

国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

工业射线照相中的 辐射安全

特定安全导则

第 SSG-11 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。

工业射线照相中的辐射安全

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-11 号

工业射线照相中的辐射安全

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 26007 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

工业射线照相中的辐射安全

国际原子能机构，奥地利，2022 年 11 月
STI/PUB/1466
ISBN 978-92-0-509722-0（简装书：碱性纸）
978-92-0-509822-7（pdf 格式）
ISSN 1020-5853

前 言

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

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

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

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

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

国际原子能机构安全标准

背景

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

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

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

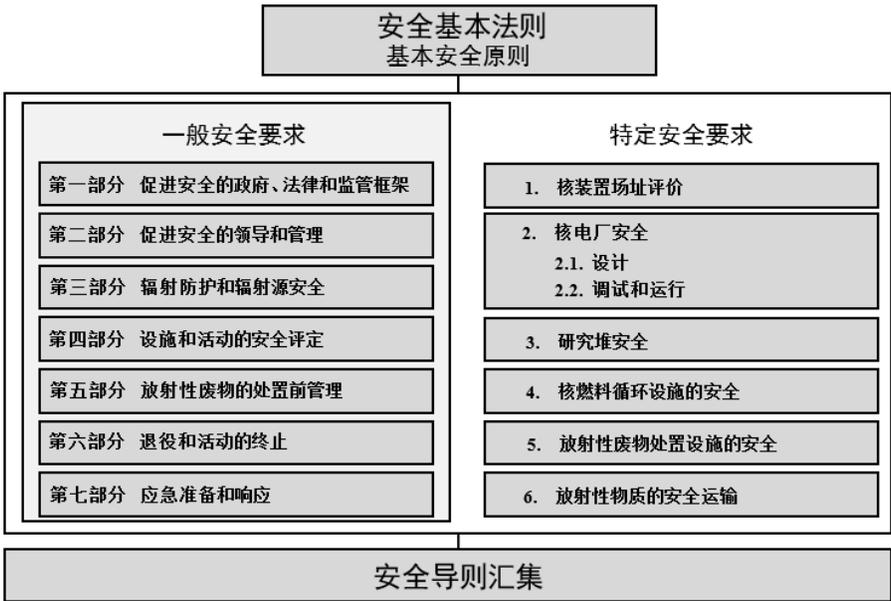


图1. 国际原子能机构《安全标准丛书》的长期结构。

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。

¹ 另见以原子能机构《核安保丛书》印发的出版物。

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。

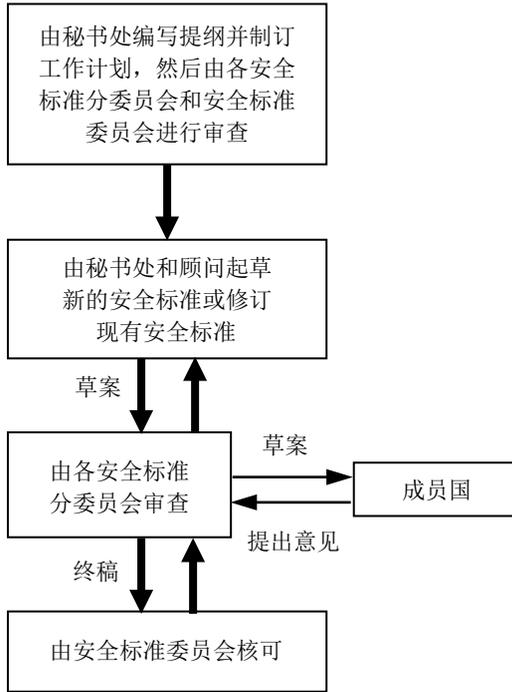


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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“引言”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 (1.1-1.5).....	1
目的 (1.6-1.7).....	2
范围 (1.8-1.11).....	2
结构 (1.12-1.14).....	3
2. 义务和责任	3
概述 (2.1).....	3
营运组织 (2.2-2.12).....	3
辐射防护主管 (2.13-2.15).....	5
有资质的专家 (2.16-2.18).....	6
工作人员 (2.19-2.25).....	7
委托人 (2.26-2.30).....	8
3. 安全评定	9
概述 (3.1-3.3).....	9
安全评定方法 (3.4).....	9
安全评定结果 (3.5).....	10
安全评定评审 (3.6).....	10
4. 辐射防护计划	11
目标和范围 (4.1-4.3).....	11
结构和内容 (4.4-4.5).....	11
管理结构和方针 (4.6-4.27).....	12
安全评定记录 (4.28).....	15
辐射安全委员会 (4.29).....	16
5. 培训和资格认证	16
概述 (5.1-5.2).....	16
设计培训计划 (5.3-5.5).....	16
培训课程的结构和内容 (5.6-5.7).....	17
复训 (5.8-5.9).....	18
6. 工作人员的个人监测	19
个人剂量评定 (6.1-6.5).....	19
个人报警监测器 (6.6-6.9).....	20

直读剂量计 (6.10-6.14).....	21
记录保存 (6.15-5.18).....	21
剂量调查 (6.19).....	22
健康监督 (6.20).....	22
7. 工作场所监测	22
监测方案 (7.1-7.2).....	22
测量仪的选择、维护和校准 (7.3-7.7).....	23
8. 放射源控制 (8.1-8.6).....	24
9. 工业射线照相源和照射装置的安全.....	25
概述 (9.1-9.3).....	25
γ 射线照相源和照射装置 (9.4-9.36).....	26
X 射线发生器 (9.37-9.50).....	32
10. 屏蔽室中的射线照相.....	36
概述 (10.1-10.3).....	36
设计和屏蔽 (10.4-10.12).....	36
控制区和监督区 (10.13-10.14).....	37
γ 射线照相的安全系统和警报系统 (10.15-10.24).....	38
X 射线发生器的安全系统和警报系统 (10.25-10.33).....	39
射线照相程序 (10.34-10.44).....	41
退役 (10.45).....	42
11. 现场射线照相.....	43
概述 (11.1-11.4).....	43
现场射线照相准备 (11.5-11.6).....	43
与委托人合作 (11.7-11.10).....	44
划定控制区的边界 (11.11-11.15).....	44
报警信号 (11.16-11.17).....	45
通知 (11.18).....	45
边界巡逻和监测 (11.19-11.21).....	45
监测 (11.22-11.26).....	46
现场 γ 射线照相的附加注意事项 (11.27-11.39).....	47
现场 X 射线照相的其他注意事项, 包括使用加速器 (11.40-11.44).....	49
12. 放射源的运输.....	50
工作现场内的移动 (12.1-12.2).....	50
运输到其他现场 (12.3-12.9).....	50

13. 应急准备和响应	51
概述 (13.1-13.6).....	51
制定应急预案 (13.7-13.10).....	52
应急类型 (13.11-13.13).....	53
基本应急预案内容 (13.14-13.16).....	54
应急设备 (13.17-13.19).....	55
专用应急程序 (13.20-13.21).....	56
培训和演习 (13.22-13.24).....	57
定期检查预案和设备 (13.25-13.26).....	58
报告 (13.27-13.30).....	58
附录 原子能机构对放射源的分类	61
参考文献	65
附件 I 安全评定示例	69
附件 II 工业射线照相源综述和设备	75
附件 III 工业射线照相事故案例	79
参与起草和审订人员	85
国际原子能机构安全标准核可机构	87

1. 导言

背景

1.1. 电离辐射的应用给人类带来了许多好处，从发电到在医药、工业和农业方面的应用，不一而足。辐射的一个最悠久的工业应用是使用射线对设备进行无损检测。工业射线照相为核实设备和结构的物理完整性，如容器、管道、焊接接头、铸件和其他装置提供了一种手段。这类设备和结构的结构完整性不仅影响到产品的安全和质量，而且影响到对工作人员、公众和环境的保护。

1.2. 工业射线照相若采用安全的方式进行操作，则其风险基本可以忽略不计。然而，经验表明，涉及工业射线照相放射源的事故有时给工作人员造成高剂量，从而带来严重的健康后果，如辐射灼伤，在少数情况下甚至会造成死亡。当工业射线照相所用的放射源未受到适当的管控或监管时，公众亦会遭受过量的辐射照射。涉及放射源腐蚀或损坏的事故已对人类和环境造成了污染。工业射线照相由于其性质往往是在复杂的工作条件下进行的，例如在受限的空间或极冷或极热的环境中。在这种不利条件下工作可能会使剂量满足合理可行尽量低的原则受到挑战。所有这些方面都表明，高级管理层有必要在其组织内提升安全文化，以确保安全第一。

1.3. 本“安全导则”假定，成员国针对工业射线照相中的辐射安全方面，已经确立了有效的政府、法律和监管框架¹ [1-4]。

1.4. 本“安全导则”用于替代《安全报告丛书》第13号《工业照相辐射防护和安全》²。

¹ 术语“工业射线照相”在本“安全导则”中用于指涉及放射源的工业射线照相。这里使用的“辐射”是指电离辐射。本出版物中使用的术语的定义和解释依据原子能机构2007年版《安全术语》[5]中（另见 <http://www.ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>）。

² 国际原子能机构《工业射线照相的辐射防护和安全》，《安全报告丛书》第13号，国际原子能机构，维也纳（1999年）。

1.5. 除非另有说明,本“安全导则”所使用的术语的定义依据原子能机构《安全术语》(2007年版)[5]。

目的

1.6. 《国际辐射防护和辐射源安全基本安全标准》简称《基本安全标准》[2]规定了保护人们免受辐射照射和放射源安全的基本要求。这些要求的执行有助于确保受辐射影响的人数及其遭受的剂量处于合理可行尽量低的水平,并有助于防止事故的发生或缓解其后果。本“安全导则”就如何在《基本安全标准》和原子能机构其他安全标准的框架内开展工业照相给出了建议。

1.7. 本出版物中的指导意见以《基本安全标准》和本文引用的原子能机构其他安全标准为基础。本出版物中主要针对获得从事工业射线照相许可的营运组织管理人员、照相工作人员、辐射防护主管和监管人员。工业射线照相设备和设施的设计者和制造商也可能与本“安全导则”相关。

范围

1.8. 本“安全导则”为确保用于无损检测的工业射线照相中的辐射安全提供了建议。包括在具有有效工程控制的固定屏蔽设施和使用移动源的外部屏蔽设施中(即现场照相)使用 X 射线和 γ 源开展的工业射线照相。

1.9. 关于工业射线照相技术方面的建议和指导,如获得良好图像的技术,可见原子能机构的另一份出版物[6]。

1.10. 水下 γ 射线照相和中子射线照相的应用相对较少。这些技术将需要制定专门的安全评定和具体程序。尽管本“安全导则”没有具体阐述这些射线照相技术的技术指导,但本“安全导则”的一般安全原则,如提供适当屏蔽以确保辐射剂量保持在合理可行尽量低的水平也适用于上述技术。

1.11. 原子能机构计划初版一份单独安全导则涵盖使用辐射对人员、行李、邮件、货物和车辆进行安保检查以及其他此类检测的目的。

结构

1.12. 第 2 部分说明了组织和个人的各种义务和责任；第 3 部分和第 4 部分分别说明了安全评定的准备及其与辐射防护计划的关系；第 5 部分说明了营运组织雇用训练有素的合格人员的必要性；第 6 部分和第 7 部分分别说明了如何对工作人员和工作场所进行辐射监测。

1.13. 随后各部分详细介绍了适当控制 γ 源的实例（第 8 部分）、 γ 和 X 射线源的物理安全及辅助设备（第 9 部分）、在固定设施中和在现场射线照相中安全使用 X 射线和 γ 源（分别为第 10 部分和第 11 部分）以及放射源的安全运输（第 12 部分）；第 13 部分说明了对涉及工业射线照相放射源的应急准备和响应。

1.14. 附录给出了原子能机构对放射源分类概述。附录 I 列出了一个工业射线照相安全评定的例子；附录 II 概述了工业射线照相源和设备。最后，附录 III 简要概述了一些事故案例。

2. 义务和责任

概述

2.1. 辐射安全的总体责任由被授权从事工业射线照相工作的营运组织承担。不过，设备安全操作的具体职责和日常责任将由不同人员承担，包括高级管理人员、辐射防护主管、工业射线照相工作人员和协助人员、有资质的专家、以及现场射线照相工作中负责现场射线照相工作场所的委托人和任何相关分包商。所有责任和义务应由所有相关方商定，并应以书面形式确定。

营运组织

辐射安全与安全文化管理

2.2. 营运组织通过其管理人员负责制定和实施必要的技术和组织措施，以确保防护和安全，并遵守相关的法律和法规要求。在某些情况下，任命组

织外的人员执行与这些责任有关的任务或行动可能较为恰当，但营运组织保留辐射安全和法规遵循的主要责任。

2.3. 应指定一名高级管理人员全面负责监督辐射安全，并核实工业射线照相工作是否符合监管要求。要求确立辐射安全责任，并经相关各方同意，以书面形式记录。管理人员应确保制定保护工作人员、公众和环境的程序，并确保剂量处于合理可行尽量低的水平（最优化原则）。所有方针和程序都应文档化，并对所有工作人员和适用的监管机构开放。

2.4. 管理人员必须在其组织内培养安全文化，鼓励对防护和安全采取质疑和学习的态度，并防止自满[2]。良好的安全文化是通过管理安排和工作人员态度的相互影响，以促进形成开展工作的安全方法。安全文化不局限于辐射防护；它还应扩大到常规安全。

2.5. 具有良好安全文化的营运组织在事故发生时不推卸责任；而是从错误中汲取教训，培养质疑的态度，并寻求工作过程中安全的持续改进。在调查事故时，可以考虑什么是正当行为，然而某些情况下可以采取惩戒措施。

辐射防护计划

2.6. 营运组织应制定和执行辐射防护计划[7]。包括辐射防护措施、安全评定、执行辐射防护措施的方法以及评审和更新机制。安全评定和辐射防护计划详情分别见第3部分和第4部分。

管理系统

2.7. 营运组织应制定、实施、评定并持续改进管理系统，该系统应明确所有相关人员的职责，并详细说明对组织、人员和设备的要求。管理系统应以国家或国际标准[8—10]为基础。它应包括日常内部检查和监查机制及相关的第三方监查。辐射防护计划应纳入管理系统。

设施和资源

2.8. 营运组织应确保有合适可用的设施和设备，以使射线照相工作能够安全进行，并符合法规要求。特别是射线照相设备应包括所有相关的安全和报警装置。应配备足够数量的射线照相工作人员、协助人员和辐射防护主管，以安全地执行每项工作。应向他们提供适当的设备（如辐射监测器），使工作能够安全和有效地进行。

通知监管机构

2.9. 打算从事工业射线照相工作的营运组织应向监管机构提交一份通知,说明其从事这类工作的目的。该通知应在营运组织开始辐射工作之前发出,通知的详细内容应符合监管要求。一些监管机构可能要求定期或逐案提供补充信息(如现场射线照相工作)。

监管机构授权

2.10. 营运组织必须向监管机构申请购买、存储、使用、分发或转移放射照相源的授权。有些国家还可能要求对放射照相源的进口或出口给予授权。在营运组织获取适当授权(可能会施加某些约束或限制)之前,不应开始射线照相工作。

2.11. 在申请授权时,营运组织应向监管机构提供适当的书面证据,以证明将提供和维持足够的辐射安全水平。监管机构如果有疑问,则应要求营运组织正式提供使用电离辐射而不是其他可替代技术开展无损检测的正当说明。

2.12. 支持授权请求所需的证明文件至少应包括:

- (a) 关于授权申请人的信息;
- (b) 营运组织对所有相关工作人员的培训和资格要求;
- (c) 关于放射源类型和所用设备的技术资料;
- (d) 放射源使用和存储的安全评定;
- (e) 存储或使用放射源的安全系统和设施的详细情况(例如屏蔽、联锁系统和报警系统);
- (f) 辐射防护计划;
- (g) 应急预案和程序。

辐射防护主管

2.13. 营运组织应在内部任命至少一名雇员担任辐射防护主管,以监督辐射防护计划的日常执行情况并履行计划所要求的职责。根据监管要求,辐射防护主管的职责可包括:

- (a) 监督工业射线照相作业，协助营运组织遵守规章制度的要求，包括现场射线照相工作放射源安全运输的要求；
- (b) 维护放射源台账记录；
- (c) 检查和维护工程控制、安全和报警装置；
- (d) 监督控制区的出入控制；
- (e) 建立和定期评审个人剂量测定安排，包括维护和评审职业剂量记录；
- (f) 确保射线照相工作人员接受设备使用和辐射防护方面的适当培训，并定期接受复训；
- (g) 确保制定应急预案并定期演练；
- (h) 监督工作场所监测措施；
- (i) 制定、颁发和定期评审现场规定（包括颁发工作许可证）；
- (j) 调查高于正常照射和过量照射；
- (k) 调查和报告事件，包括事故。

2.14. 需任命的辐射防护主管人数将取决于营运组织的规模、放射照相源的数量以及将开展的射线照相工作的频次和性质。在任命了一名以上辐射防护主管的情况下，应明确界定每人的义务和责任。即使在仅有少数雇员的小型组织中，也应任命具有足够知识、培训和经验的人担任辐射防护主管。

2.15. 辐射防护主管须为公司雇员，须具备适当资格、射线照相工作经验并应被允许密切监督射线照相工作。营运组织应确保辐射防护主管有足够的时间、授权和资源有效履行职责。还应授权辐射防护主管制止不安全的工作，并在整个组织内有效互动，特别是与高级管理人员互动，以确保可能影响辐射安全的决定得到高层的支持。

有资质的专家

2.16. 营运组织可以就射线照相设施的设计、辐射屏蔽计算、辐射测量仪的测试和维护等与辐射安全有关的事项，咨询一名或多名有资质专家的意见。遵守法规要求的责任不能委托给有资质的专家，而应始终由营运组织承担。

