

# 国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

## $\gamma$ 、电子和X射线照射 设施的辐射安全

### 特定安全导则

### 第SSG-8号



**IAEA**

国际原子能机构

# 国际原子能机构安全标准和相关出版物

## 国际原子能机构安全标准

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

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

有关国际原子能机构安全标准计划的资料可访问以下国际原子能机构因特网网站：

[www.iaea.org/zh/shu-ju-ku/an-quan-biao-zhun](http://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](mailto: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。

## $\gamma$ 、电子和 X 射线照射 设施的辐射安全

## 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 SSG-8 号

# $\gamma$ 、电子和 X 射线照射 设施的辐射安全

特定安全导则

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

## γ、电子和 X 射线照射设施的辐射安全

国际原子能机构，奥地利，2022 年 11 月  
STI/PUB/1454  
ISBN 978-92-0-509522-6（简装书：碱性纸）  
978-92-0-509622-3（pdf 格式）  
ISSN 1020-5853

# 前言

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构制定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。

原子能机构认真对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<sup>1</sup>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。

<sup>1</sup> 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。

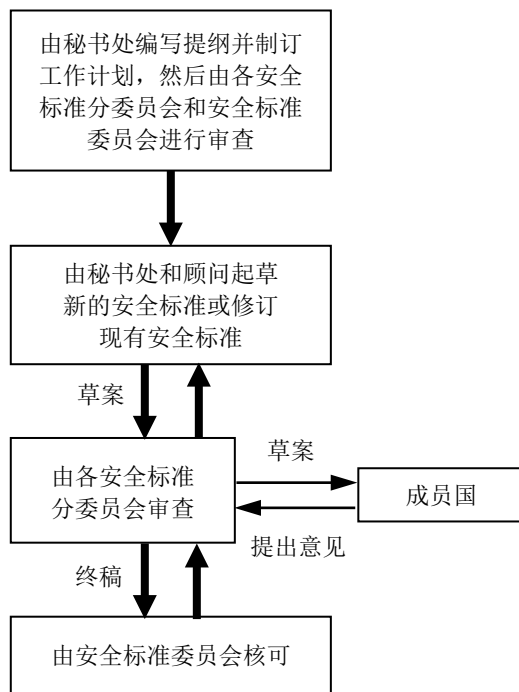


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

## 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

<b>1. 导言 .....</b>	<b>1</b>
背景 (1.1-1.5).....	1
目的 (1.6).....	2
范围 (1.7).....	2
结构 (1.8-1.10).....	2
<b>2. 实践的正当性 (2.1-2.4) .....</b>	<b>3</b>
<b>3. 辐照器的类型 .....</b>	<b>4</b>
$\gamma$ 辐照设施 (3.1-3.6).....	4
带有辐射发生器的辐照设施 (3.7-3.9).....	7
<b>4. 实践的主要要素 .....</b>	<b>10</b>
实践的通知和批准 (4.1-4.2).....	10
营运组织的职责 (4.3-4.12).....	11
管理和组织责任 (4.13-4.37).....	12
本地规则 (4.38).....	20
培训和教育 (4.39-4.47).....	22
<b>5. 对工作人员的个人监测 .....</b>	<b>24</b>
个人剂量评定和记录 (5.1-5.12).....	24
剂量调查 (5.13-5.16).....	26
<b>6. 工作场所监测 .....</b>	<b>26</b>
对工作场所的监测 (6.1-6.2).....	26
辐射测量仪和辐射监测仪 (6.3-6.8).....	27
维护和校准 (6.9-6.12).....	29
辐射测量仪的使用 (6.13-6.16).....	30
辐射测量记录 (6.17-6.20).....	31
<b>7. 对放射源的控制 (7.1-7.7) .....</b>	<b>32</b>
<b>8. 辐照器设计(8.1).....</b>	<b>34</b>
$\gamma$ 射线、电子和 X 射线辐照器 (8.2-8.47) .....	34
$\gamma$ 辐照器 (8.48-8.97).....	43
电子束辐照器和 X 射线辐照器 (8.98-8.120).....	52
设施改造 (8.121-8.122).....	56

<b>9. 设备的试验和维护 (9.1-9.2)</b> .....	<b>56</b>
每周试验 (9.3) .....	57
月度试验 (9.4-9.5) .....	58
半年一次的试验 (9.6) .....	59
放射源泄漏试验 (9.7-9.11) .....	59
记录 (9.12-9.14) .....	60
设施维护和改造 (9.15-9.26) .....	61
<b>10. 放射源的运输、装卸</b> .....	<b>62</b>
运输 (10.1-10.2) .....	62
放射源装卸 (10.3-10.8) .....	63
<b>11. 应急准备与响应</b> .....	<b>64</b>
制定应急计划 (11.5-11.12) .....	65
应急设备 (11.13-11.14) .....	67
应急培训 (11.15-11.17) .....	68
对应急计划的定期评审 (11.18-11.19) .....	68
<b>参考文献</b> .....	<b>69</b>
<b>参与起草和审订人员</b> .....	<b>73</b>
<b>国际原子能机构安全标准核可机构</b> .....	<b>75</b>



# 1. 引言

## 背景

1.1. 从发电到医药、工业和农业用途，电离辐射的应用给人类带来了许多好处。电离辐射的辐照器具有各种有益的应用，例如食品辐照和医疗产品消毒。然而，电离辐射也可能是有害的，除非其得到适当的控制。工业辐照器在辐照期间产生非常高的剂量率，使得误入辐照室<sup>1</sup>中的人可以在几分钟甚至几秒钟内接收致命剂量。

1.2. 各个国家的 $\gamma$ 辐照器都发生过几起死亡事件。此外，几个国家的电子束辐照器也发生过严重的过照射。原子能机构已经对上述事故和其他事故进行了调查，并发表了一份关于经验教训的报告[1]，以便今后能够防止类似事故的发生。

1.3. 参考文献[1]中描述的事故涉及工作人员在不知道高剂量率的情况下进入辐照室。 $\gamma$ 辐照器还有其他潜在的辐射危害，包括来自受损放射源的污染、放射源从源架上脱落、运行放射源的事故、火灾和安保漏洞。

1.4. 《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》（《基本安全标准》、BSS）[2]规定了保护人们免受电离辐射和辐射源安全的基本要求<sup>2</sup>。在辐照设施实施这些规定是为了防止这里所述类型的事故发生，并在一般情况下尽可能的提供最佳的防护和安全措施。在考虑到经济和社会因素的情况下，照射程度、被照射的可能性以及被照射的人数应当控制在合理可行尽量低的水平。

1.5. 除非另有说明，所使用的术语具有原子能机构《安全术语》（2007年版）[3]中所赋予的涵义。

---

<sup>1</sup> 辐照室是辐照器中被辐射屏蔽所包围的区域，在使用辐射源时无法进入。

<sup>2</sup> “辐射源”一词包括放射源和辐射发生器。原子能机构安全标准中使用的“辐射”是指电离辐射。

## 目的

1.6. 本“安全导则”的目标是提供辐照设施如何满足《基本安全标准》[2]要求的建议。本“安全导则”就 $\gamma$ 、电子和X射线辐照设施的安全设计和运行提供了具体、实用的建议，供营运组织、设计者以及监管机构使用。

## 范围

1.7. 本“安全导则”涵盖包括商用的、用于研究或开发的五种类型的辐照器。本“安全导则”涉及辐射安全问题，不涉及辐照器的使用，也不涉及产品<sup>3</sup>的辐照或其质量管理。这五种辐照器是：

- 全景干源贮存辐照器（见图1）；
- 水下辐照器，其中源和被辐照的产品都在水下（见图2）；
- 全景湿源贮存辐照器（见图3）；
- 电子束辐照设施，其中在人员有可能接近但在辐照过程中无法接近的区域进行辐照（见图4）；
- X射线辐照设施，其中在人员可能接近但在辐照过程中无法接近的区域进行辐照（见图5）。

考虑与辐射无关的风险和辐照器的应用带来的好处不在本“安全导则”的范围之内。放射治疗和辐射成像也不在本“安全导则”的范围内。I类 $\gamma$ 辐照器（即“自屏蔽”辐照器）不在本“安全导则”的范围内。

## 结构

1.8. 按照本“安全导则”第3部分中所述的辐射类型、可接近性和屏蔽的方法对辐射设施的设计进行分类；第4部分讨论辐照实践的通报和批准、营运组织的责任和一般辐射安全问题；第5部分和第6部分分别介绍了对工作人员的个人监测和对工作场所的监测。

---

<sup>3</sup> 本文中的产品是指拟被辐照的物体或材料。

1.9. 第 7 部分介绍了控制放射源的安保措施；第 8 部分涉及辐照设施的设计和运行安全方面；第 9 部分讨论设备的测试和维护。

1.10. 第 10 部分的重点是放射源的运输和装卸；第 11 部分涉及应急准备和响应。

## 2. 实践的正当性

2.1. 《基本安全原则》[4]规定的基本安全目标是保护人类和环境免于电离辐射的有害影响。原则 4 “设施和活动的合理性”规定：“引起辐射危险的设施和活动必须能够产生总体效益”。这项原则被视为实践正当性的既定原则，辐照设施的运行就是一个例子[2]。

2.2. 《基本安全标准》[2]所确立的辐射防护实践的基本要求是：说明实践的正当性、个人剂量限值以及防护与安全的最优化。实践正当性的基本要求如下：

“除非实践对受照个人和社会带来的利益足以弥补该实践可能引起的辐射伤害；也就是说，除非在考虑了社会的、经济的和其他相关因素后，该时间是正当的，否则不应为该实践或实践中的源授权”（见参考文献[2]第 2.20 段）。

2.3. 当这一原则首次正式表达时，许多实践（例如辐照器的运行）已经得到广泛使用，而且一般而言，其正当性是绝对的。在正常情况下，辐照器的设计、建造、运行和维护对工作人员和公众带来的剂量可以忽略不计。然而，如上所述，由于事故，辐照器运行过程中偶尔会导致工作人员受到的剂量超过规定的限值。此外，辐照器的运行还带来其他辐射风险，包括与放射源安保、放射源运输以及放射源的最终处置有关的风险。

2.4. 在考虑到国家优先事项的情况下，辐照器运行是否正当取决于具体情况和使用辐照器的利益；因此，无法就正当性提出明确的建议。最后，相应的政府机构应对辐照器的运行是否正当逐案作出决定，应在确定具体实践正当性时权衡与使用辐照器有关的利益和风险。政府当局也可在一般基础上对所有特定类型的辐照器作出关于在该国运行该辐照器是否正当的决定。

## 3. 辐照器的类型

### $\gamma$ 辐照设施

3.1. 就本“安全导则”而言，根据设施的设计，特别是辐射源的可达性和屏蔽特征，定义了四大类 $\gamma$ 辐照器<sup>4、5</sup>。本“安全导则”不涉及第I类 $\gamma$ 辐照器（即自屏蔽辐照器），因为就辐射安全而言，它们是不同的。就本“安全导则”而言，相关的 $\gamma$ 辐照器包括第II类（全景干源贮存辐照器）、第III类（水下辐照器）和第IV类（全景湿源贮存辐照器）。

#### 第II类（全景干源贮存辐照器）

3.2. 全景干源贮存辐照器是一种控制人进入的辐照器，其中放射源被封装在由固体材料构成的干容器中，在不使用时被完全屏蔽<sup>6</sup>，在运行期间通过进入控制系统保持一个不可进入的区域（图1）。

3.3. 干源贮存设施一般由一个内置的或一个由固体材料制成的可运输的放射源贮存容器组成。插入物、支架和其他硬件用于固定或保持诸如源保持器<sup>7</sup>、导杆或电缆以及各种其他功能的管道等。

3.4. 受高剂量率照射的辐照器部件应能抵抗辐射损伤。靠近放射源的表面应易于去污，所使用的材料应耐腐蚀，冶金上应相互兼容，并与包括放射源包壳在内的其他部件兼容<sup>8</sup>。辐照器应设计为能在正常使用条件、预计运行事件和火灾等可能的事故条件下保持辐射屏蔽的完整性。

#### 第III类（水下辐照器）

3.5. 自给式湿源贮存辐照器是一种放射源贮存在水池中的辐照器，放射源在任何时候都被屏蔽，并且在其设计构造和正常使用模式中，人与放射源和正在被辐照的物体之间受到物理隔离（图2）。

---

<sup>4</sup> 历史上，四类 $\gamma$ 辐照器都是用罗马数字I-IV表示的。 $\gamma$ 辐照器的类别不应与原子能机构的放射源分类[5]中使用的类别相混淆，该分类使用阿拉伯数字1-5。

<sup>5</sup> 在本文中，术语“放射源”可以适用于一个单独的密封源，也可以共同适用于源阵列中的多个放射源。

<sup>6</sup> “完全屏蔽”是指贮存源的条件使得辐照室中的剂量率最优化，从而允许工作人员占用房间。

<sup>7</sup> 放射源保持架是辐照器的部件，放射源位于其中，包括任何固定螺钉、销、夹子等。

<sup>8</sup> 源舱是密封源的保护外壳，防止放射性物质泄漏。

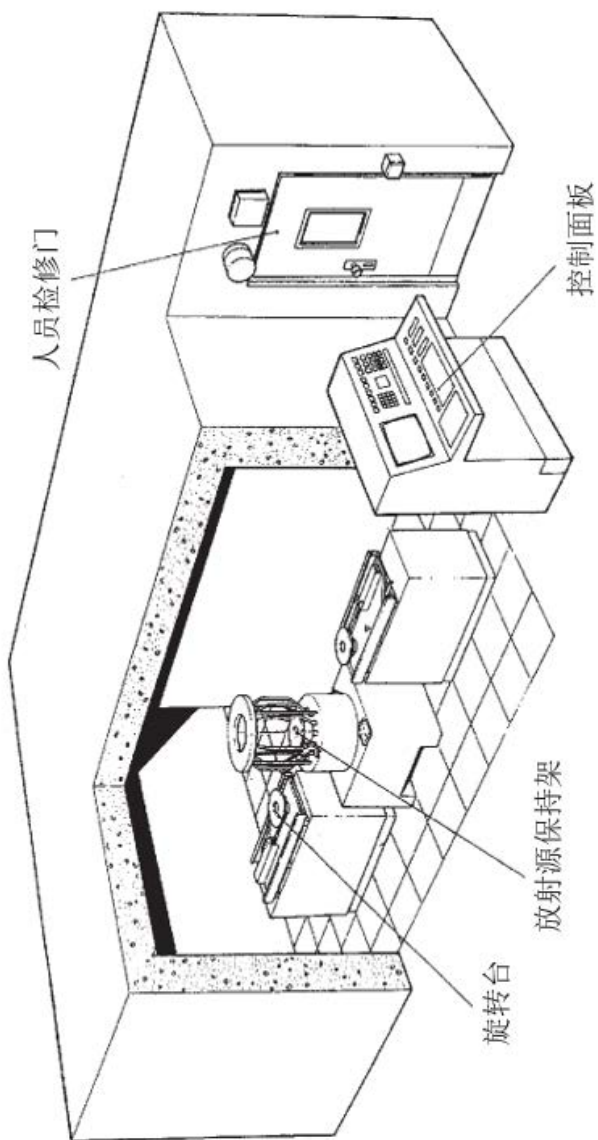


图 1. 第 II 类  $\gamma$  辐照设施：全景干源贮存辐照器。

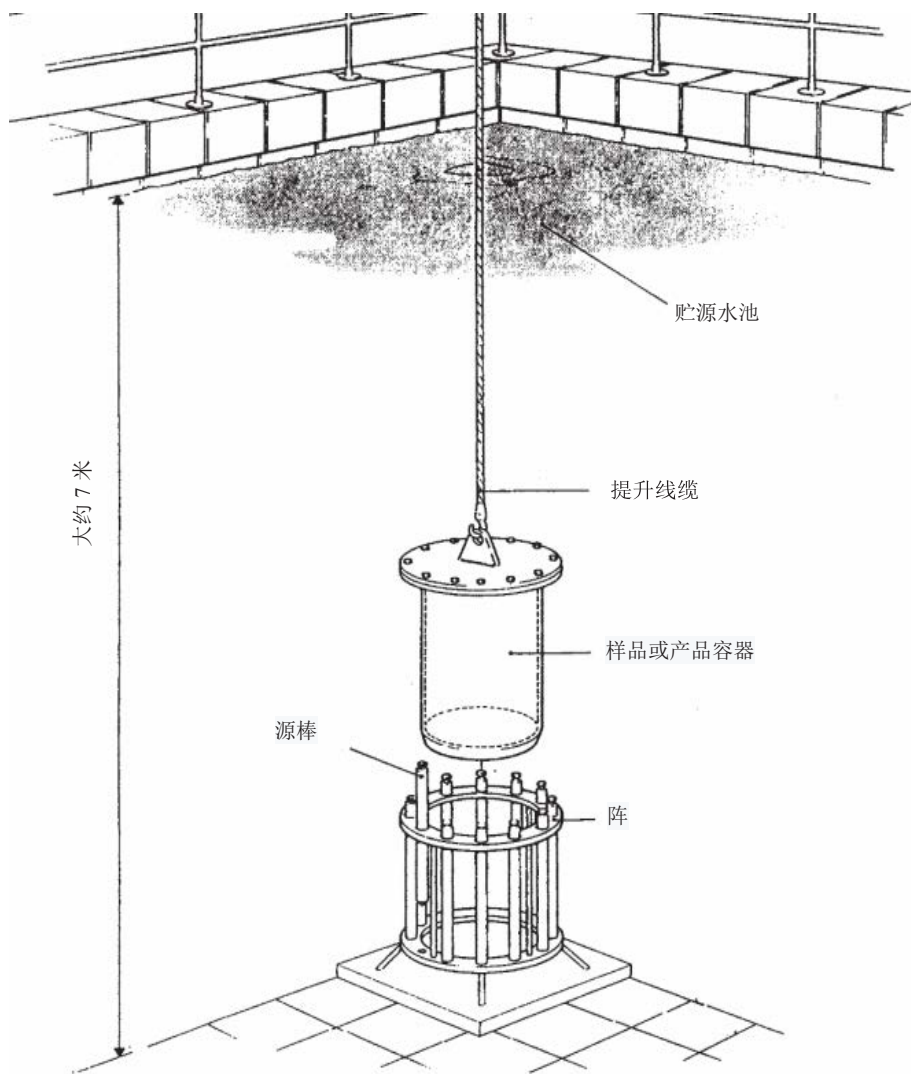


图2. 第III类 $\gamma$ 辐照设施: 水下辐照器。

#### 第 IV 类（全景湿源贮存辐照器）

3.6. 全景湿源贮存辐照器是一种控制人进入的辐照器，在不使用时放射源被贮存在完全屏蔽的水池中。运行期间的源在辐照室内，通过入口控制系统保持辐照室不可接近（图 3）。

