


放射卫生防护培训系列教材

辐射源检测仪表 **和** 检测装置的放射防护与安全

◎ 李万王
编 雅 时
著 春 玲 进



 原子能出版社

责任编辑：刘 朔

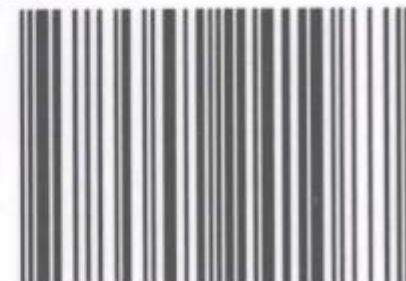
封面设计：赵 杰

放射卫生防护培训系列教材

辐射源检测仪表和
检测装置的放射防护与安全



ISBN 978-7-5022-4108-7



9 787502 241087 >

定 价：18.00 元

图书在版编目(CIP)数据

辐射源检测仪表和检测装置的放射防护与安全/王时进,万玲,李雅春编著. —北京:原子能出版社,2008.4

ISBN 978-7-5022-4108-7

I. 辐… II. ①王…②万…③李… III. 辐射源-检测仪表-辐射防护 IV. TL77

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 046449 号

辐射源检测仪表和检测装置的放射防护与安全

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)
责任编辑 刘 朔
责任校对 徐淑惠
责任印制 丁怀兰 刘芳燕
印 刷 北京画中画印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 850 mm×1168 mm 1/32
印 张 2.5
字 数 66 千字
版 次 2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-4108-7
印 数 1—5 000 定 价 18.00 元

版权所有 侵权必究

网址:<http://www.aep.com.cn>

前 言

核检测设备使用的辐射源为放射性核素源和射线发生器件。放射源检测仪表是工业生产中应用极其广泛的仪表,本书包括料位计、厚度计、密度计、核子秤、中子水分仪、油田测井仪等。另一类检测设备以射线发生器件为辐射源,本书包括 X 射线衍射仪、X 射线安检仪和整装货包检查装置。工业射线照相检测装置未包括在本书之列,将在本系列培训教材中另立分册。

本书可供辐射源检测仪表和检测装置相关工作人员和管理人员放射卫生防护培训使用,也可供厂家的客户培训、辐射防护与安全专业人员参考。

在放射卫生防护培训系列教材中,辐射防护与安全法规、辐射防护与安全基本标准、核物理和放射卫生基础将有单独的分册,在有关辐射源检测仪表和检测装置的放射防护与安全的培训中,可配套选用相应分册。

本书在编写过程中,不足之处在所难免,请广大读者和各位同行提出批评指正。

编者

2007 年 12 月

目 录

1	国家法规与标准	1
1.1	基本国家法规	1
1.2	《职业病防治法》摘录	1
1.3	职业病危害分类和放射工作人员职业健康管理	3
1.4	放射性同位素与射线装置许可管理与分类	4
1.5	相关的国家标准和技术规范	6
2	放射源检测仪表概述	7
2.1	检测仪表的特点	7
2.2	检测仪表类别	8
2.2.1	强度测量型仪表	8
2.2.2	荧光仪表	11
2.2.3	电离型仪表	11
2.3	常见放射源检测仪表	12
3	放射源检测仪表的辐射防护性能	14
3.1	密封源	14
3.1.1	密封源性能分级	14
3.1.2	不同穿透能力的放射源	17
3.1.3	检测仪表选用放射源的原则	19
3.2	对检测仪表的放射防护要求	19
3.2.1	源容器	19
3.2.2	检测仪表及其使用场所要求	23

4	放射源检测仪器的安全操作与管理	24
4.1	放射源和其检测仪器的管理	24
4.1.1	制造厂的职责	24
4.1.2	放射源检测仪器应用单位的管理规章	25
4.2	放射源检测仪器使用操作与维护的安全	25
4.3	源容器的运输要求	27
4.4	放射源容器和带放射源的检测仪器的贮存要求	28
5	放射源检测仪器的辐射安全	29
5.1	放射源的辐射危险	29
5.1.1	潜在照射概念	29
5.1.2	放射源的危险活度	29
5.1.3	放射源的分类	34
5.1.4	放射源和含源实践的意外危险	35
5.1.5	说明	35
5.2	放射源检测仪器应用中的放射事件与事故	37
5.2.1	放射事件与事故表现	37
5.2.2	放射事故原因	39
5.2.3	辐射(放射)事故及其管理	40
5.2.4	事故预防与对策	42
5.2.5	辐射事件与事故应急响应	43
5.2.6	结束语	45
6	X射线管检测装置的放射防护与安全	45
6.1	范围	45
6.2	X射线衍射仪和荧光分析仪	45
6.3	X射线行李包检查系统	47
6.4	其他X射线仪表	48

7	整装货包检查系统放射防护与安全	48
7.1	概述	48
7.1.1	检查系统和其应用范围	48
7.1.2	检查系统分类	49
7.1.3	检查系统组成与结构	51
7.2	检查系统工作场所分区及辐射剂量控制水平	53
7.2.1	工作场所分区	53
7.2.2	辐射剂量控制水平	54
7.3	辐射安全系统	55
7.3.1	辐射安全一般原则	55
7.3.2	辐射安全设施	56
7.4	安全操作与管理注意事项	59
8	剂量监测要求	60
8.1	不同类别的剂量监测	60
8.1.1	分类	60
8.1.2	辐射源检测仪表和检测装置的剂量监测一般要求	60
8.1.3	对放射源检测仪表的放射防护性能检测和检验	60
8.1.4	经常性场所剂量检测(含安全设备检查)	65
8.1.5	个人剂量监测	65
8.1.6	特殊监测	65
8.2	对剂量监测仪表的要求	66
8.3	剂量监测仪表使用注意事项	67
8.4	个人剂量计使用注意事项	67
	参考文献	69

1 国家法规与标准

1.1 基本国家法规

(1) 中华人民共和国主席令第六号《中华人民共和国放射性污染防治法》，2006年6月28日

(2) 中华人民共和国主席令第60号《中华人民共和国职业病防治法》，2002年5月1日

(3) 中华人民共和国国务院第449号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，2005年12月1日

(4) 国家环境保护总局令第31号《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2006年1月18日

(5) 国家环境保护总局公告2005年第62号《关于发布放射源分类办法的公告》，2005年12月23日

(6) 国家环境保护总局公告2006年第26号《关于发布射线装置分类办法的公告》，2006年5月30日

(7) 中华人民共和国卫生部令第49号《建设项目职业病危害分类管理办法》，2006年7月27日

(8) 中华人民共和国卫生部令第55号《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，2007年6月3日

1.2 《职业病防治法》摘录

第三条 职业病防治工作坚持预防为主，防治结合的方针，实行分类管理，综合治理。

第八条 国家实行职业卫生监督制度。

第十四条 在卫生行政部门中，建立职业病危害项目的申报制度。

第十五条 新建、扩建、改建建设项目和技术改造，技术引进项目

(以下统称建设项目)可能产生职业病危害的,建设单位在可行性论证阶段应当向卫生行政部门提交职业病危害预评价报告。卫生行政部门应当自收到职业病危害预评价报告之日起 30 日内,作出审核决定并书面通知建设单位。未提交预评价报告或者预评价报告未经卫生行政部门审核同意的,有关部门不得批准该建设项目。

第十六条 建设项目的职业病防护设施……与主体工程同时设计,同时施工,同时投入生产和使用。职业病危害严重的建设项目的防护设施设计,应当经卫生行政部门进行卫生审查,符合国家职业卫生标准和卫生要求的方可施工。

建设项目在竣工验收前,建设单位应当进行职业病危害控制效果评价,建设项目竣工验收时,其职业病防护设施经卫生行政部门验收合格后,方可投入正式生产和使用。

第十七条 职业病危害预评价、职业病危害控制效果评价由依法设立的取得省级以上人民政府卫生行政部门资质认证的职业卫生技术服务机构进行。

第十九条 用人单位应当采取下列职业病防治管理措施:

(一) 设置或指定职业卫生管理机构或组织,配备专职或者兼职的职业卫生专业人员负责本单位的职业病防治工作;

(二) 制定职业病防治计划和实施方案;

(三) 建立、健全职业卫生管理制度和操作规程(第二十二条……应当在醒目位置及公告栏公布……)

(四) 建立、健全职业卫生档案和劳动者健康监护档案(第三十二条……用人单位组织上岗前、在岗期间和离岗时的职业健康检查……第三十四条……档案包括劳动者职业史、职业病危害接触史、职业健康检查结果和职业病诊疗等有关个人健康资料。……)

(五) 建立、健全工作场所职业病危害因素监测及评价制度(第二十四条……由依法设立的取得省级以上人民政府卫生行政部门资质认证的职业卫生技术服务机构进行……)

(六) 建立、健全职业病危害事故应急救援预案。

1.3 职业病危害分类和放射工作人员职业健康管理

(1) 2006年7月27日发布了中华人民共和国卫生部令第49号《建设项目职业病危害分类管理办法》，将职业病危害分为“轻微”、“一般”和“严重”三类。在放射性职业病危害因素中，核设施、辐照加工设备、加速器、放射治疗装置、工业探伤机、油田测井装置、甲级开放型放射性同位素工作场所和放射性物质贮存库等装置或场所，均属于危害“严重”类别。该管理办法规定了自项目的可行性研究阶段至项目验收中向卫生行政部门申请和卫生行政审批要求，图1.1和表1.1列出行政审管程序与分类审管要求。

表 1.1 不同类职业病危害的审管要求

危害类别	预评价*	职业病防护 设施设计	控制效果 评价*	行政审管
轻微	表	×	表	备案
一般	表	×	表	审核/竣工验收
严重	书	√	书	审核/设计审查/竣工验收

注：* 由卫生行政部门认可的有资质的卫生技术服务部门编制。

(2) 2006年6月3日发布了中华人民共和国卫生部令第55号《放射工作人员职业健康管理暂行办法》，规定了“放射工作人员证”的管理，规定了从事放射工作的放射工作人员基本条件，包括放射防护与法规培训、个人剂量监测和职业健康管理要求。管理办法第五条规定如下：

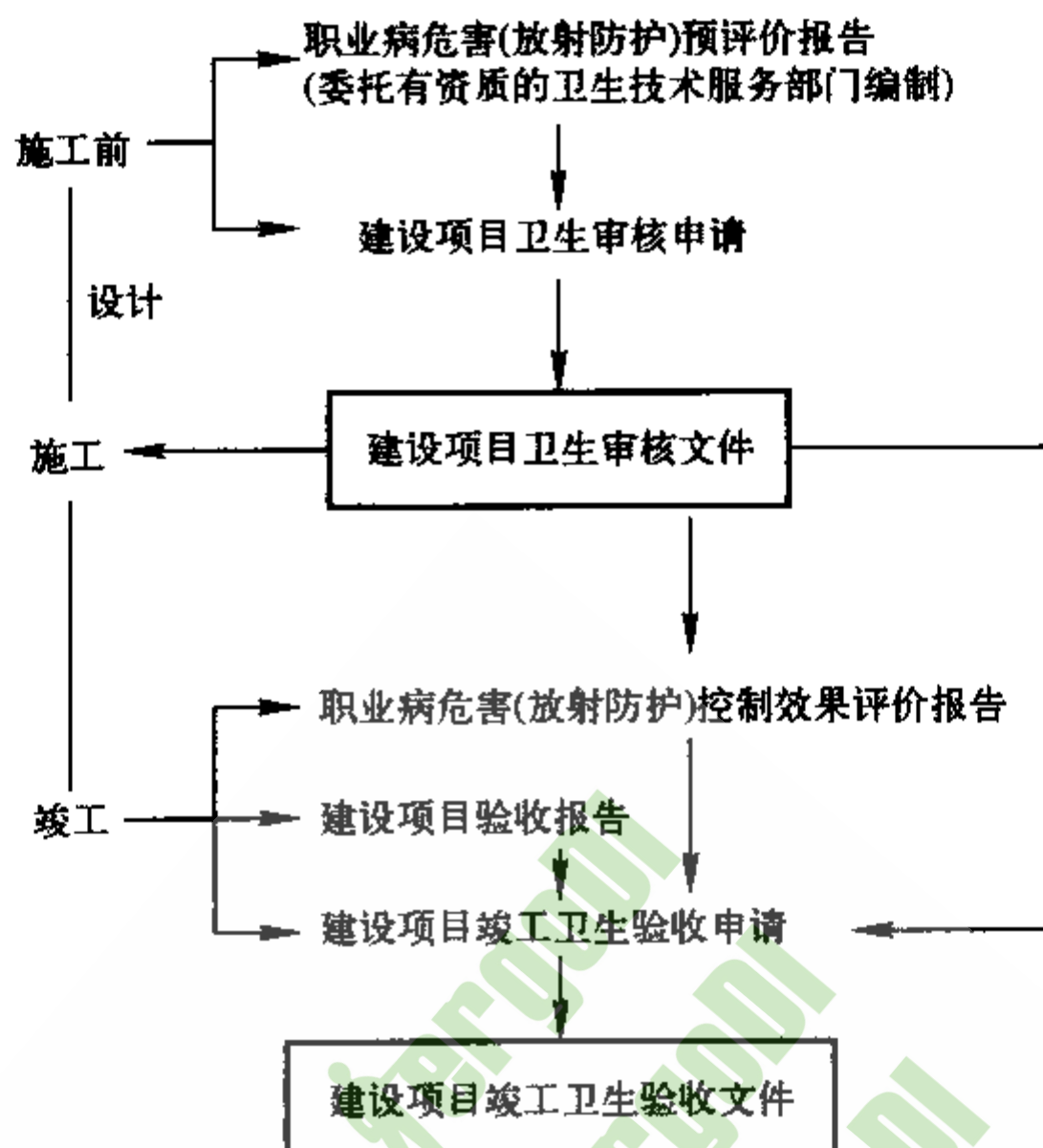


图 1.1 卫生行政审查程序

第五条 放射工作人员应当具备下列基本条件：

- (一) 年满 18 周岁；
- (二) 经职业健康检查，符合放射工作人员的职业健康要求；
- (三) 放射防护和有关法律知识的培训考核合格；
- (四) 遵守放射防护法规和规章制度，接受职业健康监护和个人剂量监测管理；
- (五) 持有《放射工作人员证》。

1.4 放射性同位素与射线装置许可管理与分类

(1) 依据国务院 449 号令，国家环境保护总局发布了《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及其他配套法规，规定了放射性同位素与射线装置分类的辐射安全许可证管理规范，应向环

境保护管理部门详细咨询并认真执行,实施相关的管理。

(2) 按国家环境保护总局 62 号令,放射源分类如下:

参照国际原子能机构的有关规定,按照放射源对人体健康和环境的潜在危害程度,从高到低将放射源分为 I、II、III、IV、V 类, V 类源的下限活度值为该种核素的豁免活度。

1) I 类放射源为极高危险源。在没有防护情况下,接触这类源几分钟到 1 小时就可致人死亡;

2) II 类放射源为高危险源。在没有防护情况下,接触这类源几小时至几天可致人死亡;

3) III 类放射源为危险源。在没有防护情况下,接触这类源几小时就可对人造成永久性损伤,接触几天至几周也可致人死亡;

4) IV 类放射源为低危险源。基本不会对人造成永久性损伤,但对长时间、近距离接触这些放射源的人可能造成可恢复的临时性损伤;

5) V 类放射源为极低危险源。不会对人造成永久性损伤。

(3) 按国家环境保护总局 26 号令,射线装置分类如下:

根据射线装置对人体健康和环境可能造成危害的程度,从高到低将射线装置分为 I 类、II 类、III 类。按照使用用途对医用射线装置和非医用射线装置分别分类。

1) I 类为高危险射线装置,事故时可以使短时间受照射人员产生严重放射损伤,甚至死亡,或对环境造成严重影响;

2) II 类为中危险射线装置,事故时可以使受照人员产生较严重放射损伤,大剂量照射甚至导致死亡;

3) III 类为低危险射线装置,事故时一般不会造成受照人员的放射损伤。

常用的射线装置按表 1.2 进行分类。编者认为,表 1.2 中的重离子治疗加速器和质子治疗装置应属于 I 类医用射线装置。

表 1.2 射线装置分类表

装置类别	医用射线装置	非医用射线装置
I 类射线装置	能量大于 100 MeV 的医用加速器	生产放射性同位素的加速器(不含制备 PET 用放射性药物的加速器) 能量大于 100 MeV 的加速器
II 类射线装置	放射治疗用 X 射线、电子束加速器	工业探伤加速器
	重离子治疗加速器	安全检查用加速器
	质子治疗装置	辐照装置用加速器
	制备正电子发射计算机断层显像装置(PET)用放射性药物的加速器	其他非医用加速器
	其他医用加速器	中子发生器
	X 射线深部治疗机	工业用 X 射线 CT 机
	数字减影血管造影装置	X 射线探伤机
III 类射线装置	医用 X 射线 CT 机	X 射线行李包检查装置
	放射诊断用普通 X 射线机	X 射线衍射仪
	X 射线摄影装置	兽医用 X 射线机
	牙科 X 射线机	
	乳腺 X 射线机	
	放射治疗模拟定位机	
	其他高于豁免水平的 X 射线机	

1.5 相关的国家标准和技术规范

- (1) GB18871—2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》
- (2) GB14052—1993《安装在设备上的同位素仪表的辐射安全性能要求》
- (3) GB11806—2004《放射性物质安全运输规程》
- (4) GB4075—2003《密封放射源 一般要求和分级》
- (5) GBZ115—2002《X 射线衍射仪和荧光分析仪卫生防护标准》

- (6) GBZ125—2002《含密封源仪表的卫生防护标准》
- (7) GBZ127—2002《X射线行李包检查系统卫生防护标准》
- (8) GBZ137—2002《含密封源仪表的卫生防护监测规范》
- (9) GBZ142—2002《油(气)测井用密封型放射源卫生防护标准》
- (10) GBZ143—2002《集装箱检查系统放射卫生防护标准》
- (11) GBZ114—2006《密封放射源及密封 γ 放射源容器的放射性防护标准》
- (12) GB15849—1995《密封放射源的泄漏检验方法》

2 放射源检测仪表概述

2.1 检测仪表的特点

放射源检测仪表是辐射式检测仪表之一,它是利用辐射与物质相互作用时发生吸收、散射或电离、激发等效应,取得有关物质的微观、宏观信息,对非电离参数实现检测和控制的一种仪表。检测仪表具有下列特点:

- (1) 不接触被测对象,是一种非破坏性的检测工具;
- (2) 可在各种现场条件下,如高温、高压、高黏度、高腐蚀和高毒性等情况下,对非密封和密封容器内物料的非电参数进行检测和控制;
- (3) 检测灵敏度高,响应速度快;
- (4) 可以连续测量、输出电信号,实现生产过程自动控制;
- (5) 许多仪表可以做到体积小,重量轻,便于安装;
- (6) 应用范围广。

放射性核素源中,不稳定的原子核自发地向稳定状态转化,称为核衰变,同时释放粒子或射线。人们不可能用机械的、化学的方

法终止这种转化。不论在检测仪表使用时或停用时,放射性核素源总是持续不断地发出粒子或射线,但发射能力可随时间减弱,不同源减弱快慢不等,决定于其自身特性。

放射源释放的粒子或射线是可以直接或间接产生电离的辐射,称为致(可以引起)电离的辐射。当辐射作用于人体,达到一定量时,将产生健康影响,国家将放射源列为第七类危险物品。对于放射线,是可以防护的,例如用放射源屏蔽容器吸收和衰减辐射。在应用检测仪表进行有益的检测工作的同时,要通过防护措施和防护设施防止放射线对人体的不必要照射。

