

国际原子能机构《核安保丛书》第 5 号

技 术 导 则
参 考 手 册

放射源和放射性装置的识别



IAEA

国 际 原 子 能 机 构

国际原子能机构《核安保丛书》

国际原子能机构《核安保丛书》出版物旨在处理与防止和侦查涉及核材料和其他放射性物质及其有关设施的盗窃、破坏、擅自接触和非法转移或其他恶意行为并做出响应有关的核安保问题。这些出版物符合并补充了国际核安保法律文书，例如经修订的《核材料实物保护公约》、《放射源安全和安保行为准则》、联合国安理会第 1373 号决议和第 1540 号决议以及《制止核恐怖主义行为国际公约》。

国际原子能机构《核安保丛书》的类别

原子能机构《核安保丛书》出版物按以下类别发行：

- **核安保法则**包含核安保的目标、概念和原则，并提供安保建议的基础。
- **建议**提出成员国在实施核安保法则时应当采用的最佳实践。
- **实施导则**进一步详细阐述这些广泛领域内的建议并提出其执行措施。
- **技术导则**出版物包括：**参考手册** — 在具体领域或活动中就如何适用实施导则提供详细措施和（或）指导；**培训导则** — 包括原子能机构在核安保方面的培训班教学大纲和（或）手册；以及**服务导则** — 在原子能机构核安保咨询工作组的工作行为和范围方面提供指导。

起草和审查

一些国际专家协助原子能机构秘书处起草这些出版物。对于核安保法则、建议和实施导则，原子能机构召开不限人数的技术会议，为感兴趣的成员国和相关国际组织提供适当的机会审查草案文本。此外，为确保高水平的国际审查和达成高度国际共识，秘书处向所有成员国提交草案文本，以供进行 120 天的正式审查。这使得成员国在文本印发以前有机会充分表示他们的意见。

技术导则出版物是与国际专家密切磋商后制订的。技术会议并非必需的，但为了广泛征求意见，也可以在认为必要时召开。

国际原子能机构《核安保丛书》出版物的起草和审查过程考虑到机密性，并且承认核安保与总体乃至具体国家的安全关切有着密不可分的联系。一个基本的考虑是在这些出版物的技术内容上应当虑及相关的原子能机构安全标准和保障活动。

放射源和放射性装置的识别

参 考 手 册

下列国家是国际原子能机构的成员国：

阿富汗伊斯兰共和国	加纳	尼日尔
阿尔巴尼亚	希腊	尼日利亚
阿尔及利亚	危地马拉	挪威
安哥拉	海地	阿曼
阿根廷	教廷	巴基斯坦
亚美尼亚	洪都拉斯	帕劳
澳大利亚	匈牙利	巴拿马
奥地利	冰岛	巴拉圭
阿塞拜疆	印度	秘鲁
巴林	印度尼西亚	菲律宾
孟加拉国	伊朗伊斯兰共和国	波兰
白俄罗斯	伊拉克	葡萄牙
比利时	爱尔兰	卡塔尔
伯利兹	以色列	摩尔多瓦共和国
贝宁	意大利	罗马尼亚
玻利维亚	牙买加	俄罗斯联邦
波斯尼亚和黑塞哥维那	日本	沙特阿拉伯
博茨瓦纳	约旦	塞内加尔
巴西	哈萨克斯坦	塞尔维亚
保加利亚	肯尼亚	塞舌尔
布基纳法索	大韩民国	塞拉利昂
布隆迪	科威特	新加坡
柬埔寨	吉尔吉斯斯坦	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	阿拉伯利比亚民众国	苏丹
中国	列支敦士登	瑞典
哥伦比亚	立陶宛	瑞士
刚果	卢森堡	阿拉伯叙利亚共和国
哥斯达黎加	马达加斯加	塔吉克斯坦
科特迪瓦	马拉维	泰国
克罗地亚	马来西亚	前南斯拉夫马其顿共和国
古巴	马里	突尼斯
塞浦路斯	马耳他	土耳其
捷克共和国	马绍尔群岛	乌干达
刚果民主共和国	毛里塔尼亚伊斯兰共和国	乌克兰
丹麦	毛里求斯	阿拉伯联合酋长国
多米尼加共和国	墨西哥	大不列颠及北爱尔兰联合王国
厄瓜多尔	摩纳哥	坦桑尼亚联合共和国
埃及	蒙古	美利坚合众国
萨尔瓦多	黑山	乌拉圭
厄立特里亚	摩洛哥	乌兹别克斯坦
爱沙尼亚	莫桑比克	委内瑞拉玻利瓦尔共和国
埃塞俄比亚	缅甸	越南
芬兰	纳米比亚	也门
法国	尼泊尔	赞比亚
加蓬	荷兰	津巴布韦
格鲁吉亚	新西兰	
德国	尼加拉瓜	

《国际原子能机构规约》于 1956 年 10 月 23 日经在纽约联合国总部举行的国际原子能机构规约大会核准，1957 年 7 月 29 日生效。国际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《核安保丛书》第 5 号
技术导则

放射源和放射性装置的识别

参 考 手 册

国 际 原 子 能 机 构
2011 年·维也纳

版 权 说 明

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

Sales and Promotion, Publishing Section

International Atomic Energy Agency

Vienna International Centre

PO Box 100

1400 Vienna, Austria

传真：+43 1 2600 29302

电话：+43 1 2600 22417

电子信箱：sales.publications@iaea.org

<http://www.iaea.org/books>

© 国际原子能机构·2011 年

国际原子能机构印制

2011 年 6 月·奥地利

放射源和放射性装置的识别

国际原子能机构 奥地利·2011 年 6 月

STI/PUB/1278

ISBN 978-92-0-518010-6

ISSN 1816-9317

前 言

为响应国际原子能机构（原子能机构）2002 年 9 月大会的一项决议，原子能机构采取了一项旨在防止核恐怖主义的综合方案。该方案对原子能机构有关以下方面的活动进行协调，即核材料和核设施的实物保护、核材料衡算、侦查和应对核材料和其他放射性物质的非法贩卖、放射源安保、核材料和其他放射性物质运输中的安保、原子能机构成员国和原子能机构的应急响应和应急准备措施；以及促进成员国加入相关的国际文书。原子能机构还帮助鉴别与核材料和其他放射性物质安保有关的威胁和薄弱环节。但是，规定核材料和其他放射性物质以及相关设施的实物保护，确保此类物质在运输中的安保，以及打击放射性物质的非法贩卖和意外转移，均是国家的责任。

在核事业发展的早期，用于研究和应用的辐射来自自然界的放射性物质。为了安全和操作方便，可制成 γ 射线源和中子源的镅和镅-铍混合物被封装在小容器内。这类源的用途非常广泛，而且其使用量增长迅速。虽然对源的控制措施逐步得到改进，但实物保护工作仍然很薄弱，有关源的存量资料既不规范也不完整。后来，随着核反应堆的发展，出现了更强的放射源，放射源的种类及其应用更加繁多，而且使用量也全面增加。

但不幸的是，随着应用的扩大也出现了一些事故、伤害和死亡。这一趋势，特别是 1987 年发生的严重事故，促使原子能机构启动了一项计划，除提供信息外，还在镅源管理和整备方面提供直接援助。

自 1999 年以来，原子能机构一直在实施“放射源安全和放射性物质安保行动计划”。这已导致采用《放射源安全和安保行为准则》，以减少合法使用的放射源被转用或不当使用以用于恶意目的这种威胁，并加强对合法使用中的放射源的安全使用和控制。原子能机构参与协助成员国实施“行为准则”和其他举措，例如建立“防止非法贩卖数据库”，协助进行放射源的寿期管理，推动安全工作实践，以及加强使用、运输和贮存期间的安保。

为了确保取得更大的进展，原子能机构建立了一个机制，直接为成员

国提供援助，以帮助回收、整备和进一步管理放射源。经过适当培训和装备的专家工作队对几千枚放射源的回收和整备实施了管理。

对“行动计划”中重点关注的一个关键领域是无看管源的问题。这些无看管源或是从供应环节一开始就从未受到监管控制，或是已被抛弃、被盗窃或被错放地方。不幸的是，据信，很多大型医用源和消毒用源都属于这种情况。

原子能机构在辐射应急的准备和响应方面也起着重要作用。《及早通报核事故公约》（及早通报公约）和《核事故或辐射紧急情况援助公约》（紧急援助公约）均赋予原子能机构在应急准备和响应方面的特殊法律义务。根据“紧急援助公约”，原子能机构的事件和应急中心协调全球专家的行动和原子能机构范围内所作的努力；在发生核或放射事件和紧急情况时，还帮助协调成员国以及诸如世界卫生组织、联合国粮食及农业组织或世界气象组织等其他国际组织的响应工作。

根据国家的一个请求，原子能机构会派遣专家工作队，帮助实施旨在实现其国家战略的行动，或在处理弃用源方面提供建议和援助。原子能机构专家工作队与国家废物运营单位和监管部门一起，根据国际规范和标准开展工作，以回收和整备放射源，并使其变得安全和可靠。原子能机构在其“2002 年打击核恐怖主义行动计划”中制定了一项确保将未受控制的放射源纳入监管控制并加以适当管理的计划，以便在成员国以安全和可靠的方式识别、寻找、回收、整备和贮存放射源，或在可能情况下加以处置的工作方面向其提供援助。通过这些于上世纪九十年代中期开始的工作，以及通过与国家主管当局和国际组织的讨论，很显然，需要一份能够帮助识别无看管源和未知源及装置的文书。

根据 1998 年在法国第戎召开的国际原子能机构“放射源安全和放射性物质安保大会”的建议，原子能机构理事会和大会于 1999 年核准了“放射源安全和放射性物质安保行动计划”，该行动计划除其他外，特别要求原子能机构“建立有关放射源的特征和包括运输容器在内的含有放射源的装置之特征的资料库，并传播这些资料，同时还要考虑通过互联网进行传播的可取性”。

原子能机构编制了《国际密封放射源和装置目录》（简称“放射源目录”），该目录针对数量庞大的放射源和装置详细介绍了其特征和技术数据。全套“放射源目录”的篇幅非常大，因此不可能大范围散发。“放射源目录”中的资料采用数据库的形式，仅能通过密码保护的网址才能获取。

为此，设想本出版物旨在提供一份有关典型密封放射源和含有密封源装置的更易于管理的概要，其目的是帮助非专业人员识别放射源、放射性装置和放射性货包。它可以被用来向那些工作在边境检查站、废金属行业、医院、机场、海港、警察局和消防部门以及有可能偶而接触放射源的其他场合或在其正常工作过程中有可能接触放射源的非专业人员提供信息。它也可提供有关在万一发现可疑的未受控制的放射源或放射性装置时需要采取预防行动的基本资料。在这种情况下及早识别放射源有助于实现安全和安保的双重目标。

本出版物意在作为一项基本导则，而不是为确定并提供针对放射源、放射性装置和放射性运输容器的详细应急处理规程的综合性成套工具。此外，本出版物也帮助识别放射源，突出强调它们所具有的风险，并提供有关适当行动的资料。在国际社会持续致力于加强对放射源和核材料的控制、加强安全和安保，从而使放射源带来的利益更易于被广泛利用方面，本出版物的出版迈出了虽然很小但是颇为重要的一步。

本出版物通过在“核安保计划”下建立的核安保基金获取了部分资助。原子能机构感谢 J. Parfitt 对编写本出版物所作的贡献。原子能机构核燃料循环和废物技术处的 M. Al-Mughrabi 和 J. Neubauer 是负责本出版物的官员。

致 谢

国际原子能机构对中国国家原子能机构为本出版物的翻译所作的贡献表示感谢。

编 者 按

本报告不涉及因任何人的作为或不作为而引起的责任问题，无论是法律方面的还是其他方面的。

尽管在保持本出版物所载资料的准确性方面十分谨慎，但无论国际原子能机构还是其成员国均不对使用本出版物可能产生的后果承担任何责任。

国家或领土的特定称谓的使用并不意味着作为出版者的国际原子能机构对于该国家或领土、其当局和机构或其边界划定的法律地位做出任何判断。

提及具体公司或产品（不管是否已经载明为注册的公司或产品）名称并不意味着有任何侵犯所有权的意图，也不应当被解释为国际原子能机构方面的核可或推介。

目 录

有关放射源和放射性装置的重要资料	1
1. 引言	5
1.1. 背景	5
1.2. 范围和目的	5
1.3. 结构	6
1.4. 与放射源有关的潜在危险	7
2. 识别经授权使用的放射源、放射性装置或放射性运输货包	8
2.1. 装置	9
2.2. 放射源	10
2.3. 运输货包	11
2.4. 识别放射源的运输和使用	12
3. 发现未受控制的密封源、放射性装置或放射性运输货包时 需要采取的行动	14
4. 放射性密封源和装置的使用	15
4.1. 医学应用	15
4.2. 产品的非医用辐照	16
4.3. 计量系统	17
4.4. 利用放射源进行无损检测	18
4.5. 材料分析	19
4.6. 其他应用	20
4.7. 密封放射源和放射性装置的实例	20
4.8. 国际原子能机构对放射源的分类	22
5. 放射性装置的实例	26
5.1. 工业规模消毒厂	26
5.2. 远距治疗机	27
5.3. 血液辐照器	31
5.4. 多束远距治疗机 (γ 刀)	34
5.5. 小规模样品辐照器	35
5.6. 种子辐照器	38
5.7. 放射性同位素热电发生器 (RTG)	41

5.8.	γ 石油测井塞状源	45
5.9.	中子石油测井	47
5.10.	γ 放射照相投射器	52
5.11.	γ 放射照相用管道爬行器	60
5.12.	高活度量具	62
5.13.	低能 γ 密度计、厚度计和料位计	69
5.14.	β 密度计和厚度计	71
5.15.	散料湿度计	73
5.16.	土壤湿度计/密度计	76
5.17.	X 射线荧光分析仪	77
5.18.	遥控后装近距离治疗机	81
5.19.	静电消除器	84
5.20.	放射性避雷针	87
5.21.	自发光标志	88
5.22.	烟雾探测器	90
6.	放射源的实例	92
6.1.	^{60}Co 远距治疗用源	92
6.2.	^{60}Co γ 消毒用放射源	94
6.3.	^{90}Sr 放射性同位素热电发生器用源	95
6.4.	工业 γ 放射照相用源	96
6.5.	高剂量率遥控后装近距离治疗用源	97
6.6.	高能 γ 工业量具用源	98
6.7.	工业计量用中子源	101
6.8.	γ 和中子石油测井源	103
6.9.	低能固定式工业计量用源	105
6.10.	永久性植入低剂量率近距离治疗用粒源	107
6.11.	眼贴	109
6.12.	低能 γ 分析用源	110
6.13.	刻度用源和参考源	112
7.	放射性运输货包实例	115
7.1.	高活度 γ 运输货包	115
7.2.	放射照相用源的换源器	118
7.3.	低活度高能 γ 运输货包	120
7.4.	一次使用的放射源货包	123
附件一：辐射的基本知识		125
附件二：第 5 节中所述的装置及其主要参考数据表		128

附件三：第 6 节中所述的放射源及其应用的相互参考表 131

参考文献 133

定义 134

参与起草和审查的人员 137

有关放射源和放射性装置的重要资料

如何识别放射性装置、放射源或放射性货包

放射性装置是内装有放射源、有特定用途的实物。装置既可屏蔽放射源的辐射，又可使受控辐射束用于预期目的。

放射性运输货包是运输放射源时所用的实物或货包。它可屏蔽辐射。

放射性装置和运输货包通常都含有铅、钨或其他高密度的辐射屏蔽材料。所以，相对于它们的体积而言，其重量很重。

很多工业应用的放射性装置都涂有鲜艳的颜色。

很多放射性装置都装有加锁的“快门”装置，因而可以利用内含的放射源，也就是说可以让辐射束放出来。

放射性运输货包也可能就是装置本身，它们也可能看起来就像其他工业货包一样，有木质的或硬纸板的运输包装箱，以防止损坏。

所有装有放射源的装置和运输货包都应有一个三叶形的符号，明确标明放射性物质的类型（同位素）。



密封源通常是用不锈钢焊接成的圆柱体，没有连接物。大部分都是圆柱形的，其直径最大可为 10 mm，长度可至 30 mm；但是有些密封源可能会很大。

放射源应有三叶形符号，或刻有“放射性的”字样。但有时字迹会太小，很难看清。

没有屏蔽的放射源，敞开着看可能是极其危险的。**绝不要靠近。**

如果放射源在不受控制的状态下，能够产生足以引起严重确定性健康效应¹的照射量，则可认为这个放射源是“危险的”。捡拾危险的放射源是特别有害的。对以往应急事件的分析表明，拿着或携带（例如放在衣袋中）危险的放射源仅仅几分钟就造成了严重的确定性健康效应。因此，必须尽力防止用手摆弄可能有放射性的物质。然而，例如为了抢救生命的目的，在一个非常危险的放射源²近旁停留有限的时间（几分钟），应该不会造成严重的确定性健康效应[1,2]。

危险放射源的指示：

危险放射源[1]的指示包括如下：

- 容器重，有三叶形符号。³
- 带着有可能是危险放射源的货包标志的物件（I 为白色标志，II 和 III 为黄色标志）[3]。
- 有 UN 运输编号或标牌（标注 IP、A、B、C 型的货包）的物件[3]。
- 用于癌症治疗的装置（远距治疗仪或近距治疗仪）。
- 放射照相用摄像机或放射照相用源。
- 钻探操作中所用的测井源。

如发现可能是危险的放射源、放射性装置或运输货包时该怎么办

如发现放射源、放射性装置或运输货包，应遵从以下步骤：

- 不要触摸该物件。

¹ 确定性健康效应是指致死或威胁到生命或导致生活质量下降的永久性损伤（如严重烧伤）的效应。

² 例如无屏蔽的 100 TBq（3000 Ci）铯-137 源。

³ 很多物件虽不危险，但也有辐射警告符号，如便携式水分密度仪、烟雾探测器、氚指示牌、带有发光表盘的钟表和罗盘。

- 撤离邻近区域，并防止别人进入（对该区域实施安保）。
- 尽量拉大人员与该物件的距离（作为指导性意见，后撤至少 5 m 远，多数情况下可以大大减少辐射剂量率和危险程度）。
- 通知市政主管部门、应急中心（救援中心、警察）—— 应该很容易获得你当地的详细联络方法。

最初响应者的行动在参考文献[1]中介绍。

1. 引言

1.1. 背景

本出版物旨在帮助有可能接触到放射源、放射性装置和货包的非专业人士和组织能对它们进行最初的识别。它将进一步帮助对那些随后要向原子能机构“防止非法贩卖数据库”报告的事件中所涉及的放射源进行鉴别。

除本出版物外，原子能机构和一些成员国的有关政府机构还共同建立或利用了一个国际数据库，其中收集了大部分已知的正在使用中或在过去使用过的放射性装置、源或运输货包的详细设计资料，被称作《国际密封放射源和装置目录》（放射源目录）。通过国家指定的联络点才可查阅这一放射源目录（在“联络点信息”的第3节中作出规定，要求个人输入国家联络点的详细资料，以及其他与其工作状况有关的资料）。由于安保的原因，放射源目录并未公开提供使用，因而本出版物的目的是在比较一般的水平上提供信息和识别能力方面的帮助。这与原子能机构为改进对放射性事故的控制的作法一致，也与防止、侦查和应对非法贩卖或恶意使用放射源的作法相一致。

