

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

核燃料循环设施 放射性废物的处置 前管理

特定安全导则

第 SSG-41 号



IAEA

国际原子能机构

国际原子能机构安全标准和相关出版物

国际原子能机构安全标准

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

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

有关国际原子能机构安全标准计划的资料可访问以下国际原子能机构因特网网站：

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

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

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

相关出版物

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

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

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

安保相关出版物以国际原子能机构《核安保丛书》的形式印发。

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

核燃料循环设施放射性废物 的处置前管理

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-41 号

核燃料循环设施放射性废物 的处置前管理

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內容。欢迎有关非商业性翻印和翻译的建议并将在个案基础上予以考虑。垂询应按以下地址发至国际原子能机构出版处：

Marketing and Sales Unit,
Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
传真：+43 1 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

核燃料循环设施放射性废物的处置前管理

国际原子能机构，奥地利，2024 年 2 月
STI/PUB/1720
ISBN 978-92-0-505423-0（简装书：碱性纸）
978-92-0-505323-3（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。

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。

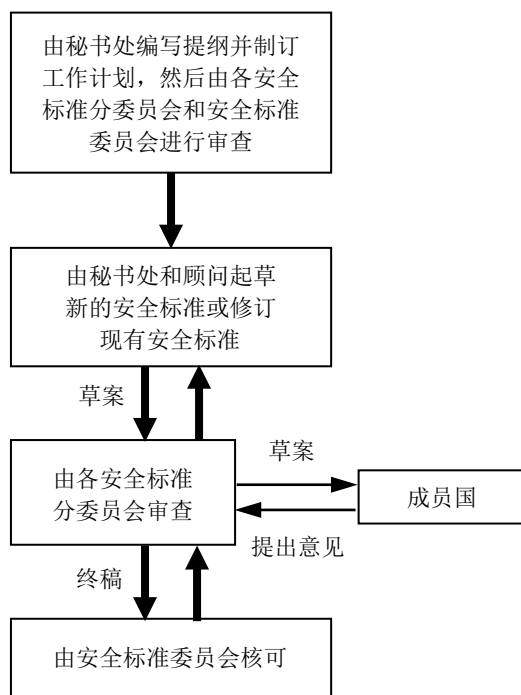


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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 (1.1-1.10).....	1
目的 (1.11-1.14).....	3
范围 (1.15-1.19).....	4
结构 (1.20).....	5
2. 保护人类健康和保护环境	5
放射性废物管理 (2.1-2.4).....	5
辐射防护 (2.5-2.9).....	6
保护环境 (2.10-2.13).....	6
3. 角色和责任	7
法律和组织机构 (3.1-3.12).....	7
监管机构的责任 (3.13-3.18).....	9
营运组织的责任 (3.19-3.33).....	11
4. 综合安全方法	15
安全和安保 (4.1-4.3).....	15
相互依赖 (4.4-4.9).....	16
管理系统 (4.10-4.13).....	17
资源管理 (4.14-4.15).....	18
流程实施 (4.16-4.18).....	18
5. 安全论证文件和安全评定 (5.1-5.13)	19
6. 一般安全考虑因素	22
概述 (6.1-6.6).....	22
废物的产生和控制 (6.7-6.9).....	24
废物的表征和分类 (6.10-6.19).....	24
放射性废物加工 (6.20-6.58).....	26
放射性废物贮存 (6.59-6.72).....	33
放射性废物验收标准 (6.73-6.78).....	36
废物管理设施全寿期的安全考虑 (6.79-6.106).....	37
附件 I 废物货包特定要求	47
附件 II 设施的废物管理计划	50
附件 III 放射性废物处置前管理设施全寿命的关键计划活动示例	52

附件 IV 核燃料循环设施的废物管理活动的危害示例.....54

附件 V 集中废物管理设施的危害示例.....65

附件 VI 核燃料循环设施放射性废物管理的安全问题.....67

附件 VII 放射性固体废物管理流程图72

参考文献.....73

参与起草和审订人员.....79

1. 引言

背景

1.1. 放射性废物（没有进一步使用前景的放射性物质，且其特征不适于授权排放、授权使用或解除监管控制）源于一些使用放射性物质的活动。核燃料循环产生了种类繁多的放射性废物，包括高放废物（例如，乏燃料后处理产生的玻璃固化物）、通常包含长寿命放射性核素的中放废物和通常包含短寿命放射性核素和数量有限长寿命放射性核素的低放废物。处理液态和气态废物流的方法会影响排放的废水量，解控和再循环利用的方法会影响贮存和处置的废物量；所以，优化整体放射性废物管理过程（处置前废物管理和处置）非常重要。核燃料循环设施放射性废物处置前管理的一个重要特征是在国家废物管理框架内的废物处置前管理和废物处置管理过程之间是相互依存的。

1.2. 放射性废物管理安全的原则见原子能机构《安全标准丛书》第 SF-1 号《基本安全原则》[1]，需要满足的要求见以下原子能机构安全要求出版物：原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 1 (Rev.1) 号《促进安全的政府、法律和监管框架》[2]，第 GSR Part 3 号《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》[3]和第 GSR Part 5 号《放射性废物的处置前管理》[4]。相关国际法律文书也记载了类似的安全问题和对良好实践的期望，例如《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》[5]。

1.3. GSR Part 5[4]和原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-5 (Rev.1) 号《核燃料循环设施安全》[6]要求在可能产生放射性废物的设施设计和活动计划中须采取措施防止或限制放射性废物产生。这意味着对放射性废物及其产生过程管理的重点是避免和减少废物的产生量，从而减少对环境的影响。

1.4. 在 GSR Part 5[4]作为术语使用的放射性废物的处置前管理术语涵盖从放射性废物生成到（但不包括）处置放射性废物管理的所有步骤，包括废物处理（预处理、处理和整备）、贮存和运输。虽然核燃料循环设施中放射性废物的产生被认为是正常运行的一部分，但处理好废物管理中每个步骤之间的相互依赖关系是非常重要的。

1.5. 这些步骤包括以下内容：

- 预处理，可能包括废物分析和表征、废物收集、废物分离、化学调整和去污；
- 处理，可包括减容、去除放射性核素和改变废物的组分；
- 整备，指将放射性废物转化为适合后续活动的形式的操作，如处理、运输、贮存和处置；整备可包括固定废物，将废物封装在容器中和必要时提供额外的包装；
- 贮存，指放射性废物临时放置在配备有适当隔离和监控的设施中；贮存是一种临时措施，是为了以后可以对废物进行回取，以便于解控、授权使用（例如，一个衰变周期之后）、处理和（或）处置，就流出物而言，则是为了进行授权排放。

1.6. 放射性废物的产生不能完全避免，但必须保持在可行的最低限度（废物最小化）（GSR Part 5[4]要求 8）。废物最小化应作为放射性废物管理策略的基本要素。废物最小化涉及到废物的类型、体积和活度。在可能产生放射性废物的核设施设计和活动计划的初始阶段就必须考虑防止或减少放射性废物产生的措施[4]。这意味着妥善计划产生放射性废物的活动是废物最小化的关键。

1.7. 对于某些放射性废物，可能并不需要采取所有的处理步骤。废物的处理方案将取决于废物的特定类别、废物体和表征，以及废物管理计划，还应考虑二次废物的产生问题。在适当情况下，废物预处理和处理产生的材料可根据国家法规重新使用或回收或解除监管控制。这些活动有助于减少废物管理的压力。所有尚未解控、排放或重复使用的剩余放射性废物需要在整个寿期内安全管理。某些废物流的寿期使得营运组织¹没有能力管理，可要求其将废物送至国家建造的适宜处置设施（例如深层地质处置库）内。

1.8. GSR Part 1（Rev.1）[2]要求政府制定放射性废物安全管理和处置的规定。这些规定应被列为政府政策和在设施全寿期及活动期间相关策略的基本要素。此外，政府还应确保责任在先后授权方之间的责任的连续性。

¹ 营运组织包括废物产生者，开展退役活动的组织和放射性废物处置前管理设施的营运组织[4]。

1.9. 在某些情况下，必须通过优化相互冲突的需求来找到废物处置前管理的解决方案，例如：平衡工作人员和/或公众的照射[4]、不同废物管理战略的短期和长期危害影响、技术方案的可行性和成本。

1.10. “在处置设施建成之前，为了选择最适当的放射性废物预处理、处理和整备类型，必须对可能的处置计划进行设想。”包括可能的废物验收标准（GSR Part 5[4]第 1.8 段）。在需要延长废物贮存期限的情况下，应该进行保守假设，例如，关于处置设施可用的时间范围，以及废物在预计贮存期间的行为和稳定性。对所有影响选择废物处置前管理计划的假设都进行适当的核实。“有必要处理废物管理过程每个操作步骤要求之间的相互依赖关系和潜在冲突情况，同时确保在非能动和安全的条件下包容和贮存废物。为了使选择方案与保持灵活性之间达到平衡，有必要确保在运行要求之间避免发生可能损害安全的冲突情况[2]。”（GSR Part 5[4]第 1.8 段）。

目的

1.11. 本“安全导则”的目的是为产生和管理放射性废物（包括被视为废物的乏燃料和高放废物）的营运组织、监管机构和政府机构提供如何满足废物处置前管理要求的相关建议，这里的废物是指在核燃料循环设施中产生的，不包括核电厂、研究堆和铀矿石或钍矿石的开采或加工设施产生的放射性废物。这些废物可以在较大的核燃料循环设施内或在独立的专用废物管理设施（包括集中式废物管理设施）中进行管理。

1.12. 本“安全导则”提供如何满足 GSR Part 5[4]、GSR Part 1（Rev.1）[2]、GSR Part 3[3]、NS-R-5（Rev.1）[6]和原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 2 号《安全的领导和管理》[7]所述要求的相关建议和指导。

1.13. 本“安全导则”取代了原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.5 号《中低水平放射性废物处置前管理》² 和第 WS-G-2.6 号《高放射性废物处置前管理》³，两者均在 2003 年发布。

² 国际原子能机构《低、中放废物的处置前管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.5 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。

³ 国际原子能机构《高放废物的处置前管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.6 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。

1.14. 原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-40 号《核电厂和研究堆放射性废物的处置前管理》[8]提供了关于核电厂和研究堆（包括次临界组件和临界组件）废物处置前管理的指导意见。

范围

1.15. 本“安全导则”为核燃料循环设施产生的各类放射性废物（包括被看作废物的乏燃料、高放废物）的处置前管理提供指导。废物可以在位于较大设施内的废物管理设施或独立的专用废物管理设施（包括集中式废物管理设施）中进行管理。本“安全导则”涵盖废物管理设施寿期的所有阶段，包括其选址、设计、建造、调试、运行、关闭和退役。它涵盖了放射性废物在产生直至（但不包括）处置所采取的所有步骤，包括其加工（预处理、处理和整备）、贮存和运输。它涵盖了正常运行和事故工况中产生的放射性废物。虽然本“安全导则”的建议适用于核燃料循环整个寿期内放射性废物的产生和处置前管理，但核燃料循环设施的其他运行活动不在本“安全导则”的范围之内。原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-1 号《放射性废物的分类》[9]提供放射性废物分类方案及其对各类放射性废物的适用建议。

1.16. 虽然贮存和运输被列入在放射性废物处置前管理的定义中，但本“安全导则”并未详细讨论。关于乏燃料和放射性废物的贮存建议在原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-6.1 号《放射性废物的贮存》[10]和第 SSG-15 号《乏燃料的贮存》[11]提供。放射性废物的运输须遵守原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 号《放射性物质安全运输条例》[12]。转移到或运往后处理设施的乏燃料不被视为放射性废物。

1.17. 本“安全导则”主要涉及核燃料循环产生的放射性废物和核材料辐照产生医用同位素的设施产生的放射性废物处置前管理的典型情况。营运组织和监管机构应采用分级方法，同时考虑到设施和活动的危害、复杂性和寿期阶段，以及废物的表征（见第 3 部分）。

1.18. 尽管本“安全导则”不涉及非放射性危害和常规工业健康和安全问题，但各国当局还是必须考虑这些问题。这样做不仅本身是适当的，同时由于这些问题可能影响放射学后果，因此必须考虑[4]。

1.19. 本“安全导则”未就核材料、核设施或放射性物质的核安保提出建议。参考文献[13—15]和原子能机构《核安保丛书》的其他出版物中提供了核设施和放射性物质核安保的基本原则、建议和指导。

结构

1.20. 本“安全导则”第 2 部分提供了保护人类健康和保护环境的相关建议；第 3 部分阐述了政府、监管机构和营运组织的作用和责任；第 4 部分提出了综合安全方法的建议；第 5 部分提供了关于安全论证文件和辅助安全评定的发展的建议；而第 6 部分概述了废物管理设施寿期内的一般安全考虑因素。本“安全导则”包括 7 个附件，其中列出了与核燃料循环设施废物的处置前管理相关示例。

2. 保护人类健康和保护环境

放射性废物管理

2.1. SF-1[1]的安全目标和基本安全原则适用于产生、处理或贮存放射性废物的所有设施和活动，对设施的整个寿期，包括它们的计划、选址、设计、建造、调试、运行、关闭和退役，也包括放射性废物的相关运输。

2.2. GSR Part 1 (Rev.1) [2]、GSR Part 5[4]、NS-R-5 (Rev.1) [6]和 GSR Part 2[7]建立了对管理系统的要求，该管理系统综合处理所有管理要素，包括安全、健康、环境、核安保、质量和经济要素及其他必要因素，以便将所有行动作为一个整体考虑对安全问题，保证安全不会受到影响。在组织中这种系统的一个关键组成部分是强有力的安全文化。

2.3. 在核燃料循环设施中，对由化学危害引发事件的控制可能对实现基本安全目标产生重大影响。在设计、调试、运行和退役时，需要考虑由化学危害引发的事件。核燃料循环设施的活动还可能包括对现场人员和环境造成额外危害的工业过程。

2.4. 在控制与放射性废物相关的放射性危害和非放射性危害时，还需考虑以下问题：常规的健康和安全问题、可能跨越国境的放射性危害以及放射性废物的长期贮存给后代带来的潜在影响和负担[1]。

辐射防护

2.5. 辐射防护的三个基本原则，正当性、防护的最优化和剂量限值的应用，在 SF-1[1]安全原则 4、5、6 和 10 中表述，相关要求在 GSR Part 3[3]制定。

2.6. 必须在国家一级确定辐射防护的要求，同时适当考虑到 GSR Part 3[3]，特别是 GSR Part 3[3]要求对任何因活动而受到照射人员的辐射防护加以优化，同时适当考虑剂量限值，并要求将个人照射保持在规定的剂量限值内。

2.7. 国家相关法规标准规定了在正常工况下工作人员和公众受到的照射的剂量限值。这些限值的国际认可值见 GSR Part 3[3]附表 III。除了规定正常运行所产生的照射之外，还应规定预防和限制预计运行事件和事故工况下照射的可能性和程度。GSR Part 3[3]也确定了预防和限制预计运行事件和事故工况中照射的可能性和程度的要求。它们包括防止事故发生的管理要求和技术要求，以及在发生事故时缓解其后果的规定。

2.8. 在选择放射性废物的处置前管理计划时，应考虑对工作人员和公众的短期和长期放射性影响[1、16、17]。

2.9. 与放射性废物运输相关的剂量和风险必须按照 SSR-6[12]规定的要求进行管理。

保护环境

2.10. 必须由相关的国家监管机构确定与放射性废物处置前管理的环境保护相关要求，并尽可能考虑所有可能产生的环境影响[1、3]。

2.11. 根据 SF-1[1]第 2.1 段，为实现保护人类和环境免受电离辐射有害影响的基本安全目标，

“必须采取以下措施：

(a) 控制对人类的辐射照射和放射性物质向环境的排放；

- (b) 限制可能导致失去对……辐射源控制的事件发生的可能性；
- (c) 在发生这类事件的情况下缓解其后果。”

