

电离辐射安全与防护培训

工业应知应会

生态环境部放射源安全监管司
中国原子能研究院、清华大学、南华大学
编制人员：XXX、XXX/

目录

第一节 概述.....	1
1.1 核子仪的特点及生产中的意义.....	1
1.2 核子仪的分类.....	1
第二节 核子仪的组成及原理.....	1
2.1 核子仪的组成.....	1
2.2 核子密度计.....	2
2.3 核子测厚仪.....	3
2.4 核子秤.....	4
2.5 核子料位计.....	4
2.6 X 射线衍射仪.....	5
2.7 X 射线荧光分析仪.....	6
第三节 核子仪的安全与防护.....	8
3.1 源项及风险分析.....	8
3.2 防护要求.....	10
3.3 管理要求.....	13
第四节 核子仪案例分析与辐射应急.....	20
4.1 案例分析.....	20
4.2 辐射应急.....	24

第五章 核子仪的辐射安全与防护

第一节 概述

核子仪是一种测量装置，它由一个带屏蔽的可发射射线的放射源和一个辐射探测器组成，射线束穿过物质或者与需要分析的物质相互作用，为连续分析或过程控制提供实时数据，在工业中应用十分广泛，主要用于过程控制和产品质量控制。目前，核子仪已广泛地应用于科学研究、工农业生产以及一些消费品生产中的过程控制和质量控制。

核子仪的应用行业和企业包括：科研院所、大学院校、医疗机构、地质和煤田勘探与开采、石油开采与炼油、公路与桥梁建设、机械制造与安装、建材（尤其是水泥厂）、纺织、卷烟、造船、电力、制药、育种、造纸、印刷、冶金、橡胶、仪表和钟表制造、电影制片、木材、塑料、面粉、饲料加工、饮料、电缆、荧光灯生产等。

1.1 核子仪的特点及生产中的意义

核子仪的特点主要有：

- (1) 不直接接触被检测对象，是一种非破坏性的检测工具；
- (2) 可在各种苛刻条件如高温、高压、高粘度、高毒性等情况下对非密闭和密闭容器内的物料进行非电参数的控制；
- (3) 灵敏度高、性能稳定可靠、响应速度快、使用寿命长；
- (4) 可连续输出电信号，实现生产过程闭环自动控制；
- (5) 体积小、重量轻，便于携带和安装；
- (6) 穿透深度视射线种类不同而有所区别，其穿透深度在 0.1~1m 之间。

核子仪在生产中的主要意义表现为：

- (1) 满足生产发展与社会需求；
- (2) 解决工业生产中的某些重大技术难题；
- (3) 强化生产过程，加速工业技术进步；
- (4) 具有显著的经济效益：包括节约原料、提高产品质量、减少废品和次品、提高机器的运转速度和工作效率。

1.2 核子仪的分类

核子仪根据不同的分类方式（原则）可以分为不同的类型：

1.按照基本原理和作用方式可以分为强度型、能谱型、数字图像处理型及其它型。

- (1) 强度测量仪表包括核子密度计、核子测厚仪、核子料位计、核子水分计、核子秤等；
- (2) 能谱分析仪表包括 X 射线荧光分析仪、在线活化分析等仪器仪表；
- (3) 数字图像处理仪表主要用于无损检测，常用的主要是各种探伤设备等；
- (4) 其它类型的仪表主要是利用辐射所产生的电离效应实现检测，如放射性同位素火灾报警装置，放射性避雷针、静电消除器等。

2.按照与物质发生相互作用的类型分为：透射式仪表、散射式仪表、电离式仪表、同位素 x 荧光式仪表等。

- (1) 透射式仪表：透射式厚度计、透射式密度计和透射式液位计等。
- (2) 散射式仪表：散射式厚度计和散射式密度计等。
- (3) 电离式仪表：气体压力计、气体流量计、气体成份分析仪等。
- (4) 同位素 x 荧光式仪表：同位素 x 荧光分析仪、同位素 X 荧光镀层厚度计。

思考题：

- 1、什么是核子仪？
- 2、核子仪的特点？
- 3、核子仪的分类？

第二节 核子仪的组成及原理

2.1 核子仪的组成

核子仪一般由放射源、核辐射探测器、电转换器及二次仪表等组成。其中放射源和核辐射探测器是其核心部件。

1. 核子仪所用放射源

放射性核素虽然有很多种，但能够用于同位素仪表的放射源却不多，这是因为对同位素仪表中使用的放射源有以下要求：

- (1) 半衰期长；
- (2) 射线能量和能谱合适；
- (3) 放射性比活度高；
- (4) 价格低廉，易得。

核子仪常用的放射源主要有 α 放射源、 β 放射源、 γ 放射源、中子放射源等。

α 放射源：最常用的 α 放射源主要是 ^{210}Po 和 ^{239}Pu 。 ^{210}Po 自然界含量极低，常利用人工方法获得，其可以当作是纯 α 放射体，放出能量为 5.3MeV 的 α 粒子，其半衰期较短，仅为 138 天； ^{239}Pu 可发射三种不同能量（5156.59keV, 5144.3keV, 5105.8keV）的 α 粒子和两种能量的 γ 射线，其优点是半衰期可长达 2.4×10^4 年。

β 放射源： β 放射源常常同时放射出 γ 射线，常用的纯 β 放射体主要有 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{90}Sr - ^{90}Y 等。 ^3H 半衰期长达 12.35 年，放射出的 β 粒子最大能量为 18.6keV，平均能量 5.7keV。 ^{14}C 半衰期 5730 年，放射出的 β 粒子最大能量为 156.467keV。 ^{90}Sr - ^{90}Y 很容易获取也很便宜，其优点是 β 粒子平均能量高，能谱曲线上具有较宽的平坦部分。

γ 放射源：常用的 γ 放射源主要有 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{192}Ir 、 ^{170}Tm 、 ^{241}Am 、 ^{238}Pu 、 ^{55}Fe 等。

中子源：包括同位素中子源、加速器中子源和反应堆中子源。同位素中子源：利用放射性核素衰变时放出一定能量的射线，去轰击某些靶物质，产生核反应而放出中子的装置。主要基于以下三种核反应： (α, n) 反应、 (γ, n) 反应和自发裂变。加速器中子源 利用各种带电粒子加速器，加速质子或氘等粒子，去轰击靶核而产生中子的装置。最常用的核反应有 (d, n) 、 (p, n) 和 (γ, n) 等，其中子强度比放射性同位素中子源大得多。反应堆中子源：利用原子核裂变反应堆产生大量中子。反应堆是最强的热中子源。

2. 核子仪所用探测器

将射入其中的核辐射转变为一个电信号，这个电信号与被测参量有着函数关系，并传输给下一级电路。用来衡量辐射探测器的主要性能指标通常有下面四个：

- (1) 探测量子效率：产生的光子事件数和入射光子数之比。
- (2) 响应度：输出信号和入射辐射功率之比。
- (3) 分光响应：对不同波长辐射的响应特性。
- (4) 探测率：能探测的最小辐射功率的倒数。

常用的探测器有：

- (1) 闪烁探测器：主要包括碘化钠单晶闪烁计数器、塑料闪烁计数器、液体闪烁计数器等。
- (2) 气体探测器：主要包括电离室、正比计数器、盖革计数器等类型。
- (3) 半导体探测器：主要包括 HPGc（高纯锗探测器）等。

2.2 核子密度计

核子密度计的测量工作原理是：据 $I_x = I_0 e^{-\mu x}$ ， γ 源发出的初始强度为 I_0 的 γ 射线进入被测物质中，物质密度越大，射线衰减越多，探测器探测到的 γ 射线的强度 I_x 就会越少。所以 I_x 与材料的密度相关，通过测量透过被测物质的 γ 射线强度 I_x ，即可给出被测物质的密度。

根据物质对 γ 射线的吸收或散射是密度的函数，可以应用放射源设计出多种形式的核子密度计。核子密度计广泛地应用于化学、橡胶、塑料、造纸、水泥和水文学方面，用来测量和控制各种浆液的密度以及河水中泥沙的含量。同时可以通过测定密度而间接测定出双组分料液的浓度，其中某种成分的含量以及两种物料的配比等。核子密度计的基本结构如图 2-1 所示。

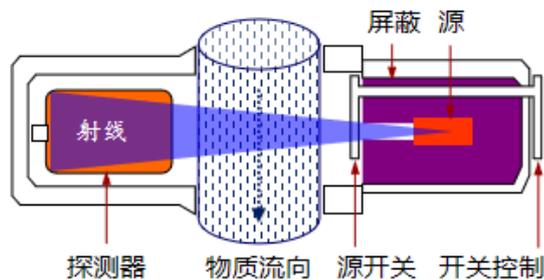


图2-1核子密度计的基本结构

核子密度计应考虑 γ 源能量和被测对象的尺寸及密度的大小。一般情况下多采用 ^{137}Cs 源（其活度范围一般在 1.85GBq ， 50mCi 左右），对大直径的管子的测量用 ^{60}Co 较多，而对几厘米直径的细管用 ^{241}Am 源。

在烟草行业，常用 β 射线源测量连续卷烟机中烟草的密度。

核子密度湿度计广泛应用于道路、机场和水利等工程建设领域中，可快速、准确测量工程中泥土、骨料、沥青和混凝土结构的压实度和含水量。

核子密度湿度计用于密度测量多采用 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 源用来测量密度，活度范围为约 $3\text{MBq} \sim 0.4\text{GBq}$ （约 $8 \sim 10\text{mCi}$ ）。

核子密度湿度计用于水分测量的原理是：由中子源产生的快中子射入被测材料中，与料层内物质发生碰撞散射，减速、扩散，使快中子最后变成慢中子，慢中子被探测器探测，这个作用主要是由物质中的含氢量决定，而氢主要在水中，若被测材料中含水量大，慢中子数就多，反之就少。因此利用仪器探测到的慢中子数的多少即反映其含水量的大小。目前多采用 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 或 $^{238(239)}\text{Pu}-\text{Be}$ 源用来测量水份，使用 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ 中子源的更多一些（其活度范围一般在 50mCi 左右）。

核子密度湿度计内部装有两种放射源。 γ 源一般使用 ^{137}Cs ，用来测量密度；常用的中子源为 $^{241}\text{Am}-\text{Be}$ ，用来测量物质或材料中的水分。使用时将 γ 源推出屏蔽室到金属探测杆底部内，位置随测量深度而上下移动，并位于被测物质中进行测量。中子源安在机壳底部位置不变。核子密度湿度计基本结构及测量原理如图 2-2 和图 2-3 所示。