本手册的详细程度与需要尽可能减少将资料传播给那些可能将其用于恶意目的的人这一要求是一致的。

1.2. 范围和目的

本出版物的目的如下：

- 帮助认定和识别被认为是放射性装置、放射源和放射性运输货包的物件。
- 提供有关该怎么做和如何得到进一步帮助的指导。
- 增强放射性装置、放射源和放射性运输货包存在的意识。
- 通过原子能机构成员国指定的协调员，提供有关《国际密封放射源和装置目录》（放射源目录）存在和使用的信息。

本出版物的目的不在于为识别放射源并给出详细应急处理指导意见提供综合性的成套方法。国家应急、监管和其他市政主管当局已经了解并可利用有关妥善处理任何已识别的放射源的更多信息。他们也能利用由原子能机构编制和维护的有关放射性装置、源和运输货包的综合性数据库。

本手册可能有两个用户群体：

- 主要用户群体，即是在某个组织或单位中的正在主动寻求识别和定位放射性装置、放射源和放射性运输货包的人，例如：
 - 在边境控制点的人员；
 - 作为最初响应者的市政主管单位如警察、消防队和应急中心的人员；
 - 工业和医院的退役机构和操作人员；
 - 废金属和工业废物的处理人员；
- 第二类用户群体，即是在某个组织或单位中的可能被动地遇到没在“主人”控制下或在意外位置出现的放射源、放射性装置或运输货包的人，例如：
 - 市政主管单位的非专业人员，如警察；
 - 道路保养人员；
 - 救援中心；
 - 没有使用出入口监测仪的废金属分类处的处理人员。

1.3. 结构

本手册共有 8 节。在引言之后的第 2 节，介绍如何认定放射源、放射性装置或运输货包。可以设想，这一节对于识别放射性装置、放射源和放射性运输货包可能是非常有用的。第 3 节介绍了如果发现放射源、放射性装置或运输货包该怎么办；这一节还提供了一些对于确定放射源、放射性装置和运输货包是否处于妥善控制下，以及在这种情况下应该采取哪些行动可能有用的资料。第 4 至第 7 节提供了一些补充资料，这些资料可能有助于用户逐步熟悉与放射源、放射性装置和运输货包有关的识别、使用和潜在危险。第 4 节介绍了放射性装置和放射源的典型应用。第 5 至第 7 节

举例说明各种典型的放射性装置、放射源和放射性运输货包，以帮助用户识别可疑物件。

附件一介绍了有关辐射性质的基本资料。附件二是第 5 节中介绍的装置和简要参考数据的索引；附件三是第 6 节中介绍的放射源和应用的相互参照的索引。

1.4. 与放射源有关的潜在危险

与放射源使用有关的潜在危险有两个主要方面：

- 因涉及放射源的事故造成死亡或损伤；
- 因恶意使用放射源造成死亡或损伤。

或是因为从未受到监管控制，或是因为被抛弃、丢失、放错地方、被盗或其他未经正式授权而被转移，因而不在于监管控制下的放射源，称为“无看管源”。不论在事故情况下还是涉及恶意使用的情况下，这类源都是最危险的。例如，有一家医院的辐射治疗机上曾经使用过一个放射源，后来发生了事故，从那以后医院关闭。没采取任何行动来正确地管理这个源，若干年后该放射源及相关屏蔽物都被废金属回收人员偷走了。他们不认识，或者没有留意警示标志，将屏蔽物和放射源拆解了，造成大面积污染，这不仅使他们本人，还使曾与他们接触过的人受到伤害和罹患疾病。

已经发生过多起事故[4-8]，在这些事故中，一些个人或是由于他们自己的行为，或是由于其他人粗心大意的行为而受到了大剂量辐射的照射，从而造成严重损伤和死亡（见图 1）。

很多这类事故的起因是由于不了解如何通过外形或标志来识别放射源。已经设计了新的警示标志，意在用更显眼的方式来表达有潜在危险的信息。现在也能对恶意使用放射源的可能性进行识别，这样的恶意使用几乎总是需要将一个或多个高活度的放射源运到或是丢到公众场所。

本手册的目的是，通过提供明确的指导，说明放射源的性质，并帮助人们识别放射源、放射性装置或运输货包，来帮助减少上述任何一种风险。



图 1. 因辐射烧伤造成的损伤。

第 4 节中简要介绍与放射性装置、放射源和放射性运输货包有关的相对危险程度。如果一个放射源处于非控制状态下，它所产生的照射量可能足以引起严重的确定性健康效应，即可称这个源是“危险的”。捡拾危险的放射源尤为有害。对以往紧急事件的分析表明，拿着或携带（例如放在衣袋内）危险放射源仅仅几分钟就造成了严重的确定性健康效应。因此，必须尽力防止用手摆弄可能是放射性的材料。但是，例如为了抢救生命的目的，在某个很危险的放射源近旁停留有限的时间（几分钟），应该不会造成严重的确定性健康效应[1]。

附件一中，对辐射的性质作了比较全面的介绍。

2. 识别经授权使用的放射源、放射性装置 或放射性运输货包

放射源、放射性装置和运输货包在外形上有很大差异，取决于它们可能的具体应用情况。第 4 节中将对放射性装置、放射源和放射性运输货包进行比较详细的讨论。

认定放射性装置、放射源或放射性运输货包的主要方法是利用其识别标志。下面几节简要介绍放射性装置、放射源和放射性运输货包以及它们的标志。

2.1. 装置

在使用期间其内部安放有放射源的机器、仪器或带有屏蔽的货包称为“装置”。

装置的外形多种多样，根据其内部安放的放射源的辐射强度、类别和能量，以及该装置预定的具体应用而定。

一般而言，大部分装置都装有发射 γ 的放射源，并采用密度大的金属对其进行非常高效的屏蔽，如铅、钨或贫铀。因此，很多装置都有这样的特征，即相对于它们的体积而言，其重量很重[9]。

装置可以有意做成可携式的，例如放射照相用摄像机和道路测量仪器；也可以与放射源一起装在某个专用设备上，然后运至永久性使用场地。因此，利用装置来运输放射源，是完全合法的，只要用户获准可以这样做，而且装置上标有相应的标志。在这种情况下，标志既要与随后讨论中所介绍的运输货包标志体系相一致，也要与对装置所要求的标志体系相一致。许多用于放射源运输的装置都有一个“外包装”即运输箱，用它来保护该装置在运送途中不受损坏，或不受干扰。这些装置的外形可能与标准的工业货包的外形相同，唯有所加的运输标志不同[3]。

可携式装置的例子包括：

- γ 放射照相用的投射器；
- 道路建造和土木工程用的湿度密度仪；
- 材料特性测定用的 X 射线荧光探测器。



图 2. 三叶形符号实例。

作为运输货包用来将放射源运至使用地点的装置的实例，包括 γ 和 β 辐射密度仪和测厚仪、远距治疗机机头、血液辐照器和烟雾探测器。

所有这些装置将在第 5 节中介绍。

装置的标志

内部装有放射源的装置应有清晰的标志。标志的尺寸大小，应保证能看清标志，并能起到制止乱动的警示作用。装置标志上的用词应精确，可以根据当地的规定而有所不同，但通常都应包括三叶形符号、核素和原子序数，而且通常都有“放射性的”字样。如可能，三叶形符号用黑色或红色，底板为黄色（见图 2）。

除了图 2 给出的符号外，正在引进一种新的符号，一般是将其标在装置外盖的内部，以期再次警示未经授权人员不要触碰内部的源（见图 3）。



图 3. 新符号，警示不要触碰放射源。

2.2. 放射源

大部分放射源是可以辨认的，它们是圆柱形的不锈钢小容器，其尺寸有多种多样。它们通常都是不锈钢的，但可能因使用而变暗或失去光泽，在内部装的放射源的活度很高时更是如此。

一般而言，如果发现一个可疑的密封放射源，没有任何屏蔽体，这个源有可能是危险的。未经培训的人在没有相应的放射防护用具和探测设备时，不应靠近它。

大部分放射源都相当小，因此如不靠近看，很难看清标志，但靠得太近就有可能受到辐射的损伤。

此时，重要的是：

- 没有专门知识或专门设备时，不要试图看标志；
- 不要试图触摸放射源。

注意：放射源的物理尺寸并不代表源的相对危险性。

第 6 节中将举例介绍放射源。

放射源的标志

所有密封源（物理尺寸太小的除外），均标注有三叶形符号、“放射性的”字样，或者两者兼有。它们也可能标有核素和原子序数，制造厂的符号和序列号等。此外，还可能标有活度（放射性物质的数量或源强度）和生产日期（见图 4）。



图 4. 三叶形符号的实例。

2.3. 运输货包

与放射性装置一样，运输货包的尺寸、重量和外形千差万别，取决于货包内所含放射源的活度、类型和能量。

货包的差异很大，有带着铅或贫铀屏蔽层、用散热片冷却的钢制容器，其重量可能超过 5 t，用于活度很高的 γ 放射源；也有很小的一次性纸板盒，用于活度很低的放射源。

第 7 节中将介绍实际应用的各种各样运输货包的实例。

运输货包的标志

一般来说，运输货包的标志要符合国际原子能机构《放射性物质安全运输条例》中已有扼要说明的国际监管规定[3]。在正在使用装置来运输放射源的情况下，这些要求同样也适用于装置。

除了内装放射性物质的活度水平很低的货包（例如烟雾探测器，或仅含有豁免量放射性物质的货包）以外，所有装有放射源的货包都必须有清晰标志，作为最低要求，可在图 5 中给出的几种标志中选用一种。

选用标志时，要综合考虑货包表面的最大辐射剂量率和距离货包表面 1 m 处的最大辐射剂量率。1 类货包标志表示最低的剂量率，而 3 类货包标志则表示最高的剂量率。

货包的类别标志并不表明放射性物质的数量、辐射类型或该物质的危害性，这要视货包的屏蔽情况而定。但是，必须在标志上标明核素、质量数 and 活度。标志必须放在货包的相对的两侧。（不要将标志货包这一意义上所说的“类”，与国际原子能机构的分类体系相混淆，原子能机构的分类体系是根据放射源的危险程度进行分类的：1 类源为潜在危险最大的源，而 5 类源则是最不可能有危险的源。第 4.9 节中将更加全面地说明与源照射量有关的分类。

货包上还要标出“UN 编号”和适当的运输名称，例如“UN2961 放射性物质 B(U)类货包”（UN2961 radioactive material Type B(U) package）。

发运的货包还必须附有一份“发货方声明”，用于说明该货包符合相关的国际标准。该声明必须确定发货人并由该发货人签字。

不符合上述基本要求的任何运输中的货包，可能不是在合法转移，因此，应考虑怀疑该货包是未受控制的或是未经批准的货包。

2.4. 识别放射源的运输和使用

全球范围内使用的放射性装置和放射源成千上万，第 4 节列举了在工业、医院、土木工程、石油勘探等方面的各种应用。每年都有成千上万枚

放射源运至其使用地。重要的是这些活动不能受到破坏。因此，应该谨慎利用本手册中所给的资料，只要有理由怀疑是未受控制的使用或运输放射源，或是发现可疑的放射性装置、放射源或放射性运输货包是“未受控制的”，就应通知市政主管部门。

“受控制地”使用放射性装置、放射源或放射性运输货包可以定义为用于预定的目的，而且有可认定的所有者。如这些要求得不到满足，那就认为该放射性装置、放射源或放射性运输货包是“未受控制的”。

放射性装置、放射源和放射性运输货包的安全使用和安全运输要接受国家主管部门的监管，以保护公众的健康和安全。

第 5、6 和第 7 节中将分别介绍一些预期能遇到放射性装置、密封源和运输货包的情况。



图 5. 内装有放射源的货包所需的各种标志类型的实例。

如果可疑的装置、密封源或运输货包不属于第 5、6 和第 7 节中所介绍的受控使用、贮存或运输的类别，也未能找到获得授权的所有者，那就应该采取下面所述的行动。

未受控制的使用的实例可能包括但不限于下述情况：

- 发现放射源未受屏蔽，没放在装置或运输货包内；
- 装置没在其使用地或经授权的贮存地、或没在经授权的运输途中；
- 发现放射性装置或放射源已被丢弃。

如果发现放射性装置、密封源或运输货包处于被怀疑是未经授权或未受控制的情况下，或是如果怀疑其运输未受控制，则要采取第 3 节中所介绍的行动。

3. 发现未受控制的密封源、放射性装置或放射性运输货包时需要采取的行动

(1) 如发现放射源、放射性装置或运输货包，应遵循下述步骤：

- 不要触摸该物件；
- 撤离临近的区域，并防止别人进入（对该区域进行安保）；
- 要尽量拉大人员与该物件的距离（作为指导性意见，后撤距离至少 5 m，在大多数情况下可以大大减少辐射的剂量率和危险性）；
- 通知市政主管部门，应急中心（救援中心，警察）—— 应该很容易获得你当地的详细联系方式。

有关具体行动的更详细资料可在参考文献[1]中找到。

(2) 执行有关此类事件的任何规定程序或协议并通知市政主管部门，此时要牢记以下两点：

- 只有受过培训并配备有适当辐射探测设备的人员才能靠近可疑物件。
- 响应行动一开始，最初响应人员就应根据既定的应急预案在紧急现场采取行动[1]。

4. 放射性密封源和装置的使用

辐射特性在各种各样的应用中得到利用。然而在所有这些应用中，放射性物质均封隔在密封源内部，而装置可以允许按照一种可控的方式来利用辐射。

与使用放射性装置和放射源有关的应用领域可分为 6 个方面：

- 医学应用；
- 产品的非医用辐照；
- 各种计量系统；
- 成像系统（放射照相）；
- 材料分析；
- 其他应用。

4.1. 医学应用

放射性装置和放射源在医学领域中用于癌症治疗和血液辐照。

在癌症治疗中，或是利用辐射束从外部穿过身体达到癌症部位（远距治疗），或是利用在肿瘤内或靠近肿瘤处短时间放置或永久性植入一个辐射源（近距治疗）使肿瘤受到辐射照射。辐射的作用是杀死癌细胞，从而使肿瘤消亡或减小。

输血前可对血液进行辐照处理，以抑制淋巴细胞的增生。这样可最大限度减少患者的免疫系统日后出现问题的可能性。

因此，在医学应用中所用的放射性装置，很可能在以下两个部门可以看到：

- 医院的癌症治疗科；
- 医院的输血科和血液贮存部门。

此外，短寿命放射性同位素广泛用于医学诊断，但危险性极小，不属于本手册的范围。

4.2. 产品的非医用辐照

在材料处理领域，放射性装置和放射源用于：

- 消毒；
- 辐射处理以改变材料的性质；
- 辐射处理害虫（如果蝇），使其不能繁殖；
- 食品辐照，作为一种防腐措施。

在消毒中，需要消毒的物品（例如医用装置和外科敷料）要接受大剂量辐射的照射。要精心控制辐射剂量，以消灭任何有可能在制造过程中偶然进入包装的细菌。而物品本身不会受到这一辐射过程的影响。

利用辐射可以处理材料，以改变其性质，例如，可以利用大剂量辐射使塑料内聚合物链发生交联，从而增大塑料的强度。辐照种子，可促使其提前发芽或增强抗病虫害的能力。

在一项关于减少虫害种群数量的计划中使用了放射源。粮农组织（FAO）和原子能机构粮农核技术联合处，多年来一直在从事研发昆虫不育技术（SIT）以控制采采蝇。

最具代表性的是，辐照处理材料所用的源，其辐射能量高、强度大，安放在一个十分庞大的屏蔽物中。例如，用来对医用物品进行消毒的装置实际上是一个建筑物，内有一个很大的加有屏蔽的房间，要消毒的物品不断从中通过。

在下述设施中可以看到材料处理设备：

- 专门的消毒设施，其规模相当于一个工厂；
- 医用器械制造业；
- 研究所和教学设施；
- 农业研究设施。

4.3. 计量系统

放射性装置和放射源在量度领域内用于下述测量；

- 厚度；
- 密度；
- 料位。

在正在通过压轧机加工板材的情况下，为了进行厚度测量，就要在板材一侧放置放射源，另一侧放置探测器（见图 6）。如果板材的密度是均匀的，穿透板材的辐射量与材料厚度是成比例的。计量系统给出的信号反馈给上游的工艺控制系统，以确保板材厚度始终符合要求。选用的同位素，其能量必须非常适合于所要测量的板材的相对厚度和密度。目的是要得到辐射衰减的最佳效果，以便向辐射测量系统提供高分辨率信号[9]。

同样，通过测量穿透材料或材料反射的辐射量，可以估算已知厚度的材料的密度。

对料位测量，可利用辐射源和探测器来测定容器内物料的高度。让辐射束穿过容器，当容器内物料的高度超过设定的辐射束高度时，穿过的辐射就会减少。此时即可给出一个信号，以控制进料工艺。这项技术在多种工艺操作中得到应用，如工业料斗给料以及食品罐装等。

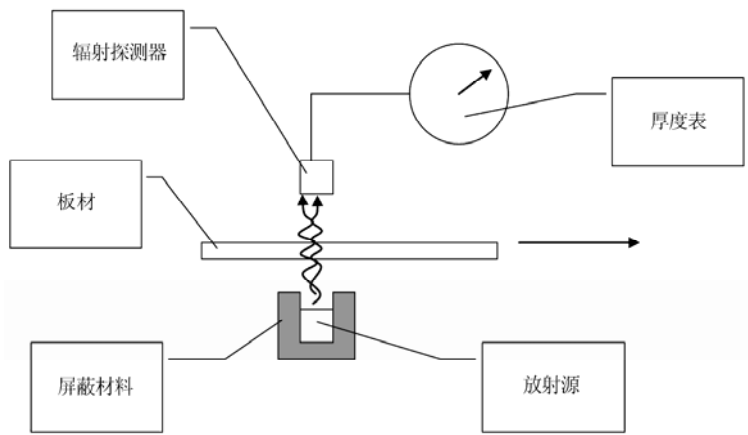


图 6. 典型的辐射透射测厚仪示意图。

放射性的计量系统可在以下部门看到：

- 矿业加工；
- 工业加工工厂；
- 灌装管线；
- 料仓和化学加工工厂；
- 制烟厂；
- 造纸厂。

4.4. 利用放射源进行无损检测

在 γ 放射照相领域，放射源和放射性装置主要用于无损检测（NDT）成像技术。 γ 放射照相与医用 X 射线照相相似，但不是利用靠电力驱动的 X 射线发生器来产生影像，而是使用放射源产生 γ 射线。在为 X 射线发生器供电有困难的时候，或在很狭小的空间开展工作时，可以使用放射源。将放射源装在一个通常称为“投射器”或“照相机”的可移动装置中，借助遥控缆绳操作系统，在工作位置进行照射。 γ 射线透过被照相的测试物，投射到胶片上，给出影像（见图 7）。这一系统常常用来对工程物件的结构焊接处进行放射照相，如建筑构件和管线。在 γ 放射照相中常常使用 ^{192}Ir 、 ^{75}Se 和 ^{60}Co 放射源。选用的同位素，其能量要非常适合于正要进行放射照相的材料相对厚度和密度，以便给出的影像能有最好的对比度[10]。

