

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

放射性废物近地表 处置设施

特定安全导则

第 SSG-29 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。

放射性废物近地表处置设施

国际原子能机构的成员国

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

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

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

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

国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-29 号

放射性废物近地表处置设施

特定安全导则

国际原子能机构
2024 年·维也纳

版权说明

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

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

© 国际原子能机构，2024 年
国际原子能机构印刷
2024 年 2 月·奥地利

放射性废物近地表处置设施

国际原子能机构，奥地利，2024 年 2 月
STI/PUB/1637
ISBN 978-92-0-502123-2（简装书：碱性纸）
978-92-0-502023-5（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險的安全标准”。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險，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 and 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共同目的。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。

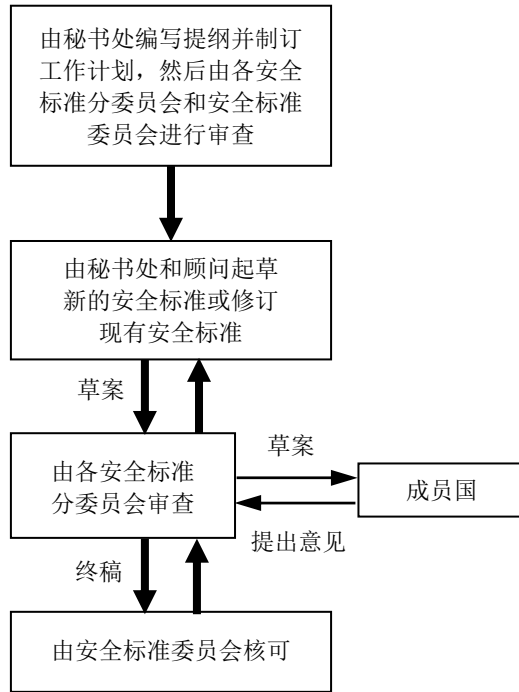


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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 (1.1-1.9)..... | 1 |
| 目的 (1.10)..... | 4 |
| 范围 (1.11-1.15)..... | 4 |
| 结构 (1.16-1.17)..... | 5 |
| 2. 近地表处置及实施概述 (2.1-2.7) | 6 |
| 3. 法律和组织框架 (3.1)..... | 9 |
| 政府职责 (3.2-3.4)..... | 9 |
| 监管机构职责 (3.5-3.10)..... | 10 |
| 营运者职责 (3.11-3.15)..... | 12 |
| 4. 安全方法 (4.1-4.4)..... | 13 |
| 安全在开发过程中的重要性 (4.5-4.17)..... | 14 |
| 包容 (4.18-4.26)..... | 18 |
| 隔离 (4.27-4.34)..... | 20 |
| 多重安全功能 (4.35-4.42)..... | 22 |
| 非能动安全 (4.43-4.46)..... | 24 |
| 非能动安全特性的监视和控制 (4.47-4.51)..... | 25 |
| 5. 安全论证文件和安全评定 (5.1)..... | 26 |
| 安全论证文件的编写 (5.2-5.11)..... | 26 |
| 安全论证文件和安全评定的范围 (5.12-5.27)..... | 31 |
| 安全论证文件和安全评定文件的编写 (5.28-5.33)..... | 36 |
| 对关闭后安全的充分了解与置信度 (5.4-5.38)..... | 38 |
| 6. 逐步开发近地表处置设施的要素 | 39 |
| 逐步建造和评价 (6.1-6.5)..... | 39 |
| 场址表征 (6.6-6.18)..... | 41 |
| 设计 (6.19-6.28)..... | 45 |
| 废物接收 (6.29-6.38)..... | 47 |
| 建造 (6.39-6.46)..... | 50 |
| 运行 (6.47-6.61)..... | 51 |
| 关闭 (6.62-6.73)..... | 54 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 7. 安全保证 | 56 |
| 监控计划 (7.1-7.5)..... | 56 |
| 关闭后和有组织的控制 (7.6-7.15)..... | 57 |
| 国家核材料衡算和控制系统 (7.16-7.17)..... | 59 |
| 安保 (7.18-7.19)..... | 60 |
| 管理系统 (7.20-7.33)..... | 60 |
| 8. 现有处置设施 (8.1-8.10) | 63 |
| 附录 I 近地表处置设施选址..... | 67 |
| 附录 II 场址勘查和场址表征导则和数据需求 | 71 |
| 参考文献 | 79 |
| 参与起草和审订人员 | 83 |

1. 引言

背景

1.1. 放射性废物是预期将来不再使用的气、液或固态放射性物质。它包含放射性核素，或被放射性核素污染，其放射性浓度或放射性活度大于监管机构规定的清洁解控水平。放射性废物来自于核电厂和研究堆运行、核燃料循环设施运行和使用放射性物质的其他活动（包括工业、研究和医疗活动）。放射性废物会对人类健康和环境带来潜在危害，必须加以管理，以确保相关风险不超过可接受水平。

1.2. 原子能机构《安全标准丛书》第 SF-1 号《基本安全原则》[1]，确定了适用于所有放射性废物管理活动的安全原则。这些原则构成了《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》[2]技术基础。原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 3（暂行）号《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》（暂行版本）[3]，规定了辐射防护的相关要求。原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-5 号《放射性废物处置》[4]，规定了放射性废物处置的安全要求，以及关闭后阶段的辐射防护安全目标和标准。这些安全目标和标准见方框 1。

1.3. 如 SSR-5[4]第 1.8 段指出：“‘处置’一词是指将放射性废物放置于某个设施或场所中，不打算回取。术语‘处置’意味着不打算回取，但并不意味着回取是不可能的。”处置设施设计旨在包容废物，并将之与可能到达的环境隔离，隔离的程度取决于废物的危害。尽管放射性废物带来的放射性危害将因衰变而随时间减少，但放射性危害明显保持的时间尺度可能延续很多代，取决于所含核素。因此，放射性废物处置强调通过非能动手段获得长期安全的措施。

方框 1：关闭后阶段的辐射防护和安全目标

安全目标

处置设施进行选址、设计、建造、运行和关闭直至关闭后的防护是最优化的，社会和经济因素得到了考虑。从长远来看还必须提供一个合理的保证，即以公众不会超过以下剂量或风险限值作为设计标准。

标准

- (a) 所有计划辐照对公众造成的年有效剂量的限值是 1 毫希沃特。^a 这一点及其风险当量被认为是未来不可超过的标准；
- (b) 为符合该剂量限值，处置设施（被视为单一来源）设计应确保未来可能因自然过程^b 代表人的外照射计算剂量或风险不会超过一年内 0.3 毫希沃特的剂量限值或每年 10^{-5} 次的风险限值^c。
- (c) 若关闭后预计人类意外侵入影响不会导致现场周围居民的年剂量超过 1 毫希沃特，则没必要做更多努力减少侵入可能性或限制其后果；
- (d) 如果预计人类侵入可能导致现场周围的居民年剂量超过 20 毫希沃特（见参考文献[5]表 8），则考虑选择其他处置计划。例如，采用地表下废物处置或分离产生高剂量的放射性核素；
- (e) 如果显示年剂量 1—20 毫希沃特范围（见参考文献[5]表 8），则有必要在设施开发阶段通过优化设计减少人类侵入的可能性或缓解其后果；
- (f) 同样的考虑也适用于可能超过器官确定性影响相关阈值的情况。

资料来源：SSR-5[4]第 2.15 段。

^a 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、经合组织核能机构、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》，《安全丛书》第 115 号，国际原子能机构，维也纳（1996 年）。

^b 自然过程包括设施寿命内的预计工况，以及发生可能性较小的事件。但极低概率事件不在考虑范围内。

^c 本句因处置设施造成的风险应理解为可致命癌症或严重的遗传病影响。

1.4. 相反地，“贮存”一词是指将放射性废物存留在一个设施或场所中，并打算回取”（参考文献[4]第 1.9 段）。因此，贮存预期未来有行动，如对废物进一步整備或包装，维护贮存设施，或为进一步贮存与最终处置建造新的贮存设施。原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 5 号《放射性废物的处置前管理》[6]和第 WS-G-6.1 号《放射性废物的贮存》[7]专门对放射性废物贮存做了规定。

1.5. 在任何给定条件下，处置系统（即：处置设施和所处环境）的选择取决于多种因素，包括待处置的废物量。特别是，满足安全要求所采取的方法应与废物的危害和危害长期性（即各个核素的数量和浓度）以及废物处置所在场址的环境条件相匹配。对于可在近地表处置设施中处置的废物类型，存在很多可开发处置项目的情形，例如，核设施退役和场址去污，或者事故后场址修复都可能产生大体积的极低放废物（VLLW）。在这种情况下，就近考虑处置这类废物处置可能是有重要意义的选择。相反地，在一个国家或地区，相当小体积的低放废物（LLW）由多种来源产生，这可能需要一个集中设施，对其进行选址、开发、运行和关闭。

1.6. 本“安全导则”就如何满足 SSR-5[4]安全要求提出了建议，包括放置于地表或近地表中指定设施放射性固态废物的处置。近地表处置适用于主要含短寿命核素（半衰期小于约 30 年的核素被认为是短寿命的）并只含较低浓度长寿命核素的废物。一些国家已经实践了几十年，所获经验已经在本“安全导则”的制定中加以考虑。

1.7. 本“安全导则”的目的是为种类宽泛的适于近地表处置的放射性废物的处置提供指导[8]。应按照分级方法应用本“安全导则”，应与待处置废物存在的固有危害相协调。

1.8. 近地表处置设施的安全分析方法与核设施相比，存在显著不同。这主要是由于核设施，如核燃料制造厂、核电厂或后处理设施在其运行寿期内具有生产的功能，如发电。核设施依赖于其能动安全系统的运行限值和条件。与核设施不同，放射性废物处置设施的核心功能是提供长时间的非能动安全。然而，为确保设施运行安全和关闭后的性能，运行限值和条件对近地表处置设施仍然是重要的。

1.9. 本“安全导则”替代早期《安全丛书》第 111-G-3.1 号《近地表处置设施的选址》。¹

目的

1.10. 本“安全导则”的目标是为放射性废物近地表处置设施的开发²、运行、关闭和监管控制提供指导和建议，以满足 SSR-5[4]制定的安全要求。本“安全导则”主要为参与政策制定、监管控制与使用近地表处置的人员使用。

范围

1.11. 本“安全导则”中的“近地表处置”一词是指一系列的处置方法，包括将放射性固体废物放置于壕沟、地上工程结构、地表下工程结构和在地下数十米挖掘的岩洞、地窖和隧道中。本“安全导则”为适于处置极低放废物和低放废物的这类设施的开发、运行和关闭提供一般性指导[8]。本“安全导则”不适用于在几百年内不能衰变到安全水平的中放废物（ILW）或高放废物（HLW），这两类废物都不适于近地表处置。本“安全导则”不涵盖铀矿冶废物或包含天然产生的放射性物质的废物（NORM）的处置，或放射性废物的钻孔处置；这些议题见参考文献[9、10]。

1.12. 本“安全导则”主要关注近地表处置设施在选定场址后与开发、运行和关闭相关的活动。应该指出的是，选址包括一系列活动，从最初的概念设计和场址选择到拟建造处置设施场址的确定。选址活动开展框架，同时也是采用近地表处置计划决策的基础，其与社会背景和处置项目开发的决策方法具体相关[11、12]。关于选址科学和技术方面的一般建议见附录 I 和附录 II。

¹ 国际原子能机构《近地表处置设施的选址》，《安全丛书》第 111-G-3-1 号，国际原子能机构，维也纳（1994 年）。

² “开发”涵盖近地表处置设施运行之前的所有阶段。它包括选址、设计、建造和调试。

1.13. 在放射性废物处置设施开发中将可回取性纳入设计或运行规定，包括废物货包的可能回取，已经在几个国家的计划中加以考虑。相关各方具体沟通过程中可能提出这一要求。SSR-5[4]第 1.25 段指出：

“不能允许以某项特殊规定使废物回取成为可能或可便于废物回取为由而对安全标准或要求有任何放松。必须确保任何此类规定都不会对处置系统的安全或性能造成不可接受的不利影响。”

本“安全导则”适用于所有的近地表处置设施，不论可回取性是否已纳入设计或运行计划。

1.14. 废物运输到近地表处置设施的安全见原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 号《放射性物质安全运输条例》（2012 年版）[13]。一些运输到近地表处置设施的废物可能需要在放置入处置设施之前对废物货包做进一步处理和整备。对于与近地表处置设施配套的废物处理和整备设施，其安全导则未在本“安全导则”中提供。原子能机构关于核燃料循环设施和废物处置前管理的安全标准适用于这类设施[6、14]。

1.15. 放射性废物近地表处置设施的核安保方面不在本出版物范围之内。然而，本“安全导则”确定了哪些安保措施与安全目的相关。核安保方面的导则见《核安保丛书》出版物（见参考文献[15、16]和辅助导则）。

结构

1.16. 第 2 部分提供了近地表处置及其实施的概要，以及开发近地表处置设施的逐步方法；第 3 部分提供了法律和组织基本结构的指导；第 4 部分讨论了安全方法和设计原则；第 5 部分为安全论证文件和安全评定的准备提供指导；第 6 部分描述了在近地表处置设施开发、运行和关闭过程中各特定步骤的指导；第 7 部分提供了安全保证的指导；第 8 部分针对现有处置设施。附录 I 和附录 II 提供了有关近地表处置设施选址的更多信息和指导，特别是数据需求。

1.17. SSR-5[4]制定了 26 条安全要求，适用于放射性废物近地表处置。为了方便和可追溯性，本“安全导则”首先重述了 SSR-5[4]每一个要求的文本，随后介绍了相关建议。

2. 近地表处置及实施概述

2.1. 近地表处置是指将主要包含短寿命核素的固态，或固化放射性废物放置在位于地表或近地表的处置设施中。处置深度选择和建造的设施类型取决于许多因素，包括但不限于，废物特性和备选场址当地的环境条件。近地表处置设施的一个重要特征是在场址关闭后可能需要一段时间维持有组织的控制，这是防止设施及其内容物受到人类活动干扰的要求。然而，正如 SSR-5[4]第 3.48 段指出：“放射性废物处置设施的长期安全不应依赖能动的有组织的控制”。

2.2. 对大多数放射性废物而言，废物浓缩与包容后将废物与生物圈隔离是可以接受的管理策略[4]。包容和隔离可以通过多重屏障实现，例如，废物体本身、废物容器、设施设计的其他工程特征和当地环境，其中的每一道屏障都以某种方式防止放射性核素从废物体排放或限制污染物从设施迁移到可接近的环境。

2.3. 近地表处置设施选址、建造和运行的整个项目可能持续较长时间，通常为几年到几十年。在辐射安全的背景下，通常将与处置设施建造、运行和关闭相关的三个广泛时期确定为：(i) 运行前阶段；(ii) 运行阶段；(iii) 关闭后阶段[4]。这些术语是常用的，也应认识到：在废物处置设施开发的背景下，整个开发过程（包括传统上称为运行阶段）实际上都有助于处置设施的最终关闭，之后为了在必要的时间限度内包容和隔离废物，设施继续非能动地执行功能。实际上，对于近地表处置设施，工程屏障系统的某些关键部件可能直到设施关闭时才安装。

2.4. 考虑到这一点，能够确定以下阶段：

- (a) **运行前阶段**包括概念确定、场址勘查与定址、安全评定、设计研发与优化，以及建造。在运行前阶段，通常需要开展选址、详细的场址表征和环境影响评定研究，以及运行和关闭后安全论证文件相关方面的编写，以便获得授权进行近地表处置设施建造和废物放置前的任何调试活动。附录 I 和附录 II 提供了关于选址的进一步建议。
- (b) **运行阶段**始于处置设施首次接收废物。从这时起，废物管理活动可能导致辐射照射，必须按照防护和安全的要求进行控制。经验表明，运行阶段可能与废物放置系统的建造和数据采集同时进行。这提供了灵

活性，例如，使得设施的设计能够根据经验和监管过程进行修改。监控和试验项目应持续进行，为支撑处置设施最终关闭决策提供证据，同时，进一步更新和编写运行阶段和关闭后阶段安全论证文件。运行阶段必要时可包括延长的性能监控和关闭前的废物回取。运行阶段在放置最后一批废物货包放置和设施最终关闭后结束。

- (c) **关闭后阶段**始于下列时刻：废物接收、处理和放置的操作已经结束，已经完成设施覆盖和（在岩洞、地窖和隧道中处置的情形下）始自地表的长廊与进入路线都已经密封。关闭后，处置设施的安全由场址和设施特性中固有的非能动方法提供，虽然有组织的控制可能会存在或持续一定时间，如控制进入场址，或控制场址使用。废物中所含长寿命放射性核素的浓度和总量越高，场址越易受到破坏性事件的影响，所需的这类控制时间就越长。然而，基于安全评定的目的，通常假定防止人类侵入能动的有组织的控制只在有限时间内持续（典型的为几百年），只要合理可能，安全将由非能动手段保证。

2.5. 近地表处置设施的开发、运行和关闭可能持续很多年。在这一给定时间期限情况下，由于支撑这些过程（例如，采集废物和工程活动的的数据、场址特征调查和支撑安全论证文件的其他活动）所需的信息体量大，种类多，宜将计划分为一系列包括正式阶段的步骤。对于这些正式阶段，在决策之前对项目进行评审并开展安全评价[4]。这种逐步方法以迭代方式增加对安全的信心，并有助于所有关键决策正确进行。作为一般性规则，在每一个关键决策点上的监管评审还为独立技术评审和相关各方参与提供了机会。图 1 列出了处置设施从早期决策阶段到关闭后阶段的典型步骤。

2.6. 在选择场址后，如上文所述，应在广泛的领域内分组开展大量活动，一即详细的场址表征和表明场址满足选择标准的场址确认、处置设施设计、处置设施建造、处置设施运行（即，接收和处置废物）和处置设施关闭后三个活动对应于近地表处置设施监管批准中的三个重要步骤（见图 1）。场址表征和设计活动，以及相关记录的保存应持续进行，在某种程度上持续到设施关闭。还应将关于处置设施的关键信息存放在合适的档案中。

2.7. 逐步的过程还提供了灵活性，使得程序可以调整，以应对新的技术信息。逐步过程有利于在处置设施开发、运行和关闭过程中考虑可回取性，并在每个步骤中能就是否进入下一步骤进行决策，在决策之前等待额外的信息，或者否定决策。

