

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

消费品辐射安全

由下列组织共同倡议编写：

国际原子能机构、经济合作与发展组织核能机构



IAEA



NEA

特定安全导则

第 SSG-36 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。

消费品辐射安全

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-36 号

消费品辐射安全

特定安全导则

由下列组织共同倡议编写：
国际原子能机构、
经济合作与发展组织核能机构

国际原子能机构
2023 年·维也纳

版权说明

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

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

© 国际原子能机构，2023 年
国际原子能机构印刷
2023 年 11 月·奥地利

消费品辐射安全

国际原子能机构，奥地利，2023 年 11 月
STI/PUB/1691
ISBN 978-92-0-500723-6（简装书：碱性纸）
ISSN 1020-5853

前 言

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

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

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

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

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

序 言

原子能机构《国际辐射防护和辐射源安全要求基本安全标准》（原子能机构《安全标准丛书》第 GSR Part 3 号）规定了保护人类免受电离辐射危害、辐射源安全和环境保护的要求。GSR Part 3 要求每国家建立一个有效独立的监管机构，并具有法律权限来执行监管程序。

豁免监管是授权向公众提供消费品的必要前提。这反映了一个事实，即消费品已被批准用于不受监管的用途，因为其监管控制无法获得任何个人或社会利益。监管资源通常是有限的，必须以确保所采用的控制措施的严格性与所监管风险相称的方式使用，即分级监管方法。本“安全导则”描述了监管机构应如何应用 GSR Part 3 附件 I 中包含的正当要求和豁免标准，作为消费品决策过程的一部分。

本“安全导则”由原子能机构和经济合作与发展组织核能机构（OECD/NEA）共同倡议编写。

国际原子能机构安全标准

背景

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

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

对安全实施监管是国家的一项责任。然而，辐射危险有可能超越国界，因此，国际合作的目的就是通过交流经验和提高控制危险、预防事故、应对紧急情况和减缓任何有害后果的能力来促进和加强全球安全。

各国负有勤勉管理义务和谨慎行事责任，而且理应履行其各自的国家和国际承诺与义务。

国际安全标准为各国履行一般国际法原则规定的义务例如与环境保护有关的义务提供支持。国际安全标准还促进和确保对安全建立信心，并为国际商业与贸易提供便利。

全球核安全制度已经建立，并且正在不断地加以改进。对实施有约束力的国际文书和国家安全基础结构提供支撑的原子能机构安全标准是这一全球性制度的一座基石。原子能机构安全标准是缔约国根据这些国际公约评价各缔约国履约情况的一个有用工具。

原子能机构安全标准

原子能机构安全标准的地位源于原子能机构《规约》，其中授权原子能机构与联合国主管机关及有关专门机构协商并在适当领域与之合作，以制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产之危险的安全标准，并对其适用作出规定。

为了确保保护人类和环境免受电离辐射的有害影响，原子能机构安全标准制定了基本安全原则、安全要求和安全措施，以控制对人类的辐射照射和放射性物质向环境的释放，限制可能导致核反应堆堆芯、核链式反应、辐射源或任何其他辐射源失控的事件发生的可能性，并在发生这类事件时减轻其后果。这些标准适用于引起辐射危险的设施和活动，其中包括核装置、辐射和辐射源利用、放射性物质运输和放射性废物管理。

安全措施和安保措施¹具有保护生命和健康以及保护环境的目的。安全措施和安保措施的制订和执行必须统筹兼顾，以便安保措施不损害安全，以及安全措施不损害安保。

原子能机构安全标准反映了有关保护人类和环境免受电离辐射有害影响的高水平安全在构成要素方面的国际共识。这些安全标准以原子能机构《安全标准丛书》的形式印发，该丛书分以下三类（见图1）。



图1. 国际原子能机构《安全标准丛书》的长期结构。

¹ 另见以原子能机构《核安保丛书》印发的出版物。

安全基本法则

“安全基本法则”阐述防护和安全的基本安全目标和原则，以及为安全要求提供依据。

安全要求

一套统筹兼顾和协调一致的“安全要求”确定为确保现在和将来保护人类与环境所必须满足的各项要求。这些要求遵循“安全基本法则”提出的目标和原则。如果不能满足这些要求，则必须采取措施以达到或恢复所要求的安全水平。这些要求的格式和类型便于其用于以协调一致的方式制定国家监管框架。这些要求包括带编号的“总体”要求用“必须”来表述。许多要求并不针对某一特定方，暗示的是相关各方负责履行这些要求。

安全导则

“安全导则”就如何遵守安全要求提出建议和指导性意见，并表明需要采取建议的措施（或等效的可替代措施）的国际共识。“安全导则”介绍国际良好实践并且不断反映最佳实践，以帮助用户努力实现高水平安全。“安全导则”中的建议用“应当”来表述。

原子能机构安全标准的适用

原子能机构成员国中安全标准的使用者是监管机构和其他相关国家当局。共同发起组织及设计、建造和运行核设施的许多组织以及涉及利用辐射源和放射源的组织也使用原子能机构安全标准。

原子能机构安全标准在相关情况下适用于为和平目的利用的一切现有和新的设施和活动的整个寿期，并适用于为减轻现有辐射危险而采取的防护行动。各国可以将这些安全标准作为制订有关设施和活动的国家法规的参考。

原子能机构《规约》规定这些安全标准在原子能机构实施本身的工作方面对其有约束力，并且在实施由原子能机构援助的工作方面对国家也具有约束力。

原子能机构安全标准还是原子能机构安全评审服务的依据，原子能机构利用这些标准支持开展能力建设，包括编写教程和开设培训班。

国际公约中载有与原子能机构安全标准中所载相类似的要求，从而使其对缔约国有约束力。由国际公约、行业标准和详细的国家要求作为补充的原子能机构安全标准为保护人类和环境奠定了一致的基础。还会出现一些需要在国家一级加以评定的特殊安全问题。例如，有许多原子能机构安全标准特别是那些涉及规划或设计中的安全问题的标准意在主要适用于新设施和新活动。原子能机构安全标准中所规定的要求在一些按照早期标准建造的现有设施中可能没有得到充分满足。对这类设施如何适用安全标准应由各国自己作出决定。

原子能机构安全标准所依据的科学考虑因素为有关安全的决策提供了客观依据，但决策者还须做出明智的判断，并确定如何才能最好地权衡一项行动或活动所带来的好处与其所产生的相关辐射危险和任何其他不利影响。

原子能机构安全标准的制定过程

编写和审查安全标准的工作涉及原子能机构秘书处及分别负责应急准备和响应（应急准备和响应标准委员会）（从 2016 年起）、核安全（核安全标准委员会）、辐射安全（辐射安全标准委员会）、放射性废物安全（废物安全标准委员会）和放射性物质安全运输（运输安全标准委员会）的五个安全标准分委员会以及一个负责监督原子能机构安全标准计划的安全标准委员会（安全标准委员会）（见图 2）。

原子能机构所有成员国均可指定专家参加四个安全标准分委员会的工作，并可就标准草案提出意见。安全标准委员会的成员由总干事任命，并包括负责制订国家标准的政府高级官员。

已经为原子能机构安全标准的规划、制订、审查、修订和最终确立过程确定了一套管理系统。该系统阐明了原子能机构的任务；今后适用安全标准、政策和战略的思路以及相应的职责。

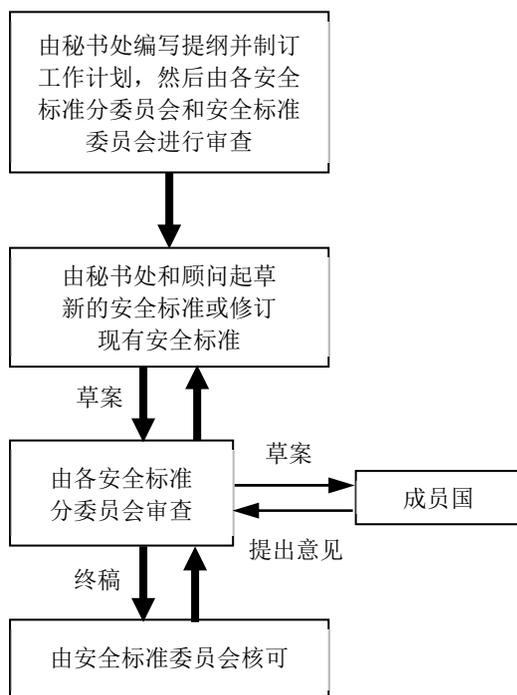


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

与其他国际组织的合作关系

在制定原子能机构安全标准的过程中考虑了联合国原子辐射效应科学委员会的结论和国际专家机构特别是国际放射防护委员会的建议。一些标准的制定是在联合国系统的其他机构或其他专门机构的合作下进行的，这些机构包括联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、国际劳工组织、经合组织核能机构、泛美卫生组织和世界卫生组织。

文本的解释

安全相关术语应按照《国际原子能机构安全术语》（见 <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>）中的定义进行解释。否则，则采用具有最新版《简明牛津词典》所赋予之拼写和含义的词语。就“安全导则”而言，英文文本系权威性文本。

原子能机构《安全标准丛书》中每一标准的背景和范畴及其目的、范围和结构均在每一出版物第一章“导言”中加以说明。

在正文中没有适当位置的资料（例如对正文起辅助作用或独立于正文的资料；为支持正文中的陈述而列入的资料；或叙述计算方法、程序或限值和条件的资料）以附录或附件的形式列出。

如列有附录，该附录被视为安全标准的一个不可分割的组成部分。附录中所列资料具有与正文相同的地位，而且原子能机构承认其作者身份。正文中如列有附件和脚注，这些附件和脚注则被用来提供实例或补充资料或解释。附件和脚注不是正文不可分割的组成部分。原子能机构发表的附件资料并不一定以作者身份印发；列于其他作者名下的资料可以安全标准附件的形式列出。必要时将摘录和改编附件中所列外来资料，以使其更具通用性。

目 录

1. 导言	1
背景 (1.1-1.11).....	1
目的 (1.12-1.13).....	4
范围 (1.14-1.16).....	5
结构 (1.17-1.18).....	6
2. 公众的防护和安全系统	6
概述 (2.1-2.7).....	6
正当性 (2.8-2.11).....	8
分级方法 (2.12-2.14).....	9
通报和授权 (2.15-2.21).....	9
豁免 (2.22-2.33).....	11
防护和安全的最优化 (2.34-2.35).....	14
安全评定 (2.36-2.39).....	14
3. 防护和安全制度在消费品中的应用	15
概述 (3.1).....	15
正当性 (3.2-3.18).....	15
通报和授权 (3.19-3.24).....	18
防护与安全最优化 (3.25-3.29).....	20
安全评定 (3.30-3.35).....	21
4. 关于有意加入放射性核素消费品的考虑	23
概述 (4.1-4.2).....	23
特定实践的描述 (4.3-4.25).....	24
供应商的责任 (4.26-4.35).....	28
消费品进口 (4.36).....	30
运输 (4.37).....	30
核安保 (4.38).....	31
处置 (4.39-4.43).....	31
5. 辐照宝石的考虑	32
宝石辐照的正当性 (5.1-5.5).....	32
宝石辐照实践 (5.6-5.11).....	33
质量保证和核实程序 (5.12-5.18).....	35
辐照宝石的运输 (5.19).....	37

其他考虑 (5.20-5.23).....	37
其他辐照项目 (5.24).....	38
6. 向公众出售消费品的国际协调	38
概述 (6.1-6.6).....	38
就协调向公众销售达成国际共识 (6.7-6.14).....	40
参考文献	43
附件 I 正当性案例研究：家用电离室烟雾探测器	47
附件 II 正当性案例研究：高压气体放电灯	49
附件 III 正当性案例研究：向公众出售电离室烟雾探测器的 不再正当的判定	53
附件 IV 英国电离室烟雾探测器设计、制造和性能标准摘要	55
附件 V 电离室烟雾探测器的辐射剂量	59
附件 VI 英国标准：含气态氚光源的时间测量仪器仪表和导航装置.....	65
附件 VII 钍钨焊接电极的安全相关问题	69
附件 VIII 宝石辐照技术的安全相关因素	77
附件 IX 比利时对宝石的辐照与辐照宝石销售的监管办法	87
参与起草和审订人员	91

1. 引言

背景

1.1. 在原子能机构关于辐射防护和辐射源安全的“安全要求”出版物：《国际辐射防护与辐射源安全基本安全标准》（GSR Part 3）[1]，基于原子能机构安全标准目的，“消费品”的定义为：

“有意向其内加入或通过活化产生放射性核素，或产生电离辐射[以下简称“辐射”]，且可以出售或提供给公众成员使用而在售后无须特别监视或监管控制的装置或制成品。”

消费品可分为三大类：

- (1) 因功能或物理、化学性质的原因而加入少量放射性核素的产品；
- (2) 能够产生辐射的设备；
- (3) 因辐照加工而含有活化产物的产品。

1.2. 目前，一些添加了少量放射性核素的消费品被公众广泛使用，并在世界各地销售。这些包括：

- (a) 电离室烟雾探测器，其电极间空气被内置放射源电离。在现代电离室烟雾探测器中，专门使用放射性核素镭-241。虽然一些包含放射性核素氩-85、镭-226、钷-238 或钷-239 的老式电离室烟雾探测器可能仍在在使用，但这些核素已多年未在电离室烟雾探测器中应用。
- (b) 使用发光涂料或含有气态氚光源的放射性发光产品。这些产品包括诸如钟表¹、导航仪器仪表（如指南针）、手电筒、鱼漂和新奇物品（如钥匙扣）等。一些特殊设备，如武器瞄准器，也可能含有气态氚光源。小型低活度气态氚光源在消费品中的应用正在扩大。

¹ 目前，公众可购买带有非放射性发光表盘的钟表。最常用的涂层材料是以掺有微量铕和镱的铝酸锶（ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$ ）为基础的磷光涂料。与放射性发光涂料不同，这种涂料需要通过暴露在阳光或人造光下几分钟来激活。激活后，其亮度逐渐减弱，几小时后降到肉眼可见的阈值。因此，在某些特殊用途上，涂有磷光漆的手表不能直接替代含有放射性发光涂料的手表。

(c) 在灯具产业中使用钍、氡-85 和氡，用于改善电极的冶金性能、优化光谱或在高强度灯或老式荧光灯中提供启动器辅助。高强度灯可作为氙气汽车灯和低瓦数专用灯具。

1.3. 其他添加少量放射性核素的消费品虽然不太普及，但仍在一些国家制造和销售。这些包括：

- (a) 一些含有少量放射性核素的电子元器件，如电压调节器、电流浪涌保护器、火花隙辐照器和指示灯，通常会引起电离作用并形成电流。
- (b) 通常以硝酸钍的形式存在的含钍汽灯纱罩。虽然新制造的汽灯纱罩中最初只有钍，但随着时间的推移钍子体的数量会增加。在过去 20 年中，制造商一直在使用非放射性替代品来制造汽灯纱罩，因此，含钍汽灯纱罩的供应大为减少，尽管有些仍然在销售。
- (c) 钨极惰性气体保护焊技术中使用的钍钨电极。
- (d) 为了荧光目的而掺入铀化合物的玻璃器皿和餐具。
- (e) 含铀化合物的牙科陶瓷，可发出荧光并改善假牙外观。由于越来越多使用非放射性替代材料，现在大多数牙科陶瓷不再含有任何放射性核素。

1.4. 以前一些含有放射性核素的消费品虽然停产，但可能仍在使用或可在二级市场购买。这些包括：

- (a) 含钋-210 或镭-241 的静电消除器，用于清除相片底片、乙烯基唱片、照相机镜头和眼镜镜片上的灰尘。
- (b) 含铀和钍化合物的玻璃透镜，具有某些较好的光学性能。同是钍化合物还可用于表面涂层以减少眩光或增加反射率。
- (c) 其他产品，如自动售货机的碳-14 发光硬币和钷-147 发光身份证。

1.5. 老式电视机和计算机显示器中的阴极射线管具有产生 X 射线的 ability，并且是按照国际标准建造的，以确保释放出的 X 射线是忽略不计的。近年来，阴极射线管显示器已被使用液晶显示器、发光二极管和等离子体技术的屏幕所取代，同时公众一般也无法购买到 X 射线发生装置。

1.6. 宝石的颜色可以通过辐照增强或改变。这一过程通过自然发生需要很长时间，但人工辐照也可以用来增强宝石的颜色，从而增加其商业价值。宝石的人工辐照有三种不同的方法： γ 辐照、直线加速器电子束辐照和核（研究）反应堆中的中子辐照。通过对宝石进行电子束辐照和中子辐照，可在其内部产生活化产物。这些活化产物的半衰期通常较短，最多几周，但有些活化产物的半衰期却较长。

1.7. 单晶硅的中子嬗变掺杂可通过热中子辐照大量高纯度硅来实现，这可在许多研究堆中进行[2]。掺杂磷是硅-30 通过热中子俘获转变成不稳定的放射性核素硅-31，随后经 β 衰变生成稳定核素磷-31，半衰期为 2.62 小时。同时磷-31 捕获一个热中子生成磷-32，经 β 衰变成硫-32，半衰期为 14 天。全世界掺杂硅的年产量约为 150 吨。掺杂硅用于各种电子元器件，如晶体管、二极管和集成电路芯片。镓、锗和硒也能进行中子嬗变掺杂，但其市场应用较少。装运前必须进行贮存存放，以便衰变掉短寿命放射性核素。通常直接以电子产品而非掺杂硅原材料形式向公众销售。

1.8. 部分消费品可通过商店直接向公众销售，而其他限供专业人士使用的消费品，公众仍可购买。例如，在五金店可以买到电离室烟雾探测器，在珠宝商处可买到辐照过的宝石。在一些国家出于军事目的，武器瞄准器通常在受控条件下出售，但在其他国家可自由销售。含有放射性核素的气体放电灯通常安装在私家车上，而此类灯还有其他专门用途，如体育馆的泛光灯和电影院的投影灯。因此，公众可能因这些消费品的使用、运输、贮存、回收和处置等活动而受到辐射。

1.9. 豁免的监管控制是授权向公众提供含有放射性核素消费品的必要先决条件。原子能机构处理这一问题的相关安全标准有《促进安全的政府、法律和监管框架》GSR Part 1 (Rev.1) [3]和 GSR Part 3[1]。这些出版物包括向监管机构通报某一实践的要求和监管机构授权某一实践的要求。实践豁免的条款来自这些要求或基于 GSR Part 3[1]通用标准的其他监管要求，或者监管机构基于这些标准制定的特定豁免值。GSR Part 3[1]适用于引起辐射风险[4]所有设施和活动。活动包括：工业、研究和医疗用辐射源的生产、使用、进出口；放射性物质运输；设施退役；放射性废物管理活动，如流出物排放；以及受过去活动放射性核素残留物影响的污染场址的相关治理[4]。

1.10. 为统一协调各国实践，原子能机构的一些安全导则为消费品豁免监管控制的正当性与适用性提供了一些指导：《辐射源的监管控制》（GS-G-1.5）[5]，《排除、豁免和解控概念的适用》（RS-G-1.7）[6]以及《包括非医学人体成像在内实践的正当性》（GSG-5）[7]。因为消费品豁免规定的正当性和适用性程序并不明确，这导致不同的国家采取不同的方法。对一些非常普通的消费品而言，采取不同方法可能导致有些国家认为向公众提供消费品是正当性的，但另一些国家则禁止这种实践。因为消费品的制造商、供应商和使用的公众并不清楚不同方法之间差异，方法的不一致性可能会引起混乱。

1.11. 为了保证要求的正当性[1、8]和应用 GSR Part 3[1]有关向公众提供消费品的豁免规定，各国的监管方法应进一步协调一致。此类消费品可能在全球销售，缺乏协调可能会造成公众和其他人对其使用所造成的风险感到困惑。此外，在监管办法上保持更大的一致性有助于监管机构高效和有效地将其资源用于具有更重大辐射风险的活动和实践。监管机构采取更加协调一致的办法对国际贸易也有明显的好处。

目的

1.12. 本“安全导则”是针对监管机构和含有特意添加或活化产生的少量放射性核素的消费品供应商，以及向公众提供能辐射产生设备的供应商。其主要目标是提供建议和指导，以满足正当性、最优化[1、8]要求，并授权向公众提供消费品。它还建议如何将 GSR Part 3[1]所规定的豁免条款应用于含有少量放射性核素的产品、辐射发生器和含有活化产物的产品。本“安全导则”考虑了 GSR Part 3[1]规定的管理要求和辐射防护要求。特别注意正当性要求的适用性，因为这一要求在豁免和授权提供消费品方面发挥着核心作用。同时还考虑了国际放射防护委员会第 104 号[9]出版物中提出的豁免和解控概念的应用方法。

1.13. 本“安全导则”还就某些消费品的制造和试验标准提供指导。

范围

1.14. 本“安全导则”仅适用于含有少量放射性核素和可适当豁免监督控制的成品（即不是仅为进一步组装而生产的部件）²。这些物品可供个人或专业人员使用。本“安全导则”提出消费品制造或进口许可证，以及这些物品在制造后使用寿命的各个阶段的决策过程，使用寿命包括运输、贮存、供应、使用、回收和处置。本“安全导则”还包括含有活化产生的放射性核素、供给公众的消费品（如辐照后的宝石）。也包括可由公众购买的辐射产生设备，虽然目前并无这类物品可出售给公众。

1.15. 以下不适用于本“安全导则”：

- (a) 计划照射情况下的职业照射，如从事消费品制造或装配的工作人员照射，或在辐照受监管控制的授权设施内对宝石进行辐照的工作人员照射。
- (b) 在公共场所安装的产品和用具（如出口标志和避雷针）以及其他物品，如建筑材料、瓷砖、矿泉水、矿产品和食品等，不在消费品定义之列。
- (c) 含有氚、镍-63 或钷-133 的爆炸物和化学探测器、用于雷达通讯的含氚接收器保护装置（发射/接收限幅器）和含碳-14 的粉尘监控器等所有这些通常不向公众提供的产品。
- (d) 不正当的实践，如在玩具、化妆品、个人首饰或装饰品等产品中使用辐射或放射性物质的实践，以及作为艺术形式或为宣传目的使用辐射进行人体成像的实践。
- (e) 未经辐照的含有天然放射性核素的宝石，因为这些宝石不包括在“有意向其内加入或通过活化产生放射性核素”的消费品定义中[1]。
- (f) 掺杂镓、锗、硒和硅，因为这些不直接提供给公众。掺入电子元件后，掺杂材料不再具有可测量的活度水平。

