

电离辐射安全与防护专业实务

伽马射线探伤应知应会

生态环境部辐射源安全监管司

中国原子能科学研究院

编制人员：XXX、XXX/

目录

第二章伽马射线探伤.....	1
第一节 概述.....	1
1.1 无损检测.....	1
1.2 伽马射线探伤.....	1
第二节 探伤装置的结构组成及辐射剂量（率）监测.....	2
2.1 伽马射线探伤装置.....	2
2.2 伽马射线源.....	6
2.3 辐射剂量（率）监测.....	7
第三节 安全与防护.....	10
3.1 源项及风险分析.....	10
3.2 操作要求.....	10
3.3 管理要求（监管要求和内部管理）.....	14
第四节 案例分析与辐射应急.....	21
4.1 案例分析.....	21
4.2 辐射应急.....	25

第二章伽马射线探伤

第一节 概述

1.1 无损检测

无损检测（又常俗称为无损探伤）是指在不损伤工件性能和完整性的前提下，检测工件的某些物理性能和组织状态，以及查明工件表面和内部各种缺陷的技术。

与破坏性检测相比，无损检测有以下特点：

一是非破坏性，是指在获得检测结果的同时，除了剔除不合格品外，不影响工件使用性能。因此，检测规模不受工件多少的限制，既可抽样检验，又可在必要时采用普检。因而，更具有灵活性（普检、抽检均可）和可靠性；

二是全面性，由于检测是非破坏性，因此必要时可对被检测对象进行 100%的全面检测，这是破坏性检测办不到的；

三是全程性，破坏性检测一般只适用于对原材料进行检测，而无损检测因不损坏被检测对象的使用性能。所以，它不仅可对制造工件用的原材料，各中间工艺环节、直至最终工件成品进行全程检测，也可对服役中的设备进行检测。

1.2 伽马射线探伤

工业探伤：利用磁粉检测、渗透检测、超声检测、射线检测等方法，对工业设备进行无损检测，从而发现其表面或内在缺陷。

伽马射线探伤：利用伽马射线来检查工件内部缺陷的一种方法。伽马射线有很强的穿透性，能不同程度地透过被检材料，对相照相片产生感光作用。利用这种性能，当射线通过被检查的工件时，因工件缺陷对射线的吸收能力不同，使射线透射到胶片上的强度不一样，即胶片感光程度就不一样，这样就能准确、可靠、非破坏性地显示缺陷的形状、位置和大小。

伽马射线可使照相底片感光，也可用特殊的接收器来接收。

当伽马射线穿过（照射）物质时，该物质的密度越大，射线强度减弱得越多，即射线透过该物质的强度就越小。此时，若用照相底片接收，则底片的感光量就小；若用电子仪器来接收，获得的电子信号就弱。因此，用伽马射线来照射待探伤的工件时，若其内部有气孔、夹渣等缺陷，射线穿过有缺陷的路径比没有缺陷的路径所透过的物质密度要小得多，其强度就减弱得少些，即透过的强度就大些，若用底片接收，则感光量就大些，就可以从底片上反映出缺陷垂直于射线方向的平面投影；若用其它接收器也同样可以用信号来反映缺陷垂直于射线方向的平面投影和射线的透过量。

思考题：

1、与破坏性检测相比，无损检测主要有哪些特点？

答：非破坏性、全面性、全程性

2、什么是伽马射线探伤？

答：利用伽马射线来检查工件内部缺陷的一种方法，用伽马射线有很强的穿透性这种性

能，当射线通过被检查的工件时，因工件缺陷对射线的吸收能力不同，使射线落在胶片上的强度不一样，胶片感光程度也不一样，这样就能准确、可靠、非破坏性地显示缺陷的形状、位置和大小。

第二节探伤装置的结构组成及辐射剂量（率）监测

2.1 伽马射线探伤装置

2.1.1 伽马射线探伤装置简介

伽马射线探伤装置是一种利用放射性核素发射伽马射线，利用伽马射线在穿透被检工件各部分时强度衰减的不同，检测被检物中缺陷的一种无损检测设备。

伽马射线探伤装置由探伤机机体（源容器）、控制缆、输源管、源辫位置指示系统和源辫等部分组成，如图 2-1 所示。探伤机机体主要由贫铀屏蔽体、金属外壳、手柄、安全锁、前后连接器等部件组成，具体结构根据型号的不同有所差异。部分探伤机如图 2-2 所示。

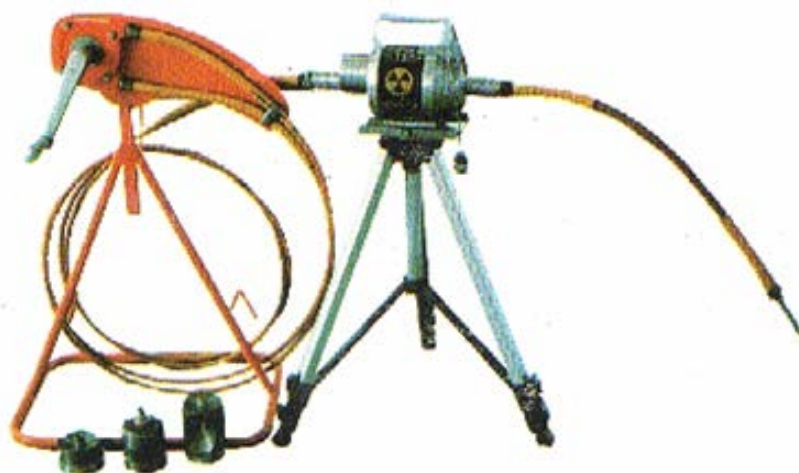
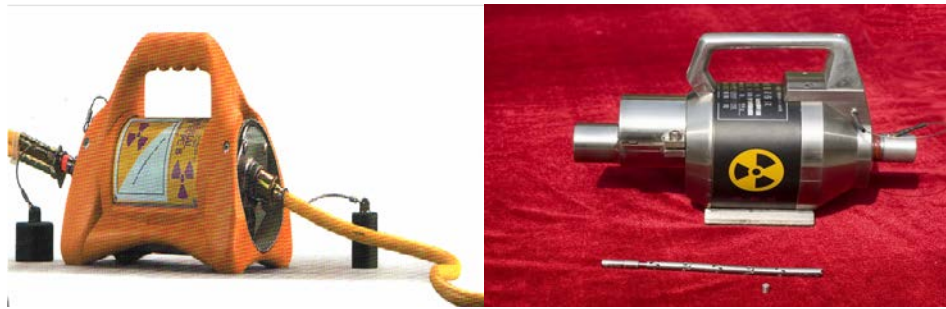