#### 带有辐射发生器的辐照设施

3.7. 类似的分类可应用于使用辐射发生器的辐照器，其中 I 类辐照器是具有安全联锁<sup>9</sup>的整体屏蔽单元。第 I 类电子束辐照设施和 X 射线辐照设施不在本“安全导则”的范围内。第 II 类装置安装在屏蔽室中，在运行期间通过入口控制系统确保屏蔽室无法进入（图 4 和图 5）。

3.8. 具有辐射发生器的辐照器包括在真空系统中加速电子的设备。电子束用于直接照射产品，或者在 X 射线辐照器中，电子束被引导照射靶以产生照射产品的 X 射线。

3.9. 第 II 类电子束辐照器和 X 射线辐照器可能产生与  $\gamma$  辐照器无关的辐射防护问题，涉及中子辐射场和材料活化。这些问题产生的阈值取决于多个因素，以品材料和靶材料为例，通常仅在 10 兆电子伏以上的电子束能量和 5 兆电子伏以上的 X 射线辐照器能量时有显著效果。

---

<sup>9</sup> 安全联锁装置是一种工程设计装置，通过防止进入控制区或自动消除危险原因来防止个人接触。

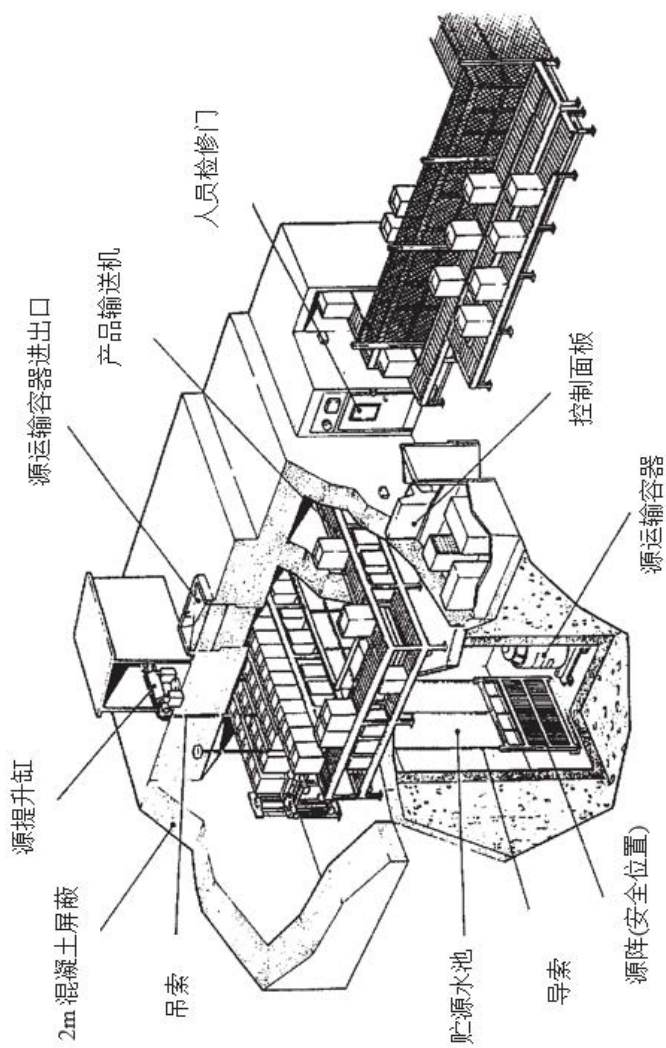


图 3. 第 IV 类  $\gamma$  辐照设施：全景湿源贮存辐照器。



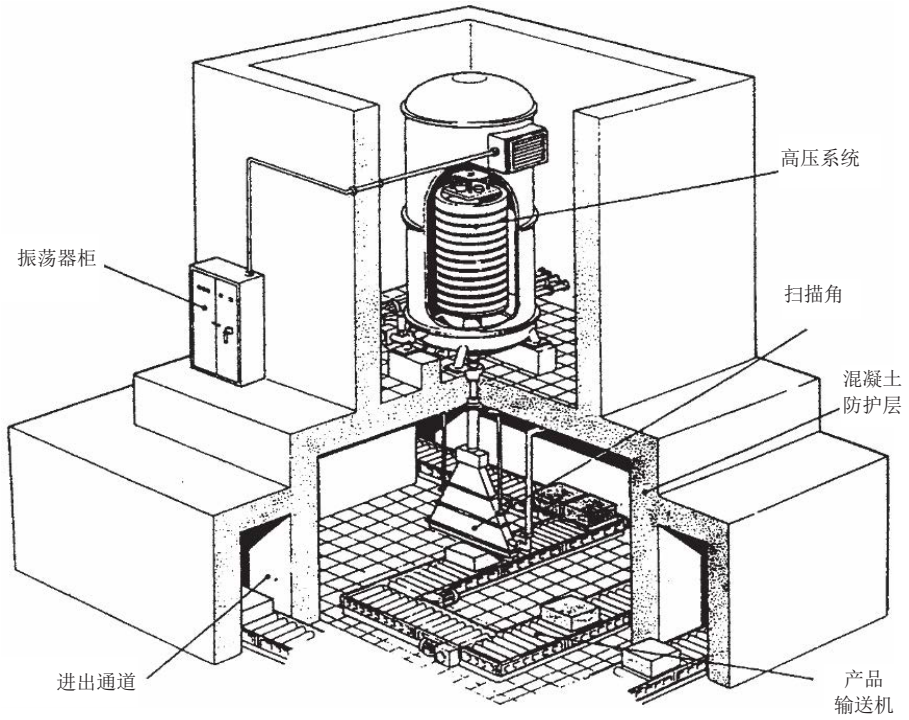


图 4. 第 II 类电子束辐照设施：在辐照过程中无法进入屏蔽室的装置。

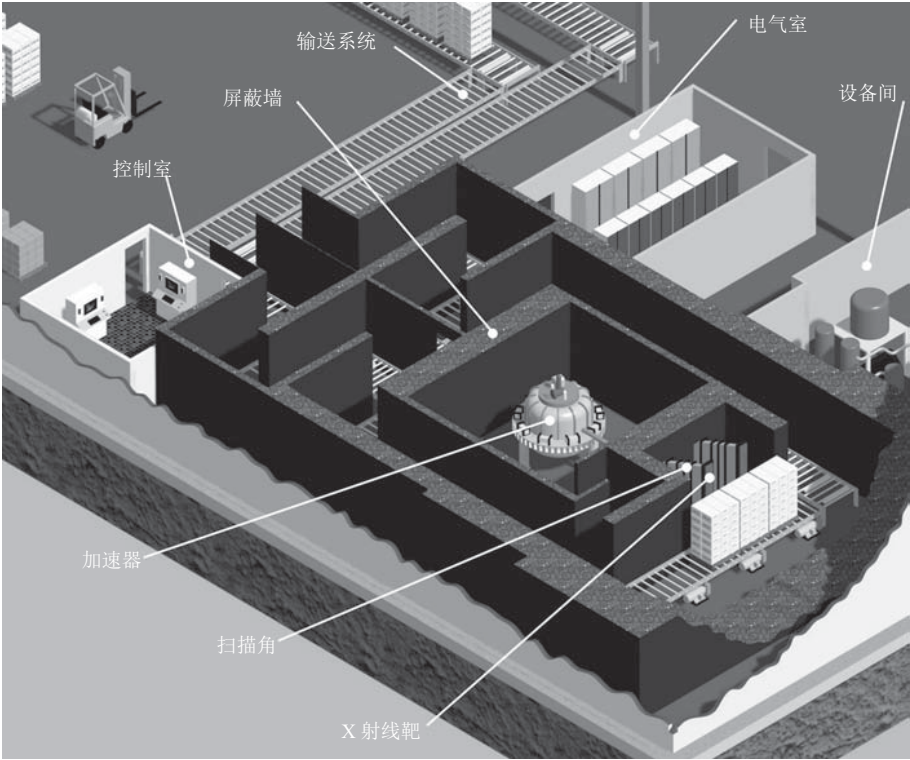


图 5. 第 II 类 X 射线辐照设施：在辐照过程中无法进入屏蔽室的设备（空间化学国际提供）。

## 4. 实践的主要要素

### 实践的通知和批准

4.1. 《基本安全标准》[2]第 2.10 段和第 2.11 段要求，打算建造或运行辐照设施的个人或组织告知监管机构，并提交批准申请。此申请应包含可证明实践安全性的信息。参考文献[6]中讨论了申请中应提供的信息的类型和数量。本“安全导则”[7]补编了有关于编写辐照器批准申请及其随后由监管机构评审的具体指导意见。根据《基本安全标准》[2]第 2.11 段和第 2.12 段的要求，考虑到辐照器运行中涉及的风险，监管机构发放的批准应采取许可证的形式，而不是注册的形式。

4.2. 营运组织在实施任何可能对辐照器的辐射防护产生重大影响的改造之前，应获得监管机构的批准。还应酌情与辐照器、放射源和关键部件的制造商联系，了解辐照器的拟议改动（见第 9.15 段）。

## 营运组织的职责

4.3. 营运组织的管理人员负责辐照器的运行及其安全。至于新设施，营运组织须获得监管机构发放的辐照器的选址、设计、建造、购置、贮存和运行的许可证。营运组织按照规定要求负责辐照器的运行。

4.4. 辐照器的营运组织应确保设施的设计符合第 4.13—4.16 段中规定的辐射安全目标，以及监管机构在选址和评价、建造、安装、运行、维护和退役方面的任何更具体的安全要求。应通过以下方式实现：

- 聘用合格的辐射安全专家，该专家应根据监管机构规定的标准获得认证，并了解辐照设施的安全设计；
- 确保提供下列物品：
  - 安全系统设计和运行的详细说明，包括控制电路图；
  - 详细的运行程序和维护程序，包括检查安全和控制系统、常规监测和辐射调查的类型和频率；
  - 使用与设施相关的、风险级别相适应的正式分析方法进行安全评定。营运组织还应根据供应商提供的信息和营运组织自己的管理规定进行安全评定；
  - 如第 11 部分所述，在紧急情况下应遵循的指示和程序。

4.5. 辐照设施的营运组织应确保制造商、供应商和安装商提供的所有文件（运行手册、运行规则和程序以及应急程序）均以用户可以理解的当地语言提供。

4.6. 《基本安全标准》[2]附件 IV 第 IV.23 段中要求营运组织必须保证按照监管机构的规定向监管机构和其他有关部门酌情呈送或提供对防护和安全有重要意义的正常和异常操作资料。这些资料包括诸如维护数据、事件说明、有关材料和设备缺陷的信息、运行程序中的缺陷和纠正行动。营运组织应确保尽快获取任何制造商和供应商已知的此类新信息。营运组织有必要定期向制造商和/或供应商寻求这些信息，而不能依赖它们提供。

4.7. 设施的营运组织应确保建造和安装工作不会危及设施的安全。安装完成后,或在建造过程中的适当阶段,营运组织应确保在设备投产前有合格专家<sup>10</sup>对设备和所有部件进行彻底的严格的评审。应确保:

- 安全设施、警示标志和报警器已正确安装并正常运行;
- 工作人员和公众的辐射防护和环境保护是充分的。

4.8. 设施的营运组织应确保建造者或安装者向其提供关于设施的正常运行、维护和退役的充分信息。营运组织还应确保设计方、制造商、建造和安装方相互合作,为员工提供必要的理论和实践培训,使它们能够安全地工作。

4.9. 营运组织应允许监管机构检查其设施和相关记录。

4.10. 营运组织应将所有辐照器的拟议改造或关键人员的变动通知监管机构,特别是高级管理人员、首席辐射防护官员、合格专家和辐照器操作员。

4.11. 在放射源不再使用时,营运组织应将其转让或处置通知监管机构,并提交相应的计划。

4.12. 在辐照设施到达运行寿期时,营运组织应确保:结构和设备在处置或转售前没有放射性物质和污染;所有的放射源在退还给供应商或按照国家规定处置之前得到适当衡算<sup>11</sup>;而任何因去污而产生的放射性废物,均会按照监管要求处置。

## 管理和组织责任

### 概述

4.13. 营运组织应提供必要的人力和物力资源,以确保安全的工作条件并符合监管要求。

---

<sup>10</sup> 在本“安全导则”中,“合格专家”一词不加修改地在不同地方使用。应当指出,个人应当是与所述问题有关的某一领域(例如辐射防护或辐照设施的设计和操作)的合格专家。

<sup>11</sup> 在这方面,“衡算”是指实际检查所有放射源是否存在于其预定位置。这可以通过适当的辐射调查进行。

4.14. 营运组织应确保系统的全面的防护和安全。为实现这一目标，营运组织应建立和遵守辐射防护计划，其中包括管理层承诺发展和促进安全文化，鼓励以质疑和学习的态度对待防护和安全，并防止自满情绪。承诺中还应包括分配足够的时间、人员和设备。

## 辐射防护计划

4.15. 辐射防护计划的总目标是通过采用与辐射风险的性质和程度相称的管理结构、政策、程序和组织安排，履行管理部门在辐射防护和安全方面的责任。辐射防护计划代表了为实现辐射防护和安全业务部门的既定目标而采取的全部行动。因此，工作人员和公众接受的剂量应远远低于《基本安全标准》[2]规定的相关剂量限值。

4.16. 最优化原则的应用应是建立和执行辐射防护计划的主要推动力，包括防止或减少潜在照射的措施，并减轻事故后果。辐射防护计划的存在本身是不够的；管理人员和工作人员应表明它们对计划及其目标的持续承诺。原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.1 号[8]提供了关于建立和维持以保护工作人员为重点的辐射防护计划的详细指导。

## 辐射防护计划的结构

4.17. 辐射防护计划可包括一份最高级别的政策文件，辅以详细具体的程序或“本地规则”以及一个全面的记录系统。这些组成部分应包括以下内容：

- 一份政策文件，具体说明：
  - 目标；
  - 责任；
  - 培训；
  - 安全评定；
  - 质量管理。
- 程序和本地规则，包括：
  - 运行（例如，访问控制、启动和关闭程序）；
  - 维护和装卸放射源<sup>12</sup>；

---

<sup>12</sup> 这只适用于  $\gamma$  射线辐照设施。

- 放射源的运输（见脚注 12）；
- 个人监测；
- 培训；
- 放射源泄漏试验（见脚注 12）；
- 辐射监测器的试验；
- 由辐射防护官员进行例行检查；
- 由合格专家进行评审和安全评定；
- 对可视和可听警报的响应；
- 事故报告和调查；
- 应急响应。

— 记录系统，包括：

- 批准文件、营运组织与监管机构之间的任何通信；
- 负责辐射防护计划的批准人姓名；
- 安全评定报告；
- 运行日志；
- 辐射防护官员对安全系统的例行检查；
- 个人剂量（当前和以往的工作史）；
- 工作场所监测结果；
- 辐射监测试验报告；
- 放射源泄漏试验结果（见脚注 12）；
- 放射源清点（见脚注 12）<sup>13</sup>；
- 放射源转移记录（见脚注 12）；
- 事件和事故调查报告；
- 对辐射安全计划的评审（由一名合格专家进行）；
- 安装、维护和维修工作；
- 设施改造；
- 提供的培训（初训和复训）；