2.17. 有资质的专家不要求必须是营运组织的雇员：他们可以是兼职的，也可以是为具体项目任命的。首要条件是，合格的专家应满足任何相关的国家资格或认证标准。

2.18. 有资质的专家应与辐射防护主管密切合作，以确保履行所有必要的职责和任务。

工作人员

射线照相工作人员

2.19. 虽然辐射安全的主要责任在于营运组织，但射线照相工作人员（包括协助人员和实习生）有责任安全工作，并采取一切正当行动，以限制自己及其他工作人员和公众的照射。

射线照相工作人员应：

- (a) 遵守现场规定（见第 4 部分）和任何相关程序；
- (b) 在射线照相工作和放射源操作期间，始终在正确的位置佩戴个人剂量计（见第 6 部分）；
- (c) 正确和系统地使用辐射监测器（见第 7 部分）；
- (d) 在所有辐射安全问题上与辐射防护主管和有资质的专家合作；
- (e) 参加任何有关辐射安全的培训；
- (f) 避免采取任何可能使自己或他人违反法规要求或营运组织自身要求的故意行动。

2.20. 射线照相工作人员应将任何可能导致其本人或他人受到高于正常辐射剂量的事故或情况迅速通知辐射防护主管。这可能包括安全系统和报警系统的故障或观察到的缺陷、程序的错误执行或不当行为。事件或监测异常发生后，应尽快向辐射防护主管提交书面报告。

2.21. 辐射安全应纳入所有人员的日常射线照相工作。这是判断营运组织整体安全文化的一个因素。

短期合同的射线照相工作人员（流动工作人员）

2.22. 短期雇用射线照相工作人员的营运组织，应确保该射线照相工作人员具有与全职射线照相工作人员相同的防护和安全水平。这些短期射线照相工作人员（有时称为流动工作人员）在为另一雇主工作之前，只在营运组织工作一段很短的时间（例如几个星期）。

2.23. 这种工作形式可能在遵守规章方面造成特别的困难。在合同中应当明确营运组织和流动射线照相工作人员的职责。为使其符合监管要求，营运组织应在流动工作人员开始工作前了解其当前的年度累积有效剂量。

2.24. 营运组织和流动射线照相工作人员的职责将取决于具体的监管要求。营运组织应与照相工作人员澄清以下内容的职责分配：

- 提供个人剂量测定和保存剂量记录（见第 6 部分）；
- 健康评定安排（见第 6 部分）；
- 工作场所监测安排（见第 7 部分）；
- 现场作业规程（见第 4 部分）。

2.25. 营运组织应核实射线照相工作人员是否具有适当的资质，并接受过辐射安全和工业射线照相技术方面的必要培训。应核实所有程序和其他有关文件都是以射线照相工作人员了解的语言所提供的。

委托人

2.26. 委托人是指雇用营运组织开展工业射线照相工作的组织或者个人。委托人应始终雇佣监管机构根据工业射线照相的监管要求授权的营运组织。

2.27. 委托人应给营运组织足够的准备时间来计划并安全地开展的工作，并使其能够遵守任何监管机构要求的预先通知。

2.28. 委托人不应强加妨碍营运组织以安全的方式进行射线照相工作的合同条件或限制。监管要求和安全要求优先于商业要求。委托人应确保射线照相工作与现场其他工作相协调，以最大限度地减少现场特定危险对射线照相工作人员造成的风险，并最大限度地减少对其他工作人员的辐射照射。如果不止一个射线照相组织在委托人的现场工作，则应进行专门协调。工作许可证制度有助于同一地点不同工作的沟通和协调。

2.29. 委托人须负责确保射线照相工作人员的工作环境安全，包括在容器、密闭空间、壕沟或其他有需要进入的地方工作时提供棚架、足够照明及安全安排。委托人还负责向来访的射线照相工作人员通报现场特有的安全问题和/或向他们提供任何必要的培训。

2.30. 如果放射源要临时存储在委托人的现场，委托人和营运组织都应确保该存储的安全和安保，并确保获得监管机构的任何必要授权。委托人和营运组织应明确制定进入放射源存储区域的管理程序。（另见第 7 部分）

3. 安全评定

概述

3.1. 营运组织应对其授权的每种放射源进行安全评定并记录在案。对于同一类型的放射源和装置，进行一个通用的安全评定是可以接受的。最初的安全评定，有时称为“放射性预评价”，是判断应采取何种防护措施和确认已考虑与防护和安全有关所有参数的主要工具。安全评定应形成文件，并在营运组织的管理系统内进行独立评审。

3.2. 在现场首次接收放射源或首次使用放射源之前，应进行安全评定。营运组织应提前计划，以确保有足够的时间实施所需的防护和安全措施。在用一个相同的放射源替换原放射源时可能不需要进行新的安全评定。

3.3. 如果已经进行的工作以前未进行过安全评定，营运组织应进行回顾性安全评定。回顾性安全评定应确认所有相关防护措施均已到位，或识别出应采取的任何其他措施。

安全评定方法

3.4. 工业射线照相源将产生高剂量率，因此应进行全面的安全评定。在进行安全评定时，应考虑到日常使用放射源引起的辐射风险，以及事故引起潜在照射的概率和严重程度。附录 I 列举了一个工业射线照相安全评定的例子。安全评定应包括：

- (a) 考虑屏蔽和非屏蔽的放射源和 X 射线发生器的剂量率；
- (b) 照相工作人员、其他工作人员和公众在正常使用和合理可预见事故的一系列假想方案下潜在的照射；
- (c) 放射源操作限值和技术条件；

- (d) 结构、系统和部件以及与防护和安全有关的程序可能失效或以其他方式导致潜在照射的方式，以及该失效的后果；
- (e) 外部因素可能影响防护和安全的方式；
- (f) 操作失误和人为因素可能影响防护和安全的方式；
- (g) 任何拟议修改对防护和安全影响的评价。

安全评定结果

3.5. 安全评定应为以下方面的决策提供依据：

- (a) 安全所需的工程控制措施；
- (b) 制定射线照相工作人员应遵循的程序（现场作业规程）；
- (c) 控制区和监督区的分区要求和程序；
- (d) 任何保护公众的要求；
- (e) 关于可合理预见事件的资料，包括为尽量减少这些事件发生的可能性所需的措施和必要的应急设备；
- (f) 关于在事故中采取行动限制人员照射和保护环境的资料（包括应急准备计划）。

安全评定评审

3.6. 当下列任何因素适用时，应进行安全评定的评审：

- (a) 对设施或程序的修改，或新的或具有不同辐射特性放射源的获取，导致安全可能受到损害或影响；
- (b) 运行经验或对应急或事故、故障或错误的调查表明，当前安全措施无效或不完全有效；
- (c) 对相关导则、标准或规定作出的任何既定或计划的重大修改。

4. 辐射防护计划

目标和范围

4.1. 辐射防护计划是一个组织内发展和维持安全文化的关键因素[7]，它应满足监管要求。辐射防护计划应包括营运组织的管理结构、政策、责任、程序和组织安排。用以控制辐射危害，优化辐射防护措施，防止或减少辐照，并减轻事故后果。

4.2. 辐射防护计划的制定和范围应满足营运组织的需求。该计划应反映以射线照相为目的的计划开展的活动的复杂性和危险性。该计划应以营运组织的安全评定为基础，并应包含计划照射假想方案和潜在照射。

4.3. 这里描述的辐射防护计划的要素代表了使用 X 射线和 γ 源的日常射线照相操作。营运组织应考虑采取任何必要的额外措施和方案，以应对独特或不寻常的工作场所危害。

结构和内容

4.4. 辐射防护计划应包括有助于防护和安全的主要因素。辐射防护计划的结构和内容应适当详细地记录在案。辐射防护计划的基本内容应包括：

- (a) 管理结构和方针；
- (b) 辐射安全的个人责任分配；
- (c) 关于辐射危害的性质以及防护和安全的教育和培训计划；
- (d) 现场作业规程和监督；
- (e) 控制区和监督区的划分；
- (f) 监测工作人员和工作场所的安排，包括购置和维护辐射防护仪器；
- (g) 健康监督计划；
- (h) 记录和报告与照射控制、职业辐射防护和安全措施的决定以及对个人的监测有关的所有信息的系统；
- (i) 应急准备计划；
- (j) 定期评审和监督辐射防护计划执行情况的方法；
- (k) 质量保证和过程改进。

4.5. 下文将更全面地介绍辐射防护计划的这些内容，这些内容根据操作的规模和复杂程度并入一份文件或一系列文件。

管理结构和方针

4.6. 因管理结构与辐射安全有关，辐射防护计划应包括对其进行描述。该结构可用组织结构图的形式描述，应显示负责辐射安全的高级管理人员和各种责任承担者（例如辐射防护主管）的姓名。结构图应清楚地显示从射线照相工作人员到全面负责的高级管理人员的报告流程。对于拥有一个以上经营场所的营运组织，管理结构应当明确每个场所的负责人。

4.7. 辐射防护计划应包括公司的辐射安全方针，并应包括管理层将辐射剂量保持在合理可行尽量低的水平以及培养安全文化的承诺。

辐射安全责任分配

4.8. 辐射安全责任的指定应涵盖放射源的整个寿命期，从订购和接收、使用和存储，到最终退回供应商（或其他可能的报废考虑）。如第2部分所述，需分配职责的岗位应包括营运组织的高级管理人员（对安全负有首要责任）、辐射防护主管、有资质的专家、射线照相工作人员和其他工作人员。

4.9. 对于在委托人场所执行射线照相工作的营运组织，在适当情况下，应由委托人公司而不是营运组织负责遵守某些安全要求（例如，提供与现场特定危险和安全要求相关的信息）。工业射线照相组织中至少应有一人负责与委托人联络。该联络过程应包括识别现场的任何危险，讨论现场作业规程，以及交流安全相关信息。

教育和培训计划

4.10. 辐射防护计划应说明直接从事日常射线照相活动和应急行动的所有雇员的防护和安全培训计划的全部范围（见第5部分）。它应酌情为其他工作人员制定辐射“意识”培训方案。其他工作人员包括管理人员、射线照相工作人员、实习人员、清洁工作人员和维护人员等可能不经意受到照射的人员，以及承包商。辐射防护计划还应具体规定与监管要求一致的所有有关工作人员的最低学历和专业资格，特别是辐射防护主管、射线照相工作人员及其协助人员。

4.11. 保存培训记录的要求应符合监管要求和建议，并应在辐射防护计划中加以具体说明。

现场作业规程和监督

4.12. 描述射线照相工作程序的现场作业规程应以将遵循这些规则的人所知道的语言进行制定和编写。这些现场作业规程应涵盖与有可能受到辐射照射的射线照相工作有关的所有程序，如日常操作、放射源更换和运输（见第 10 部分和第 11 部分）。现场作业规程是限制辐射剂量的重要工具。它们应包括足够的信息和指导，使射线照相工作人员和其他工作人员能够安全地履行职责，并符合监管要求。

4.13. 管理层应确保所有相关人员已阅读并理解现场作业规程。应向所有射线照相工作人员和其他有关人员提供现场作业规程的复印件，同时也应在工作区内提供复印件。在射线照相工作量有限的较小的组织中，可制定一套涵盖所有程序的现场作业规程。

4.14. 在较大的组织中，可制定几套具体的现场作业规程。这些规程可包括在射线照相屏蔽室³中进行射线照相工作的程序、现场进行射线照相工作的程序和交换 γ 源的程序。一些委托人还可能要求制定具体的现场作业规程，以涵盖他们其他经营场所内的射线照相工作。

4.15. 营运组织应至少任命一名雇员担任辐射防护主管，监督辐射防护计划的日常执行情况，并履行计划要求的职责。辐射防护主管的职责详见第 2 部分。

指定控制区或监督区

4.16. 辐射防护计划应说明如何为射线照相工作划分控制区⁴和监督区⁵。在射线照相工作中，应使用控制区来限制照射。有时应使用监督区，特别是在固定射线照相设施周围。此类区域的划分应基于安全评定和测量

³ “射线照相屏蔽室”在下文中称为“屏蔽室”。

⁴ 控制区是指其中需要或可能需要具体的防护措施和安全规定的区域，以便：(a) 在正常工作条件下控制正常照射或防止污染扩散；(b) 防止或限制潜在照射的范围。

⁵ 监督区域是指不指定为控制区，即使通常不需要具体的保护措施或安全规定但仍对其职业照射条件不断进行评审的区域。

的剂量率。应提供设置控制区的指导，特别是现场射线照相工作（见第 10 部分和第 11 部分）。

工作场所监测计划

4.17. 辐射防护计划应说明剂量率测量设备的选择、校准、维护和试验的方案。应具体说明监测设备的日常使用方案。该方案应提供：在固定设施周围进行剂量率测量的必要频率、进行现场射线照相工作时应遵循的监测程序、应记录的详细信息以及记录应保存的时间长度。

4.18. 辐射防护计划应详细说明射线照相工作人员可获取足够数量合适的辐射监测器。对于现场射线照相工作，尽管倾向于每个射线照相工作人员配备一个剂量计（见第 7 部分），但最低要求是每个在用的放射源配置一个剂量计。

4.19. 辐射防护计划应包括剂量率参考水平。这些参考水平是指在执行特定任务期间可接受的最大剂量率，例如现场射线照相工作期间在控制区屏障处和在操作员位置处。此类剂量率参考水平应满足监管要求和导则要求。

个人剂量监测安排

4.20. 辐射防护计划应具体规定工作人员使用的剂量计类型、佩戴时间以及剂量计评定和剂量记录保存的安排。辐射防护计划还应具体规定，剂量测定服务供应商应得到适当的核准或认证。辐射防护主管应定期评审剂量记录，以确定可能高于通常水平的剂量（见第 6 部分），并评审剂量是否处于合理可行尽量低的水平。

健康监督计划

4.21. 辐射防护计划应包括对射线照相工作人员和其他工作人员进行定期健康监督的详细方案。方案应包括工作人员最初和持续适应其预定任务的健康条件评定的要求。在制定健康监督方案时，应征求有资质的专家和（或）医生的意见，同时应满足监管要求。

应急准备计划

4.22. 辐射防护计划应包括应急准备和响应计划，以便在发生紧急情况时加以执行。预案应涵盖所有可合理预见的紧急情况。关于应急准备的导则见第 13 部分。

辐射防护计划的执行情况定期评审和监查

4.23. 作为营运组织管理系统的一个组成部分，辐射防护计划及其执行情况应进行定期评定。这一定期评审应查明有待解决的问题和可提高辐射防护计划效力的任何修改。

4.24. 这一定期评审过程的一个关键部分是例行的一系列工作场所监查，包括将进行监查的人员的任命和资质、监查频率、监查小组的期望、结果报告及其后续行动。

质量保证和过程改进

4.25. 工业射线照相工作及其相关活动应按既定的管理系统进行。这一管理系统用于确保所有设备和安全系统均进行定期检查和试验，任何故障或缺陷均提请管理层注意并及时进行补救。

4.26. 管理层还应确保遵循正确的操作程序，并确保质量保证计划规定了要进行的相关检查和监查以及要保留的记录。质量保证方案的内容和细部分应考虑到并反映相关的监管要求。

4.27. 管理系统应包括一个机制：用于收集和反馈从应急情况和事故中吸取的经验教训（包括组织内部和外部报告中的经验教训），以及如何利用这些经验教训加强安全。

安全评定记录

4.28. 辐射防护计划的主要依据是安全评定，安全评定识别了工业射线照相作业过程中可能遇到的辐射危害的性质和程度。安全评定报告应作为辐射防护计划文件的组成部分。

辐射安全委员会

4.29. 中型至大型射线照相公司应成立辐射安全委员会，定期评审辐射防护计划的执行情况。该委员会可能仅负责辐射安全，也可能承担其他（常规）安全相关职责。该委员会应包括负责辐射安全的高级管理人员、辐射防护主管、射线照相工作人员和工作人员代表。辐射安全委员会的职责应包括但不限于：

- (a) 定期评审辐射防护计划的所有内容；
- (b) 评审职业辐射剂量和辐射防护主管编写的任何事故报告；
- (c) 提出辐射防护计划的改进建议；
- (d) 就辐射防护主管职责履行提供指导和指示；
- (e) 编写并向所有工作人员分发有关辐射安全问题的定期报告。

5. 培训和资格认证

概述

5.1. 从事射线照相工作人员有责任确保其工作安全进行，并符合所有相关条例和安全标准。因此，营运组织应确保射线照相工作仅由有资质的或经认证的且在防护和安全方面有能力和受过培训的照相工作人员和协助人员进行。

5.2. 在对利用无损检测技术的射线照相工作人员进行培训和资格认证方面，有国际认证体系。其中一些体系可能只包括有限的辐射安全培训。在这种情况下，应补充额外的培训，特别是防护和安全方面的培训。此种额外培训可由专门培训组织提供，而不是由营运组织提供。

设计培训计划

5.3. 防护和安全方面的培训课程可由一系列培训提供者提供，包括学院、大学、辐射防护机构和培训顾问[11、12]。一些国家还可以利用中央培训设施，该设施可以是原子能机构支助的国家或区域培训中心。这些培训中心可提供专门为工业射线照相工作人员开发的辐射安全培训课程。

5.4. 射线照相工作人员应根据其培训和经验分为不同的能力水平。例如，在一些国家，这些级别被指定为射线照相工作人员协助人员（即实习生）和射线照相工作人员（即完全合格的人员），或 1 级射线照相工作人员和 2 级射线照相工作人员。有些国家还有 3 级照相工作人员，他们可以对其他射线照相工作人员进行培训、考试和评定。

5.5. 应制定与射线照相工作人员职责相对应的各级培训计划。培训计划应规定通过笔试和实践考试的标准，以及申请人考试不及格时应遵循的程序。培训计划的细节应包含在辐射防护计划内。有关培训的进一步细节见下文。

