将设计通用假想方案，也应考虑到某场址相关的特征（如设施的深度和设计、其地质环境和废物的特性）。

6.61. 人类侵入的假想方案应根据侵入性质及侵入行动的程式化描述来进行设计，且应当认识到人类侵入具有不可避免的不确定性。人类侵入假想方案并非是传达关于该场址和未来社会活动演变的任何权威陈述，而是设计用来对人类侵入的潜在影响提供说明。如果正在采用程式化的假想方案，那么它们应当是以对当今技术和程序的假设为基础的。

6.62. 对于近地表处置设施，应进行计算以评定相关潜在受照射人群的剂量（见第 6.57 段）。评定应基于一旦丢失了场址的信息后就可能会立即发生侵入的假设。如果在安全论证文件中考虑了一段时期的有组织控制，那么应当假设撤销有组织控制之后将立即发生场址信息的丢失。有组织控制的有效期在许多国家的法规中最长只限于几百年。尽管应鼓励非能动控制规定（例如，记录、设施标志），但是在安全评定中应保守地假设此类控制对于阻止人类侵入或减少人类侵入概率将是无效的[39]。

6.63. 在评定人类侵入的影响时，应当对受不同类型侵入影响的废物体积及废物的不均匀性予以考虑。可能会发生潜在的明显不均匀性（“热点”）并需要评定它们的影响。从大尺度范围来看，该废物放射性浓度的此类差异可由诸多因素引起，包括随时间改变的废物验收标准或由特定废物流决定的不同的废物安置活动。从较小尺度范围来看，一些废物货包可能包含有放射性浓度显著高于所有废物货包平均值的特定物项（如废弃的密封源）。应当通过适当地考虑废物的活度和组成成分的可能范围进行一系列的计算来评定废物中的不均匀性。在侵入事件中，也应对可能会受到影响的废物体积进行评定。

6.64. 能够使用许多措施来降低人类侵入放射性废物处置设施的可能性并缓解其后果。这些措施包括能动的有组织控制和（或）经久耐用的物理屏障系统。而且，废物的隔室划分可以减小侵入事件的后果。很可能可以通过把废物放置在更深处来实现最大程度地降低估算剂量。在某些特定的情况下，也可以考虑替代场址，特别是在由于某场址出现了水或矿产资源而在将来的某个时间可能被开发利用，人类侵入风险更大时。这些措施应视为防护最优化的一部分。尽管这些措施不大可能完全消除来自人类侵入的剂量，但是它们可以降低人类侵入的可能性和（或）其后果。

6.65. 正如以上讨论的那样，地质处置设施与人类侵入假想方案的相关性是有限的，因为此类设施的深度和位置使之不太可能。关注的时间范围太大以至于使得不能对侵入事件的可能影响进行有意义的估计。尽管如此，也许可以决定对后果进行评定以论证处置系统的坚稳性。由于边界条件及其他参数的不确定性，所考虑的假想方案是推测的且有点随意性，例如，当假定事件将发生时以及当假定在侵入时刻该设施及其围岩环境的状态如何时。因此，对于地质处置设施，在定量利用从人类侵入假想方案获得的结果时应当小心，特别是把这些假想方案与其他假想方案作比较时（例如，为了防护和设计最优化的目的）。应对意外侵入最有效的措施包括，把处置设施建造于深地质构造中，以及长期提供信息维护。

有组织控制

6.66. 能动的有组织控制的预期持续时间与长寿命废物将持续保持有危害的时间范围二者之间之不可避免的矛盾产生了处置策略，其中有组织控制起着不同的作用：

- 在地质处置和中等深度的处置中，只要有组织控制存在，它便可提供另外一个层次的纵深防御，并可以有助于建立对处置设施安全的信心。然而，即使缺少了有组织控制，仍应当实现安全目标。
- 在地表或近地表放射性废物处置中，通常需要有组织控制来实现安全目标，且只要废物仍然保持有潜在危害（例如，几百年）它都应保持落实到位。包含可观数量的长寿命放射性核素的废物应处置在更深处。有关有组织控制持续时间的假设，在确定废物验收标准时起着重要的作用，特别是对于近地表处置设施。

6.67. 有组织控制应视为防护放射性废物的危害整体系统的一部分。这是与一般性纵深防御概念相一致的，因为它为设施的天然和工程屏障增加了一层防护。然而，有组织控制不应被用来证明包容和隔离系统设计性能水平降低的正常性。

6.68. 任何设施的安全论证文件都是基于有效的长期有组织控制应接受定期评审的假设的。此类评审可以确认现有的安排是符合要求的及这类有组织控制的措施可以持续到接下来的计划评审期间的；如果评审不能提供此类确认，那么需要对控制措施进行更新或做出其他战略决策。

6.69. 对于主要含有短寿命废物的近地表处置设施，经常的情况是，照射的最大可能性和最大的风险是与有组织控制期结束后人类意外侵入有关的。在这种情况下，人类意外侵入的评定结果可以限制能够在该设施内安全处置的长寿命放射性核素的容许库存量。因此，此评定确定了特别是近地表处置设施废物验收标准中长寿命放射性核素的限值。

6.70. 在许多涉及大量含有天然放射性核素废物的情况下，至少考虑到目前的技术和经济可能性，所有现有处置备选方案都需要至少某种程度持续进行的有组织控制。在这种情况下，所要求的有组织控制的功能范围可以从阻止人类侵入，通过监视和维护程序确保屏障（如覆盖物）维持完好无损，到应对对屏障完整性的有害影响。此类影响也许曾经发生过，例如，通过自然过程如树根或穴居动物使覆盖层受到侵蚀或退化。

6.71. 承认在这种情况下持续进行的有组织控制的必要性，可以视为由于给后代增加了负担而违反了参考文献[1]原则 7。然而，在评定这个负担时，对于含有天然放射性核素的大量废物，需要考虑什么是实际上和经济上可实现的。在这个意义上，接受涉及持续进行的有组织控制的处置方案的决策，也许是认识到技术和经济局限性的一般性的防护最优化的结果。然而，应当考虑每个案例的优缺点及应进行专门的最优化研究以确保防护水平是长期优化的。这应包括考虑促进非能动安全措施的实施。应当把开展这种最优化研究作为编写该设施的安全论证文件的一部分。

6.72. 在含有天然存在放射性核素的大量待处置废物的场址，需要持续进行的有组织控制不应作为接受在那些低水平废物处置设施需要这种持续进行的有组织控制的论据，对于这些低水平废物处置设施，存在通过确定适当的废物验收标准以避免需要持续进行的有组织控制的切实可行的方案。参