2.12. NS-R-5 (Rev.1) [6]指出营运组织必须采取措施避免或减少放射性废物的产生, 包括考虑与处置的相关要求, 目的是减少对环境整体影响。这包括确保向环境排放的气态和液态放射性物质符合监管限值, 并将对公众的剂量和对环境的影响降低到合理可达尽量低水平(防护最优化)。

2.13. 原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.7 号《排除、豁免和解控概念的适用》[18]和第 WS-G-2.3 号《放射性流出物排入环境的监管控制》[19]分别给出了“解控”(在授权的实践中去除放射性物质, 使其免受监管控制)和“控制排放”(气态或液态放射性物质有计划地和受控地向环境排放)的定义。

3. 角色和责任

法律和组织机构

GSR Part 5[4]要求 1: 法律和监管框架

“政府须提供适当的国家法律和监管框架, 以便能够在此框架内计划和安全实施放射性废物管理活动。这种框架须包括明确清晰的责任划分、确保财务资源和其他资源以及规定独立的监管职能。还须在必要时酌情为可能受到影响的邻国提供跨境保护。”

GSR Part 5[4]要求 2: 国家放射性废物管理政策和战略

“为确保对放射性废物的有效管理和控制, 政府须确保制订关于放射性废物管理的国家政策和战略。这种政策和战略须适合本国放射性废物的性质和数量, 须说明所需的监管控制, 并须考虑相关的社会因素。它们还须符合基本安全原则和国家已批准的相关国际文书、公约和标准。国家政策和战略须构成制订放射性废物管理决策的依据。”

3.1. 政府有责任确保制定放射性废物管理的国家政策和战略[1、2]。政策、战略和法律框架应涵盖该国产生的所有放射性废物量和类型、国内的所有废物处理和贮存设施、进出口的所有废物, 并适当考虑放射性废物管理的各

个步骤，所涉及的时间段和可用的长期管理（包括处置）计划之间的相互依赖关系。

3.2. 放射性废物的管理应在适当的国家法律和监管框架内进行，该框架规定明确的职责分配，并确保对相关设施和活动的有效监管[1、2]。应在法律框架内制定措施，确保遵守其他相关国际法律文书，如《联合公约》[5]、《核安全公约》[20]、《放射源安全和安保行为标准》[21]、《核事故紧急援助公约》[22]和《及早通报核或辐射应急事件公约》[23]。

3.3. 如果不止一个政府机构负责执行国家政策和战略，应进行有效的安排确保各机构的职责和职能明确界定和协调配合，以避免任何遗漏或不必要的重复。组织时应实现一致性并实现必要的反馈和信息交换。

3.4. 就放射性废物处置前管理而言，核安全、环境保护、工业安全和职业健康方面是分别监管的，监管框架应认识到安全是一个整体，是由放射性危害、工业危害、化学危害和毒性危害之间的相互依赖关系影响的。这应该在监管框架中加以考虑以便提供有效的控制。

3.5. 紧邻已有设施建造的放射性废物处置前管理设施的管理应纳入法律框架体系之内，其可能影响到其他相邻设施的安全，必须通过计划要求或其他法律文书对其进行监管和控制。

3.6. 放射性废物的管理可能需要将废物从一个营运组织转移到另一个营运组织，或从一个国家转移到另一个国家。这种转移造成了法律责任的相互依赖性以及放射性废物管理各个步骤中的物理相互依赖性。法律框架应确保明确划分整个废物管理过程的安全责任（包括监管控制和授权的规定），特别是关于放射性废物的长期贮存及其在营运组织之间的转移。

3.7. 政府负责建立一个独立于放射性废物所有者和管理放射性废物的营运组织的监管机构，使其拥有足够的授权、权力、人员和财务资源来履行其职责[2、4]。

3.8. 应通过监管机构制定的授权制度确保安全责任。对于一国与另一国之间的放射性废物转移，需要国家相关监管机构的授权[2、4]。

3.9. 需要建立一个提供充足财务资源的机制以支付今后的费用，特别是与核燃料循环设施及其相关废物管理设施退役的相关费用，以及长期管理

放射性废物的费用（包括其贮存和处置）[4、24]。需要在每个许可证阶段更新组织和财务安排。如果突然关闭放射性废物管理设施或将废物早期发送到处置设施，则还需要考虑这些财务资源。

3.10. 为了促进制定国家政策和战略，政府应建立国家放射性废物清单（现有废物和预期废物，包括预计在核燃料循环设施和相关的废物管理设施退役和拆除期间产生的废物），并应定期更新。该清单应包含 GSG-1[9]或国家废物分类计划中定义的各种废物类别。在制定国家政策和战略时，应从技术角度和充分的人力资源和财务资源的角度考虑废物的长期管理，包括废物的处置。

3.11. 应有足够的容量处理所产生的所有废物，贮存容量应足以考虑废物处理和处置设施的可用性的不确定性。在判断容量是否充足时，应考虑加工的不确定性，系统的可靠性和可用性以及可能需要的冗余。

3.12. 政府应就制定影响放射性废物管理的相关国家政策和战略的事项与相关各方（即参与放射性废物管理活动的各方）进行磋商，并应考虑到公众在决策中的关注点[2]。

监管机构的责任

GSR Part 5[4]要求 3：监管机构的职责

“监管机构须制订关于放射性废物管理设施的建设和开展相关活动的要求，并须公布满足许可证审批过程各阶段要求的程序。监管机构须评审和评定营运组织在获得授权前编写的和在运行期间定期编写的关于放射性废物管理设施和活动的安全论证文件³及这类设施和活动的环境影响评定报告。监管机构须就任何必要条件下许可证的发放、修改、中止或撤销作出规定。监管机构须开展活动，核实营运组织是否满足了这些条件。如果营运组织偏离了或不遵守相关要求和条件，监管机构须酌情采取执法行动。”

³ 安全论证文件收集了支撑核实施施和活动安全性的论据和证据。安全论证文件通常包含安全评定的结论，典型的有安全评定及其中所做假设的稳健性和可靠性的信息（包括支撑证据和论证）。

3.13. 监管机构对放射性废物安全管理的主要责任包括制定监管要求、许可证程序、合规性核实和执行程序，以及许可证遵循的指导。监管机构的职责还可包括为制定政策、安全原则和相关标准的技术基础和投入做出贡献，并确定作为监管决策基础的要求或条件。监管机构还应就如何满足放射性废物安全管理要求提供特定指导。

3.14. 核燃料循环设施放射性废物处置前管理的许可证申请文件（安全论证文件⁴）的监管评审的范围和详细程度应采用分级方法，使之与设施与活动的安全重要性、复杂性和成熟度，以及废物的特征相称，并考虑到核燃料循环设施或放射性废物处置前管理设施寿命的阶段。必要时，营运组织会定期评审和更新安全论证文件和辅助安全评定，并随后由监管机构进行评审。

3.15. 原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-1.3 号《核设施监管视察与监管机构的促进》[25]提供了与放射性废物管理设施的相关监管视察和执法行动的一般性建议。监管机构应定期核实放射性废物管理设施是否符合国家要求和设施的许可证条件，包括保存废物库存和材料转移记录的相关要求，处理、贮存、维护、视察、试验和监视的要求，运行限值和条件，改进设施的要求，和应急准备和响应的要求。例如，可以通过对放射性废物管理设施的例行视察和对营运组织的监查来进行这种核实。监管机构应核实是否准备了必要的记录并将其保存一段适当的时间。建议的记录清单见原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-1.4 号《核设施监管使用的文件》[26]。

3.16. 监管机构应建立一个程序，向相关各方通报放射性废物管理设施的安全方面（包括健康和环境方面）以及监管程序，并应酌情在开放和包容性方面与这些相关方进行磋商。应重视保密的必要性，例如为保证核安保。

3.17. 监管机构应向营运者建立并澄清每个废物管理设施的许可证策略（根据国家法律和政府框架），例如：

- (a) 无限期发放的许可证（例如，废物处置前管理设施的整个寿期），包括废物的产生和处理和/或贮存系统，并涵盖产生废物的核燃料循环设施的整个预计运行期，包括定期评审安全论证文件和安全评定（见第 5 部分）；或

⁴ 安全论证文件在不同的国家有不同的名称（如安全报告、安全档案、安全文件），并且可以是单一文档或是一系列文档中（见第 5 部分）。

- (b) 在废物处置前管理设施的指定时间段或特定阶段发放的许可证，可在其到期时或之前续期；或
- (c) 为特定活动或条件发放的许可证，例如核燃料循环设施永久关闭和退役后长期贮存放射性废物。

3.18. 如果监管机构由一个以上的主管部门组成，则需要通过建立明确的沟通和运行协议来实施有效的安排，以确保明确界定、商定和有效协调监管责任和职能。沟通和运行协议应明确确定每个机构的职责和职能，应说明目标和行动或协议，并应定期评审以避免任何遗漏或不必要的重复，并防止对营运组织提出相互冲突的要求（GSR Part 1（Rev.1）[2]要求7）。

营运组织的责任

GSR Part 5[4]要求 4： 营运组织的责任

“营运组织须负责放射性废物处置前管理的设施或活动的安全。营运组织须开展安全评定，须编写安全论证文件，并须确保依照法律和监管要求开展选址、设计、建造、调试、运行、关闭和退役等相关必要活动。”

3.19. 营运组织根据 SF-1[1]给出的原则，对在与放射性废物管理的相关设施（包括承包商开展的活动）中开展的所有活动的安全负责。营运组织负责通过安全论证文件和定期安全评审来证明安全，并负责确保按照安全论证文件和国家法律法规要求开展活动。营运组织负责建立和实施管理系统，包括确保安全所需的相关计划和程序。营运组织必须保持强有力的安全文化，采取措施定期评审和评定其安全文化，并采用和应用必要的原则和程序以加强安全文化[7]。

3.20. 在某些情况下，营运组织可能是放射性废物的所有者，而在其他情况下，废物所有者可能是单一组织或营运组织。如果废物所有者和营运组织是相互独立的，它们之间的责任应当得到清晰界定、相互认可并形成文件。应明确废物的所有权，如果集中的后处理设施收集和混合来自多个来源的废物流，应明确整備过的废物的所有权。应向监管机构提供放射性废物所有权变更或废物管理设施所有者与营运组织之间关系的相关信息，并视情况向政府机构提供。

3.21. 放射性废物管理设施营运组织的职责通常包括：

- (a) 向监管机构提出申请，包括提交可接受的安全论证文件，以获得放射性废物管理设施或活动的监管核准；
- (b) 进行适当的放射性影响评定和非放射性环境影响评定，以支持许可证的申请并定期进行安全评审；
- (c) 制定运行限值和条件及控制措施，包括符合安全论证文件的废物管理设施的废物验收标准供监管机构核准；
- (d) 根据安全论证文件的要求，许可证条件和适用法规开展所有活动；
- (e) 制定和实施放射性废物的接收、贮存和处理程序；
- (f) 计划放射性废物在核燃料循环设施退役后可能的长期贮存；
- (g) 确保在废物管理过程的特定步骤记录的信息足以证明符合下游废物验收标准（例如废物处置的安全论证文件）；
- (h) 管理所需的信息以支持放射性废物的随后的处置或贮存，或支持废物管理设施的退役，特别是在此类退役可能在运行几十年后进行的情况下；
- (i) 准备监管机构要求的定期报告（例如关于放射性废物实际库存，放射性废物进出设施的任何转移，包括从监管控制中清除的材料以及任何在设施发生的事件的信息，必须向监管机构报告）并与相关各方和公众进行沟通；
- (j) 制定和实施措施来控制放射性废物的产生，尽实际可能降低废物的体积和活度；
- (k) 确保放射性废物的处理方式符合贮存和处置的验收标准以及运输要求。在无法获得处置验收标准的情况下，确保放射性废物的管理基于对预期处置计划的正当假设，包括废物表征描述的规定，以便为将来处置的决定提供相关数据，并制定关于重新安置放射性废物以便贮存和/或处置的规定；
- (l) 确保被视作废物的乏燃料得到适当管理，同时考虑到其高活度、产生热量和发生临界的可能性[27]。附件 I 列出了废物货包和被视为废物的乏燃料应考虑的典型性质和表征；
- (m) 在下列情况下进行适当考虑和决策：
 - (i) 无可用的放射性废物处置计划；

- (ii) 放射性废物在处置之前需要长期贮存；
- (iii) 为了废物放射性衰变而进行贮存，目的是对废物进行解控或废物的重新分类。

3.22. 营运组织负责制定符合国家废物管理政策的总体废物管理策略。营运组织应制定符合整态废物管理策略的废物管理计划，该计划是针对特定设施的，并且与现场的其他相关计划（例如多设施场址）保持一致。废物管理计划：

- (a) 在适用的情况下应实施国家废物管理政策和战略；
- (b) 应考虑放射性废物源与最终排放、处置或设施产生废物下一步处置之间的联系；
- (c) 放射性废物的处置前管理应考虑以下等级的策略方案：
 - (1) 通过使用适当的技术，在类型、活度和体积方面将放射性废物的产生保持在可行的最低限度；
 - (2) 材料的再利用和再循环；
 - (3) 加工放射性废物确保其安全贮存和处置。

附件 II 提供了相关设施特定废物管理计划的更详细指导。

3.23. 营运组织必须在设计阶段制定初始退役计划，并在必要时根据需要进行更新[24]。最终的退役计划需要考虑在设施永久关闭后可能长期贮存和处置放射性废物⁵。对于新设施设计中应包含有助于退役的措施，这些特征应包括在初始退役计划中，并附如何确保必要财务资源安排的相关信息。

3.24. 对于没有退役计划的现有设施，营运组织必须尽快制定退役计划。在设施的整个寿期内每个阶段定期进行退役计划的评审和更新。退役要求见原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 6 号《设施退役》[24]以及见原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.4 号《核燃料循环设施退役》[28]建议。

3.25. 营运组织应确定其员工和承包商的培训和资格要求，包括初始培训和定期进修培训。营运组织应确保所有相关工作人员了解所管理的放射性

⁵ 本“安全导则”中使用的“永久关闭”一词意味着核燃料循环设施已停止运行即其将不再用于其预期目的。永久关闭不同于计划关闭（例如由于维护、视察或改造）或计划外关闭（例如由于事件或事故）。

废物的性质、放射性废物管理过程的目标、安全论证文件、与废物相关的潜在危害以及与它们的责任相关的运行和安全程序。监督人员应有能力开展活动，为此应对监督人员进行挑选、培训、资格认证和授权。应指定经过培训和合格的辐射防护官员监督辐射防护要求的应用。

3.26. 营运组织应进行运行前试验和调试试验，以证明放射性废物管理设施及其活动符合安全论证文件和辅助安全评定的要求以及监管机构制定的安全要求。应编写一份报告，总结放射性物质引入前的运行前和调试试验结果（即非放射性调试或“冷试”），并向监管机构提交，接受评审和核准。

3.27. 营运组织应确保在任何进一步的监管控制范围内放射性物质的解控，以及放射性物质和其他对环境有潜在危害物质的排放控制，均符合许可证或授权的条件，并且考虑到防护最优化和安全的需要，限制现场污染和职业照射水平。

3.28. 排放、放射性物质解控、材料的再利用或再循环、以及将放射性废物运送到授权处置设施或转移到其他设施的记录应保留。此类记录应保留至设施完全退役，或者与监管机构达成协议在退役后一段时间内保留。

