

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

铀生产和其他活动产生的 含天然存在放射性物质 残留物管理

特定安全导则

第 SSG-60 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。

铀生产和其他活动产生的含天然存在放射性物质残留物管理

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	塞尔维亚
布基纳法索	肯尼亚	塞舌尔
布隆迪	大韩民国	塞拉利昂
佛得角	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
芬兰	荷兰王国	越南
法国	新西兰	也门
加蓬	尼加拉瓜	赞比亚
冈比亚	尼日尔	津巴布韦
	尼日利亚	
	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-60 号

铀生产和其他活动产生的含天然 存在放射性物质残留物管理

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（日内瓦）通过并于 1971 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。可以获得许可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。请见 www.iaea.org/publications/rights-and-permissions 了解详情。垂询可致函：

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>

© 国际原子能机构，2024 年
国际原子能机构印刷
2024 年 7 月·奥地利

铀生产和其他活动产生的含天然存在放射性物质残留物管理

国际原子能机构，奥地利，2024 年 7 月

STI/PUB/1883

ISBN 978-92-0-526223-9（简装书：碱性纸）

978-92-0-526023-5（pdf 格式）

EPUB 978-92-0-526123-2

ISSN 1020-5853

前 言

拉斐尔·马里亚诺·格罗西总干事

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构“制定……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”。这些是原子能机构必须适用于其自身业务而且各国可以通过其国家法规来适用的标准。

原子能机构于 1958 年开始实施其安全标准计划，此后有了许多发展。作为总干事，我致力于确保原子能机构维护和改进这套具有综合性、全面性和一致性的、与时俱进的、用户友好的和适合目的的高质量安全标准。在利用核科学和技术的过程中正确地适用这些标准将为全世界的人和 environment 提供高水平的保护，并为持续利用核技术造福于所有人提供必要的信心。

安全是得到许多国际公约支持的一项国家责任。原子能机构的安全标准奠定了这些法律文书的基础，而且是有助于各方履行各自义务的全球基准。虽然安全标准对成员国没有法律约束力，但它们被广泛适用。对已在国家法规中采用这些标准以加强核能发电、研究堆和燃料循环设施中以及医学、工业、农业和研究领域核应用中的安全的绝大多数成员国而言，它们已成为不可或缺的基准点和共同标准。

原子能机构的安全标准以原子能机构成员国的实际经验为基础，并通过国际协商一致产生。各安全标准分委员会、核安保导则委员会和安全标准委员会成员的参与尤其重要，我向所有为这项工作贡献自己的知识和专长的人表示感谢。

原子能机构在通过评审工作组访问和咨询服务向成员国提供援助时，也使用这些安全标准。这有助于成员国适用这些标准，并使得能够共享宝贵经验和真知灼见。在安全标准的定期修订过程中，会考虑到这些工作组访问和服务的反馈，以及从使用和适用安全标准的事件和经历中汲取的教训。

我相信，原子能机构安全标准及其适用将为确保在使用核技术时实现高水平安全作出宝贵的贡献。我鼓励所有成员国宣传和适用这些安全标准，并与原子能机构合作，在现在和将来维护其质量。

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）、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。

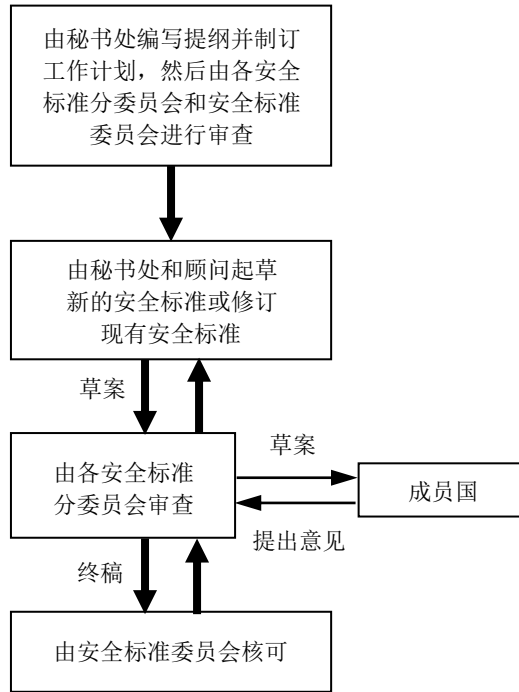


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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

安全和核安保相关术语应理解为《国际原子能机构核安全和核安保术语》（见 <https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary>）中的术语。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).....	3
范围 (1.11-1.18).....	3
结构 (1.19, 1.20).....	5
2. 天然存在放射性物质活动和天然存在放射性物质残留物 (2.1-2.8).....	5
3. 政府、法律和管理安全框架.....	10
政府的责任 (3.1-3.11).....	10
监管机构的责任 (3.12-3.22).....	13
营运组织的职责 (3.23-3.30).....	14
4. 保护人类与环境.....	15
概述 (4.1-4.6).....	15
计划照射情况 (4.7-4.16).....	16
应急照射情况 (4.17-4.20).....	18
现存照射情况 (4.21-4.23).....	19
保护环境 (4.24, 4.25).....	20
非放射性考虑因素 (4.26, 4.27).....	20
5. 监管系统.....	21
概述 (5.1, 5.2).....	21
供监管考虑的天然存在放射性物质设施和活动清单 (5.3-5.6).....	22
分级监管方法 (5.7-5.40).....	22
财务规定 (5.41-5.45).....	30
相关各方 (5.46-5.49).....	31
管理系统 (5.50-5.57).....	32
6. 天然存在放射性物质残留物管理策略.....	34
概述 (6.1-6.8).....	34
残留物管理计划的制定和实施 (6.9-6.14).....	35
残留物产生控制 (6.15-6.17).....	37
加工 (6.18-6.27).....	37
再利用和再循环 (6.28, 6.29).....	39
残留物贮存和回取 (6.30, 6.31).....	39
天然存在放射性物质残留物长期管理的计划 (6.32-6.39).....	40

7. 天然存在放射性物质残留物管理的安全论证文件与安全评定	41
概述 (7.1-7.13).....	41
安全评定范围 (7.14-7.16).....	43
执行安全评定 (7.17-7.25).....	45
安全评定的分级方法 (7.26-7.31).....	47
安全论证文件和安全评定的文件化 (7.32-7.34).....	48
定期安全评审 (7.35).....	48
8. 天然存在放射性物质残留物长期管理的安全考虑	49
概述 (8.1-8.5).....	49
选址 (8.6-8.8).....	50
设计与建造 (8.9-8.14).....	51
运行 (8.15-8.20).....	53
设施的退役和设施的关闭 (8.21-8.36).....	54
长期管理与有组织控制 (8.37-8.44).....	57
监控和监视 (8.45-8.54).....	58
附录 I 铀生产残留物特殊考虑.....	61
附录 II 铀生产残留物管理计划.....	67
附录 III 某铀生产场址尾矿管理设施的关闭计划.....	69
参考文献.....	71
书目.....	75
附件 I 为监管控制评定的天然存在放射性物质残留物示例.....	77
附件 II 天然存在放射性物质残留物取样和放射性核素活度浓度测定	79
附件 III 分级方法在天然存在放射性物质残留物管理中的应用示例.....	84
附件 IV 天然存在放射性物质残留物再利用和再循环	87
参与起草和审订人员.....	91

1. 引言

背景

1.1. 天然产生的放射性核素普遍存在于环境中，在一些地质构造中，放射性核素已足够集中，可用于生产铀。铀生产，包括作为原生或次级矿物放射性残留物开采、加工和管理，长期以来一直被认为需要监管。然而，在涉及加工其他矿物设施和活动中也有大量天然产生的放射性核素。这些天然产生的放射性核素可能存在于原料和加工这些其他矿物过程产生残留物中。

1.2. 放射性物质是指国家法律或监管机构指定的因其放射性而受监管的物质[1]。天然存在放射性物质（NORM）是指不含大量除天然存在放射性核素外的其他放射性核素的放射性物质，“大量”的确切定义将由监管机构决定[1]。通过某种过程改变了其中天然产生的放射性核素活度浓度的物质也视为天然存在放射性物质[1]。天然存在放射性物质残留物是指加工过程中残留下来的含有天然存在放射性物质或被其污染的物质。天然存在放射性物质废物被定义为无法进一步利用的天然存在放射性物质[1]。在本“安全导则”，天然存在放射性物质残留物和天然存在放射性物质废物可以是固态或液态形式，并可能排放放射性气体。本“安全导则”使用术语“天然存在放射性物质活动”来描述相关天然存在放射性物质残留物管理的设施和活动。

1.3. 天然存在放射性物质残留物可对工作人员、公众和环境产生放射性影响。原子能机构《安全标准丛书》第 SF-1 号《基本安全原则》[2]确立的基本安全目标是“保护人类和环境免受电离辐射的有害影响”。因此，如原子能机构《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》[3]规定，有必要制定一个政府、法律和管理框架，以控制天然存在放射性物质残留物。

1.4. 铀生产活动通常作为核燃料循环的一部分而受到监管。然而其他天然存在放射性物质活动产生残留物（可能被回取、用于其他用途或作为废物处置）过去并未受到适当的监管，尽管其中含有的放射性核素水平现在可能会引起辐射安全问题。

1.5. 天然存在放射性物质残留物，特别是采矿和选矿产生残留物，不同于核电厂或医疗设施等产生的放射性残留物。这种天然存在放射性物质残留物可能具有非常大的体积，但往往含有相对低活度浓度的放射性核素。这对天然存在放射性物质残留物管理有重要的影响，包括选址和工程方案。在某些情况下，天然存在放射性物质残留物可能含有活度浓度较高的放射性核素，但通常体积较小¹。

1.6. 原子能机构的各种《安全标准丛书》出版物都与天然存在放射性物质和天然存在放射性物质残留物相关，其中包括：

- (a) 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》[3]；
- (b) 原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 3 号《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》[4]；
- (c) 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》[5]；
- (d) 原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 5 号《放射性废物的处置前管理》[6]；
- (e) 原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 6 号《设施退役》[7]；
- (f) 原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-5 号《放射性废物处置》[8]；
- (g) 原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 (Rev.1) 号《放射性物质安全运输条例》（2019 年版）[9]；
- (h) 原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 7 号《核或辐射应急准备与响应》[10]；
- (i) 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》[11]；
- (j) 原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-7 号《职业辐射防护》[12]；
- (k) 原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-9 号《放射性流出物排入环境的监管控制》[13]；
- (l) 原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-15 号《受过去活动或事件影响地区的治理策略和过程》[14]；

¹ 天然存在放射性物质残留物体积可从不足 1 立方米到数百万立方米不等。

- (m) 原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-32 号《保护公众免受氡和其他天然辐射源所致室内照射》[15]；
- (n) 原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-31 号《放射性废物处置设施的监控和监视》[16]。

1.7. 原子能机构还出版了一些安全报告，其中包含关于特定工业（涉及矿物和原材料、石油和天然气、锆石和氧化锆、稀土加工、二氧化钛和相关工业以及磷酸盐工业的工作）天然存在放射性物质的实用信息。参考文献[17—22]列出了与天然存在放射性物质残留物管理相关的其他出版物。

1.8. 本“安全导则”取代原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-1.2 号，即 2002 年发布的《矿石开采和冶炼中放射性废物的管理》²。

1.9. 本“安全导则”使用的术语应按照原子能机构《安全术语》[1]定义和解释来理解。

目的

1.10. 本“安全导则”的目的是向监管机构、营运组织、技术支持组织和其他相关各方提供建议，说明如何按照分级方法安全管理铀生产和其他天然存在放射性物质活动产生的天然存在放射性物质残留物。这些建议旨在满足 GSR Part 3[4]为保护现在和将来的人类和环境而确立的相关要求。

范围

1.11. 本“安全导则”涉及与各种天然存在放射性物质残留物相关的放射性危害和风险管理。它涉及铀生产和产生大量天然存在放射性物质残留物其他天然存在放射性物质活动（如采矿和选矿的尾矿）产生的放射性残留物。本“安全导则”还涉及产生相对小体积天然存在放射性物质的活动，如污泥和残渣。尽管管理这些危害和风险的基本原则是相似的，但管理这一范围广泛物质的方案必然是有较大差异的。

² 国际原子能机构《矿石开采和冶炼中放射性废物管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-1.2 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。

1.12. 本“安全导则”涵盖天然存在放射性物质残留物管理设施的整个寿期，包括设施的选址、建造、运行、退役、关闭、关闭后和有组织控制期。天然存在放射性物质残留物管理设施可以是用于处理、贮存和/或长期管理天然存在放射性物质残留物设施，包括天然存在放射性物质废物永久处置设施。

1.13. 本“安全导则”确定了组织和法规要求（包括豁免和解控以及再利用和回取）。它包括关于对涉及天然存在放射性物质的设施和活动进行筛选评定和必要时进行安全评定的建议，包括那些应提交正式安全论证文件的设施和活动（例如铀生产尾矿的管理）。

1.14. 本“安全导则”为监管机构提供建议，以确定应对哪些设施和活动进行天然存在放射性物质残留物管理进行监管控制。

1.15. 本“安全导则”主要针对作为计划照射情况的天然存在放射性物质残留物管理（即包括残留物产生、再利用和再循环、长期管理和处置）。它也适用于天然存在放射性物质设施退役产生残留物。

1.16. 本“安全导则”不涉及因过去的实践而被残留放射性物质污染的地区的治理活动。GSR Part 3[4] 规定了对这些地区的治理要求，GSG-15[14]提出了进一步的建议。

1.17. 本“安全导则”旨在解决新设施的问题，然而，也设计现有设施的评审和升级。将本“安全导则”所有建议应用于现有设施可能不现实，在这种情况下，监管机构应决定在多大程度上应用这些建议。根据国家政策应采取适当步骤评审现有设施，并在合理可行的情况下，根据本“安全导则”的建议改进防护和安全规定。

1.18. 天然存在放射性物质残留物中含有的放射性核素并不是唯一的潜在危害。许多天然存在放射性物质残留物中的化学成分也可能对人类和环境造成伤害，可能有必要通过环境法规或职业健康和安全法规实施控制。这些化学成分包括重金属、无机元素（如砷）、酸和各种有机化合物。在计划天然存在放射性物质残留物管理时，需要考虑此类物质造成有害影响的可能性。虽然非放射性危害不在本“安全导则”的范围内，但监管机构特别需要考虑，因为在许多情况下，非放射性危害是对人类和环境的主要风险。对监

管机构来说，采取一致的监管和综合方法来防范这些不同的危害是一项挑战。

结构

1.19. 第 2 部分概述了天然存在放射性物质活动和天然存在放射性物质残留物；第 3 部分是关于天然存在放射性物质残留物安全管理的政府、法律和监管框架的建议；第 4 部分是关于保护人类和环境的建议；第 5 部分是关于监管控制过程的建议；第 6 部分是关于天然存在放射性物质残留物管理策略的建议；第 7 部分是关于开发安全论证文件和辅助安全评定的建议；第 8 部分是天然存在放射性物质残留物长期管理设施的整个生命周期（从选址到长期有组织控制）应关注的问题。

1.20. 本出版物包含 3 个附录和 4 个附件。附录 I 提供了关于管理铀生产残留物特殊考虑因素的资料；附录 II 提供了铀生产残留物管理计划；附录 III 提供了关于铀生产场址尾矿管理设施关闭计划的建议。附件 I 提供了经评定后认为需要监管控制的天然存在放射性物质残留物示例；附件 II 提供了关于取样天然存在放射性物质残留物和确定放射性核素活度浓度的资料；附件 III 提供了一个在管理天然存在放射性物质残留物方面应用分级方法的示例；附件 IV 提供了关于天然存在放射性物质残留物再利用和再循环的资料。此外，书目提供了与天然存在放射性物质残留物管理相关的出版物清单。

2. 天然存在放射性物质活动和天然存在放射性物质残留物

2.1. GSR Part 3[4]第 3.4 段指出（脚注略）：

“一般而言，天然原因造成的照射被认为是一种现存照射情况，须遵守对[现存照射情况]要求。但是，计划照射情况的相关要求适用于下列情况：

- (a) 在任何实践中……由于物质中铀衰变链或钍衰变链中的任何放射性核素的活度浓度大于 1 贝可/克或钾-40 的活度浓度大于 10 贝可/克；

(b) 由于排放或管理相关上文 (a) 所述物质的活动而产生的放射性废物而引起的公众照射”。³

2.2. 第 2.1 段规定的要求不适用于肥料、土壤改良剂或建筑材料（或其组成部分）中或在环境中作为残留放射性物质存在的天然存在放射性物质残留物。在所有这类情况下，对现存照射情况的要求均适用，而不论其活动浓度如何（见 GSR Part 3[4]第 5.1 段）。然而，就计划回收天然存在放射性物质残留物（包括将残留物回收到建筑材料中）的活动而言，最佳保护策略可能包括将其视为计划照射情况。

2.3. 除铀生产外，其他天然存在放射性物质活动也产生可能引起监管关注的天然存在放射性物质残留物。这包括以下行业部门⁴ [17]:

- (1) 稀土元素萃取;
- (2) 钍及其化合物生产和使用;
- (3) 钽、铌、铌铁的生产;
- (4) 铀矿石以外矿石的开采;
- (5) 石油和天然气的生产;
- (6) 钛白粉颜料制造;
- (7) 磷酸盐工业;
- (8) 锆石和氧化锆工业;
- (9) 锡、铜、铝、锌、铅、钢铁生产;
- (10) 煤的燃烧;
- (11) 水处理。

2.4. 表 1 概述了铀生产和其他工业活动产生的天然存在放射性物质残留物。附件 I 提供了可能引起监管关注的天然存在放射性物质残留物典型特征的更多细节。不同来源残留物在放射性、化学和物理特征方面可能有很大差异。表 1 和附件 I 中的信息包括大多数行业部门和需要考虑的天然存在放

³ GSR Part 3[4]第 3.4 (a) 段的标准代表了正常土壤中活度浓度的上限（按数量级计算）。

⁴ 这份清单并非详尽无遗。引起监管关注的天然存在放射性物质残留物也可能来自其他部门，如钾肥工业、地热能使用、矿物含量高的深水使用、石灰石加工和页岩气生产。

放射性物质残留物，然而，天然存在放射性物质残留物也可能出现在其他待确定的工业活动中。

2.5. 在天然存在放射性物质活动产生的不同残留物中，那些大量产生残留物（数百万吨）的安全管理是最大的挑战。虽然这些残留物含有活度浓度相对较低的放射性核素，但它们产生的体积非常大，含有寿命长的放射性核素和（通常含有）其他有害物质，如重金属。这类大量残留物包括铀矿开采的废石、选矿尾矿、磷石膏、氧化铝加工的赤泥和粉煤灰。

表 1. 不同工业活动产生的天然存在放射性物质残留物类型

工业活动	大体积残留物					中小体积残留物			
	尾矿	废岩石	液体	炉渣	残渣	污泥/ 过滤器	除尘器 粉尘	中间产物	
常规铀生产	×	×	×		×	×	×		
堆浸采铀	×	×	×		×	×			
地浸采铀			×		×	×			
稀土元素萃取	×		×		×	×	×		
钍及其组分的生产和使用	×				×	×		钍化合物 和精矿	
钽铌铀铁生产	×			×		×	×	焦绿石精 矿	
铀矿石以外矿石的开采	×	×	×		×	×			

表 1. 不同工业活动产生的天然存在放射性物质残留物类型 (续)

工业活动	大体积残留物					中小体积残留物				
	尾矿	废岩石	液体	炉渣	残渣	污泥/过滤器	除尘器粉尘	中间产物		
石油和天然气生产			×		×	×				
钛白粉颜料的研制	×		×		×	×				
磷酸盐和钾肥工业	磷石膏			热生产	×	×	×			
锆英石和氧化锆工业							×	熔融氧化锆		
锡、铜、铝、锌、铅、铁和钢的生产	赤泥			锡和铜冶炼		×	×			
煤的燃烧	粉煤灰				×					
水处理与地热能利用					×	×				