图 2-1 伽马射线探伤装置



Ir-192 DLTS-B 型

Ir-192 SENTINEL 660 型



Ir-192 SENTINEL 880 型

Ir-192 YG-192B 型

图 2-2 部分探伤机

2.1.2 伽马射线探伤装置分类

(1) 按源容器的可移动性可分为 P、M 和 F 三类。(《 γ 射线探伤机》GB/T 14058-2008)

P 类：便携式伽马探伤机，源容器便于人工搬运且质量不超过 50kg。

M 类：移动式伽马探伤机，源容器借助适当的工具能容易移动。

F 类：固定式伽马探伤机，源容器是固定安装的或只能在某一特定区域内有限制地移动。

(2) 按结构型式分类

主要有：“S”通道型伽马射线探伤机、直通道型伽马射线探伤机。

(3) 按放射源的核素分类

伽马射线探伤设备可分为：Ir-192 伽马射线探伤机、Se-75 伽马射线探伤机、Co-60 伽马射线探伤机等。

2.1.3 伽马射线探伤装置的特点

(1) 伽马射线探伤装置的优点

①穿透能力强，探测厚度大。对钢工件而言，400kV X 射线机最大穿透厚度仅为 100mm 左右，而 Co-60 伽马射线探伤机最大穿透厚度可达 200mm。

②体积小，质量轻，不用水、电，特别适用于野外作业和在役设备的检测。

③效率高，对环缝和球罐可进行周向曝光和全景曝光。与 X 射线机相比大大提高效率。

④可以连续运行，且不受温度、压力、磁场等外界条件影响。

⑤设备故障低，无易损部件。

⑥与同等穿透力的 X 射线机相比，价格相对较低。

(2) 伽马射线探伤装置的缺点

①伽马射线源都有一定的半衰期，有些半衰期较短的放射源，如 Ir-192 更换频繁，给长期使用带来不便。

②辐射能量固定，无法根据试件厚度进行能量调节，当穿透厚度与能量不适配时，灵敏度下降较严重。

③伽马射线源的活度随时间减弱，无法进行调节，当源的活度较小时，曝光时间过长使工作效率降低。

④固有不清晰度比 X 射线大，对于同样材料的工件及照射条件下，其灵敏度低于 X 射线机。

2.1.4 伽马探伤装置组成

(1) 源容器

当伽马射线探伤机采用贫化铀作为屏蔽材料时，其外表面应包覆足够厚度的低原子序数

的非放射性材料，以减弱和吸收贫化铀发射的 β 辐射；其源通道也应内衬足够厚度的非放射性材料。

当源容器装载最大活度值的密封源并处于锁定状态且装配好保护盖（若有）时，其周围当量剂量率应不超过表 2-1 规定的限值。（《 γ 射线探伤机》GB/T 14058-2008）

表 2-1 源容器周围当量剂量率限值 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)

伽马射线探伤装置类别与代号	容器外表面	离容器表面 50cm 处	离容器表面 1m 处
便携式 P	2000	500	20
移动式 M	2000	1000	50
固定式 F	2000	1000	100

（2）安全锁

用于锁住或开启源容器的带钥匙的机械装置。探伤装置必须设置安全锁，并配置专用钥匙。安全锁应符合以下要求：

- ①源辫返回到源容器后，该锁方能锁死；
- ②安全锁锁死时，源辫应不能移动；
- ③安全锁打开后，源辫方能移离源容器；
- ④钥匙不在锁上时，安全锁仍能锁死；
- ⑤只有专用钥匙打开安全锁后，才能进行自动安全装置的一系列操作，使射线束从源容器或照射头射出；
- ⑥安全锁应能承受逐渐施加的 400N 的作用力且仍能起作用。（GB/T 14058-2008）

（3）联锁装置

探伤装置应设有安全联锁装置

- ①安装或拆卸驱动装置时，源辫应不能移离源容器；
- ②非工作状态时，源辫应锁闭在源容器内；
- ③工作状态时，驱动装置应保持与源容器连接，随时可将源辫摇回源容器内。

（4）源托、输源管、控制部件

①源托：用于固定或承载源的装置。《工业伽马射线探伤放射防护标准》（GBZ132-2008）中规定源托（包括源辫、源辫与控制缆联接点）承受的拉力应满足如下要求：Tm-170 源托 300N，Ir-192 源托和 Se-75 源托 500N，Co-60 源托 700N。

②输源管：用于源容器与曝光头之间对源组件导向的软管。（《 γ 射线探伤机》GB/T 14058-2008）输源管由直径相同的 2~3 根软管组成（软管长度根据探伤机类型而定，可根据用户需要更改和定制），其中一根为快换管、一根为曝光管（在工作同时使用曝光管和快换管）。

