

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

核电厂和研究堆 放射性废物的处置前 管理

特定安全导则

第 SSG-40 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。

核电厂和研究堆放射性废物的 处置前管理

国际原子能机构成员国

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

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-40 号

核电厂和研究堆放射性废物的 处置前管理

特定安全导则

国际原子能机构
2023 年·维也纳

版权说明

国际原子能机构的所有科学和技术出版物均受 1952 年（伯尔尼）通过并于 1972 年（巴黎）修订的《世界版权公约》之条款的保护。自那时以来，世界知识产权组织（日内瓦）已将版权的范围扩大到包括电子形式和虚拟形式的知识产权。必须获得许可而且通常需要签订版税协议方能使用国际原子能机构印刷形式或电子形式出版物中所载全部或部分內容。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，2023 年
国际原子能机构印刷
2023 年 12 月·奥地利

核电厂和研究堆放射性废物的处置前管理

国际原子能机构，奥地利，2023 年 12 月
STI/PUB/1719
ISBN 978-92-0-548822-6（简装书：碱性纸）
978-92-0-548722-9（pdf 格式）
ISSN 1020-5853

前 言

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

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

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

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

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

国际原子能机构安全标准

背景

放射性是一种自然现象，因而天然辐射源的存在是环境的特征。辐射和放射性物质具有许多有益的用途，从发电到医学、工业和农业应用不一而足。必须就这些应用可能对工作人员、公众和环境造成的辐射危险进行评定，并在必要时加以控制。

因此，辐射的医学应用、核装置的运行、放射性物质的生产、运输和使用以及放射性废物的管理等活动都必须服从安全标准的约束。

对安全实施监管是国家的一项责任。然而，辐射危险有可能超越国界，因此，国际合作的目的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。

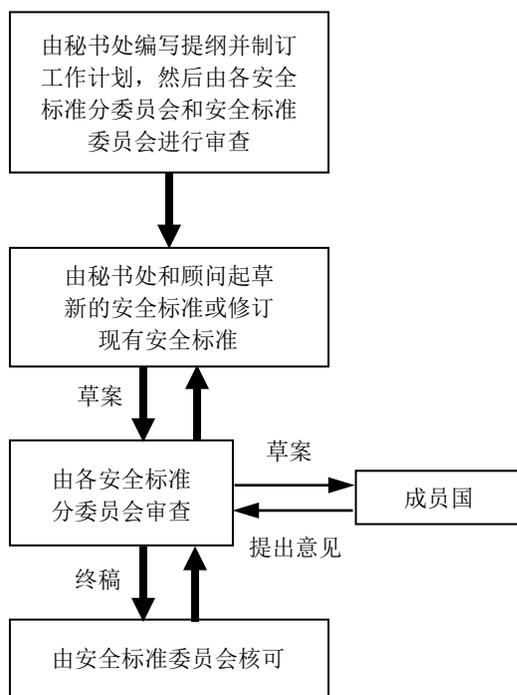


图2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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 (1.1-1.9).....	1
目的 (1.10-1.13).....	3
范围 (1.14-1.18).....	3
结构 (1.19).....	4
2. 保护人类健康和保护环境	5
放射性废物管理 (2.1-2.3).....	5
辐射防护 (2.4-2.8).....	5
环境保护 (2.9-2.12).....	6
3. 角色和职责	6
法律及组织机构 (3.1-3.12).....	6
监管机构的职责 (3.13-3.18).....	9
营运组织的责任 (3.19-3.33).....	10
4. 综合安全计划	15
安全与安保 (4.1-4.3).....	15
相互依赖关系 (4.4-4.9).....	15
管理系统 (4.10-4.13).....	17
资源管理 (4.14-4.15).....	18
流程实现 (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	22
一般要求 (6.1-6.6).....	22
废物产生及控制 (6.7-6.16).....	23
废物的表征和分类 (6.17-6.27).....	26
放射性废物处理 (6.28-6.72).....	28
放射性废物的贮存 (6.73-6.83).....	37
放射性废物验收标准 (6.84-6.88).....	38
废物管理设施使用寿命的安全考虑 (6.89-6.118).....	39
附录 I 申报为废物的废物货包和乏燃料管理中应考虑的关键属性和特性	49
附录 II 特定废物设施管理计划	52

附录 III 核电厂和研究堆废物管理活动相关危害示例.....54

参考文献.....59

附件 I 核电厂或研究堆通用放射性废物管理系统示例.....65

附件 II 压水堆放射性废物管理系统示例（部分流动冷凝水精处理）
 深层除盐装置.....66

附件 III 压水堆放射性废物管理系统示例（全流冷凝水精处理）.....67

参与起草和审订人员.....69

1. 引言

背景

1.1. 在核能发电和研究堆（包括次临界和临界组件）使用过程中会产生放射性废物（预计不再使用且其特性使得其不符合排放、使用或清洁解控要求的放射性物质）。从核电厂和研究堆产生的放射性废物在性质上是多种多样的，其中的放射性核素、半衰期、活度浓度、体积、物理和化学性质也各不相同。核电厂和研究堆的典型废物包括但不限于：废离子交换树脂、过滤器、被活化的金属、液态和气态流出物、辐照过的实验部件、作为废物的乏燃料和退役废物。由于这些设施的废物种类繁多，因此必须在较长时间内对废物管理的所有步骤给予特别考虑。核电厂和研究堆的放射性废物处置前管理的一个关键点是放射性废物处置前管理过程的各个步骤与国家废物管理框架内处置之间的相互依存关系。

1.2. 放射性废物安全管理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]，其要求体现在原子能机构以下的安全要求出版物中：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]。在诸如《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》（联合公约）[5]等国际法律文书中也规定了类似的安全要求以及对良好实践的期望。

1.3. GSR Part 5[4]规定了放射性废物处置前的安全管理要求。这些要求源自 SF-1[1]确立的安全原则，包括保护人类健康和保护环境以及相关责任的要求。在本“安全导则”和相关安全导则中给出了满足这些要求的建议。

1.4. 放射性废物的处置前管理（同 GSR Part 5[4]使用的术语）包括放射性废物从产生到（但不包括）处置的所有步骤，包括废物处理（预处理、处理和整备）、贮存和运输。

1.5. 这些步骤包括：

- 预处理，包括废物分析和表征、废物收集、废物隔离、化学整备和净化；

- 处理，包括减少体积、去除放射性核素和改变废物的组成；
- 整备，是指将放射性废物转化为适于操作、运输、贮存和处置等后续活动的操作；整备可包括固定废物、将废物放入容器和提供额外包装；
- 贮存，是指将放射性废物暂时放置在设施内，并提供适当的隔离和监控；贮存是一项临时活动，目的是在日后回取废物，进行清洁解控、核准使用（例如经过一段时间衰变后）、处理及/或处置，或流出物核准排放。

1.6. 放射性废物的产生不能完全防止，但要求尽量减少（“废物最小化”）（GSR Part 5[4]要求 8）。废物最小化应成为放射性废物管理策略的一个基本要素。废物最小化与废物的类型、数量和活度相关。必须从一开始就实施预防或尽量减少产生放射性废物的措施，即在设施设计和可能产生放射性废物活动的计划阶段就付诸实施。对产生放射性废物的活动进行适当的计划是减少其产生量的关键已经成为共识。

1.7. GSR Part 1 (Rev.1) [2]要求政府对设施和活动产生放射性废物的安全管理和处置做出规定。这些规定应作为政府政策和在设施寿命期和活动期间相应策略的基本要素。此外，还要求政府加强具有接续关系的受权方之间责任的连续性。

1.8. 在某些情况下（如气体排放），废物的处置前管理要通过优化达成相互之间有冲突要求之间的解决计划，如要在工作人员的照射和/或公众成员的照射之间，不同的废物管理策略涉及的短期和长期风险之间，可用的技术选项和成本之间[4]寻求平衡。

1.9. “在还没有建立处置设施的情况下，为放射性废物选择最适当的预处理、处理和整备方式，必须针对最可能的处置计划来作出假设”，包括可能的废物验收标准（GSR Part 5[4]第 1.8 段）。在废物需要贮存更长时间的情况下，应作出一些保守的假设，例如，一个废物处置设施可投入使用的时间表以及废物在预计贮存期间的行为和稳定性。影响废物处置前管理的选择计划的所有假设都应是正当的。“必须处理好废物管理各个步骤的运行需求之间的相互依存关系和潜在冲突，同时确保废物在非能动的、安全的条件下得到包容和贮存。在计划选择和保持灵活性之间进行平衡时，必须确保避免可能危及安全的操作需求之间的冲突”（GSR Part 5[4]第 1.8 段）。

目的

1.10. 本“安全导则”的目的是为产生和管理放射性废物的营运组织¹、监管机构和政府机构就如何满足核电厂和研究堆产生的放射性废物（包括申报为废物时来自次临界组件或临界组件的材料）的处置前管理要求提供建议。

1.11. 本“安全导则”就如何满足 GSR Part 5[4]、GSR Part 1 (Rev.1) [2]和 GSR Part 3[3]以及原子能机构《安全标准丛书》第 GS-R-3 号《设施和活动的管理系统》[6]规定的要求提供建议和指导。

1.12. 本“安全导则”取代原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.5 号《低、中放废物的处置前管理》²；第 WS-G-2.6 号《高放废物的处置前管理》³，这两个导则都于 2003 年发布。

1.13. 关于核燃料循环设施废物处置前管理的导则见原子能机构《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》[7]。

范围

1.14. 本“安全导则”就核电厂和研究堆（包括次临界组件和临界组件）产生的所有类型放射性废物的处置前管理提供指导。涵盖废物管理设施寿期内的所有阶段，包括选址、设计、建造、调试、运行、关闭和退役。涵盖了放射性废物从产生（但不包括）至处置的所有管理步骤，包括处理（预处理、处理和整备）、贮存和运输。它包括正常运行和事故工况下产生的放射性废物。本“安全导则”的建议适用于核电厂和研究堆产生的放射性废物及其处置前管理；核电厂和研究堆的运行超出了本“安全导则”的范围。原子能机

¹ 营运组织包括放射性废物产生单位、实施退役活动单位和放射性废物处置前管理设施的营运组织。

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）。

构《安全标准丛书》第 GSG-1 号《放射性废物的分类》[8]规定了放射性废物的分类方法，并就其适用于各种类型的放射性废物提出了建议。

1.15. 本“安全导则”并非专门针对乏燃料的管理，只要它仍然是核电厂或研究堆运行活动的一部分。核电厂或研究堆附属设施中的乏燃料管理见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-15 号《乏燃料的贮存》[9]、第 NS-G-1.4 号《核电厂燃料处理和贮存系统的设计》[10]和第 NS-G-4.3 号《研究堆堆芯管理和燃料装卸》[11]。

1.16. 虽然贮存和运输也包括在放射性废物处置前管理的定义中，但在本“安全导则”中没有详细讨论。关于放射性废物贮存，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》[12]提供了建议。放射性废物的运输必须符合原子能机构《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]要求。

1.17. 尽管本“安全导则”并没有特别涉及非放射性危害或常规工业健康和安全问题，但各国当局也必须考虑这些问题，无论是就其本身而言，还是就其可能对放射性后果产生的影响而言[4]。

1.18. 本“安全导则”未对核材料、核设施或放射性物质的核安保提供建议。参考文献[14—16]和原子能机构《核安保丛书》的其他出版物提供了关于核设施和放射性物质核安保的基本原则、建议和指导。

结构

1.19. 本“安全导则”第 2 部分就保护人类健康和保护环境提出建议；第 3 部分阐述政府、监管机构和营运组织的角色和责任；第 4 部分提供了关于安全综合方法的建议；第 5 部分提供了建立安全论证文件和辅助安全评定的建议，而第 6 部分概述了对废物管理设施寿期内的一般安全考虑；有三个附录，其中列举了与核电厂和研究堆废物处置前管理相关的示例。三个附件提供了不同类型反应堆中废物管理系统的示例。

2. 保护人类健康和保护环境

放射性废物管理

2.1. SF-1[1]确立的安全目标和基本安全原则适用于放射性废物产生、处理或贮存的所有设施和活动，也包括设施计划、选址、设计、建造、调试、运行、关闭和退役的整个寿期。还包括放射性废物的相关运输。

2.2. GSR Part 5[4]和 GS-R-3[6]要求建立一个整合所有要素的管理系统，包括安全、健康、环境、核安保、质量和经济要素，这样所有行动将安全视为一个整体且安全不会受到损害。在一个组织中，这个系统的关键组成部分是强大的安全文化。

2.3. 在控制与放射性废物相关的放射性和非放射性危害时，还需要考虑以下几个方面：常规的健康和安全问题、环境影响、可能跨境的辐射风险以及对子孙后代的潜在影响和负担。

辐射防护

2.4. SF-1[1]安全原则 4、5、6 和 10 体现了辐射防护的三个基本原则，即正当性、防护的最优化和剂量限值的应用，GSR Part 3[3]给出了相关要求。

2.5. 必须在国家层面建立辐射防护要求，并适当考虑到 GSR Part 3[3]。特别是 GSR Part 3[3]要求针对任何因活动而受照的人员实施辐射防护最优化，要考虑到剂量约束，要求个人受照剂量保持在规定的剂量限值之内。