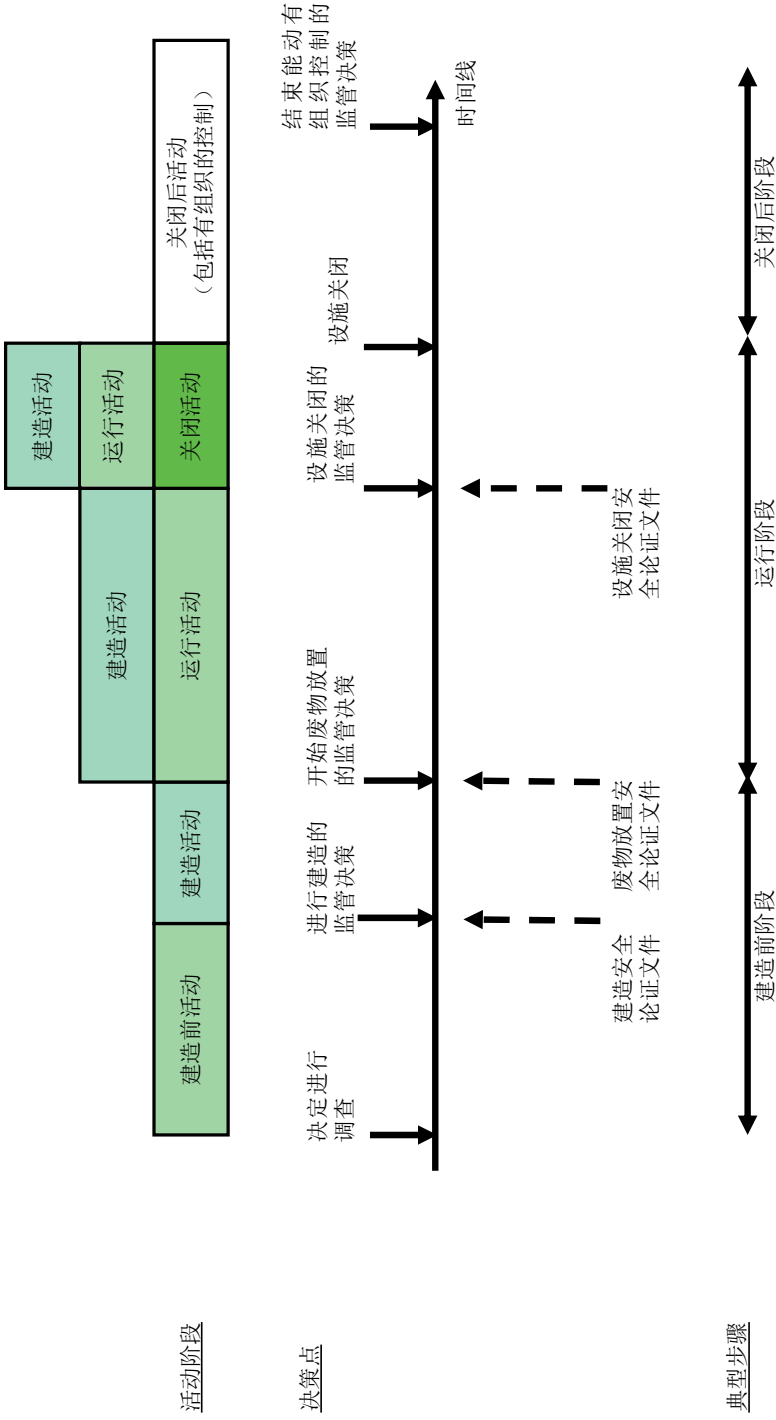


图1. 近地表处置设施的开发、运行和关闭的时间表。

3. 法律和组织框架

3.1. 近地表处置设施开发、运行和关闭要求对三类组织进行职责分配：国家政府、指定的监管机构和设施营运者。本部分提供了每个组织职责的建议。

政府职责

SSR-5[4]要求 1：政府的职责

“政府需要制订和维持促进安全的适当政府、法律和监管框架，并须在此框架内就放射性废物处置设施的选址、设计、开发、运行和关闭进行明确的职责分工。这必须包括：在国家一级确认建造各种类型的处置设施的必要性；确定各种类型设施建造和许可证审批的步骤；以及进行明确的职责分工，确保财务和其他资源以及对计划建造的处置设施规定独立的监管职能。”

3.2. 如 SSR-5[4]第 3.7 段指出，近地表处置的国家法律和组织框架须包括：

- (a) 制订不同类型放射性废物长期管理的国家政策和战略；
- (b) 针对涉及近地表处置设施开发、运行和关闭的组织，明确规定其法律、技术和财务责任；
- (c) 确保财务预算的充足和保障，例如，要求废物所有者建立单独的基金；
- (d) 确定处置设施开发（选址、设计和建造）、运行和关闭的全部过程，包括每一阶段的法律和监管要求、决策过程和相关各方参与机制；
- (e) 确保可以得到必要的科学和技术专业知识，用于支持场址和设施建造、运行与关闭、独立监管评审和其他国家评审职能；
- (f) 界定法律、技术和财务责任，并在必要时规定关闭后设想的任何监管机构的安排，包括为确保处置废物的安保可能需要的监控和安排。

3.3. 政府应确保监管机构独立于废物产生者和处置设施营运者。监管机构应拥有在废物管理和处置活动评价中提供监督和客观性的专家。在监管机构中工作人员应充分独立，不受废物产生者和处置设施营运者的影响。政府应开展定期评审，评价监管机构的效率和完成任务的能力。

3.4. 依照国家的法律和优先权，政府应确保受项目成果直接或间接影响的相关各方在项目的合适阶段参与决策。应建立一个清楚和正式的认识相关各方和决策者的程序，以促进信息和观点的有意义交流。相关各方参与放射性废物近地表处置决策过程的方式随国家法律、法规和优先权而不同。相关各方参与决策框架制订能够促进公众对政府行为的信心，使监管机构更加有效并提高运营者的安全绩效[12]。

监管机构职责

3.5. 这些建议针对单一监管机构，但应该认识到，实际上，对近地表处置设施安全的监管可能涉及致力于核安全、工业安全、环境保护和辐射防护并行活动的多个监管机构的参与。原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 1 号《促进安全的政府、法律和监管框架》[17]规定的有关废物管理监管机构的特定作用和职责如下：

- 开展许可证、视察和监管执法；
- 为政府制定国家政策目标提供独立的建议；
- 发布和更新针对近地表处置设施的法规、导则和其他监管标准。

SSR-5[4]要求 2：监管机构的职责

“监管机构必须制订不同类型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开发、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。”

3.6. 监管机构提供对国家法律和监管要求解释的导则，特别是提出能够和在应该在特定处置设施中处置的废物类型。应为运营者对各单一设施的开发、运行和关闭，以及设施的许可证提供指导，特别是对在正式取证过程开始前，监管机构和运营者之间的相互作用提供指导。监管机构应与废物产生者、处置设施运营者和其他相关各方进行对话，确保监管要求适当和切实可行，并被各方清楚理解。

3.7. 监管机构应具备合格的工作人员和合适的管理系统，具备独立评定能力并参加必要的国际合作以便履行其监管职能。

3.8. 在制定针对近地表处置设施的法规、导则和其他监管标准时，监管机构应确保与国家政策和 SSR-5[4]设定的目标与标准一致。这些法规导则可包括：

- 运行和关闭后安全的辐射防护、环境保护标准；
- 对处置设施安全论证文件内容的要求，包括安全评定和管理系统；
- 处置设施选址、设计、开发、运行和关闭的标准和要求；
- 废物、废物体、包装、一切回填和密封材料，以及设施其他组成部分的标准和要求；
- 相关各方参与的要求。

3.9. 监管机构必须建立并以文件说明用于评价近地表处置设施安全的程序，以及营运者在申请许可证审批过程中和在证明与安全要求的符合性时需要遵守的程序[4]。监管机构制订的程序应涵盖以下内容：

- 对营运者提供信息的规定；
- 评审需提交的材料和与监管要求一致性的评定；
- 签发批准和许可证，规定满足法律和法规的条件；
- 授权条件导则；
- 营运者数据收集、安全评定、建造和运行中的质量保证活动，以及与法规和批准书与许可证条文符合性的视察与监查；
- 对批准、许可证和视察程序的定期评审，以确定其持续适宜性或者修改的需求；
- 相关各方的参与；
- 终止监管控制的要求。

3.10. 监管机构应为评审安全论证文件和辅助安全评定建立自己独立的能力。该能力由具备关键知识、技术和能力的人员来保证，并要求其能评审和严格评价申请者与许可证持有者提交的申请资料。监管机构应能够开展，或安排独立研究与评定，以批准近地表处置设施开发、运行和关闭许可证，如有必要可由技术支持机构参与。监管机构应参与必要的国际合作，以履行其监管职能。独立评审能力可以通过与学术机构和国家实验室（在可获得时）签订正式协议来建立和维持。对于可能出现利益冲突的地方，可通

过专门的商业契约协议建立和维持独立评审能力。还应定期评审法规和导则的充分性。如果监管机构认为该组织正在开展的研究是合适的，具有足够的质量并有独立的专家评审，则可能没有必要开展独立的研究。

营运者职责

SSR-5[4]要求 3：营运者的职责

“放射性废物处置设施的营运者必须对设施安全负责。营运者必须开展安全评定并编写和保持安全论证文件，并须根据国家战略和遵照监管要求在法律和监管基础结构范围内开展有关场址选择和评价、设计、建造、运行、关闭及必要时进行关闭后监视的一切必要活动。”

3.11. 在开发近地表处置设施设计过程中，营运者应建立一个安全策略，清楚地阐述设施如何符合所有的安全要求。该策略应说明如何应用安全原则，并应考虑待处置放射性废物的特性和数量、可获得的场址特征、可获得的工程技术和国家法律基础与监管要求。安全策略还应表明管理系统如何保障所需的质量，在其他事情上，应建立必需的工作组织框架（例如，设计者、评定者、场址勘查者和研究者之间的相互作用）。应在设施的安全论证文件中描述安全策略，安全论证文件由营运者按照原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-23 号《放射性废物的处置安全论证文件和安全评定》[18]提供的详细指导编写。

3.12. 在开展所需的研究中，营运者必须对场址和用于建造与运行的材料（包括包装和其他工程材料）开展一切必要的调查，以支持对近地表处置设施安全依赖过程的认识。营运者必须评定材料在给定应用条件下的适宜性，并必须确保安全评定可获得所需的其他数据[4]。

3.13. 营运者必须制订技术规范，以确保处置设施按照监管要求和安全论证文件进行开发、运行和关闭。该技术规范必须包括废物验收标准的制订与使用，以及在开发、运行和关闭期间应用的其他控制和限值[4]。

3.14. 营运者应鉴别和寻求防止实现长期安全目标与运行目标间的潜在冲突：例如，运行方便不应危及长期安全功能，也不应为了长期安全让现场工作人员受到不当风险。

3.15. 营运者应向监管机构提供与安全论证文件和辅助安全评定有关的一切资料，以及任何其他必需的文件，以证明安全，并通过迭代方法，证明符合监管要求和设施技术规范。这类信息和记录须由营运者保存直至转交到具有这一职责的另一个组织，例如在关闭时[4]。对运行和关闭后长期保存记录的要求，应在选择这些记录的位置、格式和介质时加以考虑。

4. 安全方法

4.1. 安全方法包括确保近地表处置设施整个寿期内保护人类和环境的所有方法。由于放射性废物处置设施长期安全不应依赖于能动的有组织的控制[4]，近地表处置设施安全在很大程度上取决于所选场址的质量和设施包容与隔离废物的设计能力。这强调了近地表处置设施实际建造和运行之前的开发过程中所有步骤的重要性。

4.2. 在为放射性废物近地表处置建立的国家政策框架系统中，营运者应同监管机构商定，在正式的安全策略文件中规定国家政策的要素，安全策略文件应在处置项目中尽早编写，并定期更新。安全策略是为实现安全处置采取的高水平综合方法。它应包括场址选择策略和处置设施的设计、开发、运行和关闭策略。此外，它应包括编写和维护安全论证文件的建议，以用于对假定的有组织的控制持续期的决策和监管审批程序中（见第 5 部分）。在近地表处置设施开发与运行的整个过程中，安全应是所有决策的核心和主要考虑因素。

4.3. 制定和定义安全策略应是营运者的责任，营运者根据处置的国家政策制定和应用安全策略。营运者应考虑国家的监管框架、国际标准和法律文件，以及社会和经济因素带来的所有约束。监管机构应在近地表处置设施开发的早期阶段和正式许可证之前对营运者制定的安全策略进行评审。

4.4. 原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 3 号（暂行）[3]要求和《国际放射防护委员会 1990 年建议书》[19]建议假定：依照受照人群组的恰当定义，保护人类免受近地表处置设施的放射性危害，也能够保护环境免受这种危害。保护环境免受电离辐射的有害影响，以及为此建立标准的讨论见参考文献[20、21]。

安全在开发过程中的重要性

SSR-5[4]要求 4：安全在处置设施建造和运行过程中的重要性

“在放射性废物处置设施整个建造和运行过程中，营运者必须建立对现有设施方案的安全相关性和安全影响的了解。其目的是为运行阶段和关闭后提供最佳安全水平。”

4.5. 如 SSR-5[4]第 2.15 段指出（见方框 1）：

“安全目标是对处置设施的选址、设计、开发、运行和关闭应做到：在考虑社会和经济因素的情况下使关闭后阶段的防护达到最优化。还必须提供一项正当性的保证，即对公众产生的剂量和风险从长远看将不会超过设计标准采用的剂量约束或风险约束水平。”

4.6. 当应用于近地表处置设施时，SSR-5[4]要求通过以下方式确保长期安全：

- (a) 处置设施包容废物和将之与可接近的生物圈隔离的功能；
- (b) 有助于废物包容与隔离的场址功能；
- (c) 对废物量（主要指在设施中处置的长寿命放射性核素）的限值；
- (d) 监控与控制处置设施及其周围环境的措施，用于防止或限制任何可能破坏设施屏障和导致受照增加的人类活动。

4.7. 近地表处置只是适于极低放和低放废物的处置计划，而中放废物和高放废物货包含有大量长寿命放射性核素，必须在更深的地质处置设施中处置。选址与设计良好的地质处置设施，其目标是确保在极长时间尺度上（几万年到几十万年）包容和隔离放射性废物，而近地表处置设施位于地表或接近地表，容易受到相关过程和事件的影响，导致其包容和隔离能力在较短的时间（几百年）内发生退化。对于近地表处置，由于设施位于生物圈中，大多数人类活动都可能发生，在有组织的控制期结束后发生人类侵入的可能性远大于地质处置。因此，必须考虑有组织的控制期结束后的人类侵入，应评定和确认放射性总量限制的充分性，主要是对废物货包中可允许的长寿命放射性核素数量的限值。

4.8. 近地表处置设施的开发、运行和关闭涉及场址特征评价和设计的反复迭代过程，以及安全论证文件和辅助安全评定的演化，以达到运行和关闭后安全的最优化水平（见 SSR-5[4]附录）。在这一过程中，应识别待处置废物的所有相关特性，并应在设施设计和安全评定中加以考虑。这一迭代过程可能需要几年时间，同时，一些关键决策应随着项目开发逐步地进展，如设计概念、场址、详细设计、允许废物量的选择和设施的建造。在这个过程中，通过对计划的评价与比较，进行处置设施及其安全性能的优化。一般地，处置设施优化应从较战略性的考虑向设计与运行的细节选择发展。对近地表处置设施长期安全的优化主要通过场址选择，设施设计以及保守的安全评定方法实现，保守安全评定方法用于设定对废物量的充分限制。社会、经济因素和自然因素可能会限制设施选址的可行计划，如处置设施的公众可接受性、地表地质，但是，设施设计优化应考虑所有有利与不利的场址特征，并应基于最佳实践。

4.9. 应根据当前可获得的定量或定性信息，以及对这些信息的信心进行决策。因此，对可能影响设施安全的不确定性进行系统识别与评定应是设施开发、运行和关闭的一部分，并在每个直接或间接与设施安全相关的主要决策点中作为考虑因素。设施开发、运行和关闭的决策还受外部因素影响，如国家政策和优先权。

4.10. 在每个主要决策点（选址、设计、运行、关闭和关闭后），应对安全建立足够水平的置信度，使得在考虑所有相关的社会和经济因素后，能对已有计划进行评价，选出最佳的防护计划。如果多个计划都能够提供所需的和优化的安全水平，则必须考虑安全之外的其他因素。这些因素包括公众可接受性、成本、场址所有权、现有的基础设施和运输路线[4]。

4.11. 在场址表征、处置设施设计与安全评定的反复迭代过程中，应识别对处置系统安全关键的组成部分。应具备不同的互补方法，以便对这些关键的组成部分进行识别：

- 在设计过程中，根据纵深防御原则对每一组成部分的安全功能进行分析；
- 在反复的安全评定过程中，汇总系统所有安全相关的要素，以及关于系统组成部分性能与演化的所有可获信息（包括对不确定性的系统分析）；

- 从满足功能要求角度，评定系统及其组成部分运行的技术可行性。

4.12. 应采用标准化和适当的检验方法，对关键组成部分进行恰当可行的检验，以获得对其在所要求时间尺度上执行所要求功能能力的置信度。如果应用新技术，它们应在与项目进度相适应的时间框架内开发和检验。聚焦于关键组成部分的研究活动，应用于进一步增加对系统及其组成部分性能的认识。这些研究活动应导向：**(a)** 进一步优化，即便系统开发已开始；或 **(b)** 安全评定改进，使系统性能与安全得到更精确评定。关于处置系统关键组成部分的持续研究项目是安全策略的重要组成部分。然而，如果系统安全没有足够水平的置信度，这一研究项目不能用来证明项目早期决策的正当性。

4.13. 运行安全应借助能动和非能动控制系统提供。能动控制系统包括运行控制（例如，对进入废物的表面污染或接触剂量率进行控制，以及对废物放置活动进行控制）和放射性排放的监控，而非能动系统包括工程特征，例如屏蔽。在建立运行安全系统过程中应考虑正常运行工况、预计运行实践工况、事件和事故工况。内部事件（例如，在废物处理过程中废物货包的跌落）和外部事件（例如，外部爆炸、强风、洪水和地震的风险）都可能会导致预计运行状况、事件或事故，应就特定场址和设施设计对其进行评定。在适当情况下，应利用运行经验和其他类型核设施采用的技术（例如，废物处理技术）建立运行安全系统。应认识到：非核的风险可能比辐射风险更显著，特别是如果待处置废物是放射性物质扩散风险很小的整备后的废物。

4.14. 关闭后期间的安全机制不同于运行期间采用的安全机制，或其他类型设施的安全机制。在设施关闭后，近地表处置设施须提供必要程度的包容与隔离，使得放射性核素从废物到生物圈的迁移降低到可接受的低水平，也使得人类侵入的可能性和所有的可能后果充分降低。这应主要通过非能动方法实现，采用多重安全屏障辅以监督与控制措施，如在后续各部分所述。

4.15. 近地表处置的概念涵盖多种设施（例如，在地表的工程隧洞或壕沟中处置，或在不同深度（从几米到几十米）具有各类工程屏障的设施中处置）。因此，在设施关闭后，用于废物包容与隔离的处置系统组成部分，包括工程部分和天然部分也存在很大不同。在设施开发、运行和关闭的整个过程中，应增进对整个系统起包容与隔离废物作用的所有部件性能、耐久性和长期性的充分认识。为建立对处置设施性能的认识，应致力于系统组成部分性能表征和评定，包括其初始性能和退化或破坏性事件与过程导致的预期或可能的性能演变。应认识到：处置系统的工程部分，或天然部分或两者兼有，对包容与隔离的整体贡献可能由于近地表处置设施类型不同而存在很大差异。

4.16. 整个最优化过程，所有决策应遵循最佳防护计划选择的目标符合政策决定（例如，关于待建造近地表处置设施的类型），并考虑社会和经济因素（例如，当地对特定场址接受或拒绝的诉求）。一旦确定了处置设施的类型和选定场址，优化的主要努力应放在处置系统工程部分的所有设计选择上，设计的选择应确保场址的所有相关特性都得到正确考虑（例如，影响或决定设施工程部分寿命和性能的场址化学特性，以及能够影响工程部分稳定性和完整性的场址力学与地震特性）。设施设计中为使处置系统天然部分与工程部分相容和互补，应利用所有关于场址和设施组成部分特性的信息。当缺少系统的特定信息而采用一般性信息时，应确保采用谨慎和透明的安全方法。

4.17. 在开发处置设施的整个过程中，应采用系统化和结构化方法对其坚稳性进行评价，以了解预期可能出现的扰动或剩余不确定性如何影响各组成部分的性能和处置系统的安全。选址和设计的决定都应基于坚稳性评价（例如，选择可能受洪水或地震等外部事件影响较少的场址）或带充足性能裕度的系统组成部分计算。

包容

SSR-5[4]要求 8：放射性废物的包容

“工程屏障包括废物体和包装的设计以及围岩环境的选择，必须提供对废物所含的放射性核素的包容。包容应提供至放射性衰变显著减少废物造成的危害时为止。此外，对于释热废物，包容必须在废物产生的释热量仍可能对处置系统的性能造成不利影响期间一直起作用。”