3.29. 营运组织应建立和维护放射性废物的产生、处理、贮存和转移（如进一步处理、贮存或处置）的记录系统，其中应包括放射性库存、地点和放射性废物的表征，以及其所有权、来源和转移地点的信息[29]。应保存和更新此类记录以便实施设施特定的放射性废物管理计划。记录应由营运组织根据监管要求进行管理。

3.30. 营运组织应制定并实施个人剂量监控计划、区域监控计划和环境监控计划，并定期评审。

3.31. 营运组织应建立一个对改进进行授权的程序，包括评定放射性废物管理设施和活动的改进、运行限值和条件的改进，以及待处理或贮存的放射性废物的改进。评定应使用与改进的安全重要性相称的分级方法。评定此类改进的潜在后果还应考虑对其他设施的安全以及随后放射性废物的贮存、进一步处理或处置的潜在后果。

3.32. 如 GSR Part 5[4]规定：营运组织必须建立适当的机制，确保在设施的整个寿期内有包括财务资源在内的足够资源，以便承担包括退役在内的所有必要的任，在设施永久关闭后可能现场长期贮存放射性废物，以及

处置放射性废物（即使尚未提供处置计划）。在某些情况下，废物所有者可能需要提供财务资源。

3.33. 营运组织应制定场内应急安排，包括场内应急响应计划，以便对场址的核或辐射应急做好准备和应对措施，该应急响应计划应与放射性废物设施和活动的相关危害以及应急潜在后果相称[30—32]。在评定与考虑放射性废物处理或贮存设施的核燃料循环设施现场相关的危害时，应考虑这些设施的危害和潜在后果以及这些设施之间的相互影响。

4. 综合安全方法

安全和安保

GSR Part 5[4]要求 5：对安保措施的要求

“须实施旨在确保在放射性废物处置前管理中采取综合安全和安保方案的措施。”

GSR Part 5[4]要求 21：核材料衡算和控制系统

“对于须遵守核材料衡算协定的设施，须在设计和运行放射性废物处置前管理设施时执行核材料衡算和控制制度，以使设施的安全不受到损害。”

4.1. 对于新设施，选址和设计应尽早考虑核安保，还应解决核安保、安全和核材料衡算和控制之间的关系，以避免任何冲突并确保所有这三个要素相互支持，安全和安保都不会受到损害。

4.2. 营运组织应适当评定和管理核安保、核安全和核材料衡算和控制活动之间的接口，以确保它们不会相互产生不利影响并尽可能相互支持。

4.3. 为了废物管理或原子能机构核保障活动需要接近材料，应考虑到核安全、辐射防护、废物管理和核安保的所有要求。原子能机构《核安保丛书》[13—15]提供了关于放射性废物管理中核安保的基本原则和特定建议。

相互依赖

GSR Part 5[4]要求 6：相互依赖关系

“须适当考虑放射性废物处置前管理所有步骤之间的相互依赖关系和预期处置计划的影响。”

4.4. 从废物的产生到处置、排放或从监管控制中解控，放射性废物管理的所有步骤之间都存在相互依赖关系。应对所有各个步骤进行预先计划，以便在整个废物管理计划中考虑到平衡的安全方法，并避免安全要求与运行要求之间的冲突。放射性废物管理的每个步骤都有各种可选方案。例如，处理和整备方案受已建立或预期的贮存和处置验收标准的影响。在任何时候，都应适当考虑第 2 部分所述的安全和环境保护之间的相互依赖。

4.5. 应解决以下方面：

- (a) 确定每个步骤与各相关组织责任的定义之间的接口；
- (b) 确定验收标准并确认与验收标准的符合性。

4.6. 应证明废物货包符合所选处置计划（或废物管理过程的下一步骤）的废物验收标准；但如果未确定处置计划，则应对可能的处置计划作出合理假设，包括可能的废物验收标准并应明确说明这些计划。

4.7. 对于许多放射性废物处置前管理计划，在废物处置验收标准最终确定之前已作出决定。应最终制定和实施关于放射性废物处置前管理的决定，以确保符合所选或预期处置计划的废物验收标准。此外，在设计和制备用于处置的放射性废物货包时，应根据预期的废物验收标准，考虑货包在运输和贮存方面的适用性，包括可能的回取以及它们是否适合在处置设施中装卸和安置。

4.8. 鉴于处置是放射性废物管理的最后一步，废物不会被解控、排放或再利用，在确定放射性废物管理活动时应考虑其所选择的或预期的处置计划。然而在许多国家建造废物处置设施通常是不可行的或只能处理特定类型的废物。在这种情况下，应确保妥善确定和记录废物体和废物容器特征的信息，以便为未来决策提供数据。无论处置设施是否可用，所有产生的放射性废物都需要进行管理。这意味着需要对要生产的废物体和要使用的废物容器做出决定。应在所有放射性废物管理活动最终完成之前作出此类决策。

4.9. 如果目前尚无处置设施可用或尚无建造处置设施计划时则应采取临时措施,以便不过早地将任何一种计划排除在考虑之外,或者采取一切可行的措施来根据最有可能的处置计划制备废物。还应确定废物产生者、放射性废物处置前管理设施和(现有的或预期的)处置设施之间的相互依赖性。

管理系统

GSR Part 5[4]要求 7: 管理系统

“管理系统须适用于放射性废物处置前管理的所有步骤和要素。”

4.10. 对于放射性废物处置前管理设施的寿期中所有阶段的管理系统(应涵盖安全、健康、环境、核安保、质量和经济要素)的要求,均在 GSR Part 2[7]确定。关于设施和活动管理系统的一般指导见原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.1 号《设施和活动管理系统的适用》[33],以及放射性废物处理、处置和贮存管理系统的特定指导,见原子能机构《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]。

4.11. 放射性废物的管理包括可能延伸较长时间的各种活动,这对废物管理计划的有效管理系统的开发和实施提出了一系列挑战,并且需要一个综合管理系统来处理可能影响放射性废物管理的所有事项,包括资金供应。

4.12. 如 GSR Part 2[7]规定:营运组织需要建立、实施、评定和不断改进综合管理系统。管理系统应适用于放射性废物处置前管理的所有步骤。管理系统涵盖包括质量保证和质量控制的安排在内在管理的所有方面。管理系统应培养符合营运组织目标的安全文化并应有助于实现这些目标。管理系统应为放射性废物处置前管理设施的选址、设计、建造、调试、运行、维护和退役提供规定。附件 III 提供了与放射性废物管理设施的寿命的关键计划活动的相关示例。

4.13. 为建立和维持综合管理系统,应考虑以下长期方面(考虑到废物加工和贮存期的持续时间):

- (a) 保存技术和知识,并将此类知识传授给今后加入营运组织的人员;
- (b) 保留或转让放射性废物和废物管理设施的所有权;
- (c) 技术人力资源和管理人力资源的继任计划;

- (d) 继续与相关各方互动的安排；
- (e) 提供足够的财务资源（可能延续数十年的运行期间设备的定期评审、设施维护及最终退役的资源的充足性）；
- (f) 记录和信息的保存和质量（例如放射性废物库存的详细情况，与设施的选址、设计、调试、运行和退役相关的记录，以及与安全论证文件的制定相关的记录）；
- (g) 确保能够实现管理系统的目标的评审规定。

资源管理

4.14. 放射性废物管理活动将需要财务和人力资源以及必要的基础设施。参与放射性废物产生或管理的任何设施的高级管理层应作出安排，为放射性废物管理活动提供充足的资源，以满足放射性废物管理活动的全范围的安全、健康、环境、核安保、质量和经济方面的要求以及此类活动可能持续很长时间提出的要求。

4.15. 放射性废物的管理可能持续很长时间。因此，政府、监管机构、废物所有者和营运组织应确保所有必要资源的可持续性，以便在适当的政策、战略和计划中保持安全和环境保护。

流程实施

4.16. 对于长期放射性废物管理活动，应尽可能明确未来的基础设施要求，并应制定计划以确保满足这些要求。在这种计划中应考虑到对支持服务的持续需求，将来不再生产的设备零部件、为满足新规定而进行的设备升级、运行方式改进以及各类软件更新换代和淘汰。还应考虑需要制定监控计划和视察技术以便在长期贮存期间使用。

4.17. 应考虑如果放射性废物长期贮存期间出现问题（例如对容器完整性的威胁或与临界或衰变热相关的问题）需要将其重新放置的可能性。应对放射性废物贮存较长时间内必需的或将来可能需要的任何专用设备的可用性进行评定。

4.18. 应在较长的时间内保存放射性废物的记录，以尽量减少因火灾、水灾或其他自然或人为引起的危害等不可预测事件造成丢失、损坏或退化的可

能性和后果（如通过采用冗余原则）。废物贮存的记录安排应符合监管要求并应定期评定记录的状态。

5. 安全论证文件和安全评定

GSR Part 5[4]要求 13：编写安全论证文件和辅助安全评定报告

“营运组织须编写安全论证文件和辅助安全评定报告。如果是分步建设设施或开展活动，或如果对设施进行改造或对活动进行变更，则须对安全论证文件及其辅助安全评定报告进行必要的评审和更新。”

GSR Part 5[4]要求 14：安全论证文件和辅助安全评定报告的范围

“放射性废物处置前管理设施的安全论证文件须包括对设施的场址、设计、运行、关闭和退役的所有方面及管理控制如何满足监管要求的情况作出说明。安全论证文件及其辅助安全评定报告须证明所提供的防护水平，并须向监管机构提供将满足安全要求的保证。”

GSR Part 5 要求 15[4]：如何编写安全论证文件和辅助安全评定报告

“须按以下要求编写安全论证文件及其辅助安全评定报告，即文件的详细程度和质量应足以证明安全性，对每个阶段的决策提供支持，并有助于对安全论证文件和安全评定报告进行独立的评审和核准。文件须条理清晰，并须包括能够以具有可追溯性的资料为依据对安全论证文件中所采用方案的正当性进行证明的论据。”

GSR Part 5[4]要求 16：定期安全评审

“营运组织须开展定期安全评审并须实施监管机构继此种评审后所要求的任何安全改进。定期安全评审的结果须反映在设施安全论证的更新文件中。”

GSR Part 5[4]要求 22：现有设施

“须评审现有设施的安全，以核实遵守要求的相关情况。营运组织须根据国家政策和监管机构的要求进行安全相关改进。”

5.1. 关于放射性废物处置前管理的安全论证文件和辅助安全评定的要求在 GSR Part 5[4]确立，并在原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-3 号《放射性废物处置前的安全论证文件和安全评定》[34]提供指导。NS-R-5 (Rev.1) [6]确立了对核燃料循环设施的安全论证文件和定期安全评审的要求，并在原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-5 号《转化设施和铀浓缩设施的安全》[35]、第 SSG-6 号《铀燃料制造设施的安全》[36]和第 SSG-7 号《铀钚混合氧化物燃料制造设施的安全》[37]提供了指导。所有设施和安全评定的要求见原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 4 (Rev.1) 号《设施和活动安全评定》[38]。

5.2. 通常核燃料循环设施的安全论证文件和辅助安全评定涉及放射性废物管理的特定方面如下：

- (a) 保护工作人员和公众以及保护环境的安全原则和标准；
- (b) 放射性废物管理（废物产生和控制，废物预处理、处置和整备以及废物贮存）的结构、系统和部件的设计和说明；
- (c) 描述固态、液态和气态废物的主要来源，按设计要求对其产生的速率进行评定；
- (d) 分析与设施运行相关的危害和事故评定；
- (e) 证明遵守监管要求和标准；
- (f) 管理系统和组织责任；
- (g) 识别安全重要结构、系统和部件。

5.3. 如 GSG-3[34]规定：由于不同核燃料循环设施的安全问题范围广泛，例如与管理大量有毒和反应性化学品相关的危害，遵守放射性废物处置前管理的安全论证文件编写要求存在许多挑战。GSG-3[34]提供了相关标准（例如设施或活动的安全重要性、复杂性和成熟度）使用的指导，包括分级方法的应用和对工作量进行决策方面的标准。应更多地考虑涉及重大化学和物理加工、材料转移和人为干预的设施和流程。

5.4. 核燃料循环设施的废物管理设施和安全论证文件应确定放射性废物管理设施与核燃料循环设施的运行限值和条件之间的接口。如果要在专用（集中）废物管理设施中管理废物，安全论证文件和辅助安全评定报告应表明已考虑到废物的产生、处理直到处置的所有步骤，包括从监管控制

中解控放射性物质和授权的流出物排放，以及所有步骤的整体兼容性。因此，应考虑废物管理的操作方面和长期安全方面，以及未来可能需要处理、处置和贮存废物与这些活动可能产生的相关的危害和剂量。

5.5. 由于核燃料循环设施内放射性废物的管理往往是一个动态过程，物质直接从一个步骤移动到另一个步骤，因此在考虑数据和模式及其输入和输出时应考虑这些步骤的相互依赖性。

5.6. 安全论证文件和辅助安全评定应包括识别废物管理设施废物表征的不确定性和活动性能的不确定性，分析这些不确定性的重要性，以及管理重大的不确定性。监管机构在评审安全论证文件的输入以及不同设施的安全论证文件之间的相互依赖性时，应对此类不确定性进行评审。GSG-3[34]提供了关于不确定性管理的指导。

5.7. 对于历史记录不准确和不完整的某些残留废物，废物的形态和组成的变化和不确定性是一个关键问题。因此，应对残留废物的处置前管理进行全面和详细的安全评定。

5.8. 与核燃料循环设施的产生和处理放射性废物相关的特定构筑物、系统、部件和活动的描述是对事故危害识别、表征和量化分析的基础（例如天然铀和辐照材料的管理）。此类描述按 GSG-3[34]规定应包括以下内容：

- (a) 对处理和贮存放射性废物的设施和设备的说明，包括其与附近设施、活动或设备的相对位置，相关设计要点及其预期寿命；
- (b) 对产生和处理的放射性废物的描述，包括放射性强物流数据（例如废物的来源，废物的体积、质量和形式，关注的放射性核素，废物的放射性含量，易裂变材料的存在，以及其他物理、化学和致病性质）；这应包括二次废物流的数据和已从监管控制中解控或排放的放射性物质数据。

5.9. 放射性废物的产生数量以及废物的化学和放射性特征对于表征和评定特定废物产生和处理活动的危害非常重要。应使用分级方法在决策过程的框架内考虑这些特征。应说明废物管理活动或过程所产生的附加危害（如裂变、热、物理、化学反应危害），并应识别可能对人类健康和/或环境造成潜在危害的始发事件（例如运行事件、外部事件或自然现象）。

5.10. 如果是集中式废物管理设施，会接收不同来源的一个或多个废物流，则评定：

- (a) 应对接收的所有废物类别和与其特定处理相关的所有活动进行评定；
- (b) 应注意设施内可能存在来自不同废物流的废物发生相互作用的区域；
- (c) 应对每一类废物确定相应的安全措施和工程技术；
- (d) 应评审安全措施，确定整个设施安全论证文件的最佳安全措施和工程技术以避免发生冲突或重复；
- (e) 应识别综合运行限值和条件，作为安全运行的基础并确保符合安全标准。

5.11. 附件 IV 列出了与核燃料循环设施中放射性废物的处置前管理典型活动相关的危害的示例；附件 V 列出了与专用废物管理设施中废物管理相关的危害的示例；附件 VI 识别了不同类型的核燃料循环设施的危害或可能影响废物管理的危害。这些示例并不详尽，相反，它们旨在帮助识别和随后评定危害。GSG-3[34]附件 I 进一步描述了相关危害的识别和评定以及与典型废物管理活动相关的假想始发事件。