2.6. 国家规定将给出正常情况下工作人员和公众成员受照的剂量限值。这些国际上确认的限值见 GSR Part 3[3]一览表 III。除了对正常运行中可能发生的照射提供防护外，还必须作出规定以预防和限制在预计运行事件和事故工况下受辐射的可能性和程度。在 GSR Part 3[3]还规定了预防和限制在预计运行事件和事故工况下的可能性和程度的要求。其中包括防止事故发生的管理要求和技术要求，以及在事故发生时缓解其后果的规定。

2.7. 在选择放射性废物处置前管理的计划时，必须考虑到对工作人员和公众的短期和长期辐射影响[1、17、18]。

2.8. 必须按照 SSR-6[13]规定的要求管理放射性废物运输相关的剂量和风险。

环境保护

2.9. 必须由相关的国家监管机构制定与放射性废物处置前管理相关的环境保护要求，且必须考虑所有可合理预计的潜在环境影响[1、3]。

2.10. SF-1[1]第 2.1 段指出：为达到保护人类和环境免受电离辐射有害影响的基本安全目标，

“必须采取措施：

- (a) 控制人的辐射和放射性物质向环境的排放；
- (b) 限制可能导致对辐射源失去控制事件发生的可能性；
- (c) 如果这些事件发生，缓解其后果。”

2.11. 在放射性废物管理领域，营运组织有责任采取措施避免或优化放射性废物的产生，包括考虑与处置相关的要求，以尽量减少整体环境的影响。这包括确保向环境排放的气态和液态放射性物质符合核准的限值，并将公众剂量和环境影响降低到合理可达尽量低水平（防护最优化）[19—21]。

2.12. 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》[22]，第 WS-G-2.3 号《放射性流出物排入环境的监管控制》[23] 以及第 NS-G-3.2 号《核电厂放射性物质在空气和水中的扩散与场址评价中人口分布的考虑》[24]。

3. 角色和职责

法律及组织机构

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。还须符合“基本安全原则” [2]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管理放射性废物的国家政策和战略[1、2]。政策和战略和法律框架应涵盖成员国所产生放射性废物的所有类型和体积，成员国内所有的废物处理和贮存设施，该国所有进出口的废物，还应尽量考虑放射性废物管理的各个步骤、涉及的时间区间和可用的长期管理（包括处置）计划之间的相互关系。

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，规定明确的职责和责任分配，并确保对相关设施和活动进行有效的监管控制[1、2]。措施应该建立在法律框架内，以确保遵守相关国际法律文书，如《联合公约》[5]，《核安全公约》[25]，《研究堆安全行为守则》[26]，《放射源安全和安保行为守则》[27]，《核事故或辐射紧急情况援助公约》[28]，《及早通报核事故或辐射紧急情况的公约》[29]。

3.3. 如果有一个以上的政府机构负责执行国家政策和战略，则应作出有效的安排，以确保每一机构的职责和职能都被清晰地规定和协调，避免任何遗漏或不必要的重复。采取的组织方式应能达成一致性，并使必要的信息反馈和交流成为可能。

3.4. 在放射性废物的处置前管理方面，对核安全、环境保护、工业安全及职业健康等方面分别实施监管的国家，监管框架应认识到放射性、工业、化学及有毒危害之间相互依存的关系会影响整体安全。这一点应在监管框架内加以考虑，以便实施有效的控制。

3.5. 在现有设施附近建造放射性废物处置前管理设施而可能会影响任何一个设施的安全，应通过计划要求或其他法律文书等方式在法律框架内确保设施的建造得到监控和控制。

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,或从一个成员国转移到另一个成员国。这种转移在放射性废物管理各个步骤中造成法律责任上的以及现实的相互依赖关系。法律框架应包括确保在整个废物管理过程中明确分配安全责任的规定(包括监管控制和授权的规定),特别是关于长期贮存放射性废物和在营运组织之间转移放射性废物的问题。

3.7. 政府有责任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,并拥有足够的授权、权力、人员和财务资源,以履行其职责[2、4]。

3.8. 应通过监管机构建立的授权制度来确保安全责任,在一国与另一国之间转移放射性废物,必须得到两国相关国家监管机构的核准[2、4]。

3.9. 必须建立一个能提供足够财务资源的机制,以支付未来的费用,特别是核电厂或研究堆及其相关废物管理设施的退役费用,以及放射性废物长期管理的费用(包括其贮存和处置)[4、30]。组织安排和财务安排需要在许可证的每一个阶段得到更新。还需要考虑在反应堆紧急停堆或将废物提前送往处置设施情况下如何使用这些财务资源。

3.10. 为了促进建立国家政策和战略,政府应建立一份放射性废物的国家清单(目前的废物和预计的废物,包括设施退役和拆除期间预计产生的废物),并应定期更新该清单。该清单应给出如 GSG-1[8]或国家废物分类方法所定义的各种废物类别。在制定国家政策和战略时,应从技术和确保足够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. 应当有足够的处理能力处理所产生的所有废物,考虑到废物处理和处置设施可用性存在的不确定性,应具有足够的贮存容量。在判断能力是否充足时,应考虑过程中的不确定性、系统的可靠性和可用性以及可能需要的冗余。

3.12. 政府应该在制定影响放射性废物管理的国家政策和战略方面咨询相关各方(即那些参与放射性废物管理活动或受该活动影响的相关各方),并且在决策中考虑公众的关切[2]。

监管机构的职责

GSR Part 5[4]要求 3： 监管机构的责任

“监管机构须制订关于放射性废物管理设施的建造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未遵守相关要求和条件，监管机构须酌情采取执法行动。”

³ “安全论证文件是支持设施或活动安全的论点和证据的集合。安全论证文件通常包括安全评定的结果，通常包括关于安全评定的稳健性和可靠性以及其中所做假设的信息（包括支持性证据和推理）。”

3.13. 与放射性废物安全管理相关的监管机构的主要职责包括制定监管要求、许可证程序、符合性核实和执法，以及许可证持有者应遵循的导则。监管机构的职责还可以包括为制定政策、安全原则和相关标准提供技术基础和投入，并制定一些要求和条件作为监管决策的基础。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. 对核电厂和研究堆放射性废物处置前许可证文件（安全论证文件⁴）的监管评审范围和详细程度，应该采用与设施或活动的安全重要性、复杂性和成熟度、以及废物特性相称的分级方法，并考虑废物管理设施寿期的不同阶段。在废物管理设施（包括退役）寿期的每个阶段，营运组织应定期评审和更新安全论证文件和辅助安全评定资料，其后由监管机构实施评审。

3.15. 与放射性废物管理设施相关的监管视察和执法行动的一般建议见原子能机构《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》[31]。监管机构应定期核实放射性废物管理设施的运行是否符合国家的要求和该设施的许可证条件，包括关于盘点存量和物料转移记录保存的要求；加工、贮存、维护、视察、试验和监视的要求；运行限值和条件；设施

⁴ 安全论证文件，在不同的阶段有不同的名称（如安全报告、安全档案、安全文件），可能以单一文件或系列文件的形式提交（见第 5 部分）。

改造的要求；以及关于应急准备与响应的要求。例如，可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等方式进行这类核实。监管机构应核实必要的记录是否齐备，是否在适当的时间内予以保存。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》[32]。

3.16. 监管机构应建立一套流程，向相关各方通报放射性废物管理设施的安全情况（包括健康和环境情况）和相关监管流程，并应酌情以开放和包容的态度与这些相关各方进行磋商。应当尊重保密要求，如为了核安保目的。

3.17. 监管机构应制定并向营运组织阐明对每种废物管理设施所采取的许可证策略（按照国家法律和政府框架），例如：

- (a) 无限期许可证（例如，处置前废物管理设施的整个寿期内）的发放，涵盖废物的产生和处理，贮存系统和/或装置，包括产生废物设施的整个预计运行期，以及安全论证文件的定期检查和评定（见第 5 部分）；
- (b) 规定时限的或废物处置前管理设施寿期内特定阶段许可证的发放，具有许可证换发或延期的可能性；
- (c) 为特定活动或条件发放的许可证，例如核电厂或研究堆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机构组成，则需要通过建立明确的沟通和操作协议以作出有效的安排，确保监管责任和职能得到明确地规定、认同和有效协调。沟通和操作协议应该清楚地界定部门的职责和功能，阐明目标、行动或约定，并应定期评审，以避免任何遗漏或不必要的重复，防止对营运组织提出相互冲突的要求（GSR Part 7 (Rev.1) [2]）。

营运组织的责任

GSR Part 5[4]要求 4：营运组织的责任

“营运组织须对放射性废物处置前管理的设施或活动的安全负责。营运组织须开展安全评定，须制定安全论证文件，并须确保依照法律和监管要求开展相关选址、设计、建造、调试、运行、关闭和退役的必要活动。”

3.19. 营运组织应遵守 SF-1[1]原则，对其与放射性废物管理相关设施内进行的所有活动（包括承包商进行的活动）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的方式进行安全论证，并负责确保开展的活动符合安全论证文件和国家法律法规要求。营运组织负责建立和实施一套管理系统，包括确保安全所需的计划和程序。营运组织需要保持强大的安全文化，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流程加强安全文化[6]。

3.20. 在某些情况下，营运组织可能是放射性废物的所有者，而在另一些情况下，所有者可能是独立的组织或营运组织。如果所有者和营运组织是独立的，那么所有者的责任和营运组织的责任之间的接口应清晰地界定，达成一致并形成文件。应明确地规定废物的所有权。放射性废物所有权的任何信息变动或废物管理设施的所有者与营运组织之间关系的任何信息变动应提供给监管机构，必要时，提供给政府机构。例如，对废物处置前管理的各个方面不负有完全责任的核电厂营运组织，应该与废物管理设施的监管机构和营运组织（在必要时）合作，并在方法上与它们协调一致，以确保对核电厂产生的放射性废物的管理得到适当计划和安全的实施。

3.21. 放射性废物管理设施营运组织的职责一般包括：

- (a) 向监管机构申请，包括提交可接受的安全论证文件，以获得监管机构对放射性废物管理设施或活动的批准；
- (b) 进行适当的辐射影响评定及非辐射环境影响评定，以支持许可证申请，进行定期安全评审；
- (c) 制定运行限值、条件和控制，包括与安全论证文件一致的废物管理设施的废物验收标准，以供监管机构审批；
- (d) 按照安全论证文件的要求、许可证条件和适用的法规开展所有活动；
- (e) 放射性废物接收、贮存和处理程序的制定和应用；
- (f) 在核电厂或研究堆退役后可能长期贮存放射性废物的计划；
- (g) 确保在废物管理过程中某一特定步骤所记录的资料足以证明符合下游的废物验收标准（例如废物处置的安全论证文件）；
- (h) 管理所要求的资料，以支持放射性废物的后续（处理）环节和/或贮存，或支持废物管理设施的退役，特别是在该设施运行停止数十年之后而实施的那种退役；

- (i) 根据监管机构的要求提供定期报告（如放射性废物的实际的盘存量信息，放射性废物进入或离开设施的转移信息，包括物料解控和在设施中发生的任何事件的信息，以及必须向监管机构报告的事项），并于相关各方和公众进行沟通；
- (j) 制定和执行控制放射性废物产生的措施，尽量将其体积和活度控制到最少；
- (k) 确保以符合贮存和处置验收标准及运输要求的方式处理放射性废物。在处置验收标准尚不具备的情况下，确保放射性废物的管理是基于预计处置计划的合理假设，包括规定废物特性以便为今后的处置决策提供数据，规定放射性废物贮存和/或处理的地点；
- (l) 确保妥善管理高放废物，包括申报为放射性废物的乏燃料，要考虑到其高活度、产生热量和潜在的临界风险[33]。附录 I 给出了废物货包和作为废物的乏核燃料应考虑的典型性能和特征；
- (m) 在下列情况下给出适当考虑和决策：
 - (i) 无可供选择的废物处置计划废物的管理；
 - (ii) 在处置前可能需要长时间贮存废物的管理；
 - (iii) 为放射性衰变而贮存废物的管理，实现废物的清洁解控或重新分类。

3.22. 营运组织有责任制定符合国家废物管理政策的整体废物管理策略。营运组织应制订一项符合总的废物管理策略的废物管理计划，该计划是场址相关的，并与场址（例如多设施场址）其他相关计划相一致。废物管理计划：

- (a) 应尽可能实施国家废物管理政策和战略；
- (b) 应考虑到该设施放射性废物的来源、最终排放、处置或后续环节之间的衔接；
- (c) 放射性废物处置前管理的计划要考虑下列策略层次：
 - (1) 利用适当的技术，使放射性废物的产生在其种类、活度和体积方面尽量低；
 - (2) 物料的重复使用及再循环；
 - (3) 放射性废物的处理，以确保其安全贮存及处置。

相关设施相关的废物管理计划的更详细指导见附录 II。

3.23. 在设计阶段，营运组织需要准备一个初始的退役计划，并根据需要和要求对其更新。在设施永久关闭⁵后，最终的退役计划需要考虑放射性废物长期贮存和处置的可能性。对于新设施，在设计中需要包括便于退役的特性；初始退役计划中应包括这些特性，还要包括关于如何确保提供必要财务资源安排的信息。

3.24. 对于没有退役计划的现有设施，营运组织应尽快制定退役计划。在设施整个寿期中，退役计划都要在每个阶段定期进行评审和更新。退役的要求见原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 6 号《设施退役》[30]规定，相关建议在原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.1 号《核电厂和研究堆的退役》[34]。