考文献[2]也对安全不依赖持续进行的有组织控制的要求作出了规定。因此，至少对于新设施，处置方案是限于那些不需要持续进行的有组织控制的方案。

6.73. 总的来说：

- 放射性废物处置设施的长期安全性不依赖于有组织控制（参考文献[2]第 5.6 段）。
- 对于地表处置设施或近地表处置设施，在一定时期内有组织控制是阻止人类侵入的一个重要的安全要素。在安全论证文件中对有组织控制的任何信赖都应给出其正当性。
- 应当鼓励非能动的有组织控制的规定。安全论证文件中对此可以做出了一些肯定，但不应假设它在长时期内阻止人类侵入将保持有效。

废物的可回取性

6.74. 假如处置概念打算提供废物回取的能力，则本部分的目的是讨论由此引起的对安全论证文件和安全评定所产生的影响。可逆性更一般的概念是指逆转该处置设施的计划或开发中的一个或一系列步骤的可能性。这意味着，为逆转一个步骤，需要对早期决策及各种手段（技术、经济等手段）的可获得性进行评审，如有必要，还要进行再评价。可回取性是指逆转废物安置行动的可能性。因此，它是一种特殊的逆转事例。回取是回收废物或废物货包的行为[40]。

6.75. 尽管“处置”这个术语是指把放射性废物安置在某个设施或某个场地内而不打算回取这些废物（见第 2.9 段），但也可能是这种情况，即有为回取该废物提供可能性的意图。在参考文献[2]认识到该可能性，即对逆转该处置设施开发中的指定步骤或废物被安置后进行回取的选择方案包括在设计中。尽管此类规定可提供处置设施设计中的决策灵活性，但不允许它们破坏该设施的长期安全性。决策过程中的灵活性不应视为它本身的目标，而应视为良好实践。

6.76. 引入便于可回取的措施并不减少对全面安全评定的需要，也许还需要引入与某些运行方面（例如，废物货包在设施关闭前运行工况下的长期耐久性；设施关闭的各项规定）相关的额外保障。特别是，可回取性不应作为无限期推迟该处置设施设计的相关决策的借口，也不能替代对该处置设施进行精心设计和精心选址，在该设施的寿期满后对关闭该设施的依据给出正当性理由。虽然为未来的决策者在执行这些计划时留有灵活性，但还是应制订建设处置设施的明确计划，包括其关闭。应当进行安全评定计算，以确定无法按原计划关闭该处置设施的后果。

6.77. 如果废物的回取是一种设计选择方案，那么安全论证文件应当阐明行政和技术安排，以确保：在废物安置后的每个阶段，废物回取的技术能力维持在一个适宜的水平；回取的方法得到详细地说明；随着下一个步骤的继续进行直到设施的关闭，维持设施在当前步骤或逆转某步骤，包括必要时回取废物，都要对其适宜性和必要性做出定期评价。安全论证文件应进一步阐明监控保障问题，以证实能够实施回取的条件是安全有效的。

6.78. 在大多数国家，尚未就何时回取是必要的以及关于可回取性的要求颁布监管导则，如果有的话，应执行。在国家监管导则中提及可回取性的国家，通常都会有一个先决要求，即任何提高可回取性的措施都不应危及处置设施的长期非能动安全性。如果要求把可回取性作为国家废物管理政策的一部分，应当对可回取性的监管要求进行评审，以检验它们在设施关闭前可能延长的时期和长时间范围是否与维护核安全和核安保的要求相一致的一包括关于辐射防护的要求及关于核材料衡算与控制系统下所要求的措施。

方案的评定

决策过程的框架

6.79. 处置设施的规划和开发包括各种决策。例如有关设施场址的决策或有关设施设计的决策。就现有设施而言，新信息（例如，通过监控计划获得的信息）可能会提出对有关设施继续安全地运行方面的能力的关注。在此类情况下，关于是否回取部分或全部废物或是否对设施升级改造的决策可能是必要的。在这种情况下做出决策使得有必要对不同的管理方案进行对比，对满足所有可适用的监管要求的选择方案以及在考虑到诸如成本及其他危害因素在内的各种因素下提供的最优防护水平的选择方案进行识别。

6.80. 实际的决策过程取决于法律和监管框架，并将经常涉及到例如当地居民等相关各方。安全论证文件为此过程提供一个关键的输入，因此，应被用来帮助达成有关如何确保一个新设施的安全或对一个现有设施的安全进行升级的决策。因此，编写安全论证文件所需的全部活动，包括开展辅助安全评定的所有步骤，均应满足如下要求：

- 所有与以后的决策相关的安全问题都应在安全论证文件中阐述。这包括辐射风险评定以及对有关既定行动的实用性和可接受性决策的其他影响因素。
- 采用适当的方法学对决策相关影响因素的调查研究应达到足够的详细程度。这些主要考虑是相关影响不应被低估，但是特别是在目前的情况下，为了不触发采取不必要的措施，在切实可行的范围内应尽量避免高估风险及其他重要的危害因素。
- 应当把工作（例如，关于数据采集和建模）的重点放在与以后决策相关的因素上，不必浪费时间和财力资源。
- 安全论证文件中呈现的评定结果及附加的论证和考虑，应足以得出并对将要采取的行动决策给出正当性的理由。应当为符合监管要求的评定、有关纳入其他相关因素的决策、作为选择将要执行方案的依据对可获得的备选方案的利益和危害的平衡（这特别是与现有设施的决策相关的）、建立对所开展的评定中的可靠性和安全论证文件中所建议的行动的充分性和安全性的信心，提供充分的根据。

方法学

6.81. 鉴于决策过程的总体目标，显然它将影响安全论证文件编写的各个部分。特别是在第 5 部分中提出的关闭后辐射影响评定方法学的所有关键部分，都将受到从该决策过程的目标和要求所得到的考虑的影响：

- 作为确定评定背景的基础，应当识别安全论证文件中必须阐明的必要决策和潜在影响因素。
- 建立评定背景的决定性部分包括对评定思路的定义。与其他方法一起，这包括相关终点的评定方法、将要采用的假设的性质（例如，现实性或保守性）、将要使用的数据类型（场址相关的或通用的），以及处理不确定性的方法。显然，不恰当地详细说明有关决

策要求的评定边界条件，可能会妨碍做出充分和合理决策的能力。

- 除了将要做出决策的范围以外，评定的背景也将由所采用的决策方法学来确定。如果将采用定量决策辅助方法学比较备选方案，那么将产生对具体终点进行阐述的要求（例如，如果将采用代价—效益的分析，对集体剂量¹²的要求）。该评定思路的其他部分，例如，不确定性处理，也可能会依赖于最终所选择的决策方法学。
- 应通过考虑所有可能会直接或间接影响该系统 and 放射性库存量的特征、事件和过程，建立假想方案。在这个意义上讲，当与各种非放射性因素有关时，在假想方案开发中也就需要考虑这些因素。关于此类非放射性因素的案例是，来自化学毒性的或致癌物质的风险，或与采矿活动相关的物理风险。如果这些方面与所做决定是有关的，那么必须确保在假想方案中充分涵盖可能导致此类风险的各种条件。
- 根据决策过程的实际要求，应当仔细地规划所使用的模式及其校准和论证。在应用分级方法时，所投入的努力应当与为做出决策和为决策给出正当性理由的结果的重要性相称。
- 鉴于结果与决策要求的关联性，需要对结果进行分析和阐述。如果认为结果不足以达到此目的，那么对假想方案的定义和（或）模式进行改进及可能有必要收集额外的数据。

