

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

放射性废物的分类

一般安全导则

第 GSG-1 号



IAEA

国际原子能机构

国际原子能机构安全标准和相关出版物

国际原子能机构安全标准

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

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

有关国际原子能机构安全标准计划的资料可访问以下国际原子能机构因特网网站：

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

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

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

相关出版物

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

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

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

安保相关出版物以国际原子能机构《核安保丛书》的形式印发。

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

放射性废物的分类

国际原子能机构的成员国

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

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 GSG-1 号

放射性废物的分类

一般安全导则

国际原子能机构
2022 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，2022 年
国际原子能机构印刷
2022 年 11 月·奥地利

放射性废物的分类

国际原子能机构，奥地利，2022 年 11 月
STI/PUB/1419
ISBN 978-92-0-502222-2（简装书：碱性纸）
978-92-0-502122-5（pdf 格式）
ISSN 1020-5853

前 言

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构制定旨在保护健康及尽量减少对生命与财产的危险的安全标准。这些标准是原子能机构在其本身的工作中必须使用而且各国通过其对核安全和辐射安全的监管规定能够适用的标准。原子能机构对这样的一整套安全标准定期进行审查并协助适用这些安全标准已经成为全球安全制度的一个关键要素。

在 20 世纪 90 年代中期，原子能机构开始对其安全标准计划进行大检查，包括修改监督委员会的结构和确定旨在更新整套标准的系统方案。已经形成的新标准具有高水准并且反映成员国的最佳实践。在安全标准委员会的协助下，原子能机构正在努力促进全球对其安全标准的认可和使用。

然而，安全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有助于成员国适用安全标准并评价其有效性。这些安全服务范围从工程安全、运行安全、辐射安全、运输安全和废物安全直至监管事项和组织中的安全文化。这些安全服务能够有助于共享真知灼见，因此，我继续促请所有成员国都能利用这些服务。

监管核安全和辐射安全是一项国家责任。目前，许多成员国已经决定采用原子能机构的安全标准，以便在其国家条例中使用。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。世界各地的设计者、制造者和营运者也适用这些标准，以加强电力生产、医学、工业、农业、研究和教育领域的核安全和辐射安全。

原子能机构认真看待世界各地用户和监管者正在面临的挑战，这就是确保世界范围内的核材料和辐射源在使用中的高水平安全。必须以安全的方式管理核材料和辐射源的持续利用以造福于全人类，原子能机构安全标准的目的正是要促进实现这一目标。

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）。

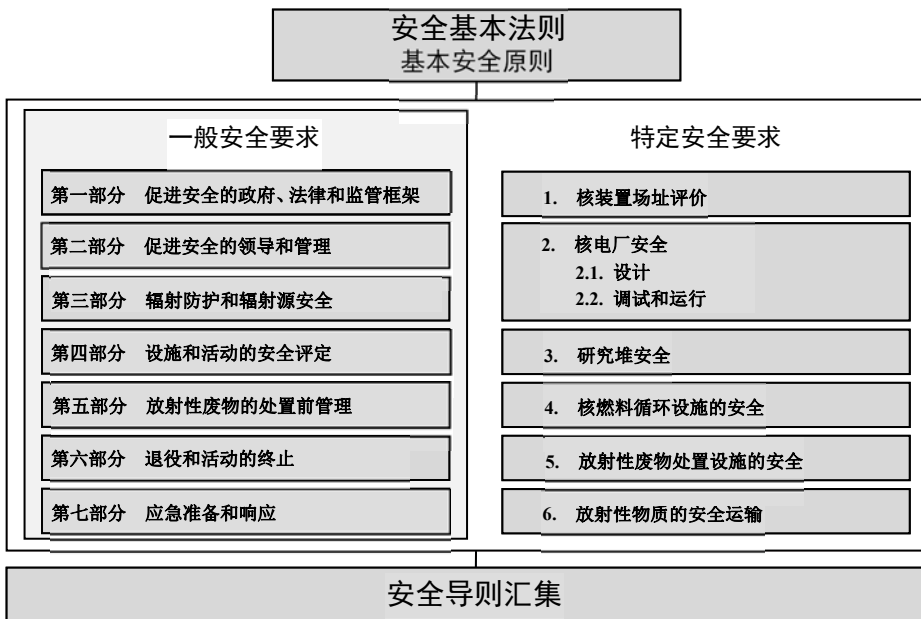


图 1. 国际原子能机构《安全标准丛书》的长期结构。

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这些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。

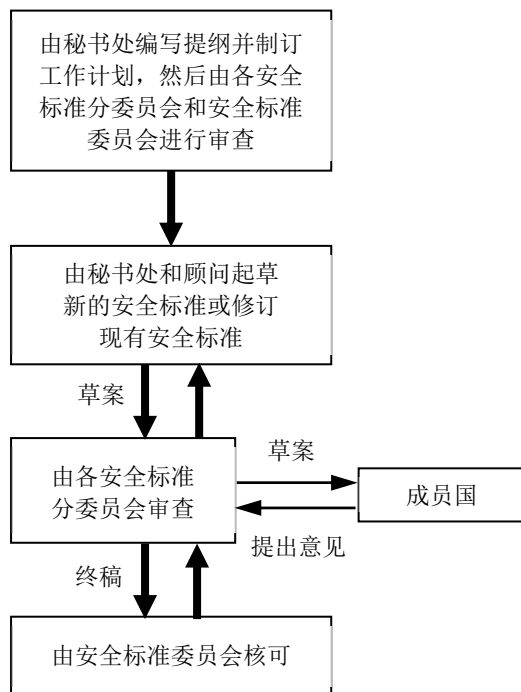


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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 (1.1-1.7).....	1
目的 (1.8-1.9).....	2
范围 (1.10-1.13).....	2
结构 (1.14).....	3
2. 放射性废物分类体系	3
概述 (2.1-2.3).....	3
废物分类 (2.4-2.31).....	5
其他考虑 (2.32-2.33).....	11
附录 放射性废物的分类	15
参考文献	19
附件 I 原子能机构放射性废物分类标准的演变.....	21
附件 II 分类方法	22
附件 II 参考文献	26
附件 III 放射性废物的来源和类别.....	27
附件 III 参考文献.....	34
参与起草和审订人员	35
国际原子能机构安全标准核可机构	37

1. 引言

背景

1.1. 放射性废物产生于许多不同类型的设施，可以不同物理和化学形态以及不同的放射性核素、不同浓度范围呈现。这些差异导致废物管理的体系也各有不同。在废物处理以及处置前的短期或长期贮存方面有多种体系。同样，废物安全处置方法也有从近地表处置到地质处置的不同方法。

1.2. “安全要求”出版物《放射性废物的处置前管理》[1]规定：“须在放射性废物处置前管理的各种步骤中根据监管机构制定或核准的要求对放射性废物进行表征和分类。”（要求 9）。这是为了确保与废物管理和处置相关的安全影响已制定了适当充分的措施。

1.3. 放射性废物管理有关的特定设施或环境会影响废物的物理、化学和放射性特性，根据这些性质已经提出了放射性废物分类的各种体系。这些体系产生了各种各样的术语，术语因国家而异，甚至同一国家的不同设施之间也可能不同。在某些情况下，这给制定连贯一致的国家废物管理政策和执行战略带来了困难，并可能导致安全水平低于最佳水平。国家内和国际间废物管理实践交流也因此变得困难，特别是在《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》[2]的范围内。科学文献中公布的数据难以进行直接比较，在国家内和国家之间的废物管理系统流程和实践方面也会有理解困难。

1.4. 为了解决这些问题，放射性废物的分类一直是放射性废物管理安全国际标准的主题。关于这一主题的第一个标准于 1970 年¹ 公布，并于 1981 年² 和 1994 年进行了修订。附件 I 说明了这些标准的演变情况。本“安全导则”提出的分类体系取代了以前标准中的分类体系。

1.5. 根据废物管理的实际目的，可对不同类型的废物进行分类。例如，含半衰期短的放射性核素的废物可与含半衰期长的放射性核素的废物分开，

¹ 国际原子能机构《放射性废物的分类标准》，《技术报告丛书》第 101 号，国际原子能机构，维也纳（1970 年）。

² 国际原子能机构《放射性废物的地下处置：基本导则》，《安全丛书》第 54 号，国际原子能机构，维也纳（1981 年）。

或可压缩废物与不可压缩废物分开。运行废物的管理详见参考文献[3]。然而，除仅含有短半衰期放射性核素的废物外，所有其他类型的放射性废物最终都需符合《基本安全原则》[4]和放射性废物管理和放射性废物处置的安全要求进行处置。

1.6. 以前制定的分类体系³并不全面，既没有涵盖所有类型的放射性废物，也没有与所有类型的放射性废物的处置体系直接联系。旧的分类体系的这些缺陷限制了其使用和应用。

1.7. 本“安全导则”论述了不同类别废物与处置方案之间的一般联系，但尽管存在这种一般联系，废物在某设施处置的适当性仍需通过对设施的安全论证文件和辅助安全评定来证明[5]。

目的

1.8. 本“安全导则”的目的是制定一个基于长期安全考虑的放射性废物分类的一般体系，也就是对废物处置的考虑。本“安全导则”以及原子能机构关于放射性废物的其他安全标准，将有助于发展和实施适当的废物管理策略，并将促进各国内部和各国之间的沟通和信息交流。按照关于放射性废物处置前管理和放射性废物处置的“安全要求”出版物[1、5]的规定，处置被视为放射性废物管理的最后步骤。

1.9. 本“安全导则”确定了不同类别废物之间的概念边界，并提供了基于长期安全考虑的规定的指导。虽然包括废物运输在内的放射性废物安全管理分类体系的作用也得到认可，但这些分类体系由于有不同的考虑，不在本“安全导则”中讨论。