③控制部件：伽马射线探伤装置控制部件由手摇曲柄、控制导管、驱动缆（软轴）和驱动齿轮等组成。手摇曲柄与齿轮组件的外伸轴相连，驱动控制缆上的阳接头用来与源辫的阴接头相连，控制部件传输软管快装接头用来与机体输入端连接，当摇动手摇曲柄即可送出或收回放射源。

（5）源辫

放射源的源辫是用来输送放射源的机构，源辫是由不锈钢绳或钨合金制作而成。通过驱动装置与源连接后，由手动或自动传输装置，通过输源管螺旋通道将放射源输送到顶端。部分源辫及其结构如图 2-3 所示。



直通源 Ir-192 II型源棒

S通道 Ir-192 源棒

图 2-3 源棒及其结构图

(6) 源棒位置指示器系统

探伤装置应具有源棒位置指示器系统，该指示器系统应具有如下功能：

- ①用不同灯光颜色分别显示源棒在源容器内或外；
- ②用数字显示源棒离开源容器的距离；
- ③用音响提示源棒已离开源容器。

(7) 标志和标识

在探伤装置的放射源容器表面固定金属铭牌，铭牌上应铭刻下列内容：

①符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)的电离辐射警告标志；

- ②探伤装置生产厂名称；
- ③产品名称；
- ④出厂编号；
- ⑤出厂日期；
- ⑥放射源核素名称；
- ⑦设计的最大装源活度。

(8) 自动式探伤装置的保护装置

自动式探伤装置应具有故障保护装置。探伤装置发生故障时，保护装置能自动关闭屏蔽闸或自动使放射源回到源容器内，避免人员受到过量照射。

(9) 放射源编码卡

放射源编码卡是记录核素名称、出厂活度、出厂日期、源外形尺寸、生产单位和国家编码等信息的卡片，通常使用金属或 PVC 磁卡材质。放射源编码卡与探伤装置应可靠联接，且便于更换。更换放射源时，放射源编码卡应随之更换，确保与容器内的放射源一一对应。

2.1.6 伽马探伤装置的其他要求

(1) 使用有效期

伽马射线探伤装置的使用年限应不超过 10 年。

(2) 设备和人员数量要求

从事移动探伤作业的单位，应拥有 5 台以上探伤装置。每台探伤装置须配备 2 名以上操作人员，操作人员应参加辐射安全与防护培训，并考核合格。

(3) 换源器

从事移动探伤作业的单位，应配备与伽马射线探伤装置相适应的换源器，以减少换源过程中的辐射剂量。

2.2 伽马射线源

2.2.1 伽马射线源的主要特性参数

放射性同位素有 2000 多种，但只有那些半衰期较长、比活度较高、能量适宜、取之方便和价格便宜的放射性同位素才适用于检测。

根据使用核素种类的不同，伽马探伤用射线源的结构和尺寸有所不同；部分射线源结构及尺寸如图 2-4 所示。

目前工业伽马射线探伤常用的伽马射线源及其特性参数见表 2-2。

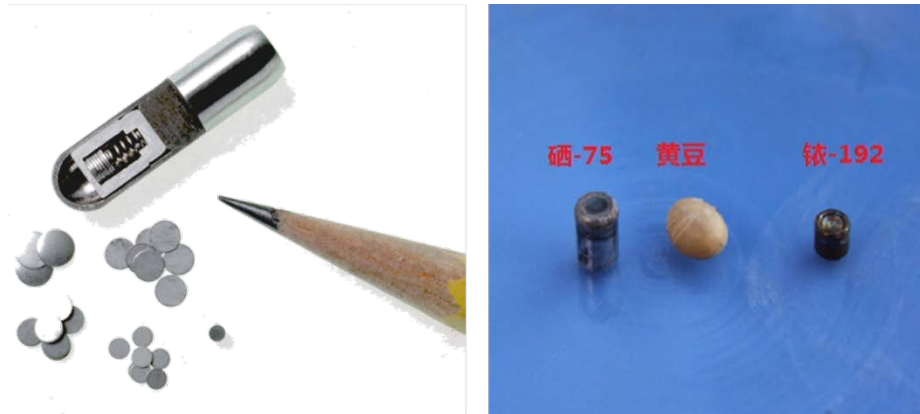


图 2-4 射线源结构及尺寸

表 2-2 常用伽马射线源的特性参数

伽马射线源	Co-60	Cs-137	Ir-192	Se-75	Tm-170	Yb-169
主要能量 (MeV)	1.17 1.33	0.661	0.296 0.308 0.346 0.468	0.121 0.136 0.265 0.280	0.084 0.052	0.063 0.12 0.193 0.309
平均能量 (MeV)	1.25	0.661	0.355	0.206	0.072	0.156
半衰期	5.27 年	33 年	74 天	120 天	128 天	32 天
K_r 常数 $[R \cdot m^2 / (h \cdot Ci)]$	1.32	0.32	0.472	0.204	0.0014	0.125
常数 $[C \cdot m^2 / (kg \cdot h \cdot Bq)]$	9.2E-15	2.23E-15	3.29E-15	1.39E-15	9.7E-18	0.87E-15
比活度	中	小	大	中	大	小
透照厚度 (钢 mm)	40~200	15~100	10~100	5~40	3~20	3~15
价格	高	高	较低	较高	中	中

2.2.2 伽马射线源分类

《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》根据放射源、射线装置对人体健康和环境

的潜在危害程度，从高到低将放射源分为 I 类、II 类、III 类、IV 类、V 类。

I 类放射源属极危险源。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。

II 类放射源属高危险源。没有防护情况下，接触这类源几小时至几天可以致人死亡。

III 类放射源属中危险源。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。上述三类放射源为危险放射源。