5.12. 未按照现行安全标准建造的设施可能无法满足所有安全要求。在评定此类设施的安全性时，可能有迹象表明不符合安全标准。在这种情况下应采取切实可行的措施以确保设施的安全。

5.13. 非放射性危害（例如化学毒性危害、工业危害）也应按国家相应要求或可能影响辐射安全（如火灾）的要求予以处理。存在安全标准的非放射性危害可以与放射性危害一起评定和建模（例如与废物容器的起吊和装卸相关的危害）。

6. 一般安全考虑因素

概述

6.1. 放射性废物管理的步骤如下：

- 评价可能的和实际的废物产生量并评价后续的管理顺序；
- 废物产生和控制；

- 加工，包括：
 - 预处理；
 - 处理；
 - 整备；
- 贮存；
- 运输。

6.2. 符合监管机构确定的条件和标准的废物管理计划，如解控（包括回收和再利用）、控制排放和授权处置，应尽实际可行地优先考虑回收、再利用和解控。监管机构应确定对解控和排放的限值和条件[18、19]。

6.3. 作为放射性废物管理的一部分，应核实废物满足验收标准。因此必须在管理放射性废物的不同步骤进行放射性废物的表征和分类。废物货包应具有独一无二的识别系统，能够将废物货包与它们相关的记录联系起来并且要考虑未来直到废物处置时的相当长时间内仍然可识别。

6.4. 对于不解控、排放、回收或再利用的废物，其放射性废物的处置前管理的最终目标是适于处置（或在无可用处置设施时进行贮存）。这意味着每个废物货包，即最终的废物体和废物容器必须符合处置设施的验收标准（或贮存设施的安全运行要求）。在尚未提供处置的验收要求情况下，应在合理假设预期处置计划的基础上规定废物验收标准。

6.5. 在放射性废物处置前管理的各步骤间和步骤内需要对放射性废物进行装卸和运输。安全运输放射性废物的要求见 SSR-6[12]，导则见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-26 号《国际原子能机构〈放射性物质安全运输条例〉咨询材料》[39]。

6.6. 放射性废物在废物管理设施场内的运输可能不需要满足所有场外运输的要求[12]，因为任何时候都是负责现场运行安全的营运组织控制运输的。

废物的产生和控制

GSR Part 5[4]要求 8：放射性废物的产生和控制

“须识别和控制所有的放射性废物，放射性废物的产生量须保持在实际可能的最少程度。”

6.7. 核燃料循环设施废物产生和控制的设计要点和运行程序应包括以下方面[6、35—37]：

- (a) 为设施选择合适的加工、设计方案、材料和结构、系统和部件；
- (b) 选择合适的建造方法、调试程序和运行程序，使得在设施包括退役在内的整个寿期实现废物最小化；
- (c) 使用有效和可靠的技术和设备；
- (d) 放射性废物的密封和包装保持完整性；
- (e) 合适的分区以防止污染扩散；
- (f) 为各分区提供相应的去污措施和设备以防止放射性污染扩散。

6.8. 为了减少二次放射性废物的产生，在选择贮存和处理方案时应考虑废物最小化和控制废物产生的要求。例如在废物加工阶段应当考虑这些要求，包括选择整备加工和选择用于核实处理和整备加工的试验程序。整备加工的质保程序应当设计成使用实际放射性废物试验样品的数量最小化。由于整备过程中设备部件会被放射性污染，应当采用经核实的有较长使用寿命的设备。

6.9. 为了使得未来需要处理、整备、贮存和处置的废物最小化，应当进行预处理，包括废物的分离。应当进行去污和/或足够长时间的放射性衰变，适当的情况下能够将废物重新分类为较低的水平，或者是能够解控监管控制。

废物的表征和分类

GSR Part 5[4]要求 9：放射性废物的表征和分类

“须在放射性废物处置前管理的各种步骤中根据监管机构制定或批准的要求对放射性废物进行表征和分类。”

6.10. 如 GSR Part 5[4]规定：在处置前管理的每个步骤都要确定放射性废物的特征，以便控制废物或废物货包数量、核实加工并且有利于后续的放射性废物的安全处理和最终处置。

6.11. 为了对行放射性废物的装卸、处理和贮存进行明确安排，应考虑如下几点：

- (a) 废物来源、未处理过的废物类型和物理状态（固态、液态或气态）；
- (b) 临界危险[27]；
- (c) 废物的放射性特性（例如半衰期、活度和放射性核素的浓度、废物的剂量率、释热）；
- (d) 其他物理特性（例如尺寸、质量、可压缩性）；
- (e) 化学特性（例如未处理过的废物的组成成分、含水量、溶解度、腐蚀性、易燃性、产生气体的特性、化学毒性）；
- (f) 生物特性（例如废物的生物学危害）；
- (g) 预期的处理、贮存和处置方法。

6.12. 废物表征的过程应该包括测量物理和化学参数、识别放射性核素和测量活度含量。这些测量对于在整个处理、贮存和处置过程中不同阶段追踪放射性废物或废物货包，为后续处理保存记录，尤其是废物管理设施退役是必要的。应优先选择在废物产生处对未处理过的废物进行表征。

6.13. 废物表征的数据要求和收集数据的方法将因放射性废物的类型和形式而异。在处理废物流时，可以通过对废物的化学、物理和放射性特性进行采样和分析来进行表征。废物货包的质量可以通过非破坏性方法进行调查，偶尔也可以通过破坏性方法。然而，可以应用基于过程控制和过程知识的间接描述方法，包括建模。这种方法可以代替或附加于废物货包的取样和视察，以避免过度的职业照射。作为授权程序的一部分，废物处理中的表征方法应为监管机构所接受。

6.14. 为了确保废物货包能通过处置的验收，应制定监管机构能够认可的整备加工方案。废物表征采用的特性参数和过程控制应该有助于提高对特性数据质量的信心、有助于保证废物货包的性质（保证满足废物验收标准）。

6.15. 放射性废物的分类和分级有利于废物管理策略和废物的运行管理的发展。从废物的初始产生到处理、贮存、运输和处置的每个阶段，根据不同特性对废物进行隔离是有益的。为了合理地分离废物，必须了解废物的特性，因此在废物处理过程的不同阶段必须对废物进行表征。应遵循文件化的程序来进行放射性废物的表征和分离，并确定废物的分类。

6.16. GSG-1[9]给出了放射性废物分类的详细目的、方法和步骤；GSG-1[9]附件 III 还给出了放射性废物来源和类型的信息。GSG-1[9]给出了基于放射性废物长期管理的分级机制（处置）。

6.17. 核燃料循环设施中的大多数放射性废物含有 α 发射体。还应特别注意易燃、自燃、腐蚀性或其他危害物质。应注意避免具有这些特性的废物混合。

6.18. 为方便后续加工，应按照废物的活度浓度和化学成分对液态放射性废物进行表征。例如，含有机物的放射性废物可能需要特殊处理。非水放射性废物（如油）应分开进行单独处理。如果液态放射性废物固定或固化在合适的基质中，应确保液态废物和基质材料的化学相容性。

6.19. 放射性固体废物应按照所含核素含量（放射性核素的类型和半衰期）和活度浓度进行分级，同时考虑已有或可能的处置计划，并应按照预期的处理和整备加工对固态放射性废物进行分离。例如，对于污渣、过滤器芯、被污染的设备 and 部件、通风过滤器和杂物（如纸、塑料和毛巾），可以根据处理方式和整备加工进行分离，例如压缩、焚烧或固定。

放射性废物加工

GSR Part 5[4]要求 10：放射性废物加工

“须将预期不作进一步利用和其表征使其不适合进行管理排放、经批准的使用或解除监管控制的放射性物质作为放射性废物加以处理。在加工处理放射性废物时须适当考虑废物的特征及其不同管理步骤（预处理、处理、整备、运输、贮存和处置）所提出的要求。须将废物货包设计和生产成能在正常运行期间和废物装卸、贮存、运输和处置过程中可能发生的事件工况下具备适当包容放射性物质的能力。”

6.20. 放射性废物的处置前管理可包括一个或多个步骤，例如预处理、处理和整备（附件 VII）。这些步骤可在固定设施或移动设施中进行。在这些步骤内、步骤之间和之后，可能需要装卸、贮存和运输废物。

6.21. 放射性废物的处理可以助于废物的回收和再利用，也可将废物生产成适合后续加工、贮存、运输和处置的整备形态。如果废物再利用或再循环不可行，而且无可用处置设施时，应对接收废物进行处置的要求作出合理的假设，以便为其处理或长期贮存提供指导。

6.22. 考虑到安全、安保、辐照和财务等不同方面的问题，放射性废物的处理应尽可能接近其产生位置，将其转化为非能动安全的废物形式，并防止废物在贮存和处置过程中的分散。废物处理应综合考虑在废物的潜在迁移性、ALARA 的考虑和运行影响之间的平衡。

6.23. 在固态和液态放射性废物加工处理中使用热处理（通过加热，或用 600°C 以上的温度分解或摧毁废物有机成分的过程）。最常用的技术是焚烧 [40]。

预处理

6.24. 预处理包括废物收集、分离、化学调整和去污等操作，以减少需要后续处理和整备、贮存的废物数量，进一步调整废物的特征、使废物更易于进一步处理，并减少或消除由于废物的辐射、物理和化学特性所造成的某些危害。

6.25. 放射性废物预处理的第一步一般是收集废物，必要时根据其辐射、物理和化学特性进行分离。应在实际可行的情况下，在接近废物的产生点将放射性废物分为适当的类别。应为废物的分离制定书面程序。主要成分是短寿命放射性核素的放射性废物不应与含有长寿命放射性核素的废物混合。在废物分离时应考虑是否可以解除废物的监管控制，或者是否可以直接或在一段时间的放射性衰变贮存期之后回收或排放废物。

6.26. 为助于进一步的处理并加强安全性，应根据设施的废物管理计划和现有手段将固体废物分离。废物分离应考虑废物的下列特性：

- (a) 可燃或不可燃，如果热处理（如焚烧）是可行的；
- (b) 可压缩或不可压缩，如果压缩是可行的；

- (c) 金属或非金属，如果熔化是可行的；
- (d) 固定表面污染或非固定表面污染，如果去污是可行的。

6.27. 用过的密封源应与其他废物分离。

6.28. 在分离易裂变的、自燃的、爆炸性的、化学反应的或其他危害的或含有游离液体或加压气体的材料和物体时应特别小心。

6.29. 液态废物应按照废物的如下特性进行分离：

- (a) 放射性核素的半衰期（例如，极短寿命的放射性核素和非极短寿命的放射性核素）；
- (b) 比活度；
- (c) 成分（如有机物、含水废物、低含盐量和高含盐量的含水废物）；
- (d) 相态（例如离子交换树脂、污渣）。

6.30. 许多去污加工使用机械、化学和电化学方法的结合去除表面污染。应注意尽量限制产生二次废物的量，并确保产生的二次废物的特征与后续的废物管理加工相协调。

6.31. 为了达到规定的废物验收标准，某些国家允许在废物的产生点混合废物（例如为了达到平均浓度）。可以混合的废物流应限于放射学和化学相容的那些废物流。混合废物流应与废物管理设施的验收标准兼容（例如用于处理、贮存或处置）。如果考虑混合化学性质不同的废物流，应评定可能会发生的化学反应，尤其是放热的化学反应，以防止不可控或意外的化学反应引起意外排放易挥发的放射性核素或放射性气溶胶。由于有机液态废物的化学性质不同需要不同的处理方法，并与含水废物分离。有机液态废物也可能是易燃的，因此其进行收集和贮存应采取具有适当的通风和消防的规定。

处理

6.32. 放射性废物的处理可包括以下内容：

- (a) 减少废物体积（例如焚烧可燃物、压缩固体废物和分割或分解庞大的废弃部件或设备）；
- (b) 去除放射性核素（例如对液态废物流蒸发或离子交换、对废气进行过滤）；

- (c) 改变废物的形态或成分（例如通过沉淀、絮凝和酸化的化学加工以及化学或热氧化）；
- (d) 改变废物的形态或物理性质（例如固化、吸附或封装；常见固化的基质为水泥、沥青和玻璃）。

固体废物

6.33. 固态放射性废物可能是多种多样的。在处理前应特别考虑进行代表性的取样，以确定废物与预期的流程是否兼容，并应在切实可行的情况下，为这类取样作适当安排。应安排对最终处理产物进行系统控制以核查是否符合既定要求。

6.34. 许多加工都可生产出可接收的废物形式。应根据废物的特性选择合适的加工。如果可能的话，应该使用能够实现高减容因子的加工和技术核实过的加工，如压缩或焚烧。

6.35. 通常焚烧可燃固体废物能够实现高减容并使形成稳定的废物体。废物中的放射性核素燃烧后将分布在焚烧灰、排气净化产物和烟囱排出中。放射性核素分步将取决于焚化炉的设计、运行参数和废物中放射性核素的性质。焚烧将导致焚烧灰中的放射性活度水平提高，可能会引起废物类别的变化。此外，废物中的其他成分可能会产生酸性气体和腐蚀性燃烧产物，这将引起焚化炉部件腐蚀和向环境中排放酸。应考虑采取措施处理尾气以防止放射性物质和非放射性有害物质的排放。应考虑到放射性核素在气体净化系统累积、在焚烧灰中存留及需要进行后续整备的可能性。

6.36. 放射性核素对环境的排放主要取决于焚化炉的运行工况，尤其是温度的控制、处理废物的类型和数量以及放射性核素的含量。由于焚化炉处理大量的放射性废物，营运组织应在排放烟囱中监控放射性核素，通过恰当的方法保证排放的浓度和数量在监管机构规定的限值内，并与安全评定的模式中的参数一致。某些焚烧产物（酸、多氯联苯和其他物质）具有非放射性危害。

6.37. 压缩是减少某些类型废物体积的好方法，这可能包括压缩焚烧废物产生的焚烧灰。应该很好地确定和控制要压缩物质的特性和所需减小的体积。在选择或设计和运行压缩机时应考虑以下压缩后果：

- (a) 压缩过程中可能会排放易挥发的放射性核素以及其他放射性气溶胶污染物；
- (b) 压缩过程中液态污染物的排放；
- (c) 压缩期间和之后物质的化学反应；
- (d) 由于自燃或易爆材料或承压设备导致的潜在的火灾和爆炸危害；
- (e) 含易裂变材料的废物被压缩为一个废物货包时的临界风险。

6.38. 对预期加工来说相对大型或超大型废物（如磨损部件和结构）在整备前可以采用切割或拆卸以及其他减容技术。切割或拆卸的过程通常使用高温火焰切割机、各类切割方法、液压剪、磨料切割和等离子弧切割等工具。在选择处理方法时和运行设备时应该考虑需要有防止污染颗粒物的扩散的手段，如果是自燃性废物，还应考虑防火措施。

6.39. 对于不可燃和不可压缩的固体废物，当“滞留和衰变”或“去污”不可行时，应考虑不预处理的直接整备。废金属的熔化可使放射性物质均匀化，其在熔渣中累积，可作为实现材料的再利用或解控的一种方法。

液态废物和流出物

6.40. 在向环境排放液体之前，营运组织必须向监管机构提交环境影响评定报告并使公众防护最优化。监管机构必须将这些提交的报告作为确定或批准排放限值及其实施条件的依据[3、19]⁶。

6.41. 含水废物处理方法包括蒸发、化学沉淀、离子交换、过滤、离心、超滤、热处理和反渗透。在每种情况下，都应仔细考虑可能与腐蚀、结垢、起泡以及有机材料存在的火灾或爆炸危害相关的过程的值，特别是在运行和维护的安全隐患方面。如果废物中含有易裂变材料，则应尽实际可能通过设计要点和行政安全措施评定和消除潜在的临界风险[27]。