范围

1.10. 本“安全导则”对全范围的放射性废物的分类提供指导：从乏燃料（当被视为放射性废物时）到放射性浓度低到不需作为放射性废物进行管理或监管的废物。本“安全导则”涵盖废弃密封源（视为废物时）和含有天然

³ 国际原子能机构《放射性废物的分类》，《安全丛书》第 111-G-1.1 号，国际原子能机构，维也纳（1994 年）。

放射性核素的废物。本“安全导则”中的建议适用于所有来源产生的废物，包括设施和活动产生的废物、现有工况产生的废物和事故可能产生的废物。

1.11. 本“安全导则”中制定的分类体系侧重于固态放射性废物。然而，适当考虑到将液态和气态废物处理成适宜处置的固体废物等方面的问题时，本“安全导则”也可适用于液态和气态废物的管理。

1.12. 本“安全导则”不考虑放射性废物中的非辐射危害成分，如其不影响辐射安全。有必要根据国家要求考虑与此类成分有关的非辐射危害，但这超出本“安全导则”的范围。这种废物在一些国家有时被称为“混合废物”。

1.13. 了解各特定放射性废物的特性后，营运者再对其处理、贮存和处置作出决定是极其重要的；然而，本“安全导则”未涉及废物表征的方法和途径。

结构

1.14. 本“安全导则”由两部分正文、一个附录和三个附件组成。放射性废物的分类体系见第 2 部分。附录进一步详述了放射性废物分类体系的总范围和目标。讨论了本“安全导则”中所述分类体系的目的和局限性，并解释了在制定放射性废物分类体系时所采用的方法，附录还讨论了在确定废物类别时所考虑的标准和废物管理活动。附件 I 介绍了原子能机构关于放射性废物分类的安全标准的演变情况；附件 II 讨论了废物分类的不同目的和方法以及废物分类的定性和定量方法；附件 III 介绍了各类放射性废物，并说明了各类放射性废物如何应用本“安全导则”中制定的废物分类体系。

2. 放射性废物分类体系

概述

2.1. 保留了以前分类体系的大量要素，但对该体系进行了修改以解决以前体系（见第 1.6 段）中识别出的缺陷，并反映了研发、运行和评定处置设施安全方面取得的经验。定义了全范围的废物类别，并提供了各类别之间的一般边界条件。可根据国家体系计划和要求制定更详细、考虑更广泛的参数范围的定量边界。如果一个国家有一个以上的处置设施，不同处置设施类别

之间的定量边界可能随具体情况、地质和技术参数以及与场址具体安全评定有关的其他参数而有所不同。

2.2. 根据附录中概括的方法，得出六类废物，并将其作为分类体系的基础：

- (1) 免管废物 (EW)：满足参考文献[6]所述满足解控、豁免要求或排除在辐射防护监管控制之外的废物⁴；
- (2) 极短寿命废物 (VSLW)：经几年贮存衰变的废物，然后根据监管机构核准的安排从管理控制中解控，可无控制地处置、使用或排放。此类废物主要含有半衰期极短的常用于研究和医疗目的的放射性核素；
- (3) 极低放废物 (VLLW)：不一定符合免管废物标准，但也不需要高水平包容和隔离，适宜在监管控制有限的近地表填埋场设施中处置的废物。此类填埋型设施还可处置其他危险废物。这类典型废物货包含放射性浓度低的土壤和碎石。极低放废物中较长寿命放射性核素的浓度通常非常有限；
- (4) 低放废物 (LLW)：高于解控水平但长寿命放射性核素数量有限的废物。此类废物需要经长达几百年的严格隔离和包容，适宜在近地表工程设施中处置。低放废物涵盖的废物范围非常广泛。低放废物可含有放射性浓度较高的短寿命放射性核素和放射性浓度较低的长寿命放射性核素；
- (5) 中放废物 (ILW)：由于含有长寿命放射性核素，需要比近地表处置更高层次的包容和隔离的废物。然而，中放废物在其贮存和处置过程中不需要或仅需要有限的散热。中放废物可能含有长寿命放射性核素，特别是发射 α 射线的放射性核素，在可依赖有组织的控制的时间内，放射性核素不会衰减到近地表处置可接受的放射性浓度水平。因此，这类废物需要在几十米至几百米的较大深度处置；
- (6) 高放废物 (HLW)：放射性浓度高致其放射性衰变过程产生大量热量的，或含有大量长寿命放射性核素的，在设计其处置设施时需要对这

⁴ 术语“免管废物”是为确保一致性沿用的以前分类体系的术语（见脚注3）；但是，一旦此类废物从监管控制中清除，则不视为放射性废物。

些放射性核素加以考虑的废物。高放废物处置的公认方案是在距地表深度几百米及以上的稳定的深地质构造中处置。

2.3. 每种重要放射性核素的允许活度量的定量值将根据具体处置场址的安全评定（不在本“安全导则”的范围内）进行确定。

废物分类

2.4. 图 1 所示为废物分类体系的概念图。纵坐标表示废物的活度⁵，横坐标表示废物中所含放射性核素的半衰期。在某些情况下，可使用活度而不是活度来确定废物的分类。例如，只含有极少量某些放射性核素（如低能 β 发射体）的废物可被排除在监管范围之外或解控。

2.5. 图 1 所示，纵坐标上活度的水平可从忽略不计到非常高，即放射性核素的浓度非常高或比活度非常高。活度水平越高，包容废物及其与生物圈隔离的要求越高。在纵坐标的较低范围，即在解控水平以下，废物管理可以不考虑其放射性特性。

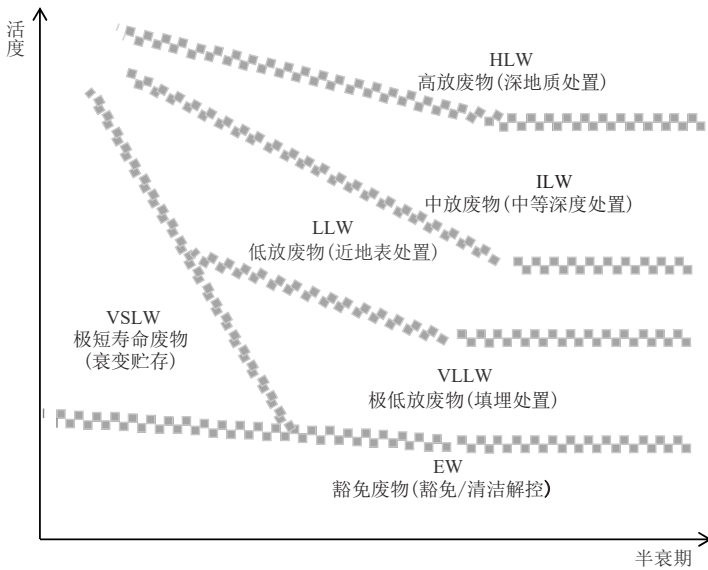


图 1. 废物分类体系的概念说明。

⁵ 使用“放射性废物的放射性活度”一词是由于放射性废物的一般性质是不均匀的；它是一个包括放射性浓度、比活度和总放射性活度的通用术语。

2.6. 如图 1 横坐标上, 废物中放射性核素的半衰期从很短(几秒)到很长(百万年)不等。从放射性废物安全角度, 半衰期小于 30 年的放射性核素被认为是短寿命的。对含有短寿命放射性核素的废物和含有长寿命放射性核素的废物进行区分是有益的, 因为短寿命放射性核素经过几百年放射性衰变其放射性危害显著降低。在该期限内, 有组织的控制措施就可合理保证含有短寿命放射性核素废物的近地表处置设施安全。对于某一特定处置设施内处置废物的活度(总活度、比活度或放射性浓度)限值取决于废物的放射性、化学、物理和生物特性及其所含特定的放射性核素。

2.7. 第 2.8—2.31 段对每一类废物进行了更详细的讨论。

免管废物

2.8. 免管废物中放射性核素浓度极低, 无论废物是在常规填埋场处置还是循环利用都不要辐射防护措施。此类物质可以从监管控制中解控, 不需要监管控制的进一步考虑。

2.9. 监管控制下排放到环境中的液态或气态流出物类似于解控废物, 从辐射防护和安全的角度, 不需对排放物质进一步考虑。然而, 在制定合适的排放量的限值方面存在显著差异, 废液排放时通常进行验证性环境监测[7]。

2.10. 在各国和国际的研究中得出了固体物质豁免和解控方面的放射性核素的放射性浓度的具体水平。参考文献[6]对排除、豁免和解控的概念提供了解释和指导。并给出了天然和人工来源放射性核素的放射性浓度值。监管机构可使用这些值来确定何时不需要或不再需要对大量固态物质进行控制。

2.11. 人工放射性核素的放射性浓度值是根据废物再循环和处置的通用方案得出的:

“确定放射性物质豁免和解控的放射性浓度值的主要放射学依据, 是个人的年有效剂量应低于 10 微希沃特。考虑到低概率事件的发生导致更高的辐射照射, 使用了另一个标准, 即这种低概率事件造成的年有效剂量不大于 1 毫希沃特。在这种情况下, 还考虑了皮肤的剂量, 每年对皮肤的等效剂量标准为 50 毫希沃特。这一办法与确定《巴塞尔公约》[6]附表 I 所列豁免数值时使用的办法是一致的”。