1.16. 本“安全导则”亦适用于属于第 1.1 段所述消费品的定义范围内且日后开发提供给公众的任何新产品。

² 一些直接提供给公众的消费品也可以作为其他消费品的组成部分。

结构

1.17. 第 2 部分讨论了公众的防护与安全系统；而第 3 部分讨论了该系统在消费品中的应用；第 4 部分讨论了因功能或物理、化学性质原因而加入少量放射性核素消费品方面的考虑因素；第 5 部分讨论了与辐照宝石和其他含有活化产物的产品有关的考虑因素；第 6 部分介绍了关于改善向公众提供消费品的正当性、授权和豁免监管的协调性的国际方法。

1.18. 本“安全导则”包括若干附件。前三个附件举例说明了如何就不同消费品做出正当性的决定。附件 IV 包含电离室烟雾探测器的设计、制造和性能标准，可作为向公众提供这些探测器是否监管豁免的判定依据；附件 V 提供了公众在电离室烟雾探测器的正常使用、事故、滥用和处置中可能受到辐射剂量的信息；附件 VI 提供了关于含气态氙光源消费品的国家标准，可在监管控制豁免时使用；在附件 VII、附件 VIII 和附件 IX 中，提供了钍钨电极和宝石辐照技术的安全相关方面信息，以支持第 5 部分中给出的建议和指导。

2. 公众的防护和安全系统

概述

2.1. 属于本“安全导则”范围的消费品可通过以下不同的方式制造：

- (a) 放射性核素的添加可能是出于功能需要，也可能是由于特定物品制造过程中的特殊物理或化学性质。放射性核素通常具有较长的半衰期，这使有关物品能在其整个预计寿期内继续发挥作用。因此，公众遭受的照射可能贯穿于消费品的整个运行寿期以及处置之后。
- (b) 能够产生辐射的辐射发生器或电子管可在制造时并入较复杂的设备或装置中。然而，只有在设备或装置通电的情况下，公众才可能遭受其射线照射。
- (c) 电子束辐照或中子辐照可产生活化产物。目前，已知采用这种辐照加工的消费品只有宝石。根据宝石的化学成分不同，会产生不同半衰期的各类活化产物。辐照后，宝石表面的辐射剂量率水平以及公众可能因其受到的辐射，会随时间推移而下降。

2.2. 含有放射性核素的消费品在制造过程中的照射属于计划照射情况，³可能需要得到监管机构的授权。在某些情况下，消费品的维护和维修也可能需要监管机构的授权。这些实践必须遵守三项基本安全原则要求，即实践的正当性、防护和安全的最优化以及个人剂量限值[1、8]。剂量限值既适用于工作人员的职业照射，也适用于因设施运行或经授权的排放而受到的公众照射。

2.3. 能产生 X 射线、中子、电子或其他带电粒子等辐射的辐射发生器或电子管制造过程中的照射也属于计划照射情况，须遵守辐射防护的要求。

2.4. 利用电子束或中子对宝石进行辐照可以在专门以此目的设计和建造的设施中进行，也可以在具有其他应用的设施中进行。例如，能对宝石进行辐照加工的研究堆可生产用于医学、中子活化分析和材料研究的放射性核素。新（计划）建宝石辐照设施与其他含有辐射源的设施一样，须经过同样的授权程序。在现有辐照设施基础上增加新的辐照工艺，如宝石辐照加工，同样需要得到监管机构的授权。所有情况下，设施都要遵守三项基本安全原则要求，即实践的正当性、防护和安全的最优化以及个人剂量限值[1、8]。

2.5. 通常使用钴-60 的 γ 射线对宝石进行辐照加工来增强其颜色。但是，这样的照射不会在辐照的宝石中产生活化产物。对宝石进行 γ 辐照加工的设施需要得到监管机构的授权和监管，需要遵守 GSR Part 3[1]有关计划照射情况的要求。

2.6. 本“安全导则”针对消费品辐射安全方法也适用于公共场所（如电影院或体育场等）使用的某些产品，这些产品不属于 GSR Part 3[1]定义的消费品。除非监管机构另有规定，否则对处理、安装和维护此类产品工作人员的要求与公众成员的防护水平相同（GSR Part 3[1]第 3.78 段）。

2.7. GSR Part 3[1]第 3.68—3.116 段规定了计划照射情况下职业照射的具体防护和安全要求。计划照射情况下职业照射不在本“安全导则”的范围内（见第 1.15 段），此处不予考虑。以下内容提出了消费品满足 GSR Part 3[1]要求的建议和指导意见：分级方法的应用（第 3.6 段）、通报与授权（第 3.7—3.9 段）、豁免（第 3.10 段和第 3.11 段）、实践的正当性（第 3.16—3.21

³ 计划照射情况是一种照射情况，指对源进行有计划的操作或有计划进行的活动而受到源的照射[1]。

段)、防护和安全的最优化(第 3.22—3.25 段)和安全评定(第 3.29—3.36 段),针对消费产品导致的公众照射,政府、监管机构和相关各方的责任(第 3.118 段、第 3.125 段和第 3.138—3.144 段)。

正当性

2.8. 正当性原则是一项基本的安全原则[8]。GSR Part 3[1]第 1.13 段指出:“引入新的辐射源、变更照射或变更照射可能性的设施运行或活动必须被证明在预计产生的个人和社会利益大于可能造成的损害意义上具有正当性”。这一概念并不是辐射安全所独有的。关于某一人类活动的采用决定涉及成本(包括有害因素)和利益的平衡。通常,这种平衡是隐性完成的。但是,GSR Part 3[1]明确要求,在监管机构授权某一实践之前,必须证明其具有正的净效益。关于满足正当性要求的建议和指导意见参见独立的安全导则[7]。

2.9. GSR Part 3[1]要求只有正当的实践才能获得授权。第 3.16 段指出:“政府或监管机构在适当时必须确保对任何类型实践的正当性以及必要时对正当性评审作出规定,并且必须确保只有正当的实践才能获得批准。”政府或监管机构应首先判定某一特定实践是否具有正当性。只有在正当性的情况下才考虑授权。

2.10. 豁免标准仅适用于那些被认为具有正当性的实践。这意味着,虽然 GSR Part 3[1]规定了极低水平风险实践的监管要求豁免条款,但首先应证明这些实践的正当性。

2.11. 人们认识到,各国在正当性要求适用方面可能会有不同的结果。例如,作为决策过程的一部分,在考虑替代材料和装置的可得性和可购性时,可能会因国家而异。这些经济因素,以及其他做价值判断的需要都将作为正当性判定的一部分,意味着某些实践在一些国家被视为正当,而在其他国家则不然。

分级方法

2.12. 原子能机构在其相关安全标准中强调了在设施和活动监管方面采取分级方法的重要性。特别是 GSR Part 1 (Rev.1) [3]第 4.5 段指出：“监管机构必须按照分级方法以与设施和活动相关辐射风险相称的方式分配资源。”并补充说：“对于最低相关辐射风险，监管机构免除特定活动的一些方面或所有方面的监管控制或许是适当的”。

2.13. 并非所有的实践都具有相同的风险水平，如 GSR Part 3[1]要求 6 规定，在计划照射情况下要求的应用必须“与实践或实践中的源的特性相称，并与受照射的可能性和受照程度相称。”还有一项要求是“确保采取分级方法对辐射照射进行监管控制”（GSR Part 3[1]第 2.18 段），并具体要求监管机构“必须采取分级方法实施防护和安全制度，以便监管要求的适用与照射情况相关的辐射风险相称”（GSR Part 3[1]第 2.31 段）。

2.14. 职业照射和公众照射均应适用分级方法的要求。分级方法有效利用了监管机构有限资源，使得更多的关注和资源集中在那些具有更大风险的实践上。注册者和许可证持有者还应对其获准从事的活动采取分级方法。

通报和授权

2.15. GSR Part 3[1]有关监管基础结构的要求反映了采用分级方法的要求。按监管严格高低程度排序，依次是许可证授权⁴、注册授权、通报和豁免。

2.16. 造成或可能造成较高辐射风险的实践应通过许可证制度获得授权。这就要求监管机构在发放许可证之前应进行详细的安全评定（见本“安全导则”第 2.36—2.39 段）。此外，许可证应列明营运者（许可证持证者）须符合的详细条件，并且监管机构亦应较频繁地视察有关实践。

⁴ 授权的定义是“监管机构或其他政府部门以书面形式允许人员或组织（营运者）进行规定的活动” [1]。

2.17. 低至中等放射性危害的实践应通过注册获得授权。安全评定的要求应比许可证授权的要求宽松。此类授权应附有营运者（注册者）必须遵守的条件或限值，但这些条件或限值也不可能像许可证中规定的条件那样严格。可予注册授权的典型实践是：

- (a) 设施和设备的设计可以在很大程度上保证安全；
- (b) 操作步骤简单；
- (c) 对安全培训的要求很低；
- (d) 历史上，操作中的安全问题很少。

注册授权最适合那些作业差别不大的实践。通常只有在一般法律法规对相关实践的作业条件做出了规定才可考虑注册。

2.18. GSR Part 3[1]规定了打算从事某一实践的个人或组织向监管机构通报的要求。监管机构可决定仅通报是足够的（即不需授权），条件是“预计与实践或行动有关的照射不可能超过监管机构所规定的相关限值的一小部分，并且潜在照射的可能性和受照程度以及任何其他潜在危害后果可忽略不计”（GSR Part 3[1]第 3.7 段）。

2.19. GSR Part 3[1]第 3.7 段还指出：“对消费品而言，只有在涉及制造、维护、进口、出口、提供、销售以及在有些情况下处置时才需要通报”。这项规定确认，公众使用消费品实际上是不受监管控制的，因此毋须通报。但是，任何个人或组织如打算开展要求中规定的任何实践，应将其意图通报监管机构。然后，监管机构应通过考虑产品的性质、相关危险和安全评定中确定的预期个人剂量，来判断是否需要授权。

2.20. 监管机构关于授权的决定应符合分级方法。例如，宝石的辐照加工可能涉及非常高的剂量率，而且在辐照之后，许多核素的放射性浓度很可能远超 GSR Part 3[1]规定的豁免值。在那样的情况下，显然许可证授权是适当的。然而，电离室烟雾探测器的组装可能仅涉及将预先构造的电离室装配到探测器的电路和塑料结构中。在这种情况下，工作人员或公众接受大剂量辐射的可能性很小，监管机构可决定按照分级方法进行注册授权。

2.21. 许多国家的监管办法并没有对许可证授权和注册授权加以区分，而且往往没有单独的通报规定。事实上，在一些国家，“许可证”可能是唯一使用的术语。虽然使用独立的术语——许可证授权、注册授权和通报一很明

确，但不一定要全部使用这三种可能性。监管机构应采用分级方法，确保以适当的方式分配其有限的资源，并将其工作重点放在那些构成最高辐射风险的实践上。监管机构还应确保主要方采用分级方法⁵。

豁免

2.22. 一旦监管机构被通报打算实施被认为是正当的实践，它可决定豁免该实践或该实践中的源，使其某些或所有方面的控制不受监管。豁免应被视为监管分级办法的一部分，因为豁免的限制性比授权或通报小，但仍需要监管机构作出决定。

2.23. 豁免的一般标准见 GSR Part 3[1]附录 I 第 I.2 段，即：

- “(a) 该实践或该实践中的放射源引起的辐射风险足够低以至于不需要进行监管控制，并且绝不可能出现能够导致不符合豁免的一般标准的情况；或
- (b) 对该实践或该放射源的监管控制将不产生任何净效益，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。”

2.24. 这些标准具有主观性，需要监管机构作出有效判断。GSR Part 3[1]第 I.2 段澄清了辐射风险足够低的含义，指出“实践或实践中的源根据第 I.1 (a) 段的条件无需进一步考虑就可被豁免本标准的部分或全部要求，条件是在正当可预见的所有情况下预计任何个人在一年内因被豁免的实践或实践中被豁免的源所受到的有效剂量（通常在安全评定基础上进行评定）在 10 微希沃特量级或更小。考虑到低概率假想方案，可采用不同的标准，即预计任何个人在一年内因这类低概率假想方案所受到的有效剂量不超过 1

⁵ GSR Part 3[1]第 2.40 段指出：

“对防护和安全负有责任的主要方是：

- (a) 注册者或许可证持有者，或对只要求通报的设施和活动负有责任的人员或组织；
- (b) 与职业照射有关的雇主；
- (c) 与医疗照射有关的放射从业医师；
- (d) 被指定处理应急照射情况或现存照射情况的人员或组织。”

毫希沃特。”低概率假想方案的个人剂量标准是基于发生的概率不超过每年 0.01 的假设[10]。

2.25. 通过制订剂量标准,可以判断是否豁免某一受监管控制的实践,将有助于监管机构采取一致的办法保护工作人员和公众免受辐射风险。通过采用同样的剂量标准,各国之间可望有更大的一致性。如果满足 GSR Part 3[1] 第 I.1 段中规定的剂量标准,则相关的实践或实践中的放射源无需进一步考虑而予以豁免监管。

2.26. GSR Part 3[1]第 I.2 段还指出:在正当可预见的一切情况下,通常根据安全评定来预估个人因被豁免的实践或实践中被豁免的源所受到的年有效剂量。由于开展安全评定可能费用高昂且耗费时间,故在预期照射量可能极低的情况下,可能没有必要进行安全评定。为了进一步协助监管机构,已经制定了天然放射源和人造放射源的各种放射性核素的总活度和放射性浓度的具体数值[1、6、10、11]。对于中等数量和大量的材料,都推导出了数值。这些计算是基于外照射、气溶胶吸入和摄入等一系列典型照射假想方案的评定[12]。因此,如果满足“在任何一段时间里工作场所存在的单一放射性核素的总活度或在实践中使用的放射性浓度不超过适用豁免值”(GSR Part 3[1]第 I.3 (a) 段),那么个人年有效剂量将会不超过 10 微希沃特,且该实践无需进一步考虑而被豁免 GSR Part 3[1]要求。

2.27. 许多国家认为总活度和放射性浓度的推导值特别有用,并在国家法律中予以采纳。如第 2.24 段所述剂量标准的情况,监管机构应使用这些推导值豁免某一实践或某一实践中的源,而不要求进行安全评定。当设想这种自动被豁免生效时,监管机构应确保用于计算总活度和放射性浓度值的照射假想方案代表该国典型的实践。通常情况就是这样,只有在例外情况下,监管机构才应要求考虑其他假想方案。

2.28. 从监管的角度来看,预定数值的存在和应用对判断是否被豁免具有明显的好处,因为这些数值易于使用。预定数值的应用也增加了监管机构自身和不同国家监管机构之间保持一致的可能性。然而,仅仅依靠数值将使监管机构在作出此类决定时不再需要使用自己的判断,这将损害 GSR Part 3[1] 给予监管机构的判断灵活度。例如,这些数值只符合针对辐射风险的第一个一般标准,没有涉及监管控制是否会在减少个人照射或任何健康风险方面产生净效益的第二个标准。如果活度和活度浓度的导出值被超过,或者安全

评定表明并非所有假想方案都符合 10 微希沃特的个人剂量标准，这种情况下监管机构应考虑第二项标准。因此，监管机构应考虑总活度和活度浓度的导出值，以及 10 微希沃特个人剂量标准要求，将其综合作为决定豁免监管控制的特定实践的重要指标。然而某些情况时仅凭这些标准可能不足以作出最后决定。

2.29. GSR Part 3[1]第 I.3 (c) 段还指出对无需进一步考虑即可自动被豁免：

- “ (c) 其类型经监管机构核准的辐射发生器，或电子管形式的辐射发生器，如显示视觉图像的阴极射线管，条件是：
 - (i) 它们在正常运行工况下不会导致距离设备任何可接触表面 0.1 米处超过 1 微希沃特的周围剂量当量率或定向剂量当量率（合适时）；或
 - (ii) 所产生辐射的最大能量不大于 5 千电子伏特。”

2.30. GSR Part 3[1]第 I.6 段准许给予豁免：

“遵守监管机构规定的条件如有关放射性物质的物理或化学形态和放射性物质的使用或其处置的手段等可给予豁免。特别是对于含有第 I.3 (a) 段中未以其他方式自动被豁免放射性物质的设备可给予这种豁免，而无需进一步考虑本标准的一些或全部要求，条件是：

- (a) 含有放射性物质的设备是监管机构核准的类型；
- (b) 放射性物质：
 - (i) 呈密封源的形式，能有效地防止与放射性物质的任何接触并防止其泄漏；或
 - (ii) 呈少量非密封源形式，如放射免疫分析用源等。
- (c) 在正常运行工况下，设备不会导致距离该设备任何可接触表面 0.1 米处超过 1 微希沃特/小时的周围剂量当量率或定向剂量当量率（合适时）；
- (d) 监管机构已规定了设备处置的必要条件。”

2.31. 这就是所谓的“型式认证”，根据该认证，监管机构可以在非常具体的条件下免除对某些仪器仪表或设备的监管控制。通常，免于监管控制的仪器仪表或设备应符合国家或国际标准，例如国际标准化组织（ISO）公布的

标准。虽然豁免可以基于距离装置表面 0.1 米处的外部剂量率，但监管机构还应充分考虑安全评定的结果。如果安全评定表明，在拆除或焚烧装置的情况下，剂量率可能高得多，则豁免监管可能不合适。

2.32. GSR Part 3[1]关于豁免装有密封放射源设备的这一规定可适用于消费品。虽然设备外的剂量率是有限值的，但对密封源总活度没有限值。因此，例如，电离室烟雾探测器的活度高于规定的豁免值，只要符合监管机构授权的就剂量率和其他标准规定的条件而无需进一步考虑即可被豁免。

2.33. GSR Part 3[1]没有具体提到豁免含有活化产生的放射性核素辐照产品的程序。然而，从监管的角度来看，没有理由将这类产品与在制造过程中添加了放射性核素的产品区别对待。因此，监管机构在决定是否豁免此类产品接受监管控制时，应采取一般豁免标准、个人剂量标准以及总活度和放射性浓度的推导值。第 5 部分讨论了这些标准在宝石辐照加工中的应用。

防护和安全的最优化

2.34. 净效益的证明本身不足以授权一种实践。GSR Part 3[1]第 3.22 段还要求政府或监管机构“制定并强制执行防护和安全最优化的要求”，而第 3.23 段则要求“注册者和许可证持有者必须确保防护和安全达到最优化。”

2.35. 防护和安全的最优化是确定为获得最大净效益所需的防护和安全水平的过程。因此，实践的正当性和防护和安全的最优化都涉及到整个实践中放射性危害与利益的平衡。然而，前者只是要求有正的净效益，而后者则要求净效益应最大化。这意味着，在当前情况下，防护和安全的水平是尽可能最优化。在消费品的设计和制造中，特别是在选择要使用的放射源及其活度大小方面，应充分考虑到最优化的重要性。

安全评定

2.36. 有关安全评定的规定适用于监管机构和打算开展引入辐射风险的活动的个人、组织、注册者和许可证持有者。监管机构须负责制定开展安全评定的要求，并在授权前对安全评定进行评审和评定。打算开展引入辐射风险的活动的个人或组织以及注册者和许可证持有者必须“在适当时对其所负

责的实践或放射源进行一般或特定的安全评定”（见 GSR Part 3[1]第 3.30 段）。

2.37. 监管机构还应采用分级方法，确定进行安全评定的要求。与辐射风险程度较低的实践相比，辐射风险程度较高的实践应要求进行更详细的安全评定。即使辐射风险水平被认为是很小的，仍应要求进行安全评定，以表明情况确实如此。这只适用于第一次审议某一特定实践的正当性，监管机构的决定不一定要在以后的申请中评审，本“安全导则”第 2.39 段指出的那样除外。然而，如第 2.26 段和第 2.27 段所述，在不超过活度或活度浓度导出值的情况下，不应要求进行安全评定。如果以前认为这种实践是正当的，则应豁免对放射源的监管控制，而无需进一步考虑。

2.38. 须进行安全评定，以便“确定正常运行中照射的预计可能性和照射量，并在正当和切实可行的范围内作出潜在照射评定”（见 GSR Part 3[1]第 3.31 (b) 段）。这与消费品特别相关，对于消费品而言，10 微希沃特的个人年有效剂量是决定豁免实践不受监管控制的标准之一。

2.39. 在某些情况下，注册者和许可证持有者必须对安全评定进行必要的额外评审（见 GSR Part 3[1]第 3.35 段）。就消费品而言，对安全评定的评审可能会使监管机构作出决定，认为向公众提供这些产品不再符合豁免标准，因此制造这些产品不再是正当的。

3. 防护和安全制度在消费品中的应用

概述

3.1. 虽然正当性和授权的程序是独立不同的，但一些监管机构可能将这两者合并为一个申请程序，而另一些监管机构可能将其视为两个完全独立的程序，由不同的国家部门处理。为了清楚起见，以下将分别对这两个应用于消费品的程序进行描述。

正当性

3.2. 在开始生产和向公众提供含有放射性核素的新型消费品之前，制造商应将其意图通报监管机构，并应就拟议实践的正当性寻求决定。

3.3. GSR Part 3[1]第 3.16 段指出政府或监管机构须确保为任何类型实践的正当性作出规定，有关消费品的正当性通常应遵从监管机构的决定。这是因为消费品对公众的风险相对较低。

3.4. 监管机构在评审授权申请之前，应确定向公众提供消费品的生产和供应的正当性。如果认为这种实践是不正当的，则不存在授权问题，并通报向提交申请的个人或组织。然而，GSR Part 3[1]确实对评审正当性作出了规定。这应用于评审某一特定实践不正当的决议，以及评审某一特定实践正当的决议（见本“安全导则”第 3.13 段和第 3.14 段）。

3.5. 正当性的程序应考虑到实践的所有方面，包括制造、装配、运输、供应、公众使用和处置。因此，在评审某一消费品的正当性时，不应将实践的某一阶段与公众对该产品的最终使用分开考虑。例如，决定某一消费品的制造是正当的，然后在随后阶段决定向公众提供该消费品是不正当的，这是没有道理的（见本“安全导则”第 3.7 段）。

3.6. 可能存在不使用辐射但能使消费品实现相同或类似目的的替代方法。如果这样，在就正当性作出决定时应考虑到替代方法。不应仅仅因为存在一种替代技术，就认为使用辐射的这类实践是不正当的。然而，如果有必要与此类替代方法进行比较，则应适当谨慎地进行比较。替代方法不太可能没有损害，也不可能获得完全相同的利益。

3.7. 如果某一消费品的使用被认为是不正当的，那么其他阶段—制造、进口、运输等—也是不正当的（见本“安全导则”第 3.5 段）。这对于确保清楚说明如何对消费品适用正当性的要求至关重要。尤其重要的是，首先要把重点放在消费品的预计用途和使用的利益上。如果某一消费品的使用被认为是正当的，那么通常其他阶段，如制造、进口和运输，也是正当的。