放射源检测仪表往往安装在工业生产线上,现场条件多种多样,对放射源和放射源容器的保安管理是十分重要的。由于放射源的核衰变特性,对于用旧了或不继续使用的放射源,仍然是危险物品,必须专门收贮,禁止随意抛弃。

2.2 检测仪表类别

按辐射的作用方式,放射源检测仪表分为强度测量型仪表、电离式仪表、荧光仪表。虽然属于射线探伤类的数字图像处理型仪表、在线活化分析及实验室能谱分析仪等类仪表,也属于此类仪表,本书不涉及这些内容。它们的放射防护与安全问题可以参考有关资料和本系列培训教材的其他相关部分。

2.2.1 强度测量型仪表

强度测量型仪表定义为:“通过有、无待测物时粒子注量的变化或探测粒子与物质相互作用所产生的次级粒子的注量来检测有关量的一种仪表”。这里,“注量”指一定时间内射入仪表的探测器灵敏体积内的粒子数。

强度测量型仪表按其工作原理可以分为透射式仪表和散射式仪表。透射式仪表的探测器和放射源位于被测物的两侧,三者排列在同一直线上。散射式仪表的探测器和放射源位于被测物的同侧,三者呈三角状排列(见图 2.1~图 2.3)。

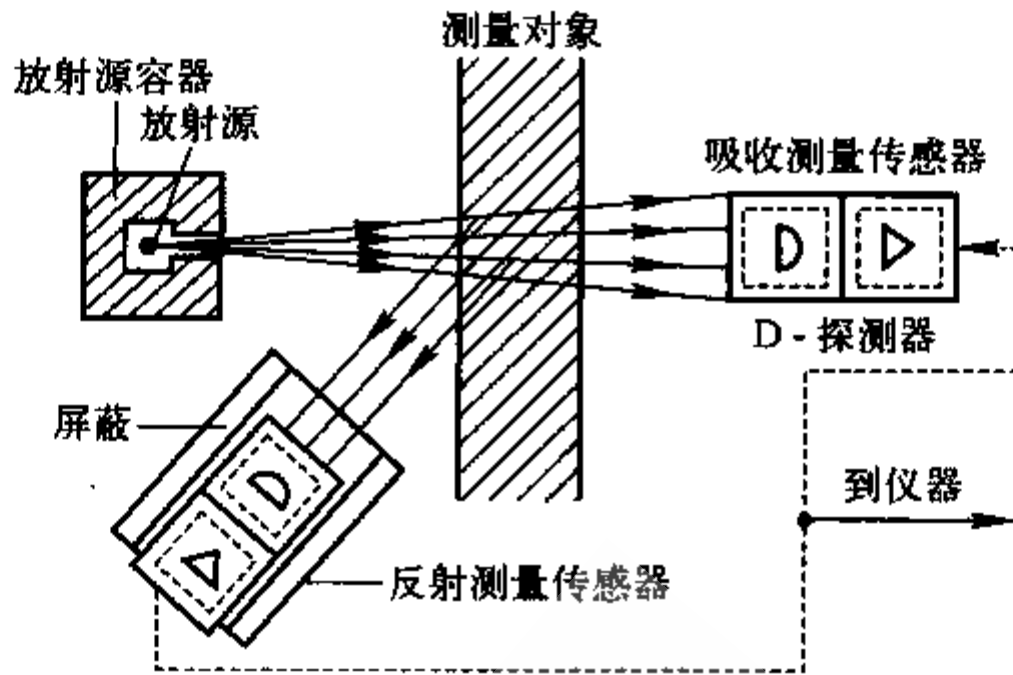


图 2.1 检测仪表的一般工作模式

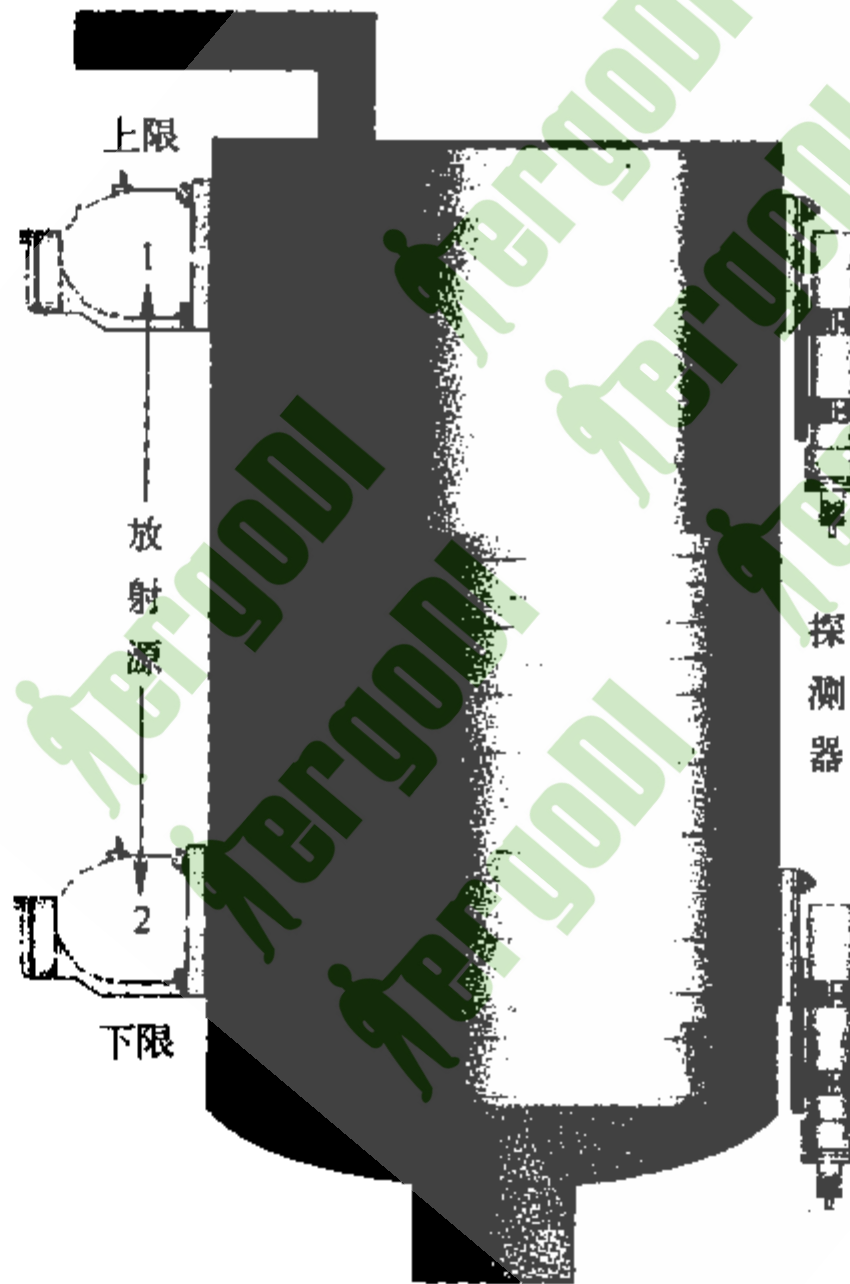


图 2.2 料位计的检测示意图

源 1 检测上料位, 源 2 检测下料位,
若源 1 和源 2 之间为线状源, 可进行料位连续检测

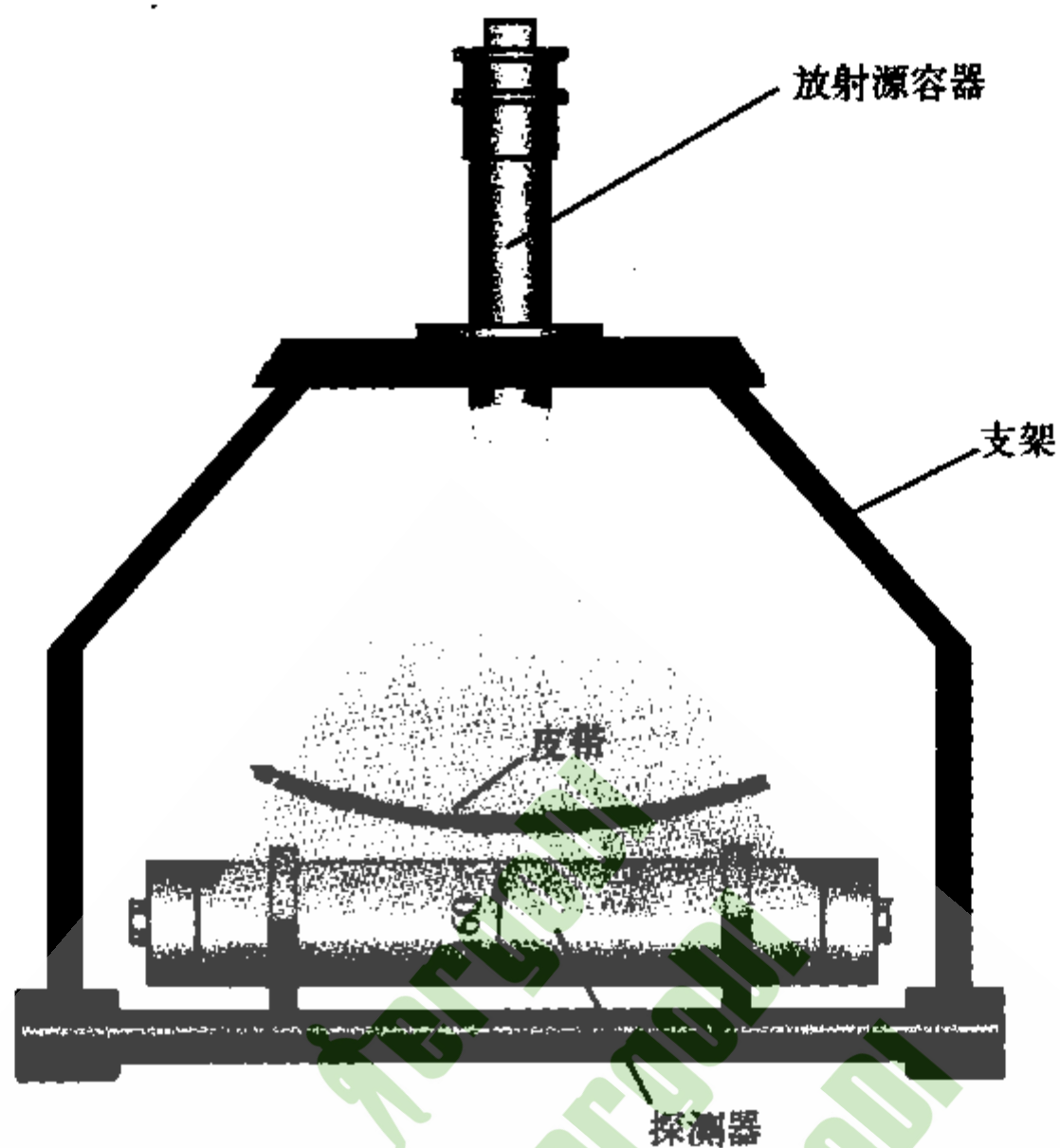


图 2.3 核子秤示意图

(1) 透射式强度测量型仪表

放射源发射的放射线(粒子)在物质中被吸收,随物质的厚度呈负指数衰减[式(1)],依此原理制成料(液)位计、厚度计、密度计等。

$$I = I_0 e^{-\mu L} = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho L} \quad (1)$$

式中: I_0 为单位时间入射粒子数(s^{-1});

I 为单位时间穿透物质的粒子数(s^{-1});

μ 为物质的线衰减系数(cm^{-1}),与物质的组成和密度有关;

μ/ρ 为物质的质量衰减系数(cm^2/g),仅与物质的组成有关,而与密度无关;

ρ 为物质的密度(g/cm^3);

L 为物质的线厚度(cm)。

显然,与 I_0 比较,由 I 的测量值是否变化可以判断物料是否达到了仪表的探测器欲控制的位置(料位计);由 I 的变化量可以知道一定组成的物质的厚度(厚度计);由一定组成、一定厚度的物质中 I 的变化可以知道物质的密度(密度计)。对于以一定速度传输的物料,当测出其运输速度及运输物料的质量厚度时,则可以由此二者及物料宽度、密度的乘积确定物料的输运量。由此,在厚度计的基础上建立了核子秤。

(2) 散射式强度测量型仪表

β 放射源射出的 β 粒子在金属表面被反散射。通过反散射粒子的测量可以确定金属薄层的厚度,常用锶-90(^{90}Sr)源测量金属表面镀层的厚度。

γ 射线射入物质可以发生“康普顿”散射,散射光子的能量低于入射光子的能量,散射粒子的强度和能量随散射角度和散射物质变化,通过散射光子的测量可以确定散射物质的厚度或密度。常用放射源为镅-241(^{241}Am)和铯-137(^{137}Cs)源。

中子仪表常用 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源,中子入射到轻物质中发生弹性或非弹性碰撞,通过散射中子的测量可以确定物质中轻组分(如水、油)的含量。此类仪表广泛用于测量土壤、路基中的水分含量以及油田测井等。

2.2.2 荧光仪表

放射源的射线轰击样品,使之受激发,在其恢复到稳定基态的同时发出能标识该样品特征的 X 射线。通过特征 X 射线的测量确定样品的成分和各成分的含量。此类仪器称为 X 射线荧光分析仪。测定人体骨骼中是否缺钙的一种医学检查仪器(骨密度仪)就是此类荧光仪表。钚-239(^{239}Pu)、钋-210(^{210}Po) α 源和镅-241(^{241}Am) γ 源是常用的放射源。

2.2.3 电离型仪表

电离型仪表是基于放射源射出的 α 粒子与气体作用发生电离

的原理而制成的仪表。感烟式火灾报警器就是一个实例。火灾的发生和发展经历由阴燃生烟到火光明燃两个阶段。报警器能够在阴燃阶段发出报警讯号,以期把火扑灭在未成灾的阶段。报警器的探头内装有两个带有约 80 kBq 镅-241(^{241}Am)的配对电离室,一个是密封的,另一个容易让外部的空气进入。在阴燃阶段,浓烟进入非密封的电离室,改变了电离电流量,破坏了两个电离室原有输出电流的平衡关系,从而触发报警电路发出警报。

2.3 常见放射源检测仪表

常见放射源检测仪表的类型、用途及其所使用的放射源列于表 2.1 和表 2.2。另一类以 X 射线管和加速器为辐射源的检测装置见第 5 章和第 6 章。

表 2.1 常用放射源检测仪表(荧光放射型和电离型)

荧光仪表 (散射式)	钙铁分析仪: 1 GBq (30 mCi) ^{239}Pu
	煤粉灰分仪: 3.7 GBq (100 mCi) ^{241}Am 1~1.9 GBq (30~50 mCi) ^{137}Cs
	水泥灰分仪: 150~370 MBq (4~10 mCi) ^{210}Po
	骨密度仪: 3.7 GBq(100 mCi) ^{241}Am
	黄金成色分析仪、防伪仪: 1 GBq (30 mCi) ^{241}Am
电离型仪表	火灾报警器: $2 \times 74 \text{ kBq}$ ($2 \times 2 \mu\text{Ci}$) ^{241}Am
	静电消除仪: 约 37 MBq (约 1 mCi) ^{210}Po 、 ^{147}Pm
	避雷针仪: 370 MBq (10 mCi) ^{241}Am

表 2.2 常用放射源检测仪表(强度测量型)

透射式	料位计: 牙膏等轻小物料37~370 MBq (1~10 mCi) ^{90}Sr 易拉罐、钢瓶;水泥(钢铁、玻璃等 料斗、料仓)37~370 MBq (1~10 mCi) ^{137}Cs 、 ^{60}Co
	厚度计: 塑料薄膜(5~50 g/m ²)类 370 MBq (10 mCi) ^{210}Po 、 ^{239}Pu 纸张橡胶(50~10 ⁴ g/m ²)类 1~3.7 GBq (30~100 mCi) ^{85}Kr 、 ^{90}Sr 、 ^{147}Pm 、 ^{204}Tl 玻璃、钢板(10 ⁴ ~10 ³ g/m ²)类 3.7~37 GBq (100~1 000 mCi) ^{241}Am 37~370 GBq (1~10 Ci) ^{137}Cs 、 ^{60}Co 烟草类3.7 GBq (100 mCi) ^{241}Am
	核子秤: 煤、水泥1.9~3.7 GBq (50~100 mCi) ^{137}Cs
	密度计: 烟草1 GBq (30 mCi) ^{90}Sr 厘米级直径管内容物 7.4 GBq (200 mCi) ^{241}Am 大直径管内容物 10~74 GBq (300~2 000 mCi) ^{137}Cs
	整装货包检查装置: 整装货包 3.7~11 GBq (100~300 mCi) ^{60}Co
散射式	厚度计: 表面镀层3.7~370 MBq (0.1~10 mCi) ^{14}C 、 ^{147}Pm 、 ^{90}Sr 、 ^{204}Tl
	密度计: 传输物料及溶液 7.4 GBq (200 mCi) ^{241}Am 、 ^{137}Cs 土壤、路基的密度 0.1~1 GBq (3~30 mCi) ^{137}Cs
	中子仪表: 充油、水的厚容器壁厚度测量 1.5~3.7 GBq (40~100 mCi) $^{241}\text{Am-Be}$ 糖、沥青、混凝土型矿、烧结 1.5~3.7 GBq (40~100 mCi) $^{241}\text{Am-Be}$ 矿中含水量、土壤或路基中的水分 1~3.7 GBq (30~100 mCi) $^{241}\text{Am-Be}$

3 放射源检测仪表的辐射防护性能

3.1 密封源

3.1.1 密封源性能分级

(1) 密封源性能分级标准

为了保证使用密封源的检测仪器的安全,对密封源的基本要求是:源的外表面无污染;放射性物质不泄漏。即使在使用、存放过程中环境温度和压力发生变化或出现了一定的酸、碱、盐有侵蚀性的环境条件,或源受到冲击、振动以及尖锐物体的击刺时,源的密封性仍保持在可容许的水平。

我国 GB15849“密封放射源的泄漏检验方法”和 GB4075“密封放射源 一般要求和分级”中,把密封源的性能按温度、外压、冲击、振动、穿刺五个项目分级,表 3.1 列出了密封源性能分级,按相应分级标准检出源表面放射性污染的活度应小于185 Bq。

(2) 检测仪表中的密封源质量要求

根据检测仪器的不同使用条件,对密封源有不同的质量要求,表 3.2 列出了本篇范围内的以及其他应用的一些典型情况下对密封源性能的要求。

在密封源的试制和型式检验时必须按表 3.2 的项目检验。对生产的每个密封源均应进行表面污染和泄漏检验,此两种检验可在同一个源上进行。通常采用湿擦法或浸泡法,有时也采用干擦法、煮沸浸泡法进行放射性检验。使用这些方法的一种或几种,检出全部检验液体的总放射性活度小于 185 Bq 时,认为源是合格的。在检出活度大于 185 Bq 时,应首先清洗源,而后进行二次检验,以判断是属于表面污染还是属于放射性物质泄漏。有时,也使用非放射性检验方法,如真空鼓泡、热液体鼓泡、气体加压鼓泡法、

表 3.1 密封源性能分级(用 5 个数字表示)