---

<sup>13</sup> “清点”是指开展一场运动，通过使用序列号等适当手段具体和独特地识别每一个放射源，对由个人或组织负责的所有放射源进行实物检查。

- 放射源的运输（见脚注 12）：
  - 运输文件；
  - 污染调查和辐射水平调查；
- 处置或归还放射源（见脚注 12）；
- 培训记录，其中应包括以下信息：
  - 接受指导或培训的人员姓名；
  - 提供指导或培训的机构或个人的名称；
  - 指导或培训的日期和时长；
  - 所涉及主题的摘要或清单；
  - 考试结果；
  - 培训证书复印件。

## 安全评定

4.18. 为了遵守《基本安全标准》[2]第 IV.3 段要求，应使用一种正式的安全评定方法，如概率安全评定（PSA）。国际放射防护委员会第 76 号出版物给出了概率安全评定技术在工业辐照装置中的应用实例。原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.10 号[10]提供了概率安全评定方法导则。

4.19. 2003 年，原子能机构的一个合作研究项目研究了将概率安全评定技术应用于放射源的优势和局限性。该研究将概率安全评定技术应用于第 IV 类  $\gamma$  辐照装置。项目成果见 IAEA-TECDOC-1494[11]。

4.20. 营运组织应向监管机构展示辐照设施利于事故预防或减轻事故影响的设计和 Related 运行程序中。这些信息应以书面安全评定的形式提供，说明和评价设施对事故的预期响应（包括假想故障或设备故障、共因故障和人为错误）和外部事件的预测反应。这些分析应包括考虑此类故障、失效、错误和事件的组合。

4.21. 在安全评定中需要研究的问题包括：

- 失去出入控制；
- 结构、系统和部件的故障和失效；
- 失去对放射源移动系统的控制，包括放射源架卡在无屏蔽位置（见脚注 12）；

- 失去系统或部件的完整性，包括屏蔽完整性、密封源的封装和水池的完整性（见脚注 12）；
- 配电故障，从局部故障到外接电源完全丧失；
- 设施内火灾造成的安全系统失效；
- 风暴、洪水、地震或爆炸等外部原因造成的安全系统失效；
- 人员未能遵守适当、安全的程序（无论出于何种原因）；
- 防止未经授权人员进入设施的程序的明细；
- 行政程序失效，导致不安全作业；
- 检测污染；
- 在预计不会有高辐射水平的地点，辐射水平较高。

## 安全核实

4.22. 《基本安全标准》[2]第 2.38—2.40 段要求进行用以核查是否遵守安全标准的要求所需参数的监测和测量。《基本安全标准》[2]还要求对于此目的的设备进行适当维护，并必须在适当的时间间隔用可追溯到国家或国际标准的各种标准进行校准。

4.23. 营运组织应进行定期评审，以核实是否符合监管机构的要求。然而，监管机构对确保其管辖范围内的实践始终符合监管要求负有总体责任。监管机构在辐照器投入使用时进行的评审，以及在辐照器运行期间定期进行的评审，都应是核实过程的一部分。IAEA-TECDOC-1526[12]载有关于检查辐射源和监管执法的一般资料，包括工业辐照器检查清单的例子。

## 辐射防护官员

4.24. 辐射防护官员应是营运组织指定负责监督安全标准要求遵守情况的、在辐射防护事项上对特定类型辐照器具有相关技术能力的人员。辐射防护官员在协助营运组织履行辐射安全职责方面发挥监督作用。首席辐射防护官员应直接向高级管理人员报告，并应有充分的权力履行其职责。



4.25. 在运行责任（如实现生产目标的责任和辐射安全责任）之间存在潜在冲突的情况下，应始终优先考虑辐射安全要求。任何时候都应至少配备一名辐射防护官员，但不一定要亲自到场。除了一名首席辐射防护官员外，辐照设施通常还会有几名辐射防护官员，它们全天在设施内轮班工作。营运组织应根据监管要求将辐射防护官员的任命通知监管机构。

4.26. 虽然辐射防护官员监督安全标准的实施，但安全的首要责任仍然在于营运组织。《基本安全标准》[2]第 1.9 段指出，营运组织必须承担主要责任，按照安全标准的有关要求制定防护与安全目标，并制定、实施和记录防护与安全纲要。这些责任不能下放给辐射防护官员或合格专家。辐照设施辐射防护官员的职责应包括以下内容，其中一些可能需要与合格专家协商或得到其协助：

- 确保向所有辐照器操作员、维护人员、承包商和其他有关个人和组织提供当地语言的运行说明副本，并确保他们阅读、理解和遵守这些说明；
- 查明控制区和监督区；
- 控制进入控制区；
- 优化照射控制，维护有助于控制工作人员和公众照射的工程特征和其他设备；
- 决定是否需要对可能怀孕女雇员的照射作出任何特别限制；
- 安排测试固定辐射监测器，并校准和试验辐射测量仪；
- 保存放射源的记录（见脚注 12）以及有关的培训和安全记录；
- 进行例行辐射调查和环境监测；
- 监督个人剂量计的发放和归还，并评审剂量测定结果；
- 安排放射性物质泄漏的法定试验（见脚注 12）；
- 如第 9 部分所述，对安全系统、警报信号和报警器以及设施的一般条件进行定期安全检查；
- 就辐射防护事项和设施物理或运行方面的重大变化与承包商、设计者和供应商联络；
- 酌情为辐照器操作员、维护人员、承包商和其他工作人员安排辐射防护培训；

- 确保对任何可合理预见的对辐射防护有影响事故进行充分的安全评定和应急计划；
- 安排定期演习，检验这些应急计划的有效执行情况；
- 调查设施内的任何事件，包括未遂事件，例如：
  - 受定期质量控制的任何运行参数超出为运行条件确定的正常范围；
  - 导致或有可能导致剂量超过规定剂量限值的任何设备故障、失效、错误、异常事件或情况（如放射源未能返回屏蔽位置）。

### 辐照器操作员

4.27. 辐照器操作员是与特定辐照器最密切合作的工作人员，它们通常对辐照器的安全运行负有日常责任。只有合格的辐照器操作员才有权运行辐照器。

4.28. 合格的辐照器操作员应：

- 完成监管机构认可的培训课程；
- 了解辐照器的基本设计、运行和预防性维护，以及辐照器日常和应急操作的书面程序；
- 了解辐照器周围所有区域的剂量率；
- 了解有助于放射源安全的特性，如锁、张贴的标志、警示灯、视觉和声音信号以及安全连锁系统；
- 了解辐射探测仪器仪表和个人监测的要求；
- 能够安全运行辐照器，并保持必要的运行日志和记录；
- 了解与辐照器管理有关的总体组织结构，包括辐照器运行的具体批准和责任。

### 其他工作人员

4.29. 除合格的辐照器操作员外，营运组织还应雇用其他工作人员从事一系列日常工作。这些工作包括将产品搬进和搬出辐照室、可能影响辐射安全的内务工作和日常维护活动。这些工作人员安全履行职责的能力应由辐射防护官员核实。

4.30. 可能有其他工作人员在某一设施临时提供服务的情况；例如在装载和卸载放射源期间，或在发生机械故障时（见脚注 12）。这些作业的安全在一定程度上取决于设施中负责辐射防护的人员和提供服务的人员之间的合作。在许多情况下，服务将由放射源供应商或辐照器设计者提供。可向辐照器设计者或放射源制造商等外部组织授予具体批准，允许其开展辐照器正常运行范围之外的具体活动。然而，放射源在现场时的安全责任归根结底在于营运组织。

### 合格专家

4.31. 合格专家是指根据适当委员会或学会出具的证明、专业证书或学术资格和经验，被正式承认在相关专业领域具有专门知识的个人，这些领域如医学物理学、辐射防护、职业卫生、防火安全、质量保证或任何相关的工程学或安全专业。

4.32. 营运组织可指定一名或多名合格专家，就设施设计和运行中与辐射安全有关的各种事项提供咨询意见。合格专家不一定是营运组织的全职雇员，但可以是兼职或临时雇用的。但是，应作出安排，在必要时提供合格专家的咨询意见。与辐射防护官员一样，业务组织不能将其安全责任委托给合格专家。

4.33. 合格专家应具有辐射防护方面的经验，并应具备：

- 理论培训，包括辐照器使用的辐射特性培训；
- 彻底了解与辐射有关的危害以及控制和尽量减少这些危害的方法；
- 详细了解设施中的工作方法，以及其他类似设施中的工作方法；
- 详细了解所有监管规定、相关业务守则和防护标准、指导材料和其他必要信息，以便就营运组织开展的辐射工作提供咨询意见；
- 了解可能影响辐射工作的立法，由合格专家提供咨询意见；
- 提供咨询意见的能力，以使营运组织能够遵守规章并遵循良好的辐射防护实践；
- 与工作人员及其代表沟通的能力；
- 有能力跟上合格专家提供咨询意见的辐射应用领域的最新发展和辐射防护方面的最新发展。

4.34. 营运组织应向合格专家提供专家有效工作所需的信息和资源。资料中应明确说明专家应提供的咨询意见的范围。

4.35. 营运组织可就与辐射安全有关的广泛问题征求合格专家的意见，这些问题包括：

- 防护和安全最优化；
- 维护工程设施和其他设备；
- 剂量测定和辐射监测；
- 调查异常高的风险和超额风险；
- 工作人员培训；
- 安全评定和应急安排；
- 评审任何新建工厂或房舍的计划，或现有工厂或房舍的改建计划；
- 对辐射防护系统进行独立评审；
- 质量管理；
- 进行应急演练；
- 紧急情况后的援助。

4.36. 《基本安全标准》[2]第 2.31 段要求制定一些合格专家，并使其就遵守《基本安全标准》[2]事宜提供咨询。

4.37. 《基本安全标准》[2]第 2.32 段指出，注册者和许可证持有者必须向监管机构通报为获取就遵守《基本安全标准》[2]事宜提供意见所需专家评定作出的安排。所提供的信息必须包括任何指定的合格专家的职能范围。

## 本地规则

4.38. 营运组织应确保合格的辐照器操作员和其他工作人员完全理解运行说明。运行指令至少应包括：

- 说明设施造成的危害的性质和用于尽量减少危害的安全特征；
- 提及书面应急程序的存在和地点；

- 说明营运组织内关键人员，包括合格专家和辐射防护官员在辐射安全方面的职能、职责和责任；
- 执行运行指令和确保设施安全运行的方法。这应包括：
  - 检查和试验程序的说明和时间表，以确保与辐照器相关的所有安全联锁系统和部件正常工作。应规定每一安全项目及其相应的试验、检查和检验。
  - 要求在控制台提供运行程序，并在醒目位置张贴应急程序。
- 确保进入控制区的人员佩戴适当的辐射监测装置并记录监测结果的方法；
- 控制进入控制区的方法，并确保只有合格的辐照器操作员才能在适当时间使用辐照器。这可以涉及控制对运行控制台键的访问和对包含运行控制台的房间的进出口的访问，或者防止访问的其他活动方法。应控制运行控制台钥匙，以确保进入辐照室的合格辐照器操作员在运行区域内只有一把钥匙可以启动或提供访问。备用钥匙应保存在远离控制室附近的安全位置，如在高级经理控制下的保险箱中；
- 关于发生故障时应采取的行动的书面指示。这些指令应确定在发生故障时应通知的人员，并提供所要采取的纠正措施的概要。必要的纠正措施可能涉及正常维护程序范围之外的辐照器安全系统的技术方面；它们还可能涉及操纵工具和设备，有可能导致人员受到过量辐射。任何此类纠正措施只应由经过专门培训并经批准从事此类工作的人员或在此类人员监督下的人员尝试。在采取此类纠正措施后，人员绝不能单独进入辐照室。设施的安全运行将取决于合格的辐照器操作员是否遵循制造商或供应商规定并经监管机构批准的明确界定的程序；
- 确保辐照器按制造商的规定进行维护的书面说明，特别注意确保产品定位系统<sup>14</sup>、产品盒和载具的所有部件继续符合设计规范。例如，应确保使用了正确的产品盒或载具，并将其保持在不会导致辐照器故障的状态下；

---

<sup>14</sup> 产品定位系统是将产品传送到辐照室周围并经过待辐照的辐射源的装置。

- 书面指示，要求辐照器操作员在进入辐照室时携带便携式辐射测量仪。每次进入房间之前，应使用检查源来核实测量仪表是否在运行。当需要校准或修理监测器时，应提供类似的备用测量仪表；
- 书面指示，要求辐照器操作员检查工厂条件的所有目视指示器是否显示进入辐照室是安全的。此外，还应制定程序，以便在人员进入辐照室时使用便携式辐射测量仪连续监测辐射水平。

## 培训和教育

4.39. 对工作人员的培训和教育要求应与它们在辐照器运行方面的工作职责相称。受过培训的工作人员类别通常包括：

- 负有一线责任的管理人员；
- 辐射防护官员；
- 合格的辐照器操作员；
- 可能被要求进入控制区履行职责的其他工作人员，如为产品移动、日常维护和内务管理的目的而被要求进入控制区的其他工作人员。

4.40. 在紧急情况下可能需要提供援助的人员应接受培训，使它们熟悉该设施及其运行可能产生的危害。这应包括消防、警察和医疗机构的人员。

4.41. 营运组织应确保向可能进入控制区或监督区的妇女提供有关辐照对胚胎或胎儿的风险以及一旦怀疑怀孕即通知其雇主的重要性的信息。

4.42. 辐射防护官员和合格专家应就工作人员的培训需要以及如何能最好地满足这些需要提供咨询意见。在许多情况下，辐射防护官员可以提供许多必要的培训。

4.43. 《基本安全标准》[2]第 I.4(h) 段要求雇主和营运组织确保“提供适宜而足够的人力资源和相应的防护和安全培训，并根据需要定期进行再培训和更新，以确保达到必要的能力水平”。

4.44. 可能遭受职业照射的工作人员应接受以下专题的培训：

- 辐射的性质；

- 辐射对健康的危害；
- 防护的基本原则和方法（例如时间、距离、屏蔽）；
- 测量辐射场和测量单位；
- 对视觉和声音警告信号和警报应采取的行动；
- 在紧急情况下应采取的行动。

4.45. 《基本安全标准》[2]第 2.30(a) 段要求营运组织确保“所有同防护与安全有关的人员均应受过相应的培训和具有相应的资格，以致们能理解其职责并能根据所确定的程序做出相应的判断，以履行其责任”。

4.46. 除上述主题外，营运组织还应确保合格的辐照器操作员和辐射防护官员了解和理解以下内容：

- 辐照器的功能，包括安全特征；
- 适用法规；
- 许可证条件；
- 辐射防护计划；
- 个人监测和工作场所监测的要求；
- 对放射源的问责制、控制和安全的的要求；
- 安全评定中确定的危害；
- 本地规则；
- 紧急情况下应遵循的程序；
- 涉及辐照器的事故或问题的案例记录。

4.47. 营运组织应准备并保存所有员工的初训和复训记录。这些培训记录应包括以下信息：

- 接受指导或培训人员的姓名；
- 提供指导或培训的机构或个人的名称；
- 指导或培训的日期和期限；
- 所讨论专题的摘要或清单；
- 考试结果；
- 培训证书复印件。

培训记录应提供给培训的接受者，特别是在一个人转到另一个雇主的情况下。

## 5. 对工作人员的个人监测

### 个人剂量评定和记录

5.1. 《基本安全标准》[2]第 I.33 段和第 I.34 段分别指出：

“对于通常受雇于控制区的任何工作人员或偶尔在控制区工作但可能接受较大职业照射的任何工作人员，在适当、适宜和可行时，必须接受个人监测。”

“对于定期受雇于监督区的或偶尔进入控制区的任何工作人员，虽不要求进行个人监测，却应该评定工作人员的职业照射。这种评定应该基于工作场所或个人的监测结果。”

5.2. 对于辐照设施，控制区应包括：

- 水下  $\gamma$  辐照器（第 III 类）：辐照器所在的房间；
- 全景  $\gamma$  辐照器（第 II 类和第 IV 类）：辐照室和辐照室屋顶；
- 电子束辐照器（第 II 类）和 X 射线辐照器（第 II 类）：辐照室。

5.3. 下列区域应指定为监督区，除非情况证明有必要将其指定为控制区：

- 水下  $\gamma$  辐照器（第 III 类）：控制室；
- 全景  $\gamma$  辐照器（第 II 类和第 IV 类）：产品进出区和服务区，如源架吊车所在的区域、水处理室和控制室；
- 电子束辐照器（第 II 类）和 X 射线辐照器（第 II 类）：产品进出区、服务区、供电室和控制室。

5.4. 这些区域的指定应定期评审，并可在放射源装卸的初始安装、维护和运行期间更改或延长。



5.5. 对外部辐射照射进行单独监测计划旨在表明对工作人员的照射受到控制，为优化防护提供信息，并核实工作程序是否充分。原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.3 号[13]提供了关于建立外部辐射照射监测计划、选择适当剂量计、分析结果、记录保存和质量管理的指导。