3.25. 营运组织应制定其工作人员和承包商的培训和授权要求，包括初始培训和定期复训。营运组织应确保所有相关工作人员了解所管理的放射性废物的性质，放射性废物管理流程的目标、安全论证文件、与废物相关的潜在危害以及其职责所要求的相关运行和安全程序。监督人员应具有执行其工作的能力，因此应为此目的进行挑选、培训、获得资格和授权。应委任训练有素和合格的辐射防护人员，监督辐射防护要求的执行情况。

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，符合监管机构制定的安全要求。在引入放射性物质之前（即非放射性调试或“冷调试”），应准备一份报告，汇总运行前和调试试验的结果，并提交监管机构进行评审和认可。

3.27. 营运组织应该确保授权实践的放射性物质从任何进一步的监管中清洁解控、放射性物质和其他可能对环境有害物质的排放控制与许可证条件和授权条件一致，并按照防护和安全最优化的要求，限制场内污染和职业照射。

3.28. 对放射性物质的排放、清洁解控、物料的重复使用或再循环利用、将放射性废物送交至获准的处置设施或将其转移至其他设施，均须保存记录。

⁵ 本“安全导则”中使用的术语“永久关闭”意味着反应堆已经停止运行，不会重新启动，也就是说，它将不再用于预计目的。永久关闭不同于计划停堆（例如由于换料中断、维护、视察或整修）或非计划停堆（例如由于紧急停堆）。

这种记录应保留至该设施完全退役，或按照与监管机构达成一致的计划在退役后的一段时间内予以保留。

3.29. 营运组织应该制定和维护一套记录系统，以记录放射性废物的生成、处理、贮存和转移（例如进一步的处理、贮存或处置），在其他方面，还应包括放射性盘存量，放射性废物的位置和特征，所有权、来源和转移地等信息[35]。应当保存和更新这类记录，以便执行设施相关的放射性废物管理计划。记录系统应由营运组织按照监管要求加以管理。

3.30. 营运组织应制订人员监控、区域监控和环境监控的计划和实施计划。该计划应定期进行评定。

3.31. 营运组织应当建立授权改造的流程，包括评定对放射性废物管理设施和活动的改造、对运行限值和条件的改造、对待处理或贮存的放射性废物的改造。评定应采用与改造的安全重要性相称的分级方法，对该改造潜在后果的评定也应考虑对其他设施的安全和放射性废物随后贮存以及进一步处理或处置的潜在后果。

3.32. 如 GSR Part 5[4]所述，要求营运组织实施适当的机制，以确保有足够的资源，包括财务资源，用以支持在设施寿期内开展所有必要的工作，包括设施的退役、反应堆永久关闭后放射性废物可能在现场的长期存放、放射性废物的处置（即使还没有可供选择的处置方式）。在某些环境下，财务资源需要由废物所有者提供。

3.33. 营运组织应作出场内应急安排，包括基于具有潜在后果的场内设施和活动相关的危害，制定针对核或辐射应急准备和应急的场内应急响应计划[36—38]。在评定场内放射性废物处理或贮存设施相关的危害时，应考虑与这些设施相关的危害和潜在的后果，以及这些设施之间的相互作用。

4. 综合安全计划

安全与安保

GSR Part 5[4]要求 5：关于安保措施的要求

“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计划的措施。”

GSR Part 5[4]要求 21：核材料衡算和控制制度

“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. 新设施的选址和设计应该尽早考虑核安保，还应该处理核安保、安全与核材料衡算和控制之间的接口关系，以避免冲突并确保所有三个要素相互支持，既不危及安全也不损害安保。

4.2. 营运组织应评定和管理核安保、安全与核材料衡算和控制活动之间的接口，以确保这些活动不会彼此产生不利影响，并在可能的情况下相互支持。

4.3. 当需要为废物管理或原子能机构核保障活动获取材料时，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》[14—16]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。

相互依赖关系

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对预计处置计划的影响。”

4.4. 从放射性废物产生到其处置、排放或清洁解控，放射性废物管理的所有步骤之间存在着相互依赖关系。应预先为所有不同的步骤进行计划，以便在整个废物管理计划中采取平衡的安全办法，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一个步骤都有不同的备选计划。例如，处理和整备的选择受到既定的或预计贮存和处置验收标准的影响。在任何时候，也应适当考虑第 2 部分所述的安全与环境保护之间的相互依存关系。

4.5. 应特别注意下列各方面：

- (a) 鉴别每个步骤之间的接口关系，并定义所涉及的组织各组织的职责；
- (b) 验收标准的制定和验收标准一致性的确认。

4.6. 应证明废物货包是否符合选定处置计划（或废物管理程序的下一步步骤）的废物验收标准；但是，如果没有确定处置计划，则应对可能的处置计划作出合理的假设，包括可能的废物验收标准，并应明确规定这些标准。

4.7. 对于放射性废物处置前管理的许多计划，不得不在废物处置验收标准终稿前作出决定。只要所选定的或预计处置计划最终确保符合其废物验收标准，就应作出放射性废物处置前管理的决定并予以实施。此外，在设计和准备用于处置的废物货包时，应根据预计废物验收标准，考虑废物货包对运输和贮存的适宜性，包括可能的回收，以及在处置设施内装卸和放置的适宜性。

4.8. 对于不能清洁解控、排放或重新使用的放射性废物，处置是管理这些放射性废物的最后一步，因此，在考虑任何其他放射性废物管理活动时，也需要考虑选定的或预计处置办法。然而，在许多成员国，处置设施通常还不可用或只对特定种类的废物可用，在该情况下，应确保正确确定和记录废物形态和废物容器的特征，以便为今后的决定提供数据。不管处置设施是否可用，对所有放射性废物生成物都必须加以管理。这意味着决策需要考虑要产生的废物形态和拟使用的废物容器。在最后确定所有放射性废物管理活动之前必须作出该决定。

4.9. 如果尚未有可用的处置设施，或尚未确定未来的处置设施，则应采取一种暂行办法，以便不过早地排除任何备选计划，或采取一切切实可行的步骤，以最可能的处置计划准备废物。核电厂或研究堆、处置前的放射性废物管理设施和（现有的或预计的）处置设施之间的相互依存关系也应加以确定。

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. 在 GS-R-3[6]，对放射性废物处置前管理设施寿期内所有阶段的管理系统（包括安全、健康、环境、核安保、质量和经济因素）的要求均已建立。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》[39]，而对放射性废物处理、装卸和贮存管理系统的指导见原子能机构《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》[35]

4.11. 放射性废物的管理涉及各种活动，这些活动可能会持续很长一段时间。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的挑战，并需要一个综合管理系统来处理所有可能会影响放射性废物管理的问题，包括财务规定的执行。

4.12. 如 GS-R-3[6]所述，营运组织需要建立、实施、评定和持续改进综合管理系统。管理系统应适用于放射性废物处置前管理的各个环节。管理系统覆盖管理的所有方面，包括质量保证和质量控制的安排。管理系统应该培育一种与营运组织目标一致的安全文化，并为其实现做出贡献。管理系统应当对处置前放射性废物管理设施的选址、设计、建造、调试、运行、维护、退役等作出规定。

4.13. 为建立和维持一个综合管理系统，应考虑下列长期事项（考虑到废物处理和贮存期间）：

- (a) 保存技术和知识，并将这些知识转让给将来加入营运组织的个人；
- (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) 与相关各方沟通安排的连续；
- (e) 提供足够的财务资源（设施和设备的维护和退役资源的充足性可能需要在可能持续数十年的运行期进行定期评审）；

- (f) 记录和资料的保存和质量（例如放射性废物盘存量的详细资料；与设施的选址、设计、调试、运行和退役相关的记录；及与安全论证文件相关的记录）；
- (g) 评审的规定，以确保管理系统的目标仍然能够实现。

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。相关放射性废物产生或管理设施的高级管理人员应负责作出一定安排，为放射性废物管理活动提供足够的资源，以满足安全、健康、环境、核安保、质量和经济等全方位放射性废物管理活动的要求，以及这些活动持续时间可能很长的要求。

4.15. 放射性废物的管理可能需要很长时间。因此，政府、监管机构、废物所有者和营运组织应确保在适当的政策、战略和计划中保持安全和环境保护所需的所有资源的可持续性。

流程实现

4.16. 对于长期放射性废物管理活动，应尽可能详细说明未来的基础设施需求，并应制订计划以确保这些需求得到满足。在该计划中，应考虑到对支持服务、最终可能不再制造的设备备件、为满足新规定的设备升级、业务改进以及软件的演变和不可避免的淘汰的持续需求。还应考虑是否需要建立适用于长期贮存的监控计划和视察技术。

4.17. 应当考虑到，如果放射性废物长期贮存后出现问题（例如对容器完整性的威胁或与临界或衰变热相关的问题），可能需要重新安置。应当评定在放射性废物贮存期间长期需要的或将来可能需要的任何专门设备的有效性。

4.18. 应当保存需要延长存放期的放射性废物记录，以尽量减少由于不可预测的事件，例如火灾、水灾或其他自然的或人为诱发的危害而造成的损失、毁坏或变质的可能性和后果（例如通过应用冗余原则）。记录的贮存安排应符合法规要求，并应定期评定记录的状况。

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。如果是分步建造设施或开展活动，或如果对设施或活动进行改造，则须评审安全论证文件及其辅助安全评定报告，必要时加以更新。”

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、关闭和退役的所有安全问题及管理控制是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保证将满足安全要求。”

GSR Part 5[4]要求 15：安全论证文件和辅助安全评定报告的编写

“须按以下要求编写安全论证文件及其辅助安全评定报告，须形成详细的文档，其质量应足以证明安全性，支持每个阶段的决策，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，并须包括以可追溯性的资料为依据对安全论证文件中证明所采用计划合理性的论据。”

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，并须实施在该评审后监管机构所要求的任何安全改进。定期安全评审的结果须反映在该设施安全论证文件的升级版。”

GSR Part 5[4]要求 22：现有设施

须评审现有设施的安全，以核实遵守相关要求的情况。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. GSR Part 5[4]对放射性废物处置前管理的安全论证文件和配套安全评定提出了要求，原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-3 号《放射性废物处置前管理的安全论证文件和安全评定》[40]提供了指导。核电厂在设计、调试和运行期间的安全分析要求见 SSR-2/1 (Rev.1) [19]和原子能机构《安

全标准丛书》第 SSR-2/2 (Rev.1) 号《核电厂安全：调试和运行》[20]。原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-4 号《研究堆安全》[21]规定了研究堆的安全分析要求。原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 4 号《设施和活动安全评定》[41]建立了所有设施和活动安全评定的要求。原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-4.1 号《核电厂安全分析报告的格式和内容》[42]和原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-25 号《核电厂定期安全评审》[43]对核电厂安全评定和定期安全评审提供了指导。原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-20 号《研究堆安全评定和安全分析报告的编写》[44]对研究堆的安全评定提供了指导。

5.2. 核电厂和研究堆的安全分析报告通常阐述下列放射性废物的管理问题：

- 放射性废物管理（废物产生和控制、废物预处理、处理和整备、废物贮存）的结构、系统和部件等的设计和运行；
- 描述固态、液态和气态废物的主要源项，并根据设计要求估计其产生率；
- 控制固态、液态和气态放射性流出物向环境排放所采取的措施；
- 设施运行相关危害的分析和事故的评定；
- 管理系统和组织的职责；
- 安全和辐射防护的评定和管理，包括运行限值和控制在。

5.3. 核电厂或研究堆的废物管理设施和活动的安全论证文件和辅助安全评定报告的编写和评审应采用分级方法。例如，低功率研究堆的废物管理设施和活动的安全论证文件的范围、程度和细节可能远低于高功率研究堆的要求，因为某些事故假想方案可能不适用或可能只需要有限的分析。

5.4. 核电厂或研究堆的废物管理设施和活动的安全论证文件可能需要交叉参照安全分析报告中所考虑的核电厂或研究堆自身的废物管理和辐射防护问题的章节。至少，安全论证文件应该确定放射性废物管理的结构、系统和部件与核电厂或研究堆的运行限值和条件之间的接口关系。安全论证文件还应确定用于监控放射性废物可能泄漏的仪器仪表。

5.5. 安全论证文件和辅助安全评定应表明，已经考虑了在废物产生和处理直至处置的所有步骤，包括物料的清洁解控和流出物的授权排放，以及所

有步骤的总体兼容性。因此，应考虑废物管理的操作和长期安全，以及在核电厂或研究堆退役或永久关闭之后，对未来废物装卸和处理的可能需求和可能与这些活动相关的危害和剂量。

5.6. 安全论证文件和辅助安全评定应阐明废物货包和未包装废物与现有或预计处置计划之间的兼容性；然而，如果不存在处置计划，则应对可能的处置计划作出合理的假设，并清除地列出这些假设。

5.7. 安全论证文件和辅助安全评定应包括识别废物管理设施中废物特性的不确定性和活动执行的不确定性，该不确定性重要程度的分析，以及重要不确定性管理方法的规范。在评审安全论证文件的输入，以及放射性废物处置前管理设施和核反应堆的安全论证文件之间的相互依赖关系时，监管机构应对这种不确定因素加以检验。在 GSG-3[40]提供了不确定性管理的指导。