6.82. 关于用于方案选择的实际方法，存在不同的方法。通过定性过程就能够对评定结果及其对将做出的决策的影响进行评价，包括对所有相关因素的审议。定量方法如成本-效益分析或多属性效用分析能够用来对与待做出的决策相关的各种各样的因素进行阐述和平衡。在参考文献[32、33、41、42]能够找到应用此类决策辅助方法的案例。

¹² 关于在此类评定中使用集体剂量，应考虑参考文献[21]如下说明：“个人剂量和受到照射人群的大小随时间的递增而变得越来越不确定。而且现有关于剂量和危害的关系的判断对未来的人群可能是无效的。……应审慎地对超过数千年时间期间的集体剂量的预测以及超过几百年时间期间的健康危害的预测进行评审。”

6.83. 如果应用定量的评定方法，那么这些方法应视为辅助决策过程的工具，而不应视作对此过程的一种替代。评定结果应当用作与相关各方进行讨论的输入，例如监管机构及其他相关各方。这些决策辅助方法的主要作用在于以可以想象的和综合性的方式对评定结果进行分析和描述，以能够使得将依据它们各自对所需要的决策的重要性和影响做出判断。

6.84. 在决策过程中应考虑所有有关的因素。如果在同一场址存在或计划建造几个设施，包括处置设施，在决策过程中应考虑来自这些设施的累积辐射影响（见第 5.24 段）。

6.85. 决策过程一般包括除技术方面以外的其他有关因素和考虑。尽管除放射性因素以外的其他因素的评定不是第 5 部分中概述的方法的一部分，但是估算非辐射风险所需的活动与估算辐射风险所需的那些活动是类似的。因此，为实现安全（或在现有设施情况下，无需做任何事情是正当的），能够比较各种备选方案和选择更佳方案，把所有有关因素的评定整合到此方法学中可能会是可能的，并由此对所有必要的评定活动提供一个一致的和透明的描述。针对此类附加影响因素，参考诸如多属性效用分析的定量决策辅助方法学是可能的，即使它们在本质上是定性的（例如不同备选方案的公众接受度）。

应用于现有设施

6.86. 在第 6.81—6.85 段提到的支持决策过程的方法，对于现有的设施也是直接适用的。然而，在事实上设施已经存在及已经可能有辐射风险的此类情况下，会出现一些特定的要求，因此，决策仅限于确定是否需要纠正行动，如果是这种情况的话，将选择哪种类型的纠正行动。

6.87. 作为建立评定背景的一个决定性部分包括定义评定思路，本着以把剂量与监管限值、约束值及其他标准进行比较为目的而开展的评定，应在具有足够的保守水平上进行。然而，为了最优化地比较各种备选方案所进行的评定，应基于更加现实的假设。由于在现有情况下应用最优化原则的重要性，对于现有的设施这两种类型评定的区别是尤其相关的。

6.88. 对于目前的情况，评定通常应当分两个不同的步骤进行。在第一个评定步骤中，应当确定是否需要考虑采取纠正行动或是否认为设施当前条件可接受。在第二个评定步骤中，基于第一步骤的结果仅在必要时进行，应当

识别并评价为了改进现状的那些备选方案。哪些标准（当前的标准、在设施许可证申请时有效的标准或干预标准）适用于此过程将取决于国家的法规。

6.89. 特别是对于现有的设施，可以获得几套可行的纠正行动备选方案，对纠正行动的比较通常应以迭代的方式进行：

- 对于某些非常早期的纠正行动，例如，因成本过高或因不久即将显现不能符合基本监管要求，这些备选方案是可以忽略的。对于此类方案，对其影响的详细分析是没有意义的，可能会浪费精力。
- 关于决策中将要考虑的因素，针对纠正行动的保留备选方案的影响评定，是相当耗时和耗费资源的。如果没有确定精确估计的依据（例如，关于构筑物的耐久性），决策甚至可能面临重大困难。与其投入很大精力试图去改善对此类因素的估计，还不如首先对这些将要做出的决策之间的相关性进行评审。也许会发现在某些因素中占主导地位的不确定性将不会影响一个具体的决策，因为该决策是受其他因素支配的。如果是这种情况的话，这种不确定性是能够接受的，对此没有必要做进一步的评定。根据评定结果能够给出该决策的正当性理由，这些因素中的不确定性将不会妨碍在评定中建立信心的总体要求。
- 根据分级方法，投入改进数据和建模的努力程度应与将要做出的决策的各种各样的因素的重要性相称。在迭代过程内，关于结果的影响及它们对于该决策的不确定性能够得到“检验”，以识别根据它们与决策的相关性证明进一步改进是正当的那些问题。

7. 安全论证文件的编写和使用

7.1. 本部分讨论如何编写和整合构成安全论证文件的各种不同信息——一个整合的过程（见参考文献[25]）。本部分详细阐述如何进行安全论证文件的文件编写并讨论其可能的用途。

安全论证文件的文件编写

7.2. 安全论证文件为决策提供一个依据，并提交给相关决策者审核和考虑。安全论证文件的相关各方包括监管者、一般公众及其他相关各方。这些相关各方将通过对所提供的论证的推理自行决定它们的信服程度，以及它们是否与编写安全论证文件的营运组织一样有信心。然而，如果论据和证据都是以一种公开与透明的方式呈现的，且所有相关的结果都是完全公开的和受到质量控制及独立评审的，那么应当会增强相关各方对安全论证文件研究结果的信心。

7.3. 遵守安全论证文件的文件编写要求（见第 3 部分）提出了诸多挑战，因为其目标受众是由宽泛范围的相关各方构成的，它们具有不同的需求、期望和关注。另一个挑战是与存在涉及多个具有不同监管过程的不同监管机构的复杂法律和监管要求有关的情况，在这种情况下在处置设施开发所有阶段需要多層级的文件编写（如环境影响评定）。鉴于这些挑战，关于安全论证文件的文件编写没有统一格式。格式及文件编写过程受到目标受众的期望、正在考虑中的决策、设施开发的阶段、国家法律和监管要求及关于该安全论证文件编写的国际导则的影响。

7.4. 安全论证文件的结构和文件编写有许多可能的方式，安全论证文件的重要组成部分将在后面的段落中予以简要地讨论。

执行摘要

7.5. 在最高层次上，安全论证文件的文件编写应包括一个执行摘要，它简要地描述该项目、与该项目有关的主要安全相关问题、证据、论据和主要评定结果、解决所识别安全问题的拟议后续行动和缓解方案、任何不确定性和公众关心。