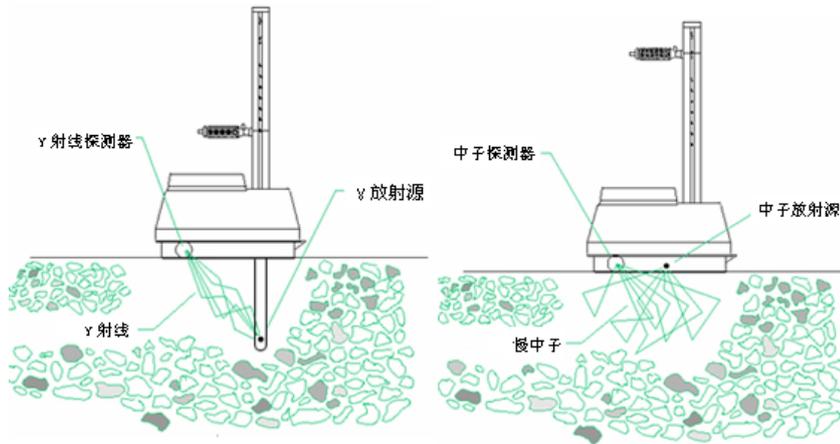


图2-2核子密度/水分测量仪密度测量示意图

图2-3核子密度/水分测量仪水分测量示意图

2.3 核子测厚仪

核子测厚仪按测量射线的形式可分为两类，一类为透射式测厚仪，一类为反散射式测厚仪。透射式测厚仪工作原理与核子密度计类似，是利用放射性同位素所放出的 γ 射线，在穿透物质时，透过射线的强度随物质厚度不同而改变的原理制成的非接触式测厚仪(如图 2-4 左侧图所示)。

只有当被测物体的有效原子序数和密度不变的情况下，输出信号才能直接反映几何厚度。由于放射性同位素所放出的射线的类型和能量不同，其穿透物质的厚度也不同，所以要根据所测物体的厚度的不同来确定选择放射源的类型。核子测厚仪所用的放射源有： α 源、 β 源和 γ 源。

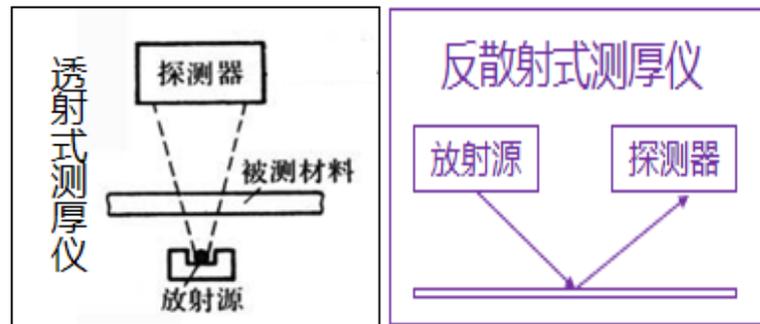


图2-4核子厚度计的测量原理示意图

α 放射源可用于测量质量厚度为 $5\sim 50\text{g}/\text{m}^2$ （比普通的 A4 复印纸还薄）的物质，常用的 α 源有： ^{210}Po ， ^{239}Pu 。

β 源可用于测量较薄的纸张、纺织品、塑料薄膜、金属箔、橡胶等材料的厚度，常用的 β 源有： ^{85}Kr 、 ^{90}Sr 、 ^{147}Pm 、 ^{204}Tl ；所测物品的质量厚度范围： ^{147}Pm 源： $5\sim 10\text{g}/\text{m}^2$ ， ^{85}Kr 源： $10\sim 1200\text{g}/\text{m}^2$ ， ^{90}Sr 源： $5\sim 10\text{g}/\text{m}^2$ 。

γ 源主要对密度较大、厚度较厚的物品厚度（例如轧钢厂轧钢板的厚度等）进行测量，常用的 γ 源有： ^{60}Co ， ^{137}Cs ；所测物品的厚度测量范围为： ^{137}Cs 源： $2.5\sim 60\text{mm}$ ； ^{60}Co 源： $4\sim 90\text{mm}$ 。□

X 射线测厚仪利用 X 射线穿透被测材料时，X 射线的强度的变化与材料的厚度相关的

特性，从而测定材料的厚度，是一种非接触式的动态计量仪器。适用范围：生产铝板、铜板、钢板等冶金材料为产品的企业，可以与轧机配套，应用于热轧、铸轧、冷轧、箔轧。

2.4 核子秤

核子秤是利用放射性同位素发射出来的射线通过被测物料时，局部被吸收作用实现对被测物料质量的称量。核子秤是针对工业应用中经常遇到的问题，即需要测量在传送系统中运动的物料而开发的产品，把放射源和射线接收器分别放在传送带的上、下两侧，根据射线穿过传送带上物料的计数率，便可以连续称出输送物料的重量。物料尺寸愈规则、均匀，则称量的准确度愈高。核子秤主要用于动态物料质量的计量，在建材、煤炭、化工、矿山、冶金、港口、钢铁、粮食等行业中广泛应用，已推广对刮板、螺旋、锚链等多种运输机运输的物料质量进行计量。用于传送带上物料称重的核子秤基本结构如图 2-5 所示。核子秤通常用的放射源为 ^{60}Co 和 ^{137}Cs γ 源

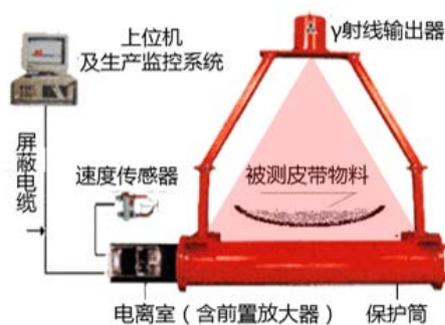


图 2-5 核子秤的基本结构

核子秤主要优点有以下几个方面：

- (1) 核子秤不受材料的物理化学性质的影响，不受输送机的机械振动、惯性、传输带的机磨损等因素的影响。
- (2) 核子秤动态测量精度高，性能稳定，工作可靠。
- (3) 核子秤结构简单、安装维修方便，不影响输送机的正常工作，也不需要原有输送装置作较大的改动。
- (4) 核子秤可在恶劣的环境下工作。
- (5) 核子秤适用范围广，除皮带输送机外，还可以用于其它结构的物料输送机。
- (6) 核子秤可显示多种监测参数，进行打印与报警，并可给出多种模拟量或开关量信号供用户使用。

2.5 核子料位计

核子料位计是利用 γ 射线穿透各种物料时受到不同程度的强弱衰减的原理而制成的。如果容器内物料的装料多少不同，则对射线吸收程度不同，从而确定容器中的物料（液体、浆体、固体颗粒或碎屑）的高度位置，实现容器内料位的测量。它可以安装在被测量的各种形状（如球、罐、料仓、溜槽、管道等）容器的外部，用来检测和控制该容器内储存液体、浆体、固体颗粒或碎屑的位置。核子料位计不受被测物料的压力、温度、密度、黏度等参数

变化的影响，可以测量高温、高压、易燃、易爆、有毒和腐蚀性的物料。在石油工业上，可以检测密闭容器内石油产品的水平面；在钢铁工业上可以测量连续铸锭机结晶槽中的钢水线，还可以测量炉内焦炭的装填程度；在水泥工业上用来测量料面的高度和控制立窑装料的多少；饮料生产可以通过测量液面高度从而控制灌装量；在航空和宇宙飞船上用来测量飞机或火箭的固体或液体燃料的消耗程度等。核子料位计的基本结构如图 2-6 所示。

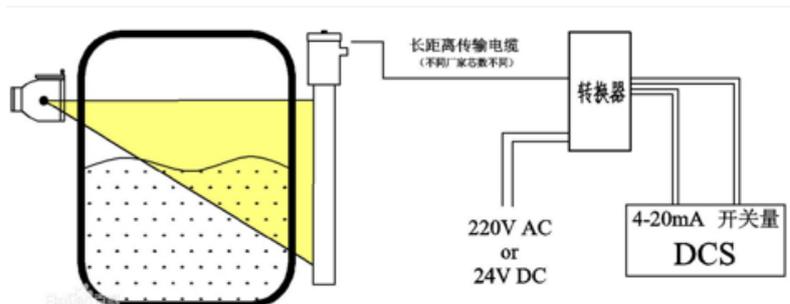


图2-6核子料位计的基本结构图

核子料位计的作用是对物料位置高度进行测量，主要采用 γ 射线源，常用的放射源有： ^{60}Co 和 ^{137}Cs ，活度一般在 $40\text{MBq}\sim 4\text{GBq}$ （约 $1\sim 100\text{mCi}$ ）。

对堆积密度小的物料（如泡沫塑料）或少量物料（如管中牙膏）的测量，一般用 β 射线源。典型的 β 源为 ^{90}Sr ，活度范围为 $40\sim 400\text{MBq}$ （约 $1\sim 10\text{mCi}$ ）。对含氢量高的物质（如石油产品）的料位计一般采用中子源。这类中子源多为 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源，活度在 $1\sim 10\text{GBq}$ （约 $30\sim 300\text{mCi}$ ）。

2.6 X 射线衍射仪

利用 X 射线轰击样品，测量所产生的衍射 X 射线强度的空间分布，以确定样品的微观结构的仪器。X 射线衍射分析法是研究物质的物相和晶体结构的主要方法。当某物质(晶体或非晶体)进行衍射分析时,该物质被 X 射线照射产生不同程度的衍射现象,物质组成、晶型、分子内成键方式、分子的构型、构象等决定该物质产生特有的衍射图谱。X 射线衍射方法具有不损伤样品、无污染、快捷、测量精度高、能得到有关晶体完整性的大量信息等优点。因此,X 射线衍射分析法作为材料结构和成分分析的一种现代科学方法,已逐步在各学科研究和生产中广泛应用。X 射线衍射仪结构如图 2-7 所示。