IV 类放射源属低危险源。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。

V 类放射源属极低危险源。不会对人造成永久性损伤。

探伤常见伽马射线源分类见表 2-3

表 2-3 探伤常用伽马射线源分类

核素名称	I 类源 (贝克)	II 类源 (贝克)	III 类源 (贝克)	IV 类源 (贝克)	V 类源 (贝克)
Ir-192	$\geq 8E13$	$\geq 8E11$	$\geq 8E10$	$\geq 8E8$	$\geq 1E4$
Co-60	$\geq 3E13$	$\geq 3E11$	$\geq 3E10$	$\geq 3E8$	$\geq 1E5$
Se-75	$\geq 2E14$	$\geq 2E12$	$\geq 2E11$	$\geq 2E9$	$\geq 1E6$

2.3 辐射剂量（率）监测

2.3.1 仪器的要求及作用

- (1) 固定式辐射剂量（率）监测仪：用于固定伽马射线探伤室的辐射剂量（率）监测；
- (2) 便携式辐射剂量（率）监测仪：用于固定伽马射线探伤室、源库、作业现场的辐射剂量（率）定点监测或巡测；
- (3) 个人剂量（率）报警仪：用于工作人员进行操作时，用于剂量（率）超阈报警；
- (4) 个人剂量计：用于个人累计剂量常规监测；
- (5) 便携式辐射剂量（率）监测仪主要性能：最低示值不高于 $0.1 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)；最高示值不低于 $100\text{mGy}\cdot\text{h}^{-1}$ ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$)；能量响应： $50\text{keV}\sim 1.3\text{MeV}\leq \pm 30\%$ (^{137}Cs)；具有声、光报警及电池电量检查功能；
- (6) 固定式辐射剂量（率）监测仪性能要求：探伤室的固定式辐射剂量（率）监测仪应具有报警功能并设定合理的报警值。
- (7) 仪器检定：便携式辐射剂量（率）监测仪应每年送有检定资质的计量部门进行检定，检定合格后方可使用。将检定证书归档保存，检定合格标签粘贴于监测仪上。
- (8) 仪表正常使用的简单判断方法：使用便携式辐射剂量（率）监测仪对探伤设备进行检测，观察监测仪读数，与前次记录进行对比，判断监测仪是否正常。

2.3.2 辐射监测的项目

(1) 个人剂量监测

监测目的：为控制辐射工作人员的个人累积剂量不超过单位的管理限值，保障辐射工作人员的职业健康安全，进行此项监测。

佩戴要求：工作人员在进行探伤作业时，应佩戴个人剂量计、个人剂量报警仪，专人专用，每人一个。

监测频率：探伤单位应每季度将个人剂量计送有资质的单位进行检测，并取回个人剂量

监测报告，归档保存。

监测评价：当工作人员的个人剂量小于单位的管理限值时判断为正常。

个人剂量计使用注意事项：

- ①个人剂量计应专人专用；
- ②个人剂量计应正确佩戴；
- ③个人剂量计应注意保护，避免受到高温、水泡、挤压等；
- ④从事辐射工作时应一直佩戴个人剂量计。

(2) 源容器的监测

监测目的：判断放射源是否处于装源容器内，装源容器的屏蔽是否符合要求，进行此项监测。

监测频率：

①探伤作业结束后，探伤作业人员应使用便携式辐射剂量（率）监测仪对装源容器表面进行辐射剂量（率）水平的监测，并记录。

②运输过程中，押运人员应使用便携式辐射剂量（率）监测仪对装源容器表面进行辐射剂量（率）水平的监测，并记录。

③当装源容器出入库时，库房管理员应使用便携式辐射剂量（率）监测仪对装源容器表面进行辐射剂量（率）水平的监测，并记录。

监测评价：监测数据与前次监测记录对比，没有明显变化、符合国家标准时，判断为正常。

(3) 分区的监测

监测目的：划分监督区与控制区。

监测方法：

①探伤装置处于照射状态时，使用便携式辐射剂量（率）监测仪从探伤位置四周由远及近进行辐射剂量（率）水平的监测，根据《工业伽马射线探伤放射防护标准》（GBZ132-2008）中的规定， $\geq 2.5 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 为监督区边界， $\geq 15 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 为控制区边界。

②根据辐射剂量（率）水平的监测数据进行监督区与控制区的划分，拉警戒绳，分别悬挂监督区与控制区的警告标识，防止无关人员进入。

(4) 收源过程中的监测

监测目的：为判断放射源是否回收到探伤设备中，进行此项监测。

监测方法：在收源过程中应密切关注辐射剂量（率）监测仪的数值变化，当辐射剂量（率）水平降到正常值时方可关闭安全锁，并进行拆卸导管及驱动缆作业。

监测评价：在收源过程中辐射剂量（率）监测数值由小变大然后突然降致设备表面正常辐射剂量（率）水平，可判断为放射源已回收到探伤设备中。

(5) 进入探伤室的监测

监测目的：为判断探伤室内是否有放射源遗留，进行此项监测。

监测注意事项：每次进入探伤室前，工作人员应先观察固定式辐射剂量（率）监测仪数值，然后持便携式辐射剂量（率）监测仪进入探伤室，并进行监测。

监测评价：当固定式辐射剂量（率）监测仪、便携式辐射剂量（率）监测仪的监测数据为本底时，判断为放射源在探伤设备中，可以进行下一步工作。

(6) 探伤室的常规监测

监测目的：为评价固定探伤室的屏蔽能力，进行此项监测。

监测方法：探伤室周围辐射剂量（率）水平的监测应采取定点监测和巡测相结合的方式，其中，定点监测应至少包括以下各点：

- ①通过巡测，发现的辐射剂量（率）水平异常高的位置；

- ②探伤室门外 30cm 离地面高度为 1m 处，测门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周；
- ③探伤室墙外或邻室墙外 30cm 离地面高度为 1m 处，每个墙面至少测 3 个点；
- ④人员可能到达的探伤室屋顶或探伤室上层外 30cm 处，至少包括主射束到达范围的 5 个监测点；