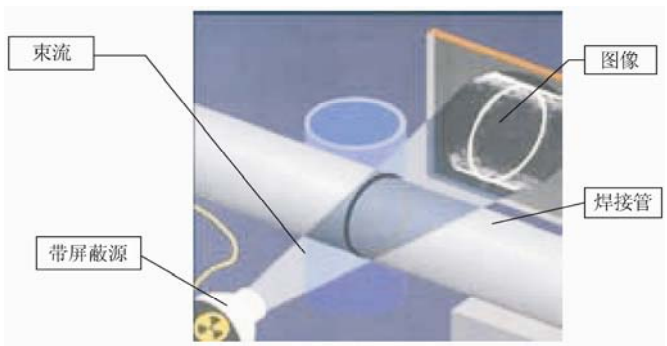


图 7. 典型的 γ 放射照相系统。

无损检测系统可在以下领域或部门中看到：

- 土木工程项目；
- 管线焊接；
- 普通的工程制造厂；
- 各种工业加工厂的保养操作；
- 航空工业。

4.5. 材料分析

放射性装置和源在材料处理领域用于：

- 材料的元素分析；
- 水含量推定。

材料的元素分析技术的一个实例称为 X 射线荧光法。可以将特定能量的 γ 辐射束对准某种合金。辐射束以不同方式与不同元素发生相互作用，“反射”出具有不同能量的次级辐射。对反射辐射谱进行分析，即可测定其元素组成及其相对比例。

在松散材料中和工艺流程中含水量和碳氢化合物含量，可以通过测量中子辐射源的中子透射率和反射率来估算。中子质量与氢原子的质量相同，中子与氢原子碰撞后反冲速度大大降低。测量来自散料的反冲后慢化中子的数量即可估算出含氢量。这个方法可用于测量水含量。在石油勘探中，利用这一相同的技术并结合其他测量手段，可以估算出油井中碳氢化合物的含量情况。

放射源用于材料分析可在以下部门中看到：

- 废金属加工；
- 涂料中铅含量分析；
- 材料加工中的在线分析；
- 加工工业中木浆和残渣分析；
- 研究设施；
- 土木工程和道路建设；

- 农业；
- 工业实验室；
- 石油勘探和生产。

4.6. 其他应用

放射性装置和放射源还有很多其他应用，这里不一一例出。下面是另一些应用实例：

- 利用放射性同位素热电发生器的动力装置；
- 烟雾探测器；
- 自发光信号；
- 枪炮瞄准器；
- 静电消除；
- 雷电预防。

第 5 和第 6 节中将介绍上述应用。

4.7. 密封放射源和放射性装置的实例

内装放射性物质的第一级容器，称为密封放射源，也称放射源、辐射源、密封源或源（见图 8）。

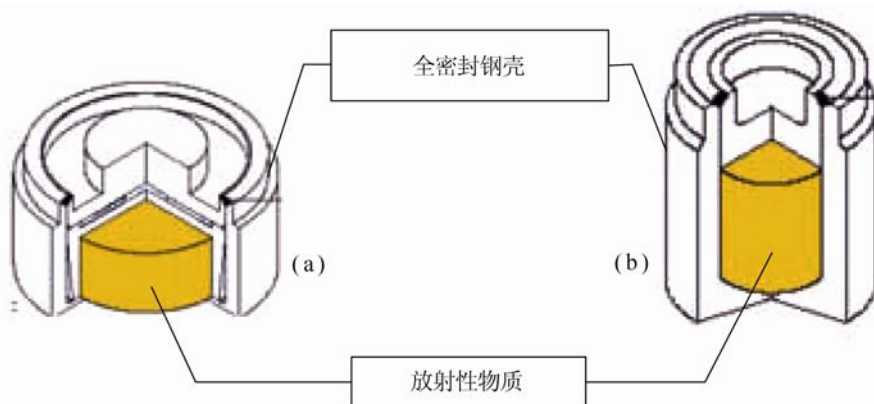


图 8. 密封放射源样式(a)典型的 ^{241}Am 盘状源, (b)典型的 ^{137}Cs 圆柱状源。

第 6 节中将介绍经选择的一些有代表性的密封放射源的实例。一般来说，密封源的外形是一个圆柱形的不锈钢小容器，一端有焊缝。

在几乎所有放射源的应用中，在正常使用时，总是将放射源装在一个有屏蔽的托架内；还要再装上与该放射源的具体应用相关的其他仪器或机械硬件，或与这些仪器或机械硬件相连接。通常将其称为“装置”。装置的性质取决于应用。在很多情况下，也可利用装置将密封源运至预定的使用地点。

这种装置一般都有足够的屏蔽，以吸收辐射，使其降至对公众无危害的水平。同是还有一个“快门”式的装置，在快门打开时，能让该源的辐射束正对着主体目标。

在使用放射性装置和源时要做周密安排，以保证任何输出的辐射束不可能照射到公众，而且工程控制措施要保证，唯有授权后才能利用该装置中的放射源或辐射束。

大部分装置和源都安装在永久性地点（如在工厂、医院、 γ 消毒厂内），然而，在另外的一些重要应用中，放射源在现场用于某项任务，然后再将其放入它们的装置中或运输货包中转移到另外一个地点。这类应用的实例包括 γ 放射照相和结构物中的湿度、密度测量等。

第 5 节中将举例介绍各种常用的装置。

要将放射源从一个地方转移到另一个地方，可以利用需要使用放射源的装置，也可利用专门为需要运输的放射源的类型而设计的并加有屏蔽的运输货包。

运输货包的类型差异很大。对消毒用的大型放射源来说，要用一个钢铸容器，重量超过 5 t，铅屏蔽厚度大于 20 cm；而对输出的辐射水平很低的源，或对很容易被吸收的辐射来说，其运输货包则可用纸板盒。

第 7 节将举例介绍各种常用的运输货包。

4.8. 国际原子能机构对放射源的分类

原子能机构根据放射源可能对人类健康造成的危害，制定了一个放射源分类系统[11]，以提供一个简单而又合乎逻辑的对放射源进行分级的方法。此外，它还提供一个将各种利用这些放射源的应用分为不同类别的方法。

鉴于人类健康至关重要这一事实，该分类系统的主要依据是放射源引起确定性健康效应的可能性。因此，该分类系统基于可以根据 D 值来定量表示的“危险源”这一概念。 D 值是指放射源的具体放射性核素的活度，该放射源如果不受控制，则有可能在多种情景下引起严重的确定性效应，这些情景既包括无屏蔽放射源引起的外照射，也包括源物质弥散（如着火或爆炸）后意外造成的内照射。

放射源中放射性物质的活度（ A ）差异超过许多数量级；因此，使用 D 值对活度范围进行归一化，以便在比较风险时提供一个参考标准 — 其作法是：取该放射源的活度 A （以 TBq 为单位），用相关放射性核素的 D 值来除。

在某些情况下，例如当要使用放射源的实践可能未知或未予确认时，仅仅根据 A/D 对放射源进行分类可能是适当的，如在进口或出口放射源时可能会发生这种情况。但是，如果已经知道放射源的使用情况时，监管机构可能要作判断，以便利用有关该放射源及其使用的其他信息对最初的分类进行修正。在某些情况下，根据使用放射源的实践指定一个类别可能是方便的（见表 1）。

在这个分类系统中，认为 1 类中的源可能是最“危险的”，因为如果不加以安全和安保管理，它们可对人类健康构成很大的风险。受到无屏蔽的 1 类源照射仅仅几分钟就可致命。在放射源分类系统的低端，即 5 类中的源可能是危险性最小的；但是，如果不加妥善控制，即使是这类源也能给出超过剂量限值的剂量，因此，仍需将这类源置于相应的监管控制之下。

参考文献[11]中详细而全面地介绍了放射源的分类。

表 1. 常见实践中所用放射源的分类[11]

类别	源 ^a 和 实 践	活度比 ^b (A/D)
1	放射性同位素热电发生器 辐照器 远距治疗源 固定式多束远距治疗 (γ 刀) 源	$A/D \geq 1000$
2	工业 γ 射线照相源 高/中剂量率近距治疗源	$1000 > A/D \geq 10$
3	含高活度源的固定式工业测量仪 测井仪	$10 > A/D \geq 1$
4	低剂量率近距治疗源 (眼贴片源和永久性植入源除外) 不含高活度源的工业测量仪 骨密度仪 静电消除器	$1 > A/D \geq 0.01$
5	低剂量率近距疗法眼用镭片和永久植入源 X 射线荧光装置 电子俘获装置 莫斯鲍尔光谱测量源 正电子发射断层照像仪 (PET) 检查源	$0.01 > A/D$ 并且 $A > \text{豁免值}$

^a 对源进行分类时已经考虑了除 A/D 以外的一些因素。

^b 此栏可用于仅仅根据活度比 A/D 来确定源的分类。例如，如果实践是未知的或是未在表中列出的，如果源是短半衰期和/或非密封的，或者如果源是集合体，此法可能是适当的。

整个第 5 和第 6 节，根据本文简要介绍的放射源和装置可能引起的危害，对放射源和装置进行了分类。

表 2. 对分类的简要说明[11]

放射源类别	靠近单个源时的风险		源内放射性物质因火灾或爆炸而被弥散时的风险	
	对人极为危险：	如对这些源未加以安全管理或安全保护，将有可能对用手拿或以其他方式与之接触超过几分钟的人造成永久性损伤。靠近这一数量未加屏蔽的放射性物质，几分钟至 1 小时，将有可能致死。	对人极为危险：	如对这些源未加以安全管理或安全保护，将有可能对用手拿或以其他方式与之接触超过几分钟的人造成永久性损伤或威胁到生命。距离超出几百米，将很少或不存在对人员造成急性健康效应的风险，但会需要根据国际标准清理受污染区域。如是大放射源，需清理的区域可达 1 平方千米或更大 ^a 。
1	对人很危险：	如对这些源未加安全管理或安全保护，能对用手摆弄或以其他方式与之接触短时间（几分钟至几小时）的人造成永久性损伤。靠近这一数量未加屏蔽的放射性物质，几小时至几天，就有可能致死。	对人很危险：	如对这些源未加安全管理或安全保护，就有可能——虽然可能性很小——对最近的人造成永久性损伤或威胁到生命。距离超出百米左右，将很少或不存在对人造成急性健康效应的风险，但会需要根据国际标准清理受污染区域。需清理的区域可能不超过 1 平方千米 ^a 。
2	对人有危险：	如对这些源未加安全管理或安全保护，能对用手摆弄或以其他方式与之接触几个小时的人造成永久性损伤。靠近这一数量未加屏蔽的放射性物质，几天或几周，就有可能——虽然未必可能——致死。	对人有危险：	如对这些源未加安全管理或安全保护，就有可能——虽然可能性极小——对最近的人造成永久性损伤或威胁到生命。距离超出几米，将很少或不存在对人造成急性健康效应的风险，但会需要根据国际标准清理受污染区域。需清理的区域可能不超过几分之一平方千米 ^a 。

表 2. 对分类的简要说明[11]（续）

放射源类别	靠近单个源时的风险	源内放射性物质因火灾或爆炸而被弥散时的风险
4	<p>对人不大可能有危险：这类源对任何人造成永久性损伤的可能性很小。但是，这一数量未加屏蔽的放射性物质，如未加安全管理或安全防护，也有可能——虽然未必可能——对用手摆弄或以其他方式与之接触多个小时，或靠近它多个星期的人造成暂时性损伤。</p>	<p>这一数量的放射性物质如被弥散，不可能对人造成永久性损伤^b。</p>
5	<p>对人最不可能有危险：这类源不可能对人造成永久性损伤^b。</p>	<p>这一数量的放射性物质如被弥散，不可能对任何人造成永久性损伤^b。</p>

^a 需清理的区域的大小将取决于诸多因素（包括活度、放射性核素、弥散方式和天气情况）。

^b 在本说明中没有考虑可能出现的远期健康效应。

5. 放射性装置的实例

5.1. 工业规模消毒厂

装置类别	1: 如不加严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	通常为单一目的建造的工业规模的建筑物 长×宽×高为 100 m×200 m×6 m
典型的重量范围	不适用
应用	通过 γ 辐射照射对材料消毒

见图 9

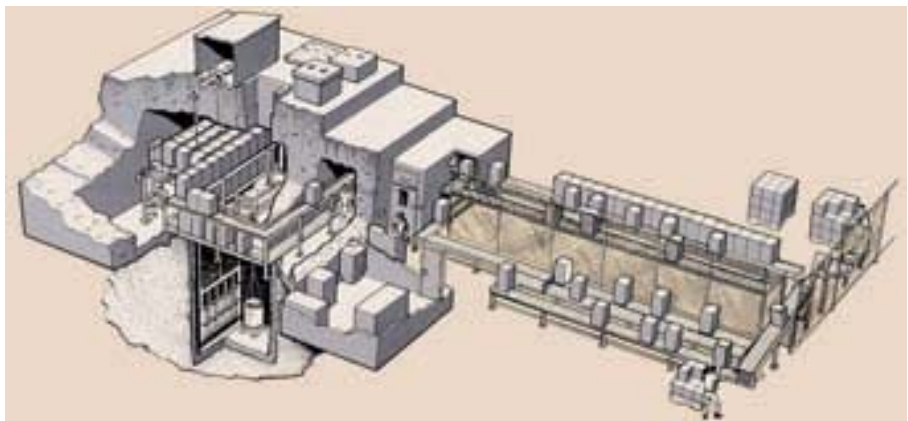


图 9. 典型的工业规模 γ 消毒厂（图片：美国核管理委员会（NRC））。

使用描述

严格说来消毒厂并不是一个装置。它是一个有屏蔽的建筑物，其内部安放着大量排成阵列的 ^{60}Co 源。

将需要 γ 消毒的产品堆放在屏蔽区域内，接受放射源照射，照射时间即是输送为灭菌所要求的 γ 剂量所需的时间。

在辐照过程中，通常是让放射源暴露在屏蔽建筑物内，但随后要通过

远距控制将其降回到地坑或充水水池，以便在需要进入屏蔽大厅时提供屏蔽。

产品可以成批堆放在屏蔽大厅内，通过远距控制将放射源从地坑或水池中移出，对产品进行辐照，或者，也可以让放射源保持着半永久式的暴露状态，而产品则是放在传送带系统上穿过屏蔽大厅。

人员进入屏蔽大厅要受到严格控制，以尽可能减少受到放射源照射的可能性。

典型的工作环境

为了适应广泛应用，通常将辐照厂建在工业区，并按照合同对产品进行辐照，大多涉及医疗装置的辐照，但也可用于食品辐照，以及其他应用。

放射源运进运出辐照器要用专用的运输容器，并由专业人员负责装卸放射源。

放射源

典型的辐照设备安装的 ⁶⁰Co 源的活度高达 185 PBq（5 MCi）。

5.2. 远距治疗机

装置类别	1：如不加以严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	安放放射源的远距治疗机机头的尺寸为： 直径 300—600 mm×长度 300—600 mm； 整机：长×宽×高为 4 m×2 m×3 m
典型的重量范围	安放放射源的远距治疗机机头的重量为 200—500 kg 整机重量为 500—1000 kg
应用	医疗
见图 10—15	

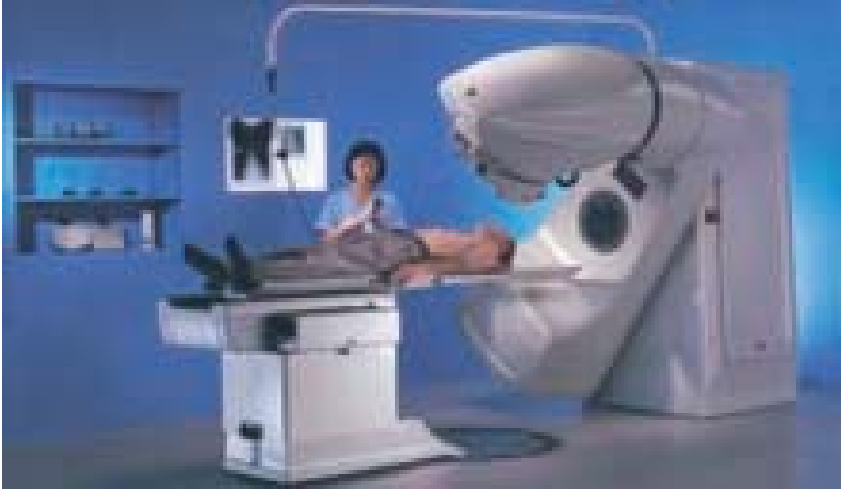


图 10. 新型远距治疗机（图片：MDS Nordion）。



图 11. 远距治疗机。



图 12. 远距治疗机，带有相应的换源用容器（白色）。



图 13. 新型远距治疗机（图片：BRIT）。



图 14. 老式 ^{60}Co 远距治疗机机头。



图 15. 破损的 ^{60}Co 或 ^{137}Cs 远距治疗机机头。

使用描述

这些装置一般使用一个 ^{60}Co 放射源。它们用于癌症治疗，即让高能辐射束聚焦投射在肿瘤上。

将放射源牢固地安置在旋转臂末端很重的屏蔽舱室内。使用期间将舱室门打开，此时放射源的辐射束进行照射。

有屏蔽的舱室可以从旋转臂上拆卸下来，并运至专用地点，对旧源进行更换；或者，也可在现场实现源的转换，使用专用的运输容器来运送和安装新源并移走旧源，一次完成全部操作。

典型的工作环境

全世界很多医院的癌症治疗单元都安装有这类装置。

单元本身要在有屏蔽的设施内使用，以防止辐射束影响室外的人，而且，这类设施通常严格控制进入。

因为所用的放射源的活度很高，只有用专用的屏蔽设备和经过严格培训的人员才能从事这类操作。

这类单元退役时，有时将带屏蔽的舱室连同放射源一起移走贮存，而单元的其余部分将被报废。

所用的放射源的活度很高，使这些单元有可能成为一些最危险的装置。

放射源

源的活度：⁶⁰Co 最高可达 370 TBq（10 kCi）。

使用 ¹³⁷Cs 源的装置的供应数量是受到严格限制的。

5.3. 血液辐照器

装置类别	1：如不加以严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	长×宽×高为 1 m×1 m×1.5 m
典型的重量范围	1500—3500 kg
应用	医用，血液辐照

见图 16—19



图 16. 典型的血液辐照器（图片：MDS Nordion）。



图 17. 血液辐照器屏蔽腔运输用的外包装（图片：MDS Nordion）。



图 18. 血液辐照器图
(图片：BRIT)。



19. 老式血液辐照器。

使用描述

这些装置用于血液处理，由一个加有屏蔽的小室和一个内腔组成，内腔中可以放置一个容量约为 2 L 的血样袋。血样要通过联锁门或小室进入内腔，以消除操作人员受到辐射照射的可能性。

加有屏蔽的小室要放在临床式小房间内。

这些装置一般都有电控系统，确保对血样照射的时间也就是所给剂量的准确性。

典型的工作环境

这些装置一般在医院中用来处理血液。

放射源全都封在屏蔽室内，如果不拆卸装置，一般不可能将源移走。移动放射源的工作只能在指定的屏蔽设施内，使用专用设备，由经过培训的人员来进行。

预先装好放射源的屏蔽室从制造厂运至用户时，通常要放在专门的运输罐中或外包装内来运输。当放射源不能继续使用时，要将其返回制造厂进行维护和源更换，此时也要使用专门的运输用外包装。

放射源

典型的放射源活度： ^{137}Cs 的活度最高可达 250 TBq (7 kCi)； ^{60}Co 的活度最高可达 25 TBq (0.7 kCi)。

5.4. 多束远距治疗机 (γ 刀)

装置类别	1: 如不加以严格管理, 对人极为危险
典型的尺寸范围	内装放射源的球型屏蔽机头: 直径为 1.8—2 m; 整机: 长×宽×高为 4—5 m×2 m×2.5 m
典型的重量范围	约 20 000 kg
应用	医疗

见图 20, 21



图 20. 典型的 γ 刀 (图片: Elekta)。



图 21. 典型的 γ 刀重装系统 (图片: Elekta)。

使用描述

这些装置一般使用约 200 个排成阵列的 ^{60}Co 源，这些源封装在加有屏蔽的球型装置中。控制单元能将从阵列中选定的源的准直辐射束聚焦在完全限定的治疗区域上。在用于医疗过程时，利用程序使辐射束聚焦交汇区，从而可以杀死肿瘤细胞。这种方法一般用于脑癌和其他脑部疾患的情形。