5.8. 附录 III 提供了与核电厂和研究堆的放射性废物处置前管理的典型活动相关危害的示例，这些示例并不详尽；相反，它们旨在协助识别和评定危害。GSG-3[40]附件 I 还提供了与典型废物管理活动相关危害的识别和评定以及假想始发事件的进一步信息。

5.9. 在反应堆现场长期贮存放射性废物，例如，在核电厂或研究堆退役或永久关闭后，在安全论证文件中需要特别加以考虑[12、40、41]。安全论证文件应考虑建立老化管理计划、评定非能动安全特性、废物货包和包装要求、记录的保存、制定和维护应急安排、退役计划、监控和视察手段。安全论证文件还应考虑到工程特性的可能退化、维护系统的持续可用性的需要、贮存废物的变化以及所用参数和模式的不确定性，包括预计贮存期尺度。

5.10. 废物的形态和组分的变异性和不确定性对某些类型的遗留废物来说是一个特殊的挑战，因为历史记录的准确性和完整性可能受到限制。因此，应采取综合的、细致的方式对遗留废物的处置前管理进行安全评定。

5.11. 为了体现安全论证文件和辅助的安全评定将根据需要定期评审和更新，以反映实际经验和不断增长的知识和认识（例如通过持续科学研究获得的知识），要考虑到任何相关的运行反馈或与安全相关的其他方面[40]。

5.12. 未按现在安全标准建造的放射性废物处置前管理设施，可能不满足所有的安全要求。在评定这些设施的安全时，可能有迹象表明没有达到安全标准。在这种情况下，应采取切实可行的措施，确保设施的安全。

5.13. 非放射性危害（如化学毒性危害、工业危害）也应按照国家规定或可能影响辐射安全（如火灾）的规定进行处理。可对有安全标准的非放射性危害与放射性危害（例如与吊装和操作废物容器相关的危害）一起进行评定和建模。

6. 一般安全考虑

一般要求

6.1. 放射性废物处置前管理涉及的步骤如下：

- 评定潜在的和实际产生的废物和评定其后续管理的备选方法；
- 废物的产生和控制；
- 处理包括：
 - 预处理；
 - 处理；
 - 整备。
- 贮存；
- 运输。

6.2. 诸如清洁解控（包括回收或重复利用）、排放控制和授权处置的废物管理计划，在满足监管机构建立的条件和标准时，应优先采用再循环、重复利用和清洁解控。监管机构应制定清洁解控和排放的限值和规定[22—24]。

6.3. 作为放射性废物管理的一部分，应当核实废物是否符合验收标准。因此，在必要时，应将放射性废物在其管理的各个步骤中加以表征和分类。废物货包应该有唯一的标识系统，使这些废物货包能够链接到它们的相关记录，并考虑到在将来较长时期，直至废物处置之前，必须具有可读性。

6.4. 对于不能进行清洁解控、排放、回收或再利用的放射性废物，放射性废物处置前管理的最终目标是使这些废物适合于处置（或在没有可用的处置设施的情况下贮存）。这意味着每个废物货包，即最终的废物形态和废物容器，必须符合该处置设施的废物验收标准（或贮存设施的运行安全要求）。在尚未具备处置接收要求的情况下，废物验收标准应当根据相关预计处置计划的合理假设而作出规定。

6.5. 放射性废物将需要在其处置前管理涉及的各个步骤之间和之内进行装卸和运输。SSR-6[13]建立了放射性废物安全运输的要求，并在原子能机构《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》[45]提供了指导。

6.6. 在废物管理设施场址内运输放射性废物可能不需要满足场外运输的所有要求[13]，因为在任何时候，运输仍在营运组织的控制之下，该营运组织负责场内操作的安全。

废物产生及控制

GSR Part 5[4]要求 8：放射性废物的产生和控制

“须确定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. 废物产生和控制的设计特征和操作程序应包括以下几个方面：

- (a) 设施加工、设计计划、材料、结构、系统和部件的适当选择；
- (b) 选择建造方法、调试程序和运行程序，以便在设施的整个寿期内，包括设施的退役期间，促进废物最小化；
- (c) 使用有效和可靠的技术和设备；
- (d) 对放射性废物进行密封和包装，以保持其完整性；
- (e) 适当的分区以防止污染扩散；
- (f) 区域去污规定和提供防止放射性污染扩散的设备。

6.8. 在选择贮存和处理方法时，也应考虑到尽量减少和控制废物产生的要求，以便尽量减少二次放射性废物的产生。应考虑这一要求的处理步骤的示例包括选择整备流程和用于核实处理和整备流程的试验计划。整备流程

的鉴定计划设计应尽量减少使用实际放射性废物试验样品的数量。对于部件已被污染的整備流程，应该使用经考验寿命长的设备。

6.9. 应进行预处理工作，包括隔离废物，以尽量减少有待进一步处理、整備、贮存和处置的放射性废物的数量。在适当情况下，应使用去污和（或）足够长的贮存期使放射性得以衰变，使废物重新分类到较低的水平，或使废物能够清洁解控。

核电厂产生的放射性废物

气态放射性废物

6.10. 根据核电厂的类型，气态放射性废物的可能来源包括：

- (a) 从冷却剂中泄漏；
- (b) 反应堆本身的慢化剂系统；
- (c) 冷却剂脱气系统；
- (d) 冷凝器真空喷射器或泵；
- (e) 涡轮机轴封系统的排气；
- (f) 被活化或被污染的通风气体。

6.11. 对于所有类型的核电厂，贮存或装卸过程中的乏燃料都是气态放射性废物的潜在来源。

液态放射性废物

6.12. 水冷反应堆的一回路冷却剂和燃料贮存水池的水是液态放射性废物的主要来源，由于其中一些放射性物质可能通过工艺流或泄漏而被输送到液态放射性废物流中。尽管液态放射性废物的组分可能因核电厂的类型而有所不同，但对液态放射性废物流的贡献可能来自以下方面：

- (a) 反应堆冷却剂下泄；
- (b) 蒸发器浓缩物；
- (c) 设备输水管的溢流；
- (d) 地漏的溢流；

- (e) 洗衣废水；
- (f) 被污染的油；
- (g) 设施和设备的去污和维护产生的废水。

固态放射性废物

6.13. 固态放射性废物是在核电厂运行、维护和退役过程中以及其相关的气态和液态放射性废物处理系统运行过程中产生的。各电厂之间这类废物的性质有相当大的差别，相关的活度水平也是如此。固态放射性废物可包括下列物质：

- (a) 废离子交换树脂（颗粒树脂及粉末树脂）；
- (b) 筒状过滤器和预涂层滤饼；
- (c) 通风系统的粒子过滤器；
- (d) 活性炭床；
- (e) 工具；
- (f) 被污染的废金属；
- (g) 堆芯部件；
- (h) 燃料组件或反应堆内部件的碎片；
- (i) 被污染的破布、衣服、纸和塑料。

研究堆产生的放射性废物

气体放射性废物

6.14. 研究堆运行过程中产生气态放射性废物的典型来源包括：

- (a) 来自反应堆水池、冷却剂系统、辐照设施和实验设施的气态放射性元素或化合物；
- (b) 在附属设施（包括通风柜和去污区）产生的气态放射性物质。

液态放射性废物

6.15. 研究堆运行中产生的液态放射性废物的典型来源包括：

- (a) 冷却水流出物；
- (b) 主系统排水（如轻水堆）；
- (c) 除盐水系统的废液；
- (d) 从通风系统排水管疏水的溢流；
- (e) 维护操作中大型设备排水回收的除盐废水；
- (f) 洗手池和淋浴水的溢流；
- (g) 地面疏水管的溢流；
- (h) 实验室产生的液体（这些可能是放射性的，也可能是非放射性的）。

固态放射性废物

6.16. 研究堆运行过程中固态放射性废物的典型来源包括：

- (a) 辐照过的靶罐；
- (b) 使用过的辐照用具和反应堆部件（例如热电偶）；
- (c) 中子束导向管；
- (d) 废离子交换树脂⁶；
- (e) 使用过的控制棒；
- (f) 水池服务区产生的废物；
- (g) 通风系统的废物（活性炭过滤器、高效粒子气体过滤器）；
- (h) 清洁材料和使用过的个人防护用品；
- (i) 实验室废物（手套、纸巾、一次性玻璃器皿等）；
- (j) 维护及其他工作所产生的污染物品。

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订或核准的要求对放射性废物进行表征和分类。”

⁶ 尽管离子交换树脂实际上是固体，但在大多数应用中它们是与载体液体一起来管理的[46、47]。树脂最终在处理和整备过程中从载体液体中分离出来。

6.17. GSR Part 5[4]规定：放射性废物需要在其处置前管理的不同阶段加以表征，为废物或废物货包提供其属性信息、核实过程，从而有助于放射性废物的安全处理和最终安全处置等后续步骤。

6.18. 为了确定对放射性废物的装卸、处理和贮存的安排是适当的，应考虑下列事项：

- (a) 废物的来源、废物种类及初始废物（固体、液体或气体）的物理状态；
- (b) 临界危害[33]；
- (c) 废物的辐射特性（例如半衰期、放射性核素的活度和浓度、废物所致的剂量率、发热）；
- (d) 其他物理性质（如尺寸、质量、压实性）；
- (e) 化学特性（例如初始废物的组分、含水量、溶解度、腐蚀性、可燃性、产气特性、化学毒性）；
- (f) 生物特性（例如与废物相关的生物危害）；
- (g) 预计处理、贮存和处置方法。

6.19. 表征过程应包括物理和化学参数的测量，放射性核素的识别和活度含量的测量。该测量对于在处理、贮存和处置阶段跟踪放射性废物或废物货包是必要的，也是今后特别是在废物管理设施的退役时保持记录所必须的。应优先考虑初始废物产生时的特征。

6.20. 根据放射性废物的类型和形态，废物特征化的数据要求和收集数据的方法将有所不同。在处理废物流时，可通过取样和分析废物的化学、物理和辐射特性加以表征。废物货包的质量可以用非破坏性方法进行视察，偶尔也采用破坏性方法进行检查。然而，基于流程控制和加工知识，包括建模，也可以采用间接的表征方法。这种方法可以用来代替或作为对废物货包进行抽样和检查的补充，以避免不适当的职业照射。作为授权过程的一部分，在废物处理过程中，该表征方法应是监管机构可接受的。

6.21. 为了确保处置时废物货包的可接受性，应建立计划，用以开发监管机构可接受的整备流程。用于废物表征和过程控制的措施应当有助于提升对表征数据质量的信心，并确保废物货包的性能符合预计（以确保达到废物验收标准）。

6.22. 放射性废物的分类和分级有助于制订废物管理策略和运营管理。在初始废物产生和处理、贮存、运输和处置之间的任何阶段，对性质不同的废物进行分离也是有益的。为了正确地分离废物，有必要了解其性质，因此，有必要在废物处理的各个阶段对其表征化。应遵循书面程序，表征放射性废物、进行分离，并将其划分为一个特定的类别。

6.23. 放射性废物分类的目的、方法和途径的详情见 GSG-1[8]；GSG-1[8]附件 III 还提供了关于放射性废物来源和类型的信息。GSG-1[8]建立的分类计划是基于放射性废物的长期管理（处置）。

6.24. 某些类型的放射性废物中含有 α 放射性核素，该放射性核素可能出现在退化或故障的核燃料中⁷。易燃、自燃、腐蚀性或其他危害物品也应特别注意，应注意避免将具有这些性质的废物混合。

6.25. 为处理之目的，将核电厂或研究堆中的气态放射性废物分为直接由反应堆的主冷却剂系统产生的废物和由通风区域产生的废物。

6.26. 液态放射性废物应当按照其活度浓度和化学物质含量进行表征。例如，含有硼酸或有机物的放射性废物可能需要特殊处理。应当分开处理非水放射性废物，如油类。如果液态放射性废物在合适的基体中固定或固化，则应确保液态放射性废物与基体材料的化学相容性。

6.27. 固态放射性废物应按照其放射性核素含量（放射性核素的类型和半衰期）及其活度浓度进行分类，兼顾其现有的或可能的处置计划，并应按照预计处理和整备程序加以分离。例如，污泥、滤筒过滤器、受污染的设备 and 部件、通风过滤器和杂项物品（如纸张、塑料或毛巾）可根据处理和整备过程的类型分开，例如压实、焚烧或固定。

放射性废物处理

GSR Part 5[4]要求 10：放射性废物处理

“须对预计不作进一步利用和其特征不适合于授权排放、授权使用或清洁解控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

⁷ “退化燃料”或“故障燃料”的术语涵盖了广泛的情况，从小针孔、包壳裂纹到燃料元件破损。故障的性质和程度是一个重要的考虑因素。

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）的强制要求。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。”

6.28. 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。这些步骤可在固定设施或移动设施中进行。在这些步骤之内、之间和之后，可能需要装卸、贮存和运输废物。

6.29. 附件 I 举例说明了核电厂或研究堆的一般放射性废物管理系统；附件 II 举例说明了压水堆放射性废物管理系统（半流冷凝精处理）；附件 III 举例说明了压水堆放射性废物管理系统（全流冷凝精处理）。