6.42. 废离子交换树脂可能会被冲洗成浆体，尽管一些营运组织仍将其保持为干燥固体[41、42]。当树脂被冲洗为浆液，应该小心避免流体堵塞，因为这些可能导致辐射热点，并且需要特殊维护。由于潜在的辐射分解或化学

⁶ 目前正在编写辐射环境影响评定的安全导则。

反应能够产生可燃气体或引起物理降解或放热反应，还应特别注意待整备树脂的长期贮存安全。

6.43. 废物处理过程中可能产生需要排放的液体。液态废物应尽可能根据其放射性和化学性质进行表征，以利于收集和分离。通过适当的表征，可以在授权的限值内排放液体，同时应保证排放液体的非放射性特性也是适合排放的。

6.44. 所有被排放的液体应该是易溶于水或易在水中扩散的。如果液体含有悬浮物质则可能需要在排放前进行过滤。与水不混溶的废物不应排放。酸性或碱性液体应在排放前中和。如果液体还含有有毒物质或其他可能影响环境或污水处理的有害化学物质，应在排放之前按照保护工作人员、公众和环境的原则进行处理。

6.45. 液体向环境的常规排放的主要控制方法取决于贮存系统或处理系统。贮存系统允许在液体排放到环境之前短寿期的放射性核素衰变。处理系统可从排放物流中除去放射性核素再通过其他方式对其处置。在这两大类中，可能有许多不同的方法可选。废液排放限值和控制在监管机构[3、19]确定或核准。

6.46. 虽然有机液态废物的体积通常比含水废物的体积小，但其不正确管理造成的危害反而可能很高。有机废物的管理不仅要考虑其放射性，还要考虑其化学有机含量可能对环境造成不利影响。处理大量有机液态废物的是技术密集型的，也是昂贵的。有机液态废物的处理步骤包括焚烧、乳化以便封装到水泥中、吸附到基质中、蒸馏和湿法氧化。

气态废物和排放

6.47. 与向环境排放液体类似，营运组织必须在向环境排放气体之前向监管机构提交环境影响评定，并使公众保护最优化。监管机构必须使用这些提交的报告来建立或核准关于排放的授权限值及其实施条件[3、19]。

6.48. 在放射性废气处理系统的运行过程中，应考虑：待处理的气体量、放射性活度、气体中含有的放射性核素、颗粒物的浓度、化学成分、湿度、毒性、可能存在的腐蚀性或爆炸性物质。在合理可行的范围内，尽可能使半衰期短的惰性气体在滞留箱或其他延迟系统中滞留，使放射性核素在排放前

衰减到可接受的活度或活度浓度水平，以满足监管机构规定或核准的排放限值。

6.49. 可以使用高效微粒空气过滤器（HEPA）去除气态流出物中的放射性微粒和气溶胶。可以通过活性炭过滤器去除碘，并且可以通过填充活性炭的吸附床延迟惰性气体。可考虑使用洗涤剂去除废气中的气态化学物质、微粒和气溶胶。若监管机构要求，或者如果可靠性对确保安全至关重要，则应使用冗余系统（如串联的两个过滤器）。为了探测故障，在排气系统中应考虑的其他部件包括确保过滤器正确操作的部件，如预过滤器或粗过滤器、温度和湿度控制系统以及监控设备，如显示压差的表。

6.50. 对于放射性液体和气体的排放，营运组织必须评审和酌情修改排放控制措施并与监管机构达成一致，同时考虑到运行经验以及代表人群的照射途径或特征的任何变化，这些代表人群可能影响对排放产生的剂量的评定[3]。

整备

6.51. 放射性废物的整备是指生产适合安全装卸、运输、贮存和处置的废物货包的操作。整备可包括固定液态废物或可分散的废物，将废物封闭在容器中并根据需要提供外包装。

6.52. 通过整备生产的废物货包应满足相应的验收标准。因此在决定需要哪些类型的预处理、处理和整备时，应咨询监管机构、提供运输服务或计划提供运输服务的营运组织、贮存设施和处置设施。

6.53. 液态废物通常是通过固化在合适的基质中而转化为固态形式，根据废物验收标准，可以选择适用于低中放废物的水泥、沥青或聚合物，或适用于高放废物的玻璃。固化也可以不采用基质材料，例如采用干燥的方法。然后将产品封入容器中。

6.54. 在实际可行的范围内，液态废物的固化过程应产生具有下列特征和属性的废物：

- (a) 放射性废物与任何基质材料和容器的物理和化学性质具有良好的相容性；
- (b) 均匀性；

- (c) 低空隙率；
- (d) 低渗透性和可浸出性；
- (e) 要求时间内的化学、热、结构、机械和辐射稳定性；
- (f) 耐化学物质和微生物。

6.55. 应根据特定情况特定分析固化体的特性要求。第 6.54 段列出的废物固化体的特性适用于多种固体废物。某些表征（特别是均匀性和低空隙率）不适用于某些类型的固体废物。

6.56. 应当考虑到某些处理过程（例如沥青固化）是放热的，并且可能会有发生火灾和/或爆炸的危害，这取决于混合的材料。还应当考虑到某些金属，如铝、镁和锆，可以与水泥浆中的碱性水或混凝土基质中扩散出来的水反应产生氢气。另外，一些金属颗粒，比如锆，当其颗粒尺寸与表面积的比例一定和在适宜的环境下可能变得易燃。在整备过程中要关注螯合剂的状况、液态废物中有机液体或油和盐含量。

6.57. 根据废物的表征以及装卸、运输和贮存的方法，容器还可能需要提供屏蔽以防止直接辐射。在选择容器材料及其外表面光洁度时，应考虑使其易于去污。如果废物货包的原始设计不满足运输，贮存或处置相关验收标准，附加的容器或外包装需要符合验收标准。应注意确保废物货包和外包装与废物验收标准和运输要求的兼容性。

6.58. 整备后的废物货包应在处置前的预计的贮存期内保持完整性，并能够满足以下要求：

- (a) 在贮存期结束时可回取；
- (b) 如有必要装在外包装中；
- (c) 能够运往处置设施和 在处置设施内搬运；
- (d) 符合处置设施的废物验收标准。

放射性废物贮存

GSR Part 5[4]要求 11：放射性废物的贮存

“对废物的贮存须采取能够对废物进行视察、监控、回取和保存在适宜的环境以适合其后续管理的方式进行。须适当考虑预计的贮存期，

并须尽可能利用非能动安全特性。特别是对长期贮存而言，须采取措施防止废物包容系统的退化。”

概述

6.59. 贮存是核燃料循环设施废物管理策略中可考虑的一种方案。应在废物处理的各个阶段提供适当的贮存，以确保隔离和环境保护；贮存还应便于回取以进行后续步骤。关于放射性废物贮存和乏燃料贮存的建议见 WS-G-6.1[10]和 SSG-15[11]。

6.60. 贮存设施的设计应考虑放射性废物的类型、表征和相关危害、放射性库存和预计的贮存期。应作出定期监控、视察和维护废物和贮存设施规定，以确保其持续完整性。还应提供手段将这些设施的性能参数保持在可接受的运行和监管限值内。

6.61. 必要时，应制定放射性流出物或放射性废物在处理和排放之前的妥善封闭在贮存区域的规定。还应考虑制定在运输过程中贮存废物和将废物转移出贮存区的规定。

6.62. 贮存设施和废物货包的设计应考虑废物形态（即固态、液态或气态）、放射性核素含量和半衰期、活度水平、总放射性库存、非放射性特征和预期贮存时间。设计要点和设施运行应确保能够接收、装卸、贮存和回取废物，而不会造成过度的职业照射、公众照射或环境影响。

6.63. 应提供充分的贮存容量保证正常运行中产生放射性废物的贮存，同时为任何事故或异常事件产生废物的提供备用容量。当无可用处置设施或废物无法往外转运时，这种扩容是非常必要的。

6.64. 在可行范围内，放射性废物应尽可能在非能动条件下贮存（例如，放射性物质是稳定的，废物体和容器在物理和化学上均为稳定的且是抗退化的，提供具有使用多屏障措施的容器，安全功能由非能动系统提供并且对能动系统或维护的需求最小化，并且贮存环境优化有利于保持废物容器的使用寿命）。在贮存的预期持续时间内，营运组织应保证结构、设备、废物体和容器的完整性。应考虑到废物、容器和环境之间的相互作用（例如，由于化学反应或电化反应中的腐蚀）。对于某些类型的废物（例如腐蚀性液态废物），应特别采取预防措施，如使用双壁容器和不透水衬里。

6.65. 对于产生大量液态废物的设施，废液收集罐应该是优选容器。这些罐应该由耐化学性的材料构成，如不锈钢、塑料、橡胶衬里的碳钢或玻璃纤维。应该在罐周围设置二次包容体，以防止泄漏事件发生时引起污染的扩散。还应考虑提供足够的屏蔽。

6.66. 含有短寿命放射性核素废物可以被收集并贮存，以允许其活度衰减到允许授权排放、授权使用或解控的水平。有时由于运行原因可能需要对废物进行贮存，例如需要在一段时间之后才能取得进行场外废物运输的许可证。

6.67. 废物应分开贮存，使得其可被回取，用于进一步的处理、整备、或转移到另一个贮存或处置设施。放射性废物应与非放射性废物，工业废物分别贮存，以避免工业废物被污染、放射性物质失去控制、或增加工作人员或公众的照射。贮存易裂变材料时要特别注意避免采用可能导致临界的贮存布局结构。

6.68. 应制定和实施废物货包跟踪系统。该系统应识别废物货包及其位置以及提供贮存的废物库存。应根据国家规范和最终处置需求确定所需废物跟踪系统的复杂程度（例如标签和条形码）。参考文献[43]提供了废物跟踪系统进展的更多相关技术信息。

贮存液态高放废物

6.69. 在液态高放废物的贮存中，应对通风、冷却和液位探测等安全相关系统的可运行性进行监督。应考虑为监控和测量值的指示提供冗余能力。此外，应该确定废物关键的物理和化学参数（例如温度、压力、次临界度、关键成分的浓度、水溶液的辐射分解程度和易燃或易爆物质的量）的检测手段。应采取措施将上述参数维持在可接受的运行和监管限值内，以及将气态和液态流出物维持在监管限值内。

6.70. 应当注意确保高放废液与它的化学整备加工是化学相容的，以及与其容器、管道和其他结构和部件的建造材料是化学相容的。设计要点应该包括双壁管道和容器、废液贮存罐的围堰和地坑，以及能动通风系统，确保空气从较低污染区向较高污染区流动。应提供泄漏或溢出的收集和回收系统，例如衬里电解槽和地坑系统以及液体回收系统。还应采取措施将固体保持在悬浮状态，以促进充分冷却并防止其在冷却表面上累积。

6.71. 应采用冗余的能动或非能动工程安全设施以防止高放废液贮存产生的危害。这样的设施至少应当包括屏蔽和包容，以及通过冷却高放液态废物和对产生的气体进行通风的措施，防止不受控制的产生爆炸性气体或温度和压力升高。

6.72. 应为高放废液贮存设施提供排气系统，该系统采用适当的过滤系统来控制气态流出物的排放，并确保它们保持在监管限值内。

放射性废物验收标准

GSR Part 5[4]要求 12：放射性废物验收标准

“已接收进行处理、贮存和（或）处置的废物货包和未包装废物须符合与安全论证文件相一致的标准。”

6.73. 需要为放射性废物处置前管理设施制定放射性废物验收标准[4]。应考虑到核燃料循环设施和废物管理设施以及未来处置设施的所有相关运行限值和条件（符合安全论证文件）。放射性废物处置管理的一个重要目标是生产可以安全装卸、运输、贮存和处置的废物货包。特别是废物整备应满足其处置的验收标准。为了保证整备后的废物能够通过处置验收，虽然可能尚未确定特定要求，但应尽可能预测废物的未来处置计划和相应的废物验收标准。通过提供适合于特定处置条件和废物表征以及适合于处置设施的工程部件的外包装，可以满足废物验收标准。这种外包装也可以是符合运输要求的解决方案。

6.74. 附件 I 列出了废物货包管理应考虑的典型性质和特征。为了确保废物货包可以通过处置验收，应制定废物整备方案作为管理系统的一个部分，以开发一个整备流程。整备程序应经监管机构核准。应制定废物货包质量保证和控制计划并将其纳入管理系统。质量保证计划在监管机构核准后执行以证明符合处置设施废物验收标准。

6.75. 营运组织应确保设施（和装置）中接收的放射性废物符合既定的验收标准。确定是否符合验收标准的程序应包括在管理系统中。

6.76. 废物验收标准的制定能够使设施与材料转移、贮存或运输到设施的过程有效地相互连接。

6.77. 应采取适当的技术对废物进行表征以证明其符合安全论证文件，并符合废物管理过程后续步骤的废物验收标准。

6.78. 如果收到的废物货包的表征不符合验收标准，营运组织应执行应急措施。这些措施包括将废物货包放入安全可靠的隔离区域、将废物货包返回废物产生的设施或将其送至另一个处理设施。

废物管理设施全寿期的安全考虑

选址和设计

GSR Part 5[4]要求 17：设施的选址和设计

“放射性废物处置前管理设施的选址和设计必须能够确保设施在预计运行寿期期间的正常工况下和可能的事故工况下的安全以及退役期间的安全。”

6.79. 原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-3 (Rev.1) 号《核装置场址评价》[44]规定了核装置场址评价要求；原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-9 号《核装置场址评价中地震危害》[45]；第 SSG-18 号《核装置场址评价中气象和水文危害》[46]、第 SSG-21 号《核装置场址评价中火山危害》[47]和第 SSG-35 号《核装置场址勘查和选址》[48]给出了在选址和场址评价中推荐采用的分级方法。

6.80. 废物处置前管理设施应与放射性废物位于同一场址，以减少废物在处理和贮存位置之间的运输。

6.81. 放射性废物处置前管理设施的设计应达到以下目标：

- (a) 防止放射性物质扩散（例如通过包容、冷却或防止爆炸性气体混合物积聚的措施）；
- (b) 防止外照射（通过屏蔽）；
- (c) 防止临界。

设计评定应考虑内外部危害（见 NS-R-5 (Rev.1) [6]附件 I）。

6.82. 在设计核燃料循环设施及其相关的废物管理设施时，应考虑以下方面：

- (a) 临界安全（如果相关）；
- (b) 废物处理和贮存区出入口的控制以及控制辐射区和污染控制区之间的转移；
- (c) 贮存废物的回取（包括运行期间产生的废物）；
- (d) 废物表征和库存量控制；
- (e) 废物及其密封的视察；
- (f) 处理不符合规定的废物和废物货包的方法；
- (g) 控制液态和气态流出物；
- (h) 管理废物产生的非放射性危害；
- (i) 设施维护工作和最终退役。

6.83. 在设计核燃料循环设施的过程中，须考虑放射性气态废物和气态流出物的管理措施，应包括以下内容：

- (a) 设置合适的放射性废气管道排放系统、输排放点进行监控；
- (b) 确定气态放射性废物的排放方式（如烟囪）、废气取样和监控的方法。

6.84. 在设计核燃料循环设施时要考虑对液态放射性废物和液态流出物的管理，应包括以下内容：

- (a) 出于废物再利用（如使用树脂的处理或固化）的需要，或者由于放射性废液活度太高以至于无法直接排放到环境中，应在一个共同的点收集放射性废液，例如收集槽；
- (b) 对活度水平低，但在下游可能有增长趋势的放射性废液进行监控；
- (c) 管理和控制活度水平高的液态放射性废物；
- (d) 放射性衰变贮存规定，以尽量减少放射性物质的排放；
- (e) 在排放液体之前，最好是在排放时对储罐进行取样和监控；
- (f) 规定根据放射性性质（放射性核素的半衰期、比活度）、组成（有机废物和含水废物，含盐低和含盐高的含水废液）和相态（离子交换树脂、污泥）对废物进行分离；