7.6. 对于大多数相关各方来说，该摘要将提供该项目的第一和长久的印象。这通常是所有那些单一相关各方都将会阅读的。因此，这一部分应当是清晰、完整和准确的。使用汇总表、图形及流程图是清晰和准确地传达信息的有效方式。应当尽可能地避免使用复杂的专业术语。执行摘要可以用独立的首页呈现，且可以比该文件归档的其余部分在更广泛的范围内传播。它也可以用不同语言呈现以满足当地社区的需求。

安全论证文件的引言和背景

7.7. 为了给读者提供对该项目、拟做出的决策和决策过程及拟考虑的各种问题的一个清楚的了解，安全论证文件的文件编写应清楚地介绍该安全论证文件的目的和背景。在引言中，应概述以下主要内容：

- 项目的简要描述，给出其具体的目标和背景、所涉及的各个阶段及其现状；
- 准备和提交安全论证文件所依据的政策和监管背景；
- 参与决策过程的各个组织的作用和职责，包括公众咨询和参与的框架；
- 关于决策过程的清晰导则；
- 与其他类似项目的比较；
- 对将使用的技术的现状和成熟度进行讨论；
- 对该项目的需求和重要性进行陈述，以支持该安全论证文件并给出其正当性的理由；
- 对已考虑的替代方案和更佳的替代方案的理由进行讨论；
- 在拟定项目执行期间已经做出和将要做出的关键决策；
- 对与该项目相关的关键时间节点考虑进行描述；
- 对营运组织将如何确保遵守监管要求及监管机构将如何核实监管要求得到遵守进行概述；
- 对营运组织的管理系统及其适当地应对与该项目相关挑战的能力进行概述。

安全策略

7.8. 在陈述了安全论证文件的目的和背景之后，安全论证文件的文件编写应给出用于实现安全的高水平方法的概述。安全策略这一部分的目标是证明为确保安全在设计、评定、开发和管理处置设施中所采用的总体方案和方法是适当的。本部分还应包括与安全策略有关的信心构建论据。要考虑的主要方面包括如下内容：

- 管理该设施开发不同阶段（如选址、建造、运行、关闭）的策略和方法；

- 所采用的策略如何应用良好的工程原则和实践；
- 不确定性的管理和降低；
- 在决策和多重推理方法的使用时慎重的程度；
- 设施设计中体现的安全特征及使用的多重安全功能；
- 处置系统抵御自然事件和过程以及人因过程的预期坚稳性；
- 选择评定方法学以及评定的时间范围和时间窗口的理由，包括对用于证实、确认和比较评定结果的各种不同评定方法和工具的讨论；
- 所开展的同行评审及其与国际导则和实践的一致性；
- 其他适宜的高水平论据。

安全评定

7.9. 安全评定一部分应用文件记录所开展的安全评定工作，它将建立安全论证文件的科学和技术基础。对安全评定工作的文件编写包括对评定的每个步骤、评定结果及结论的详细描述。由于涉及到大量的细节，以附件或单独的支持性文件记载详细说明、模拟和计算的方式可能会更加实用且更易于追溯。主文件应当关注评定中所采用的假设、方法和方法学，对影响安全的最具相关性的特征的讨论，评定结果及支持结论的论据。应当在安全评定的每个步骤和总体安全评定中用文件记录信心构建的论据。

总结及结论

7.10. 在对安全论证文件所有的支持性证据进行详述后，应当设立一部分来陈述支持结论的证据及建议。总结及结论这一部分应与第 7.2—7.9 段相一致：

- 归纳安全评定的关键结果；
- 强调量化和支持处置设施是安全的这一观点的主要证据、分析和论据；
- 陈述对不确定性的评价、未解决问题并讨论解决它们的计划步骤；
- 描述安全的辅助证据，如超出已开展的定量评定时间范围的安全证据；
- 陈述对考虑到对补充安全评定结果的附加证据和论据的信心的陈述。

后续计划及行动

7.11. 特别是当采用循序渐进方法编写安全论证文件时，把安全论证文件的每次修订纳入到总体编写过程的背景中是非常重要的。应当描述安全论证文件编写后续阶段的必要活动，例如收集补充数据或建模中的计划改进。如果仅当已实现决定点或里程碑（如关于该设施场址的决策）后才能继续某些活动时，那么应当识别这些活动。

安全论证文件和安全评定的可追溯性及透明度

7.12. 无论采用何种文件编写结构，在整个文件编写的过程中都有应当考虑的关键特性和因素，包括以下方面：

- 在安全论证文件背景中产生的所有文件，不论是用于监管机构的审批，还是用于提供信息或宣传，均应传达有关安全问题的一致性信息。换言之，信息应保持相同而不应为满足特定受众的期望而对其进行更改。附属文件和宣传材料中所包含的信息应与安全论证文件的主文件一致¹³。
- 安全论证文件的主文件应提供关于支撑关键安全论据和证据的充分信息，使其清晰易懂。
- 文件编写应表明安全论证文件是通过采用已证实的技术经验和分析以可靠的科学证据和论据为基础的。
- 文件应可不受限制的获得，并应说明不确定性和限制条件及其对安全的影响。
- 文件编写应是结构合理、透明和可追溯的。
- 文件编写应是透明的，以便该信息对相关各方是容易获取的、清晰易懂的，并清楚地阐述关键假设的正当性理由和理论基础；
- 文件编写应使得后续的程序、处置系统和安全论证文件编写过程中做出的关键决策都是可追溯的。这应当包括表明在早期阶段为证实所做的假设是如何提出后续行动和计划的，或是如何处理未解决的不确定性的和（或）将如何继续解决。也应当表明是如何

¹³ 一致性要求不排除根据读者强调不同的论据，由于可以通过不同的论据说服具有不同背景的人们。

通过一个清晰的参考文献体系，对关键决策进行书面证明和记录的。

- 文件还应清楚地表明需要把关于有组织控制措施的信息传递给下一代。
- 安全评定方法学应是结构合理、透明和可追溯的。它应使监管机构及其他技术评审者遵循该方法学的逻辑并容易地理解评定中所用的假设，以及如有需要复现该评定结果。
- 该评定应对所使用的实际方法提供一个完整的描述，以便识别并降低不确定性，并识别对安全影响最大的假设和不确定性。

7.13. 安全论证文件应根据一个系统的计划进行定期更新。营运组织应对该安全论证文件的批准过程及对安全论证文件所依据的和安全评定中使用的一套数据和参数值、模式、假想方案和计算机程序的更新实施进行适当的控制。只有当它们达到必要的成熟度时，才能让文件进入正式评审程序。