⑤人员经常活动的位置。

监测频率：至少一年一次。

监测评价：当辐射剂量（率）监测数据不超过国家标准为正常。

思考题：

1、伽马射线探伤装置的分类有哪些？

答：（1）按源容器的可移动性分类

P（便携式伽马探伤机）、M（移动式伽马探伤机）和 F（固定式伽马探伤机）三类。

（2）按结构型式分类

“S”通道型伽马射线探伤机、直通道型伽马射线探伤机。

（3）按放射源的核素分类

Ir-192 伽马射线探伤机、Se-75 伽马射线探伤机、Co-60 伽马射线探伤机等。

2、请对伽马射线探伤设备的优缺点对比分析，简要回答

答：（1）伽马射线探伤设备的优点

- ①穿透能力强，探测厚度大。
- ②体积小，质量轻，不用水、电，特别适用于野外作业和在用设备的检测。
- ③效率高，对环缝和球罐可进行周向曝光和全景曝光。
- ④可以连续运行，且不受温度、压力、磁场等外界条件影响。
- ⑤设备故障低，无易损部件。
- ⑥与同等穿透力的 X 射线机相比，价格低。

（2）伽马射线探伤设备的缺点

①伽马射线源都有一定的半衰期，有些半衰期较短的放射源，如 Ir-192 更换频繁，给长期使用带来不便。

②辐射能量固定，无法根据试件厚度进行调节，当穿透厚度与能量不适配时，灵敏度下降较严重。

③放射强度随时间减弱，无法进行调节，当源强度较小时，曝光时间过长会感到不方便。

④固有清晰度比 X 射线大，用同样的器材及透照技术条件，其灵敏度低于 X 射线机。

3、在伽马射线探伤装置的放射源容器表面需要固定金属铭牌，铭牌上应铭刻的内容有哪些？

答：（1）符合《电离辐射防护与放射源安全基本标准》（GB 18871—2002）的电离辐射警告标志；

（2）探伤装置生产厂名称；

（3）产品名称；

（4）出厂编号；

（5）出厂日期；

（6）放射源核素名称；

（7）设计的最大装源活度。

4、从事探伤作业的需要有多少探伤装置？以及人员如何配备？

答：从事移动探伤作业的，应拥有 5 台以上探伤装置。每台探伤装置须配备 2 名以上操作人员，操作人员应参加辐射安全与防护培训，并考核合格。

5、《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》根据放射源、射线装置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几类？及其各类的危险程度如何？

答：根据潜在危害程度从高到低将放射源分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类。

Ⅰ类放射源属极危险源；Ⅱ类放射源属高危险源；Ⅲ类放射源属中危险源；Ⅳ类放射源属低危险源；Ⅴ类放射源属极低危险源。

第三节 安全与防护

3.1 源项及风险分析

源项分析：伽马射线探伤项目的主要危险源为射线源所发出的伽马射线对人员造成伤害。工业伽马射线探伤一般使用Ⅱ类放射源，Ⅱ类放射源为高危险源。没有防护情况下，接触这类源几小时至几天可致人死亡。

风险分析：

导致放射源对人员造成意外伤害的途经，主要来自以下几个方面：

1) 伽马射线探伤装置自身的问题：不合格的射线装置或者与放射源活度不匹配的射线装置可能会泄露出更多的伽马射线，需要严格射线装置质量管控；

2) 放射源管理方面的问题：不当的放射源贮存、出入库、台账、盘存制度，可能增加射线源的丢失或失控的风险，需要完善放射源的管理体系；

3) 伽马射线探伤装置或放射源运输中出现的问题：不恰当的放射源运输可能会造成射线源丢失或失控，从而导致的人员损伤，需要严格按照法律法规运输；

4) 探伤过程中的操作问题：探伤过程中不恰当、不安全的操作，可能会造成射线源的意外失控或丢失，对辐射工作场所周围的工作人员及辐射工作场所外公众产生额外的伽马射线外照射，需要对探伤人员进行定期专业培训；

5) 在正常的伽马射线探伤时，会对辐射工作场所周围的工作人员及辐射工作场所外公众产生伽马射线外照射；在伽马射线探伤机运输过程中对运输人员产生伽马射线外照射；放射源在暂存库中有小部分穿过放射源暂存库屏蔽体(包括铅板、屏蔽墙、顶棚)泄漏到工作场所及周围环境中，对周围的工作人员和公众产生伽马射线外照射，需要建立完善的个人及场所辐射监测制度。

3.2 操作要求

3.2.1 伽马射线探伤装置的要求

(1) 制造许可

生产伽马射线探伤装置的单位必须取得省级环境保护主管部门颁发的辐射安全许可证(销售和使用放射源许可证)。

其生产的伽马射线探伤装置的说明书中应当告知用户该装置含有放射源及其相关技术参数和结构特性，并告知放射源的潜在辐射危害及相应的安全防护措施。

(2) 质量要求

伽马射线探伤装置应符合《γ射线探伤机》(GB/T 14058)的要求，伽马射线探伤装置源容器周围剂量当量率应不超过表 2-1 规定的限值。

探伤装置的安全使用期限为 10 年，禁止使用超过 10 年的探伤装置。

3.2.2 放射源的使用要求

(1) 安全性

伽马射线探伤装置（以下简称探伤装置）放射源的安全性能等级应满足《密封放射源一般要求和分级》（GB4075—2009）的要求。应选用有生产许可证的单位生产的放射源。使用¹⁹²Ir 源，应符合《无损检测用¹⁹²Ir 伽马源》（EJ286-1992）的要求。