5.6. 例行进入控制区的辐照器操作员、辐射防护官员和维护人员应接受个人剂量监测。这些人应佩戴全身监测器（例如胶片徽章、热释光剂量计、光激发发光剂量计）。

5.7. 应根据监管机构的要求，与辐射防护官员或合格专家协商，选择对工作人员的个人照射进行监测的工具和程序，包括所需剂量计的类型和必要的更换频率。剂量计应由监管机构授权的实验室或公司提供和处理，并可追溯到监管机构批准的标准剂量测定实验室。

5.8. 营运组织应作出安排，以确保以法规要求中规定的方式为每个工作人员保存剂量记录。营运组织应确保在员工离职时向其提供个人剂量记录，并在其他时间向个人提供。

5.9. 营运组织应制定程序，说明个人剂量计的管理方式，这些程序应包括以下内容：

- 从剂量测定实验室订购和接收剂量计；
- 向受监测的工作人员分发剂量计；
- 收集和发送剂量计到剂量测定实验室进行处理；
- 评审和维持剂量记录。

5.10. 营运组织应为未使用的个人剂量计提供适当的贮存设备；这些贮存设备应保护剂量计免受意外照射和不利的的环境条件，如极端温度和/或湿度。个人剂量计不应贮存在剂量率高于正常本底水平的任何区域附近。剂量计不应通过使用 X 射线的邮件检查系统。

5.11. 应要求受监测的工作人员妥善保管其剂量计，并采取预防措施，保护其免受损失、盗窃、篡改或损坏以及意外照射。工作人员应在规定的佩戴期结束后及时归还剂量计。如果剂量计丢失或损坏，或在未佩戴时受到照射，工作人员应立即通知辐射防护官员。

5.12. 如果剂量计丢失，营运组织应采取一切合理措施予以恢复。如果无法找到剂量计，营运组织应进行调查，并应编写一份报告，其中应包括工作人员在相关时间段内所受剂量的估计数。在一些成员国，在将此类估计数输入个人剂量记录之前，可能需要得到监管机构的批准。

## 剂量调查

5.13. 营运组织应指示工作人员，如果他们知道或怀疑他们受到高水平辐射，应立即通知辐射防护官员。如果有个人佩戴了个人剂量计，应立即将其送交剂量测定实验室，并应将案件的紧迫性通知实验室。

5.14. 辐射防护官员应迅速检查个人剂量计读数的结果，以确定是否报告了任何出乎意料的高剂量，并确定个人是否在考虑到其工作量和任何剂量限值的情况下，将其剂量保持在合理可达尽量低水平。

5.15. 每当记录的剂量超过调查水平时，营运组织应按照监管机构的要求进行正式调查。调查应在事件发生后尽快开始，并应就其原因编写一份书面报告。该报告应包括对所收到的任何剂量的确定或核实，纠正或缓解措施的详细情况，以及关于如何避免复发的指示或建议。

5.16. 应在监管机构要求的适当时限内向所有有关各方提交报告。

## 6. 工作场所监测

### 对工作场所的监测

6.1. 《基本安全标准》[2]第 I.37 至 I.39 段中规定：

“如果监管机构提出要求，则注册者和许可证持有者（如有必要，要与雇主合作）必须在合格专家和辐射防护官员的监督下制定、维护并坚持评审工作场所的监测计划。

“工作场所的监测性质和频度必须：

(a) 足以能够：

(i) 评价所有工作场所的放射防护状况；

- (ii) 从事控制区和监督区内的照射评定；
  - (iii) 评审控制区和监督区的划分情况；和
- (b) 取决于周围剂量当量和放射性浓度的水平（包括预期的涨落和潜在照射的可能性和大小）。

“工作场所监测纲要必须说明：

- (a) 拟测量的量；
- (b) 拟测量的位置和时间以及测量频度；
- (c) 最适当的测量方法和程序；和
- (d) 参考水平和超过参考水平时拟采取的行动。”

6.2. 为了评定和控制职业照射，有必要了解各工作区的剂量当量率。工作场所辐射调查的主要目的是提供有关这些区域剂量率的信息。这些信息将被用于指定该区域为控制区或监督区，并就其占用情况作出决定。

## 辐射测量仪和辐射监测仪

6.3. 原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.3 号[13]提供了为特定应用选择适当辐射测量仪表的指导，原子能机构关于工作场所监测辐射和污染的实用辐射技术手册[14]也提供了指导。

6.4. 对于便携式辐射测量仪，一般标准包括便携性（如重量、尺寸、物理配置）、耐用性、易用性和易读性、易维护性和可靠性。应提供适当的便携式 X 射线和  $\gamma$  辐射测量仪。在工作于 10 兆电子伏以上电子束辐照设施和工作于 5 兆电子伏以上的 X 射线设施中，也可能需要对中子进行监测。所使用的测量仪表应能清楚地指示辐照器正常运行期间所遇到的剂量率，并应具有令人满意的过载性能。应当指出，一些电离室也可能对射频辐射作出反应，但可能在加速器设施周围的测量中给出错误的读数。

6.5. 一些使用盖革—米勒探测器的辐射测量仪，特别是较旧的仪器仪表，在盖革—米勒探测器饱和时给出零读数。这是导致个人进入高辐射水平区域的一个因素，他们认为测量仪表上的零读数表明情况安全。用于测量辐照器处的外部辐射水平的任何测量仪表都不应为读数为零的类型饱和。这对于携带进辐照室以核实放射源完全屏蔽的仪器仪表尤为重要。

6.6. 一般而言，以下意见适用于辐照设施的仪器仪表选择：

- 固态探测器，特别是碘化钠探测器，适用于探测低辐射水平，例如在监测源蓄水池的水是否受到污染时可能发现的辐射水平（见脚注 12）。然而，碘化钠探测器通常不适用于剂量率测量，这主要是因为它们的高能量依赖性；
- 饼状盖革-米勒探测器针对  $\beta$  响应而设计，适合用于污染调查。然而，饼状盖革-米勒探测器对  $\gamma$  辐射的低效率使其不适合剂量率测量，例如在辐照器屏蔽测量中；
- 侧窗盖革-米勒探测器一般适用于剂量率测量，但其对  $\beta$  辐射相对不敏感，不适合污染调查；
- 使用电离室和能量补偿盖革-米勒探测器的测量仪表适用于剂量率测量，但其灵敏度往往低于侧窗盖革-米勒探测器。

6.7. 辐照设施还使用固定而非便携式的辐射监测器。具体而言，固定仪器仪表的应用是辐照室监测器和蓄水池水污染监测器（见脚注 12）。这些仪器仪表是固定的，不用于辐射调查。相反，这些器件应用作“通过-失败”指示器。即，如果辐射水平达到预设点，则仪器仪表触发报警条件。在这一应用中，照射率和污染水平没有量化。

6.8. 选择固定辐射监测器的标准与选择便携式监测器的标准相似。但是，在选择固定监测器时还需要考虑其他因素：

- **饱和度。**辐照室监测器被设计成在发生事故时探测高辐射水平（例如，当放射源预计处于完全屏蔽位置或电子束预计将被关闭时探测高辐射水平）。其他固定辐射监测器的设计目的是探测产品离开辐照室时的高辐射水平（见脚注 12），这可能表明放射性物质已经脱落并正在进行辐射房间。在这种情况下，故障条件下的高辐射水平可能饱和，并可能损坏探测器，使仪器仪表无法运行。为这些应用选择探测器时，应考虑探测器饱和时的辐射水平，以及发生故障时对监测设备和安全系统的潜在影响。请注意，如果仪器仪表在这种情况下发生故障，并不一定意味着特定的监测器监测器不适合此用途。如果系统设计为“故障安全”，那么探测器的故障会导致与高读数相同的结果（即拒绝进入辐照室），即使探测器损坏，仪器仪表也能达到其目的；

- 泳池水污染监测器的灵敏度。监测蓄水池的水是否受到污染（见脚注 12）需要使用一种灵敏的仪器仪表，在可行的最低水平上检测污染，以尽量减少污染的潜在扩散。通常，固态监测器，特别是碘化钠监测器，用于此目的。在考虑灵敏度的必要时，应考虑池水监测系统的设计。如果正在收集和监测水，则需要更灵敏的仪器仪表，如 5.1 厘米×5.1 厘米（2 英寸×2 英寸）碘化钠探测器。如果在水处理系统的监测点对池水的污染进行评价，而这些监测点预计会积聚污染，则 2.54 厘米×2.54 厘米（1 英寸×1 英寸）碘化钠探测器等灵敏度较低的探测器可能是合适的。

## 维护和校准

6.9. 便携式辐射测量仪应在首次使用前、修理后和按监管要求规定的间隔进行校准。使用前试验应包括仪器仪表过载性能试验；也就是说，应当对仪器仪表进行试验，以核实其在最大可预见剂量率范围内能否正常工作。

6.10. 校准后，应在仪器仪表上贴上标签，以提供信息，包括执行试验的组织名称、试核实书编号和试验日期或下次试验的到期日期（如适用）。试验应由一个保持可追溯到国家标准机构的参考辐射场的组织进行。

6.11. 固定辐射监测仪器仪表的校准与辐射测量仪的校准意义不同。由于固定仪器仪表的运行是“通过-不通过”，因此应定期对其进行运行试验，以确保其保持对相关辐射水平作出反应的能力。例如，可以每月使用检查源，以核实辐照室监测器和池水污染监测器（见脚注 12）是否做出了适当的响应。在某些应用中，如使用单通道分析仪监测池水污染，应定期校准仪器仪表，以确保监测器电压和窗口设置仍然适用。

6.12. 关于辐射测量仪表校准设施的建立和运行以及建议的校准程序的进一步资料见《安全报告丛书》第 16 号[15]。

## 辐射测量仪的使用

6.13. 辐射测量仪用于评价工作场所的辐射状况，特别是在下列情况下：

- 盾构测量。在设施开始运行之前，应对辐照室屏蔽以外的区域进行辐射勘测，对于全景辐照器，辐射源处于照射位置，或者对于电子束辐照器，电子束处于满功率状态。在引入新的放射源或改变电子束的方向、能量或功率水平后恢复运行之前，应每隔不超过三年对屏蔽以外的区域进行一次额外的勘测。对辐照室屏蔽结构的任何可能增加剂量率的修改也需要进行额外的调查；
- 蓄水池或储存容器调查。对于 $\gamma$ 辐照器，应对源蓄水池或干源储存容器上方的区域进行初始辐射调查。应在装载放射源之后但在设施开始运行之前进行调查；
- 关机后辐射水平调查。由于暗电流<sup>15</sup>以及加速器、屏蔽和辅助处理设备（例如，束停止器或产品定位系统）中存在的活化产物，即使在设施关闭之后，电子束照射设施和X射线照射设施的剂量率也可能暂时升高。在允许人员进入之前，应在这些区域进行辐射水平调查；
- 污染调查。污染调查的目的是在电子束设施和X射线设施中检测活化产物造成的污染，以防止其扩散。污染调查应按照行业标准进行。对于要记录调查结果并将其与以前或今后的调查结果进行比较的调查，应确保调查程序的一致性。

如果污染水平的任何明显变化不能归因于已知的原因，则应进行评定以确定原因。这种评价可包括：

- 核查调查仪器仪表是否正常运行；
- 重复调查，以核实污染水平的明显变化；
- 更频繁地进行调查；
- 与放射源供应商协商。

---

<sup>15</sup> “暗电流”是指当没有电流流向阴极但仍施加加速电压（即高电压）时，加速器产生辐射的情况。电子仍可能从冷阴极发射并加速，即使阴极没有电流，也会产生电子束。

6.14. 应根据合格专家或辐射防护官员的建议，每隔一段时间在设施周围的位置进行调查。以确认控制区和监督区的状况，并指出在控制辐射源方面的任何失误。

6.15. 辐照器操作员应首先进入辐照室，使用便携式辐射测量仪确定环境辐射水平。每次进入辐照室之前，应使用位于辐照室门附近的检查源（如  $1 \times 10^4$  贝克（0.27 微居里）铯-137）试验便携式仪表是否正常工作。

6.16. 当允许参观者进入辐照室时，应向他们发放个人剂量计。在探访前已勘察该地区的合格辐照器操作员，应护送所有访客。

## 辐射测量记录

6.17. 《基本安全标准》[2]第 I.40 段指出：

“注册者和许可证持有者（如有必要，要与雇主合作）必须保存工作场所的监测计划实施结果的相应记录，工作人员（和事实通过其代表）必须能获得此记录”

6.18. 关于辐射水平的报告应包括下列资料：

- 调查日期；
- 辐照器标识（制造商、型号和序列号）；
- 辐照器位置；
- 关于辐照器辐射源（即 X 射线或电子束）的资料，以及关于辐射发生器的辐射源强度或  $\gamma$  设施所使用的计算活度和放射性核素的资料；
- 关于测量仪表的资料（制造商、型号和序列号）；
- 测量仪表的校准日期；
- 测量仪表的校正系数、背景减法、换算或其他计算（如使用）；
- 调查人的姓名；
- 当辐射源在使用时和当辐射源被完全屏蔽或 X 射线或电子束被关闭时，辐射水平和屏蔽罩外的相应位置；
- 当放射源被完全屏蔽或 X 射线或电子束被关闭时，辐射水平和辐照室内的相应位置；

— 根据调查所得资料采取的任何行动。

6.19. 营运组织应保存设施内的污染记录。这些记录应提供给监管机构检查。一般而言，这些调查只应在中子场可能产生活化产物的 X 射线和  $\gamma$  辐照设施中例行进行。

6.20. 污染报告应包括以下信息：

- 调查日期；
- 辐照器标识（制造商、型号和序列号）；
- 辐照器位置；
- 关于辐照器辐射源（即 X 射线或电子束）的资料，以及关于机器产生的辐射源的辐射源强度的资料，或关于  $\gamma$  设施所使用的计算活度和放射性核素的资料；
- 关于测量仪表的资料（制造商、型号和序列号）；
- 测量仪表的校准日期；
- 测量仪表的校正系数、背景减法、换算或其他计算（如使用）；
- 调查和/或分析的人的姓名；
- 污染程度和相应地点；
- 造成污染的原因，如果已知的话；
- 根据调查所得资料采取的任何行动。

## 7. 对放射源的控制

7.1. 《基本安全标准》[2]第 2.34 段指出：

“必须始终注意源的安保工作，以防被盗窃和损坏，并且要防止任何未授证的法人从事在本标准关于实践的一般义务（见第 2.7—2.9 段）中规定的任何行动，为此要保证做到：

- (a) 如果不遵守注册证或許可证中规定的全部有关要求，并且未把源的任何失控、丢失、被盗或失踪的信息立即通知监管机构和相关的倡议组织（在合适时），则不能转让对源的控制；
- (b) 除非接收者具有有效的授权，否则不能转移源；



(c) 在适当的时间间隔内定期盘点可移动的源的库存，以证实这些源仍在指定的位置并且是安全的”

7.2. 《放射源安全和安保行为准则》[16]就第 I、II 和 III 类放射源的安全和安保问题向各国提出了国际认可的建议。

7.3. 辐照设施的辐射安全的主要目标是控制受辐射源辐射的照射。这应通过使用屏蔽来衰减辐射，并通过使用物理屏障、工程安全系统和执行程序来控制出入。放射源控制的安全方面和安保方面是相互关联的，许多旨在加强其中一个方面的措施也将加强另一个方面。

7.4. 为此，本“安全导则”第 4 部分（关于控制进入控制区的本地规则、程序和人员职责）和第 8 部分（关于辐射屏蔽、门、安全联锁、固定辐射监测器和进入钥匙）所述的许多措施，如主要旨在限制辐射照射的措施，也将有助于放射源的安保。对于正在使用的放射源，本“安全导则”中关于控制放射源引起的照射的规定应足以确保对无意或未经批准的非恶意破坏安保的行为进行控制。原子能机构《核安保丛书》第 11 号[17]提供了关于放射源安保的进一步指导。

7.5. 对不使用的放射源的安保特别关切。对暂时贮存在运输货包或其他屏蔽容器中的放射源的控制水平不应低于对使用中的放射源的控制水平。在某些情况下，辐照设施中存在的废弃放射源可被视为易受伤害的放射源。在退役的设施中贮存废弃的放射源是一种特殊情况，因为工作人员可能不再经常在该设施中。应作出规定，考虑到人员的间歇存在，以确保这种废弃放射源的安全。在所有涉及废弃放射源的情况下，应仔细考虑将废弃放射源移至贮存设施或处置设施，或移至另一个经批准的接收方，如制造商。

7.6. 《基本安全标准》[2]要求营运组织确保“除非接收者具有有效授权，否则不能转移源”（第 2.34(b) 段）。在将放射源转让给另一实体之前，营运组织应核实预定接受者是否拥有放射源的有效批准。当放射源在国家间转移时，应遵循《放射源安全和安保行为标准》[16]的有关建议和《放射源进出口辅助指南》[18]。

7.7. 应按照监管要求向监管机构报告丢失、被盗或失踪的放射源。

## 8. 辐照器设计

8.1. 辐照设施的设计应符合《基本安全标准》[2]第 2.24 段和第 2.25 段的要求, 这两段指出, 需要防护与安全的最优化, 以便在考虑了经济和社会因素后, 尽可能降低个人剂量、受照射人数和引起照射的可能性。适用于辐照设施及其辐射源设计的要求见《基本安全标准》[2]关于放射源安全(第 2.34 段)、纵深防御(第 2.35 段)和良好的工程实践(第 2.36 段)的主要要求。营运组织和供应商在辐照设施设计方面的责任在《基本安全标准》[2]第 IV.8-IV.14 段中规定。本“安全导则”第 8 部分的其余部分提供了有关将《基本安全标准》[2]要求应用于辐照设施设计的具体建议。