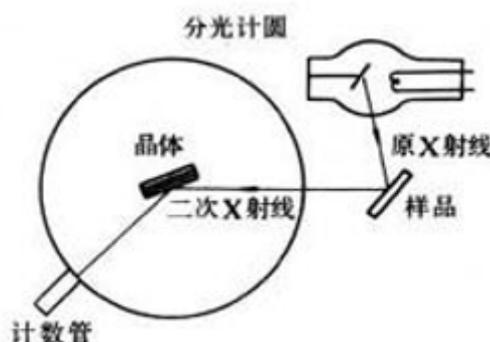


图 2-7 X 射线衍射仪结构

X 射线衍射仪可以解决以下问题：

(1) 当材料由多种结晶成分组成，需区分各成分所占比例，可使用 X 射线衍射仪物相鉴定功能，分析各结晶相的比例。

(2) 很多材料的性能由结晶程度决定，利用 X 射线衍射仪结晶度分析，确定材料的结晶程度。

(3) 新材料开发需要充分了解材料的晶格参数，使用 X 射线衍射仪可快捷测试出点阵参数，为新材料开发应用提供性能验证指标。

(4) 产品在使用过程中出现断裂、变形等失效现象，可能涉及微观应力方面影响，使用 X 射线衍射仪可以快捷测定微观应力。

(5) 纳米材料由于颗粒细小,极易形成团粒采用 X 射线衍射线线宽法(谢乐法)可以测定纳米粒子的平均粒径。

基本结构：X 射线衍射仪的形式多种多样，用途各异，但其基本构成很相似，图 2-7 为 X 射线衍射仪的基本结构示意图，主要部件包括 4 部分：

(1) 高稳定度 X 射线源提供测量所需的 X 射线，改变 X 射线管阳极靶材质可改变 X 射线的波长，调节阳极电压可控制 X 射线源的强度。

(2) 样品及样品位置取向的调整机构系统样品须是单晶、粉末、多晶或微晶的固体块。

(3) 射线检测器检测衍射强度或同时检测衍射方向，通过仪器测量记录系统或计算机处理系统可以得到多晶衍射图谱数据。

(4) 衍射图的处理分析系统现代 X 射线衍射仪都附带安装有专用衍射图处理分析软件的计算机系统，它们的特点是自动化和智能化。

2.7 X 射线荧光分析仪

X射线荧光分析仪是指利用原级X射线或其它微观粒子激发待测物质中的原子，使之产生次级的特征X射线(X荧光)而进行物质成分分析研究的仪器。

X射线荧光分析法的特点：(1)适应范围广：除了H、He、Li、Be外，可对周期表中从⁵B到⁹²U进行元素的常量、微量的定性和定量分析。(2)操作快速方便：在短时间内可同时完成多种元素的分析。(3)不受试样形状和大小的限制，不破坏试样，分析的试样应该均匀。(4)灵敏度偏低：一般只能分析含量大于0.01%的元素。X射线荧光分析仪结构如图2-8所示。

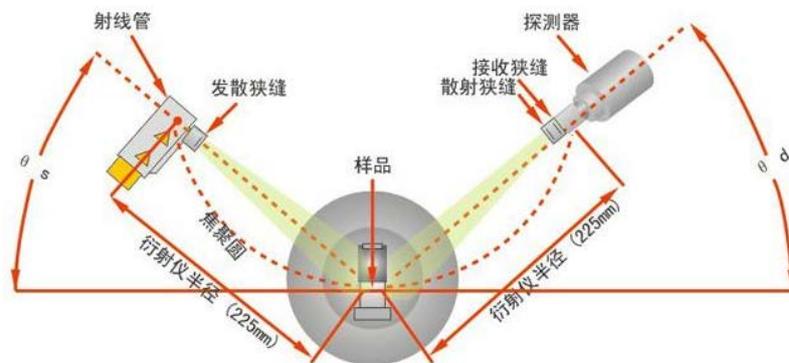


图2-8 X射线荧光分析仪结构

X射线荧光分析仪的分类：

根据分光方式的不同，X射线荧光分析可分为能量色散和波长色散两类，也就是通常所说的能谱仪（EDXRF）和波谱仪（WDXRF）。

根据激发方式的不同，X射线荧光分析仪可分为源激发和管激发两种：用放射性同位素源发出的X射线作为原级X射线的X荧光分析仪称为源激发仪器；用X射线发生器（又称X光管）产生原级X射线的X荧光分析仪称为管激发仪器。

就能量色散型仪器而言，根据选用探测器的不同，X射线荧光分析仪可分为半导体探测器和正比计数管两种主要类型。

根据分析能力的大小还可分为多元素分析仪器和单元素分析仪器。在波长色散型仪器中，根据可同时分析元素的多少可分为，单道扫描X荧光光谱仪、小型多道X荧光光谱仪和大型X荧光光谱仪。

现代X射线荧光光谱分析仪由以下几部分组成：X射线发生器（X射线管、高压电源及稳定稳流装置）、分光检测系统（分析晶体、准直器与检测器）、计数记录系统（脉冲辐射分析器、定标计、计时器、积分器、记录器）。不同元素具有不同波长的特征X射线谱，而各谱线的荧光强度又与元素的浓度呈一定关系，测定待测元素特征X射线谱线的波长和强度就可以进行定性和定量分析。本法具有谱线简单、分析速度快、测量元素多、能进行多元素同时分析等优点，是目前大气颗粒物元素分析中广泛应用的三大分析手段之一（其他两方法分别为中子活化分析和质子荧光分析）。

思考题

- 1、核子仪的主要组成部分有哪些？
- 2、核子仪常用的放射源有哪些？
- 3、核子仪所用的探测器有哪些类型？
- 4、核子密度计的测量原理是什么？
- 5、简述核子测厚仪按测量射线的形式的分类。
- 6、简述核子料位计的测量原理。
- 7、核子秤的主要优点有哪些？
- 8、简述X射线衍射仪的基本结构
- 9、X射线荧光分析仪的分类有哪些？

第三节 核子仪的安全与防护

3.1 源项及风险分析

核子仪是利用放射性同位素所释放出的 α 、 β 、 γ 和中子射线的特性来进行相关的应用，表 3-1 为常用放射性同位素在核子仪表中的典型应用。

表 3-1 放射性同位素在核子仪表中的应用

应用类别	放射性同位素	半衰期	发射类型	说明
测厚计	^{85}Kr (气体)	10.8a	β	应用于纸张、塑料以及类似材料的厚度测量
	^{90}Sr	28.1a	β	
	(^{14}C)	5730.0a	β	
	(^{32}P)	14.3d	β	
	(^{147}Pm)	2.6a	β	
	(^{241}Am)	432.2a	α/γ	
料位计	^{137}Cs	30.2a	β/γ	测量容器内料位高度
	^{60}Co	5.3a	β/γ	
	(^{241}Am)	432.2a	α/γ	
密度计	^{137}Cs	30.2a	β/γ	测量输送带上的物料质量
	^{241}Am	432.2a	α/γ	
	(^{90}Sr)	28.1a		
水份计	$^{241}\text{Am}-\text{Be}$	432.2a	中子	中子源测量砂、土壤中的水含量
	(^{252}Cf)	2.6a	中子	
	$^{226}\text{Ra}-\text{Be}$	1600a	中子	
静电消除器	^{210}Po	138.4d	α/γ	用于胶卷业
	^{226}Ra	1600a	α/γ	
	^{241}Am	432.2a	α/γ	
伦琴荧光分析仪	^{55}Fe	2.7a	EC	便携式仪表，用于金属测量
	(^{238}Pu)	87.7a	α/γ	
	(^{241}Am)	432.2a	α/γ	

1. α 放射源

常用的 α 放射源（以下简称 α 源）发射的 α 粒子在空气中射程 $<6\text{cm}$ ，穿不透皮肤表层，故没有外照射危险。当 α 源的活度很强时，且伴随有其他辐射，如 X 射线和 γ 射线、自发裂变及 (α, n) 反应产生的中子等，其外照射危险则不能忽略，应考虑对光子和中子的屏蔽防护。有的 α 源还可能含有微量杂质，能产生很强的 β 、 γ 辐射，值得引起注意。

用作 α 活度测量和 α 能谱分析的电镀源，活性区表面往往没有覆盖层。因为 α 放射性核素衰变时，由于出射 α 粒子对原子核的反作用力，会出现原子核群体反冲现象而自动“爬出”容器外，有的核素表现特别明显，例如：钷、镅等，必须特别注意使用这些源时造成的污染。

2. β 放射源

β 粒子的穿透能力比同样能量的 α 粒子的约强100倍,能量超过70keV的 β 粒子即可穿透皮肤角质层(俗称死皮)。常用 β 放射源,除个别核素外, β 粒子的能量一般大于70keV,故应考虑 β 外照射的防护。

β 放射性核素衰变时,常伴有 γ 辐射或其他形式的光子,只有少数核素(如 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{45}Ca 、 ^{90}Sr 、 ^{90}Y 等)例外。 β 粒子穿过周围物质时产生韧致辐射,其穿透能力比 β 粒子强得多,因此应用 β 放射源时不能忽视对光子的防护,即使纯 β 辐射体,也要注意减少韧致辐射的影响。

屏蔽 β 粒子应选用低原子序数的材料,以减少韧致辐射,外面再用高原子序数的材料屏蔽韧致辐射和其他光子。常用塑料、有机玻璃、铝板等轻质材料屏蔽 β 粒子。放射源辐射 β 粒子能量越低,则密封窗厚度越薄,通常小于 $10\text{mg}/\text{cm}^2$,有的只有 $30\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。在使用过程中要特别注意保护,防止源窗被磨损、腐蚀、震裂或划破。应定期检查 β 源的周围有无放射性污染,防止污染转移。 β 源要严加保管,贮存 β 源的容器应能防韧致辐射。废源不能随便扔掉,不能丢失,应按规定使用和处理。

3. γ 放射源

γ 射线的贯穿能力很强,其辐射照射范围往往超出工作场所之外,应用 γ 放射源主要应防止外照射。

屏蔽强 γ 射线时要特别注意对散射和漏束的防护,常见工程中应注意如下事项:

a. 缝隙、孔洞、管道、气窗、电缆及拉门的地沟等薄弱部位,都可能产生直接和多次散射泄漏,在二种不同的材料搭接处最容易忽略。

b. 辐射场的房顶的防护,若顶板的厚度不够或者没有屋顶,会因“天空”散射使房外临近地区的辐射水平升高。而且要注意带檐的房顶会造成檐下采光窗及通风孔洞漏辐射线的散射。

c. 防护容器和屏蔽设施的建造必须注意质量,不能留有“孔洞”、“蜂窝”和裂缝,并且在选材时要考虑火灾或高温时防止熔化流失等,使用贫铀要防护其衰变子体发射的 β 辐射。

d. 防护容器和屏蔽设施投入使用前,应全面检查其防护效果。不符合设计要求时,应采取补救措施或者降低使用标准。

4. 中子源

中子的贯穿能力很强,使用中子源应着重对外照射的防护,许多防护措施与使用 γ 放射源的措施相似,但所用的防护材料不完全相同。

中子放射源几乎都是发射快中子。设计屏蔽层时必须用含氢较多的物质(如水、石蜡、聚乙烯等)将快中子慢化,然后用吸收截面大的物质将其吸收。最合适的吸收物质是锂和硼,它们不但对于慢中子吸收截面大,而且俘获中子后放出的 γ 射线少,几乎可以忽略。镉和铟对慢中子吸收截面也很大,但产生较强的辐射。常用硼与石蜡(或聚乙烯)均匀混合作为中子屏蔽材料,也可用水或石蜡单独屏蔽。混凝土内含有相当数量的水和氢,它对中子和 γ 射线都有较好的防护能力,是工程中常用的材料。