该装置俗称 γ 刀。

典型的工作环境

这类装置安装在专科医院的放射外科单元内。

单元本身要放在有屏蔽的设施内使用，以防止散射辐射影响到室外的人员，而且，设施一般会严格控制进入。

一旦治疗机安装后，通常要利用一个专门操作放射源的屏蔽小室将源装入加有屏蔽的球型容器。屏蔽小室和装源的容器要分开运输。从治疗机卸下旧源，返回源制造商，进行回收再利用或处置。

近来，安装这类治疗机的数量相对少了一些，原因是这类治疗对专业技能要求很高和价格昂贵。

放射源

典型的放射源活度：约 200 个 ^{60}Co 源，每个源的活度最高可达 1.1 TBq (30 Ci)。

5.5. 小规模样品辐照器

装置类别	1：如不加以严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	长×宽×高为 1.5 m×1.5 m×2 m
典型的重量范围	1000—6000 kg
应用	研究工作，材料辐照

见图 22—24



图 22. 典型的样品辐照器（图片：BRIT）。



图 23. 典型的样品辐照器。



图 24. 供学校和教学单位使用的样品辐照器。

使用描述

这些装置一般使用一个或多个 ^{60}Co 源。

该装置由一个屏蔽室和内部长期放置的放射源组成。要辐照的样品通过一个旋转式屏蔽门或连锁通道放入屏蔽室内，以防止操作人员遭受任何意外照射的可能性。

该屏蔽室要置于临床式小房间内。

现代的装置一般都有电子控制系统，以确保样品照射时间也就是所给照射剂量的准确性。

典型的工作环境

这些装置一般在研究性实验室中使用。不过，在某些国家，小型装置更广泛地供给学校和教学单位使用。

这类装置用于（细胞）组织样品、植物和其他材料样品的辐照。

放射源完全封在屏蔽室内，如果不拆卸装置，一般不可能移动源。只有在专用的屏蔽设施内，使用专门的设备，由经过培训的人员才能从事移源工作。

这类预先装有放射源的装置从制造厂运至用户时，要用专门的外包装。当放射源不能继续使用时，要将其返回制造厂以进行维护和源更换，此时也要使用专门的运输外包装。

放射源

典型的放射源活度：⁶⁰Co，70 TBq（2 kCi）至 900 TBq（25 kCi）。

5.6. 种子辐照器

装置类别	1：如不加以严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	从运输装置卸下后，长×宽×高为 1.5 m×1.5 m×2 m
典型的重量范围	从运输装置卸下后，3000—6000 kg
应用	农业 — 植物材料的辐照

见图 25—27

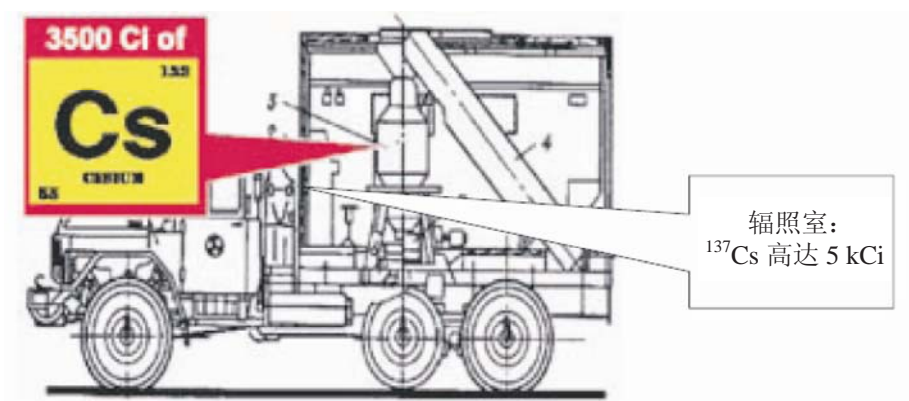


图 25. 放置在卡车上的种子辐照器示意图。



图 26. 原苏联的可移动式 ^{137}Cs 辐照器，内装 3500 Ci ^{137}Cs 源。



图 27. 种子辐照器详图。

使用描述

这些装置一般使用一个或多个 ^{137}Cs 源，有时也用 ^{60}Co 源。

让种子通过装有一个或多个 γ 放射源的屏蔽设备进行照射。

配备有一个简单的“传送”系统，让种子通过辐照器。

典型的工作环境

这些装置大部分在原苏联使用，在上世纪 70 年代后期前，一直用于辐照种子，以提高作物产量和抑制收割的谷物发芽。辐照装置和相关加工设备安装在卡车上。这类装置供应给农业研究实验室使用，运到不同场地进行辐照工作。这类装置由两部分组成，一是安置放射源的屏蔽容器，另一个是能让种子连续通过的进出口。进出口是迷宫式的，以防止辐射通过进出口漏出来。

放射源完全封在屏蔽室内，如果不拆卸装置，一般不可能将源移走。只有在专用的屏蔽设施内，使用专门设备，由经过培训的人员才能从事移源工作。

为了移动方便，这类装置通常安装在卡车上。但是，现在已不再使用这些可移动装置来进行种子辐照。不清楚这类装置最初供应了多少；记录表明，只有较少的此类装置已经正式退役。据认为，可能有很多此类装置已被丢弃，成为无人看管的装置。一些辐照室和相关设备可能已从卡车上拆走。

放射源

典型的新装源的活度：¹³⁷Cs 源最高可达 185 TBq（5 kCi）。

5.7. 放射性同位素热电发生器（RTG）

装置类别	1：如不加以严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	长×宽×高为 1.5 m×1.5 m×1.5 m
典型的重量范围	500—1000 kg
应用	发电

见图 28—33



图 28. 放射性同位素热电发生器。

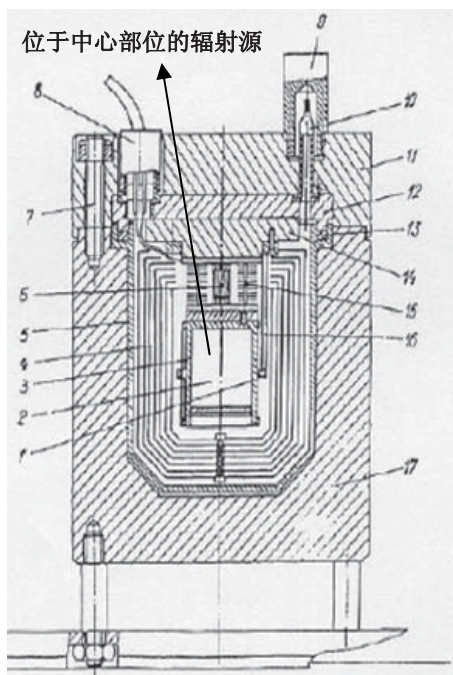


图 29. ^{90}Sr 放射性同位素热电发生器示意图。



图 30. 放射性同位素热电发生器。



图 31. 放射性同位素热电发生器。



图 32. 放射性同位素热电器发生器。



图 33. 以放射性同位素热电发生器为动力的心脏起搏器。

使用描述

这些装置一般使用 ^{238}Pu 或 ^{90}Sr 放射源。

这类装置用于在常规电站无法提供电力的边远地区发电。这类装置的工作是利用吸收放射源的辐射而产生的热能，通过一个热电偶装置来发电。现有三种主要应用：

- (1) **航天旅行：**远行的空间探测器和卫星常常使用放射性同位素热电发生器（一般装有 ^{238}Pu 源），以便为仪器设备提供动力，或防止其结冰。因为空间探测器和相关技术的性质，很少能找到这些资料。
- (2) **心脏起搏器：**上世纪 70 年代前，一直使用基于很小的 ^{238}Pu 源的放射性同位素热电发生器为起搏器长期供电。由于电池技术的改进，还由于对安全和监管的关注，现已放弃使用这些热电发生器。低活度意味着这些装置几乎不会令人担忧。
- (3) **边远地区发电：**放射性同位素热电发生器曾用于照明和航海标志上的无线电信标，大多是在北极地区，此外也用于军事目的的水下监听设备。这类装置一般都装有大型 ^{90}Sr 源（活度最高可达 1.85 PBq，约 50 kCi）。

典型的工作环境

最受关注的装置是用大型 ^{90}Sr 源作动力的放射性同位素热电发生器。其中有很多分布在加拿大和原苏联边远的沿海地区周围。然而现在已不再使用，因为卫星导航技术已使这些同位素热电发生器成为过时的东西。目前有一个庞大的计划，要将这类装置回收和退役，但是有不少装置仍然下落不明。

^{90}Sr 源的放射性同位素热电发生器由两部分组成，外部为带冷却肋片的钢屏蔽体，内部则装有 ^{90}Sr 源。从屏蔽体中取出放射源时，要由经过培训的人员，在特殊屏蔽的设施内进行。发电部分的组件实际上封装在屏蔽体内。

放射性同位素热电发生器通常都与需要用电的器件——如照明和无线

电信标 — 相联结。但是，据信有很多这样的单元可能已被部分拆解，只剩下已与该单元的其他部分分开的屏蔽装置。

有一个实例，发现放射性同位素热电发生器上的屏蔽部件已被部分拆解，放射源已被取走。在离开一段距离的地方重新找到了这个放射源，未加屏蔽。可以认为，该装置是由拣废金属的人拆卸的。

一般认为，这些放射性同位素热电发生器是所有放射源和装置中最令人忧虑的一部分，原因是其数量不明、地处边远和位置不确定，以及所含的放射性物质含量很高。

说明

心脏起搏器用放射性同位素热电发生器，其放射性活度相对较低，而且不大可能被人发觉。空间探索用的放射性同位素热电发生器也不大可能被人找到。

放射源

典型的放射源活度：陆地发电用 ⁹⁰Sr 源为 1.85 PBq (50 kCi)。

起搏器用的 ²³⁸Pu 源为 110 GBq (3 Ci)。

5.8. γ 石油测井塞状源

装置类别	2：如不加以妥善管理，对人很危险
典型的尺寸范围	直径 20—60 mm×长度 100—150 mm
典型的重量范围	500—1000 g
应用	工业，石油开采和生产

见图 34，35



图 34. 典型的 ^{137}Cs 石油测井塞状源（图片：Schlumberger）。



图 35. 带有屏蔽（运输容器）的典型 ^{137}Cs 石油测井源直径 170 mm×长度 210 mm，重量 37 kg（图片：Schlumberger）。

使用描述

这些装置一般使用一个 ^{137}Cs 放射源。石油测井的操作是在油井中进行各种地球物理测量，以评估其用于勘探和生产中的性能和可能性。 γ 源用于通过反散射测量的方法对油井钻孔周围岩层的密度进行测量。

放射源本身通常是由高强度耐腐蚀的金属做成。然后通常将其装入或焊入一个“大管塞”中。这样可起到辐射准直器的作用，而且在井下环境为放射源提供更多的保护。也可使其与相关的仪器连接在一起。

放射源和大管塞的结构都做得很牢固，能经受深井下很高的外部压力、温度和腐蚀性环境。

大管塞依次装入排列成管状、可下降至油井内的仪器中。

用一根结实的缆绳可以将排成阵列的仪器降至油井内，缆绳既要经得住仪器的重量，又可以让信号传输至地面以便记录和评估；或是作为油井钻架单元的一部分，在这种情况下，信号储存在仪器内，待仪器返回地面后再读取。有时利用更先进的遥测系统，在钻探进行过程中同时将读数传至地面。

典型的工作环境

大管塞在石油工业中用得非常广泛。这些大管塞由石油测井公司运送，在公司的运营基地和油井现场都能看到大管塞。不使用时，应将其存放在安全可靠、有围墙的建筑物内。

大管塞存放在有屏蔽的专用贮存库和运输容器内，直至需要使用时方可取出。随后，就在临近让仪器阵列降入油井之前，将大管塞转移到该仪器阵列中。这样，放射源在短暂的无屏蔽情况下进行辐射照射。此时，要在大管塞周围设置一个控制区，以防止人员受到照射。

一般而言，石油测井源和大管塞都得到了很好的控制，几乎没有什么有关无看管源的报道，但是因为它们的流动性，存在着丢失或被盗用的明显机会。

大部分 γ 石油测井源是 ^{137}Cs 源，不过偶而也用 ^{60}Co 。大管塞的设计有多种多样。

放射源

典型的放射源活度：新 ^{137}Cs 源为 37 GBq (1 Ci) 至 111 GBq (3 Ci)。

5.9. 中子石油测井

装置类别

2: 如不加以妥善管理，对人很危险

典型的尺寸范围	直径 20—60 mm×长度 100—200 mm
典型的重量范围	400—1000 g
应用	工业，石油勘探和生产

见图 36—42



图 36. 典型的 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中子石油测井源。



图 37. 典型的 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中子石油探测源，已在常规使用中损坏。



图 38. 典型的 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中子石油测井源。



图 39. 典型的 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中子石油测井源。



图 40. 典型的 $^{238}\text{Pu}/\text{Be}$ 中子石油测井源。



图 41. 典型的中子石油测井源的运输和贮存容器。



图 42. 典型的中子石油测井源的运输和贮存容器。

使用描述

这些装置一般使用一个 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 中子源。也制造了使用 $^{238}\text{Pu}/\text{Be}$ 源或 ^{252}Cf 瞬发裂变材料的装置，数量很少，现在大部分已废弃。

中子石油测井的操作是这样的，在油井中进行各种地球物理测量，以评估其性能及其在勘探和生产中的可行性。中子源用于通过反散射测量的方法来测量油井钻孔周围岩层中含氢量的水平。这种测量结合其他方法，能指示出是否有油气碳氢化合物的存在。

放射源本身通常是由高强度抗腐蚀的金属做成。然后通常将其装入或焊入一个“大管塞”中。这在井下环境为放射源增加了保护作用。它也可以连接到相关仪器上。

放射源和大管塞的结构非常坚固，能承受深油井下的外部高压、温度和腐蚀性环境。

大管塞按顺序装入可下降入油井内、成筒状排列的仪器阵列中。

可以用结实的缆绳将仪器阵列降入油井，缆绳既能经得住仪器的重量，又能将信号传输至地面以便记录和评估；或作为油井钻架单元的一部分，在这种情况下，信号先储存在仪器中，待仪器返回地面后再读取。有时利用更先进的遥测技术，在钻探的同时将读数传输至地面。

典型的工作环境

大管塞在石油工业中得到广泛应用。这些大管塞由石油测井公司运送，在公司的运营基地和油井现场都能看到大管塞。他们存放在安全可靠、有围墙的建筑物内。

大管塞要存放在有屏蔽的专用贮存库或运输容器内，直至需要使用时方可取出。随后，就在临近让仪器阵列降至油井之前，将大管塞移入该仪器阵列，这样，放射源在短暂的无屏蔽情况下进行辐射照射。此时，要在在大管塞周围设置一个控制区，以防止人员受到照射。

一般而言，石油测井用源和大管塞都得到了很好的控制，有关无看管源的报道几乎没有，但是因其流动性，存在着丢失和盗用的明显机会。

尽管中子石油测井的应用与 γ 测井的应用相同，但 Am/Be 源大管塞大多已被并不是密封源的中子发生器所替代。因此，在实际工作中 $^{241}\text{Am/Be}$ 中子源比 ^{137}Cs 源少很多。

中子大管塞的设计有各种各样。在某些情况下，源和大管塞实际上是同一个装置，也就是说密封源本身就是一个大管塞，并用高强度和耐腐蚀的材料制成，与所需部件一起，放入仪器单元中。

放射源

典型的放射源活度： $^{241}\text{Am/Be}$ 为 74 GBq (2 Ci) 至 740 GBq (20 Ci)。偶尔也用 $^{238}\text{Pu/Be}$ 或 ^{252}Cf 源。

5.10. γ 放射照相投射器

装置类别	2: 如不加以妥善管理, 对人很危险
典型的尺寸范围	^{192}Ir , ^{75}Se 装置: 长 \times 宽 \times 高为 350 mm \times 200 mm \times 240 mm ^{60}Co 装置: 长 \times 宽 \times 高最大为: 900 mm \times 900 mm \times 900 mm
典型的重量范围	^{192}Ir , ^{75}Se 装置: 8—35 kg; ^{60}Co 装置: 100—200 kg
应用	可移动式工业放射照相, 可在工厂和建筑工地使用

见图 43—56



图 43. 典型的现代可携式 γ 放射照相投射器 (图片: QSA-GLOBAL)。



图 44. 典型的现代便携式 γ 放射照相投射器（图片：MDS Nordion）。



图 45. 典型的现代轻便型 γ 放射照相投射器(^{75}Se 源) (图片：MDS Nordion)。



图 46. 典型的现代可携式 γ 放射照相投射器（图片：BRIT）。



图 47. 典型的现代可携式 γ 放射照相投射器（图片：QSA-GLOBAL）。



图 48. 典型的已废弃 ^{60}Co γ 放射照相投射器（图片：NE-Seibeisdorf）。



图 49. 典型的现代可携式 γ 放射照相投射器（图片：NE-Seibersdorf）。



图 50. 典型的换源用容器（图片：QSA-GLOBAL）。

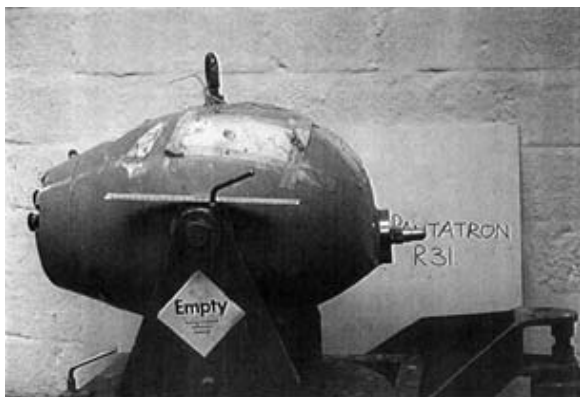


图 51. 已废弃 γ 放射照相投射器及控制源照射缆绳实例。



图 52. 已废弃 γ 放射照相投射器及手控源照射实例（图片：NE-Seiber sdorf）。



图 53. 典型现代半可携式 ^{60}Co γ 放射照相装置（图片：MDS Nordion）。



图 54. 典型现代半可携式 ^{60}Co γ 放射照相装置（图片：QSA-GLOBAL）。

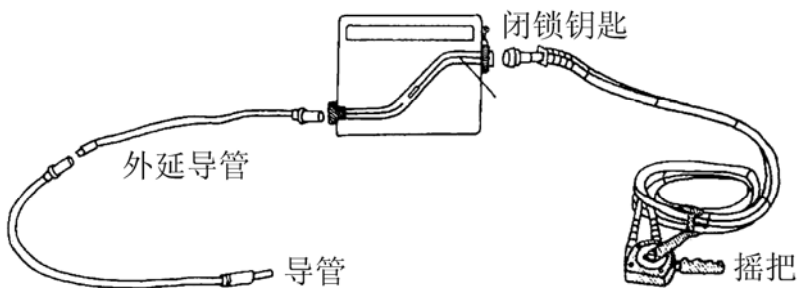


图 55. 放射照相导向器。

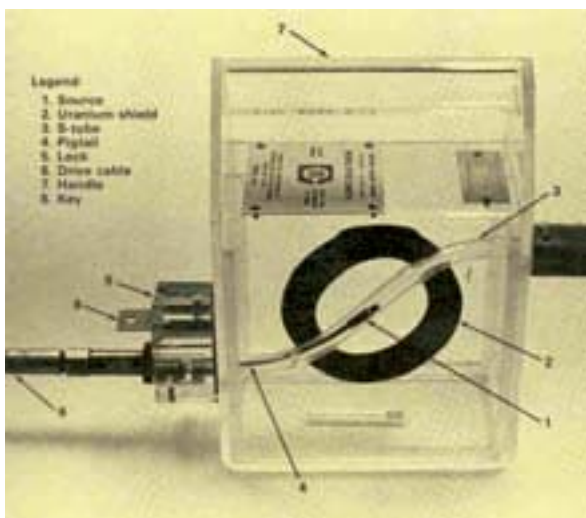


图 56. 放射照相导向器（透视照片）。

使用描述

这些装置大多使用 ^{192}Ir γ 源，但也使用 ^{75}Se 、 ^{169}Yb 和 ^{60}Co 源，偶尔也使用 ^{137}Cs 源。这些装置用于工程构件的放射照相。装置内有一个与柔性钢索相连的放射源，它能在需要放射照相的物件附近进行照射。放射照相的胶片贴在物件的背后，贯穿的 γ 射线使胶片曝光。在胶片影像中可呈现被放射照相物件的密度的变化。