6.30. 放射性废物的处理即可以促进废物的回收和再用，也可以生成整备废物，适于后续处理、贮存、运输和处置。如果重复使用或回收不可行，而且没有可用的处置设施，则应合理假设废物处置的验收要求，以为其处理提供指导，其中可能包括长期贮存的规定。在某些情况下，出于其坚固结实和设计方面的原因，一个大型部件（例如反应堆压力容器、蒸汽发生器或其他大型容器）本身可以作为一个废物货包。例如，在反应堆的退役过程中，可以合理地作为一个较大的部件处置，而不需要将其切割成小块然后将其打包到其他容器中。

6.31. 考虑到如安全、安保、照射和财务各个因素，放射性废物处理应尽可能靠近其产生地点，以优化的方式将其转化为一种非能动安全形态[12]，并防止其在贮存和处理期间弥散。应考虑到需要在废物潜在的流动性、合理可行尽量低（ALARA）的考虑和操作影响之间取得平衡。

6.32. 热处理（这个处理是指借助于热量，分解或破坏废物的有机成分，或在超过 600℃ 的温度下辅助加热或加热下进行处理）用于固体和液态放射性废物的处理，最常用的技术是焚烧[48]。

预处理

6.33. 预处理包括废物收集、分离、化学整备和去污等操作，通过预处理以减少需要进一步处理和整备、贮存和处置的废物量、调整废物特性、使废物

适合进一步处理，并缓解或消除某些废物因其辐射、物理和化学性质带来的危害。

6.34. 放射性废物预处理的第一项工作通常是收集废物，并根据其辐射、物理和化学性质进行必要的分离。将放射性废物分为适当类别的工作应在尽可能接近废物产生的地点进行。应当为废物的分离编写书面程序。主要含有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。在分离废物时，应考虑到废物是否可以清洁解控，或是否可以回收或排放，直接排放或在贮存一段时间经过放射性衰变后再排放。

6.35. 为了便于进一步的处理和加强安全，固体废物应按照设施的废物管理计划和可用的手段加以分离。应在考虑废物下列特性的基础上进行分离：

- (a) 易燃的或不易燃的，如果高温处理（例如焚烧）是可行的选择；
- (b) 可压缩的或不可压缩的，如果压实是可行的选择；
- (c) 金属的或非金属的，如果熔化是可行的选择；
- (d) 固定的表面污染或非固定的表面污染，如果去污是一个可行的选择。

6.36. 废密封放射源应与其他废物分开。

6.37. 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自由液体或加压气体的物料和物品时应特别小心。

6.38. 应分离液态废物，并考虑下列废物性质：

- (a) 放射性核素半衰期（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（例如有机的和含水的废物、含盐量低的和含盐量高的含水废物）；
- (d) 相状态（如离子交换树脂、污泥）。

6.39. 应尽可能根据液态废物的物理、辐射和化学特性对其进行表征，以便于处理。有了适当的表征，只要液体的非辐射特性是适当的，许可证限值内的液体就有可能进行排放。应尽可能对液态废物进行处理和整备（例如通过吸附、固定），以促进安全处理、贮存和处置。

6.40. 一些去污过程是通过机械、化学和电化学方法的结合来去除表面污染。应注意限制产生的次级废物的数量，并确保次级废物的特性与废物管理过程的后续步骤是相容的。

6.41. 为了达到特定的废物验收标准，在某些成员国，允许在废物产生点混合废物（例如为了达到浓度平均的目的）。被混合的废物流应限于辐射和化学兼容的废物流，并应符合废物管理设施（例如处理、贮存或处置）的废物验收标准。如果考虑对不同化学性质的废物流进行混合，应该对可能发生的化学反应进行评定，特别是任何的放热反应，以避免非受控反应的或可能导致挥发性放射性核素或放射性气溶胶非计划排放的意外反应。由于有机液态废物化学性质不同需要进行不同的处理，应与含水废物流分开。有机液态废物也可能是可燃的，因此其收集和贮存应具有适当的通风和防火规定。

处理

6.42. 放射性废物的处理可包括下列各项：

- (a) 减少废物的体积（例如焚烧可燃废物、压缩固态废物及切割或解体庞大的废物部件或设备）；
- (b) 去除放射性核素（例如，对液态废物流进行蒸发或离子交换，对气态废物流进行过滤）；
- (c) 废物的形态或组分的变化（例如通过化学过程，如沉淀、絮凝和酸化，以及化学氧化或热氧化）；
- (d) 废物的形态或特性的改变（例如固化、吸附或封装；常见的固定基质包括水泥、沥青和玻璃）。

固体废物

6.43. 固态放射性废物可能是不均一的。在处理前应特别考虑进行代表性的取样，以确定废物与预计加工的兼容性，并应在切实可行的情况下，为这类取样作出适当安排。应安排对最终处理产物进行系统控制，以核实是否符合既定要求。

6.44. 有许多方法可用于形成可接受的废物形式形态。所采用的流程应根据相关废物的特征选择。如果可能，应采用能达到减容因子高和使用经过检验的技术，例如压缩或焚烧加工。

6.45. 焚烧可燃固体废物通常能最大限度地减少体积，并产生稳定的废物形态。焚烧后，废物中的放射性核素将分布在灰烬、净化废气的产物和烟囱排放物中间。其分布将取决于使用的焚烧炉的设计和运行参数，以及废物中放射性核素的性质。焚烧将导致灰中活度浓度的增加，这可能导致废物类别的变化。此外，废物中的其他成分可能产生酸性气体和腐蚀性焚烧产物，这可能导致焚烧炉部件的腐蚀和酸性物质向大气的排放。为防止放射性物质和非放射性有害物质的排放，废气净化可能是必要的，应予以考虑。应考虑到放射性核素在气体净化系统残留物中的累积和灰烬中残留放射性核素的可能性，并需要进一步的整备。

6.46. 放射性核素向环境的排放在很大程度上取决于焚烧炉的运行工况，特别是温度控制、处理废物的种类和数量以及放射性核素的含量。对于处理大量放射性废物的焚烧炉，营运组织应以适当的方法监控烟道内排放的放射性核素，以确保排放的浓度和数量均在监管机构规定的范围内，并与安全评定中所采用的参数相符。某些焚烧产品（酸、多氯联苯和各种其他材料）具有非放射性危害。

6.47. 压缩是减少某些类型废物体积的一种合适的方法。也包括废物焚烧所生成灰烬的压缩。应很好地确定和控制要压缩物料的特性和期望的体积减少。在选择、设计和运行压缩机时应考虑的压缩后果包括：

- (a) 在压缩过程中，可能排放挥发性放射性核素和其他气态放射性污染物；
- (b) 在压缩过程中，可能排放受污染的液体；
- (c) 在压缩过程中和压缩后，物料的化学反应性；
- (d) 因自燃、爆炸材料或受压部件可能引发的火灾和爆炸危害；
- (e) 含有可裂变材料的废物被压缩成单一废物货包时的临界危害。

6.48. 在整备与预处理与加工流程相关的体积庞大或超大尺寸的废物（例如废旧部件或结构）前，可采用切割、解体和其他技术缩小尺寸。切割或解体过程通常使用高温火焰切割机、各种锯切方法、液压剪切、磨蚀切割和等

离子弧切割。在方法的选择和设备的操作中，应考虑采取防止微粒污染扩散的手段和对自燃废物采取防火措施的必要性。

6.49. 对于不可燃和不可压缩的固体废物，当“延迟和衰变”或去污不可行时，应考虑未经预处理的直接整备。金属废物的熔炼，使得放射性物质均质化和在炉渣中累积，可被认为是实现物料可重复使用或清洁解控的一种手段。

液态废物和排放

6.50. 营运组织向环境排放液体前必须向监管机构提交环境影响评定文件，并实施了公众防护最优化。监管机构必须将这些提交的文件作为确定或批准授权的排放限值和实施条件的基础[3、23] ⁸。

6.51. 液态废物的处理方法包括蒸发、化学沉淀、离子交换、过滤、离心分离、超滤、热处理和反渗透。在每一种情况下，应仔细考虑与腐蚀、结垢、起泡以及有机物存在时发生火灾或爆炸危害相关的加工限制，特别是对运行和维护的安全影响。如果废物中含有裂变物质，应在切实可行的范围内通过设计特征和管理安全措施[33]评价和消除临界的可能性。

6.52. 废弃的离子交换树脂可以作为浆料被冲洗掉，尽管一些营运组织将树脂以干燥固体来保留[46、49]。当树脂以浆料的形式被冲洗出来时，应小心防止流动堵塞，因为这些可能造成辐射热点，并可能需要特别的维护。还应特别注意待整备树脂的长期贮存，因为可能发生辐射分解或化学反应产生可燃气体或引起物理降解或放热反应。

6.53. 废物处理过程中可能产生排放液体。在可能的情况下，应根据液态废物的辐射和化学性质对其进行表征，以便于收集和分离。通过适当的特征，就有可能在授权范围内排放，前提是液体的非放射性特性是适当的。

6.54. 所有排出的液体都应易于在水中扩散。如果液体含有悬浮物，在排放前可能需要过滤。不能与水混溶的废物应完全拒绝排放。酸性或碱性液体应在排放前进行中和。如果液体中含有可能对环境或污水处理造成不利影响

⁸ 辐射环境影响评定的安全导则在编写中。

的有毒物质或其他化学品，应在排放前按照保护工作人员和公众的法规以及环境保护法规的规定进行处理。

6.55. 对于液体向环境的常规排放，控制的主要办法是，通过贮存系统在液体排放到环境之前短寿命放射性核素得以衰变，或通过处理系统去除需要用其他手段处置的液体流中的放射性核素。在这两大类控制方法中，可能还有许多不同的选择计划。排放限值和排放控制由监管机构制定或核准[3、23]。

6.56. 有机废物需要采取管理措施，不仅要考虑其放射性，而且要考虑其化学有机含量，因为这也可能对环境产生有害影响。应考虑有机液态废物的处理步骤包括焚烧、乳化（以易于封装到水泥中、吸收到基体内）、蒸馏和湿氧化。

气态废物和排放

6.57. 与向环境排放液体一样，在向环境排放气体之前，营运组织必须向监管机构提交环境影响评定，并对公众的防护实施了最优化。要求监管机构使用这些文件来建立或核准排放的许可证限值和实施条件[3、23]。

6.58. 在气态放射性废物处理系统的运行中，应考虑到：需要处理的气体体积量、活度、气体中所含的放射性核素、微粒的浓度、化学成分、湿度、毒性以及可能存在的腐蚀性或爆炸性物质。在合理可行的范围内，短半衰期的惰性气体应保留在滞留罐或其他延迟系统中，这些系统让放射性核素在排放前衰变至可接受的活度含量或活度浓度水平，以符合监管机构所确定的或核准的授权限值。

6.59. 气态流出物中的放射性粒子和气溶胶可通过使用高效空气过滤器（HEPA）过滤去除。碘可以通过活性炭过滤器去除，惰性气体可以通过充满活性炭的吸附床来延迟。废气中的气态化学物质、微粒和气溶胶的清除，应考虑使用洗涤器。如果监管机构有要求，或者如果可靠性对于确保安全至关重要，那么应该使用冗余系统，如使用两个过滤器。应当考虑探测废气系统的其他部件包括确保过滤器正常运行的部件，如预过滤器或粗过滤器，温度和湿度控制系统，以及显示压差的仪器仪表等监控设备。

6.60. 无论是液体和气体排放，营运组织都需要酌情并与监管机构商定评审和修改排放控制措施，同时考虑运行经验以及可能影响对排放引起的剂量进行评定的照射途径方面或代表性个人的特征方面的任何变化[3]。

整备

6.61. 放射性废物的整备包括生产适合于安全装卸、运输、贮存和处置的废物货包的操作。整备可包括液态废物或可弥散废物的固定，将废物封装在容器内，并在必要时提供一套外包装。

6.62. 由整备产生的废物货包应符合各自的验收标准。因此，在决定需要何种类型的预处理、处理和整备时，应该咨询监管机构、营运或计划营运运输服务、贮存设施和处置设施的组织。

6.63. 液态废物通常通过将其固化在合适的基体中而转化为固体形式，如适于作低放和中放废物基体的水泥、沥青或聚合物，或适于作高放废物基体的玻璃体，以符合废物的验收标准。固化也可以在没有基体材料的情况下实现，例如通过干燥。然后将制成品装入适当容器中。

6.64. 在切实可行的范围内，液态废物的固化过程应产生具有以下特征和性能的废物形式：

- (a) 废物与任何基质材料及容器的物理和化学相容性；
- (b) 同质性；
- (c) 低空隙率；
- (d) 低透水性、低浸出性；
- (e) 规定时段内，化学、热、结构、机械和辐射的稳定性；
- (f) 化学物质和微生物抗性。

6.65. 应按特定情况加以考虑所要求的固体废物形态特性。第 6.64 段所列废物形态的特征适用于许多类型的固体废物。某些特性（特别是同质性和低空隙率）不适用于某些类型的固体废物。例如，堆芯部件通常被封装在厚壁的废物容器中且没有事先固定。

6.66. 应该考虑到某些过程（例如沥青处理）是放热的，可能会引起火灾和/或爆炸危害，这取决于混合材料。还应考虑到某些金属，如铝、镁和锆，可以同诸如水泥浆的碱性水或从混凝土基质中扩散出来的水发生化学反应而产生氢。此外，一些金属颗粒，如锆，当颗粒大小与表面积的比例和环境适宜时，就会变得易燃。在整备过程中，也要关注螯合剂、有机液体或废液中油和盐份的含量。