(2) 活度与装源容器的关系

放射源活度不得超过该探伤装置设计的最大额定装源活度。

活度小于 4×10^{12} Bq 和能量在 0.5MeV 以下的伽马放射源容器应采用铅、铁作为屏蔽防护材料。活度大于 4×10^{12} Bq 和能量在 0.5MeV 以上的密封伽马放射源容器的材料应以铅、铁为主，辅以适当厚度的钨和贫铀或其合金作为防护层，以利于提高辐射防护效果，减少容器的体积和质量。并确保能经受正常的运输条件和可能的事故（如撞击、火灾和爆炸等）条件。源容器的整体结构及其防护性能，不会因剧烈震动和温度变化而发生改变。

3.2.3 放射源的运输要求

法律法规依据：《放射性物品运输安全管理条例》国务院令 第 562 号；《放射性物品运输安全许可管理办法》环保部令 第 11 号；《放射性物品道路运输管理规定》交通运输部令 2010 年第 6 号。

《放射性物品运输安全管理条例》（简称“运输条例”）指出，根据放射性物品的特性及其对人体健康和环境的潜在危害程度，将放射性物品分为一类、二类和三类。

一类放射性物品：I 类放射源、高水平放射性废物、乏燃料等释放到环境后对人体健康和环境产生重大辐射影响的放射性物品。

二类放射性物品：II 类和 III 类放射源、中等水平放射性废物等释放到环境后对人体健康和环境产生一般辐射影响的放射性物品。

三类放射性物品：IV 类和 V 类放射源、低水平放射性废物、放射性药品等释放到环境后对人体健康和环境产生较小辐射影响的放射性物品。

《放射性物品道路运输管理规定》第二十四条指出：一类放射性物品启运前，承运人应当向托运人查验国务院核安全主管部门关于核与辐射安全分析报告书的审批文件以及公安部门关于准予道路运输放射性物品的审批文件。

二、三类放射性物品启运前，承运人应当向托运人查验公安部门关于准予道路运输放射性物品的审批文件。

第二十八条指出：在放射性物品道路运输过程中，除驾驶人员外，还应当在专用车辆上配备押运人员，确保放射性物品处于押运人员监管之下。运输一类放射性物品的，承运人必要时可以要求托运人随车提供技术指导。

第二十九条指出：驾驶人员、装卸管理人员和押运人员上岗时应当随身携带道路运输从业资格证件，专用车辆驾驶人员还应当随车携带《道路运输证》。

3.2.4 放射性物品运输容器

《运输条例》要求：运输放射性物品，应当使用专用的放射性物品运输包装容器。放射性物品的运输和放射性物品运输容器的设计、制造，应当符合国家放射性物品运输安全标准。

《运输条例》第二章、第三章（第八至二十八条）就该问题做了详细的阐释。其中要点包括：

(1) 运输容器设计方面

建立运输容器设计的安全性能评价制度、一类运输容器设计批准制度、二类运输容器设计备案制度和三类运输容器设计的管理要求。

放射性物品运输容器设计单位应当建立健全档案制度，按照质量保证体系的要求，如实

记录放射性物品运输容器的设计和安全性能评价过程。

(2) 运输容器制造方面

明确运输容器的质量检验要求，明确一类运输容器制造单位应当具备的条件，建立一类运输容器制造许可制度；建立二类、三类运输容器制造备案制度和一类、二类运输容器编码制度。

放射性物品运输容器制造单位，应当按照设计要求和国家放射性物品运输安全标准，对制造的放射性物品运输容器进行质量检验，编制质量检验报告。

未经质量检验或者经检验不合格的放射性物品运输容器，不得交付使用。

3.2.5 运输移动过程中的要求

伽马射线探伤装置必须专车运输，专人押运。押运人员须全程监护探伤装置，并使用便携式辐射剂量（率）监测仪对运输容器的表面、装源口封盖、驾驶室等部位及其周围进行辐射剂量（率）监测。

托运人和承运人应当按照国家职业病防治的有关规定，对直接从事放射性物品运输的工作人员进行个人剂量监测，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

3.2.6 安全检查

(1) 安全性能检验

放射源生产厂家应具备探伤装置安全性能检验能力，每次装源前应对探伤装置进行检验，符合安全性能要求的，方可装源。

(2) 操作人员检查

①操作前的检查：

主机的安全机构是否有效可靠；铭牌是否清晰；驱动和导管是否变形破损。

②连接状况的检查：

驱动缆与源辫子是否连接牢固；接头是否磨损，阴阳接头配合间隙是否合适，磨损严重时须由生产厂家更换；驱动系统与主机的连接、主机与导管的连接、导管与导管的连接、导管与准直器的连接等是否可靠。