某些中子源具有较强的 γ 射线,例如, Ra-Be 源所产生的 γ 辐射剂量率,比同一计算点的中子当量剂量率约高几十至几百倍,必须同时考虑其 γ 射线的屏蔽。

无论从改善屏蔽性能,还是从减少屏蔽重量考虑,均应将重材料布置在内层,而将含氢材料布置在外层,因此首先要考虑 γ 射线的屏蔽,然后考虑中子的屏蔽。一般用能将该类中子源的 γ 辐射水平降到规定的限值以下的水或混凝土厚度,常可满足对中子的屏蔽防护要求,如达不到对中子的屏蔽防护要求,应根据计算在外层附加聚乙烯等材料。

中子在混凝土地面和厚墙上的散射非常严重,因此设计屏蔽时要特别注意“迷道”、穿墙管道和电缆地沟等薄弱部位的防护,而且为了防止天空散射对环境的影响,屋顶(或顶盖)要有足够的厚度。

常用中子源的 α 放射性活度一般大于 37GBq(1Ci)，几乎都是极毒核素，因此要十分注意防止活性物质泄漏。由于 α 射线的穿透性弱，射程短，同时密封型放射源包壳密封、防护性好，所以一般不不存在 α 射线外照射的风险。

3.2 防护要求

1.源容器的放射防护要求

源容器：放置密封源使其处于正确的几何位置，并提供足够的屏蔽防护，以使周围辐射水平低于规定值的容器。源容器上还可设置控制有用线束的通/断源闸以及辐射状态指示器等。

(1) 用于支持和容纳密封源的部件必须做到既能牢固、可靠地固定密封源，又便于密封源的装拆。

(2) 在不同的使用条件下，核子仪与测井仪表中源容器必须符合 GB14052 规定的相应要求。

(3) 源容器应有能防止未经授权的人员进行密封源安装与拆卸操作的结构与部件，例如具有由外表面不可直接视见的隐式组装结构，或具有使用特殊的专用工具时才能组装、拆卸源容器的零部件。

(4) 当源容器设有限束器、源闸时，必须符合下列要求；

①当透射式核子仪与测井仪表的探测器处于距密封源最远的使用位置时，以密封源为中心的有用线束的立体角不应超出无屏蔽体探测器或探测器的屏蔽体。

②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。

③如果源闸为遥控或伺服控制的，则遥控电器或伺服控制电路发生故障时，源闸应自动关闭。

④安装在物料传送带旁的源容器的源闸：在传送带运行时，应自动开启；在传送带停止运行时，应自动关闭。

⑤核子仪与测井仪，在不同场所使用时，距附录 A(规范性附录)所示边界外 5cm 和 100cm 处的剂量当量率应满足表 3-2 的要求。

表 3-2 不同使用场所对核子仪与测井仪表外围辐射的剂量控制要求

核子仪与测井仪使用场所	下列不同距离的周围剂量	
	当量率 H 控制值, $\mu\text{Sv/h}$	
	5cm	100cm
对人员的活动范围不限制	$H < 2.5$	$H < 0.25$
在距源容器的 1m 区域内很少有人停留	$2.5 \leq H < 25$	$0.25 \leq H < 2.5$
在距源容器外表面 3m 的区域内不可能有人进入，或放射工作场所划出了监督区和非限制区	$25 \leq H < 250$	$2.5 \leq H < 25$
只能在特定的放射工作场所使用，并按控制区、监督区、非限制区分区管理	$250 \leq H < 1000$	$25 \leq H < 100$

⑥源容器外表面必须有牢固的标牌并清晰地标明下列内容：

- a.符合 GB18871—2002 规定的电离辐射标志；
- b.制造厂家、出厂日期、产品型号和系列号；
- c.核素的化学符号和质量数、密封源的活度及活度的测量日期；
- d.符合 GB14052 规定的核子仪与测井仪表的类别和安全性能等级的代号。

2.核子仪的放射防护与安全要求

(1) 生产和销售要求

a.核子仪中的密封源的质量应符合 GB4075 的要求。在满足测量需求的条件下, 应选用活度低、贯穿能力弱、放射毒性低的密封源。

b.当需要以远距离控制的方式把密封源输送到源容器外部时, 核子仪应具有在控制台和源容器上醒目显示密封源工作状态的指示部件,另外须配有监视密封源工作状态的剂量仪器;

c.核子仪生产厂家应按 GB14052 规定的密封源容器安全性能进行产品的型式检验和出厂检验, 应向用户提供产品出厂检验合格的证件。

d.核子仪的随机文件必须包括:核子仪合格的证明文件;有关密封源和源容器安装、拆卸、检修、运输、贮存及退役、放射事故预防、异常事件应急处置、核子仪使用许可登记等放射防护注意事项;当核子仪在工作状态时相应于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 周围剂量当量率辐射范围的等剂量曲线图或表。

e.在许可的范围内生产与销售, 建立生产和销售核子仪和其密封源的台账, 按国家法规建立管理制度(见附录 B)

(2) 贮存要求

密封源、含密封源的源容器的贮存和安装、检修核子仪时含密封源的源容器的临时存放应同时满足下列要求:

a.具有防盗、防火、防腐蚀、防潮湿的贮存条件, 按安全保卫要求设置防盗锁等安全措施;

b.由经授权的专人管理, 建立收贮台账和定期清点制度, 建立领取、借出、收回登记和安全状态检查、剂量测量制度;

c.具有屏蔽防护措施, 使非放射工作人员可能到达的任何位置上的剂量当量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$;

d.存放处设有醒目的"电离辐射"标志。

(3) 使用要求

a.新购入的核子仪必须按本标准进行放射防护和安全验收检验。

b.在核子仪的固体使用场所, 必须牢固、可靠地安装源容器, 采取安保措施防止丢失密封源, 限制人员进入源容器与受检物之间的有用线束区域。

c.涉及密封源的安装、检查、维修, 操作人员必须熟悉源容器的结构, 掌握放射防护技能, 取得放射工作人员资格证书, 并得到操作授权

d.在监督区的放射工作人员、各类核子仪的放射源换装和涉源维修时的放射工作人员, 应按 GBZ128 进行个人剂量监测。

e.退役的密封源必须按放射性危险物品严格管理, 或退回生产厂家或转送退役源保管部门, 并有永久的档案。

3.核子仪密封源运输过程中的安全与防护要求

密封源、含密封源的源容器的运输必须遵守 GB11806。

核子仪的应用, 涉及放射源的运输、使用、维护保养和贮存这些环节, 因此, 做好了这些环节的辐射安全工作, 就为辐射单位的辐射安全奠定了坚实基础。

托运、承运和自行运输放射源或者装过放射源的空容器, 必须按国家有关运输规定进行包装和剂量检测, 经相关行政部门核查后方可运输。对密封源的运输, 应按《放射性物质安全运输规程》(GB11806—2004) 中的具体规定执行。

(1) 运输审查:

- a.对所运输放射源的确认；
- b.对所运输放射源的容器和包装的检验；
- c.对放射源辐射水平的监测；
- d.对运输方案的审查。

(2) 运输中的放射防护要求：

a.运输放射源要按规定妥善包装，自行测定达到允许标准后，经有资质的监测部门检测，确定货包类别，经公安部门审核批准后方可托运。

b.放射源的短途运输，即放射源在市区内或野外作业场地的近距离运输，应用专用的机动车辆运输，并有专人押运。严禁携带放射源乘坐市内公交汽车、电车等交通工具，不得将放射源与食品及易燃易爆危险品混装。

c.自行运输放射源的车辆必须设有放射性标志，固定源罐的装置和相应的防护措施，防止源失落、颠翻或被盜。未采取足够安全防护措施的运源车不得中途停车，不得进入入口密集区和公共停车场停留。

(3) 到达目的地后的检查：

到达目的地后，押运人员和货物收方人员应做到下列检查：货单和放射源是否相符的检查；运输前和运输途中安全记录的检查分析；运输容器完整性的外观检查；外照射辐射水平和表面污染的检查。

4.安装、使用、操作和维护过程中的安全和防护要求

(1) 放射源的安装、使用、操作和维护人员和管理人员，上岗前必须接受有资质的培训单位开展的辐射安全专业培训，掌握一定的安全防护知识和技能，并经考核合格后，持证上岗；对于I类放射源、I类一类射线装置的安装、使用、操作和维护人员和管理人员，上岗前必须接受由国家生态环境部开展的辐射安全专业培训，并经考核合格后，持证上岗。对于II、III、IV、V类放射源、II、III类射线装置的安装、使用、操作和维护人员和管理人员，上岗前必须接受由省级环保行政主管部门开展的辐射安全专业培训，并经考核合格后，持证上岗。

(2) 操作人员应根据密封源的数量和活度，按照辐射防护最优化原则，充分考虑时间、距离、屏蔽等因素，采取各种有效的防护措施，使受照剂量控制在合理达到的尽可能低的水平。

(3) 在安装含密封源仪表（如料位计、密度计、测厚仪等）的场所，要求必须将源牢固、可靠地安装进容器，采取措施防止丢失密封源(如图 3-1 所示)，并限制人员进入源容器与受检物之间的有用线束区域。

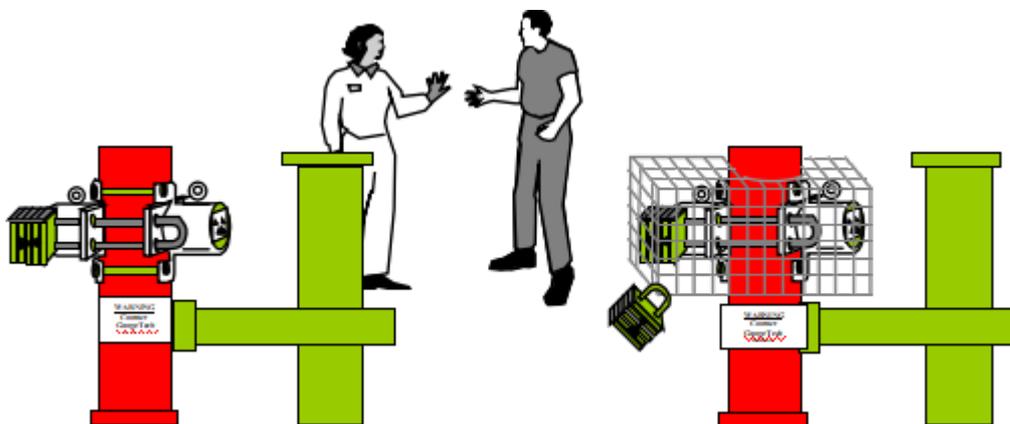


图 3-1 核子仪的防盗措施

对成套供应的仪表和装源、换源设备，如本身对安全防护已有周密考虑，可按说明书规定的要求安装、装源或换源，否则应增加放射防护措施，并制定详细的实施方案。

放射源在生产现场安装完毕投入运行前，应经放射防护部门监测合格才能投入运行；在放射源装置旁的显眼位置必须放置醒目的“三叶形”国际通用放射性警告标志；

(4) 强放射源应有单独的照射室，其屏蔽厚度应保证相邻地区人员的安全。室内、外设有声或光报警装置及放射性危险标志。并根据需要设有安全联锁装置和监视、监听装置。

(5) 对报警装置、安全联锁装置和监视、监听装置应经常进行维修，确保其功能正常。

(6) 室外操作时，应根据放射源的辐射水平划出控制区，并设置围栏和明显的放射性危险标志或警告信号，必要时应有人员守卫，防止无关人员接近。

对于核子密度/水分测量仪，操作要准确、熟练，尽量减少与仪器的接触时间，如测量时人员离仪器 2 米，等工作完成后再读数；每次工作完毕，应严格检查放射源是否处于关闭状态，不使用时一定要将仪器处于关闭状态。