这些装置通常也称为放射照相摄像机、放射照相投射器，或简称投射器。

这些装置属于有较大潜在危险的一类，因为这些装置的有效使用取决于将放射源从容器屏蔽体中移出，并在开放区域进行照射。

所有放射照相设备的使用人员都要接受严格培训，并在设定的受控区域内接受监管，以便在放射源处在照射位置时，既能防止公众靠近，也可保护使用人员自身。

放射照相投射器主要分为两类：一类是供一般性使用的完全可携式的装置，大多用于对金属结构焊接处的放射照相；另一类是半可携式的装置，通常使用能量高的 ^{60}Co 放射源，因而要有更多的屏蔽，使其增加了自重，

可携性降低。但这两类系统的工作原理是相同的。

现代装置的屏蔽部分通常由贫铀、铅或钨，或贫铀和钨的混合物组成，屏蔽体内的放射源连在一根柔性缆绳上，柔性缆绳放在嵌入屏蔽体内的 S 形管子中。这根柔性缆绳即是俗称的“猪尾巴”。

S 形管的两端都有一个接头，不用时它是锁着的，以防止接触到放射源。

当要使用放射源时，通过在 S 形管一端的接头将长的柔性控制缆绳连接到猪尾巴上，在柔性缆绳的另一端推动放射源，使源沿着中空的柔性管状投射护套脱离屏蔽体进入照射位置，以进行所需的放射照相照射。控制缆绳通常由人工操作。

典型的工作环境

在许多场合，从土木工程工地到工厂，都可使用放射照相投射器，它们能普遍应用的原因是其重量较轻，可移动性好，还因为它们不像用电的 X 射线装置，不需要供电。

因此，它们可定期由人工用货车和轿车从一个场地运到另一个场地。

大部分放射照相用放射源的半衰期都较短，当源变弱时，可由业主更换新源，不必将整个投射器送到专门的设施去换源。但是，装置通常则要向制造商或由经其批准的代理商进行定期维护。对“可携式”装置而言，可用专门的“换源器”型的运输容器将新源送给用户，以方便源的更换，同时将用过的源返回制造商以便回收利用或进行处置。对活度较高的 ^{60}Co 装置，通常是将整个装置送回制造商，以便于对源进行更换。虽然“换源器”只是一个运输容器，但是为了清晰起见，本节仍做了说明。

评议

在规定利用远距控制缆绳进行源照射的操作原则之前，曾使用过在屏蔽准直器中使放射源定位的系统，将人工可移动的闸门打开或将其移走，让源进行照射。这样的装置已不再使用，但本节仍予以说明。

放射源

典型放射源的最高活度： ^{192}Ir , 5.5 TBq (150 Ci);
 ^{75}Se , 2.9 TBq (80 Ci);
 ^{169}Yb , 740 GBq (20 Ci);
 ^{60}Co , 370 GBq (10 Ci);
 ^{137}Cs , 370 GBq (10 Ci)。

5.11. γ 放射照相用管道爬行器

装置类别	2: 如不加以妥善管理, 对人很危险
典型的尺寸范围	长×宽×高为 800—1500 mm×400 mm×400 mm
典型的重量范围	50—100 kg
应用	对管道进行可移动的工业放射照相

见图 57—59



图 57. 典型的 γ 放射照相管道爬行器 (图片: MDS Nordion)。



图 58. 运输容器中的管道爬行器源头（图片：NDS Nordion）。



图 59. 正在将管道爬行器装入开口的管道（图片：MDS Nordion）。

使用描述

这些装置大多使用一个 ^{192}Ir γ 放射源，但也可使用 ^{75}Se 源。这类装置专用于长密封管道的焊接处的放射照相，这种场合放射源必须在相对于管道焊接处比较精确的位置上进行照射。管道爬行器靠电池供电，沿管道自己推进。利用远距控制，将其停在管道环形焊缝的位置，源自动移出屏蔽体以进行辐射照射。放射照相用的胶片卷在焊接处管道的外边，管道内照射源的 γ 射线穿透管道使胶片曝光。胶片上的影像显示出接受放射照相的物件的密度变化。

所有放射照相设备的使用人员都要经过严格培训，并在设定的控制区域接受监管，以防止公众靠近，并能在放射源处于照射位置时，保护使用人员自身。

典型的工作环境

在大多数要求保障新铺设管道的质量或监测旧管道的老化情况的应用中都使用管道爬行器。其中包括工艺管道以及石油和燃气配送等工业管道。

因此，这类装置要定期由工作人员用货车或轿车向各个场地运送。

放射源安放在要用单独容器运输的屏蔽头的内部，并在临使用前就在现场将源连接到管道爬行器上。

因为换源操作比较复杂，而且需要专门的屏蔽操作设备，所以在大部分情况下，只能由管道爬行器供应商或制造商对源进行更换。

放射源

典型放射源的最高活度：¹⁹²Ir, 5.5 TBq (150 Ci); ⁷⁵Se, 2.9 TBq (80 Ci)。

5.12. 高活度量具

装置类别:	3: 如不加以妥善管理，对人有危险
典型的尺寸范围	直径 200—400 mm×长度 300—700 mm
典型的重量范围	20—400 kg
应用	工业工艺控制

见图 60—69



图 60. ^{137}Cs 量具用源的舱室（图片：Endress+Hauser）。



图 61. ^{60}Co 量具用源的舱室（图片：Endress+Hauser）。



图 62. 各种已退役的 γ 量具用源的容器。



图 63. γ 量具用源的容器。



图 64. 安装在管剖面的 γ 密度计。



图 65. 安装在管剖面的小型 γ 密度传送器（图片：Endress+Hauser）。



图 66. 就位的管道密度计。



图 67. 典型 γ 量具用源容器。



图 68. 典型线源容器（图片：NRC）。



图 69. 典型线源容器（图片：NRC）。

使用描述

这些装置大部分使用 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 源。

密度计和厚度计测量的是辐射束穿过材料的透射水平或从材料反射的反散射的水平。例如，在厚度测量应用中， γ 辐射透过从轧钢机出来的密度均匀的钢板的透射量与钢板厚度是成比例的。因而可用这一测量结果来控制工艺。

同样，在运送混合浆液的管道中，反散射辐射水平与浆液密度是成比例的，因而可测定浆液成分。

根据待测材料的厚度或密度的不同，所需的放射源的辐射能量也应有所不同，因此，由源带来的相对危险性也不同。如本节所介绍，较厚和密度较大的材料需要的辐射能量相对要高。较薄或较轻的材料需要的辐射的能量则较低，这一点将在第 5.13 节中加以说明。

在这些系统中，装有放射源的部件称为“源容器”，“源舱室”或准直器。就放射源和探测器放在同一个舱室的系统而言，这个部件称为“ γ 量具”或“测量头”。此外，也常常使用“源舱室”一词。但它可能有双重含义，或指存放源的整个装置，或指装置内部连接放射源的一个组件。

这类装置通常由两部分组成：一个是沉重的填满铅的钢外壳，在其中心位置装有一个放射源；还有一个是简单的快门式装置，打开快门即可露出一个能透射出辐射束的准直孔。

仅在少量的料位计应用中，可以使用阵列源或单个长形源。用于存放这类源的典型装置如图 60 和 61 所示。

快门通常配有门锁，以防止擅自接触放射源，并且通常还装有一个当测量系统不工作时能自动关闭装置的电动或气动机构。

典型的工作环境

在许多加工行业都普遍使用密度计、厚度计和料位计，如采矿工艺、石油化工行业和多种制造加工操作。这类装置固定安装在工艺槽罐、管道、料斗、传送带和轧制设备上。

高能 γ 量具用于冶金和采矿工艺，以及化工工艺的反应器。低能 γ 量具用于塑料板材、纸张和其他轻薄材料的厚度和密度测量。低能量具在第 5.13 节中介绍。

在大部分情况下，放射源是放在装置内运至现场的。这种装置也允许用作运输容器。在某些情况下，需要使用通常带有适当标志的木制工业包装箱的外包装来运输。

当放射源不能再使用时，通常是在现场更换整个装置，这时要在专用设施内将放射源从装置上卸下来；如已介绍过的，对这类装置来说，比较普遍的作法是与里面的放射源一起运送。

放射源

典型的放射源活度： ^{137}Cs ，370 MBq（10 mCi）至 370 GBq（10 Ci）；
 ^{60}Co ，37 MBq（1 mCi）至 37 GBq（1 Ci）。

5.13. 低能 γ 密度计、厚度计和料位计

装置类别	3：如不加以妥善管理，对人有危险
典型的尺寸范围	直径 200—400 mm×长度 300—700 mm
典型的重量范围	20—50 kg
应用	工业工艺控制

见图 70，71



图 70. 安装在管段上的典型的 ^{241}Am 透射量具。



图 71. 安装在灌装生产线上的典型的 ^{241}Am 灌装料位计（图片：NRC）。

使用描述

密度计和厚度计用于测量辐射束透过材料的透射水平或反散射的水平。例如， γ 辐射穿过从轧机出来的已知密度的板材的透射量与板材的厚度是成比例的。因而可用这一测量结果来控制工艺。

这类测量也可用于控制容器灌装操作，当灌装的水平超过辐射束时，穿过罐子或厚纸盒的辐射束会被减弱。

低能 γ 厚度计和密度计用于测量塑料板、纸张和带有液体的小空心管。高能量具一般用于金属和矿冶加工工艺。这些在第 5.12 节中已有说明。

这类带有放射源的装置的具体特性通常依装置的应用而定。

在这类系统中，安装有放射源的装置称为源容器、源舱室或准直器。就这一类放射源和探测器放在同一个舱室内的系统而言，这种装置称为“ γ 量具”或“测量头”。另外，也常用“源室”一词。但是，它可能有两种含义，或指装有源的整个装置，或指装置内部连接放射源的一个组件。

这类装置通常由两部分组成：一个是重型钢外壳，用铅或钨作屏蔽体，放射源装在屏蔽体的中央，另一个就是简单的快门式装置，打开快门即可露出一个能透出辐射束的准直孔。

快门通常配有一个门锁，以防止擅自接触放射源，并且，通常还配有一个当测量系统不工作时能自动关闭装置的电动机构。

典型的工作环境

在很多轧制工艺行业，诸如塑料板、金属箔和纸张加工中普遍使用低能密度计和厚度计。这类装置亦可用来测量管道中流体的密度。这类装置固定安装在轧机和管线上。

在很多情况下，源室和辐射测量装置放在同一个组件中，再将其安装在需要进行测量的板材轧机上。

在大多数情况下，放射源是放在也允许用作运输容器的装置内运到现

场的。不然的话，要单独运输放射源，再由受过培训的专业人员将源装入量具。

因为 ^{241}Am 的半衰期很长，极少需要在装置的寿期内更换放射源。

放射源

典型的放射源活度： ^{241}Am ，370 MBq（10 mCi）至 111 GBq（3 Ci）。

5.14. β 密度计和厚度计

装置类别	4：对人不大可能有危险
典型的尺寸范围	长×宽×高为 100—300 mm×100—300 mm×100—300 mm
典型的重量范围	10—20 kg
应用	工业工艺控制

见图 72—74



图 72. 安装在薄片加工轧机上的 β 量具（图片：Betarem）。



图 73. β 量具源室的详图（图片：Betarem）。



图 74. 安装在薄片加工轧机上的 β 量具（图片：NRC）。

使用描述

这些装置大多使用 ^{90}Sr 、 ^{85}Kr 源，偶尔使用 ^{147}Pm 源。

密度计和厚度计测量辐射束穿过材料的透射量或反散射水平。例如， β 辐射穿过从造纸机出来的已知密度纸材的透射量与纸张的厚度是成比例的。所以，可用这一测量结果来控制工艺。

放射源的选取要依需要测量的材料的厚度而定，以便使辐射衰减特性达到最佳。 ^{90}Sr 用于厚一些、密度大一些的材料，而 ^{147}Pm 用于最薄的、密度小一些的材料。

测量过程与 γ 厚度和密度测量相同，但比 γ 量具所测量的物件要薄一些、密度小一些。

在这些系统中，装有放射源的装置称为准直器、屏蔽室或源室。

这类装置通常由两部分组成：一个是厚重的小型钢外壳，放射源装在中心位置，另一个是简单的快门式装置，打开快门会露出一个可以透过 β 辐射束的准直孔。

快门通常配有门锁，以防止擅自接触放射源，通常还配有一个当测量系统不工作时可自动关闭装置的电动或气动机构。

典型的工作环境

在那些必须对薄片材料进行测量的工艺诸如纸张、纤维制品或胶片加工中，或在低密度测量如制烟业中，普遍使用 β 密度计和厚度计。

有时将放射源放在也可以允许用作运输容器的装置内运送至现场。

当放射源不能再使用时，通常可由受过培训的工作人员在现场进行更换，因为其辐射水平相对较低。

放射源

典型放射源的最高活度：

- ⁹⁰Sr, 370 MBq (10 mCi) 至 3.7 GBq (100 mCi)；
- ⁸⁵Kr, 370 MBq (10 mCi) 至 18.5 GBq (500 mCi)；
- ¹⁴⁷Pm, 3.7 GBq (100 mCi) 至 18.5 GBq (500 mCi)。

5.15. 散料湿度计

装置类别	3：如不加以妥善管理，对人有危险
典型的尺寸范围	长×宽×高为 300—1000 mm×300—500 mm×300—500 mm
典型的重量范围	10—1000 kg
应用	工业工艺控制
见图 75，76	

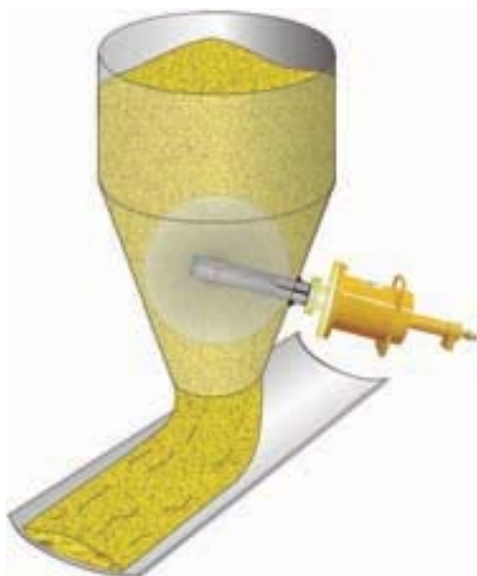


图 75. 安装在筒仓中的散料湿度测量探头示意图筒仓中用红色突出放射源（图片：Berthold Technologies）。



图 76. 散料湿度测量装置（图片：Berthold Technologies）。

使用描述

湿度计通过测量中子源和探测器之间穿过的中子辐射数量，来测量经过传送系统、浆液管道或在料斗或筒仓中的材料的含水量。由于有轻的原子（在本例中，指水中的氢原子）存在，中子辐射会被吸收或慢化，因此，可以根据对中子穿过已知材料混合物的透射量或反散射的测量，推算出该混合物中的含水量。

装有中子源的装置通常由重型钢制外壳和中子屏蔽体组成，中子源装在中心位置，屏蔽体可以是聚乙烯或某些其他类型含氢量高的材料。该装置还有一个简单的快门式器件，将快门打开即可露出一个可以透射出辐射束的准直孔。在大部分情况下，中子探测器与中子源装在同一个装置内。

在料斗和筒仓的情况下，放射源和探测器通常安放在料斗内，料斗内的散料能对放射源进行有效的屏蔽。

快门通常配备有门锁，以防止擅自接触放射源，通常还配有一个当测量系统不工作时能自动关闭装置的电动机构。

典型的工作环境

在很多必须对散料中含水量进行连续测量的加工行业中，例如碎石加工、木浆加工和发电厂的水煤浆加工，普遍使用湿度计。

在大部分情况下，放射源放在也允许用作运输容器的装置内运至现场。在某些情况下，也要使用外包装来进行运输。

由于放射源的半衰期长，极少出现必须更换装置内中子源的情况，所以一般要由制造商在专门设施内将源装入装置，而且源一直留在装置内，直至装置需要更换或退役。这种源放在装置内运输。

放射源

典型的放射源活度： $^{241}\text{Am/Be}$ ，1.8 GBq（50 mCi）至 18.5 GBq（500 mCi）。

5.16. 土壤湿度计/密度计

装置类别	4: 对人不大可能有危险
典型的尺寸范围	装置: 长×宽×高为 200 mm×300 mm×1000 mm (在操作部位有手柄) 携带箱: 长×宽×高为 800 mm×400 mm×300 mm
典型的重量范围	装置: 30 kg 装置放在携带箱内, 重量为 40 kg
应用	土木工程, 道路建造, 农业

见图 77, 78



图 77. 典型的土壤湿度计和密度计及携带箱 (图片: Troxler Labs)。



图 78. 典型的土壤湿度计和密度计及携带箱 (图片: CPN International)。

使用描述

这些装置同时使用两种辐射源：一种为高能 ^{137}Cs γ 源，约为 40 MBq（1 mCi）。另一种为 $^{241}\text{Am/Be}$ 中子源，约为 2 GBq（55 mCi）。

这类装置是可携带的，一般用来测量土壤和建筑材料的密度和水含量。密度是通过测量 γ 源的反散射辐射量来测定的，水含量则是根据 γ 测量和反散射的中子辐射量的测量结果推导而得。

放射源装在装置内的屏蔽室中，屏蔽室通常用铅和聚乙烯做成。使用时将快门打开，让经过准直的辐射束正对着地面进行照射。装置不用时，要将快门锁上。

典型的工作环境

在很多国家的建筑行业 and 农业加工业中，普遍使用这类装置。这类装置是可携式的，通常用有防护的携带箱来运送。

放射源通常用某种防拆卸螺钉固定在源屏蔽室内，或采用永久性固定，因此在装置的整个寿命期内通常不更换放射源。

由于这类装置是在建筑工地和农田中使用这种方式，发生丢失或放错位置的概率相对较高。但是危害水平很低，原因是这种源的活度低，而且在装置内有较好的防护。

放射源

典型放射源的最高活度： ^{137}Cs ，370 MBq（10 mCi）；
 $^{241}\text{Am/Be}$ ，1.9 GBq（50 mCi）。

5.17. X 射线荧光分析仪

装置类别	5：对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	手持式：长×宽×高为 200 mm×100 mm×100 mm 实验室和工艺控制用：长×宽×高为 500 mm×500 mm×1500 mm