2.6. 有些残留物可能体积相对较小，但活度浓度相对较高，例如：

- (a) 在石油和天然气生产、富含镭流入水的煤炭生产、地热能利用和稀土生产中，管道或加工容器中积聚的水垢和污泥；
- (b) 电解沉积过程产生的阳极泥；
- (c) 沉淀的冶炼粉尘；
- (d) 稀土萃取残留物（如氢氧化钍）；
- (e) 去污过程产生残留物；
- (f) 受污染的设备 and 加工过滤器。

2.7. 用于处理或加工含有天然存在放射性物质的工厂和设备，如管道、阀门、加工容器、泵和机械，可能会受到天然存在放射性物质残留物污染，在运行期间，尤其是在退役期间，可能会引起关注。这些残留物往往含有废金属，也需要适当的管理（见附件 IV）。

2.8. 各类工业活动也会产生液态残留物，并且在某些情况下是大量产生的，包括：

- (a) 加工用水；
- (b) 浸滤液；
- (c) 降雨径流（来自加工厂区、残留物管理区、残留物和矿石库存）；
- (d) 加工尾矿、堆场和废石管理区渗漏；
- (e) 矿井水（如进入露天坑或地下矿井的地下水）。

3. 政府、法律和管理安全框架

政府的责任

3.1. GSR Part 1 (Rev.1) [3]要求 1 规定：

“政府应制定一项国家安全政策和战略，其执行应根据国情和与设施和活动相关的辐射风险采取分级方法以实现基本安全目标，并适用《安全基本原则》中确立的基本安全原则。”

3.2. 对于天然存在放射性物质残留物安全管理，政府应制定适合国情的政策和战略。政策和战略应承认现有的政府、法律和监管框架，促进分级管理方法，进一步确定可能需要监督的行业，并协调天然存在放射性物质残留物管理的总体方法。政策和战略应反映并符合 SF-1[2]规定的原则和本“安全导则”第 4—8 部分规定的建议。

3.3. 管理天然存在放射性物质残留物政策和战略应与开展产生标准残留物活动的国家政策和战略相一致。这些政策和战略应共同处理对天然存在放射性物质残留物产生的控制，并鼓励在安全和适当的情况下对天然存在放射性物质残留物进行再利用和再循环。第 6 部分进一步阐述了天然存在放射性物质残留物再利用和再循环（即作为残留物管理计划），附件 IV 提供了关于这些计划应用情况的更多信息。

3.4. 天然存在放射性物质残留物管理的政策和战略还应考虑到国家安全、非放射性废物管理和放射性废物管理的政策和战略。各国可选择将天然存在放射性物质残留物管理战略的关键要素纳入其国家政策、法律框架和监管文书。在这种情况下，可能没有必要制定单独的天然存在放射性物质残留物管理国家战略。

3.5. 政府在制定和执行政策和战略，包括建立监管制度时，应考虑公众参与的必要性和程度，以及相关政府组织之间的协调。增加与公众的磋商是许多国家授权过程的一个特点，然而，做监管决定的责任仍在监管机构。

3.6. 为了能够监督天然存在放射性物质活动，政府应首先确定哪些行业在国家范围内处理天然存在放射性物质和/或产生天然存在放射性物质残留物。然后，政府应确定监管机构或适合这些行业的其他部门，以监督天然存在放射性物质活动。如果有多个活动或行业则可能涉及不止一个监管机构或部门。

3.7. 根据 GSR Part 1 (Rev.1) [3]要求 3 和 4，政府必须建立和维持一个有效独立的监管机构，该机构有能力和足够的资源（人员和财务）来适当监督设施和活动的安全。对于没有参与监管放射源的监管机构来说，可能需要与具有相关辐射防护专门知识的其他机构或组织合作。

3.8. 政府应协调建立一个适当的国家清单，记录新的和现有天然存在放射性物质活动产生的大量天然存在放射性物质残留物。在可能的情况下，从

以往实践中查明残留物（即那些需要作为残留物管理国家战略的一部分考虑残留物）也应列入清单。

3.9. 如果没有现行法律，政府应制定法律使监管机构能够对天然存在放射性物质活动保持有效监督。这类法律应涉及 GSR Part 3[4]相关要求，并应包括授权设施和活动以及在需要时由营运组织设立财务资源的规定。第 5 部分对财务资源作了更详细的说明。

3.10. 对于铀生产等活动，有效的法律将做到以下几点：

- (a) 制定残留物管理的要求和/或安全标准，包括长期安全要求和/或安全标准，以及在预计没有进一步用途时将工厂尾矿和其他残留物作为废物处置的要求和/或安全标准；
- (b) 未经监管机构许可证，禁止开展产生或贮存残留物和废物活动；
- (c) 使监管机构能够特定规定许可证所附的条件；
- (d) 将不遵守许可证条件定为犯罪行为，须采取执法行动；
- (e) 要求在许可证申请时提供资料及任何相关费用；
- (f) 要求营运组织编写残留物和废物管理计划；
- (g) 要求为相关的退役、治理、关闭和有组织控制活动提供财务资源；
- (h) 运行的重大变化需要监管机构的核准；
- (i) 在任何许可证被放弃或转让给另一方之前，需要得到监管机构的核准；
- (j) 必要时允许监管机构进入该设施进行视察和测量。

对于其他天然存在放射性物质活动，法律和监管工作应与风险相匹配，并应考虑到现有的法律和控制制度。在某些情况下，关于工作场所健康和 安全以及环境保护的现行法规可能已经提供了充分的辐射防护，因此，对于此类天然存在放射性物质活动，可能没有必要进一步制定专门的辐射防护法律。

3.11. 鉴于相关行业的范围，政府的几个不同部门可能会对天然存在放射性物质活动负有责任，而且可能会适用几项法律。为了有效和高效的监管，必须通过不同机构之间的行政协定或谅解备忘录等文书界定和正式协调责任。这种协调可以通过一个监管机构代替政府协调多个行业的监管监督来实现。更常见的是有多个监管机构同时监管。在这种情况下，应确保监管要求和任何许可证授权条件是适当一致的。

监管机构的责任

3.12. 对于涉及天然存在放射性物质的计划照射情况，如 GSR Part 3[4]要求 12 规定：“政府或监管机构应制定职业照射和公众照射的剂量限值，[营运组织]应采用这些限值。”

3.13. 此外，如 GSR Part 3[4]第 3.22 (c) 段指出（脚注略）：

“政府或监管机构：……应酌情建立或核准对剂量和风险的限值，或建立或核准制定此类限值的程序用于防护和安全的最优化。”

3.14. 监管机构还必须根据 GSR Part 1 (Rev.1) [3]要求 25、27 和 31 的规定，监督许可证所规定条件的遵守情况，并酌情评审和评定视察和执法活动的结果。

3.15. 监管机构应制定法规或导则，以豁免实践和源、解控物质和解除场址的监管控制，并应制定此类场址的最终国家标准。监管机构应监督营运组织的退役计划、天然存在放射性物质残留物和废物管理计划以及酌情监督关闭计划的执行情况（包括任何有组织控制或长期监控），以核实在达到最终状态标准方面正在取得进展。

3.16. 监管机构还负责制定关于执行监管要求和授权程序的指导意见（见 GSR Part 1 (Rev.1) [3]第 2.5 (9) 段和第 4.34 段）。监管机构还应就监管评审和评定、运行监督以及对设施关闭或退役的监督制定指导方针。作出监管决定的过程应当透明、独立和正当，这样，如果一项决定受到质疑，监管机构就可以解释是如何作出决定的。

3.17. 通过执行以既定的国家政策、战略和法律为基础的监管标准，监管机构应查明哪些设施或程序需要正式的监管控制，哪些设施或程序更适合提供最佳实践指导。监管机构的一个关键作用是确定哪些涉及天然存在放射性物质或天然存在放射性物质残留物设施和活动可能受到法律要求的约束，并就法规的范围和适用性向工业活动提供指导。这将导致本“安全导则”第 5 部分所述的通知和评定过程。铀生产设施可能已经熟悉监管框架，但这一指导对于其他天然存在放射性物质活动来说是重要的。

3.18. 监管机构应考虑一项外联方案，与涉及天然存在放射性物质残留物营运组织进行沟通，使这些营运组织意识到管理和辐射防护的潜在需要。外

联方案还应鼓励营运组织和监管机构之间共享数据，并应包括与工作人员以及酌情与公众进行沟通。

3.19. 监管机构应鼓励酌情根据国家法律和法规对天然存在放射性物质残留物进行再利用和再循环（而不是作为废物进行管理），前提是残留物能够满足相关的安全标准，而且可以解除进一步的监管控制。

3.20. 监管机构应确保保持必要的技术专门知识，以评价产生和管理天然存在放射性物质残留物过程和活动。

3.21. 监管机构应确保营运组织保存相关任何产生、处理、加工或贮存天然存在放射性物质残留物设施的相关记录，特别是在长期管理的情况下。监管机构应确保营运组织按照第 GSR Part 1 (Rev.1) [3]第 2.13 段和 GSR Part 3[4]第 2.45 段的要求，允许其进入该设施和获得与安全相关的信息。

3.22. 监管机构应评定视察、监查和定期重新评定天然存在放射性物质残留物清单和环境监控数据的必要性。

营运组织的职责

3.23. 营运组织负责天然存在放射性物质活动安全的所有方面，包括保护工作人员、公众和环境，在天然存在放射性物质设施或活动的整个寿期（包括退役、关闭期间）内，免受与天然存在放射性物质残留物相关的任何危害。

3.24. 根据 GSR Part 3[4]要求 7，营运组织必须将开展天然存在放射性物质活动的意图通知监管机构。因此，营运组织必须根据 GSR Part 3[4]第 3.14 段将可能增加职业照射或公共照射的任何情况或变化通知监管机构。

3.25. 根据第 GSR Part 1 (Rev.1) [3]第 2.13 段、GSR Part 3[4]第 2.45 段，营运组织必须向监管机构提供进入该设施和获得与安全相关的信息的机会。

3.26. 根据 GSR Part 1 (Rev.1) [3]要求 6，营运组织必须遵守所有法律和监管要求，对于一些需要许可证的设施和活动（见第 5 部分），这些要求将包括在开发场址之前收集基准数据，准备安全论证文件，并支持与选址、设计、建造、调试、运行、退役或关闭以及关闭后相关的安全评定（见第 7 部分）。

3.27. 营运组织负责制定天然存在放射性物质残留物管理计划。

3.28. 营运组织负责建立和实施适当的包含辐射防护要求的管理系统，与天然存在放射性物质残留物相关的设施和活动的复杂性和风险相匹配的程度。管理系统应符合原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 2 号《安全的领导和管理》[23]要求。

3.29. 通过设计措施、程序和过程，营运组织应确定并实施措施，以最大限度地减少天然存在放射性物质残留物和天然存在放射性物质废物流量。例如，可以通过提高加工效率或通过天然存在放射性物质残留物再利用和再循环来实现。

3.30. 在适用的情况下，营运组织应酌情保持残留物管理和设施退役或关闭的最新计划。这些计划应考虑到整个设施寿期内的资金供应情况，包括如何达到最终状态标准，这也将为任何必要的财务资源机制提供基础。

4. 保护人类与环境

概述

4.1. 基本安全目标是保护人类和环境免受电离辐射的有害影响[2]，这将通过遵守 GSR Part 3[4]建立的要求来实现。鉴于各种天然存在放射性物质活动产生的天然存在放射性物质残留物种类繁多，在天然存在放射性物质残留物管理方面，必须采取分级的防护和安全方法。也就是说，所采取的保护措施应与照射的程度、可能性和风险水平相匹配。

4.2. 天然存在放射性物质残留物管理的监管框架是基于 GSR Part 3[4]规定的要求。实践或源可以豁免 GSR Part 3[4]部分或全部要求。关于天然存在放射性物质，GSR Part 3[4]第 I.4 段指出（脚注略）：

“对于天然来源的放射性核素，必须根据特定情况，使用 1 毫希沃特每年的剂量标准，根据天然本底放射性水平的典型剂量，考虑对大量物质的豁免。”

4.3. 天然存在放射性物质残留物管理是 GSR Part 3[4]所定义的设施和活动管理的一个示例。因此，辐射防护考虑遵循正当性、最优化和（在计划的

照射情况下)剂量限值的原则。对于拟议新天然存在放射性物质活动,应在对可能影响天然存在放射性物质残留物产生的程序进行修改之前以及在许可证续期期间应用正当性原则。

4.4. 在天然存在放射性物质残留物管理中,需要培养和维持一种鼓励持续改进的安全文化,以及对防护和安全的质疑和学习态度(见 GSR Part 2[23] 要求 12)。

4.5. 应根据监管机构颁发的许可证,对天然存在放射性物质设施和活动向环境排放的放射性物质进行控制。关于排放监管的建议见 GSG-9[13]。

4.6. 与天然存在放射性物质残留物管理相关的氡照射应按照 GSR Part 3[4]规定的要求加以控制(例如,见 GSR Part 3[4]第 3.4(c) 和 (d) 段)。GSG-7[12]提出了关于评定工作场所氡(和钍)照射的建议,以及关于保护工作人员免受此类照射的建议。

计划照射情况

职业照射

4.7. 一般而言,在管理天然存在放射性物质残留物时的职业辐射防护,考虑三个主要的照射途径:

- (a) 外照射辐射(主要是 γ 辐射);
- (b) 直接通过粉尘吸入和摄入或间接通过摄入受污染的水或食物摄入放射性核素;
- (c) 残留物中排放到空气中的氡(有时是钍)引起的照射。⁵

在产生天然存在放射性物质残留物时,在操作过程中对残留物进行加工、再利用或回收,或在这些残留物长期管理期间,工作人员可能受到照射。在处理受污染物品(例如管道、设备)以及在维护和清洁设施期间也可能发生照射。

⁵ “氡”和“钍”这两个术语不仅包括母体放射性核素氡-222 和钍-230 但也是它们短寿命的后代。

4.8. 如果天然存在放射性物质受到管理控制，则要求营运组织编写和执行辐射防护计划（见 GSR Part 3[4]要求 24）。辐射防护计划应说明为确保最大限度地保护工作人员而采取的措施。关于辐射防护计划范围和内容的建议见 GSG-7[12]，其中还包括涉及天然存在放射性物质选矿的特别考虑（见 GSG-7[12]第 9.66—9.72 段）。

4.9. 产生天然存在放射性物质残留物职业辐射防护通常作为产生残留物整个过程的辐射防护计划的一部分进行管理。例如，在铀厂尾矿的产生和处理过程的辐射防护，将是该厂整体辐射防护计划的一部分。在其他情况下，单一的天然存在放射性物质残留物可能是整个过程中放射性核素浓度足以导致需要控制照射的唯一物质，在这种情况下，辐射防护计划将专门针对天然存在放射性物质残留物。例如，对于一个稀土设施，主要残留物可能是氢氧化钍，它具有重大的辐射风险，需要通过辐射防护计划加以管理。另一个示例是石油和天然气生产设施中的天然存在放射性物质碎片。

4.10. 辐射防护计划必须包括指定控制区和监督地区的安排（见 GSR Part 3[4]第 3.88—3.92 段）。如涉及天然存在放射性物质的许多工业活动（见 GSG-7[12]第 3.79 段），在只处理低活度浓度物质的情况下，控制区可能是不必要的。

公众照射

4.11. 由于天然产生的放射性核素存在于环境中，对天然本底辐射有贡献，因此必须区分因天然存在放射性物质活动和天然存在放射性物质残留物而引起的照射与天然本底源引起的照射。因此，确定天然放射性水平⁶的基准资料十分重要（见第 8.50 (d) 段）。

4.12. 对于公众照射，剂量限值是 1 毫希沃特每年的有效剂量⁷（GSR Part 3[4]附表 III）。天然存在放射性物质活动还须遵守辐射防护最优化原则，为

⁶ 对于天然存在放射性物质工业长期运行的设施和场址，确定天然放射性水平的监控计划可能需要侧重于远离场址紧邻区的有代表性的场址。

⁷ 在特殊情况下，1 年内可采用较高的有效剂量值，条件是连续 5 年的平均有效剂量不超过每年 1 毫希沃特。

此（在计划的照射情况下），政府或监管机构必须制定或核准剂量约束值（见 GSR Part 3[4]第 3.120 段）。

4.13. 公众照射的剂量限值和剂量约束值适用于天然存在放射性物质残留物管理期间——例如天然存在放射性物质残留物产生、再利用或再循环、贮存或处置，以及此类活动停止之后。在管理过程中，公众照射可以通过监控来评价环境空气或食品中的放射性核素，或通过监控放射性核素的排放，然后模拟放射性核素通过环境的转移，以估计随后公众的摄入量和剂量。在管理活动停止后，应酌情结合有组织控制，确保最终状态标准下，公众照射低于既定的剂量约束值。

4.14. 如果几个设施和活动位于同一场址，公众照射剂量约束应适用于一个有代表性的公众成员可能接受照射的所有来源的计划照射，并为该场址可预见的未来可能导致额外照射的活动留出适当的裕度。如第 4.12 段指出，监管机构必须制定剂量约束值或核准剂量约束值，例如由场址内设施和活动的营运组织提出的剂量限值。

4.15. 营运组织应合理保证所实施的任何控制措施在与监管机构商定的指定期间内将保持有效，并且在此期间监管机构制定或核准的剂量约束将持续有效。

4.16. 在计划和设计以及安全评定中，应考虑到由于未来重新开发或计划外的侵入密封设施以进行天然存在放射性物质残留物管理而导致公众照射超过剂量约束值的可能性，并应计划和实施适当的有组织控制。

应急照射情况

4.17. 对于天然存在放射性物质残留物管理，几乎没有可能导致应急照射情况的可信事故假想方案⁸。因此，不太可能需要执行 GSR Part 7[10]所述的应急准备和响应安排。

4.18. 工程控制（例如尾矿坝的表面覆盖物）可能由于天然过程（例如侵蚀）而失效，或者可能发生导致向环境排放更多放射性核素的其他事件。这种情况可能会对辐射照射产生一些影响，然而，其他风险（非辐射风险）通

⁸ “假想方案”的定义是假设或假定的一组条件或事件[1]。

常会占主导地位。应适当考虑此类控制失效的可能性，以及对设施整体完整性和任何公众照射或环境后果的可能影响。然而，这类事件一般不属于放射性紧急情况定义的范围。非放射性紧急情况的管理不在本“安全导则”的范围内（见第 1.18 段）。

4.19. 如果安全评定的结果表明，在一个天然存在放射性物质设施或活动中可能发生应急照射情况，则需要根据 GSR Part 7[10]要求提供充分的应急准备和响应水平。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》[24]和原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-2 号《核或辐射应急准备和响应中使用的标准》[25]提供了支持执行 GRS Part 7[10]建议和指导。

4.20. 在大多数情况下，任何偏离正常操作和小规模事故都应在计划照射情况的框架内进行管理。在这种情况下，可能需要作出一些安排以处理公众关注的问题（例如提供资料）和管理场址存在的非放射性危害（例如化学品），但没有必要根据 GSR Part 7[10]建立场内或场外应急计划。

现存照射情况

4.21. 涉及天然存在放射性物质残留物三类现存照射情况可能导致公众照射或职业照射（见 GSR Part 3[4]第 5.1 段），特定如下：

- (a) 残留放射性物质污染区域造成的照射：这种照射可能发生在含有过去从未受监管或受监管但不符合安全标准要求的活动所产生的天然存在放射性物质残留物受污染区域。如果人员能够进入含有天然存在放射性物质残留物污染的场所，照射可能直接来自这些残留物。更常见的情况是，由于放射性核素通过空气或水传播途径以及氡的散发而分散，照射发生在场址周围地区；
- (b) 来自残留放射性物质的商品的照射：当包括肥料、土壤改良剂和建筑材料在内的商品中存在或在环境中残留天然存在放射性物质时（无论活度浓度如何）就可能发生这种照射；
- (c) 其他天然来源造成的照射：在其他物质中存在天然存在放射性物质，且铀衰变链或钍衰变链中放射性核素活度浓度不超过 1 贝可/克，钾-40 活度浓度不超过 10 贝可/克的情况下，可能发生这种照射。