3.8. 虽然应尽一切努力确保评价正当性的客观性，但这并非总是容易做到的。其中一个原因是，往往不可能以直接可比的单位，如以货币计算，来量化代价和效益。因此，利益的决定通常涉及为社会作出判断。为了克服与作出这种判断有关的困难，监管机构应建立一种机制，引入反映社会利益的个人或机构。如 GSG-5[7]第 3.16 段指出：

“……在证明涉及消费品的实践是正当的情况下，该类咨询团体人员可由消费者利益团体、产品的制造商或供应商、学术界人士和政府官

员组成。监管机构应提供与拟议实践有关的辐射风险评定作为该咨询团队的评定输入。”

这种机制将有助于避免仅根据监管机构的判断作出决定。

3.9. 风险水平极低这一事实本身并不是判断正当性的充分条件。对于风险很小的实践，如消费品的供应和使用，仍然需要说明这种实践的正当性。如果这种风险确实极低，那么为了证明这种实践是正当的，利益就不必很大。

3.10. 虽然辐射安全涉及有害健康的辐射风险防护，但监管机构不应只考虑那些有可能拯救生命或可能防止伤害或疾病的消费品是正当的。应考虑的利益可以有许多不同的类型，不仅可能是拯救生命或预防伤害或疾病，也可能是产品的实际利益、防止财产损失、改善安全或提高生活质量。

3.11. 关于正当性的决定通常是针对某一特定类型的实践作出的，不应在每次授权通报中重复。因而如果认为制造某种类型的烟雾探测器是正当的，则自动认为制造类似的烟雾探测器也是正当的。监管机构应评审适用于某一类实践的国家和国际技术标准，并应决定这些标准是否足以表明有关实践是正当的。此问题将在第 4 部分中就某些特定类型的消费品作进一步讨论。

3.12. 尽管在某些情况下，其他国家的监管机构可能已经就某一类消费品的正当性作出了判断，然而，在向公众提供有关消费品的国家，监管机构仍应自行决定正当性。监管机构在作出决定时，应考虑到以前对实践作出的正当或不正的判定以及作出这一判定的依据。虽然不同的监管机构可能会作出不同的决定，但各监管机构应尽可能相互合作，以便向公众提供消费品采取统一的方法进行正当性判断。国际统一问题在第 6 部分进一步考虑。

3.13. 监管机构应定期评审关于正当性的所有决定。特别是关于某一实践功效或安全性有新的和重要的证据时，就应评审关于正当性的决定。在评审向公众提供某一消费品的正当性时，不使用辐射的替代新技术不应成为使用辐射的实践是否继续正当的决定性因素。

3.14. 如果向公众提供某一消费品的实践不再被认为是正当的，监管机构应撤销消费品制造和供应的授权。并向所有相关各方提供决定的依据。监管机构还应决定并通报在过渡期间应采取的步骤，以妥善管理现有消费品（包括其处置）。

3.15. 监管机构应该意识到，消费品可能是在没有事先说明正当性的情况下提供给公众的。在这种情况下，监管机构应尽可能评审向公众提供这些消费品的正当性。有关的消费品可能不再生产，因此，作为安全评定的必要信息可能不容易获得。如果监管机构认为向公众提供这些消费品是不正当的，则应向拥有和使用此类消费品的人员发布辐射防护方面建议，并正确看待相关危险。在就收集和处置这类消费品的选择决定时，监管机构应考虑到相关的辐射风险。

3.16. 监管机构在这些事项上的作用是有限的。监管机构没有任何责任就是否向公众提供和使用消费品制定社会规范。它的主要作用应是确保向公众出售的任何含有少量放射性核素的产品本身是安全的。消费者的决定随后将决定这类产品的价格和实用性是否具有竞争力。

3.17. 本“安全导则”第 5.1—5.5 段阐述了有关宝石辐照增色实践的正当性的考虑因素。

3.18. 附件 I—III 提供了关于正当性决定的案例。

通报和授权

3.19. 如第 2 部分所述，个人或组织必须“向监管机构提交通报书”，说明其制造、组装、维护、进口、销售或处置消费品的计划（GSR Part 3[1]第 3.7 段）。如本“安全导则”第 2.15—2.21 段所述，监管机构对通报和授权采取分级的方法，其专业术语可能因其国家法律不同而有差异。

3.20. 作为通报的一部分，个人或组织应向监管机构提供所有必要的信息，包括安全评定，以支持授权请求。理想的情况是，监管机构应事先以书面程序的形式规定所需的信息。通报还应提供任何现有证据，以证明这种实践以前是正当的。

3.21. 应向监管机构提供的信息将视通报所涵盖的实践而定。但是所提供的信息应满足监管机构对就拟议产品的评审和评定的需要。具体地说，向监管机构提供的信息应满足判断就拟议的实践是否可豁免监管控制的需要。

3.22. 在 GSG-5[7]，进一步详细地讨论了监管机构确定实践正当性所应遵循的程序，但通常向监管机构提供的文件应包括以下内容：

- (a) 关于消费品、预期用途和利益、所含放射性核素和放射性核素所起作用的描述。还应提供放射性核素满足其功能的书面证据。
- (b) 消费品中使用放射性核素的活度。
- (c) 选择放射性核素的正当性，特别是相关的其他放射性核素的危害和半衰期。
- (d) 消费品中放射性核素的化学和物理形式。
- (e) 消费品制造和设计的详细资料，特别是在使用和处置的正常情况和不利条件下对放射性核素的包容和屏蔽，以及对放射性核素的可接近程度。
- (f) 放射源、部件和成品应用的质量保证和核实程序，以确保不超过规定的最大放射性核素数量或规定的最大辐射水平，并确保消费品按照设计规范制造。
- (g) 证明在正常使用和可能误用和意外损坏情况下消费品完整性的原始试验资料，以及这些试验的结果。
- (h) 消费品外部辐射水平记录和测量方法。
- (i) 对正常使用、可能的误用、意外损坏和处置以及（如适用）维护、保养和维修进行的安全评定。
- (j) 消费品的预计使用寿命以及预计每年发出和/或提供的总数量。
- (k) 有关正确安装、使用、维护、保养和维修消费品的信息。
- (l) 证明消费品本身是安全的分析（即在可预见事故中不会对个人产生显著剂量）。
- (m) 关于消费品如何贴标签的信息。
- (n) 预期在消费品使用寿命结束时对其进行回收或处置的规定。

3.23. 监管机构应严格评价信息，特别是安全评定资料，并寻求认为必要的任何信息，作为决定是否可以授权豁免部分或所有监管控制要求的输入。

3.24. 如果通报仅涉及向公众销售和（或）提供消费品，所提供的文件应包括有关消费品在其制造国已获授权向公众供应的批准。监管机构应仔细评审所提供的文件，除非对决定的依据有疑问，否则在制造国的授权通常应成为在其他国家授权向公众提供有关消费品的充分依据。

防护与安全最优化

3.25. 应通过关注消费品的设计和配置实现防护和安全最优化。还可以通过过程控制来实现最优化。然而，如果过程控制是防护和安全最优化所必需的，那么这种实践不太可能被豁免。

3.26. 在有意加入放射性核素的消费品的防护和安全最优化方面应重点考虑的因素包括：

- (a) 根据产品有效运行所需的半衰期、辐射类型、能量和活度的需要，选择最合适的放射性核素；
- (b) 选择在正常和事故工况下及处置时，都能提供最高固有安全程度的放射性核素的物理和化学形式；
- (c) 消费品的配置；
- (d) 在不使用专用工具的情况下，防止放射性核素的可获得性；
- (e) 利用以前评定过的其他产品，特别是类似产品的经验；
- (f) 质量保证。

3.27. 最优化是指在考虑到适用的技术、经济、法律和社会背景的情况下，选择防护和安全最优化计划。最优化选择总是针对相关的照射途径，代表在特定情况下可以实现的最佳防护和安全水平。就消费品而言，无论是否超过豁免值，都应实现防护和安全最优化。监管机构应确保达到最优化要求，甚至低于豁免值。

3.28. 一些较为常见的消费品制造已经成为了国际标准，并在一些国家得到应用。这些将在第 4 部分中进行讨论并供参考。

3.29. 就辐照宝石而言，其内部许多活化产物的半衰期很短，这意味着在向公众提供该类消费品后，其剂量率会随着时间的推移而明显降低。防护和安

全最优化的实现应通过优化辐照条件尽量减少产生半衰期较长的放射性核素，并保存放射性浓度最高的宝石。这些问题将在第 5 部分中进一步讨论。

安全评定

3.30. 安全评定是一项决定实践正当性及防护和安全最优化的必要输入。安全评定涵盖常规使用、预计事故和处置过程中可能接受的剂量。评定的剂量应与现行的剂量标准进行比较。就消费品而言，剂量标准是原子能机构安全标准[1、13]规定的豁免标准，如第 2 部分所述。

3.31. 有些消费品可能单一或小量使用。而其他消费品可能大量使用，如安装在公众可达场所的消费品。例如，住户可在家中安装一到两个电离室烟雾探测器，但在办公楼、购物中心或酒店中，作为防火系统的一部分可以安装更多数量。此时电离室烟雾探测器作为火灾探测系统的部件，不是 GSR Part 3[1]定义的消费品，因为它们不向公众提供。然而，这类消费品的结构和制造标准是相同的，因此在这两种情况下都应采取类似的剂量评定方法。在进行剂量评定时，应考虑部署在住宅或其他建筑物中电离室烟雾探测器的数量，从而获得个人的总照射剂量和潜在照射剂量。

3.32. 虽然单一消费品中的放射性核素数量通常很少，但在运输和经销商仓库贮存过程中的放射性核素数量可能大得多。在处理大量的单一含有少量放射性核素的消费品的贮存和运输问题时，必须进行独立的安全评定。运输和贮存应分开评定，正常使用和发生事故（如火灾）时造成的剂量均应在评定中考虑。根据这些评定将确定是否应对贮存或运输的消费品数量加以限制，以确保不超过豁免标准。如第 3.31 段所述，安全评定的出发点应是通常运输或贮存消费品的数量；然后将分析扩展到消费品运输或贮存最大允许数量的计算。

3.33. 虽然直接向公众提供的消费品必须符合豁免标准，但这并不一定意味着使用链的其他环节也应自动被豁免。根据安全评定，监管机构应决定是否授权，如果需要则应采用分级方法。或者监管机构根据一般豁免标准，可决定消费品的最大豁免数量。这可以通过辐射风险勿需进行监管控制或监管控制措施不会带来合算的利益来证明。监管机构应为了监管目的而避免过度监管。如果在正常使用和实际事故的一系列景象下，很大数量消费品仍符合豁免标准，除非有充分理由否则这种实践应不受监管控制。

3.34. 一旦消费品被提供给公众，控制其处置方式是不现实的。事实上，豁免的基本前提是，从辐射防护目的角度的监管是没有必要的。然而，监管机构应考虑适用于消费品类别的废物管理要求，并确保向消费者通报这些要求。一般而言，不应根据 GSR Part 3[1]第 3.141 (a) 和 (b) 段的要求来考虑消费品的放射性活度量（见本“安全导则”第 4.39 段）。在安全评定中，应假设向公众提供的单一消费品在其使用寿命结束时将与家庭废物一起丢弃。在安全评定中，还应考虑处置后的一系列现实情况，包括焚烧、工作人员的操作和回收。

3.35. 图 1 和图 2 概述了决定豁免监管的监管程序。

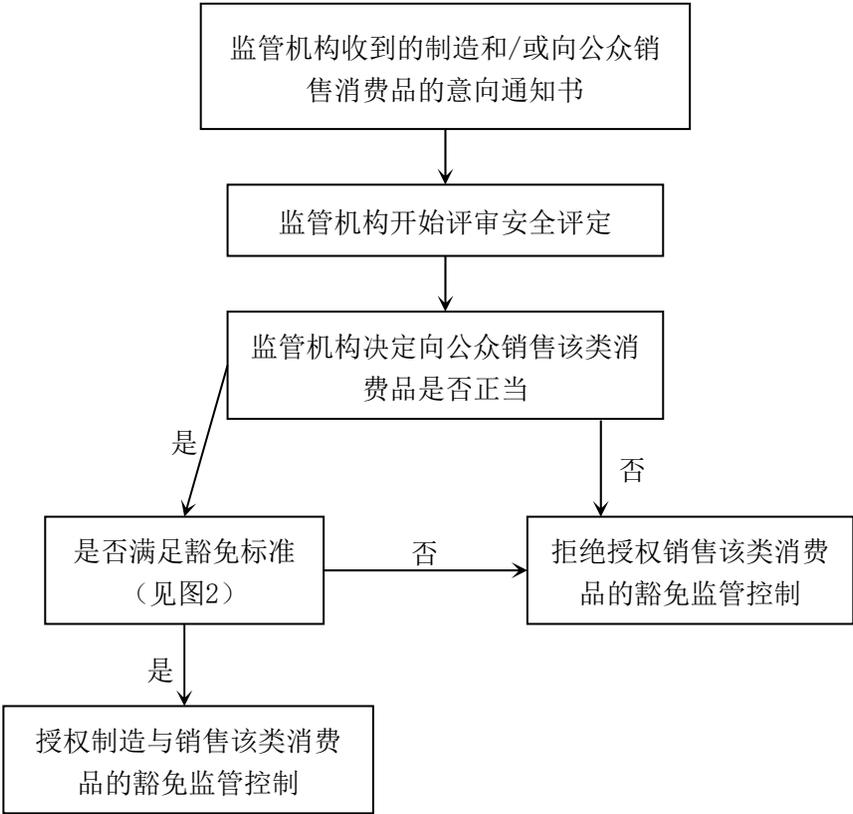


图 1. 消费品的监管控制。

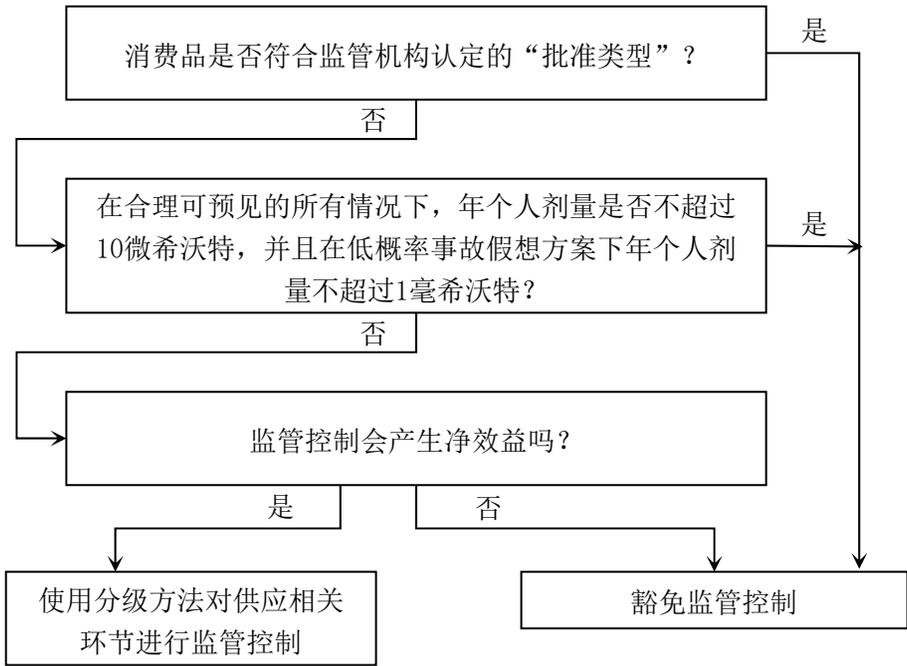


图2. 消费品豁免监管控制的标准。

4. 关于有意加入放射性核素消费品的考虑

概述

4.1. 本部分描述了关于向公众提供的、由于功能原因或特定的物理或化学特性而有意加入少量放射性核素的消费品的考虑；即对于那些消费品而言，放射性核素的存在对产品的正常运行至关重要。当前提供给公众使用的大部分消费品都是这类产品，其中大多数属于下列类别：

- (a) 电离室烟雾探测器；
- (b) 气态氙发光装置；
- (c) 夜光钟表；
- (d) 某些灯和灯启动器；
- (e) 钍钨焊条。

4.2. 多年来这些消费品已广泛向公众提供，并通过了安全评定，其评定结果业已公布。在某些情况下，还为这类消费品的制造和试验制定了标准。有一些出版物对这类消费品进行监管控制的一般办法进行了介绍[14—20]。

特定实践的描述

电离室烟雾探测器

4.3. 含有放射源的电离室烟雾探测器已被公众广泛应用。它们通过火灾报警而拯救生命是非常重要的。采用光学烟雾探测机制而非放射源的探测器已经研制出来，并可作为电离室烟雾探测器的替代品供公众使用。电离室烟雾探测器向来被认为对快速燃烧的火灾反应更快，而光学烟雾探测器则更适合探测阴燃火灾[21]。一些探测器同时包括电离室烟雾探测器和光学烟雾探测器以检测快速燃烧火灾和阴燃火灾。监管机构在考虑电离室烟雾探测器的正当性时应考虑到这些问题。

4.4. 1977年，经济合作与发展组织核能机构（OECD/NEA）公布了电离室烟雾探测器的制造和样机试验标准[22]，随后，英国国家辐射保护委员会（NRPB）修订和更新了这些标准[23]。该出版物摘要见附件 IV，仍被用作电离室烟雾探测器的设计、制造和性能的公认标准。美国还对电离室烟雾探测器进行了环境评定[24]。

4.5. 电离室烟雾探测器中的放射源活度通常大于 GSR Part 3[1]给出的豁免值。作为制定电离室烟雾探测器标准工作的一部分，英国国家辐射保护委员会在正常使用和可能的事故工况下，对公众可能遭受到符合标准的电离室烟雾探测器的辐射剂量进行了评定[23]。评定结果表明，个人剂量满足正常使用时不超过 10 微希沃特的豁免标准，低概率（事故）假想方案下，不超过 1 毫希沃特。这项评定见附件 V。

4.6. 一旦正当性问题得到解决，监管机构应考虑通过对符合制造和型式试验标准的电离室烟雾探测器型号进行型式认证而豁免监管控制。这种方法并不排除监管机构在型式认证中规定其他条件，例如处置要求和任何附加标签要求。对于目前市面上出售的许多电离室烟雾探测器，制造商可以随时提供型式试验信息。

气态氚发光装置

4.7. 气态氚光源由密封玻璃管组成，内部涂覆磷光材料并填充氚气。来自氚的 β 粒子与涂层相互作用并产生辐射发光。这些灯管安装在各种照明产品中。这种产品被称为气态氚发光装置。气态氚发光装置已公开使用多年，最常见的产品有指南针。气态氚光源的应用在过去由于难以制造具有精确氚活度的小型气态氚光源而受到限制。然而，使用气态氚发光装置的鱼漂和有限数量的数字手表已经被销售。因为技术的进步，现在可以制造尺寸非常小的气态氚光源，最小尺寸为直径 0.5 毫米，长 1.3 毫米。这些气态氚光源被安装在手表表盘和一系列现代手表的指针上。它们也用于电子钥匙链、地图灯和指南针。

4.8. 1970 年代，随着气态氚光源在一系列领域中的广泛使用，经济合作与发展组织核能机构制定并公布了一项气态氚发光装置的制造标准[26]。使用气态氚光源而造成的外照射对人体的放射性危害是可以忽略不计的，其照射的主要途径是气态氚光源破裂时产生的氚化水蒸气通过呼吸进入人体内。少量的氚也可能从完好装置中泄漏，并可通过皮肤进入人体内。由于这些原因，经济合作与发展组织核能机构制定的标准重点关注气态氚发光装置的结构、氚的活度和气态氚光源中的氚水百分比。1992 年，英国国家辐射保护委员会评审了该标准，并公布了一项国家标准[25]。附件 VI 概述了英国国家辐射保护委员会标准，该标准专门针对气态氚光源在手表和指南针中的使用而制定的。

4.9. 监管机构没有进一步考虑与消费品相关的氚豁免总活度，而是直接采用 GSR Part 3[1] 1 吉贝可作为该值。对符合规定要求的手表或指南针可能对公众产生的辐射照射的评定结果表明，正常使用时可能产生的剂量远低于 10 微希沃特/年的豁免标准，低概率（事故）情况下可能产生的剂量低于 1 毫希沃特[25]。因此，根据这一评定，即使在手表和指南针中氚活度远远超过 1 吉贝可，也可以满足豁免剂量标准。

4.10. 许多用于气态氚发光装置的现代气态氚光源的活度远低于 1 吉贝可。现在生产用于手表指针和表盘的小型气态氚光源的单一放射性活度约为 0.1 吉贝可，手表中的总放射性活度通常保持在 1 吉贝可以下。电子钥匙链和指南针也是类似的情况。

4.11. 如果该实践被认为是正当的，且总放射性活度小于 1 吉贝可的豁免值，则监管机构应豁免向公众提供此类气态氚发光装置的监管控制，而无需进一步考虑，以符合 GSR Part 3[1]规定的豁免标准。如果气态氚发光装置中的总活度超过 1 吉贝可，并且安全评定结果满足正常情况下个人剂量不超过 10 微希沃特/年、低概率（事故）假想方案下个人剂量不超过 1 毫希沃特的标准要求，则监管机构应允许其豁免监管控制。

夜光手表

4.12. 放射性物质早期用途之一就是与荧光粉混合制成放射性发光涂料。由于更安全的放射性核素主要是钷-147 和氚的应用，最初用于发光涂料的放射性物质镭-226 在 20 世纪下半叶开始逐渐被淘汰。许多现代的手表表盘都有含氚或钷-147 的发光涂料制成的发光标记。一些潜水员使用的手表在表盘外部有一个旋转的边框，在边框的零点位置上可能有放射性标记。

4.13. 《时间测量仪表的辐射发光规范》(ISO3157:1991) [27]，给出了固定在钟表上的放射性沉积物的要求和试验方法。该国际标准化组织标准还规定了在单一物品中氚或钷-147 的最大允许活度。氚和钷-147 的豁免值分别为 277 兆贝可和 5.5 兆贝可[27]，均小于 GSR Part 3[1]对应的豁免值 1 吉贝可（氚）和 10 兆贝可（钷-147）。美国核管会还公布了含有氚或钷-147 的钟表被豁免的标准（见参考文献[28]第 30.15 段，关于某些含有副产品材料的物品）。对符合国际标准化组织标准的手表进行剂量评定[29]，其结果满足在正常情况下个人剂量不超过 10 微希沃特/年、低概率（事故）假想方案下个人剂量不超过 1 毫希沃特的豁免标准要求。