典型的重量范围	手持式：1—2 kg 实验室和工艺控制用：20—100 kg
应用	工业分析

见图 79—82



图 79. 典型的手持式 X 射线分析装置（图片：Spectro）。



图 80. 典型的手持式 X 射线分析装置（图片：Thermo）。



图 81. 台式 X 射线荧光分析仪。



图 82. 在线 X 射线荧光分析仪。

使用描述

这些装置在各种行业中普遍用于材料分析。当一种元素受到已知能量的辐射照射时，该元素会吸收这种辐射并发射出有特定能谱的次级 X 射线。分析该能谱即可精确测定该材料的组成。

测定不同的元素要用不同的放射性同位素，因为要测定具有较高原子序数的材料，初级辐射的能量必须大一些。

放射源安装在装置的屏蔽室中。在使用时，打开快门，让经过准直的辐射束正对着要分析的材料进行照射。在装置不使用时，要锁住快门。

探测器通常与放射源装在同一个单元内，带有分析次级 X 射线谱的相关电子学部件，从而鉴别正在测定的目标材料。

典型的工作环境

根据应用的需要，有不同类型的装置。这类装置的主要应用如下：

- 用于合金分析，以检验原料、废金属分类和检验组分；
- 在采矿中，分析从矿井挖掘的材料以及来自钻井操作的岩心、碎片和泥浆；
- 分析电镀液；
- 普通实验室的化学分析；
- 测定陈旧涂料中铅的含量，以确定在去除陈旧涂料之前可能需要的人员防护等级。

这类装置中有很多是完全可携式的，可用手持，例如在涂料和废金属分析中使用的；而另有一些装置，可能需要固定在管道或传送带上，而系统安装在分析实验室中。

可携式的装置也有携带箱，以便在运送和贮存中起到保护作用。

放射源通常要用某种防拆卸螺钉固定在源屏蔽室中，或采用永久性固定。对可携式或手持式装置而言，放射源通常无需由用户来更换，当需要换源时，可将装置返回制造商，以进行维护和放射源更换。

可携式或手持式装置由于其使用方式，发生丢失或放错位置的可能性较大。但是危险性很低，因为放射源的活度低，而且在装置内得到很好保护。

永久性安装的或在台式装置中的放射源在变得不能再用时，可由受过培训的维护工程师加以更换。

放射源

典型放射源的最高活度：
 ^{241}Am , 1.85 GBq (50 mCi);
 ^{244}Cm , 3.7 GBq (100 mCi);
 ^{109}Cd , 1.85 GBq (50 mCi);
 ^{55}Fe , 740 MBq (20 mCi)。

5.18. 遥控后装近距治疗机

装置类别	2: 如不加以严格管理，对人很危险
典型的尺寸范围	装置：长×宽×高为 300—600 mm×300—600 mm ×800—1500 mm
典型的重量范围	50—250 kg
应用	医疗

见图 83—88



图 83. 现代 ^{192}Ir 近距遥控后装治疗机（图片：Nucletron）。



图 84. 现代 ^{192}Ir 近距遥控后装治疗机 (图片: Nucletron)。

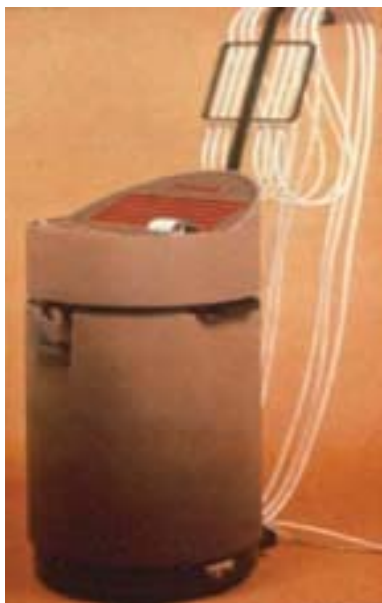


图 85. ^{137}Cs 近距遥控后装治疗机 (连接有运送放射源的导管)。



图 86. ^{192}Ir 遥控后装机换源容器 (图片: Nucletron)。



图 87. 现代 ^{137}Cs 近距遥控后装治疗机 (图片: Seedos/Bebig)。



图 88. ^{137}Cs 放射源贮存和运输用金属罐（图片：Seedos/Bebig）。

使用描述

这些装置一般使用多个 ^{137}Cs 、 ^{192}Ir 或 ^{60}Co 放射源。这些放射源都很小（小至直径约为 1 mm）。这类装置用于癌症治疗，其方法是让放射源自动地从容器的屏蔽室内传送到事先已定位在肿瘤部位的导管内。这样，可让肿瘤病专家事先在没有放射源的情况下将导管准确定位在肿瘤部位。然后，通过遥控可直接给肿瘤部位施用辐射剂量，从而使肿瘤受到的剂量最大化，而患者健康组织受到的剂量达到最小，医务人员则不会受到剂量。全世界很多医院的肿瘤治疗科室都安装有这类装置。

放射源本身贮存在近距治疗机的屏蔽罐中。导管位于肿瘤部位，并没有装入放射源，而且利用放射照相可以确认正确定位。

在导管定位后，将其与近距治疗机相连，该机通过气动方法将正确数量的放射源送至治疗部位。治疗周期结束时，将放射源收回到治疗机的贮存罐中。

典型的工作环境

世界各地医院的肿瘤治疗科室普遍使用这类装置。这类装置本身要放在有屏蔽的设施内使用，以防止对医务人员照射，而且这类设施通常会严

格控制进入。装置安装在轮子上，并可存放在限制进入的区域，仅在使用时才将其引入治疗区。

不能再使用的放射源要由受过培训的维护工程师定期加以更换。用过的放射源要卸下放入专用的可携式罐中，这种罐也可用来运送需要装入治疗机和从治疗机取出的新放射源。另一个方法是，可将整个放射源罐和里边的放射源一起从治疗机上移走，并将其作为运输容器使用。

在制造商厂址和医院的治疗机之间，可以利用这种罐来运输放射源。

一般情况下，放射源很小，直径小于 5 mm，有可能未标三叶形符号或其他识别标记。

放射源

典型的放射源活度：

¹⁹²Ir，最多可用 20 个源，每个活度高达 500 GBq（14 Ci）；

¹³⁷Cs，最多可用 40 个源，每个活度高达 1.5 GBq（40 mCi）；

⁶⁰Co，最多可用 40 个源，每个活度高达：1.5 GBq（40 mCi）。

5.19. 静电消除器

装置类别	4：对人不大可能有危险
典型的尺寸范围	棒式：长×宽×高最大可为 2000 mm×30 mm×10 mm 枪式：直径 30 mm，长度 80 mm
典型的重量范围	棒式：最重可达 2 kg 枪式：最重可达 500 g
应用	加工行业，纸张和塑料板轧制，喷漆工厂，电子器件制造

见图 89—91



图 89. 典型的静电消除棒（图片：Oak Ridge Associated Universities）。



图 90. 典型的静电消除气枪（图片：Oak Ridge Associated Universities）。

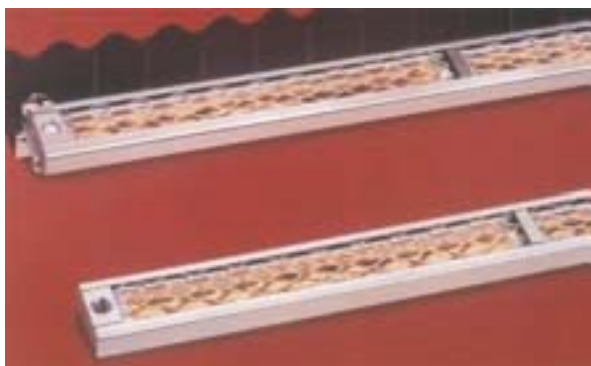


图 91. 静电消除棒（图片：NRC）。

使用描述

这些类型的装置使用了这样的源，即先将结合了 ^{210}Po 的贵金属碾压成薄片，再用一薄层纯贵金属密封已经进入该薄片的 ^{210}Po 混合物。

这类装置主要有两种类型：棒式的和枪式的。棒式装置发射的 α 粒子“云”可达到距装置表面大约 8 cm (2 in) 的地方，并使周围的气体（空气）电离，让材料周围的所有静电荷慢慢放电而安全地传导到地面。枪式装置用在气动空气管路上，使经过的空气电离。产生的空气流可以用来吹走物体上的灰尘，并消除物体上吸引灰尘的静电。

就棒式装置而言，薄片源装在有护栅的金属壳内，除了能对薄片起保护作用外，还能让电离的空气自由流动；在枪式装置中，薄片源被封在成为空气管路和枪托组成部分的管状金属壳内。

典型的工作环境

棒式装置在各种纸张、织物、胶片等轻薄材料生产工艺中用得非常普遍，在这种场合，静电积累是个问题，会引起火灾。枪式装置曾用于各种洁净室的应用中，例如电子器件制造和高质量涂料车间。

过去 10 年里，上述静电消除器的优势已经明显下降，原因是电动式的静电消除器已得到很大改进。

棒式装置通常横跨安装在生产设备上，靠近会积累静电的轻薄材料出口处。枪式装置用于洁净室和涂料车间，不用时应将其锁藏起来。

^{210}Po 的半衰期相对较短（20 周），因此通常要按照与原供应商签订的服务合同，每年更换一次装置。

为了运输这种装置，可用通常的工业货包，例如用硬纸板或硬塑板包装。

放射源

棒式静电消除器： ^{210}Po ，新源活度高达 2 GBq (55 mCi)；

枪式静电消除器： ^{210}Po ，新源活度高达 370 MBq (10 mCi)。

5.20. 放射性避雷针

装置类别	5：对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	直径 100—300 mm×长度 500—1000 mm
典型的重量范围	2—10 kg
应用	建筑物上的避雷针

见图 92，93



图 92. 放射性避雷器实例。



图 93. 放射性避雷器实例。

使用描述

使用小放射源，以便连接到避雷针上。人们曾经认为，放射源将能使避雷针周围的空气电离，从而会增加避雷针的效果。已经报道过使用了多种类型的放射源，其中包括 ²²⁶Ra 和 ²⁴¹Am α 源，以及 ⁶⁹Eu 和 ⁶⁰Co γ 源。

在上世纪 70 年代曾有人指出放射性避雷针没有效果，迄今大部分已退役。

典型的使用环境

放射性避雷针在世界各地曾经主要用于对那些存放着有害物质、受到保护的建筑物避雷。在一些国家的很多公共建筑物上，如教堂，也曾安装过这类装置。

自 1970 年以来，大部分国家实施了一项不再使用放射性避雷针的计划。

放射源

²⁴¹Am 源，活度高达 1.1 GBq (30 mCi)；

²²⁶Ra 源，活度高达 1.1 GBq (30 mCi)。

5.21. 自发光标志

装置类别	5：对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	长×宽×高最大可为 600 mm×200 mm×100 mm
典型的重量范围	1—10 kg
应用	在公共建筑物中用作自发光出口标志

见图片 94，95



图 94. 自发光标志实例。



图 95. 自发光标志的结构。

使用描述

自发光标志使用了一种发射 β 的 ^3H （氚）气体混合物，这种气体混合物被密封在内部涂有磷光体的玻璃管中。这种磷光体在与 β 粒子相互作用时可以发出可见光。

这种气体密封在玻璃管中，任何时候都能看到其发光。不需要电源，因而成为在万一发生电源故障的情况下，建筑物内可能需要的理想的应急标志。

辐射不会穿出玻璃管，万一破损，氚气在良好的通风区域会消散掉。

典型的使用环境

这类装置在公共建筑物内和飞机上用得相当广泛。

放射源

^3H ，最高活度为 740 GBq（20 Ci）。

5.22. 烟雾探测器

装置类别	5：对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	直径 100—150 mm×高度 15—30 mm
典型的重量范围	100—300 g
应用	居家和工业用烟雾探测

见图 96—98



图 96. 典型的烟雾探测器（背面）。



图 97. 典型的烟雾探测器（正面）。



图 98. 典型的民用烟雾探测器，含放射性部件的电离室（图片：QSA-Global）。

使用描述

放射性烟雾探测器含有一个能使电离室内的空气电离的小型 ^{241}Am α 源。电离室中的两极保持着恒定的电位差，被电离的空气能使恒定的电流从两个电极间流过。如果有烟雾进入电离室，辐射被烟雾吸收，空气电离即会减少。这就反过来促使两个电极间的电流减少，从而引起报警。

典型的工作环境

这些装置普遍用于各地的住宅、办公室和工厂。

供应烟雾探测器时，其内部装有放射源。在此装置的整个寿期内，放射源一直放在烟雾探测器内。

当更换烟雾探测器时，因放射源的活度很低，以致可以利用生活废物搜集系统对烟雾探测器装置进行处理，这取决于有关规定。

放射源

^{241}Am ，最高活度为 37 kBq (1 μCi)；
旧式的源有 ^{226}Ra 和 ^{239}Pu ，最高活度达 2.5 MBq (70 μCi)。

6. 放射源的实例

6.1. ^{60}Co 远距治疗用源

放射源类别	1: 如不加以严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	圆柱形：直径 20 mm，长度 30 mm
典型的新源活度	^{60}Co ，最高可达 550 TBq (15 kCi)
应用	医疗

见图 99—101



图 99. 钨容器内的 ^{60}Co 源远距治疗用 (图片: Oak Ridge Associated Universities)。



图 100. γ 刀源容器 (图片: Elekta)。



图 101. 各种 ^{60}Co 远距治疗用源及其装入远距治疗机头时所用的相关配件（图片：REVISS Services (UK) Ltd）。

使用描述

这些放射源几乎无例外地用于医院的医学远距治疗和 γ 刀。这类放射源也在某些放射性计量实验室用于标定测量，而且通常永久性放置在与远距治疗机头相似的部件内。

这些放射源能量高，一般活度也高，因此可能是很危险的。即使受到这种源的短时间照射，也能产生致命性的辐射剂量。

这些放射源只能由经过培训、对这类放射源及其外围装置有经验的专业人员进行操作。需要用专门的屏蔽设备。

这些放射源用双层不锈钢壳密封，内装有已在核反应堆中照射成为 ^{60}Co 放射性同位素的钴小球。

这些放射源按照两三种标准尺寸来制造，而且，可以安装在远距治疗机头内部的钨隔架中。

6.2. ^{60}Co γ 消毒用放射源

放射源类别	1: 如不加以严格管理, 对人极为危险
典型的尺寸范围	大部分为直径 11 mm×长度 450 mm
典型的新源活度	^{60}Co , 最高可达 440 TBq (12 kCi)
应用	工业消毒和研究性辐照

见图 102—104



图 102. 典型的工业消毒用放射源;内层为 ^{60}Co 金属小球(图片:REVISS)。尺寸约为直径 11 mm×长度 450 mm; 典型新源活度为 444 TBq (12 kCi)。



图 103. 典型的工业消毒用放射源(图片: REVISS)。尺寸约为直径 35 mm×长度 720 mm; 典型新源活度为 1.85 PBq (50 kCi) ^{60}Co 。



图 104. 一些 ^{60}Co 辐照器用源 (图片: REVISS)。

使用描述

这些放射源在固定式 γ 消毒厂设施内使用，这些设施是专为安放放射源并能让产品进入大型消毒室接受可控辐射剂量照射这样的目的而设计的建筑物，通常用来灭菌。

这类放射源也可用于小型辐照器，大多是在研究实验室中用于实验工作。

这类放射源的能量高，一般活度也高，因此具有潜在危险性，即使受到弃用源的短时间照射也能产生致命的辐射剂量。

这类放射源必须只能由接受过培训、对这类源及使用这类源的装置或辐照设施有经验的专业人员进行操作。需要有专用的屏蔽设备。

这类放射源通常用不锈钢外壳双层密封,内装有已在核反应堆中照射成为 ^{60}Co 放射性同位素的钴金属小球。

^{60}Co 消毒用源的最通用设计是 Nordion C188、REVISS RSL2089 型，已在世界各地工业 γ 消毒厂中使用。一些其他制造商也制作类似尺寸的放射源，并且也有各种其他设计类型，用于工业规模辐照器和小规模辐照器。

6.3. ^{90}Sr 放射性同位素热电发生器用源

源类别	1：如不加以严格管理，对人极危险
典型的尺寸范围	最大直径和长度为 100 mm×200 mm
典型的新源活度	^{90}Sr ，最高可达 1.85 PBq（50 kCi）
应用	放射性同位素热电发生器

使用描述

这些放射源用于放射性同位素热电发生器，如在第 5.7 节中所述。

这类放射源装入放射性同位素热电发生器并密封后，在其寿期内不应移走放射源。

这类放射源的能量高，一般活度也高，因此有潜在危险性，即使受到这类放射源的短时间照射，也能产生致命的辐射剂量。这类源主要发射 β 辐射，其射程较短，但这类源还会产生显著量的次级韧致 γ 辐射，有很大危险性。

这类放射源只能由接受过培训的专业操作人员在严加屏蔽的设施内进行操作。

这类放射源通常用不锈钢壳双层密封，其内部装有压制的碳酸锶小球。

6.4. 工业 γ 放射照相用源

源类别	2: 如不加以严格管理，对人很危险
典型的尺寸范围	源最大直径和长度可为 7 mm×15 mm 柔性辫最长可达 200 mm
典型的新源活度	^{192}Ir , 5.5 TBq (150 Ci) ^{75}Se , 2.9 TBq (80 Ci) ^{169}Yb , 740 GBq (20 Ci) ^{60}Co , 3.7 TBq (100 Ci) ^{137}Cs , 370 GBq (10 Ci)
应用	工业放射照相

见图 105—107



图 105. 典型的老式 γ 放射照相用源/柔性辫组件 (图片: Oak Ridge Associated Universities)。



图 106. 典型的现代 γ 放射照相用源/柔性辫组件 (图片: QSA-Global)。



图 107. 在封入柔性辫前的典型的 γ 放射照相用内源壳（图片：MAYAK P. A.）。

使用描述

这些源用于 γ 放射照相装置（第 5.10 和 5.11 节）。

这类源一般都带有一根不太长的柔性缆绳（称“柔性辫”），缆绳一端有一接头能让放射源与控制缆绳相连，以致能远距离将源从放射照相装置中移出并定位，以便进行放射照像。

这类放射源通常用不锈钢壳双层密封，内装一个或多个金属形态的放射性物质小球。

常用的放射源为 ^{192}Ir ，但是也使用 ^{60}Co 、 ^{75}Se 和 ^{169}Yb 源的。所有源的外形均相似。

6.5. 高剂量率遥控后装近距离治疗用源

源的类别	2: 如不加以严格管理，对人很危险
典型的尺寸范围	在下文讨论中描述
典型的新源活度	^{192}Ir ，最高可达 370 GBq (10 Ci)； ^{137}Cs ，最高可达 1.5 GBq (40 mCi)； ^{60}Co ，最高可达 1.5 GBq (40 mCi)。
应用	医疗

见图 108



图 108. 高剂量率近距治疗用源。

使用描述

这些放射源用于高剂量率（HDR）近距治疗装置（见第 5.18 节）。

放射源通常为 ¹⁹²Ir。源的直径要尽量小，以保证治疗方案最佳化，源要与柔性缆绳相连，这样就能让遥控的后装机使放射源定位在预先计划的治疗位置上。

这类放射源通常由一长段经过辐照并密封在焊接的金属管中的 ¹⁹²Ir 线源组成，进而再将该金属管焊接到柔性缆绳上。

老式的高剂量率近距治疗系统使用其他微型源，内装有 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 或 ¹⁹²Ir。这些源通常是球形的，利用气动系统将源沿导管送到治疗部位。它们很像球轴承。