检验项目	级 别					X	
	1	2	3	4	5		6
温度	免检	-40 °C (20 min) +80 °C (1 h)	-40 °C (20 min) +180 °C (1 h)	-40 °C (20 min) +400 °C (1 h) 及 400 °C 到 20 °C 的热冲击	-40 °C (20 min) +600 °C (1 h) 及 600 °C 到 20 °C 的热冲击	-40 °C (20 min) -800 °C (1 h) 及 800 °C 到 20 °C 的热冲击	特殊检验
外压力	免检	由绝对压力 25 kPa 至 至大气压	由绝对压力 25 kPa 至 2 MPa	由绝对压力 25 kPa 至 7 MPa	由绝对压力 25 kPa 至 70 MPa	由绝对压力 25 kPa 至 170 MPa	特殊检验
冲击	免检	50 g, 下落距离 1 m 或等值冲击能	200 g, 下落距离 1 m 或等值冲击能	2 kg, 下落距离 1 m 或 等值冲击能	5 kg, 下落距离 1 m 或 等值冲击能	20 kg, 下落距离 1 m 或等值冲击能	特殊检验
振动	免检	在 49 ms ⁻² (5 g) * 条件下 25 Hz 至 500 Hz 试验 3 次, 每次 10 min	在 49 ms ⁻² (5 g) * 条件下 25 Hz 至 50 Hz, 在峰与峰之间振幅为 0.635 mm 时, 50 Hz 至 90 Hz 和在 98 ms ⁻² (10 g) * 条件下 90 Hz 至 500 Hz。以上均试验 3 次, 每次 10 min	在峰与峰之间振幅为 1.5 mm 时, 25 Hz 至 80 Hz 和在 196 ms ⁻² (20 g) * 条件下 80 Hz 至 2 000 Hz。以上均试验 3 次, 每次 30 min	不需要	不需要	特殊检验
穿刺	免检	锤重 1 g, 下落距离 1 m 或等值冲击能	锤重 10 g, 下落距离 1 m 或等值冲击能	锤重 50 g, 下落距离 1 m 或等值冲击能	锤重 300 g, 下落距离 1 m 或等值冲击能	锤重 1 kg, 下落距离 1 m 或等值冲击能	特殊检验

注: * 加速的最大振幅。

表 3.2 典型使用时的密封源级别(性能)要求

密封源的使用方式	密封源检验级别(由检验确定)				
	温度	压力	冲击	振动	穿刺
工业射线照相 密封源	4	3	5	1	5
装置中源	4	3	3	1	3
医疗 射线照相	3	2	3	1	2
γ 射线远距离治疗	5	3	5	2	4
近距离治疗*	5	3	2	1	1
表面敷贴器**	4	3	3	1	2
γ 仪表(中、高能) 无防护源	4	3	3	3	3
装置中源	4	3	2	3	2
β 仪表、低能 γ 仪表, X 射线荧光分析**	3	3	2	2	2
油田测井	5	6	5	2	2
便携式湿度计和密度计(包括手提或车载)	4	3	3	3	3
一般中子源应用(不包括反应堆启动)	4	3	3	2	3
仪器刻度源, 活度 $> 1 \text{ MBq}$	2	2	2	1	2
γ 辐照源 I 类**	4	3	3	2	3
II、III 和 IV 类***	5	3	4	2	4
离子发生器 色谱	3	2	2	1	1
静电清除器	2	2	2	2	2
感烟探测器**	3	2	2	2	2

注: * 这种类型的源在使用时可能会严重变形, 生产者和使用者应商定附加品或专门的检验程序;

** 不包括充气源;

*** 可以用装置中源或源组件作检验。

氮加压法、氮质谱法等。此外, 对防火、防爆、防腐蚀等特殊使用要求的源, 应补充相应的检验。

密封源的生产厂家负责密封源质量的直接检验, 出厂的每个

密封源必须具有检验合格证。生产源容器(装有密封源)和带有密封源的检测仪表的单位,需将密封源生产厂的质量检验合格证件作为随同产品供货的文件给予用户。

3.1.2 不同穿透能力的放射源

(1) α 放射源(如 ^{210}Po 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am)可以用电镀、粉末冶金、陶瓷烧结法制取,主要用于烟雾探测器、静电消除器和放射性避雷器的离子发生器。 α 粒子在物质中穿透能力弱(表 3.3),一张普通的纸就可以完全阻挡。防护重点是防止 α 放射源因破损而泄漏。静电消除器使用线状 ^{210}Po 源的线比活度(指单位长度的活度)为 30 MBq/cm,通常长度为 13~120 cm,距源表面 1 cm 处的 X、 γ 射线剂量率为 6.5 $\mu\text{Gy/h}$ 。 ^{238}Pu 线源的线比活度为 7.4 MBq/cm,对于长度 20 cm 的源,距源表面 10 cm 处的 X、 γ 射线剂量率为 33 $\mu\text{Gy/h}$,1 m 处为 0.7 $\mu\text{Gy/h}$ 。外照射不是主要危害因素。

表 3.3 α 粒子在物质中的射程

核素	半衰期	能量 /MeV	射 程/ μm		
			空 气	生物组织	铝
^{210}Po	1.38 E2 d	5.30	3.8 E3	4.7 E1	2.5 E1
^{239}Pu	2.44 E4 a	5.14	3.7 E3	4.5 E1	2.4 E1
^{241}Am	4.33 E2 a	5.48	4.0 E3	4.9 E1	2.9 E1

(2) β 放射源(如 ^{63}Ni 、 ^{57}Co 、 ^{147}Pm 、 ^{90}Sr - ^{90}Y)主要用于测厚仪和色谱分析仪,其制取工艺的类型与 α 源相同,此外还可用填充法制取低活度 β 源,如将 ^{85}Kr 气体直接密封在容器中。 β 粒子在铝中的穿透厚度小于 4 mm(表 3.4),常用有机玻璃、铝、塑料等轻物质防护。防护重点为:防止源的破损与泄漏;防止源与被检物之间的缝隙泄漏 β 反散射粒子;减少高能量、高强度 β 粒子所产生的韧致辐射。

X 射线荧光分析仪使用低能光子源,它可以是发射低能 γ 射

线和 X 射线的放射性核素(如¹²⁵I、¹⁷⁰Tm、²³⁸Pu、²⁴¹Am),也可以是利用 β 辐射体与靶物质产生的韧致辐射制成的源(如³H/Zr 靶、¹⁴⁷Pm/Al 靶、⁸⁵Kr/C 靶、⁹⁰Sr/Al 靶)。此类源的低能光子容易被重物质屏蔽,防护重点是散射线的局部泄漏。

表 3.4 β 粒子的能量和在物质中的射程

核 素	半衰期	β 最大能量/MeV	Al 中的射程/mm
³ H	12.3 a	0.018 6	0.002 3
¹⁴ C	5 692 a	0.155	0.11
⁶³ Ni	100 a	0.065 9	0.023 6
⁸⁵ Kr	10.7 a	0.672	0.885
⁹⁰ Sr	28.1 a	0.546	0.678
⁹⁰ Y*	64 h	2.26	4.0
¹⁴⁷ Pm	2.62 a	0.255	0.187

注: * ⁹⁰Y 为⁹⁰Sr 的子体。

(3) γ 射线源 与低能光子源相比,γ 射线源能量较高,以单层或双层包壳密封,常用⁶⁰Co、¹³⁷Cs 源,活度范围为 10⁶~10¹² Bq,源的物理参数见表 3.5。与 α、β 源相比,此类源穿透物质的能力强,重点问题是对这种贯穿辐射的屏蔽。

表 3.5 γ 粒子的能量与辐射输出量

核 素	半衰期	γ 能量/MeV	Kr* /[(mGy·m ² /h) /(3.7×10 ¹⁰ Bq)]
⁵⁷ Co	270 d	0.122	0.847
⁶⁰ Co	5.26 a	1.17;1.33	11.5
¹²⁵ I	59.7 d	0.035	1.37
¹³⁷ Cs- ¹³⁷ Ba ^m	30.2 a	0.66	2.82
²⁴¹ Am	433 a	0.057	0.163

注: * Kr,指距 3.7×10¹⁰ Bq(1 Ci)源 1 m 处的空气比释动能率(mGy/h)值。

(4) 中子源 $^{241}\text{Am-Be}$ 是目前使用最多的中子源,中子的最大能量为 11.5 MeV,平均能量 5 MeV,中子产额为 5.9×10^4 (n/s)/GBq。含 37 GBq(1 Ci) ^{241}Am 的镅-铍源的中子产额为 2.2×10^6 n/s,在距其 1 m 处的中子剂量当量率为 $25 \mu\text{Sv/h}$ 。镅-铍源的中子在聚乙烯、水、普通混凝土中的十分之一减弱层分别为 17.5、19 和 33 cm。常用石蜡、聚乙烯、塑料作为主防护材料,也配合使用重物质防护 ^{241}Am 的 γ 辐射和中子被俘获所产生的 γ 辐射。

3.1.3 检测仪表选用放射源的原则

据仪表检测要求和放射源的特性,以最优化原则选用放射源。其主要考虑如下:

- ① 化学性质稳定、密封牢固、符合密封性能质量检验要求;
- ② 优先选用半衰期长、活度小、毒性低、贯穿能力弱的源;
- ③ 所发射的辐射具有合适的能量或能谱;
- ④ 比活度高;
- ⑤ 源的形状和尺寸便于使用、操作、安装;
- ⑥ 除直接使用的射线外, γ 射线发射率低,易防护;
- ⑦ 价格低廉、易于得到。

3.2 对检测仪表的放射防护要求

3.2.1 源容器

源容器指检测仪表中的密封源工作容器,它包括屏蔽体、准直器、源托、源闸。

屏蔽体提供了足够的屏蔽防护,以使周围的辐射剂量水平低于规定的数值。多数源容器使用铅为屏蔽材料。有时,在靠近放射源的局部,使用钨合金或贫化铀材料,可以减小源容器的重量和体积。在屏蔽体外表面,有铸铁或钢壳层。在屏蔽体上,设有准直器孔,它是用于检测的辐射束(即有用束)的通道。

源托是能把密封源可靠地安放到正确的几何位置的托架。托架必须可靠固定密封源,使源不会意外脱出源容器。托架的材料

应耐用,并能耐受放射源的辐射照射。

放射源在源容器的安装,相对有用束准直器,有背装式和侧装式。少数源容器中,以旋转或平移方式移动放射源,使之处于有用束照射位置或离开有用束的贮源位置。图 3.1 是一种源容器结构的示意图。多数源容器上,设有控制有用束“通”、“断”的源闸以及照射状态(源闸开、关状态)指示器件。有一些生产线上的纸张、金属板厚度测量仪表等,源闸的开启和关闭与物料联动,在有物料需检测时,源闸自动开启,物料离开自动关闭。

参照 GBZ114、GBZ125、GBZ115、GB14052 等国家标准,对源容器的放射防护要求如下:

(1) 放射源在源容器中必须牢固、可靠地固定,且固定方式便于源的安装和拆卸。

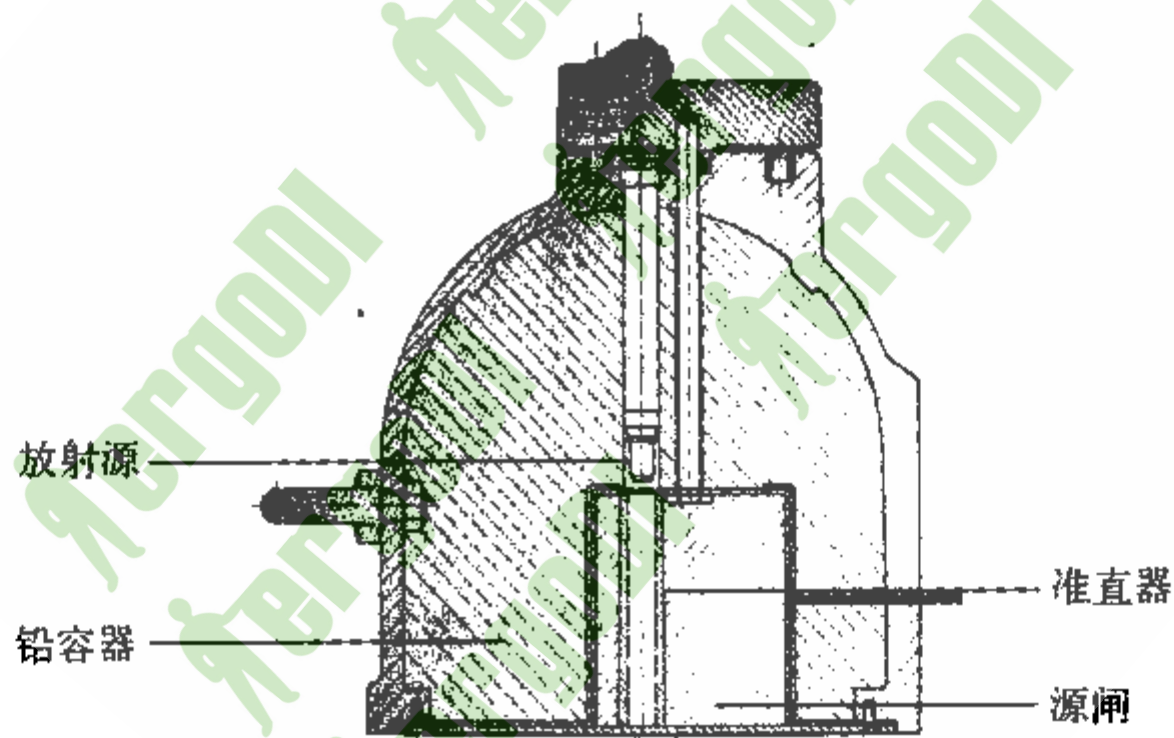


图 3.1 源容器结构示意图(图中源闸处于开启状态)

(2) 源容器必须按照表 3.6 进行泄漏辐射剂量当量率、正常工作条件下的最高和最低温度、源闸耐力及抗火能力实验。在源容器的标牌上,需标明它所达到的安全性能等级。图 3.2 列出了标示检验结果的代号。

表 3.6 测量仪表的安全性分级

试验项目		等 级					
		0	1	2	3	4	5*
剂量当量率 H^{**}	在 5 cm 处 在 1 m 处	$1 \text{ mSv/h} < H$ $0.1 \text{ mSv/h} < H$	$0.5 < H \leq 1 \text{ mSv/h}$ $25 < H \leq 100 \mu\text{Sv/h}$	$0.05 < H \leq 0.5 \text{ mSv/h}$ $7.5 < H \leq 25 \mu\text{Sv/h}$	$7.5 < H \leq 50 \mu\text{Sv/h}$ $2.5 < H \leq 7.5 \mu\text{Sv/h}$	$H \leq 7.5 \mu\text{Sv/h}$ $H \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$	专门试验 专门试验
	正常工作条件下的适应能力	50 °C 10 °C G1314052-93 的表 3 内规定的操作次数	100 °C 0 °C G1314052-93 的表 3 内规定的操作次数	150 °C -10 °C G1314052-93 的表 3 内规定的操作次数的 2 倍	200 °C -20 °C G1314052-93 的表 3 内规定的操作次数的 5 倍	400 °C -40 °C G1314052-93 的表 3 内规定操作次数的 8 倍	专门试验 专门试验 专门试验
抗火能力***	20 min (高达约 780 °C)	20 min (高达约 780 °C)	1 h (高达约 940 °C)	2 h (高达约 1 050 °C)	4 h (高达约 1 150 °C)	专门试验	

注：* 第 5 级为特别危险的安装条件下由用户和制造厂协商规定的试验，然而这种试验的严格程度绝不比第 4 级的低；

** 每台测量仪表(即检测仪表)的 5 cm 处和 1 m 处的剂量当量率，无论源在“防护位置”或在“工作位置”时都按此表分级；

*** 不适用于气体放射源。

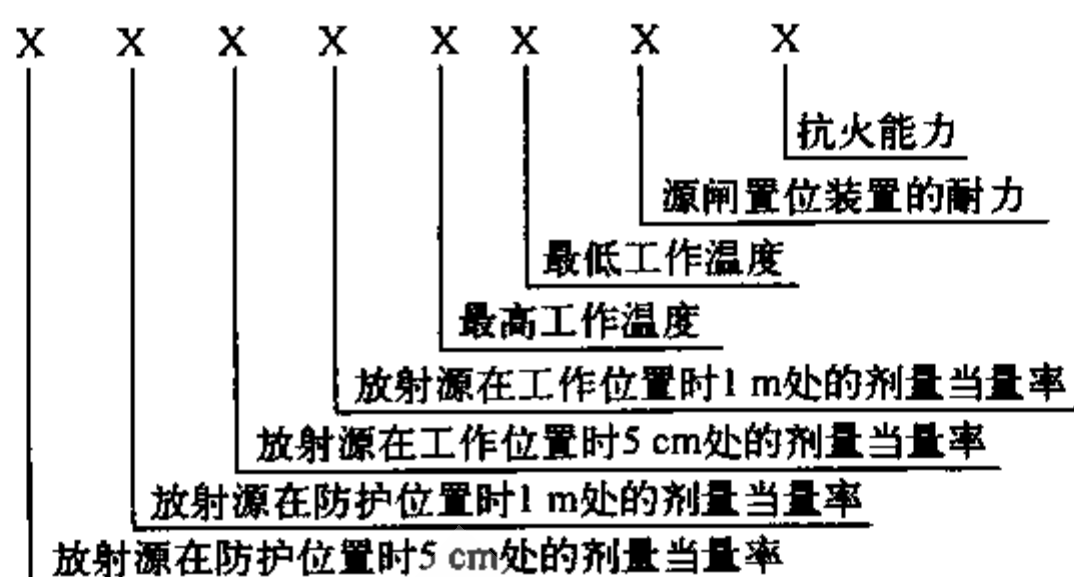


图 3.2 源容器安全性能等级的代号明视图

(在 X 处写明此项检测所达到的相应于表 3.6 的等级号)

(3) 源容器应有由外表面不可直接视见的隐式组装结构,或具备只有使用特殊的专用工具才能组装、拆卸源容器的零部件,使得无专业技能和资格的人员不可能拆卸源部件(如放射源)。

(4) 源容器设有可以开、关有用线束的源闸时,源闸应在“开”、“关”状态分别锁定位置,并有明显的“开”、“关”状态指示。

(5) 源容器对电离辐射的屏蔽作用应达到剂量控制值以下,并符合最优化原则。对于发射 α 、低能 β 、低能 γ 光子的密封源,在源容器、被检物、探测器所围成的区域内,人员可接近的表面外 5 cm 处的外照射剂量当量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(6) 在源容器的外表面有牢固的标牌,除标明安全性能等级外,必须有电离辐射专用标志;内装放射源的核素、活度和活度的测量日期;制造厂家、产品型号和系列号。

(7) X 射线荧光分析仪的源容器(又称源套),在距其外表面 5 cm 的任何非有用束位置,泄漏辐射的剂量率应当小于 $25 \mu\text{Gy/h}$ 。人员可能到达的距分析仪一切外表面(包括分析仪外壳和防护罩)和分析仪遮光器(源闸)外表面 5 cm 处的剂量率应当小于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

3.2.2 检测仪表及其使用场所要求

(1) 在一切可能的使用检测仪表的条件下,受源容器有用线束照射的探测器及其屏蔽体对有用线束要有足够的屏蔽作用,以使其后面的场所中的透射量符合相应的场所剂量控制值。