(7) 应经常检查放射源安装的牢固性和活动部件的可靠性，对由于灰尘、磨损、腐蚀、老化、疲劳、照射损伤或其他原因，可能使操作失灵，造成卡源或掉源者，应及时维修。交接班应检查放射源是否在位，并在交接手续上有相应的文字记录，以便能及时发现问题；维修应有维修记录；

(8) 装置检修时，拆下来的放射源要妥善保管，防止被盗、丢失和超剂量照射事故发生。拆源时，要有放射防护专业人员现场监护，拆下来的放射源，要立即存到源库，不准在检修现场乱放或过夜。检修完毕，立即将源安上，监测合格后，经厂方签字确认有效。

(9) 如果生产装置上不再需要放射源或生产装置长期停产，放射源要立即拆下，经密封性能检查确认完好后，退回原厂家或存到源库，不能放置在一般的仓库中或长期滞留在装置上，以避免发生被盗、丢失放射源事故。

(10) 操作密封源应根据其类型和活度，使用相应的工具和屏蔽设施。

(11) 定期对工作场所和环境进行剂量监测（包括表面放射性污染），根据受照剂量情况进行个人剂量监测。

(12) 密封源更换容器时，应有专业防护人员负责现场操作剂量监测。

(13) 应至少每年进行 1 次含密封源设备防护性能及安全设施的检验，如发现污染或泄漏必须立即采取措施，详细记录检验结果，妥善保管归档。

(14) 对可能发生的密封源事故应有预防和处理措施。

(15) 相关岗位人员应配备满足要求的个人剂量计，个人剂量计应定期送有资质或经授权的单位或部门进行测读或检测，对剂量超标者进行体检并暂时离开岗位休息。

(16) 岗位职工每年进行健康监护体检，对体检指标不合格的人员在规定时间内连续体检3次，以确定是否为射线所致，以便采取相应措施。对核子密度/水分测量仪的使用者，应每年检查一次身体，白血球偏低者不宜操作仪器。

3.3 管理要求

1. 人员管理要求

放射源的安装、使用、操作和维护人员和管理人员，上岗前必须接受辐射安全专业培训，掌握一定的安全防护知识和技能，并经考核合格后，持证上岗；对于I类放射源、I类一类射线装置的安装、使用、操作和维护人员和管理人员，上岗前必须接受由国家生态环境部组织开展的辐射安全专业培训，并经考核合格后，持证上岗。对于II、III、IV、V类放射源、II、

III类射线装置的安装、使用、操作和维护人员和管理人员，上岗前必须接受由省级环保行政主管部门认可的有资质的培训单位开展的辐射的安全专业培训，并经考核合格后，持证上岗。

从事放射性物质运输的人员应当接受有关其责任的内容的培训。如为放射性物质分类、包装、作标记、贴标签的人员，准备放射性物质运输文件的人员，为了运输而提交或者接收放射性物质的人员，为放射性物质货包作标记或者贴标牌的人员，将放射性物质货包装入或者卸出运输车辆、散货包装或者货物集装箱等的人员，以及主管部门确定的直接涉及放射性物质运输的其他人员，应当接受下列培训：

①放射性物质类别的介绍，对作标记、贴标签、挂牌、包装和隔离的要求，放射性物质运输文件的目的是内容的介绍，可获得的应急响应文件的介绍；

②具体的岗位培训。每个人都应当接受与其履行职责有关的放射性物质运输的具体要求的详细培训；

③安全培训。相应于履行职责和发生释放时受到辐射照射的风险。

2.场所管理要求

在安装含密封源仪表（如料位计、密度计、测厚仪等）的场所，要求必须将源牢固、可靠地安装进容器，采取措施防止丢失密封源(如图 3-13)，并限制人员进入源容器与受检物之间的有用线束区域。对成套供应的仪表和装源、换源设备，如本身对安全防护已有周密考虑，可按说明书规定的要求安装、装源或换源，否则应增加放射防护措施，并制定详细的实施方案。室外操作时，应根据放射源的辐射水平划出控制区，并设置围栏和明显的放射性危险标致或警告信号，必要时应有人员守卫，防止无关人员接近。

放射源在生产现场安装完毕投入运行前，应经放射防护部门监测合格才能投入运行；在放射源装置旁的显眼位置必须放置醒目的“三叶形”国际通用放射性警告标志；强放射源应有单独的照射室，其屏蔽厚度应保证相邻地区人员的安全。室内、外设有声或光报警装置及放射性危险标志。并根据需要设有安全联锁装置和监视、监听装置。对报警装置、安全联锁装置和监视、监听装置应经常进行维修，确保其功能正常。

核子仪放射源贮存场所要求：

①根据密封源类型、数量及总活度，应分别设计安全可靠的贮源室、贮源柜、贮源箱等相应的专用贮源设备。

②贮源室应符合防护屏蔽设计要求，确保周围环境安全，贮源室应有专人管理。

③贮源室应设置醒目的“电离辐射”标志，严禁无关人员进入。

④贮源室应有足够的使用面积，便于密封源存取；并保持良好的通风和照明。

⑤贮源室以及贮源柜、箱等均应有防火、防水、防爆、防腐蚀与防盗等安全设施。

⑥建立健全使用保管制度。使用单位应有密封源帐目，设立领存登记、状态检查，定期清点，钥匙管理等防护措施。

⑦制定防止密封源失落和被盜的安全防护制度，并定期进行安全检查。

3.设备操作及维护管理要求

操作人员应根据密封源的数量和活度，按照辐射防护最优化原则，充分考虑时间、距离、屏蔽等因素，采取各种有效的防护措施，使受照剂量控制在合理达到的尽可能低的水平。对于核子密度/水分测量仪，操作要准确、熟练，尽量减少与仪器的接触时间，如测量时人员离仪器 2 米，等工作完成后再读数；每次工作完毕，应严格检查放射源是否处于关闭状态，不使用时一定要将仪器处于关闭状态。

应经常检查放射源安装的牢固性和活动部件的可靠性，对由于灰尘、磨损、腐蚀、老化、疲劳、照射损伤或其他原因，可能使操作失灵，造成卡源或掉源者，应及时维修。交接班应检查放射源是否在位，并在交接手续上有相应的文字记录，以便能及时发现问题；维修应

有维修记录；

装置检修时，拆下来的放射源要妥善保管，防止被盗、丢失和超剂量照射事故发生。拆源时，要有放射防护专业人员现场监护，拆下来的放射源，要立即存到源库，不准在检修现场乱放或过夜。检修完毕，立即将源安上，监测合格后，经厂方签字确认有效。密封源更换容器时，应有专业防护人员负责现场操作剂量监测。

如果生产装置上不再需要放射源或生产装置长期停产，放射源要立即拆下，经密封性能检查确认完好后，退回原厂家或存到源库，不能放置在一般的仓库中或长期滞留在装置上，以避免发生被盗、丢失放射源事故。

应至少每年进行 1 次含密封源设备防护性能及安全设施的检验，如发现污染或泄漏必须立即采取措施，详细记录检验结果，妥善保管归档。

4.剂量监测管理要求

核子仪使用过程中，外照射的辐射防护监测是关键。定期对工作场所和环境进行剂量监测（包括表面放射性污染），根据受照剂量情况进行个人剂量监测。相关岗位人员应配备满足要求的个人剂量计，个人剂量计应定期送有资质或经授权的单位或部门进行测读或检测。对辐射工作单位和工作场所的防护状况进行定期、不定期的检查和评价，按《基本标准》（GB18871—2002）中对场所划分、单位分类及场所分级等的要求，进行相应的辐射水平监测。

在核子仪的辐射防护监测中，根据其监测的对象，分为三类：一是环境辐射监测，二是辐射工作场所，三是辐射工作人员。

（1）辐射环境监测

利用直接取样、样品送实验室测量等各种方法，对设施周围环境中的放射性污染水平，以及向环境的释放情况所进行的测量，包括流出物监测。对于核子仪，由于是密封放射源，没有流出物，故不需进行流出物监测，其辐射环境监测，就是对环境 γ 辐射水平进行监测。对于含I、II类密封源的设施，其辐射环境监测，分为使用前辐射环境水平调查和使用期间的辐射环境监测两类。

在使用前辐射环境水平调查要求：

- a.调查时间：为装源前；
- b.调查范围：以密封源安装位置为中心，半径 30m~300m 以内；
- c.监测对象：环境 γ 辐射剂量率；
- d.监测布点：密封源安装位置四围室内、外；
- e.监测频次：1 次/年

对使用期间辐射环境水平的调查，按使用前辐射环境水平调查要求进行，对其中含中子放射源的设施（设备）要增加监测中子剂量当量率。

（2）工作场所的监测

对于核子仪，工作场所外照射监测一般包括中子、 γ 、 β 外照射监测。工作场所监测的内容和频度应根据工作场所内辐射水平及其变化和潜在照射的可能性与大小来确定。制定的工作场所监测大纲，根据实施过程发生和发现的问题，应定期进行审查和修订。对于各种 γ 源和中子源等，在交付使用时或进行重大维修后，应当进行全面的监测，查明它们周围的剂量场分布。如果工作场所的辐射场不会轻易变化，那么此时的外照射监测频率每年1-2次。对辐射场变化较大，无法预测的工作场所，设置一个监测报警系统是十分必要的，它可以及时报警，使工作人员免遭大剂量照射。与 γ 辐射相比， β 辐射场强度随空间变化更大。在 β 个人剂量测定方法尚不完善的情况下，通过对某一操作或工艺做现场调查的方法，也可得到一些工作人员个人剂量的资料。用 β 剂量巡测仪表测出各岗位工作人员操作时体表的某些部位的剂量率，并确定工作时间，即可得到一个工作班或一个操作周期这些部位的吸收剂量。