培训课程的结构和内容

5.6. 每一培训课程都应围绕具体的目的和目标安排，并应根据目标受众的需要定制。参考文献[11、12]提供了工业射线照相工作人员辐射防护培训课程的结构和内容。下文概述了工业照相工作人员辐射安全基本培训的基本要素。

基本概念和测量

- 基本辐射概念；
- 辐射量和单位；
- 辐射探测仪器；
- 辐射生物效应。

辐射防护原则

- 辐射防护体系（正当性、最优化和剂量限值）；
- 监管要求；
- 控制区和监督区划分；
- 剂量限值和调查水平。

实用辐射防护

- 放射源输出；
- 时间、距离和屏蔽的效应；

- 个人监测；
- 限制剂量并将其保持在合理可行尽量低的水平的工作实践；
- 放射源存储；
- 正确操作和维护射线照相设备；
- 辐射防护计划；
- 现场作业规程；
- 应急预案；
- 辐射防护管理；
- 放射源运输；
- 衰变放射源的报废考虑；
- 涉及放射源的事故和其他事件、其后果和经验教训；
- 应急准备和响应。

5.7. 培训应提供实操练习，包括演练应急预案（见第 13 部分），如恢复卡住的放射源。然而，在这种演练中绝不应使用放射源。演练可以采用发射射频信号模拟放射源的培训设备，并使用专门设计的看起来像剂量率测量仪的射频探测器来探测。另一种方法是使用看起来像射线照相源“源辫子”但不具有放射性的“假”放射源。

复训

5.8. 射线照相工作人员应通过复训确保其知识和技能跟上时代的发展。这种培训应包括防护和安全基础的回顾，以及关于设备、政策和程序的变化以及监管要求可能发生的变化信息。

5.9. 复训的频率应符合监管要求。复训通常每隔两年进行一次，一般不超过五年。这种培训可与其他射线照相技术复训相结合，并可获得认证。安全问题法规和通知方面的变化应在可行的情况下尽快以书面指示的形式传播，然后将其纳入复训。

6. 工作人员的个人监测

个人剂量评定

6.1. 营运组织应确保定期评定射线照相工作人员的辐射剂量，以确保剂量保持在合理可行尽量低的水平，并低于剂量限值。对剂量的评定还可以突出工作实践的好坏、设备的故障或屏蔽或工程安全系统的退化。

6.2. 营运组织应与剂量测量服务部门共同作出安排，为工作人员提供适当的剂量计，以便正规保存剂量记录。所有射线照相工作人员、协助人员和任何其他经常被要求进入控制区和国家要求的监督区的工作人员都应佩戴剂量计。在发生应急情况或事故时，剂量计还可以提供有用的数据。

6.3. 热释光剂量计和胶片剂量计是常用的个人剂量计。这两种类型都包含一个记录辐射照射的被动元件，随后由一个专门的剂量测定实验室进行处理，以评定剂量。另一种类型的剂量计是电子个人剂量计，它利用固态探测器立即读出辐射剂量（有时还读出剂量率）。在某些国家和某些情况下，电子个人剂量计是被核准用以替代热释光剂量计或胶片剂量计。

6.4. 工业射线照相工作人员最终选择使用的剂量计类型应由辐射防护主管进行评价，并可能与辐射剂量测定方面的有资质的专家一起进行。除了需要满足各种技术要求外，剂量计的选择还可能受到可用性、成本、稳健性以及监管要求等因素的影响。

6.5. 为确保剂量计向射线照相工作人员提供准确的剂量评定，应遵循以下标准：

- (a) 射线照相工作人员在进行任何辐射工作时都应佩戴剂量计。如果在具有额外放射源的设施（核电厂等）中进行射线照相，则可能需要额外的剂量计；
- (b) 剂量计应根据剂量测量服务提供商的建议佩戴；
- (c) 对于热释光剂量计和胶片剂量计，测量元件应正确放置在剂量计支架中；
- (d) 剂量计只应由领取者佩戴；

- (e) 剂量计较为敏感，应注意避免损坏剂量计的测量元件（例如，剂量计可以被水、高温、高压和物理冲击损坏）；
- (f) 当剂量计不被射线照相工作人员佩戴时，剂量计不应受到辐射照射（剂量计应存放在远离放射源的地方）；
- (g) 热释光剂量计和胶片剂量计应在佩戴结束时由剂量测量服务部门及时处理；
- (h) 如果营运组织怀疑剂量计已损坏或未佩戴时受到照射，应通知剂量测量服务部门。

个人报警监测器

6.6. 个人报警监测器是当超过预设剂量和/或剂量率时发出报警信号的小型电子辐射探测器。这种探测器可以是专用设备，或就电子个人剂量计的来看，通常在“法定的”剂量计中内置报警信号。尽管可以由振动或可见信号补充（如果环境噪声水平高和/或如果佩戴耳朵保护器或其他安全设备，可见信号可能是有用的），报警信号通常是声音报警。

6.7. 这些额外的信息在有助于将辐射剂量控制在合理可行尽量低的水平。它还有助于提醒射线照相工作人员，从而防止或减轻应急情况和事故。因此，营运组织应向所有射线照相工作人员和协助人员提供个人报警监测器，特别是在要进行 γ 射线照相工作的情况下。

6.8. 使用个人报警监测器的重要注意事项包括：

- (a) 个人报警监测器应仅用作补充物，而不是取代热释光剂量计或胶片剂量计；
- (b) 不应使用个人报警监测器取代剂量率测量仪（见第 6.14 段）；
- (c) 应按照国家建议和/或制造商的指导，对个人报警监测器进行定期试验。

6.9. 一些个人报警监测器除了给出声光报警之外，还给出剂量和/或剂量率的读数。

直读剂量计

6.10. 直读剂量计给出所接收剂量的即时读数。这是一个射线照相工作中限制照射的非常有用的工具，尤其是在特定的工作任务情况下。直读剂量计应由营运组织提供，并应按照制造商的说明进行试验。

6.11. 石英光纤剂量计是一种简易的直读式剂量计，它通过带电纤维在刻度上的偏转来显示累积剂量。石英光纤剂量计已广泛应用多年，但目前已被更现代化的电子直读剂量计所取代。

6.12. 电子直读剂量计可包括可听和/或可视报警特征，以在超过预设剂量或剂量率时发出警告。这也使它们能够用作个人报警监测器。

6.13. 在主要用作法定目的的“记录保存”剂量计时，某些特定的电子直读剂量计（如电子个人剂量计）也可用于替代热释光剂量计或胶片剂量计，但这取决于监管要求。

6.14. 与个人报警监测器一样，电子个人剂量计的设计和校准是为了测量个人剂量，而不是工作场所剂量率，因此不应将其用作工作场所辐射测量计的替代品。

记录保存

6.15. 营运组织应保存需定期进入控制区和国家规定要求的监督区的射线照相工作人员和其他工作人员所受剂量的记录。这些记录应包含工作人员佩戴的剂量计所记录的剂量的详细信息。他们应明确标明在事故中或在执行应急程序时所接受的剂量，以区别于在日常工作中所接受的剂量。这些剂量记录通常与记录在工作人员的原始个人剂量计上的剂量有关，并且通常不记录从石英光纤剂量计和直接读取剂量计等附加装置获得的测量剂量。

6.16. 接受个人监测的射线照相工作人员及其他工作人员，应被告知其个人剂量。营运组织还应作出安排，将记录提供给辐射防护主管，并在需要时提供给负责健康监督方案的医生和监管机构。

6.17. 当工作人员更换或离职时，营运组织应向该工作人员和新雇主提供该工作人员剂量记录的概要。当工作人员停止进行射线照相工作，或离职且

不与另一雇主开始射线照相工作时，营运组织应安排由营运组织本身或国家法规规定的另一机构保留工作人员的剂量记录。

6.18. 监管要求可规定每个工作人员剂量记录的保存期限；例如，直到一名工作人员年满 75 岁或将年满 75 岁，并且已停止辐射工作不少于 30 年。在满足记录保存要求时，营运组织应确保记录保持适当的保密性。

剂量调查

6.19. 如果射线照相工作人员、其他工作人员或公众受到的剂量超过监管机构或营运组织规定的任何剂量限值或调查水平，营运组织应进行调查。调查应侧重于导致过量照射的事故的原因，以及导致事故发生的程序或安全系统的故障。调查报告应确定对程序或设施的任何改进，以优化防护，减少发生类似事件的可能性，和/或减轻后果。

健康监督

6.20. 营运组织应当按照规章制度的要求，对相关员工进行健康监护。应进行初步健康监测，以评定工作人员是否有足够的健康完成预定任务，并评定工作人员在心理上是否适合从事放射源工作。还应做定期健康评定，以确保工作人员的健康状况依然满足要求。

7. 工作场所监测

监测方案

7.1. 营运组织应制定监测工作场所内和周围辐射水平的方案[13]。应在方案中评定射线照相工作中现有保护安排的充分性，其中应包括在下列位置测量辐射水平：

(a) 对于屏蔽室内射线照相：

- (i) 在不同操作条件下屏蔽室的墙壁和门（以及其他开口）周围，以确保已保持足够的屏蔽水平；

- (ii) 在每次完成 γ 射线照相照射后的屏蔽室入口处，确认 γ 源已令人满意地返回照射装置或 X 射线发射已停止；
 - (iii) 在 γ 源存储区周围，以确保已提供足够水平的屏蔽。
- (b) 对于现场射线照相工作：
- (i) 在试验照射（或首次照射，视情况而定）期间屏蔽体周围，以确认屏障位置正确；
 - (ii) 在 γ 源卷出期间或当 X 射线发生器通电时操作员所在位置处，以确认辐射水平不是不可接受的；
 - (iii) 在日常照射期间的屏障体周围，以确认剂量率仍低于国家法规或导则或营运组织规定的任何值；
 - (iv) 在 γ 源卷进去期间或 X 射线发生器照射终止期间的操作员位置处；
 - (v) 在每次照射后照射装置周围，以确保放射源已完全回到屏蔽位置；
 - (vi) 在现场使用的任何放射源存储区周围，以确保已提供足够水平的屏蔽；
 - (vii) 在完成射线照相工作后的现场周围，以确认现场无 γ 源残留；
 - (viii) 进出现场之前，在运载 γ 源的车辆周围。

7.2. 监测方案应说明应监测的地点、监测的频率和应保存的记录。这一信息应包括在现场作业规程中，并应在辐射防护计划中加以说明。应给出每个测量位置的参考水平，并说明超过这些值时应采取的措施。工作场所监测计划的记录应提供给适当的人，包括工作人员和监管机构。

测量仪的选择、维护和校准

7.3. 营运组织应确保射线照相工作人员有足够数量的合适剂量率监测器。许多类型的探测器适合于测量 γ 辐射水平，但有些探测器可能不适合精确测量低能 X 射线，这可能导致对真实剂量率的严重低估。应从制造商的资料和有资质的专家那里获得有关探测器适用性的信息和导则。

7.4. 营运组织应安排辐射监测器定期由专门的实验室进行正式试验或校准。应在这些试验或校准中评定辐射监测器的操作特性。这些操作特性包括对特定能量的已知剂量率的响应、线性度和在非常高剂量率下的探测器的

性能。试验或校准的频率和类型以及适当的记录应符合国家法律和/或法规或监管机构规定的任何要求。他们还应遵循制造商的所有建议。

7.5. 辐射监测器的日常操作检查应由射线照相工作人员和辐射防护主管进行。这可能包括物理检查以判断探测器是否损坏、电池检查和刻度归零。在使用前,应根据监管要求检查探测器对辐射的响应。例如通过使用低活度试验源,或者当放射源处于其屏蔽位置时通过将探测器靠近照射装置的表面来实现。一些监管机构可能要求根据正规的程序进行此类检查,并将记录的结果进行保存。

7.6. 还应考虑到探测器使用的环境条件。有些探测器不适合在非常潮湿或非常炎热的地方使用;有些探测器不够耐用,无法承受现场的大量使用。在一些进行现场射线照相工作的工业场地,可能必须使用特殊类型的辐射探测器。例如,在一些化工厂,射线照相工作人员可能必须使用辐射监测器,以尽量减少在工厂区域意外点燃易燃烟雾或蒸气的可能性(这些监测器通常称为本质安全探测器)。

7.7. 有些辐射监测器会受到射频传输的影响。如果射线照相在靠近射频产生设备的地方进行,则应考虑使用专门设计的射频屏蔽辐射探测器。还应考虑使用这些器件时的噪声。声音警告应足够大,以便听到,和/或应辅以振动或可见信号。

8. 放射源控制

8.1. 用于工业射线照相的放射源可造成并已经造成过严重事故[14—18]。工业射线照相中使用的 γ 源一般是国际原子能机构放射源分类中的II类源[19](见附录)。营运组织应确保 γ 射线照相源处于妥善的控制之下。这适用于从放射源第一次投入使用至最终返回到原来的供应商或在放射源寿期结束后得到妥善解决。《放射源安全和安保行为准则》[20]就I类、II类和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。

8.2. 关于放射源的安保,《基本安全标准》(参考文献[2]第2.34段)指出:

“应确保放射源的安保,防止其被盗窃或遭受损坏,防止任何未经授权的法人采取[基本安全]标准一般义务(见第2.7—2.9段)所规定的任何行动,通过确保:

“(a) 在未遵守注册或许可证规定的所有相关要求、未立即向[管理局]和相关担保组织通报任何已解除控制、遗失、被盗或丢失的放射源的信息的情况下，不得放弃对放射源的控制；

“(b) 除非接收方拥有有效的授权，否则不得转移放射源；以及

“(c) 每隔适当时间定期清点可移动源，以确认其位于指定地点并安全无虞。”

8.3. 营运组织应确保仅从授权供应商处获取放射源，并确保将废弃的放射源退回原供应商或转移到另一个授权机构。放射源的进出口应符合《放射源安全和安保行为守则》[20]及其《进出口管制补充指南》[21]中的建议。

8.4. 营运组织须定期清点放射源，以确认这些放射源在其指定的地点，并且是安全的[2]。只有经过授权和培训的射线照相工作人员才能将放射源从放射源库中移出或移至其他位置。射线照相工作人员应记录他们的姓名、日期和时间以及放射源的确切新位置。这些记录应至少每月由辐射防护主管监查一次，以确保所有放射源都在其应在的地方。监查程序中应包括含有贫化铀屏蔽的照射装置。

8.5. 营运组织应迅速调查任何怀疑可能对放射源失去控制的情况，并在24小时内或按照监管要求的其他规定时间内通知监管机构（和任何其他相关的主管部门）。

8.6. 原子能机构发布了关于放射源安保和防止恶意行为的导则[22]。

9. 工业射线照相源和照射装置的安全

概述

9.1. 商业上有各种类型的放射源、照射装置和辅助设备可用于进行工业射线照相工作。用于射线照相的设备应从授权制造商处获得，并满足相关管理系统的要求，如ISO 9001[9]或同等国家标准，以确保设备的设计安全特征与管理要求一致。营运组织应确保供应商提供有关设备安全使用的信息。营运组织还应确保以用户熟悉的语言向用户提供此信息。

9.2. 营运组织应确保用于工业射线照相的设备在未事先评定改造对原始设计的影响和安全评定之前不得进行改造。事先评定应由有资质的专家或供应商评审，并应与监管机构进行讨论，以确定是否需要额外的授权或核准。

9.3. 附件 II 提供了关于各种射线照相系统的说明性资料。有关射线照相设备安全问题的导则在后续给出。

γ 射线照相源和照射装置

9.4. γ 射线照相设备使用一个装在有屏蔽体的照射装置中的高活度密封源。当不使用时，放射源保持在有屏蔽体的照射装置中。通过将放射源从屏蔽照射装置（例如，通过使用推拉线）直接远程移动到附接的导管中来进行照射。照射时放射源保持在导管中，照射结束后回到屏蔽照射装置中。

9.5. 用于 γ 射线照相的设备通常由几个部件组成，例如连接到有屏蔽的照射装置内的射线照相源（通常称为“源辫子”）的远程收卷机构（通常称为“曲柄”），该收卷机构连接到导管。这些不同组件的设计和操作是相互关联的。不应因使用不符合原始设计规范的部件而危及安全。

密封放射源

9.6. 在进行 γ 射线照相工作时，操作员应仅使用符合国际标准或同等国家标准的密封源，如下所述。这些标准规定了密封源应能承受的正常工作条件。只有符合下列标准的密封放射源才可用于工业射线照相。放射源应：

- (a) 经核证符合《国际原子能机构放射性物质安全运输条例》（“运输条例”）[23]规定的“特殊形式”放射性物质的要求；
- (b) 按照相应的国际标准化组织标准[24]或同等国家标准的要求进行设计、制造和试验；
- (c) 按照相应的国际标准化组织标准[25]或同等的国家标准进行泄漏试验，并有可追溯到每个放射源的有效泄漏试验证书。

9.7. 用于工业射线照相的密封放射源通常是放射源组件（“源辫子”）的一部分，该组件连接到放射源投影型系统中的驱动电缆。放射源组件应：

- (a) 按照相应的国际标准化组织标准[26]或同等国家标准的要求进行设计、制造和试验；
- (b) 与照射容器、辅助设备（如导管）以及与之配合使用的任何放射源更换器兼容；
- (c) 按照 ISO 361[27]或同等国家标准进行标记，或至少标记有辐射符号（三叶形）和“放射性”图例。它们还应使用耐用材料标有制造商的序列号。

9.8. 放射源组件应与使用该放射源的照射装置兼容。还应根据 ISO 3999[26]或同等国家标准进行经过验证的试验。

9.9. 一些制造商给出了密封源的推荐使用寿命。推荐的工作寿命基于许多因素，包括放射源的半衰期和放射源封装的结构。它表明放射源应在多长时间内保持其完整性。相关制造商建议，当放射源的寿命达到推荐的工作寿命时应停止使用该放射源。