(2) 不同使用场所的检测仪表外围区域的辐射剂量当量率应当符合表 3.7 所列出的控制值。

表 3.7 检测仪表的使用场所和相应的辐射剂量控制值

检测仪表的使用场所	距边界*外下列距离处的剂量当量率(\dot{H})控制值/ $(\mu\text{Sv/h})$	
	5 cm	100 cm
(1) 对人员的活动范围不限值	$\dot{H} < 2.5$	$\dot{H} < 0.25$
(2) 在距源容器 1 m 区域内很少有人停留	$2.5 \leq \dot{H} < 25$	$0.25 \leq \dot{H} < 2.5$
(3) 在距源容器外表面 3 m 区域内不可能有人进入,或放射工作场所划出了监督区	$25 \leq \dot{H} < 250$	$2.5 \leq \dot{H} < 25$
(4) 只能在特定的放射工作场所使用,并按控制区、监督区分区管理	$250 \leq \dot{H} < 1\,000$	$25 \leq \dot{H} < 100$

注:*“边界”指源容器、被检物、探测器所围成的人员可到达的表面。

对于黄金成色分析仪、人体骨密度测量仪等,在仪表检测窗口以外区域的辐射剂量率可以达到表 3.7 的(1)项要求,而检测窗口前的小立体角区域内的辐射剂量率只能达到表 3.7 的(2)项要求。此时,仪表的操作者、检验样品的持有人、受检人员可以处于仪表近旁。此类仪表的检测窗应有可移动的保护盖(带有屏蔽功能),仪表不使用时检测窗处于关盖状态,并满足表 3.7 的(1)项要求。

(3) 检测仪表的随机文件必须包括:

相应 GBZ125—2002 放射防护要求的技术内容与数据;放射

防护检验合格证;用户操作手册,包括有关放射源和源容器安装、拆卸、检修、运输、贮存、退役、放射事故预防、异常事件应急处置、告知用户必须按国家法规申请辐射安全许可证和职业病危害审核(或备案)注意事项;用户操作手册,包括源容器在工作状态时,相应 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 剂量当量率的等剂量位置图(表)。

(4) 源容器在现场的安装,应有可靠的固定方式,可以使用铆、焊等方式,防止被轻易拆卸。在源容器旁应按放射源保安要求设置保护罩、护网、护栏等安全设施。护栏边界的辐射剂量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(5) 源容器安装场所必须有醒目的带有放射警示标志和警告语句的标牌,即便在高粉尘的场所,标牌仍能保持清晰可见。

4 放射源检测仪表的安全操作与管理

4.1 放射源和其检测仪表的管理

4.1.1 制造厂的职责

放射源、源容器(装有放射源的容器称为源容器,未装放射源的容器称为铅容器)、带有放射源的检测仪表的生产厂家,对其产品生产负有下列职责:

(1) 在行政审管许可和审管批复文件范围内生产和销售。

(2) 涉源操作人员已按《放射工作人员职业健康管理辦法》培训、剂量监测与职业健康管理,获得《放射工作人员证》,并得到用人单位的工作岗位授权。

(3) 保障辐射防护与安全生产条件(包括剂量测量仪器配备、个人防护用品)符合国家法规和标准的要求。

(4) 按放射源保安要求管理放射源、源容器、带有放射源的检测仪表。

(5) 对放射源、源容器、带有放射源的检测仪表的生产进行严格的质量控制,尤其是产品的辐射防护与安全质量,保证出厂产品符合国家标准和产品企业标准。对所包含的放射源,具有源生产单位的密封源质量检验合格证。

(6) 当用户停用、更新或报废源容器、带有放射源的检测仪表时,按供货合同接收售出产品中的放射源、源容器。

4.1.2 放射源检测仪表应用单位的管理规章

检测仪表应用单位应建立放射防护与安全组,制订下列管理规程并建立档案:

(1) 管理组各人员的岗位职责。

(2) 申请订购、迁移、变更检测仪表的行政审批许可和审管批复以及建立检测仪表台账的管理规章。

(3) 检测仪表订购、领用、收贮、运输、退役管理办法和档案。

(4) 放射工作人员管理规章。按《放射工作人员职业健康管理办法》第五条,放射工作人员应当具备的基本条件见 1.3(2)节。

(5) 源容器和放射源检测仪表的保安管理规章。

(6) 检测仪表安装、操作、维修(含换源)、剂量检测规程。

(7) 异常事件与事故的管理和应急处置规定。

4.2 放射源检测仪表使用操作与维护的安全

(1) 涉源的操作者与维护者,必须持有放射工作人员证。

(2) 操作与维护具有贯穿辐射外照射影响因素的检测仪表的工作者,应佩戴个人剂量计,并使用剂量监测仪器在操作与维护检测仪表时实时检测。对不适合佩戴外照射个人剂量计的工作条件,应有场所剂量数据记录。

(3) 应维护检测仪表安装场所的清洁,保持源容器表面上的标牌和安装场所的警告标牌清晰可见。

(4) 应经常、定期检查检测仪表的源闸、锁、固定螺丝等零部件,适量加添润滑剂,防止松动与锈蚀。

(5) 应经常、定期检查检测仪表安装场所护栏区的辐射剂量和安装场所的保安设施状态。

(6) 凡需在源容器附近进行维修操作时,应先关闭源容器的源闸。当必须拆卸放射源有关部件时,如放射源换装,必须由有资格的具有放射工作人员证的人员操作,并应得到维修操作任务指派。操作时要按照辐射防护最优化原则,熟练操作,短缩作业时间,使用长柄夹具加大操作者与源之间的距离,并采取适当的屏蔽措施,使人员的受照剂量控制在“可以合理达到的尽可能低”的辐射水平。操作者必须佩戴个人剂量计并在有剂量报警仪监测的情况下操作。在任何时候,严禁徒手抓拿放射源。

中子测井仪的放射源在仪表外的专用容器存放,每次使用均需进行装源和卸源操作。油田钻井设备移开,专业操作人员使用长柄工具将贮源容器中的放射源安装到长的测井仪上,由钻井口放入井的深层进行检测。应特别注意可靠装源,防止意外失落到井的深处。在应用现场,还应注意放射源的保安管理,防止差错与丢失。油(气)测井的辐射防护详见 GBZ143 标准。

(7) 应注意密封源的质量问题,特别是安装环境差、源包壳薄、使用时间长时尤应注意。在源容器近旁,质量不良的密封源最有可能污染到的区域,每半年应进行一次湿式擦拭取样,并分析拭样的放射性活度,以间接判定密封源的质量。当检修、换装密封源时,应在卸下源的源容器中与源接触的部位进行上述擦拭检测。

(8) 移动式检验仪表的应用,应圈出应用管理区,其边界剂量率应小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。图 4.1 是测井源应用的保安场所示例。在公路上的中子水分仪检测,围栏应可靠并有非常显著的警示,防止高速行驶的重型车辆撞压检测设备。

(9) 气相色谱仪等实验室分析仪器,当其内部装有放射源时,主要为低能 β 源,仪表外表面处为本底辐射水平。维修拆卸放射源和更换放射源是主要的涉源操作环节。必须妥善保管和存放放

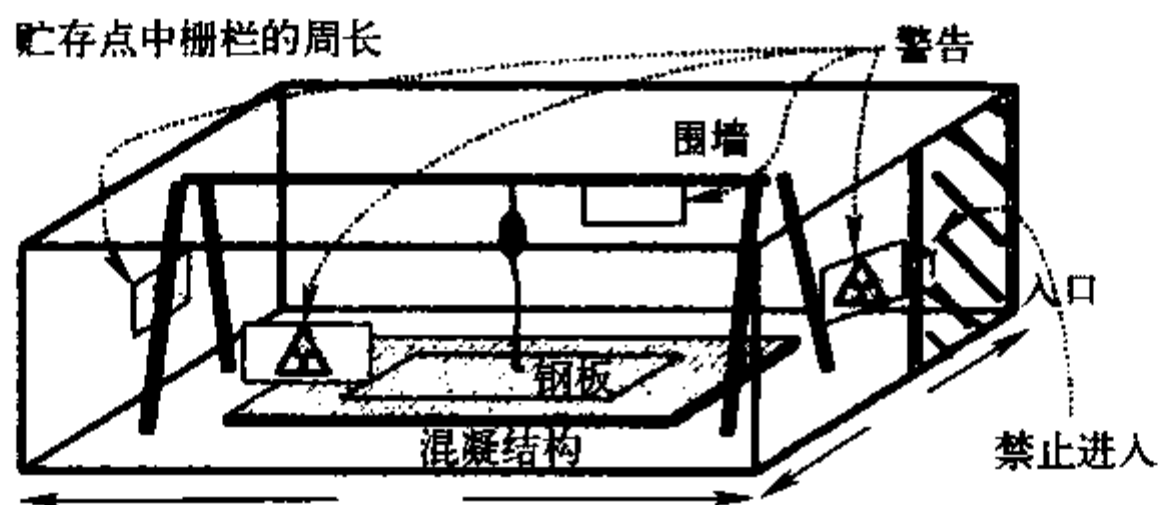


图 4.1 测井源应用的保安场所示例

射源。退役源只能由仪表生产厂收回或送专门的放射源收贮部门,严禁擅自作为一般废品处理。

(10) 当发生密封源失落到源容器外部、密封源(容器)丢失或密封源泄漏等意外情况时,应立即报告单位防护负责人和环保、公安行政管理部门,当发生人员超剂量照射时还需报告卫生行政管理部门。

4.3 源容器的运输要求

(1) 密封源(容器)及使用后的空源容器的运输(包括委托交通、铁路、航运部门运输和自行运输)应遵守“放射性物质安全运输规定”(GB11806),贴有带电离辐射标志的运输级别标签,并持有行政管理部门认可的剂量核查证件运输,严禁伪作非放射性物质运输。运输中必须采取防止密封源丢失、颠翻、散落或被盗的措施,公路运输的自始至终做到运输人员昼夜不离开对车的监视。

(2) 放射源容器运输前,源闸必须锁定于关闭位置,按运输要求包装货包。超过豁免水平的放射源(容器)运输货包按放射源的活度和货包外的辐射剂量率分为四个级别,以运输指数(TI)划分。运输指数(TI)指距货包外表面 1 m 处的最大辐射剂量率为 $10 \mu\text{Gy/h}$ 的倍数。例如指数 $\text{TI}=3$,则距货包表面 1 m

处的最大剂量率为 $30 \mu\text{Sv/h}$ 。此外,货包分级与运输指数(TI)和货包外表面的辐射剂量率水平有关,不同级别货包的标志具有不同的颜色(表 4.1)。放射源检测仪表中的放射源运输容器可能使用仪表工作用的源容器,运输货包常为 I 级或 II 级,个别的可以达到 III 级。

表 4.1 放射性物质货包分级

货包级别	标志颜色	运输指数(TI)	货包表面最大辐射剂量率/(mSv/h)
I	白	0	≤ 0.005
II	黄	≤ 1	≤ 0.5
III	黄	≤ 10	≤ 2
IV	黄(专载)	> 10	≤ 10

在公路运输时,运输车辆外表面和距外表面 2 m 处的辐射剂量率应分别小于 2 mSv/h 和 0.1 mSv/h ,座位处应小于 0.02 mSv/h 。

(3) 运输使用的车辆、司机和助手应按国家公安等有关管理部门的规定取得相应资质。运输应按经行政审批批准的运输计划实施。运输中应有辐射安全员(助手可兼)。运输车上应按国家有关管理部门的要求配备剂量监测仪表、消防器材、GPS 定位设备(必要时)、放射性危险品运输警示牌等安全设施。

4.4 放射源容器和带放射源的检测仪表的贮存要求

(1) 除现场安装的放射源检测仪表外,一切放射源容器和放射源检测仪表必须在专用贮源室存放。

(2) 贮源室应远离易燃、易爆等危险物品场所,专门设置。放射性物品不与易燃、易爆、有腐蚀性的物品同室贮存。

(3) 贮源室应有适当的屏蔽,室外表面处的辐射剂量率应小

于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。

(4) 贮源室应防盗、防火、防爆、防腐蚀、防湿潮。贮源室应按保安审管要求设置保安设施,如专用双锁防盗门、电离辐射警示标志、必要的摄像监视和开门报警设施等。

(5) 贮源室应建立收贮台账,做到账物相符,室内一切放射源和检测仪表都有台账,每项台账均记载收贮序号及在贮源室内的收贮位置。

(6) 贮源室由双人管理,各自独立持有不可互换的开门锁匙。应建立放射源、检测仪表领取、借出、收回登记和安全状态检查制度;应有定期清点和剂量测量制度。

(7) 贮源室一般不用作长期贮存。单位不购买无近期使用计划的放射源和检测仪表。不复使用的和报废的放射源、检测仪表,及时按行政审管程序转让或退回生产厂家或送专用放射性废物收贮部门。

5 放射源检测仪表的辐射安全

5.1 放射源的辐射危险

5.1.1 潜在照射概念

(1) 潜在照射:有一定把握预期不会受到但可能会因源的事故或某种具有偶然性质的事件或事件序列(包括设备故障和操作错误)所引起的照射。

(2) 应对个人所受到的潜在照射危险加以限制,使来自各项获准实践的所有潜在照射所致的个人危险与正常照射剂量限值相应的健康危险处于同一数量级水平。

5.1.2 放射源的危险活度

(1) 大于危险活度的放射源在意外失控情况下,使人体受到

辐射照射,可能引起严重的确定性效应,表 5.1 列出了放射事故意外时可能产生的严重确定性效应和参考照射剂量。放射源的活度超过一定值时,在假设的意外情景下可能发生这样的严重的确定性效应,称此类源的最小活度为“危险活度”(以符号 D 表示),表 5.2 列出了不同核素源的危险活度。相应的意外外照情景可能是:放射源(未漏散)整体直接外照射;当源失控并遭破坏时可能发生漏散放射性物质污染,其转移至人体内部将造成内照射。

表 5.1 危险放射源所致严重确定性效应的参考剂量

致死性严重不确定性效应

组织	效应	剂量标准
红骨髓	造血功能低下症候群	2 d 内 1 Gy;对太大而难以携带的源,100 h 内 1 Gy
结肠	胃肠道症候群	2 d 内 1 Gy;对太大而难以携带的源,100 h 内 1 Gy
肺	肺炎、肺纤维化	2 d 内 6 Gy(低 LET 辐射); 365 d 内 25 Gy (高 LET 辐射)
皮肤	湿性脱屑或更重病变	对身体的许多部位 2 cm 深度处 25 Gy,或者对手部 1 cm 处 10 h 内 25 Gy

非致死性严重确定性效应

组织	效应	剂量标准
软组织	组织坏死、影响肢体功能	对身体的许多部位 2 cm 深度处 25 Gy,或者对手部 1 cm 处 10 h 内 25 Gy
甲状腺	甲状腺功能低下	365 d 内 5 Gy
眼晶体	混浊和白内障	取“躯干”照射的剂量标准*
生殖器官	生育能力丧失,精子和卵子生成障碍	取“躯干”照射的剂量标准*

注:* “躯干”用于简化由远距源所致的外照射效应,它包括红骨髓、甲状腺、眼晶体和生殖器官。

表 5.2 某些放射源检测仪使用源的放射性核素、活度及类别

实践	放射性核素	使用量, A/TBq			危险活度, D/TBq	A/D 指数			候选类别		
		Ma	Mi	Ty		Ty	Ma	Mi	Ma	Mi	Ty
料位计[3]	¹³⁷ Cs	1.9E-1	3.7E-2	1.9E-1	1E-1	1.9E+0	3.7E-1	1.9E+0	3	4	3
	⁶⁰ Co	3.7E-1	3.7E-3	1.9E-1	3E-2	1.2E+1	1.2E-1	6.2E+0	2	4	3
核子秤[3]	¹³⁷ Cs	1.5E+0	1.1E-4	1.1E-1	1E-1	1.5E+1	1.1E-3	1.1E+0	2	5	3
	²⁵² Cf	1.4E-3	1.4E-3	1.4E-3	2E-2	6.8E-2	6.8E-2	6.8E-2	4	4	4
鼓风机测量仪[3]	⁶⁰ Co	7.4E-2	3.7E-2	3.7E-2	3E-2	2.5E+0	1.2E+0	1.2E+0	3	3	3
挖泥船测量仪[3]	⁶⁰ Co	9.6E-2	9.3E-3	2.8E-2	3E-2	3.2E+0	3.1E-1	9.3E-1	3	4	4
	¹³⁷ Cs	3.7E-1	7.4E-3	7.4E-2	1E-1	3.7E+0	7.4E-2	7.4E-1	3	4	4
螺旋管道测量仪[3]	¹³⁷ Cs	1.9E-1	7.4E-2	7.4E-2	1E-1	1.9E+0	7.4E-1	7.4E-1	3	4	4
测井源[3]	²⁴¹ Am/Be	8.5E-1	1.9E-2	7.4E-1	6E-2	1.4E+1	3.1E-1	1.2E+1	2	4	2
	¹³⁷ Cs	7.4E-2	3.7E-2	7.4E-2	1E-1	7.4E-1	3.7E-1	7.4E-1	4	4	4
	²⁵² Cf	4.1E-3	1.0E-3	1.1E-3	2E-2	2.0E-1	5.0E-2	5.6E-2	4	4	4
起搏器[3]	²³⁸ Pu	3.0E-1	1.1E-1	1.1E-1	6E-2	4.9E+0	1.8E+0	1.9E+0	3	3	3

注: Ma、M、Ty 分别指最大值、最小值、典型值。

续表

实践	放射性核素	使用量, A/TBq			危险活度, D/TBq	A/D 指数				候选类别		
		Ma	Mi	Ty		Ty	Ma	Mi	Ma	Mi	Ty	
测厚仪[4]	⁸⁵ Kr	3.7E-2	1.9E-3	3.7E-2	3E+1	1.2E-3	2E-5	1.2E-3	5	5	5	
	⁹⁰ Sr	7.4E-3	3.7E-4	3.7E-3	1E+0	7.4E-3	3.7E-4	3.7E-3	5	5	5	
	²⁴¹ Am	2.2E-2	1.1E-2	2.2E-2	6E-2	3.7E-1	1.9E-1	3.7E-1	4	4	4	
	¹⁴⁷ Pm	1.9E-3	7.4E-5	1.9E-3	4E+1	4.6E-5	1.9E-6	4.6E-5	5	5	5	
	²⁴⁴ Cm	3.7E-2	7.4E-3	1.5E-2	5E-2	7.4E-1	1.5E-1	3.0E-1	4	4	4	
料位计[4]	²⁴¹ Am	4.4E-3	4.4E-4	2.2E-3	6E-2	7.4E-2	7.4E-3	3.7E-2	4	5	4	
	¹³⁷ Cs	2.4E-3	1.9E-3	2.2E-3	1E-1	2.4E-2	1.9E-2	2.2E-2	4	4	4	
湿度计[4]	²⁴¹ Am/Be	3.7E-3	1.9E-3	1.9E-3	6E-2	6.2E-2	3.1E-2	3.1E-2	4	4	4	
密度计[4]	¹³⁷ Cs	3.7E-4	3.0E-4	3.7E-4	1E-1	3.7E-3	3.0E-3	3.7E-3	5	5	5	
湿度/密度计[4]	²⁴¹ Am/Be	3.7E-3	3.0E-4	1.9E-3	6E-2	6.2E-2	4.9E-3	3.1E-2	4	5	4	
	¹³⁷ Cs	4.1E-4	3.7E-5	3.7E-4	1E-1	4.1E-3	3.0E-4	3.7E-3	5	5	5	
	²²⁶ Ra	1.5E-4	7.4E-5	7.4E-5	4E-2	3.7E-3	1.9E-3	1.9E-3	5	5	5	
	²⁵² Cf	2.6E-6	1.1E-6	2.2E-6	2E-2	1.3E-4	5.6E-5	1.1E-4	5	5	5	