4.22. 对于涉及每年剂量低于 1 毫希沃特的天然存在放射性物质残留物现存照射情况，通常不需要在放射控制方面采取进一步行动。如果年有效剂量超过 1 毫希沃特，则应根据 GSR Part 3[4]要求 48 规定，制定和实施保护策略以确保任何治理行动都是正当的，防护和安全得到最优化。GSG-15[14]提出了对过去实践造成污染的场址进行治理的建议。

4.23. 现存照射情况下天然存在放射性物质残留物管理一般不在本“安全导则”的范围内（见第 1.16 段）。然而，在某些情况下，监管机构可能确定，在特定的现存照射情况下最适当的保护策略（见 GSR Part 3[4]第 5.4 段和第 5.5 段）是利用适用于计划照射情况的监管控制系统。本导则并不妨碍监管机构的此类行动。

保护环境

4.24. GSR Part 3[4]指出：

“保护环境包括防护和保护：非人类物种，包括动物和植物及其生物多样性，环境商品和服务，如粮食和饲料的生产，用于农业、林业、渔业和旅游业的资源，用于精神、文化和娱乐活动的便利设施，介质，如土壤、水和空气，和天然过程，如碳、氮和水循环。”

4.25. 在许多情况下，保护人类免受电离辐射有害影响的辐射防护标准意味着没有必要特别考虑环境（见原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-10 号 [26]第 1.21 段，对设施和活动的预期放射性环境影响评定）。此外，在许多情况下，保护环境不受天然存在放射性物质活动的非放射性（即化学和物理）影响（见第 4.26 段、第 4.27 段）很可能对决策过程起主要作用。然而，有必要证明，在向环境排放天然存在放射性物质残留物时，能够保护环境使其不受电离辐射的有害影响。放射性环境影响评定应评定此类影响，并在必要时确定额外的控制措施。关于评定设施和活动的放射性环境影响的建议见 GSG-10[26]。

非放射性考虑因素

4.26. 非放射性危害可能直接来自有毒污染物，如重金属，或来自其间接造成的有害影响。后者的一个示例是成酸物质（如硫化物），它可能导致在一

般环境中分散其他相对温和形式的有毒污染物。此外，可能不是天然存在放射性物质残留物本身，而是其产生或管理相关的物质会造成有害影响。这方面的示例有：大量从天然存在放射性物质残留物管理设施的覆盖物上被侵蚀的沉积物进入水体，或将高盐度的加工水或矿井水排放到接收水道。重要的是，天然存在放射性物质残留物管理的总体计划应包括对可能涉及的所有潜在危害物质和影响的广泛评定，并应采取适当的控制措施。

4.27. 在许多情况下，非辐射风险比辐射风险更令人担忧。相关监管机构之间有必要作出安排，以保持对所有危害的一致管理方法，并明确分配每个监管机构的任务和责任。

5. 监管系统

概述

5.1. 涉及矿物和原材料加工的设施数量非常多，但经验表明，只有某些设施中的某些工序在一年内由天然存在放射性物质引起的剂量可能超过 1 毫希沃特[17]。管理控制措施的选择和应用应与相关的危害和风险相匹配。虽然实施监管的标准应以合理和审慎的预防措施为基础以确保安全，但应认识到，不适当地实施监管可能导致许多设施和活动受到监管而没有净效益。因此，分级方法的概念在界定监管控制的范围方面尤其重要。在为辐射防护目的实施监管之前，监管机构应考虑已有的（即非辐射目的的）监管和法规，并力求与这些现有监管相结合。

5.2. 铀生产中产生的天然存在放射性物质残留物应始终受到监管。为了确定其他天然存在放射性物质残留物最佳监管方法，监管机构应了解天然放射性核素如何、何时和何地可能出现在第 2 部分所列的天然存在放射性物质活动中。因此，监管机构应更详细地考虑加工、物质和残留物—包括对职业照射和公众照射的初始估计—一并考虑与残留物管理法规相关的相较于可实现的效益的额外成本。

供监管考虑的天然存在放射性物质设施和活动清单

5.3. 创建可能引起监管关注的天然存在放射性物质活动列表是监管控制过程的第一步。这些活动可以由营运组织和监管机构确定。清单可利用第 2 部分和附件 I 中的信息编写,并根据国情进行调整。监管机构可决定,第 2.3 段所列活动以外的活动。如果有迹象表明在辐射安全方面不能忽视工作人员或公众的照射则应包括在法规的范围内。监管机构随后应相应地更新清单。

5.4. 对天然存在放射性物质活动的详细了解对于适当实施分级方法至关重要。因此,监管机构应编写一份产生或管理天然存在放射性物质残留物天然存在放射性物质设施和活动清单,包括对加工和物质的说明,以及相关的职业照射和公共照射。附件 II 提供了取样天然存在放射性物质残留物和确定放射性含量的资料。

5.5. 考虑进行监管控制的天然存在放射性物质活动清单不应仅限于产生天然存在放射性物质残留物活动。还应注意再利用和再循环、在废物填埋场处置以及其他长期管理计划的活动。

5.6. 关于铀矿开采残留物,特别是散装废石物质,铀和钍衰变链中的放射性核素活度浓度在大多数情况下小于 1 贝可/克,如第 4.21 段指出对现存照射情况的要求通常适用于此类物质,然而,通常认为对这些铀矿开采残留物进行安全评定是强制性的,这些残留物按照计划照射情况的要求进行管理。

分级监管方法

5.7. 对于受计划照射情况要求约束的天然存在放射性物质活动,需要根据 GSR Part 3[4]要求 6 采取分级管理控制方法。因此,对天然存在放射性物质活动适用计划照射情况的要求,需要与天然存在放射性物质活动的特点以及照射的规模和可能性相匹配。如果已有管理残留物现有正式监管程序(如许可证),则应遵循该程序。附件 III 是天然存在放射性物质残留物分级方法应用的一个示例。

5.8. 在计划照射情况下,分级方法的重要特点是根据既定标准(见 GSR Part 3[4]附表 I)规定豁免和解控的条件,以及采用不同级别的监管控制,特定如下:

- (a) 豁免（部分或全部监管要求）；
- (b) 通知；
- (c) 注册形式的授权；
- (d) 许可证形式的授权。

5.9. 决定某项活动是否可获发许可证或注册，取决于以下各项：

- (a) 公众照射估计；
- (b) 职业照射估计；
- (c) 防止、限制和控制放射性物质和其他危害物质（固态、液态或气态）向环境排放的必要措施；
- (d) 偏离正常运行工况的可能性。

5.10. 根据 GSR Part 3[4]天然存在放射性物质残留物监管控制的逐步和分级方法见图 1。图 1 中相关步骤在第 5.11—5.40 段中按顺序说明。

通知

5.11. GSR Part 3[4]要求 7 规定：“**任何计划经营设施或进行活动的个人或组织应向监管机构提交通知……**”这种通知应在计划进行这种实践或打算进行影响辐射防护的任何修改时发出。通过这种方式，监管机构保持对运行和重要变化的通报。

5.12. 一个营运组织如果打算在国家范围内开始一项已确定的天然存在放射性物质活动清单上的活动，应将其计划正式通知监管机构，并应包括下列资料：

- (a) 营运组织的计划活动类型和联系方式；
- (b) 在适用的情况下，辐射防护专家和其他合格专家的姓名、联系方式和专业资格证明；
- (c) 设施或活动的位置和周围环境的详细情况；
- (d) 加工和处理能力，包括原料、排放物和固态残留物产生；
- (e) 原料、副产品和残留物放射性特征；
- (f) 管理天然存在放射性物质残留物计划。

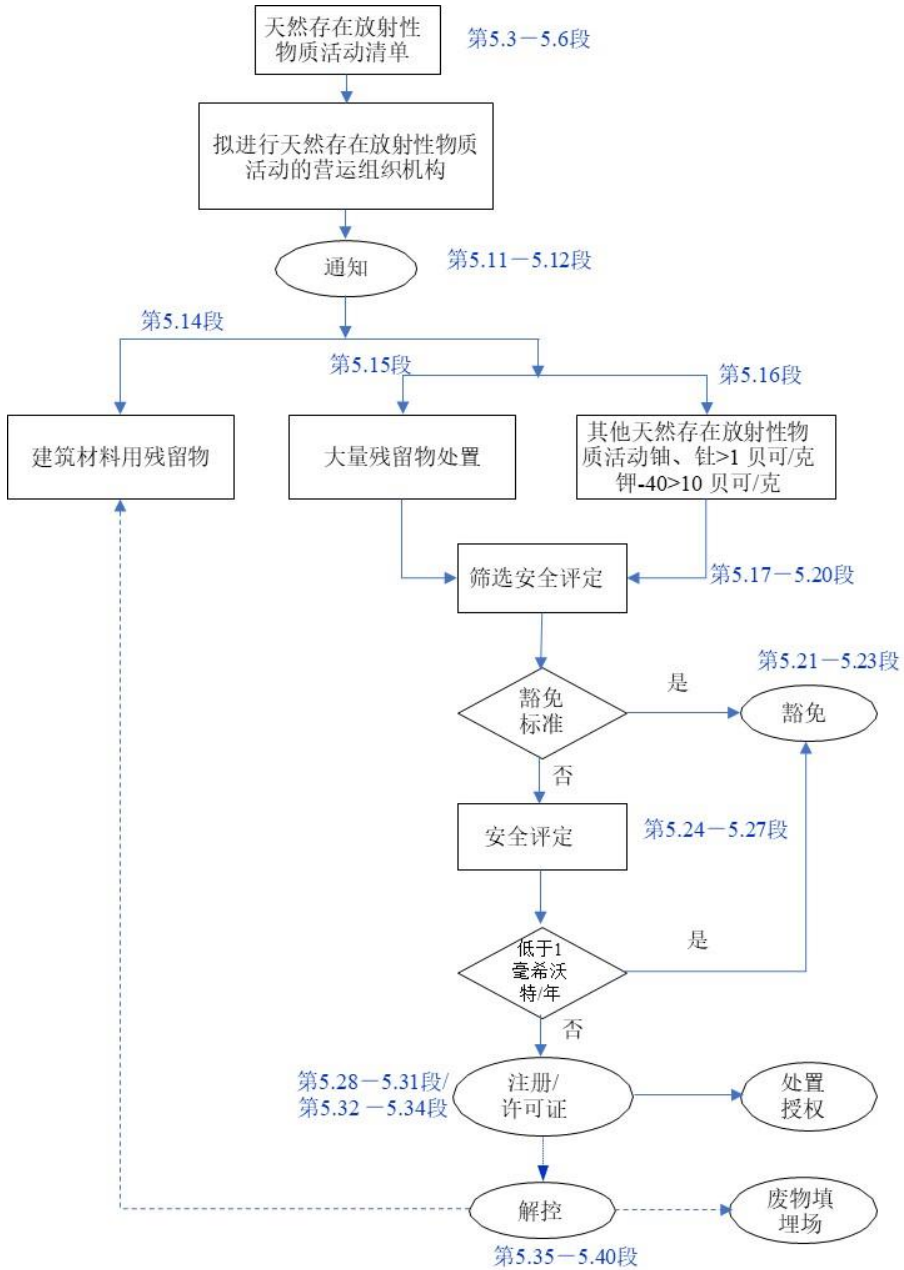


图 1. 根据 GSR Part 3[4]对天然存在放射性物质(NORM)残留物采取逐步和分级的监管控制方法。

5.13. 如 GSR Part 3[4]第 3.7 段指出：

“只要预期与该实践或行动相关的照射不大可能超过监管机构规定的相关限值的一小部分，而且潜在照射的可能性和规模以及任何其他潜在的有害后果可以忽略不计，仅发出通知就足够了。”

在这种情况下，营运组织或监管机构可能不需要采取任何进一步行动。尽管如此，本“安全导则”提供的建议仍可作为指导，以鼓励天然存在放射性物质残留物管理方面的最佳实践。尽管如此，当发生有可能导致职业照射或公众照射增加的变化时，营运组织应通知监管机构。

5.14. 对于将天然存在放射性物质残留物回收到建筑材料中，监管机构或其他相关当局必须根据 GSR Part 3[4]要求 51 确定参考水平。此外，制造商和供应商应向相关当局提供关于建筑材料中放射性核素活动浓度的资料（见 SSG-32[15]第 4.14 段）。

5.15. 如果天然存在放射性物质活动涉及大量残留物处置，很可能需要进行筛选安全评定（见第 5.17—5.20 段），也可能需要进行进一步详细的安全评定（见第 7 部分）。

5.16. 对于涉及天然存在放射性物质残留物其他活动（即未回收为建筑材料或未大量处置残留物），如果铀衰变链或钍衰变链中任何放射性核素的活度浓度超过 1 贝可/克（或钾-40 超过 10 贝可/克），则应进行筛选评定，以便作出豁免任何进一步监管要求的决定。

筛选安全评定

5.17. 在收到营运组织的通知后（或如果监管机构已查明某项活动属于第 5.3—5.6 段中所示的清单，或如果监管机构认为某一设施或活动监管机构可要求营运组织进行筛选评定，包括以下内容：

- (a) 场址和周围环境的放射性基准状况（见第 4.11 段）；
- (b) 关于原料、加工物质和残留物放射性特征的进一步详细资料，以及这些物质在设施中的位置；
- (c) 天然存在放射性物质残留物对工作人员和公众造成的剂量估算值，包括为天然存在放射性物质残留物长期管理、再利用和再循环实施替代方法对这些剂量估值的影响；

(d) 对工作人员和公众实施的任何保护措施。

5.18. 筛选评定应针对可获得特定信息的某一特定设施或活动，评定方法和评定期限应与监管机构商定。评定可参考与该设施或活动及其过程和残留物管理方法相关的现有信息。或者，评定可参考旨在提供更多数据的商定监控计划。在某些情况下，筛选评定可以参考对涉及类似物质的其他类似设施、活动或过程进行的评定。

5.19. 筛选评定的可能结果包括豁免、注册授权⁹（包括定期评审）（见第5.28—5.31段）或许可证授权（见第5.32—5.34段）。如果一年内对工作人员或公众的有效剂量估值（不包括氩¹⁰排放的贡献）超过1毫希沃特，则应如第7部分所述进行更详细的安全评定（见第5.24—5.27段），并可能需要核准该设施或活动。

5.20. 如果过程发生重大变化，或外部事件（例如水淹、火灾、土地滑动、沉降）影响了设施或活动，新的筛选评定可能是必要的。营运组织和监管机构应在双方商定的期限后对情况进行评审，以检查筛选评定的结论是否仍然有效。

豁免

5.21. 监管机构可以决定，最佳监管选择是不对营运组织执行监管要求。执行这一决定的机制是对该设施或活动的某些或所有方面以及对某些或所有监管要求给予豁免。如GSR Part 3[4]第I.1段指出：

“豁免某一实践或实践中的某一个源不受GSR Part 3[4]部分或全部要求的一般标准是：

- (a) 辐射风险……足够低，以至于不需要监管控制……；或
- (b) 监管控制……不会产生净效益，因为任何正当的监管控制措施都不会在减少个人剂量或健康风险方面取得值得的回报。”

⁹ 低风险或中风险设施和活动的授权书，根据授权书，设施或活动的负责人或组织已酌情准备并向监管机构提交了对设施和设备的评定。

¹⁰ 这并不意味着排除对氩的控制。由氩引起的照射需要进行评定，以支持监管决策以及保护和缓解的支持措施。

5.22. 对于天然存在放射性物质活动，如果该活动在一年或更短时间内对工作人员和公众的剂量（在筛选评定中确定）为 1 毫希沃特，并且该天然存在放射性物质活动不构成环境风险，则视为符合豁免的一般标准。如 GSR Part 3[4]第 I.4 段指出（脚注略）：

“对大量物质的豁免必须在案例基础上考虑，使用每年 1 毫希沃特的剂量标准，该标准与天然本底放射性水平引起的典型剂量相当。”

5.23. 特有的豁免标准可用于处置少量残留物或在同一场址有几个辐射设施和活动的情况。在给予豁免时，监管机构可以选择豁免营运组织的部分或全部监管要求，包括责任。如果某些特定的控制措施被认为能实现净效益，监管机构应选择给予部分豁免。

安全评定

5.24. 如果筛选评定表明一年内剂量可能超过 1 毫希沃特，则应在与监管机构商定的一段时间内进行更详细的安全评定。如第 7 部分所述，这种安全评定可能包括以下内容：

- (a) 对场址及其周围环境进行详细的基准调查；
- (b) 使用比筛选评定中使用的假设和照射假想方案更为现实的假设和照射假想方案；
- (c) 收集更特定的数据，以改进对照射源、照射途径和由此产生的剂量的估计；
- (d) 更复杂的照射估算模式；
- (e) 工作场所测量结果。

5.25. 如果安全评定表明一年的预期剂量为 1 毫希沃特，监管机构仍可给予部分豁免，但须符合某些条件，如营运组织或监管机构加强监控以及监管视察。

5.26. 如果每年的预期剂量为 1 毫希沃特，并有可能在一年内略微超过 1 毫希沃特，监管机构可通过注册授权该实践。

5.27. 如果安全评定表明一年内剂量将超过 1 毫希沃特，则需要并适当的监管授权，包括进一步的监管控制，这些控制应通过监管机构对营运组织发放许可证来执行。

注册

5.28. 在营运组织必须履行有限义务以确保工作人员、公众和环境得到充分保护的情况下，注册是适当的授权形式。这些义务通常涉及采取措施，不断评审照射情况，并确保对天然存在放射性物质残留物管理以及排放对环境和工作条件的影响实现防护和安全最优化，剂量未接近或超过既定的剂量限值或授权的排放限值。

5.29. 如 GSR Part 3[4]第 3.8 段脚注 19 指出：

“适合注册的典型实践是：(i) 设施和设备的设计可在很大程度上确保安全；(ii) 运行程序易于遵循；(iii) 安全培训要求很低；和 (iv) 历史上很少有与运行安全相关的问题。注册最适用于运行无显著变化的实践。”

5.30. 对于经注册授权的天然存在放射性物质活动，还应采用分级方法处理其他监管程序，包括评审、评定和视察设施和活动。设施或活动不需要复杂的辐射防护和管理天然存在放射性物质残留物计划，相反，这一计划可能被纳入整个健康和计划。这类设施和活动需要进行安全评定和放射性环境影响评定，然而，一般的假设和简单的计算可能比第 7 部分所述的更复杂的安全评定更合适。

5.31. 对于须注册的设施和活动，第 6 部分所载的天然存在放射性物质残留物管理策略和第 8 部分所载的长期管理安全考虑可被视为为实现最佳实践提供了有用的指导，但应仅在与风险水平相适应的程度上实施这些策略。

许可证

5.32. 许可证是对天然存在放射性物质活动的适当形式的授权，在这些活动中，只有通过执行更严格的措施来控制辐射照射才能确保可接受的保护水平。这是分级监管方法的最高水平，通常用于涉及以下残留物照射的实践：

- (a) 大量产生残留物（例如铀生产设施）；
- (b) 含有高活度浓度放射性核素的小体积残留物；
- (c) 大量排放到环境中残留物。

5.33. 获得许可证的设施和活动应进行放射性环境影响评定，并确保安全评定遵循第 7 部分提出的建议。应制定天然存在放射性物质管理的特定计划，将其完整记录在案，并应提供给监管机构评审。获得许可证的设施和活动应接受定期的监管监督。

5.34. 就须许可证的设施和活动而言，第 6 部分所载的天然存在放射性物质残留物管理策略和第 8 部分所载的长期管理安全考虑，代表了对应实施的监管措施的普遍期望。监管机构应在许可证条件中指明有效管理风险所需的措施。

解控

5.35. 解控的定义是监管机构对通知或授权的设施和活动内的放射性物质或放射性物体解除监管[1]，允许这些物质或物体不受任何进一步限制地从场址转移。

5.36. 在通知或授权的天然存在放射性物质设施和活动中解控天然存在放射性物质残留物取决于残留物特征，包括核素的活度浓度、物理和化学形式、数量和潜在风险。

5.37. 如段指出 GSR Part 3[4]第 I.10 段指出：

“解控的一般标准是：

- (a) 经解控的物质所产生的辐射风险低到不需要进行监管，并且不会出现可能导致不符合解控的一般标准的情况；或
- (b) 对该物质的持续监管不会产生净效益，因为任何正当的控制措施都不会在减少个人剂量或减少健康风险方面取得值得的回报。”