4.18. 基于本“安全导则”的目的，SSR-5[4]要求 8 的最后一句与本“安全导则”无关，因为释热的高放废物不适合在近地表处置设施中处置[8]。

4.19. 放射性废物的包容意味着处置设施的选址和设计，应防止或减少放射性核素的排放。由于近地表处置仅适合于主要含短寿命放射性废物和可能含有有限数量长寿命放射性核素的废物，包容所需的时间尺度在很大程度上由限制核素从废物排放到生物圈的目的决定。绝对包容长寿命放射性核素是不可能的，特别是长期的包容，应以适当时期内的包容为目标，使得处置系统内的短寿命放射性核素在到达生物圈之前完全衰变。

4.20. 包容可以通过物理或化学方法提供。物理包容利用物理屏障阻止放射性核素迁移。例如，利用低透水性的金属容器或屏障。化学包容主要与水输运迁移有关，是指通过降低放射性核素溶解度或将其吸附到某些不移动基材上，阻滞放射性核素的迁移。化学包容通常由水泥固化废物体和各种设施部件提供。在大多数环境中阻止和限制水进入，并结合化学包容是决定近地表处置安全的关键因素。

4.21. 包容可以由各种方法提供，取决于近地表处置设施的类型。由工程屏障（即，废物货包、回填材料和包括最终顶盖的设施构筑物）和自然环境（设施所处的或设施周围的地质层）提供的包容程度可能显著地变化。整个系统的包容应通过工程和天然屏障的组合实现，并应与安全策略相符，由安全论证文件的科学与技术论证支撑。包容设计意味着应尽可能防止或限制水进入设施接触废物，同时尽可能防止或限制放射性核素从废物迁移到生物圈。包容应防止放射性核素以气态形式排放（例如，氚、碳-14 和碘-129），同时应防止液相迁移排放（即，核素溶解在进入设施的水中，在液相中迁移到生物圈）。在废物体周围设置低透水性的屏障、废物体缓慢的溶解速率、废物周围工程与天然屏障有利于放射性核素吸附的物理与化学

特性，都有助于废物和其中放射性核素的包容。直接影响近地表处置系统包容能力的外部因素也应在选址过程中考虑，如低的年降水量。

4.22. 有助于包容的设施各个组成部分应彼此相容，防止各组成部分之间的相互作用，例如，发生化学相互作用的情况，导致一个或多个组成部分的包容能力下降。特别是在选择废物周围工程屏障的材料时，应系统评价废物的物理与化学特性。

4.23. 当天然屏障是包容的重要贡献者时，应根据场址表征获得的信息评价它们的贡献。在评定处置系统天然组成部分的包容能力时，应考虑由场址特征空间变化造成的不确定性，或者区域观测与测量采用的技术所产生的不确定性。

4.24. 工程屏障对包容的贡献取决于：

- (a) 在处置设施设计中使用的方式（它们的位置）。
- (b) 它们的相关特性（例如，低透水性或高吸附能力）。
- (c) 评定如下过程和事件，这些特性随时间的演化：
 - (i) 物理和化学过程（例如，混凝土的退化和最后覆盖层的侵蚀）；
 - (ii) 影响这些特性的外部事件（例如，地震事件、场址洪水和场址的力学不稳定性）。

在工程屏障的设计和建造过程中，应关注屏障的使用寿命，包括其预期寿命（或依据屏障性能随时间的预期演化）和对其寿期的证明（或依据屏障性能的演变）。工程屏障的设计活动和表征屏障性能及其随时间演化所开展的辅助研究活动，应为整个系统内工程屏障性能及其随时间演化的安全评定提供所需的一切信息。应认识到对屏障性能过于乐观的评定会导致对未来放射性后果的估计不足。对工程屏障长期性能过于悲观或保守的评定，可能导致对计划设施的处置废物量做不必要限制。

4.25. 对系统组成部分性能及其演化进行安全评定，需要做各种假设。安全论证文件应综合这些假设依据的所有信息（例如，研究结果、模拟、自然证据和与天然类似物的比较）。

4.26. 在建造期间，由系统的单一部件（包括工程部件和天然部件）提供的安全壳置信度，应通过具有适当质量控制和质量保证程序（例如，包括部件规范、各种部件的安装程序和制造或建造程序）的适当管理系统和调查（例如，正在进行的部件性能研究活动）来实现。这类信息应纳入运行前阶段开展的安全论证文件和辅助安全评定中，以反映处置废物的性质、工程系统的竣工性质以及场址的性质。

隔离

SSR-5[4]要求 9：放射性废物的隔离

“处置设施的选址、设计和运行必须提供旨在将放射性废物与人类和可接近的生物圈相隔离的特性。这些特性的目的应是对短寿命废物提供数百年的隔离，对中、高放废物提供至少数千年的隔离。为此，处置设施的自然演变以及对设施造成干扰的事件均须加以考虑。”

4.27. 基于本“安全导则”的目的，SSR-5[4]要求 9 针对中放废物和高放废物，与本“安全导则”不相关，这些类别的废物不适合在近地表处置设施中处置[8]。

4.28. 对于近地表处置，隔离意味着把废物滞留在经适当选址和设计的处置设施中，使废物伴随的危害远离生物圈，同时在关闭后阶段具有适当的控制，以防止对设施的干扰（例如，防止人类无意侵入接近废物）。处置设施的位置和设计还应考虑外部事件的潜在影响。

4.29. 应确保近地表处置设施的隔离能力维持几百年时间。隔离能力应主要通过非能动方法来保障，目的是不给后代造成过度负担，在无法保证行政和财务稳定性的时间范围内不必依赖能动措施确保安全。因为能动方法只能在有限时间内（几百年时间）依赖。这段时间之后，在评定近地表处置设施安全时应考虑人类侵入设施的可能性。

4.30. 有助于废物隔离的非能动方法主要是在废物周围设置物理屏障，使得在无特殊努力（例如，在设施中钻井）时无意侵入废物变得更加困难。与地表设施相比，把近地表处置设施置于一定深度（几十米）可以增强设施的隔离能力，因为这会影晌或限制侵入设施和废物的人类活动。

4.31. 有助于废物隔离的能动手段是控制，以阻止人类接近废物和阻止设施受到人类活动干扰，例如，对设施与场址的监控与监视。只要现场具有能动的有组织的控制，则可以假定人类侵入设施的可能性是可以忽略的。因此，近地表处置国家政策和安全策略的一个要素是：使设施在合理的尽可能长时间内处于有组织的控制中。这个意图也应在处置设施许可证中有所体现，同时在有组织的控制期间对关闭后设施进行定期安全评定，作为复核有组织的控制持续期的一种方法。能动方法只能依赖最长几百年的有限时间，对近地表处置设施进行安全评定和许可证，必须假设监视与控制在一定时间后停止。

4.32. 监视和控制近地表处置设施的一般方法应宽泛地确定以下内容：置于核监管系统中的近地表处置设施首先由政府对场址提供能动的有组织的控制（例如，通过限制土地使用确保阻止可能干扰设施的活动），随后转为非能动的有组织的控制（例如，在场址上使用标志、通过各种方法将设施的相关信息传递给后代、信息的保存）。虽然非能动方法仍能降低人类侵入的可能性，但在处置设施安全评定和确定近地表处置设施处置的废物活度限值时应采取保守方法，而不能依赖这些非能动方法。

4.33. 近地表处置设施选址应考虑地貌和气象过程的破坏作用对处置设施产生的潜在危害，如侵蚀或地震活动（见附录 II）。远离已知的地下矿产、地热和地下水资源区域，将减少处置设施受到无意干扰的可能性。

4.34. 在评定近地表处置设施安全时，应根据“程式化”假想方案对人类侵入进行处理，同时这些程式化假想方案应得到监管机构同意，并满足方框 1 中提出的标准。这是因为确定人类侵入假想方案及其不确定性（例如，侵入的时间、类型，潜在受照人员的数量和人员识别到辐射风险的可能性）的科学基础极为有限。为确保能动的有组织的控制期后的设施安全，当不能排除人类侵入时，应限制在近地表处置设施中处置的长寿命放射性核素数量。通过对程式化人类侵入假想方案的放射性后果的评定，能够设定长寿命放射性核素的活度限值。在安全评定中采用程式化人类侵入假想方案的范围在很大程度上需要营运者和监管机构同意。

多重安全功能

SSR-5[4]要求 7：多重安全功能

“围岩环境的选择、处置设施工程屏障的设计以及设施的运行必须确保通过多重安全功能提供安全。必须通过处置系统的一些实体屏障对废物实施包容和隔离。这些实体屏障的性能必须通过多种物理和化学过程与各种运行控制相结合来实现。各个屏障和控制的能力以及整个处置系统如安全论证文件设想的那样发挥作用的能力，应得到验证。处置系统的总体功能不应过分依赖单一安全功能。”

4.35. 多重安全功能提供纵深防御，通过各种屏障和系统特性实现。纵深防御意味着安全不过度依赖于处置系统的单一组成部分，如废物货包；或者一个控制措施，如废物货包数量的核实；或者单一安全功能的实现，如放射性核素的包容或其迁移的阻滞；或者一个行政方法，例如，对进入场址的控制程序或设施维护程序。应显示由多重安全功能方法提供长期安全，确保实现足够的纵深防御。

4.36. 按照分级方法，处置系统的废物包容与隔离能力须与废物的潜在危害相符[3]。因而，屏障的类型和数量，以及满足包容与隔离要求所需的屏障特性，取决于待处置废物的类型和由其带来的危害，而废物的危害因放射性衰变而随时间变化。纵深防御评定，应包括处置系统及其组成部分执行安全功能的性能随时间变化的评价，评价要考虑预期出现的情况（如屏障的正常退化）和可能出现干扰系统的情况。

4.37. 在安全论证文件中，对证明计划的处置设施纵深防御有重要作用的所有系统设计要素和所有处置场址特征，都应以结构化的方式辨识和评定。应开展评定，核实单一安全相关特性受损或一个或多个组成部分性能随时间减弱，能否由安全功能的执行或由放射性衰变引起的危害降低得到补偿。应对系统及其组成部分演化的各种假想方案开展系统性安全评定，以证明能够保持充分的纵深防御。这个评定还应关注长时间尺度上系统和组成部分性能不确定性的增加，以及安全证明和处置设施的设计如何考虑这一问题。

4.38. 处置系统作为一个整体提供足够包容与隔离的能力是最重要的，设施应设计为具有足够的灵活性，把可能较为不利的场址特征的情况考虑在内。可能决定或影响设施设计的所有场址特征应该系统辨识。

4.39. 安全功能（例如，约束放射性核素，防止或控制其排放）可通过物理实体和化学性质或流程实现，包容放射性核素或隔离处置系统内的废物。例如，不透水或低透水性的屏障、有限的腐蚀率、放射性核素低溶解度与高吸附能力（这将保持低水平的浸出率）。

4.40. 屏障指一个物理实体，如废物、废物货包、回填材料或衬底和设施顶盖，其特性为限制（或者，在有限的时间内阻止）放射性核素的迁移，或使直接接近废物变得更加困难。单一屏障可能会执行多个安全功能，而单一安全功能可由多个屏障提供。采用多个屏障和安全功能能够加强安全和提高对安全的信心。确保处置系统的整体性能不单独依赖单一屏障或安全功能。因此，如果一个屏障或安全功能不能完全如预期那样发挥作用（例如，由于意外过程或不大可能的事件），应证明处置设施仍然是安全的。

4.41. 近地表处置系统的性能依赖具有不同安全功能的不同屏障，其重要性随时间而变化。安全论证文件应解释和证明各屏障安全功能的置信度，并说明其预期能够执行功能的时间范围。安全论证文件应描述支撑这些论断的科学和技术论证，还应确定如果一个屏障不能完全执行功能时补充的安全功能。

4.42. 处置系统应采用自然与工程特征的组合，通过维持废物货包的完整性、限制放射性核素的溶解和尽量减少大气降水（即，来自于沉降）进入，支持有效的包容与隔离。天然屏障和工程屏障对废物包容与隔离贡献的重要性在很大程度上依赖于近地表处置设施类型（即，地表或地下）和设施场址特征。在长时间尺度上，工程屏障逐渐退化的情况是无法排除的，放射性核素将排放到岩石圈或生物圈中，取决于近地表处置设施类型。对于短寿命放射性核素，放射性衰变对于限制放射性核素随时间自近地表处置设施的潜在排放是一个重要因素，但其他因素也很重要，应加以考虑。应考虑限制水分渗入的因素（这也可能有助于维持更长时间的废物货包完整性），包括采用低透水性的持久性屏障和设计系统使其在所需的时期内保持低水力梯度。应通过维持低流速和利用工程屏障与周围环境的阻滞与沉淀能力，进一步降低放射性向生物圈排放的可能性。用于回填或工程系统其他材料的性质应不会引起其他屏障安全功能的过度退化。

非能动安全

SSR-5[4]要求 5：处置设施的非能动安全手段

“营运者必须对场址进行评价，对处置设施的设计、开发、运行和关闭应能够最大程度地采用非能动手段确保安全，使得设施关闭后需采取的行动减至最少。”

4.43. 在运行期间，安全对于近地表处置设施的重要性与任何核燃料循环设施相似，即采取能动控制措施（例如，废物处理的控制措施和设施内部及其周围污染与放射性水平的控制）。然而，在可能和必要的情况下，须采取非能动安全措施，例如，废物处理操作期间的屏蔽。对于关闭后阶段，能动管理的时间应短暂有限，其努力和活动应可行且与废物中的放射性核素量相称。废物放置活动结束后，应采取所有手段尽快关闭设施，促使其进入非能动状态。设施的能动管理期（即，开发、运行和关闭）到此结束。关闭设施采取的步骤可能在某种程度上决定于社会和经济方面的要求与限制，例如，决定完全关闭之前可能对设施进行一段时期的观察，但这不应阻碍严格关闭计划的制订以及相关各方（营运者、监管机构和其他相关各方）一致意见的达成。

4.44. 处置设施的安全可能依赖于未来的某些行动，如维护、监视和控制，但这种依赖应尽可能减少。对于近地表处置设施，这些行动对设施关闭后的一段时期可能是必要的（几十年到几百年）。在能动管理期间采取的措施可能包括，例如处置设施顶盖的维护。在关闭后提供安全所需的工程构筑物应具有足够长的寿命，以使其在关闭后不需要维护。

4.45. 处置设施关闭意味着有组织的控制期的开始。这一时期可以进一步分为能动阶段和非能动阶段，其持续时间可由法规规定。在有组织的控制期能动阶段开展的活动包括保存资料、防止人类侵入和监控与监视。如果通过监控与监视探测到屏障的受损或退化，应采取补救措施，至少恢复处置设施可进入部分的安全功能。然而，对维护的需求不应降低主要通过非能动措施确实保全的要求。在有组织的控制时期的非能动阶段，所有能动措施都将终止，包括监控、监视和维护（或者基于安全评定目的假定为停止）。继续实施的非能动措施包括保存记录、设置耐用的警告标识和控制土地所有权。在能动的有组织的控制的最后阶段，在实施进一步非能动控制

的同时，应假定人类无意侵入变得可能或者不可避免，即便处置设施的选址已尽可能地减少了这种可能性。

4.46. 对于近地表处置，能动的有组织的控制期要求确保废物隔离时间与废物具有的危害相称。在这一时期，也应对用于包容废物的设施组成部分的功能进行核实，以增强对处置系统非能动包容的信心。即使绝对封闭不是一个可达到的目标，可能发生放射性核素排放到生物圈，但这样的排放应在任何时候都足够少以致不需要任何未来的纠正措施。安全论证文件应提供支持上述论断所需的所有要素与论据。

非能动安全特性的监视和控制

SSR-5[4]要求 10：非能动安全特性的监视和控制

“必须在必要的情况下实施适当水平的监视和控制，以保护和保持非能动安全特性，使之能够执行安全论证文件所赋予它们关闭后的安全功能。”

4.47. 近地表处置设施长期安全取决于确保设施长期包容与隔离的所有非能动安全特性的质量，取决于废物长寿命放射性核素的限值；以及用于保持和保护非能动安全特性的监视与控制的恰当水平。由于处置设施长期安全不能依赖能动的有组织的控制，所有的非能动安全特性和处置废物中长寿命活度限值都应进行评定，同时假定最多在几百年后不存在监视和控制。

4.48. 对于近地表处置设施，在对处置场址进行能动的关闭后管理期间，应采取监视与控制，藉此为非能动安全屏障的持续有效提供保障。应通过监控和有组织的控制活动实现监视与控制，如场址保护和限制进入；视察物理条件并保持适当的维护能力以应对可能的屏障退化；以及确认屏障功能是依照设计发挥作用的监控。由于处置设施的安全主要依赖非动手段，监视和监控的目的并不是测量放射性参数（例如，处置场址及其周围所处环境的放射性监控），而是确保安全功能持续有效[4]。

4.49. 非能动安全特性的监视与控制应针对有助于系统隔离能力的特性（例如，隔离废物与生物圈的物理屏障、限制和控制进入场址的能动控制措施、对设施造成扰动的地貌和气象事件及过程），以及有助于废物包容的特

性。应清楚地描述设施不同组成部分分担的安全功能，并应辨识和了解系统组成部分可能的退化机制。应确定将要开展的观察和测量以控制系统组成部分可能或预期的退化，监控组成部分性能的演化。

4.50. 应设计一个方案，对安全功能的持续有效进行监视与控制，应以系统、透明和灵活的方式监控非能动安全特性验证其满足要求。方案应考虑单一组成部分对整体包容和隔离的作用随时间的变化。应将这一方案的结果和发现应体现在关闭后时期提交给监管机构的安全论证文件中。

4.51. 应考虑采用非能动措施，例如，以标识和档案形式保存信息，包括国际档案，这将降低在超出有组织的控制的更长时期内人类侵入的风险。评定人类侵入后果有必要对人类侵入可能性采用更保守的评定方法。

5. 安全论证文件和安全评定

5.1. 安全论证文件是用于证明“处置设施是安全的”的论证和证据的集合。安全评定是安全论证文件的关键部分，包括对处置设施带来的辐射剂量和/或风险进行量化，并将之与 SSR-5[4]提出的剂量和风险标准进行比较（见方框 1）。近地表处置设施安全论证文件应同时涵盖运行安全和关闭后安全，虽然有时它们以运行安全论证文件（即，证明处置设施在运行期间是安全的）和关闭后安全论证文件（即，证明处置设施在关闭后是安全的）分别阐述。关于安全评定的全面指导由原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-23 号[18]提供。

安全论证文件的编写

SSR-5[4]要求 12：处置设施安全论证文件和安全评定文件的编写、批准和使用

“安全论证文件和辅助安全评定文件应由营运者在处置设施开发、运行和关闭后的每一步骤编写，必要时进行更新。安全论证文件和辅助安全评定文件必须提交监管机构批准。安全论证文件和辅助安全评定文件必须充分详细和全面，以便为在每一步骤通报监管机构和形成必要的决定提供所需的技术输入。”

5.2. 编写和更新安全论证文件应考虑在处置项目开发过程中获得的新信息（例如，废物量、场址特征、工程和设施设计以及监控），至少应在设施寿期内的每个主要决策步骤（如图 2 所示）进行编写和更新。安全论证文件应提交监管机构批准，以使项目从当前阶段进入下一阶段。安全论证文件必须随着开发、运行和关闭的开展逐步强化，以发现所有的安全相关问题并记录采取的行动。在任何时候都应该有最新的安全论证文件，证明设施是安全的且能长期保持安全性，这也将同时指导处置设施的管理和运行。

5.3. SSR-5[4]第 4.8 段和第 4.9 段明确指出：

“4.8. 安全论证文件必须包括安全评定结果……，以及补充资料，其中包括关于设施坚稳性和可靠性的辅助证据和论据、设施设计、设计逻辑以及安全评定的质量和基本假设。

4.9. 安全论证文件还可包括关于放射性废物处置的更为一般的论据以及全面认识安全评定结果的资料。”

这些论证包括将预期的核素排放与天然本底浓度和放射性水平进行比较。在安全论证文件中必须说明在处置设施建造或运行、关闭任何步骤中的剩余不确定性和任何未解决问题（见参考文献[4]第 4.9 段）。如果未解决的问题对安全有重要影响，须说明下一步为此问题开展的工作。