遥控后装近距治疗源上一般看不到有蚀刻的识别标志。

这类源尺寸小，没有可识别的标志，所以一般认为这类源比较容易丢失，尤其是如果这类源留在已退役的装置内，更容易丢失。

源的尺寸约为：

新式¹⁹²Ir 源：直径和长度最大为3 mm×15 mm，柔性辫最长可为 300 mm；
旧式 ⁶⁰Co、¹³⁷Cs 源：球形，直径为 3 mm。

6.6. 高能 γ 工业量具用源

源的类别	3：如不加以严格管理，对人有危险 4：对人不大可能有危险
典型的尺寸范围	直径 3—12 mm×长度 5—15 mm
典型的新源活度	¹³⁷ Cs，370 MBq（10 mCi）—370 GBq（10 Ci）； ⁶⁰ Co，37 MBq（1 mCi）—37 GBq（1 Ci）
应用	工业量度和土壤密度测量

见图 109—112



图 109. 各种高能 γ 源 (图片: QSA-Global)。



图 110. 典型的 ^{60}Co γ 源 (图片: MAYAK P.A.)。



图 111. 典型的 ^{137}Cs γ 源 (图片: MAYAK P.A.)。



图 112. 老式的 ^{226}Ra γ 量具用源和源外壳。

使用描述

这些放射源在许多种工业应用中用于固定式计量系统，如厚度、密度和散料的料位测量等。这些装置已在第 5.12 节中描述过。这类源通常属于第 3 类和第 4 类应用。

这类放射源也用于可携式的联合型土壤湿度/密度计，如第 5.16 节中所述。这些源通常属于 4 类应用。

这类放射源发射高能 γ 辐射，因此可以测量辐射穿过待测目标介质时的减弱或反散射情况。

这类放射源通常为 ^{60}Co ，而 ^{137}Cs 用得更多。放射源通常用焊接的不锈钢外壳双层密封。活性物质是金属小球状 ^{60}Co ，或是不可浸出的 ^{137}Cs 陶瓷材料。也曾经生产过一些 ^{226}Ra 源，但据认为大多已退役。

这类放射源要放在严加屏蔽的装置中，通常需要用专用工具才能操作这类源。

这类放射源通常可以放在使用时所在的装置内，运至使用现场和从使用现场运走。但在某些情况下，也可以由经过适当培训和有资质的技师在现场予以装配。

这类源大部分有圆柱形外壳，没有其他特点。在某些情况下，可能有螺纹或其他操作特点。

同一尺寸放射源的活度有多种多样。例如，外壳尺寸相似的 ^{137}Cs 量具用源，其活度可以在 370 MBq (10 mCi) 至 370 GBq (10 Ci) 之间变化，完全由用途而定。外壳上不一定都刻有源的活度值，因为有衰变。

可携式土壤湿度和密度计使用的放射源大约为 370 MBq (10 mCi)。

在高能 γ 量具中，偶而会使用其他放射性同位素，如 ^{134}Cs 和 ^{133}Ba 等。

6.7. 工业计量用中子源

源的类别	3: 如不加以严格管理，对人有危险 4: 对人不大可能有危险
典型的尺寸范围	直径 8—20 mm×长度 12—30 mm
典型的新源活度	$^{241}\text{Am/Be}$, 1.85 GBq (50 mCi) — 185 GBq (5 Ci); ^{252}Cf , 72 MBq (2 mCi) — 72 MBq (20 mCi)
应用	工业计量和土壤湿度测量

见图 113



图 113. 典型的 $^{241}\text{Am/Be}$ 中子源 (图片: MAYAK P.A.)。

使用描述

这些放射源在很多工业应用中用于固定式计量系统，以进行散料湿度

测量，如在第 5.15 节中所述。这类源通常属于第 3 类应用。

这类放射源也用于可携式的联合土壤湿度/密度计，如在第 5.16 节中所述。通常为第 4 类应用。

这类放射源常与使用 γ 源的密度测量结合起来使用。

这类源发射中子，因此，测量反散射的中子辐射水平即可推导出含水量。

这些放射源通常是 ^{241}Am 和 Be 的混合物。 ^{241}Am 的 α 衰变与 Be 相互作用，可从 Be 发出次级中子辐射。

有一些使用 ^{252}Cf 源， ^{252}Cf 源通过自发裂变发射中子。

这类放射源通常用焊接的不锈钢外壳双层密封。活性物质的形态是 ^{241}Am 氧化物和金属 Be 压制成的小球。这种小球比较坚固，不会浸出。

这类放射源通常装在加有屏蔽的装置内，而且通常需要有专用工具才能接触到源本身。屏蔽体通常是含氢量高的材料，因此不如用于中子屏蔽的材料那样致密。

在许多散料测量应用中（如在料斗中的测量），放射源置于料斗中，料斗中的物料对辐射剂量起到了有效的屏蔽作用。

这类放射源通常可以放在使用时所在的装置内，运至使用现场和从使用现场运走。但在某些情况下，也可以由经过适当培训和有资质的技师在使用现场予以装配。

大部分这类源的外壳是圆柱形的，没有其他特点。某些情况下，可能会有螺纹或其他操作特点。

大部分 γ 辐射测量设备对中子辐射没有响应。个人剂量计对中子也不响应。需要有专门的中子辐射监测仪。还应注意的是，中子辐射监测仪对测量的响应较慢。

同一尺寸放射源的活度有多种多样。例如，外壳尺寸相似的 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$

计量用源，其活度可在 3.7 GBq（100 mCi）至 185 GBq（5 Ci）之间变化，完全取决于用途。²⁵²Cf 源即使小至直径为 6 mm，长度为 12 mm，也能有很高的剂量率。

可携式土壤湿度量具使用的 ²⁴¹Am/Be 源的活度约为 1.85 GBq（50 mCi）。

6.8. γ 和中子石油测井源

源的类别	3：如不加以严格管理，对人有危险
典型的尺寸范围	γ 源：直径 8—20 mm×长度 12—30 mm； 中子源：直径 20—30 mm×长度 50—150 mm
典型的新源活度	γ 源： ¹³⁷ Cs，37 GBq（1 Ci）—111 GBq（3 Ci）； 中子源： ²⁴¹ Am/Be，185 GBq（5 Ci）—740 GBq（20 Ci）
应用	石油勘探和生产

见图 114，115



图 114. 一些 $^{241}\text{Am/Be}$ 和 ^{137}Cs 石油测井源 (图片: NRC)。



图 115. 典型 $^{241}\text{Am/Be}$ 石油测井源，与大管塞装置相连 (图片: NRC)。

使用描述

γ 源几乎总是用 ^{137}Cs 源，中子源几乎总是用 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 源。

这类放射源在石油工业中广泛使用。这类放射源由石油测井公司运输，在石油公司运营基地和油井现场都能看到。这类源存放在牢靠、有围墙的建筑物内。

这类源本身通常有圆柱形、双层密封、高强度不锈钢焊接的外壳，与第 6.6 和 6.7 节中所描述的情况相同。对 γ 源而言，其活性内容物是含 ^{137}Cs 的不会浸出的陶瓷；对中子源而言，活性内容物是由 ^{241}Am 氧化物和 Be 金属压制成的坚实而且不会浸出的小球。

源外壳通常有螺纹或其他操作特点，能让源装在大管塞内十分牢靠。

如在第 5.8 和 5.9 节中所述，为了加强对源的保护，通常将源装在一个大管塞内。从大管塞中取出源的情况是非常罕见的，为了从大管塞中取出放射源，需要有专用的操作设施和受过培训的人员。

6.9. 低能固定式工业计量用源

类的类别	4: 对人不大有危险
典型的尺寸范围	直径 10—50 mm×高度 7—15 mm
典型的新源活度	^{241}Am , 370 MBq (10 Ci) —74 GBq (2 Ci); ^{90}Sr , 370 MBq (10 mCi) —7.4 GBq (200 mCi); ^{85}Kr , 370 MBq (10 mCi) —7.4 GBq (200 mCi)
应用	工业计量

见图 116—119



图 116. ^{90}Sr β 源的焊接端和窗端（图片：QSA Global）。



图 117. ^{85}Kr β 源的窗端 (图片: QSA-Global)。



图 118. 带有黄铜保护窗盖的 ^{85}Kr β 源，分别是加盖和去盖后的外形 (图片: QSA- Global)。



图 119. 大面积 ^{241}Am 低能 γ 源的焊接面 (直径约 40 mm) (图片: QSA-Global)。

使用描述

如在第 5.13 和 5.14 节中所述，这些源在很多工业应用的固定式计量系统中用于测量厚度、密度和在灌装设备上测量料位高度。

这类源发射低能 γ 辐射或 β 辐射。可以测量辐射透过目标介质后的减弱情况。选择的辐射类型要适合待测量介质的厚度或密度。

γ 源通常是 ^{241}Am 源， β 源通常是 ^{90}Sr 或 ^{85}Kr 。这类放射源通常是扁圆柱形的，用不锈钢制成。外壳为单层密封焊接。扁圆柱的一端又薄又软，以便能让辐射透过，此即称为“窗”。必须细心操作这些源，避免将窗损坏。源的活性物质对 ^{90}Sr 和 ^{241}Am 来说，制成不会浸出的陶瓷； ^{85}Kr 是气体。

这类放射源通常装在严加屏蔽、在一个开口处是薄窗的装置内，再将其牢固地连结到生产线上。操作放射源时通常需要专用工具。

这类放射源可以放在使用时所在的装置内，运至使用现场或从使用现场运走。但在很多情况下，要由经过适当培训和有资质的技师在现场进行装配。

由于这类 γ 辐射能量低， β 辐射的透射率低，辐射大多只能通过源窗处输出。用低密度材料（如 1 cm 厚的有机玻璃）盖住源窗，即能大大降低辐射的输出量。

大部分源是圆柱形外壳，没有其他特点。

在低能 γ 和 β 量具中很少使用的其他同位素包括 ^{147}Pm 。

6.10. 永久性植入低剂量率近距治疗用粒源

源的类别	5: 对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	直径小于 1 mm×长度小于 5 mm
典型的新源活度	^{125}I , ^{103}Pd : 最高达 50 MBq (1.5 mCi)
应用	医疗

见图 120—122



图 120. 典型的 ^{125}I 粒源（图片：见 DOS Ltd/BEBIG GmbH）。



图 121. 在塑料带中的粒源（图片：见 DOS Ltd/BEBIG GmbH）。



图 122. 典型的 ^{125}I 粒源带分配器（图片：见 DOS Ltd/BEBIG GmbH）。

使用描述

这些源在癌症治疗中用于低剂量率的间隙近距治疗或永久性植入。

大部分源发射低能 γ 或 X 辐射，并使用 ^{125}I 。

在供应这类放射源时，或是单个提供，或是为了操作方便，将多个放射源包装在塑料“带”上。

放射源的外壳用单层不锈钢或钛密封焊接而成。活性物质用电镀或化学方法结合到某种基质上。

由于这类放射源尺寸太小和应用情况等原因，用任何方式都不可能单个源进行识别和标志。

这类源称为“粒源”。

粒源广泛用于前列腺癌的治疗。利用专用装置将这类源永久性植入，使其在体内进行衰变。

6.11. 眼贴

源的类别	5：对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	直径小于 10 mm，长度小于 5 mm
典型的新源活度	^{106}Ru ，最高可达 50 MBq（1.4 mCi）
应用	医疗

见图 123



图 123. 利用眼球模型展示的眼贴和敷贴器。

使用描述

这些源用于眼部的癌症治疗，在专科医院可以看到。

大部分源发射低能 β 辐射，所用的 ^{106}Ru 可电镀在某种基质上或置于薄片上。

将源定位在眼球上，时间可长达数天。

6.12. 低能 γ 分析用源

源的类别	5: 对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	直径 3—15 mm×高度 7—10 mm
典型的新源活度	^{241}Am , 370 MBq (10 mCi)—1.85 GBq (50 mCi); ^{244}Cm , 370 MBq (10 mCi)—3.7 GBq (100 mCi); ^{109}Cd , 370 MBq (10 mCi)—1.85 GBq (50 mCi)
应用	工业计量

见图 124—127



图 124. 低能 γ 分析用点源（图片：QSA-Global）。



图 125. 典型的低能 γ 大直径分析用盘源的铍窗和焊端（图片：QSA-Global）。



图 126. 典型的低能 γ 中等直径分析用盘源的铍窗和焊端（图片：QSA-Global）。



图 127. 典型的低能 γ 小直径盘源的铍窗（图片：IPL）。

使用描述

如在第 5.17 节中所述，这些放射源用于实验室的分析仪器和装置、材料加工以及手持式材料特性分析装置。

这类放射源发射特定能量范围的低能 γ 辐射，当此种 γ 辐射入射到某些元素时，会反射出某些具有特定能谱的次级 X 射线。根据该能谱可分析出材料的元素组成。

γ 源通常为 ^{241}Am 、 ^{244}Cm 或 ^{109}Cd 。这些源通常是扁圆柱形。其外壳有两种：

- (1) 用不锈钢制成，单层焊接密封。圆柱体的一端很薄很软，可让辐射透过。
- (2) 用铜合金制成的，一端焊有铍片，可让辐射透过。有薄片或铍片的一端称为窗口。

必须小心操作放射源，以避免损坏源窗。对 ^{241}Am 和 ^{244}Cm 来说，活性物质做成不会浸出的陶瓷。 ^{109}Cd 则是电镀在某种基质上。

这类放射源通常装在仪器中的小型屏蔽器件中。拿取放射源时通常需要专用工具。

这些放射源可以放在使用源的装置内，运送至使用现场，或从使用现场运走，但在很多情况下，要由经过适当培训和有资质的技师在现场进行装配。

由于 γ 辐射的能量低，大部分辐射只能通过源窗处输出。盖住源窗就能大大减少输出的辐射量。

大部分源的外壳是圆柱形，没有其他特点。

6.13. 刻度用源和参考源

源的类别	5: 对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	范围很大
典型的新源活度	同位素种类广泛, 各种活度, 最高可达 37 MBq(1 mCi)
应用	仪器刻度

见图 128—133



图 128. ^{137}Cs 点参考源（图片：Schlumberger）。



图 129. 医用点参考源标志（图片：QSA-Global）。



图 130. 各种大小的面参考源（图片：QSA-Global）。



图 131. ^{153}Gd PET (正电子发射断层) 刻度源及携带箱 (图片: QSA-Global)。



图 132. 各种形状的探测器刻度源 (图片: QSA - Global)。



图 133. 石油测井天然 γ 探测器刻度用源袋（图片：Schlumberger）。

使用描述

这些放射源的活度通常都很低，在许多应用中用于刻度辐射测量仪器。

在大部分情况下，这类源的活度太低，不能正式将其划归密封源一类，但是为了完整起见，仍在这里列出。

7. 放射性运输货包实例

7.1. 高活度 γ 运输货包

源的类别	1：如不加以严格管理，对人极为危险
典型的尺寸范围	直径最大可为 1.5 m，高度可达 2.5 m
典型的重量	最重可达 5000 kg
典型的同位素和活度	^{60}Co ，最高可达 550 TBq（15 kCi）； ^{137}Cs ，最高可达 740 TBq（20 kCi）

见图 134—137



图 134. 运输状态中的高活度 γ 源容器（图片：REVISS）。



图 135. 封在网栅中的高活度 γ 源容器，以防止触及很热的容器表面（图片：REVISS）。



图 136. 高活度 γ 源容器启运前对表面剂量率进行检测
(图片：MOS Nordion)。



图 137. 在辐照厂装源时容器的状态。

使用描述

如在第 7.1 和 7.2 节中所述，这些容器用于高能 γ 辐射源的运输。

这类容器通常用铅或贫铀作屏蔽体。贫铀货包即使在没装放射源时也必须按放射性货包运输。即使没有装源，贫铀本身也发射低水平辐射。

这类容器可重复使用，而且通常是通过公路、铁路和海运运输。

可能要根据当地的规定，采取特殊的运输安排。

装有放射源的容器的外表面通常会很热。

7.2. 放射照相用源的换源器

源的类别	2: 如不加以严格管理，对人很危险
典型的尺寸范围	长×宽×高为 250 mm×210 mm×340 mm
典型的重量	40 kg
典型的同位素和活度	^{192}Ir , 8.9 TBq (240 Ci); ^{75}Se , 2.9 TBq (80 Ci); ^{169}Yb , 1.5 TBq (40 Ci); ^{60}Co , 3.7 GBq (100 mCi); ^{137}Cs , 370 GBq (10 Ci)

见图 138—141



图 138. 运输状态中的放射源换源器（图片：QSA）。



图 139. 准备与放射照相装置连接以便换源的换源器（图片：QSA）。



图 140. 准备与放射照相装置连接以便换源的换源器（图片：MDS Nordion）。



图 141. 装有多多个源的放射源换源器准备与放射照相装置连接，以便换源（图片：MDS Nordion）。

使用描述

如在第 6.4 节中所述，这些容器用于工业放射照相用源的更换。

这类容器通常用铅或贫铀作屏蔽体。贫铀货包即使在不装放射源时，也必须按照放射性货包进行运输。即使不装放射源，贫铀本身也发射低水平辐射。

这类容器可重复使用，而且通常是通过公路、铁路、空运和海运运输。此外，这类容器也用于将新的放射照相用源从制造厂运至用户。这类容器可让用户利用标准的遥控系统，将放射照相装置中不再使用的旧源取出来转至运输容器，并将新源转至放射照相装置。

7.3. 低活度高能 γ 运输货包

源的类别	3: 如不加以严格管理, 对人有危害 4: 对人不大可能有危险
典型的尺寸范围	直径最大可为 0.5 m, 高度可达 0.5 m
典型的重量	最重可达 200 kg
典型的同位素和活度	^{192}Ir , 7.4 TBq (200 Ci); ^{60}Co , 37 GBq (1 Ci); ^{137}Cs , 111 TBq (30 Ci)

见图 142—145



图 142. 高能 γ 源货包的外包装和内屏蔽罐。



图 143. 高能 γ 源货包的外包装和内屏蔽罐（图片：MAYAK P.A.）。



图 144. 高能 γ 源货包的外包装和内屏蔽罐（图片：MAYAK P.A.）。



图 145. 运输 γ 量具用的 A 型货包外包装实例（图片：Endress and Hauser）。

使用描述：

如在第 6.6 节中所述，这些货包用于为计量和其他工业目的所用的高能 γ 辐射源的运输。

这类货包通常使用铅屏蔽。在某些情况下也可使用贫铀屏蔽。贫铀货包即使不装放射源，也必须按照放射性货包运输。即使不装放射源，贫铀货包本身也发射低水平的辐射。

这类货包通过可重复使用，可以通过公路、铁路和海运运输。

货包通常要符合原子能机构放射性物质安全运输 A 类货包的规定；否则，要满足 B 类货包的要求。

在很多情况下，如在第 5.12 节中所述的放射性装置，可用于运输，但也要符合有关的运输规定。在这些情况下，这些装置常常在包装后再放入另外的外包装内，万一发生事故，外包装可以提供更多的防护，或者这些外包装可能就是要起到减小表面有效剂量率的作用，并有助于操作。

7.4. 一次使用的放射源货包

源的类别	3: 如不加以严格管理，对人有危险 4: 对人不大可能有危险 5: 对人最不可能有危险
典型的尺寸范围	边长可达 1 m 的立方体
典型的重量	最重可为 50 kg
典型的同位素和活度	全部