6.67. 根据废物的特性和装卸、运输和贮存的方法，容器也可能需要提供对废物产生辐射的屏蔽。在选择容器的材料及其外表面光洁度时，应考虑其易于去污。如果废物货包初始设计不符合运输、贮存或处置的相关验收标准，则需要增加额外的容器或外包装以满足验收标准。应注意确保废物货包和外包装满足废物验收标准和运输规定。

6.68. 经过整备的废物货包应在处置前的预计贮存期内保持完整，并应考虑以下因素：

- (a) 贮存期结束后的回取；
- (b) 如有必要，可封装于外包装内；
- (c) 运输至处置设施及装卸；
- (d) 符合处置设施的废物验收标准。

废旧密封源

6.69. 废弃或不再使用的密封源可能涉及潜在的严重危害，应该与其他废物分离。废弃或不再使用的密封源不应进行压缩、粉碎或焚烧。

6.70. 作为一项一般原则，废弃或不再使用的密封源不应从其初始容器中移出，也不应对容器进行物理上的改造。废弃或不再使用的密封源应保持屏蔽。屏蔽物受到污染时，应进行去污或加外包装，以避免污染进一步扩散。

6.71. 应特别注意废弃或不再使用的、可能发生泄漏的密封源的装卸和贮存，以及表面污染和空气污染的监控。

6.72. 废弃或不再使用的密封放射源应进行整备，除非其中所含放射性核素的半衰期足够短，足以在相当短的时间内（例如2—3年）解除监管控制。

放射性废物的贮存

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、回取和以适合其后续管理的条件实施保存的方式进行。须适当考虑预计贮存期，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货包容系统的退化。”

6.73. 在核电厂或研究堆的废物管理策略中，贮存是一个应该考虑的选择。应在废物处理的所有阶段提供适当的贮存，以确保隔离和环境保护；贮存也应便于后续步骤的回取。SSG-15[9]、NS-G-1.4[10]和 WS-G-6.1[12]提供了关于贮存放射性废物和乏燃料的建议。

6.74. 贮存设施的设计应考虑到放射性废物的种类、特征和相关危害、放射性活度和预计贮存期。应为废物和贮存设施的定期监控、视察和维护作出规定，以确保其继续完整。还应提供一些手段，使这些设施的性能参数保持在可接受的运行和监管限值内。

6.75. 在必要时，应在处理和排放放射性流出物或放射性废物之前贮存的区域内采取包容措施。还应考虑是否需要废物运输中的贮存和将废物移出贮存区作出规定。

6.76. 贮存设施和废物货包的设计应考虑废物的形态（即固态、液态或气态）、放射性核素含量和半衰期、放射性浓度水平、总的放射性活度、非放射性特性和预计贮存期。设计特征和设施运行应确保废物可以被接收、装卸、贮存和回收，而无不当的职业照射、公众照射或环境影响。

6.77. 对正常运行产生的放射性废物，应当有足够的贮存能力，对任何偶发事件或者异常事件所产生的放射性废物，应当有贮存能力。如果废物无法从现场转运出去，例如处置设施不可用时，可能需要扩大此贮存容量。

6.78. 应尽可能在非能动的条件下贮存放射性废物（如放射性物质是稳定的，废物的形态和容器在物理和化学上都是稳定的，并具有抗降解能力，采取多重屏障的方法进行包容，通过非能动系统实现安全功能，对能动系统或维护的需求是最小化的，并且贮存环境优化了废物容器的寿命）。营运组织应确保结构、设备、废物形态和容器的完整性在预计贮存期内得到保持。应

考虑废物、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而产生的腐蚀过程）。对于某些类型的废物（例如腐蚀性液态废物），应采取特别的预防措施，例如使用双层壁容器和不透水衬里。

6.79. 含有短寿命放射性核素的放射性废物可被收集和贮存，以便其活度衰变至授权排放、使用或清洁解控的水平。由于操作上的原因，例如允许废物在指定的时间后向场外转移，贮存也可能是必要的。

6.80. 放射性废物应以分开存放的方式贮存，以便回收，作进一步处理、整備、向另一贮存设施转移或处置。放射性废物应与非放射性废物、工业废物分开存放，以避免工业废物受到污染、放射性物质的失控，工作人员或公众照射的增加。可能需要对易裂变材料的贮存给予特别注意，以避免贮存结构可能导致临界问题。

6.81. 贮存设施应适当通风，以排出在正常运行或预计事件工况下产生的任何气体。预防、探测和控制火灾的措施应纳入可燃废物贮存设施的设计。液态高放废物的贮存设施应设有废气排放系统，采用适当的过滤系统，控制气态流出物在监管限值内排放。

6.82. 应开发和应用废物货包跟踪系统。该系统应能识别废物货包、位置和贮存废物的放射性活度盘存量。所需废物跟踪系统的复杂程度（例如标签和条形码）应根据国家的责任和处置需要来确定。关于废物跟踪系统开发的更多技术信息见参考文献[47]。

6.83. 如果废物在处置前，或者核电厂或研究堆永久关闭、退役后，预计在核电厂或研究堆内长期贮存，监管机构应确认营运组织能在贮存设施的寿命期内提供必要的人力、技术和财务资源。

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

“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。”

6.84. 在放射性废物处置前管理设施内接受放射性废物，需要制定标准[4]。应考虑到核电厂或研究堆、废物管理设施以及将来的处置设施的所有相关

的运行限值和条件（符合安全论证文件）。放射性废物处置前管理的一个重要目标是生产能够安全装卸、运输、贮存和处置的废物货包。特别是，废物的整备应符合其处置验收标准。为了合理保证经过整备的废物对于处置是可以接受的，虽然尚未确定特定要求，但应尽可能预计将来废物处置的计划和相关的废物验收标准。废物验收标准可通过提供适当的外包装来满足，该包装可根据特定的处置条件和废物的特性以及废物处置设施的工程部件而专门定制。这类外包装也可能构成符合运输要求的解决计划。

6.85. 附录 I 列出了废物货包和申报为废物的乏燃料管理应考虑的典型性能和特征。为了确保废物货包被处置机构所接受，作为管理系统的一部分，应制定一个计划来制定整备程序。整备计划须经监管机构批准。应制订废物货包的质量保证和控制计划，并纳入管理系统。质量保证计划经监管机构批准后实施，以证明符合处置设施的废物验收标准。

6.86. 营运组织应当确保设施（和装置）所接受的放射性废物符合规定的验收标准。管理系统中应包括确定是否符合验收标准的程序。

6.87. 应采取适当的技术来确定废物的特征，以便证明符合安全论证文件，并且符合废物管理过程中后续步骤的废物验收标准。

6.88. 当收到的废物货包的特性不符合验收标准时，营运组织应采取应急措施，这些措施可包括将废物货包放置在安全和安保隔离区内，将废物货包返回到产生废物的设施，或将废物送往另一个处理设施。

废物管理设施使用寿命的安全考虑

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定址和设计必须能够确保设施在预计运行寿期内在正常和可能的事故工况下的安全以及退役期间的安全。”

6.89. 核设施场址评价的要求见原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-3 (Rev.1) 号《核装置场址评价》[50]；关于在选址和场址评价中应用分级方法的建议见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-9 号《核装置场址评价中

地震危害》[51]，原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-18 号《核装置场址评价中气象和水文危害》[52]；原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-21 号《核装置场址评价中火山危害》[53]和原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-35 号《核装置场址勘查和选址》[54]；SSR-2/1 (Rev.1) [19]和 NS-R-4[21] 分别对核电厂和研究堆的设计提出了要求；关于乏燃料贮存设施设计和研究堆设计中废物管理考虑的建议分别见 SSG-15[9]和原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-4.6 号《研究堆设计与运行中的辐射防护与放射性废物管理》[55]。

6.90. 虽然废物处理和贮存设施可能远离反应堆（如集中废物管理设施），在可行的情况下，这些设施应该与核电厂或研究堆位于同一场址，以减少在不同场址之间运输未整备废物进行处理和贮存的需求。

6.91. 一般来说，核电厂和研究堆的设计应包括便于放射性废物安全装卸、贮存、运输和处置以及控制排放的特征。设计应确保用于处理损坏的容器和非标准物理或化学成分的放射性废物的设施具有足够的灵活性。

6.92. 核电厂或研究堆的设计应使其寿期内的所有阶段，包括退役，所产生的放射性废物最小化。这样的考虑应与安全论证文件和辐射剂量的监管限值相一致。为防止放射性气体积聚，在设计中应考虑在运行状态下安全壳或包容体需要进行通风的程度。

6.93. 研究堆的设计应包括与实验装置相关的固态、液态和气态放射性废物的安全管理规定。应当考虑到放射性废物的各种性质以及可能影响放射性废物特性的各种情况，特别是在屏蔽和包容的设计中。研究堆设计中使用的措施可能不同，但应包括以下内容：

- (a) 选择不易活化的物料（例如使用塑胶的气动“跑兔”系统辐照靶载具）或活化后能迅速衰变的物料（例如在靠近堆芯处使用铝组件）；
- (b) 考虑池水的热膨胀和收缩，避免或尽量减少对液体储罐的溢流；
- (c) 尽量减少中子源附近的气空间，以减少热中子活化产生氦-41。

6.94. 在核电厂或研究堆及其相关废物管理设施的设计中，应适当考虑下列事项：

- (a) 临界安全；

- (b) 废物处理和贮存区的进入控制，以及辐射区和污染监控区之间转运的控制；
- (c) 加工气体和衰变装置（例如使用衰变罐或滞留罐）的恰当选择，以尽量减少放射性物质的排放；
- (d) 贮存废物（包括在运行过程中产生的废物）回取的需求；
- (e) 废物特性和盘存量控制；
- (f) 废物及其包容的视察；
- (g) 不符合规定的废物和废物货包的处理方法；
- (h) 液态和气态流出物的控制；
- (i) 产生非放射性危害的废物管理；
- (j) 维护工作和最终的退役。

6.95. 核电厂或研究堆设计中，考虑管理气态放射性废物和气态流出物的措施应包括：

- (a) 规定放射性气体通过适当的管道输送，并输送到受监控的排放点；
- (b) 提供气态放射性废物授权排放的手段，如烟筒，以及此类排放的采样和监控的方法。

6.96. 核电厂或研究堆设计中，考虑管理液态放射性废物和液态流出物（包括离子交换树脂产生的废物）的措施应包括：

- (a) 在同一地点，收集放射性液态流出物，例如存贮罐，用于循环再利用（例如使用树脂或固化处理），或因为放射性液体的活度太高而不能立即向环境排放；
- (b) 为防止场址下游放射性核素浓度的潜在增加，用于监控低活度液态放射性废物排放的举措；
- (c) 高活度液态放射性废物的管理和控制，例如某些类型研究堆计划中的重大停堆可能产生的废物；
- (d) 放射性衰变的贮存规定，以尽量减少放射性物质的排放；
- (e) 在液态内容物排放之前，最好是在排放时，从贮液罐中采集代表性样品并实施监控的规定；

- (f) 按放射性（放射性核素半衰期、比活度）、组成（有机的和含水的废物、低和高含盐含水废物）和相态（离子交换树脂、污泥）分离液态废物的规定；
- (g) 必要时，对贮存废离子交换树脂和废液脱水作出规定；
- (h) 在液态废物收集管道中进行过滤的规定，以防止固体的排放；
- (i) 对所贮存的液体和泥浆进行混合和/或均质化的规定，以防止分层，并便于从存贮罐和存贮结构中收集有代表性的样品；
- (j) 避免液态废物混合而产生混合废物或产生不良化学反应（例如产生氢气）的规定。

6.97. 在设计核电厂或研究堆的设计中，固态放射性废物的管理应尽可能包括下列措施：

- (a) 废物分类的规定（即按质量、物理形态、体积、同位素组成和活度浓度）；
- (b) 低或极低活度水平的放射性固体废物（例如被污染的清洁设备、衣物、纸张和工具）的操作、包装和贮存的方法；
- (c) 中等活性水平的固态放射性废物（例如由离子交换树脂、通风过滤器及活性炭床产生的废物）的操作、包装及贮存方法；
- (d) 高活度水平的放固体废物（例如活化过的部件）的操作、包装和贮存的方法；
- (e) 操作和装载废物的区域和工具；
- (f) 辐射防护设备和工具；
- (g) 为确保核准实践中放射性物质的清洁解控，并在授权限值内排放的规定；
- (h) 避免可能产生混合废物的废物类型混合的规定。

6.98. 核电厂或研究堆及其相关废物管理设施的设计，应避免可能危及废物货包容或设施安全物料之间的相互作用。

6.99. 放射性废物的处置前管理也可能涉及非放射性有害物质的管理。应采取措施确保其管理符合有害物质相关的适用规定，并考虑到放射性和非放射性成分之间可能的相互作用。

6.100. 对于废物的整备，在废物货包的设计中，应考虑到并提供废物形态的所有相关特性。废物货包应提供足够的包容和屏蔽，并应有足够的散热性能。

6.101. 对于能产生热量的废物，在核电厂或研究堆及其相关设施的设计中，对于在处置前放射性废物管理的所有环节，无论是在运行状态（正常运行、预计运行事件）还是在事故工况下，应该包括一些系统（例如，温度监控和控制系统）使得能将废物的温度维持在可接受限值内。应根据废物和废物货包的属性确定此类限值，同时考虑在包括贮存在内的所有管理步骤中废物容器的材料属性、包容体的结构和废物形态。在实际可行的最大限度内，经过整备的高放废物贮存设施的冷却系统应该是非能动的，应当只需要最少的维护。如果使用强制循环冷却，冷却系统应该是高度可靠的和冗余（稳健）的。提高冷却系统可靠性特性的示例是处理固体沉降和表面积垢的能力，它们可能会影响换热效率。贮存设施本身应设计成能够在经受暂时失去冷却的事件时不会使所贮存废物受到损害。此外，应采取缓解或恢复措施来处理此类意外事件。