9.10. 或者，可由有适当经验的机构或专家对放射源的状况进行实际评定，以支持其继续使用。监管机构可建议在放射源达到其建议的工作寿命后继续使用放射源进行某些试验，例如增加泄漏试验的频率或由经由有资质的专家评定后可用于某些设施。

照射装置

投影式照射装置

9.11. 密封源存储在专门设计的照射装置中并在其中使用，该照射装置包括安全装置和旨在降低人为错误或设备故障风险的特征。附件 II 介绍了各种类型的照射装置。

9.12. 照射装置应满足 ISO 3999[26]的要求、同等标准或国家要求。满足此标准可确保已满足最低安全标准，且器件和放射源组合适合用于工业射线照相。

9.13. 大多数照射装置也应满足“运输条例”[23]规定的 B(U) 型运输货包的要求。第 12 部分提供了关于安全运输放射源的进一步指导。

其他类型的照射装置

9.14. 由于过时的设计、独特或不寻常的应用，仍有一些类型不满足 ISO 3999[26]要求的照射装置在使用。营运组织应确保在进行安全评定以确定是否应采取任何额外的安全预防措施之前，不再使用此类装置。

9.15. 必要时，此类装置在使用前还应获得监管机构的具体授权。这方面的一些示例包括空气驱动装置，它通过使用压缩空气将放射源送到导管中进行照射（没有控制电缆连接到放射源）。尽管这样操作者受到的剂量低，但导管未就位时也有可能将放射源射出照射装置。这种系统也容易在放射源返回屏蔽位置时出现问题。

9.16. 历史上使用的另一种照射系统是“火炬”系统。使用这类设备是不正当的，因为使用这类设备的照相工作人员受到的辐射水平高得令人无法接受，但为了完整起见，也在这里进行简短的说明。在火炬系统中，放射源安装在存储在照射装置中的短棒的末端。为了使放射源照射，将其从照射装置（在杆或炬的末端）中手动拿出，并将其插入到连接到工件的准直器中。

标记和标签

9.17. 每一个照射装置都应永久并清楚地贴上以下详细信息：

- (a) 国际电离辐射标志（三叶形）[27]；
- (b) “放射性”一词的字母高度不小于 10 毫米，并附有一个简短的警告，其语言应适合所使用的国家；
- (c) 该照射装置适用的放射性核素的化学符号和质量数（例如“铯-192”或“钴-60”）；
- (d) 照射装置中允许的最大源活度，包括该照射装置中每一种放射性核素的适用活度；
- (e) 照射装置及其附件符合的国际标准（ISO 3999[26]）或同等国家标准；
- (f) 照射装置的制造商名称、型号和序列号；
- (g) 贫化铀屏蔽体的质量（如相关），或“含有贫化铀”的指示；
- (h) 操作员的姓名、地址和电话号码。

9.18. 此外，照射装置应贴上耐用的消防标志或标签，上面应有关于其目前所含放射源的信息，包括：

- 放射性核素的化学符号和质量数；
- 规定日期的活度；
- 密封源的识别号；
- 放射源制造商的标识。

二手设备

9.19. 购置二手或旧射线照相设备的营运组织应确保这些设备及其辅助设备符合现行国际标准[26]或同等的国家标准。应由制造商或另一监管机构进行评定。

贫化铀屏蔽

9.20. 许多照射装置（和一些准直器）的屏蔽中含有贫化铀，因为贫化铀的密度比铅高。这使得照射装置的物理尺寸小于单独使用铅屏蔽时的尺寸。它还允许货包满足有关“运输条例” [23]对 B(U) 型货包的要求。贫化铀具有放射性，这意味着即使这类照射装置是“空的”（即不含放射源），射线照相照射装置也应安全存放，并应遵守监查程序。

9.21. 操作者应确定哪个照射装置和准直器中含有贫化铀。操作员还应确保任何含有贫化铀的照射装置和准直器都有这样的永久标记。一些监管机构还可能要求对此类照射装置和准直器进行单独授权。此类照射装置和准直器的最终处置应以监管机构授权的方式进行。

辅助设备

9.22. 与照射装置一起使用的辅助设备包括控制壳体、导管和准直器。ISO 3999[26]给出了辅助设备的最低性能标准。这些辅助设备应符合 ISO 3999 标准或同等国家标准的要求。

9.23. 每种型号的照射装置都有自己的专用辅助设备。辅助设备应和与其一起使用的特定照射装置和放射源组件兼容，以避免事故的发生。有关兼容性的任何不确定性应由相关制造商进行检查。

9.24. 辅助设备，如控制电缆和导管，用来以最大限度地增加射线照相工作人员和放射源之间的距离。控制电缆的典型长度为 7~15 米，导管的典型长

度为 2~6.5 米。这些装置不应使用长于制造商推荐长度的控制电缆和导管进行操作。

准直器

9.25. 准直器用于减少某些方向的辐射束。应尽可能使用准直器来降低辐射水平和剂量。准直器通常由铅、钨或贫化铀制成，它们可以提供全景或定向光束。营运组织应确保准直器与放射源组件兼容，以免造成卡源。

放射源更换器和存储容器

9.26. 放射源更换器应用于在操作员照射装置与放射源供应商使用的放射源更换器（通常为装运容器）之间安全地更换旧的和新的工业射线照相源（放射源更换后通常应退还给供应商）。存储容器用于密封源在不使用时的安全存储，并且未经授权不能接触。

9.27. 虽然关于放射源更换器或存储容器没有具体的标准，但在可能的情况下，它们应符合 ISO 3999[26]的适用部分或同等的国家标准中关于剂量水平和标签的要求。放射源更换器应包括用以确保放射源在连接或断开时不会意外地从放射源更换器中移除的系统。它们还应包括一个锁，或一个外锁容器，用以防止未经授权或意外地将密封源从其屏蔽位置移出。当存储容器和放射源更换器包含密封源时，应保持锁定（钥匙一直拔出），除非这些容器和放射源更换器处于授权工作人员的直接监视之下。

9.28. 营运组织应确保将含有贫化铀的放射源更换器视为放射源，即使在“空”时（即不含放射源时）也是如此，并确保仅以监管机构授权的方式处置这些放射源更换器。

放射源的存储

9.29. 放射源和照射装置的现场存储设施应包括一个可上锁的房间或一个专门建造的仓库，以提供足够的防护和安全水平。在适当情况下，房间或存储室应指定为控制区或监督区，并应：

- (a) 消防，以尽量减少在附近发生火灾时失去防护和包容的可能性；
- (b) 位于远离任何腐蚀和爆炸危险的地方；

- (c) 由足够屏蔽材料制成，以将室内或存储室外的剂量率降低到监管机构规定的相关水平以下。

存储设施的门应保持锁定，钥匙应仅由授权人员持有。门上应张贴包含辐射符号（三叶形）的标识。

检查和维护

通用良好实践

9.30. 为确保 γ 射线照相设备（包括所有辅助设备）持续良好运行，应对其进行日常检查和定期维护。

9.31. 定期维护应仅由制造商或受过专门培训的人员按照制造商的说明进行。任何替换零件只能从制造商处获得，以便符合原始安全规范。如有必要，任何改装均应得到制造商或监管机构的核准。

9.32. 通用良好实践应包括保持设备清洁，使其正常运行。泥土和污物应在使用放射源后清除，因为它会阻碍放射源的移动。

日常检查

9.33. 射线照相工作人员应在射线照相工作开始前进行例行检查，以发现如果不加以纠正可能导致事故的情况。一些典型的检查应包括：

(a) 检查照射装置，确保：

- (i) 配件和紧固件很牢固；
- (ii) 锁定机构正常工作；
- (iii) 辐射水平正常；
- (iv) 导管与控制机构连接牢固；
- (v) 使用磨损量规（如制造商提供的“go/no-go”型止回阀量规）检查放射源组件和驱动电缆的连接是否牢固，检查是否过度磨损。

(b) 检查远程控制装置，确保：

- (i) 配件牢固；
- (ii) 没有压碎、扭结或凹陷的迹象；
- (iii) 驱动电缆可自由移动。

(c) 检查放射源导管，确保：

- (i) 配件牢固；
- (ii) 没有压碎、扭结或凹陷的迹象；
- (iii) 放射源提示没有磨损。

9.34. 射线照相工作人员应检查正在使用的任何附加辅助设备（如磁性支架、虎钳夹具和准直器附件）是否符合以下要求：

- 移动自由；
- 工作条件良好；
- 可正常使用。

进行放射源交换时，射线照相工作人员应进行以下操作前检查，以确保：

- 锁定程序正常工作；
- 导管和传输管连接牢固。
- 导管或传送管中没有障碍物。

维护计划

9:35. 营运组织应制定 γ 射线照相所用所有设备的维护计划。该计划应表明，只有供应商或受过专门培训的操作员才能进行这种维护。应按规定的时间间隔进行维护，同时考虑到在恶劣环境下使用设备的情况，如有沙子、灰尘或水的情况下。

9.36. 维护包括设备的完全拆卸和所有部件的详细检查。必要时，应更换磨损或损坏的零件，并使用适当的润滑剂。应保存所有维护的记录，包括零件的更换。

X 射线发生器

9.37. 用于工业射线照相的最常见类型的 X 射线发生器是传统的 X 射线管，在一些特殊的应用中，也使用直线加速器和回旋加速器。下述建议适用对于 X 射线管，虽然类似的安全标准应该适用于直线加速器和回旋加速器。

9.38. X射线发生器用于执行全景（径向束）照射和定向照射。X射线管通过电缆连接到控制面板，控制面板提供了预选和指示操作参数的方法。射线照相工作人员所受的剂量会受到电缆长度、工作参数（千伏和电流）以及设备周围的局部屏蔽的影响。营运组织应仅使用符合下述规定的最低标准的X射线发生器。

电气安全

9.39. 电气安全间接有助于辐射安全，因为X光发生器中的电气故障可能导致严重事故，其中一些事故会导致辐射后果。X射线发生器应符合国家和国际电气安全要求[28]。特别地，包括屏蔽室、互连电缆、供电单元（变压器和发电机）、控制设备、管组件、报警信号装置和其他安全装置在内的金属物品，应连接在一起（“接地连接”）并接地（接地）。应提供电气方面的建议，并应由有资质的电气工程师或专业维护工程师进行检查和试验。

电缆长度

9.40. 当射线照相不能在屏蔽室中进行时，对于300千伏以下的X射线发生器，电缆长度通常应不小于20米，对于更高能量的设备，电缆长度应更长。

准直器和射束滤波器

9.41. 在可行的情况下，用于定向射线照相的X射线发生器应安装准直器（有时称为锥体或光圈），以将射束大小限制在与射线照相技术兼容的最小范围内。设备应包括射束过滤器，以使过滤与正在进行的工作相匹配。

控制面板

9.42. 控制面板应包括以下特征：

- (a) 带有辐射符号（三叶形）的标签，说明设备运行时发射X射线的图例，以及禁止未经授权使用的警告标签（用当地已知的语言）；
- (b) 防止未经授权使用的按键开关。钥匙应仅在开关处于“断开”或“待机”位置时才可拔出（即不可将系统锁定在“接通”状态）。按键位置应明确标注；

- (c) 一种有标签的警示灯（“不安全”），用以指示设备何时启动（即准备发射 X 射线）；
- (d) 一种单独的警示灯（故障灯），用以指示设备实际发射 X 射线的时间；
- (e) 控制照射持续时间的计时器，或要求射线照相工作人员持续按压以维持 X 射线产生的“接通”开关；
- (f) 当 X 射线束为“开”时，显示千伏和以毫安为单位的电流的指示器；
- (g) 一种可立即终止辐射的产生的明确的标记的方法。

X 射线管头

9.43. X 射线管头应在可行的情况下支撑在适当的支架上或夹紧就位，以防止意外移动。应通过良好的设计和结构来限制辐射泄漏（即通过装置侧面而不是从辐射束孔径向前传播的辐射）。其水平应由设备制造商指定。

9.44. 辐射泄漏的穿透功率取决于千伏电压，在 500 千伏以上尤为显著。制造商应记录装置表面和距 X 射线靶 1 米处泄漏辐射所致最大剂量率的数据。商用 X 射线管辐射泄漏的典型最大剂量率值在距靶 1 米处可达 100 微希沃特/小时。

闪光 X 光机

9.45. 一些 X 射线发生器发射非常短的 X 射线脉冲，并且照射持续时间应根据照射所需的脉冲数来设置。这种闪光 X 射线单元通常为小型的、便携的且为式电池驱动，用于对低密度或非常低壁厚的物品进行射线照相。大型闪光 X 射线装置有时用于屏蔽设施中，这些设施需要高输出和照射时间极短的 X 射线。应使用与常规 X 光设备相同的预防措施，以及安全评定确定的任何其他安全预防措施。

9.46. 应当注意的是，大多数剂量计不适合测量闪光 X 射线单元附近的剂量率，这是由于这些单元的脉冲时间极短，而剂量计的响应时间相对较慢。相反，应使用合适的积分剂量计。

X 射线设备的检查和维护

通用良好实践

9.47. 为确保 X 光设备（包括所有附属设备）持续良好运行，应接受营运组织的日常检查和制造商或有资质的专家的正式检查和维护。任何替换零件只能从制造商处获得，以便符合原始安全规范。

9.48. 营运组织可以执行的定期任务应包括：

- (a) 检查电气安全，包括接地和电缆绝缘试验；
- (b) 清洗或更换冷却系统中的任何过滤器；
- (c) 检查 X 射线管是否泄漏；
- (d) 检查以确保所有电缆状况良好，无磨损或裸线；
- (e) 制造商建议的其他日常检查和维护；
- (f) 所有联锁和应急切断开关的试验；
- (g) 对屏蔽室内所有永久安装的辐射探测器进行试验，并确保在屏蔽室内无人的情况下进行试验。

日常检查

9.49. 应在工作开始时进行日常检查。执行此操作是为了检测如果不进行纠正可能导致事故的条件。检查通常应包括以下检查：

- 设备没有明显损坏；
- 电缆无切口、断裂、扭结或配件损坏；
- 任何液冷系统都没有泄漏；
- 所有联锁都已操作；
- 所有警告指示灯和指示灯均正常工作；
- 紧固件紧固，螺纹连接牢固。

维护

9.50. 营运组织应制定 X 光设备维护计划。该方案应表明，只有供应商或受过专门培训的操作员才应进行这种维护。维护应至少每年进行一次，如果设备使用在非常恶劣的环境中，例如在非常脏或潮湿的条件下，或如果设备

经常移动，则应更频繁地进行维护。维护包括对设备的全面检查和试验，以及对所有部件的详细检查。必要时，应更换故障或损坏的零件，并进行必要的试验。应保存所有维护的记录，包括零件的更换记录。

10. 屏蔽室中的射线照相

概述

10.1. 屏蔽室是一种设计和工程上能为附近人员提供足够的电离辐射屏蔽的封闭空间。它包含工程控制，以防止或最大限度地减少可能进入屏蔽室的人员在放射源照射或通电时的潜在照射。

10.2. 在任何合理可行的情况下，应在屏蔽室内进行工业射线照相。使用屏蔽室的好处是允许附近（但在屏蔽室外）的其他工作不间断地继续进行，并允许射线照相工作按要求进行。应使用设计和构造正确的屏蔽室进行射线照相工作，配备适当的安全系统和报警系统，并定期进行试验和维护。这样的屏蔽室可以非常有效防止事故发生，并将剂量保持在合理可行尽量低的水平。

10.3. 在使用屏蔽室之前，营运组织应进行调试试验，如有必要，需在制造商的支持下试验，以确认所制造的屏蔽室符合其设计标准。

设计和屏蔽

10.4. 屏蔽室的设计应考虑到将要使用的放射源和将要进行的具体工作。屏蔽室的设计应使 γ 源或辐射发生器的照射控制装置位于屏蔽室的外部。在屏蔽室施工开始前，应根据近期和可预见的未来需要进行规划设计。

10.5. 屏蔽室的设计应包括装置及其周围环境的图纸，包括任何相邻的办公室或建筑物。图纸应包括尺寸，以及照射区域的所有侧面、上方和下方的屏蔽材料的厚度、密度和类型。应标明入口处，并标明与照射区附近、照射区上方和照射区下方的潜在居留区域的距离，包括居留因子的信息（即居留频率和人员在该区域的平均逗留时间）。设施应妥善规划，以尽量减少装置费用，并避免在未达到必要防护程度时可能需要的昂贵的补救工作。

10.6. 应通过适当的屏蔽来限制由屏蔽室的操作引起的直接辐射照射和辐射散射。再全面计算所需屏蔽厚度是需使用相关屏蔽材料的详细传输数据。进行这些计算需要一名有资质的专家的协助。辐射传输数据的使用指南和必要的计算不在本出版物的范围内。

10.7. 屏蔽室最好有一个屏蔽的屋顶。在极少或没有屋顶的设计中，应特别注意辐射的空气散射（或“天空回散照射”），以及屏蔽室外部物体的散射，例如在另一座建筑物内建造时屏蔽室附近较高的天花板或墙壁。

10.8. 监管机构可能规定在设计屏蔽室时适用的标准，包括剂量或剂量率的参考水平。

10.9. 屏蔽室将有一些开口或贯穿孔，用于人员出入、搬运拟进行射线照相的重物的吊车、管道工程、控制电缆、通风和其他管道。这些贯穿孔的设计应非常小心，以避免或尽量减少辐射的穿透或散射。

10.10. 经过一段时间的磨损、屏蔽层损坏、屏蔽层移动或建筑物沉降后，屏蔽性能可能会减弱。应使用各种设计技术，如迷宫入口，以防止或最大限度地减少这些屏蔽的减弱。