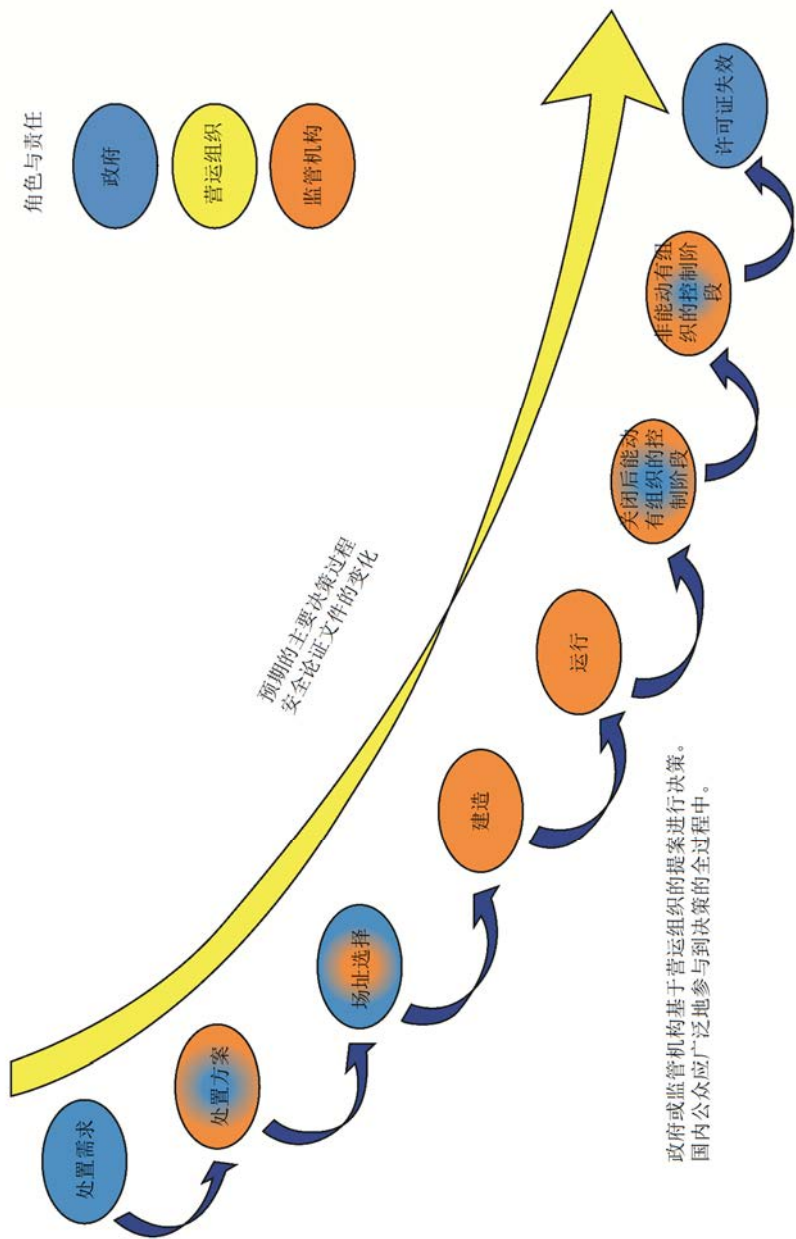


图2. 近地表处置设施开发过程中的典型步骤。

5.4. 安全论证文件的主要读者是监管机构，并作为监管决策的基础之一。不过，安全论证文件及辅助安全评定也其他读者也是有用的。在安全论证文件的编写中应考虑其他读者的需求，使得其他各相关各方能够获得营运者编写的安全论证文件，如国家和地方政府，促进相关决策进程，使营运者能够向设施建造、运行或关闭的下一阶段前进。

5.5. 如 SSR-5[4]所述，安全论证文件和辅助安全评定为营运者进行的决策提供输入，包括研究、场址表征、设施设计优化、资源配置和废物验收标准制订等方面。安全评定应在放射性废物仍有危害的时间尺度内，对放射性危害进行系统评定，提供对一系列预期和次可能假想方案中处置设施功能的认识，包括正常工况和突发事件。安全评定应包括结构化不确定性分析。这些不确定性分析应增加对处置设施行为和性能的认识，进而贡献于安全论证文件中的安全论据。应开展敏感性分析以识别与安全相关的过程。

5.6. 应在近地表处置设施开发的早期就编写安全论证文件，用于指导所有未来活动[4]。在开发的早期阶段，营运者应计划即将到来的过程（例如，与当局和相关各方的相互配合），安全论证文件应关注设施要达到的目标（例如，待处置的废物类型）和可能采用的安全策略与处置概念，以及确定需要进一步研究的事项。在这些早期阶段，运行期安全论证文件可以是一般性的，直到设施设计更加成熟。安全论证文件应随着项目进展逐步推进和完善，为处置设施的建造和管理提供基础，使监管部门能够在处置设施开发、运行和关闭的关键步骤进行评审和颁发许可证（见图 2）。随着时间的推移和安全论证文件的修改与逐步提高，应更注重对处置系统的认识和评价，并应将更详细的设施设计作为基础。一旦设施运行应定期更新安全论证文件，纳入来自场址表征、废物接收、预期废物量和设施建造设计的新信息。安全论证文件及辅助安全评定还应反映对废物、处置设施及其环境如何演化的不断增进的认识（例如，科学和技术知识）。

5.7. 监管机构在决定进入处置设施开发、运行和关闭下一个阶段前，可能要求更新或修改安全论证文件。一般地，安全论证文件的形式和技术详尽水平将反映危害程度、项目开发阶段、当前决策和特定的国家要求。在某些国家，监管机构只是在处置设施开发、运行和关闭的较晚阶段才正式参与项目，例如，接受设施建造申请时。在这样的情形中应在正式许可证步骤前安排更早的信息和意见交流。

5.8. 安全论证文件及辅助安全评定需要足够全面和详细支撑相关的决策。一旦编写完成，安全论证文件应包括：

- 处置系统的系统描述；
- 对可能影响设施行为和演化的各类特征、事件和过程的辨识；
- 场址演化假想方案的辨识；
- 处置系统有关部分的概念、数值和计算机模式（例如，近场中的废物、工程屏障、围岩和设施地表环境）。

安全论证文件还应将所用数据编写成文，并针对相关假想方案和受照途径，提出相关受照者（例如，受照和潜在受照的个体与人群组，以及在某些情形下的非人类种群）的剂量或风险结果。

5.9. 在近地表处置设施开发的早期阶段，安全论证文件是较为一般性的，安全评定计算必定是初始的和简化的（范围设定计算），因为可获得的场址特征和废物特性数据有限。在这些早期阶段的评定中，应利用有关这方面的大量文献中的数据和模式。如果处置设施获得监管部门批准并进行建造和运行，应在逐步开发过程中持续获取更多数据，直到能动的有组织控制结束。

5.10. 应根据安全评定的目的，将评定所得结果与国家法规中制订的相关剂量约束和风险标准做比较。不同的监管标准可能用于不同的假想方案和照射。例如，人类侵入所致潜在后果的评定结果可以与 SSR-5[4]和方框 1 中给出的标准做比较。然而，如上所述，对于从当前阶段进入下一阶段的决策，不应只依据此类数值比较和对定量标准的符合性，而应进行更广泛的判断，并考虑包括定性标准的大量因素。

5.11. 对于任何特定决策阶段中的安全论证文件，其所需的详细程度须与监管机构协商，并经其批准[4]。在任何情况下，营运者应将安全论证文件编写到足以清楚证明处置设施安全的水平。监管机构应要求安全论证文件提供足够的信息，对完成的工作进行可靠和准确的评审。为此，营运者应致力于以清晰、全面、可追溯和透明的方式编写安全论证文件和辅助安全评定。在某些情形中，监管机构可能决定通过重复某些计算或开展独立评定来核实部分评定，例如，为了解处置行为关注不确定性或评定其他可选计划。

安全论证文件和安全评定的范围

SSR-5[4]要求 13：安全论证文件和安全评定的范围

“处置设施的安全论证文件必须描述场址、设施设计以及管理控制措施和监管控制的所有安全相关问题。安全论证文件和辅助安全评定必须证明所提供的对人员和环境的防护水平，并须向监管机构和其他相关各方提供满足安全要求的保证。”

5.12. 如原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-23 号[18]所述，图 3 和图 4 给出了安全论证文件和安全评定的主要组成。处置设施场址和设计中与安全相关的方面作为系统描述进行了阐述（图 3 方框 C）。管理控制措施对应于图 3 中右侧的双箭头，表明管理系统用于管理和应用于安全论证文件和安全评定的所有方面。监管控制体现为方框 G 和图 3 中给出的限值、控制和条件。

5.13. 证明人类和环境保护水平的要求与安全论证的整体有关（方框 H，图 3）。方框 H，以及监管机构和其他相关各方共同参与安全论证文件（图 3 左侧箭头），表明了应为监管机构和其他相关各方提供保证的要求。

5.14. 运行期和关闭后安全论证文件与辅助安全评定应满足所有的监管要求和标准，并应包括和利用各种论证与评定方法。安全论证文件还要求对用于确保符合相关监管控制的管理控制措施进行描述。

5.15. 运行安全和关闭后安全都应依靠能动和非能动措施，但在关闭后安全论证文件中，重点应放在利用非能动措施实现安全。关闭后有组织的控制仍然是提供安全保障的一个重要因素（见第 7 部分）。另外，对于整个运行期，以及可能的关闭后部分时期（取决于设施和国家法规），设施应接受监视和监控。

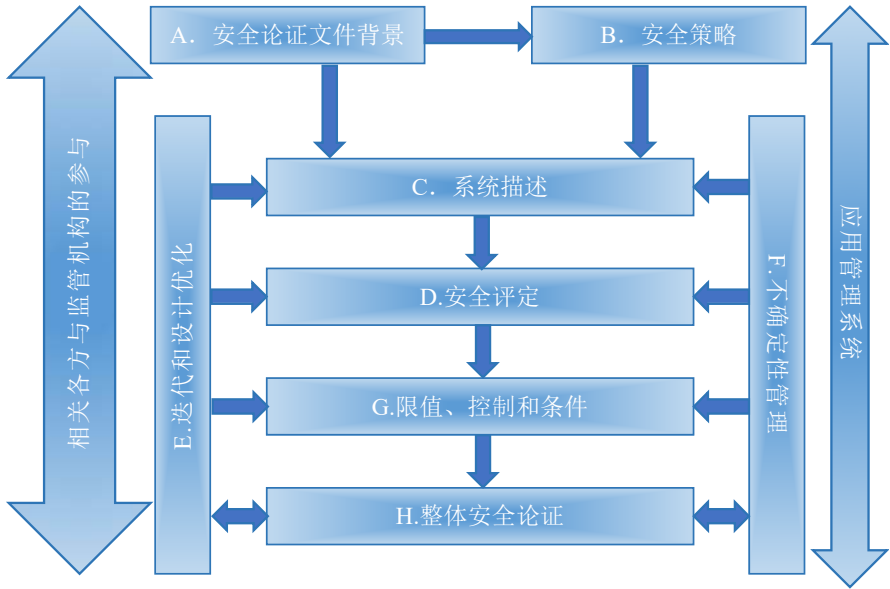


图 3. 安全论证文件的主要组成，管理系统的应用，以及与监管机构和相关各方的参与过程。



图 4. 安全评定包含的内容。

5.16. 近地表处置设施运行期安全论证文件应考虑所有可能在场址或其周围导致辐照的相关运行工况。这包括废物的接收、表征、处理、整备、包装和放置，以及在设施运行和废物放置期间、回填活动期间和设施密封与关闭期间开展的一切建造活动。运行期安全论证文件还应考虑任何计划中的翻新工作或设备更换活动。还需指出在设施仍然保持运行时，废物能够安全回取（例如，在废物放置后，发现了不符合要求的废物货包）。这种回取活动需要安全地进行，并对设施的长期安全性无显著损害。

5.17. 如 SSR-5 中所述，必须同时考虑职业照射和公众照射，这些照射来自于处置设施整个运行寿期中的正常运行状态和预计运行事件。还必须类似地考虑具有潜在显著后果的事故，包括事故发生概率和辐射剂量的大小。在一些国家，国家法规要求考虑与化学毒性相关的问题，并将对其适当的评定包含在安全论证文件中。

5.18. 关闭后安全论证文件应说明处置设施及其周围环境演化可信假想方案的范围，演化的时间尺度为废物表现显著危害的时间或国家法规规定的时间，有些国家法规规定了评定的时间尺度。应考虑预期假想方案（正常演化假想方案）和可能性较小的假想方案。假想方案应包括能够影响处置系统功能的过程，如废物和屏障的退化，以及能够影响处置设施包容和隔离功能的事件（如地震、暴雨、洪水、山体滑坡和侵蚀）。还应考虑人类活动（即人类无意侵入事件）的潜在影响及其后果。这种人类侵入活动影响近地表处置设施的可能性大于地质处置设施，它们可能会显著限制在近地表处置设施中安全处置的废物类型与活度。应在假定技术保持在当前水平的基础上，考虑一系列模式化的假想方案，对人类侵入事件的后果进行评定。之所以做这一“未来状态”的假设，是因为未来的人类行为不可能详细预测，并且这样假设能有助于避免过度推测可能发生的侵入活动。还应描述其他的可能假想方案，以评定不同的废物量设计或替代的设计方案与处置方式。

5.19. 应采用规范方法进行假想方案的开发。可以使用几个互补的方法辨识、构建和描述假想方案。此类方法可能始于特征、事件和过程清单的开发与考虑，在这样的清单中，相关事件和过程可组合产生假想方案（“自下而上”方法），或者始于考虑处置系统关键部分安全功能（例如设施顶盖），进而辨识可能会影响或损害处置系统关键部分执行这些安全功能的过程和事件（“自上而下”方法）。

5.20. 假想方案应在安全论证文件中描述，并应在辅助安全评定中针对一套合适的假想方案评定处置设施的性能。可以将相似的假想方案归类以减少安全评定所需计算的数量。不过在安全评定中应对足够大范围的假想方案进行评价，以应对处置系统未来演化的不确定性。然而，在实践中如果所考虑假想方案包络了可能影响处置设施的不同情形，也可能不需要考虑大量的假想方案。

5.21. 在给定废物量、设施设计、选址和管理情况下，关闭后安全论证文件应包括考虑了不确定性的定量安全评定和与设施安全相关的定性论证。它应包括多重论证方法，如其他概念模式的评价、有关屏障性能的其他假设、其他参数数值、以及合理天然类比和简单符合性计算的研究等其他方法。安全论证文件的主要部分应表明与安全相关和对安全功能重要的所有不确定性都已经得到考虑，并将被适当地管理。

5.22. 应进行结构化的不确定性分析，以获得对一系列假想方案、概念模式和参数群下处置系统及其组成部分性能的了解。还应开展敏感性分析，识别对处置设施性能具有最大影响的过程和参数。敏感性分析和不确定性分析还应用于表明：参数或过程遭受相当小变化时不会显著影响设施安全。

5.23. 应按照监管要求，对一系列相关照射途径（例如，通过气体或地表水和地下水，取决于所考虑的废物和场址）和一系列受照个体或人群组，进行潜在剂量或风险的计算。对于极长时间范围，当关于人类行为和生物圈特征的假设具有很大不确定性时应使用补充论证证明安全，例如，考虑天然放射性核素的浓度和通量。

5.24. 应按照监管机构的相关要求描述安全评定计算结果。安全论证文件应描述相关的监管要求，并说明采用的方法符合这些要求。在一些国家，必须将不同假想方案的安全评定结果结合以评价风险。可以单独描述和考虑人类侵入假想方案的安全评定结果，与其他“无扰动”性能假想方案的安全评定结果分开。

5.25. 对于几千年的时间尺度，需要将安全评定结果与监管要求中规定的剂量或风险标准做比较，这一要求也可能扩展到几千年之外的时间尺度，以便估算峰值剂量。但对于极长时间尺度（即超出几万年的时间），由于未来状态的不确定性，公认只需要进行简单的计算和比较。

5.26. 与处置设施开发、运行和关闭同时进行的安全论证文件修订活动，应包括废物管理、设施建造、设施关闭和有组织的控制的计划。例如，关闭计划应描述和证明关闭操作及其时间安排的可行性。根据处置设施场址表征、设计优化、建造和运行期间获得的信息，应对关闭计划进行更新和完善。批准开始废物放置应包括对初始关闭计划的考虑，尽管这些计划可能随着运行进展而发生变化。

5.27. 安全论证文件和辅助安全评定应随着近地表处置设施建造和运行的进展变得更加详细和全面。安全论证文件和辅助安全评定的逐步发展过程如表 1 所示。

表 1. 处置设施整个寿期内安全论证文件和辅助安全评定的特征

| 处置设施寿期内的阶段 | 安全论证文件的特征 | 安全评定的基础 |
|---------------|---|---|
| 初始场址勘查和设施初始设计 | 安全论证文件的计划 基于废物量的关闭后初始安全论证文件 一个或多个初始处置概念 | 初始场址勘查得到的数据 初始设计研究与关闭计划 废物量，材料性能数据的收集 对类比系统，场址和过程的观察与数据 |
| 场址表征 | 临时的运行及关闭后安全论证文件（应足够详细以支撑建造决策） | 地表和地下场址勘查得到的详细数据 设施设计和建造的详细计划 废物量，场址特定数据和材料性能 运行计划 关闭计划 |
| 建造 | 最终运行安全论证文件以及有足够深度的关闭后安全论证文件（应足够支撑运行限值和条件的制定以及运行的开始） | 建造准备期间得到的场址数据 废物量、废物置入试验、设计确认 关闭计划（在运行阶段进行试验） 详细运行计划 |

表 1. 处置设施整个寿期内安全论证文件和辅助安全评定的特征（续）

| 处置设施寿期内的阶段 | 安全论证文件的特征 | 安全评定的基础 |
|------------|--|---|
| 运行 | 安全论证文件的定期更新，为废物验收和持续的设施管理（例如应按照国家法规的要求进行更新或以便于更定期地设施管理）根据需要更新运行安全论证文件，使用调试和运行的经验和数据以及对设施、废物量或运行程序的修改 | 来自各方面的数据，如接收的废物；未来废物量；竣工设施；场址表征及监控；对特性、时间、过程以及安全评定中使用的假想方案的理解发展；细化的场址开发计划；关闭及有组织的控制计划 |
| 关闭后 | 附加的关闭后安全论证文件，为处置系统性能符合预期提供持续保证 | 关闭后安全评定的更新，反映监控数据以及与安全论证文件相关的新科学依据 |
| 许可证到期 | 提供设计及场址可停止有组织的控制的保证，支持许可证到期 | 关闭后安全评定的更新，反映安全论证文件全方面的知识水平 |

安全论证文件和安全评定文件的编写

SSR-5[4]要求 14：安全论证文件和安全评定文件的编写

“必须以文件形式编写处置设施的安全论证文件和辅助安全评定文件，其详细程度和质量必须足以形成和支持每一步骤做出的决定，并使得能够对安全论证文件和辅助安全评定文件进行独立评审。”

5.28. 考虑不同相关各方对信息的需求，有必要以不同的详细水平和格式编写安全论证文件。

5.29. 最先进的安全论证文件包括多个层次的文件(形成文件的层次结构),其中高层次文件提供安全论证文件的概述,采用相对简单的语言(尽可能非技术性的语言)编写,目的是使政府内部的非专业人员和公众能够理解。这种高层次概述文件应传递安全论证文件的主要信息(例如,处置设施被安全管理或将被安全管理,并会保持安全,将来只会引起可接受的低剂量和风险)。

5.30. 高层次概述报告应由多层次更详细的报告支撑,这些报告对于设施和问题决策步骤是必要和适宜的。直接支撑高层次概述报告的报告层次应记录安全全过程分析的主要部分,如图3和图4所示³,并记录所开展安全论证文件和安全评定的独立同行评审。