见图 146，147



图 146. 典型的一次使用的 A 类放射源货包的部件（图片：QSA-Global）。



图 147. 典型的一次使用的 A 类放射源货包（见图 146）的内层铅屏蔽容器详图（图片：QSA-Global）。

使用描述

这些货包可用于几乎所有类型的 β 源、 γ 源和中子源的运输，但其活度要足够低，以使表面剂量率保持在法定限值范围内。

这类货包通常使用铅屏蔽作为限制表面剂量的主要方法。用盒子包装使得与放射源的距离更大，因此也能减少该货包表面的有效剂量。

这类货包仅仅是为了一次使用，而且可以通过公路、铁路、空运和海运运输。如果没有放射性的内容物时，极少运输这类货包。

这类货包看起来与很多其他商用货包一样，只有通过货包上的放射性标志才能加以识别。

这类货包通常符合原子能机构有关放射性物质安全运输 A 类货包的规定。某些货包也满足 B 类的要求。这可根据货包的详细标志来确定。

附件一

辐射的基本知识

I.1. 什么是辐射？

辐射一般定义为以光子或粒子形式通过空间传播的能量。为了本出版物的目的，辐射是指能够电离生物物质因而能引起活细胞损伤的电离辐射。

就放射源而言，电离辐射包括 γ 和 X 射线的光子，以及 α 粒子、 β 粒子和中子。

I.2. 电离辐射的形式

与本手册相关的电离辐射有 5 种形式（见图 148）：

- (1) α 辐射：这是质量较大、能量较高的粒子辐射。其射程比较短，可被 1—2 cm 厚的空气，或一张纸或人类皮肤外层的死组织吸收。
- (2) β 辐射：这是原子的核所发射的电子。 β 粒子的质量很小，射程比 α 辐射大。 β 辐射可被一片塑料、一层玻璃或一薄片金属吸收。 β 辐射可穿透外层皮肤，进入活组织被吸收，从而引起能够造成伤害的电离。
- (3) γ 辐射：这是由原子核发射的高能量光子。光子的质量可以忽略，但其射程很大。 γ 辐射入射到物质时会被吸收，并与其中的电子发生相互作用，从而引起能够伤害活组织的电离。一般来讲，密度大的物质如铅或钢铁可用于 γ 辐射的屏蔽。
- (4) 中子辐射：这是由原子核发射的中子。从原子的角度来看，中子相对较小较轻，不带电荷，通常具有高能量，因而射程相当长。由于中子不带电荷，不能直接引起电离，但当它们与吸收物质中的原子核发生碰撞时，能够破坏这些原子核，使其处于不稳定状态，这意味着中子对活组织有很大危害性。中子比较容易穿透很多物质，但是能被含氢物质屏蔽，例如水或石蜡。

(5) X 射线：这是与 γ 辐射相同的光子辐射，当电子减速失去能量时会产生 X 射线。X 射线的性质与 γ 射线相同。

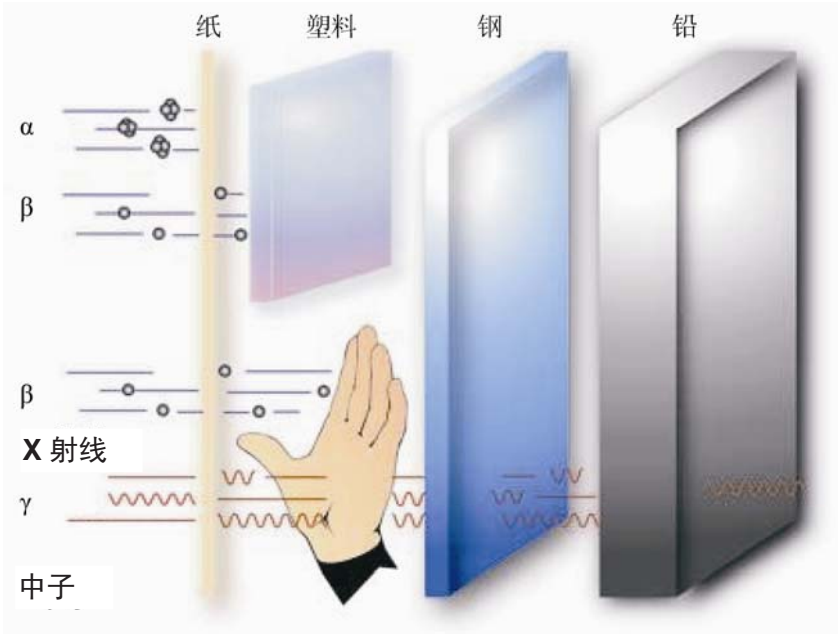


图 148. 电离辐射的形式（与本手册有关的内容）。

1.3. 电离辐射对活组织的影响

在辐射穿过物质时，通过原子的电离或激发，将其部分能量沉积在吸收物质中。正是原子在组织中电离，伴随着化学变化，造成有害的辐射生物效应。迄今，人类尚未完全了解辐射损伤细胞的全部方式，但有很多方式都与脱氧核糖核酸（DNA）的变化有关。这类损伤能够导致细胞死亡和出现异常细胞等生物效应。

辐射健康效应主要有两类。确定性效应，只有当剂量或剂量率（即单位时间内的剂量）大于某个阈值时才会出现。剂量和剂量率越高，这类效应出现得越早也越严重。例如急性辐射征候群（系指能够体现因受到大量辐射照射而引起的各种全身效应的综合病症）、皮肤烧伤和不育。如果剂量低，或是在较长时间内给出的剂量，人体的受伤细胞会有更多的机会自行

修复；但仍有可能出现有害效应。这一类效应称为随机性效应，它并不一定会出现，但就较高剂量而言，出现这类效应的可能性会增加，然而出现效应的时机和严重程度并不取决于剂量。例如各种类型的癌症。

I.4. 限制电离辐射的照射

可以采用以下三种方法来控制和限制人体受到电离辐射照射的水平：

- (1) 距离；
- (2) 时间；
- (3) 屏蔽。

对发现放射源或装置的个人来说，距离和时间是控制和限制辐射照射的最好方法。对市政主管部门的专家而言，屏蔽则是减少其受照射量的又一个方法。

如果已经确定有一个未受控制的放射源或装置，同时采用距离和时间的方法，可以保护公众免受辐射照射。一般规律是，点辐射源的辐射场的强度随距离的平方成比例地减少。当放射源或装置已被确定时，重要的是立即离开这个区域，以便尽可能减少时间，从而大大减少辐射照射。如何对源或装置使用屏蔽，则应根据市政主管部门专家的评估结果而定。

I.5. 其他资料

参考文献[12—14]中提供了其他资料。

附件二

第 5 节中所述的装置及其主要参考数据表

表 1. 装置及其主要参数

参考号	装置描述	类别 ^a	主要应用	次要应用	典型重量	典型尺寸	说明
5.1	工业消毒厂	1	工业	研究	不适用	100m×200m×50m 的建筑	
5.2	远距治疗机	1	医学	研究	500—1000kg	长×宽×高： 4m×2m×3m	
5.3	血液辐照器	1	医学		1500—3500kg	长×宽×高： 1m×1m×1.5m	
5.4	多束远距离治疗机 (γ 刀)	1	医学		20 000kg	长×宽×高： 4—5m×2m×2.5 m	加有屏蔽的装置
5.5	小型样品辐照器	1	研究		1000—6000kg	长×宽×高： 1.5m×1.5m×2m	
5.6	种子辐照器	1	农业	工业	辐照室 (卸下后) 3000—6000kg	长×宽×高： 1.5m×1.5m×2m	可在车辆上组装
5.7	放射性同位素热电发生器 (RTG)	1 ^a	其他	其他	500—1000kg	长×宽×高： 1.5m×1.5m×1.5m	不包括起搏器
5.8	γ 石油测井大管塞	2	工业		500—1000g	直径×长度： 20—60mm×100—150mm	
5.9	中子石油测井大管塞	2	工业		400—1000g	直径×长度： 20—60mm×100—200mm	
5.10	γ 放射照相投射器	2	工业		8—35kg	长×宽×高：350m×200m×240m	用 ¹⁹² Ir、 ⁷⁵ Se 源
5.10	γ 放射照相换源器	2	工业		40kg	长×宽×高：250m×210m×340m	换源器

表 1. 装置及其主要参数（续）

参考号	装置描述	类别 ^a	主要应用	次要应用	典型重量	典型尺寸	说明
5.10	γ 放射照相 投射器 (⁶⁰ Co)	2	工业		100—200kg	长×宽×高： 900mm×900mm ×900mm	半可携 式 ⁶⁰ Co 装置
5.11	γ 放射照相 管道爬行 器	2	工业		50-100kg	长×宽×高： 800—1500mm× 400mm ×400mm	
5.12	高能 γ 密度 计、厚度计 和料位计	3	工业		20—400kg	直径×长度： 200—400mm ×300—700mm	
5.13	低能 γ 密度 计、厚度计 和料位计	3	工业		20—50kg	直径×长度： 200—400mm ×300—700mm	
5.14	β 密度计、 厚度仪	4	工业		10—20kg	长×宽×高： 100—300mm ×100—300mm ×100—300mm	
5.15	散料湿度计	3	工业		10—1000kg	长×宽×高： 300 —1000mm×300 —500mm×300 —500mm	
5.16	土壤湿度/ 密度计	4	工业	农业	30kg	长×宽×高： 200mm×300mm ×1000mm	
5.17	X 射线荧光 分析仪	5	工业	研究	手持式：1— 2kg, 实验室和 工艺控制： 20—100kg	手持式：长×宽× 高： 200mm× 100mm×100m 实验室和工艺控 制：长×宽×高： 500mm×500mm ×1500mm	
5.18	近距治疗机	2	医学		50—250kg	长×宽×高： 300 —600mm×300 —600mm×800 —1500mm	

表 1. 装置及其主要参数（续）

参考号	装置描述	类别 ^a	主要应用	次要应用	典型重量	典型尺寸	说明
5.19	静电消除器	4	工业		棒式：可达 2kg， 枪式：可达 500g	棒式：最大长×宽×高：2000mm×30mm×10mm， 枪式：直径×长度：30mm×80mm	
5.20	放射性避雷针	5	工业	家用	2—10kg	直径×长度：100—300mm×500—1000mm	
5.21	自发光标志	5	工业		1—10kg	长×宽×高最大可为 600mm×200mm×100mm	
5.22	烟雾探测器	5	居家	工业	100—300g	直径×高度：100—150mm×15—30mm	

^a “类别”是指第 4.8 节中所定义的原子能机构类别，其中类别 1 是指对人极危险，类别 5 是指对人最不可能有危险。

附件三

第 6 节中所述的放射源及其应用的相互参考表

表 2. 放射源及其应用相互参考表

参考号	放射源描述	类别	典型尺寸	一般相关装置的参考号
6.1	^{60}Co 远距治疗机用源	1	圆柱形，直径×长度： 20mm×30mm	5.2 5.4
6.2	^{60}Co γ 消毒用源	1	圆柱形，直径×长度： 11mm×450mm	5.1 5.5
6.3	^{90}Sr 放射性同位素 热电发生器用源	1	直径×长度最大可为 100mm×200mm	5.7
6.4	工业 γ 放射照相用源	2	直径×长度最大可为 7mm×15mm 柔性辫源长可达 200mm	5.10 5.11
6.5	高剂量率遥控后装 近距治疗用源	2	现代源，直径×长度最大可为 3mm x 15mm 柔性辫源，长度可达 300mm 老式装置，球形直径约 3mm 活性物质 ^{137}Cs	5.18
6.6	高能 γ 工业计量用源	3 或 4	典型的圆柱形外壳， 直径×长度 3—12mm×5— 15mm	5.12 5.16
6.7	中子工业计量用源	3 或 4	直径×长度： 6mm×12mm 或 8—20mm×12—30mm	5.15 5.16
6.8	γ 和中子石油测井 用源	3	γ 源：直径×长度： 8—20mm×15—40mm 中子源：直径×长度： 15—25mm×25—60mm	5.8 5.9
6.9	低能固定式工业计 量用源	4	直径×高度： 10—50mm×7—15mm	5.13 5.14
6.10	永久植入和低剂量 率近距治疗用粒源	5	直径×长度： 小于 1mm×小于 5mm	无相关装置

表 2. 放射源及其应用相互参考表（续）

参考号	放射源描述	类别	典型尺寸	一般相关装置的参考号
6.11	眼贴	5	直径×长度： 小于 1mm×小于 5mm	无相关装置
6.12	低能 γ 分析用源	5	直径×高度： 3—15mm×7—10mm	5.17
6.13	刻度用源和参考源	5	各种尺寸和形状	无相关装置

参 考 文 献

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Manual for First Responders to a Radiological Emergency , IAEA-EPR-First Responders, IAEA, Vienna (2006).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency , Safety Requirements, GS-R-2, IAEA, Vienna (2002).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1, IAEA, Vienna (2005).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Goiânia, IAEA, Vienna (1988).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY , Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Bialystok, IAEA, Vienna (2004).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Samut Prakarn, IAEA, Vienna (2002).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical Data on Nucleonic Gauges, IAEA-TECDOC-1459, IAEA, Vienna (2005).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY , Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 13, IAEA, Vienna (1999).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radio-active Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9, IAEA, Vienna (2005).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Sealed Radioactive Sources Toolkit, Information Booklet, IAEA, Vienna (2005).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation, People and the Environment, Information Booklet, IAEA, Vienna (2004).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY , Security of Radioactive Sources: Interim Guidance for Comment , IAEA-TECDOC-1355, IAEA, Vienna (2003).

定 义

以下定义可能不一定与其他方面国际应用中所采用的定义相一致。与辐射防护有关的更加通用的术语可以在国际原子能机构《安全术语汇编》2.0 版中找到，其网址是：<http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>

活度 放射性物质发生核转变的速率。用作对现有放射性核素数量的量度。活度单位为贝可（勒尔），符号为 Bq。1 Bq=1 次衰变/秒。活度原用居里（Ci）表示；如果活度值引自某一采用 Ci 作单位的参考文献，则也可用 Ci 给出活度值（在括号内给出相应的 Bq 值）。1 Ci= 3.7×10^{10} Bq（精确值）

α 粒子 放射性核素发射的、由 2 个质子和 2 个中子组成的粒子（即氦原子的核）

原子 物质的基本单位，由一个原子核及其围绕的若干电子组成，电子的数目与核内的质子数目相同。原子是元素中能够通过化学作用与其他原子相结合的最小组成部分。

原子序数 原子核中质子的数目，用符号 Z 表示。

贝可 见活度。

β 粒子 在核转变过程中由原子核或中子发射的电子或正电子。

近距离治疗 利用密封放射源在身体内或体表治疗某些癌症。

贫铀 其中 ^{235}U 百分含量低于天然铀中 0.7% ^{235}U 百分含量的铀。它是浓缩铀生产过程中产生的副产物。在放射性运输货包和某些装置中用作辐射屏蔽材料。

确定性效应 一种通常存在剂量阈值的辐射健康效应，超过该阈值后，剂量越高该效应的严重程度越大。如果这种效应是致命的或危及生命的或导致生活质量降低的永久性损伤，则称为“严重的确定性效应”。

装置 一种在内部使用放射源并能安全收藏该源的机械或仪器。装置的制造一般要符合国家的或国际的安全标准。

处置 就放射性废物而言，指将其放置在适当的设施内，且无意再回取。

电磁辐射 由相互垂直振荡的电磁场组成的辐射。波长范围很宽。有很长的长波（低能），如无线电波；中长波，如可见光；一直至很短的短波（高能），如 γ 射线。

电子 一种带有 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 负电荷、质量为 $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 的稳定的基本粒子。

自由基 有一个或多个可以组成化学键的未配对电子的不带电原子或原子团。一般具有很强的化学反应性。

γ 射线 原子核在放射性衰变时发射的、其波长比可见光的波长短得多的贯穿性电磁辐射。

半衰期 就放射性核素而言，由于放射性衰变过程，活度减少一半所需的时间。符号为 $T_{1/2}$ 。

电离 原子或分子获得或失去电荷的过程。同时会产生离子。

电离辐射 为了辐射防护目的，指能在生物物质内产生离子对的辐射。例如 α 粒子、 γ 射线、X 射线和中子。

辐照 使受到辐射照射的行为。辐照可以有意的，例如通过工业辐照对医用设备消毒；也可能是意外的，例如靠近某个发射辐射的放射源。辐照通常并不会造成放射性污染，但有可能造成损害，取决于所受的剂量。

同位素 具有相同质子数但中子数不同的核素。不是核素的同义词

质量数 原子核内质子和中子数之和。用 A 表示。

分子 化学上相互结合的一组原子。是物质中可以单独存在并保留该物质特性的最小部分。

中子 不带电荷的基本粒子，质量约为 $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ，平均寿命约为 1000 秒。

核医学 用放射性核素来诊断或治疗患者的疾病。

（原子）核 原子中带正电的中心部分。由质子和中子组成。

核素 用质子数和中子数以及核能态表征的一类原子。

光子 电磁辐射的量子。

辐射 以波或粒子的形式通过空间传播的能量。在本出版物中通常指电离辐射，但在必须避免与非电离辐射发生混淆时除外。

辐射防护 保护人类免受电离辐射照射的影响，以及为达到这一目的而采取的措施。

放射性的 表示有放射性。为了法律和监管的目的，放射性的含义常常限于那些在国家法律中或由监管机构指定为因其放射性而必须接受监管控制的物质。

放射源 一种封装放射性物质的工具，使放射性物质在密封不漏的容器内始终受到保护，但可以发出辐射用于预定的目的。亦称密封源或源。放射源的制作要符合国际法规，以保证统一性。

放射性 原子发生自发随机蜕变的现象，通常伴有辐射发射。

放射性核素 放射性的核素。

放射治疗 利用辐射束治疗患者的疾病，通常为癌症。

监管机构 国家政府部门指定为对核、辐射、放射性废物和运输安全拥有合法监管权的组织。

风险 个人或群体因辐射照射而出现特定健康效应的概率。

密封源 见放射源。

源 见放射源。

运输货包 运输密封源时所用的容器。运输货包必须符合国际放射性物质安全运输规程。

X 射线 原子在其电子失去能量时所发射的贯穿性电磁辐射，其波长比可见光的波长短得多，见 γ 射线。

参与起草和审查的人员

Al-Mughrabi, M.	国际原子能机构
Ambrose, J.	美国国土安全部
Andrievskaya, L.A.	俄罗斯联邦原子能署
Benz, D.	德国恩德斯豪斯公司
Calvante, V.L.	巴西国家核能委员会
Garcia, A.	欧洲刑警组织
Ghosh, J.K.	印度辐射和同位素技术管理局
Harris, T.	美国核管理委员会
McAlpin, J.	美国洛斯阿拉莫斯国家实验室
Neubauer, J.	国际原子能机构
Parfitt, J.	英国 Reviss 服务有限公司
Schlueck, R.K.	美国纽约消防局
Shaddad, I.A.R.	苏丹原子能委员会
Stevens, R.	美国 LSS 技术数据评定
Strempel, S.	德国 AEA 技术 QSA 股份有限公司
Svahn, B.	瑞典辐射防护管理局

本手册的编写出版是国际原子能机构“辐射源安全和放射性物质安保行动计划”的组成部分。本手册旨在：帮助识别和鉴定据认为是放射性装置、放射源和放射性运输货包的物件；提供有关怎么做和如何获得进一步帮助的指示；加强对存在放射性装置、放射源和放射性运输货包的意识；以及通过国际原子能机构成员国的指定协调员提供有关《国际密封放射源和装置目录》的资料。本手册在为已经报告的事件鉴定放射源以便将事件列入国际原子能机构的“防止非法贩卖数据库”方面，也将有所助益。

国际原子能机构
维也纳

ISBN 978-92-0-518010-6
ISSN 1816-9317