对于天然来源的放射性核素，采用了不同的方法：这些数值是根据分布在全世界土壤中放射性浓度上限而确定的[6]。

2.12. 如考虑特定国家环境要求对照射假想方案有显著影响，或对废物的豁免或解控有特别要求，监管机构可视具体情况制定与不同于参考文献[6]建议值的免管废物放射性浓度值。如果涉及的物质可能出口，则应考虑任何可能的跨国界影响。监管机构确定的放射性浓度水平将在很大程度上取决于核准豁免或解控的条件。

2.13. 参考文献[6]的一个重要目的就是达成无需辐射防护方面监管可从一国转移到另一国的无条件豁免或解控物质（例如再循环或再利用）的一致的边界。这种共识大大简化豁免和解控程序，也有助于提高公众对实践安全的信任。

极短寿命废物

2.14. 极短寿命废物含有放射性浓度高于解控水平的半衰期极短的放射性核素。这类废物可以贮存直至其活度低于解控水平，进而将解控的废物作为常规废物加以管理。寿命极短的废物来自工业和医疗使用的铀-192 源和钨-99 源以及其他短半衰期放射性核素。虽然本“安全导则”重点为固态放射性废物的分类，但应当指出，衰变贮存经常用于含短半衰期放射性核素的液态和气态废物的管理，这些放射性核素可贮存到放射性浓度低于可排放环境的适当水平。

2.15. 极短寿命废物分类的主要标准是主要放射性核素的半衰期和半衰期较长的放射性核素数量的可接受量。由于贮存衰变的目的是最终解控物质，因此解控水平决定了长半衰期放射性核素的可接收浓度水平。主要放射性核素半衰期的边界不能一概而论，因为它取决于计划的贮存期限和废物的初始放射性浓度。但通常，适用衰变贮存管理的废物其放射性核素半衰期为约 100 天左右或更短。

2.16. 显然，将废物分类为极短寿命废物取决于对废物进行分类的时间点。极短寿命废物通过放射性衰变可归入免管废物类别。因此，分类类别并非固定不变，而是取决于评定时点相关废物的实际情况。这也反映出放射性衰变为放射性废物的管理提供了灵活性。

极低放废物

2.17. 核设施的运行和退役过程中产生的大量废物，其放射性浓度水平在规定的解控监管物质浓度范围内或略高于规定浓度。其他含有天然放射性核素的此类废物可能来自矿物和矿石的开采或加工过程。与免管废物相比，这类废物的管理要求考虑辐射防护和安全，但与放射性较高类别（低放废物、中放废物或高放废物）废物的要求相比，其管理要求有限。这种高于或接近免管废物的水平具有有限危害的废物，被称为极低放废物。

2.18. 极低放废物通过地表填埋工程设施处置，就可保证足够的安全水平。这种处置方法常被用于处置一些采矿以及矿物加工和其他含有天然放射性物质的活动中产生的废物。某些国家也采用这种方法处置核设施[8—9]产生的低放射性浓度的废物。这类处置设施的设计可从简单的覆盖到较为复杂的处置设施，一般需要能动和非能动的有组织的控制。进行有组织的控制的期限应足以确保废物处置满足安全标准。

2.19. 为了确定某一特定类型的废物是否可归类为极低放废物，须得出工程地表填埋设施的验收标准。得出方法可采用类似于参考文献[6]中得出豁免和解控水平所用的通用假想方案来导出，也可采用监管机构核准的对某一具体设施进行安全评定的方式得出。得出的标准取决于实际的场址条件和工程结构的设计，或在使用通用假想方案下，取决于考虑这些因素的假设。因此，本“安全导则”中无法定义通用的有效标准。此外，对于含有短寿命放射性核素并且总活度量有限的废物，可认为中等水平的工程设施和控制水平的填埋设施能够安全地容纳含有人工放射性核素的废物，其放射性浓度水平比免管废物高出 1 至 2 个数量级。只要预期的公众剂量在监管机构制定标准内，这一规定就适用。由于天然放射性核素的半衰期较长，含有天然放射性核素的废物一般预计可接受的放射性浓度水平将低于含有人工放射性核素的废物。根据场址因素和设计，处置较高放射性浓度废物也可能被证明其安全性。

2.20. 一些属于这类的废物，如采矿产生的废石，另一种管理方案可能是授权使用这些物质（例如道路建设）。在这种情况下，可以采用类似于参考文献[6]中确定的通用解控值（见参考文献[6]第 3.1 段）的方法来导出验收标准。

低放废物

2.21. 在以前的分类体系中，低放废物的定义是指在正常处理和运输⁶过程中不需要屏蔽的放射性废物。需要屏蔽但仅需少量或根本不需要散热措施的放射性废物被归类为中放废物⁷。通常以接触剂量率 2 毫希沃特/小时来区分两类废物。在目前修订的分类体系中，不以接触辐射剂量率来区分废物类别，该体系主要基于长期安全性。但在废物处理和运输过程中，以及在废物管理和处置设施的运行辐射防护中，这仍然是一个必须考虑的问题，但不一定是处置设施长期安全的决定性因素。

2.22. 在本“安全导则”规定的分类体系中，低放废物是指适宜近地表处置的废物。该处置方式适宜于含有一定量放射性物质并需要多达几百年时间内严格的包容和隔离的废物。该类放射性废物范围很广。其范围从活度略高于极低放废物的放射性废物，即不需要屏蔽或特别坚稳的包容和隔离的废物，到放射性浓度水平高到需要长达几百年屏蔽和坚稳的包容和隔离的放射性废物。

2.23. 由于低放废物的放射性浓度范围很广，且所含放射性核素种类繁多，因此近地表处置设施可有多种设计方案。这些设计方案可从简单到较复杂的工程设施，也可能涉及不同的处置深度，典型的处置深度为从地表到地下 30 米。这些设计方案将由安全评定和国家实践决定，并经监管机构核准。

2.24. 低放废物中可能含有低浓度的长寿命放射性核素。虽然废物中也可能含有高浓度的短寿命放射性核素，但这些短寿命放射性核素在场址、工程屏障和有组织的控制提供的可靠包容和隔离期间会发生显著的放射性衰变。因此，低放废物分类与废物中的特定放射性核素有关，并应考虑到各种照射途径，如摄入（如处置设施关闭阶段放射性核素向可进入生物圈的长期迁移）和吸入（如人类侵入废物库的情况）。在多数情况下，根据有组织的控制从而防止人类侵入的保障控制期限需要来区分适宜在近地表和中等深度处置的放射性废物。处置设施对特定废物存量的适宜性，需经该设施的安全论证文件论证[5]。

⁶ 见脚注 2。

⁷ 见脚注 3。

2.25. 许多国家假设有组织的控制期限可达约 300 年。根据该假设，可通过估算有组织的控制期限结束后个人照射剂量得出低放废物在放射性浓度水平的边界值。铀矿和其他含有大量天然放射性核素的矿物开采和加工所产生的废物属于特殊情况，其放射性浓度在这样的期限内不会明显减少。在许多情况下，在近地表设施中进行此类废物管理是唯一可行的选择，因此必须假设有组织的控制期限更长，并定期对设施进行安全评审。

2.26. 由于不同放射性核素或放射性核素组的放射性浓度可接受水平的限值不同，因此无法给出低放废物和中放废物之间的准确边界。某一特定近地表处置设施的废物验收标准将取决于该设施的实际设计和规划（如工程屏障、有组织的控制期限、场址具体因素）。对单一废物货包中长寿命放射性核素的放射性浓度水平的限制，可通过限制放射性浓度平均水平，或通过简单的操作技术如将放射性浓度较高的废物货包放置在处置设施内定区域来实现。监管机构可根据一般场址特性、通用设施设计、特定的有组织的控制期限和个人剂量限值等制定低放废物的放射性浓度限值边界。

2.27. 监管机构应基于安全评定，确定特定处置设施的长寿命放射性核素的处置限值。对发射 α 粒子的长寿命放射性核素，一些国家采取了平均 400 贝可/克的限值（单一货包不超过 4000 贝可/克）[10—12]。对于长寿的 β 和/或 γ 放射性核素，由于碳-14、氯-36、镍-63、锆-93、铈-94、镅-99 和碘-129 的存在，允许的平均放射性浓度可能很高（高达数万贝可/克），针对场址和处置设施而言。

中放废物

2.28. 中放废物定义为含有相当数量的长寿命放射性核素的废物，以至于需要比近地表处置更程度的包容和与生物圈隔离的废物。中放废物处置深度通常在几十米到几百米。如果处置系统的天然屏障和工程屏障都选择合适，则这种深度的处置有可能提供与可接近环境的长期隔离。特别这种深度下，在短、中期内一般不会受到有害侵蚀影响。与低放废物的近地表处置相比，中等深度处置的另一个重要优点是极大降低人类意外侵入的可能性。所以，中等深度处置设施的长期安全不依赖有组织的控制。

2.29. 如第 2.26 段所述，无法给出低放废物和中放废物之间的放射性浓度边界值，因允许的水平取决于实际废物处置设施及其相关的安全论证文件和辅助安全评定。为了在建设中放废物处置设施之前进行沟通交流，监管机构可基于一般安全论证文件确定某些废物属于低放废物或中放废物。

高放废物

2.30. 高放废物定义为所含的短寿命和长寿命放射性核素的放射性浓度都很高，以至于为确保长期安全，与中放废物相比，需要与可接近环境间更大程度的包容和隔离的废物。这种包容和隔离通常是由完整并稳定的有工程屏障的深地质处置提供。高放废物在放射性衰变过程中会释放大量热量，释热通常持续几百年。散热是地质处置设施设计中必须考虑的一个重要因素。