5.38. GSR Part 3[4]第 I.12 (b) 段指出，只要天然存在放射性物质残留物中铀衰变链或钍衰变链中每种放射性核素的活度浓度低于 1 贝可/克，钾-40 的活度浓度低于 10 贝可/克，则可以不作进一步考虑地对其解控。在某些情况

下，解控含有高于这些值的活度浓度的天然存在放射性物质残留物可能是适当的，前提是监管机构确信未来来自这些残留物照射将不需要恢复控制。

5.39. GSR Part 3[4]第 I.12 (c) 段指出（脚注略）：

“放射性物质……可以不作进一步考虑而解控，条件是：……对于可能被回收到建筑材料中残留物中的天然来源放射性核素，或其处置过程可能造成饮用水供应的污染，残留物中的活度浓度不超过得出的特定值，以满足每年 1 毫希沃特量级的剂量标准，该标准与天然本底放射性水平引起的典型剂量相称。”

5.40. GSR Part 3[4]第 I.13 段指出：

“监管机构可根据 GSR Part 3[4]第 I.10 段和第 I.11 段的标准，在考虑到放射性物质的物理或化学形式及其用途或处置手段的情况下，对特定情况准予解控⁶⁵。这种解控水平可以用每单位质量的活度浓度或每单位表面积活度浓度来规定。

“⁶⁵ 例如，可以对金属、建筑物碎石和废物填埋场处理的废物制定特定的解控水平。”

因此，可以根据天然存在放射性物质残留物假想方案和途径制定特定的解控水平。就天然存在放射性物质的加工和天然存在放射性物质残留物管理而言，为豁免和解控建立一套单独的水平可能是适当的。

财务规定

5.41. 提供财务资源的目的是，保护政府和社会免于承担因营运组织未能充分建造、运行、退役或确保有效关闭含有天然存在放射性物质残留物场址而产生的责任。

5.42. 如第 3.9 段指出，政府应建立一个监管架构，让监管机构可向营运组织承担与含有天然存在放射性物质残留物场址的退役或长期有组织控制相关的所有费用（包括因天然存在放射性物质的存在而产生的任何额外费用）。这些资金只能用于退役或关闭以及任何长期有组织控制的目的。

5.43. 为了确定所需财务资源的金额，监管框架应要求营运组织在设施的建造和运行之前提交一份详细说明退役和关闭情况的计划书，包括天然存在放射性物质残留物所有长期管理活动以及如何达到最终状态标准。该计划应包括完成工作的成本估计，并应作为监管机构核准其开始运行的条件。

5.44. 关于处置设施，监管机构应要求营运组织建立一个机制，以确保有足够的资金用于关闭和持续的有组织控制。所需资金数额将随着时间的推移而变化，因为负债因运行影响而增加，并在适当情况下随着逐步退役而减少。随着预定的最后退役和关闭的临近，资金估计数应变得更加准确。对于许多天然存在放射性物质残留物，赔偿责任和财务资源应同时关注放射性和非放射性方面的问题。

5.45. 监管框架应规定，未经监管机构核准不得终止对财务资源的要求。营运组织随时可能破产，因此，资金需要在产生负债之前到位。对财务资源的可得性和保证的评审频率应与天然存在放射性物质残留物产生的债务相匹配。

相关各方

5.46. 监管机构和营运组织必须与相关各方磋商（例如，见 GSR Part 1 (Rev.1) [3]要求 36、GSR Part 2[23]要求 5 和 GSR Part 3[4]要求 3）。对于涉及天然存在放射性物质残留物管理的设施和活动，监管机构应确保营运组织在监管机构认为必要时与相关各方进行磋商。磋商应采用分级的管理方法，对于须经授权的活动，这应是许可证的一个条件。放射性物质吸引了大量的公众评审，即使相关的辐射风险很低。与受影响的相关各方的磋商必须是一个开放和包容的过程（见 GSR Part 1 (Rev.1) [3]第 4.67 段）。

5.47. 应参与磋商过程的相关各方如下：

- (a) 居民和土地所有者；
- (b) 土著民；
- (c) 在经济上依赖运行或受影响土地的当地社区；
- (d) 政府机构，包括监管机构；
- (e) 其他相关各方。

5.48. 磋商是获得项目支持的宝贵工具。相关各方亦须参与未来土地用途的决策过程。这是为含有放射性残留物场址制定最终状态标准的一个重要因素。

5.49. 正在建立新的天然存在放射性物质管理框架的政府应酌情考虑开展公众参与和教育计划。该计划应提高营运组织对天然存在放射性物质活动的认识，并促进对参与天然存在放射性物质活动的营运组织和工作人员的教育和培训活动。

管理系统

5.50. GSR Part 3[4]要求 5 规定将防护和安全有效地纳入全面的管理系统，GSR Part 3[4]第 2.48 (b) 段指出（脚注略）：

“本管理系统的设计和应用旨在通过以下方式加强防护和安全：……说明有计划和有系统的必要行动，以提供充分的信心确保防护和安全的求得到满足”。

5.51. 对管理系统的要求在 GSR Part 2[23]建立。下列出版物提供了与建立天然存在放射性物质管理系统相关的建议：

- (a) 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》[27]；
- (b) 原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.3 号《放射性废物处理、操作和贮存管理系统》[28]；
- (c) 原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.4 号《放射性废物处置管理系统》[29]。

5.52. 关于与天然存在放射性物质残留物管理相关的设施和活动，管理系统将包含处理残留物全寿期，即从其产生到其再利用、长期管理或处置，以及设施的全寿期，包括选址、设计、建造、调试、运行、退役或关闭，并酌情处理长期有组织控制。

5.53. 管理系统将需要处理安全评定和辐射环境影响评定中确定的影响和控制。应建立残留物管理计划。对于铀生产，这些计划应包括残留物管理、辐射防护、环境管理、应急准备和响应、退役和关闭（酌情）、监控和评定、

相关各方的参与以及放射性物质的运输。附录 II 和附录 III 分别提供了适用于铀生产残留物管理计划和关闭计划的建议内容。附录 II 和附录 III 中的信息也可能在某种程度上适用于具有类似特征的其他来源的天然存在放射性物质残留物。应制定与经营规模和风险性质相匹配的管理其他天然存在放射性物质设施和活动残留物计划。

5.54. 如 GSR Part 2[23]要求 6 规定：“**管理系统应整合包括安全、健康、环境、安保、质量、个人和组织因素、社会和经济因素在内的要素，保证安全不受损害。**”

辐射防护应与质量保证、环境保护和工作场所安全的管理系统相结合并纳入其中。关于天然存在放射性物质残留物管理，重要的是辐射安全不允许损害对更严重的工作场所危害或环境影响的保护。

5.55. 管理系统应包括可衡量的辐射防护性能指标，包括职业照射和公众照射，以及工作场所监控结果。

5.56. 作为管理系统的一部分，应根据以下情况制定运行限值和条件¹¹：

- (a) 安全评定和放射性环境影响评定；
- (b) 设计说明、运行参数和调试结果；
- (c) 安全重要关键因素和部件；
- (d) 设备故障后事件的后果；
- (e) 安全运行设施或进行活动所需的最低人员配置水平。

5.57. 营运组织在遇到如下情况时应评审残留物管理计划：

- (a) 按照与监管机构商定的频率；
- (b) 在对设施、活动或残留物类型进行修改之后；
- (c) 作为定期评审设施安全论证文件（见第 7 部分）过程的一部分；
- (d) 发生事故或未遂事故¹²；

¹¹ “运行限值和条件”是一套规则，规定了经监管机构批准的设备和人员的参数限值、功能能力和性能水平，用于授权设施的安全运行[1]。

¹² “未遂”定义为可能发生的潜在重大事件，如一系列实际事件的结果，但由于当时的条件而没有发生[1]。

(e) 相关监管要求发生变化。

由于这些评审而对管理天然存在放射性物质残留物计划进行的任何更改都应得到监管机构的核准。

6. 天然存在放射性物质残留物管理策略

概述

6.1. 本部分就适当通过许可证授权的设施和活动中天然存在放射性物质残留物管理的一般方法提出建议，包括应用分级方法来执行 GSR Part 5[6] 关于放射性废物处置前管理的要求。它涵盖了处理¹³、再利用和再循环、贮存和回取以及天然存在放射性物质残留物长期管理的管理计划。还描述了控制天然存在放射性物质残留物产生的方法。第 8 部分给出了更多关于天然存在放射性物质残留物长期管理的信息。对于其他设施和活动（即不适合发放许可证的设施和活动），本部分中的建议在持续改进和应用良好实践方面也是有用的。

6.2. 天然存在放射性物质残留物管理相关的步骤如下：

- (a) 根据类似设施的设计和运行情况，评定产生不同类型残留物可能性；
- (b) 控制残留物产生的措施；
- (c) 加工（分选、表征、分离和处理）；
- (d) 如适用，解控；
- (e) 再利用和再循环；
- (f) 排放到环境中；
- (g) 长期管理，包括酌情处置。

6.3. 产生天然存在放射性物质残留物设施的设计应使残留物管理对辐射照射的防护得到最优化。设计应遵循防止给子孙后代造成不适当负担的原则，例如尽量减少待处置废物、尽量减少土地使用、避免土壤退化、尽量减

¹³ “加工”被认为是改变残留物特征的任何操作，包括预处理、处理和整备。

少淡水使用、尽量减少项目足迹及其潜在影响，以及最大限度地重复使用和回取物质，同时适当考虑辐射安全问题和监管要求。

6.4. 为了避免对残留物进行长期管理，应在符合相关监管规定的情况下，尽可能使用解控、排放到环境中、再利用和循环再利用以及授权处置（包括在现有堆填区和其他废物处置设施处置）等选择。天然存在放射性物质残留物分离可以减少需要长期管理物质的体积，因此可以减少为此目的所需的土地量或表面积。分离有助于解控、再利用和回取残留物，以及对其他天然存在放射性物质残留物进行整备和包装，以便在场址外运输和长期管理。

6.5. 天然存在放射性物质活动残留物处理、贮存和处置设施的设计、建造、运行、退役和/或关闭应按照第 5.50—5.57 段概述的管理系统进行。特别是应根据监管机构核准的计划和程序，建造、运行、退役或关闭获得许可证的天然存在放射性物质残留物管理设施。附录 I 描述了铀生产产生残留物特殊考虑。

6.6. 长期管理设施的选址和设计应旨在避免在场址的天然存在放射性物质活动停止时需要迁移大量残留物。选址和设计是整个项目开发的一个重要部分，应从项目开发的最早阶段开始处理，如第 8 部分所述。

6.7. 应在天然存在放射性物质活动的所有阶段考虑残留物管理设施的退役和/或关闭，即在选址、设计、建造和运行期间。管理天然存在放射性物质的计划应该在选址和设计阶段就已经解决，而不是拖延到退役或关闭阶段。例如，在早期阶段采取措施，减少水传播和空气传播污染向周围环境的迁移将有助于关闭阶段的后续管理。在设计和运行过程中，应注意防止和管理装置和设备的污染。还应考虑可能导致意外污染扩散的潜在事件。

6.8. 本“安全导则”第 8 部分概述了需要许可证授权的天然存在放射性物质活动残留物长期管理应考虑计划的重要特征和可取特点，包括在设施的设计、建造、运行、退役和关闭方面的考虑因素，解除对物质的监管，以及对处置设施进行体制监管时应考虑的因素。

残留物管理计划的制定和实施

6.9. 残留物管理计划应由营运组织制定、实施和必要时更新，以符合相关的管理要求，并符合营运组织关于防护和安全、环境保护和废物管理的政策

和战略。残留物管理计划应处理各种残留物流，同时考虑到它们各自的特征，并处理从残留物产生到解控、排放、再利用和再循环的整个寿期，或包括最终处置在内的长期管理。关于铀生产残留物管理计划的进一步信息见附录 II。

6.10. 在项目的设计阶段，营运组织都应了解所有物质（无论是放射性的还是非放射性的）的数量和特征，并能够识别潜在的有害特征。这使得在设计阶段能够对所有物质和潜在风险进行系统和迭代的考虑，此时更容易提供适当的控制和管理。这项设计工作最终将支持安全评定，而安全评定又将支持许可证和其他监管活动。

6.11. 残留物表征是确定适当控制的重要因素。表征有助于全面了解残留物物理、化学和放射性特征，以便分类和分离、运输、加工、再利用和再循环以及长期管理，包括最终处置。

6.12. 在天然存在放射性物质残留物表征中应考虑以下信息：

- (a) 天然存在放射性物质残留物来源和数量；
- (b) 物理、化学和放射性特征；
- (c) 重要的照射途径和照射假想方案；
- (d) 所考虑残留物预测辐射照射和辐射环境影响；
- (e) 可能影响放射性特征的非放射性成分的预测影响和风险（例如残留物酸性可能导致放射性核素的活化）；
- (f) 为控制照射、环境影响和其他风险可采取的措施，包括缓解事故后果的任何措施。

6.13. 制定具有成本效益残留物管理计划可能很复杂。这一过程包括评价选址、设计和建造、运行、残留物流管理（例如处理、贮存、再循环）、退役或关闭以及长期有组织控制等计划。需要考虑的因素包括利益、成本、不利因素、国家政策和战略以及任何监管限制和制约因素。不同的计划被评价时，这个过程也是迭代的。对于许多天然存在放射性物质残留物，非放射性环境因素将占主导地位。

6.14. 应明确界定并向包括公众在内的不同相关各方介绍用于选择首选方案和制定残留物管理计划的评定标准和程序，该计划将在监管要求、国家政策和战略、成本以及场址和加工特点等考虑因素之间实现最佳平衡。

残留物产生控制

6.15. 天然存在放射性物质设施和活动的设计应尽可能减少待管理残留物和废物体积和放射性含量。这可以通过选择产生较少天然存在放射性物质的适当加工，以及设备、物质和残留物再利用和再循环来实现。

6.16. 关于控制残留物产生的设计特点和运行程序，营运组织应考虑以下方面：

- (a) 选择设计方案、加工和物质、建造方法、调试和运行程序，以便于在设施的整个寿期（包括退役）内控制残留物产生；
- (b) 采取措施避免泄漏，并对涉及区域进行分类和指定以防止污染扩散；
- (c) 适当地分离各种残留物流，以便于随后的处理、再利用和循环再用；
- (d) 监控和控制天然放射性核素向残留物或产品转移的方法。

6.17. 需要长期管理残留物数量应保持在可行的最低限度。在将天然存在放射性物质残留物指定为天然存在放射性物质废物之前，营运组织应寻求安全再利用或回取天然存在放射性物质残留物可行方法。关于天然存在放射性物质残留物再利用和再循环的资料见附件 IV。

加工

预处理

6.18. 预处理一般包括对被残留物污染的设备进行收集、表征、分离、化学调整和去污，必要时包括临时贮存。

6.19. 表征步骤很重要，可以根据表征残留物物理、化学和放射性特征对残留物进行分离，从而便于对残留物后续管理，包括处理、贮存、解控以及再利用和再循环。

6.20. 残留物应根据其物理、化学和放射性特征加以分离，同时考虑到随后的处理方法和产生进一步（次级）残留物可能性。应设计和实施隔离，以减少需要长期管理残留物和废物数量。分离应有利于残留物再利用和再循环。在采矿选矿中，未矿化或洁净废石与矿化废石的分离是一种预处理活动。

6.21. 如管道、阀门、加工容器、泵和机器等被天然存在放射性物质残留物污染的废料，应在可行的情况下进行净化以便再利用和回取。

处理

6.22. 天然存在放射性物质残留物处理包括通过改变残留物特征来提高安全性的操作。基本的处理概念是减少体积、去除放射性核素和改变成分。此类操作的示例有焚烧可燃废物或压实干固体废物（减少体积），液体流的蒸发、过滤或离子交换（去除放射性核素），以及化学物种的沉淀或絮凝（改变成分）。通常，这些过程中的几个组合使用，以完成液态残留物流的有效去污。这可能导致更多类型的次级残留物需要管理（例如受污染的过滤器、废树脂、污泥）。

6.23. 液态残留物管理的其他方案包括：

- (a) 将清洁水从污染源转移；
- (b) 残留水的再利用，用于加工过程或用于降尘；
- (c) 处理以分离悬浮在液体中的任何固态天然存在放射性物质残留物；
- (d) 处理液态残留物，使其适合排放到环境中；
- (e) 优化加工，减少体积。

6.24. 除非相关实践或来源是豁免的，或者残留物符合规定的解除监管的标准（见第 5.35—5.40 段），否则排放需要获得核准（见 GSR Part 3[4]第 3.4 段、第 3.123 段、第 3.124 段和第 3.132—3.134 段，GSG-9[13]提供了进一步的建议）。

整备

6.25. 天然存在放射性物质残留物整备是指将残留物转化为适合处理、运输、贮存和长期管理的形式的操作，包括处置。整备操作包括固定化、稳定化和包装。常见的固化方法包括液态残留物固化，例如在水泥中。稳定方法可以包括脱水和化学整备。

6.26. 含有可在环境中移动的危害成分或可增强放射性核素在环境中移动性的成分残留物应加以固定、稳定或以其他方式加以适当控制。尤其对于大

量的采矿和加工尾矿，原料加工产生的天然存在放射性物质残留物贮存，如磷石膏和赤泥的贮存，和酸性矿井排水。

6.27. 从尾矿中去除多余的水对于减少尾矿液渗漏的可能性、允许尾矿固结以防止差异沉降以及产生坚固的物质以提高包容性是很重要的。这可以通过薄层沉积来实现，在下一层沉积之前，每个部分都被允许通过蒸发来排水和干燥。或者在尾矿埋设之前或期间安装排水系统。在埋设后将抽芯打入尾矿中的实践取得了有限的成功。

再利用和再循环

6.28. 再利用和再循环计划的实施应遵守适当的标准，特别是解控标准（酌情包括针对特定情况的解控，见第 5.39 段和第 5.40 段）。关于天然存在放射性物质残留物再利用和再循环的更多信息见附件 IV。

6.29. 如第 5.39 段指出，对于可能再循环到建筑材料中残留物中的天然来源放射性核素，建筑材料中的活度浓度不应超过为满足每年 1 毫希沃特量级的剂量标准而得出的特定值，目标应是达到最佳的活度浓度。关于将残留物用作建筑材料的进一步建议见 SSG-32[15]。每年约 1 毫希沃特的参考水平仅适用于照射于建筑材料 γ 辐射的剂量（即不包括建筑材料排放到室内空气的氡-222 或氡-220 的任何额外剂量（见 SSG-32[15]第 4.17—4.27 段）。

残留物贮存和回取

6.30. 贮存是指将天然存在放射性物质放置在适当的设施中，并提供适当的容器，目的是回取这些残留物[1]。贮存可能发生在不同残留物管理步骤之间或内部。在某些情况下，贮存可用于促进残留物管理的下一步骤—例如，在残留物管理步骤内和步骤之间充当缓冲手段—或为放射性核素的衰变提供时间，直到授权排放、授权再利用或再循环或解控。例如，一些残留物可能适合贮存，以允许诸如钋-210 等寿命较短的放射性核素衰变。然而，对于一些残留物，贮存可能会导致衰变产物生长。

6.31. 对于目前处理不经济但随后可能会回取的物质，贮存可能是合适的。在这种情况下，管理计划必须充分管理与库存残留物相关的风险和负债。

天然存在放射性物质残留物长期管理的计划

6.32. 长期管理的首选方案将取决于开展活动的设施或场址的条件、矿体或加工物质的特征、采矿或加工操作以及产生残留物。如果预计未来不会使用天然存在放射性物质，则应对残留物进行加工或以其他方式准备，以满足经监管机构核准建立的长期管理验收标准。需要这些标准来特定说明残留物放射性、机械、物理、化学和生物特性（见 GSR Part 5[6]第 4.24 段）。