工作场所的中子辐射监测比起 γ 辐射的监测要复杂的多，一方面是中子场大都伴有 γ 辐射；另一方面，中子能量范围宽，不同能量的中子与机体有不同类型的作用，产生的次级辐射也不尽相同。即使吸收剂量相同，由于品质因数不同，剂量当量也不同，这就给评价测量结果带来很大困难。对于中子监测，监测的是中子剂量当量率，最好的监测方法是采用雷姆计数器或中子当量仪。

对含密封源仪表的辐射监测，可参照《含密封源仪表的放射卫生防护要求》（GBZ125—2009），其源容器外围的剂量当量测量区示意图如图3-2至图3-7所示：

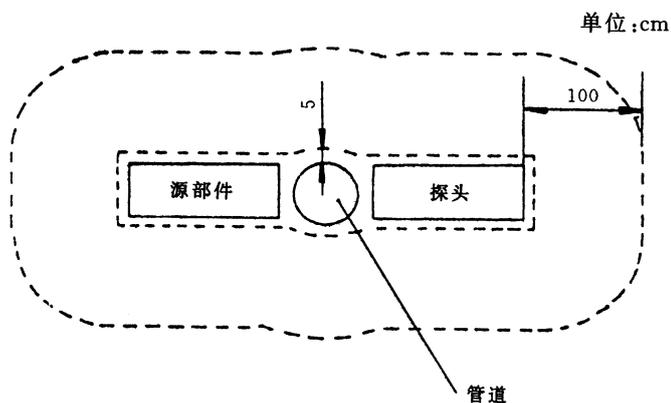


图 3-2 密度计源容器外围的剂量当量率测量区示意图
（图为垂直于被测物长径的断面示意图）

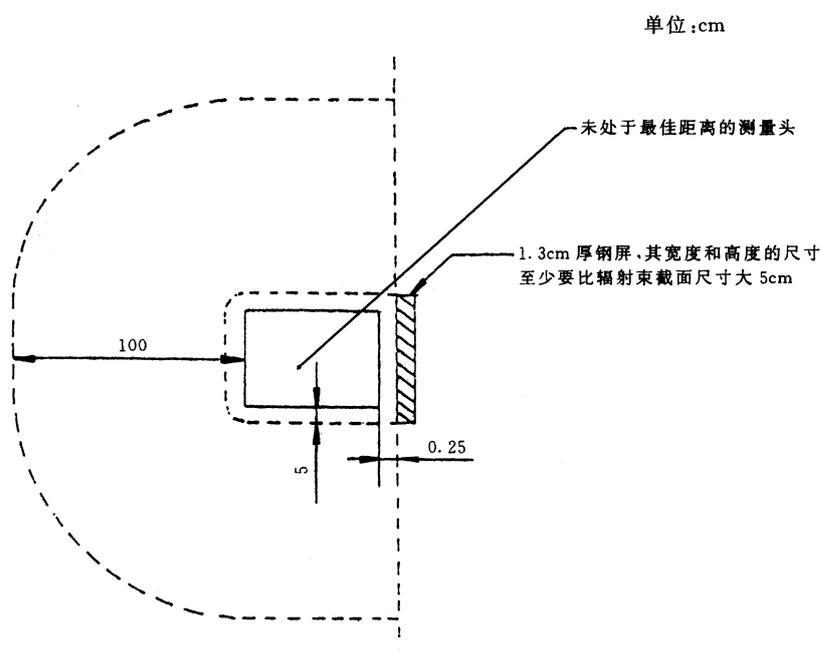


图 3-3 料位计源容器外围的剂量当量率测量区示意图
（图为垂直于被测物长径的断面示意图）

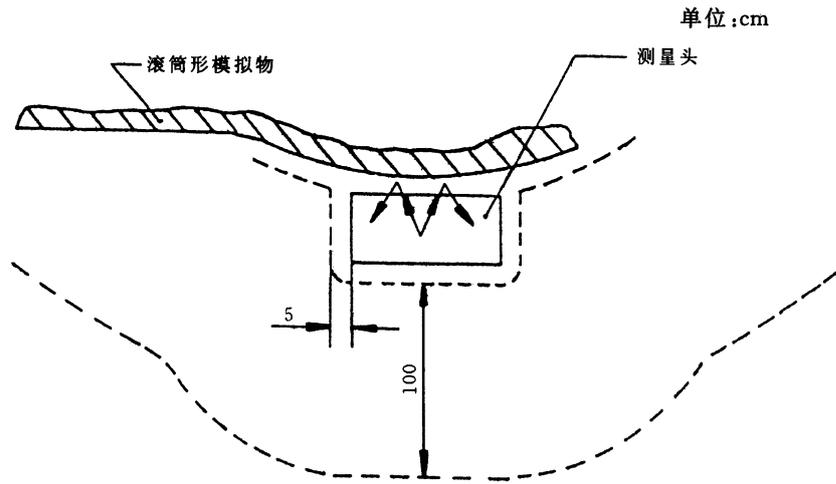


图 3-4 β 、 γ 反散射式测量仪表外围的剂量当量率测量区示意图
(图为垂直于被测物长径的断面示意图)

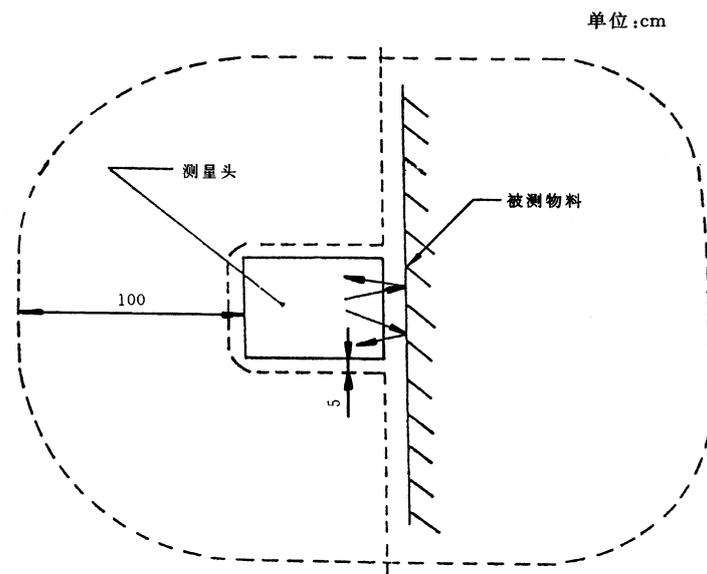


图 3-5 表面反散射式测量仪表外围的剂量当量率测量区示意图
(图为垂直于被测物长径的断面示意图)

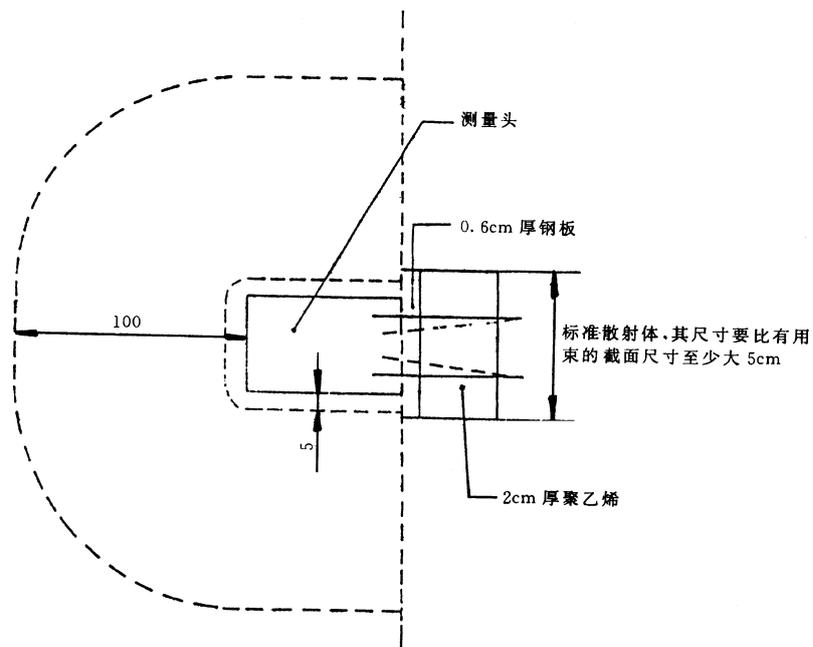


图 3-6 反散射式中子测量仪表外围的剂量当量率测量区示意图
(图为垂直于被测物长径的断面示意图)

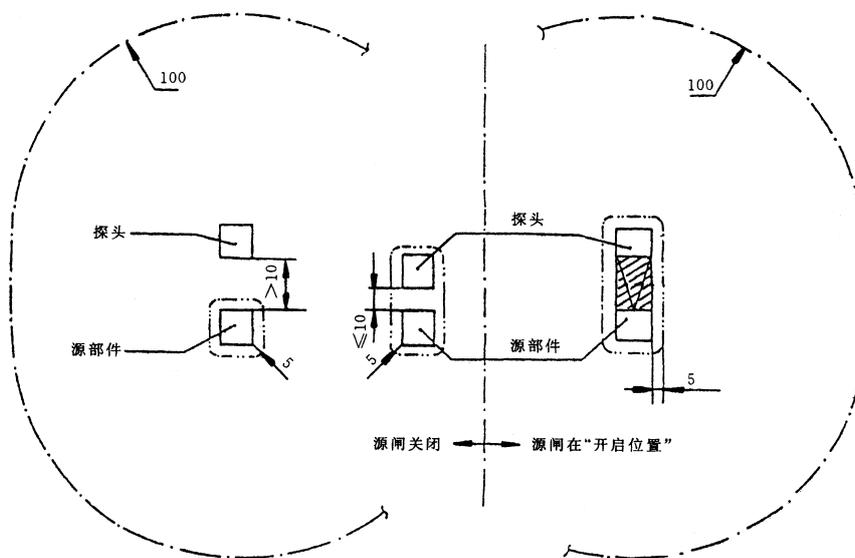


图 3-7 等距离轮廓线示意图 (为垂直于被测物长径的断面示意图)
各图均为垂直于被测物长径的断面示意图

对根据工作场所监测大纲所进行的所有监测，其测量结果应予以记录和保存。

(3) 个人监测

对辐射工作人员的个人监测是利用个人所佩带的器件或者其它的测量设备，对人员受到的外照射剂量、内照射和皮肤污染所进行的监测。用人单位应负责安排工作人员的职业照射监测和评价。对职业照射的评价主要以个人监测为基础。应进行个人监测的人员有：对于任何在控制区工作的工作人员；有时进入控制区工作并可能受到显著职业照射的工作人员；