7.14. 以下评论与安全评定的透明度和可追溯性是相关的：

- 评定方法学应是结构清晰和阐述清楚的，并应清楚地阐明假设及其依据。定义明确和记载清楚的方法应当用于识别特征和过程、设计试验和实验、确定必要的仪器仪表、解释试验结果、创建概念模式以及分析和评价模式。
- 与假设是适宜的参数值范围的一致性一起，应当寻求假设之间的一致性。
- 应在安全评定的所有阶段实现一致性，且安全评定每个阶段的主要目标和方法也应是一致的。
- 评定从一次迭代到下一次迭代的演变对相关各方应是透明的（例如，应对新数据或对改变概念模式或数学模式的组成部分的原因给出解释），以免造成为了获得更有利的结果而操纵评定结果的印象。
- 应通过选择与国际经验和指导相一致的评定方法建立信心。
- 应制订一套正式的管理系统程序，并提供这些程序已经得到应用的证据。
- 作为管理系统程序的一部分，应建立并维持一个记录该设施及其安全论证文件所有方面详细信息的综合系统，包括安全评定。

- 应提供关于适当文献的准确和直接引文。

7.15. 相关各方都将有不同的利益，并将对安全论证文件中提供的与它们的利益和关注点更相关的论据进行仔细推敲。因此，可追溯性和透明度的必要程度可能取决于相关各方的期望。例如，技术评审者们将对安全论证文件阐述安全评定的问题给予密切关注，而一般公众可能对其他更定性的论据更感兴趣，如管理问题。因此，安全评定文件的简化版本对公众来说可能就足够了，然而监管机构将要求得到更加完整的信息。

7.16. 可追溯性使得对所做的决策和假设及得出结论所用的模式、参数和数据有一个清晰与完整的记录是必要的。该记录应包括关于何时以及由谁来做出各种各样的决策和假设、如何实施这些决策和假设、使用何种版本的建模工具及数据的最终来源是什么的信息。因此，可追溯性使得质量保证的最高标准成为必要。可追溯性还意味着监管机构或其他的技术评审者们应能够复现来自于该安全评定文件中的部分或所有的评定结果。通过一套分层次结构的文件展示该安全论证文件将大大提高可追溯性。

7.17. 为确保安全评定的可追溯性，以下问题应予以考虑：

- 构成安全论证文件的所有信息均应可追溯其来源。此类信息的来源可能包括安全论证文件编写过程中的观测值、测量值、研究工作、模拟研究以及所做决策和假设的记录。这些决策和假设可能基于专家判断或专家启发过程，该过程也需要适当的程序和文件记录。
- 有关可追溯性的要求取决于使用安全论证文件的个人或组织。旨在交由监管机构进行评审的安全论证文件的可追溯性应比营运组织内部使用文件中的可追溯性进行更加严格的描述。
- 如果安全评定是以迭代方式进行的，那么关于参考资料可能会有一种倾向，即简单地引用安全评定前次迭代中所做的决策（“自引”）。评审者可能需要通过一系列的文件溯源，才能找到最初的假设、参数值或决策，这可能是耗时的。而且，对包含在原始参考文献中对工作的附加说明和限制可能会随着后续的重复而丢失或淡化。这可以导致营运组织信心的降低，因此可能会降低评审者对该设施安全的信心。这种情况下应直接引用原始参考文献，且文件的每次迭代都应允许对其可追溯性进行直接评价。

- 应避免参考来自“灰色文献”的报告或涉及版权的著作或保密文件。如果评审者不能获得所参考的文件，那么把他们用作参考文献可能会打破可追溯性的链条。
- 保持可追溯性链条的完整性直至信息的原始来源的需求，往往会使文件越来越大并造成阅读困难。因此，可能需要在可追溯性和透明度之间做出取舍。两者之间的最佳平衡只能依据具体情况而定。

安全论证文件的使用

7.18. 安全论证文件的主要目标是，支持与处置设施的开发、运行和关闭阶段有关的决策。例如，在初期阶段，安全论证文件应当用于对比和评定不同的处置备选方案的可行性；随着处置设施开发计划的进展，安全论证文件应当用于帮助把工作聚焦并指向有关场址特性调查、研发以及设施设计；安全论证文件应当用于通知许可过程，以及为建立处置设施建造和运行的适当的限值、控制和条件做准备，这些内容应始终与安全论证文件保持一致。以下段落将更详细地探讨安全论证文件的应用。

备选方案的比较

7.19. 安全论证文件可以作为处置备选方案比较的依据，例如：

- 新处置设施的不同场址之间和场址特性调查与相关研究开发的优先级比较；
- 关于处置设施的不同类型、设计和深度的比较（如参考文献[33]）；
- 关于现有设施的不同风险管理和治理备选方案的比较（如参考文献[32]）。

数据获取及研究开发的优先级

7.20. 安全论证文件应把主题范围广泛的已知信息整合在一起，并提供判断其相对重要性的方法。在起初，安全论证文件可以是主要基于通用的数据，但随着处置设施开发计划的进展，安全论证文件将包括更多场址相关的信息。安全论证文件应适当地用于指导和确定支持数据获取和研发计划制定优先顺序，以便解决在安全论证文件中识别不确定性的重大问题。

设施的设计和运行

7.21. 在处置设施开发的整个过程，安全论证文件应用于帮助设施的设计。经合组织核能机构工程屏障系统项目（见参考文献[43]）提供了几个在工程设计和最优化中使用安全论证文件的案例。

7.22. 处置设施的运行应始终与安全论证文件保持一致，以使运行决策不会产生对处置系统长期性能的意外影响。在与安全相关的运行决策实施之前，应当在安全论证文件的一次更新中对它们进行调查研究。

许可证审批

7.23. 安全论证文件的一个主要功能是用于许可证的申请和审批过程。监管机构可能在许可证审批过程的各阶段，包括对处置设施的建造、运行和关闭的审批，以及处置设施的状态产生显著变化时，要求对安全论证文件进行修订。安全论证文件还应定期更新，以反映根据监管要求获取的最新信息。

8. 监管评审过程

8.1. 监管决策过程可能会涉及一个或几个监管机构，也可能会接受公众及其他相关各方的评审。如果监管机构采用一种协调的方式，从而使相关各方能够观察到监管决策是基于对营运组织准备并提交监管机构批准（见第3.8段）的安全论证文件进行一丝不苟和全面评审的，那么该决策过程的可信度就会得到提高。评审工作应当根据针对监管评审过程制定的计划实施，并应满足参考文献[44]规定的要求以及参考文献[45]提出的建议。在以下各部分讨论处置设施的安全论证文件和安全评定的监管评审过程的一些重要要素。为安全论证文件评审所提供的导则也是与其他评审过程相关的，例如营运组织的内部评审或独立的外部同行评审。

监管评审过程的目标与特性

8.2. 在制定安全论证文件的监管机构的评审目标时，应当考虑该设施的状态（如该设施是否是拟建的、正在开发、在运行中、正在进行再评定、已关闭或是处于长期监视中）以及安全评定的相关背景。

8.3. 监管评审的总体目标是，核实该处置设施在现在与未来将均不会对人体健康或安全，或环境造成不可接受的不利影响。为实现这一目标，监管评审过程通常将具有下述目标：