4.14. 如果实践首先被认为是正当性的，才考虑被豁免监管。监管机构应对符合标准 ISO3157:1991[27]或符合监管机构认可的其他标准的型号进行型式认证，以使向公众提供的夜光手表和钟表免受监管控制。那些含有氚或钷-147 的活度低于 GSR Part 3[1]给出的豁免值的手表和钟表，监管机构应无需进一步考虑而豁免对其监管。如果安全评定证明具有较高活度的钟表符合豁免剂量标准，则应豁免其监管。

某些灯和灯启动器

4.15. 高压气体放电灯以节能的方式产生具有高强度的明亮白光。这些灯大量用于街道照明，也用于公众用汽车前照灯和其他高强度照明应用。这些

灯含有少量的氩-85 或钍，有助于在灯内产生弧光。单一灯具中总活度因型号而异。对于含有氩-85 的灯，其总活度和放射性活度浓度均不超过 GSR Part 3[1]给出的豁免值。但是，在某些含钍-232 的灯中，虽然单一灯具总活度低于豁免值，但其放射性浓度超过豁免值⁶ 10 贝可/克[30]。

4.16. 荧光灯启动器中含有少量的氩或氩-85，以启动荧光灯。在启动器中氩或氩-85 的活度一般不超过 500 贝可，这比豁免值 1 吉贝可（氩）和 10 千贝可（氩-85）低得多。

4.17. 英国卫生防护局对运输和使用高压气体放电灯与荧光灯的过程中可能产生的剂量进行了评定[31]，并就其回收和处置进一步发布了报告[32]。原子能机构审议了灯具安全评定相关问题[30]。卫生防护局的报告结论表明，正常情况下个人剂量不超过 10 微希沃特/年、低概率（事故）假想方案下个人剂量不超过 1 毫希沃特[31、32]。

4.18. 对于所有满足总活度或活度浓度豁免标准且认为其使用是正当的灯具和启动器，监管机构无需进一步考虑而豁免其向公众供应的监管控制。如果有多个上坪，如在配送前贮存在仓库中的商品，则应根据第 3.30—3.35 段所述的安全评定结果决定必要的监管控制程度。

4.19. 鉴于这一实践的规模和国际范围，以及可能在其他型号灯具中使用更高活度和不同放射性核素，监管机构应保持对这一实践的评审，并酌情获得进一步的安全评定。这对于放射性核素活度或活度浓度大于豁免值的灯具尤为重要。

4.20. 应制定与电离室烟雾探测器、气态氩发光装置和夜光手表类似的灯具和启动器的国家和国际制造和试验标准。

钍钨焊条

4.21. 利用氩等惰性气体覆盖焊接电弧环境，防止氧和氢的侵入，为铝、镁等活性金属的焊接提供了一种实用的方法。钍钨焊条应用于焊接工业。在钨焊条中加入氧化钍形式的钍，用于钨极惰性气体保护焊。钍的加入改善了电

⁶ GSR Part 3[1]允许在符合总活度的导出值或活度浓度值的导出值时，无需进一步考虑而直接豁免；不要求同时满足两个导出值。

弧和焊接特性，延长了焊条的使用寿命。然而，钍是一种天然存在的放射性元素，因此可能构成放射性危害。

4.22. 焊工在用钍钨电极进行焊接和研磨作业时可能无意中受到辐射。重点关注在研磨过程中粉尘颗粒的吸入问题。通过佩戴防尘面罩和其他个人防护设备，使用有效的排气系统，并尽可能使钍钨电极预先接地，这样可以大大降低研磨的放射性危害。

4.23. 通常一名全职焊工一年所遭受的待积有效剂量远低于 1 毫希沃特 [33]。然而，在某些情况下，有可能超过这一剂量。在附件 VII 中，详细地说明了可能导致更高剂量增加的因素，以及为显著减少内照射和外照射而采取的行动。

4.24. 附件 VII 还提供了关于使用钍钨焊条的技术、辐射因素和剂量、控制措施和最佳实践的详细资料。

4.25. 如果实践被认为是正当的，而且总放射性活度小于钍-232 的豁免值 10 千贝可，则监管机构无需进一步考虑而豁免向公众供应的监管[1]。如果对于总活度超过 10 千贝可钍钨焊条的安全评定结果仍满足正常情况下个人剂量不超过 10 微希沃特/年、低概率（事故）假想方案下个人剂量不超过 1 毫希沃特的豁免标准，则仍应允许豁免其监管控制。

供应商的责任

4.26. 政府或监管机构负责确定消费品供应商的责任（GSR Part 3[1]第 3.139 (d) 段）。这些责任的性质将取决于供应商是制造商或生产商，还是中间商，例如分销商或零售商。监管机构规定的责任应包括产品供应前的贮存、产品标签、产品使用和处置说明书，以及销售点的标签。监管机构应酌情规定其他责任。

4.27. 制造商应负责向监管机构申请消费品生产和销售的授权。如属新型消费品，制造商亦应向有关的监管机构申请，要求就该产品的正当性作出决定。如第 3 部分所述，这将涉及提供广泛的信息，包括拟申请产品的结构、放射性核素及其活度的详细情况、生产过程中工作人员所受剂量和使用过程中公众所受剂量的评定、处置计划的选择和处置后工作人员所受剂量的评定。

4.28. 制造商应确保消费品的制造符合有关的国际设计标准或监管机构认可的其他标准。制造商还应负责实施相关标准中规定的任何形式试验。

4.29. 根据消费品的性质和国家法律，销售点的供应商应获得消费品贮存许可证。消费品的总活度低于豁免值，在分销点和零售点可豁免监管。然而，对于某些消费品，特别是含有放射性活度超过豁免值的消费品，监管机构应考虑是否需要限制一次运输允许装载的最大物品数量，或适用的贮存条件，例如一个地点可贮存物品的最大数量。

4.30. 监管机构要求销售点供应商持有贮存要求和针对火灾的应急预案等文件。分销商和供应商应与监管机构确认需要持有哪些信息。

4.31. 消费品制造商应按照监管机构的要求，确保产品贴有适当的标签。虽然有些消费品含有放射性核素的活度很低，正常操作或误用时导致的个人剂量很小，但含有大量放射源的消费品，不应以可直接接触的方式拆除。即使是含有大量放射性核素的消费品，在误用或直接处理放射源的情况下，剂量也应相当低（以符合豁免标准），但这并不排除警告用户存在放射性物质和建议不要误用或拆除放射性物质的要求。

4.32. 含有活度大于 GSR Part 3[1]规定的豁免值的放射源消费品应始终贴有标签，以警告用户存在放射性物质。这一要求已被纳入最常见产品的相关标准。经济合作与发展组织核能机构和英国国家辐射保护委员会关于电离室烟雾探测器的标准[22、23]要求，电离室烟雾探测器贴上三叶符和“放射性”字样的标签，以便公众在试图打开电离室烟雾探测器外壳时，标签清晰可见。英国国家辐射保护委员会和经济合作与发展组织核能机构发布了含有气态氚发光装置的钟表辐射防护标准[25、26]，要求在钟表上清楚地标明“ ^3H ”或“氚”字样。

4.33. 监管机构还应考虑要求这些消费品在销售点贴上标签，表明消费品中含有一小放射源。虽然监管机构不应试图影响消费者的决定，使其远离那些被认为是正当的、并已获授权向公众提供的消费品，但在外包装或陈列架上贴上标签，可以类似于在食品上贴上标签的方式，有利于为消费者的选择提供信息。

4.34. 给含有活度低于豁免值的放射性物质消费品贴上放射性标签，并无任何安全利益。这种标签在消费品的物体尺寸非常小的情况下也会有使用问题，例如灯启动器或小型气态氙光源。然而，对于含有一个或多个小型气态氙光源的气态氙发光装置，监管机构应考虑要求产品贴上标签，以表明其含有放射源，或在销售点明确贴上放射源标签。这类标签的目的是告知顾客选择的需要。

4.35. 制造商应确保每一项产品都附有适当的说明书，其语言应适合特定的销售市场。说明书应包括正确操作的信息、安全注意事项以及不再使用消费品时应遵循的程序。对于那些必须回收而不是作为废物处理的消费品，应提供资料说明废弃的消费品应运往何处回收。在适当情况下，说明书还应包括警告不要拆除那些可能导致遭受放射源照射的消费品，例如，警告不要拆除电离室烟雾探测器的内部电离室。虽然有些消费品不太可能需要关于其使用和处置的说明书，但向用户提供关于消费品中放射性含量和放射源低水平风险的信息仍然是有益的。

消费品进口

4.36. 将消费品从一国的制造商进口到另一国的情况下，此处所述的一些责任将转移给进口商，而其他责任则仍由制造商承担。制造商应按照适用的国际标准或其他监管机构承认的标准，对消费品的制造负有责任。制造商还应有关安全使用消费品的信息负有责任。制造商和进口商都应对标签和提供信息的任何方面承担同等责任，这是一项国家要求，而不是一项国际要求。这些方面包括提供关于废弃消费品的处置或再循环的任何国家要求的信息。进口商还应满足授权书中有关消费品的贮存、配送和供应的任何规定。对于通过互联网直接向公众提供消费品的公司，应满足在消费品供应和销售地监管机构的要求。

运输

4.37. 根据原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 号《放射性物质安全运输条例》[13]（运输条例）第 107(e) 段指出，运输条例不适用于“已获得监管部门的批准并已销售给最终用户的消费品中的放射性物品”。因此，消费品只有在提供给最终用户后才不属于运输条例监管的范围。消费品的所有

其他运输，包括制造商、分销商和零售商之间的运输，以及大量的单一被豁免消费品的运输，都应遵守该条例。

核安保

4.38. 对于任何特定的放射性核素，当某一地点的总 D 值⁷ 被超过时，应按照原子能机构核安保建议和指导实施核安保措施。参考文献[34]提供了进一步的指导。生产或贮存大量含有放射源消费品的设施尤其如此[35]。原子能机构发表了一份出版物，列出了各种放射性核素特定 D 值。

处置

4.39. 消费品在提供给公众后，便被视为不受有效的监管。安全评定应假定将不受控制地处置含有家庭废物的消费品。应评定此类处置后通过各种照射途径照射可能产生的剂量。这一评定应估计可能被处置的消费品总数。应每年视察每个垃圾填埋场，并评定垃圾填埋场工作人员、附近的居民，以及任何其他可能受到辐射的个人或团体可能受到的辐射剂量。该评定剂量应低于 10 微希沃特/年的剂量豁免标准。此类评定需要了解每年销售的每种消费品的数量、家庭废物的现有处置办法、废物处置场地的数量以及每年可能被处置的消费品数量。

4.40. 在废物处置设施或再循环设施中积聚的消费品可能会带来潜在的放射性危害，应对其进行安全评定。虽然为了剂量评定的目的，假定消费品和家庭废物的处置是不受控制的，但实际上，各国可能需要对某类消费品的现有处置办法加以限制。

4.41. 这些限制可能是为了最大限度地减少环境中不受适当控制的放射性核素的数量，鼓励再循环或对其他监管措施作出反应。例如，在欧盟，《废弃电子电气设备指令》（WEEE 指令）[36]要求欧盟成员国制定法律，控制

⁷ 放射源的分类体系是以“危险源”的概念为基础的，这个分类以 D 值进行量化。D 值是源的放射性核素比活度，如果不加以控制，可能会发生导致严重的确定性效应，它考虑的一系列照射景象包括来自未屏蔽源的外照射和放射性物质扩散（如火灾、爆炸或人类活动）导致的内照射。由于放射源中放射性物质的活度存在多个数量级上的变化，使用 D 值便于统一活度范围，以便为风险比较提供参考。

电子电气设备的处置，并鼓励其再利用、再循环和回收。在这种情况下，监管机构应确保已作出适当的准备，以修复和安全处理正在回收利用的放射源。这包括用于电离室烟雾探测器、高压气体放电灯和荧光灯的放射源。

4.42. 如果要在消费品的使用寿命结束后将其收集起来进行处置，则可能需要将其作为放射性废物进行集体处理。在这种情况下，将适用于出版物《放射性废物的处置前管理》[37]和《放射性废物的处置》[38]安全要求。如果要回收废弃的消费品，这应被视为一种实践，并应受到相应的监管。

4.43. 有关限制处置消费品的资料，应在消费品的销售点向公众提供。

5. 辐照宝石的考虑

宝石辐照的正当性

5.1. 宝石辐照增色的正当性受到了广泛的争论。有些国家禁止这种实践，认为这种实践是不正当的，而另一些国家进行了这种实践的正当性分析，并允许进行这种实践。因此，很多国家已进行了这一实践，辐照过的宝石在国际上进行交易并出售给公众，甚至在禁止这一实践的那些国家。

5.2. GSR Part 3[1]第 3.17 (b) 段具体规定了某些被认为不正当的实践，包括：

“(b) 涉及在商品或消费品如玩具和私人珠宝或装饰品中轻率的使用辐射或放射性物质的实践，这些实践通过有意添加放射性物质或通过活化导致活动增加”。

这一要求的脚注指出：“这一要求无意禁止那些可能涉及商品或产品短期活化的实践，因为这些实践没有增加提供使用的商品或产品中放射性。”

5.3. 因此，只要向公众出售的辐照宝石的放射性活度不增加，原则上不应禁止这种实践。然而，对这一实践的评审已表明，虽然大多数出现在宝石中的活化产物半衰期很短，衰变速度极快，可忽略不计，但少数活化产物半衰期较长，包括锰-54（半衰期 312 天）和铯-134（半衰期 752 天）。与所有消费品的情况一样，辐照宝石除非符合 GSR Part 3[1]豁免标准，否则不得提供给公众。这确保了宝石的最终用户可能受到的剂量非常低。在出售时，与辐

照前相比，宝石的活度确实增加了。然而，只要符合豁免标准，这种实践增加的活度很小，相关的个人受到的剂量也很低。

5.4. 基于这些考虑，将宝石辐照后再出售给公众的实践，可视为属于 GSR Part 3[1]第 3.17 段的范畴。因此被认为是不正当的。然而，GSR Part 3[1]要求允许有灵活度，国家的监管机构在首次进行这一实践时就应当对该实践的正当性作出最后决定。

5.5. 如第 3.4 段所述。所有正当性的决定都应不时地接受评审。这应包括评审那些视为不正当的实践以及那些视为正当的实践。在评审现行的宝石辐照实践时，监管机构应考虑到所有相关因素，包括辐照宝石的国内和国际市场、就业福利、工作人员和佩戴宝石的公众可能受到的剂量，以及辐照程序的长期有效性。附件 IX 介绍了一个国家对宝石辐照和辐照宝石销售的监管办法。

宝石辐照实践

5.6. 宝石辐照是一种普遍的实践，以提高宝石的颜色从而增加其市场价值。通常对切割的宝石进行辐照处理，尽管也在切割之前对宝石进行辐照。宝石增强过程可能涉及中子、电子束或放射性核素发出的 γ 射线的照射，以增强外观和颜色。关于辐照技术和产生的活化产物的补充资料见附件 VIII。

5.7. 向公众出售辐照宝石的实践涉及若干个人和组织。该过程中的各个步骤，如图 3 所示，具体如下：

- (a) 原石的开采（在其被辐射的地点之内或之外）。
- (b) 开采出的宝石在辐照之前被送到批发商或分销商，或通过买方和宝石切割商进行精加工或部分精加工。宝石可以在切割的不同阶段进行辐照，从完全未切割到切割、抛光、镶嵌。
- (c) 辐照通常由宝石批发商安排，宝石在辐照设施中准备辐照；或在加工设施中制备随后转移到辐照设施中。
- (d) 宝石被辐照以实现所需的颜色增强，然后在辐照设施中保存一段时间使得短寿命活化产物发生衰减。

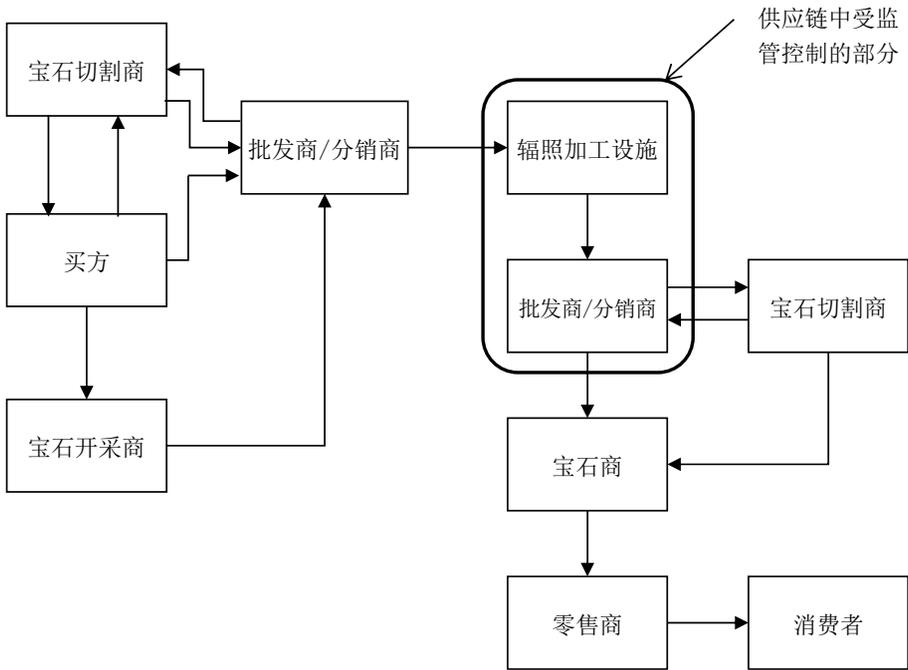


图 3. 个人和组织从事宝石辐照和向公众出售辐照过的宝石。

- (e) 在这一初始保存期之后，将宝石从辐照容器中取出，清洗去除表面污染，随后进行分析以确定存在的放射性同位素并确定其活度浓度。这可以在辐照设施或加工设施中进行。在这两种情况下，宝石中的活度几乎总是高到需要监管的地步。
- (f) 在某些情况下，经过辐照的宝石可能会进行额外的增强，例如，中子辐照之后可能会进行电子束辐照。在这一阶段，与运输和进出口有关的监管要求（如适用）应适用于设施之间运输的宝石。
- (g) 辐照过的宝石被贮存起来，直到放射性衰变到低于豁免的活度浓度（见 GSR Part 3[1]附表 I），或低于监管机构授权的活度浓度。
- (h) 然后将辐照过的宝石从辐照设施或加工设施运往批发商或分销商。监管机构要求，在进行实践时，与辐照宝石有关的实践应低于监管规定的水平。一些宝石可能需要额外的加工，如切割和抛光，以便珠宝商进行镶嵌。这些实践可以由一个或多个实体完成。
- (i) 宝石卖给零售商，零售商将成品珠宝提供给消费者。

5.8. 辐照宝石中的放射性核素是辐照过程中的一种不希望有的附带结果，是辐照宝石中杂质活化的结果。与大多数其他消费品不同的是，这些消费品中添加的放射性核素起着重要的作用，而辐照宝石中产生的活化产物没有任何用处。然而，在辐照后将宝石贮存一段适当的时间可以确保大多数活化产物在宝石出售前衰变到很小水平。

5.9. 在向公众出售辐照过的宝石之前，在辐照过程中和辐照后开展的实践中可能涉及高剂量率的职业照射，需要受到适当的监管。如果在活化产品衰变到很小活度之前取出宝石供进一步加工，如分选或切割，也可能发生职业照射。职业照射不属于本“安全导则”的范围；然而，此类风险也应受到监管控制。

5.10. 应特别注意对辐照宝石进行的人工操作。应最大限度地使用自动分选设备，如果需要手动分选，则应采取适当的保护措施，并应测量和记录个人肢端剂量。原子能机构安全标准的其他文件[39]对职业辐射防护进行了阐述。

5.11. 宝石辐照的国际性意味着这种实践的不同方面往往在不同的国家进行，例如，宝石的初始切割可在 A 国进行，辐照工艺可在 B 国进行，珠宝物项中宝石的最终定型和向公众的供应可在 C 国进行。中间人，例如代理商和经纪人，可位于不同于进行所有实践的国家，且辐照宝石可在其他多个国家运输。参与这一实践的每个国家的监管机构应相互合作，以便在这一实践的所有阶段对正当性、授权和监管控制采取一致的实践。

质量保证和核实程序

5.12. 辐照设施应建立和执行有效的质量保证和核实计划。该计划的目的是确保不向公众提供高活度的宝石，并确保特定批次的宝石可追溯。该计划应包括：

- (a) 有效的批次标签和加工，包括分类、贮存和跟踪方法；
- (b) 使用适当的探测设备，通常是高纯锗探测器，用 γ 能谱评定特定放射性核素的活度浓度；
- (c) 衰变和解禁时间的计算程序和方法；
- (d) 记录文件和保留计划；

- (e) 磷-32 和硫-35 的 β 监控能力（如适用）；
- (f) 对辐照宝石实施与其放射性活度相称的放射性物质安全贮存安排；
- (g) 放射性衰变到活度解禁值的批量核实和解禁证书产生的标准。

5.13. 在考虑辐照和处理设施的许可证问题时，监管机构应考虑到现有辐射防护计划和质量保证计划是否充分。在某些情况下，如果超过豁免标准的辐照宝石由批发商/分销商在转移到零售商之前进行加工或贮存，则可能有必要对批发商/分销商进行监管。本“安全导则”第 5.12 段所述的计划应作为确保有效控制的最低要求。

5.14. 辐照设施的质量保证计划应包括验证和核实程序，以确保宝石在辐照后能达到预期的颜色增强，并确保宝石的放射性核素活度浓度满足市场销售的限值要求。

5.15. 某些宝石和其他矿物（如绿柱石）的辐照可能会产生不会随时间快速衰变的高活度物质。这类物质可能在数月甚至数年的时间内保持高放射性。质量保证和核实计划应包括识别、保留和安全贮存此类“流氓”宝石的程序，直至这些宝石的活度低于豁免值或可根据授权的处置机制处置。这些贮存和处置的考虑因素应在辐照设施运营者和宝石所有者之间进行讨论和商定，以确定宝石辐照过程产生的放射性废物的管理责任。

5.16. 通常只有当放射性活度低于 GSR Part 3[1]规定的豁免值时，才允许直接向公众供应辐照宝石。如附件 VIII 所述，监管机构可授权较高活度的豁免值，但须符合更通用的豁免标准。