5.31. 应提供更详细的辅助报告,将各种研究和工作成文,如工程设计研究、水文和地球化学建模工作、有关软件开发和模式核实研究的报告、关于废物体和工程屏障退化的研究、关于治理行动计划的研究和专家研究。这些文件又由以下文件支撑:实验室和现场研究的记录,最终证明在安全评定中所用参数数值的测量文件,以及安全论证文件中引用的科学文献。

5.32. 安全论证文件所需的范围和广度取决于废物的危害水平、设施与处置的开发阶段,以及地方和国家法规与环境。然而,不论安全论证文件如何广泛,它都应以可信、可追溯和透明的方式介绍论证、推理和辅助证据。文件应便于对所用模式、数据和假设,以及辅助定性论证的理解。安全评定结果的描述应能证明处置系统单一组成部分和整体的性能。证明设施关键组成部分预期行为,增加对处置系统整体性能的置信度。这也有助于辨识设施组成部分设计弱点和有助于持续改进。

5.33. 在安全论证文件化过程中,决策的正当性、论证的可追溯性和信息的清晰性是重点考虑的内容。正当性和可追溯性要求处置设施建设和运行中所作的决策与假设都有完善的成文记录,得到安全评定一系列特定结果的模式与数据也应有完善的成文记录。确保正当性、可追溯性和清晰性提供透明度,在文件交由未直接参与处置设施建造、运行或监管的专家或非

³ 示例包括:管理系统,包括质量保证安排;系统描述,包括废物总量、设施设计和工程、围岩和周围地质,以及地表环境;安全评定,包括假想方案、模式、假设、数据和参数、受照途径和所考虑的受照与潜在受照人群组,以及开展的计算及其结果;评定结果与相关监管限值之间的关系、控制和条件;处置设施整体安全和管理的综合结论。

专家评审时，这一要求尤为重要。关键论证、决策和假设应在高层次文件中给出，而不应只在提供给少数高水平专家的更详细技术文件中描述。

对关闭后安全的充分了解与置信度

SSR-5[4]要求 6：了解处置设施和安全置信度

“处置设施的营运者必须建立对设施及其围岩环境特性以及在适当长时间内影响设施关闭后安全因素的充分了解，以便能够达到充分的安全置信水平。”

5.34. 如前所述，营运者应持续进行处置设施安全评定活动。安全评定的目的不应仅仅是评价处置系统性能和放射性影响，还应了解处置系统（设施及其周边环境）如何表现和演化。如上所述，安全评定过程包括特征、事件与过程的识别和假想方案开发与建模，用来获得对系统表现的认识。开展结构不确定性分析，应辨识设施可能行为的范围。针对处置系统特定部分和特定事件与过程，应考虑开展较详细的模拟研究，了解相应的细节，例如，地表环境、废物体和屏障退化、核素迁移等，这也应是安全论证文件和辅助安全评定的一部分。来自天然类比的信息可用于增加对处置系统中重要过程的认识，并提供较长时间尺度的信息，比实验所能达到的时间尺度更长。应开展敏感性分析以识别对安全重要的因素。

5.35. 营运者应确定一个合理缜密的策略，以建立对处置系统的认识，并在处置设施开发、运行和关闭期间开展安全评定。处置系统的充分认识取决于系统组成部分的安全功能。

5.36. 对处置系统的认识及其同处置设施内部和外部特征、事件与过程的关系，将随着更多数据的积累和科学知识的发展而改进。SSR-5[4]第 3.30 段指出：

“在建立有关概念之初，对获得的数据和认识水平必须确保充分的置信度，以便投入资源进行进一步调查。在开始建造之前、在废物放置期间和在设施关闭时，认识水平必须为安全论证文件满足适用于项目特定阶段的监管要求提供足够支持。”

5.37. 营运者应公开说明在处置设施开发、运行和关闭中任何阶段存在的不确定性，并应建立和应用管理不确定性的方法，使设施以确保运行和关闭后安全的方式进行开发和管理。不确定性存在本身不能成为设施建造和管理不进入下一阶段的理由。

5.38. 随着处置项目的进展，应对安全论证文件进行更新，以反映新数据和从运行经验获得的认识。安全置信度应得到证明，例如，证明安全评定已尽可能全面，并以良好的科学和工程实践与数据为基础；证明处置系统的稳健性（即它的性能不对不利事件和过程过分敏感）；提供有关控制适当性与有效性的证据，如废物验收标准；以及提供用于证明设施工程特征可行性与有效性的信息。

6. 逐步开发近地表处置设施的要素

逐步建造和评价

SSR-5[4]要求 11：逐步建造和评价处置设施

“放射性废物处置设施必须按一系列步骤进行开发、运行和关闭。必要时，每一步骤必须通过对场址；设计、建造、运行和管理计划；以及处置系统性能和安全的反复评定来支撑。”

6.1. 近地表处置设施的开发、运行和关闭可能延续数年或数十年。在设施开发过程中，要求在关键决策点进行安全评定，在投入额外资源之前，有必要将项目分成一系列步骤。在处置设施开发、运行和关闭过程中，可能有很多步骤，而最重要的步骤出现在以下监管或政府决策点：批准建造近地表处置设施（建造），批准接收和处置废物（运行），批准关闭设施（关闭）和决定终止有组织的控制期。在每一个步骤都要求对安全论证文件进行更新[4]。对安全论证文件的评审和更新还应在项目其他阶段因其他原因而开展（例如，在项目开发中告知营运者的策略选择）。这种方法为评定技术项目和安全论证文件的质量提供了多种机会，因而增强了置信度。随着项目的开展，在逐步渐进的过程中，通过随项目进展不断成熟的安全研究，对近地表处置设施安全和可行性的置信度得到增强。图 1 显示了处置设施的开发时间表，包括决策点划分和各活动阶段。

6.2. 对于进展过程中的每一步骤，营运者应识别需要做出的决策和决策所需的信息。营运者还应识别适当的相关各方，并确定何时以及如何将他们纳入决策过程中。监管机构和其他相关各方尽早参与能提高决策的质量，并使项目方向清晰。

6.3. 逐步法还为独立技术评审、监管评审和政治与公众参与提供机会。评审性质和参与程度将取决于国家实践和拟议设施，但监管机构应在项目开发的早期阶段介入。营运者和监管机构开展的或代表其开展的技术评审应聚焦于选址和设计方案、科学依据和所开展分析的恰当性，以及是否已经满足安全标准和要求。其他可选的废物管理计划、选址过程和公众接受性的其他方面等内容，应在更广泛的评审中考虑。应在处置设施寿期内的所有阶段开展定期安全评审。这些评审应根据对处置系统认识的提高、技术和监管导则的发展以及本设施和其他设施的运行经验，核实安全论证文件的持续充分性。

6.4. 关键的辅助项目（例如，场址表征、设计活动、环境监控、安全评定和记录保存）应在处置设施开发、运行和关闭的多个阶段持续进行。随着安全论证文件、设计和场址表征的开展，信息逐渐成熟和演变，上述关键项目获得的信息应在处置项目其他方面间共享（例如安全论证文件应告知场址表征和设计活动不确定性的影响；应开展性能检测对安全论证文件中所作的假设进行确认）。逐步过程是一个迭代的过程，随着一系列步骤的发展应使信息价值最大化。

6.5. 应引入额外步骤，用以促进设施设计、调试、废物接收与运行、以及关闭后环节的项目管理，并应作为评审安全论证文件或辅助安全评定的补充节点。

场址表征

SSR-5[4]要求 15：处置设施的场址表征

“处置设施场址进行表征的详细程度必须足以支持总体了解场址的特征和场址如何随时间演变。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，以及在关注的时期内，与影响设施安全密切相关的人类计划和行动。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。”

6.6. 通常认为放射性废物处置设施的选址包括以下 4 个阶段（见图 5）：

- (1) 概念和计划阶段；
- (2) 区域调查阶段；
- (3) 场址勘查阶段；
- (4) 详细的场址表征阶段，确认建造处置设施场址。

附录 I 中给出了有关前 3 个阶段的进一步信息，应结合本部分内容阅读。当确定了候选场址、明确了特定目标和不确定特征时，场址勘查应从早期区域调查阶段的一般性研究进入逐步更详细表征过程。为建造处置设施场址的确认，应开展详细的场址表征，这阶段可能在建造和运行阶段持续进行。

6.7. 选址过程的概念与计划阶段应考虑对处置设施的重要限值。营运者应关注如下问题：待处置废物的类型、预计的废物体积、对场址的基本要求，以及场址从候选中排除的特定标准。这些信息将有助于营运者建立一个设施的一般性概念。在这一步骤完成的工作应作为下一步骤（区域调查阶段）的基础。

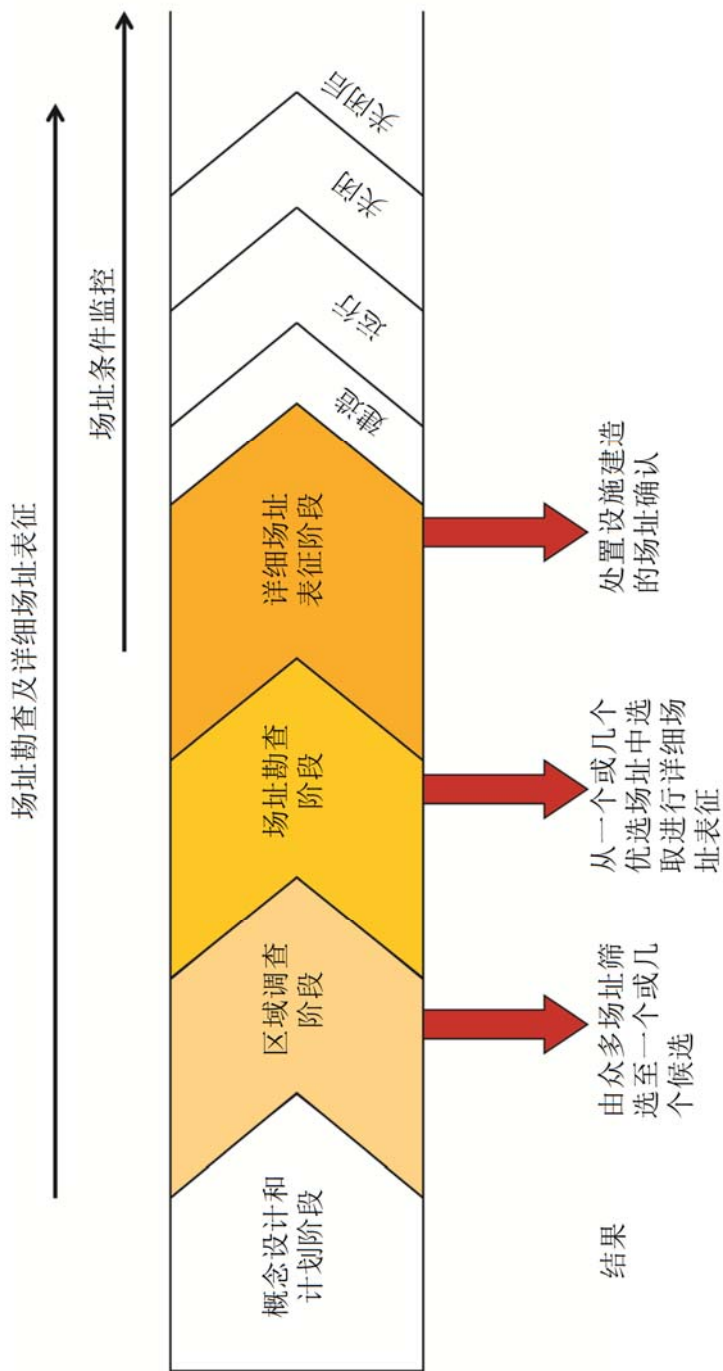


图5. 选址阶段。

6.8. 在区域调查阶段，应利用在概念阶段确定的期望特征和可能限值，确定关注区域内一个或多个可能场址。营运者应通过寻找适应设施一般概念设计的区域缩小关注范围。这一步应排除不合适的场址，识别出可能被接受的场址位置。下一步应对候选场址进行适度的表征，以提供必要的信息确保处置设施满足待处置类型废物的处置安全要求。

6.9. 场址表征的一个重要部分是了解场址的长期行为。场址表征应提供自然环境对核素包容和隔离影响的信息。虽然许多过程的影响能够在运行过程中得到缓解，但在关闭后阶段，设施安全将依赖非能动控制。因此，应充分了解侵蚀、洪水、地震和其他破坏性过程的潜在影响。

6.10. 场址表征是一项为了解场址自然特征、事件和过程（现在、过去和未来），并描述其空间和时间范围与变化而开展的活动。场址表征应有助于场址的全面描述，足以支撑安全论证文件和辅助安全评定的编写。对于近地表处置设施，这种描述应包括周围人口和土地利用的信息。应确定开展场址表征的背景和对目标的清晰了解，以明确要开展的场址表征活动的范围和重点。场址表征活动应包括数据采集（即各类测量、采样和监控）和对数据的解释以形成信息和认识。

6.11. 最后，根据场址表征得到的信息形成对处置系统的认识，这一认识应为场址自然系统提供一个可信的科学描述，并提供对安全相关重要特征、事件与过程（与地质学、水文、地球化学、气象等相关）的认识。这种认识对支撑安全评定技术基础的置信度是必要的。

6.12. 应开展场址表征的特定活动，以提供必要的特定场址数据，支撑处置设施对废物长期包容与隔离安全评定的技术基础。获取的定量数据的详细水平应与其最终用途相适应（依所需的数据准确度与精密度，以及有关空间变化的代表特性）。附录 II 提供了预期从场址勘查和表征项目获取的信息类型的导则。然而，清单不可能完整列出所有信息，并且场址的特定情况将决定哪些信息是必要的以及所需的详尽程度，特别是与场址包容和隔离能力相关的信息。

6.13. 详细调查所导向（或包含的）的场址确认阶段，应在优选场址上对围岩环境进行足够详细的表征：

- (a) 支持或确认场址及其环境在安全策略中的作用；
- (b) 支持或确认对首选场址的选择；
- (c) 提供额外的、设施进行详细设计需要的场址特定信息；
- (d) 提供额外的、进行安全评定所需的场址特定信息。

6.14. 场址表征项目中每个阶段的目标，应在开发过程早期阶段确定，包括需要什么信息，为什么需要这些信息，以及如何提供这些信息。应描述在项目中收集信息如何用于未来的评定和相关决策。同时，应认识到数据采集和解释的详细目标与方法，可能需要随着认识的发展而修改，或者因安全评定建模确定的次序发生变化而修改。

6.15. 除了提供关于场址当前特性的描述，场址表征项目应整理和解释场址过去演化的信息。这些信息应用于支撑场址未来自然演化假想方案的辨识，并用于评价可能影响处置设施性能的特征、事件和过程的相关性，包括处置系统自然部分与工程部分之间的相互作用。然而，未来演化的假想方案还应考虑未来与过去的预期差异，如当前人类活动和可预见未来人类活动的潜在影响。过去场址演化所考虑的时间尺度应至少与安全评定感兴趣的未来时间尺度相当。

6.16. 场址表征项目应识别在建造前、建造和运行阶段中监控的场址条件，并应建立对测量详细水平的要求（即测量的准确度和精密度），确保对场址的初始条件有合适的基准记录。这一自然系统的基准记录可提供一个参照，与未来的场址监控结果比较，确定设施建造和运行带来的任何变化。

6.17. 应在适当的管理系统内开展场址表征项目（见第 7.20—7.33 段），确保数据的质量和长期可用性，以及它们的有效性。这一管理系统应考虑如下事实：场址表征数据包括空间分布信息和时间序列数据，并且这些信息对于支撑未来监控基准的建立是必需的。

6.18. 场址勘查进行到一定阶段时，收集更多数据对安全，特别是安全评定没有显著影响。确定场址表征完成的条件是确保场址表征项目的目标已实现，就参数数值和数据的数量与质量来说，必须支撑安全评定和设施设计，或为了解系统和过程提供额外的信心。例如，敏感性研究能表明关键

数据的不确定性是可控制的，计算的剂量与风险符合相关标准，以及进一步收集数据将不增加安全论证文件的信心。表征活动应该持续到建造和运行阶段，提供进一步的数据，必要时进一步减少安全论证文件中的任何剩余不确定性。

设计

SSR-5[4]要求 16：处置设施的设计

“处置设施及其专设屏障的设计必须能够包容废物及其相关危害，在物理学和化学上能够与主岩地质建造和（或）地表环境兼容，并提供能够补充围岩环境所具有的那些特性的关闭后安全特性。设施及其专设屏障的设计必须能够提供运行期间的安全。”

6.19. 近地表处置设施预计运行的时间比工程应用通常考虑的时间长得多。应对类比物在自然界中的行为方式，或者古文物和人工构筑物随时间演化的行为方式开展研究，以增加设施长期性能评定的信心。还应通过适用于给定应用材料的试验，制定支持材料长期耐久性的技术正当性。应对制造废物货包和制造工程组成部分的可行性及其特征进行论证，以评定其是否能达到足够的性能水平和建立足够的信心。还应证明建造新型的、同类型首例处置设施的可行性。应提供类似设计和在其他处置项目中应用类似材料的信息，以增强安全论证文件和辅助安全评定的信心。

6.20. 设施的设计要求确保其在运行和关闭后期间都能保持安全。还应考虑监控、安保和同时进行的活动（开挖和废物放置）的要求，如有要求，还须考虑可追溯性和可回取的要求。应在设施设计的早期阶段考虑设施关闭安排和有组织的控制措施。设施设计应足够详细和精确，使得在运行和关闭后安全评定中能够适当地评价设计要求的影响。随着设施设计不断进展，并在设施开发、运行和关闭阶段逐渐变得更加详细，安全评定应进行更新和评价设计变化对设施遵守监管标准的影响。

6.21. 设施设计应考虑将在场址中处置的废物。应在开发过程的早期阶段明确设施所要处置废物的类型和数量。在概念和计划阶段之前，国家废物管理政策和战略应考虑废物类型（例如，来自于核电厂运行和退役的低放废物和极低放废物；在医学、工业、农业、科研与教育中产生的放射性废

物)、废物数量与特性，以及计划在设施中处置的废物的放射性总量。废物的信息在设施设计期间应用于支持概念设计和实际设计的确定。

6.22. 设施的初始设计应用于验证处置设施候选场址的适宜性。设施设计、场址物理特性、废物特性或废物量是相互依赖的，应以提出一套独立和互补的安全功能实现处置系统预期性能的方式进行管理。设施的初始设计应用于证明：场址连同设施设计与废物特性将在必要的时间内为核素提供充分的包容和隔离。设施初始设计应在许可证审批过程中被正式批准。

6.23. 设施设计和建造质量还应与有组织的控制持续时间和关闭后的需求相符。根据尽可能依赖非能动控制，以及不给后代带来过度负担的原则，在有组织的控制期间，应尽可能减少对处置设施可达部分（如最终覆盖层）进行维护和修复的需求。

6.24. 设施设计应适应运行活动和辐射防护实践（如现场辐射照射控制和分区），这应根据预估的辐射照射情况和污染可能性确定。如在第 4 部分中指出的那样，针对运行安全的设施设计可包括能动和非能动系统，应依赖辐射防护相关的和工业上的最佳实践与技术。

6.25. 运行期间的辐射监控措施设计方式应考虑预计运行事件、事件和假设事故。应根据可能的受体位置建立监控计划，包括监控设备，并应反映实际受照途径。职业人员和公众的受照途径可能是不同的，受照途径的差异应反映在辐射监控站类型和位置上。应建立适宜的监控站以监控外部辐射水平、气溶胶污染和水污染（地下水和地表水，视情况而定）。监控计划应包括场址内外控制区和非控制区中的测量点，考虑公众受照途径。