### $\gamma$ 射线、电子和 X 射线辐照器

#### 内部设计

8.2. 应选择辐照设施辐照室内的所有设备, 包括布线、电气设备、告示和照明, 以尽量减少因长时间受照而导致的故障。

#### 产品定位系统

8.3. 产品定位系统的故障会使辐射源移位或损坏, 导致辐射危害。应对产品输送带机构进行监控, 以确保正确运行, 任何故障应导致放射源架自动返回到完全屏蔽位置或导致电子束关闭。

#### 产品移动计时器

8.4. 应使用定时器监控产品经过辐射源的移动。如果产品未能在预定的时间间隔内移动, 则源架应自动返回到完全屏蔽的位置, 或者应关闭电子束, 产品定位系统应停止, 并应产生视觉和声音信号, 以提醒辐照器操作员注意故障。此功能有助于防止产品过热, 过热可能导致火灾。

#### 屏蔽作用

8.5. 工作人员和公众因运行辐照设施而受到的直接辐照应通过使用适当的屏蔽减至最佳水平。辐射屏蔽室常使用混凝土, 但也可使用其他材料, 如填土、钢和铅。某些材料的屏蔽性能已经很好地确立[19-25], 但应考虑到现有辐照设施的经验。屏蔽应适当降低辐射水平, 使剂量保持在监管机构确定或商定的剂量限值范围内。

8.6. 人员和产品的出入口以及通风系统和其他管道都需要穿透防护罩。这些穿透给屏蔽设计人员带来了特殊问题，他们应确保不存在直接辐射泄漏路径，并确保进出通道和屏蔽塞的使用足以将外部辐射场降低到最佳水平。当无法充分减少剂量时，应限制进入该区域。应注意确保充分评价所有重要的辐射路径，包括在 $\gamma$ 辐照设施的情况下，在放射源从屏蔽位置转移到工作位置期间出现的路径。在切实可行的情况下，所有喉管、软管及导管应采用弯曲或阶梯形路径穿过屏蔽材料，以降低外部辐射水平。

8.7. 在使用活性水平超过  $1.85 \times 10^{17}$  贝可（500 万居里）钴-60 或等同物的辐照器系统中，应评价屏蔽壁吸收的能量和由此产生的最高屏蔽温度。标准混凝土防护罩内的最高温度不应超过  $315^{\circ}\text{C}$  ( $600^{\circ}\text{F}$ ) [26]。还应评价干源存储容器中吸收吸收 $\gamma$ 辐射产生的热量，以确保屏蔽的完整性不受损害。此外，密封源的最高贮存温度不应超过制造商的规格。

8.8. 虽然本“安全导则”和其中引用的出版物中给出了屏蔽的一般指导，但为设计目的进行的所有屏蔽计算都应由专家进行。

8.9. 防护罩设计完成后，除非经过监管机构的仔细考虑和同意，否则不应进行后续更改。

### **进入辐射源和安全联锁系统**

8.10. 应特别注意第 II 类和第 IV 类 $\gamma$ 辐照设施、第 II 类电子束设施和 X 射线设施的辐照室的无障碍性。这些设施的设计应使人在放射源处于照射位置或电子束通电时不能进入辐照室。这种出入控制在很大程度上依赖于安全联锁系统的使用。

8.11. 人员在辐照后进入辐照室、在开始辐照之前确保辐照室的安全以及辐照开始程序应包括一系列顺序的安全联锁和控制。这种安全联锁和控制装置的设计应使任何抢占控制装置或不按顺序使用控制装置的企图都能自动阻止预期的运行。

8.12. 以下是这种顺序控制运行的示例：

— 人员准入：

(1) 确保控制台上的辐照室出入控制装置通电。

- (2) 核实辐照室监测器是否正常工作，并核实室内辐射水平是否可接受。
- (3) 使用多用钥匙打开检修门。
- (4) 进入辐照室时，用便携式辐射测量仪连续监测辐射水平。
- 在开始辐照之前固定辐照室的顺序：
  - (1) 确保辐照室无人值守，并确保辐照器机构正常工作。
  - (2) 启动安全延迟计时器。
  - (3) 非安全延迟计时器，则启动辐照室内的控制装置。
  - (4) 关闭并锁紧辐照室检修门。
- 辐照启动程序：在经过预设的安全延迟时间之前，用多用键启动控制台的源机架提升机构。

散热器现已完全运行，如果不停止散热器的运行，则不可能拆下多用途钥匙。

### 人员出入门安全联锁

8.13. 在开始辐照过程之前，应关闭并固定人员进出辐照室的门。检修门的安全联锁应集成到主控系统中，以便违反安全联锁系统或使用检修门将导致辐射自动终止。检修门安全联锁的任何违规或故障都应触发视觉和声音警报。打开人员检修门应禁用产生辐射的装置<sup>16</sup>。

### 备用访问控制 — 人员输入

8.14. 除了人员出入门的安全联锁外，辐照室的每个入口处都应有一个独立的后备控制装置，以便在放射源处于非屏蔽位置或电子束通电时检测人员的进入。备用访问控制的示例有压力垫、光束中断监测器（“光电眼”）和运动传感器。当辐射源照射或电子束通电时，人员对进入的探测应禁用产生辐射的手段，并应启动视觉和声音警报，使进入房间的人员意识到危险。

### 产品出入口安全联锁

8.15. 应在产品出入口提供适当的手段，以防止人员无意中进入高辐射区。实现这一点的方法包括使用只打开以允许产品通过然后立即关闭的门，以

---

<sup>16</sup> “禁用产生辐射的装置”是指确保源机架不能从完全屏蔽的位置升高，或者对于基于加速器的系统，确保禁用高压。

及使用要求产品载体始终存在于开口中并且如果不存在则导致违反安全互锁的监测器。端口应互锁，以便在进入或离开口口的控制机制发生故障或被覆盖、篡改时发出视觉或声音警报。应该摆明任何违反安全联锁系统的行为都会导致产生辐射。

### 备用访问控制 — 产品进出端口

8.16. 除了产品进出口岸的安全联锁外，每个产品进出口还应有一个独立的后备控制装置，以便在放射源未加屏蔽或电子加速器通电时检测人员的进入。示例包括压力垫、光束中断监测器（光电眼）、红外监测器和检测人的存在的其他手段。当辐射水平较高时，探测人员进入应禁用产生辐射的手段，并启动视觉和声音警报。

### 可拆卸的辐照室屏蔽插头

8.17. 可拆卸的辐照室屏蔽插头应与控制系统互锁，以便在拔下插头时禁用产生辐射的装置。为了防止篡改，安全联锁装置不应从辐射屏蔽外部进入。

### 带报警器的固定辐射监测器

8.18. 应提供一个监测系统，以监测辐照室内的环境辐射水平。当禁用产生辐射的方法时，应使用辐射监测器进行独立核实。监测器应与人员出入门的安全联锁集成，以防止监测器检测到高于预设水平的辐射、故障或关闭时进入辐照室。预设的警报级别应尽可能低，但应足够高，以避免出现错误警报。辐射监测器的设计应确保在探测器饱和的情况下，读数或输出不会变为零。在打开人员检修门之前，辐照器操作员应核实辐射监测器是否正在运行，其读数是否与辐射的背景水平相对应。

8.19. 如果辐射水平超过预设水平，监测器应启动视觉和声音警报。

## 控制台

### 访问键

8.20. 应设计辐照器控制，以便在正常使用中使用一个多功能钥匙来运行辐照器。此键应用于运行控制台和进入辐照室，也可用于启动安全延迟计时器。

8.21. 多用钥匙应通过链条或电缆连接到便携式辐射测量仪上，链条或电缆应足够长，以便于运行所有钥匙开关。所有授权人员只能使用一个多用途密钥。

8.22. 在使用两把或两把以上钥匙的系统中，当使用另一把钥匙时，一把钥匙应保持锁住（即锁住）。

### 控制台上的应急停止装置

8.23. 除了控制台上通常可用于关闭辐照器的装置外，控制台上还应提供一个明确标记的应急停止装置，以防止、快速中断或中止辐照器运行，且该装置不得使用产生辐射。

### 禁用辐射源

8.24. 应当提供一种方法来禁用产生辐射的装置，使得辐射源不能在进行维护操作时启动（例如，通过源机架提升锁定或加速器的高压锁定）。

## 辐照室

### 带报警的安全延时定时器

8.25. 应在辐照室内配备一个安全延迟定时器，启动该定时器来开始启动辐照器程序。定时器应放置在这样一个位置：即为了启动定时器，辐照器操作员需要穿过辐照室中人员可能在场的区域。这有助于辐照器操作者在启动辐射源之前目视检查整个辐照室。

8.26. 安全延迟计时器将自动启动视觉和声音警告信号和警报，以提醒可能在辐照室内的任何人员辐照器启动程序已经开始。警报器应为人员提供足够的时间离开该区域或运行明确标识的应急停止装置，以中止启动程序。

8.27. 安全延时定时器应与系统集成，以防止辐射源的运行不能启动，除非启动顺序在预设时间内完成，并且控制台指示启动辐照器是安全的。

### 应急停止装置

8.28. 应在辐照室内设置应急停止装置，以便在任何时候迅速中止辐照器的运行并禁用辐射装置。应急停止装置应贴上清晰的标签，并应便于辐照室的人员接近。应在辐照室外产生视觉或声音警报。

## 应急出口

8.29. 为了保证任何无意中被关在辐照室内的人的安全，应提供一种手段，确保人员可以随时离开辐照室。应首先启动应急停止装置，然后离开辐照室。或者，应通过应急出口离开辐照室，应急出口应启动视觉和声音警报，并禁用产生辐射的辐射装置。万一应急停止装置在人员离开辐照室前不动作，应采取最直接的出口路线，避开靠近辐射源的区域。

## 关于外部事件的考虑

8.30. 外部自然事件，如与地质和极端气象有关的事件以及可能对辐射屏蔽完整性产生不利影响的人为事件，应根据辐照设施和当地场地的具体特点进行评价。

8.31. 处理外部事件造成的危害的常规规范、守则或标准可用于评定潜在危害，并用于设计能够承受此类危害的设施，同时考虑与该设施相关的辐射风险。

8.32. 在地震区，所有辐照设施都应配备警报地震事件的仪器仪表，并禁用产生辐射的辐照装置。地震仪器仪表应牢固地固定在混凝土护壁上。仪器仪表可以是水平全轴型或垂直单轴型。应将其设置为在实际可行的最低级别启动，不会产生假警报。

8.33. 在选址和评价过程中，应特别考虑到无法通过工程措施解决的潜在危害，如与洪水有关的危害和与潜在或实际沉降、隆起、塌陷或断层地区的地质现象有关的危害。

## 通风

8.34. 空气的辐解产生臭氧（ $O_3$ ），它是不稳定的，并随着时间的推移恢复成氧气（ $O_2$ ）。辐照设施运营组织应评定辐照器产生的臭氧水平，并应避免工作人员暴露于臭氧浓度超过主管卫生当局规定的限值的环境中。

8.35. 应防止工作人员进入臭氧浓度可能很高的任何地区。辐照设施的设计应使臭氧不会迁移到工作区域。

8.36. 应采取以下臭氧控制措施：

- 通风系统，用以排出臭氧和维持辐照器内的低压差，以防止臭氧迁移到工作区域；
- 安全联锁，延迟进入，以便通过还原成双原子氧或通过通风系统去除臭氧来降低臭氧水平。

8.37. 辐照器控制系统的设计应能监测通风系统，以确保通风系统正常运行。如果通风系统发生故障，则源机架应返回到完全屏蔽位置，或者应关闭电子束。在臭氧水平下降之前，不应允许进入辐照室。

### 通知和符号

8.38. 辐射符号（三叶形）[27]和其他通知应按照规定要求放在辐照室的入口处和靠近辐射发生器或放射源的地方（图 6）。任何放置在辐照室内的告示和标志应使用能够抵抗高辐射水平造成的损坏并在环境条件下经久耐用的材料。



图 6. 基本电离辐射符号（三叶形）（ISO 标准 361）。





图 7. 电离辐射补充符号（ISO 标准 21482）。

8.39. 除辐射符号（三叶形）外，电离辐射补充警告符号[28]也应用于第 II、第 III 和第 IV 类  $\gamma$  辐照器（图 7）。本补充符号旨在告知公众，放射源对他们构成重大危害，他们应远离放射源。补充符号应放在接近源的位置；由于放射源体积较小，通常不可能在个别放射源上加上补充符号。

8.40. 一般而言，补充符号不应放在放射源正常使用或贮存时可见的地方。 $\gamma$  辐照器上应放置补充符号的位置示例如下：

- 第 II 类：在拆下盖子后可以看到的源支架上；
- 第 III 类：保持源阵列的结构；
- 第 IV 类：在源机架上。

8.41. 一般而言，如果有必要移除放射源，则不能为运行  $\gamma$  辐照器而增加补充符号。理想情况下，符号应安装在辐照器的建造过程中。只有经过培训和有经验的合格人员，并经监管机构批准对辐照器进行维护和保养的人员，才可在已运行的辐照器上安装该标志。

## 照射（源）状态指示器

8.42. 应提供照射状态指示器，以显示：

- 照射已经终止（源“下”或光束断电）时；
- 照射正在进行时（源“上”或射束通电）；
- 放射源正在传输或 X 射线或电子束即将通电时（还应使用声音信号来指示此情况）。

8.43. 照射状态指示器应在控制台和每个检修门处清晰可见，供人员和产品进出使用。

## 照射状态指示器颜色

8.44. 当使用带照明或颜色编码的控件时，应考虑使用以下颜色来指示指定的状态：

状态	颜色
紧急（停止按钮或警告灯）	红
警告或危险	三叶形或红
关键信息（辐照器故障）	红
注意事项（不紧急，但需提高意识）	黄或橙
正常（辐照器未使用或安全运行）	绿
信息	蓝

## 声音信号

8.45. 辐照器控制系统中使用的每个声音信号都应足够清晰和响亮，以便立即引起该区域人员的注意。他不应与该地区使用的任何其他信号相混淆。应使用声音信号来指示放射源何时正在传输或 X 射线或电子束何时即将通电。

## 标签和张贴

8.46. 用于提醒的指示器和视觉信号应明确标明促使指示器启动的条件。视觉警告信号和警报，如控制台上的闪光灯或信息，应向辐照器操作员提供明确的信息，足以确定警告信号或警报的原因，以便启动适当的纠正措施。

8.47. 除通知和标志外，与辐照设施的运行有关的信息应张贴在设施内清晰可见的位置。这些信息应包括：

- 监管机构批准运营辐照器的执照、注册或其他文件的副本。如张贴批准书副本并不切实可行，则应张贴通知，告知有关人士在该设施内何处备有该文件副本；
- 紧急情况联系信息，包括紧急情况下应联系的个人的姓名和电话号码（或其他直接联系方式）。

## $\gamma$ 辐照器

### 密封源设计

8.48.  $\gamma$  射线辐照设施中使用的放射源满足《基本安全标准》[2]的设计要求，当它们满足本实施规程的性能和安全试验标准时，国际标准化组织标准[29、30]中规定了这些方法。ISO 2919 标准[29]根据试验性能建立了密封放射源的分类系统，并规定了一般要求、性能试验、生产试验、标记和认证。

8.49.  $\gamma$  辐照设施中使用的放射源的性能试验的严重程度因放射源的形状（弯曲试验）和预期放射源所处的环境条件而异。第 II、III 和 IV 类放射源的环境试验的分类号为 53424，每个数字分别与下列环境试验条件的严重性有关：温度、外部压力、冲击、振动和穿刺。

8.50. 这一分类不考虑包括火灾、爆炸和腐蚀在内的各种其他因素的影响，也不考虑在使用放射源条件下事件和影响的可能后果。ISO 2919 标准规定，如果密封源的活度超过参考文献[29]表 3 中所示的值，制造商和用户应考虑火灾、爆炸和腐蚀的概率，以及事件和影响的可能后果见附件 I。在确定是否需要进行特殊试验时应考虑的因素有：

- 放射性物质泄漏或扩散的后果；
- 密封源中所含放射性物质的数量；
- 辐射毒性；
- 放射性物质的化学性质和物理形式；
- 贮存、移动和使用密封源的环境；
- 为密封源或源-器件组合提供的防护。

## 湿贮存条件的特殊要求

8.51. 密封源的外包壳材料应使其在密封源贮存在水池中的条件下不会腐蚀。在选择包壳材料时应考虑到耐热疲劳的需要。

8.52. 放射性物质应基本上不溶于水，以减轻包壳破裂的可能后果。氯化铯不应用于湿源贮存 $\gamma$ 辐照器。氯化铯在水中高度溶解，在第IV类辐照器中遇到的热循环有增加密封源密封失效的可能性。