5.17. 辐照过的宝石在提供给公众之前可能需要进一步加工。监管机构应确保：

- (a) 辐照宝石的活度浓度低于 GSR Part 3[1]豁免值；或
- (b) 如果超过了 GSR Part 3[1]豁免值，则进行加工的个人或组织已授权，或已被豁免。

将宝石移交给客户进行进一步加工（如切割）之前，应确定可接受的活度浓度标准，此过程中辐照设施应考虑接收客户是否有接收放射性物质和加工宝石的适当授权。辐照设施还应与客户确认并商定验收标准。

5.18. 原子能机构就核安保问题提出了建议和指导意见，这些建议和指导可能适用于研究堆和钴源辐照装置等有执照的宝石辐照设施[40]。应根据这一指导以及公司对宝石自身的安保要求执行核安保措施。由于所涉活动相对较少，这将确保在大多数情况下，不需要额外的安保措施。当某一地点的任何特定放射性核素超过总 D 值时，就会出现需要进一步考虑核安保的例外情况[34]。

辐照宝石的运输

5.19. 辐照宝石运输的监管要求将取决于货物的放射性活度浓度和总活度。如果宝石由设施保存，直到活化产物衰变到低于 GSR Part 3[1]豁免值，它们也符合原子能机构“运输条例”[13]豁免值，这时可以在不受监管的情况下运输。然而，在辐照宝石的活度衰变到豁免值之前进行进一步加工的情况下，所有运输活动都必须按照原子能机构“运输条例”[13]和任何其他国家法规的要求进行。在运输过程中，例如在入境口岸的海关通关程序过程中，对辐照宝石的货包进行任何操作和视察都应按照既定的放射性物质包装操作程序执行。

其他考虑

5.20. 宝石辐照是国际贸易的一部分，辐照过的宝石通常从辐照过的国家运往其他国家安装、分销和销售。进口商一般有责任确保其进口的消费品安全并符合监管要求。宝石进口商应了解宝石的放射性活度浓度。进口商应知道这些宝石的放射性活度浓度是否低于豁免值，从而确定这些宝石是否可以出售给公众。在宝石不符合豁免标准的情况下，进口商应了解其使用的限制，以及与任何切割或加工操作相关的潜在职业照射要求。进口商应从辐照设施获得辐照宝石的活度浓度信息，并将该信息传递给任何将加工或零售宝石的组织。

5.21. 当符合豁免标准的宝石出售给公众时，没有必要提供零售包装的信息，也没有必要在物品上贴上标签，表明该物品已经经过辐照，除非这是国家法律中与消费者选择有关的一般要求的一部分。根据一些国家（如欧盟成员国）现有的标签法，含有辐照宝石的单一物品货包应注明其含有“处理过

的材料”，而无需特别注明此种处理的性质。世界珠宝联合会建议，为了告知顾客，装有辐照宝石货包应贴上“辐照”标签。

5.22. 监管机构应了解出口到其他国家的辐照宝石的数量和放射性活度。如果出口辐照宝石的国家认为辐照宝石的实践是不正当的，则可能需要防止将辐照宝石出口到该国。有关这类事项的决定，包括执行手段，应通过有关国家的监管机构之间的联合讨论做出。

5.23. 进口辐照宝石的国家的监管机构应确保辐照宝石只有在放射性活度低于适当的豁免值时才出售给公众。

其他辐照项目

5.24. 目前，几种不同类型的宝石在辐照下颜色得到了增强。经过辐照的新型消费品将来有可能投放市场。例如，高尔夫球在 γ 射线照射下已被证明可以增加球体表层的韧性，增强球芯所用材料的性能，使高尔夫球能持续更长的使用时间，能打更远的距离。（见参考文献[41]）。监管机构关于未来消费品辐照的正当性和授权的决定将遵守 GSR Part 3[1]要求和支持性安全导则的建议。

6. 向公众出售消费品的国际协调

概述

6.1. 向公众出售消费品是一种普遍的实践，具有重要的国际意义。例如，电离室烟雾探测器是在几个国家制造的，并出口到世界各地销售。现代小型气态氙光源在制造后卖给手表制造商和其他生产商，用于手表、电子钥匙链和武器瞄准器这些消费品，随后出口到许多国家向公众出售。对于小型、易于运输的消费品，例如含有气态氙发光装置的电子钥匙链，主要销售途径是通过互联网直接向消费者出售。辐照过的宝石也在国际上交易，具有很高的内在价值。监管机构对此类消费品的正当性和授权采取一致的实践有助于维持适当的控制水平，并防止销售不正当实践生产的消费品，同时不会妨碍正当实践生产的消费品的销售。

6.2. GSR Part 3[1]条款表述了各国和倡议组织就消费品达成的共识，包括：

- (a) 正当性要求应用的共识；
- (b) 为了免于进一步考虑监管控制的个人剂量水平；
- (c) 为了免于进一步考虑监管控制用于豁免中等数量和大量放射性物质的多个放射性核素总活度和活度浓度；
- (d) 含密封放射源装置的豁免标准；
- (e) 辐射发生器的豁免标准。

6.3. 监管方法的协调有赖于这些规定的执行。许多国家已经在国家立法中采用了 GSR Part 3[1]豁免标准。尚未这样做的国家应考虑正式采用这些规定。然而，即使没有完全采用这些标准，GSR Part 3[1]仍提供了相当大的灵活度，允许监管机构决定是否豁免某些源或实践，使其免于某些或所有监管控制。

6.4. 对于使用安全评定的单一剂量标准，GSR Part 3[1]第 I.2 段指出：

“考虑到低概率假想方案，可采用不同的标准，即预计任何个人在一年内因这类低概率假想方案所受到的有效剂量不超过 1 毫希沃特。”

因此，监管机构不应严格执行一年 10 微希沃特或更低的个人剂量要求，而应充分考虑不同假想方案下可能接受的剂量范围，以及每种假想方案实际发生的可能性。

6.5. GSR Part 3[1]第 I.1 (b) 段为监管机构提供了进一步的灵活性，该条款规定，如果监管机构认为“对该实践或该源的监管控制将不产生任何净效益，因为任何合理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”，则允许豁免。这一要求的意图是，监管机构不应为了自身的利益而实施监管，任何被认为必要的监管都应有效地加强防护和安全。任何此类规定都应基于分级方法应用。

6.6. 虽然活度、活度浓度、个人剂量和剂量率的数值适合列入国家法律，但 GSR Part 3[1]灵活性最终要求是由监管机构做出决定。本“安全导则”提供了如何做出此类决定的建议。

就协调向公众销售达成国际共识

6.7. 一般而言，原子能机构的安全标准反映了成员国的共识，旨在统一安全实践。然而，在消费品方面还没有实现这种方法的统一。无论导致这一问题的原因是什么，进一步协调是可能的，也是值得做的。

6.8. 例如，应考虑一国消费品的型式认证是否应为其他国家所接受。最低限度，应考虑一国作为型式许可证基础的安全评定是否可用于另一国授予型式许可证。这就需要就确定使用消费品和进行安全评定所采取的办法达成国际共识。虽然确定利益的方法可能是相同的，但也认识到各国之间的利益是不同的。

6.9. 支持加强协调的一个论点是，越来越多地利用因特网推销消费品。如果某一消费品在一个国家被授权向公众销售，要防止它在另一个国家被消费者在线销售和购买也是极其困难的，即使并非不可能。虽然向一个未经授权向公众销售的国家运输期间可能会截获和扣押此类消费品，但这可能需要大量人员和培训两方面的资源。采取协调一致的办法，确保一国获准向公众出售的消费品在其他国家也得到同样的授权，这符合所有国家和所有监管机构的利益。

6.10. 为此，监管机构应与其他国家的对应机构建立联系，就安全评定的程序 and 标准以及就向公众出售辐射发生器和消费品的行为免于监管控制达成一致。正式协定应在双边基础上缔结，或最好在区域缔结。作为订立此类协定进程的一部分，应与制造商和供应商等相关各方进行讨论。

6.11. 2011年6月，欧洲辐射防护主管当局（HERCA）负责人针对各种公共和专业场合使用的灯具发布了一项临时声明，这些灯具中出于功能原因添加了少量放射性物质[42]。声明要求国家监管机构确保“欧洲将通过欧洲辐射防护主管当局分享国家评定和监管决定的结果，以促进对这一过程采取一致的欧洲办法”，并指出：“随着消费品在欧洲开放市场上的推出，欧洲辐射防护主管当局更普遍地认识到有必要统一对含有少量放射性物质货物的辐射安全监管”[42]。这一举措提供了一个良好模式，其他地区的监管机构应当效仿。

6.12. 地区论坛可用于讨论国家办法和分享与特定消费品有关的利弊信息。监管机构应在国家层面和在国际领域的地区层面就有关消费品的问题展开讨论，以期就下列事项达成地区性国际协定：

- (a) 进行正当性分析过程并分享支持资料作为正当性决策基础的共同办法；
- (b) 在实际可行情况下特定消费品的正当性；
- (c) 对授权程序所需资料的共同看法；
- (d) 一国为其他国家进行安全评定的验收标准；
- (e) 特定消费品销售的监管豁免；
- (f) 最广泛消费品的正当性：电离室烟雾探测器、手表和装有气态氙发光装置的钥匙扣、含有放射性核素的灯和辐照宝石。

制定和达成这样一项协议将大大节省可能部署在其他地方的有效监管资源，并将为消费品制造商和供应商提供明确的指导。

6.13. 虽然监管机构对采用统一办法监管辐射安全有共同的利益，但这种统一也符合公众利益。方法上的差异可能导致这样一种情况，即在一个国家被认为是固有安全和可自由购买的消费品在另一个国家是不可以自由购买的。这会使公众对任何放射性危害的严重性产生混淆。监管办法的差异也可能导致个人在从一个国家转移另一个国家时无意中违反国家要求。监管机构应认识到，统一的监管办法支持国际贸易，并应采取步骤促进这方面的国家和国际协定。

6.14. 针对在一个或多个国家向公众销售有正当性授权的新型消费品，应采用协调一致的国际办法，以地区为基础，促进国际技术标准的发展。这种国际技术标准将反映这样一个事实，即有关消费品在一些国家被认为是正当的，因此将对符合标准消费品的正当性提供某种一般性保证。

参 考 文 献

- [1] 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)。
- [2] 国际原子能机构《研究堆中硅的中子嬗变掺杂》,国际原子能机构《技术文件》第 1681 号,国际原子能机构,维也纳(2012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] 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》(2007年版),国际原子能机构,维也纳(2007年)。
- [5] 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,《辐射源的监管控制》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-1.5 号,国际原子能机构,维也纳(2004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《包括非医学人体成像在内实践的正当性》,国际原子能机构《安全标准丛书》第 GSG-5 号,国际原子能机构,维也纳(2014年)。
- [8] 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)。

- [9] 国际放射防护委员会《放射防护控制措施的范围》，国际放射防护委员会第 104 号出版物，爱思唯尔，牛津（2007 年）。
- [10] 欧洲委员会《确定低于欧洲指令报告中未作要求浓度和数量(豁免值)的原则和方法》，《辐射防护》第 65 号，Doc.X028/93，欧洲共同体官方出版物办公室，卢森堡（1993 年）。
- [11] Mobbs-S.F., Harvey-M.P., “欧洲基本安全标准指令中未包括放射性核素的豁免浓度和数量”，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1998 年）。
- [12] 国际原子能机构《排除、豁免和解控所用放射性浓度值的推导》，《安全报告丛书》第 44 号，国际原子能机构，维也纳（2005 年）。
- [13] 国际原子能机构《放射性物质安全运输条例》（2012 年版），国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-6 号，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [14] 经济合作与发展组织核能机构《含放射性物质的消费品控制导则》，经济合作与发展组织出版物，巴黎（1985 年）。
- [15] 国家辐射防护委员会《与含放射性物质消费品核准有关的可接受性标准》，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1983 年）。
- [16] Eleveld, H., Pruppers, M.J.M., “加工放射性物质消费品产生的个人和集体剂量估计”，第 RIVMRapport610310005 号，国家公共卫生与环境研究所，比尔托芬（2000 年）。
- [17] 美国核管制委员会《源和副产品材料豁免的系统放射学评定》，第 NUREG-1717 号报告，核管制研究办公室，华盛顿特区（2001 年）。
- [18] 欧洲委员会《含少量放射性物质的消费品运输》，欧洲共同体官方出版物办公室，卢森堡（2001 年）。
- [19] 欧洲委员会《欧盟对含有放射性物质消费品的审查》，《辐射防护》第 146 号，欧洲共同体官方出版物办公室，布鲁塞尔（2007 年）。
- [20] 欧洲委员会《欧盟对含放射性物质消费品的监管控制导则》，《辐射防护》第 147 号，欧洲共同体官方出版物办公室，卢森堡（2007 年）。
- [21] 英国消防局资源《烟雾报警器和探测器》，
<http://www.fireservice.co.uk/safety/smoke-alarms>。

- [22] 经济合作与发展组织核能机构《电离室烟雾探测器执行辐射防护标准的建议》，经济合作与发展组织出版物，巴黎（1977年）。
- [23] 国家辐射防护委员会《电离室烟雾探测器的辐射防护标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第2号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1992年）第9—20页。
- [24] 美国核管制委员会《含镅-241的电离室烟雾探测器的环境评定》，第NUREG/CR-1156号报告，核材料安全与保障办公室，华盛顿特区（1979年）。
- [25] 国家辐射防护委员会《含气态氙光源时间测量仪器仪表的辐射防护标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第2号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1992年）第47—59页。
- [26] 经济合作与发展组织核能机构《气态氙灯装置的辐射防护标准》，经济合作与发展组织出版物，巴黎（1973年）。
- [27] 国际标准化组织《时间测量仪器仪表的辐射发光-规范》（ISO 3157:1991），国际标准化组织，巴西（1991年）。
- [28] 美国核管制委员会《副产品材料国内执照申请的通用规则》，联邦法规第10篇第30部分，美国政府印刷办公室，华盛顿特区（2008年）。
- [29] 国家辐射防护委员会《辐射时间测量仪器仪表的辐射防护标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第2号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1992年）第21—31页。
- [30] 国际原子能机构《对含有少量放射性物质货物的监管豁免》，国际原子能机构《技术文件》第1679号，国际原子能机构，维也纳（2012年）。
- [31] Harvey, M.P., Anrson, T., Cabianca, T., “含氙、氙-85和钷放射性同位素灯泡运输和处理的放射生理学影响评定”，卫生保健机构，奇尔顿（2010年）。
- [32] Jones, K.A., Harvey, M.P., Anderson, T., “含氙、氙-85和钷放射性同位素灯泡回收和处理的放射生理学影响评定”，卫生保健机构，奇尔顿（2011年）。

- [33] 美国能源部《使用含钍的钨焊条》，安全公告第 2007-04 号，美国能源部健康、安全和安保办公室，华盛顿特区（2007 年）。
- [34] 国际原子能机构《放射源的安保》，国际原子能机构《核安保丛书》第 11 号，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。
- [35] 国际原子能机构《放射性物质的危险量（D 值）— 应急准备和响应》，EPR-D-值（2006 年），国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [36] 《2012 年 7 月 4 日欧洲议会和理事会关于废弃电气和电子设备(WEEE)的指令 2012/19/EU》，欧盟官方期刊第 L197/38 期，欧盟出版办公室，卢森堡（2012 年）。
- [37] 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）。
- [38] 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）。
- [39] 国际原子能机构、国际劳工组织，《职业辐射防护》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.1 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。（修订版编写中）
- [40] 国际原子能机构《关于核材料和核设施实物保护的核安保建议》（《情况通报》第 INFCIRC/225/Revision 5）号，国际原子能机构《核安保丛书》第 13 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [41] 橡树岭联合大学《辐照高尔夫球》，
<http://www.ornl.gov/ptp/collection/miscellaneous/golfballs.htm>。
- [42] 欧洲辐射防护主管机构负责人《关于灯中添加少量放射性物质监管状况的临时声明》，欧洲辐射防护主管机构负责人，布鲁塞尔（2011 年）。

附件 I

正当性案例研究：家用电离室烟雾探测器

引言

I-1. 20 世纪七十年代，经济合作与发展组织核能机构（OECD/NEA）的专家组审议了关于公众使用电离室烟雾探测器的正当性。这是一个较老的例子，尽管有些数据已经过时，但这种方法仍然是有效的。工作组各项建议的前言中指出：

“目前可获得的资料表明，对一个家庭来说，最好的防护是电离型和光学型探测器的适当组合。因此，由于对电离室烟雾探测器（ICSD）的使用、误用和处置导致的个人放射性危害和集体放射性危害的估计非常低，所以专家组得出的结论是，电离室烟雾探测器不应该因光学型的实用性而排除使用，而应该对公众同时提供两者。在按照本文件的规定进行控制时，电离室烟雾探测器的利益是远大于其带来危害的”[I-1]。

I-2. 经济合作与发展组织核能机构的评审包括多点火灾探测或报警系统中含有镅-63、氡-85、镭-226、钷-239 或镭-241 的电离室烟雾探测器。对于将报警器安装在电离室烟雾探测器内的独立装置（即设计供家庭使用的装置），只考虑含有镭-226 或镭-241 的部件。最近，已经停止了镭-226 在独立电离室烟雾探测器上的使用，因为它不再被认为是正当的。

利益

I-3. 电离室烟雾探测器最主要的利益在于其可能拯救生命，尤其是在房屋内发生火灾的时候。1972 年的数据显示，在许多国家，每百万人中有 3 至 57 人死于火灾，其中接近一半的死者是由于过量吸入烟雾或有毒气体。经济合作与发展组织核能机构的出版物引用了一些研究结果，这些研究结果表明，如果普遍安装火灾探测系统，可避免三分之一至一半的死亡发生。因此认为每年每百万人中有 20 人可以避免死亡。在预防财产损失方面的获利会是附加的利益。

损害

I-4. 对含有 40 千贝可镭-241 的电离室烟雾探测器在正常使用假想方案和事故假想方案下进行了安全性评定。对于一个个体户主而言，正常使用情况下的年有效剂量估计大约为 1 微希沃特。在估计的误用情况下，估计骨骼的潜在待积当量剂量大约为 1 毫希沃特，对应待积有效剂量为 10 微希沃特。

I-5. 另外还考虑了将电离室烟雾探测器作为生活垃圾处理，包括随后将其焚烧的情况。得出结论，个人的最大年有效剂量远小于 0.1 微希沃特。

评定

I-6. 经济合作与发展组织核能机构专家组的总体结论（包括用于工厂厂房和商业楼宇的探测系统和用于家庭的单点探测器）为：“使用电离室烟雾探测器的利益（包括减少财产损失和挽救生命方面）远远超过使用、误用和处置等所导致的放射性危害。”[I-1]。

附件 I 参考文献

[I-1] 经济合作与发展组织核能机构《电离室烟雾探测器执行辐射防护标准的建议》，经济合作与发展组织出版物，巴黎（1977 年）。

附件 II

正当性案例研究：高压气体放电灯

导言

II-1. 高压气体放电灯能够以节能的方式放出明亮的高强度白光。这些灯具通常大量用于公共场所和工作场所，例如商店、仓库、酒店和办公室。它们也被用于户外，照亮街道、建筑物、雕像、旗帜和花园，并可作为建筑照明。它们还应用于电影放映、半导体制作、荧光内镜和显微镜、纹影摄影、全息投影、紫外线固化、天空光束和汽车前照灯等有关领域。某些类型的高压气体放电灯，以及某些照明用消费品，由于功能原因，含有放射性物质。通常用于高压气体放电灯的放射性核素为氪-85 和钷-232。由于其应用范围极为广泛，故可能需要根据不同的应用而对其正当性进行具体判断。

II-2. 对高压气体放电灯只进行过少数安全评定并发布（II-1—II-3）。对于高压气体放电灯使用的正当性问题，目前没有任何国家级别的决定公布。

利益

II-3. 这项技术最主要的利益在于以一种非常节能的方式得到所需光谱和高强度的光。高压气体放电灯的产光率一般为 90—100 流/瓦。这个发光效率大大高于卤素灯（20—30 流/瓦）。由于这种节能技术无处不在，利用这种技术对减少二氧化碳排放做出了重要贡献，有助于实现《京都议定书》[II-4]目标。

II-4. 节能是高压气体放电灯的一个重要特点，在论证过程中需要将相关经济和环境因素考虑作为其产生的效益。当使用其他灯进行替代时，需要更多的灯和更多的能量来产生相同强度的光。使用高压气体放电灯也很经济，因为其高达 20000 小时的平均寿命比卤素灯（平均 2000 小时）的平均寿命要长得多。

II-5. 其他有效的能源替代品（如荧光灯）产生更多的漫射光而不是聚焦的高强度光，无法提供高压气体放电灯能够产生的光照环境。因此，荧光灯无

法在某些特殊应用场合替代高压气体放电灯。此外，在许多情况下，高压气体放电灯的紧凑性是其优势，甚至是该情况下的一个基本要求。

危害

II-6. 对于含有氙-85 的灯具进行放射性评定，每盏灯假设含有 10 千贝可的氙-85。在正常工况下，公众剂量估计不超过 1 微希沃特/年，在事故假想方案下，由于其可能失去结构完整性，公众剂量大约为每次事故 1 微希沃特。在达到其工作寿命时，灯具可能会被回收或丢弃到垃圾填埋场。据估计，在废物处理的过程中，每当有一百万个照明产品中的氙-85 被释放到大气中，公众剂量将会增加 2×10^{-6} 微希沃特/年[II-5]。垃圾填埋场的放射性后果被认为是很小的[II-2]。

II-7. 对于含有钍-232 的灯具进行放射性评定，假设每盏灯含有钍-232 约 4.5 千贝可（约等于 1 克）。在正常工况下和事故工况下，公众剂量估计不超过 1 微希沃特/年。当灯具被送往城市垃圾填埋场报废时，估计其产生的年剂量低于 0.1 微希沃特/年[II-6]。可能性很小的情况是，有个人在垃圾填埋场将一个含钍的电极吞咽下去，因此而导致的剂量估计约为 0.4 微希沃特[II-7]。如果灯具被焚烧处理，焚烧 20 兆贝可的钍-232 对公众产生的剂量大约为 2×10^{-4} 微希沃特[II-8]。

评定

II-8. 研究还证明了，GSR Part 3[II-9]指定的用于推导豁免值的假想方案和照射途径并没有直接与在正常使用和事故假想方案下受到高压气体放电灯照射的公众辐射后果评定有关。当使用更真实的假想方案时，灯具在整个使用寿命中（包括在垃圾填埋场处理之后）对公众成员的辐射影响被证明是很小的。