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。”

6.102. 原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-38 号《核装置建造》[56]提供了核电厂的建造导则。在 SSR-2/2 (Rev.1) [20]和原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-28 号《核电厂调试》[57]确定了核电厂调试的要求和建议。而在 NS-R-4[21]和原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-4.1 号《研究堆的调试》[58]确定了关于研究堆调试的要求和建议。

6.103. 对于模块化贮存系统，大部分调试工作将在第一个贮存模块投运时完成。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。然而，模块设计的变更可能需要对新的设计重复一些调试步骤[9]。

运行

GSR Part 5[4]要求 19：设施运行

“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。设施的运行须按照书面程序进行。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组织制订，则须经监管机构核准。”

6.104. 核电厂运行的要求在 SSR-2/2 (Rev.1) [20]规定，研究堆运行的要求在 NS-R-4[21]规定。应为核电厂或研究堆及其相关废物管理设施的正常运行和事故工况编写操作导则和程序。应准备好操作导则和程序，以便责任人在需要时随时可用。

6.105. 防止和限制与正常运行中产生的放射性废物相关照射的措施应包括：

- (a) 将现场工作人员和公众与放射性废物隔离的规定，包括进出控制规定，例如，根据放射性污染和辐射照射的可能性确定设施的位置；
- (b) 操作或移动废物（存放、回取或运离现场）时，进行辐射监控和目视视察的规定；
- (c) 液体溢流的探测、收集和处理规定；
- (d) 人员和设备的去污规定；
- (e) 处理因去污活动而产生的放射性废物的规定。

6.106. 营运组织应确保保证次临界相关的操作程序受到严格地评审，并与设计安全要求进行比较。这可能包括确认性分析和监管机构的评审。在该评审中应考虑的一些因素包括：

- (a) 拟贮存废物的类型和等级；
- (b) 保证次临界所必需的几何构型；
- (c) 次临界对中子吸收剂的依赖性；
- (d) 最佳慢化和反射的条件；
- (e) 废物形态和废物货包；
- (f) 装卸操作；

- (g) 异常操作的可能性；
- (h) 纵深防御分析。

6.107. 制定应急安排时应对防护和安全的考虑见原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-2.1 号《核或辐射应急准备的安排》[37]和第 GSG-2 号《核或辐射应急准备和响应中使用的标准》[38]。在制订应急安排时，营运组织应考虑如下事件，但不限于：

- (a) 操作系统故障，如严重的起重机故障或吊装物跌落；
- (b) 丧失安全相关的加工系统，例如供电、加工用水、压缩空气和通风等系统；
- (c) 爆炸，包括由辐照分解产生的气体积聚引起的爆炸；
- (d) 火灾，可能导致安全重要物项损毁；
- (e) 外部自然灾害，如极端天气条件和地震；
- (f) 车辆碰撞（例如叉车将屏蔽、安全设备或容器损毁）；
- (g) 违反贮存布置而造成的临界；
- (h) 安全系统、警报和预警系统故障；
- (i) 外部人为危害（飞机撞击或蓄意破坏及其他恶意行为）。

6.108. 无论是废物管理设施的运行经验和事件，还是外部的类似设施的运行经验和事件，均应以系统的方式收集、筛选、分析和/或评审。应通过建立适当的反馈程序，提出建议并加以执行。任何新的标准、法规或监管导则都应进行评审，以检查其对于该设施安全的适用性。应将这些反应用于废物管理设施的设计和运行。

运行限值和条件

6.109. 应根据下列情况建立运行限值和条件：

- (a) 设计规范、运行参数及调试试验结果；
- (b) 安全重要物项的敏感性，以及对涉及物项故障、特定事件的发生或运行参数变化的假想方案考虑；
- (c) 测量安全相关运行参数的仪器设备的准确性和刻度；

- (d) 考虑每个安全重要物项的技术规范，并确保在任何特定故障发生或重现时，这些物项仍可继续发挥其功能；
- (e) 需要安全重要物项起作用，以确保在运行状态下的安全，包括在维护期间；
- (f) 需要提供设备的技术规范书，以便对假想始发事件或事故工况作出全面和适当的响应；
- (g) 确保废物管理设施安全运行所需的最低人员配置。

6.110. 应持续评审运行限值和条件，并在必要时，根据国家监管框架对其进行修订，理由如下：

- (a) 鉴于运行经验；
- (b) 对设施和（或）放射性废物种类作出改造之后；
- (c) 作为定期评审设施的安全论证文件（包括作为定期安全评审的一部分）过程的一部分；
- (d) 在法律或监管条件发生相关变化时。

维护

6.111. 一般而言，维护时间表应根据安全评定的要求制定，并应考虑下列因素：

- (a) 根据以往经验或其他适用数据（如制造商的推荐）分析维护需求；
- (b) 与有技能人员、工具和材料（包括备件）可用性相关的工作计划；
- (c) 辐射防护和工业安全的监控计划；
- (d) 丧失包容功能的可能性；
- (e) 对现场其他运行设施的影响。

6.112. 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，应由具有适当资格和经验的操作人员执行。

辐射防护计划

6.113. 应将辐射防护计划落实到位，确保废物管理设施的区域按照放射性水平和受污染的可能性进行分区。该计划应包括设施内所有辐射风险得到

监控和控制，也包括确保对设施内工作人员的照射进行评定、记录、优化和并保持在剂量限值以下的规定。还应制订工作计划计划，以确保将剂量保持在合理可行尽量低的水平。

应急准备和响应的安排

6.114. 应制定和记录应急计划和程序并提供给相关人员。必要时，应根据过去的经验和在可能影响应急安排的任何变动之后，对该计划和程序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经过培训。应在定期演习中试验应急计划，必要时，将所获得的反馈纳入应急计划。管理系统应确保在应急情况下能够提供必要的设备、用品、通信系统和其他资源，并在需要时处于可用状态[36、37]。

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订放射性废物处置前管理设施关闭和退役的初始计划，并须在整个运行期间定期对其更新。须根据监管机构批准的最终退役计划实施设施的退役。此外，还须确保将为有效地实施关闭和退役提供足够的资金[4]。”

6.115. 关于退役的要求在 GSR Part 6[30]已经确定，并在 WS-G-2.1[34]提供了建议。按照 GSR Part 6[30]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) 确保在计划单一设施（对于多设施场址）时，考虑设施间的相互依存关系；
- (v) 有安全评定及环境影响评定的支持。

- (b) 编写并提交供监管机构批准的初始退役计划，以确定退役所选计划，论证其可行性，确保有足够的财务资源可用，并确定将要产生的废物种类和估计量；
- (c) 建立和执行一个综合管理系统，包括退役的所有方面，培育安全文化，并为满足营运组织的目标所需的安排和流程提供单一的框架；
- (d) 估计退役行动的费用，建立提供足够财务资源的机制，以支付相关费用，包括退役产生放射性废物的管理；
- (e) 进行辐射调查并取得相关辐射情况的资料，以提供基准数据；
- (f) 编写和保存与退役相关的适当记录和报告（例如事件的记录和报告）。

6.116. 核电厂或研究堆的退役计划应该考虑到可能存在的乏燃料和高放废物，还应该说明潜在的危害，包括可能导致工作人员接受高的外照射或内照射剂量或可能导致临界事故，以及非放射性危害。

6.117. 在废物管理设施的设计阶段，需要编写退役计划的初始版本[30]。

6.118. 在设施运行期间，应定期评审和更新初始退役计划，并就下列事项作出更全面的说明：

- (a) 退役方面的技术发展；
- (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进行修改；
- (d) 法规的修改和政府政策的变化；
- (e) 一旦反应堆被永久关闭后，可能在现场长期存放放射性废物，或按照运输要求将放射性废物运至授权的贮存或处置设施；
- (f) 可供选择的处置计划和废物处置的验收标准；
- (g) 基于特征数据和安全论证文件的更新，进行费用概算、财务规定和退役资金更新；
- (h) 确保为退役项目提供经适当培训的、合格的和能胜任的工作人员。

附录 I

申报为废物的废物货包和乏燃料管理中应考虑的关键属性和特性

表 1. 申报为废物的废物货包和乏燃料管理中应考虑的关键属性和特性

特性和特性	放射性废物*	未整备燃料	整备燃料
放射性数据：放射性核素的数量和类型，每种放射性核素的半衰期和活度、总活度含量、活度浓度水平、热输出	X	X	X
燃料数据：类型、功率历史、初始裂变含量、燃料和冷却时间		X	X
活度：放射性核素的 β - γ 和 α 活度对活度的主要贡献	X	X	X
临界安全：易裂变材料（如铀-233、铀-235、钚-239、钚-241）的几何构型、浓度和存量、中子毒物的存在和非临界性的证明（考虑到适当的安全裕度）	X	X	X
剂量率：表面和 1 米距离处的中子和 γ 剂量率	X	X	X
表面污染： β - γ 和 α 污染水平	X		X
热性能：热功率、热导率和预测最高温度（通过工程系统冷却或不冷却）		X	X

表 1. 申报为废物的废物货包和乏燃料管理中应考虑的关键属性和特性 (续)

特性和特性	放射性废物*	未整备燃料	整备燃料
物理性能: 密度、孔隙率、对水和气体的渗透性、热稳定性、均匀性和与基体的相容性、压缩应力下水的渗入或渗出百分比、收缩和固化、浸出性和腐蚀速率、抗拉强度、抗压强度和尺寸稳定性	X	仅密度	
化学性质: pH、主要化学物质和化合物、有毒物质和腐蚀性化合物	X	X	
废物和/或废物货包的质量: 总质量 (废物体和容器的质量, 如适用)	X	X	X
罐和/或容器的质量: 材料规范、皮重、尺寸、耐腐蚀性、盖和密封装置的特性、密封焊缝的质量、制造的材料认证、整备过程的质量保证记录、与废物体的相容性	X		X
废物货包的质量: 放射性核素在水介质中的扩散和浸出, 在标准大气条件或验收条件下的气体排放, 氡在标准大气条件或验收条件下的扩散, 放射性核素的固定和保留能力, 货包密封装置的水密性和气密性	X		
可堆垛性和搬运: 无变形可堆垛的货包数量, 货包结果起重货包的跌落试验和要求 (例如起重特性)	X		X

表 1. 申报为废物的废物货包和乏燃料管理中应考虑的关键属性和特性（续）

特性和特性	放射性废物*	未整备燃料	整备燃料
货包标签：唯一永久性标识	X		X
基体材料的质量：基体材料的认证和质量保证记录	X		X
废物体的质量分数：废物、固定材料和添加剂的分数	X		X
废物货包的坚固性：在温度循环下的行为、对高温的敏感性和在火灾中的行为、在长时间辐射照射条件下的行为、基质对水接触的敏感性、对微生物作用的抗性、在湿介质中的耐腐蚀性（对于金属容器）、孔隙率气密程度，由于气体内部积聚而膨胀的可能性	X		
货包稳定性：在相关大气或水溶液中的腐蚀和/或浸出行为、长期腐蚀数据、表面积的影响和放射性核素在相关水溶液中的溶解度		X	X

* 并非所有要素都是必需的；相关验收标准将定义所需的特定要素

附录 II

特定废物设施管理计划

II.1. 设施特定废物管理计划的内容应包括以下内容：

- (a) 设施内放射性废物产生过程的描述；
- (b) 对放射性废物流及废物最小化的描述；
- (c) 安全管理废物所需的限值和条件；
- (d) 废物类别及预计废物及废物库存的综合清单，包括历史废物和遗留废物；
- (e) 针对设施的废物管理原则和目标的定义；
- (f) 确定废物管理计划和相关步骤，以及废物管理步骤之间的相互依存关系；
- (g) 确定实施废物管理计划的资金在设施的整个生命周期内，包括其退役，以及可能长期贮存放射性废物；
- (h) 选择上述 (a)–(g) 项适当管理选项的正当性基础和国际良好实践；
- (i) 证明设施特定废物管理计划符合国家政策和战略；
- (j) 如有必要，证明安全论证文件如何受废物管理计划影响。例如作出废物存放期限比厂房初始设计的时间更长的决策会如何影响安全论证文件。

II.2. 废物管理计划应包括以下内容：

- (a) 通过使用恰当的技术，尽量减少放射性废物的产生，包括废物的类型、活度和体积；
- (b) 材料可能的再利用和回收；
- (c) 废物的适当分类、分离和维护每个放射性废物流的准确库存，同时考虑清洁解控、贮存和处置的计划；
- (d) 放射性废物的收集、表征及安全贮存；
- (e) 能够容纳预计产生的废物量的足够贮存容量，以及额外的备用贮存容量；
- (f) 确保放射性废物可在预计贮存期末通过适当的技术和程序进行回取；