6.26. 设施设计过程应在适当的管理系统内进行，这一管理系统也提供配置变化的控制（见第 7.20—7.33 段）。对服务于运行安全和关闭后安全的屏障设计属性应进行表征描述，以确保管理系统采取了与其对安全的重要性相符的控制水平。

6.27. 虽然处置定义为将废物放置在适当的设施内，并预期不再回取，但在一些国家的系统中，要求设施在关闭前的任何时间都能够回取废物（设计为废物可安全回取）。如果废物回取能力是一个设计要求，则其应该在概念设计和后续的设计过程中进行考虑，并保证不损害设施的关闭后安全。应采用与设计原则相符的最优化方法满足任何设计要求。尽管可回取性可

以在设施开发、运行和关闭的任何阶段考虑，但设施关闭后的可回取性应作为一种例外情况考虑。

6.28. 对于关闭后阶段的安全，设施设计应满足坚稳、简单、技术可行和屏障非能动运行等原则。应设计和运行处置设施，实现处置场址的长期稳定性，在可行范围内减少处置场关闭后能动维护的需求。设施设计应考虑所处环境的固有特征（包括侵蚀、洪水、地震和其他破坏性现象）。不过，这些过程的相对重要性将因场址而不同，设施设计应专注于对满足性能目标和监管要求具有最重大挑战的过程。

废物接收

SSR-5 要求 20：处置设施接收废物

“接收要放置在处置设施中的废物货包和未包装的废物必须证明完全符合运行和关闭后处置设施安全论证文件，及由该文件导出的标准。”

6.29. 在任何放射性废物处置设施中处置的废物类型，是设施及其运行对职业人员和公众造成潜在危害的首要决定因素。因此，设施设计和安全评定中应考虑包括其活度水平和其他特性的待处置废物特性。当废物放置在处置设施中时，营运者应通过废物接收程序确保废物货包和未包装废物满足废物验收标准。废物接收程序应确保：

- 处置设施安全运行（例如，在正常运行工况下和预计运行事件工况下对废物货包进行安全处理）。
- 废物体和废物货包能实现其在运行阶段的安全功能，以及实现可能在关闭后具有的安全功能。
- 放置在设施中的废物满足放射性核素浓度和总活度的所有限制。
- 废物特性不会对系统其他部分带来负面影响，以致安全功能的性能失效或显著降低。

6.30. 应对打算在近地表处置的废物进行表征，以提供足够的信息确保满足废物验收标准。应安排核实接收处置的废物和废物货包符合这些标准，如果不符合标准，应确保由责任方即废物产生者或处置设施营运者采取纠正措施。废物表征活动应在废物管理过程的早期进行（即在废物产生和处

理阶段)。废物货包的质量控制应根据废物处理记录、整备前试验(如容器)和整备过程的控制确定。整备后的试验和对纠正措施的需求应该限制在实际可行的范围内。

6.31. 营运者制订的废物接收程序应考虑废物产生和处理步骤。按照国家的职责划分,废物产生者、废物管理组织或处置设施营运者应建立和应用废物验收标准和技术规范与程序控制废物产生、废物处理和废物表征。确保在废物产生和管理过程中存在机制(如程序和控制)保证废物处置验收标准能够得到满足并将会得到满足。营运者应在接收废物处置时作为废物接收程序的一部分进行核实和控制。废物接收程序的要点应提交监管机构审批,例如,作为安全论证文件的一部分用于申请许可证。

6.32. 在废物验收标准的制订过程中,重点应放在:近地表处置旨在处置只含有有限数量长寿命放射性核素的短寿命放射性废物。一般地,较长寿命的放射性废物需要更高水平的包容与隔离,近地表处置不能够提供这种包容和隔离。放射性废物管理的国家政策应确保对长寿命放射性核素的这些限制得到重视,确保含有较高浓度长寿命放射性核素的废物处置在为接收这类废物而设计的设施内。

6.33. 废物验收标准应由处置设施营运者制订,作为包括废物生产者、其他任何废物管理组织和监管机构在内的相关各方迭代交流的一部分。应将其作为安全论证文件的一部分进行编写,考虑废物产生过程、废物处理方案、产生的预期处置废物量,以及处置设施的运行安全(包括运输安全)与长期安全。为制订关于长期安全的废物验收标准,采用的方法应同时考虑放射性核素排放假想方案和人类侵入假想方案,并应利用正常演化和自然扰动过程的剂量和风险约束值,以及人类侵入的可能性。

6.34. 废物验收标准应包括对运行安全和关闭后安全重要的废物特性,并应载明如下:

- 每个废物货包中允许的活度水平和每个废物货包中允许的长寿命放射性核素水平;
- 允许的表面剂量率和表面污染水平;
- 废物和废物体化学与物理特性的允许范围;
- 处置的废物中不允许的物质或特征;

- 每个废物货包允许的尺寸、质量和其他制造规格；
- 在废物表征方面，可允许不确定性的限制；
- 对附随文件的要求。

如原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-1 号《放射性废物的分类》[8]第 2.26 段指出，对单一废物货包中长寿命核素活度浓度的限值，可补充以平均活度浓度的限值和运行技术，例如在近地表处置设施内选定区域放置具有较高活度浓度的废物货包。

6.35. 实际处置废物的特性影响设施运行期末的安排，如设施关闭安排、计划或预期的许可证终止时间和关闭后活动，包括能动和非能动的有组织的控制。在关闭设施和对关闭后设施实施控制计划时，以及在确定到许可证终止前的最短时间和后续有组织控制的最短时间时应考虑各种因素。考虑因素的示例包括在控制期内可到达生物圈的易迁移核素的大量存在，产生非放射性气体的可能以及长寿命放射性核素的总量。

6.36. 从放射性废物量角度，对近地表处置系统的最优化应主要采用保守方法，限制能够在设施内处置的活度，特别是长寿命放射性核素的活度。如果考虑进一步优化，应对放射性废物管理的不同步骤进行全面考量（例如，在废物产生点进行额外的分离、废物处理以及降低在近地表处置设施中处置的特定废物流中长寿命放射性核素数量的可行性）。按照这种全面考量，应结合废物管理设施职业照射的增加和经济因素评估近地表处置设施安全的收益。

6.37. 按照分级方法和在安全论证文件中所做的假设，应对废物体行为进行模拟与试验，确保不同废物货包和未包装废物在处置设施预期条件下的物理和化学稳定性，并确保其在事件、事故或异常工况下具有足够的性能。

6.38. 应构建废物接收和处置记录，适应废物接收相关信息。

建造

SSR-5[4]要求 17：处置设施的建造

“必须按照已批准的安全论证文件和辅助安全评定中所描述的设计建造处置设施。处置设施必须以保持围岩环境的安全功能的方式进行建造，这些安全功能已经安全论证文件表明对于关闭后的安全至关重要。建造活动必须以确保运行期间安全的方式进行。”

6.39. 设施的建造应符合批准的设施设计以及任何建造开始后经批准的设计变更。对设施安全重要的系统和部件，须按照监管机构的要求在设施建造获批后才开始建造。

6.40. 建造之前，应具备适当的文件并通过有效的文档管理系统进行维护。详细的设计与建造图、技术规范与制造技术以及其他事项，都应进行编写和维护。还应确定对所有结构、系统和部件适用的规范和标准。

6.41. 在开始建造或制造之前，应具备制造计划，并了解所有材料的技术规范。这些计划应明确材料的标准、技术规范和质量保证标准。一个有适当质量保证和质量控制程序的充分的管理系统，是确保安全相关系统、结构和组件设计、制造和建造能够实现所需功能的关键。应在建造前和建造阶段进行检查和核实，确保设施符合安全论证文件中经批准的设计，或符合已由监管机构评价与批准的“随建造”更改。

6.42. 提交给监管机构的文件应详尽。监管机构应提供指导，帮助申请者准备许可证申请；这种指导在一些国家以标准评监查划的形式提供。依照这些评审计划和导则能提高提交给监管机构的许可证申请和支撑文件满足预期要求的可能性，减少其包含结构性弱点或缺陷导致项目评审、批准和建造延迟的可能性。

6.43. 设施初始建造阶段包括一系列活动，如场址准备、厂房建造、设备和用具的制造和安装，以及辅助系统的建造。应避免或限制处置设施建造过程中对所处环境的干扰，如不必要的过度开挖或开挖扰动区的扩展、将化学有害物带入当地环境等。应确认并在建造程序中采用建造技术的最佳实践。所有建造活动的开展应最大程度地保持周围环境固有的包容与隔离特征。

6.44. 应强调建造期间安全相关活动的的安全质量控制（即，那些必须在安全论证文件中确定并须经监管机构批准的活动），确保建成的设施符合安全论证文件中提出的设计，或者确保竣工变更通过评价并表明其对安全论证文件没有影响。

6.45. 应在初始建造阶段的末期对系统和组成部件开展一系列调试，测定其功能是否符合批准的设计是否满足要求的性能标准。在调试期间应开展这些试验评价设计和运行程序的充分性。

6.46. 建造活动可能在设施开启和关闭处置单元和管沟的运行期间持续进行。应以保障职业健康和安全的方式开展运行活动，包括持续进行的建造和废物放置活动。所有活动的管理和执行应反映辐射防护、工业安全和土木工程最佳实践的结合。设施建造活动的的安全应依赖现有核设施或工业设施类似的最新安全实践数据。设施建造期间的运行活动应采取和实行辐射防护的最佳实践，保护工作人员和公众。

运行

SSR-5[4]要求 18：处置设施的运行

“处置设施必须按照许可证条件和相关监管要求运行以保持运行期间的安全，并须以保持安全论证文件中所设想的对关闭后安全具有重要性安全功能的方式运行。”

6.47. 作为获得运行批准（许可证）的一个要素，在设施接收第一批废物之前，营运者应满足适用的监管要求，证明设施结构、系统和组成部件的充足性。此外，营运者还应核实必需的服务、功能和程序已经到位并应就正常和异常事件，以及应急状况开展这一证明。应利用调试程序，评价安全相关设备的可操作性和操作程序的充足性，包括安全装卸程序、安放程序，以及如有必要作为正常运行一部分的废物回取程序。

6.48. 营运者应修订和更新安全评定和安全论证文件，证明正常运行工况和异常工况下对工作人员和公众的危害与风险已降低合理可达尽量低的水平。对安全的能动控制应维持到仍有必要进入设施的时期。这可能包括废物放置完成之后和设施最终关闭前的延长期。安全论证文件应确定运行伴

随的危害与风险（如火灾、水灾），应具备管理这种危害与风险的政策、实践和程序。

6.49. 应制订设施安全运行必需的所有活动的政策和程序。程序作为设施文档管理系统的一部分应进行正式的文件记录和维护。应提供明确的运行导则、正式培训和职业人员证书，以确保职业人员能充分开展工作。

6.50. 运行应按照批准的、为职业辐射防护提供的程序实施运行[3、21]。营运者有责任确保设施工作人员遵守这些程序和运行导则。

6.51. 营运者应制订培训计划，确保能够正确和安全地完成与处置设施安全运行相关的活动。应建立培训计划，以确保各级人员具备所需的能力。培训计划应为活动的开展提供知识和实践经验，并应促进安全文化的建立。培训计划和相关程序应定期更新，吸纳从运行经验反馈分析获得的经验。

6.52. 应具备运行程序（包括废物接收、处理和放置程序），并对程序进行试验和定期评审与更新，以提高安全性。营运者应确保设施工作人员遵守这些程序和运行导则。应对工作人员进行培训和认证，确保书面程序和实践被清楚理解、记录及遵守。

6.53. 应执行维护程序，以确保结构和设备在设施的整个寿期内持续执行它们的功能（安全和非安全相关）。应按照制订的程序对安全重要物项（如废物处理或管理设备）进行视察、试验和维护。对辅助设备（机械、土木和电气结构、系统和部件）也应依照制定的政策与程序进行定期维护。

6.54. 由于近地表处置设施在最终关闭前要长期运行，因此，应建立能动和非能动系统的老化管理计划（例如，预防性维护计划）。能动的部件应是维护计划的重点。对于在运行阶段和关闭后阶段保持完整性所要求的非能动构筑物（例如，工程特征），也应制订老化管理计划。老化管理计划应设计为探测在建造和运行中存在的直到关闭后才可能被发现的问题。

6.55. 应实施质量保证程序，使得营运者可以检验工作人员的能力，评定培训和认证计划的有效性，并促进形成安全的工作环境。这些程序的目的是确保按照标准运行程序进行设施内的活动，并确保对安全采用了分级方法，将资源集中到设施运行伴随最大风险和存在最大危害的方面。

6.56. 应建立应急程序，应对可能发生和具有场内或场外后果的应急状况[22]。安全论证文件应指出哪些因素对导致显著场内和场外后果的假想方案有贡献。得到的假想方案应反映运行真实状况，但也应考虑分析最坏的状况。应针对这些状况或假想方案制订应急计划。应急计划应按照国家法规以适当的时间间隔进行演练。

6.57. 应控制对废物处理、贮存和放置区域的接触，以确保废物的安全和实物保护。应设置预防措施以探测任何无授权侵入并立即应对。

6.58. 应按照预防性维护计划，对机械、土木与电气结构和设备进行维护。应按照处置设施维护计划对安全重要部件（例如，废物搬运和废物升降设备）进行视察、试验和维护。还应将在运行阶段已经关闭和仍然开放的处置单元（例如，设施中的拱顶、管沟和区域）纳入维护计划中。应具备清晰和详尽的文档描述设备、程序和条件的所有变化与修改；并且按需要在安全论证文件中证明这些变化和修改是合理的。

6.59. 设计变更和流程改进在设施运行中是无法避免的。应建立一个结构控制与管理的系统，进行文档记录，使变更得到批准并跟踪设施的变化。一个近地表处置设施需要进行设计变更的原因可能很多，包括内部和外部影响。流程改进源于对更好的人力资源管理的要求，或者改进受照管理的需要。例如，对职业照射率和放射性物质排放的监控可能表明需要进行设计变更，包括程序修订，这可能使性能得到改进，减少照射和放射性物质向场外的排放。相似地，环境监控（例如，地下水监控）可能提供验证安全评定中模拟的过程和特征是否如预期演化的迹象。

6.60. 放置最后一批废物货包和关闭最后一个处置库室或管沟之间的时间间隔应尽可能短，以尽可能快地充分发挥非能动安全特性的优点。

6.61. 场址照射控制和放射性控制区是确保工作人员和公众受照达到合理可达尽量低水平的重要部分。

关闭

SSR-5[4]要求 19：处置设施的关闭

“处置设施的关闭必须以能够提供安全论证文件已表明的对关闭后具有重要性的那些安全功能的方式进行。关闭计划包括从能动的设施管理过渡的计划必须充分确定并切实可行，以便能够在适当时安全地进行关闭。”

6.62. 近地表处置设施的关闭应包括运行系统和组成部件的退役，调整设施状态使其提供长期安全所需的安全功能。

6.63. 应在设施关闭计划中将设施关闭过程编写成文。典型情况是，由于已经放置入废物和处置单元已经填满，可能会关闭部分场址或某段场址。处置活动在设施其他地方可能会持续开展，直至达到废物容量和完成场址的最终关闭活动。应在设施运行期间编写设施关闭计划，关闭计划应提供计划处置活动的次序与结构。设施关闭计划应考虑以下因素，如在设施中处置的废物类型、处置活动的时间安排、废物体积年估算量、废物在设施内的位置（若有可回取要求）（特别是放置较高活度浓度废物所选定位置），以及个别处置单元（拱顶、库室和管沟）的分阶段暂时关闭等。最后，设施关闭计划应描述最终工程屏障和场址标识（如果使用）的安装，以及如何将设施转到有组织控制阶段。监管机构应评审批准设施关闭计划。设施关闭计划还应作为与公众沟通的一个工具，告知他们长期计划及其对当地社区可能造成的影响。

6.64. 设施关闭计划应成为关闭后安全论证文件的一部分。处置设施关闭后安全取决于设施的设计、建造和运行。在设施设计中应考虑关闭后期间的要求，随着设施设计的发展应对关闭特征的设计进行更新。在更新安全论证文件时应考虑设施在关闭后阶段的性能，更新的安全论证文件应提供证据证明关闭系统是有效的并将确保关闭后处置设施的安全。

6.65. 在建造活动开始和处置单元装填之前，应有足够的证据证明关闭特征能够实现预期功能。当处置活动开始，关闭后性能目标应运用在运行决策中，例如，废物放置和顶盖临时设计。设施关闭活动应随着处置单元的装填在设施寿期早期开始。应充分了解关闭单一处置单元对整个设施安全论证文件的影响并编写成文。

6.66. 对每个处置单元的关闭活动将共同决定处置设施的关闭后性能。应有足够的证据证明处置单元工程屏障性能（例如，回填材料、密封材料和覆盖层）如预计运行达到设计要求。在整个运行期间，处置单元的设计可能随很多因素而变更，如材料和建造技术的改进、场址特性和特征信息的改进和废物特性或废物体的变化。记录保存系统应把这些变化编写成文，并通过更新安全论证文件核实是否能持续满足性能要求。应采用信息管理系统跟踪可能影响设施关闭后性能的任何变化。

6.67. 应维护和定期更新关闭计划。关闭计划应包括或参考以前各阶段信息记录的整理，这些信息对未来的纠正行动或处置设施再评定是必要的。关闭计划应包括处置废物的类型、放射性核素组成、其在设施中的位置以及回填材料。

6.68. 关闭计划应描述拟在关闭后阶段进行的任何控制。这些控制可能包括辐射监控计划和监视计划。关闭计划还应包括对记录保存系统的描述和场址利用控制的规定，以及任何限制场址接触或场址利用的强化措施。关闭后计划应描述在关闭后负责执行和管控的各个组织。

6.69. 贡献于安全的有组织的控制的最小持续时间应在关闭的安排中确定，并应在安全论证文件中证明其正当性。能动的有组织的控制应持续到人类侵入的后果不超出 SSR-5[4]规定的标准之时。这个时期后，应考虑所需非能动控制的类型，特别是场址可能由当地土地使用规划部门管辖。有组织的控制措施应包括如下内容：

- 防止未经授权使用场址和人类侵入处置设施；
- 监控与监视处置系统；
- 必要情形下，采取维护和补救措施；
- 传递知识给后代。

6.70. 关闭计划应概述关闭方法，包括使用的材料和技术，以及关闭所用部件的预期性能。应根据可获得的材料与技术对关闭方法进行优化，提供处置系统整个有组织的控制期和及之后所要求的关闭后性能水平。应在为获得处置设施关闭批准而编写的安全论证文件中描述建议的关闭方法。

6.71. 应通过对场址自然演化认识的发展，以及现场试验、数据分析与模拟，证明关闭系统的有效性。应对关闭系统实际的现场行为开展试验，提供系统性能的认识，减少模式与安全评定的不确定性。不能通过场址特定分析确定的信息应利用适当的类比获得，包括国内或其他地方类似系统的经验。

6.72. 设施关闭还应包括处置单元的最终关闭、场址的最终物理准备（例如，安装顶盖）、有组织的控制和现场设施退役。在关闭处置单元和准备场址关闭的过程中，应考虑关闭后监控的要求与许可证审批过程的承诺，以及在安全论证文件中长期性能所依赖的设计特性。

6.73. 设施关闭还应包括不属于处置系统本身的设施部分（例如，办公楼、处置设施运行所用的部件和设备）退役，以及所需的任何环境修复并应考虑防止人类行为，或减少人类行为发生可能性的措施。处置设施的最终关闭，应遵照监管机构在许可证审批中设定的设施关闭条件，特别要考虑这一阶段可能出现的任何责任变更。

7. 安全保证

监控计划

SSR-5[4]要求 21：处置设施的监控计划

“如果监控计划是安全论证文件的一部分，则必须在处置设施建造和运行之前和期间以及设施关闭后执行该监控计划。该计划必须旨在收集和更新用于防护和安全目的所需的资料。必须取得有关资料，以确认在设施运行期间保护工作人员和公众的安全以及保护环境所必需的条件。还必须进行监控，以确认不存在可能影响设施关闭后安全的任何条件。”