续表

实践	放射性 核素	使用量, A/TBq			危险活度, D/TBq	A/D 指数			候选类别		
		Ma	Mi	Ty		Ty	Ma	Mi	Ma	Mi	Ty
骨密度仪[4]	¹⁰⁹ Cd	7.4E-4	7.4E-4	7.4E-4	2E+1	3.7E-5	3.7E-5	3.7E-5	5	5	5
	¹⁵³ Gd	5.6E-2	7.4E-4	3.7E-2	1E+0	5.6E-2	7.4E-4	3.7E-2	4	5	4
	¹²⁵ I	3.0E-2	1.5E-3	1.9E-2	2E-1	1.5E-1	7.4E-3	9.3E-2	4	5	4
	²⁴¹ Am	1.0E-2	1.0E-3	5.0E-3	6E-2	1.7E-1	1.7E-2	8.3E-2	4	4	4
静电消除器[4]	²⁴¹ Am	4.1E-3	1.1E-3	1.1E-3	6E-2	6.8E-2	1.9E-2	1.9E-2	4	4	4
	²¹⁰ Po	4.1E-3	1.1E-3	1.1E-3	6E-2	6.8E-2	1.9E-2	1.9E-2	4	4	4
X 射线荧光 (XRF)分析仪[5]	⁵⁵ Fe	5.0E-3	1.1E-4	7.4E-4	8E+2	6.2E-6	1.4E-7	9.3E-7	5	5	5
	¹⁰⁹ Cd	5.6E-3	1.1E-3	1.1E-3	2E+1	2.8E-4	5.6E-5	5.6E-5	5	5	5
	⁵⁷ Co	1.5E-3	5.6E-4	9.3E-4	7E-1	2.1E-3	7.9E-4	1.3E-3	5	5	5
电子俘获探测 器源[5]	⁶³ Ni	7.4E-4	1.9E-4	3.7E-4	6E+1	1.2E-5	3.1E-6	6.2E-6	5	5	5
	³ H	1.1E-2	1.9E-3	9.3E-3	2E+3	5.6E-6	9.3E-7	4.6E-6	5	5	5
避雷器[5]	²⁴¹ Am	4.8E-4	4.8E-5	4.8E-5	6E-2	8.0E-3	8.0E-4	8.0E-4	5	5	5
	²²⁶ Ra	3.0E-6	2.6E-7	1.1E-6	4E-2	7.4E-5	6.5E-6	2.8E-5	5	5	5
	³ H	7.4E-3	7.4E-3	7.4E-3	2E+3	3.7E-6	3.7E-6	3.7E-6	5	5	5

(2) 意外外照射情景(源的危險活度 D 以 D_1 表示)

近距离照射:手持源 1 h;源放在衣袋内 10 h。

远距离照射:丢失屏蔽的裸露放射源(带有源包壳)处于房间内,人员距源 1 m,在 10 mGy/h 剂量率下受照射 100 h。

(3) 源漏散意外内照射情景:包括吸入污染空气,食入污染源,表面污染转移至人体皮肤污染以及人体在惰性放射性气体污染场所的湮没(沉浸)外照射,详见参考文献[3]。此类情景中,源的危險活度 D 以 D_2 表示。

5.1.3 放射源的分类

放射源和含源实践的危險程度可以用放射源的实际活度(A)与源的危險活度(D)的比值描述,称之为 A/D 指数。国际原子能机构(IAEA)(2003a)按 A/D 指数将放射源分为五个类别,并列出相应级别源在常见实践应用中的分类,摘列于表 5.3。借鉴此分类,我国国家环保总局 2005 年发布了《放射源分类办法》公告,见 1.4(2)节。

表 5.3 用于一般实践的源的建议类别

类别	常见实践的分类	活度比(A/D) ^{**}
1	放射性同位素热电发生器(RTG) 辐照装置 远距放射治疗源 固定式多束远距放射治疗(γ 刀)源	$\geq 1\ 000$
2	工业 γ 射线探伤源 高/中剂量率近距放射治疗源	$1\ 000 > A/D \geq 10$
3	固定式工业仪表:料位计,核子秤,挖泥船测量仪表,螺旋管道测量仪,鼓风机测量仪,测井仪表	$10 > A/D \geq 1$

续表

类别	常见实践* 的分类	活度比(A/D)**
4	低剂量率近距离放射治疗源(眼部敷贴和永久性植入除外) 厚度/料位计 非固定式仪表(例如湿度计/密度计) 骨密度仪 静电消除器	$1 > A/D \geq 0.01$
5	低剂量率近距离放射治疗眼部敷贴和永久植入源 X射线荧光(XRF)分析仪 电子俘获设备 穆斯堡尔谱仪 正电子发射断层成像(PET)检查源	$0.01 > A/D \geq$ 豁免水平*** /D

注：* 考虑了除了 A/D 之外的其他因素；

** 本列可仅根据 A/D 来确定源的类别，可用于未知的或未列出的实践、短半衰期或非密封源，或聚集源；

*** 豁免值在 GB18871—2002 的表 A1 中给出。

IAEA 列举了 79 种放射源实践中使用的放射性核素，活度和类别，有关放射源检测仪表的数据摘列于表 5.2，其中候选类别为表 5.3 的类别，与国家环保总局《放射源分类办法》相同。

5.1.4 放射源和含源实践的意外危险

2006 年 IAEA 考虑了其 2003a 的分类、实践应用特征及应用中已出现的意外情况，提出了放射源和含源实践意外造成有害健康的潜在危险分类，列于表 5.4。在表 5.2 实践栏内的 [] 中为表 5.4 的类别。

5.1.5 说明

(1) 叶常青教授参考 IAEA TECDOC-1344、RS-G-1.9、EPR-

D-VALUES 等报告编制了题为“基于危险指数的放射源分类”的 GBZ/T 208-2008 已发布,本章中表 5.1~表 5.4 取自其标准,在此致谢。

(2) 常见放射源检测仪表(见表 5.2)使用的放射源属于 3~5 (或 III~V)类,其意外情况的潜在危险见表 5.4 中 3~5 类。相对 1.2 类源,潜在危险是相对小的,在正常应用情况下,仪表的防护对仪表的工作人员和仪表周围人员提供了安全。有可能发生(尽管实际发生很少)意外情况,重视放射源和其仪表的保安,防止发生这种意外,正是本章、本教材的根本目的,做好该工作,将促进检测仪表的发展。

表 5.4 各类放射源意外时造成早期
有害健康效应的潜在危险

类别	靠近单个源的风险	源的放射性物质因火灾或爆炸而漏散的事件中的风险
1	对人员极度危险:这种源,如果未得到安全管理或保安措施不到位,可能对操作它或者意外接触它几分钟的人造成永久性损伤。靠近这种无屏蔽放射性物质几分钟到 1 小时的时间,可能导致人员死亡	这个量的放射性物质,如果漏散,也许可能—尽管不太可能—对近距离的人员造成永久性损伤或有生命危险。给几百米以外的人员会造成直接健康效应的风险很小或者没有。但是需要根据防护标准对污染区进行清理。对于大型源,需要清理的区域面积可能达到 1 km ² 甚至更大
2	对人员非常危险:这种源,如果未得到安全管理或保安措施不到位,可能对操作它或者意外接触它(从若干分钟到若干小时)的人造成永久性损伤。靠近这种无屏蔽放射性物质若干小时到若干天,可能导致人员死亡	这个量的放射性物质,如果漏散,也许可能—尽管非常不可能—对近距离的人员造成永久性损伤或有生命危险。给百米或更远的人员会造成直接健康效应的风险很小或者没有。但是需要根据防护标准对污染区进行清理。需要清理的区域面积不可能超过 1 km ²

续表

类别	靠近单个源的风险	源的放射性物质因火灾或爆炸而漏散的事件中的风险
3	对人员危险:这种源,如果未得到安全管理或保安措施不到位,可能对操作它或者意外接触它若干小时的人造成永久性损伤。靠近这种无屏蔽放射性物质若干天到若干周,可能会一尽管不太可能发生一导致人员死亡	这个量的放射性物质,如果漏散,也许可能一尽管极不可能一对近距离的人员造成永久性损伤或有生命危险。给几米远的人员会造成直接健康效应的风险很小或者没有。但是需要根据防护标准对污染区进行清理。需要清理的区域面积不可能超过 1 km ² 的很小一部分
4	对人员不太可能有危险:极不可能有任何人因这种放射性物质而受到永久性损伤。但是,这种无屏蔽材料,如果未得到安全管理或保安措施不到位,那么可能一尽管不太可能一在许多小时内对操作它或意外接触它的人、或在许多周内靠近它的人造成暂时性损伤	这个量的放射性物质,如果漏散,不可能给人员造成永久性损伤
5	最不可能给人员危险:没有人因这种源受到永久性损伤	这个量的放射性物质,如果漏散,不可能给人员造成永久性损伤

5.2 放射源检测仪表应用中的放射事件与事故

5.2.1 放射事件与事故表现

放射源检测仪表应用极其广泛,许多应用场所环境条件不利于源和仪表的监管,按我国卫生部和公安部 2001 年放射事故管理分类(现已废止),放射事故的 70%集中在此类源范围。按放射源

分类,放射源检测仪表中的放射源几乎全部划归为Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ类,虽然事故的直接健康影响相对Ⅰ、Ⅱ类源尚不严重,但对生产的影响及社会影响很大。下面是已发生的该类放射事件与事故的集中表现(按2001年放射事故管理规定分类)。

(1) 源的失控与丢失事件与事故

① 早期在地下掩埋的某些废放射源,单位变迁后无档案记载,基建施工时被挖出,源与源容器被卖掉;贮源场所成为待施工的工地时,没有预先处置放射源,且源失去了原有的控制,被盗;

② 贮存源(容器)无专用场所或场所无防盗设备,门窗简陋,或场所荒芜无人管理,源(容器)丢失;放射源贮存在鼠患成灾的场所,老鼠叼走放射源;

③ 长期闲置源及应退役源未及时处理,混乱存放,丢失;

④ 违章购买放射源;无“许可证”的源未得到有效管理,丢失、被盗;

⑤ 管理人员管账不查物,或放射源档案混乱,处理放射性物质无记载,久而久之出现“不明源”和“无账源”,放射性物品混乱贮存,乃至丢失;

⑥ 装置中的放射源换装前后及换装期间,待装源、卸下源无有效的管理,被盗;或被抵触者扔掉,丢失;

⑦ 早期检测仪表的源容器结构简单,放射源掉至容器外,混入废料中;

⑧ 在同位素仪表的使用现场,源容器的固定方式不可靠,丢失。

(2) 超剂量照射事件与事故

① 管理人员不知道所管的放射源为危险物品,随意送给别人(如:将镅铍中子源和光洁的金属连杆送给来到源库的朋友,带源的杆被扎成鸡毛掸子);

② 管理人员不了解放射源的特征,经常“负责”地将源拿到眼前查验,核对放射源号,导致眼晶体白内障;

③ 放射源丢失后,不按“放射事故管理规定”报告,失去及时、科学查找的第一时间,扩大了事故影响;

(3) 放射污染事件与事故

① 放射源(检测仪表)无安全的使用环境与控制(如:在公路上用中子水分仪检测路基,仪表与源被车压碎);

② 放射源的生产工艺不过关(如早期试制的碘-125 源破裂);生产环境放射污染严重;

③ 使用中的放射源超过保质期(10 年或 15 年以上),或使用时有可能磨损(特别是薄壁源),且无定期的放射性泄漏检验;

④ 放射源失盗后遭破坏(如:砸碎、锯开);

⑤ 贮源场所环境条件恶劣,影响放射源的质量。

(4) 其他

① 放射源运输管理不善,丢失;

② 无(或未使用)剂量仪检查放射源的存在及实际位置,在检测仪表失控、场所出现异常高剂量场或放射源丢失时不能及时发现。

5.2.2 放射事故原因

(1) 放射源和放射源检测仪表未纳入许可管理,无许可证,无源与检测仪表的台账或不完善。

(2) 源与检测仪表的保安管理与保安设施缺乏或不完善。

(3) 相关人员无放射工作人员证的相关管理(如源库管理员),或持放射工作证人员后续管理不足。

(4) 安全文化水平低,上述三项是其具体表现。必须把放射防护与安全意识、制定和自觉执行相关规章以及掌握防护技术均列入安全文化范畴。

(5) 停用、报废的放射源和放射源检测仪表处理差错,未及时送往专门的收贮部门,长期自行存放失去监管。

(6) 设计和出厂检验不足(尽管较少发生),或使用中缺乏维护。

5.2.3 辐射(放射)事故及其管理

中华人民共和国国务院令 第 449 号《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四章规定了辐射事故及应急处理,现摘抄如下。

第四十条 根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素,从重到轻将辐射事故分为特别重大辐射事故、重大辐射事故、较大辐射事故和一般辐射事故四个等级。

特别重大辐射事故,是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控造成大范围严重辐射污染后果,或者放射性同位素和射线装置失控导致 3 人以上(含 3 人)急性死亡。

重大辐射事故,是指 I 类、II 类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致 2 人以下(含 2 人)急性死亡或者 10 人以上(含 10 人)急性重度放射病、局部器官残疾。

较大辐射事故,是指 III 类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致 9 人以下(含 9 人)急性重度放射病、局部器官残疾。

一般辐射事故,是指 IV 类、V 类放射源丢失、被盗、失控,或者放射性同位素和射线装置失控导致人员受到超过年剂量限值的照射。

第四十一条 县级以上人民政府环境保护主管部门应当会同同级公安、卫生、财政等部门编制辐射事故应急预案,报本级人民政府批准。辐射事故应急预案应当包括下列内容:

(一) 应急机构和职责分工;

(二) 应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备;

(三) 辐射事故分级与应急响应措施;

(四) 辐射事故调查、报告和处理程序。

生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位,应当根据可能发生的辐射事故的风险,制定本单位的应急方案,做好应急

准备。

第四十二条 发生辐射事故时,生产、销售、使用放射性同位素和射线装置的单位应当立即启动本单位的应急方案,采取应急措施,并立即向当地环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门报告。

环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门接到辐射事故报告后,应当立即派人赶赴现场,进行现场调查,采取有效措施,控制并消除事故影响,同时将辐射事故信息报告本级人民政府和上级人民政府环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门。

县级以上地方人民政府及其有关部门接到辐射事故报告后,应当按照事故分级报告的规定及时将辐射事故信息报告上级人民政府及其有关部门。发生特别重大辐射事故和重大辐射事故后,事故发生地省、自治区、直辖市人民政府和国务院有关部门应当在4小时内报告国务院;特殊情况下,事故发生地人民政府及其有关部门可以直接向国务院报告,并同时报告上级人民政府及其有关部门。

禁止缓报、瞒报、谎报或者漏报辐射事故。

第四十三条 在发生辐射事故或者有证据证明辐射事故可能发生时,县级以上人民政府环境保护主管部门有权采取下列临时控制措施:

- (一) 责令停止导致或者可能导致辐射事故的作业;
- (二) 组织控制事故现场。

第四十四条 辐射事故发生后,有关县级以上人民政府应当按照辐射事故的等级,启动并组织实施相应的应急预案。

县级以上人民政府环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门,按照职责分工做好相应的辐射事故应急工作:

- (一) 环境保护主管部门负责辐射事故的应急响应、调查处理和定性定级工作,协助公安部门监控追缴丢失、被盗的放射源;
- (二) 公安部门负责丢失、被盗放射源的立案侦查和追缴;
- (三) 卫生主管部门负责辐射事故的医疗应急。

环境保护主管部门、公安部门、卫生主管部门应当及时相互通报辐射事故应急响应、调查处理、定性定级、立案侦查和医疗应急情况。国务院指定的部门根据环境保护主管部门确定的辐射事故的性质和级别,负责有关国际信息通报工作。

第四十五条 发生辐射事故的单位应当立即将可能受到辐射伤害的人员送至当地卫生主管部门指定的医院或者有条件救治辐射损伤病人的医院,进行检查和治疗,或者请求医院立即派人赶赴事故现场,采取救治措施。

5.2.4 事故预防与对策

辐射事故预防与对策包括对下列问题的正面回答。

(1) 组织、任务和责任

- 所有必要的任务和责任已分配给专人了吗?
- 所有的任务和责任明确了吗?
- 任务包括了放射源和检测仪表购买、许可、台账、保安、贮存、运输、退役、使用、维护、换源、剂量测量;放射工作人员管理、放射事故管理吗?
- 有年度安全与防护工作总结吗?

(2) 放射源和检测仪表的保安管理

- 报告并得到审管部门的监督管理了吗?
- 保安管理包括了所有管理环节吗?
- 有定期保安监查计划吗? 有实施定期监查的记录吗?

(3) 放射工作人员管理

- 所有从事放射工作的人员都持有放射工作人员证吗?
- 制定了人员获取放射工作人员证的管理规范与程序吗?
- 人员进行了教育、培训及继续培训(复训)吗?
- 人员建立了个人剂量档案吗?
- 人员在放射工作就业前、就业中、离开放射工作岗位时按规定进行了健康检查吗? 建立了健康档案吗?

(4) 教育和培训

- 每个工作人员(包括放射源检测仪表操作、维护、换源及源保管人、辐射防护与安全管理人员)都按其责任接受过教育和培训吗? 有定期复训或继续培训吗?
- 这一教育和培训有记载吗? 经审管部门认可吗?
- 辐射剂量测量、事故教训及预防、应急计划的演习作为培训的一部分吗?
- 规定了对新设备、新程序增加培训吗?

(5) 验收、使用前检测(含剂量检测与安全检查)和定期查验

- 有正规的设备验收方案吗? 有实施验收记录吗?
- 有使用前检测吗? 使用前检测包括了安全检查吗?
- 有定期查验计划吗? 有实施定期查验记录吗?