## 认证和文件

8.53. 密封源的制造商或供应商和用户应保存与密封源有关的记录。监管机构可要求提供这一信息，以便为设施颁发许可证和运输放射源。记录应包括以下内容：

- 放射源的型号、序号和识别号、所含放射性核素、放射源活度和标定放射源活度的有关日期；
- ISO 2919 标准源证书[29]；
- 弯曲试核实书（如需要）；
- 泄漏试核实书；
- 污染试核实书；
- 特殊形式放射性物质批准证书（如有的话）（见参考文献[31]）；
- 监管机构要求的任何其他文件。

## 内部设计

8.54. 辐照设施辐照室内的所有设备，包括布线、电气设备、告示和照明，应选择为经长时间照射发生尽量少的故障的设备。

## 源支架和源架

8.55. 典型的 $\gamma$ 辐照器设计包括放置在源保持器（称为模块）中的放射源，其中几个放射源放置在源架的阵列中。这种布置在图8中示出。放射源架的设计应使放射源架内或放射源与放射源架之间没有裂缝，以免引起腐蚀。

8.56. 密封源应牢固地固定在其源支架和源架内，使其不能轻易地从源支架和源架上移开。应提供将密封源放置和保持在设计位置的装置。为定位和移除放射源而用的设备（例如，用于在水池水面以上运行放射源的工具）应能够从辐射屏蔽外部安全运行<sup>17</sup>。

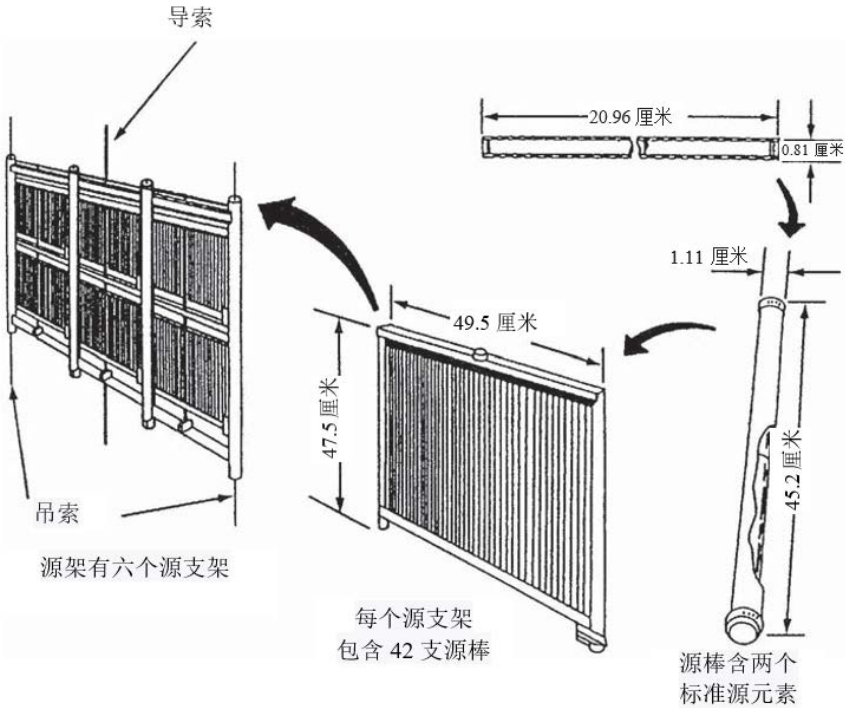


图 8. 典型  $\gamma$  辐照器源架和部件：源架有六个源支架，每个源支架最多包含 42 支源棒（MDS Nordion 提供）。

8.57. 如果源支架或源架发生故障，则源不应移动到可能导致辐射危害的位置。在断电的情况下，源和源架应该能够返回到完全屏蔽的位置，而不会有任何损坏。吊索（或替代支撑装置）的故障不应导致源架移动到损坏密封源的程度。如果源机架卡住在照射位置，应有一种释放的手段，使人员受到的风险最小（例如，使用应急出入端口；见第 8.62 段）。

<sup>17</sup> 辐射屏蔽是将辐射源发射的辐射衰减到可接受水平作为其主要功能的结构。

## 源保护

8.58. 源架应配备一个源保护装置，以提供足够的机械保护，防止产品盒或载具等物品的干扰和损坏。例如，源保护罩可以采取产品定位机构上的保护性护罩、导杆或地板导轨的形式。产品定位机构的设计应能防止产品直接或间接与源架接触。

8.59. 辐照器应采用机械装置防止产品碰撞；该设备应位于源架的端部，以感测产品或产品载体，这些产品或产品载体在进入最靠近源机架的源通道<sup>18</sup>时位置不正确，并且可能与源发生碰撞。启动时，此设备应停止产品载具运动，将源架返回到完全屏蔽位置，并在控制台产生故障信号。

## 应急源冷却系统

8.60. 一些第 IV 类辐照器使用应急源冷却系统，该系统由位于源通道顶部、源架上方的喷水头组成。来自蓄水池的水可以通过屏蔽罩外的阀门转到喷水头。如果源架紧固在非屏蔽位置，产生的热量可能导致产品点燃，则池水将喷洒到源架上以降低温度，从而确保源的完整性。

## 源传输定时器

8.61. 源传输定时器应连接到“源上”和“源下”开关，以确保源传输时间（向上或向下移动时）不超过预设水平。如果超过预设水平，控制系统应指示故障，关闭散热器，并启动视觉和声音警报。这种安全联锁可以对源机架提升机构的问题给出预警，警示对源机架提升机构需要进行检查。

## 应急出入口

8.62. 如果出现故障，使放射源处于照射位置，则应急出入口允许通过防护罩进入辐照室。应急出入口只能由被授权的人员用于应急行动和恢复。

## 源机架位置指示器

8.63. 源机架位置（“上”或“下”）指示器的开关应直接硬连线到而不是通过可编程逻辑控制器控制系统。可以通过确保指示器开关安装在不同的位置来实现纵深防御，例如安装在源机架提升机构上和源机架本身上。除了指

---

<sup>18</sup> Source Pass 是产品定位系统的组件，它将产品运送过 Source Rack。

示器开关之外，还可以考虑诸如通过蓄水池底部的辐射监测器或照相机来确认源架的位置的补充装置。

8.64. 如果指示器开关出现故障或不响应源机架的存在，无论是在“向下”（完全屏蔽）位置还是在“向上”位置，根据源机架的传输时间，应启动视觉和声音警报，以提醒该区域的人员并防止进入辐照室。

### **接近放射源和安全联锁系统**

#### **进入第 III 类辐照器蓄水池（自给式湿源贮存）**

8.65. 自给式湿源贮存辐照器（第 III 类辐照器）应在源蓄水池周围设置人员进入屏障，该屏障应锁定，以防止在辐照器无人看管时进入。只有辐照器操作员和设施经理才有权使用人员出入屏障的钥匙。应安装入侵报警装置，以便在人员出入障碍锁定时检测是否进入。

#### **备用访问控制 — 产品进出端口**

8.66. 除了产品进出端口的安全联锁装置（见第 8.15 段）外，全景照射器的每个产品进出端口都应有一个独立的后备控制装置，以便检测人员在放射源架照射时的进入。实例包括压力垫、光束中断装置（光电眼）、红外探测器或检测人的存在的其他装置。当源机架处于照射位置时，当检测到人员进入时，应使源机架返回到完全屏蔽位置，并应启动视觉和声音警报，以警告进入房间的人员该位置危险。

#### **$\gamma$ 辐照器上可拆卸的辐照室屏蔽插头**

8.67. 为将放射性物质运输货包移至放射源蓄水池而设计的车顶插头的位置应确保运输货包在掉落时不会落在放射源架上。

#### **第 III 类（独立式湿源贮存）辐照器的固定式辐射监测器及警报器**

8.68. 不在屏蔽辐照室内的水下辐照器应在蓄水池上方安装辐射监测器，以监测异常辐射水平。监测器应在源蓄水池周围的访问屏障入口处生成视觉和声音警报。

## 用于降低源机架的备用系统

8.69. 应提供备用系统，以便在源机架提升机构发生故障时将源机架降至完全屏蔽位置。对于机械提升系统，可以是手动停止释放，以允许源机架在受控的状态下降到完全屏蔽位置。在气动提升系统中，源机架提升机上应该有第二个电磁阀作为源机架提升机主电磁阀的后备。如果主阀不能排气，则第二阀应提供从源机架提升机排出空气的装置，从而允许源机架下降到完全屏蔽的位置。降低源机架的主要装置发生故障时，应形成故障状态，并应启动视觉和声音警报。

## 产品出口辐射监测器

8.70. 应设置固定的辐射监测系统，使监测器能够探测到从辐照室中取出的任何放射性物质。这些监测器应与辐照器控制装置互锁，以便在出口处的辐射水平超过预定水平时，产品定位系统停止将产品从辐照室运送到出口，放射源将自动返回到完全屏蔽的位置，并且启动视觉和声音警报。

## 湿源贮存式辐照器

8.71. 水作为辐射屏蔽介质在湿源贮存辐照器中得到了广泛的应用。应设置一个自动水位控制器，将水位保持在一个提供足够的屏蔽的水平，使人员能够在放射源处于完全屏蔽位置时留在室内。除浮控开关外，水位自动控制系统中水位以下的所有部件均应采用比重为 1.0 克/立方厘米或更高的材料制造。如果使用空心管，则应使其完全通风<sup>19</sup>，以允许水淹没管，从而消除高水平辐射束向上照射管的风险。

8.72. 应根据需要清理源蓄水池，以清除底部积累的外来物质。

8.73. 任何用于清洗源蓄水池的真空系统都应安装一个串联过滤器。在真空清洁运行过程中，应连续检查过滤器是否存在放射性物质。如果检测到放射性物质，则应终止抽真空运行。过滤器收集的所有沉积物在处置前应符合相关标准。真空系统应设计成在过滤后将蓄水池中的水再循环回蓄水池中。

---

<sup>19</sup> “完全通风”是指具有用于完全通风的中空工具、管或控制杆的设计特征，以允许空气足以允许水在浸没部分进入贮存水池时淹没浸没部分的速率逸出。



这将确保在蓄水池的污染水平低于监管机构规定的批准限值之前，不会无意中排放蓄水池的水。

8.74. 用于水下真空清洁的所有工具都应符合第 8.71 段中提供的通风要求。

### 水处理系统的辐射监测

8.75. 应在水处理系统上安装固定的辐射监测器，以监测放射源泄漏可能产生的污染。安装固定辐射监测器的方法包括将辐射探测器固定到去离子柱或微粒过滤器上，以及通过连续流动取样系统直接测量水中的活性。

8.76. 如果辐射水平超过预定值，固定辐射监测器应启动视觉和声音警报。监测器应与辐照器控制装置联锁，以使源机架返回到完全屏蔽的位置，并在启动报警时停止水的循环。警报限值应设置在辐射的自然本底水平之上，以避免出现过多的错误警报。

### 蓄水池完整性

8.77. 蓄水池应是水密封的，在设计上应能在所有可合理预见的情况下维持水量。蓄水池的材料应相互冶金兼容，并与蓄水池中的其他部件兼容，包括放射源。应使用耐腐蚀和耐辐射损伤且易于清洁的不锈钢水池衬里。蓄水池应设计为支持在装载和卸载源的运行过程中使用的运输包装，而不损害池的完整性。

8.78. 蓄水池底部不应有贯穿件（如管道或堵塞的孔）。贯穿蓄水池衬垫的任何穿透不得低于正常水位 30 厘米。

### 池部件材料

8.79. 由于腐蚀产物可能会影响密封源的完整性，所有永久蓄水池部件都应由耐腐蚀材料制成。在可行的情况下，不锈钢部件（如支架或滑轮）应进行钝化，特别是在制造完成后。

### 水位控制 — 正常水位

8.80. 应提供补充蓄水池水损失的手段；这些损失主要归因于蒸发。该系统应能将池水保持在足以屏蔽辐射的水平之上。当水位达到正常低水位时，水

位控制应使补充水通过水处理系统流入蓄水池，并且当水位达到正常高水位时，水位控制应停止水流入。

8.81. 应安装计量装置，以记录补充水的使用情况，其变化可能与水池渗漏有关（如通过供水管道虹吸回水）。

8.82. 应防止蓄水池的水流入市政供水系统。

#### 水位控制 — 异常水位低

8.83. 如果蓄水池水位下降到危及辐射屏蔽的水平，通常低于正常低水位约 30 厘米，则应产生视觉和声音信号。信号应提醒人员进行调查并采取纠正措施。

#### 水位控制 — 异常水位高

8.84. 如果蓄水池的水继续上升超过正常的高水位截断点，则应产生视觉和声音信号。信号应提醒人员进行调查，并采取纠正措施，防止池水溢出。

#### 水调节

8.85. 蓄水池应配备能够保持水清洁的水调节系统，其电导率水平对于常规运行不超过 1000 微西门子/米，对于不超过 90 天的临时漂移不超过 2000 微西门子/米。电导率的测量可作为潜在对不锈钢具有腐蚀性高卤化物（如氯化物和氟化物）水平的指示。应连续监测蓄水池水的电导率。

8.86. 应特别注意避免将污染物引入池水系统（如去离子再生剂、清洁材料、消防材料、溢出产品）。密封水源的制造商已经为水质指标（如电导率、pH 值和氯化物浓度）的可接受水平和试验频率制定了建议。

8.87. 水处理系统中的所有过滤器和树脂床在系统移除、反冲洗或再生之前应进行污染试验。只有当污染水平低于监管机构规定的批准限值时，才应释放反冲洗或再生产生的液体。

#### 蓄水池水冷却

8.88. 放射性衰变过程产生大量的热量，这将导致蓄水池中的水温升高。水温升高可能导致湿度过高，损坏电气设备，并可能导致蓄水池蒸发损耗过大，从而危及辐射屏蔽。如果源架中的密封源的活度高到足以导致蓄水池中

的水温升高过高，则应提供一种在水的循环期间冷却水的方法。高水温也会使去离子树脂降解得更快。

### 池内管道

8.89. 由于在蓄水池中使用管道用于水位和水质控制，因此应提供适当的虹吸管断路器，以防止蓄水池水位在虹吸作用下降到可能影响辐射屏蔽的水平，通常低于正常补充水位 30 厘米以上。提供泳池水循环的吸管，其进水口不得低于正常补给水位以下 30 厘米。

### 储物池防护罩和盖子

8.90. 应安装物理屏障，如栏杆或金属盖，以防止人员落入蓄水池。此物理屏障应可移除，以便进行维护或维护操作。

### 消防

8.91. 辐照室应设置消防系统。消防系统的控制系统应位于辐照室的外部，以允许系统在不需要人员进入辐照室的情况下启动。

8.92. 装有喷水系统的辐照室应在辐照室外有一个关闭阀，以防止洪水泛滥到不受限制的区域。在选择合适的自动喷头时，应考虑辐照室内的最高天花板温度以及长期照射辐射和臭氧对喷头的影响。

8.93. 应配备感热和感烟装置，配备视觉和声音报警器，以检测辐照室中的燃烧情况。如果启动热敏装置或烟雾感测装置，源架应自动返回到完全屏蔽位置，产品定位系统和通风系统应关闭。

8.94. 消防系统中不应使用可能对密封源完整性产生不利影响的化学品和腐蚀性物质。

## 电源故障

### 电力

8.95. 如果发生超过 10 秒的断电<sup>20</sup>，放射源架应自动返回到完全屏蔽位置。

8.96. 辐照器控制系统中使用的关键电子元件应连接到不间断电源，该电源能够为辐照器的受控关闭提供必要的电力。辐照室监测器、出入控制安全联锁和源架位置指示灯也应由不间断电源供电，以确保系统安全关闭。

### 非动力

8.97. 用于控制或运行辐照器任何安全特征的非动力（例如气动或液压力）的故障应导致放射源架自动返回到完全屏蔽的位置。

## 电子束辐照器和 X 射线辐照器

### 电子加速器设计中的安全考虑

8.98. 设计简单可靠的电子束辐照装置是工业加速器制造商追求的目标。在追求这一目标时，设计者应注意发生辐射事故并造成严重后果的可能。当加速级不正确地或仅部分地禁用时，对设备故障的调查或对运行中的加速器子系统的维护可能会导致意外照射。此外，只要电子加速能力不变，暗电流就有可能产生 X 射线（见脚注 15）。

8.99. 在设计使用 10 兆电子伏或更高能电子的电子束辐照设施时，应考虑激活加速器设备和辅助工艺设备（如束流停止器和产品定位系统）以及屏蔽的可能性。在加速器关闭之后，由于这些部件中的活性材料而引起的辐射水平将立即显著的表现出来，这取决于加速器的能量和功率输出。

---

<sup>20</sup> 在某些地区，不超过 10 秒的短期停电频繁发生。在这种情况下，如果因短期停电而自动关闭辐照器，可能对某些产品有害。在短期停电的情况下，为防止不必要的和可避免的辐照器关机而提供的装置是可以接受的。