7.1. 监控是指对安全相关的重要工程、环境和放射性参数进行持续或周期性的观察和测量。监控应在处置设施开发过程中尽早开始。无论如何，应在处置设施建造之前进行以确定本底水平和帮助场址表征。监控计划提供安全评定的输入、设施运行安全的持续保障，以及关闭后安全假设的确认。放射性废物处置设施监控的详情见原子能机构《安全标准丛书》第SSG-31号《放射性废物处置设施的监控和监视》[23]。

7.2. 监控计划应在建造前确定，并应与安全论证文件的编写相协调。场址的基准调查，包括周围环境的特征调查应在开始建造活动之前进行。应定期修订监控计划，反映在开发、运行和关闭期间所获得的新信息。

7.3. 监控计划应明确监控方法（例如，对土壤、植被、水和空气进行取样）、测量技术、要求、限值和偏差、监控与测量频率和报告要求，包括监控和测量结果的保存。

7.4. 监控计划应是包含在安全论证文件中的组成部分，应随每次对安全论证文件修订而完善。因此，监控计划应由监管机构审核和独立核实。在运行期间，监控计划应用于证明符合监管要求和运行许可证条件，包括环境和辐射防护安全要求[3]。从监控和测量结果获得的技术和科学数据，也可用于改进安全评定中的假设和模式。

7.5. 对于关闭后时期，近地表处置设施应不需要或不依赖关闭后监控计划来提供安全保障。关闭后监控的实施如果有要求可由政府或监管机构提供公共保障，但监控不应损害设施的安全功能。人们可能也是必要的关注非放射性污染的监控。设施运营者在设计监控计划时应考虑这些污染物。

关闭后和有组织的控制

SSR-5[4]要求 22：关闭后阶段和有组织的控制

“必须制订关闭后阶段的计划，以解决有组织的控制和维持获得处置设施信息的安排问题。这种计划必须与非能动安全特性相一致，并须构成有关授权关闭设施所依据的安全论证文件的一部分。”

7.6. 关闭后的有组织的控制应被视为一种为处置设施安全提供额外保障的手段。有组织的控制对处置系统安全的贡献是防止或减少可能无意干扰废物或导致处置系统安全特性退化的人类活动发生的可能性。有组织的控制也有助于提高公众对近地表处置设施的接受程度。

7.7. SSR-5[4]第 5.6 段指出：“放射性废物处置设施的长期安全不得依赖能动的有组织的控制。”然而，根据近地表处置设施的放射性核素量，对设施的有组织的控制（例如，防止人类侵入）可能需要维持到设施关闭后一定时期。

7.8. 营运者应编写有组织的控制计划，提交监管机构和地方、区域或国家任何负责场址所在地行政管理的机构进行咨询。该计划应确定有组织的控制的预期功能，描述其如何受到影响，说明其假定的有效期限，并提供依赖的论证和证据。该计划开始在设施最初建造时是灵活的，本质上是概念性的，但它们应随着设施关闭和场址解除监管控制而逐渐发展和完善。

7.9. 有组织的控制可以是能动的（即，控制需要营运者的能动维护），或是非能动的（即，未来不需要营运者或其他人采取行动就能够持续的措施）。能动的有组织的控制包括防止公众进入场址的措施（例如，保持场址围栏和安保人员）和环境介质中放射性核素浓度和工程屏障完整性与性能的监控活动。非能动的有组织的控制可包括将处置设施信息纳入地方、国家或国际记录和档案中（为使后代能够对处置设施及其安全做决策），在场址上使用持久性标识[4]以及在法律中限制土地使用。

7.10. 营运者应将实施的有组织的控制计划与为安全评定目的对有组织的控制持续时间和有效性所做的假设区分开来。在安全评定中有一个假设，例如，能动的有组织的控制能在 100 年内有效地防止人类侵入，但这并不意味着 100 年后取消有组织的控制能动的有组织的控制。将场址从监管控制中解除和将能动的有组织的控制转为非能动的有组织的控制应由营运者会同监管机构在考虑相关各方的意见后做出决定。

7.11. 安全评定和安全论证文件不应依赖于无限期的有组织的控制（例如，防止人类侵入）。

7.12. 安全评定结果为有组织的控制计划的决策提供输入，但它们不应是唯一的考虑因素，而应考虑所有相关各方的意见，以提供一个有力和良好支撑的安全论证文件。对于能够影响设施的破坏性事件，还应在编写有组织的控制计划时考虑其可能性。一般地，放射性衰变将导致废物的危害和相关剂量与风险随时间减少。然而，在某些情况下（例如，近地表处置设施中含有可观数量的长寿命放射性核素），由于子体放射性核素增加，估算的剂量可能随时间保持相对恒定甚至略有增加。

7.13. 对于某些近地表处置设施，人类侵入假想方案下的剂量评定为确定设施关闭后所需能动的有组织的控制持续时间提供了一个定量指标，以满足放射性废物处置安全要求[4]提出的标准，如方框 1 所示。其他受照途径和假想方案（例如，通过气体或地下水途径的排放和来自于气体和地下水途径的受照）也会影响有组织的控制及其持续时间的需求。有组织的控制计划不应只依据这些数值的比较，还应考虑众多因素作更广泛的判断。

7.14. 营运者应证明安全论证文件和有组织的控制计划中有关有组织的控制有效性持续时间的任何声明的正当性。安全论证文件和辅助安全评定典型情况是假定有组织的控制持续有效时间不超过几百年。

7.15. 不同的组织可能负责不同的有组织的控制活动。营运者通常负责能动的有组织的控制，而国家机构可能负责记录归档和土地使用控制等活动。在适当阶段，经过监管批准可以将场址责任从营运者转移到政府。

国家核材料衡算和控制系统

SSR-5[4]要求 23：国家核材料衡算和控制系统的考虑⁹

“在受核材料衡算和控制协定支配的处置设施的设计和运行过程中，必须考虑确保安全不会由于核材料衡算和控制系统所要求的措施而受到损害。”

⁹ 原子能机构核保障协定要求建立国家核材料衡算和控制制度。” [24—26]

7.16. 对于大多数近地表处置设施的开发，材料或废物不关注核材料衡算与控制措施。但是，要求运行核材料衡算和控制的地方，需要将其纳入处置设施建造、运行与关闭项目中。还必须对核材料与核设施采取实物保护措施。见原子能机构《核安保丛书》第 13 号报告（INFCIRC/225/Revision 5）《关于核材料与核设施实物保护的核安保建议》[15]。

7.17. 如果对关闭的近地表处置设施要求采取核材料衡算和控制措施，则应避免可能损害关闭后安全的侵入。原子能机构核保障法的实施在可行范围内可采用远程措施（例如，卫星监控、航空摄影、微震监视和行政安排）。

安保

SSR-5[4]要求 24：对核安保措施的要求

“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。”

7.18. 在需要核安保措施的地方，防止人员非授权进入和防止放射性物质的非授权移出，必须有完整方案实施安全措施和核安保措施[1、15、27]。

7.19. 核安保水平必须与放射性危害水平和废物特性相适应。安保要求在要求应用核保障的地方应是最严格的[4]（第 7.16—7.17 段）。

管理系统

SSR-5[4]要求 25：管理系统

“必须对贯穿于处置设施建造和运行中所有阶段的一切安全相关活动、系统和部件适用旨在提供质量保证的管理系统¹²。每一方面的保证水平必须与其安全重要性相称。”

¹² 术语“管理系统”包括质量控制（控制产品的质量）的所有初始概念及其贯穿质量保证（确保产品质量的系统）和质量管理的（对质量进行管理的系统）的发展过程。”

7.20. 原子能机构《安全标准丛书》第 GS-R-3 号《设施和活动管理系统的适用》[27]规定了对管理系统的要求；原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3 号《设施和活动管理系统的适用》[28]给出了一般性建议；原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.3 号《放射性废物的处理、操作和贮存管理系统》[29]提出了有关放射性废物处置管理系统的详细建议。

7.21. 当运营者和监管机构建立放射性废物近地表处置设施管理系统时，首先要特别考虑的是，在关闭后阶段能动的有组织的控制结束之后，安全和环境保护将取决于一个非能动系统，其必须确保对废物具有足够的包容和隔离。根据近地表处置设施的类型（地表之上或在较浅的深度，高度工程防护的拱顶或一个较简单的管沟设计），废物的非能动包容与隔离将依赖于工程屏障、天然屏障（当存在时），以及处置设施自然环境的有利特征（例如，其长期稳定性）。对一个非能动系统的依赖影响管理系统的建立与应用。管理系统中对于有助于废物包容与隔离的所有组成部分，从设计阶段到场址有组织的控制结束，都应对其性能、稳定性、互补性和寿命给予系统关注。

7.22. 第二个应该专门考虑的方面是，在处置设施关闭之后和能动的有组织的控制终止之前，需要一个长时间的有组织监视与控制（几十年到几百年的时间，在很大程度上取决于废物中长寿命放射性核素的活度），以确保非能动系统不被可能导致无意侵入处置设施的人类活动干扰。在这一时期将对场址进行监视，限制场址接触并控制系统的非能动功能。管理系统应特别强调，在设施开发、运行和关闭过程中，要记录两方面信息，即所做决策及原因。这是为应对处置系统所有知识和信息长时间管理挑战所必须的，目的是使逐步决策得以进行直到在场址上的所有控制活动终止。

7.23. 第三个应该考虑的方面是确保适当废物活度限值（主要是长寿命核素）的要求。因此，应制订废物接收程序，涵盖确保废物置入活动符合这一限制的所有要素（废物表征以及处置废物接收的管理系统）。

7.24. 管理系统应明确管理和组织结构对所有与安全相关活动过程的作用。管理系统还应明确参与管理、应用和评定过程质量的各个成员和组织的职责与权限。

7.25. 营运者可获得的用于开发和运行处置设施的财务资源应证明是充足的和安全的。监管机构应定期核实财务资源的充足性，并评审批准预留经费保管机制，保证经费在需要时可用于预期目的。

7.26. 对于所有开发阶段和活动，营运者应确定其人员要求，招聘和培训合格的人员，并应建立和保持安全文化。营运者应采取必要措施，通过培训、教育和知识传递，在整个设施开发项目中保持能力和安全文化。关于能力保持和安全文化的更多信息见参考文献[30—32]。

7.27. 为安全相关过程提供质量保证的管理系统的要素应考虑设施周围环境的不确定性。设施周围环境对安全重要，但不能对其进行设计或制造，只能将其表征至一定详细水平。另外，处置设施是通过设计、表征和评定的多个连续步骤发展的，其详细程度和精度越来越高。然而，不确定性通常仍然存在，管理系统应确保在安全论证中适当考虑了这些不确定性。

7.28. 处置设施管理系统应确保文件证据的产生和保存，以说明数据质量达到要求，配备了组件并按照相关技术规范使用，以及废物货包和未包装废物符合规定要求与标准，并已被妥善安放在处置设施中。管理系统还应确保收集设施开发、运行和关闭所有阶段记录的一切信息，保存对安全重要的信息和对未来设施重新评定所需的信息。

7.29. 营运者的管理系统应符合管理系统的国家标准，同时在可能的时候使用国家或国际公认的法律、法规和标准[27—29]。一个综合安全、健康、环境、安保、质量和经济等因素的适当管理系统，有助于增强设施场址特征、设计、建造、运行、关闭和关闭后安全等满足相关要求和标准的信心。应根据系统安全评定的结果确定相关活动、系统和部件。应根据对安全的重要性对管理系统的应用进行分级。

7.30. 废物产生者与设施营运者的管理系统应作为安全论证文件的一部分，并经监管机构评审和认可。管理系统应得到营运者高级管理层的批准，承诺保证在整个组织中完全采用。

7.31. 营运者应定期接受适当外部机构的评定，确保符合管理系统中的程序。

7.32. 对近地表处置设施，应为客观证据（如监控样品和文件证据）的产生、保留和保存提供管理系统及其包含的质量保证计划。

7.33. 为了子孙后代的利益，应考虑使用物理和电子形式的记录，确保信息保持可用并适当归档。描述废物精确位置和特性的记录应得到适当保护。

8. 现有处置设施

SSR-5[4]要求 26：现有处置设施

“必须定期评定现有处置设施的安全直至许可证终止。在此期间，如果计划进行具有重要安全意义的更改或批准书的内容发生了变更，也必须进行安全评定。如果本安全要求出版物中所述任何要求未得到满足，则须采取措施改进设施的安全，同时考虑到经济和社会因素。”

8.1. 应开展定期安全评定和更新安全论证，提供对设施防护和安全状态的整体评定。这应包括对运行经验和可能改进的分析，同时考虑普遍情况、新技术发展或新监管环境。

8.2. 按照最新的关闭后安全标准，一些现有的近地表处置设施不能被设计或选址，或者不能被运行。对于一些现有设施，在早年运行时可能没有废物验收标准，或者验收标准与现今认为可接受的标准有很大偏差。这些设施可能包含现在认为不适于近地表处置的废物或废物货包类型。对于可选的措施（如保持现状、全部或部分翻新以及迁移设施），需要通过研究判断这些选择对工作人员和公众造成的风险，决定是否打开回取和重新设计建造处置设施。

8.3. 在安全法规发生变化的事件中，应通过评审和必要时修订安全评定，对现有处置设施的适用性进行评价。如果设施仍在运行，应根据其持续运行、最终关闭和关闭后有组织的控制的现行计划开展安全评定。如果设施已经关闭，安全评定应假设当前的能动有组织的控制在几百年后停止。

8.4. 定期的安全再评定应根据现有的安全论证文件和安全评定开展，并进行更新，而且所用方法应与第 5 部分所述相同。

8.5. 可能需要收集额外的场址表征数据。大部分收集工作可以在场址开展，但通常同样需要场外调查（例如，表征区域地下水流动模式）。监控数据应用于模式的建立与校准，如果可获得足够的独立数据集，还可用于模式验证。如果评定表明该设施满足关闭后安全的现代标准，则没必要采取进一步行动。如果不符合现代标准，则下一步行动应根据设施是否仍运行还是已经关闭来确定。

8.6. 如果正在运行的近地表处置设施不能满足新设施的现行标准，则应决定是关闭该设施还是允许做某些变更后继续运行，或者决定是否需要采取补救措施以及补救措施后设施关闭还是继续运行。应根据安全评定结果做出这些决定，但也需考虑本“安全导则”范围之外的经济和社会因素。因此，有必要评定和比较这些治理行动计划、目前废物验收标准的变化、运行和维护程序、关闭计划和关闭后有组织的控制计划。补救措施可能包括采用新的地下水疏排或路径控制、改进防止雨水或地下水进入设施的特征，或者在极端情况下移出一些废物或全部废物。无论是在运行中还是在关闭后都需要有新的监控和监视程序。

8.7. 在对运行计划和程序采取补救措施或进行变更的决策中，适用的主要辐射防护原则应是最优化的[3]。应在考虑各种因素的基础上，比较不同的可能行动和变更获得决策的输入。所考虑的因素包括不同行动和变更对人员和环境的放射性影响与非放射性影响、它们的社会影响和经济成本。应开展可行性研究和示范项目协助决策过程。

8.8. 对于一个关闭的近地表处置设施应确定是否开展治理行动，如果开展，采取的最佳行动是什么。在辐射防护方面，涉及的原则是正当性和最优化[3]。正当性包括对可能的治理行动与不采取行动两种方式的比较，然后决定哪个行动在整体上具有净收益。若已经确定治理行动是正当的，应对这些行动进行比较，为最佳行动的决策提供信息。这种比较应包括确定和论证推荐的治理计划所需的一切因素。

8.9. 对已关闭设施的治理行动比运行设施的治理行动有限的多。有可能增设工程屏障以限制水进入（如一个新顶盖），修复工程屏障或延长有组织的控制期，以在更长时间尺度上防止人类侵入。在拱顶下面安装新的排水系统通常是不可能的。打开设施移出一些或全部废物通常是可行的，但这可能会需要对资源和职业人员所受辐射照射与风险做出重要承诺，这一点应与废物回取可带来的利益对立考虑。

8.10. 此外，应考虑治理行动的时间安排。早期行动有优点也有劣势。一方面废物体和废物货包较少出现退化，因此将废物移出设施会较为容易。但是，另一方面，放射性核素衰变得较少，对职业人员的辐射照射较高。因此，正当的治理行动要求其带来的利益超出其导致的辐射风险。

附录 I

近地表处置设施选址

引言

I.1. 选址是放射性废物处置中至关重要的活动。通常认为放射性废物处置设施的选址分为以下四个阶段：

- (1) 概念和计划阶段；
- (2) 区域调查阶段，确定一个或多个需更详细考虑的场址；
- (3) 场址勘查阶段，进行详细的场址特征研究和场址表征；
- (4) 场址确认阶段。

在场址选择中，对一个大区域进行调查，排除不适合的场址，对剩余场址进行筛选与比较，然后选出一个或多个优选场址。在选址的开始阶段，确定几个或多个可能场址，再根据地质环境，考虑其他因素筛选出一个或更多优选场址。在任何场址选择中，社会政治因素都是一个需要考虑的重要因素（例如，人口条件、交通基础设施和现有的土地使用情况）。公众和当地居民可能会不同程度地参与到选址决策中，包括否决权的使用和志愿服务。每个国家都有各自的意愿表达，不能在处置设施安全的国际导则中规定。在场址选择的初始阶段，场址特征信息（例如，地质和水文地质信息）可能是稀少或缺失的。然而，应利用这些可获得的数据和专家判断支持选择一个或多个地点作为有前景的近地表处置场址。一个可能场址应显现出其具有有利于包容与隔离拟处置废物类型的自然特性的证据，并应有迹象表明防止或延迟放射性核素从处置系统迁移到可接近环境所需的所有工程屏障能有效发挥作用。这一证据需要在后续的详细场址影响、表征和相关安全评定模拟中进行检验。

I.2. 详细的场址勘查与表征横跨选址的最后阶段，阶段 1 和阶段 2，本“安全导则”第 6 部分特别针对引导场址确认的详细场址表征阶段提出了建议。附录简单介绍了概念与计划阶段、区域调查阶段和场址勘查阶段的一些重点。随后对预期从场址勘查和表征中获得的数据类型提出进一步的指导。

概念和计划阶段

I.3. 由于选址的第一阶段与场址选择之前的概念设计和计划相关，有必要在处置设施开发的早期开展。概念设计和计划阶段的目的是为场址选择制订一个全面的计划，并利用可获得的数据和岩石与地质体的类型鉴别哪些信息可用作区域调查阶段的基础。营运者应在计划阶段的早期制订选址的指导原则。应对必需的财力与人力资源、材料、设备和时间进行可行的估计，并规定整个选址研究的职责。负责选择场址的机构与进行详细场址表征或建造和运行处置设施的机构可能是相同的。这些责任分配的决策将在国家层次上做出。然而，选址过程应按照一个制订的计划推进，这个计划可能需要定期更新并与监管机构协商制订。该计划应包括：

- (a) 对将开展的总体任务的规定与描述；
- (b) 各种任务的序列图；
- (c) 场址表征的一切导则或标准；
- (d) 这些导则或标准应用程序的概述；
- (e) 全面的进度安排；
- (f) 成本估算；
- (g) 在设计优化中如何考虑长期安全问题；
- (h) 拟议场址应排除或已排除的理由。

I.4. 在概念和计划阶段的开始时期，应根据处置设施的需求和时间进度确定关键决策点，应明确说明在处置设施中处置的废物类型与数量并描述其表征，应量化预期的废物体积和活度，应利用这些信息研究确定处置设施的概念设计。

I.5. 营运者应依照国家监管要求，制订用于支撑场址潜在适用性判断的关键地理科学标准。这些标准可能包括围岩及周边地层的要求或偏好，例如构造背景、岩石特征和地下水特性。从这些标准出发，应制订选择适宜地区与围岩进而选择优选场址的筛选导则。公认的是，这些标准或在标准中规定的限值随着认识的提高可能在选址过程中发生变化。此外，还应认识到对这些标准的考虑能够利用整个系统的初始评定结果得到加强。