10.11. 在设计中应考虑安全评定的结果⁶。屏蔽室的设计确定后，除非保持或提高安全水平，否则不应进行后续更改。对原始设计的更改也可能需要调试试验，并且这些更改可能需要监管机构或有资质的专家的授权或核准。

10.12. 所有与设计有关的文件均应保留，以备日后参考。监管机构还可能在授权使用设施之前要求提供方案和文件的副本。

控制区和监督区

10.13. 在射线照相期间，屏蔽室内的剂量率将非常高，屏蔽室应被划分为控制区。但是，屏蔽室在不使用时可能不需要划分为控制区。所采取的办法将取决于国家或地方的法规和要求。

⁶ 在使用加速器和回旋加速器等高能辐射发生器的设施中，可能还需要考虑臭氧等有害气体可能造成的非辐射危害。

10.14. 屏蔽室的设计应使其外部不需要被划分为控制区。根据不同作业情境。屏蔽室周围的区域有可能被划分为监督区。

γ 射线照相的安全系统和警报系统

联锁门

10.15. 屏蔽室应在入口门上安装适当的安全系统，以确保当放射源照射时人员无法进入。应安装机械或电动联锁系统，以确保门在关闭时，放射源不能照射。

10.16. 同样，当放射源处于照射位置时，系统应防止门被打开，或者在门被打开的情况下，系统应自动缩回或屏蔽放射源。对于一些手动操作的 γ 照射装置，可能不一定能够安装这种性质的联锁系统。在这种情况下，照相工作人员应在放射源照射之前立即将门锁上。

10.17. 应安装具有内置“故障安全”功能的辐射监测系统。理想情况下，辐射监测器应与联锁门集成，以防止在辐射监测器监测到超过预设水平的辐射时进入屏蔽室。然而，对于一些带有出风设备的手动 γ 照射装置来说，这可能不好实现。

10.18. 当放射源照射时，一并安装的辐射监测器应触发光和声音信号。即使使用这种自动监测系统，进入屏蔽室的人员也应始终使用功能正确的便携式辐射仪器仪表，以确认放射源完全屏蔽。

报警信号及指示

10.19. 在放射源照射之前，应立即发出声或光预警信号。此信号应向屏蔽室内部或入口处的任何人清楚显示。它应能持续足够长的时间，使人员能够从屏蔽室内部撤离。

10:20. 当放射源处于照射位置时，应发出第二个声光报警信号。预警信号与“放射源照射”报警信号应能清楚地彼此区分，且两者都应能在屏蔽室内被看到和/或听到。

10.21. 最好设置两个信号以便它们在放射源照射时自动工作。然而，根据监管要求，在进行照射之前，可由照相工作人员立即手动生成预警信号。在有一个以上放射源的情况下，照射控制和报警应进行区分，并明确无误。

10.22. 应在设施内和周围的适当位置张贴醒目的通知，清楚解释预警和“放射源照射”信号的重要性。通知应包括监管机构要求的辐射三叶形符号和其他信息。通知应以可能出现在屏蔽室周围地区的人员所知的语言书写。

10.23. 通知应使用在当前环境条件下耐用的材料。必要时应更换损坏或无法阅读的通知。

应急制动按钮或拉绳

10.24. 应安装可手动复位的应急制动按钮或拉绳，以使屏蔽室内的任何人都能立即触发警报，并自动或通过吸引射线照相工作人员的注意来终止或防止辐射照射。按键和拉绳的位置应使其能够在不通过主辐射束的情况下触及。它们应该贴上明确的使用说明。屏蔽室内的人员应能迅速离开，或躲在适当的屏蔽物后面。射线照相工作人员应能在应急情况下立即终止照射。

X 射线发生器的安全系统和警报系统

10.25. X 射线发生器用于在屏蔽室内进行射线照相工作。X 射线发生器的辐射输出通常比 γ 源的辐射输出高几个数量级。安全系统应小心及正确地安装，以防止照相工作人员和其他工作人员因疏忽而受到照射。X 射线发生器通常应集成到屏蔽室的安全系统和警报系统中，以便在安全系统不工作的情况下无法操作 X 射线发生器。

联锁门

10.26. 屏蔽室应在入口门上安装适当的联锁装置，以确保当 X 射线发生器产生辐射时，任何人都不能进入屏蔽室。应安装联锁系统，以便在照射控制系统和门或屏蔽室的其他进入点之间提供机械或电气连接。联锁装置应在门关闭之前防止产生 X 射线，如果门打开，联锁装置应立即停止产生 X 射线。随后关闭门不应自动重新给 X 射线发生器通电。

10.27. 联锁门不应妨碍可能在屏蔽室内的人在应急情况下离开。通用联锁系统包括电气开关或专用钥匙系统。联锁系统应该是故障安全的，这样，如

果联锁系统的任何部件发生故障或损坏，就不会产生 X 射线。必要时应使用联锁系统的冗余性、多样性和独立性，以提供额外的安全级别。

报警信号及指示

10.28. 在产生 X 射线之前，应立即发出声光预警信号。此信号应向屏蔽室内部或入口处的任何人清楚显示。它应能持续足够长的时间，使人员能够从屏蔽室内部撤离⁷。

10.29. 在产生 X 射线时，应发出第二个声光报警信号。预警信号和“X 射线开启”报警信号应彼此清楚区分，且两者均应在屏蔽室内可见和/或听得见。也应进行选择，以免与该地区正在使用的任何其他报警信号相混淆。

10.30. 应安装信号，使其在开始 X 射线照射时自动工作。报警信号系统的设计和/或安装应确保在系统的任何部件发生故障（例如灯泡故障）时不会产生 X 射线。在有一个以上放射源的情况下，照射控制和报警应进行区分，并明确无误。

10.31. 应在设施内和周围的适当位置张贴醒目的通知，清楚解释预警和“放射源照射”信号的重要性。通知应包括监管机构要求的辐射三叶形符号和其他信息。通知应以可能出现在屏蔽室周围地区的人员所知的语言书写。

10.32. 通知应使用在当前环境条件下耐用的材料。必要时应更换损坏或无法阅读的通知。

应急制动按钮或拉绳

10.33. 应在联锁系统中安装可手动复位的应急制动按钮或拉绳，以使屏蔽室内的任何人都能立即触发警报，并自动防止或终止辐射照射。按键和拉绳的位置应使其能够在不通过主辐射束的情况下触及。它们应该贴上明确的使用说明。屏蔽室内的人员应能迅速离开，或躲在适当的屏蔽物后面。射线照相工作人员应能在应急情况下立即终止照射。

⁷ 在装有高能辐射发生器（如直线加速器）的设施中，可以安装额外的安全措施（如“搜索和锁定”系统），以“迫使”操作员在开始接触辐射之前实际检查房间是否空无一人。

射线照相程序

10.34. 只有受过适当训练的合格照相工作人员，才可在屏蔽室内进行射线照相工作。培训应包括为确保屏蔽室在其设计限值范围内使用，并确保设施的所有系统和部件均按原始规范进行维护的介绍。射线照相工作人员亦应了解已安装的安全系统和警报系统，以及操作方法。

10.35. 营运组织应确保在屏蔽室内进行的射线照相工作的书面操作程序和应急程序以射线照相工作人员熟悉的语言随时可用。

10.36. 除非屏蔽室是为射线照相而设计的，并己为屏蔽室进行了安全评定，否则不应在屏蔽室内进行射线照相工作。原始设计和安全评定中未考虑的射线照相工作只有在进行了新的安全评定并核准和进行了任何必要的修改之后才能进行。

10.37. 照相工作人员应始终佩戴监管机构要求的个人剂量计。个人剂量计包括热释光剂量计、个人直读剂量计和个人报警剂量计。

10.38. 照相工作人员不应依赖已安装的安全系统来限制他们的辐射照射。当他们进入屏蔽室时，应携带适当的辐射测量仪。如果测量到的剂量率高于预设水平，照相工作人员应立即撤离屏蔽室，阻止其他人员进入，并征求辐射防护主管的意见。

10.39. 应提供合适的便携式测量仪，用于测量屏蔽室外的剂量率（另请见第7部分）。测量应在屏蔽室周围的一系列位置进行，包括操作员的位置和相邻的居留区域。测量的剂量率应与参考水平进行比较。如果剂量率高于参考水平，应终止工作，并应征求辐射防护主管的意见。

10.40. 应在每次班次开始时检查测量仪的功能，最好在每次班次期间检查测量仪的功能。应根据仪器仪表操作手册进行检查。检查应包括试验电池电压和仪器仪表对试验源的响应。如果检查失败，射线照相工作不应开始或继续，直到一个良好的工作测量仪可用。

10.41. 应酌情使用准直器和附加屏蔽，以最大限度地减少潜在照射。

10.42. 每次照射前，射线照相工作人员应确认屏蔽室内无人，并应关上门。只有当屏蔽室门关闭、所有屏蔽装置都已就位，且安全系统和警报设施已投入运行时，射线照相工作人员才能启动装置进行照射。

10.43. 如果需要将屏蔽室用于设计规范中最初未考虑的情况，例如通过保持门打开来对非常长的容器进行射线照相，或者在 X 射线照相屏蔽室中使用 γ 照射装置，则应遵循现场射线照相工作程序。这可能需要监管机构的核准。

10.44. 应使用屏障和通知来界定控制区，应监测屏障周围的剂量率，并提供持续监督，以确保无人进入控制区。如果必须暂时禁用联锁，则应明确规定这一点，并在具体的安全评定中加以考虑。在下次使用屏蔽室之前，应检查是否已恢复正常使用。

退役

10.45. 如果某一工业射线照相设施已不再使用，而且在可预见的将来也没有再次使用的计划，则该设施应正式退役[29、30]。所有放射源都应以符合国家监管框架的方式处理，必要时须经监管机构核准。这应包括以下内容：

- (a) γ 源应在得到监管机构核准的情况下转移到另一个授权单位。或者，营运组织应将放射源退还给原供应商，或采取监管机构授权的其他行动。营运组织应保存存储、转移或处置放射源的所有授权的全面记录（包括接收方或放射性废物处置设施提供的任何证书）；
- (b) 应以与 γ 源相同的方式对待含有贫化铀的照射装置；
- (c) X 射线发生器应去功能化，或经监管机构核准后，应移交给另一个经授权的单位；
- (d) X 射线管道爬行器可能包含低活度 γ 源，这也应予以考虑；
- (e) 营运组织应在所有放射源已从现场移除时通知有关当局；
- (f) 所有辐射三叶形和告示都应移除；
- (g) 应进行一次全面的辐射调查，以确认现场上没有遗留任何放射源，也没有任何污染；
- (h) 应编写一份最终退役报告，其中应包括最后辐射调查和放射源存储、转移或处置的详细情况。最终退役报告应提交监管机构[29、30]。

11. 现场射线照相

概述

11.1. 当要进行射线照相的物体无法实际移入屏蔽室时，工作应在“现场射线照相”条件下进行。这种射线照相方法很常见，但由于缺乏专设安全措施，它有潜在的危險。

11.2. 现场射线照相工作的位置可以是，例如，委托人的经营场所（例如，炼油厂、近海位置或建筑车间）、城市区域（例如，燃气管道或建筑施工现场）或开阔场地（例如，穿过农村或无人居住区域的管道）。

11.3. 只有当在屏蔽室内进行射线照相不可行时，才应进行现场射线照相工作。这种情况可能是因为要进行射线照相的物体永久固定在某个位置，或者因太大或太重而无法移动。在移动工件可行的情况下，应在第 10 部分所述的所有安全规定的屏蔽室内对工件进行射线照相。

11.4. 现场射线照相工作可使用 γ 射线照相设备、X 射线设备或移动加速器进行。

现场射线照相准备

11.5. 现场射线照相工作受许多现场具体条件的影响。安全操作的规划包括考虑地点、工作人员和公众的距离、天气情况、一天中的作业时间，以及是否需要在高处、有限空间或其他困难条件下工作。在进行射线照相工作之前，营运组织应对工作环境进行全面评定，以确定应解决的任何现场特定问题。

11.6. 从事现场射线照相工作的营运组织应确保每个放射源至少安排两名射线照相工作人员，其中一名应为辐射防护主管（除非法规要求中另有规定）。

与委托人合作

11.7. 如果射线照相工作是在委托人的场所而不是在营运组织的场所进行，则应就准备和规划咨询委托人。这应包括为进行射线照相工作选择适当的地点和时间。双方应讨论射线照相工作中使用的通知、预警信号和警报，以避免现场可能出现的混乱，同时符合监管要求。

11.8. 委托人应提供有关场所内任何辐射探测系统（例如某些类型的烟雾探测器）的资料，因为这些系统可能会受到射线照相工作的影响。谁西安照相工作人员应了解任何现场特有的危险。应遵循委托人的所有工作许可制度。应向委托人提供营运组织的现场作业规程和应急预案的副本。

11.9. 营运组织和委托人应就工作的计划时间表和射线照相工作的持续时间达成一致。委托人应让射线照相工作人员有足够时间安全地进行射线照相工作，并采取所有必要的安全措施。

11.10. 营运组织应告知委托人其计划在现场使用的放射源类型。他应确保打算在现场过夜存储的任何放射源均可恰当存储（这可能需要监管机构另行核准）。

划定控制区的边界

11.11. 现场射线照相工作应在划分为控制区的区域内进行。在射线照相工作完成和控制区解除之前，不应允许在该区域进行其他工作。应设定控制区的边界，以确保控制区以外人员可能受到的剂量低于相关参考剂量水平。

11.12. 监管机构可在现场射线照相工作期间规定屏障处的最大允许剂量率，典型值为每小时 2.5 至 20 微希沃特。为了限制控制区的范围，在可行的情况下，应在 X 射线发生器和 γ 射线照相源上使用准直器。还应酌情使用额外的就地屏蔽（如铅板）。

11.13. 应划定控制区的边界。在合理可行的情况下，这应通过物理手段进行。这应包括使用现有的结构，如墙壁，使用临时屏障或用胶带封锁该区域。应注意确保防止未经授权进入控制区。

11.14. 在工业厂房或多层可能有其他人员的建筑工地进行射线照相工作时，应特别小心，可能存在共用的梯子、楼梯等。射线照相工作人员应确保工作区上下楼层的任何控制区不被进入。

11.15. 射线照相工作人员应将辐射发生器控制面板或 γ 风道放置在以便在开始和结束照射时最大限度地减少剂量的位置。

报警信号

11.16. 应发出足够的报警信号，说明即将受到辐射照射，并且正在产生辐射或进行 γ 源照射。这些信号应该可以相互区分。它们应该可听见或可看见。通常，报警信号是可听见的（警报器、哨子或铃声），而“正在照射”“正在曝光”信号是光信号（例如闪光信标）。当使用放射源时，这些信号可以手动操作。它们应该随 X 光设备自动工作。

11.17. 信号应在控制区障碍物周围的所有点清晰可听和/或可视。可能需要在报警系统中加入补充从机信号。

通知

11.18. 公告应张贴于控制区界线的适当位置。通知应以当地熟悉的语言标明辐射符号（三叶形）、警告和适当指示。它们还应解释“照射预警”和“照射报警”信号的含义。在某些情况下，可在场所入口处张贴额外通知，通知进入工地的人员将进行射线照相工作。

边界巡逻和监测

11.19. 在放射工作开始前，除射线照相工作人员外，所有人士均须离场。在开始照射之前，射线照相工作人员应确认控制区内没有人，并防止人员进入该区域。

11.20. 控制区的边界应清晰可见，光线充足，并在射线照相工作期间不断巡逻，以确保没有未经许可的人进入该区域。如果边界面积很大，或从某些位置看不见所有边界，则应由一人以上巡逻。

11.21. 在试验照射期间（或第一次照射期间，视情况而定），应测量屏障周围的剂量率，以确认屏障位置正确。如有必要，应调整控制区的边界和划分。

监测

便携式测量仪

11.22. 对于现场射线照相作业，每个射线照相源至少应有一个便携式测量仪。在射线照相工作开始之前，应针对试验源或照射装置对仪器仪表进行试验，以获得参考读数。对含有放射源的照射装置进行的试验应表明仪器仪表工作正常，并应确认 γ 源处于屏蔽位置。

11.23. 在射线照相工作中，监测的主要目的是确定 γ 源处于屏蔽位置，或者在每次照射后 X 射线发射已经停止。在接近射线照相设备时，应始终打开便携式测量仪，因为 γ 源有可能卡在照射位置，或者 X 射线照射终止失败。

个人剂量计和报警监测器

11.24. 个人剂量计，如热释光剂量计和直读式剂量计，应佩戴在照相工作人员进行现场射线照相工作的任何时候。直读式剂量计（见第 6 部分）应由射线照相工作人员定期评定，以监测工作期间受到的剂量。

11.25. 个人报警监测器（见第 6 部分）在现场射线照相工作中特别有用。应将其视为查明可能发生的事件的一个主要手段。这些警报可以预设为触发高于指定的剂量率。当照相工作人员进入高剂量率区域时，它们可以提供声、光或振动信号。

11.26. 射线照相工作人员在他们可能照射于电离辐射的整个期间应佩戴个人报警监测器。然而，个人报警监测器不应被视为便携式测量仪的替代品，便携式测量仪也应同时使用。

现场 γ 射线照相的附加注意事项

设备

11.27. 只有专门为 γ 射线照相而制造的设备才可用于现场 γ 射线照相。射线照相工作人员应熟悉所有设备、操作方式和可能出现的问题。射线照相工作人员还应了解放射源、其外观和照射方式，这一点特别重要。

11.28. 通常应根据要进行射线照相的物体的类型和物理尺寸来确定使用哪种放射性核素进行 γ 射线照相。对于具有多个 γ 源的营运组织，应使用与获得所需射线照相一致的最低活度源。如果在使用例如将满足所需的射线照相的 370 吉贝可或 3700 吉贝可铯-137 源，并则应使用 370 吉贝可放射源。