- 确定已制定的安全论证文件是否达到了一个可接受的水平（依据其所展现的质量以及认识的详细程度与深度）以及是否适合于既定目的；
- 核实安全论证文件及其所依据的假设符合或遵守已接受的放射性废物管理原则以及监管要求与期望；
- 确定安全论证文件是否为论证拟建造并将安全地运行提供一个充分且恰当的基础，为关闭后的充分安全提供合理保证；
- 核实是否已识别并提出用于缓解不太可能发生的潜在影响的相关措施，并为这些措施的实施制定了充分的后续计划；
- 确定监管机构要求营运组织解决的问题是否已得到明确地识别；
- 识别任何尚未解决的问题并核实已制定了解决这些问题的计划。

8.4. 根据监管评审的主要目标，为了便于安全论证文件的评价，通常将会规定许多二级目标，这些应包括安全论证文件的评价是否：

- 是在适当的背景下制定的；
- 在处置设施在开发阶段给出的，是足够完整的；
- 在数据和信息的展现中是足够透明的；
- 已准备了能胜任的人员应用批准的管理系统；
- 已经接受了独立的同行评审；
- 是基于适当的假设的，并使用了适当的评价技术与模式，并包含了令人满意的支持性证据；
- 证明对该处置系统有充分的了解，它包括对危害与相关假想方案的识别与筛选，如所有相关的安全功能和所有潜在的安全关注点；
- 清楚地描述限值、控制以及条件的识别、建立、正当性证明和限值的优化是如何进行的；
- 清楚地识别与该处置系统的假想方案（及输入数据与使用的模式）以及该处置设施的性能相关的不确定性；

- 提供有关任何辐射照射均已得到最优化的充分评定结果以及支持性的正当性，并证明安全已得到优化；
- 如果适当的话，包括对现有设施的治理措施的正当性与最优化的充分考虑；
- 阐述涉及应用于该处置设施的选址、建造、调试、运行和关闭的管理系统的所有相关要素（例如内部与外部监查、核实与论证、适当的合格且富有经验人员的使用、培训、对分包商的外包过程控制、与结论与建议相关的行动）；
- 证明在设施设计开发过程中已使用了具有充足纵深防御的良好工程实践；
- 确定有关安全论证文件的未来编写、处置系统的理解及场址有组织控制的计划。

8.5. 在确定评审的目标与范围时，应当加以考虑的相关要点包括：

- 场址的重要安全问题；
- 营运组织提供的安全信息的范围，以及可供监管机构用于评价这些信息的资源；
- 评审是否仅将考虑对人的辐射影响，或还要考虑其他影响，例如与风险废物材料相关的影响；
- 除了设施对环境的总体影响之外，评审是否将考虑对公众、工作人员和非人类物种的影响；
- 安全论证文件的哪些部分应当是评审重点；
- 监管评审结论的使用，例如，对于设施的许可证审批及为现有设施规定条件，是否将把它们用于营运组织与其他相关各方之间就许可证审批问题进行交流的内容。

8.6. 存在许多影响到监管评审质量与成功的关键特性。这些特性包括：

- 监管机构的要求与预期，以及判断安全的标准，应在这一过程的初期就明确地规定。安全论证文件与安全评定的完整性与质量通常取决于监管要求及监管机构的预期和方法的明确性。

- 监管评审过程应当不存在利益冲突。在评审过程中，应不允许评审组成员他们自己受到来自评审的授权范围与地位之外的内部与外部因素的不适当影响。
- 监管评审过程应当是有组织的且可追溯的，并明确各方的作用与职责以及决策过程。
- 监管机构应当在放射性废物设施安全评定方面具有专门知识和实践经验的人员，以及在此类评定所涉及的所有必要学科领域应当具有内部专家或能得到专家的帮助（见参考文献[44]）。
- 监管评审应当使用与安全论证文件的复杂程度和与正在考虑的处置设施相关的潜在风险相称的资源水平进行。
- 营运组织与监管机构应在整个监管评审过程中保持沟通。
- 监管评审过程应包括一个用于与相关各方磋商的框架，该框架具有明确定义的磋商步骤、议事规则与决策程序。通过在该框架内包括讨论该评审过程的进展及结果的方法，可以提高该评审过程的可信度。
- 在评审过程中应确保理论依据和判断得到文件化记录，以说明安全论证文件给出的论据是否得到基础科学与技术的足够支持以及这些论据是否符合监管要求与预期。

评审过程的管理

8.7. 应当把安全论证文件的评审管理本身作为一个项目，并对它应用良好项目管理原则（见参考文献[30]）。

8.8. 根据该评审的规模，可能会有必要为开展评审的人员组建专门团队。监管评审可由监管机构在具有或不具有外部组织的支持下实施，但是监管机构应对评审结果承担责任，并对结果拥有“所有权”。

8.9. 把评审过程作为组织总体管理系统的部分，已建立了良好的监管机构，其文件化的程序已经就序。

8.10. 评审过程的管理应当包括下述要素：

- 确定评审的目标与范围，及识别适用于安全论证文件编写的所有的国家与国际要求、导则与建议；

- 制定一个识别评审任务并处理其他相关主题的评审计划；
- 组建一个承担评审任务的由具有必要专门知识与经验人员组成的评审团队；
- 制定项目进度表，并为项目任务的实施配备资源，包括如果在后期阶段资源是有限的，对评审实施的考虑；
- 识别评审团队成员的职责，并确保他们接受了有关评审方法的充分培训和指导；
- 协调评审任务的实施，并确保评审团成员之间有充分的交流；
- 在早期阶段，识别任何领域监管导则的评议，对监管决策的形式是重要的但可能是不明确的或可能以不同方式进行解释的监管导则的任何领域的评审；
- 建立一个用于识别须由营运组织解决的问题的正式流程，和一个用于跟踪进一步考虑和解决该问题的机制；
- 在评审过程中对与处置设施营运组织及其他相关各方的交流进行协调；
- 评审与整合在评审过程中产生的文件；
- 评审结果的集成、文件化记录与交流。

8.11. 使用的评审程序应能让评审机构核实安全论证文件的评审是由胜任能力人员实施的且是以可追溯与监查的方式进行记录的。项目的具体程序应包括结构化方法，用于记录评审意见，详细说明必备的能力，详细说明评审中的职责与任务，记录评审意见的状态，以及处理所产生的有关安全论证文件的不同或反对观点或评审意见。当该评审包括由监管机构进行的监查或独立计算时，可能需要进一步的程序。

8.12. 对于每个监管评审，都必须有一份评审计划，以指导该评审的程序性或技术性问题。程序性指导应当包括记录评审结果的方法。技术性指导应当包括用于判断该安全论证文件的具体问题的标准。因此，该评审计划可以作为一个模板，用它能够制定一个项目的具体评审计划。项目相关的评审计划的案例包括为英国低水平废物处置场制定的计划[46]和为美国尤卡山项目制定的计划[47]。