8.100. 设备的保养和维护程序，特别是拆除和处置可能已活化的部件的程序，应规定充分的辐射安全，以保护可能因放射性物质而受到照射的个人。虽然大多数活化产物预计寿命相对较短，但如果对活化的系统部件进行焊接或钻孔等作业，则可能会对人员产生重大的外照射和内照射影响。

8.101. 虽然加速器运行的可靠性通过减少修理和维护来降低意外照射的风险，但是通过设计来易于排除故障可以进一步降低风险。这也可能减少其他危害事件的发生，如电击或过度照射于射频辐射。在这方面，在设计工业加速器时应考虑以下特点：

- 禁用主加速系统的物理或机械装置；
- 内置系统参数监控；
- 内置远程系统诊断。

8.102. 加速器的运行参数（电压和电流）应与产品定位系统联锁。

8.103. 调试和试验应在最大工作参数（电压和电流）和产品装卸设备运行的情况下进行。

#### 主加速系统禁用机制

8.104. 主加速系统的禁用机制应能消除所施加的电压，应能在不对机器部件造成伤害的情况下使加速装置失效。该机制应以允许尽可能多的其他子系统为诊断目的运行的方式禁用加速系统。应明确标识禁用功能，制造商应在加速器附带的文档中对其进行说明。

#### 机器参数的内置监控

8.105. 应连续监测加速器的运行参数。运行参数的监控为故障序列信息的事件日志记录提供了机会，供维护工程师使用，并用于计划维护。

#### 内置远程机器诊断

8.106. 战略电子试验点应位于辐照室之外，以允许辐照器操作员和维护人员对加速器的整个系统进行机器诊断，而无需禁用主加速系统或绕过安全联锁进行访问控制。对于某些类型的加速器，应考虑闭路电视监控。

## 屏蔽作用

8.107. 为了应用高能电子，必须使电子束从加速器的真空中通过一个薄窗口进入环境压力下的大气（在充满空气或惰性气体的室中），该薄窗口允许电子以尽可能小的能量损失通过。

8.108. 电子在物质中的射程有一个有限的范围，这个范围是它们的初始能量和吸收材料密度的函数。电子的最大射程比 X 射线小，而 X 射线是由电子与其所撞击的物质之间的相互作用而产生的。在计算电子加速器设施的屏蔽要求时，只应考虑产生的 X 射线。

8.109. 电子与物质相互作用产生的 X 射线有两种：韧致辐射和特征 X 射线。特征 X 射线仅适用于用铅或贫化铀等重元素屏蔽的 300 千电子伏(kV)特电子加速器。在大多数情况下，在确定辐射屏蔽要求时，韧致辐射应被认为比特征 X 射线更为重要。

8.110. 对于受到电子束辐照的结构，应尽可能使用含有低原子序数元素的材料，以尽量减少 X 射线的产生。屏蔽计算应在假设所有电子都被可能受到电子束辐照的最重元素吸收的情况下进行。应考虑到结构材料的组成和设施中可能受到辐射的产品。屏蔽计算通常是针对电子加速器所能提供的最大能量和最大电流进行的。

8.111. 应注意“杂散” X 射线，特别是在加速器工作在高电压水平，加速器管位于辐照室之外的情况下。产生这种杂散辐射的原因有几个：

- 反向散射的电子可以拥有足够的能量，流过加速器管。当高能电子撞击含有高原子序数元素的靶材料时，这种效应特别明显，产生 X 射线。
- 在电子加速器调节期间和在相对较差的真空条件下运行期间，加速器管中可能存在产生 X 射线的暗电流。

8.112. 除了在较低能量范围（最高约 500 千电子伏）的加速器和在较高能量下运行的专用装置的情况外，出于经济原因并为了最大限度地降低活化的可能性，标准混凝土将是优选的屏蔽材料。参考文献[20、25]给出了人员进出和产品进出辐照室的屏蔽厚度和迷宫布局的计算实例。

8.113. 在电子束辐照设施的试运行中，必须特别注意“热点”；即，由于杂散辐射穿透屏蔽而导致的高强度辐射的小区域。穿透的辐射应减少到可接受的水平。这通常通过使用额外的屏蔽来实现，例如用铅或钢丸制成的屏蔽。应提供制造商在相同或类似类型的现有安装方面的经验。

### **X 射线辐照装置设计中的安全考虑**

8.114. 对于 X 射线辐照设施，应遵循先前关于电子束加速器的建议，因为 X 射线系统由电子束辐照设施和产生韧致辐射的高原子序数靶组成。具体而言，加速系统的主要禁用机制、内置的机器参数监控和内置的远程机器诊断（如电子加速器所述）也适用于 X 射线辐照设施。

8.115. 由于电子辐照设施的屏蔽设计取决于系统部件内 X 射线的可能产生和屏蔽，因此对 X 射线辐照设施的屏蔽要求的评价与对电子辐照设施的屏蔽要求的评价是可比较的。例外情况是，在 X 射线辐照设施中，电子以已知和可预测的方式转换为 X 射线。这使得关于韧致辐射产生的假设比关于电子辐照设施的假设更不确定。对于专门设计的 X 射线靶，电子转换为 X 射线的效率以及由此产生的 X 射线束的强度高于通过电子撞击工艺设备或产品定位设备产生韧致辐射的二次过程，如在电子束辐照设施中发生的那样。

8.116. 因此，对于 X 射线照射设备，直接在射束（主势垒）前面的势垒厚度应当比对于电子束照射设备大得多。类似地，散射 X 射线在 X 射线照射设备中比在电子束照射设备中具有更高的强度。在 X 射线辐照设施中，应在次级屏障和沿入口和出口迷宫的额外散射路径上提供额外的屏蔽。

8.117. 对于工作在 5 兆电子伏及以上的 X 射线辐照装置，在屏蔽计算中应考虑中子在 X 射线靶中的产生及迁移。虽然中子注量率可能不是辐照产物活化的重要因素，但中子源项可能对屏蔽和迷宫的最终设计产生重大影响。

8.118. 由于在较高能量下活化的可能性，X 射线辐照设施的屏蔽，特别是初级势垒的屏蔽，不应由金属构成。混凝土具有相对低的有效原子序数，是这种屏蔽的优选建筑材料。

8.119. 在设计 X 射线辐照设施时，应考虑激活 X 射线靶、加速器设备和辅助工艺设备（如光束停止器和产品定位系统）以及屏蔽的可能性。在加速器

关闭之后，由于这些部件中的活性材料而引起的辐射水平将立即显著的表现出来，这取决于 X 射线加速器的能量和功率输出。

8.120. 设备的保养和维护程序，特别是拆除和处置可能被活化的部件的程序，应规定充分的辐射安全，以保护可能因放射性物质而受到照射的个人。虽然大多数活化产物预计寿命相对较短，但如果对活化的系统部件进行焊接或钻孔等作业，加速器关闭后不久就存在的放射性物质可能会造成对人员的外照射和内照射的重大影响。

## 设施改造

8.121. 对辐照设施的任何拟议改造都可能需要得到监管机构的批准。改造只能通过具备适当资格的人员进行。应彻底检查改装情况，以确保改装工作已适当进行，而且辐照设施的安全没有受到损害。

8.122. 辐照设施的营运组织应咨询一位知识渊博的个人，如合格专家，并应在进行任何有可能造成辐射危害的改造之前寻求监管机构的批准。这类改造包括：

- 修改运行程序；
- 改造安全控制系统；
- 对辐照器进行重大改装；
- 装载、补充、移除或重新分配放射源，或以任何方式改变电子束的方向，但与监管机构的批准不同；
- 关键人员或顾问的变动。

## 9. 设备的试验和维护

9.1. 《基本安全标准》[2]附录 IV 第 IV.16(g) 段指出：营运组织应“保证按需要实施适宜的维护、检验、检查和服务，从而使源在其整个寿期内仍能满足对防护与安全的设计要求。”

9.2. 为确保辐照设施的持续安全运行，营运组织应制定正式的维护 and 试验计划，定期检验所有安全功能。应定期执行以下运行（或按以下另有规定）：



- 应特别注意按照设备制造商的说明，定期检验安全连锁系统的部件，以便正确运行。这些试验应在辐射防护官员在场的情况下由具备适当资格的人员进行；
- 便携式辐射测量仪应在首次使用前、修理后和按监管要求规定的周期进行校准。使用前试验应包括仪器仪表过载性能试验；也就是说，应该对仪器仪表进行试验，以核实其在可预见的最大剂量率范围内是否正常工作；
- 应定期检查源架吊索和导向索（见脚注 12）。应按制造商建议的时间间隔更换绳索；
- 应按照放射源供应商建议的方式和频率，并根据监管要求，定期进行放射源泄漏试验（见脚注 12）。

## 每周试验

### 9.3. 每周应进行以下试验：

- 第 II 类和第 IV 类  $\gamma$  辐照器。如果为辐照室排气系统提供空气过滤，则应使用便携式测量仪表检查空气滤清器组的辐射水平。所有的读数都应该被记录下来；
- 第 III 类和第 IV 类  $\gamma$  辐照器。应使用便携式测量仪检查去离子过滤器和树脂床处的辐射水平。所有的读数都应该被记录下来。如果去离子树脂床有检查蓄水池水的污染的连续监测器，则不需要额外的调查；
- 第 III 类和第 IV 类  $\gamma$  辐照器。应检查水去离子器系统是否正常工作；
- 第 III 类和第 IV 类  $\gamma$  辐照器。应检查蓄水池水冷却器，并确保蓄水池水的温度在批准范围内；
- 应检查出入控制系统、辐照室内的应急停止装置和人员进入检测系统是否正常工作。当在辐照器启动序列期间试验或启动每个部件时，可执行此试验。

## 月度试验

### 9.4. 应每月进行以下额外试验：

- 试验辐照室辐射监测器是否正常工作；应用检查源照射监测器探头，直到报警声响起，然后进行试验；
- 根据制造商的说明，将检查源照射监测器探头，当监测器警报响起时，检查是否禁止进入辐照室。检查应急出口程序，确保可从内部打开人员出入口，并确保紧急情况下的其他出口装置正常工作；
- 试验产品出口辐射监测器是否正常工作；应在辐照器工作的情况下进行试验，方法是检查源照射监测器探头，直到报警声响起。应停止产品定位系统，并禁用产生辐射的辐射源；
- 第 III 类和第 IV 类  $\gamma$  辐照器。检查蓄水池水循环系统上的连续辐射监测装置是否正常工作；
- 在可能的情况下，在运行期间试验辐照器关闭控制。检查高温开关、电源机架位置开关、备用访问控制和地震探测器；
- 试验辐射源机架提升机构、通风系统和有助于辐射源安全运行的任何类似硬件，以及产品定位机构；
- 检查与辐射产生装置有关的其他主要设备是否正常工作，有没有过度磨损或潜在故障的迹象；
- 检查所有产品容器是否完好；
- 第 III 类和第 IV 类辐照器。检查水位控制开关（正常水位和异常水位）是否工作正常；
- 检查控制台上和任何其他位置的紧急停止装置是否正常工作；
- 检查所有视觉警告信号和警报是否正常工作。检查所有控制指示灯，确保它们能够点亮；
- 故意违反批准启动程序后，尝试运行辐照器，以确保安全联锁和顺序控制正常工作；

- 核实不间断电源<sup>21</sup>（见脚注 12）是否正常工作，是否能够提供足够的电力，以便安全关闭散热器。
- 核实热探测器和烟雾探测器是否正常工作；
- 核实辐照室内可拆卸屏蔽插头上的安全联锁是否正常工作；
- 第 III 类和第 IV 类  $\gamma$  辐照器。评价添加到源蓄水池中的水量，以确定添加的补充水量是否异常（过高或过低）。如果添加到蓄水池中的水量异常高，请调查是否有水从池中泄漏。如果添加到蓄水池中的水量异常低，请调查补给水供应系统的运行情况；
- 验证张贴的通知（如应急联系表）和符号仍然存在、清晰可辨；
- 启动计时器，等待时间限制过时，然后尝试启动以核实系统无法启动，以此试验安全延迟计时器。

9.5. 如果任何检查表明有故障或安全联锁装置不能正常工作，则在修理前不应使用散热器。辐射源恢复正常运行应得到辐射防护官员的批准。

## 半年一次的试验

9.6. 对于 II 类和 IV 类  $\gamma$  辐照器，应每半年（或按其他批准的间隔）对源机架提升和悬挂系统中的线缆全长进行一次检查。应更换有过度磨损迹象的线缆。此外，还应目视检查源护罩，以确保其完整性。

## 放射源泄漏试验

9.7. 应进行例行试验，以检测密封源可能泄漏的放射性物质（见脚注 12）。在蓄水池型辐照器（第 III 类和第 IV 类）中，蓄水池水或水处理系统的辐射监测器可用作源泄漏的指示器，或者可收集蓄水池水样进行分析。对于干式贮存辐照器，样品（通常是擦拭样品）应从预计可能累积泄漏源污染的地点收集。

---

<sup>21</sup> 不间断电源是一种备用电源，在电力故障或电力波动的情况下，它允许有足够的时间有序地关闭系统或启动备用发电机。

9.8. 应按监管机构规定的时间间隔进行泄漏试验。典型地，对于其泄漏试验包括监测水或水处理系统中的辐射水平的蓄水池型辐照器，密封源的泄漏试验是连续进行的。干贮存辐照器应每六个月进行一次泄漏试验。

9.9. 如果泄漏试验未显示高于规定运行活度水平，则应记录试验结果并保留以备将来参考。泄漏试验记录应包括：

- 辐照器的确认；
- 试验日期；
- 检漏方法；
- 制造商对测量仪表的识别，以及型号和序列号；
- 最近一次校准测量仪表的日期；
- 计算检测到的活度；
- 评价试验结果；
- 试验负责人姓名。

9.10. 如果检测结果显示存在高于规定运行水平的污染，则应被视为密封源泄漏的证据。在这种情况下，辐照器应立即停止运行，并应采取适当行动，防止人员受到辐射和放射性物质进一步扩散。这些行动应包括停止辐照室通风系统的运行，以及停止贮水池水的循环。营运组织应立即隔离该区域，并应通知监管机构、设备制造商和放射源供应商。

9.11. 清除受损或泄漏的放射源并将其转移给经批准的接受者，可能需要得到监管机构的特别批准。一旦作出转移放射源的决定，就应立即将其转移。转移应由有资格的个人进行，或在有资格的个人在场监督和在场的情况下进行，如果监管机构要求，还应特别批准进行这类活动。未经批准或未经培训的人员在任何情况下都不应试图检查或净化辐照器。

## 记录

9.12. 应保存一本日志或文件，其中记录所有试验、维护任务、辐照器的改造和变更。辐照器的每次使用也应记录在日志或文件中。

9.13. 上述所有试验的结果应记录在一份正式核对表上，并由一名见证试验的辐射防护官员签署。

9.14. 由于安全系统的故障可能导致人员照射，监管机构的检查员应特别注意这些记录。记录应按监管机构规定的期限保存。

## 设施维护和改造

9.15. 设施的维护操作应与辐照器和放射源的制造商协调，以确保设施进行适当的修理、改造和系统升级。维护缺乏与放射源制造商的协调被认为是 $\gamma$ 射线辐照器事故的一个促成因素[1]。

9.16. 监管机构可批准具体放射源的供应商和制造商提供专门知识，并履行营运组织认为无法履行或费用高昂的维护职能。营运组织应与制造商协调，确定可提供和应提供的服务的类型和范围。

9.17. 对于加速器系统，制造商可以为磁铁的调谐、特定设备部件的升级和/或波导的更换或改进提供专业知识。对于 $\gamma$ 辐照器，源供应商可以提供用于检查源完整性的设备和专业知识。这可能包括在辐照设施中使用水下摄像机检查密封源，或在制造商的热室设施中对源包壳进行破坏性试验。

9.18. 辐照设施所有部件的定期维护应按照制造商的说明进行。

9.19. 在不违反法规要求和条件的前提下，营运组织在执行例行维护程序时，包括更换不会产生辐射危害或危害辐照器安全的部件时，不应被要求通知监管机构。

9.20. 制造商应向营运组织和监管机构发出通知，告知任何先前未预见到的可能导致事故的情况，或已导致危害或潜在危害的情况。通知应解释要采取的纠正措施。营运组织应确保实施纠正措施，除非有充分的理由不这样做。在后一种情况下，应征求监管机构的同意，并应记录理由并向制造商报告。

9.21. 在某些情况下，可能需要绕过或破坏安全联锁，以修复辐照器系统的部件。例如，辐照室辐射监测器的故障应阻止进入辐照室，因为无法用控制系统独立地核实产生辐射的装置是否已被禁用。在这种情况下，可能需要禁用安全联锁系统的一部分，以便进入辐照室更换或修理设备。

9.22. 绕过或禁用安全联锁必须得到辐射防护官员的明确书面批准。需要绕过或禁用安全联锁任何部件的所有情况都应记录在案，并说明情况和所采取的行动，并得到辐射防护官员的具体批准。