11.29. 使用较低活度放射源可能有几个好处，例如：

- 控制区较小，较容易管理；
- 屏障和操作员位置的剂量率较低；
- 如果放射源卡源，则难度较小。

应考虑使用先进技术，如图像增强或快速胶片和扫描组合。在可能的情况下，应使用这种技术，以帮助减少操作人员所受的剂量。

11.30. 只有在照射装置和所有必要的设备齐备并处于良好工作状态时，才可进行射线照相工作。这些项目应包括：

- (a) 便携式测量仪（包括备用电池）和个人剂量计；
- (b) 导管、控制电缆和遥控器；
- (c) 准直器和就地屏蔽；
- (d) 临时屏障或胶带；
- (e) 通知和报警信号；
- (f) 应急包，包括远程放射源处理工具和应急用备用屏蔽容器；
- (g) 其他辅助设备，如确保照射装置或导管牢固定位的夹具，以及定位辅助设备。

11.31. 使用 γ 射线照相设备前应进行以下检查，并应在操作程序中进行说明：

- (a) 检查照射装置和电缆端部是否损坏、磨损或脏污。为此，应使用制造商提供的磨损量规，如“正常/不正常”型止回阀量规；
- (b) 检查螺钉和螺母是否紧固，螺纹和弹簧是否损坏；
- (c) 确认放射源锁定机制工作正常；
- (d) 检查电源引出线的端部是否磨损、损坏以及与控制线的连接是否正确。为此，应使用制造商提供的磨损量规；
- (e) 检查照射装置与电缆之间的连接是否安全；
- (f) 检查所有电缆和导管是否有切口、断裂、扭结和配件断裂。
- (g) 检查警告标签和放射源标记详细信息的可读性；
- (h) 测量靠近照射装置表面的辐射水平，并确认放射源被屏蔽；
- (i) 根据操作手册检查测量仪的功能。

11.32. 如果发现任何故障，在提供更换或进行维修之前，不应使用该设备。

瞬时剂量率

11.33. 在放射性照相源的出射和入射操作期间，边界外的瞬时剂量率将比在放射源处于其准直器中时的实际照射期间的剂量率高得多。在这些行动中应加倍小心，特别是要确认没有人站在控制区边界，并应迅速进行收源和放源行动。

在偏远地点存储放射源

11.34. 如有必要，含有放射源的照射装置应在现场存储过夜或在射线照相期间存储。应在规划阶段确定这种存储的需要，并应与现场营运组织作出安排，提供符合监管要求的适当存储设施。

11.35. 现场存储设施应包括可上锁的房间、专门建造的存储库或存储坑。它们应提供与营运组织主基地的存储设施相同的保护水平。适当的存储设施应保护照射装置不受当前环境条件的影响，并提供足够的安全水平。贮存场所应具有消防性能，以最大限度地减少附近发生火灾时失去屏蔽和包容的可能性。仓库应远离任何腐蚀和爆炸危险。

11.36. 存储库应由可提供足够屏蔽的材料建造，以将存储库外的剂量率降低到监管机构规定的相关水平以下。必要时，应将存储库划分为控制区或监督区。

11.37. 存储设施的门应保持锁定，钥匙应仅由授权人员持有。应在门上显示包含辐射符号（三叶形）的警告告示。

完成工作和从现场移除放射源

11.38. 射线照相工作完成后，照相工作人员应使用辐射监测器，以确保所有 γ 源已完全回收到照射装置内，且没有任何放射源留在照射位置或脱离。

11.39. 在离开工地前，照相工作人员应进行目视检查，以确保设备没有损坏。照射装置应锁好装置并将保护盖就位以便运输。照射装置和辅助设备应物理固定在车辆上，以避免在运输过程中损坏。

现场 X 射线照相的其他注意事项，包括使用加速器

11.40. 本部分讨论的程序适用于 X 射线设备和技术的使用，包括使用加速器和实时射线照相。X 射线管电压的选择通常与射线照相质量的要求密切相关。照射技术（例如，在工件内部或外部使用放射源，使用单壁或双壁 X 光片）的选择既要考虑到良好的图像质量，又要尽量减少对附近人员的剂量。

11.41. 使用前应进行以下检查，并在操作程序中进行说明：

- (a) 检查设备的所有部件是否有明显损坏；
- (b) 检查 X 射线管和电缆的所有裸露端是否损坏、磨损、污垢和潮湿；
- (c) 检查螺钉和螺母是否紧固，螺纹是否损坏；
- (d) 检查所有电缆是否有切口、断裂、扭结和配件断裂；
- (e) 检查照射系数设置。

11.42. 如果发现任何故障，在更换设备或维修设备之前，不应使用该设备。

11.43. 加速器产生非常高能的 X 射线。加速器主射束中的剂量率可从便携式加速器的 50 毫戈瑞/分钟（3 戈瑞/小时）到移动加速器的 4 戈瑞/分钟（240 戈瑞/小时）不等。设备周围的剂量率比常规 X 射线照相高得多。应采取更全面的监管措施，限制照相工作人员及附近人员受到的辐照。

11.44. 此外，应使用可对辐射场的脉冲性质作出准确响应的适当的便携式测量仪。在使用加速器之前，应确认用于常规 γ 和 X 射线照相的便携式测量仪是合适的。

12. 放射源的运输

工作现场内的移动

12.1. 当 γ 射线照射装置和放射源因工作需要需在现场内移动以进行射线照相工作时，应将它们保存在存储设施中，直到它们被移动到新的位置为止。在移动之前，辅助设备应与装置设备断开连接，并在移动之前应安装所有必需的插头和封盖。

12.2. 放射源只能在照射装置设备中移动，并应将其锁定和取走钥匙。如果使用车辆或手推车来移动照射装置，则应将该装置牢固地固定到车辆或手推车上。在工作现场内移动照射装置期间，应始终保持对其照射装置进行监视。

运输到其他现场

12.3. 当 γ 射线照光源被运输到另一个工作现场用于射线照相时，应将它们保存在存储设施中，直到它们被移动到新的现场为止。如上所述，辅助设备运输前应与装置断开连接，并在运输前安装所有必要的插头和封盖。

12.4. 放射源只应以货包的形式移动，并将其被锁定和取走钥匙。营运组织应确保运输和运输货包符合原子能机构的“运输条例”[23]或等效的国家标准。

12.5. 在适用的情况下，还应考虑对具体运输方式具有约束力的国际文书，如国际民用航空组织（ICAO）的《危险货物空中安全运输技术指导》[31]和国际海事组织（IMO）的《国际海运危险货物规则》[32]。

12.6. 区域协定，如《欧洲国际危险货物公路运输协定》[33]、阿根廷、巴西、巴拉圭和乌拉圭（南方共同市场）政府签署的《促进危险货物运输达成部分协定》和《欧洲内河国际运输危险货物协定》[35]也可适用。

12.7. 原子能机构的“运输条例”[23]规定了参与放射性物质运输的个人责任：发货人（准备运输货物的个人、组织或政府）、承运人（运输放射性物质的个人、组织或政府）和收货人（接收托运货物的个人、组织或政府）。在许多情况下，对于现场射线照相工作，营运组织将履行以上全部三项职能，并需要履行与每项职能相关的责任。

12.8. 放射性物质的运输是一项复杂的活动，对相关要求的全面概述不在本“安全导则”的范围之内。《国际原子能机构放射性物质安全运输条例的咨询材料》[36]提供了关于如何满足运输相关要求的指导。

12.9. 原子能机构发布了关于放射性物质运输安保的导则[37]。

13. 应急准备和响应

概述

13.1. 用于工业射线照相的放射源具有高辐射输出和潜在大的危险。事故的发生主要是由于人因失误或设备失效，从而导致工作人员和公众受到高辐射剂量[14—18]。

13.2. 已导致事故的典型情况包括对放射源或照射装置造成损坏，从而导致放射源卡在照射位置，以及放射源引线与放出电缆分离，导致放射源意外留在现场。

13.3. 当工作人员手动处理未屏蔽的放射源，或公众发现并持有丢失的放射源时，就会发生严重的过量辐射。这些情况下的剂量率高到足以在大约几秒钟或几分钟内使人受伤。在某些情况下，严重的辐射烧伤将导致需要截肢或其他严重的健康后果。

13.4. 在许多情况下，如果采取了以下预防措施，工业射线照相源的事故可以被预防或减轻其后果：

(a) 照相工作人员：

- 应受过适当的训练并取得资格，应胜任工作；
- 应遵守现场作业规程和其他相关程序；
- 应在每次照射工作之前、之后和期间均使用测量仪；

- 应在使用前对设备和测量仪进行定期和适当的检查；
- 应正确使用应急设备；
- 在离开现场前，应对工作区域进行最终检查。

(b) 射线照相设备（包括辅助设备）应符合现行标准。

13.5. 虽然有作为第一道防线的事故预防，应急仍不可避免。营运组织应事先准备好应急预案，以便能够快速、安全地进行响应，以缓解事故后果。一旦应急结束，应编写一份报告。报告应包括对如何执行应急程序的评论，以及为防止今后发生类似事件可吸取的经验教训与如何改进响应计划。

13.6. 本部分介绍工业射线照相中的潜在事故和应急情况，并为制定应急预案以减轻事故和应急情况的后果提供建议。

制定应急预案

13.7. 《基本安全标准》[2]和国际原子能机构的两项安全标准[38、39]规定了应急准备和响应的义务和责任。国际原子能机构还提供了关于制定和执行应急预案以及关于逐步发展组织、地方和国家各级应急综合能力的指导[40]。在用户所在地进行现场射线照相工作时，应与用户讨论应急预案。

13.8. 应在营运组织安全评定中识别可能影响工作人员、公众或环境的潜在事故。这应作为制定旨在响应此类事件的应急预案和程序的基础。应尽可能在制定应急预案和程序时，咨询有资质的专家。

13.9. 应急准备安排包括如下若干阶段，每个阶段都应由营运组织处理：

- (a) 识别射线照相工作中的潜在事故，然后评价相关风险；
- (b) 制定应急预案和程序，以应对已识别的风险；
- (c) 应急设备的技术规格书和购置；
- (d) 培训如何执行应急预案和程序，包括培训必要时如何使用应急设备；
- (e) 每隔适当时间进行演习，以试验和评价应急预案的执行情况；
- (f) 定期评审和更新应急预案；
- (g) 事故和应急的报告和通知。

13.10. 应急预案的执行可能涉及外部组织和专家顾问的响应。该计划应明确提供任何外部响应的细节，并确保响应者充分意识到并接受其责任。特别是，应作出安排，在所有相关各方之间建立一个快速和有效的沟通机制。营运组织在申请授权时，应根据需要向监管机构提交应急预案和相关安排。

应急类型

13.11. 回顾射线照相中的应急，可以发现历史上工业射线照相源通常会发生几种类型的事故。营运组织应酌情在其应急预案中考虑下文第 13.12 段和第 13.13 段所列的各类事故。

13.12. 对于 γ 射线照相设备，营运组织应考虑以下事故：

- (a) 放射源卡在导管或准直器或照射装置的入口处附近；
- (b) 物理损坏而影响屏蔽；
- (c) 放射源与驱动电缆断开并留在导管中；
- (d) 放射源从导管的末端突出；
- (e) 放射源照射时管道爬行器卡在管道中；
- (f) 放射源丢失；
- (g) 着火；
- (h) 照射期间在控制区内出现未经授权的人员。

13.13. 对于 X 射线发生器，营运组织应考虑以下事故：

- (a) 辐射的产生未能在预定的时间段之后终止；
- (b) X 射线发生器异常通电；
- (c) 照相工作人员无法终止手动控制的辐射产生；
- (d) 安全系统或警报系统故障，包括蓄意破坏系统的行为；
- (e) 故障导致以非受控方式产生 X 射线；
- (f) 物理损坏而影响屏蔽或过滤；
- (g) 未经授权的人员在照射期间出现在控制区内。

基本应急预案内容

13.14. 营运组织应确保应急预案能够处理安全评定中确定的合理可预见的应急情况。对于工业射线照相中的应急情况，具体的响应将取决于事件的类型，并且可能根据场地条件而变化，例如当在脚手架或沟渠中的管道进行射线照相时。

13.15. 应急预案应考虑到响应的灵活性，在执行预案之前应预演响应的具体内容。这些预案应力求在合理的范围内限制可能因该事件造成的任何照射。应急预案应包括以下内容：

- (a) 关于何时执行应急预案的建议；
- (b) 对必要时将执行程序的工作人员进行事先培训；
- (c) 应急设备可用性的描述和信息；
- (d) 每种情况下的技术数据和辐射防护相关数据；
- (e) 各阶段应遵循的程序，具体针对每一种确定的应急情况，各阶段应遵循的程序如下：
 - (i) 初期，控制局面；
 - (ii) 计划阶段，计划和预演恢复阶段；
 - (iii) 恢复阶段，恢复对局面局势的控制；
 - (iv) 应急阶段后期，使局面局势恢复正常；
 - (v) 报告阶段：编写报告，包括剂量评定；
 - (vi) 如有必要，将过量照射人员转诊给医疗专家。
- (f) 确认受权执行各阶段计划的人员；
- (g) 确认在各阶段计划需要联系的所有个人和组织，包括相关的电话号码、传真号码和电子邮件地址。

13.16. 为了最大限度地减少风险并允许适当的响应，营运组织至少应执行以下操作：

- (a) 限制进入放射源附近，以确保在特定情况下控制区的隔离位于正确的位置；
- (b) 确保通知辐射防护主管（必要时另加具有资质的专家）；

- (c) 保持冷静，移至安全距离，计划后续行动，不带放射源进行预演行动，然后执行计划；
- (d) 切勿进入潜在高剂量率但剂量率未知的区域，除非携带专用测量仪，最好佩戴仪个人报警监测器和/或直读式剂量计；
- (e) 切勿触摸或让手靠近放射源；
- (f) 切勿进行超越权限或个人专业的行为；
- (g) 如有必要，寻求具有资质的专家或放射源供应商的援助。

应急设备

13.17. 营运组织应确保所有必要的应急设备随时可用，以应对所有可合理预见的应急情况。应进行定期检查，以确保所有必要的应急设备可用并且能正常运行。

13.18. 对于涉及 γ 源的应急情况，应配备以下设备：

- 用于测量高、低剂量率的适当的专用测量仪；
- 个人报警剂量计和直读式剂量计（最好是电子个人剂量计，而不是石英丝验电器）；
- 其他个人剂量计（热释光剂量计和/或胶片剂量计）；
- 隔离物品和指示；
- 铅粒包和额外的铅板；
- 适当的工具包和放射源回收设备（长柄钳、钳子、螺丝刀、螺栓切割器、可调节扳手、钢锯和手电筒）；
- 供应急使用的备用屏蔽容器；
- 通信设备（例如移动电话、无线电发射机和接收机）；
- 测量仪、电子个人剂量计、移动电话和手电筒的备用电池；
- 笔、纸、计算器和事故日志；
- 设备手册。

13.19. 如果怀疑源舱可能受损，则应格外小心，因为放射性物质可能会泄漏，并有可能污染附近的人和物体。放射性污染的探测和测量需要专用监测

设备和专业知识，大多数从事射线照相工作的公司可能不具备。如果已知或怀疑源舱破裂，营运组织应立即向具有资质的专家咨询。

专用应急程序

γ 源

13.20. 本部分提供用于工业射线照相的 γ 源的应急实用指导。虽然这些步骤按通常应执行的顺序列出，但在响应时如有必要应调整其顺序。与任何辐射应急一样，人员防护应是首务。

射线照相工作人员（初始响应人）应：

- (a) 识别已出现的可能造成应急的异常情况；
- (b) 保持冷静，远离放射源。确保通知到附近的其他照相工作人员可能存在问题；
- (c) 测量辐射剂量率，并记录用直读式剂量计测到的全部剂量；
- (d) 根据符合监管要求和导则的剂量率参考水平，建立或重新建立控制区隔离；
- (e) 阻止进入新的控制区；
- (f) 禁止控制区域无人看管；
- (g) 通知营运组织的辐射防护主管和射线照相委托人，并寻求援助。

辐射防护主管应：

- (a) 根据已经制定的应急程序规划具体的行动方案，尽量减少因这一行动方案而可能受到的剂量；
- (b) 在进入执行应急预案控制区之前，移至远离控制区的区域进行行动方案的预演；
- (c) 在培训、设备和授权允许的范围内执行计划的行动方案；在任何情况下都不允许放射源接触手或身体的其他部分；
- (d) 如果采取的行动方案不成功，则离开控制区，考虑下一个行动方案，同时保持对控制区的监视；
- (e) 必要时，请具有资质的专家或制造商提供技术援助；

- (f) 当应急结束，放射源保持安全后，评定所受剂量并编写报告；
- (g) 将个人剂量计送返剂量测定服务机构，以便准确评定照射量；
- (h) 在重新使用之前，将损坏或故障的设备送返给制造商或具有资质的专家进行详细检查和维护；
- (i) 按要求准备事故报告，并上报监管机构。

X 射线发生器

13.21. 在涉及 X 射线发生器的异常情况下，应采取以下步骤。

射线照相工作人员（初始响应人）应：

- (a) 识别已出现的可能造成应急的异常情况；
- (b) 关闭射线照相设备的电源；
- (c) 进行辐射监测以确认 X 射线管已断电；
- (d) 在记录位置、射束方向和照射设置（管电压、电流和时间）等细节之前，切勿移动射线照相设备；
- (e) 通知辐射防护主管已发状况；
- (f) 在制造商或具有资质的专家检查和维修之前，勿使用 X 射线发生器。

辐射防护主管应：

- (a) 评定可能受到的剂量，并编写报告；
- (b) 将个人剂量计送返剂量测定服务机构，以便准确评定照射量；
- (c) 按要求准备事故报告，并上报监管机构。