2.31. 高放废物的放射性浓度⁸通常在 10^4 — 10^6 太贝可/立方米的范围内（如刚卸出核电厂的乏燃料，一些国家将其视为放射性废物）。高放废物包括乏燃料后处理产生的整备过的废物，以及需要相同程度的包容和隔离的废物。在处置时，含有这种混合裂变产物的废物已经过了几十年的冷却，其放射性浓度水平通常约为 10^4 太贝可/立方米。为了在建设高放废物处置设施之前进行沟通，国家主管部门可根据一般安全论证文件确定某些废物属于高放废物或中放废物。

其他考虑

2.32. 如果使用本分类体系，则应考虑放射性废物的具体类型和性质。将废物归入某一废物类别的准确标准取决于国家的废物种类及其可能的处置方案的具体情况。需要特别考虑的一种重要类型的废物是废弃密封源。另一种需要特别考虑的重要废物类型是含有较高水平天然放射性核素的废物，由于其数量庞大，已采取了不同的监管办法。附件 III 给出了重要类型的放射性废物综述，并讨论了本分类体系应用于这些不同类型的废物时的特别考虑。图 2 是如何使用分类体系帮助确定处置方案的逻辑图。详细解释见附件 III。

⁸ 以前的分类体系（见脚注 3）引用了相应的热功率 2—20 千瓦/立方米。本“安全导则”没有规定热功率的水平，因为在证明地质处置设施的安全性时需要详细考虑。

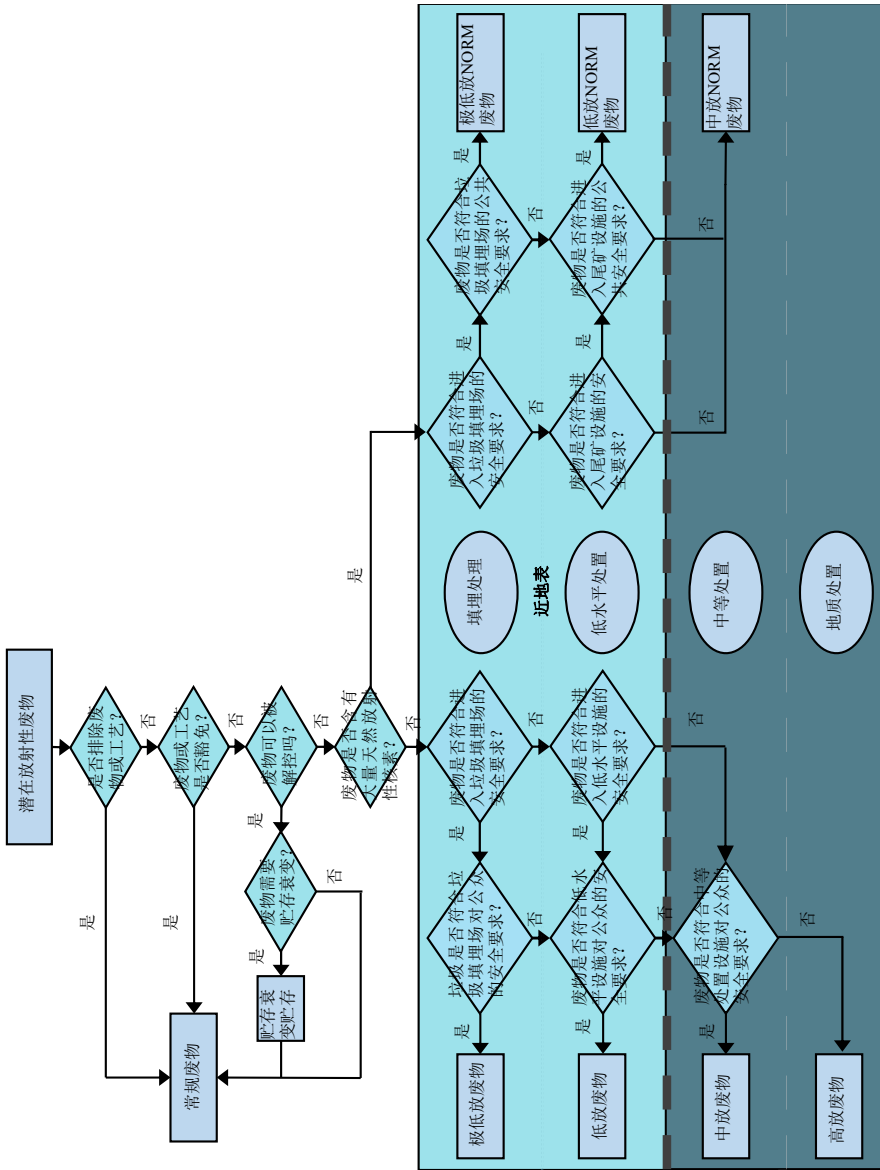


图2. 分类方案的使用图解。

2.33. 虽然释热是高放废物的一个特点，但其他放射性水平较低的废物也可能产生热量。产生的热量与废物中放射性核素的类型和数量（如半衰期、衰变能、放射性浓度和总活度等）相关。此外，散热的考虑因素（如，导热系数、贮存尺寸和通风等）非常重要。因此，不能由单一参数来决定释热的重要程度。由于散热的影响因素和采用方法不同，其产生的影响可有几个数量级的差异。如果废物货包的热功率达到每立方米几瓦特，则应考虑对衰变热进行管理。特别在废物含有长寿命放射性核素的情况下，应使用更多的限值。

附 录

放射性废物的分类

A.1. 放射性废物的分类体系可根据不同的基础制定，如运行安全或长期安全、工艺过程要求、管理或处置设施的可用性或产生废物的源项。附件 II 对放射性废物分类体系的不同目的和方法进行讨论。本“安全导则”主要考虑废物管理的长期安全性，因为在涉及废物的长期贮存和处置多数情况下，这都是最重要的。该方法不排除其他方面的考虑，如与废物管理业务相关的职业安全。

A.2. 放射性废物的分类可有助于规划处置设施以及从原料废物产生到处置之间的各个阶段。将有助于：

- 在概念层面：
 - 制订废物管理策略；
 - 规划和设计废物管理设施；
 - 确定放射性废物特定的整备技术或处置设施。
- 在法律和监管层面：
 - 完善法规体系；
 - 制定监管要求和标准。
- 在运行层面：
 - 规定运行活动和废物相关的组织工作；
 - 提供各类放射性废物潜在危害的大致指示；
 - 易于记录保存。
- 交流方面：
 - 提供普遍理解的术语或缩略语，以改善放射性废物管理相关各方（放射性废物的产生者、管理者、监管者和公众）间的沟通交流。

A.3. 为了达到以上目的，理想的放射性废物分类体系应满足下述目标，即：

- 覆盖所有类型的放射性废物；

- 可用于放射性废物管理的所有步骤，并能够体现各步骤间的相互依存性；
- 将放射性废物分类与对当代及后代的潜在危害相联系；
- 对特殊需求有足够的灵活度；
- 直接明了并易于理解；
- 包括监管者、营运者和其他相关方在内的所有各方都接受将其作为表征废物的共同基础；
- 尽可能地广泛适用。

A.4. 很显然不可能制定一种同时完全满足所有目标的分类体系。例如，一个分类体系不能既广泛适用又能反映放射性废物管理各步骤的细枝末节。必须在确保体系简单、灵活和广泛适用等方面进行平衡。制定分类体系时：

- 废物类别的定义应基于良好的技术基础，应清晰并便于理解；
- 分类体系的一般性质和适用性应清晰并便于理解；
- 类别的数量应能在废物类别的理想划分与分类体系的易于操作间取得平衡。

A.5. 本“安全导则”中制定的分类体系旨在为在国家废物管理策略中界定废物类别提供一个框架，并作为放射性废物安全沟通交流的工具。类别间的边界不是固定线，而是交界带，其精确界定取决于每个国家的具体情况（参考文献[12]提供了案例）。分类体系旨在涵盖所有类型的放射性废物。因此，一般来说不能根据废物的所有特性来确定废物分类，而是提出了界定废物类别的一般概念，按此概念可得到不同类别废物的具体标准。与之相关的还有材料何时以及如何声明成为废物，即宣布预期不再使用的材料。与声明相关的安排和程序应得到监管机构的核准。

A.6. 本出版物中制定的分类体系主要基于长期安全考虑，可适用于所有废物管理活动。将废物归入某一废物类别并不取决于所实施的具体活动，除非考虑处置。然而，对于某些废物管理步骤（例如处理、运输和贮存），可能需要更详细的分类。这可用本“安全导则”规定的一般废物类别的子类别表示。为特定的废物管理活动制定更详细的分类体系，其所需考虑的各个方面详见附件 II。

A.7. 分类体系不打算也不能代替废物管理设施或活动所需的特定安全评定。与通用废物分类体系不同的废物管理方案也可根据特定安全评定认定其是安全和可行的。

A.8. 本出版物确定废物分类的主要考虑是长期安全性。考虑到不同类别废物的潜在危害，废物按能够确保其长期安全性所需的包容和隔离程度分类。废物的分类根据实践或源项的特点并考虑照射的程度和可能性制定，这体现了实现安全的分级方法。

A.9. 考虑到不同放射性核素的危害和辐射类型，分类体系中使用的参数是废物的活度水平和废物中所含放射性核素的半衰期。根据废物类别，活度水平可以用废物的总活度、放射性浓度或比活度来表示。这些参数并不用于表示废物类别间的精确数值边界。而是用于表明特定类别的废物的危害程度。

A.10. 不同废物类别的标准规定需要考虑废物的类型。例如，总活度或放射性浓度水平的标准一般适用于散装的废物而不适用于废弃的密封源。因此，分类体系的实施必须考虑废物的潜在危害特性。