9.23. 如果需要绕过或禁用安全联锁，则应获得独立的核实，即放射源处于完全屏蔽位置或加速器关闭。可以通过以下方式获得核实，例如中断加速器的电源、通过观察源架吊车或电缆来确定源架的位置、使用监测源架位置的传感器或监测器（例如，水下限制开关或照相机）、或不需要进入辐照室的其他方法。所有这些方法都应在辐照器处可用的程序中定义。

9.24. 安全联锁系统的受影响部件应被绕过或禁用足够长的时间，以便进入辐照室解决问题（例如修理或更换监测器），在此期间，辐照器将不工作。进入辐照室应遵循常规程序，包括使用便携式测量计监测进入时的辐射水平。

9.25. 如果需要绕过或禁用安全系统的某个组件，则应在恢复后试验受影响的组件是否正常工作。具体的试验将取决于要试验的组件，但试验应与执行的例行试验相同，以核实运行是否正确。在核实安全联锁装置已恢复其设计功能后，应获得辐射防护官员的批准，以恢复正常运行。

9.26. 由于除异常情况外，应避免绕过或禁用安全联锁系统的任何部件，因此应设计常规和预防性维护功能，以避免绕过安全联锁。例如，应定期更换辐照室辐射监测器，以避免在运行过程中出现故障。更换探测器的间隔取决于辐照器的工作小时数和探测器所处辐射场的强度。

## 10. 放射源的运输、装卸

### 运输

10.1. 《基本安全标准》[2]第 2.9 段指出，放射源的运输须遵守原子能机构《放射性物质安全运输条例》[31]和任何可适用的国际公约。在各国之间运输辐照源时，应考虑《放射源安全和安保行为准则》[16]的有关部分和《放射源进出口指导意见》[18]。

10.2. 应采取措施, 确保放射性物质在运输过程中的安保, 以防止盗窃或损坏, 并确保材料不失控。原子能机构《核安保丛书》第9号[32]提出了关于运输放射性物质安保的进一步建议和指导。

## 放射源装卸

### 放射源操作

10.3. 在到达辐照设施时卸下和运行放射源, 或在从设施发货时装入和操作放射源, 都是潜在的危险作业, 出于辐射防护目的, 应在密切监督下进行。这些作业的安全取决于主要负责辐射防护的人与装卸放射源的人之间的合作。在许多情况下, 后者将是源供应商, 监管机构可能特别批准其开展这一活动。放射源在辐照设施内时, 主要的安全责任在于营运组织。

10.4. 通常作为运输包装的源容器可以通过不同的路径(例如, 通过屋顶、沿着迷宮、穿过墙壁)引入到辐照器中, 这取决于辐照器的类型。对于湿源贮存辐照器, 运输包装应放在蓄水池的底部, 并应完全通风。长柄工具应用来操纵水下的放射源。对于干源贮存辐照器, 应使用远程仪器仪表来运行放射源。

10.5. 营运组织应确保对与放射源的装卸和操作有关的任何危害进行评定。对于这些活动, 营运组织应确保保护和安全的优化, 并应特别确保辐照器的安全联锁和控制系统不受损害。任何必要的应急计划应纳入设施运营的书面程序中。

### 运输包装调查

10.6. 装载放射源的运输包装的辐射调查应在辐照设施收货时进行。下列调查应由经过适当培训的人员进行。

- 外部辐射调查。在进行污染调查之前, 营运组织应核实运输包装造成的剂量率不超过法规要求。应在货包表面和距其表面一米处进行测量。应对运输车辆(包括工作区域)进行检查, 以核实在运输过程中可能发生的货包移动没有造成车辆内部和周围的高辐射水平;

- 外部可移动污染调查。营运组织应对放射源运输货包的外表面进行污染调查，其中应包括一系列擦拭物，以检查是否存在可去除的污染；
- 内部可移动污染调查。密封源在装入运输包装之前应进行泄漏试验。营运组织应通过检查运输货包内是否存在可去除的污染物来执行试验，以确定在运输过程中源完整性是否已受损。这项试验的程序由运输包装的供应商提供，包括使流体（空气或水）通过运输包装的内腔、从流体流中过滤颗粒和测量过滤器以检测污染。

10.7. 如果照射率或污染水平超过了规定的限值，包括运输文件中规定的限值，或超过了供应商规定的限值，则应采取措施保护工作人员和公众免受危害。应立即将情况通知辐射防护官员。还应通知货物托运人，并按照条例的要求通知有关监管机构。应调查剂量率升高和/或污染的原因，并在开始源装载程序之前采取纠正措施。

10.8. 对于装载源后返空的运输包装，除了内部污染调查应包括从包装腔内抽取擦拭样品以代替上述试验外，应执行相同的系列调查。如果密封的放射源要退回给制造商，则除了内部可移动污染调查外，应进行与设施接收放射源所述相同的一系列调查。

## 11. 应急准备与响应

11.1. 关于应急准备与响应的基本义务、责任和要求见参考文献[33]和《基本安全标准》[2]。原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-2.1 号[34]提供了核或辐射紧急情况的准备导则。有关建立和维持有效应急能力的信息，见参考文献[35]附件 I。

11.2. 如果安全评定得出事故可能影响工作人员或公众的结论，营运组织有责任制定应急计划，以确保可能受到事故影响的任何人的防护和安全。在制定应急计划时，可咨询合格专家。

11.3. 应急响应包括立即采取的初步行动和随后采取的后续行动。辐照器或放射性物质的制造商可采取一些后续行动。而不是由营运组织执行，具体取决于执行运行所需的资源。



11.4. 在具体说明应采取何种行动应对紧急情况时，应急计划应规定尽量减少辐射照射，恢复对情况的控制，使现场恢复正常状态，并对任何受伤或过度照射的人进行治疗。通常，除了由于可能存在的任何活化产物而引起的潜在危害之外，断开与加速器的电力连接将减少或消除电子束照射器或 X 射线照射器处的进一步辐射危害。

在具体说明为应对涉及  $\gamma$  辐照器的紧急情况可立即采取的行动时，应考虑污染的可能性。对涉及  $\gamma$  辐照器的紧急情况立即采取的行动应包括以下内容，视情况而定：

- 疏散危险附近的地区；
- 通知事故附近的人员；
- 向伤员提供急救；
- 通知辐射防护官员；
- 评价危害的原因和程度；
- 设置适当的公告和屏障，防止未经批准进入该地区，包括在防护完整性受损的情况下建造临时防护设施，直至事故后恢复行动完成。

## 制定应急计划

11.5. 在对设施进行安全评定的基础上，营运组织应制定应急计划。应急计划应包括纵深防御措施，以应对已查明的事件。应评价安全系统的可靠性（包括行政和运行程序以及设施和设备的设计）。操作经验、从类似设施的紧急情况中吸取的教训[1]以及在维护和质量管理计划中出现的错误也是制定应急计划的信息来源。

11.6. 一般而言，应将下列情况视为可合理预见的事件：

- 对于  $\gamma$  辐照器、电子束辐照器和 X 射线辐照器：
  - 安全联锁系统和出入控制系统故障或蓄意失效；
  - 辐照室内起火或爆炸；
  - 自动输送机系统的堵塞；

- 自然现象，包括地震、龙卷风、洪水或其他有关设施地理位置的现象。
- 仅适用于  $\gamma$  辐照器：
- 放射源架卡在非屏蔽位置；
  - 产品出口监控器或辐射监控器对蓄水池水的辐射报警；
  - 检测放射源泄漏或蓄水池污染，或池水污染引起的警报；
  - 水位指示器异常（低水位或高水位）、蓄水池异常失水或漏水；
  - 电力的长期损耗。

11.7. 对于  $\gamma$  辐照器，应考虑在运输放射源期间发生事故的可能性。对运输事故作出应急响应可能不是营运组织的单独责任。营运组织应与放射源供应商和承运人联络，以确保放射源进出设施的运输应急计划得到充分解决。

11.8. 应急计划应针对所有情况，并应酌情包括：

- 查明可合理预见的事故和其他事故或事件及其预期后果；
- 通讯程序，包括应急联系名单；
- 针对具体情况建议采取的行动，能够执行计划所述部分并对其负责的人员名单，以及需要撤离的具体情况和执行程序；
- 关于立即采取抢救生命行动的声明；
- 法定责任和能够采取行动履行这些责任的人的姓名；
- 提供应急设备，包括应提供的设备清单及其位置；
- 提供急救设备，包括应提供的设备清单、设备所在地点和受过使用急救设备培训的人员姓名（如适用）；
- 概述旨在恢复正常操作条件的紧急情况后的恢复程序。

11.9. 应急程序应包括简明、明确和易于遵循的指示。它们应查明需要采取应急行动的情况，并具体说明应立即采取何种行动，以尽量减少辐照器附近的人员受到的辐射照射。他们应预见到制定一份书面应急计划，以便进入辐照室。

11.10. 该计划应包括要联系的负责人的姓名和电话号码。通知应在设施内可能需要的地点清晰可见，说明：

- 如何与辐射防护官员或替代人员联系，在发生任何紧急情况时应立即通知他们；
- 如何呼叫消防队和医务处；
- 哪里可以找到应急设备。

11.11. 在紧急情况下，应酌情与有关的场外服务或机构保持联系。这些服务或机构将包括救护车、消防、警察和医院服务以及地方和国家当局。在发生事故时，营运组织有责任启动应急程序，协调应急服务和其他机构的初步响应，并通知监管机构和所有相关方。

11.12. 对于需要采取后续行动来纠正的紧急情况，例如 $\gamma$ 辐照器的源架卡住，应与制造商或设备供应商以及监管机构联系。设备供应商应具备处理此类情况的专业知识，并可通过电话立即提供建议。

## 应急设备

11.13. 辐照器，应包括下列项目。装有机器生产辐射源的辐照设施可能不需要下列所有辐射监测仪表。在制定设施应急计划时确定所需的具体设备。

- 测量剂量率和污染的适当和有效的测量仪表；
- 个人报警器和直接读数剂量计（最好是电子剂量计）；
- 其他个人剂量计（热释光剂量计或胶片徽章）；
- 屏障材料和告知；
- 通讯设备（例如移动电话、对讲机）；
- 测量仪表、个人电子剂量计、移动电话和手电筒的备用电池；
- 适当的文具用品，包括事故日志；
- 设备手册；
- 急救设备；
- 应急程序的副本。

11.14. 应急设备应存放在一个容易接近的地方，并有清晰的标签。应急设备清单应贴在机柜上。应定期并在设备使用后立即进行评审，以确保所有物品都存在并正常运行，或在必要时予以更换。

## 应急培训

11.15. 所有在应急计划中发挥作用的人员都应接受适当培训，以确保其高效和有效地履行职责。这应包括熟悉和理解应急计划，以及使用应急设备的培训。培训应在适当的时间周期内进行评审和记录。

11.16. 营运组织必须将可能影响其工作领域的任何应急计划告知员工，并在必须实施该计划时告知员工其职责，营运组织还应安排适合于每种情况的员工培训和应急演习。培训应包括评审从以往紧急情况中吸取的经验教训。

11.17. 在与潜在危害相称的时间间隔内，应举行应急演习，以试验应急计划的关键组成部分。除人员培训外，这些演习也是对应急计划充分性的评价。应评审和记录从应急演习中吸取的任何经验教训，并酌情将其纳入培训计划或应急计划。

## 对应急计划的定期评审

11.18. 营运组织应在适当的时间周期内审核应急计划，通常不超过 12 个月。这是为了确保：

- 人员姓名和详细联系方式（电话和传真号码、电子邮件地址等）是最新的；
- 应急设备随时可用并得到维护；
- 应急计划仍足以应对合理可预见的事件。

11.19. 应急计划应始终根据相关的业务变化，并结合对类似设施或类似辐射源事故的分析 and 经验教训进行评审。

## 参 考 文 献

- [1] 国际原子能机构《从工业辐照设施事故中吸取的教训》，国际原子能机构，维也纳（1996年）。
- [2] 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《安全丛书》第115号，国际原子能机构，维也纳（1996年）。
- [3] 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）。
- [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《放射源的分类》，国际原子能机构《安全标准丛书》第RS-G-1.9号，国际原子能机构，维也纳（2005年）。
- [6] 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）。
- [7] 国际原子能机构《辐射源使用通知和授权：补充》，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《技术文件》第1525号，国际原子能机构，维也纳（2007年）。
- [8] 国际原子能机构、国际劳工局，《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）。
- [9] 国际放射防护委员会《潜在照射的防护：对选定辐射源的适用》，国际放射防护委员会第76号出版物，国际放射防护委员会，牛津、纽约和东京（1997年）。

- [10] 国际原子能机构《辐射发生器和密封放射源的安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.10 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [11] 国际原子能机构《辐射源概率安全评定技术应用中的案例研究：2001-2003 年协调研究项目最终报告》，国际原子能机构《技术文件》第 1494 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [12] 国际原子能机构《辐射源使用通知和授权：补充》，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《技术文件》第 1525 号，国际原子能机构，维也纳（2007 年）。
- [13] 国际原子能机构、国际劳工局，《外部辐射源引起的职业照射评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.3 号，国际原子能机构，维也纳（1999 年）。
- [14] 国际原子能机构《工作场所监测辐射和污染，实际辐射技术手册》，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。
- [15] 国际原子能机构《辐射防护监测仪表的校准》，《安全报告丛书》第 16 号，国际原子能机构，维也纳（2000 年）。
- [16] 国际原子能机构《放射源安全和安保行为准则》，IAEA/CODEOC/2004，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。
- [17] 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）。
- [18] 国际原子能机构《放射源的进出口指南》，国际原子能机构，维也纳（2012 年）。
- [19] 国家辐射防护和测量委员会《粒子加速器设施的辐射防护》，国家辐射防护和测量委员会第 144 号报告，国家辐射防护和测量委员会，华盛顿特区（2003 年）。
- [20] 国际原子能机构《电子直线加速器操作的放射安全方面》，《技术报告丛书》第 188 号，国际原子能机构，维也纳（1979 年）。
- [21] 英国标准协会《关于屏蔽电离辐射数据的建议第一部分：1966 年， $\gamma$  射线屏蔽》（BS 4094），英国标准协会，伦敦（1988 年）。

- [22] 英国标准协会《关于屏蔽电离辐射数据的建议第二部分：1971年,X射线屏蔽》(BS 4094)，英国标准协会，伦敦(1988年)。
- [23] 国家辐射防护和测量委员会《医用X射线成像设备的结构屏蔽设计》，国家辐射防护和测量委员会第147号报告，国家辐射防护和测量委员会，马里兰州贝塞斯达(2004年)。
- [24] 国际原子能机构《放疗设施设计中的辐射防护》，《安全报告丛书》第47号，国际原子能机构，维也纳(2006年)。
- [25] 国家辐射防护和测量委员会《超高压X和 $\gamma$ 放射治疗设备的结构屏蔽设计与评价》，第151号报告，国家辐射防护和测量委员会，华盛顿特区(2005年)。
- [26] 波特兰水泥协会《混凝土信息：混凝土长期高温照射的效应》(ST32-3-53)，美国伊利诺伊州斯科基(1969年)。
- [27] 国际标准化组织，《基本电离辐射符号》(ISO 361:1975)，国际标准化组织，日内瓦(1975年)。
- [28] 国际标准化组织，《电离辐射警告-补充符号》(ISO 21482)，国际标准化组织，日内瓦(2007年)。
- [29] 国际标准化组织，《辐射防护-密封放射源-一般要求和分类》(ISO 2919:1999(E))，国际标准化组织，日内瓦(1999年)。
- [30] 国际标准化组织，《辐射防护：密封放射源-泄露测试方法》(ISO 9978:1992(E))，国际标准化组织，日内瓦(1992年)。
- [31] 国际原子能机构《放射性物质安全运输条例(2009版)》，国际原子能机构《安全标准丛书》第TS-R-1号，国际原子能机构，维也纳(2009年)。
- [32] 国际原子能机构《放射性物质运输中的安保》，国际原子能机构《核安保丛书》第9号，国际原子能机构，维也纳(2008年)。
- [33] 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、联合国人道主义事务协调厅、世界卫生组织，《核或辐射应急的准备与响应》，国际原子能机构《安全标准丛书》第GS-R-2号，国际原子能机构，维也纳(2002年)。

- [34] 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工局、泛美卫生组织、联合国人道主义事务协调厅、世界卫生组织，《核或辐射应急准备的安排》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-2.1 号，国际原子能机构，维也纳（2007 年）。
- [35] 国际原子能机构《制定应对核或辐射应急安排的方法》，EPR-方法（2003 年），国际原子能机构，维也纳（2003 年）。



## 参与起草和审订人员

MacKenzie, C	国际原子能机构
McKinnon, D.	顾问（加拿大）
Plante, J.	加拿大核安全委员会
Reber, E.	国际原子能机构
Smith, M.	美国施洁国际公司
Tattersall, P.	英国卫生保健局



## 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: Uhrík, 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.; 国际劳工局: 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: 李晓清 (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.; \*\*Gessler, 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: 曲志敏 (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](mailto:orders@rowman.com) • 网址: [www.rowman.com/bernan](http://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](mailto:eurospan@turpin-distribution.com)

单个订单:

[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://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](mailto:info@eurospangroup.com) • 网址: [www.eurospangroup.com](http://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](mailto: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