- (g) 规定处理放射性废液，要么用于再使用（例如，使用树脂的处理），或者因为活度水平过高而无法排放到环境；
- (h) 必要时对废离子交换树脂的贮存和液态废物的脱水进行规定；
- (i) 对液态废物收集管道中的过滤规定，以防止固体排放。

6.85. 在设计核燃料循环设施时应考虑对固态放射性废物的管理，尽可能包括以下内容：

- (a) 按废物类型（即，物理形态、体积、质量、同位素组成和放射性浓度）或根据来源区域进行分离的规定；
- (b) 用于低放废物和极低放固体废物（例如被污染的清洗设备、服装、纸和工具）装卸、包装和贮存的方法；
- (c) 用于中放固体废物（例如，离子交换树脂、过滤器的通风系统和木炭床产生的废物）的装卸、包装和贮存方法；
- (d) 装卸、临时贮存和装载废物的区域和工具；
- (e) 辐射防护设备和工具；
- (f) 必要时处理和贮存液态废物蒸发过滤器、树脂和残留物的规定；
- (g) 确保对放射性物质解除监管控制和排放控制的规定在授权限值内进行。

6.86. 设施设计应防止不同材料之间的相互作用，否则可能会危害废物的控制或危及设施的安全。

6.87. 放射性废物的处置前管理也可能需要管理非放射性危害物质。应采取措，以确保其管理符合危害物质的相关适用法规，并考虑到放射性和非放射性成分之间的潜在相互作用。

6.88. 废物形式的所有相关特征都应在废物整备考虑，并为废物货包的设计提供依据。废物货包应具有足够的密封、屏蔽和散热性能。

6.89. 放射性废物处置前管理设施的设计和运行应考虑采取安全几何构型、限制裂变褐色浓度和数量或使用中子毒物等措施，确保在两种运行状态（正常运行和预计运行事件）下都保持次临界状态。在设计中应对中子增殖系数进行适当的限制，并为质量、浓度和其他特征选取合适的安全因子。在设施运行时可能需要额外组织和行政安排，以确保次临界条件[27]。

6.90. 高放废物(释热)的处置前管理设施的设计应该包括一个无论是在运行状态和事故工况,都能将废物或废物体的温度在处置前管理的所有阶段都维持在可接受的限值内的系统。在包括贮存在内的所有管理步骤中,温度限值应根据废物和废物货包的属性确定,同时考虑容器的材料性质,包容结构和废物体。在可行的范围内,用于整备高放废物的贮存设施的冷却系统应该是非能动的,并且应该需要最少的维护。如果使用能动循环的冷却剂,则系统应该是高度可靠的。为增强冷却系统的可靠性,需对固态沉淀物及系统表面沉积物进行处理,以免影响传热效果。贮存设施本身应该被设计成能够在冷却系统持续故障事件中确保贮存的废物不受损坏。此外,应采取缓解措施来处理此类突发事件。

建造和调试

GSR Part 5[4]要求 18: 设施的建造和调试

“须根据安全论证文件中所述且经监管机构核准的设计建造放射性废物处置前管理设施。须对设施加以调试,以核实设备、结构、系统和部件及整个设施是否按计划运行。”

6.91. 原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-38 号《核装置建造》[49]提供了建造核装置的指导。

6.92. 对于模块化贮存系统,大多数调试工作将在装载第一个贮存模块时完成。随着新模块投入使用,一些调试过程可能成为常规运行的一部分。但是,当模块设计发生改变是可能需要为新设计重复一些调试步骤[11]。

设施的运行

GSR Part 5[4]要求 19: 设施的运行

“须根据国家法规和监管机构规定的条件运行放射性废物处置前管理设施。设施的运行须按照成文程序进行。须对设施的维护给予适当考虑,以确保设施的安全性能。应急准备和响应计划如系营运者制订,则须由监管机构核准[30]。”

运行说明

6.93. 应为废物管理设施的正常运行和事故工况制定运行说明和程序。且在指定的负责人需要时随时能够提供。

6.94. 在正常运行中产生的放射性废物导致照射的预防和限制措施应包括以下内容：

- (a) 将放射性废物与工作人员、公众所处的场所隔离开，包括出入控制，如对场所进行适当的分区以防止污染扩散；
- (b) 在废物装卸或移动时（放置贮存、回取或往场外转运）进行辐射监控目视视察；
- (c) 检测、收集和处理液体泄漏；
- (d) 人员和设备的去污；
- (e) 去污活动产生的放射性废物处理。

6.95. 营运组织应确保严格评审涉及维持次临界的运行程序，并与设计的安全要求进行比较。这可能包括监管机构的核实分析和评审。评审中应考虑以下因素：

- (a) 贮存废物的类别和分级；
- (b) 确保次临界所必需的安全几何构型构；
- (c) 次临界对中子吸收剂的依赖性；
- (d) 最佳慢化和反射条件；
- (e) 废物体和废物货包；
- (f) 装卸操作；
- (g) 异常操作的可能性；
- (h) 纵深防御措施的分析。

6.96. 原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-2.1 号《核或辐射应急准备的安排》[31]和第 GSG-2 号《核或辐射应急准备和响应中使用的标准》[32]给出了在制定运行程序和应急安排时应考虑的防护和安全问题。在制定应急安排时，营运组织应考虑以下事项：

- (a) 装卸系统故障，包括严重的起重机故障、重物坠落或废物货包坠落；
- (b) 安全相关设施加工系统的故障，如供电、加工用水、压缩空气和通风用品的故障；
- (c) 爆炸（例如辐射分解产生的气体累积导致）；
- (d) 火灾，可能损坏安全重要物项；
- (e) 外部自然灾害，例如极端天气条件和地震；
- (f) 外部人为引起的危害，例如飞机坠毁或破坏和其他恶意行为。

运行限值和条件

6.97. 运行限值和条件应在以下基础上制定：

- (a) 设计规范、运行参数以及调试结果；
- (b) 安全重要物项的敏感性以及对物项故障、特定事件发生或运行参数变化假想方案的考虑；
- (c) 用于测量安全相关运行参数的仪器仪表设备的精确性和校准；
- (d) 考虑每一个安全重要物项的技术规范和确保这些安全物项在发生任何特殊事故时仍能发挥作用；
- (e) 安全重要物项需要保持可用性，以确保在运行状态下的安全，包括维护期间的安全；
- (f) 设备说明书应完整、正确，以备在发生假想始发事件或事故工况时使用；
- (g) 安全运行废物管理设施所需的最低人员配置水平。

6.98. 应不断评审运行限值和条件，并可能必要时根据国家监管框架对其进行修订，原因如下：

- (a) 根据运行经验；
- (b) 对设施和/或放射性废物的类型进行修改；
- (c) 作为设施的安全论证文件（包括作为定期安全评审的一部分）定期评审的一部分；
- (d) 法律或监管条件发生相关变化。

运行经验反馈

6.99. 应该系统地收集、筛选和分析和/或评审设施的运行经验和事件以及类似设施的相关报告。应通过适当的反馈程序对上述经验进行汲取和交流。还应评审新的标准、法规或监管导则，以检查其对设施安全的适用性。应该应用这种反馈过程来增强设计和运行。

维护

6.100. 一般而言，维护计划应来自安全评定的要求，并应考虑以下因素：

- (a) 根据以往经验或其他适用数据（如制造商的建议）分析维护要求；
- (b) 关于技术人员、工具和材料（包括备件）供应的工作计划；
- (c) 辐射防护和工业安全监控计划；
- (d) 包容功能故障的可能性；
- (e) 对场址其他运行设施的影响。

6.101. 维护、视察和试验计划的批准和实施，以及相关工作程序和验收标准的批准，应由合格的和运行经验丰富的人员进行。

辐射防护计划

6.102. 应制定辐射防护计划，确保废物管理设施的区域根据放射性水平和污染可能性进行分类。该计划应包括监控和控制设施中的所有相关放射性危害，并应包括确保对设施中的工作人员照射进行评定、记录、优化并使其保持低于剂量限值的规定。还应制定工作计划，以确保剂量保持在合理可行尽量低水平。

应急准备和响应的安排

6.103. 应制定并记录应急计划和程序，并应向相关人员提供。这些计划和程序应根据过去的经验和随后可能影响应急安排的任何变化进行定期评审和修订。相关人员应具备执行这些计划和程序的资格并且经过适当的培训。应急安排应定期进行演习试验，并在必要时将所获得的反馈纳入应急安排。管理系统应确保应急响应所需的设备、用品、通讯系统及其他必要资源在需要时可用并处于工作状态[30、31]。

退役

GSR Part 5[4]要求 20：设施的关闭和退役

“营运组织须在设计阶段制定放射性废物处置前管理设施的关闭和退役的初始计划，并须在整个运行期间定期对其进行更新。须根据监管机构核准的最终退役计划实施设施的退役。此外，还须确保将为实施关闭和退役提供充足的资金。”

6.104. GSR Part 6[24]给出了设施退役的相关要求，在 WS-G-2.4[28]提供了相关建议。根据 GSR Part 6[24]规定，在计划废物管理设施退役时要考虑的关键因素包括：

- (a) 选择退役策略：
 - (i) 符合国家放射性废物管理政策；
 - (ii) 考虑防护和安全的最优化；
 - (iii) 采用分级方法；
 - (iv) 对于同一场址有多个设施的情况，确保在计划某个设施时考虑到相互依存关系；
 - (v) 得到安全评定和环境影响评定的支持；
- (b) 准备并向监管机构提交初始退役计划，以确定退役计划证明其可行性，确保有足够的财务资源，确定将产生的废物数量类别并估计废物数量；
- (c) 建立和实施涵盖退役的所有方面的综合管理系统，培养安全文化，并为实现营运组织目标所需的安排和程序提供一个单独的框架；
- (d) 估算退役行动的费用并建立一种机制，以提供足够的财务资源来支付退役相关费用，包括由此产生的放射性废物的管理；
- (e) 进行放射性源项调查并获得相关放射性条件的信息，以提供基础数据；
- (f) 编写和保留与退役相关的适当记录和报告（例如事件记录和报告）。

6.105. 核燃料循环设施的退役计划应减少可能导致工作人员高外照射或内照射剂量、临界事故的潜在危害，以及非放射性危害。在废物管理设施的设计过程中，需要准备初始退役计划[24]。

6.106. 应在设施运行期间定期评审和更新初始退役计划，并应对以下内容进行更全面的评审：

- (a) 退役技术发展；
- (b) 可能的外部自然灾害和人为危害；
- (c) 对影响退役计划的系统和结构的修改；
- (d) 法规的修订和政府政策的变化；
- (e) 一旦核燃料循环设施被永久关闭，废物长期贮存、处置、或转移到符合运输要求的经核准的贮存设施或处置设施的可能性；
- (f) 处置计划的可用性和废物处置验收标准；
- (g) 根据表征数据和安全论证文件的更新，重新估算费用，财务拨款和退役基金的更新；
- (h) 确保为退役项目提供经过适当培训、合格和称职的工作人员。

附件 I

废物货包特定要求

I.1. 应确定放射性废物整备的特定要求，以确保废物货包满足相关的贮存或处置验收标准和运输要求。应尽早识别废物的放射性特征。废物货包的其他要求可分为四个方面：化学和物理性质、机械性能、包容能力以及稳定性或健稳性。稳定性或健稳性是指废物货包长期包容放射性核素的能力。

放射性特征

I.2. 废物的放射性特征包括：

- (a) 放射性核素活度和半衰期；
- (b) 总活度（ α 、 β 和 γ ）和活度浓度水平；
- (c) 剂量率；
- (d) 释热量。

化学和物理性质

I.3. 废物体的化学和物理性质包括：

- (a) 化学成分；
- (b) 密度、孔隙率、透水性和透气性；
- (c) 废物与基质的均匀性和相容性；
- (d) 热稳定性；
- (e) 含水率，压应力下，收缩和固化情况下的水渗出；
- (f) 浸出性和腐蚀速率。

I.4. 容器的化学和物理性质包括：

- (a) 材料和成分（例如，金属合金、玻璃、陶瓷）；
- (b) 孔隙率、透水性和透气性；
- (c) 导热系数；

(d) 在腐蚀性气体或液体，例如水或盐水中的溶解度和腐蚀情况。

I.5. 废物货包的物理性质包括以下内容：

- (a) 容器中的孔隙率（将被最小化）；
- (b) 封盖和密封装置的特征；
- (c) 热敏性。

机械性能

I.6. 废物的机械性能包括其抗张强度、抗压强度和空间稳定性。

I.7. 废物货包的机械性能包括其机械负载下（静态负载和或冲击负载）或热负载下的行为。

包容能力

I.8. 废物货包的包容能力包括：

- (a) 放射性核素在水相介质中扩散或浸出的可能性；
- (b) 在标准大气条件或贮存条件下气体排放的可能性；
- (c) 在标准大气条件或贮存条件下氡扩散的可能性；
- (d) 废物货包包容放射性核素的能力；
- (e) 密封装置的水密性和气密性。

稳定性和健稳性

I.9. 废物货包的稳定性和健稳性（即其长期性能和耐久性）关注以下内容：

- (a) 在温度循环交替下的行为；
- (b) 对高温的敏感性和在火灾情况下的行为；
- (c) 长期辐射照射下的行为；
- (d) 基质中对水的敏感性；
- (e) 抗微生物的能力；

- (f) 在潮湿环境下的耐腐蚀性（对于金属容器）；
- (g) 孔隙率和气密性的程度；
- (h) 由于气体内部积聚而膨胀的可能性。

附件 II

设施的废物管理计划

II.1. 设施废物管理计划应包括以下内容：

- (a) 放射性废物在该设施中产生的过程的说明；
- (b) 放射性废物流的描述，以及为避免和最小化废物所做的努力；
- (c) 安全管理必需的废物的限值和条件；
- (d) 给出设施中废物的分类和预期的废物产生量和库存量；
- (e) 设施废物管理的原则和目标；
- (f) 识别废物管理计划及相关步骤，考虑废物管理各步骤之间的相互依赖关系；
- (g) 确保用于实现设施全寿命废物管理计划的资金，包括退役和放射性废物可能的长期贮存；
- (h) 在以上 (a)–(g) 点的基础上，说明管理计划和国际良好实践选择的合理性；
- (i) 证明设施的废物管理计划符合国家放射性废物管理的政策和战略；
- (j) 必要时论证废物管理计划如何影响安全论证文件，例如当作出废物贮存期限比厂房设计寿命长的决策时对安全论证文件的影响。

II.2. 废物管理计划应当包括以下内容：

- (a) 使用合适的技术使放射性废物的产生，从类型、活度和体积等方面尽实际可行地减少到最低限度；
- (b) 材料重复利用和回取的可能性；
- (c) 对废物进行适当分类和分离，对每个废物流维持准确的库存量，同时考虑将其解控、贮存和处置的可选方案；
- (d) 放射性废物的收集、表征和安全贮存；
- (e) 足够的贮存容量用于处理预计将产生的放射性废物（整备、未整备的），和额外的备用贮存容量；
- (f) 确保可以在预计的贮存期间内的任何时间回取放射性废物；
- (g) 回取贮存放射性废物的技术和合适的程序；