培训和演习

13.22. 所有将参与执行应急预案的人员都应接受有效履行其职责的适当培训。这应包括熟悉和理解这些计划，以及放射源回收程序和使用应急设备的专项培训。

13.23. 每个工作人员应只执行应急预案中他们得到授权和培训并拥有适当设备的部分。应定期评审培训条款，以确保工作人员的持续熟练程度。

13.24. 应在与潜在危险相称的时间段内定期举行应急演练，以试验应急预案的关键组成部分。全部经验教训都应反馈至应急预案的评审工作中。

定期检查预案和设备

13.25. 应每年对应急预案进行正式评审，以确保：

- (a) 已确认在计划的各阶段需要联系的所有个人和组织，有关的电话号码、传真号码和电子邮件地址都是最新的；
- (b) 应急设备随时可用并得到维护。

13.26. 定期评审应包括鉴于演习或事件和应急的经验教训更新应急预案的相关方面。

报告

13.27. 应急准备和响应的首要目标应是缓解应急的后果。然而，同样重要的是，认真评审已发情况，以便吸取经验教训从而为改进设备、维护程序、运行程序和应急预案提供反馈。为此，应就任何应急或事件给出全面报告。

13.28. 如有必要，辐射防护主管应在具有资质的专家的协助下编写应急或事件的报告。报告应按要求提交给高级管理层和监管机构。如果应急由设备故障引起，应通知供应商，以便对设备进行评价并采取适当行动。

13.29. 事故或应急的报告应包括以下内容：

- (a) 事故或应急的描述，尽可能详细地描述所涉及的具体设备。如果可能，详细信息应包括型号和序列号；
- (b) 事件或应急发生时的环境条件，特别是这些条件是否在造成应急或事件或影响结果方面起到了重要作用；
- (c) 事件或应急的具体原因；
- (d) 为恢复对局面的控制和使状况恢复正常而采取的行动细节，特别是明显有益或有害的所有行动；
- (e) 有关人员的培训和经验；
- (f) 对所有受照者所受剂量的评定和总结；

(g) 为防止今后发生类似事件和应急以及在发生类似或相关事件或应急时减轻后果而给出的建议。

13.30. 应将报告副本呈报监管机构，特别是在授权条件或国家法规有此要求的情况下。应将吸取的经验教训传达给所有相关方，包括制造商（如果相关的话），并应进行所有必要的改进以提高安全性。

附 录

原子能机构对放射源的分类

A.1. 原子能机构《放射源的分类》安全导则[19]提供了一套分类系统，主要是针对工业、医药、农业、研究和教育所用的放射源。这套分类系统也可酌情在国家范围内适用于军事方案内的放射源。

A.2. 该安全导则[19]为风险指引决策提供了国际统一的基础。它以一种逻辑和透明的方法为基础，为其在广泛情况下的应用提供了灵活性。出于安全和安保的目的，可以采取分级办法对放射源的监管控制做出风险指引决策。

A.3. 分类系统基于“危险源”的概念，以“*D*值”量化[41]。*D*值是放射源的比活度，如果不加以控制，可能在一系列情况下产生严重的确定性效应，这包括来自未屏蔽源的外照射和放射源材料弥散后的内照射。

表 A.1. 工业射线照相中使用的放射性核素的活度，对应于类别的阈值

放射性核素	类别 1		类别 2		类别 3	
	$1000 \times D$		$10 \times D$		D	
	(TBq)	(Ci) ^a	(TBq)	(Ci) ^a	(TBq)	(Ci) ^a
Co-60	3.0×10^1	8.0×10^2	3.0×10^{-1}	8.0	3.0×10^{-2}	8.0×10^{-1}
Cs-137	1.0×10^2	3.0×10^3	1.0	3.0×10^1	1.0×10^{-1}	3.0
Ir-192	8.0×10^1	2.0×10^3	8.0×10^{-1}	2.0×10^1	8.0×10^{-2}	2.0
Se-75	2.0×10^2	5.0×10^3	2.0	5.0×10^1	2.0×10^{-1}	5.0
Tm-170	2.0×10^4	5.0×10^5	2.0×10^2	5.0×10^3	2.0×10^1	5.0×10^2
Yb-169	3.0×10^2	8.0×10^3	3.0	8.0×10^1	3.0×10^{-1}	8.0

^a 要使用的主要值以 TBq 表示。居里是为了实用而提供的，换算后四舍五入。

表 A.2. 射线照相常用放射源的推荐分类

类别	放射源	A/D ^{a,b}
1	同位素热源 辐照装置 远程治疗源 固定多束远距离治疗 (γ 刀) 源	$A/D \geq 1000$
2	工业 γ 射线照相源 高/中剂量率近距离放射治疗源	$1000 > A/D \geq 10$
3	包含高活度源的固定式工业测量仪 ^c 测井仪	$10 > A/D \geq 1$
4	低剂量率近距离放射治疗源 (眼斑和永久植入源除外) 不含高活度源的固定式工业仪器仪表 骨密度计 静电消除器	$1 > A/D \geq 0.01$
5	低剂量率近距离放射治疗源 (眼斑) 和永久植入源 X 射线荧光装置 电子捕获装置 穆斯堡尔谱源 正电子发射断层成像试验源	$0.01 > A/D$ 且 $A >$ 豁免值

^a A 是单位为 TBq 的放射源的活度。在将这些放射源进行分类时, 也考虑到了 A/D 以外的参数 (见参考文献[19]附件 I)。

^b A/D 的这一栏可用于仅根据 A/D 的值确定放射源的类别。这可以是适当的, 例如设施和活动不为人所知或未列出, 放射源的半衰期短和/或未密封, 或者放射源被汇总 [19]。

^c 安全导则[19]的分类中给出了一些例子。

^d 豁免值见《基本安全标准》表 I[2]。

衰变源

A.4. 如果放射源衰变到低于表 A.1 中的阈值或低于通常实践中使用的水平 (如表 A.2 所示), 监管机构可允许营运组织对放射源重新分类, 并根据 A/D 比值将其重新分类以分配到较低的安全水平。

放射源的集合

A.5. 在有些情况下几个放射源距离非常近，例如在制造过程中（例如在同一房间或厂房中）或在存储设施中（例如在同一封闭空间中）。在这种情况下，监管机构可以合计放射源的活度以确定具体情况的分类，以便执行管理控制措施。

A.6. 在这种情况下，放射性核素的总活度应除以适当的 D 值，并将计算出的 A/D 与表 A.2 中给出的 A/D 进行比较。这允许根据活度对放射源集进行分类。如果放射源含有几种不同的放射性核素，则应根据下式使用 A/D 值之和来确定类别：

$$\text{合计的 } A/D = \sum_n \frac{\sum_i A_{i,n}}{D_n}$$

其中， $A_{i,n}$ 是每个单独源 i 放射性核素 n 的的活度； D_n 是放射性核素 n 的 D 值。

A.7. 然后，应将 A/D 的合计值与表 A.2 中给出的 A/D 值进行比较，以确定共用源的适当安全级别。关于放射源活度合计的其他指引可见参考文献 [19]。

参 考 文 献

- [1] 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 号，国际原子能机构，维也纳（2010 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] 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）。
- [4] 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）。
- [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）。
- [6] 国际原子能机构《无损检测技术培训指南》（2008 年版），国际原子能机构《技术文件》第 628 号，Rev.2，国际原子能机构，维也纳（2008 年）。
- [7] 国际原子能机构、国际劳工办公室，《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）。
- [8] 国际原子能机构《设施和管理活动的管理系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-R-3 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。
- [9] 国际标准化组织，《质量管理体系：要求》（ISO 9001:2000），国际标准化组织，日内瓦（2000 年）。
- [10] 国际原子能机构《设施和管理活动的适用》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

- [11] 国际原子能机构《辐射防护及安全使用放辐射源的培训》，《安全报告丛书》第 20 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。
- [12] 国际原子能机构、国际劳工办公室、泛美卫生组织、世界卫生组织，《辐射防护和辐射源安全使用的能力建设》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 RS-G-1.4 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。
- [13] 国际原子能机构、国际劳工办公室，《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《科恰班巴的放射事故》，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。
- [15] 国际原子能机构《吉兰的放射事故》，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。
- [16] 国际原子能机构《延安戈的放射事故》，国际原子能机构，维也纳（2000 年）。
- [17] 国际原子能机构《新奥尔迪亚的放射事故》，国际原子能机构，维也纳（2009 年）。
- [18] 国际原子能机构《从工业放射照相术事故中吸取的教训》，《安全报告丛书》第 7 号，国际原子能机构，维也纳（1998 年）。
- [19] 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）。
- [20] 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）。
- [21] 国际原子能机构《放射源安全和安保行为准则：放射源的进出口指南》，IAEA/CODEOC/IMP-EXP/2005，国际原子能机构，维也纳（2005 年）。
- [22] 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）。
- [23] 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）。

- [24] 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), 国际标准化组织, 日内瓦(1992年)。
- [25] 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)。
- [26] 国际标准化组织,《辐射防护 — 工业 γ 射线照相器-性能、设计和试验规格书》(ISO 3999:2004), 国际标准化组织, 日内瓦(2004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] 国际电工委员会《机器安全 — 机械电气设备: 第一部分: 一般要求》(IEC 60204-1), 国际电工委员会, 日内瓦(2005年)。
- [29] 国际原子能机构《放射性物质使用设施退役》, 国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-R-5 号, 国际原子能机构, 维也纳(2006年)。
- [30] 国际原子能机构《医学、工业和研究设施退役》, 国际原子能机构《安全标准丛书》第 WS-G-2.2 号, 国际原子能机构, 维也纳(1999年)。
- [31] 国际民用航空组织,《危险货物航空安全运输技术规程》(2007—2008版), 国际民用航空组织, 蒙特利尔(2007年)。
- [32] 国际海事组织,《国际海事危险货物(IMDG)规范》(2006版纳入修订 33-06), 国际海事组织, 伦敦(2006年)。
- [33] 联合国欧洲经济委员会、内陆运输委员会,《公路危险货物国际运输欧洲协定》(2007年版)(ADR), 联合国欧洲经济委员会, 日内瓦(2006年)。
- [34] 《MERCOSUR/MERCOSUL 促进危险货物运输便利的部分协议》, 阿根廷、巴西、巴拉圭和乌拉圭政府签署(1994年)。
- [35] 联合国欧洲经济委员会、内陆运输委员会,《公路危险货物国际运输欧洲协定》(2007年版)(ADR), 联合国欧洲经济委员会, 日内瓦(2006年)。
- [36] 国际原子能机构《国际原子能机构<放射性物质安全运输条例>咨询材料》, 国际原子能机构《安全标准丛书》第 TS-G-1.1 (Rev.1) 号, 国际原子能机构, 维也纳(2008年)。

- [37] 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）。
- [38] 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）。
- [39] 联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工办公室、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）。
- [40] 国际原子能机构《制定应对核或辐射应急安排的方法》，更新国际原子能机构《技术文件》第953号，EPR-方法（2003年），国际原子能机构，维也纳（2003年）。
- [41] 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）。

附件 I

安全评定示例

导言

I-1. 营运组织对其控制下的任何辐射源进行安全评定，以确定需要采取哪些步骤限制其雇员的照射。在进行安全评定时，既要考虑正常的工作条件，也要考虑发生事故的可能性。

I-2. 下面的示例性安全评定涵盖了 X 射线和 γ 射线在专门为进行无损检测的假设公司建造的屏蔽外壳中的使用。评价中考虑了以下几点：

- (a) 为在围封间内进行射线照相工作而进行的正常操作；
- (b) 可能发生的事故情况以及预防事故和限制其后果的步骤；
- (c) 限制接触的控制措施；
- (d) 正常 X 射线照相操作期间的潜在照射量和可能剂量。

射线照相源

I-3. 经营机构有权在屏蔽罩内使用 X 射线和 γ 射线照相源。授权来源包括：

- (a) 1 台 X 射线发生器（定向），工作电压 250 千伏，电流 4 毫安，辐射输出 1 米，功率 4 希沃特/小时；
- (b) 一个钴-60 源，最高可达 925 吉贝可；
- (c) 一个最大 3.7 太贝可的铯-137 源。

处境危险的人

I-4. 有危险的人包括射线照相人员和在附近工作的其他雇员。

现有的风险控制措施

I-5. 屏蔽外壳安装有高质量的安全系统，以便在曝光期间打开外壳门自动终止 X 射线曝光或将 γ 源缩回到屏蔽位置。如果外壳门打开，则无法开始曝光。

I-6. 安全系统和程序确保任何时候只能使用一个辐射源。辐射符号（三叶形）显示在所有车门上，以指示可能的辐射危险。屏蔽罩装有固定区域辐射监视器以及警示灯和信号，以指示何时开始曝光和何时进行曝光。

I-7. 屏蔽罩内设有紧急制动开关。这些开关可由射线照相外壳内的任何人操作，并将停止 X 射线发生器和将 γ 源缩回到屏蔽位置。

I-8. 外壳被屏蔽，使得地面上的最大外部剂量率小于 1 希沃特/小时。这意味着，假设每年最大占用面积为 250 小时，对外壳外人员的最大年剂量将低于 0.25 毫希沃特。这一估计剂量被认为是可以接受的。

I-9. 安装了安全系统和程序，以防止在射线照相工作期间进入屋顶。

事故可能造成的剂量

I-10. 以下被认为是可预见的事故情况：

- (a) γ 源未能正确地缩回到其屏蔽位置；
- (b) 被丢弃或分离的源（已知位置）；
- (c) 丢失或被盗的来源；
- (d) 警报系统或安全系统发生故障，导致在照射期间进入外壳；
- (e) 火灾或机械损伤，损害照射装置的屏蔽或破坏密封源的完整性。

I-11. 在上述每一种情况下，最坏的可预见情况是个人照射在靠近无屏蔽源或通电 X 射线发生器的地方。表 I-1 显示了可能产生的全身剂量。

I-12. 非常接近辐射源的剂量率将非常高：

- (a) 对于 γ 源，如果将手放置在距源 5 厘米的距离处 5 分钟，则手的剂量约为 11 戈瑞（对于钴-60 源）或 16 戈瑞（对于铯-137 源）。这一剂量水平将对双手产生严重的决定性影响；
- (b) 对于 X 射线发生器，如果双手靠近 X 射线发生器的窗口保持 5 分钟，则双手所受的剂量约为 8 戈瑞（假设焦点-皮肤距离为 20 厘米）。这将对手造成严重的决定性影响（辐射烧伤）。

I-13. 营运组织已经采取了一系列措施，以减少发生事故的可能性，并在发生事故时减轻后果。这些措施包括：

- (a) 定期对所有相关工作人员进行辐射安全培训；
- (b) 提供书面程序，尽量减少人为错误的风险；
- (c) 定期维护 X 射线发生器、照射装置和驱动设备；
- (d) 经常检查以确认放射源的位置；
- (e) 定期维护所有安全和警报系统，并对其运作进行例行检查；
- (f) 在屏蔽罩内提供永久安装的辐射探测器；
- (g) 提供便携式辐射监测设备；
- (h) 消防措施；
- (i) 提供详细的应急预案、定期的应急培训和应急演练。

表 I-1. 三种不同源 1 米处的剂量率和在 1 米处的照射全身剂量超过 20 毫希沃特的时间

源（活度）	1 米剂量率 （毫希沃特/小时）	在 1 米处接触超过全身 20 毫希沃特剂量的时间
Co-60 (925 吉贝可)	325	3.7 分钟
Ir-192 (3.7 太贝可)	480	2.5 分钟
工作电压为 250 千伏和 4 毫安的 X 射线发生器	4000	18 秒

控制措施

I-14. 本文所述的安全评定表明，必须采取保护措施来限制照射。提供屏蔽、使用安全系统和警报系统以及遵循书面程序是在受控地区进行保护的必要措施。屏蔽罩内部被指定为受控区域。

I-15. 以下所述措施将确保射线照相人员及放射设施范围内其他人的辐射剂量得到令人满意的控制。

指定地区

控制区

I-16. 屏蔽设施的内部被指定为控制区，其依据是必须有特别程序来控制照射和防止或限制潜在照射的程度。进入控制区仅限于佩戴个人剂量计的授权人员。

监管区域

I-17. 紧接屏蔽间外面的范围及走廊均指定为受监管范围。作出这一指定的依据是，尽管这些区域的照射可能性极小，但这种情况可能会改变（例如，在工作任务发生变化或屏蔽性能降级的情况下）。因此，适当的做法是对该区域进行不断检查。

限制照射的必要规定

I-18. 详细的现场作业规程规定了在进行射线照相工作时限制曝光应遵循的程序。限制曝光也是通过使用带有故障到安全报警系统的射线照相设备来实现的。只要遵守现场作业规程，照射将被限制在合理范围内。

女性雇员的安排

I-19. 如果营运组织中有一名女性雇员，她将被告知若怀孕告诉其经理的必要性和重要程度，单位并将为胎儿的辐射防护作出适当安排。

剂量调查水平

I-20. 管理层规定剂量调查水平为 2 毫希沃特/年。只要所有安全系统正常运作，遵守所有程序，照射的可能性就很小，不会超过这一调查水平。此值用作有用的管理工具，并包含在现场作业规程中。

培训和资格

I-21. 所有工作人员都接受适当程度的培训，以了解辐射危险的性质和遵守具体程序的重要性。所有工作人员都被告知，这对于尽量减少辐射剂量和防止事故发生或减轻事故后果至关重要。还将向所有工作人员适当通报国家监管要求。辐射防护主管不断评审进修的必要性。所有进行的培训都有记

录。所有射线照相人员都具有全国公认的工业射线照相技术资格，并接受辐射安全培训。

个人剂量评定

I-22. 如果发生违反程序或事故，射线照相工作人员有可能接受高剂量照射。因此，所有射线照相工作人员都要接受单独的辐射监测，并发给热释光剂量计，每两周更换一次。剂量计在所有工作期间都要佩戴，并远离辐射存放。