A.11. 含有天然放射性核素的废物管理使用的剂量标准可能与核设施产生的废物管理的剂量标准不同，并应基于防护最优化制定剂量标准。这种差异可能会影响处置大量含有天然放射性核素的废物（诸如采矿和矿物加工的尾矿）的方案选择。

A.12. 本出版物提出的分类体系是基于废物管理的安全，特别是处置安全。然而，也应认识到放射性废物管理安保的重要性。虽然在确定废物类别时未明确安保要求，但正如放射性核素活度较高和寿命较长的废物应采用更高层次包容和隔离的处置方案一样，废物管理的安全和安保一般也是相协调的。但对于主要含有短寿命放射性核素的废物，在废物管理的安全和安保方面可能有很大差别。基于安保考虑，需短期内包容和隔离的安保程度很可能高于长期安全保证所需的包容和隔离的安保。

A.13. 长期包容和隔离程度随所选处置方案的不同而变化。本出版物所建立的分类体系，是以当前已采用或设想的不同放射性废物处置方案的长期安全考虑为基础。在该分类体系中，按照长期包容和隔离的程度从低到高，考虑了下列放射性废物管理方案：

- 豁免或解控；
- 衰变贮存；
- 地表工程填埋设施处置；
- 在地表至地表下几十米深度的工程设施如管沟、隧洞或浅钻孔等工程设施中的处置；
- 在几十米至几百米的中等深度的工程设施（包括现有洞穴）中的处置以及小直径钻孔处置；
- 在深达几百米以上的稳定地质构造中的工程设施中处置。

处置深度只是特定处置设施适宜性的影响因素之一；应满足参考文献[5]规定的关于处置的所有安全要求。

参 考 文 献

- [1] 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）。
- [2] 国际原子能机构《乏燃料管理安全和放射性废物管理安全联合公约》，国际原子能机构《国际法丛书》第 1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [3] 国际原子能机构《运行放射性废物的分类》，国际原子能机构《技术文件》第 1538 号，国际原子能机构，维也纳（2007 年）。
- [4] 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）。
- [5] 国际原子能机构《放射性废物的地质处置》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-R-4 号，国际原子能机构，维也纳，2006 年）。
- [6] 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）。
- [7] 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）。
- [8] 核安全机构《乏燃料管理安全与放射性废物管理安全联合公约：法国履行公约义务的第 2 次国家报告》，核安全机构，巴黎（2005 年）。
- [9] 核与工业安全局国际事务办公室，《乏燃料管理安全与放射性废物管理安全联合公约：日本第 2 次审查会议国家报告》，文部科学省，东京（2005 年）。
- [10] 联邦法规第 10 篇第 61 部分，“放射性废物陆地处置的执照要求”，1992 年。

- [11] 法国工业与研究部《近地表集中长期处置短或中半衰期和中低比活度的放射性废物基本安全条例》，《条例》第 I.2.号，巴黎（1984 年）。
- [12] KIM, J.I., 等，“德国在关闭核燃料循环和最终处置高放废物方面的做法”（国际研讨会论文集，柏林，1995 年）《核材料杂志》第 238 期（1996 年）第 1—10 页。

附件 I

原子能机构放射性废物分类标准的演变

I-1. 早在 1970 年⁹ 和 1981 年¹⁰ 原子能机构发布了放射性废物分类的出版物。放射性废物总体分为三类：(1) 高放废物；(2) 中放废物；或 (3) 低放废物。在中放废物和低放废物类别中，1981 年的出版物还区分了含短寿命放射性核素的废物、含长寿命放射性核素的废物以及含有发射 α 粒子放射性核素的废物。该分类体系对一般用途是适用的；但也存在局限性。尤其是这种分类体系与放射性废物管理（特别是处置）的安全问题间缺乏全面完整的联系。

I-2. 为了说明这些局限性及促进沟通交流，原子能机构于 1994 年¹¹ 发布了分类体系修订版。该版分类体系确定了作为分类基础的三类废物：

- 含有放射性核素浓度低可免于监管的废物，其相应的辐射危害可忽略；
- 含有一定量的放射性物质的废物，需要采取措施以确保对工作人员和公众短期或长期的辐射防护。这类放射性废物的范围很广，从不需要屏蔽或特别包容的略高于豁免水平的放射性废物，到可能需要屏蔽和散热的高活度水平的放射性废物。这类废物可能要求一系列的处置方法；
- 含有高放射性物质，以致一般需通过地质处置方式与生物圈长期高程度隔离的废物。这类废物通常需要屏蔽和散热措施。

⁹ 见脚注 1。

¹⁰ 见脚注 2。

¹¹ 见脚注 3。

附件 II

分类方法

II-1. 放射性废物分类体系可根据不同的基础制定，如安全或监管相关方面或工艺过程要求。本附件讨论放射性废物分类体系的各种目的和方法。

II-2. 放射性废物分类体系可建立在不同的层面满足不同的目的。一个分类体系可建立在国际层面、国家层面或营运者层面。其观点和目的相应有所不同，例如安全相关方面、废物来源和废物特性、工程要求或监管控制。

II-3. 分类方法将取决于放射性废物分类体系的目的。一种基本的分类方法是直接定性描述每个类别，即将放射性废物的一般特性作为分类的主要标准。然而，即使是定性的分类方法、表征数值范围或数量级的数值也是有益的。另一种基本分类方法是采用定量标准，即为废物类别的定义规定数值。

II-4. 本“安全导则”第 2 部分所述的方法主要基于废物处置的长期安全性，但可应用于废物管理的各个阶段。为保持废物管理不同阶段的兼容性和一致性，以处置作为分类体系的基础是合理的。

II-5. 分类体系和监管限值必须明确区分。分类的目的是确保在国家战略的框架内以安全和经济的方式管理废物，并利于沟通，而监管限值的目的是确保每一个获得许可证的设施和活动的安全。因此，须在取得许可证或授权的特定放射性废物管理活动和设施的监管框架内制定精确的限值。国家监管机构应制定放射性废物类别具体的数量限值或放射性浓度限值。废物分类体系对一般安全考虑有用，但不能替代对实际设施进行的具体安全评定和对放射性废物的良好表征。

定性分类

II-6. 有“自然”分类体系，例如，根据废物的来源进行分类。这种定性分类体系的案例见附件 III。虽然这种体系便于记录保存和通告监管机构，但它未能满足附录第 A.3 段所列的各项目标。另外，某同一类废物的安全特性可能差别很大，同一类废物可能需要不同的处理。

II-7. 另一种“自然”分类体系是根据放射性废物的物理状态，即固态、液态或气态，进行区分。该体系源于处理不同废物流的工艺过程需要，并且该

体系经常被细化以对应于特定的废物处理系统。这类分类体系根据技术需要和可能性而变，因此一般是针对特定设施。这类分类体系也考虑诸如具有较高放射性潜在危害的放射性废物类别必须的辐射防护措施等安全考虑。

II-8. 1994 年提出的分类体系 11 有三个主要的废物类别：免管废物、低中放废物（又细分为短寿命废物和长寿命废物）和高放废物。废物类别间的边界体现在活度的数量级水平。

II-9. 不同的国家采用不同的分类体系。例如，美国将低放和中放废物分为四个子类[II-1]。有些国家设有极低放废物类别[II-2、II-3]。许多国家根据废物中放射性核素的半衰期、废物的物理状态和其他因素进行了细致区分[II-4]。

定量分类

II-10. 放射性废物的分类常与所述废物管理的安全方面的考虑有关。因此，这种分类体系将废物的特性与监管机构或废物管理设施营运者制定的安全目标联系起来。由于安全标准一般是以数值表示的，因此有必要采取定量的分类体系。放射性废物分类体系的定量标准可按放射性浓度水平、废物中放射性核素的半衰期、废物产生的热量和/或剂量或剂量率提出。应采用第 II-11 至 II-17 段所述步骤导出定量的分类体系。

II-11. 建立定量分类体系的第一步是确定分类体系的目的，因为特定分类体系只能解决放射性废物管理的某一特定方面。应依据以下各方面决定分类体系的目的：

- 放射性废物的类型；
- 考虑的设施或活动；
- 可用的处理方案；
- 要满足的安全目标；
- 相关的社会和经济因素；
- 沟通的需要。

II-12. 第二步是确定体系所考虑的因素，例如：

- 个人照射；

- 公众照射；
- 环境污染；
- 临界安全；
- 正常情况或事故；
- 废物产生的热量；
- 工艺过程方面。

II-13. 对于 II-12 段列出的相关因素，可能存在必须考虑的监管或技术限制。这类限制包括：

- 监管机构规定的限值和要求；
- 废物本身的特性，即年产量、产生的总量、放射性核素谱及其浓度；
- 设施的特定条件（例如，接收的废物形式或废物货包、工程设计）；
- 运行限值；
- 安全评定规定的途径或假想方案；
- 场址的特定条件（例如，废物处置，其场址的地质、水文地质和气候特征可能限制了处置场址的选择或可在场址处置的废物类别）；
- 社会或政治方面；
- 法律定义和要求。

这些因素可能限制分类体系的选择和制定，因此，在导出分类体系前，必须评价这些因素的影响。

II-14. 一旦建立了分类框架，第三步选择用于废物分类的参数。可作为废物分类参数的重要特性见表 II-1。

II-15. 在第四步中评定可能的假想方案、设施的设计方案和具体场址的选项，以评价它们作为分类参数的适宜性。低放废物的可能的假想方案讨论见参考文献[II-4]。

II-16. 选定一组分类参数后，应确定不同类别间的数值区间或者定性特性。进行废物归类可表明所确定的分类体系是否恰当。

II-17. 一般，迭代重复第 II-11 至 II-16 段所述的步骤，直到得到满意的结果。

表 II-1. 可用作分类参数的放射性废物的重要特性

来源

临界性

放射特性:

- 放射性核素半衰期
- 发热
- 穿透辐射强度
- 放射性核素活度
- 表面污染
- 相关放射性核素的剂量因子
- 衰变产物

物理性质:

- 物理状态 (固态、液态或气态)
- 尺寸和重量
- 分散性
- 挥发性
- 混溶性
- 游离液含量

化学性质:

- 化学成分
- 溶解度和螯合剂
- 潜在化学危害
- 耐腐蚀性
- 有机物含量
- 可燃性
- 化学反应性和膨胀可能性
- 气体生成
- 放射性核素的吸附

生物学特性:

- 潜在生物危害
- 生物积累

其他因素:

- 体积
 - 单位时间产生的量
 - 实物分配
-

附件 II 参考文献

- [II-1] 联邦法规第 10 篇第 61 部分，“放射性废物陆地处置的执照要求”，1992 年。
- [II-2] 核安全机构《乏燃料管理安全与放射性废物管理安全联合公约：法国履行公约义务的第 2 次国家报告》，核安全机构，巴黎（2005 年）。
- [II-3] 工业、旅游与贸易部《乏燃料管理安全与放射性废物管理安全联合公约：西班牙第三次国家报告》，2008 年 10 月。
- [II-4] 国际原子能机构《放射性废物近地表处置的安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-1.1 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。

附件 III

放射性废物的来源和类别

III-1. 放射性核素使用及核能生产的很多活动（包括核燃料循环的所有阶段）会产生放射性废物。放射性同位素和密封源在医疗或工业中的应用活动、国防和武器项目以及含有天然放射性核素的矿石或其他材料加工（多数是大规模的，某些情况下这些矿石或物质必须作为放射性废物加以管理）过程也会产生放射性废物。例如磷矿加工和石油、天然气的开采。必须开展的事事故后的干预活动以及对以往影响区域的治理活动也会产生放射性废物。

III-2. 所产生的放射性废物的形式、放射性浓度和污染类型与产生放射性的类型一样多种多样。它可以是固态、液态或气态。放射性浓度的范围从相当于类似乏燃料和燃料后处理残留物的极高水平到相当于实验室、医院等放射性同位素应用的极低水平。放射性废物中所含放射性核素半衰期的范围也同样广泛。

III-3. 本附件简要和定性地介绍了主要的废物产生活动以及每种活动产生的放射性废物的类别。给出的描述和数值是基于参考文献[III-1]。本附件还说明了本“安全导则”中制定的分类体系对某些类别放射性废物的适用假设方案。

采矿和矿物加工产生的天然放射性核素含量升高的废物

III-4. 核燃料循环的第一步是开采铀或钍矿石，然后用于生产核燃料。然而，镭等其他放射性产品也可从矿石中分离出来，用于各种用途。采矿活动导致开采出足够丰富的矿石，适于加工处理的，同时也导致开采出相对大量的含有铀或钍的物质，但含量太低以致于进一步加工处理在经济上是不合理的。未经进一步加工的采矿物质通常在矿山附近形成废物堆积的尾矿。铀矿和钍矿石开采产生的尾矿一般含有较高水平的天然放射性核素，出于辐射防护目的和安全原因，必须作为放射性废物加以管理。

III-5. 从其中分离铀或钍的较富矿石被送往冶炼厂加工，这通常需要破碎和化学加工。除去铀后，残渣（尾渣）中含有的矿化元素衰变链母体核素很少，但仍含有其大部分衰变产物。某些子产物可能比原矿石更容易从尾渣中

浸出和逸出。此外，加工尾渣含有大量危险化学品，含有铜、砷、钼和钒等重金属；在评定计划中的管理方案的安全性时，需要考虑这些因素。

III-6. 在提取和（或）加工伴生富含天然放射性物质的其他物质时，也会产生类似类别和数量的含有天然放射性核素的放射性废物；这些物质含有磷酸盐矿物、矿砂、一些含金岩石、煤和碳氢化合物，并含有浓度相对较低的长寿命放射性核素。这些废物流中放射性核素的浓度可能超过本“安全导则”第2部分所建议的免管废物浓度。近年来，人们日益认识到，需要采取行动减少因接触此类废物（通常称为天然存在的放射性物质和人为活动增强的天然辐射（TENORM））而造成的剂量，并认识到有必要进行监管控制以确保安全。然而，这类废物的特性与其他废物的特性差别很大，可能需要具体的监管考虑。特别相关的是存在的放射性核素的半衰期长和通常较大的体积。

III-7. 本“安全导则”第2部分所述的分类体系涵盖采矿和加工产生的此类废物，但需要具体考虑其特殊性质和所采用的监管办法。一些废物，如石油和天然气工业中产生的某些垢渣，其放射性浓度可能很高。这可能需要按低放废物，或在某些情况下按中放废物进行管理。然而，此类废物的数量通常非常有限。

核电运行产生的废物

III-8. 核电生产会产生几种放射性废物，包括乏燃料（如果被宣布为废物）、主要由乏燃料化学后处理产生的其他高放废物，以及由于反应堆运行、后处理、去污、退役和核燃料循环中的其他活动产生的极低放废物、低放废物和中放废物。

高放废物

III-9. 乏燃料含有大量裂变物质、其他锕系元素和裂变产物。当其刚从反应堆中移出时会产生大量的热量，通常会存放在一般位于反应堆厂房内的贮存池中。最终，乏燃料将被移走，并采用以下几种可能的管理方案之一：

- 后处理：在这种情况下，燃料被溶解和处理，以从裂变产物和活化产物中分离出剩余的裂变产物。后处理运行产生固态、液态和气态放射性废物流。在燃料溶解过程中会产生固体废物，如燃料元件包壳、五金件和其他不溶性残留物。这些废物可能含有活化

产物以及一些未溶解的裂变产物、铀和钚。主要的液态废物流是硝酸溶液，其中既含有高放射性浓度的裂变产物，也含有高浓度的锕系元素。主要的气态废物流是废气，其中包含稀有气体和在溶解过程中从乏燃料中释放的挥发性裂变产物。在固化后，乏燃料后处理产生的高放废物需要在地质处置设施中处置，以便在长时间内提供充分的隔离和包容：

- 处置：一些国家已决定不对乏燃料进行后处理，并将其视为废物，因此需要处置。一般考虑的处置方案是在地质处置设施中置放；
- 长期贮存：如果不进行后处理，而且只要地质处置设施不运行，乏燃料的贮存显然是不可避免的。多数不对乏燃料进行后处理的国家正在制定延长贮存期的计划。长期贮存可在反应堆场址或远离反应堆的贮存设施中进行。

III-10. 液态高放废物在最终固化之前通常贮存在罐中（玻璃固化是目前使用的方法）。虽然人们普遍认为液态高放废物需要转化为固态，但在一些贮存有液态高放废物储罐的场址，其贮存期限现已延长至几十年。多数长期贮存的高放废物是国防计划活动产生的（见第 III-21 段）。

运行产生的低放废物和中放废物

III-11. 反应堆燃料的制造从铀的提纯、转化和浓缩以及燃料元件的制造中产生废物。这些废物货包含有来自废气系统的受污染的过滤物质、轻度污染的垃圾以及再循环或再利用运行产生的残留物。这种废物一般含有铀，制造混合氧化物燃料产生的废物里还含有钚。

III-12. 在核电厂的运行中，冷却水和蓄水池水的处理、设备去污和日常设施维护都会产生废物。核电厂运行产生的废物通常受到裂变产物和活化产物的污染。日常运行产生的废物货包含有受污染的衣服、地面清扫、纸张和塑料。一次冷却水和废气系统处理产生的废物货包含有废树脂和过滤器以及一些受污染的设备。更换活化的堆芯部件，如控制棒或中子源，也可能产生废物。

核设施退役产生的废物

III-14. 在核设施的使用寿命终止时，采取行政和技术行动，允许从设施中取消部分或全部监管要求。核设施的去污和拆除以及场址清理所涉及的活动将产生放射性废物，其类别、放射性浓度、大小和体积可能大不相同，并

可能被活化或污染。这些废物可能含有固态物质，如加工设备、建筑物质、工具和土壤。拆除核设施产生的最大废物量主要是极低放废物和低放废物。为了减少放射性废物的数量，去污被广泛应用。去污过程也可能产生液态和气态废物。

有组织活动产生的废物

III-15. 放射性物质的有组织的使用包括研究、工业和医学领域的活动。这类活动，特别是研究领域的活动多种多样，导致产生不同类别的废物。与核电行业一样，有组织的废物可以以气态、液态或固态形式产生。多数机构废物都是固态形式，通常以与核燃料循环中产生的废物类似的方式处理。

研究堆废物

III-16. 研究堆和一些废弃放射源产生的废物特别重要，因为其放射性浓度和放射性核素的半衰期，不符合近地表处置设施的废物验收标准。

研究设施产生的废物

III-17. 研究设施（如热电池链、手套箱链）或用于检查燃料制造工艺（特别是混合氧化铀和钚的制造，称为 MOX）、燃料后处理（特别是先进体系）和辐照后检查的中试厂，以及相应的分析实验室产生的废物类别往往不同于工业工厂产生的典型废物。由于存在不可忽略的长寿命 α 辐射源，研究设施产生的废物一般属于中放废物，在某些情况下甚至属于高放废物。研究活动包括实验室活动在研究堆和加速器等设施进行。研究活动产生的废物的类别和数量取决于所进行的研究。