- (h) 放射性废物加工方法，以符合废物验收标准，确保安全贮存、运输和处置；
- (i) 放射性废物的安全装卸和运输；
- (j) 充分控制废液向环境的排放；
- (k) 为核实合规性而对源（排放的废水）和环境进行的监控；
- (l) 废物加工和贮存的维修设施及设备，以确保安全可靠的运行；
- (m) 监控在贮存位置放射性废物的包容状态；
- (n) 通过视察和定期分析的手段监控放射性废物特征的变化，特别对于长期贮存；
- (o) 开展必要的研发活动，以提高现有的放射性废物加工技术或开发新的方法和技术；
- (p) 执行、记录和报告设施运行经验和事件的系统评定；
- (q) 基于监控和运行经验反馈的结果，采取和执行纠正措施；
- (r) 应急准备和响应⁷；
- (s) 解决与程序开发相关的主要危害和不确定性并评定其执行的影响。

⁷ 虽然在废物管理计划下特别提到了应急准备和响应，但这种安排是整个设施的总体应急安排的一部分。废物管理计划在这种情况下应参照总体应急安排。

附件 III

放射性废物处置前管理设施全寿命的关键计划活动示例

设计阶段的活动

III.1. 在决策放射性物质管理时，设计单位或营运组织应进行下列活动：

- (a) 对政府政策进行回顾，以确定国家策略的废物策略的国家期望；
- (b) 确定设施的位置时，应考虑到安全问题和放射性废物管理问题，即设施与人口中心的距离和从该设施到废物处理或处置设施的运输线路的可用性，同时意识到该设施退役也将影响人群；
- (c) 废物管理计划和策略的建立；
- (d) 建立并更新废物管理库存；
- (e) 确定放射性废物管理的步骤；
- (f) 将潜在的二次废物纳入废物管理的库存；
- (g) 确定初始废物处置标准，未来处置标准和贮存标准；
- (h) 与上游和下游废物管理设施建立联系；
- (i) 建立废物管理系统以确保最佳的废物管理策略；
- (j) 建立设施的设计和档案管理的补充要求；
- (k) 制定研发要求以确定与废物管理最优化之间的差距；
- (l) 通过重复设计的概念、发展、详细设计和建造子阶段的所有活动，以扩大信息数据库，开发信息未来需求，并建立决策的可监测路径。

运行阶段的活动

III.2. 当放射性废物被送入废物管理设施时，营运组织应进行下列活动：

- (a) 对政府政策进行回顾以确定国家期望，总体废物策略和国家废物管理战略如何影响运行需求和经验；
- (b) 基于运行数据确定和更新废物管理库存；
- (c) 对正常运行及异常运行工况下产生的废物进行登记和记录；
- (d) 在放射性废物管理的步骤中对放射性废物的行为进行确定和监控；

- (e) 进一步完善废物管理库存，纳入所有已确认的废物；
- (f) 进一步完善废物处置标准，未来处置标准和贮存标准；
- (g) 根据设施运行情况对废物管理战略进行改进和完善并建立废物管理系统，以实现废物管理最优化；
- (h) 开发设施运行和档案管理的补充要求；
- (i) 如果可能，在运行阶段改进设施的设计，以填补因缺乏知识导致的与废物管理最优化之间的差距；
- (j) 与监管机构和政府部门的沟通；
- (k) 通过调试、运行和关闭阶段的所有活动的重复，扩大信息数据库，开发信息未来需求，并建立决策的可监测途径。

退役阶段的活动

III.3. 在所有放射性物质从废物管理设施中移除后，营运组织应进行如下活动：

- (a) 对政府政策进行回顾以确定国家的期望和国家废物管理战略；
- (b) 通过例如监控的技术手段建立和更新废物管理库存；
- (c) 使用废物管理库存，确定仍残留在设施中废物的范围和条件；
- (d) 选择合适的方法和设备以确定和监控放射性废物在放射性废物管理的步骤的行为，以实现废物最小化；
- (e) 进一步完善废物管理库存，纳入所有识别的废物；
- (f) 进一步完善废物处置标准，未来处置标准和贮存标准；
- (g) 根据设施运行情况对废物管理战略进行改进和完善和建立废物管理系统，以实现废物管理最优化；
- (h) 对设施的退役过程和档案管理制定补充要求；
- (i) 与监管机构和政府部门的沟通；
- (j) 通过退役和临时贮存阶段的所有活动的重复，以扩大信息数据库，开发信息未来需求，并建立决策的可监测途径。

附件 IV

核燃料循环设施的废物管理活动的危害示例

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害

废物管理活动	废料	特征	危害（放射性）	危害（非放射性）
铀转换（天然）： 溶解后不溶性固体的处理；	<ul style="list-style-type: none"> 难溶铀氧化物精矿 	<ul style="list-style-type: none"> 天然放射性物质的铀浓度和浓度； 铀化合物的性质； 杂质（如钒、铬）。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料； 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性。
<ul style="list-style-type: none"> 溶剂清洗废水的管理； 擦洗气态氟化物； 微粒擦洗； 微粒过滤； 液体洗涤剂废水的管理； 				

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害（续）

废物管理活动	废料	特征	危害（放射性）	危害（非放射性）
<ul style="list-style-type: none"> • 固体废物的一般管理，包括收集、减量和包装。 	<ul style="list-style-type: none"> • 铀过量（氟化物灰分）。 	<ul style="list-style-type: none"> • 短寿命后代的浓度（钷、铯）； • 铀浓度； • 铀化合物的性质； • 氟含量； • 颗粒大小和分散性； • 温度和热容量。 	<ul style="list-style-type: none"> • α 发射材料； • 内部和/或外部照射； • 短寿命放射性核素浓度的额外 β 剂量率。 	<ul style="list-style-type: none"> • 火灾； • 氟气中毒（具有急性和/或慢性效应）； • 重金属毒性； • 热烧伤。
	<ul style="list-style-type: none"> • 氢氧化钾溶液，包括试验液。 	<ul style="list-style-type: none"> • 含有铀、氟化物和碱的液体； • 铀浓度低。 	<ul style="list-style-type: none"> • 铀对环境的影响。 	<ul style="list-style-type: none"> • 处理碱和氟化物； • 对环境的化学影响； • 对工作人员的化学影响。

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害（续）

废物管理活动	废料	特征	危害（放射性）	危害（非放射性）
	<ul style="list-style-type: none"> 溶剂洗涤中的碳酸盐和氢氧化物溶液，包括试验液。 	<ul style="list-style-type: none"> 溶剂污染； 可能形成胶体； 铀化合物的性质； 杂质（如钒、铬）； 各种浓度的试验化学品、铀和衰变产物。 	<ul style="list-style-type: none"> 铀和衰变产物对环境的影响。 	<ul style="list-style-type: none"> 处理碱和氟化物； 对环境的化学影响； 溶剂对环境的影响； 对工作人员的化学影响。
	<ul style="list-style-type: none"> 个人防护设备和其他可压缩固体。 	<ul style="list-style-type: none"> 各种程度的表面污染材料。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料；内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性。
	<ul style="list-style-type: none"> 受污染的过滤器。 	<ul style="list-style-type: none"> 各级活动；铀；铀化合物的性质。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料；内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性。

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害 (续)

废物管理活动	废料	特征	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
	<ul style="list-style-type: none"> 由有色金属和黑色金属制成的部件。 	<ul style="list-style-type: none"> 各级活动、铀、钍化合物的性质。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料；内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性；环境影响。
	<ul style="list-style-type: none"> 由有机或塑料材料 (如聚四氟乙烯 (PTFE)) 制成的部件。 	<ul style="list-style-type: none"> 各级活动；铀；钍化合物的性质；有机材料中的杂质。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料；内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 火灾；重金属毒性；氟化氢；氟气。
	<ul style="list-style-type: none"> 受污染的电解质。 	<ul style="list-style-type: none"> 铀；钍化合物的性质；固态和液态氟化氢和/或氟化钾电解质；气态氟化氢；氟气；氢气。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料；内部和/或外部照射 	<ul style="list-style-type: none"> 火灾和爆炸；重金属毒性；氟化氢；氟气；氟气中毒 (具有急性和/或慢性效应)；重金属毒性；化学烧伤。

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害 (续)

废物管理活动	废料	特征	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
	<ul style="list-style-type: none"> 不可压缩固体 (如建筑碎石)。 	<ul style="list-style-type: none"> 不同水平的活度浓度。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性。
	<ul style="list-style-type: none"> 有机液体 (例如煤油、磷酸三丁酯)。 	<ul style="list-style-type: none"> 各级活动; 铀; 铀化合物的性质; 有机特性。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射; 环境影响。 	<ul style="list-style-type: none"> 火灾; 重金属毒性; 环境影响
	<ul style="list-style-type: none"> 气体和气溶胶。 	<ul style="list-style-type: none"> 各种活动水平 (例如铀、铀衰变产物及其化合物); 各种化学成分 (如六氟化铀、二氧化铀、氟化氢、氟气、NH₃)。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射; 环境影响。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性; 环境影响。
	<ul style="list-style-type: none"> 铀转换 (辐照); 与天然铀转换过程相同; 辐照原料的额外考虑。 	<ul style="list-style-type: none"> 原料、产品和废物 	<ul style="list-style-type: none"> 裂变产物 (如铀-232 和钍同位素) 的浓度; 加工过程中放射性核素数量增加; 提高活度浓度水平。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 剂量率升高。

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害 (续)

废物管理活动	废料	特征	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
<ul style="list-style-type: none"> 浓缩铀 (离心机)； 微粒过滤； 钢瓶净化； 减少废钢瓶的尺寸； 固态废物的一般管理，包括收集、减量和包装； 液态废物的一般管理 (如冷却水、蒸汽冷凝液的处理)； 制冷剂 and 乙二醇的处理。 	<ul style="list-style-type: none"> 旧钢瓶，包括处置前需要长期管理的钢瓶。 	<ul style="list-style-type: none"> 铀和铀衰变产物及杂质的累积所产生的各种程度的活性； 可能残留在洗涤液； 质量和成分未知的内容物的潜力； 氢气； 氟化氢。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料； 内部和/或外部照射； 临界； 环境影响。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性； 腐蚀性化学品； 爆炸； 超压； 环境影响
<ul style="list-style-type: none"> 制冷剂和乙二醇的处理。 	<ul style="list-style-type: none"> 废钢瓶清洗。 	<ul style="list-style-type: none"> 铀和铀衰变产物及杂质的累积所产生的各种程度的活性； 各种化学成分，可能未知； 氢氟酸含量。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料； 内部和/或外部照射； 临界； 环境影响。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性； 腐蚀性化学品； 氢氟酸； 爆炸； 超压； 环境影响

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害 (续)

废物管理活动	废料	特征	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
	<ul style="list-style-type: none"> 冷却水和冷凝水。 	<ul style="list-style-type: none"> 可能的铀污染。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性; 环境影响。
	<ul style="list-style-type: none"> 黑色和有色金属。 	<ul style="list-style-type: none"> 各级活动; 铀。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性; 环境影响。
	<ul style="list-style-type: none"> 个人防护设备和其他可压缩固体。 	<ul style="list-style-type: none"> 表面污染程度不同的材料。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性; 环境影响。

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害（续）

废物管理活动	废料	特征	危害（放射性）	危害（非放射性）
	<ul style="list-style-type: none"> • 气体和气溶胶。 	<ul style="list-style-type: none"> • 各级活动； • 各种化学成分（如六氟化铀、二氧化铀、氟化氢）。 	<ul style="list-style-type: none"> • α 发射材料； • 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> • 重金属毒性； • 氟化氢； • 环境影响。
	<ul style="list-style-type: none"> • 加工过滤器。 	<ul style="list-style-type: none"> • 各级活动； • 铀。 	<ul style="list-style-type: none"> • α 发射材料； • 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> • 重金属毒性。
	<ul style="list-style-type: none"> • 微粒过滤器。 	<ul style="list-style-type: none"> • 各级活动； • 铀。 	<ul style="list-style-type: none"> • α 发射材料； • 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> • 重金属毒性。
	<ul style="list-style-type: none"> • 不可压缩固体（如建筑碎石）。 	<ul style="list-style-type: none"> • 不同水平的活度浓度； 	<ul style="list-style-type: none"> • α 发射材料； • 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> • 重金属毒性。

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害 (续)

废物管理活动	废料	特征	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
铀燃料制造:				
• 溶解和溶剂萃取;	• 液态废水。	• 铀化合物的浓度;	• 临界;	• 氡;
• 处理液态废水并排放到环境中。		• 铀的特性, 如六氟化铀, 一种可溶性化合物;	• α 发射材料;	• 氢氟酸;
		• 铀的二氧化铀特性, 一种不溶性化合物。	• 内部和/或外部照射;	• 高温过程;
			• 环境影响	• 铀作为重金属的浓度;
				• 铀金属的自然特性。
混合氧化物燃料制造:				
• 废物的临时贮存;	• 固体废物: 被钚污染的废物、地板清扫、废物和去污残留物。	• 铀和超铀的浓度 (例如产品钚);	• 临界;	• 钚的放射性性质 (产生易燃气体和材料分解);
• 收集废物并将其运至中央废物管理区;		• 铀和超铀不溶性化合物的特性;	• α 发射材料;	
• 临时和长期贮存;		• 钚粉尘和污染。	• 内部和/或外部照射;	• 发热 (来自质量数为偶数的钚同位素和来自钚);
• 气态废水的过滤和排放。			• 环境影响	• 钚的物理性质 (硬度和作为研磨介质的能力);
				• 高温加工。

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害（续）

废物管理活动	废料	特征	危害（放射性）	危害（非放射性）
乏燃料后处理； • 加工残留物的收集、分离和管理； • 废物处理和处理； • 液态高放废物的玻璃化； • 加工污泥和其他材料的沥青化； • 船体和端盖的胶结或压实。	• 水泥或压实外壳和端盖。	• 铀和超铀的残留浓度； • 铀和超铀不溶性化合物的特性； • 裂变产物和微量锕系元素的浓度； • 化学试剂和反应产物（包括氢气和氮氧化物）。	• 剂量率升高； • 加工过程中放射性核素数量增加； • 提高活度浓度水平； • 临界（特别是在废水沉淀过程和溶剂清洗中）。	• 发生爆炸性反应的可能性； • 产生废水和气体排放的化学过程； • 高温过程； • 化学活性金属（例如锆）。
	• 含镁和石墨的废物。	• 活性材料。	• α 发射材料； • 内部和/或外部照射； • 碳-14 的浓度。	• 石墨粉尘引起火灾或爆炸的风险。
	• 玻璃化、分离裂变产物和少量锕系元素。	• 高活度浓度；发热	• α 发射材料； • 内部和/或外部照射。	

表 1. 与核燃料循环设施废物管理活动相关的危害 (续)

废物管理活动	废料	特征	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
	<ul style="list-style-type: none"> 受污染的设备 and 加工过程产生的废物。 	<ul style="list-style-type: none"> 表面污染 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射 	
	<ul style="list-style-type: none"> 沥青化加工污泥。 	<ul style="list-style-type: none"> 放射性分解的可能性。 	<ul style="list-style-type: none"> 无直接放射性危害。 	<ul style="list-style-type: none"> 氢气 (爆炸或燃烧危险); 沥青加工或产品引起火灾/爆炸的风险。
	<ul style="list-style-type: none"> 个人防护设备和其他可压缩固体。 	<ul style="list-style-type: none"> 各种程度的表面污染材料 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性。
	<ul style="list-style-type: none"> 气体和气溶胶。 	<ul style="list-style-type: none"> 各级活动; 各种化学成分, 取决于所用加工。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射; 环境影响 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性; 环境影响。
	<ul style="list-style-type: none"> 加工过滤器。 	<ul style="list-style-type: none"> 各种级别的活动。 	<ul style="list-style-type: none"> α 发射材料; 内部和/或外部照射。 	<ul style="list-style-type: none"> 重金属毒性。