大型残留物

6.33. 大型残留物是最大的挑战，尽管它们的活度浓度相对较低，因为产生的体积很大，而且存在寿命很长的放射性核素和（通常）存在其他有害物质，如重金属、酸和碱。这些残留物包括选矿尾矿、残液、废石、磷石膏、氧化铝加工赤泥和煤燃烧飞灰。

6.34. 长期管理设施的最佳位置在很大程度上取决于残留物数量。大量残留物，如矿山过程中的尾矿和磷石膏，通常在产生它们的场址的专用设施中进行管理。在这种情况下，设施的选址和设计对有效和安全的长期管理至关重要。第 8 部分对此进行了描述。

6.35. 大量物质的搬迁是一个昂贵的选择，并可能影响项目的可行性。当一个场址关闭时，转移大量的天然存在放射性物质通常不是残留物最佳策略管理，因为所涉及的数量和成本非常大。在考虑大量残留物搬迁时，应考虑搬迁本身带来的放射性、非放射性和环境影响。

6.36. 经监管机构核准，一些残留物可能适合重新放入它们最初被移出的环境，可能包括在监管机构允许的情况下与其他残留物或废物一起处置。例如独居石砂被统一地重新注入矿物砂开采操作的治理工作中。

中型残留物

6.37. 对于可运输的中型残留物，可将这些残留物运送到现有的管理设施，或将残留物与其他废物同时处置，例如在废物填埋场。如果场内管理仍被认为是最佳选择，选址和设计是重要的考虑因素，如第 8 部分所述。

活度浓度较高的少量残留物

6.38. 少量产生残留物可以在场外设施管理，使用基于风险评价和监管核准的分级方法。例如，活度浓度很大残渣通常用喷水技术去除，这一去污过程产生的次级废物根据监管要求进一步处理。将少量高活度浓度残留物分散在大量低活度浓度残留物中可能是不合适的，除非这已在安全论证文件中处理，并符合法规要求。

6.39. 少量未经改性残留物可密封在适当的容器中，与放射性废物或其他危险废物一起存放在指定的废物设施或专门的废物填埋场，或可能放置在为长期管理而设计的尾矿管理设施的深处。对于一些液态残留物，例如来自地浸铀的液态残留物，可将其注入适当的地质层并进行预处理，然后进行土地利用。

7. 天然存在放射性物质残留物管理的安全论证文件与安全评定

概述

7.1. SF-1[2]第 3.15 段指出：

“必须按照分级方法对所有设施和活动进行安全评定。安全评定包括对正常运行及其影响、可能发生故障的方式和这种故障后果的系统分析。”

7.2. 安全评定是为了根据 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 4.11 段规定处理当前和长期的风险。关于放射性废物处置前管理的 GSR Part 5[6]、关于退役的 GSR Part 6[7]和关于放射性废物处置的 SSR-5[8]规定了安全评定的要求。

7.3. 安全论证文件被定义为支持设施或活动安全的论据和证据的集合，通常包括安全评定的结论和对这些结论的信任声明[1]。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》[30]和《安全标准丛书》第 SSG-23 号《放射性废物的处置安全论证文件和安全评定》[31]提供了关于放射性废物处置前管理和处置的特定安全论证文件和安全评定的建议。

7.4. 本部分中的建议适用于与许可证作为适当授权形式的设施和活动相关的天然存在放射性物质残留物（即只有通过执行更严格的措施来控制辐射照射才能确保可接受的防护和安全水平）。这是第 5 部分所述最高级别的规章，应适用于第 5.32 段指出的实践。对于铀生产和其他重要的常规设施和活动，将需要根据 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 4.1 段提出安全论证文件和辅助安全评定。

7.5. 对于与天然存在放射性物质残留物长期管理（包括处置）相关的设施和活动（见第 8 部分），安全论证文件和安全评定应在设施建造或活动开始前准备好。SSG-23[31]对安全论证文件和安全评定提出了进一步的建议。如 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 1.9 段指出：

“对于许多设施和活动，在开始建造或实施之前，将需要进行环境影响评定和非辐射风险评定。一般来说，对这些方面的评定与为处理相关辐射风险而进行的安全评定有许多共同点。这些不同的评定可以合并起来以节省资源，并增加其结果的可信度和可接受性。”

7.6. 在计划和设计拟议设施或活动时，必须进行安全评定（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 1.8 段）。在计划天然存在放射性物质设施或活动时，营运组织应准备一份安全评定以证明拟议设施或活动的安全性以及这些设施或活动符合法规要求。

7.7. 安全评定应主要针对辐射剂量和辐射风险方面对人类和环境的影响。在非辐射风险占主导地位的情况下，相关监管机构之间必须作出安排，以确保对所有危害采取一致的方法，并明确分配每个监管机构的任务和责任。

7.8. 放射性环境影响评定应构成安全评定的一部分。GSG-10[26]就对设施和活动进行预期评定以估计对公众和环境的辐射影响的一般框架提出了建议。

7.9. 进行安全评定时需要考虑的要点如下：

- (a) 就针对不同设施和活动进行的与天然存在放射性物质管理相关的安全评定的范围和详细程度而言，需要采取分级方法（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]）；

- (b) 要求在设计阶段或尽早对现有设施或活动进行安全评定（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 4.6 段）。安全评定必须涵盖设施或活动的完整寿命，酌情包括退役或关闭和关闭后（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 1.8 段）；
- (c) 安全评定应确定和评定各种天然存在放射性物质流通过所有潜在照射途径产生的影响。还应考虑时间变化的影响（例如地下水位、氡日波动），包括可能的长期影响；
- (d) 安全评定必须记录在案，并表明评定如何导致设计或运行的改进（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]要求 20 和第 4.15 段）；
- (e) 安全评定必须在必要时更新以反映运行或监管要求的重大变化（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 4.6 段）。

7.10. 要求营运组织将安全评定作为一项投入，以确定运行限值和条件，以及监控计划和行政控制（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]要求 24）。安全评定还应提出天然存在放射性物质残留物管理的计划和设计标准。

7.11. 安全评定报告是营运组织在申请设施或活动授权时向监管机构提交的主要文件。因此，它应该证明符合监管要求并考虑天然存在放射性物质残留物管理的整个寿期。安全评定的一个重要成果是促进了相关各方就与设施或活动相关的问题进行沟通（另见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 5.9 段）。

7.12. 安全评定应考虑天然存在放射性物质设施全寿期（即选址、设计、建造、运行、退役或关闭、关闭后）和天然存在放射性物质活动的各个阶段（即残留物产生、处理、再利用和再循环、贮存、处置）。

7.13. 政府应确保监管框架（见第 3 部分）包括按照分级方法对安全论证文件进行监管评审和核准的规定。

安全评定范围

7.14. 如第 7.26—7.30 段指出，安全评定的范围和程度应与天然存在放射性物质残留物管理相关的场址特定问题相匹配。初始安全评定的结果应考虑到天然存在放射性物质残留物管理场址的选择和设施的设计。评定应考虑工作人员、公众和环境可能受到辐射影响的所有重大假想方案和照射途径。安全评定的范围和深度应足以识别和评价设施或活动寿命期内的相关

风险成分。所使用的模式或方法应允许以一致的方式比较与天然存在放射性物质残留物管理不同计划相关的各种危害的影响。

7.15. 放射性和非放射性影响都应进行评定，以确定如何防护和安全最优化。非放射性影响的评定也将酌情受环境保护法律以及健康和安全的法律的制约。虽然非放射性危害的评定不在本“安全导则”的范围内，但此处所述的评定方法也可用于危害和天然存在放射性物质的非放射性成分构成的危害评定。同样，评定和管理环境影响以及一般健康和安全的（例如对工作人员）的现有系统在管理辐射风险方面可能是有价值的。对于不适合发放许可证的天然存在放射性物质设施和活动尤其如此，这将使防护和安全得到有效的最优化。

7.16. 安全评定应包括以下方面：

- (a) 场址和设施或活动的说明，包括相关结构、系统和部件以及对设施或活动安全重要物项的特征；
- (b) 原材料、加工设备、产品和天然存在放射性物质中放射性的最大预期库存量，以及任何相关的验收标准；
- (c) 运行和程序（设施内、外）的说明，包括相关残留物清单和特征；
- (d) 与天然存在放射性物质管理相关的防护和安全管理系统的描述；
- (e) 系统地识别与运行状态和事故工况相关假想方案中的危害；
- (f) 对可能由于包容故障而导致放射性物质排放的不同假想方案，包括组合假想方案进行评价，以便在进一步审议时消除那些可能性较低或潜在后果较小的假想方案；
- (g) 对工作人员和公众剂量的评定，包括因氡和/或钍而照射的评定；
- (h) 对放射性物质排放的可能性和潜在后果的评定，并将评定结果与监管限值和约束进行比较；
- (i) 建立运行限值和条件以及行政控制。如有必要，应修改天然存在放射性物质残留物管理的设计，并更新安全评定；
- (j) 具有重大安全影响活动的程序和运行手册；
- (k) 工厂和设备的定期维护、视察和试验计划；
- (l) 关于监控和监视计划的说明；
- (m) 对工作人员的培训计划；

- (n) 应急计划（如适用）；
- (o) 职业辐射防护、公众和环境防护的规定；
- (p) 退役和/或关闭的规定，如适用，包括财务资源需求；
- (q) 相关各方参与的规定；
- (r) 记录保存和质量管理。

执行安全评定

7.17. 为解决第 7.16 段所列的问题，安全评定通常应包括以下内容：

- (a) 确定和界定评定的假想方案，包括评定标准；
- (b) 拟评定的运行假想方案的开发和正当性说明；
- (c) 制定和实施用于计算辐射影响的模式；
- (d) 结果分析及与评定标准的比较；
- (e) 对项目或过程的任何修改的说明；
- (f) 为达到符合评定标准和最佳防护和安全水平而进行的评定的任何重申的说明。

7.18. 评定背景包括评定的目的和范围、评定所依据的思想系统、管理框架，评定标准和终点，以及评定的时间框架。如第 7.9 (b) 段指出，要求评定涵盖设施的整个寿期，酌情包括退役和/或关闭和关闭后。

7.19. 对场址、设施和运行活动的描述应足够详细，以支持运行假想方案的开发和随后对这些假想方案的安全评定。在可行的情况下，假想方案应该是特定的：应考虑和选择特定的场址和设施特点、设施特定的运行安排以及天然存在放射性物质残留物特征。假想方案应该涵盖运行期间、关闭期间和关闭后的特征、事件和过程。例如，任何影响尾矿管理设施稳定性的因素，包括自然和人类活动，都应得到充分处理。必须系统地处理安全评定中考虑的特点、事件和过程（见第 7.16 段），并证明确定与安全相关的假想方案是正当的（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 4.51 段）。

7.20. 一旦制定了假想方案，就应进行相应的评定，同时考虑应用分级方法。这通常是使用评定模式进行的。一个有用的方法是建立场址模式，考虑放射性可能通过环境移动的潜在途径。这一场址模式应考虑天然存在放射

性物质的清单（包括原料、残留物和废物）及其物理和化学特征，和位置，以及任何非放射性危害的说明。评定模式可以从以下一个或多个组成部分发展起来：专家知识、概念性场址模式、数学模式和计算机模拟。通常，可能需要开发特定的模式，例如考虑特定的过程。在安全评定时需要将所有单一部件联系起来，以便能够评定整个设施或活动的潜在辐射影响。

7.21. 安全评定还应考虑以下因素：

- (a) 基准浓度（见第 8.50 段）和评定终点，以及选取正当性；
- (b) 评定的时间尺度；
- (c) 如果同一场址存在或计划有若干设施或活动，则应考虑所有这些设施和活动的累积影响；
- (d) 始发事件，包括内部事件、外部事件和人为事件（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 4.5 段和第 4.22 段）；
- (e) 在完成评定时使用保守和现实的计算方法；
- (f) 对于处置设施，关闭后是否需要任何持续的有组织控制，以及任何此种控制的持续时间；
- (g) 关于处置设施，关闭后丧失有组织控制，包括可能有人员无意中侵入；
- (h) 敏感性分析的使用和安全评定中不确定性的方法（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]要求 17）。

7.22. 在完成安全评定后，应对与每种情况相关的辐射风险进行量化、筛选和排序，以便将资源用于与设施或活动相关的最重大危害。对于没有可能对人类或环境造成重大伤害的情况，都可以在进一步的安全评定中删除。在对安全评定的重新评价中，任何此类决定都应进行评审，以检查它们是否有效。

7.23. 作为授权过程的一部分，营运组织必须向监管机构提交安全评定（见 GSR Part 4 (Rev.1) [5]第 1.2 段）。安全评定的结果也是某些设施和活动所需的安全论证文件的一部分（见 GSR Part 5[6]要求 13—16）。

7.24. 如果安全评定的结果表明不符合法规要求，则应在必要时重新审视和修改项目，以达到必要的符合水平。计算的剂量低于剂量限值是不够的，该项目应该重新评定，以证明防护和安全是最优化的。必要时应重复这一步

骤，以“在设施或活动的整个寿期内提供可合理实现的最高安全水平”（SF-1[2]第 3.21 段）。在这个迭代过程完成之前，安全论证文件不应最终确定。

7.25. 营运组织应确保作为安全评定的一部分进行的任何计算足以与评定终点和监管机构规定的任何额外安全或性能标准进行比较。营运组织在申请许可证时，应提供相关应用安全评定结果的指引。例如，应该说明如何用安全评定结果（终点）表明设施符合法规标准（例如安全目标）。

安全评定的分级方法

7.26. 必须采用分级方法进行安全评定，并考虑到现有的职业健康、安全和环境控制措施。对于天然存在放射性物质残留物，在许多情况下，非常简单的假设和计算可能比进行详细和复杂的安全评定更合适。此外，只有在达到辐射防护水平最优化所必需的情况下，才应对天然存在放射性物质残留物管理实施额外的控制。

7.27. 安全评定是一个系统的过程（见 SF-1[2]第 3.15 段），用于安全评定的资源必须与需要管理的风险相匹配（见 GSR Part 4（Rev.1）[5]第 3.2 段）。对于更复杂的项目，安全评定应该是迭代的，每一次迭代都有助于防护和安全的最优化。

7.28. 在确定防护水平最优化和最佳监管干预水平时，需要适当考虑社会和经济因素（见 SF-1[2]第 3.23 段和第 3.24 段）。因此，尽管管理不同来源的天然放射性残留物安全原则是相同的，但为了防护最优化，天然存在放射性物质残留物管理各个计划的实际重点可能有很大不同。

7.29. GSR Part 4（Rev.1）[5]第 3.3 段指出：

“在采用分级方法时应考虑的主要因素是，安全评定应与该设施或活动可能产生的放射性危害的程度相一致。该方法还考虑到正常运行中放射性物质的任何排放、预计运行事件的潜在后果和可能的事故工况，以及发生具有高潜在后果的极低概率事件的可能性。”

7.30. 在应用分级方法时，应考虑三个方面（见 GSR Part 4（Rev.1）[5]第 3.3 段和第 3.4 段）：

(a) 可能的放射性危害程度；

- (b) 使用经过核实的实践、程序和设计来管理风险；
- (c) 设施或活动的复杂性。

7.31. 随着安全评定的进展和对设施或活动产生的辐射风险的更好理解，应重新评定分级方法的应用。如果安全评定表明特定的监管要求在防护和安全最优化方面不起作用，监管机构应考虑给予豁免。

安全论证文件和安全评定的文件化

7.32. 如 GSR Part 5[6]关于放射性废物处置前管理设施和活动要求 15 规定：

“安全论证文件及其辅助安全评定应以足够的详细程度和质量记录在案，以证明安全支持每个阶段的决定，并允许对安全论证文件和安全评定进行独立评审和核准。文件应编写清晰，并应包括根据可追踪的信息证明在安全论证文件中所采取的方法是正当的论据。”

7.33. 要求在安全论证文件中证明在安全情况下做出的任何假设或使用的一般信息的正当性（见 GSR Part 5[6]第 5.9 段）。对于涉及长时间框架的设施或活动，作为安全论证文件的一部分，应提供在预期项目寿命内进行充分记录保存的计划。

7.34. 一些监管机构在管理涉及天然存在放射性物质残留物设施和活动方面可能没有深入的经验 and 专门知识。在这种情况下，监管机构在评审和评定安全论证文件和安全评定时，可能需要寻求相关专家机构和工作人员的合作和建议。

定期安全评审

7.35. 安全评定必须按照规定的时间间隔（见 GSR Part 4（Rev.1）[5]）定期评审（见 GSR Part 4（Rev.1）[5]要求 24）（见 GSR Part 5[6]第 5.12 段）。根据 GSR Part 5[6]要求 16，在下列情况下应评审和更新安全论证文件和辅助安全评定：

- (a) 设施或活动发生任何实质性变化，或放射性核素库存发生可能影响安全的变化；

- (b) 当场址发生可能影响设施或活动的变化时，如侵占工业或市政发展；
- (c) 当知识和理解发生重大变化时，例如来自新的研究数据或来自监控和运行经验；
- (d) 当由于监管问题或事故而出现新的安全问题时；
- (e) 按照监管机构的规定，在预定期限内定期地进行；
- (f) 当监管要求改变时。

8. 天然存在放射性物质残留物长期管理的安全考虑

概述

8.1. 本部分适用于天然存在放射性物质残留物长期管理的设施，如第 5 部分所述，适用于通过许可证授权的设施。这应适用于第 5.32 段指出的那些实践，其中包括第 7 部分所述的铀生产和其他需要安全论证文件和辅助安全评定的重要天然存在放射性物质设施和活动。

8.2. 残留物管理设施应在选址、设计、建造、运行、退役和/或关闭的所有阶段符合监管机构规定的要求，包括任何许可证条件。当残留物没有预见进一步的用途，并且既没有豁免也没有解除监管时，处置放射性废物要求在 SSR-5[8]建立的应按照分级方法应用。退役的要求在 GSR Part 6[7]确定。

8.3. 残留物长期管理的最佳位置在很大程度上取决于残留物量。大型残留物，如铀矿开采和制粉的废石和尾矿以及磷石膏，一般在其产生场址进行管理。在选择管理大型天然存在放射性物质的场址时，应考虑搬迁和合并残留物好处，以限制残留物管理场址的数量。

8.4. 建造管理大量天然存在放射性物质残留物，如铀矿或加工尾矿的设施通常是一个需要大量费用的长期项目，因此，在选址、设计或建造方面的任何问题都应在工作开始前确定—或在过程中尽早确定—以避免意外费用。对已完成的建筑进行维护或其他治理措施，很可能在经济上令人望而却步、耗时，在某些情况下甚至是不可行的。

8.5. 重要的是，在场址表征、设计和建造期间，必须采取有效的核实和质量控制措施，以确保任何工程结构，如大坝、护堤、工程衬砌和压实层，符

合设计说明。质量控制计划还应包括对建筑材料（如收银台、粘土）进行试验，以确保它们符合设计标准和说明。

选址

8.6. 在为大型残留物选择场址时，一个重要的考虑是尽量减少对能动有组织控制的依赖。应评定使用残留物管理概念设计获得的最终最佳选址，并将由此产生的安全评定，包括环境影响评定，提交监管机构评审和核准。残留物管理设施场址的选择应考虑到长期稳定性，以及在设施正常运行和可能发生事故的情况下，在预期寿命内对人类和环境的防护和安全最优化的需要。在选择场址时，应考虑可能有助于控制残留物进一步产生的特点，例如可尽量减少土壤或渗漏水等环境基质次级污染最小化的特点。对于铀生产和其他天然存在放射性物质设施，非放射性环境保护问题通常会主导决策。

8.7. 大量残留物长期管理设施通常位于产生残留物场址附近。然而，必须通过逐步选址计划和场址表征计划确定最佳场址（另见 SSR-5[8]关于处置设施场址表征的要求 15）。应对场址表征进行初始评价，以确定每个拟议场址在辐射和环境因素方面的任何限制，并允许选择少量场址和可能的初始设计概念，然后可对其影响进行详细评价。

8.8. 在选择一个长期管理大量残留物场址时，场址表征特别重要。在为长期管理做出设计决策之前了解场址，包括时间波动是非常重要的。支持设计决策所需的场址表征信息包括以下内容：