8.13. 在尽实际可行的程度上，监管评审团队应当具有下述特性：

- 评审团队应当拥有适宜评审工作的一系列专门知识，包括在对待评审的具体安全论证文件最为重要的领域的实践经验。
- 评审团队应当拥有开展有关安全论证文件评审方面的经验。
- 评审团队应当了解将开展评审的背景（例如他们应当有对该设施以及控制其批准的法规方面的知识）。
- 评审团队应当对本国和其他国家的废物管理实践与计划有广泛的知识。
- 评审团队应当由其评审结果将被相关各方视为是可信的人员组成。
- 评审团队应当独立于营运组织，其成员应当未参与待评审安全论证文件的编写或任何支持性工作，并且未直接参与处置设施的管理、财务或运行。

监管机构对分级方法的使用

8.14. 安全论证文件的详细评审程度以及监管评审的范围应当遵守分级方法。关于该评审过程的深度与范围的决策，应考虑下述因素：

- 处置设施或处置系统部件所处的开发与运行阶段；
- 关闭后的危害与风险（后果与概率）的大小，并考虑相关场址因素、设施设计问题、待处置的废物、人类侵入的可能性等；
- 拟建处置设施或处置系统部件的复杂性、安全重要性和成熟度；
- 营运组织对成熟实践、程序与设计的使用；
- 关于类似设施或实践的运行性能可以获得的知识；
- 营运组织方面的因素（例如，营运组织的绩效记录及其在处置设施或该处置设施部件的设计与建造、过程设计、安全论证文件编写以及建立与使用管理系统方面的相关经验）；
- 来自类似处置设施（本国的或国际的）的相关经验；
- 其他主管当局的技术或安全关注。

评审的实施与评审结果的报告

8.15. 监管评审通常将有四个阶段：

- (a) 预评审阶段，在收到来自营运组织的任何文件之前，在此阶段应当进行该评审的初始规划：这通常应包括与营运组织就提供信息范围的发展和认识召开会议。
- (b) 初步评审阶段，在这一阶段，监管机构应当对提交的文件进行初步评价，以评定安全论证文件的完整性和支持性文件的可利用性，并初步识别最主要的安全问题：安全论证文件完整性的评价应当包括核实所提交的信息阐述了监管机构对该安全论证文件的所有预期。应当用文件记录这个核实，并应当编写一系列的详细的评审意见，这些可能需要附加信息。监管机构应当评审与评定由营运组织针对评审意见提交的任何附加信息。
- (c) 主要的技术评审阶段，在这一阶段将付出大量的努力：这应包括编写详细的评审意见，可能包括评价由营运组织针对评审意见提交的附加信息。
- (d) 完成阶段，在这一阶段应识别主要的评审结论，并供决策过程使用。

8.16. 除了评价由营运组织提交的文件之外，安全论证文件的监管评审可能包括独立专家与其他相关各方的参与。

8.17. 评审的完成阶段将包括编写最终评审报告。没有唯一的正确的方法和展示最终评审报告。每份此类报告将不可避免地需要根据所开展的具体评审进行专门编写。在最终评审报告中，监管机构应考虑包括下述内容：

- 引言：简要描述该评审的目的与背景、评审文件的标题与编写者、有关场址总的信息以及有关参与评审机构的信息，等。
- 评审的范围与目标：评审的高层次目标（包括提及适用的监管要求），以及与该范围有关的评审过程的总体概述等。如果评审报告既是一份总结报告（例如发放许可证之前的最终报告）又是一份部分评审报告，它们将有以前已完成的其他支持性评审报告，那么在这里与它们的通用范围和实用性一起，应当描述这些报告的概述。

- 适用的监管要求：进行评审时应遵守的规章条例、既定的程序和（或）国际建议的清单。应包括对法规、程序和（或）国际建议的关键要点的概述。
- 审批方法与过程：关于监管评审程序的描述，包括评审计划和该过程的步骤（初步评审、主要评审、修订文件的评审等）、与营运组织的互动、意见的分类、对意见格式的要求与识别意见的方式、评审团队内部互动等，以及对意见的决议。
- 评价的主要结果：应当用文件记录每一个评审领域的描述，并提及下述领域（包括营运组织响应监管意见能够解决相关问题的程度）：
 - 关键意见：这些是总结评审文件中存在的主要不足的一般性意见，涉及到高层次的问题，例如安全策略、背景，安全论证文件与安全评定的方法与结论，不确定性的处理（假想方案、模式与参数中的）、风险管理与最优化，与主要监管标准和导则的符合性，适当的限值与条件，以及未来安全论证文件的发展计划。
 - 具体意见：在考虑到对工程、地质、水文地质、化学、气候、生物圈和人类侵入的前提下，更为详细的评审结果，涉及到评审的主要技术领域，处置设施的特性、废物库存量以及放射性核素从该处置设施迁移至环境的模拟。
 - 未解决问题与不确定性：这些是关于尚未解决问题的意见。如果有必要的话，应当与为解决这些问题将所采取的行动一起，指出它们的相对安全重要性。在这里，应描述该处置设施批准的任何条件，并应给出其正当性的理由。
 - 结论：应当陈述评审结论以及关于在许可或批准时所考虑的问题，例如营运组织将提供的进一步信息，改进的安全评定工作，对场址或废物的监控及其他控制，有关废物库存量的限制、风险管理与废物验收标准。此外，应列出有关批准条件的建议。
 - 参考文献：评审中所考虑的参考文件清单，支持最终评审报告的支持性评审报告清单。应当用文件记录在评审中所使用的任何指导文件。
 - 证明构成评审团的个人值得信任的适当信息。

8.18. 在用文件记录评审意见和评价结果时，应确保：

- 应简要总结该安全论证文件编写所采用的方法及使用这种方法所获得的成果，并应提供具体的参考信息；
- 应当使用标准格式清楚地陈述任何重要的意见以及这些意见的依据，每条意见均应标以唯一的标识符，以便于对照参考；
- 应当指出评审意见与安全、系统的认识和（或）该设施控制的相关性；
- 应当清楚地陈述解决评审意见中识别问题所必需的行动。

参 考 文 献

- [1] 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）。
- [2] 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）。
- [3] 国际原子能机构《设施和活动安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 4 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。
- [4] 国家放射性废物管理局《2005 年档案：泥质地层地质处置库可行性综合评价》，国家放射性废物管理局，巴黎（2005 年）。
- [5] 国家放射性废物管理局《2005 年档案：地质处置库的建筑和管理》，4/497，国家放射性废物管理局，巴黎（2005 年）。
- [6] 国家放射性废物管理局《2005 年档案：地质处置库的现象学演化》，13/520，国家放射性废物管理局，巴黎（2005 年）。
- [7] 国家放射性废物管理局《2005 年档案：地质处置库的安全评定》，232/737，国家放射性废物管理局，巴黎（2005 年）。
- [8] 放射性废物处置国家合作组织《Nagra 2002a, Opalinus Clay 项目：乏燃料、玻璃化高放废物和长寿期中放废物处置可行性论证 — 安全报告》，放射性废物处置国家合作组织第 NTB 02-05 号技术报告，瑞士韦廷根（2002 年）。
- [9] 放射性废物处理国家合作组织《Nagra 2002b, Opalinus Clay 项目：乏燃料、玻璃化高放废物和长寿期中放废物处置可行性论证 — 安全评定的模式、程序和数据》，放射性废物处置国家合作组织第 NTB 02-06 号技术报告，瑞士韦廷根（2002 年）。