③作业结束后的检查：

源辫是否在主机内；导管内有无源辫；驱动缆能否从主机中卸下。

④定期检查：

每个月对探伤装置的配件进行检查、维护；每3个月对探伤装置的性能进行全面检查、维护，发现问题应及时维修，并做好记录。

3.2.7 伽马射线探伤的安全操作

(1) 探伤人员需经过专业培训并取得中级以上培训资质，每次作业需2人以上在场操作。

(2) 划分操作区域；设置辐射警示标志标识、公示牌；拉警戒绳，防止无关人员进入。

(3) 辐射监测仪和探伤设备操作前的准备：

①个人剂量计、个人剂量报警仪、便携式辐射剂量（率）监测仪；

②检查设备的安全锁、联锁装置、位置指示器、导源管有无变形、驱动装置是否灵活；

③驱动系统与源辫和主机，主机与导管，导管与准直器有效连接；

④直通道主机必须在安全闭锁关闭情况下进行连接作业。

(4) 准备工作完毕后打开安全锁，开锁时人员必须在驱动缆一侧操作，避免射线直接照射人体。

(5) 放、收源时用力均匀、轻放轻收，切忌用力过猛，以免损坏齿轮、钢丝绳及源辫。

(6) 在收源过程中应密切关注辐射监测仪的数值变化，当辐射水平降到正常值时方可关闭安全锁，并进行拆卸导管及驱动缆作业，驱动缆卸下后应检查源辫是否在设备内，盖上

防护盖，以免在移动途中损坏。

(7) 作业结束后对探伤装置及周围环境进行辐射水平测量，由检测人员在检查记录上签字，方能携带探伤装置离开现场。

(8) 将设备存入合格的源库或保险柜中，库房管理员在出入库时必须对设备表面进行辐射测量，确认源是否在容器内，作好记录及保安工作。

3.2.8 维护保养与检修要求

经常正确的保养对设备的使用寿命及减少安全隐患是十分必要的, 主要包括:

(1) 严禁带源私自拆卸主机进行维修; 主机的维修应由专业人员进行;

(2) 探伤机及换源器不要长期存放在潮湿的环境里, 也不要让沙土进入主机中, 特别要注意防海水腐蚀;

(3) 对驱动系统要经常保养, 建议用柴油对钢丝绳进行清洗, 驱动缆、导源管不使用时要盖好两端的“封堵”;

(4) 当导源管中钢丝绳爬高高度超过 10 米, 摇起来吃力时, 建议在钢丝绳上多加柴油;

(5) 在寒冷的环境中驱动缆发生僵硬时, 可在驱动缆及导源管中涂抹柴油, 能起一定的缓解作用。

3.2.9 常见故障及处理方法

由于误操作或设备损坏等原因发生故障时, 需立即采取措施, 疏散无关人员, 保护现场, 及时向单位领导及上级有关主管部门汇报, 控制事态发展。常见故障、原因及处理方法见表 3-1。

建议:

(1) 尽量用长绳将探伤设备拖至屏蔽处进行故障处理 (如墙角);

(2) 不要用铅皮等屏蔽物将输源管及设备过牢盖死, 以免影响后面的处理。

(3) 处理时, 采用防止外照射的三种基本方法: 屏蔽、距离、时间, 尽量采用屏蔽及距离。

表 3-1 常见故障、原因及处理

故障现象	原因分析	故障排除
伽马源 输出时 卡堵	源摇不出设备 源在摇出设备一定距离 后卡堵	安全闭锁未完全打开, 快速接头没 连接到位。 快速接头连接到位, 打开全部开 关。 迅速收回源, 分析原因。
齿轮摇空、打滑	1) 钢丝绳太短, 与导源管长度不相 配, 导致齿轮与钢丝绳脱落; 2) 齿轮与齿轮盒因损坏间隙过大。	打开齿轮盒, 将钢丝绳收回。
现场辐射水平过高报警	1) 源辫与阳接头未连接就摇源; 2) 阴阳接头间隙过大, 阳接头未全 包含在阴接头中; 3) 导源管弯曲半径太小; 4) 曝光头与导源管连接不良; 5) 阳接头断裂。造成结果: 源辫与	1) 用长柄机械手将伽马机前端 抬高, 抖动导源管, 使源回位到 探伤机中; 2) 先将源摇到暴光头位置, 再将 导源管卸下, 用长柄机械手将源 倒落地面, 迅速装入换源器中。

	驱动缆阳接头脱落或源辫没有回到安全位置。	
操作正常，现场辐射水平超高	源辫断裂，源脱落。	用长柄机械手将源装入设备中，送回放射源生产厂家处理或请专业人员处理。
导管变形致源卡堵	导管管在工作过程中被异物砸坏变形。	设置控制区，保护现场，禁止无关人员进入，请专业人员处理。

千万牢记：任何情况下都不允许手或身体其他部位接触源。

伽马探伤作业中为了避免发生辐射事故的发生，应做到：

工作人员应取得培训资质，并按操作规程操作；工作结束后检查源辫是否回到容器的安全屏蔽位置；正确使用辐射剂量（率）监测仪，每次探伤作业结束后及探伤设备出入库时进行辐射剂量（率）水平测量，确定放射源在探伤容器内；由专业人员处理设备故障，严禁近距离接触放射源；做好探伤设备的保安工作，以免丢失被盗。

3.3 管理要求（监管要求和内部管理）

3.3.1 对探伤单位的管理要求

探伤单位应依法取得辐射安全许可证并在其有效期内从事规定范围内的活动；应建立辐射安全和防护管理机构，并至少设置 1 名本科学历以上辐射安全和防护负责人和 1 名辐射防护人员或安全员；应制定辐射安全和防护管理制度，包括个人剂量与职业健康管理制度、岗位职责、人员培训、探伤装置检查维护、放射源管理、台账管理、辐射剂量（率）监测和辐射安全检查等；应制定射线探伤作业相关的操作规程，包括探伤室及现场作业、探伤装置和辐射剂量（率）监测仪操作等；应成立辐射应急组织，明确参与应急准备与响应的部门及人员，并制定辐射应急预案；应对本单位的辐射安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向环保部门提交上一年度的评估报告。