- (a) 当地气候和气象；
- (b) 地理和地貌学；
- (c) 构造地质学和地震学；
- (d) 地球化学（天然和加工物质）；
- (e) 矿物学；
- (f) 地表水和地下水水文学；
- (g) 动植物群，包括任何受保护和濒危物种；
- (h) 地方土地管理；
- (i) 人口分布与当地土地利用；

- (j) 考古和遗产问题；
- (k) 社会经济问题。

设计与建造

8.9. 天然存在放射性物质残留物或天然存在放射性物质废物长期管理设施的设计和建造应具有以下目标：

- (a) 尽量减少水分渗入；
- (b) 保持包容屏障的长期稳定性和完整性；
- (c) 最大限度地使用惰性和稳定的材料作为限制屏障；
- (d) 将残留物和废物置于地面以下，以尽量减少可能导致设施故障或意外排放受污染物质的潜在地表侵蚀的影响；
- (e) 尽量减少设施影响的表面积；
- (f) 尽量减少运行期间及退役或关闭后对周围环境的影响；
- (g) 尽量减少地下水污染的可能性；
- (h) 在处置设施关闭前尽量减少回取或重新放置残留物需要；
- (i) 尽量减少无意侵入的可能性；
- (j) 便于在运行期间以及酌情在关闭后进行监视、维护和控制；
- (k) 通过残留物整合，最大限度地减少残留物管理场所的数量。

8.10. 残留物长期管理设施的设计应遵循良好实践（和最佳实践，在可行的范围内），并满足适用的防护和安全法规要求。设计过程中应考虑的因素酌情包括：

- (a) 场址表征（见第 8.8 段）；
- (b) 残留物特性包括体积和化学、物理和放射性特征；
- (c) 设施的容量，以确保在运行和退役或关闭期间有足够的空间（包括考虑可预见事故工况）；
- (d) 残留物整备，包括中和、沉淀、增稠和蒸发；
- (e) 回取残留物以便重新安置、再利用或再循环（包括为进一步提取资源而进行处理）的潜力；
- (f) 排水和液体管理，包括渗漏收集和处理；

- (g) 残留物产酸潜力；
- (h) 辐射防护措施，可包括屏蔽、包容和控制氦气和灰尘的措施；
- (i) 场址出入控制和对进入控制区的控制；
- (j) 对残留物及其包容的视察结果以及任何违规的问题；
- (k) 设施通风，包括对排入大气的废气进行过滤；
- (l) 任何覆盖物和底座的渗透性，以及考虑到场址和残留物特征，包括与侵入、液体泄漏和氦散发相关的特性，可接受的渗透性标准；
- (m) 关于环境监控的规定，包括地下水井设施以及污水排放或空气排放的水和空气取样站；
- (n) 便于维护工作和最终退役和/或关闭的规定；
- (o) 与天然风化过程和极端自然事件（如洪水、干旱、龙卷风、地震）相关的长期稳定和侵蚀控制（如水坝、护堤、斜坡、覆盖物）；
- (p) 对人员、植物或动物无意侵入的控制。

8.11. 在选址和概念设计获得监管机构核准后，可进行详细的工程设计。在这一阶段应进行进一步的安全评定，包括防护最优化。如果在任何阶段对管理设施的设计作出重大改变，则应进行进一步的安全评定，包括防护最优化。

8.12. 详细设计应得到安全评定（见第7部分）的支持，并酌情得到场址工作、实验室和/或试验工厂研究的支持。设计应考虑到残留物和废物管理计划。这类计划将包括，例如，尾矿和废石的管理，关于污水处理、渗漏控制和运行监控的建议，以及对关闭和关闭后管理的思考。

8.13. 应在设计过程的早期阶段制定建造质量控制计划，该计划应明确界定和记录并定期重新评定。有效地执行一个健稳的质量控制计划需要训练有素和专心致志的工作人员。质量控制程序应规定要进行的试验，包括试验目标和要达到的设计标准，以及确保按照详细设计完成建造所必需的任何其他措施。

8.14. 在处置设施的概念设计阶段应编写初始关闭计划，根据安全评定和防护最优化的结果，确定可供选择的关闭计划并对其进行排序。初始关闭计划亦应订明首选计划所需的财务资源，并顾及关闭后的土地使用计划。初始关闭计划应提交监管机构核准。

运行

8.15. 长期管理天然存在放射性物质残留物或废物设施应按照残留物和/或废物管理计划运行，该计划是以符合安全评定的方式制定和修改的，并符合监管机构发放的许可。该计划应详细说明残留物或废物管理的所有方面。该计划应符合质量保证计划，并应包括以下规定：

- (a) 运行、维护、监控、质量保证、安全和适当的安保的详细和文件化的程序；
- (b) 培训人员执行程序；
- (c) 对所有安全重要结构、系统和部件进行充分的监视和维护；
- (d) 酌情指定控制区和监督区域（见 GSR Part 3[4]要求 24）；
- (e) 对从场址移除物质解控的程序；
- (f) 及时向监管机构提交视察报告、监控结果和异常事件报告；
- (g) 编写适当的应急预案（见第 4.17—4.20 段）；
- (h) 评审和更新管理计划；
- (i) 定期更新存放废物库存登记册。

8.16. 营运组织应确保残留物管理计划和运行程序得到遵守。应修改和更新管理计划，以考虑到从设施运行中发现的反馈和经验教训。这对于在运行期间以及酌情在关闭后保持所需的防护和安全水平非常重要。

8.17. 监管机构应评审和核准残留物管理计划，并核实营运组织在运行、退役或关闭期间遵守了运行程序。监管机构应实施适当的制度，以监督和视察营运组织对核准残留物管理计划的遵守情况。如果营运组织未能满意地遵循核准残留物管理计划，监管机构应采取适当的行动来解决不符合规定的情况。

8.18. 与天然存在放射性物质残留物管理的其他方面一样，监管机构应根据正常操作下的风险规模和可预见的事事故工况，采取分级监管方法。

8.19. 营运组织应在安全评定的基础上采取措施，限制液体和空气流出物中放射性核素向环境的排放。应采取措，确保固态残留物和废物保持在适当的控制之下，以避免尾矿和其他天然存在放射性物质的滥用。应尽量减少

通过地面径流或从固态残留物或废物中浸出而向大气中排放氡或放射性粉尘，以及向地表水和地下水中排放镭和其他放射性核素。

8.20. 在特定情况下，放置在坑内的尾矿上的承压水可用作氡屏障，从而无需大量脱水。关闭依赖水覆盖物设施的计划应考虑尾矿的放置（地上或地下）、当地气候和长期非能动维持水覆盖物可能性。水覆盖物通常只用作放置在地面以上残留物临时或临时氡屏障，或者对于放置在地面以下残留物，在条件不适合永久水覆盖的情况下。

设施的退役和设施的关闭

8.21. 关于关闭处置设施的要求见 SSR-5[8]，关于设施退役的要求见 GSR Part 6[7]。关于退役的建议见原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-5.1 号《解除终止实践后场址的监管控制》[32]和原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-5.2 号《使用放射性物质设施的退役安全评定》[33]。

8.22. 当一个长期管理天然存在放射性物质残留物和废物设施关闭时，即退役（指用于管理残留物建筑物和服务）和关闭（指有废物放置的场址部分）。在这种情况下，过程将包括以下步骤：

- (a) 设计考虑和早期计划；
- (b) 编写和核准退役和关闭的最后计划；
- (c) 建筑物和其他构筑物退役；
- (d) 退役活动产生残留物和废物管理；
- (e) 关闭处置设施；
- (f) 完成最终辐射调查；
- (g) 必要时实施有组织控制；
- (h) 考虑最后的土地用途和基础设施用途。

8.23. 在设施建造之前的设计阶段，应编写退役和/或关闭的初始计划。初始退役和/或关闭计划应根据安全评定和最终状态标准，确定安全管理残留物和废物现有计划并对其进行排序，目的是选择防护和安全得到最优化的首选方案。初始计划还应特定说明为首选计划提供必要的财务资源。退役和/或关闭的初始计划应接受监管评审和核准，并定期修订。

8.24. 残留物和废物管理的长期防护和安全主要依靠非能动手段，以尽量减少对重大和持续维护的需要。使用的非能动安全功能将取决于残留物或废物数量和类型。例如，铀加工尾矿应稳定并用土壤或水覆盖以限制氡的排放，有必要经常使用衬垫以减少地下水污染的机会。

8.25. 在退役或关闭之前，应为物质的解控、再利用和再循环制定监管标准（见第 6.28 段和第 6.29 段）。还应酌情为设备、结构和场址制定标准，例如：

- (a) 将设备和构筑物从监管中移除；
- (b) 设备、结构和物质的再利用和再循环；
- (c) 解除场址不受限制或受限制的使用。

8.26. 在运行期间，应在合理可行的范围内分阶段逐步关闭和退役。

8.27. 退役和/或关闭计划应在下列基础上进行评审：

- (a) 定期考虑正在进行的运行、监控结果和为控制污染而采取的任何措施；
- (b) 在对设施或所管理的天然存在放射性物质的类型或数量进行修改后；
- (c) 如监管规定或预期土地的未来用途有所改变。

8.28. 关于财务规定的建议见第 5.41—5.45 段。营运组织应定期评审设施运行期间的财务资源和退役和/或关闭计划，以确保有足够的资金支付达到最终状态标准的全部费用。

8.29. 如 GSR Part 6[7]要求 11（脚注略）规定：“**在进行退役行动之前，应编写最终退役计划，并提交监管机构核准。**”

8.30. 如 SSR-5[8]要求 19 规定：

“处置设施的关闭方式应保证安全论证文件表明的在关闭后具有重要作用的安全功能。关闭计划，包括从能动管理设施过渡的计划，应明确规定并切实可行，以便在适当的时候安全地进行关闭。”

8.31. 最后的退役和/或关闭计划必须在启动退役和/或关闭活动之前得到监管机构的核准（见 GSR Part 6[7]要求 11 和 SSR-5[8]要求 19）。最后的退役和/或关闭计划应至少涉及以下内容：

- (a) 对退役后和/或关闭后对人类和环境的风险评定；

- (b) 土地所有权和未来的土地用途；
- (c) 最终状态标准—辐射、环境和地貌—以及如何满足这些标准；
- (d) 被认为是达到所要求的结束状态一种手段的替代方案；
- (e) 同时采取的恢复措施；
- (f) 提前关闭的规定；
- (g) 退役和去污程序和技术，包括：
 - (i) 含有或受天然存在放射性物质污染残留物和工厂结构、设备和物品的再利用和再循环；
 - (ii) 设施去污和退役所产生的天然存在放射性物质的管理。
- (h) 退役和/或关闭的计划时间表；
- (i) 对土地区域进行任何治理的需要；
- (j) 场址的最终辐射调查；
- (k) 需要任何长期的有组织控制，包括监控和监视；
- (l) 相关各方的参与；
- (m) 费用概要；
- (n) 假设和不确定性的概要；
- (o) 初始关闭计划的更新和修订。

8.32. 从运行和退役中产生的天然存在放射性物质残留物可能使用相同的长期管理设施。退役计划应考虑各种废物流混合物质的影响以及对固结和差异沉降的影响。

8.33. 退役和关闭都将涉及对天然存在放射性物质残留物和废物非放射性成分的考虑，在许多情况下，这些非放射性考虑将是主要因素。

8.34. 营运组织需要编写一份退役和/或关闭报告，以确认设施或场址已达到经核准的最终退役和/或关闭计划中规定的结束状态。报告应经监管机构评审和核准。

8.35. 在评审最后的退役和/或关闭报告以及认为必要的任何其他核实措施后，监管机构将决定在退役和/或关闭后终止对设施的授权，以及是否有限制地排放设施（见 GSR Part 6[7]要求 15 和 SSR-5[8]第 5.10 段和第 5.14 段）。

8.36. 必须建立一个系统，以确保维护与设施退役和/或关闭相关的所有安全记录（见 GSR Part 6[7]第 9.7 段和 SSR-5[8]第 3.15 段和第 5.13 段）。这一制度应涉及营运组织、监管机构、政府和负责实施长期管理和有组织控制的任何其他实体。该系统的设计应确保任何希望进入该场址的人员了解该场址以前存在的设施以及在该场址进行活动的性质。

长期管理与有组织控制

8.37. 如果一个场址不能被解除作无限制的用途，就应该限制该场址的使用，并需要适当的有组织控制，以确保长期保护人类和环境。如 SSR-5[8]第 1.22 (iii) 段指出：“实行有组织控制，以防止侵入设施，并通过监控和监视手段确认处置系统按预计运行。”控制可以是能动的（例如通过监控、监视、治理工作、引水和处理以及围栏）或非能动的（例如通过土地使用控制、标记和记录）。

8.38. 当运行中的厂房和辅助服务已退役，所有工程设计的密封和隔离设施已到位，任何剩余设施都已完成最后配置时，长期管理期就开始了。根据 SSR-5[8]要求 22，在退役行动和关闭完成后，长期管理设施的安全必须主要通过非能动特点来保障，包括场址特征和已经到位的最后覆盖物，以及诸如标记等有组织控制措施（见 SSR-5[8]第 3.48 段和第 5.9 段）。

8.39. 如果有组织控制被认为是必要的，则必须有一个管理这些控制的组织，管理人可以是政府（通常是监管机构以外的机构），也可以是合格的私营实体。管理人应向监管机构或政府提供相关场址情况的定期报告。

8.40. 如果有必要进行能动控制，营运组织应提供足够的资金，在必要的期间内实施和维持对设施的监控、监视和控制。该场址及其任何残留物不应成为政府或公众的财务负担。

8.41. 营运组织负责编写一份关于场址长期管理的拟议计划，供监管机构评审和核准（见 SSR-5[8]要求 22）。营运组织负责编写场址长期管理的拟议计划，供监管机构评审和核准（见 SSR-5[8]要求 22）。该计划的设计应以第 7 部分所述的安全评定为基础，其中考虑了在未来适当时期内对人类和环境的影响。

8.42. 营运组织准备的安全论证文件应说明有组织控制计划继续有效的期限，这应得到监管机构的核准。在安全评定中应考虑假想人为侵入、工程结构失效和环境条件变化的情况（见第 7 部分）。

8.43. 作为长期管理计划的一部分，应根据适用的法律要求，保存关于密封残留物管理设施特性、土地使用限制以及持续监控和/或监视措施的所有相关记录。应根据请求向相关各方提供此类记录（另见 SSR-5[8]第 3.16 段和第 5.13 段）。

8.44. 对于目前正在运行的一些场址或过去实践产生的一些场址，主要采用非能动方法的目标可能无法完全实现（见 SSR-5[8]第 6.3 段）。在这种情况下，必须努力尽量减少能动控制的数量。

监控和监视

8.45. SSR-5[8]要求 10 和 21 涉及对处置设施的监控和监视计划，SSG-31[16]提供了更详细的建议。关于铀生产设施的监控和监视计划的进一步资料见参考文献[34]。

8.46. 营运组织必须制定和实施监控和监视计划（见 SSR-5[8]要求 10 和 21），该计划应得到监管机构的核准。该计划应由营运组织在运行前、运行中和运行后、退役和关闭期间执行并定期评审。监管机构应在设施的整个寿期和长期管理期间视察和核实监控结果。有组织控制（见第 8.37 段）应确保监控和监视计划的稳健性，并在关闭后视需要继续执行。

8.47. 监控和监视计划包括持续或定期的观察和测量，以评价和核实残留物管理设施的行为。该计划包括放射性、环境和工程参数的测量。该计划的结果应用于评定设施对人类和环境的影响，并支持设施寿期各阶段的决策。

8.48. 监控的类型、持续时间和频率应适应设施寿命期内的每一阶段：运行前阶段、运行期（包括退役运行）和关闭后阶段（见 SSR-5[8]第 1.22 段）。

8.49. 应采取分级方法调整监控计划中的详细程度（例如持续时间、频率、取样地点、待监控参数），使其与设施相关的风险程度相匹配。

运行前阶段

8.50. 运行前阶段包括场址评价（选择、核实和确认）、安全评定和设计研究。监控和监视计划在运行前阶段的目标如下：

- (a) 对场址表征和场址适宜性的评价做出贡献；
- (b) 为设施的设计和建造提供投入；
- (c) 为运行和关闭后的安全论证文件提供必要的投入；
- (d) 建立基准条件，包括确定场址现有的天然放射性水平，以便与以后的监控结果进行比较。这对于天然存在放射性物质残留物尤其重要，因为自然界中已经存在同样的放射性核素；
- (e) 协助设计运行期的监控计划。

运行阶段

8.51. 监控和监视计划在运行阶段的目标如下：

- (a) 证明对工作人员的保护；
- (b) 提供数据以确认长期管理设施的性能；
- (c) 检查污水处理和控制系统的性能，并酌情检查消除空气中排放系统的性能；
- (d) 对任何偏离正常运行的工况提供早期预警；
- (e) 提供关于向环境排放放射性核素的数据（例如，速率、浓度、成分），用于预测建模和确定公众照射剂量；
- (f) 评价遵守监管规定的情况；
- (g) 向相关各方提供信息并支持与相关各方的沟通。

退役及关闭后阶段

8.52. 在退役和关闭后的一段时间内，应执行监控和监视计划，以证明该设施的运行情况如预测的那样，并应用于以下方面：

- (a) 探测环境中可归因于长期管理设施的放射性核素异常浓度；
- (b) 核实屏障的性能和完整性；
- (c) 验证关闭后后放射学目标的实现；

- (d) 为控制决策提供信息，例如从能动的有组织控制转为非能动的有组织控制，直至无限制的排放；
- (e) 确定在任何有组织控制期间进行监控和监视活动的必要性和类型；
- (f) 满足对相关各方信息公开透明的原则；
- (g) 评价是否符合法规要求。

8.53. 监控和监视计划应特定规定要监控的参数、测量和取样的场址和频率以及分析和报告的程序，包括确定适当的行动水平。此种计划应包括下列各项的衡量标准：

- (a) 环境影响指标，如空气、水和土壤中放射性核素和非放射性污染物水平；
- (b) 结构和系统的实物完整性，以包容天然存在放射性物质残留物；
- (c) 有助于解释数据的参数，如气象数据、运行过程数据和废物流数据。

8.54. 参考文献[34]附件I提供了关闭后铀尾矿场址长期监视计划的典型内容的示例。考虑到分级方法，该示例计划也可适用于对具有类似特征的其他天然存在放射性物质残留物设施的监视。

附录 I

铀生产残留物特殊考虑

I.1. 铀生产过程产生各种残留物流，包括磨矿尾矿、废石、矿化废石和加工水，包括浸出溶液。还应管理铀加工工厂贮存和地区的降雨、融雪径流和渗漏。此外，残留物管理计划应考虑到使用过的管道、加工容器、过滤器和矿井水。

铀矿开采废石

I.2. 铀矿开采产生的散装废石需要长期管理，因为其产生的体积很大，存在长寿命放射性核素和重金属，并有可能产生酸性排水。

I.3. 铀矿开采产生的散装废石含有原矿中的所有放射性核素处于长期平衡状态，但活度浓度较低。铀衰变链中的放射性核素浓度大多在 1 贝可/克以下；然而，这仍可能导致一年内公众照射超过 1 毫希沃特。废石物质的再利用存在一些方案，例如用于道路建造或作为回填物质。

I.4. 在大多数情况下，废石堆在靠近矿山的地面上，几乎不会对水体产生有害影响。渗漏水由排水系统收集，以防止或减少放射性核素迁移到地下水中。

I.5. 矿山关闭后（或在运行过程中逐步进行），废石堆被覆盖以减少雨水的渗透。一般来说，根据废石物质的酸化潜力可以使用两种类型的覆盖物。特别是在处理碱性废石和黄铁矿废石时应考虑不同的设计。为避免黄铁矿氧化造成的酸化，可能需要更厚和多层的覆盖层，从而避免放射性核素的浸出。