健康监测

I-23. 射线照相人员每年由监管机构核准的医生进行健康检查。射线照相人员有权查看他们的健康检查结果。

工作场所监测

I-24. 进行例行工作场所监测，以核实控制区的范围，并监测工程安全系统的有效性。每周在控制区和受监管区周围进行一次例行监测，每次更新放射源时都进行监测。如果射线照相技术或射束方向有任何变化，则进行特别监测。所有监控记录均按照法规要求保存。

I-25. 此外，通过安装在屏蔽外壳中的辐射仪器仪表提供剂量率的连续指示。

I-26. 剂量率仪每年由测试实验室进行测试。仪器测试证书由辐射防护主管保管。

放射源台账

I-27. 所有放射源都是唯一可识别的，其位置每一个工作日都要检查和记录。放射源的所有变化也都有记录，所有用过的放射源都退还给原来的供应商。

安全系统评价

I-28. 限制照射在很大程度上依赖工程安全系统作为控制措施。每次轮班开始时，由射线照相人员检查安全系统是否正常工作。这些检查都有记录。

I-29. 所有安全系统也由服务承包商每年维护一次，并保存记录。

附件 II

工业射线照相源综述和设备

II-1. 广泛的照射装置可用于进行工业射线照相。这些设备包括用于执行 γ 和 X 射线照相的设备。本文概述了该设备的一般特性。

γ 射线照相源和设备

放射源

II-2. 铯-192 是工业射线照相中最常用的放射性核素。还可以使用其他材料, 选择取决于测试对象材料的特性。源组件专用于照射装置, 并由密封的胶囊、线或棒组成。表 II-1 列出了最常用的放射性核素及其特性。

II-3. 密封源放置在与源、源托或源组件适合并兼容的的照射装置内。

表 II-1. 常用于工业射线照相的放射性核素及其特性

核素	能量	1 米时的源输出 ($\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}/37$ GBq)	半衰期	通常使用钢 的厚度 (mm)
Co-60	1.17 和 1.33 MeV	13.0	5.3 a	50—120
Ir-192	206—612 keV	4.8	74 d	12—70
Se-75	97—401 keV	2.03	120 d	8—30
Yb-169	63—308 keV	1.25	32 d	4—20
Tm-170	51—84 keV	0.25	128 d	2.5—12.5

照射装置的类型和设备

照射装置的一般分类

II-4. 照射装置根据其移动性进行分类。P 类和 M 类分别是便携式和移动式, 而 F 类是固定式:

- (1) P类：便携式照射装置，设计为一人或多人携带，质量不超过 50 公斤；
- (2) M类：移动式但不是便携式的照射装置，设计成根据用途提供的适当手段可方便移动，例如手推车；
- (3) F类：固定安装或移动性受限于规定工作位置的照射装置，如屏蔽罩。

II-5. 这三类照射装置通常通过以两种方式之一来操作，如下所述。

快门式照射装置

II-6. 在快门型照射装置中，源始终保持装置内。要么通过屏蔽件的开口部分（“快门”）照射，要么通过移动（例如旋转）安装源的内部部件照射。辐射束的立体角通常不大于 60 度，并且可以使用附加准直来进一步限制束角。源照射可以直接通过使用装置上的把手或远程控制来完成。

投影式照射装置

II-7. 在投影型照射装置中，可移动源组件通过控制电缆沿着中空导管物理地突出装置。导管的端部被放置在准直器中，以将源定位在期望的位置并将光束限制在任务所需的最小尺寸。

II-8. 所谓的“S 弯”型照射装置使射线照相人员能够操作该系统并在安全距离处曝光源。S 弯曲型照射装置比快门型照射装置提供更高程度的保护。对于高活度放射源，使用投影型照射装置对于确保射线照相人员的剂量尽可能低是至关重要的。

II-9. 一些投影型照射装置使用压缩空气而不是控制电缆来曝光源。这种照射装置通常仅用作专用屏蔽外壳的一部分。依赖空气压力或重力使源返回到屏蔽位置的系统可能不是设计成故障安全的，一些监管机构也不核准使用这些系统。

II-10. 其他类型的专用射线照相设备包括管道爬行器设备和水下射线照相设备。

水下 X 射线照相设备

II-11. 对于水下 X 射线照相，照射装置具有附加的安全特征，包括：

- (a) 深度额定值，说明照射装置可安全使用的最大深度；

- (b) 防止气体或水进入设计上不能承受的设备部件的密封件。设计用来抵御水和气体的设备有密封件，允许水和气体在上升到地面时逸出；
- (c) 当潜水员在受控区域之外时，使设备能够安全操作的一种机制。

管道爬行器设备

II-12. 管道爬行器设备用于对管道焊缝进行射线照相。这些机器或者携带 X 射线管组件，或者携带 γ 源在移动托架上，移动托架在管道内爬行。它们要么由车厢上的电池供电，要么由内燃机供电，要么由发电机拖曳的电缆供电。爬行器由射线照相人员通过使用控制源从管道外部激活和控制。这通常包括安装在手持设备中并准直的低活度铯-137 密封源。来自控制源的辐射被爬行器上的检测器接收。

II-13. 通常，控制源沿着管道的外侧移动，以提示爬行器沿期望的正向或反向移动。控制源保持在管道外部，以使爬行器停止并等待。在控制源从管道表面移除后大约 10 秒，曝光自动开始。一些 X 射线爬行器装有低放射性源，以帮助识别爬行器在管道内的位置。

II-14. 射线照相源在管道内曝光期间不离开设备。大多数这样的管道爬行器设备设计具有故障安全模式，若电源丧失则源自动屏蔽。

II-15. 管道爬行器通常不满足 ISO 3999[II-1]的所有要求。营运组织将需要确保有适当的额外安全预防措施，以确保其安全使用。

附件 II 参考文献

[II-1] 国际标准化组织，《辐射防护 — 工业 γ 射线照相器 — 性能、设计和试验规格书》(ISO 3999:2004)，国际标准化组织，日内瓦（2004 年）。

附件 III

工业射线照相事故案例

III-1. 纵观工业射线照相的历史，发生的事故给工作人员和公众造成了高剂量的辐射，对受照者造成了严重伤害，有时需要截肢，甚至导致死亡。许多其他事故没有造成严重伤害，但有可能造成严重伤害或造成不必要的辐射照射。

III-2. 原子能机构的一份安全报告[III-1]概述了监管机构、专业协会和科学杂志报告的一些涉及工业放射源的事故。安全报告描述了工业射线照相事故的情况，确定了主要原因和应吸取的教训，并向负责工业射线照相防护和安全的人员和当局提出了建议。下面将描述少量事故，以说明工业射线照相中使用的放射源如果执行不当可能造成的危险。

未能连接安全系统

III-3. 正在更换 X 光机。当时，外壳门上的互锁被断开，再也没有重新连接。一年后，一位射线照相人员打开 X 光机，让他在第一次曝光前预热。他随后进入 X 光机柜，设置胶卷，并对要进行 X 光射线照相的物品的位罝进行最后调整。这项工作包括用铅锤定位射束中心，射线照相人员用右手拇指将铅锤固定在射束端口。外壳内没有警报器显示 X 光机已启动。

III-4. 射线照相人员意识到，当他回到控制台开始曝光时，他已经被照射了，并且发现光束已经打开了。据估计，射线照相人员的右手拇指在射束端口停留了大约 5 秒，这一曝光导致其拇指的估计剂量为 3.4 希沃特，全身的估计剂量为 29 毫希沃特。射线照相人员的拇指照射导致红斑（辐射灼伤）和水泡。

初始事件

III-5. 在新 X 光机的调试中，联锁系统的重新连接没有得到保证。

影响因素与预防

III-6. 需要制定程序，以确保所有安全系统在维护或更换后都能正常工作。射线照相人员在使用外壳之前没有对联锁装置进行日常检查。这种检查本

可提醒射线照相人员注意联锁系统不起作用的事实。在行动期间进行的辐射调查本可探测到辐射水平，并可防止他受到辐射。射线照相人员忽略了控制面板上的警告信号。

安全警报器失灵

III-7. 一名射线照相人员在屏蔽罩内进行射线照相时，决定用支柱打开罩门，以便在更换胶片和准备下次曝光时，空气在罩内流通。当他第一次这么做的时候，他把“开门”的警报器调到了“关”的位置。该开关还能使外壳辐射报警器失效。

III-8. 在随后的曝光中，射线照相人员未能收回正在使用的3000吉贝可（81居里）钴-60源。放射性照相人员没有使用测量仪就进入了围栏，而放射性报警器却失灵了。他没有戴个人剂量计。一名与射线照相人员一起工作的工作人员也进入了围栏，他也没有戴个人剂量计。

III-9. 射线照相人员更换胶片，调整源准直器，并与制作协调员一起离开外壳。当射线照相人员试图将放射源转动到曝光位置时，他意识到在上次曝光后放射源没有缩回，他和工作人员都已照射。

III-10. 事件的重演显示，射线照相人员的眼睛所受的剂量估计约为90毫希沃特，而他用来调整源准直仪的手部所受的剂量则超过42.5毫希沃特。工作人员的眼睛受到的剂量估计为40毫希沃特。

初始事件

III-11. 封闭空间的联锁和辐射警报被故意破坏。

影响因素与预防

III-12. 需要设计报警系统，以使门报警器的故障不会影响辐射报警器的正常工作。没有遵循操作程序，以核实放射源已返回到屏蔽位置，并且没有佩戴所有适当的剂量计。如果带上警报器，射线照相人员就会注意到高辐射水平。工作人员参与的性质表明营运组织内缺乏安全文化。

对发生故障的设备反应不当

III-13. 1994年，一名射线照相人员在夜间使用一个含有780吉贝可（21居里）铯-137的照射装置工作，他很难将其锁定。他看到他的直接读数剂量计

读数超出了刻度，但由于他的测量计出了故障，所以没有检测到辐射。他用锤子敲击锁紧组件以达到锁紧位置，然后在返回设施收集另一个测量仪时将照射装置留在现场无人监督。

III-14. 射线照相人员随后回到现场，但发现他在锁紧组件上也有同样的问题。他的直接读数剂量计仍在读数，第二个测量计也没有正常工作。当他再次返回工厂进行另一次测量时，他无意中留下了他的个人热释光剂量计，因此他继续在没有他的情况下进行现场工作。剂量计显示出 8.5 毫希沃特的曝光，这可能是由于射线照相人员最初错误地操纵照射装置的锁定组件而引起的。

初始事件

III-15. 在锁定照射装置方面遇到了困难。

影响因素与预防

III-16. 当设备发生故障时，射线照相人员没有遵守操作安全程序。具体而言，他：

- 试图使用未经核准的程序维护照射装置；
- 没有证实所提供的测量仪的可操作性；
- 不考虑其剂量计的量程外读数；
- 将照射装置留在客户现场无人看管；
- 没有佩戴个人剂量计。

如果射线照相人员满足了这些要求中的任何一项，他就可以尽量减少受照量。

管道内的照射

III-17. 一名射线照相人员持有许可证，可在气体压缩站的一条管道上进行 X 光射线照相工作。隔离墙清楚标明了控制区的范围，并在工程开始前发出了照射前和照射警告信号。

III-18. 已经进行了几次曝光，当射线照相人员看到两个人沿着管道从更远的地方出来时，X 射线管仍然通电。调查显示，该两名男子亦持有工作许可证，他们曾在内部检查喉管，并在检查喉管时爬过两次 X 光射线。

III-19. 对事件的重建显示，视察员每人接受的剂量估计为 0.2 毫希沃特。

初始事件

III-20. 这一事件是由于现场工作缺乏协调造成的。

影响因素与预防

III-21. 射线照相人员没有保持对该地区的必要控制，导致两人受到照射。射线照相人员需要在开始之前从现场经理处获得所有必要的合作和信息以便能够在所有射线照相操作期间保持控制。进入控制区的出入点所需的控制（障碍物和警告信号）没有得到充分维护。

辐射过量致死

III-22. 1984 年，一宗致命的辐射意外发生，8 名市民因放射源过量照射而死亡。1100 吉贝可（30 居里）铯-137 源与驱动电缆断开连接，未正确返回到照射装置。

III-23. 随后，导管与照射装置断开连接，光源最终落地。一个过路人捡起那个小金属圆柱体，把它带回家。虽然照射装置标有辐射符号（三叶形），但光源本身没有标记。

III-24. 来文提交人于 1984 年 3 月至 6 月失踪，共有 8 人死亡，其中包括将来文提交人带回家的人、他的家庭成员和亲属；临床诊断为肺出血。最初认为死因是中毒。直到最后一次死亡之后，才怀疑这些死亡可能是由辐射造成的。

初始事件

III-25. 电源总成与驱动电缆断开，掉到地上并留在工地上。

影响因素与预防

III-26. 没有进行辐射调查，以确保放射源已返回到完全屏蔽的位置。如果进行辐射调查，问题就会被发现，事故就会得到预防。此外，捡到消息来源的过路人没有认识到与此有关的健康危害。如果消息来源贴上警告标签，事件的后果可能会减轻。

设备锁因维护不当而失效

III-27. 报道了涉及从照射装置分离的照射装置锁定机构的射线照相事件。这允许从照射装置拉出 3600 吉贝可（98 居里）铀-192 源。事发于午夜时分，当时两名在微光下工作的射线照相人员正在进行射线照相工作。

III-28. 这些胶卷是冲印的，射线照相人员取下剂量计，放在剪贴板上，以为他的工作已经完成。然而，几次曝光不得不重做，为此他忘了戴上他别的剂量计。

III-29. 为了将照射装置从第一位置移动到第二位置以重复曝光，射线照相人员用他的左手握住曲柄拉线并用他的右手举起照射装置。他走了几步，驱动电缆从照射装置掉到了地上。他把照射装置放在卡车的后挡板上，以为光源也断开了。射线照相人员拿起曲柄拉线，距离端部约 100 厘米，并迅速地将手移向连接器的端部。他抓住了他认为是电缆连接器，把他带到离他脸不到 15 厘米的地方。当他意识到这实际上是放射源时，他扔下了它，通知了另一个射线照相人员，然后从那个区域跑了出去。

III-30. 重新制定设想方案和计算辐射照射量表明，射线照相人员收到的估计全身剂量和眼睛晶状体的剂量为 6 毫希沃特。最坏的情况是手指的四肢照射估计为 19 希沃特。

III-31. 所用照射装置的锁定插入件通过两个滚销保持就位。一个销丢失，可能已丢失一段时间，而第二个销在照射装置外壳中，但不在锁插入件内。由于没有两个销，所以可以从锁箱中拉出锁芯、弹簧和可移动的插入件。驱动电缆已连接到源组件。然而，当锁插入件从锁盒中拉出时，驱动电缆将源组件从照射装置中拉出，从而照射源。

初始事件

III-32. 固定锁芯的滚销丢失。

影响因素与预防

III-33. 射线照相人员假定它有一个断开的放射源。它没有使用辐射测量仪来证实这一情况。根据适当的检查和维护方案，丢失的滚筒销将被发现并更换。在进行 X 射线照相之前，日常检查可能检测到锁芯松脱。此外，在完

成 X 光射线照相工作之前拆除剂量计和不使用监测设备违反了监管要求，表明缺乏安全文化。

维护不当导致过量照射

III-34. 一名射线照相人员和他的协助人员正在使用 3000 吉贝可（80 居里）铀-192 源。曝光完毕后，协助人员将设备拆开，放在卡车上，然后返回基地。抵达后，他将照射装置从卡车运到储存设施。当他把照射装置放在架子上时，他把它倾斜，源组件掉到了地板上。储存设施中的辐射警报提醒他注意这一危险，随后发现了放射源，并对其进行了安全防护。

初始事件

III-35. 调查显示，该照射装置未有妥善保养。用于将电源固定在完全屏蔽位置的弹簧加载锁无法工作；锁因积聚的灰尘而卡在解锁位置。此外，射线照相人员既没有将快门控制转到关闭位置，也没有在照射装置前面安装防尘盖。这种综合情况导致来文提交人跌倒在地。

影响因素与预防

III-36. 锁被积聚的灰尘卡在解锁位置。除了缺少维护导致锁失效外，还没有满足二级安全要求。快门控制未转到关闭位置，防尘盖未安装在照射装置的前面。如果采取了这两个步骤中的任何一个，源就不可能退出照射装置。

附件 III 参考文献

[III-1] 国际原子能机构《从工业放射照相术事故中吸取的教训》，《安全报告丛书》第 7 号，国际原子能机构，维也纳（1998 年）。

参与起草和审订人员

Einav, I.	国际原子能机构
Friedrich, V.	国际原子能机构
Hudson, A.P.	顾问（英国）
Irwin, R.	加拿大核安全委员会
Jankovitch, J.	美国核管制委员会
Paynter, R.A.	英国卫生保健局
Roughan, C.	美国无损检测公司
Sonsbeek, R.	荷兰克洛力集团公司
Wheatley, J.S.	国际原子能机构

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.; 国际劳工处: Niu, S.; 国际标准化组织: Rannou, A.; 国际源供应商和生产者协会: Fasten, W.; 经济合作与发展组织核能署: Lazo, T.E.; 泛美卫生组织: iménez, P.; 联合国原子辐射影响科学委员会: Crick, M.; 世界卫生组织: Carr, Z.; 世界核能协会: Saint-Pierre, S。

运输安全标准委员会

阿根廷: López Vietri, J.; **Capadona, N.M.; 澳大利亚: Sarkar, S.; 奥地利: Kirchnawy, F.; 比利时: Cottens, E.; 巴西: Xavier, A.M.; 保加利亚: Bakalova, A.; 加拿大: Régimbald, A.; 中国: 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 • 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