其职业照射剂量可能大于 5mSv/a 的工作人员。应尽可能进行个人监测的人员有：在监督区的工作，且其预计的职业照射剂量在 1mSv/a~5mSv/a 范围内的工作人员；偶尔进入控制区工作，其预计的职业照射剂量在 1mSv/a~5mSv/a 范围的工作人员；对上述这几类人员的职业受照进行评价，应以个人监测或工作场所监测的结果为基础。对剂量超标者进行体检并暂时离开岗位休息。岗位职工每年进行健康监护体检，对体检指标不合格的人员在规定时间内连续体检 3 次，以确定是否为电离辐射所致，以便采取相应措施。对核子密度/水分测量仪的使用者，应每年检查一次身体，白血球偏低者不宜操作仪器。

在所有的监测工作中，质量保证是重要环节，应将质量保证贯穿于从监测大纲制定到监测结果评价的全过程。监测大纲必须包含有质量保证要求，以确保：测量设备具备所要求的计量特性（如准确度、稳定性、量程和分辨能力等）并得以适当的维护，测量与分析程序得以正确地建立和执行，监测的结果得以正确地记录、评价和妥善保管。

思考题：

- 1、核子仪表使用、操作过程中的安全和防护要求有哪些？
- 2、对于核子仪安装、使用、操作和维护人员和管理人员资格及培训要求是什么？

第四节 核子仪案例分析与辐射应急

4.1 案例分析

随着科学技术和国民经济的迅速发展，放射性同位素和辐射技术在工业、农业、科研、医疗卫生、文教、军事等领域的应用日益广泛，取得了良好的社会效益和经济效益。核技术造福人类的同时，也会因人为和技术等因素，发生放射性突发事件（件），不仅直接影响了各项生产工作的正常开展，而且威胁着职工和公众的健康与安全，在社会上造成了一定的负面影响。

核子仪应用面广、分散，所用的放射源活度相对较小，从以往发生的核子仪辐射事故来看，以放射源丢失、被盗事故所占比例最高，其次为超剂量照射、掉源和误熔源事故。

1. 山东枣庄市某水泥厂放射源被盗事故（山东，2004年）

枣庄市某水泥厂使用 13 枚料位计用 ^{137}Cs 放射源（均为 V 类源），2003 年 10 月 16 日，该厂破产后将停用的 13 枚放射源存放在厂内炸药库区单独设置的放射源库房地下水泥池中，池上加盖铁皮盖，库房为铁门加锁，并由该水泥厂留守处 1 人看护。2004 年 1 月 4 日 9 时 28 分，看库人发现炸药库区所有库房门和生活值班用房均被撬开，两个放射源铁箱、库区放射源警示牌以及一些铁制品被盗，立即报告留守处负责人。留守处负责人于 9 时 30 分向枣庄市 110 报警台报警，相关部门陆续赶到现场开展工作。最终，失窃的放射源被全部追回。

事故原因：

- (1) 直接原因是放射源存放场所防盗措施不足，仅设置铁门加锁和单人看护；
- (2) 事故单位管理不善，破产后没有及时送贮废旧放射源，也未对放射源实施的有效监控。

经验反馈：

- (1) 闲置、废弃放射源应及时送贮，消除事故隐患；
- (2) 对放射源应当根据其潜在危害的大小，建立相应的多层防护和安全措施，并对可移动的放射源定期进行盘存，确保其处于指定位置，具有可靠的安全保障；
- (3) 监管部门要重点关注破产、倒闭企业放射源的安全管理，加强监督检查频次，防止事故发生。

2. 吉林白城市地下水某试验站放射源被盗事故（吉林，2004年）

该单位使用中子水分仪 2 台，各含 $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 放射源 1 枚，活度均为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属 IV 类放射源。2004 年 2 月 12 日 13 时，该单位值班人员发现仓库物品被盗，其中包括 2 台中子水分仪，即向相关部门报告。白城市政府组成事故调查组开展事故调查工作。2 月 13 日晚，在接到电话提供的信息后，调查组人员在白城市市郊一坟场内发现一个白色编织袋，内装有被盗的中子水分仪的零散部件。调查人员现场监测确认其中有 1 枚裸露的放射源，并进行了安全送贮。后对周围场所及周边废品收购站等场所进行了连续 7 天的排查监测，未找到另 1 枚放射源。偷盗人员在逃往辽宁后被公安部门追回并受到处理。

事故原因：

- (1) 直接原因为未将放射源单独存放，也未指定专人负责保管，而是与其他物品混放在普通仓库中，且防盗的安全措施不足；
- (2) 事故单位领导对放射源安全管理不够重视，辐射安全意识薄弱。

经验反馈：

(1)单位领导要重视放射源管理工作,加强教育和培训,提高安全意识,完善各项规章制度;

(2)完善贮源库建设,设置必要的安全报警装置,双人双锁,仪器领取制度等。

3.江苏溧阳市某垃圾焚烧处理中心放射源丢失事故(江苏,2004年)

2004年7月31日,常州市环保局接报常州溧阳市某垃圾焚烧处理中心1枚 ^{137}Cs 放射源($1.1\times 10^7\text{Bq}$,V类放射源)丢失。1997年溧阳市某垃圾焚烧处理中心购置一套生产流水线,含放射源1枚。2002年7月该中心又扩容自行组织安装一台流水线(正昌线),其中的放射源从徐州某水泥机械厂购买。放射源自购买后未办理任何有关手续。经调查,放射源丢失的经过可能是:2004年3月底,溧阳市某垃圾焚烧处理中心进行清理灰尘杂物,由于清扫工作操作不当,碰撞了放射源,致使放射源丢落在地并被工人通过流水线履带丢落到厂房外空地上。4月5日上午,制砖车间工人在铲灰时,将该放射源作为普通废铁和其他废铁一起装入灰桶。5月中旬,将含有该放射源的废铁全部卖给废品回收人员。三四天后,废品回收人员将这些“废铁”卖给废旧金属回收站。6月24日,废旧金属回收站将所有“废铁”卖到常州武进中天钢厂。8月3日调查组赶到中天钢厂,发现废铁已被清理,去向不明。

事故原因:

(1)直接原因:企业工作人员清理杂物时操作不当,碰撞了放射源,跌落在地的放射源被流水线履带带到厂房外空地上,后被制砖车间工人铲灰时将该放射源作为普通废铁和其他废铁一起装入灰桶;

(2)该单位负责人缺乏辐射安全法规知识,没有履行相关手续,也未建立相应的辐射安全管理体系,现场工作人员也没有进行相关培训,对放射源的认识不足,是造成事故的根本原因。

经验反馈:

(1)由于放射源没有办理转让手续,钻了监督上的漏洞。这就警示了监管部门要加强对企业的法规宣传和监督检查。

(2)同时企业和工作人员由于缺乏对放射源的认识,也是该起事故的重要原因,因此涉源企业要加强自我培训和自我管理。

4.河北张家口市怀安县某化肥有限责任公司放射源被盗事故(河北,2005年)

该单位在2004年10月设备维修时,将料位计内 ^{60}Co 放射源(活度为 $2.59\times 10^8\text{Bq}$,属V类放射源)拆下,随意放在总控仪表盘后,同年11月移至凉水塔二楼库房内。2005年5月10日放射源被本厂职工当做铅金属盗卖。2005年7月3日,该单位发现放射源被盗后,马上报告给相关部门。各级管理部门迅速到达现场并展开侦破追查,虽然进行了大量的人员调查和监测,但因事发时间较长,被盗的放射源未找回。

事故原因:

(1)直接原因:设备维修期间拆下的放射源与其他物品混放在普通仓库,安保措施不够。

(2)事故单位辐射安全规章制度和操作规程不健全,内部管理不严格,责任分工不明确,放射源使用交接记录制度执行不严格。

经验反馈:

(1)涉源单位要健全放射源安全管理有关规章制度和工作程序,加强内部管理,落实安全管理措施,认真履行辐射工作安全责任书规定的责任;

(2)因设备维修暂时闲置的放射源要严格保管,单独存放,确保贮存场所具有有效的防火、防水、防盗、防丢失、防泄漏的安全措施。

5.河北大唐国际发电股份有限公司某发电厂放射源丢失事故(河北,2005年)

2003年7月,河北张家口某发电厂进行7#炉和8#炉干除灰改造工程,操作人员将电除尘器灰斗料位计2枚 ^{137}Cs 放射源(活度为 $4.46\times 10^9\text{Bq}$,属IV类放射源)拆下,随意放置

一仓库内，并且没有安排专人负责放射源的安全。2005年7月11日，张家口市环保局对全市使用放射源的单位进行执法检查时，发现上述2枚放射源丢失。省环保局在接到放射源丢失的报告后，立即派人到达现场，组织各级部门人员进行追查，但由于放射源的丢失时间不清楚，线索不清晰，最终未能将放射源找回。

事故原因：

(1)设备维修期间，拆下的放射源与其他物品混放在普通仓库，并且无专人负责其安全，安全管理措施落实不到位；

(2)反映出涉源单位辐射安全规章制度和操作规程不健全，内部管理不严格，责任分工不明确，放射源使用交接记录制度执行不严格；

(3)工作人员辐射安全观念薄弱，缺乏安全、谨慎的意识，不了解放射源丢失、被盗后可能造成的辐射事故后果。

经验反馈：

(1)使用放射源的单位应建立健全各项辐射安全管理规章制度，严格落实，责任到人，警惕辐射事故发生；

(2)使用放射源单位应加强停产、维修等特殊时期的辐射安全管理；

(3)应积极培育工作人员的辐射安全文化，灌输安全、谨慎的意识。

6.湖北武汉大通公路桥梁工程咨询监理有限责任公司放射源失控后造成放射性污染事故（湖北，2006年）

2006年1月7日武汉大通公路桥梁工程咨询监理有限责任公司设在京山县永兴收费站的C标高监办试验室电线发生短路，引起火灾，一台核子密度计烧化，所含的2枚V类放射源（分别为活度为 $3.0 \times 10^8 \text{Bq}$ 的 ^{137}Cs 放射源和活度为 $1.5 \times 10^9 \text{Bq}$ 的 $^{241}\text{Am-Be}$ 放射源）被熔。1月7日上午该公司向湖北省疾控中心报告了事故相关情况，省疾控中心告知环保部门。市环保局于1月8日派该市辐射站2名技术人员赶赴现场进行监测，划定了警戒范围，并要求该公司向省环保局报告。1月11日上午该公司向省环保局报告事故相关情况，省局接到报告后立即派技术人员赶赴现场。经技术人员现场调查确认，该公司一台核子密度计在火灾中烧毁，省环保厅把放射性废物和烧损的仪器、熔渣及另1台未烧化的核子密度计中的2枚放射源送至湖北省城市放射性废物库。