II-9. 使用高压气体放电灯的利益包括节省能源和代价（由于其能源效率），这反过来可以帮助各国实现《京都议定书》关于减少二氧化碳排放的目标。高压气体放电灯具有其他类型灯具所不能提供的某些特性，因此它们是某些专业应用的唯一选择。

II-10. 直接权衡利弊是不容易的, 因为利益在于节省能源和代价、功能以及环境保护方面, 而弊端是个人剂量。因此, 监管机构需要根据对社会的普遍利益和消费产品的固有安全性, 做出主观判断。然而, 只要监管机构认为实践是正当的, 那么现有的安全评定显示, 高压气体放电灯可免受监管控制。

附件 II 参考文献

- [II-1] 国际原子能机构《对含有少量放射性物质货物的监管豁免》, 国际原子能机构《技术文件》第 1679 号, 国际原子能机构, 维也纳 (2012 年)。
- [II-2] Harvey, M.P., Anrson, T., Cabisanca, T., “含氚、氪-85 和钷放射性同位素灯泡运输和处理的放射生理学影响评定”, 卫生保健机构, 奇尔顿 (2010 年)。
- [II-3] Jones, K.A., Harvey, M.P., Anderson, T., “含氚、氪-85 和钷放射性同位素灯泡回收和处理的放射生理学影响评定”, 卫生保健机构, 奇尔顿 (2011 年)。
- [II-4] 欧洲灯具公司联合会, “京都目标 ELC 项目: 自下而上的京都 (ButK) (2007 年)”, http://www.elcfed.org/2_projects_kyoto.html
- [II-5] Eleveld, H., Pruppers, M.J.M., “加工放射性物质消费品产生的个人和集体剂量估计”, 第 RIVMRapport610310005 号报告, 国家公共卫生与环境研究所, 比尔托芬 (2000 年)。
- [II-6] 美国核管制委员会《源和副产品材料豁免的系统放射学评定》, 第 NUREG-1717 号报告, 核管制研究办公室, 华盛顿特区 (2001 年)。
- [II-7] 欧洲委员会《确定低于欧洲指令报告中未作要求浓度和数量 (豁免值) 的原则和方法》, 《辐射防护》第 65 号, Doc.X028/93, 欧洲共同体官方出版物办公室, 卢森堡 (1993 年)。
- [II-8] 欧洲委员会《欧盟对含有放射性物质消费品的审查》, 《辐射防护》第 146 号, 欧洲共同体官方出版物办公室, 布鲁塞尔 (2007 年)。

[II-9] 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）。

附件 III

正当性案例研究：向公众出售电离室烟雾探测器的不再正当的判定

引言

III-1. 电离室烟雾探测器一般含有较低水平的密封镭-241。旧有型号也含有其他放射性核素，如钷-238 或镭-226。在法国，自 20 世纪 40 年代初以来，这些探测器已广泛用于火灾探测系统；但自 1966 年以来，它们被禁止用于私人住宅。时至今日，在法国的三十多万个场所（包括公司和公共设施），仍有近 700 万个该类探测器在使用。

利益

III-2. 在这些探测器被大规模安装的时候，它们能提供比当时非电离技术更好的响应时间。因此，为遵守有效的火灾有关标准并保护公众免受火灾危害，辐射的使用是完全正当的。

危害

III-3. 电离室烟雾探测器因其设计，不会对常年居住于装有探测器房屋内的公众构成放射性危害。然而，通过传统的废物管理流程来移动（在不正确操作时）和处置这些废物可能会带来危害。

评定

III-4. 自这种探测器大规模安装以来，与其他非电离技术相比，其效率已逐步得到重新评定。随着非电离探测器（尤其是光学和热探测器）的技术发展，能够和电离室烟雾探测器同时发现烟雾的非电离室技术已经而出现。国际标准（特别是欧盟关于消费品的《建筑产品条例 305/2011》[III-1]）现已认可了这些新技术的性能。

III-5. 因此，使用电离室烟雾探测器已不再具有正当性，因为这些装置的放射性危害（无论多么微小）已不能被电离技术的优势所抵消。这符合防护和安全最优化的要求。

结论

III-6. 鉴于仍在使用的电离室烟雾探测器数量众多,而且辐射风险低,法国核安全当局认为各地没有必要立即和系统地更换这些探测器。

III7. 在新的火灾探测系统已经禁止使用电离室烟雾探测器,在与相关各方协商后,根据法国核安全当局要求,把下列要求写入法国的法规,在十年间逐步回收这 700 万电离室烟雾探测器。

III8. 具体的法规[III-2—III-4]现在允许当局:

- 禁止制造和进口新的电离室烟雾探测器;
- 禁止在新的火警探测系统内安装电离室烟雾探测器;
- 确保操作流程(拆卸、收集、贮存等)的有效性,从而限制拆除作业的持续时间;
- 为仍在使用的电离室烟雾探测器提出分期更换计划;
- 监督拆除计划的进度;
- 监管(以通报或许可证方式)负责拆除业务的公司;
- 避免在常规废物管理过程中非法倾倒地电离室烟雾探测器。

III9. 这些专门针对电离室烟雾探测器的规定是将欧洲指令 96/29 引入法国公共卫生法中的一部分方法。自 2002 年以来,法国法规禁止在消费品(包括电离室烟雾探测器)、食品和建筑材料中有意添加放射性核素。

附件 III 参考文献

- [III-1] 《2011 年 3 月 9 日欧洲议会和理事会第 305/2011 号条例(欧盟)关于规定建筑产品营销的协调条件并废除理事会指令 89/106/EEC》,《欧盟官方期刊》第 L99/5 期,欧盟出版办公室,卢森堡(2011 年)。
- [III-2] 法国核安全局《2011 年 11 月 18 日关于废除《公共卫生法》第 R.1333-2 条关于电离室烟雾探测器的规定的法令》,核安全局,巴黎(2011 年)。
- [III-3] 法国核安全局《2012 年 3 月 6 日关于认可核安全局 2011 年 12 月 21 日第 2011-DC-0252 号决定的法令》,该决定根据《公共卫生法》R.1333-19 条第 2 款的规定,将某些核活动提交申报,核安全局,巴黎(2012 年)。
- [III-4] 法国核安全局《2012 年 3 月 6 日关于认可核安全局根据〈公共卫生法〉于 2011 年 12 月 21 日通过的第 2011-DC-0253 号决定的法令,其中规定了特殊的就业条件和登记程序、电离室烟雾探测器的跟踪、恢复和去除规则》,核安全局,巴黎(2012 年)。

附件 IV

英国电离室烟雾探测器设计、制造和性能标准摘要

本附件改编文本转载自授权的参考文献[IV-1]。

适用范围

IV-1. 该标准详细叙述了电离室烟雾探测器的辐射防护要求，详见参考文献[IV-1]。该标准涉及公众在私人住宅中安装使用的电离室烟雾探测器。这些装置通常被称为单站电离室烟雾探测器。

IV-2. 该标准不包括由于职业原因而经常操作电离室烟雾探测器的人员（制造商、分销商、维护工程师等）的防护，也没有对电离室烟感探测器的贮存和运输规定要求。

IV-3. 该标准仅涉及含有镅-241 的电离室烟雾探测器。

定义

IV-4. 电离室烟雾探测器是一种用于检测燃烧产物的装置。它包含一个电离室和一个放射源。燃烧产物进入电离室会影响电离电流，从而触发警报。

IV-5. 单站电离室烟雾探测器是一种自成一体的设备（由电源和/或电池供电），其中的报警装置包含在探测器中，而探测器不需要连接任何其他外部火灾探测或报警系统就可以正常工作。

IV-6. 密封源是密封在包壳中或带密封盖的放射源。密封包壳或密封盖被设计成足够坚固以保证在使用条件和磨损后能够防止与放射性物质的接触及其扩散。这包括将箔片放射源夹在非活性层之间。

IV-7. 放射源基座是密封源的机械支撑。

主要规格

IV.8. 电离室烟雾探测器使用的放射源应¹为镅-241密封源，符合ISO 2919[IV-3]相关要求。国际标准化组织标准规定的试验应是用于安装在放射源基座上的密封源。

IV-9. 在电离室烟雾探测器能够可靠工作的情况下，放射源的总活度应是可合理达到尽量低，并且不得超过40千贝可。

IV-10. 在正常使用条件下，须不可能直接接触放射源。该装置的设计还须阻止它人企图取出放射源，并且该设计须预防被人为篡改。

IV-11. 电离室烟雾探测器（或在允许的情况下作为电离室烟雾探测器的一部分）须满足以下规定的样机试验。

样机试验

IV-12. 提交许可证的每个电离室烟雾探测器样机须进行下列试验。每次试验均应使用不同的电离室烟雾探测器。每次试验放射源都不应分离或丧失完整性。

温度

IV-13. 电离室烟雾探测器须冷却到-25°C，并保持该温度一小时，然后恢复至环境温度。然后将其加热至100°C，保持一小时，然后恢复至环境温度。

冲击

IV-14. 冲击试验的设备和程序须符合ISO 2919[IV-3]要求。探测器应置于钢砧上，质量为0.5公斤的钢锤须从0.5米高处落在电离室烟雾探测器上。

跌落

IV-15. 电离室烟雾探测器从最低4米高度跌落到坚硬的刚性靶面。

¹ “shall”和“should”在本附件中的含义是根据参考文献[IV-1]和[VII-2]经过修改的含义，并非原子能机构安全标准中要求和建议的含义。

振动

IV-16. 电离室烟雾探测器向垂直于其固定法平面的方向进行正弦波振动；振动频率从 5—60 赫兹以 4 振幅/小时的速度传播。在 5—20 赫兹范围内峰值加速度为 $2.4 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-2}$ ，在 20—40 赫兹范围内为 $4 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-2}$ ，在 40—60 赫兹范围内为 $5.1 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-2}$ 。每个范围都须进行两次实验，并且电离室烟雾探测器须在任何一个发现的共振频率下振动一小时，峰值加速度应为 $0.7\sqrt{f} \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-2}$ ，其中 f 为共振频率。

评定

IV-17. 上述四种试验每次试验之后，须进行擦拭试验或浸没试验。擦拭试验应在每个源和探测器的非活性表面上进行，特别注意源座[IV-2]。浸没试验应使用完整的探测器进行。如果从每个源脱离的活度小于 200 贝可，则认为源保持完整。

火烧影响试验

IV-18. 应对整个电离室烟雾探测器或探测器中含源的基座部分（该部分可代表整个装置）进行火烧试验。在试验过程中，空气应以 1—5 升/分钟的流量通过加热炉，冷凝过滤后释放到大气中。电离室烟雾探测器（或其部件）应从室温加热至 600°C 并保持该温度 1 小时。对于从放射源脱离的活度（即在冷凝器、过滤器和碎片中），及从放射源及其基座上脱离的活度（擦拭实验或浸没试验），若总和小于 200 贝可，认为电离室烟雾探测器通过试验。

焚烧实验

IV-19. 须对整个电离室烟雾探测器或对探测器中含源的基座部分（该部分可代表整个装置）进行焚烧试验。实验步骤与 IV-18 火烧试验相同，但该实验将加热至 1200°C 并保持一小时。如果在冷凝器和过滤器上检测到的放射性活度小于电离室烟雾探测器放射性活度的 1%，则认为电离室烟雾探测器通过试验。

电离室烟探测器的标记和标签

IV-20. 每个电离室烟雾探测器的电离室须带有三叶形符号和“放射性”字样的标签。在拆卸电离室烟雾探测器的盖子或外壳时，该标签应清晰可见。电离室烟雾探测器的外壳应以同样方式标记。

IV-21. 消费品的包装上须附有警示标志和安全使用、处置的说明。

质量控制

IV-22. 电离室烟雾探测器的生产应遵循适当的质量控制程序。授权的申请者应提供质量控制程序的说明，说明为确保制造的每个电离室烟雾探测器符合样机的规格而采用的方法。

附件 IV 参考文献

[IV-1] 国家辐射防护委员会《电离室烟雾探测器的辐射防护标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第2号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1992年）第9—20页。

[IV-2] 国际标准化组织《辐射防护 — 密封放射源 — 泄漏试验方法》（ISO 9978:1992），国际标准化组织，日内瓦（1992年）。

[IV-3] 国际标准化组织《辐射防护 — 密封放射源 — 一般要求和分类》（ISO 2919:2012），国际标准化组织，日内瓦（2012年）。

附件 V

电离室烟雾探测器的辐射剂量

本附件改编文本转载自授权的参考文献[V-1 和 V-2]。

引言

V-1. 电离室烟雾探测器的设计目的是提供火灾的早期预警，因此被归类为第一类（安全）消费品。核准含有放射性物质消费品的适当剂量标准见参考文献[V-2]。剂量系数和相关计算已根据国际放射防护委员会第 72 号[V-3]出版物进行更新。

V-2. 本附件给出电离室烟雾探测器正常使用和处置以及事故工况和误操作情况下所产生的剂量估计。内照射剂量也给出了报告，只给出成人、儿童和婴儿的最高限值。

正常使用及处置

V-3. 在正常使用电离室烟雾探测器的情况下，公众成员所受的剂量只限于因外照射而受到的剂量。距电离室烟雾探测器表面距离 d （米）的空气剂量当量率 D 为：

$$D = \frac{t \times A}{d^2}$$

式中，

t 为 1 吉贝可放射源在 1 米距离处产生的剂量当量率，单位为希沃特/小时；

A 为放射源活度，单位为吉贝可[V-2]。

镅-241 的 t 值为 2.4×10^{-6} 。

V-4. 电离室烟雾探测器标准（见附件 V）要求镅-241 密封源的活度不超过的 40 千贝可。由公式可得，满足要求的距电离室烟雾探测器 2 米处的最大剂量当量率为 2.4×10^{-5} 微希沃特/小时。

正常工作

V-5. 大多数电离室烟雾探测器安装在楼梯或走廊上，这些区域很少有人长期逗留。但仍有一部分安装在卧室。在估计剂量时，作出如下假设。

- (a) 电离室烟雾探测器安装在卧室，每天个人受照 8 小时；
- (b) 人体和放射源的距离为 2 米。

由此得出的结论为，个人每年最大剂量当量为 0.07 微希沃特。

维护

V-6. 安装在家庭的电离室烟雾探测器会在安装、清洁和更换电池期间被接触。假定放射源在探测器外壳下 1 厘米处，满足标准（见附件 IV）的探测器表面最大剂量当量率计算值约为 1 微希沃特/小时，距离放射源 0.5 米处的最大剂量当量率约为 4×10^{-4} 微希沃特/小时。在评定潜在个人剂量时，做出如下假设：

- (a) 电离室烟雾探测器由单人操作，总时间为每年 3 小时；
- (b) 在操作过程中，人体和放射源的距离为 0.5 米。

由此得出，对大部分人来说，最大个人当量剂量为 3 微希沃特/年，最大个人有效剂量为 0.001 微希沃特/年。

处置

V-7. 电离室烟雾探测器可能与普通生活垃圾一起处理。这意味着在实践中可能有一部分被送到垃圾填埋厂，另一部分可能被焚烧。在估计处置时的潜在有效剂量时，做出如下假设：

- (a) 英国共有两千万家庭；
- (b) 英国每个家庭安装一个电离室烟雾探测器；
- (c) 这些电离室烟雾探测器每年废弃 20%；
- (d) 在对其进行处置时，80%的探测器分布于 500 个填埋场，即每个填埋场每年最多填埋 6400 个探测器；
- (e) 在对其进行处置时，20%的探测器在 200 个焚烧炉中焚烧，即每个焚烧炉每年最多焚烧 4000 个探测器。

垃圾填埋场处置

V-8. 与填埋场处置有关的两种主要照射途径为：饮用受填埋区渗滤液污染的饮用水，以及吸入由废物燃烧引起的空气污染。电离室烟雾探测器标准（见附件 IV）规定，通过火烧效应试验的电离室烟雾探测器在燃烧中释放的放射性物质活度不得超过 200 贝可。在估算一次燃烧所产生的剂量时，做出如下假设：

- (a) 在一个填埋场处置的电离室烟雾探测器，每年有 1% 发生燃烧；
- (b) 每个探测器在燃烧时释放 200 贝可的放射性物质；
- (c) 每次燃烧只持续较短时间，即 30 分钟；
- (d) 受照最严重的个人距填埋场 200 米；
- (e) 在正常天气条件下（大气稳定度为 D 类），距填埋场 200 米处，释放单位放射性物质（1 贝可）导致的地面时间积分浓度为 2.5×10^{-4} 贝可·秒/立方米[V-4]；
- (f) 成人的呼吸频率为 3.33×10^{-4} 立方米/秒[V-5]；
- (g) 对每个成年人因吸入而导致的待积有效剂量为 9.6×10^{-5} 希沃特/贝可[V-3]。

由此得出，每个成年人的年最大待积有效剂量为 0.1 微希沃特。

V-9. 根据参考文献[V-6]，内陆浅埋 1 太贝可放射性物质时，一个成年人因饮用受污染水而导致的待积有效剂量约为每年 0.002 微希沃特。若 6400 个探测器都按标准允许的最大放射性活度计算，每年每个垃圾填埋场处置物的总活度为 260 兆贝可。这将导致一个成年人每年的最大待积有效剂量约为 3×10^{-7} 微希沃特。

通过焚烧处置

V-10. 电离室烟雾探测器标准（见附件 IV）规定，通过焚烧试验的电离室烟雾探测器在焚烧过程中释放的放射性活度不超过 1%。在估计焚烧处置所产生的剂量时，做出如下假设：

- (a) 探测器中的放射性物质在焚烧过程中释放 1%；
- (b) 释放过程是在一年时间中持续进行的；
- (c) 堆叠高度为 50 米；

- (d) 在正常天气条件下（大气稳定度为 D 类），释放单位放射性物质 1（贝可）导致的最大地面时间积分浓度为 3×10^{-6} 贝可·秒/立方米[V-4]；
- (e) 成人的呼吸频率为 3.33×10^{-4} /立方米[V-5]；
- (f) 对每个成年人因吸入而导致的待积有效剂量为 9.6×10^{-5} 希沃特/贝可 [V-3]。

V-11. 由此，一个成年人年最大待积有效剂量为 0.16 微希沃特。可以认为将焚烧灰在填埋场处置所导致的剂量如上所述。

事件和使用不当

V-12. 涉及电离室烟雾探测器的潜在事件可分为如下几种：

- (a) 火灾；
- (b) 使用不当和损毁。

火灾

V-13. 英国烟雾探测器事件调查显示，火灾是最为常见的事件。电离室烟雾探测器标准（见附件 IV）规定，通过火灾效应试验的电离室烟雾探测器在火灾中释放的放射性物质活度不超过 200 贝可。在估计火灾中和火灾后的剂量时，做出如下假设：

- (a) 在火灾过程中：
 - (i) 电离室烟雾探测器含有 40 千贝可的镭-241；
 - (ii) 其中 200 贝可扩散到空气中；
 - (iii) 每名消防员吸入的气载放射性物质为 10^{-5} ；
 - (iv) 消防员每年要处理 20 起涉及电离室烟雾探测器的火灾。
- (b) 在火灾后：
 - (i) 电离室烟雾探测器含有 40 千贝可的镭-241；
 - (ii) 每个探测器保护 30 平方米的区域；
 - (iii) 放射性物质和碎石和灰尘混合，其中 1% 会再悬浮并被吸入；
 - (iv) 再悬浮因子为 2×10^{-6} /米；
 - (v) 清理需要 8 小时；

(vi) 成人的呼吸频率为 3.33×10^{-4} 立方米/秒[V-5]。

由此得出，一个成年人在火灾中的年最大待积有效剂量为 4 微希沃特，在火灾后的年最大待积有效剂量为 0.024 微希沃特。

使用不当和损毁

V-14. 最严重的使用不当情况可能是公众成员拆卸电离室烟雾探测器。然而，这种情况发生的可能性是很小的，因为电离室满足标准，它须具有防止篡改的设计。在估计因破坏外壳并损坏放射源而导致的婴儿剂量时，做出如下假设：

- (a) 放射源活度的 1% 因破坏而被释放；
- (b) 活度的 10% 转移到手指上并被食入；
- (c) 对于 3 个月大的婴儿，摄入单位活度放射性物质所导致的待积有效剂量为 3.7×10^{-6} 希沃特/贝可[V-3]。

由此，婴儿的待积有效剂量为 140 微希沃特/年。

结论

V-15. 对于符合标准的电离室烟雾探测器，在正常使用和处置、不当使用情况下，可能的剂量不超过适用的剂量标准。

附件 V 参考文献

- [V-1] 国家辐射防护委员会《电离室烟雾探测器的辐射防护标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第 2 号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1992 年）第 9—20 页。
- [V-2] 国家辐射防护委员会《关于批准含放射性物质消费品的可接受性标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第 2 号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1983 年）第 3—8 页。
- [V-3] 国际放射防护委员会《公众成员摄入放射性核素的年龄依赖剂量（第五部分）：食入和吸入剂量系数汇总》，国际放射防护委员会第 72 号出版物，培格曼出版社，牛津和纽约（1996 年）。

- [V-4] CLARKE, R.K.FOLEY, J.T., HARTMAN, W.F., LARSON, D.W., “运输事故严重程度”, 第 SL74-0001 号报告, 新墨西哥州阿尔伯克基桑迪亚国家实验室 (1976 年)。
- [V-5] 国际放射防护委员会《参考人工作组的报告》, 国际放射防护委员会第 23 号出版物, 培格曼出版社, 牛津和纽约 (1975 年)。
- [V-6] Smith, G.M., Fearn, H.S., Delow, C.E., Lawson, G., Davis, J.P., “处置选定放射性核素单位活度的放射性影响计算”, 国家辐射防护委员会第 R205 号报告, 国家辐射防护委员会, 奇尔顿 (1987 年)。
- [V-7] 经济合作与发展组织核能机构《电离室烟雾探测器执行辐射防护标准的建议》, 经济合作与发展组织核能机构, 巴黎 (1977 年)。