附件 V 集中废物管理设施的危害示例

表 2. 与集中废物管理设施相关的危害

设施说明	活动	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
从医用同位素处理设施接收可压缩的桶装固态废物并产生废物货包以供处置的集中设施;接收的废物为低活性 α 排放废物。	<ul style="list-style-type: none"> 接收废物和核实废物验收标准,包括取样。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部照射; 内部照射 (通过污染或排放)。 	<ul style="list-style-type: none"> 反应性和/或毒性危害; 工业危害,包括锋利物的处理; 废物化合物的化学反应或废物化合物之间的化学反应; 易碎材料。
	<ul style="list-style-type: none"> 压实接收的滚筒。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部照射; 内部照射 (通过污染或排放); 排放放射性液体,包括油; 放射性粉尘的排放; 排放放射性气体 	<ul style="list-style-type: none"> 产生液体; 产生粉尘; 化学反应; 压力爆发; 爆炸; 工业危害,包括锋利物的处理。
	<ul style="list-style-type: none"> 转移、分类、收集和干燥冰球; 将冰球放入废物容器。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部照射; 内部照射 (通过污染或排放)。 外部照射; 内部照射 (通过污染或排放)。 	<ul style="list-style-type: none"> 工业危害,包括锋利物的处理; 化学和/或毒性危害。 工业危害,包括锋利物的处理; 化学和/或毒性危害。

表 2. 与集中废物管理设施相关的危害 (续)

设施说明	活动	危害 (放射性)	危害 (非放射性)
	<ul style="list-style-type: none"> 灌浆放入废物容器。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部照射； 内部照射 (通过污染或排放)。 	<ul style="list-style-type: none"> 工业危害； 化学危害 (例如灌浆)。
	<ul style="list-style-type: none"> 清洁、监督和监控废物货包,并转移至临时贮存地点。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部照射； 内部照射 (通过污染)。 	<ul style="list-style-type: none"> 工业危害
	<ul style="list-style-type: none"> 对废物货包进行清洁、监督和监控,并将其转移至临时贮存地点。 	<ul style="list-style-type: none"> 外部照射； 内部照射 (通过污染)。 	<ul style="list-style-type: none"> 工业危害

附件 VI

核燃料循环设施放射性废物管理的安全问题

VI.1. 以下列出了典型核燃料循环设施的废物管理相关的危害或可能影响。在适当情况下,某些特征被强调,要求放射性废物管理对其进行特殊考虑。这个清单并不详尽但其为安全评定人员提供指标,以形成与本“安全导则”附件 IV 和附件 V 的表 1 和表 2 内容一致。

天然铀转换产生的危害

- 废物中铀化合物和铀衰变产物(作为放射性物质)的浓度;
- 废物中的铀(作为重金属)浓度;
- 铀化合物的特征(例如溶解度);
- 废物流中污染物的浓度,包括重金属如铬和钒;
- 腐蚀性物质(例如氟化氢、硫酸);
- 有毒物质(例如氨);
- 包括氟气和氢气在内的反应物的火灾危害;
- 产生液态流出物和气态流出物的化学过程。

辐照铀转换的危害

- 与天然铀的转换相同的危害;
- 裂变产物浓缩(例如铀-232 和钷同位素);
- 高剂量率;
- 加工期间放射性核素子体的量增加;
- 高活度浓度水平。

铀浓缩设施的危害

- 废物中铀化合物(作为放射性物质)的浓缩;
- 废物中铀的浓缩(作为重金属);

- 以六氟化铀的形式存在的铀的特征，一种可溶的化合物；
- 反应产物氟化氢的存在；
- 大量腐蚀性氟化物贫化六氟化铀的产生和累积；
- 沉淀等加工过程中的临界；
- 加工设备的故障（如果浓缩阶段的更换频率未被优化可能会发生，其中浓缩阶段是受污染的废金属）。

铀燃料制造设施的危害

- 废物中的铀化合物；
- 废物中的金属铀；
- 可溶性化合物六氟化铀；
- 不溶性化合物二氧化铀；
- 金属铀的自燃；
- 临界；
- 氢气；
- 氢氟酸；
- 高温；
- 严格的制造公差保持（由于在营运组织的检查要求或在燃料制造加工错误时产生非预期的废物流）。

混合氧化物燃料制造设施的危害

- 废物中的铀及超铀元素（如子体锕）；
- 不溶性铀及超铀元素化合物；
- 铀的物理性质（硬度高，可作为研磨介质）；
- 铀的辐射特性（自身放热）；
- 铀的残留与沾污；
- 临界；
- 氢气；
- 高温；

- 对制造误差的较小容忍度（由于在营运组织的检查要求或在燃料制造加工错误时产生非预期的废物流）。

后处理设施的危害

- 乏燃料的放射特性（燃耗和冷却，对装卸设备的影响）；
- 乏燃料的物理性质（脆性）；
- 废物中铀和超铀放射性物质的浓度；
- 铀和超铀的不溶性化合物的特性；
- 裂变和核反应产物的浓度；
- 高剂量率；
- 处理期间子代放射性核素量的增加；
- 升高的活度浓度水平；
- 临界（尤其是在流出物沉淀法和溶剂洗涤）；
- 化学试剂和反应产物（包括氢气、氮氧化物和有机材料）；
- 高温加工；
- 化学活性的金属（例如锆）；
- 产生废水和气态流出物的化学过程；
- 在废气系统产生爆炸性气体混合物的化学过程。

集中废物管理设施相关的危害

与废液处理相关的危害

- 污染物的存在；
- 溶解污染物和液态流内颗粒的存在；
- 包含易裂变材料的放射性物质沉淀的物理浓集；
- 产生包含易裂变材料的放射性物质沉淀的化学反应；
- 临界；
- 化学试剂（非放射性危害和对环境的影响）；
- 排放对环境的影响；

- 二次放射性废物的产生（例如放射性废离子交换介质的累积，从而导致外部剂量率水平提高）。

气态废物处理相关的危害

- 污染物的存在；
- 气态流出物中微粒和气溶胶的存在（来自气态流出物的冷凝或沉积）；
- 排放对环境的影响；
- 二次废物的产生（例如使用过的高效微粒空气过滤器的放射性累积，引起外部剂量率水平提高，或产生液态废物）；
- 短寿命同位素在吸附介质上的累积（例如在活性炭吸附柱上的碘-131 的累积）。

与蒸发和热处理相关的危害

- 废物中包含裂变物质的放射性物质的浓集，导致：
 - 剂量率升高；
 - 临界；
 - 提高废物处理的难度；
- 高温；
- 火；
- 化学试剂；
- 污染物或意外产生废物之间的化学反应（含废水中的溶剂）；
- 污染物的存在；
- 气态流出物中微粒和气溶胶的存在（来自气态流出物管线内的冷凝或沉积）；
- 排放对环境的影响；
- 二次废物的产生（例如使用过的高效微粒空气过滤器的放射性累积，引起外部剂量率水平升高，或产生液态废物）。

与玻璃固化相关的危害

- 废物中包含易裂变材料的放射性物质浓集，导致：
 - 剂量率升高；
 - 临界；
 - 提高废物处理的难度。
- 高温；
- 腐蚀性液体和蒸气（例如硝酸、氮氧化物）；
- 污染物或意外产生废物之间的化学反应（废水中的溶剂）；
- 污染物的存在；
- 气态流出物中微粒和气溶胶的存在（来自气态流出物管线内的冷凝或沉积）；
- 排放对环境的影响；
- 高活度水平二次废物的产生（例如使用过的高效微粒空气过滤器，液态废物和高度污染加工设备的累积，导致外部剂量率水平升高）；
- 熔融玻璃的腐蚀作用（导致高度污染的废物的生成）。

附件 VII

放射性固体废物管理流程图

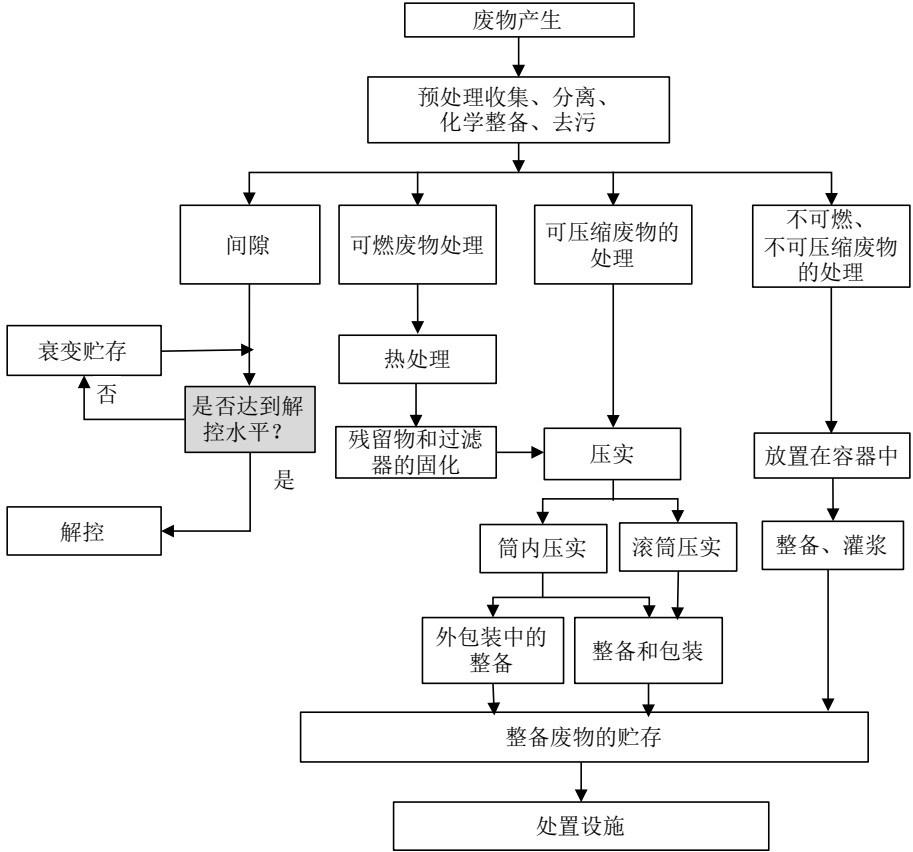


图 1. 放射性固体废物管理流程图。

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《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（Rev.1）号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [3] 欧洲委员会、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、联合国环境规划署、世界卫生组织，《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 3 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [4] 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）。
- [5] 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）。
- [6] 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（Rev.1）号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。（修订版编写中）
- [7] 国际原子能机构《安全的领导和管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 2 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [8] 国际原子能机构《核电厂和研究堆放射性废物处置前管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-40 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [9] 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）。

- [10] 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）。
- [11] 国际原子能机构《乏燃料的贮存》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-15 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [12] 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）。
- [13] 国际原子能机构《国家核安保制度的目标和基本要素》，国际原子能机构《核安保丛书》第 20 号，国际原子能机构，维也纳（2013 年）。
- [14] 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）。
- [15] 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）。
- [16] 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）。
- [17] 国际放射防护委员会《用于长寿命固态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（1998 年）。
- [18] 国际原子能机构《排除、豁免和解控概念的应用》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.7 号，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。
- [19] 国际原子能机构《放射性流出物排入环境的监管控制》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.3 号，国际原子能机构，维也纳（2000 年）。（修订版编写中）
- [20] 《核安全公约》，国际原子能机构《情况通报》第 INFCIRC/449 号，国际原子能机构，维也纳（1994 年）。
- [21] 放射源安全和安保行为准则，IAEA/CODEOC/2004，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。

- [22] 《核事故或辐射应急援助公约》，国际原子能机构《情况通报》第 INFCIRC/336 号，国际原子能机构，维也纳（1986 年）。
- [23] 《及早通报核事故公约》，国际原子能机构《情况通报》第 INFCIRC/335 号，国际原子能机构，维也纳（1986 年）。
- [24] 国际原子能机构《设施退役》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 6 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [25] 国际原子能机构《核设施监管视察与监管机构的促进》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-1.3 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [26] 国际原子能机构《核设施监管使用的文件》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-1.4 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [27] 国际原子能机构《易裂变材料的操作中临界安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-27 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [28] 国际原子能机构《核燃料循环设施退役》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.4 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。（修订版编写中）
- [29] 国际原子能机构《放射性废物的处理、操作和贮存管理系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.3 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。（修订版编写中）
- [30] 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际民用航空组织、国际劳工组织、国际海事组织、国际刑警组织、经济合作与发展组织核能机构、泛美卫生组织、全面禁止核试验条约组织筹备委员会、联合国环境规划署、联合国人道主义事务协调厅、世界卫生组织、世界气象组织，《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 GSR Part 7 号，国际原子能机构，维也纳（2015 年）。
- [31] 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、泛美卫生组织、联合国人道主义事务协调厅、世界卫生组织，《核或辐射应急准备的安排》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-2.1 号，国际原子能机构，维也纳（2007 年）。

- [32] 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、泛美卫生组织、世界卫生组织,《核或辐射应急准备和响应中使用的标准》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-2 号,国际原子能机构,维也纳(2011 年)。
- [33] 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)。
- [34] 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(2013 年)。
- [35] 国际原子能机构《转化设施和铀浓缩设施的安全》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-5 号,国际原子能机构,维也纳(2010 年)。
- [36] 国际原子能机构《铀燃料制造设施的安全》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-6 号,国际原子能机构,维也纳(2010 年)。
- [37] 国际原子能机构《铀钚混合氧化物燃料制造设施的安全》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-7 号,国际原子能机构,维也纳(2010 年)。
- [38] 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 (Rev.1) 号,国际原子能机构,维也纳(2016 年)。
- [39] 国际原子能机构《国际原子能机构<放射性物质安全运输条例>咨询材料》(2012 年版),国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-26 号,国际原子能机构,维也纳(2014 年)。
- [40] 国际原子能机构《应用热技术处理放射性废物》,国际原子能机构《技术文件》第 1527 号,国际原子能机构,维也纳(2006 年)。
- [41] 国际原子能机构《核电厂的创新废物处理和整备技术》,国际原子能机构《技术文件》第 1504 号,国际原子能机构,维也纳(2006 年)。
- [42] 国际原子能机构《处理“问题”放射性废物的新发展和改进》,国际原子能机构《技术文件》第 1579 号,国际原子能机构,维也纳(2007 年)。

- [43] 国际原子能机构《放射性废物管理和处置的废物清单记录保存系统（WIRKS）》，国际原子能机构《技术文件》第 1222 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。
- [44] 国际原子能机构《核装置场址评价》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-3（Rev.1）号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [45] 国际原子能机构《核装置场址评价中地震危害》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-9 号，国际原子能机构，维也纳（2010 年）。
- [46] 国际原子能机构、世界气象组织，《核装置场址评价中气象和水文危害》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-18 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [47] 国际原子能机构《核装置场址评价中火山危害》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-21 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [48] 国际原子能机构《核装置场址勘查和选址》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-35 号，国际原子能机构，维也纳（2015 年）。
- [49] 国际原子能机构《核装置建造》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-38 号，国际原子能机构，维也纳（2015 年）。

参与起草和审订人员

Abu-Eid, B.	美国核管制委员会
Baekelandt, L.	比利时联邦核管制局
Blundell, N.	英国核监管办公室
Boyden, F.	顾问
Doughty, P.	加拿大核安全委员会
Fass, T.	德国装置与反应堆安全公司
Geupel, S.	德国装置与反应堆安全公司
Kinker, M.	国际原子能机构
Leroyer, V.	法国辐射防护与核安全研究所
Selling, H.	荷兰经济事务部
Visagie, A.	南非核能公司

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