生产和使用放射性同位素产生的废物

III-18. 放射性同位素的生产和使用产生的废物少于燃料循环活动产生的废物：

- 放射性同位素的生产：产生的废物的类别和数量取决于放射性同位素及其生产方法。一般而言，这些活动产生的放射性废物数量很少，但放射性浓度可能很高；
- 放射性同位素的应用：使用放射性同位素可能产生少量废物。产生的废物的类别和数量将取决于应用情况。

其他核设施退役产生的废物

III-19. 机构部门内的核设施也需要退役。产生的废物与核设施退役产生的废物相似（特别是在研究堆退役的情况下）；然而，产生的废物量将大大减少。

废弃密封源

III-20. 一种特殊类型的废物是废弃的密封放射源。密封源的特点是其放射性内容物的浓缩性质，且广泛用于医疗或工业应用。它们在使用寿命终止时可能仍然是危险的，需要适当管理，因为它们含有大量和高度浓缩的单一放射性核素，在许多假想方案下，即使源的放射性核素寿命不是特别长，也可能不符合近地表处置设施的废物验收标准。不适宜近地表处置的放射源需要埋设在更深的地方，因此属于中放废物，在某些情况下甚至属于高放废物。

III-21. 源可根据其所含放射性核素的活度和半衰期来描述。含有半衰期小于 100 天的放射性核素（例如近距离放疗中使用的铯-90、铱-192 或金-198）的放射源可贮存起来衰变，并最终作为免管废物处置。其他源，如含有铯-137、钴-60 或钷-238 的源项，半衰期较长，需要其他管理办法。表 III-1（摘自参考文献[III-2]）列出了不同类型的源。

国防计划与武器生产有关产生的废物

III-22. 在发展和试验核武器的初期，国防系统产生了大量的废物以及与生产核武器有关的废物。在这种情况下，流动性最大的高放废物是在待固化的贮存在仓库中的高放废物。退役核武器通常涉及将高浓缩铀和（或）钚与天然铀混合，以生产用于商业核电厂的二氧化铀和（或）混合铀-钚燃料，或将这种物质贮存将来和高放废物或乏燃料一起在地质处置设施中处置。

环境中的放射性物质

III-23. 由于各种活动，放射性残留物沉积在地球表面。其中包括核武器试验的残留物、核设施的事故残留物以及铀矿开采等以往实践的残留物，这些实践曾受到的监管不如当今安全标准要求的严格。治理行动产生的废物必

须作为放射性废物加以管理，要么就地稳定化，要么在适当的处置设施处置 [III-3]。

使用废物分类体系的案例

III-24. 本“安全导则”中所述的分类体系对非核活动产生的废物的使用案例见图 III-1。它显示了表 III-1 所界定的不同类型的密封源和含有天然放射性核素的废物通常属于哪些废物类别。含有天然放射性核素的废物的特性可能有很大差异，因此可分为若干类进行处置。如上所述，有些废物的放射性浓度可能很低，不需要作为放射性废物处置。浓度较高但有限的其他废物可能适宜近地表处置，而浓度较高的此类废物在某放射性核素可能被浓缩的情况下，可能需要在比典型的近地表处置更深的深度处置。这个案例说明，废物分类体系可以适应不同类别的废物。可以为其他类别的废物绘制类似的图表。

表 III-1. 废弃密封放射源

图 III-1 中的示例	半衰期	活度	体积	例子
i	<100 d	100 MBq	小	Y-90, Au-198 (近距离放射治疗)
ii	<100 d	5 TBq	小	Ir-192 (近距离放射治疗)
iii	<15 a	<10 MBq	小	Co-60, H-3 (氚靶), Kr-85
iv	<15 a	<100 TBq	小	Co-60 (辐照器)
v	<30 a	<1 MBq	小	Cs-137 (近距离放射治疗, 湿度密度探测器) Cs-137 (辐照器)
vi	<30 a	<1 PBq	小	Sr-90 (测厚仪、放射性同位素热电发生器 RTG)
vii	>30 a	<40 MBq	小, 但可能有大量的源 (高达数万)	Pu、Am、Ra (静电消除器)
viii	>30 a	<10 GBq	小, 但可能有大量的源 (高达数万)	Am-241、Ra-226 (仪表)

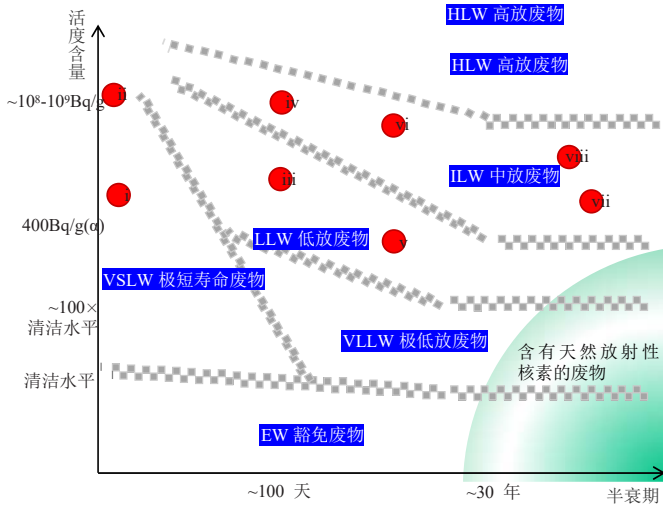


图 III-1. 废物分类方案应用的示例。参考表 III-1 中列出的编号指代废弃密封源的示例（见第 2.2 段、第 2.27 段和图 1）。

附件 III 参考文献

- [III-1] 国际原子能机构《放射性废物和其他放射性物质全球库存量的估算》，国际原子能机构《技术文件》第 1591 号，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [III-2] 国际原子能机构《放射性废物近地表处置的安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-1.1 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。
- [III-3] 国际原子能机构《受过去活动和事故污染区域的治理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-R-3 号，国际原子能机构，维也纳（2003 年）。

参与起草和审订人员

Batandjieva, B.	国际原子能机构
Delcheva, T.	保加利亚能源部
Duhovnik, B.	斯洛文尼亚爱必宜工程咨询
Embumbulu, E.	纳米比亚卫生与社会服务部
Gandhi, P.M.	印度巴巴原子研究中心
Goldammer, W.	顾问（德国）
Greeves, J.	美国 JTG 咨询公司
Hedberg, B.	瑞典核电监察局
Hutri, K.-L.	芬兰辐射与核安全局
Lavrinovich, A.	俄罗斯联邦环境、工业与核监督服务局
López, M.M.	墨西哥国家核安全与保障委员会
Metcalf, P.	国际原子能机构
Nangu, M.B.	南非国家核监管局
Pather, T.	南非国家核监管局
Raicević, J.	塞尔维亚长春花核科学研究所
Simeonov, G.	保加利亚核监管局
Smetnik, A.	俄罗斯联邦核与辐射安全局
Smith, G.	英国恩维罗斯咨询有限公司
von Dobschütz, P.	德国环境、自然保护与核安全部
Xavier, A.M.	巴西国家核能委员会
Zhebrovska, K.	乌克兰应急部国家科学院环境地球化学研究所

国际原子能机构安全标准核可机构

星号表示通讯成员。通讯成员收到征求意见稿和其他文件，他们一般不参加会议。两个星号表示候补者。

安全标准委员会

阿根廷: González, A.J.; 澳大利亚: Loy, J.; 比利时: Samain, J.-P.; 巴西: Vinhas, L.A.; 加拿大: Jammal, R.; 中国: 刘华 (Liu Hua); 埃及: Barakat, M.; 芬兰: Laaksonen, J.; 法国: Lacoste, A.-C. (主席); 德国: Majer, D.; 印度: Sharma, S.K.; 以色列: Levanon, I.; 日本: Fukushima, A.; 韩国: Choul-Ho Yun; 立陶宛: Maksimovas, G.; 巴基斯坦: Rahman, M.S.; 俄罗斯: Adamchik, S.; 南非: Magugumela, M.T.; 西班牙: Barceló Vernet, J.; 瑞典: Larsson, C.M.; 乌克兰: Mykolaichuk, O.; 英国: Weightman, M.; 美国: Virgilio, M.; 越南: Le-chi Dung; 原子能机构: Delattre, D. (协调员); 核安全咨询小组: Hashmi, J.A.; 欧盟: Faross, P.; 国际核安全小组: Meserve, R.; 国际放射防护委员会: Holm, L.-E; 经济合作与发展组织核能署: Yoshimura, U.; 安全标准委员会主席: Brach, E.W. (运输安全标准委员会); Magnusson, S. (辐射安全标准委员会); Pather, T. (废物安全标准委员会); Vaughan, G.J. (核安全标准委员会)。

核安全标准委员会

阿尔及利亚: Merrouche, D.; 阿根廷: Waldman, R.; 澳大利亚: Le Cann, G.; 奥地利: Sholly, S.; 比利时: De Boeck, B.; 巴西: Gromann, A.; *保加利亚: Gledachev, Y.; 加拿大: Rzentkowski, G.; 中国: 李京喜 (Jingxi Li); 克罗地亚: Valčić, I.; *塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克: Šváb, M.; 埃及: Ibrahim, M.; 芬兰: Järvinen, M.-L.; 法国: Feron, F.; 德国: Wassilew, C.; 加纳: Emi-Reynolds, G.; *希腊: Camarinopoulos, L.; 匈牙利: Adorján, F.; 印度: Vaze, K.; 印度尼西亚: Antariksawan, A.; 伊朗: Asgharizadeh, F.; 以色列: Hirshfeld, H.; 意大利: Bava, G.; 日本: Kanda, T.; 韩国: Hyun-Koon Kim; 利比亚: Abuzid, O.; 立陶宛: Demčenko, M.; 马来西亚: Azlina Mohammed Jais; 墨西哥: Carrera, A.; 摩洛哥: Soufi, I.; 荷兰: van der Wiel, L.; 巴基

斯坦: Habib, M.A.; 波兰: Jurkowski, M.; 罗马尼亚: Biro, L.; 俄罗斯: Baranaev, Y.; 斯洛伐克: Uhrik, P.; 斯洛文尼亚: Vojnovič, D.; 南非: Leotwane, W.; 西班牙: Zarzuela, J.; 瑞典: Hallman, A.; 瑞士: Flury, P.; 突尼斯: Baccouche, S.; 土耳其: Bezdegumeli, U.; 乌克兰: Shumkova, N.; 英国: Vaughan, G.J. (主席); 美国: Mayfield, M.; 乌拉圭: Nader, A.; 欧盟: Vigne, S.; 欧洲原子能公司: Fourest, B.; 原子能机构: Feige, G. (协调员); 国际电力委员会: Bouard, J.-P.; 国际标准化组织: Sevestre, B.; 经济合作与发展组织核能署: Reig, J.; *世界核能协会: Borysova, I.