附件 VI

英国标准：含气态氚光源的时间测量仪器仪表和导航装置

本附件改编文本转载自授权的参考文献[VI-1 和 VI-2]。

范围

VI-1. 参考文献[VI-1]给出的标准详细说明了含有气态氚光源的时间测量仪器仪表的辐射防护要求。该标准与公众使用的仪器仪表有关。

VI-2. 该标准不包括因其职业（制造商、分销商、维护人员等）而经常操作时间测量仪器仪表人员的保护，也没有规定含有气态氚光源的时间测量仪器仪表的贮存和运输要求。

VI-3. 该标准不适用于其他形式放射性物质（特别是放射性沉积物）发光的时间测量仪器仪表。

定义

VI-4. 气态氚光源是一种内部涂有荧光粉并充满氚气体的密封玻璃管。

VI-5. 时间测量仪器仪表指手表或者钟表。

VI-6. 总活度指存在于单一气态氚发光装置中所有气态氚的总活度。

VI-7. 气态氚发光装置是包含一个或多个气态氚光源的一种时间测量仪器仪表或者导航装置。

主要考虑因素

VI-8. 气态氚发光装置应¹ 满足下列试验要求。

¹ “Shall”在本附件中的含义是根据参考文献[IV-1]和[VII-2]经过修改的含义，并非原子能机构安全标准中要求和建议的含义。

VI-9. 在正常工况下，不能与气态氚光源直接接触。此外，只能通过使用一种特殊工具来接触气态氚光源。

气态氚光源规范

VI-10. 气态氚发光装置的放射性总活度应在与其有效发光相符合的情况下须合理可行尽量低，其中钟表不超过 7.4 吉贝可，导航装置不超过 10 吉贝可。

VI-11. 单一气态氚光源在存在氚化水或水溶氚的情况下，其放射性活度须合理可达尽量低，且不得超过气态氚光源总活度的 2%，小于 2 吉贝可的气态氚光源除外，此类气态氚光源在相同条件下的放射性活度不得超过 40 兆贝可。

VI-12. 在气态氚发光装置中，氚从所有气态氚光源中泄漏的速率不得超过 2 千贝可/天。

仪器仪表规格

VI-13. 气态氚发光装置的表面当量剂量率不得超过 0.1 微希沃特/小时。

VI-14. 气态氚光源应固定在合适的金属或塑料支架上，该支架将在气态氚发光装置的使用寿命内作为安全和减震附件。

标记和标签

VI-15. 气态氚发光装置外部应有清晰可见的“ ^3H ”或“氚”标记。

质量控制

VI-16. 气态氚发光装置的生产应当遵守适当的质量控制程序。

VI-17. 批准的申请方应提供有关这种质量控制程序的说明，说明为确保每一个时间测量装置都是以样机的规格制造而采用的方法。

样机试验

VI-18. 须对气态氙发光装置样机进行下列试验。每个试验可以使用一个单独的样机。气态氙光源不应因单次试验而脱落或完整性受到损伤。

温度

VI-19. 气态氙发光装置需在 5 分钟内加热至 60°C，并保持该温度 1 小时，再在 45 分钟内冷却至-20°C并保持 1 小时。

热冲击

VI-20. 气态氙发光装置应在空气中加热至 60°C并保持该温度 15 分钟，然后在 15 秒或更短时间内置于 0°C的水中，且水的体积至少为气态氙发光装置体积的 20 倍。

振动

VI-21. 气态氙发光装置应在 50 米/平方秒的加速度、25—500 赫兹的范围内，进行三次完整的试验循环。一次完整试验应是：振动 10 分钟或更长时间，以一定速率从最小频率连续变化至最大频率，并再连续变化回最小频率。气态氙发光装置的每个轴向都应进行试验。然后，气态氙发光装置应在发现的所有共振频率下振动 30 分钟。

压力

VI-22. 气态氙发光装置应在试验仓内进行试验，分别暴露在 20 千帕和 200 千帕下，每种压力下试验 4 次，每次 15 分钟。每个试验周期之间应将气压恢复至大气压，应在空气中进行试验。

冲击（跌落）

VI-23. 气态氙发光装置应从 1 米高度跌落至坚硬的刚性平面上。试验应用不同的气态氙发光装置以不同的跌落方向进行 3 次。

压碎

VI-24. 气态氙发光装置应进行压碎试验：压强为 1 千克/平方厘米，持续时间 5 分钟。应对气态氙发光装置的每个轴向都进行试验。

穿刺

VI-25. 将一个总重 10 克、下表面有尖刺的重物从 1 米高度上下落至气态氚发光装置的表面。本试验使用的设备和程序需符合英国密封放射源标准[VI-3]规定。

评定

VI-26. 在每次试验后，按以下程序确定是否符合性能要求：

- (i) 气态氚发光装置应进行目视检查；不得有任何证据表明气态氚光源的完整性已丧失，或气态氚光源已从其支架上脱落或可接触；
- (ii) 气态氚发光装置完全浸入水中 24 小时后取出，水温 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，测量水中活度；溶于水中的物质放射性活度不应超过 2 千贝可。

附件 VI 参考文献

- [VI-1] 国家辐射防护委员会《含气态氚光源时间测量仪器仪表的辐射防护标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第 2 号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1992 年）第 33—45 页。
- [VI-2] 国家辐射防护委员会《含气态氚光源时间测量仪器仪表的辐射防护标准》，国家辐射防护委员会文件第三卷第 2 号，国家辐射防护委员会，奇尔顿（1992 年）第 47—59 页。
- [VI-3] 国际标准化组织《辐射防护—密封放射源—一般要求和分类》（ISO 2919），国际标准化组织，日内瓦（2012 年）。

附件 VII

钍钨焊接电极的安全相关问题

导言

VII-1. 使用惰性气体（如氩）来覆盖电焊弧环境以隔离氢和氧，是一种焊接铝、镁和其他活性金属的实用方法[VII-1]。碳和钨是构成焊接用热离子阴极的主要材料。但是，当纯钨在阴极点模式下工作时，其尖端会融化，形成一个扩大的球体，这会导致电弧柱漂移（电弧不具备稳定性）。工业焊接常使用钍钨电极。在进行惰性气体保护电弧焊中，常将钍元素以氧化钍的形式加入钨电极中。钍的加入改善了电弧的起动的稳定性，减少了焊接污染，延长了电极寿命。然而，钍是一种天然存在的放射性核素，因此可能造成放射性危害[VII-2]。当电极熔化时，材料在起弧时飞溅的量相对较大，焊接时飞溅的量较小。电极会慢慢消耗。焊工在使用含钍钨电极进行焊接和研磨操作时，可能在无意中受到辐射照射。主要关注的问题是吸入在电极消耗过程中产生的粉尘。穿戴防尘面具和其他适用于这类作业的个人防护设备，使用有效的排气系统，并在可能的情况下使用预接地的钍钨电极，可大大减少研磨造成的放射性危害。惰性气体保护钨极中钍的含量一般为 0.5%、1%、2% 和 4%。据估计，美国每年生产 400 万至 500 万个电极[VII-3]。

与钍钨电弧焊有关的辐射因子

VII-2. 一项研究显示，试验电极中主要的钍为钍-232，没有发现钍-228。钍-230 的含量低于钍总量的百万分之一。根据这些数据，钍-230 不会对照射有显著影响。在制造商内部和制造商之间产生的同位素构成差异至今未知。然而，作为钍-230 的来源，如果钍的来源是含有少量铀的独居石砂，那么对钍钨电极的含量反映了人们的预期。本研究未测定标记为含 2% 的电极中钍总含量的差异性。但有一名生产商报告称其含量是受到严格把控的[VII-3]。

VII-3. 手工焊接烟尘的粒度分布为双峰分布。气溶胶的可吸入份额¹（10 微米或更小粒径，见国际标准化组织参考文献[VII-4]采用的气溶胶可吸入份

¹ 气溶胶可吸入份额（或肺部份额）指能够穿过肺部（包括呼吸细支气管和肺泡管与囊）中肺泡区并引起慢性疾病如尘肺病和肺气肿的可吸入粒子（直径小于 10 微米）占总可吸入粒子的份额[VII-4]。

额的定义) 占总测量气溶胶的 45%。焊工呼吸区(距工作点 30 厘米)可吸入的放射性气溶胶空气动力学直径(AMAD)² 为 3.5 微米。认为焊接中产生的较小直径气溶胶是烟雾发生实质性凝固之前的状态。电极研磨产生的气溶胶(10 微米或更小)占总气溶胶的 60%。研磨工人的呼吸区域(距操作区域 30 厘米)的可吸入颗粒空气动力学直径为 5 微米。参考文献[VII-6]综述的其他 7 项研究支持参考文献[VII-3]得出的气溶胶特性的结论。后续的辐射剂量评定中,为包容这些数据的不确定度,会采用 1 微米放射性气溶胶空气动力学直径作为保守假设。

辐射剂量

VII-4. 平均一个全职焊工一年的待积有效剂量远低于 1 毫希沃特/年[VII-7]。但在某些情况下可能超过该剂量。可能导致这种剂量的情况如下:使用交流电焊接,在缺乏通风的环境下焊接,在容器内焊接或焊工在烟气中接受高照射的方向焊接,或者使用研磨过大的焊条焊接。在污染事件中确定污染源并作出响应时,也可能难以确定由焊接烟气或电极研磨粉尘产生的表面污染。工作实践认可的工业卫生标准的实施将能够解决所有放射性问题。相对简单的行动,如正确使用通风和在焊接或研磨时头部处于正确位置,也可以显著降低潜在摄入。参考文献[VII-6]描述了详细的剂量估计,参考文献[VII-8]对不同的照射假想方案给出了简要解释。

研磨导致的剂量

VII-5. 将电极的尖端研磨形成一个尖头可能需要 20—60 秒,这取决于研磨工人的技术。对于自己研磨电极的焊工来说,这可能需要 1 分钟甚至更长时间。专门从事这项活动的人可以更快地完成这项任务。在大型设施中(例如,50 名焊工),研磨机每天可能研磨多达 150 个电极(大约每名焊工每天 3 个电极)。在计算中,根据参考文献[VII-6]假定颗粒的放射性气溶胶空气动力学直径为 1 微米。据估计,一个焊工因研磨电极而接受的剂量为 0.2 毫希沃特/年。如果使用局部排风系统,这一数字将减少 10 倍左右。在没有局部排风系统的情况下,一台专用研磨机以 200 小时/年的速度打磨电极,估计一年受照约 0.8 微希沃特(如果没有使用防尘面具作为个人防护设备)。

² 根据原子能机构《安全术语》[VII-5],AMAD 含义为:“空气动力学直径的数值,如某一特定气溶胶中气载放射性活度的 50%与小于放射性气溶胶空气动力学直径的颗粒有关,气载放射性活度的 50%与大于放射性气溶胶空气动力学直径的颗粒有关”,以及“气载颗粒的空气动力学直径是单位密度的球体在空气中沉降时,要达到与感兴趣颗粒相同的最终速度所需要的直径。”

焊接操作导致的剂量

VII-6. 正如参考文献[VII-6]所述, 任何因焊接操作导致的剂量估算都具有很高的不确定度。必须对空气中钍的含量、焊接时间、焊工面罩的效果、通风量、颗粒的大小分布等作出假设。根据参考文献[VII-6]估计, 假设实际焊接作业时间为 100 小时/年, 直流操作产生的剂量为 0.2 毫希沃特/年, 交流操作产生的剂量为 0.5 毫希沃特/年。这些估计假定没有使用局部排风系统。如果使用局部排风, 估计剂量将减少十倍左右。认为因 β 粒子和 γ 射线导致的外照射相对于吸入导致的剂量是很小的。

口袋内携带焊接电极导致的剂量

VII-7. 一个人在衬衣口袋内携带三个钍钨焊接电极 (0.9 克钍), 200 小时的待积有效剂量 (每周 40 小时, 每年 50 周) 为 0.08 毫希沃特。

钍钨焊接电极在供应和运输中的剂量

VII-8. 参考文献[VII-9]估计了钍钨焊条在供应和运输中的剂量。假定运输中涉及包裹递送工作人员、卡车司机和零售商店工作人员的操作; 也考虑了零售店顾客的受照。估计每年因供应 100 万根电极所导致的个人剂量为: 卡车司机 0.002 微希沃特, 包裹递送工作人员小于 0.001 微希沃特/年, 零售店工作人员 0.06 微希沃特, 仓库员工 0.15 微希沃特, 零售店顾客小于 0.001 微希沃特。

照射评定

VII-9. 照射评定可包括以下因素, 以确定受照射的程度及是否需要额外评定:

- 用钍钨电极焊接的总时间;
- 通风的类型和适当程度;
- 研磨钍钨电极的时间;
- 直流焊接与交流焊接。

VII-10. 如果照射评定表明个人在使用钍钨电极时照射可能增加, 则可评审工作场所的控制, 例如局部排风, 以保证照射得到适当控制[VII-7]。

VII-11. 表 VII-1 给出了因吸入钍-232 导致的年剂量和年限值的对比。假定每年工作时间为 2000 小时。

VII-12. 表 VII-2 给出了有关钍钨电极焊接工作的辐射安全有用资料。

表 VII-1. 工作人员的钷-232 年摄入量 (根据观察到的钷-232 气载放射性浓度和焊接时间估算[VII-10])

案例编号	电极 钝化 (小时/天)	钨合金气体/ 铝弧焊 (小时/天)	钨惰性 气体/不锈钢 电弧焊 (小时/天)	其他种类 工作 (小时/天)	估计的年 摄入量 (贝可)	与年摄入 限制的比率 (90 贝可) [†]
1	无防尘	7	0	0.83	33.2	0.4
2	口罩 (PF=1)*	0	7	0.83	10.2	0.12
3		3.5	3.5	0.83	21.7	0.28
4	有防尘	7	0	0.83	3.3	0.04
5	口罩 (PF=10)*	0	7	0.83	1.0	0.012
6		3.5	3.5	0.83	2.2	0.028

* PF 是防尘口罩的穿透系数

[†] 钷-232 的年摄入量限值是根据原子能机构《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》[VI-11]规定的职业照射 20 毫希沃特年剂量限值确定的。

表 VII-2. 钍钨焊接电极：危害和控制措施资料[VII-7]

放射性核素测定	钍-232 和 10 个放射性子代，包括镭-228、钍-228、镭-224 和氡-220。
辐射	来自父代和后代放射性核素混合物的 α 、 β 和 γ 辐射。
外部放射性危害	电极的接触剂量率约为 1 微希沃特/小时，随着距离的增加而迅速下降。
内部放射性危害	<p>尽管会产生高温，但焊接和切割过程只会产生非常少量的松散空气传播或表面放射性物质。然而，研磨和再研磨电极尖端确实会导致松散空气和表面污染物的产生。</p> <p>在缺乏控制措施（见下文）的情况下，研磨作业的可能承诺有效剂量估计如下：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 吸入粉尘：每次研磨活动最高可达 5 微希沃特粉尘； • 通过从手转移到嘴的污染物摄入：每次研磨活动<1 微希沃特； • 注入伤口或皮肤擦伤：7 微希沃特。 <p>所有这些剂量都可以通过遵循控制措施（如下）大幅减少。</p>
使用中的控制措施	<p>尽可能使用非钍钨焊条。</p> <p>让非必要人员远离焊接和研磨活动 — 在进行焊接或研磨的区域有禁止吃、喝、吸烟的规定。</p> <p>在可行的情况下：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 预留一个砂轮，用于研磨含钍钨电极。 • 砂轮现场应提供局部排气通风。 <p>焊工应戴上合适的手套，防止研磨粉尘接触皮肤。</p>

表 VII-2. 钍钨焊接电极：危害和控制措施资料[VII-7]（续）

使用中的控制措施	<ul style="list-style-type: none"> • 研磨完成后，要彻底洗手。 • 在进行研磨作业之前，应包裹所有切伤或割伤伤口。任何被研磨粉尘污染的切口都允许渗血并在流水中彻底清洗。 • 在每周进行 50 次以上研磨作业的地区和进行培训的单位，除了通过抽气器向外部大气排放外，还要经常使用装有绝对滤尘器的真空吸尘器清除表面尘埃。真空吸尘器仅用于清除钍尘，并贴有辐射警告标签。除尘袋的拆除或绝对过滤器的更换应根据当地的命令和程序进行（由训练有素的人员佩戴手套、工作服和呼吸保护装置）。 • 在每周研磨作业少于 50 次的地区，将采用常规清洁计划。研磨粉尘将被弄湿，然后用湿布清除。布应放在没有辐射标记的塑料袋或容器中，并与普通垃圾一起处理。
贮存和标记	<p>焊接仓库中的焊条数量应保持在最低限度。不使用时，除安装在电弧焊设备中的焊条外，焊条应与非放射性物质隔离，并成捆一起存放在抽屉、上锁的钢柜或金属容器中。货柜须标明辐射警告标志。贮存于贮存所外的焊条数目须保持在最低限度，并在切实可行的情况下不得超过一个月的供应量。</p>
应急计划：火灾/损失/事故	<p>如果焊接车间发生火灾，焊条极不可能释放任何放射性物质。</p> <p>不需要报告少量这些自耗电极的损失。</p>
运输	<p>物品和大件物品可以在例外货包内运输，前提是或货包外表面的剂量率不超过 5 微希沃特/小时。</p>
处置	<p>研磨作业产生的废物应放在没有辐射标记的塑料袋或容器中，并与其他垃圾一起处理。</p>

钍钨电极在供应、使用和处置中的良好实践

VII-13. 参考文献[VII-1]描述了钍钨电极的供应、使用和处置的最佳实践，并简要总结如下。

VII-14. 虽然钍钨电极的供应、使用和处置的风险极低，但仍然应当始终遵循最佳实践。处理或操作钍钨电极的工作人员需要采用以下实践：

- (a) 保持焊接所需最低数量的钍钨电极库存量。
- (b) 将未使用的钍钨电极存放于安全区域的包装箱中，这个区域只有获得授权的人员才能进入。
- (c) 避免个人携带钍钨电极。
- (d) 熟悉焊接操作的安全规程，包括与研磨钍钨电极头部有关的规程。
- (e) 任何时候都要让无关人员远离焊接和研磨作业。
- (f) 进行研磨作业时戴上防尘罩。
- (g) 在通风良好的专用区域工作，尽可能安装除尘系统或局部排风系统。
- (h) 用装有保护观察屏的专用砂轮研磨钍钨电极。
- (i) 如果可能的话，让每个焊工轮流研磨钍钨电极。
- (j) 用真空吸尘器清除钍钨电极上沉积的尘粒。如果无法使用真空吸尘器，在清理前先将灰尘增湿。
- (k) 每天收集因焊接和研磨作业而产生的废钍钨电极和灰尘，并将其分散在拟填埋的废物中。
- (l) 切勿将废钍钨电极及灰尘与已确定再循环利用的废金属共同处置。
- (m) 如果可能的话，用含有氧化铈或氧化镧等氧化物的非放射性电极取代钍钨电极。

附件 VII 参考文献

[VII-1] Burgess, W.A., “对工业健康危害的认识：对材料和工艺的回顾”，约翰威立父子出版集团，纽约（1981年）。

[VII-2] 爱尔兰辐射防护研究所《使用钍钨电极焊接导则》，爱尔兰辐射防护研究所，都柏林（2008年）。

- [VII-3] Jankovic, J.T., Underwood, W.S., Goodwin, G.M., “钍钨焊接电极中钍的照射”, 《美国工业卫生学会杂志》第 60 3 期 (1999 年) 第 384—389 页。
- [VII-4] Niebour, E., Thomassen, Y., Chashchin, V., ODLAND, J.Ø., “金属的职业照射评定”, 《环境监控杂志》第 7 期 (2005 年) 第 412 页。
- [VII-5] 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》(2007 年版), 国际原子能机构, 维也纳 (2007 年)。
- [VII-6] 美国核管制委员会《源和副产品材料豁免的系统放射学评定》, 第 NUREG-1717 号报告, 核管制研究办公室, 华盛顿特区 (2001 年)。
- [VII-7] 美国能源部《使用含钍的钨焊条》, 安全公告第 2007-04 号, 美国能源部健康、安全和安保办公室, 华盛顿特区 (2007 年)。
- [VII-8] 橡树岭联合大学《含钍焊条 (1990 年代)》(1999 年),
<https://www.ornl.gov/ptp/collection/consumer%20products/weldingrod.htm>
- [VII-9] McDowellBoyer, L.M., “钍焊接电极中钍及其子体的辐射剂量估算”, 第 NUREG/CR-1039 号报告, ORNL/NUREG/TM-344, 橡树岭国家实验室, 华盛顿特区 (1979 年)。
- [VII-10] Saito, H., Hisanaga, N., Okada, Y., Hirai, S., Arito, H., “钨极惰性气体保护焊和电焊条打磨过程中的钍-232 照射”, 《工业卫生》第 41 3 期 (2003 年) 第 273—278 页。
- [VII-11] 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)。

附件 VIII

宝石辐照技术的安全相关因素

引言

VIII-1. 如果辐射剂量足够高，环境温度足够低，宝石矿床主岩中的地球本底辐射会改变宝石材料的颜色。例如，宝石结晶花岗岩中的电气石经过钾-40 的高能 γ 射线（1.46 兆电子伏特）数百万年的照射后会变成粉红色或红色。一些黄玉的天然蓝色被认为是通过天然辐射产生的，正如马希谢绿宝石的深蓝色。黄色和黄绿色钻石的表面着色也归因于天然辐射[VIII-1]。

VIII-2. 本底辐射诱发宝石变色的自然过程可以通过人工手段加速。为增强多种宝石的色泽和外观，世界各地都有通过辐照技术来加强宝石的美观程度。这种辐照可以产生自然界中没有发现的颜色或颜色极其稀有的宝石，这可以大大增加它们的商业价值。例如，通过辐照进行色彩增强，黄玉的价值可以提高 10 倍[VIII-2]。也有证据表明辐照后宝石的硬度会增加，这是增加其商业价值的另一个因素[VIII-3、VIII-4]。

VIII-3. 很多种宝石都可以通过辐照来增强色彩[VIII-5—VIII-8]。表 VIII-1 列出了能够产生的最常见的色彩变化。

VIII-4. 宝石的辐照通常采用三种不同的工艺，以增强宝石的外观和颜色。这些工艺包括中子辐照（在研究堆中）、电子束辐照（使用直线加速器）或产生 γ 光子的核素辐照[VIII-8]。在某些情况下，可采用多种方法进行辐照（例如中子辐照后再用电子束辐照）。

表 VIII-1. 辐照处理对各种宝石材料的影响

材料	起始颜色	结束颜色
绿宝石	无色	黄色
	蓝色	绿色
Maxixe 型	淡色或无色	蓝色
猫眼绿宝石	淡黄绿色或无色	强化的颜色或绿色
刚玉	无色	黄色
	粉色	亮粉橙色
金刚石	无色的或淡黄色和淡棕色的	绿色、黑色或蓝色；加热颜色变成黄色、橙色、棕色、粉红色或红色
萤石	无色	各种颜色
珍珠	浅色	灰色、棕色、蓝色或黑色
石英	无色到黄色或淡绿色	棕色、紫水晶色、烟熏色或玫瑰色
舟形石	无色、稻草色、粉红色或浅蓝色	蓝色、淡紫色、紫水晶色或红色
锂辉石	无色到粉红色	橙色、黄色、绿色或粉色
	黄色、橙色、无色、淡蓝色	颜色变深
黄水晶	无色、淡蓝色	棕色、蓝色（可能需要加热）或绿色
	无色到淡色	黄色、棕色、粉红色、红色或绿红色
电气石	蓝色	紫色
	无色	从棕色到红色