- (g) 加工放射性废物以符合废物验收标准和运输要求，确保安全贮存、运输和处置；
- (h) 放射性废物及废物货包的安全处理和运输；
- (i) 对向环境排放废液的充分控制；
- (j) 监控污染源（废液排放）和监控环境，以证明符合法规；
- (k) 维护废物加工和贮存的设施和设备以确保运行安全可靠；
- (l) 在贮存点监控放射性废物货包内容物的状态；
- (m) 通过检查和定期分析监控放射性废物特性的变化，尤其是如果继续延长贮存期限；
- (n) 在必要时对现有的放射性废物加工方法进行创新或发展新的方法和技术；
- (o) 系统评价设施的运行经验和事件；
- (p) 以监控结果及运行经验反馈为基础实施纠正措施；
- (q) 应急准备和响应⁹；
- (r) 关注与计划制订相关的主要风险和不确定性，并评价该计划实施的影响。

⁹ 尽管废物管理计划中特别提到了应急准备和响应，但此类安排可能是整个设施总体应急安排的一部分。在这种情况下，废物管理计划应参考总体应急安排。

附录 III

核电厂和研究堆废物管理活动相关危害示例

表 2. 核电厂和研究堆废物管理活动相关危害示例

活动	放射性废物	特征	危害（辐射）	危害（非辐射）
核电厂 放射性气态和液态废物处理厂及其相关处理系统的正常运行、维护和退役	<p>固态废物：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 废离子交换树脂；筒式过滤器和预涂层滤饼；通风系统的微粒过滤器；木炭床；工具；受污染的金属废料；堆心部件；燃料组件或反应堆部件的碎片；受污染的抹布、衣物、纸张和塑料。 	<ul style="list-style-type: none"> • 主要是来自结构、慢化剂和冷却剂材料的活性固体； • 腐蚀产物； • 燃料引起的裂变产物污染。 	<ul style="list-style-type: none"> • 临界性； • 含 α 的材料； • 剂量率升高； • 提高活度水平； • 辐射剂量（内部/外部）。 	<ul style="list-style-type: none"> • 产生可燃气体或导致物理降解的放射分解或化学反应，或放热反应； • 热量产生（来自具有偶数质量数的铀和来自镅的量）；重金属毒性； • 环境影响

表 2. 核电厂和研究堆废物管理活动相关危害示例（续）

活动	放射性废物	特征	危害（辐射）	危害（非辐射）
	<p>废液：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 水冷反应堆中的主冷却剂和燃料贮存池中的水； • 反应堆冷却剂下泄、蒸发器浓缩物、设备排水管和地漏液体、洗衣废水、受污染的油和去污和维护产生的废物。 			
	<p>气态废物：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 冷却剂、慢化剂系统或反应堆本身（如燃料组件）泄漏； • 来自冷却剂脱气系统的气体； • 来自冷凝器真空空气喷射器或泵的气体； • 汽轮机轴封系统排气； • 活化或受污染的通风空气； • 贮存或处理操作中的乏燃料气体。 			

表 2. 核电厂和研究堆废物管理活动相关危害示例 (续)

活动	放射性废物	特征	危害 (辐射)	危害 (非辐射)
研究反应堆				
放射性气态和液态废物反应堆及其相关处理系统的正常运行、维护和退役	<ul style="list-style-type: none"> • 固态废物; • 辐照靶罐; • 使用过的辐照设备和反应堆部件 (如热电偶); • 中子束导管; • 使用的控制棒; • 水池服务产生的废物面积; • 通风系统废物 (木炭过滤器, 高效过滤器); • 废离子交换树脂; • 清洁材料和使用过的人用品防护用品; • 实验室废物 (手套、纸巾、纸张、一次性玻璃器皿等); • 污染物品维护和其他工作。 	<ul style="list-style-type: none"> • 主要是来自结构、慢化剂和冷却剂材料的活性; 提高活动浓度水平; • 腐蚀产物; • 燃料引起的裂变产物污染。 	<ul style="list-style-type: none"> • 含 α 的材料; • 剂量率升高; • 辐射剂量 (内部/外部)。 • 产生可燃气体或导致物理降解的放射分解或化学反应, 或放热反应; • 重金属毒性; • 环境影响。 	

表 2. 核电厂和研究堆废物管理活动相关危害示例（续）

活动	特征	危害（辐射）	危害（非辐射）
放射性废物	<p>废液：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 冷却水排放； • 一次系统排放的液体（轻水堆）； • 来自除盐水装置的液态废物； • 来自通风水系统排水管的液体； • 在维护操作中从大型设备排水中回收的脱盐废水； • 洗脸盆和淋浴液； • 地漏液体； • 实验室液体（可以是放射性或非放射性的）。 		
	<p>气态废物：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 池、冷却剂系统、辐照设施和实验设施中的气态放射性元素或化合物； • 辅助设施（包括通风柜和净化区）产生的空气中放射性物质。 		

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、联合国环境计划署、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《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）（准备修订中，将作为 GSR Part 2 发布）。
- [7] 国际原子能机构《核燃料循环设施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-41 号，国际原子能机构，维也纳（2016 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《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）。

- [10] 国际原子能机构《核电厂燃料装卸和贮存系统的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-1.4 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。（修订版编写中）
- [11] 国际原子能机构《研究堆堆芯管理和燃料装卸》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-4.3 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [12] 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）。
- [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《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）。
- [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）。
- [18] 国际放射防护委员会《用于长寿命固体放射性废物处置的辐射防护建议》，国际放射防护委员会第 81 号出版物，培格曼出版社，牛津和纽约（1998 年）。
- [19] 国际原子能机构《核电厂安全：设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/1（Rev.1）号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [20] 国际原子能机构《核电厂安全：调试和运行》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/2（Rev.1）号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [21] 国际原子能机构《研究堆的安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-R-4 号，国际原子能机构，维也纳（2005 年）。

- [22] 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）。
- [23] 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）
- [24] 国际原子能机构《核电厂放射性物质在空气和水中的扩散与场址评价中人口分布的考虑》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-3.2 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [25] 《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）。
- [26] 《研究堆安全行为准则》，IAEA/CODEOC/RR/2006，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [27] 国际原子能机构《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）。
- [28] 《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）。
- [29] 《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）。
- [30] 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）。
- [31] 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）。
- [32] 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）。
- [33] 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）。

- [34] 国际原子能机构《核电厂和研究堆的退役》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.1 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。（修订版编写中）
- [35] 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）
- [36] 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）。
- [37] 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）。
- [38] 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）。
- [39] 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）。
- [40] 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）。
- [41] 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）。
- [42] 国际原子能机构《核电厂安全分析报告的格式和内容》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-4.1 号，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。

- [43] 国际原子能机构《核电厂定期安全评审》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.10 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [44] 国际原子能机构《研究堆安全评定和安全分析报告的编写》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-20 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [45] 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）。
- [46] 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）。
- [47] 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）。
- [48] 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）。
- [49] 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）。
- [50] 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）。
- [51] 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）。
- [52] 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）。
- [53] 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）。
- [54] 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）。

- [55] 国际原子能机构《研究堆设计与运行中的辐射防护与放射性废物管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-4.6 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [56] 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）。
- [57] 国际原子能机构《核电厂调试》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-28 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [58] 国际原子能机构《研究堆的调试》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-4.1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

附件 I

核电厂或研究堆通用放射性废物管理系统示例

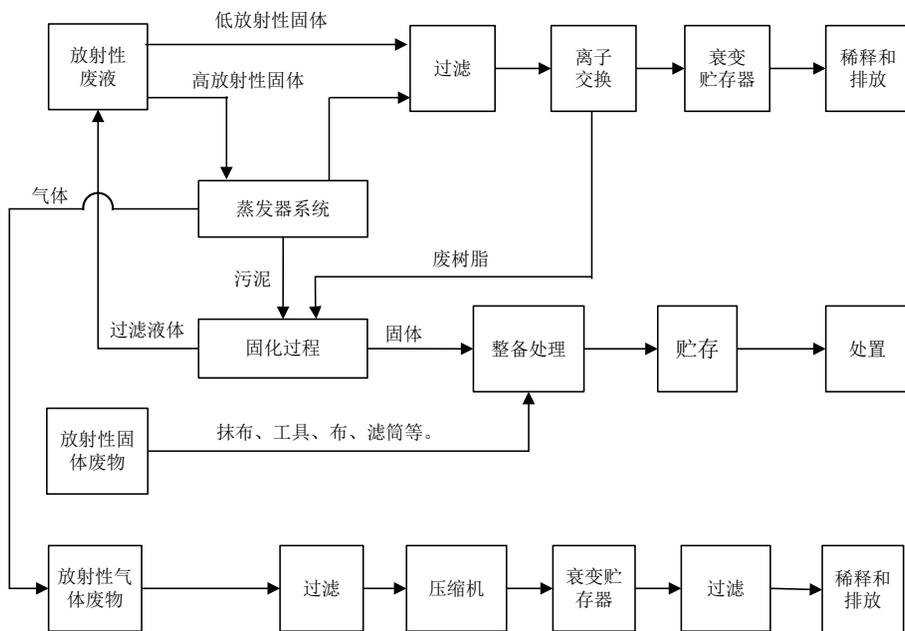


图 I-1. 核电厂或研究堆通用放射性废物管理（主要过程）流程图。图改编自 NUREG/CR1759¹。

¹ 尽管在废物管理计划中特别提到了应急准备和响应，但此类安排可能是整个设施总体应急安排的一部分。在这种情况下，废物管理计划应参考总体应急安排。

附件 II

压水堆放射性废物管理系统示例 (部分流动冷凝水精处理) 深层除盐装置

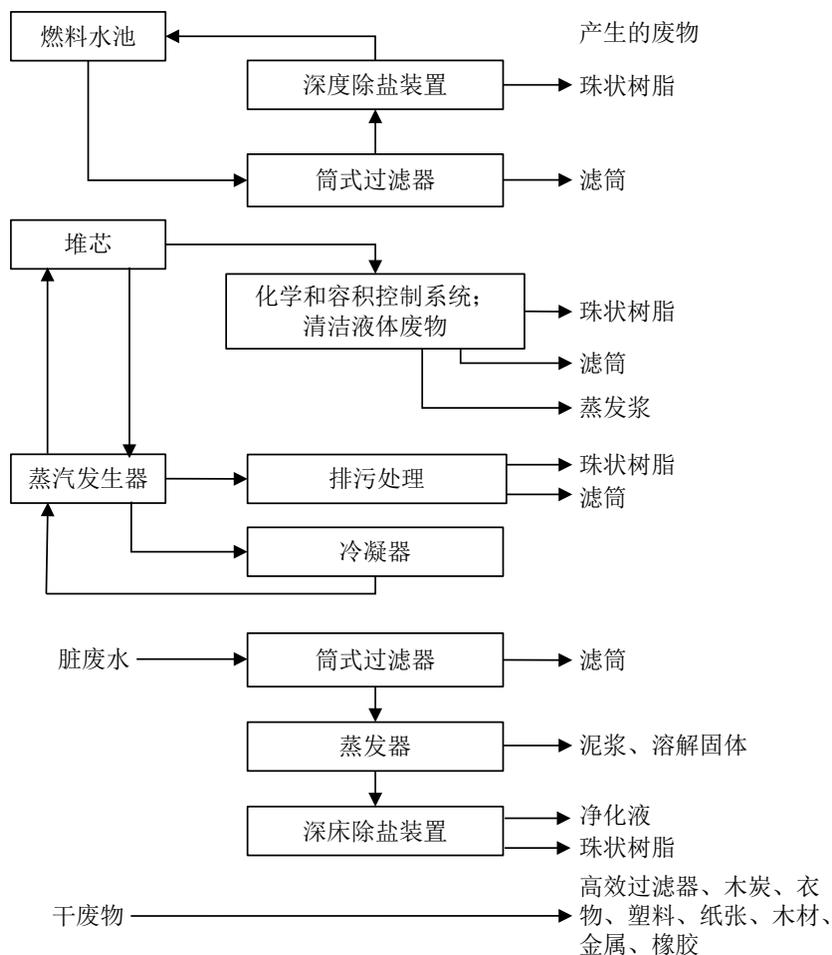


图 II-1. 压水堆放射性废物管理流程图示例 (部分流量冷凝水精处理)。

图改编自 NUREG/CR175¹。

¹ 核管制委员会《放射性废物管理数据库第 2 卷: 废物来源选择报告》,第 NUREG/CR1759 号, 华盛顿特区 (1981 年)。

参与起草和审订人员

Abu-Eid, B.	美国核管制委员会
Backelandt, L.	比利时联邦核管制局
Blundell, N.	英国核监管办公室
Boyden, F.	顾问（英国）
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
Lowman, D.	美国核管制委员会
Raicevic, J.	国际原子能机构
Selling, H.	荷兰经济事务部
Walker, J.	加拿大原子能有限公司

当地订购

国际原子能机构的定价出版物可从下列来源或当地主要书商处购买。
未定价出版物应直接向国际原子能机构发订单。联系方式见本列表末尾。

北美

Bernan / Rowman & Littlefield

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

世界其他地区

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商:

Eurospan Group

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

交易订单和查询:

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

单个订单:

www.eurospanbookstore.com/iaea

欲了解更多信息:

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

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至:

Marketing and Sales Unit
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
电话: +43 1 2600 22529 或 22530 • 传真: +43 1 26007 22529
电子信箱: sales.publications@iaea.org • 网址: <https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu>

通过国际标准促进安全

国际原子能机构
维也纳