- [10] 核工业放射性废物主管《英国高水平废物/乏燃料参考库概念的初步关闭后评定》，英国哈德维尔（2006年）。
- [11] 比利时国家裂变材料和放射性废物管理局《安全评定和可行性中期报告 2》，比利时国家裂变材料和放射性废物管理局第 NIROND 2001-05F 号报告，布鲁塞尔（2002年）。
- [12] 波西瓦·奥伊公司《2008年安全论证文件计划》，POSIVA 报告第 2008-05 号，奥尔基洛托，芬兰（2008年）。
- [13] 瑞典核燃料和废物管理公司《Forsmark 和 Laxemar 的 KBS-3 贮存库长期安全-首次评价》，SR-Can 项目的主要报告，瑞典科学技术研究院第 TR-06-09 号技术报告，瑞典科学技术研究院，斯德哥尔摩，瑞典（2006年）。
- [14] 国际原子能机构《放射性废物地质处置设施》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-14 号，国际原子能机构，维也纳（2011年）。
- [15] 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）。
- [16] 国际原子能机构《矿石开采和冶炼中放射性废物的管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-1.2 号，国际原子能机构，维也纳（2002年）。
- [17] 国际原子能机构《放射性废物的分类》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-1 号，国际原子能机构，维也纳（2009年）。
- [18] 《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《情况通报》第 INFCIRC/546 号，国际原子能机构，维也纳（1997年）。
- [19] 国际原子能机构《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》（临时版），国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 3 号（临时），国际原子能机构，维也纳（2011年）。
- [20] 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）。

- [21] 国际放射防护委员会《放射性废物处置的放射防护方针》，国际放射防护委员会第 77 号出版物，培格曼出版社，牛津和纽约（1997 年）。
- [22] 国际放射防护委员会《用于长寿命固体放射性废物处置的辐射防护建议》，国际放射防护委员会第 81 号出版物，培格曼出版社，牛津和纽约（2000 年）。
- [23] 国际放射防护委员会《用于公众辐射防护目的的代表人的剂量评定与放射防护最优化》，国际放射防护委员会第 101 号出版物，培格曼出版社，牛津和纽约（2006 年）。
- [24] 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）。
- [25] 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）。
- [26] 国际原子能机构《近地表处置设施安全评定改进法》，安全评定改进法，第一卷 — 《审查和加强安全评定的方法和工具》第二卷 — 《试验案例》，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。
- [27] 国际原子能机构《放射性废物处置前管理的安全论证文件和安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-3 号，国际原子能机构，维也纳（修订版编写中）。
- [28] 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）。
- [29] 国际原子能机构《核电厂运行中的辐射防护和放射性废物管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.7 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [30] 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）。
- [31] 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）。
- [32] 英国环境署、苏格兰环境保护局《核场址最佳可执行环境选择研究的环境署导则》，环境署，布里斯托（2004 年）。

- [33] 英国原子能管理局《敦雷低放废物战略发展最佳可行环境选择研究》，英国原子能管理局第 GNGL (04) TR75 号报告，敦雷，英国原子能管理局，英国哈德维尔（2004 年）。
- [34] 经济合作与发展组织核能机构《放射性废物管理国际同行评审：通用信息和导则》，核能机构第 6082 号，经济合作与发展组织，巴黎（2005 年）。
- [35] 经济合作与发展组织核能机构《放射性废物领域的国际同行评审：关于安全论证文件原则和良好实践的调查问卷》，第 NEA/RWM/PEER（2005 年）2 号报告，经济合作与发展组织，巴黎（2005 年）。
- [36] 经济合作与发展组织核能机构《深地质处置库关闭后安全评定中时间尺度的处理》（研讨会论文集，巴黎，2002 年），经济合作与发展组织，巴黎（2004 年）。
- [37] 国际原子能机构《使用环境转移模式进行预测的可靠性评价》，国际原子能机构《安全丛书》第 100 号，国际原子能机构，维也纳（1989 年）。
- [38] 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）。
- [39] 经济合作与发展组织核能机构《核能机构放射性废物处置场未来人类行动任务组报告：未来人类在处置场的行动 — 放射性废物的贮存库的安全评定》，经济合作与发展组织，巴黎（1995 年）。
- [40] 经济合作与发展组织核能机构《放射性废物地质处置中的可逆性和可回收性》，经济合作与发展组织，巴黎（2002 年）。
- [41] GOLDAMMER, W., “基于概率风险优化方法在环境修复中的应用”，发表于 ICEM'95 第五届国际放射性废物管理和环境修复会议，柏林（1995 年）。
- [42] GOLDAMMER, W., NÜSSER, A., “成本效益分析作为环境恢复决策的依据”（WM99 图森会议论文集，亚利桑那州，1999 年），亚利桑那州图森（1999 年）。

- [43] BENNETT, D.G., HOOPER, A.J., VOINIS, S., UMEKI, H., “核能机构倡议与欧洲委员会合作：工程屏障系统在地质放射性废物库安全论证文件中的作用”（国际会议论文集，拉斯维加斯，内华达州，2006年），经济合作与发展组织，巴黎（2006年）。
- [44] 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）。
- [45] 国际原子能机构《监管机构对核设施的评审和评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-1.2 号，国际原子能机构，维也纳（2002年）。
- [46] DUERDEN, S.L., YEARSLEY, R.A., BENNETT D.G., “Drigg 低放射性废物处置场 2002 年关闭后安全论证文件评定的审查计划”，环境政策 — 风险和预测，导则说明第 44 号，英国环境署，布里斯托（2003年）。
- [47] 美国核管制委员会《尤卡山审查计划：征求意见报告草案》，第 NUREG-1806 (Rev.2) 号报告，美国核管制委员会，华盛顿特区（2002年）。

参与起草和审订人员

Abu-Eid, R.	美国核管制委员会
Avila Moreno, R.	瑞典 Facilia AB 电力公司
Belfadhel, M.B.	加拿大核安全委员会
Bennett, D.G.	英国泰拉萨鲁斯有限公司
Bruno, G.	国际原子能机构
Goldammer, W.	顾问（德国）
Hugi, M.	瑞士联邦核安全监察局
Kawakami, H.	日本核能安全组织
Metcalf, P.E.	国际原子能机构
Nys, V.	比利时联邦核管制局
Serres, C.	法国辐射防护与核安全研究所
Wollrath, J.	德国联邦辐射防护办公室

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: Gurguú 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: Medaković, 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：Siripirom, 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: Supakit, 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 • 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