I.6. 管理废石和矿化废石的方案包括在露天坑和地下矿山用作回填物质和在矿场建筑中使用。应考虑用惰性废石覆盖矿化废石。与大量矿物加工残留物一样，应考虑废石堆的稳定性及其对侵蚀和雨水渗入的抵抗力，以确保其不会对集水区（例如酸性矿井排水）造成不可接受的环境影响。

I.7. 在矿区，可将废石和尾矿共同放置，地下和地上管理的方案都可以考虑。应设置适当的覆盖物，以抑制氡向空气中的排放，并防止潜在的人类侵入。然而，应考虑混合物质的化学和机械相容性。

铀矿尾矿

I.8. 铀矿尾矿由于其产生体积量大，在长期管理方面是一个挑战，存在长寿命放射性核素、重金属、化学危害和产生酸性排水的潜力。

I.9. 尾矿含有原矿石中的所有放射性核素，其浓度接近矿石中的浓度，但铀同位素及其直接的短寿命衰变产物除外。铀矿石中存在的原始放射性约75%保留在尾矿中。尾矿通常以泥浆形式（含有约20—50%固体）排放到一个专门建造的储水结构或蓄水池中，位于地上或地下。

I.10. 尾矿再利用的选择很少。尾矿，特别是粗粒级的尾矿，可用作矿山部分充填物，然而，由于尾矿泥本身不能很好地固结，在工程方面可能存在问题。尾矿也可加工以回取铀，然而，需要考虑此类再利用的可能的放射性影响。

I.11. 尾矿管理设施设计中应考虑的关键问题包括：

- (a) 矿井、地下空洞或地面蓄水在地震、洪水和侵蚀等自然过程中的稳定性；
- (b) 场址的水文、水文地质和地球化学特征；
- (c) 尾矿的化学和物理特征与污染物产生和迁移潜力的关系；
- (d) 将作为废物留入场址的物质体积；
- (e) 中和剂、镭沉淀添加剂、人工或天然衬里、氡屏障和蒸发回路的使用，取决于这些措施的可靠性、寿命和耐久性。

在考虑尾矿管理计划时，应在早期阶段对这些问题进行彻底调查。

I.12. 由于涉及大量废物，将尾矿转移到更有利的场址进行关闭通常不是最佳残留物管理策略。然而，如果正在考虑废物搬迁，则应考虑到搬迁本身可能带来的所有重大放射性和非放射性影响的最优化，包括与运输大量废物相关的问题。

I.13. 尾矿管理设施的设计应包括排水系统，以在关闭前加固尾矿并减少过量的隙水压力。对于地上尾矿库或坑井，可在尾矿堆积之前或期间安装排水系统，或在堆积尾矿后植入抽芯。库底和顶盖的建造应尽量减少污染物排放，如有可能，应使用天然物质。在尾矿沉积前立即向其添加稳定剂（例如水泥）有可能显著降低尾矿体的渗透性，从而阻止污染物迁移和结合孔隙水。然而，在某些情况下，基坑中的承压水覆盖层是优良的氩屏障，因此无需进行大程度的脱水。

I.14. 为避免给子孙后代带来不必要的负担，非能动的关闭设计相比需要大量和持续维护的设计更可取。这种非能动方法的最佳实践通常是在专门为此挖掘的坑中、在采空坑中、在地下矿井空隙中或在自然水体（如合适）中进行处置。这一方案可能消除或大大减少尾矿地表处置的需要。

I.15. 应优化关于采取方法的决定，确保屏障特性与现有场址条件相匹配。在地下的矿或加工残留物更不容易受到地表侵蚀和侵入。地下处置通常比地上尾矿库需要更少的维护，并避免了大坝或堤坝构筑物失效的风险。关闭活动需要将地下处置设施的开口处密封，从而将其与地面隔离。虽然埋藏尾矿不太容易受到侵蚀，但如果水位不深，它们可能更容易受到地下水波动的影响，或者在衬垫失效时，它们可能变得离地下水位更接近。

I.16. 在长期管理地下矿山尾矿的情况下，通过使用混凝土增加结构完整性，从而可能允许在附近继续采矿。在采取这一策略之前，应仔细调查稳定剂、尾矿和周围岩石之间可能的化学相互作用，以确保污染物迁移不会在未来某个时候加剧或影响矿井工作或工作人员。

I.17. 对于地下尾矿处置，如果认为对场址地质干扰和人类入场址的可能性足够低，除了将废物位置和特征的详细情况存档和在一定时间内对场址进行监控之外，可能没有必要进行进一步的控制。

I.18. 对于与地下尾矿处置设施相关的一些场址特定问题，可以找到实用的工程解决方案。例如，如果尾矿体的导水率大于周围岩石的导水率，则应考虑在尾矿周围使用高透水性围护结构，作为在尾矿周围引水的一种手段。对于小型承压含水层与基坑或地下矿井壁相交的情况应考虑局部注浆。

I.19. 在某一特定场址地下处置矿山尾矿可能是不可行的，原因可能是该场址无法确定工程解决方案（例如，当可能导致地下水污染时），或者是费

用过高。在这种情况下，采用工程地上尾矿库可能是唯一可行的计划，应予以考虑。

I.20. 采用地上尾矿库的方案时，尾矿应包含在低渗透的工程结构中以减少渗漏。与地下处置方案相比，地上关闭计划通常需要更多的有组织控制。应在运行期、关闭期和关闭后实施监控和维护计划。这种方法将导致初期费用较低但持续费用较高。

I.21. 对于地上堆放的大量残留物，有必要安装个限制水渗入和氡排放的覆盖系统。有效减少氡排放的覆盖物质包括水、土工物质、土工膜和土工合成粘土衬里等土工合成物质以及蒸散屏障。简单的覆盖可能只包含一种物质。然而，不同物质的健稳组合往往是必要的。

I.22. 用于限制渗水和氡排放的覆盖系统可包括一个侧向排水层，位于低渗透粘土层上方，由粗砂或砾石组成，以及一个防侵蚀的耐久性好的岩石顶部覆盖层。根据气候和环境的不同，可以采用不同的植被覆盖来控制侵蚀、稳定和限制入渗。

I.23. 对于矿坑放置，可以通过回填和用天然物质盖上盖子或在尾矿上建立一个永久的水池来实现必要程度的非能动控制。后一种方案还可能涉及为废物应用低渗透覆盖物，以减少与水池的接触。应充分调查地下情况，以获得足够的了解，以确保回填坑上方的液压不会导致未来地下水污染问题。

I.24. 氡在水饱和土壤中的扩散系数比在干燥土壤中的扩散系数低几个数量级。因此，水覆盖层或水饱和覆盖层可以作为有效的氡屏障，而在干燥环境中需要采取不同的方法。

I.25. 根据污染的风险，应考虑地下水监控计划以避免造成今后需要治理的地区。

I.26. 除了将尾矿安置在地上尾矿库、露天矿坑和地下矿山空隙中外，还有其他尾矿管理计划，如将尾矿沉积在湖泊中。应酌情进行监控和/或地球化学建模，以表明已经建立了还原环境。然而，其中一些计划可能不能被监管机构或公众接受，需要进一步研究和评价。

I.27. 其他处理尾矿的策略可能是适当的，并应在个案基础上进行评价。例如，如果符合该设施的废物验收标准，可以在为低放废物设计的设施中接收少量的工厂尾矿处置。

堆浸残留物

I.28. 堆浸是一种用于处理低品位铀矿石的方法，通常包括在表面的大型工程垫上用酸或碱（或细菌）处理破碎或球化的矿石品位物质。铀矿石也进行采场浸出或地下块浸出。大多数堆浸操作产生中等数量残留物，然而，有些操作相当大规模并产生大量残留物。

I.29. 地面堆浸设施需要高效的密封和液体收集系统、基础衬垫和泄漏检测系统来收集渗滤液进行进一步处理，并保护地表环境和地下水资源。

I.30. 堆浸产生残留物包括操作过程中产生的加工液体、浸出的矿石，以及可能由于密封设施的渗透而持续排放的溶液。在运行过程中可以收集、处理废加工溶液并将其送往邻近的蒸发池和/或注入深注入井。在某些情况下可能需要单独残留物贮存坝，其特征类似于尾矿坝。

I.31. 确定堆浸垫的位置是一个重要的考虑因素，以便于退役和隔离产生残留物，而无需搬迁。堆积冲洗和中和操作可在退役的同时进行。退役后，可能仍有必要对天然存在放射性物质残留物进行长期管理。

地浸采铀残留物

I.32. 地浸是通过在矿体中钻一个注入和提取井的模式，然后循环浸出液，根据围岩沉积物和矿石的不同，浸出液是酸性或碱性的。通过传统的溶剂萃取或离子交换方法从得到的“母溶液”提取铀得到的“贫瘠溶液”被重组并重新注入浸滤场。该方案不会产生传统的尾矿，但可能产生大量的液体和少量至中等数量的固态残留物。

I.33. 小部分（0.5—2%）的浸出液流出，构成了该过程中最大体积的液态残留物。在操作完成后对矿体含水层进行改造，例如冲洗含水层，也会产生大量的液态残留物。正常的设施运行产生少量液态水，包括设备的冲刷和溢出。

I.34. 如果排放流蒸发，高浓度的放射性核素会保留下来，如果排放流被化学处理以去除放射性核素，这些通常会以固体或浆液形式回取。

I.35. 在某些情况下，硒和镭在土地利用或重新注入由此产生的水之前被去除。在这些情况下，少量残留物将需要管理和最终处置。

I.36. 矿体含水层在开采前可能需要预处理，通常是为了去除钙，由此产生的沉淀可能含有较高的镭浓度。

I.37. 可通过蒸发减少或消除液态残留物，或按照监管机构核准的相关排放条件排入含水层或地表水体。向深层（最好是承压良好）含水层注水，或向浅层含水层注水是一种可能的解决方法，通常是向采矿含水层本身注水。

I.38. 在向含水层注入液态残留物情况下，应进行环境影响评定，包括对情况进行详细的水文地质模拟。恢复地下水的技术包括自然衰减、地下水冲洗以加速自然衰减、注入还原剂或地下水清扫和反渗透。必要时（如恢复效果不佳）应逐步使用更密集的恢复技术，以达到商定的在合理时限内关闭设施的最终状态标准。更密集的方法需要更多的能源和地面基础设施，产生废物流并产生额外的成本。因此，最佳实践是采用产生最小的环境影响，可在商定的时间内达到关闭最终状态标准的恢复技术。可能需要长期监控或有组织控制。

I.39. 地浸设施产生的固态放射性残留物包括水池和废液蒸发产生的土壤和污泥污染的旧管道、泵、过滤器和其他设备。这些残留物可以在通常位于场址专门建造的管理设施中进行管理，或者将这些残留物带到场外残留物管理设施中处理。

附录 II

铀生产残留物管理计划

II.1. 铀生产设施残留物和废物管理计划的内容可包括以下内容：

- (a) 关于设施产生残留物和废物过程的说明；
- (b) 关于每一种残留物流和废物流的说明，以及为防止或尽量减少这些废物流产生而采取的措施；
- (c) 安全管理废物所必需的限值和条件；
- (d) 该设施目前和预期产生残留物和废物综合清单以及该设施的库存；
- (e) 关于设施废物管理原则和目标的定义；
- (f) 确定残留物和废物管理计划和相关步骤，以及这些步骤之间的相互依赖关系；
- (g) 根据上述资料和国际良好实践选择适当管理计划的正当性；
- (h) 证明残留物和废物管理计划符合国家政策和战略；
- (i) 如有需要，证明残留物和废物管理计划如何影响安全论证文件（例如，修改计划以实现比建筑物最初设计的更长的贮存时间将如何影响安全论证文件）。

II.2. 该计划应包括以下规定：

- (a) 通过使用适当的技术，将残留物和废物产生在种类、活度和数量方面保持在实际可行的最低限值；
- (b) 物质可能的再利用和再循环；
- (c) 对废物进行适当的分类和分离，并对每种残留物流和废物流保持准确的库存记录，同时考虑到解控或处置的现有方案；
- (d) 残留物和废物收集、表征和安全贮存；
- (e) 对预计产生残留物和废物（整备和无整备）有足够的贮存能力，并有额外的储备贮存能力；
- (f) 确保贮存残留物和废物可在预期的贮存期内可随时回取；
- (g) 可用于回取贮存残留物和废物技术和适当程序；

- (h) 处理放射性废物，以符合废物验收标准，并确保安全贮存和长期管理，包括处置预计不会进一步使用残留物；
- (i) 必要时安全处理和运输残留物和废物；
- (j) 充分控制向环境排放的废水。

附录 III

某铀生产场址尾矿管理设施的关闭计划

III.1. 铀生产场址尾矿管理设施的关闭计划可包括以下内容：

- (a) 介绍，包括场址位置和历史：
 - (i) 生产物质的数量和种类；
 - (ii) 开展的活动；
 - (iii) 以往的场址评价；
 - (iv) 应满足的适用的监管最终状态标准；
 - (v) 目前的环境和辐射状况。
- (b) 地质学和地震学：
 - (i) 地层特点；
 - (ii) 结构和构造特点；
 - (iii) 地貌特点；
 - (iv) 地震活动性和地震动估计。
- (c) 岩土稳定性：
 - (i) 场址及铀厂尾矿特征；
 - (ii) 边坡稳定性；
 - (iii) 安置；
 - (iv) 液化势；
 - (v) 处置单元覆盖的工程设计；
 - (vi) 建造方面的考虑；
 - (vii) 处理水池的导水率。
- (d) 地表水水文与侵蚀防护：
 - (i) 场址水文描述；
 - (ii) 洪水测定；
 - (iii) 水面剖面、河道流速和剪应力；
 - (iv) 防腐蚀设计；
 - (v) 防腐蚀覆盖的设计；

- (vi) 保护水资源。
- (e) 地下水保护：
 - (i) 地下水水质标准；
 - (ii) 监控结果（基准、运行期间和运行后）；
 - (iii) 环境影响评定；
 - (iv) 纠正措施评价；
 - (v) 地下水纠正行动和遵守情况监控计划。
- (f) 空气质量：
 - (i) 空气质量标准；
 - (ii) 监控结果（基准、运行期间和运行后）。
- (g) 辐射防护：
 - (i) 尾矿管理设施的工程覆盖物（物质类型、厚度、长期防止氡排放的能力）；
 - (ii) 氡排放的衰减；
 - (iii) γ 辐射衰减；
 - (iv) 覆盖物放射性含量。
- (h) 场址关闭计划：
 - (i) 限制场址长期可达性的类型；
 - (ii) 场址可达性和有组织控制的必要性；
 - (iii) 残留物和废物长期稳定性和包容问题的探讨；
 - (iv) 与相关各方的拟议参与类型；
 - (v) 描述土地特点，包括人口统计和可能受体的最终形式；
 - (vi) 时间表和预算。

参 考 文 献

- [1] 国际原子能机构《国际原子能机构核安全和辐射防护安全术语》(2018年版),国际原子能机构,维也纳(2019年)。
- [2] 欧洲原子能联营、联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、国际海事组织、经济合作与发展组织核能机构、泛美卫生组织、联合国环境规划署、世界卫生组织,《基本安全原则》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 SF-1 号,国际原子能机构,维也纳(2006年)。
- [3] 国际原子能机构《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)。
- [4] 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)。
- [5] 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)。
- [6] 国际原子能机构《放射性废物处置前管理》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 5 号,国际原子能机构,维也纳(2009年)。
- [7] 国际原子能机构《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)。
- [8] 国际原子能机构《放射性废物处置》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-5 号,国际原子能机构,维也纳(2011年)。
- [9] 国际原子能机构《放射性物质安全运输条例》(2018年版),国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 (Rev.1) 号,国际原子能机构,维也纳(2018年)。
- [10] 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）。

- [11] 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）。
- [12] 国际原子能机构、国际劳工组织，《职业辐射防护》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-7 号，国际原子能机构，维也纳（2018 年）。
- [13] 国际原子能机构、联合国环境规划署，《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 GSG-9 号，国际原子能机构，维也纳（2018 年）。
- [14] 国际原子能机构《过去活动和事件影响地区的治理过程》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-15 号，国际原子能机构，维也纳（编写中）。
- [15] 国际原子能机构、世界卫生组织，《保护公众免受氡和其他天然辐射源所致室内照射》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-32 号，国际原子能机构，维也纳（2015 年）。
- [16] 国际原子能机构《放射性废物处置设施的监控和监视》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-31 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [17] 国际原子能机构《评定涉及矿物和原材料工作中辐射防护措施的必要性》，《安全报告丛书》第 49 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [18] 国际原子能机构《石油和天然气工业放射性废物管理和辐射防护》，《安全报告丛书》第 34 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [19] 国际原子能机构《锆石和氧化锆工业中天然存在放射性物质残留物管理和辐射防护》，《安全报告丛书》第 51 号，国际原子能机构，维也纳（2007 年）。
- [20] 国际原子能机构《含钍矿物稀土生产中天然存在放射性物质残留物管理和辐射防护》，《安全报告丛书》第 68 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。

- [21] 国际原子能机构《二氧化钛及相关工业辐射防护和天然存在放射性物质残留物管理》，《安全报告丛书》第 76 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [22] 国际原子能机构《磷酸盐工业辐射防护和天然存在放射性物质残留物管理》，《安全报告丛书》第 78 号，国际原子能机构，维也纳（2013 年）。
- [23] 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）。
- [24] 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）。
- [25] 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）。
- [26] 国际原子能机构、联合国环境计划署，《设施和活动的预期放射性环境影响评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-10 号，国际原子能机构，维也纳（2018 年）。
- [27] 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）。
- [28] 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）。
- [29] 国际原子能机构《放射性废物处置管理系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.4 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [30] 国际原子能机构《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）。

- [31] 国际原子能机构《放射性废物的处置安全论证文件和安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-23 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [32] 国际原子能机构《解除终止实践后场址的监管控制》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-5.1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [33] 国际原子能机构《使用放射性物质设施退役的安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-5.2 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [34] 国际原子能机构《铀和钍开采和碾磨残留物的监控与监控》，《安全报告丛书》第 27 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。

书目

国际原子能机构（维也纳）

《铀厂尾矿限制管理的现行实践》，《技术报告丛书》第 335 号（1992 年）。

《放射性矿石采矿和研磨设施的退役和残留物解控》，《技术报告丛书》第 362 号（1994 年）。

《铀矿厂关闭的计划和管理》，国际原子能机构技术文件第 824 号（1995 年）。

《天然存在放射性物质对环境的污染程度和缓解的技术选择》，《技术报告丛书》第 419 号（2003 年）。

《天然存在放射性物质（NORM IV）》（什切尔克国际会议论文集，2004 年），国际原子能机构技术文件第 1472 号（2005 年）。

《控制环境残留物含有天然存在放射性物质（NORM）的监管和管理方法》（维也纳技术委员会会议记录，2004 年），国际原子能机构技术文件第 1484 号（2006 年）。

《公众照射大量矿产残留物》，国际原子能机构技术文件第 1660 号（2011 年）。

《天然存在放射性物质残留物管理》，国际原子能机构技术文件第 1712 号（2013 年）。

《天然存在放射性物质（NORM V）》，（塞维利亚国际会议论文集，2007 年），国际原子能机构，维也纳（2008 年）。

《天然存在放射性物质（NORM VI）》，（马拉喀什国际会议论文集，2010 年），国际原子能机构，维也纳（2011 年）。

《天然存在放射性物质（NORM VII）》，（北京国际会议论文集，2013 年），国际原子能机构，维也纳（2015 年）。

《天然存在放射性物质（NORM VIII）》，（里约热内卢国际会议论文集，2016 年），国际原子能机构，维也纳（2018 年）。

附件 I

为监管控制评定的天然存在放射性物质残留物示例

I-1. 表 I-1 是可能需要监管考虑残留物指示性清单。基于参考文献[I-1]表 1。

表 I-1. 为监管控制评定残留物

类别	物质（操作）	活度浓度最高的放射性核素	典型活度浓度（贝可/克）
副产品	赤泥（氧化铝生产）	铀-238、钍-232	0.1—3
	磷石膏（硫酸加工）	镭-226	0.015—3
炉渣	铈萃取	钍-232	20—120
	锡熔炼	钍-232	0.07—15
	铜熔炼	镭-226	0.4—2
	热法制磷	铀-238	0.3—2
残渣、污泥沉积物和其他残留物	残渣（油气生产）	镭-226	0.1—15 000
	残渣（磷酸生产）	镭-226	0.003—4 000
	残留物（提取稀土）	镭-228	20—3000
	残渣（二氧化钛颜料生产）	镭-228、镭-226、钍-228、	<1—1 600
	残渣（提取稀土）	镭-226、钍-228、	1 000
	污泥（油气生产）	镭-226	0.05—800
	残留物（提取铈）	镭-228	200—500
	残渣（进水富镭煤矿）	镭-226、镭-228	最多 200
	残渣（冶铁）	铅-210、钋-210	最多 200
	残渣（燃煤）	铅-210	>100
	污泥（冶铁）	铅-210	12—100
	残留物（生产二氧化钛颜料）	钍-232、镭-228、	<1—20
	污泥（水处理）	镭-226	0.1—14
	除尘器粉尘	热制磷	铅-210
熔融氧化锆生产		钋-210	最多 600
提取制		铅-210、钋-210	100—500
金属熔炼		铅-210、钋-210	最多 200