事故原因：

直接原因是该试验室为砖木结构，内有堆积杂物及实验药品，且该试验室电源老化，又无防火器材，电线短路导致起火，使放射源及容器烧毁。

根本原因是事故单位的放射源存放场所不符合要求，与易燃物品等一起存放，贮存场所采取防火的安全措施不到位。

经验反馈：

涉源单位放射源存放场所应严格规范，放射性同位素应当单独存放，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品等一起存放，放射性同位素贮存场所应当采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄漏的安全措施。

7.云南昆明某化工有限公司放射源失控被熔事故（云南，2006年）

2006年12月21日，云南昆明某化工有限公司对54MW磷炉装置进行停炉检查，发现安装放射源的第一层炉底碳砖已完全烧损，安装的3枚 ^{60}Co 放射源已被烧熔。放射源活度均为 $6.6 \times 10^6 \text{Bq}$ ，V类放射源。公司随即上报，2007年1月23日云南省辐射环境监督站技术人员进入事故现场调查处置，确认由于生产工艺设计缺陷导致该事故的发生，被烧熔放射源留置于炉底一层，未发现污染扩散，未造成人员误照。2007年3月8日，对炉底进行污染清理，清理出的含 ^{60}Co 炉底渣送放射性废物库收贮。

事故原因：

直接原因主要是工艺设计缺陷使第一层炉底碳砖已完全烧损，导致放射源被熔；

根本原因是该公司对含源设备的安全管理不到位，设计、安装未充分考虑放射源的安全性，对存在的安全隐患未能及时发现。

经验反馈：

提高辐射安全意识，强化对涉源生产工艺设计的风险管理，对含源设备安全设施应定期检查，确保放射源处于受控状态。

8 贵州省某水泥有限责任公司放射源丢失事故（贵州，2007 年）

贵州省某水泥有限责任公司使用一台料位计（内含 1 枚 IV 类 ^{137}Cs 放射源），2007 年 8 月 18 日，该厂职工检修料位计后未将源容器用螺丝固定好，导致源容器掉入料位计下的二号磨机内，随着磨机的转动，源容器内的放射源被抖落出来与球磨物料混在一起。当日 6 时 30 分，公司向相关部门报告，并启动本厂应急预案。11 时该厂技术人员用个人剂量报警仪确认二号磨机内剂量值异常，于是将二号磨机内的钢球和物料全部倒出，再次进行监测，初步认为放射源就在物料之中，立即向贵州省辐射环境监理站报告。18 时 30 分省辐射环境监理站有关专家到达现场进行处理，在物料堆中找到放射源。

事故原因：

直接原因是放射源容器未固定好，导致源容器掉入料位计下的磨机内，随着磨机转动，放射源被抖落出来与球磨物料混在一起。

根本原因是检修人员安装源容器操作不规范；放射源可靠、稳定的固定措施不到位；日常维护检修制度缺乏。

经验反馈：

(1) 涉源单位应加强放射源的管理，及时检查维护料位计的安装及工作状态。

(2) 涉源单位应从思想上和技术上进一步加强放射源的安保和安全，采取切实可行的安全固定措施。

(3) 加强事故应急响应及风险防范意识，有效避免事故引起不良后果的扩大。

9. 湖南省某地质大队放射源丢失事故（湖南，2007 年）

2007 年 3 月 20 日，省环保厅接到省核地质局电话报告，该局下属单位某地质大队 19 日晚上发现 2 枚用于校准核地质找矿仪的 ^{226}Ra 放射源（V 类）在运往该公司永州市蓝山县大湾基地途中丢失。湖南省环保厅接报后，通知其立即向公安部门报案，并赶赴现场开展调查。经初步调查该单位丢失放射源的具体时间和地点均不清楚。公安部门予以立案后，在全省范围内开展侦察追缴工作，但 2 枚放射源未能找到。

事故原因：

(1) 直接原因是放射源运输过程中安保措施不到位，放射源与其他杂物混装，未实施专用放射性物质运输管理；

(2) 根本原因是放射性物品未依法依规进行运输、转移，未办理异地使用备案等手续，放射源管理松懈。

经验反馈：

(1) 用源单位应加强管理人员和工作人员辐射安全培训和业务培训，增强辐射安全意识和法律意识，应严格按照规定办理放射源异地使用备案手续；

(2) 放射性物品运输、转移应依法依规进行，应加强放射源运输过程中的安全保卫措施。

10. 海南省某珠宝产品检验站放射源丢失事故（海南，2013 年）

海南某珠宝产品检验站使用 1 台黄金分析仪（内含 1 枚 ^{241}Am 放射源，活度为 $1.1 \times 10^9 \text{Bq}$ ，属 IV 类放射源）。总公司进行单位改制，将下属单位海南省某珠宝产品检验站的检

测设备（含黄金分析仪）转让给海南某矿业有限公司。在办理交接手续时，原海南省某珠宝产品检验站和海南某矿业有限公司均未按规定办理放射源转让手续。2013年11月21日，对全省涉源单位进行监督检查时发现丢失。省厅立即成立调查组开展一系列调查。2013年11月27日，将该事件报告省公安厅处理，但未找到黄金成色分析仪的下落。

事故原因：

- (1) 辐射工作单位辐射安全意识薄弱，未按规定办理放射源转让手续；
- (2) 辐射安全管理混乱，未对含源设备采取有效的安全防护措施。

经验反馈：

- (1) 使用放射源单位的法人应加强辐射安全培训，提高守法意识和辐射安全意识，明确辐射安全责任；
- (2) 转让放射源的单位应按照法规要求在放射源转让前办理放射源转让审批手续；
- (3) 监管部门应关注改制类辐射工作单位的辐射安全，加强监督，及时排除辐射安全隐患。

4.2 辐射应急

核子料位计、核子秤、核子测厚仪、核子湿密度计等核子仪，广泛应用于化工、建筑、交通等领域，也是发生辐射事故最多的应用领域。核子仪应用的特点是应用面广、分散、数量多，并且容易拆卸或可移动，多含IV类或V类放射源，操作和维护均比较简单，日常使用时一般不会发生人员受照或放射性污染的辐射事故，但管理松懈或安全意识薄弱时容易发生丢失或被盗事故，引发事故的原因主要有以下几方面：

- (1) 安全保卫措施不到位导致放射源丢失、被盗。
- (2) 闲置、废弃放射源未及时送贮，看管不力。
- (3) 放射源无专人负责保管。
- (4) 无证使用放射源，脱离安全监管。
- (5) 工作人员缺乏辐射安全防护知识，违反操作规程。

当发生放射源丢失或人员超剂量辐射事故时，最先发现事故的岗位人员，应立即向值班室和本车间领导汇报，车间主任立即向公司生产部、设备部、放射源安全管理领导小组发出预警信息。生产部、设备部、放射源安全管理领导小组接到预警信息后，应及时核实现场状况，并将结果汇报公司领导，公司应急领导小组组长应安排立即向全厂范围发出预警信息。

生产运行过程中发生辐射事故时，事故发现人应立即报告当班组长，班长接到报告后，应当立即报告车间领导和生产部、设备部领导。放射源安全管理领导小组接到报告后，应当根据事故严重性，立即报告应急指挥领导小组组长，启动应急救援程序，并通知应急救援小组其它人员和相关部门。报告时要说明事故发生的地点、事故类型、事故严重程度、拟采取的措施等内容。应急指挥领导小组组长根据事故的大小，决定是否上报环保局、安监局、消防支队和上级部门。事故报告的主要内容：事故类别；事故发生的时间、地点；事故发生的初步原因；事故概况和处理情况；现场人员状态，伤亡及撤离情况；事故影响及发展趋势初步预测；请求协调和支持的事项；报告人的姓名、单位、职务及联系电话。

当发生放射源丢失、被盗的情况时，由公司应急救援领导小组指定的对外联系人，采用电话联系的方式向有关部门通报事故信息。通报的主要内容：事故发生的时间和地点、事故类型、事故可能持续的时间、联系人的姓名和电话等。

最先发现事故者应立即按照公司报告程序要求进行上报。相关负责人接到报警后，应迅速查清发生事故的地点和部位以及事故现场状况，并迅速按照公司报告程序进行上报。各单

位在接到事故报警后，应迅速组织应急救援专业队，赶赴现场，在做好自身防护的基础上，快速实施救援，控制事故发展，并将伤员救出危险区域和组织群众撤离、疏散。事故发生后，根据现场具体情况，组织人员撤离至指定地点清点人数。事故发生后，根据现场指挥部的指令，选择合适的撤离路线到达指定集合地点清点人数。

应急措施：

(1) 如现场放射源丢失、被盗情况，应立即向公安局报案、同时向相关环保、安全部门汇报情况，配合公安部门配合调查，全力追回丢失或被盗的放射源。

(2) 如放射源脱出，要将源迅速转移至容器内。

(3) 应急救援领导小组接到事故报警后，应立即通知各救援队伍赶赴事故现场，按专业分工开展救援工作，必要时向政府主管部门和上级公司汇报情况，请求支援。

(4) 在应急救援领导小组未到达现场时，当班调度应组织组成临时指挥部，指挥对现场进行初期应急处理，并及时将现场情况进行上报，待应急救援领导小组人员到场后进行交接。

(5) 生产部门到达事故现场后，应根据事故情况，决定是否做出局部或全部停线的决定。若需紧急停线，则按紧急停线程序作处理。

(6) 应急救援领导小组到达现场后，视情况对现场安排进行警戒，同时协调各部门，配合外机构对事故进行有效控制、处理；

(7) 当事故得到控制后，立即成立专门调查小组开展事故调查及处理善后工作。

符合下列条件之一的，即满足应急终止条件：

辐射污染源的泄漏或释放已降至规定限值以内；

辐射事件所造成的危害已经被彻底消除，无继发可能；

辐射事件现场的各种专业应急处理行动已无继续的必要。

单位根据辐射事故处理情况，由应急领导小组批准宣布终止应急状态，并撰写应急处置工作的详细书面报告，应急响应结束。辐射应急事故应急终止后，各部门（车间）执行下列行动：

总结汇总所有应急日志、记录、产生过程，写书面信息等；

根据有关部门下发的整改通知，进行整改；

根据实践经验，修改现有应急预案和程序；

应急终止后，应及时向有关部门提交总结报告。

思考题

1、核子仪应用的特点是什么？

2、核子仪丢失或被盜事故常见原因有哪些？