VIII-5. 目前许多种类的宝石都是用 γ 射线照射，以产生一种颜色或增强其颜色。最常用的辐照源是钴-60。 γ 射线有时也用来筛选不需要的材料，如绿宝石或石英，或为以后的处理准备某些特定宝石。例如，黄水晶在 γ 射线照射后会变成淡蓝色，而在高能电子的额外辐射处理后会产生更深的蓝色。 γ 辐照处理的优点是它没有足够的能量来活化宝石内的杂质，因此放射性核素不会通过活化产生。 γ 辐射的缺点是色彩增强不像其他辐照技术那样的永久性。

电子束加速器

VIII-6. 电子束加速器（有不同的设计方案，包括直线和非直线电子加速器）将电子束能量增加至 12 兆电子伏特，在几百微安的电流下，宝石在每小时几兆戈瑞或更高的剂量率下接受照射。在这种剂量率下，宝石材料必须用水冷却，以防止高温和热冲击。高温会退色或破坏宝石材料中的色心，而热冲击会使其开裂或破碎。例如，将黄玉在 2.5—5 兆戈瑞/小时的剂量率下辐照，如不加合适的冷却，其升温速度为 50—100°C/分钟。

VIII-7. 加速器的粒子束能量决定了辐照时间，因此也决定了穿透率和感生放射性水平。10 兆电子伏特以下能量的粒子束具有相对较低的穿透深度，但很少或不会在宝石中产生放射性。相比之下，12 兆电子伏特以上的粒子束具有更大的穿透深度。但其一般不用于宝石辐照，因为如此高能量的射线会在材料中产生明显的放射性。辐照宝石的活度取决于宝石中杂质的数量和性质[VIII-9]。根据 ISO 11137[VIII-10]，工业辐照装置（如医疗用品用电子束辐照灭菌）不允许使用 12 兆电子伏特以上能量的电子束。根据《国际辐射防护与辐射源安全基本安全标准》（GSR Part 3[VIII-11]），感生放射性的半衰期相对较短，需要几天到几周的冷却期，直到放射性衰变到低于豁免值。例如，黄玉经电子束辐照后，通常检测到的放射性核素只有锆-69（半衰期 1.63 天）和钠-24（半衰期 0.6 天）[VIII-8]。

核反应堆

VIII-8. 最严重的辐射安全问题是宝石的中子辐照，这会导致宝石中产生以放射性核素形式存在的活化产物。这种辐照基本都是在研究堆（一般用于其他工业和非工业应用）中进行。

VIII-9. 黄玉是研究堆进行辐照的最常用宝石[VIII-12]。其颜色是与快中子的相互作用产生的，颜色的深度与宝石的大小、中子通量和辐照时间有关。宝石越大，达到理想颜色所需的辐照时间越短（参见参考文献[VIII-5]）。热中子的存在是导致宝石中杂质产生活化产物的主要原因，故通常采取手段将热中子的数量降到最低。

VIII-10. 宝石在辐照前要经过清洗以去除所有污垢和表面污染。因为钠-24、锌-64、镧-140、钨-187 和金-198 等放射性核素会因为人的汗水和油脂，以及用于切割宝石的碳化钨钻头的切削部分而产生[VIII-12]。清洁可以减小活化产物的产生，否则，这些活化产物将需要在辐照后清除，并且可能需要作为放射性废物进行管理。在某些情况下，辐照后会进行进一步的清洗和去污。

VIII-11. 宝石通常使用与研究堆设计兼容的辐照容器分批辐照。辐照后，将含有辐照宝石的容器保存一段时间，以使短寿命活化产物衰变。大部分的短寿命活化产物是在辐照容器内产生的。在短寿命放射性核素衰变到可控处理辐照宝石的水平后，将辐照宝石从辐照容器中取出。辐照宝石的后续处理包括分析放射性核素浓度，以确定达到豁免水平所需的额外保存期。为达到豁免标准而出售予公众所需的衰变时间，可从数月至数年不等。

其他类型的辐照处理

VIII-12. 离子注入已被证明是提高泰国天然刚玉（包括蓝宝石和红宝石）质量的有效方法[VIII-6、VIII-13]。该过程包括在天然宝石中以低中能量注入氧离子和氮离子。根据注量的不同，注入可以改变宝石的颜色，改善宝石的颜色分布、透射和光泽。这项技术仍处于发展阶段，尚未投入商业应用。

辐照宝石的生产

VIII-13. 每年有大量的黄玉和少量钻石接受辐照。这种黄玉的辐照处理已经被证明是一种商业的成功[VIII-5]。宝石辐照的数量受经济条件和消费需求而波动。研究堆的技术容量允许每个研究堆每年辐照 2000—4000 公斤（1000—2000 万克拉）宝石。

辐照后的残余放射性

中子诱发的活化产物

VIII-14. 宝石中杂质的种类和数量取决于宝石的种类和来源。这些杂质在辐照过程中被活化,在大多数情况下,产生半衰期相对较短的活化产物。黄玉的活化产物以铯-134 为主,常见的活化产物有钠-22、钷-46、锰-54、锌-65 和铯-134 (见表 VIII-2)。在辐照后短期内,这些主要放射性核素的活度浓度可达每克几百贝可。也可能产生磷-32 和硫-35 等纯 β 发射体。由于这些同位素的半衰期相对较短,能量较低(产生硫-35 的情况下),而且它们的豁免值比 γ 发射体活化产物的豁免值高得多,因此较少受到监管方面的关注。

VIII-15. 也可能存在一些不太重要的放射性核素(就黄玉而言,见表 VIII-2)。这些放射性核素的活度浓度通常小于 10 贝可/克。通过在辐照前用硝酸清洗宝石,可以减少或消除宝石表面杂质中的活化产物,如切割和抛光过程产生残余的油。如果存在表面污染,辐照后的宝石应进一步去污。

表 VIII-2. 辐照后黄玉中发现的放射性核素[VIII-8]

主要放射性核素	半衰期(天)	不太重要的放射性核素	半衰期(天)	不太重要的放射性核素	半衰期(天)
铯-134	114.50	铷-74	17.78	钷-233	27.00
钠-22	949.00	钡-133	3905.50	钷-151	1.18
钷-46	83.85	铈-139	137.50	铈-86	18.60
锰-54	312.50	铈-141	32.50	铈-183	70.00
锌-65	243.80	钴-85	70.78	铈-122	2.72
铯-134	751.90	钴-60	1923.55	铈-124	60.20
磷-32	14.28	铬-51	27.70	铈-125	1011.05
硫-35	87.90	铁-59	44.50	锡-113	115.10
		铟-181	42.39	铈-85	64.84
		汞-203	46.59	铈-160	72.30
		铈-192	74.02	铈-91	58.50
		铈-95	34.97	铈-95	64.02

VIII-16. 尽管对于同一宝石类型，其放射性核素的活度浓度也是变化的，且需要详细的分析技术（例如 γ 能谱）来确定其必要的衰变贮存期。在某些情况下，对不同宝石的中子辐照会产生相同的放射性核素，例如黄玉和钻石。

电子诱发的放射性核素

VIII-17. 高能电子可通过光中子反应诱发宝石中产生放射性；例如，一个光子与一个钠-23 相互作用并将其转化为钠-22。在这个核反应中释放的自由中子可以产生另一种放射性核素，例如把铯-133 变成铯-134。

VIII-18. 这些光—中子反应只发生在一定的能级以上，因此被称为阈值反应。这会产生几种不同的放射性核素，通常是由于能量在 7—18 兆电子伏特之间的光子导致的。一般来说，原子质量越低，引发反应所需的光子能量越高，释放的中子数越少，产生的放射性核素半衰期越短[VIII-12]。对于大多数宝石材料，如果电子束能量保持在 12 兆电子伏特以下，产生的放射性核素的半衰期就会很短，故其放射性能在几周内衰减到本底水平。高能电子处理产生的放射性核素包括氟-18、钠-24、铬-49、镓-58、铜-64 和锆-69。然而，由于它们的半衰期相对较短（ ≤ 1 天），并不总是对其进行主动鉴别。

辐射剂量

VIII-19. 辐照和加工设施的工作人员在辐照宝石向公众出售之前从事和处理辐照宝石的工作，其受照被认为是具有相应剂量限值的职业照射。在某些环境下需要控制眼晶体剂量，故可能需要特别注意那些操作辐照宝石的工人。零售商和消费者因只接触活度符合豁免水平的辐照宝石，故归类为公众（即不接受职业照射）。

VIII-20. 对公众来说，主要的受照是由于佩戴辐照宝石制成的首饰所导致的外照射[VIII-9、VIII-14]。在运输和供应含有豁免活度浓度放射性核素的宝石过程中，接受的剂量更小[VIII-14]。支持这一观点的相关材料已在美国出版[VIII-15、VIII-16]。

VIII-21. 英国的一项研究[VIII-9]分析了从直接向公众销售的经销商处采集的 5000 多件宝石样品。所有样品中均未发现残留的活化产物。作为该研究的一部分，还分析了一批用电子束辐照的黄玉中所谓的“流氓”宝石，以确定未经控制地辐照宝石的可能后果。对皮肤年当量剂量的估计主要考虑如

下两种情况：最严重的情况是全年佩戴宝石（如戒指），第二种情况是宝石每天佩戴宝石 3 小时，每月佩戴 30 天（如手镯或吊坠可能是这种情况）。

VIII-22. 全身有效剂量 E 可通过公式 VIII-1 计算：

$$E = A_{skin} \times w_T \times \frac{D_{skin}}{A_{body}} \quad (\text{VIII-1})$$

式中，

A_{skin} 是辐照的表面面积；

w_T 是皮肤的组织权重因子（ 10^{-2} ）；

D_{skin} 是皮肤当量剂量；

A_{body} 是人体皮肤总面积（成人为 1.8×10^4 平方厘米）。

估计 1 平方厘米皮肤的最高剂量为 3 希伏特/年，相应的年有效剂量约为 2 微希伏特/年。对于偶然佩戴的情况，佩戴流氓宝石的年有效剂量计算为小于 0.01 微希沃特到 0.02 微希沃特。

VIII-23. 美国核管会评定了[VIII-12、VIII-14]符合国家规定[VIII-17]豁免活度浓度的辐照黄玉中副产物导致的个人外照射剂量。5 种在辐照宝石中发现的最常见活化产物的豁免活度浓度同 GSR Part 3[VIII-11]给出的相应豁免水平的对比见表 VIII-3。该研究指出，大约 60% 的个人年剂量可归因于铯-137 的存在，其余 40% 由钷-147 和铯-134 同等贡献，镭-226 和钷-147 的贡献极小。

表 VIII-3. 辐照宝石中最常见的活化产物与豁免活度浓度比较

活化产物	10 CFR 30[VIII-17] 豁免活动浓度值 (贝可/克)	GSR Part 3[VIII-11] 豁免活动浓度值 (贝可/克)
钐-46	14.8	10
锰-54	37	10
锌-65	37	10
铯--134	3.3	10
铊-182	14.8	10

VIII-24. 在连续佩戴 30 克拉（6 克）宝石（每天 24 小时，365 天）时，1 平方厘米皮肤接受的当量剂量约为 15 毫希沃特¹。对应的年有效剂量为 0.01 微希沃特量级。这是第一年的估计剂量，由于放射性核素的半衰期短，今后几年的个人剂量将大大减小。计算可能会高估剂量，原因有二：(1) 没有考虑宝石装配所提供的屏蔽；(2) 提供给公众的宝石中测到的活化产物实际浓度通常比豁免值低至少两倍。

VIII-25. 使用 Microshield 软件[VIII-18]对表 VIII-3 所列的五种关注的放射性核素进行了类似的计算。对一颗 30 克拉（6 克）的无装配宝石在几种不同照射假想方案下进行了计算，包括皮肤、乳房和眼晶体的照射。假设每个活化产物的活度为 GSR Part 3[VIII-11]表 VIII-3 中给出的最大豁免值，即每个放射性核素为 10 贝可/克。计算得到的最高年有效剂量同其他报告的计算值相似，即小于 0.01 微希沃特。对乳房和晶状体的剂量至少要低一个数量级。

¹ 该报告计算中，假设一年 365 天，每天佩戴 8 小时，皮肤受照面积为 10 平方厘米，计算得到个人年剂量当量为 50 毫雷姆/年（等于 0.5 毫希沃特）。

附件 VIII 参考文献

- [VIII-1] Ashbaugh, C.E., III, “宝石辐照和放射性”, 《宝石和宝石学》第 24 4 期 (1988 年) 第 196—213 页。
- [VIII-2] 沙姆沙德, A., “核辐射对钻石和其他宝石的增值 — 恐惧和安全考虑”, 《原子促进和平国际杂志》第 2 4 期 (2009 年) 第 409—418 页。
- [VIII-3] NASSAU, K., “宝石强化”, 巴特沃思·海涅曼, 牛津 (1994 年)。
- [VIII-4] 国际原子能机构《研究堆的应用: 1999 年 10 月 4 日至 7 日在维也纳举行的咨询组会议报告》, 国际原子能机构《技术文件》第 1234 号, 国际原子能机构, 维也纳 (2001 年)。
- [VIII-5] BAITELESOV, S.A., IBRAGIMOVA, E.M., KUNGUROV, F.R., SALIKHBAEV, U.S., “VVR-钷中子谱对天然黄铜矿放射性和颜色的影响”, 《原子能》第 109 5 期 (2011 年) 第 355—361 页。
- [VIII-6] Intarasiri, S. 等, “通过离子束、表面波对当地天然宝石进行宝石改造”, 《表面涂层技术》第 203 17—18 期 (2009 年) 第 2788—2792 页。
- [VIII-7] Tang, S.M., Tay, T.S., “猫眼金绿宝石中子辐照的放射性”, 《物理研究核仪器仪表和方法》第 B 150 期 (1999 年) 第 491—495 页。
- [VIII-8] Ashbaugh, C.E., “放射性和辐射处理宝石”, 《放射化学》第 2 1 期 (1991 年) 第 42—57 页。
- [VIII-9] 欧洲委员会《欧盟对含有放射性物质消费品的审查》, 《辐射防护》第 146 号, 欧洲共同体官方出版物办公室, 布鲁塞尔 (2007 年)。
- [VIII-10] 国际标准化组织《医疗保健产品灭菌 — 辐射 — 第一部分: 医疗器械灭菌过程的开发、验证和常规控制要求》(ISO 11137-1:2006), 国际标准化组织, 日内瓦 (2006 年)。
- [VIII-11] 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）。

- [VIII-12] Nelson, K., Baum, J.W., “辐射黄玉的健康风险评定”，第 Nureg/CR-5883 号报告，BNL-Nureg-52330，布鲁克海文国家实验室，纽约（1993 年）。
- [VIII-13] CHAIWANG, C., YU, L.D., Schinarakis, K., Vilaithong, T., “氮离子注入对红宝石和蓝宝石光学性质的改造”，《表面涂层技术》第 196 1—3 期（2005 年）第 108—112 页。
- [VIII-14] 美国核管制委员会《源和副产品材料豁免的系统放射学评定》，第 NUREG-1717 号报告，核管制研究办公室，华盛顿特区（2001 年）。
- [VIII-15] 美国核管制委员会《资料表：辐照宝石》，公共事务办公室，华盛顿特区（2008 年）。
- [VIII-16] 美国核管制委员会《美国核管制委员会信息公告第 2009-12 号，辐照宝石豁免发布执照申请要求》，联邦和州材料和环境管理计划办公室，华盛顿特区（2009 年）。
- [VIII-17] 美国核管制委员会《副产品材料国内执照申请的通用规则》，联邦法规第 10 篇第 30 部分，美国政府出版办公室，华盛顿特区（2008 年）。
- [VIII-18] Microshield 软件版本 7.02（07-msd-7.02-1388），格罗夫软件公司，<http://www.radiationsoftware.com>

附件 IX

比利时对宝石的辐照与辐照宝石销售的监管办法

概述

IX-1. 钻石和半珍贵宝石通过辐照可以改善其外观，从而可以增加经济价值。出于这个原因，它被广泛应用。

IX-2. 从辐射防护的角度来看，这种实践可能会导致许多人受到辐射照射。这包括专业参与辐照实践的人员、操作辐照后宝石的人员（由于潜在的污染和/或活化）以及作为最终用户的公众成员。

IX-3. 本附件讨论了比利时与宝石辐照有关方法的考虑因素，以及这种实践可能产生的辐射防护问题。

背景

IX-4. 历史上，从 20 世纪初到 20 世纪 60 年代，比利时一直采用将宝石嵌入镭盐中的辐照方法。由于距离当时世界上一个最大的镭提取厂（矿业联合会，奥伦）很近，因而镭的容易获取可能影响着这种方法的相对普遍使用。安特卫普市是世界重要的钻石贸易中心，离这里只有几公里远，许多钻石都是在镭厂周围的农村小工厂中切割和抛光的。

IX-5. 比利时核研究中心（MOL）的 BR-2 研究堆也在许多年间（1960—1990 年代）进行了宝石的中子辐照。

IX-6. 这些宝石辐照的活动从来不作为授权的专门对象，也没有针对辐射防护的正当性进行明确的研究。

IX-7. 20 世纪 90 年代，一些单一的放射性钻石以及成批的钻石受到了辐射防护主管当局的注意。第一个事件是在德国发现了一批从安特卫普进口的活化黑钻石。随后，在德国和比利时也发现了一些类似的钻石，偶然也发现了半珍贵的宝石。除了一些历史上用镭盐照射过的绿色钻石外，没有一颗宝石在比利时经过处理。

现行政策

IX-8. 在发现活化和受污染的钻石后，进行的调查使辐射防护主管部门意识到，在它们不知情的情况下已经或仍有辐照实践进行。

IX-9. 一些找到的宝石显示出有明显的表面污染，表面剂量率可能达到不可接受的高值（高达数十微希沃特/小时）。新时尚将宝石应用于身体各个部位或牙齿表面，使宝石与皮肤或粘膜紧密接触，在最坏的假想方案下，这可能导致的辐射风险是远远不能忽略的。

IX-10. 与负责比利时核研究中心的经济事务部达成协议，停止了 BR-2 研究堆的商业宝石辐照。这项禁令很大程度上是严格适用当时适用的《基本安全标准》第 2.22 段¹。

IX-11. 此外，经济事务部和代表该方面的安特卫普钻石委员会达成协议，同意除非接触剂量率低于 0.2 微希沃特/小时，否则不得销售辐照宝石，无论其来源如何。该值相当于比利时平均天然本底剂量率的两倍。辐射防护的皇家法令被修改为认可这种所谓“允许的限值”。²

¹ 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、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 115 号，国际原子能机构，维也纳（1996 年）。

第 2.22 段指出：

“除涉及医疗照射的正当实践外，下列实践无论是通过有意添加放射性物质或通过活化商品使得产品活度增加，均被视为非正当性：

- (a) 涉及食物、饮料、化妆品或任何其他拟供人摄入、吸入或经皮肤摄入或人用的商品或产品的实践；及
- (b) 涉及在玩具、个人珠宝或装饰品等商品或产品中轻率地使用辐照或放射性物质的实践。”

² 《2001 年 7 月 20 日皇家法令》第 64 条规定了保护公众、工作人员和环境免受电离放射性危害的一般规定。

实际安排

IX-12. 除了偶尔进行现场检查外，安特卫普钻石委员会提供的取得证书的钻石还通过专门设计的小型门式探测器进行放射性的系统筛选。如有报警，必须通报辐射防护主管部门。下一步要进行确认测量。如果确认实践超出了允许的限制，钻石将从商业圈中撤出并被没收。

IX-13. 业主被告知这一事实，告知其权利和可能采取的进一步措施，以及其（经济）责任。

IX-14. 业主的一个选择是决定进行去污³，这将必须在核研究中心进行。如果活化产物的主要部分位于宝石的表面和表面上的微小裂缝中，那么去污就会相当成功，情况经常是这样的。如有必要，可重复此步骤。如果由于去污使得受照剂量率降至 0.2 微希沃特/小时的限值以下，那么（在支付了去污过程的费用后，包括放射性废物的管理），钻石将返还给业主。

IX-15. 业主也可以选择将宝石放入核研究中心的保险箱中对激活的宝石进行衰变贮存。为了估计所需的贮存时间，几乎肯定要先对放射性污染进行谱分析。当钻石的活度和表面剂量率充分降低并支付了贮存和测量费用之后将返回给业主。

IX-16. 如果确认放射性活度超过允许限值，业主可以免费将激活的宝石移交给核研究中心，在那里它们可以用于科学目的，但永远不能商业化。

IX-17. 业主也可以选择将这些宝石指定为放射性废物，在这种情况下，它们将被销毁，费用由业主承担。

IX-18. 所有这些步骤和安排，包括运输，都是高度结构化、安全和严格记录的。辐射防护主管当局系统地了解每一项决定或测量结果，并有权决定将宝石免除监管控制，以供进一步商业使用。

³ 在宝石领域被称为“深度煮沸”。它使用强酸或强碱的混合物进行，在这种混合物中宝石在几百摄氏度的氛围中被“煮沸”。

结束语

IX-19. 在过去十年中,发现人工辐照宝石的频率显著下降,而且在极少的报告案例中,现在这些宝石的放射性更低。很难说这些观察能否反映出宝石辐射安全的真正改善。

参与起草和审订人员

Boal, T.	国际原子能机构
Colgan, P.A.	国际原子能机构
Gusev, I.	国际原子能机构
Janssens, A.	欧洲委员会
Konnai, A.	国际原子能机构
Lazo, E.	经济合作与发展组织核能机构
Millar, J.	美国国际同位素公司
Paynter, R.	英国公共卫生署
Ridikas, D.	国际原子能机构
Salikhbaev, U.	乌兹别克斯坦核物理研究所
Siraky, G.	国际原子能机构
Varley, K.	国际原子能机构
Waud, B.	国际原子能机构
Wrixon, A.	顾问（英国）
Zimmermann, H.	德国 Zimmermann BCS Stones 公司

当地订购

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

北美

Bernan / Rowman & Littlefield

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

世界其他地区

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商:

Eurospan Group

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

交易订单和查询:

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

单个订单:

www.eurospanbookstore.com/iaea

欲了解更多信息:

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

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至:

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

通过国际标准促进安全

国际原子能机构
维也纳