5.2.5 辐射事件与事故应急响应

(1) 利用应急设备有计划地处置事故源和现场,消除危险状况

事故源:包括放射源意外脱出源容器或破损;源(容器)失控于安装和贮存场所之外;放射源检测仪表的辐射剂量过高超过正常范围等。事故源的处置属于应急处置,处置前应有计划,应按有演练的应急预案实施。

发现的事故源现场,可能需要圈出控制区域(通过剂量监测确定),撤离区域内的人员,围圈、警示并监视区域边界,防止无关人员进入。处置裸露(失去铅容器屏蔽)的放射源,应启动长柄工具、应急收贮放射源的铅容器等应急器具,利用缩短时间,增加与源之间的距离、适当局部屏蔽的防护原则,迅速将放射源收贮到应急用铅容器中。必要时应取得生产厂家的协助与配合。处置时,应记载意外事故状况下的一切有关意外辐射照射的条件和状态,而不扰乱后续的调查。放射性物质污染的事故现场处置要防止污染扩散。事故处置后必须经过检测确认场所的辐射危险已消除,事故源已处于安全条件。必须检验发生事故的放射源和检测仪表,只

有确认放射源质量完好,源容器和检测仪表排除了故障、采取了避免发生同样事故的改进措施,并完全符合国家标准和保安要求后,才可以重新启用放射源检测仪表。

(2) 受照者立即就医诊治

应据意外事件与事故现场情况,判断受意外照射人员可能的受照射剂量,并据该剂量水平送受照人员前往医院诊断检查或治疗,并告知医生概况,以配合、协助诊治工作。

应注意,属于Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类放射源的检测仪表,只有放射源失控于无屏蔽的裸露状况下,并且人员长时间近距离接近时,才会出现严重的临床表现。当失控源周围人员较多的情况下,应由有经验的专业人员据源和现场条件作出判断。

在建立的应急响应组织中,应将应急的医院列入应急响应网络。应急医院以就近和有放射病救治专业经验为原则。

(3) 报告事故

发生意外事件与事故应立即报告。应报告科室(班组)负责人、医院放射防护组的负责人、所在单位系统的上级、所在地的环境保护、公安、卫生行政管理部门。事故报告应按国家规定的事故分级判断事故级别。行政管理部门按事故级别逐级报告上级管理部门。属于一级事故,应在 24 小时内报告至国家(部级)管理部门。

(4) 调查事故与建立事故档案

事故调查应包括事故源和装置的辐射源项和状态条件,人员在事故源辐射场的空间和时间条件,整个事故过程中的动态变化,异常情况相关的源和检测仪表状态等一切可以记载的条件信息。事故调查必须细致,应调查事故当事人和在场的相关人员。

据调查的事故条件估计、估算人员受照剂量,必要时采取模拟测试手段。

事故应按国家规定建立档案和结案。

以上内容并非以时间顺序排列,常常是调查与处置组织的几

个分组同时进行。放射源检测仪表相关单位应以上述各方面为原则,对可预见到的意外情况做出应急响应规程。

5.2.6 结束语

在工业生产中,放射源检测仪表起着重大作用,随着电子计算机,数字化的发展,将会发生更大的作用。应用中的辐射安全问题,总体上是健康良好的,但也存在某些技术与管理上的问题,在相关范围造成一定的不良影响。重视放射源检测仪表的防护与安全是第一位的,做好管理并提高防护技术,将促进其应用发展,支持工业生产。当然,防护与安全应当科学对待,应当是安全、科学、合理、最优化的,而不盲目扩大,乃至放弃放射源检测仪表的正当应用。

6 X射线管检测装置的放射防护与安全

6.1 范围

X射线管是只有加有管电压并有一定束流时才能发出X射线的射线发生装置,其结构组成详见系列培训教材的医用X射线诊断和X射线探伤部分。本节仅涉及X射线衍射仪和荧光分析、X射线行李包检查系统。此外,低功率离子束注入器、离子束焊接机、电子显微镜,以及真空镀膜机等装置,在几十千伏高压下或在离子束的作用下,可以产生X射线韧致辐射,也在本节简述。

6.2 X射线衍射仪和荧光分析仪

(1) 分析仪分为闭束型和敞束型两类。闭束型分析仪的结构能防止人体从任何部分进入有用束区域;对于人体的某部位有可能意外地进入有用射线束区域的,为敞束型分析仪。闭束型分析仪的机壳必须有联锁装置,一旦打开机壳,即刻自动切断X射线

管高压电源或关闭有用线束的出口。

(2) 在分析仪的 X 射线管处于最高管电压且最大功率时, 泄漏辐射要求如下:

a. 安装在分析仪的机壳或防护罩内的 X 射线管组装壳体外表面 5 cm 处, 小于 $25 \mu\text{Gy/h}$ 。

b. 距闭束分析仪外表面 5 cm 或距敞束分析仪的防护罩、遮光器外表面 5 cm, 小于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

(3) 对敞束分析仪的安全设置要求:

a. 高压和功率过载保护;

b. 开启分析仪的专用钥匙;

c. 分析仪的防护罩与高压或遮光器(源闸)联锁;

d. 高压、遮光器(源闸)工作状态警示灯;

e. 辐射专用标志和通电时产生放射线的警示。

(4) 操作与维修注意事项

a. 操作者不得在解除防护罩联锁的情况下开启分析仪;

b. 一切不使用的射线束出口必须关闭严密;

c. 分析仪工作时, 对正在受照射的样品需有适当的屏蔽;

d. 更换样品时, 必须关闭遮光器(源闸);

e. 拆卸、安装 X 射线管套和其他受照射的部件时, 必须关闭遮光器(源闸)并切断 X 射线管的高压;

f. 不得在 X 射线管裸露的条件下, 调试分析仪;

g. 校准、调试分析仪的有用线束, 须以较低电压、较低电流操作, 避开强射线束, 并采取局部屏蔽防护措施;

h. 未经本单位的放射防护部门或相应的主管部门批准, 任何人不得擅自变更分析仪原配套的受照部件及其装配结构和装配位置;

i. 操作分析仪时, 特别是校准、调整、安装、维修分析仪时, 应特别注意防止手、头部等局部受照, 应避开有用线束并采用防护眼镜、防护屏等防护设备, 防止发生手指放射烧伤事故;

j. 校准、调整、安装、维修敞束分析仪时,应佩戴手指或腕部剂量计;

k. 适用的剂量测量仪表的能量响应必须适用于所操作的分析仪。

随着数字化时代的到来,敞束型分析仪趋于淘汰,现今的敞束型分析仪应满足[6]的要求。X射线衍射仪属于Ⅲ类射线装置,X射线荧光分析仪属于V类放射源检测仪表,应按相应级别的防护与安全要求管理。

6.3 X射线行李包检查系统

(1) 检查系统为出入口带有防护铅橡胶帘的柜式装置,行李包以传送带输送,检查系统的控制和检查图像观测系统处于柜外距柜一定距离处。

(2) 防护铅帘片条的铅含量应大于0.35 mm铅当量,双层铅帘片条错缝安装,以减少缝隙泄漏辐射。

(3) 检查柜各面的外壳均设有联锁,一旦打开外壳,不能出束检测。

(4) 只有行李包到达射线束窄区近旁时,才发出射线束,进行检查。

(5) 要求在距检查柜外表面5 m处的辐射剂量率小于 $5 \mu\text{Cy}/\text{h}$ 。实际上,除检查柜出、入口外,均接近本底辐射水平($0.1 \mu\text{Cy}/\text{h}$)。操作行李包检查系统人员操作位置是辐射安全的。

(6) 使用注意事项:

a. 当铅帘老化、破损时,及时更换铅帘。双层铅帘片应错位安装。

b. 应保持检查柜外壳联锁有效。

(7) 该检查系统属于Ⅲ类射线装置,应按相应级别的防护与安全要求管理。

6.4 其他 X 射线仪表

(1) 低功率离子束注入机、离子束焊接机、电子显微镜、真空镀膜机等装置,正常、合格产品其外表面辐射剂量率接近或等于本底水平。为防止产品异常情况,应有剂量检测和检测合格的登记。装置的关注部位是观察窗、系统管线接口、样品室门等,应注意相应部位的检测。本部分,应由审管部门确定属于豁免的射线装置或Ⅲ类射线装置,并纳入相应的管理。

(2) 物品内部状况 X 射线检查(观测)装置和液体(如瓶装可乐、易拉罐等)X 射线检查装置,辐射被控制在检查装置机壳内,正常情况下,要求距机壳外表面 5 m 处的辐射剂量率小于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$,实际上接近天然本底辐射水平(小于 $0.1 \mu\text{Gy/h}$)。同样,样品口是否有辐射泄漏、检查装置外壳联锁是否正常,是两个应检查的项目。这些射线装置属于Ⅲ类射线装置,应纳入相应级别的管理。

7 整装货包检查系统放射防护与安全

7.1 概述

7.1.1 检查系统和其应用范围

(1) 整装货包检查系统是利用辐射源对整装货包进行探测,检查整装货包内的异常夹带物(如走私物品、违禁品、危险物品)的装置。检查系统不需开启货包,是无损货包、快速检查的过筛检查装置。经检查发现疑有异常夹带物时,对货包将进行开包箱检查。

(2) 检查系统工作原理:

以加速器产生的 X 射线或 ^{60}Co 密封源为辐射源,以多重准直器获得扇形窄带准直射束。以准直射束射入相对运动中的待检物断层,通过阵列探测器探测穿过该连续扫描断层的光子的

注量分布。计算机数字处理系统分析探测器的输出信号,获得待检物的扫描图像。

(3) 不同型式的检查系统可用于海关和铁路集装箱、航空托盘、铁路整装货包检查及关键检查站的列车货运车厢、公路运输货车检查。

7.1.2 检查系统分类

(1) 按辐射源分类

① 加速器,X射线 1.5~9 MV,有用束距靶 1 m 处的剂量率 0.01~30 Gy/min(依检测对象和技术要求选择);

② 放射性核素密封源,通常为⁶⁰Co源,源的活度一般为 1.8~18 TBq (50~500 Ci);

③ X射线管(本章未包括此类检查系统)。

(2) 按检查方式分类

检查系统在其与受检物品的相对运动中进行扫描检查工作。按相对运动方式分为:

① 固定式检查

检查系统固定不动。以辊轴、传送带或牵引拖动设备传输受检物品或车辆通过检查系统的辐射束区。或者,车辆、机车驶向辐射区,在驾驶室已穿过并离开尚未开启的辐射束区后,辐射束开启,对通过的货厢进行辐射照射检查。

② 移动式检查

受检物在检查场所就位,司机和辅助人员离开受检车辆并处于辐射控制区外。检查系统的辐射源和测试门架在沿受检物平行移动的过程中对受检物进行扫描检查。

(3) 按检查场所分类

① 固定场所检查

在固定场所建设带有辐射屏蔽的建筑室,成为辐射屏蔽室,包括辐射源室、探测器室和屏蔽检测厅。在辐射源室和探测器室内固定安装检查系统的辐射源和探测器检测主体。在屏蔽室外建设

检查系统控制室,控制屏蔽室内受检物的辐射照射检查工作。也在屏蔽室外建筑图像分析和受检对象检录工作室。

② 组合场所检查

检查系统和检查场所的所有辐射屏蔽体均由铅、铁或混凝土等预制组合屏蔽板块组装,场所的屏蔽板块成为监测系统的组成部分。检查系统工作控制、图像分析、受检对象检录等都设在组合屏蔽场所外部。组合场所实际上是相对固定的,但需要时可以将组合屏蔽板块连同监测系统拆卸并迁往新址。组合场所不需场地建筑施工,但需夯实地基,以便承载检查系统。组合场所可使用移动式或固定式检查系统。

③ 移动场所检查

使用车载移动检查系统。可以在任何任务指派场地,按防护指标围圈辐射检查管理区,在管理区内进行辐射照射检查工作。安全设施和安全管理的防止无关人员进入辐射检查管理区。

图 7.1 是组合场所中固定式检查系统示意图,固定场所中固定式检查系统与之类似,场所范围相对较大。图 7.2 是车载移动检查系统移出探测门架时的示意图。

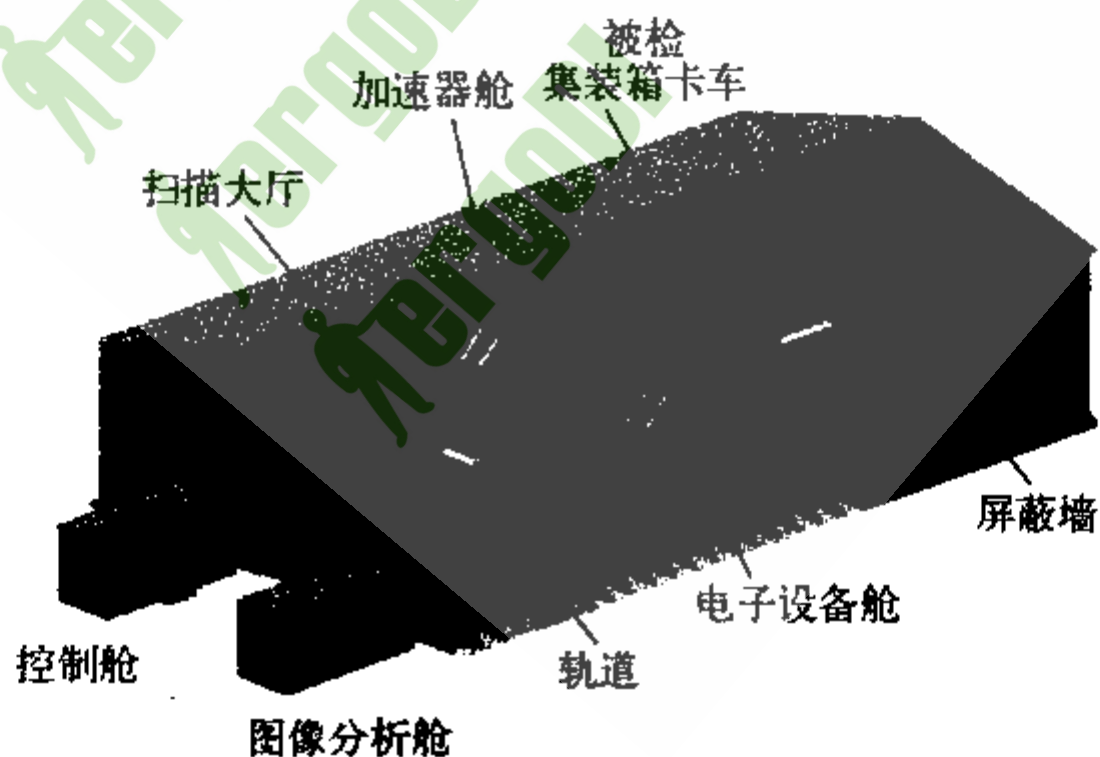


图 7.1 组合场所固定式检查系统



图 7.2 车载移动检查系统

7.1.3 检查系统组成与结构

检查系统包括辐射源、探测器、检查工作控制、图像分析、扫描传送、安全防护分系统。与辐射防护和安全相关的内容概要如下。

(1) 辐射源分系统

辐射源分系统包括辐射源组件、初准直器(又称第一准直器),它们安装在辐射源箱内;辐射源箱和外准直器(又称第二准直器)安装在辐射源室内(见图 7.3)。辐射源组件、辐射源箱和辐射源室各自具有不同的辐射屏蔽。辐射束经二重准直器形成扇形窄带有用束,束张角小于 70° ;在外准直器出口处,窄束宽度为几毫米,各型监测系统不同。

对于放射源检查系统,辐射源组件包括密封放射源、固定放射源的源托和带有铅、贫铀或钨合金屏蔽的放射源工作容器。在辐射源箱内可能还安装放射源贮存容器,通常采用 γ 射线源探伤机的工作容器,通过控制缆在远距离手动控制放射源在检测系统工作容器和贮源容器之间的转移。放射源在工作容器或贮源容器均能可靠地锁在固定位置。在放射源工作容器的初级准直器出口,

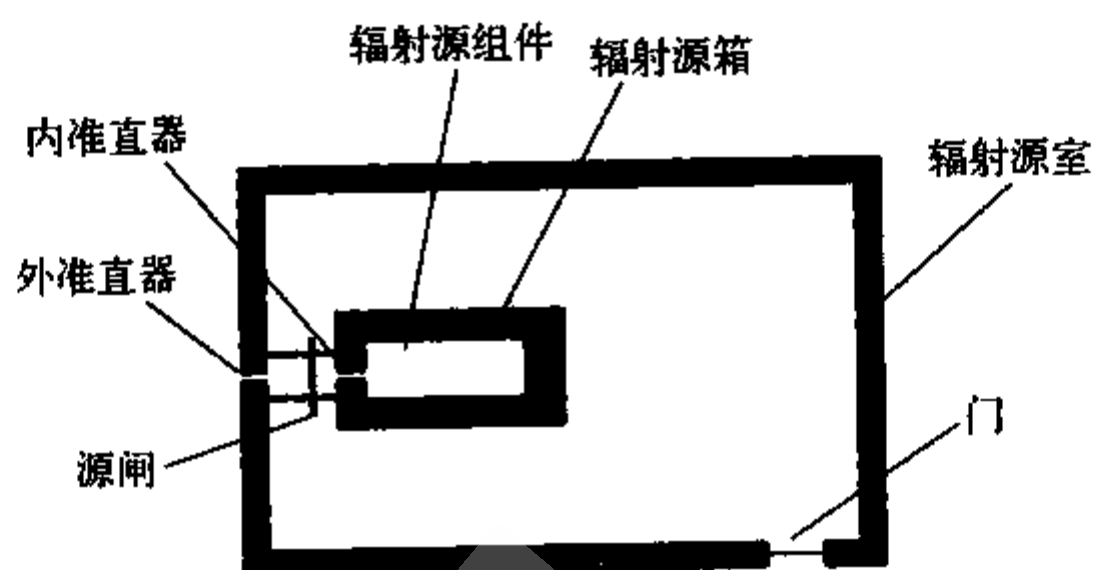


图 7.3 辐射源和辐射源室示意图

设有可开启与关闭的屏蔽辐射束的源闸(或称快门)。某些放射源移动检查系统,辐射源箱与辐射源室可能合一;加速器移动检查系统,辐射源箱为加速器舱。加速器自身工作条件包括电子枪阴极加热和磁控管发射供给微波功率,后者包括调制器加高压和触发器有触发脉冲两个条件。

(2) 辐射探测器系统

辐射探测器由小体积高灵敏度的高压电离室或固体传感器组成,在辐射源和受检物边界的最大张角范围内以“Γ”形阵列排放。探测器接收经受检物衰减的光子辐射,产生的电信号经数字转换与图像处理,获得受检物的图像。为了提高探测能力,并防护穿过探测器的辐射和探测器的散射辐射,在探测器的人射面前方旁侧设置第三准直器,在探测器的侧面和背面设置铅屏蔽,探测器前端相对检查通道壁呈凹状,探测器室(当设有时)壁也具有铅或砼屏蔽。

(3) 辐射防护与安全系统

需要屏蔽的辐射源项包括:

- ① 辐射源箱泄漏辐射;
- ② 准直器入射端面 and 准直器孔道的散射辐射;
- ③ 受检物对人射辐射的散射辐射;

④ 有用辐射束和穿过探测器的透射辐射；

⑤ 探测器的散射辐射；

⑥ 在车载移动检查系统中，杂散辐射可能进入司机驾驶室和车上的控制室、图像分析室，需要考虑相应的杂散辐射防护。

辐射屏蔽的对象包括辐射源组装体、辐射源箱、辐射源室、探测器周边和探测器室、检测通道，以及车载移动检查系统车中的工作人员场所。检查系统的用户、建筑设计及检查系统评价部门往往不能得到检查系统生产厂家的详细设计资料，但生产厂家至少应提供检查系统辐射防护基础资料。例如：固定场所检查时，所需要建设的辐射屏蔽室的建筑要求和屏蔽室屏蔽前的辐射剂量率及相应的辐射能量；组合场所检查时，组合屏蔽体外表面处的辐射剂量率控制指标；移动场所检查时，移动检查系统外围的辐射剂量率等剂量区域范围等。

辐射安全系统的设置应遵从“故障-安全”总则和“纵深防御”原则，应包括辐射警示、安全联锁、紧急关停辐射束、辐射剂量探测、放射源保安等，详见 7.3 节。

7.2 检查系统工作场所分区及辐射剂量控制水平

7.2.1 工作场所分区

按照 GB18871《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》，把辐射工作场所分为控制区和监督区。

(1) 控制区

各种检查系统检查场所的控制区划分如下：

① 固定或组合检查场所中，固定式检查系统的辐射源室、探测器室和检查通道出口门、入口门的区域。

② 组合检查场所中，以组合屏蔽板块组装的隔墙和检查场所出口门、入口门围成的检查工作区域。

③ 移动检查场所中的移动式检查系统，车载移动检查系统外

围的空气比释动能率可能大于 $40 \mu\text{Gy/h}$ 的区域,如辐射源和探测器附近区域、辐射源和探测器之间的辐射检测区域。

(2) 监督区

各种检查系统检查场所的监督区划分如下:

① 固定检查场所的建筑物内与辐射源室、探测器室和检查通道直接相邻的区域。

② 出口、入口外带有护栏区的固定检查场所、组合检查场所的出口门、入口门和门外护栏、道杆之间的区域。

③ 移动检查场所中,除控制区外的护栏(边界 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 剂量率)以内的区域。但车载移动检查系统车内的控制室和图像分析室属于监督区。

(3) 非辐射工作场所

除控制区、监督区外,检测系统工作场所外围的场所不属于辐射工作场所。

7.2.2 辐射剂量控制水平

(1) 辐射源箱泄漏杂散辐射

① 加速器检查系统辐射源箱的泄漏杂散辐射,在距加速器靶 1 m 处的空气比释动能率与有用束中心轴上距靶 1 m 处无屏蔽体时的空气比释动能率的比值(称为辐射泄漏率);对固定式检查系统小于 10^{-3} ;对移动式检查系统小于 10^{-4} 。

② 放射源检查系统辐射源箱的泄漏杂散辐射水平应符合表 7.2 要求。

表 7.2 放射源箱体外的泄漏杂散辐射控制值

检查系统类型	距源箱外表面下列距离的空气比释动能率/ $(\mu\text{Gy/h})$	
	5 cm	100 cm
固定式系统	1 000	100
移动式系统	500	20

(2) 检查系统部件外的辐射水平

① 加速器检查系统的调制器组装体表面外 5 cm 处的空气比释动能率应不大于 $40 \mu\text{Gy/h}$ 。

② 放射源检查系统的贮源容器外表面 100 cm 处的空气比释动能率应不大于 $200 \mu\text{Gy/h}$ 。

(3) 检查场所外的辐射水平

① 固定检查场所检查通道墙外、出口和入口防护门外、辐射源室和探测器室外(不含通道内的部分),距各表面 30 cm 处的空气比释动能率应不大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

② 组合检查场所检查通道墙外距表面 30 cm 处的空气比释动能率应不大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$,但移动式检查时移动的主束窄区瞬时可允许 $10 \mu\text{Gy/h}$ 。

③ 出口、人口外带有护栏的固定检查场所和组合检查场所的护栏边界外 30 cm 处的空气比释动能率应不大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

④ 车载移动式检查系统工作时围圈的工作区护栏边界(生产厂家应给出最小护栏边界)处的空气比释动能率应不大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

⑤ 车载移动式检查车上、控制室、图像分析室、驾驶室的空气比释动能率应不大于 $2.5 \mu\text{Gy/h}$ 。

以上①~⑤取自 GBZ143。由于检测对象几何尺寸和内容物的不同、要求的检测技术指标不同、检测场所的特定条件以及售往国外的当地国家法规与标准的不同、用户的专门要求,检测系统销售合同中的检查场所外的辐射水平技术指标可能不同于 GBZ143 的要求,但必须符合 GB18871 标准和使用当地的审管要求。

7.3 辐射安全系统

7.3.1 辐射安全一般原则

(1) “故障—安全”总则

辐射安全应以“故障—安全”为总则,即系统建立一种安全状

态,系统的任一部分的故障不影响系统的总体安全。

(2) “纵深防御”原则

针对给定的安全目标,运用多层次的纵深防御措施,使得即便其中一种防护措施失灵,仍能达到安全目的。

纵深防御层次如下:

① 使系统处于良好的安全状态。

② 当系统处于某种非正常状态时,能够及时探查并纠正这种异常,而不导致事故发生,例如:加速器出束条件不具备时的计算机屏幕显示。

③ 当发生意外事件与事故时,能通过应急措施尽可能减缓事件与事故的后果,例如:启动检测场所内的紧急开关。

(3) “冗余性”、“独立作用”、“多样化”措施

“冗余性”:设置数量多于最低需要的单元或系统,以达到任一单元或系统失效不致引起所需总体安全功能丧失的措施。

“独立作用”:即一个单元(或系统)的失误不影响另一个单元(或系统)的安全功能,否则这两个单元(或系统)视为一个单元(或系统)。

“多样性”:使用不同属性的安全装置部件或系统,使之不因同一属性的错误影响不同部件(或系统)各自的安全功能。如:计算机计时和外部计时器计时。

7.3.2 辐射安全设施

(1) 辐射源出束控制

辐射源出束包括加速器 X 射线出束或放射源工作容器的源闸(快门)开启。辐射源出束只能由控制台控制,只有在控制台插入出束控制钥匙且由“闭束”位置转换到“开束”位置后,并在出束条件均已具备时,才能启动辐射源出束。钥匙在“开束”位置时不能拔出,仅当转换到“闭束”位置,辐射束关闭后才能拔下钥匙。该钥匙与辐射源室门钥匙、电器柜门钥匙、传送设备检查台钥匙以及小型剂量报警仪拴系在一起并不可拆解,以保障维修和检查工作

人员的安全。

加速器检查系统的出束条件见逻辑图 7.4。

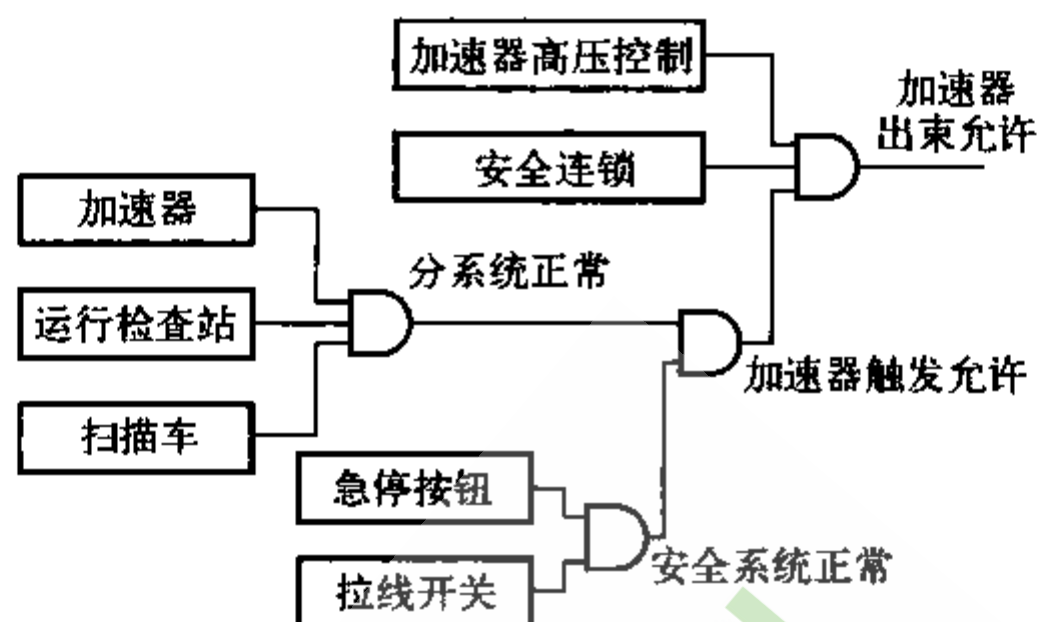


图 7.4 加速器检查系统的出束条件逻辑图

(2) 辐射警示

① 在检查系统的检测通道、辐射源室和探测器室等控制区的出口、入口门外，必须设置电离辐射危险标志；在护栏等监督区边界，应设置醒目的“当心电离辐射”警示标识。

② 在控制台处设置摄像屏幕，监视控制区的出口、入口和控制区内的人员驻留情况和检查系统运行状态；在控制室的计算机屏幕，显示辐射源、安全连锁和监测系统的工作状态，警告意外故障并显示故障内容；在控制室设置向检查现场广播的设备及与现场工作人员的对讲通讯设备。

③ 辐射源出束状态警示灯设于：辐射源室内；探测器室内；检测通道中探测器横壁两侧；控制区出口和入口；控制室。在控制区设置辐射源出束警告铃。

(3) 安全连锁

除辐射源出束钥匙外，还需设置有效的安全连锁，防止人员在辐射源出束的检测状态下误入控制区，其示例如下：

① 辐射控制区入口防护门和监督区入口、出口道杆连锁：只

有关闭防护门、放下道杆,辐射源才能出束。辐射源出束中,防护门不能开启,道杆不能抬起;意外开启防护门或抬起道杆时,自动中断辐射源出束。在辐射源出束时,相应防护门或道杆处的红外设备投入工作,人员意外通过防护门或道杆区时,自动中断辐射源出束或警告辐射源正在出束,同时向控制台发出紧急警报。

② 在辐射控制区和(或)放射源检测系统的源闸旁,固定安装剂量测量仪表的探测器,其测读的剂量反映辐射源出束状态和源闸是否有效关闭,该剂量与控制区防护门联锁。

③ 在辐射控制区安装反射式红外探测器,在辐射源出束时可探查出误留在控制区的人员(移动),自动中断出束。

④ 在检测通道的监督区设置场地人员清场确认键。当现场工作人员引导待检车辆在待检上载处就位,车上司机已离开检测工作区,检测场地无人员时,按确认键向控制台发出信号后,才可能在控制台控制出束。

(4) 待检车辆的司机安全

① 上述(3)中第④项确认键的设置,防止检测时司机误留在检测场地的意外情况。

② 某些车辆和机车货物(如货运列车)不停车检查,采取多重(如三重)冗余的安全设施,确保司机和助手所在的车头已通过未开启的辐射束区并达到辐射安全区域后,才开启的辐射束,对车辆上的货箱进行辐射检查。

(5) 应急求助装置

检查系统应设有应急求助装置,可在紧急情况下立即中断辐射照射。应急求助装置应设于:辐射源室;探测器室;检查通道两侧和通道出口、入口;移动式检查系统扫描车外侧;控制台等位置。

(6) 放射源检查系统的保安设施

放射源检查系统中的放射源属于Ⅱ类高危险源,固定式检查系统的辐射源室、组合移动式检查系统的组合检查厅和车载移动式检查车的贮存场所,必须采取相应级别的保安设施与保安措施,

(见 4.4 节)应符合公安、环境保护审管部门的要求。

7.4 安全操作与管理注意事项

检查系统的安全操作与管理,应遵从第 4 章可适用的部分,并注意以下各项:

(1) 检查系统操作员和场地协调员协调工作,通过现场检查和控制室摄像观察,确认辐射源出束检测前人员已退出检查场地,此后再启动辐射源出束检测。

(2) 检查系统操作员和场地协调员应在检查系统工作的自始至终监视通道出入口以及车载移动式检查系统的护栏边界,防止人员在检测时误入检测控制区。

(3) 任何人员不得拆解与辐射源出束控制钥匙拴系的钥匙串和剂量仪。维修时必须使用由控制台拔下的钥匙串并携带、使用经核查正常工作的剂量仪。

(4) 任何人员不得擅自解除安全联锁设备。每班工作前,必须检查安全联锁设备,凡发现任何故障,不得启动辐射源出束。

(5) 对放射源检查系统,应注意将放射源收回贮源容器的操作和换源操作,正确连接控制缆线,在剂量仪表监测下远距离操作,并在源输出或收回贮源容器后锁紧源锁。

(6) 放射源检查系统和由检查系统换下的放射源容器,必须按管理部门的保安要求贮存、运输,不使用的放射源(容器),必须向审管部门申请处理,按供源合同退回检查系统生产厂家或供源厂家。

8 剂量监测要求

8.1 不同类别的剂量监测

8.1.1 分类

使用检测仪表所涉及的剂量监测主要是贯穿辐射外照射剂量检测,包括装置检测、场所检测、个人监测和特殊监测。

8.1.2 辐射源检测仪表和检测装置的剂量监测一般要求

(1) 检测仪表和检测装置的剂量监测:包括源容器和检测仪表的泄漏辐射、射线装置的辐射源组件和检测装置的泄漏辐射,以及其他辐射防护剂量指标、辐射安全设备检查。对于放射源检测仪表,还包括对放射源的活度和源的安全质量的检测。

(2) 在下列情况下进行装置的验收检测:a. 新安装;b. 影响剂量和防护的重大更新(含放射源换装)和维修;c. 闲置半年以上重新启用。

(3) 定期(一般一年一次)进行装置的“状态检测”。

(4) 经常性的质量控制检测:不同项目按规程进行日、周、月、季、年不同频度的检测。

(5) 管理部门规定的年度检测。

8.1.3 对放射源检测仪表的放射防护性能检测和检验

(1) 检验项目与频度

检验项目与频度列于表 8.1。

(2) 检验注意事项

① 型式试验时,源容器内密封源的活度应为额定活度值(厂家企标中容许使用的最大值)。当密封源活度低于额定活度时,需将检验结果乘以因子 K (=额定活度/检验时的活度),但 K 值不

表 8.1 同位素仪表的放射防护性能检验项目要求

项 目	GBZ125—2002 中的条款序号	型 式 检 验		出 厂 检 验、 用 户 和 管 理 部 门 验 收	用 户 和 管 理 部 门 核 查
		投 产 前	投 前 后		
源容器的结构和工 作状态指示	4.1;5.3 4.3~4.5	√	√	直观检验	直观检验
源闸耐力	4.2	√	循环操 作 10 次	循环操 作 10 次	×
源容器适用的最高、 最低温度	4.2	√	6.4 d 试验时	×	×
源容器抗火能力	4.2	√	6.4 d 试验时	×	×
源容器标牌	4.9	√	√	√	√
仪表的随机文件	5.4	√	×	√	√
源容器安装场所	6.5.4 6.5.5	×	×	√	√
密封源在贮源位置 时源容器的漏射线	4.7;4.8	√	√	√	×
密封源在工作位置 时源容器的泄漏射 线和 2.5 μGy/h 剂 量区	4.7;4.8 5.4	√	√	√	√

注:1. 其中“√”表示必须检验;“×”表示不需要检验;

2. 用户和管理部门核查应当每年一次。

得大于 10(即检验时的活度大于额定活度的十分之一)。

② 对于源容器的漏射线检测,应当以剂量仪在源容器表面扫描,探查最大漏射线的方位,并进行相应的检测。在此基础上还应当以密封源为坐标原点,有用线束中心轴方向为 Z 轴,垂直于 Z

平面内任选有标志位置特征的相互垂直的 X、Y 轴。当源闸关闭时在 X、Y、Z 线的正、负方向上,距源容器表面 5 cm 和 100 cm 的位置上进行检测。但对于源容器和探测器位于待测物两侧的透射式仪表,在源容器的源闸处于关的位置,且源容器和探头的相邻表面之间的距离小于或等于 10 cm 时,不必在二者之间的区域内测量(见图 8.1)。

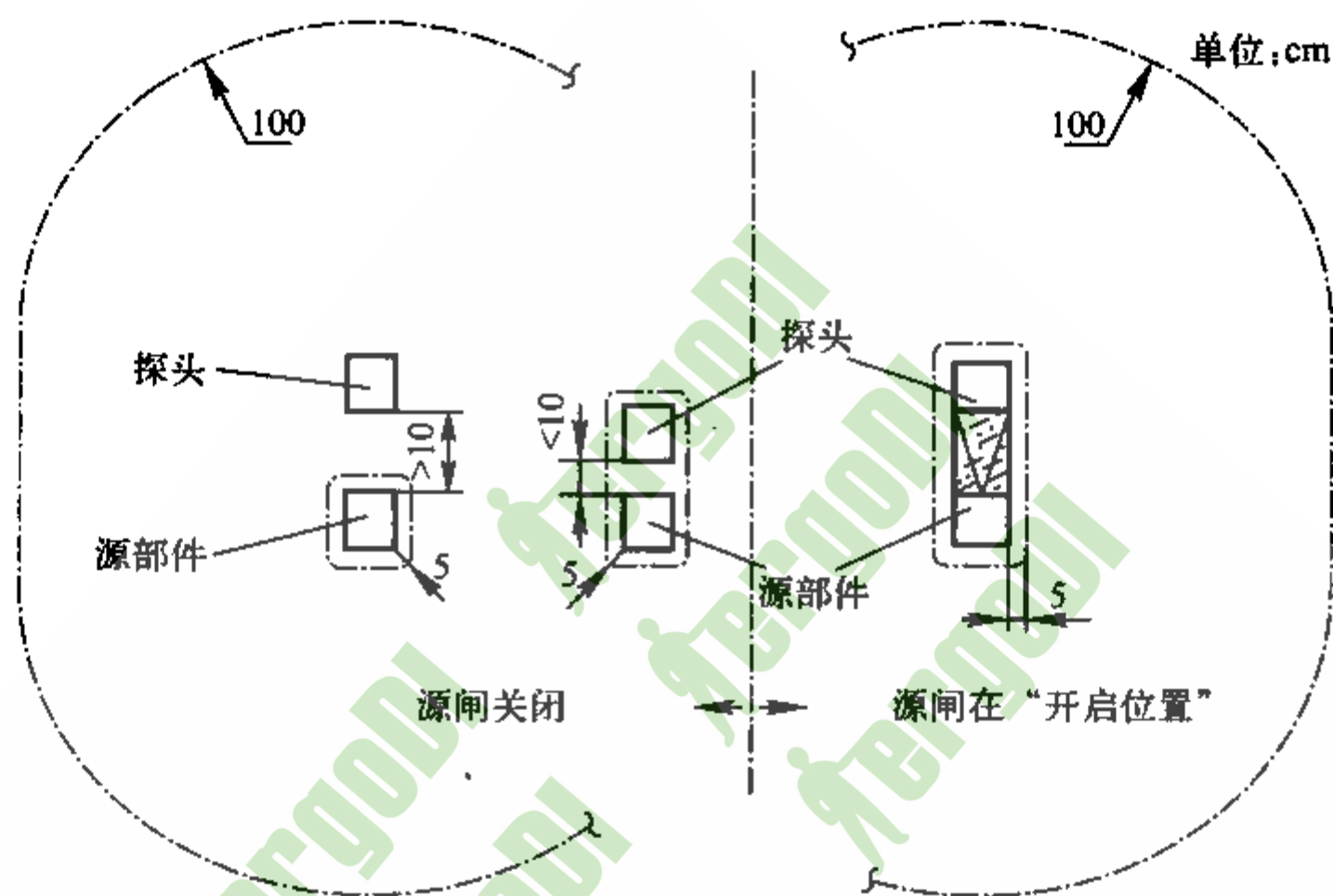


图 8.1 等距离轮廓线示意图

③ 当源闸处于“开”状态时,应当在有和无待检物(或模拟待检物)的情况下分别测量,但源容器和探测器之间的区域不需测量(见图 8.2)。对于模拟待检物的要求,见图 8.3 和图 8.4。

④ 距参考边界外 5 cm 处的检测,所记录的读数值应当是 10 cm^2 面积上的读数平均值。距参考边界外 100 cm 处的检测,所记录的读数值应当是 100 cm^2 面积上的读数平均值。这就是说,当剂量仪的探测器截面小时,允许个别点高于规定值,而应按上述面积上的平均值评定。相反,当剂量仪器探测器截面大,而辐射场