辐射安全标准委员会

*阿尔及利亚: Chelbani, S.; 阿根廷: Massera, G.; 澳大利亚: Melbourne, A.; *奥地利: Karg, V.; 比利时: van Bladel, L.; 巴西: Rodriguez Rochedo, E.R.; *保加利亚: Katzarska, L.; 加拿大: Clement, C.; 中国: 杨华庭(Huating Yang); 克罗地亚: Kralik, I.; *古巴: Betancourt Hernandez, L.; *塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克: Petrova, K.; 丹麦: Øhlenschläger, M.; 埃及: Hassib, G.M.; 爱沙尼亚: Lust, M.; 芬兰: Markkanen, M.; 法国: Godet, J.-L.; 德国: Helming, M.; 加纳: Amoako, J.; *希腊: Kamenopoulou, V.; 匈牙利: Koblinger, L.; 冰岛: Magnusson, S. (主席); 印度: Sharma, D.N.; 印度尼西亚: Widodo, S.; 伊朗: Kardan, M.R.; 爱尔兰: Colgan, T.; 以色列: Koch, J.; 意大利: Bologna, L.; 日本: Kiryu, Y.; 韩国: Byung-Soo Lee; *拉脱维亚: Salmins, A.; 利比亚: Busitta, M.; 立陶宛: Mastauskas, A.; 马来西亚: Hamrah, M.A.; 墨西哥: Delgado Guardado, J.; 摩洛哥: Tazi, S.; 荷兰: Zuur, C.; 挪威: Saxebol, G.; 巴基斯坦: Ali, M.; 巴拉圭: Romero de Gonzalez, V.; 菲律宾: Valdezco, E.; 波兰: Merta, A.; 葡萄牙: Dias de Oliveira, A.M.; 罗马尼亚: Rodna, A.; 俄罗斯: Savkin, M.; 斯洛伐克: Jurina, V.; 斯洛文尼亚: Sutej, T.; 南非: Olivier, J.H.I.; 西班牙: Amor Calvo, I.; 瑞典: Almen, A.; 瑞士: Piller, G.; *泰国: Suntarapai, P.; 突尼斯: Chékir, Z.; 土耳其: Okyar, H.B.; 乌克兰: Pavlenko, T.; 英国: Robinson, I.; 美国: Lewis, R.; *乌拉圭: Nader, A.; 欧盟: Janssens, A.; 联合国粮食及农业组织: Byron, D.; 原子能机构: Boal, T. (协调员); 国际放射防护委员会: Valentin, J.; 国际电力委员会: Thompson, I.; 国际劳工处: Niu, S.; 国际标准化组织: Rannou, A.; 国际源供应商和生产者协会: Fasten, W.; 经济合作与发展组织

核能署: Lazo, T.E.; 泛美卫生组织: iménez, P.; 联合国原子辐射影响科学委员会: Crick, M.; 世界卫生组织: Carr, Z.; 世界核能协会: Saint-Pierre, S。

运输安全标准委员会

阿根廷: López Vietri, J.; **Capadona, N.M.; 澳大利亚: Sarkar, S.; 奥地利: Kirchnawy, F.; 比利时: Cottens, E.; 巴西: Xavier, A.M.; 保加利亚: Bakalova, A.; 加拿大: Régimbald, A.; 中国 Xiaoqing Li; 克罗地亚: Belamarić, N.; *古巴: Quevedo Garcia, J.R.; *塞浦路斯: Demetriades, P.; 捷克: Ducháček, V.; 丹麦: Breddam, K.; 埃及: El-Shinawy, R.M.K.; 芬兰: Lahkola, A.; 法国: Landier, D.; 德国: Rein, H.; *Nitsche, F.; **Alter, U.; 加纳: Emi-Reynolds, G.; *希腊: Vogiatzi, S.; 匈牙利: Sáfár, J.; 印度: Agarwal, S.P.; 印度尼西亚: Wisnubroto, D.; 伊朗: Eshraghi, A.; *Emamjomeh, A.; 爱尔兰: Duffy, J.; 以色列: Koch, J.; 意大利: Trivelloni, S.; **Orsini, A.; 日本: Hanaki, I.; 韩国: Dae-Hyung Cho; 利比亚: Kekli, A.T.; 立陶宛: Statkus, V.; 马来西亚: Sobari, M.P.M.; **Husain, Z.A.; 墨西哥: Bautista Arteaga, D.M.; **Delgado Guardado, J.L.; *摩洛哥: Allach, A.; 荷兰: Ter Morshuizen, M.; *新西兰: Ardouin, C.; 挪威: Hornkjøl, S.; 巴基斯坦: Rashid, M.; *巴拉圭: More Torres, L.E.; 波兰: Dziubiak, T.; 葡萄牙: Buxo da Trindade, R.; 俄罗斯: Buchelnikov, A.E.; 南非: Hinrichsen, P.; 西班牙: Zamora Martin, F. 瑞典: Häggblom, E.; **Svahn, B.; 瑞士: Krietsch, T.; 泰国: Jerachanchai, S.; 土耳其: Ertürk, K.; 乌克兰: Lopatin, S.; 英国: Sallit, G.; 美国: Boyle, R.W.; Brach, E.W. (主席); 乌拉圭: Nader, A.; *Cabral, W.; 欧盟: Binet, J.; 原子能机构: Stewart, J.T. (协调员); 国际航空协会: Brennan, D.; 国际民用航空组织: Rooney, K.; 国际航空飞行员协会联合会: Tisdall, A.; **Gessl, M.; 国际海事组织: Rahim, I.; 国际标准化组织: Malesys, P.; 国际源供应和生产者协会: Miller, J.J.; **Roughan, K.; 联合国欧洲经济委员会: Kervella, O.; 万国邮政联盟: Bowers, D.G.; 世界核能协会: Gorlin, S.; 世界核运输研究所: Green, L。

废物安全标准委员会

阿尔及利亚: Abdenacer, G.; 阿根廷: Biaggio, A.; 澳大利亚: Williams, G.; *奥地利: Fischer, H.; 比利时: Blommaert, W.; 巴西: Tostes, M.; *保加利亚: Simeonov, G.; 加拿大: Howard, D.; 中国: Zhimin Qu; 克罗地亚: Trifunovic, D.; 古巴: Fernandez, A. 塞浦路斯 Demetriades, P.; 捷克: Lietava, P.; 丹麦: Nielsen, C.; 埃及: Mohamed, Y.; 爱沙尼亚: Lust, M.; 芬兰: Hutri, K.; 法国: Rieu, J. 德国: Götz, C.; 加纳: Faanu, A.; 希腊: Tzika, F.; 匈牙利: Czoch, I.; 印度: Rana, D.; 印度尼西亚: Wisnubroto, D.; 伊朗: Assadi, M.; *Zarghami, R.; 伊拉克: Abbas, H.; 以色列: Dody, A.; 意大利: Dionisi, M.; 日本: Matsuo, H. 韩国: Won-Jae Park; *拉脱维亚: Salmins, A.; 利比亚: Elfawares, A.; 立陶宛: Paulikas, V.; 马来西亚: Sudin, M. 墨西哥: Aguirre Gómez, J.; *摩洛哥: Barkouch, R.; 芬兰: van der Shaaf, M.; 巴基斯坦: Mannan, A.; *巴拉圭: Idoyaga Navarro, M.; 波兰: Wlodarski, J.; 葡萄牙: Flausino de Paiva, M.; 斯洛伐克: Homola, J.; 斯洛文尼亚: Mele, I.; 南非: Pather, T. (主席); 西班牙: Sanz Aludan, M.; 瑞典: Frise, L.; 瑞士: Wanner, H.; *泰国: Supaokit, P.; 突尼斯: Bousselmi, M.; 土耳其: Özdemir, T.; 乌克兰: Makarovska, O.; 英国: Chandler, S.; 美国: Camper, L.; *乌拉圭: Nader, A.; 欧盟: Necheva, C.; 欧洲核设施安全标准: Lorenz, B.; *欧洲核设施安全标准: Zaiss, W.; 原子能机构: Siraky, G. (协调员); 国际标准化组织: Hutson, G.; 国际源供应商和生产者协会: Fasten, W.; 经济合作与发展组织核能署: Riotte, H.; 世界核能协会: Saint-Pierre, S.

当地订购

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

北美

Bernan / Rowman & Littlefield

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

世界其他地区

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商:

Eurospan Group

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

交易订单和查询:

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

单个订单:

www.eurospanbookstore.com/iaea

欲了解更多信息:

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

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至:

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

通过国际标准促进安全

国际原子能机构
维也纳