附件 I 参考文献

- [I-1] 国际原子能机构《评定涉及矿物和原材料工作中辐射防护措施的必要性》，《安全报告丛书》第 49 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

附件 II

天然存在放射性物质残留物取样和放射性核素活度浓度测定

概述

II-1. 对于涉及天然存在放射性物质的活动，进行初始筛选评定是有益的，目的是从进一步的监管考虑中消除构成低水平危害的设施或活动。这通常涉及对天然存在放射性物质、残留物和废物进行取样和分析，以确定放射性核素活度浓度。参考文献[II-1、II-2]提供了进一步的信息。

II-2. 需要确定活度浓度的最可能放射性核素如下：

- 铀衰变链：铀-238、钍-230、镭-226、铅-210 和钍-210。
- 钍衰变链：钍-232、镭-228、镭-224 和钍-228。

物质取样

II-3. 收集有代表性的样品是获得可靠结果的先决条件。取样位置和取样数量也很重要。由于放射性核素的不均匀分布，含有天然存在放射性物质的数量可能非常大，并显示出一个很大的活度浓度范围。活度浓度也可能随着时间的推移而变化。在可行的范围内，在制定合适的物质取样策略时，这两种变化都需要考虑在内。

II-4. 为分析而收集的样品数量对于获得平均活度浓度的合理估计十分重要。收集和分析的样品数量越多，对所得结果的信心就越大。然而，达到某一数量后，准确性的提高与分析更多样本所需的额外时间和资源相比是微乎其微的。结果的准确性还受到其他因素的影响，如样品能代表整个物质的程度。

测量精度和质量保证

II-5. 如果在适当认可的实验室对样品进行分析，并且分析技术的精确度与所比较物质的活度浓度标准相匹配，则可以确保对分析结果有足够的信心。如果没有认可的实验室，至少分析技术可以用适当的参考文献进行核实。通过在取样期间和实验室进行适当的护理，可以避免由于样品之间的交叉污染和设备污染而产生的问题。

II-6. 物质中活度浓度的分布可能跨越一个数量级或更多。分析的检测下限必须远低于与测量结果进行比较的活度浓度水平。例如，当一种物质与铀衰变链和钍衰变链中放射性核素的值为 1 贝可/克（或钾-40 时为 10 贝可/克）相比较时，检测下限为 0.1 贝可/克（钾-40 时为 1 贝可/克）是合适的。

分析技术

II-7. 在确定了需要测量的主要放射性核素（例如，根据对该过程的了解或查阅相关文献）和必要的测量灵敏度后，可以考虑适当的分析计划。测定固态物质中单一放射性核素活度浓度的分析技术既耗时又昂贵。因此，需要仔细选择用于特定样品的技术。

II-8. 为了对总放射性进行全面筛查，进行总量 α - β 计数可能是足够的，并对自吸收进行适当的校正（若适用）。该技术是一种快速、廉价的测定 α 发射和 β 发射放射性核素总活度（或活度浓度）的方法，由此可以得到两者的比值。这项技术不提供关于单一放射性核素的信息，然而， α - β 比值可以提供一些放射性核素成分的指示，这有助于决定后续的分析步骤。如果总活度浓度小于单一放射性核素活度浓度标准，则无需进一步分析。选择计数次数以获得相关物质的必要检测下限。

II-9. 对于相关的单一放射性核素的分析，可采用下列分析技术[II-1]：

- (a) X 射线荧光光谱法：此法广泛应用于元素组成的物质测定，适用于铀、钍的快速测定。有两种可应用的光谱仪：
 - (i) 波长色散光谱仪，其中光子在被探测之前在分析晶体上通过衍射分离；

- (ii) 能量色散光谱仪，其中光子的能量是在被探测到时确定的。这些光谱仪比波长色散光谱仪更小、更便宜，测量更快。但是，其分辨率和检测限值都不是很好。
- (b) 电感耦合等离子体原子发射光谱法：该方法用于岩石和其他物质水溶液的化学分析，适用于多种常量元素和有限数量微量元素的测定。样品制备包括用 40% (vol./vol.) 氢氟酸与高氯酸或硝酸混合以消解粉末物质。有些矿物，如铬铁矿、锆石、金红石和电气石，使用这种消解程序不会完全溶解。对于含有大量这些矿物样品，X 射线荧光分析可能更合适；
- (c) 电感耦合等离子体质谱法：该方法用于测定水溶液中的微量元素。该方法适用于铀、钍的测定。样品制备过程与电感耦合等离子体原子发射光谱法相同；
- (d) 高能 γ 能谱法（高纯锗晶体探测器）：这项技术提供了镭-226、镭-228、钍-232 和钾-40（如果需要）等放射性核素的定量。该方法也可用于铀-238 浓度的定量，但检测下限相对较差；
- (e) 低能 γ 能谱（高纯锗晶体或锂漂移硅晶体探测器）：该技术提供铀-238 和钍-232（以及铀-235）的定量。该技术还可以测定镭-226（以及其他放射性核素，如钍-232、钍-230 和钍-230），但检测下限较差；
- (f) α 光谱法：样品消解，然后各种化学分离技术， α 光谱法可以用来确定每一个天然存在放射性物质的 α 发射体。此技术通常用于定量钍-232。然而，不同的消解方法会使结果产生较大的差异；
- (g) 闪烁探测器系统：在放射性核素成分已知的情况下，可用手持 γ 能谱仪测定放射性核素的活度。

II-10. 第 II-9 段指出的技术的应用汇总于表 II-1。在每种情况下，所需的最小样本量约为 10 克，但对于涉及高能 γ 能谱的技术，应选择更大的样品（最多 1 公斤）。在分析元素铀或钍时，可以使用以下从 ppm 到贝可/克的换算：

— 1 ppm 铀=0.012436 贝可/克 铀-238；

— 1 ppm 钍=0.004057 贝可/克 钍-232。

II-11. 对于与大多数天然存在放射性物质工业过程相关的物质，有一个基本的分析基础设施就足够了，该基础设施包括 X 射线荧光光谱法和一个背

景屏蔽、薄窗口、高纯度锗晶体 γ 光谱法系统。只有在那些涉及钋-210 的过程中，放射化学技术与 α 光谱法的结合才是必要的。

表 II-1. 测定放射性核素活度浓度的分析技术

放射性核素	适宜技术	评论
铀-238、 钍-232	X 射线荧光光谱法， 电感耦合等离子体原子发射光谱法，电感耦合等离子体质谱法	用这些技术中的任何一种都能达到 1 ppm 铀或钍的灵敏度（相当于约 0.01 贝可/克 铀-238 和 0.004 贝可/克 钍-232）
镭-226、 镭-228、 钍-228 (和钾-40)	高能 γ 能谱	铀的存在会干扰镭-226 的直接测定 对于镭-226 的间接测定，样品需要气密密封 3 周，以确保与子代（铅-214、铋-214）平衡 为达到检测下限 0.1 贝可/克，探测器需要屏蔽背景辐射 需要相对效率高 (>25%)，和高分辨率的高纯锗探测器 每个样品数小时的计数时间就足够了 对于高密度材料 (>2.5 克/立方厘米) 必须进行自吸收校正
铅-210	低能 γ 能谱	自吸收校正是必要的 为达到检测下限 0.1 贝可/克，探测器需要屏蔽背景辐射 每个样品数小时的计数时间就足够了
钋-210	样品消解+ α 光谱法	微波酸消解可能是必要的 需要经核实的放射化学分离技术 每个样品数小时的计数时间足以达到 0.1 贝可/克的检测下限

附件 II 参考文献

- [II-1] 国际原子能机构《评定涉及矿物和原材料工作中辐射防护措施的必要性》，《安全报告丛书》第 49 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [II-2] 国际原子能机构《监控遵守豁免和解控水平》，《安全报告丛书》第 67 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。

附件 III

分级方法在天然存在放射性物质残留物管理中的应用示例

概述

III-1. 本附件提供了分级方法应用的进一步资料，并包括将分级方法应用于天然存在放射性物质残留物管理的示例。

III-2. 采用分级方法的目的是确保为实现防护和安全所作的努力达到最佳水平（即努力水平与辐射风险的大小及其易于控制的程度相匹配）。

III-3. 就天然存在放射性物质而言，理想的监管基础设施根据特定标准，在不同条件下所需的控制措施方面具有灵活性。这些不同的水平可以通过适当的法规或授权系统来适应，这些法规或授权系统明确地适应基于天然存在放射性物质残留物特征和相关风险水平的不同控制水平。

III-4. 建立天然存在放射性物质残留物监管框架的第一步是确定一份需要考虑进行监管控制的活动清单。清单使国家当局有机会能调查特定部门，并在初始评定的基础上，排除不需要进一步调查的部门。建议对清单进行定期评审。

III-5. 将残留物分类，便于采用分级方法决定残留物处理或处置方式（即豁免、无条件解控、特定解控、在常规废物填埋场处置、在天然存在放射性物质残留物或放射性废物处置设施处置）。应根据天然存在放射性物质残留物知识，包括其放射性和化学特征，以及已经实施的控制措施（监管或其他措施），制定一个基于天然存在放射性物质残留物类别的分级控制制度。

III-6. 正如本“安全导则”第5部分所指出的，分级方法还将定义等级或许可证方面的授权过程。可以通过采用不同类别许可证形式的分级方法，或进一步根据天然存在放射性物质残留物特定特点调整授权条件。

III-7. 分级方法还将影响残留物放射性和化学表征的策略，包括所需的详细程度，例如天然存在放射性物质残留物剂量率、放射性核素的活度浓度、工作人员和公众接收的剂量以及对环境的影响。

III-8. 分级方法也适用于安全评定中包含的详细程度。在许多情况下，应用通用方法，或使用简单实用的规则或模式，就足以估计职业和公众照射。如果进行一项特定的评定，评定的复杂性和所涉及的努力程度预计将与风险的大小相匹配。

分级方法应用示例：比利时

III-9. 比利时联邦核监管局（FANC）和区域环境当局授权产生、处理和处置天然存在放射性物质残留物营运组织。

III-10. 需要监管控制的活动清单与参考文献 [III-1]一致。通过《辐射防护皇家法令》（参考文献[III-2]）对清单进行评审和修正以纳入新确定的额外活动。到目前为止，大多数的天然存在放射性物质残留物都由磷酸盐工业（石膏和氟化钙（ CaF_2 ）污泥）和钛白粉工业（二氧化钛滤饼）产生。

III-11. 根据比利时《辐射防护条例》[III-2]，当天然存在放射性物质残留物中含有活度浓度超过参考文献[III-3]所述豁免水平的天然来源放射性核素时应受监管（即铀-238 和钍-232 与子代长期平衡状态下为 0.5 贝可/克）。如果活度浓度超过这些水平，任何处理或处置残留物营运组织都必须通知比利时联邦核监管局。因此，这些级别适用于确定豁免通知，它们并不打算定义什么是“放射性”和“非放射性”废物。

III-12. 如果超过通知水平，残留物可由非放射性废物处理设施接收，但须遵守一套通用条件。根据营运组织在通知中提供的信息，比利时联邦核监管局根据一般性安全评定对处理设施实施废物验收标准。这些验收标准包括每批天然存在放射性物质残留物最大活度浓度限值，以及每年可填埋处置的天然存在放射性物质废物总量限值。其他限值适用于最终产品的活度浓度和/或来自加工操作残留物。表 III-1 所示的这些通用验收标准是以注册授权所附条件的形式强加给废物设施的。

III-13. 如果不符合这些通用验收标准，废物设施（或产生天然存在放射性物质的设施）需要提交详细的安全评定，证明废物处置或加工在一年内对公众的影响小于 0.3 毫希沃特。

III-14. 安全评定中所需的详细程度由比利时联邦核监管局逐案定义。在某些情况下（例如磷石膏堆），允许营运组织参考对具有类似特征的设施进行的评定。为环境许可证进行的环境影响评定的结论也将被考虑在内。

表 III-1. 向废物填埋场和焚烧炉处置的通用验收标准

加工类型	最大活度浓度（贝可/克）	
	输入（单批残留物）	输出（加工后平均活度浓度）
危险废物填埋处置	50	<0.2
非危险废物填埋处置	10	<0.2
焚烧	10	焚烧残留物 <0.5

III-15. 如果证明一年的公众辐射剂量低于 0.3 毫希沃特，比利时联邦核监管局就以注册或许可证的形式规定特定条件，例如相关放射性核素的监控计划。

III-16. 如果详细的安全评定表明，公众一年的照射剂量可超过 0.3 毫希沃特，则天然存在放射性物质残留物被视为放射性废物，由比利时国家废物管理局管理。

附件 III 参考文献

- [III-1] 欧洲委员会《关于防止照射于电离辐射所产生危险的基本安全标准》，理事会指令 2013/59/EURATOM，OJ L013（2014 年）。
- [III-2] 皇家法令《关于保护居民、工作人员和环境免受电离辐射危险的通用条例》，2001 年 7 月 20 日生效，比利时通报（2001 年）。
- [III-3] 欧洲委员会《豁免和解控概念的实际使用：第二部分：豁免和解控概念对天然辐射源的适用》，《辐射防护》第 122 期，欧洲委员会，布鲁塞尔（2001 年）。

附件 IV

天然存在放射性物质残留物再利用和再循环

IV-1. 再利用可以定义为物质为其原始目的的再利用，无论是以其原始形式还是以已回取的状态。再循环是将物质、工具和设备用于原用途以外的用途，无论是否进行处理。在使用大量天然存在放射性物质残留物和避免与长期管理相关的费用具有强烈的经济动机的情况下，再利用和再循环是有吸引力的。是否再利用和/或回取残留物决定取决于残留物类型、相关活动和国家情况所特有的许多因素。实施再利用和再循环需要制定适当的标准，以及适当的测量方法和适当的仪器仪表。

IV-2. 可考虑将天然存在放射性物质与其他物质混合，作为促进再利用和再循环的一种手段。虽然欧洲原子能共同体《基本安全标准》[IV-1]禁止故意稀释放射性物质以使其不受监管，但在正常操作中（即不考虑放射性的情况下）发生的物质混合不受这项禁令的限制。主管当局可授权在特定情况下为再利用或再循环的目的混合放射性和非放射性物质。

IV-3. 以下各段介绍了天然存在放射性物质残留物再利用和再循环的一些示例。

废金属

IV-4. 在许多情况下，天然存在放射性物质活动中被污染的废金属可以通过各种方法去污。石油和天然气工业设备去污方法的细节，以及测量原理和仪器仪表的信息见参考文献 [IV-2]。去污的金属可以再循环。

IV-5. 污染废料也可以在专用的熔炉中熔化：天然放射性核素通常会转移到炉渣中使金属去污以便重复使用。活度浓度如果能满足法规要求，炉渣也可以重复使用。污染废料的熔化通常是一种受监管的实践，并符合监管机构制定的要求。

IV-6. 如果超过豁免物质的活度浓度限值和豁免托运物活度限值，受污染物项的运输须遵守原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 (Rev.1) 号《放射性物质安全运输条例》(2018 版) [IV-3]规定的要求。

炉渣

IV-7. 常规活动产生的炉渣可用作废物填埋场或道路建造。后者的一个示例是荷兰王国在道路建造中使用热磷生产工业的炉渣[IV-4]。

粉煤灰

IV-8. 在许多情况下，燃煤电厂的飞灰被再循环制成建筑材料，例如作为混凝土或轻质建筑材料的添加剂。在一些国家，在活度浓度远低于 1 贝可/克的情况下，粉煤灰在建筑混凝土砌块中的使用不受关注。在其他国家，法规规定了混凝土和进口建筑材料（如某些类型的水泥）中允许的最大活度浓度。

磷石膏

IV-9. 磷石膏的回取利用有几种选择，如用作肥料添加剂、用于道路建造和建筑材料，详细信息见参考文献[IV-4]。改良农业用土壤的处理方法通常使用天然石膏，但磷石膏也可能被回取用于土壤。然而，该方案除了放射性问题之外，非放射性污染物，如镭和氟，也影响了在其适用性。

IV-10. 磷石膏压实，可以转变成一个有价值的固体。它已被用作稳定土壤的粘结剂，并在道路和停车场建造中作为贝壳和粘土的替代品。与传统的建造方法相比，这些利用大大节省了成本。在道路建造期间进行的辐射监控显示，无论是对建筑工作人员还是对居住在该地区的公众来说都没有显著的放射性危害。

附件 IV 参考文献

- [IV-1] 欧洲委员会《关于防止照射于电离辐射所产生危险的基本安全标准》，理事会指令 2013/59/EURATOM, OJ L013（2014 年）。
- [IV-2] 国际原子能机构《石油和天然气工业放射性废物管理和辐射防护》，《安全报告丛书》第 34 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。
- [IV-3] 国际原子能机构《放射性物质安全运输条例》（2018 年版），国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6（Rev.1）号，国际原子能机构，维也纳（2018 年）。
- [IV-4] 国际原子能机构《磷酸盐工业辐射防护和天然存在放射性物质残留物管理》，《安全报告丛书》第 78 号，国际原子能机构，维也纳（2013 年）。

参与起草和审订人员

Abrams, C.	美国核管制委员会
Akinwande, B.	尼日利亚地质调查局
Al Mahaini, T.	比利时核研究中心
Ba, T.N.	越南原子能研究所
Baldry, K.	澳大利亚环境保护局
Biermans, G.	比利时联邦核管局
Caplin, H.	法国放射防护和核安全研究所
Crouch, P.P.	澳大利亚辐射业务有限公司
Fan, Z.W.	国际原子能机构
Gillen, G.	美国核管制委员会
Guillevic, J.	法国放射防护和核安全研究所
Hasanuddin, I.	印度尼西亚核能监管局
Hondros, J.	RHC 企业（澳大利亚）
Huffman, D.	加拿大阿海珐资源公司
Johnston, A.	澳大利亚南方辐射服务公司
Khoathane, M.	顾问（南非）
Lange, B.	顾问（加拿大）
LeClair, J.	加拿大核安全委员会
Mdachi, N.	肯尼亚辐射防护委员会
Mohajane, P.	南非国家核监管局
Mora Cañadas, J.	西班牙能源环境与技术研究中心
Nagy, K.	加拿大卡梅科公司
Nilsen, M.	挪威辐射防护局

Ogino, H.	国际放射防护委员会
Pepin, S.	比利时联邦核管制局
Rowat, J.	国际原子能机构
Scissons, K.	加拿大核安全委员会
Shaw, P.	国际原子能机构
Stackhouse, A.	英国苏格兰环境保护局
Tatzber, M.	奥地利健康和食品安全局
van der Steen, J.	顾问（荷兰王国）
Villegas, R.	巴西核能委员会
Von Till, W.	美国核管制委员会
Wittrup, M.	加拿大 Arcadis Senes 公司
Woo, Z.	韩国核安全研究所
Wu, Q.	中国清华大学
Yii, M.W.	马来西亚核电
Yonehara, H.	日本核安全研究协会
Zenata, I.	捷克国家核安全办公室

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