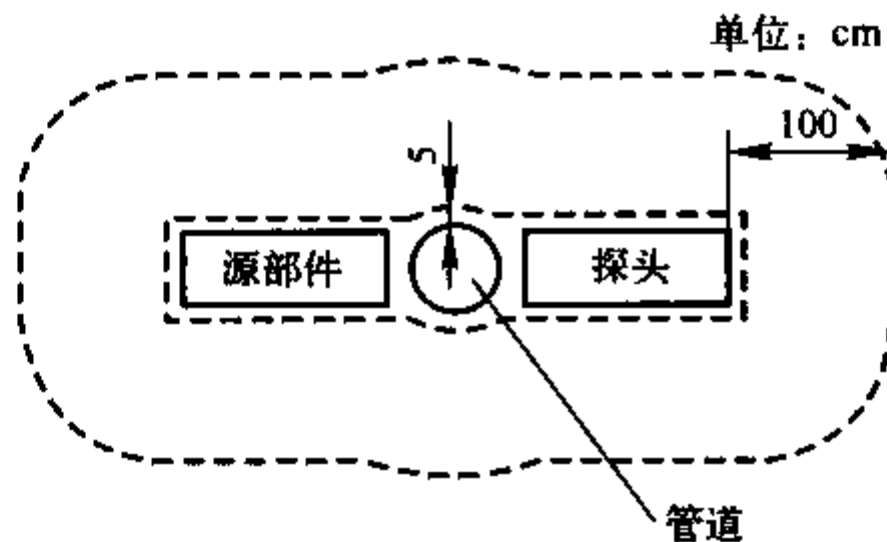


图 8.2 密度计源容器外围的剂量当量率测量区示意图

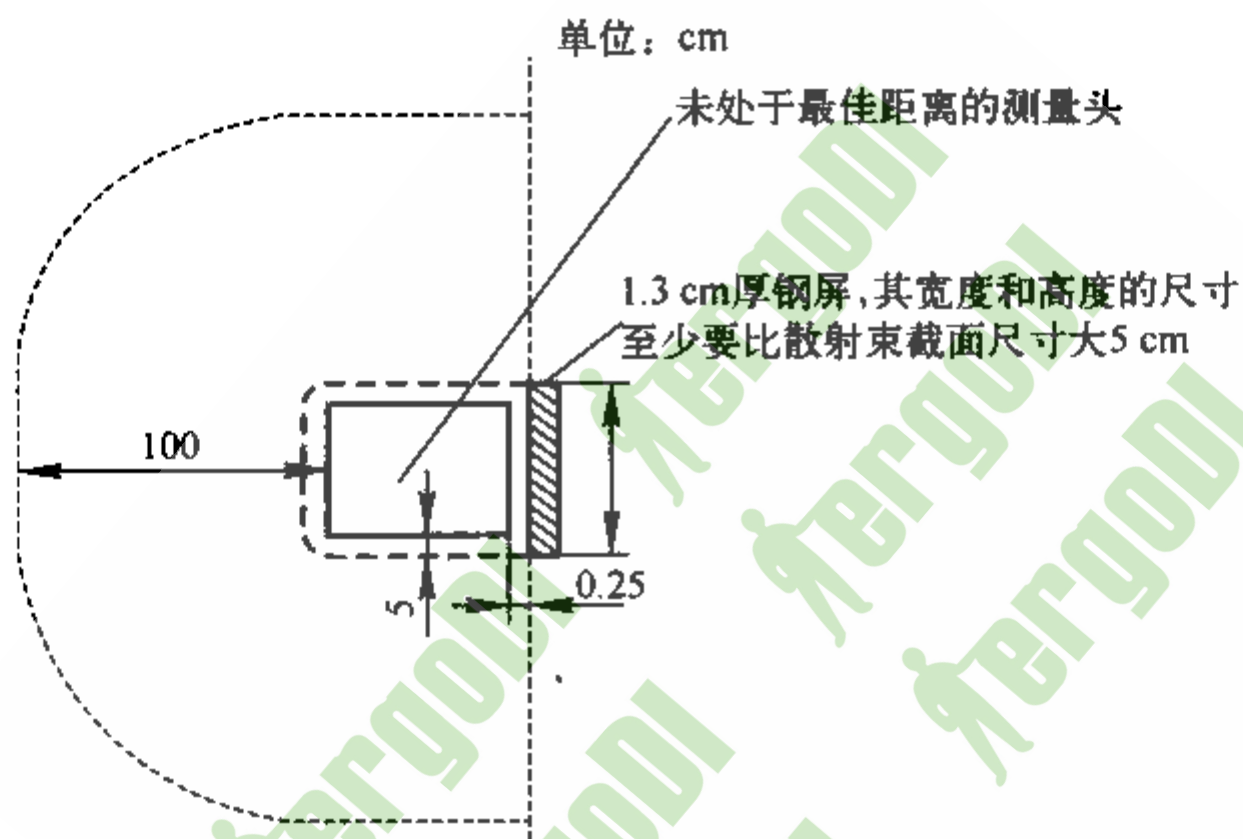


图 8.3 料位计源容器外围的剂量当量率测量区示意图

极不均匀时,距参考点 10 cm 处的测读值可能掩盖了某些小范围超过标准的情况,在检测时应据实际情况分析。

检测点与参考边界的距离应当以剂量测量仪器探测器的中心位置计量。对于距参考边界 5 cm 处的检测,往往因检测仪器的探头大,无法严格到位测量,此时可将仪器的探头贴近参考边界表面近似测量(如:电离室探头型 FJ-347 剂量仪、中子雷姆仪)。

有时需要测量检测仪表有用线束内的辐射剂量,此时剂量仪的探测器灵敏体积应当全部包容在有用束内,否则将给出偏低的

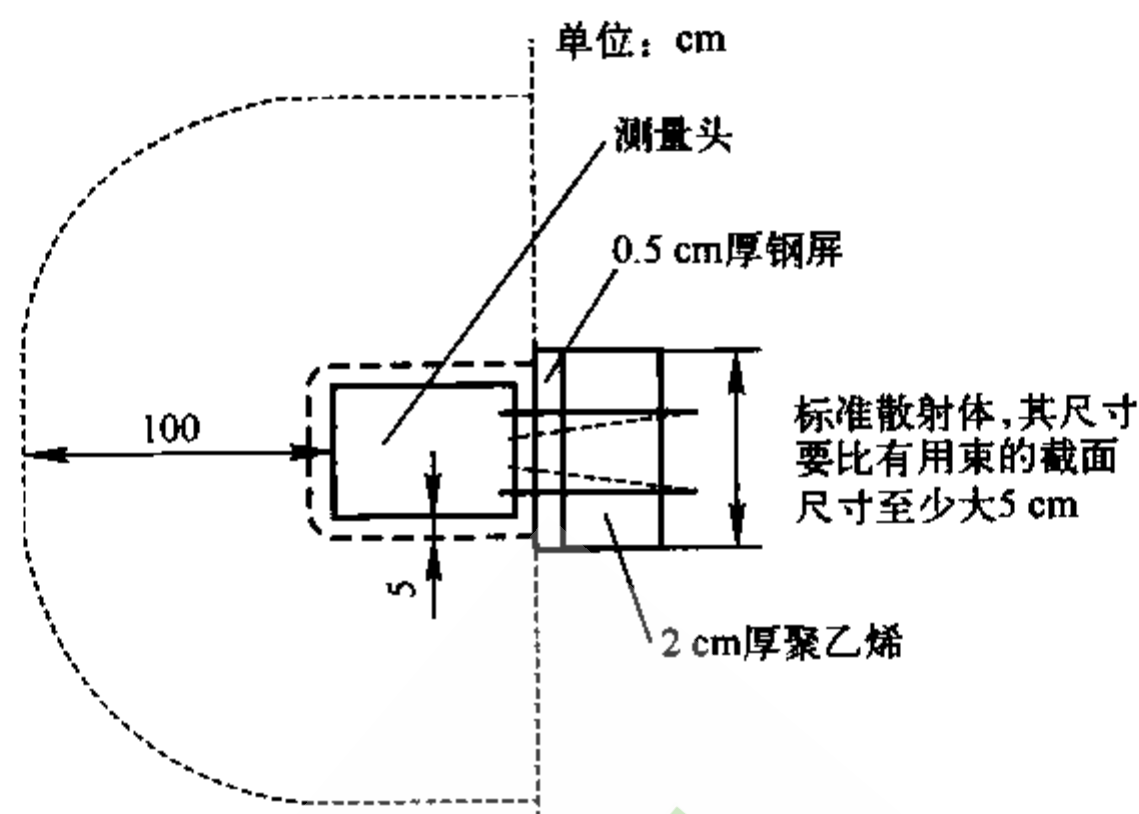


图 8.4 反散射式中子测量仪表外围的剂量当量率测量区示意图

结果(尤其是对窄有用束),必要时可配合使用热释光剂量计检测。

⑤ 对于含中子源仪表,应当以剂量当量(或剂量当量率)为单位检测,且应分别在同一位置进行中子和 γ 射线的剂量当量检测,以二者之和进行评价。

⑥ 对于使用放射源检测仪表的源容器安装场所,应在人员操作位置、人员可以到达的接近源容器的边界区域进行辐射剂量率检测;检测出相应于 $2.5 \mu\text{Cy/h}$ 剂量当量率的人员可以到达的位置。

⑦ 剂量测量仪器的选择和使用见 8.2 和 8.3 节。

(3) 密封源泄漏检验

在下列情况下进行检测仪表中的密封源泄漏间接检验:

① 当检修、换装密封源涉及密封源体时,擦拭与卸下源曾接触的源容器部位;

② 当源容器的有用线束开口竖直向下且源容器与出口之间无任何遮挡物时,每半年一次对直接受有用束照射的固定物品的表面进行擦拭检验。

推荐的擦拭方法:以湿式的酒精棉球在 15 cm×7 cm 的面积上单向擦拭,并适时更换棉球。该面积擦拭两遍。拭样集中,并测量总拭样的活度。当测出有明显的放射污染(如 20 Bq)时,应当进一步对密封源进行质量检验,检验样品的放射性总和按 185 Bq 评定。

8.1.4 经常性场所剂量检测(含安全检查)

(1) 当需要在放射源检测仪表和检测装置安装场或附近环境固定安装剂量仪表时,用以测量检测工作结束后,放射源是否恰当返回贮源位置、场所剂量是否处于辐射安全水平。

(2) 定期的涉及放射源的单位自行检测和委托管理部门认可的技术服务部门按国家规定检测放射源安装场所或装置室外围与环境的辐射剂量水平和安全设备工作状况。

(3) 出现或疑有超过正常剂量水平或不安全情况时,及时进行场所剂量检测和场所的安全设备检查。

(4) 移动式放射源检测仪表和检测装置,每个使用场所安全管理边界的辐射剂量率检测。

8.1.5 个人剂量监测

(1) 所有涉及放射外照射的放射工作人员,都应佩带累积式个人剂量计,如热释光剂量计(TLD)。

(2) 放射工作人员在进入带有或可能带有较强的检测仪表工作场所时应携带个人剂量报警仪。

8.1.6 特殊监测

(1) 在计划安排的检测仪表与装置维修、排除异常或事故的应急处置中,有可能超过正常照射的情况下,应佩带累积式个人剂量计、个人剂量报警仪及携带场所剂量检测仪表进行整个操作过程的跟踪剂量监测。

(2) 在意外事故情况下,为了估计受照者剂量,进行回顾性的监测及必要的模拟剂量测量。

(3) 在安装或换装检测仪表中的 γ 放射源时,操作者的个人剂量计和个人剂量报警仪监测,及整个操作过程中跟踪监测操作场所辐射剂量。

(4) 在运输放射源(容器或仪表)时,对运输容器(货包)的辐射剂量检测与剂量核查。

8.2 对剂量监测仪表的要求

据不同剂量检测目的和不同工作场所,需要考虑以下要求:

(1) 测量剂量的量程范围:如确定放射源活度的仪表的剂量、防护水平和环境水平辐射剂量。

(2) 测量的精度:测量源活度的仪表的测量偏差应小于 5%,而防护水平仪表的不确定度为 $\pm 20\%$ 。

(3) 能量响应:指相同剂量(剂量率)下,仪表对不同能量的辐射束的读出值的不同,常以 ^{60}Co 源归一(取为 100%)。仪表通常给出测量适用的能量范围。X 射线衍射仪、X 射线安全检查仪等,其有效能量仅几十 keV,应特别注意该项指标。

(4) 方向性:由不同方向射入仪表的辐射在仪表的探测器中的行径不同,导致在相同剂量(剂量率)下的读出值不同,常以垂直探测器面的法线方向归一(取为 100%)。通常球形、圆柱形探测器的方向性较好。

(5) 时间响应:指仪表建立读数的时间。X 射线安全检查仪、脉冲调频的加速器等,尤应注意该项指标。有时,可以利用仪表给定的建立读数时间修正测量的读出值。

(6) 过载特性:在严重超过仪表的测量范围的辐射场下,仪表读出值不是满度值,且可能出现“零”读出。在缺乏经验并忽视该过载特性时是危险的,可能误把很高的辐射场判为安全。有的仪表不仅给出了过载指标,而且有超载报警。

(7) 抗干扰性:a. 有的仪表在高频率的微波辐射干扰下不能正常工作,如某些加速器装置。b. 对于中子剂量测量仪,其对 γ

辐射也有一定的响应,称为中子测量的 γ 干扰,通常要求小于1‰。

(8) 使用环境:如温度、湿度。注意某些半导体器件的仪表,在运输中超过温度范围也可能损坏仪表。

(9) 其他:a. 仪表的线性(高剂量、低剂量和仪表不同量程时,在规定的误差范围内有相同的校正因子);b. 仪表的耐用性;c. 仪表供电电池的易获取性等。

8.3 剂量监测仪表使用注意事项

(1) 仪表预热:在超过仪表要求的预热时间,仪表才能进入工作状态或才能有稳定的读出值。

(2) 本底扣除:在关闭辐射源的情况下,测量仪器的本底值,调整仪器扣除本底,或采用自动/手动方式扣除本底。

(3) 量程选择:对于需要手动选择量程的仪表,据辐射场的剂量水平选择量程或自高量程向低量程逐档转换。

(4) 仪器校正:a. 计量检定的校正因子;b. 气体电离室测量仪表的温度、气压校正;c. 上节所述各相关响应因子的校正。

(5) 探测器窗或套:据待测辐射的能量选择探测器窗的“开”、“关”状态;对加速器等高能辐射束测量需增用电子平衡帽。

(6) 仪器检定与校核:a. 仪表应在计量检定证书的有效期内使用;b. 按规程使用校验源校核仪表。

(7) 开关机程序:a. 对于多探头的仪表,在连接探测器前先检查、调整主机设置条件,使之与待用探头适配;b. 在主机关闭条件下连接探头;c. 测量后先关主机再卸下探头电缆;d. 在核查仪表电源关闭后再装箱。

8.4 个人剂量计使用注意事项

(1) 放射工作人员涉及带有外照射的一切操作必须佩戴剂量计。

(2) 凡离开放射工作岗位,挂有剂量计的工作服不得放在放

射源及其检测仪表旁或其他高于正常辐射本底的场所。

(3) 应注意保护剂量计,勿损伤条码,勿与工作服一同在洗衣机内误洗涤,勿随意开启剂量计造成元件污染。

(4) 某些涉及放射源或辐射束的操作,当欲测量手、腕等部位的局部剂量时,应在使用登记表上注明,必要时可事先申请更适合局部测量的专用剂量计。

(5) 在工作人员自身健康需要接受放射科检查时,不得随身携带剂量计;在接受核医学科检查时,应在剂量计登记表上注明,以便对测量结果进行排除分析。

(6) 按规定周期适时更换剂量计,一般每 3 个月更换一次。

参 考 文 献

- [1] IAEA. Categorization of radioactive sources. IAEA-TECDOC-1344, IAEA, Vienna, 2003a
- [2] IAEA. (国际原子能机构), 放射源的分类, 国际原子能机构安全导则第 RS-G-1.9 号. 国际原子能机构, 维也纳 2006a
- [3] IAEA Dangerous quantities of radioactive materials (D-values). EPR-D-VALUES 2006. IAEA. 2006b
- [4] 王时进, 娄云等. 某些辐射应用实践的潜在照射表现及其控制. 辐射防护. V₀119. N₀3. 1999
- [5] 朱宝锋, 崔子秋编著. 全国放射事故及案例汇编. 北京: 中国科学技术出版社. 2000
- [6] JB/T9400-1999 X 射线衍射仪 技术条件, 1999



[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 辐射源检测仪表和检测装置的放射防护与安全

作者 = 王时进, 万玲, 李雅春编著

页数 = 69

s s 号 = 12135992

出版社 = 原子能出版社

出版日期 = 2008

www.radtek.cn

封面
版权
前言
目录

- 1 国家法规与标准
 - 1.1 基本国家法规
 - 1.2 《职业病防治法》摘录
 - 1.3 职业病危害分类和放射工作人员职业健康管理
 - 1.4 放射性同位素与射线装置许可管理与分类
 - 1.5 相关的国家标准和技术规范 . . .
- 2 放射源检测仪表概述
 - 2.1 检测仪表的特点
 - 2.2 检测仪表类别
 - 2.2.1 强度测量型仪表
 - 2.2.2 荧光仪表
 - 2.2.3 电离型仪表
 - 2.3 常见放射源检测仪表
- 3 放射源检测仪表的辐射防护性能
 - 3.1 密封源
 - 3.1.1 密封源性能分级
 - 3.1.2 不同穿透能力的放射源
 - 3.1.3 检测仪表选用放射源的原则
 - 3.2 对检测仪表的放射防护要求
 - 3.2.1 源容器
 - 3.2.2 检测仪表及其使用场所要求
- 4 放射源检测仪表的安全操作与管理
 - 4.1 放射源和其检测仪表的管理
 - 4.1.1 制造厂的职责
 - 4.1.2 放射源检测仪表应用单位的管理规章
 - 4.2 放射源检测仪表使用操作与维护的安全
 - 4.3 源容器的运输要求
 - 4.4 放射源容器和带放射源的检测仪表的贮存要求
- 5 放射源检测仪表的辐射安全
 - 5.1 放射源的辐射危险
 - 5.1.1 潜在照射概念
 - 5.1.2 放射源的危险活度
 - 5.1.3 放射源的分类
 - 5.1.4 放射源和含源实践的意外危险
 - 5.1.5 说明
 - 5.2 放射源检测仪表应用中的放射事件与事故
 - 5.2.1 放射事件与事故表现
 - 5.2.2 放射事故原因
 - 5.2.3 辐射(放射)事故及其管理
 - 5.2.4 事故预防与对策
 - 5.2.5 辐射事件与事故应急响应
 - 5.2.6 结束
- 6 X射线管检测装置的放射防护与安全
 - 6.1 范围
 - 6.2 X射线衍射仪和荧光分析仪
 - 6.3 X射线行李包检查系统
 - 6.4 其他X射线仪表
- 7 整装货包检查系统放射防护与安全
 - 7.1 概述
 - 7.1.1 检查系统和其应用范围
 - 7.1.2 检查系统分类
 - 7.1.3 检查系统组成与结构
 - 7.2 检查系统工作场所分区及辐射剂量控制水平
 - 7.2.1 工作场所分区
 - 7.2.2 辐射剂量控制水平
 - 7.3 辐射安全系统

7.3.1 辐射安全一般原则

7.3.2 辐射安全设施

7.4 安全操作与管理注意事项

8 剂量监测要求

8.1 不同类别的剂量监测

8.1.1 分类

8.1.2 辐射源检测仪表和检测装置的剂量监测一般要求

8.1.3 对放射源检测仪表的放射防护性能检测和检验

8.1.4 经常性场所剂量检测 (含安全设备检查)

8.1.5 个人剂量监测

8.1.6 特殊监测

8.2 对剂量监测仪表的要求

8.3 剂量监测仪表使用注意事项

8.4 个人剂量计使用注意事项

参考文献