区域调查阶段

I.6. 区域调查阶段目的是在考虑前一步识别的相关选址因素后，识别可能包含适宜场址的地区，并逐步确定可能包含适宜场址的目标区域。场址选择的这一过程可以通过对感兴趣地区的逐步筛选完成，这将带来对适宜小区域的识别。如果一些小区域已经被选定为可能的场址，可以在这一阶段开展研究，收集更好地确定边界条件所需的区域尺度的信息。

I.7. 区域调查阶段通常包含两个时期：

- (1) 区域测绘或调查阶段，以确定具有潜在合适场址的区域；
- (2) 筛选以选择一个或多个潜在场址进行进一步和更详细的评价。

区域测绘或调查阶段

I.8. 典型的逐步筛选方法从制订选择感兴趣区域的标准开始，这一标准包括对处置概念有利的地理、地质和水文地质特征。虽然某些因素可能对处置的成功很关键或与特定处置概念相关，但通常来说重要的是整个系统的性能。区域测绘或调查可能涵盖由自然或政治边界确定的区域全境，或可能局限于国内主要废物产生者的临近地区。后续活动应重点关注范围逐渐缩小的更适宜区域，这一过程应允许选择一个或多个潜在场址。

I.9. 选择用于区域测绘阶段的选址要素应基于拟建造的处置设施类型、应用简单导则的能力和必要数据的易获得性。还应考虑任何特定监管要求，例如，与活跃的地质大断层和火山活动中心的距离要求。这一阶段的分析将主要依赖于可获得的信息（例如，从之前勘查获得的地质数据、历史地震数据和遥感数据）。

场址筛选阶段

I.10. 在筛选阶段要在适合的区域内识别潜在场址。潜在场址的筛选可能涉及一些未在区域测绘阶段考虑的因素，包括社会政治标准。例如，在区域分析和随后的潜在场址筛选中，需要考虑很多国家法律和法规（例如，国家公园和历史遗迹）。这些通常是被清晰规定的，因而不需要专门的监管决策。

场址勘查阶段

I.11. 场址勘查阶段包括详细研究在区域调查阶段中确定的一个或几个潜在场址，以确定它们是否可在各方面，特别是从安全角度被接受。应在这一阶段获取开发特定场址初始设计所需的信息。

I.12. 场址勘查阶段需要比区域测绘阶段更详细的研究，以便获得特定场址信息，建立与拟建造处置设施相关的场址特征与参数范围。这将需要现场勘测和调查，获得场址真实地质、水文地质条件和环境条件的证据。这将涉及辅以实验室工作的场址地表调查和可能的地下调查（如钻孔）。还应收集与更广泛认识场址和描述场址相关如迁移通道、人口统计和社会考虑的其他数据。场址勘查可能会在涉及连续获取和阐释更多数据的多个阶段中进行，目的是为详细的场址表征选择一个或多个优选场址。

I.13. 初始安全评定应在较早阶段开展，表明场址是否可能适于处置设施。初始安全评定应包含初始场址勘查的结果和对应用决策过程的描述。

I.14. 如果多个场址都在考虑之列，应判断场址满足所有安全要求的能力和接收处置设施建造的能力，在场址间进行合理的比较评价。

I.15. 在场址勘查阶段的结论中将确定优选场址。应编写关于整个过程的报告，将所有数据和包括初始安全评定在内的分析工作编写成文。最终场址的选择应该还涉及基于社会经济和政治因素的判断。根据有关国家机构的规定，可能在这一阶段开展环境影响评定⁴。环境影响评定根据有关国家法律可能是很广泛的，可能包括拟议处置设施对公众健康、安全以及环境的影响评定。监管机构应评审评定结果并决定优选场址是否可能适于建造处置设施，以及计划场址确认研究是否可能满足许可证申请要求。

⁴ 环境影响评定虽然包含在许多国际文件和国家法律法规中，但未在原子能机构安全标准中定义。在安全导则《设施和活动辐射环境影响评定》的背景中，采用了《跨界环境影响评定公约》（埃斯波公约）中的定义。根据《埃斯波公约》第1条：“环境影响评定”是评定拟议活动对环境可能造成的影响的国家程序，而“影响”是指拟议活动对环境造成的一切影响，包括人类健康和安全、植物、动物、土壤、空气、水、气候、人文景观和历史古迹或其他物理结构，或这些因素的相互作用。它还包括上述因素的改变对文化遗产或社会经济状况的影响。

附录 II

场址勘查和场址表征导则和数据需求

概述

II.1. 由于可能具有很强的场址特定性和关联性的因素和过程占主导地位，因此只能对潜在场址是否适合容纳处置设施的情形提供一般性指导。尤其是社会政治因素将高度依赖国家优先事项和环境，因此本“安全导则”中未提供详细的建议或指导。

II.2. 本附录中列示的主题并不意味着任何优先顺序，也不意味着其完全全面，因为各种因素对场址勘查的相关性随特定情况而变化。因此，使用本导则和制定选址的任何次级标准都有必要考虑长期安全、技术可行性和社会、经济和环境问题。以这种方式制定标准应将技术和制度方面的关注问题转化为可行的措施。

II.3. 本“安全导则”对整个决策过程中是有帮助的，但使用时不必设定严格的前提条件。为评定处置系统是否满足性能目标，必须将自然屏障和工程屏障组成的系统作为一个整体考虑。处置系统设计中的灵活性是重要的，应保留通过更多地依赖另一个部件来补偿一个部件性能不确定性的可能。

II.4. 第 II.6—II.34 段提供了需要从场址勘查和表征中获取信息类型的示例。这些信息可被用于支持安全评定、处置设施设计研究或环境影响评定，或用于为所选处置计划提供更多置信度。只要人们开始通过地质、水文地质或其他学科的调查认识场址特征，场址表征按照定义就已开始。场址表征将至少持续到处置设施建造时期，并可能持续到运行阶段。对数据的需求在处置设施选址和建造的不同阶段发生变化，表现在所需的详细程度和范围。在区域调查和初始调查阶段，一开始将根据选址中必须考虑的各种选址因素对数据和信息进行评定。这些因素的一些或全部可以纳入特定标准中，基于这些标准进行场址选择的决策和判断。以下段落并不旨在制订一套完整的信息需求，也不代表信息的重要性。在确定这些信息需求及其应用时，应考虑可选方案、特定场址特征以及每个国家的监管条件。此外，

本“安全导则”中规定的信息类型不应孤立考虑，而应综合地应用于场址选择和确认的最优化中。

II.5. 一个全面的场址描述包括地球科学和环境数据之外的额外信息，支持场址选择和场址确认的决策。例如，土地利用、交通基础设施以及其他人对场址的影响考虑都可以发挥作用。因此，本“安全导则”还就这些问题提供了一些广泛指导。

地质

II.6. 处置场址的地质应有利于废物隔离和限制放射性核素排放到生物圈。它还应有利于处置系统稳定性，应为处置提供足够的空间和有利的特性（地质、力学、地球化学、水文地质等）。应优先考虑具有均匀和可预测地质的容易通过地质勘测技术进行表征的场址。

II.7. 在区域调查阶段，地质信息应包括大致的地质构造和地层的识别，还可能包括地表结构及其周围单元的深度、厚度和横向延伸范围。在场址表征阶段需要收集的信息应包括以下内容：

- 地层、岩性和矿物；
- 地质结构特征；
- 岩土工程特征。

在场址确认阶段，应开展广泛的地质调查，将地质特征全面地表征到详细安全评定、模拟和设施最终设计所需的水平。

水文地质学

II.8. 场址的水文地质特征应包括低地下水流量及长地下水流径，以限制放射性核素的迁移。应评价自然事件和处置设施建造预期导致的重要水文地质条件的变化（如水力梯度）。应优先考虑具有简单地质环境的场址，使水文地质系统表征或模拟简单可靠。水文地质系统的弥散特征可能也是重要的而应进行评价。

II.9. 在区域调查阶段，一个地区或场址的水文地质特征可能获得的还不够详细。在缺少水文地质地图的情况下，分析的信息应包括：

- 现有和预期的主要用水数据；
- 主要排放点和取水点的识别；
- 地下水流速和方向的估计。

在场址表征阶段，应考虑以下信息：

- 区域中重要水文地质单元的位置和范围及单元间的关联；
- 地下水流的平均流速和主导方向；
- 主要水文地质单元补给与排放的信息；
- 区域和局域水位及其季节性波动的信息。

场址确认阶段需要所选场址水文地质特征的详细信息。一般地，数据类型应定量表示以上提到的特性，目的是确定放射性核素沿可能的路径从废物到生物圈的传输时间。

地球化学

II.10. 地下水和地质介质的地球化学应对限制放射性核素从处置设施排放有贡献，应不显著降低工程屏障的长期寿命。应优先考虑如下场址：其地球化学条件有利于吸附和沉淀与共沉淀从处置系统排放的放射性核素，抑制易迁移放射性核素化合物的形成。

II.11. 在考虑处置系统内可能的化学相互作用时，应对以下方面进行评价：

- 地下水对工程屏障的腐蚀作用；
- 影响放射性核素溶解和吸附的过程或条件；
- 地下水的 pH 值和 Eh 值；
- 与天然胶体和有机材料相关的过程和条件；
- 处置系统可能产生的气体。

II.12. 估计放射性核素向生物圈排放可能性所需的信息应包括场址地球化学和水文化学条件、周围地质和水文地质单元，以及潜在地下水流途径的描述。这类信息应包括：

- 地下水流系统的矿物和岩类组成及其地球化学特性；
- 地下水化学。

II.13. 在选择候选场址的区域调查阶段不可能获得这类信息。然而，这类信息应作为场址表征和确认阶段开展的调查项目中的一部分进行收集。

构造与地震

II.14. 场址应位于构造与地震活动少的区域，不会危及处置系统的隔离能力。应在区域性分析中选择构造和地震活动少的区域。应优先考虑不良构造、火山或地震事件可能性足够低的区域或场址，不能影响处置系统满足安全要求的能力。

II.15. 在应用选址标准时应考虑以下状况：

- 活动断层、构造过程或岩浆活动的近期或历史证据；
- 历史上曾发生的地震及其规模和强度（若复发可能对废物隔离产生不利影响）；
- 可能改变区域水文地质系统的自然事件的可能性，如沉降或火山活动；
- 地震负载下土壤液化的证据。

II.16. 场址与高地震区域，或者已知或疑似活动断层之间的距离可作为区域调查阶段候选场址的筛选因素。

II.17. 处置设施的设计应考虑可能对拟议处置系统产生不利影响的场址构造稳定性和地震活动。在场址确认阶段应分析以下信息：

- 场址的历史地震活动；
- 场址中第四纪断层的出现和最新活动的年代；
- 活动构造过程的证据，如火山活动；
- 其地质环境下可能发生的最大地震。

地表过程

II.18. 应核实如处置场洪水、滑坡或侵蚀的发生频率或强度不会影响处置系统满足安全要求能力的地表活动。处置场一般应具有良好的排水，不存在洪水或频繁积水的区域。应评价由于降水或融雪和控水结构失效、通道阻塞或滑坡造成的上游流域积水，使积水最小化，减少可能侵蚀或淹没设施的径流量。应优先考虑可阻止洪水发生的地形和水文特性的区域或场址。

II.19. 应在区域调查阶段评价遭受洪水的区域和场址。可以根据洪水影响的严重程度对潜在场址进行筛选。应评价地表地质过程，如侵蚀、滑坡或风化的发生频率和影响处置系统安全的能力，应在场址表征和场址确认阶段收集以下信息：

- 场址地形，表明实际的排水特性；
- 现有和计划地表水体的位置；
- 明确山体滑坡和其他潜在不稳定边坡区域，以及承压强度低或液化势高的材料；
- 明确含有不良排水材料的区域；
- 区域洪水历史的数据；
- 上游流域。

气象学

II.20. 应对场址区域的气象进行表征，使得能够在处置设施的设计和许可证中充分考虑无法预料的极端气象条件的影响。潜在场址可以根据评价极端气象事件的可能性这类事件影响的严重程度进行筛选。

II.21. 在选址过程中，应考虑以下状况：

- 降水（降雨和降雪）；
- 放射性物质潜在大气排放的扩散条件；
- 极端气象现象的可能性，如热带和温带气旋和飓风、龙卷风、极端冬季风暴和沙尘暴。

II.22. 在区域调查阶段，可能对设施安全具有不利影响的极端气象条件的数据应在国家或地区尺度上绘制成地图。在场址表征和场址确认阶段，应从最近的记录站获取气象条件的信息，以便预测极端降水对场址水文和水文地质系统的潜在影响，评价处置设施运行期间放射性向环境排放。这类信息应包括：

- 风和大气扩散的特征；
- 降水特征；
- 极端气象现象。

人类活动引起的事件

II.23. 场址应选在当前和未来人类开展的活动不可能影响场址或场址附近处置系统隔离能力的地方。应评价紧邻重大危害设施、机场或大量危险品运输路线的区域。此外，应评价区域或场址是否包括适于灌溉或饮用的地下水等具有有价值的地质资源和潜在的未来资源，以致可能发生放射性排放量超出可接受限值的活动干扰。如果以前或未来的活动可能在废物和生物圈间产生显著的排放途径，应认为这个场址是较不适合的。潜在场址的筛选应考虑与这类设施之间的距离和相关影响。

II.24. 在区域调查阶段，已知包括地下水的有价值地质资源，应作为寻找可能区域工作的一部分进行勘查。为估计场外装置对拟议处置系统可能造成的一切不利影响，在场址表征和场址确认阶段应收集以下信息：

- 附近能对场址运行造成影响的危害装置的位置，如炼油厂、化工厂、仓库、管道和其他设施；
- 机场和重要空中交通走廊的位置和航班频率；
- 危险品频繁运输的路线位置。

II.25. 为评价过去或未来的资源勘探和开采是否对处置系统产生负面影响，在场址表征和场址确认阶段还应收集以下信息：

- 已发现包括地下水的能源和矿产资源，以及对其当前和预期品质与价值和利用可能性的预估；
- 场址附近过去和现在钻探和开采操作的记录。

废物运输

II.26. 场址的位置应允许废物运输进入路线对公众具有最小的风险。应考虑包括运输废物到处置场址相关事故的辐射照射和可能性在内的参数。

II.27. 为评价现有或要求的进入路线，收集的信息应包括以下内容：

- 场址附近现有运输路线的描述和其应对废物运输充分性的分析；
- 预期对现有运输网络的改进；
- 废物运输全部成本和风险的估计；
- 运输相关的应急响应要求和能力的分析。

土地使用

II.28. 应结合感兴趣区域可预见的发展与区域计划，考虑土地使用与土地所有权。应评价拟议场址附近土地的未来使用对处置设施运行和性能带来的一切潜在影响。还应评价处置设施运行对拟议场址附近土地未来使用的影响。

II.29. 土地的管辖权或土地所有权在某些国家可能是财务活力和处置设施公众接受度的一个重要因素。营运者或政府对场址的早期控制或所有权会简化场址计划和评价的努力，缩短设施投入运行所需的时间，减少与土地退出其他用途相关的问题。

II.30. 收集的数据应包括以下内容：

- 现有的土地资源与使用及其管辖权；
- 感兴趣区域土地可预见的开发。

人口分布

II.31. 应考虑避开高人口密度区域。应根据适当的适宜性因素开展候选场址的选择，并考虑未来干扰的可能性和可能受到来自处置设施的放射性核素排放影响的人员辐射防护。

II.32. 在区域调查阶段，应编写表明主要人口中心和地区的大比例尺地图，并将人口密度作为距离的函数。在场址表征阶段，应根据最近的人口普查收集更详细的数据并适当外推。

对环境的保护

II.33. 场址的位置应使得环境在设施的整个寿期都将得到充分保护，使得潜在的不利影响能够在考虑技术、经济、社会和环境因素后被控制可接受的程度。近地表处置设施应符合环境保护的要求。近地表处置系统可能对环境产生的不利影响包括：

- 处置设施建造和运行对环境的干扰；
- 对具有重要公共价值区域的影响；
- 对公共供水的干扰；
- 对濒危物种的影响。

II.34. 为估计对环境的潜在影响，收集信息的类型应包括以下内容：

- 国家公园和有历史遗迹和考古发现的地方；
- 现有的地表水和地下水资源及其品质；
- 现有的陆地和水生植物和野生动物，特别是濒危物种。

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《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）。
- [3] 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）。
- [4] 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）。
- [5] 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）。
- [6] 国际原子能机构《放射性废物处置前管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 5 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。
- [7] 国际原子能机构《放射性废物的贮存》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-6.1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [8] 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）。
- [9] 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）。
- [10] 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）。
- [11] 经济合作与发展组织核能机构《利益相关方参与核设施退役：国际经验教训》，核能机构第 6320 号，经济合作与发展组织，巴黎（2007 年）。

- [12] 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）。
- [13] 国际原子能机构《放射性物质安全运输条例》（2012 年版），国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [14] 国际原子能机构《核燃料循环设施的安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-5 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [15] 国际原子能机构《关于核材料和核设施实物保护的核安保建议》（《情况通报》第 INFCIRC/225/Revision 5）号，国际原子能机构《核安保丛书》第 13 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [16] 国际原子能机构《放射性物质和相关设施的核安保建议》，国际原子能机构《核安保丛书》第 14 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [17] 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）。
- [18] 国际原子能机构《放射性废物的处置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 SSG-23 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [19] 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）。
- [20] 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）。
- [21] 国际原子能机构、国际劳工组织，《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）。
- [22] 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）。

- [23] 国际原子能机构《放射性废物处置设施的监控和监视》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-31 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [24] 《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）。
- [25] 《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）。
- [26] 《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）。
- [27] 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）。
- [28] 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）。
- [29] 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）。
- [30] 国际核安全咨询组《加强安全文化的重要实践问题》，《国际核安全咨询组丛书》第 15 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [31] 国际核安全咨询组《维护核安全研究和开发的知识、培训和基础结构》，《国际核安全咨询组丛书》第 16 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [32] 国际核安全咨询组《核工业变革管理：对安全的影响》，《国际核安全咨询组丛书》第 18 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。

参与起草和审订人员

| | |
|--------------------|---------------------|
| Backelandt, L. | 比利时联邦核管制局 |
| Bennett, D.G. | 英国泰拉萨鲁斯有限公司 |
| Bercy, K. | 匈牙利 ETV 能源公司 |
| Bruno, G. | 国际原子能机构 |
| Crossland, I. | 顾问（英国） |
| Cummings, R. | 英国低放废物贮存库有限公司 |
| De Preter, P. | 比利时国家易裂变材料与放射性废物管理局 |
| Egan, M. | 英国昆特萨有限公司 |
| Hill, M. | 顾问（英国） |
| Letourneau, M. | 美国能源部 |
| Leverd, P. | 法国辐射防护与核安全研究所 |
| Metcalf, P. | 顾问（荷兰） |
| Nys, V. | 比利时联邦核管制局 |
| Pellegrini, D. | 法国辐射防护与核安全研究所 |
| Rowat, J. | 国际原子能机构 |
| Simón Cirujano, I. | 西班牙核安全理事会 |
| Suber, G. | 美国核管制委员会 |

当地订购

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

定价出版物订单

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商：

Eurospan

1 Bedford Row
London WC1R 4BU
United Kingdom

交易订单和查询：

电话：+44 (0) 1235 465576

电子信箱：trade.orders@marston.co.uk

个人订单：

电话：+44 (0) 1235 465577

电子信箱：direct.orders@marston.co.uk

网址：www.eurospanbookstore.com/iaea

欲了解更多信息：

电话：+44 (0) 207 240 0856

电子信箱：info@eurospan.co.uk

网址：www.eurospan.co.uk

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至：

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

1400 Vienna, Austria

电话：+43 1 2600 22529 或 22530

电子信箱：sales.publications@iaea.org

网址：https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu

通过国际标准促进安全

国际原子能机构
维也纳