（1）对辐射安全和防护管理机构的要求

- ①辐射安全和防护管理机构应明确规定成员的管理职责和工作程序。
- ②该机构的职责范围应覆盖所有与辐射安全和防护有关的活动。
- ③该机构应对本单位的法人负责，在贯彻执行辐射安全和防护管理制度过程中具有充分的监督权和核查权，相关部门及个人应予以配合。

（2）对辐射工作人员的岗位职责的要求

①辐射安全和防护负责人职责

辐射安全和防护负责人应由探伤单位内负责辐射安全和防护的领导担任。

负责辐射安全和防护机构及人员的监督和管理工作的。

负责辐射安全和防护管理制度的贯彻实施。

组织本单位相关部门及人员开展辐射应急行动。

组织对本单位的辐射安全和防护状况进行评估。

②辐射防护人员或安全员职责

定期组织对探伤室、探伤装置和放射源的安全状况进行检查并记录。

组织开展相关辐射监测，并负责监测数据的记录及管理。

负责个人剂量计及辐射监测仪的维护、检定及比对。

负责辐射防护用品与应急物资的管理及发放。

参与本单位的辐射应急行动，控制应急人员的受照剂量。

负责对辐射工作人员进行辐射防护知识和监测仪表操作技能的培训。

③射线探伤作业人员职责

遵守辐射安全和防护管理制度，执行射线探伤作业相关的操作规程。

正确佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，熟练使用辐射监测仪。

负责作业前后对探伤装置进行安全检查，作业过程中对作业场所进行安全检查。

在探伤作业时采取合理的防护措施减少人员受照剂量。

发现辐射安全隐患及时向辐射安全和防护负责人报告。

④伽玛射线探伤装置保管人员职责

遵守辐射安全和防护管理制度，执行探伤装置保管相关规程，熟练使用辐射剂量（率）监测仪。

负责建立射线探伤装置及放射源的台账并定期盘查，其中，放射源台账的内容包括核素名称、放射源编码、出厂时间、活度、来源及去向等。

负责移动式射线探伤装置的出入库管理及安全状况检查。检查时需要在探伤装置相对固定的位置进行辐射水平监测，以确认放射源处于安全位置。

负责定期对射线探伤装置及保管场所进行安全检查并记录。

发现辐射安全隐患及时向辐射安全和防护负责人报告。

(3) 职业健康管理

辐射工作人员上岗前，应进行上岗前职业健康检查，符合辐射工作人员健康标准的，方可参加探伤工作。

辐射工作人员上岗后应定期进行职业健康检查，两次检查的时间间隔不应超过 2 年，必要时可增加临时性检查。

辐射工作人员脱离辐射工作岗位时，应进行离岗前的职业健康检查。

射线探伤单位应建立辐射工作人员的职业健康档案。

①个人剂量管理

辐射工作人员应进行个人外照射剂量监测。

辐射工作人员在紧急情况、突发事件或执行应急程序时所受到的剂量，应与常规工作中所受到的剂量加以区分。

个人剂量档案应包括辐射工作人员的个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料，并保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作后三十年。

②人员资质及培训管理

从事工业伽马射线探伤活动的辐射工作人员及辐射安全负责人应通过中级以上辐射安全培训，经考试合格后持证上岗。

辐射工作人员应参加单位内部开展的关于辐射安全和防护管理制度、射线探伤作业相关的操作规程及辐射事故应急处置等方面的培训。

3.3.2 放射源的管理要求

(1) 放射源的贮存

放射源库设置红外和监视器等保安设施，源库门应为双人双锁。明确 2 名以上工作人员专职负责放射源库的保管工作。

探伤装置用毕不能及时返回本单位放射源库保管的，应利用保险柜现场保存，但须派专人 24 小时现场值班。保险柜表面明显位置应粘贴电离辐射警告标志。

(2) 放射源的出入库、台账、盘存

制定探伤装置的领取、归还和登记制度，放射源台帐和定期清点检查制度。射线探伤装

置保管人员应定期核查探伤装置中的放射源，明确每枚放射源与探伤装置的对应关系，做到账物相符，一一对应。核实时应有 2 人在场，核实记录应妥善保存，并建立计算机管理档案。

(3) 放射源的转让

关于放射源转让的法律要求：

《防护条例》和《许可管理办法》中规定——申请转让放射性同位素，应当符合下列要求：(1) 转出、转入单位持有与所从事活动相符的许可证；(2) 转入单位具有放射性同位素使用期满后的处理方案；(3) 转让双方已经签订书面转让协议。”《防护条例》第十九条“转让放射性同位素，由转入单位向其所在地省、自治区、直辖市人民政府环境保护主管部门提出申请，并提交符合《防护条例》第十九条规定要求的证明材料。省、自治区、直辖市人民政府环境保护主管部门应当自受理申请之日起 15 个工作日内完成审查，符合条件的，予以批准；不符合条件的，书面通知申请单位并说明理由。”

放射性同位素的转出、转入单位应当在转让活动完成之日起 20 日内，分别向其所在地省、自治区、直辖市人民政府环境保护主管部门备案。

(4) 放射源的异地使用

异地使用需遵循的法律法规：

《许可管理办法》第三十五条规定：“使用放射性同位素的单位需要将放射性同位素转移到外省、自治区、直辖市使用的，应当于活动实施前 10 日内持许可证复印件向使用地省级环境保护主管部门备案，书面报告移出地省级环境保护主管部门，并接受使用地环境保护主管部门的监督管理。书面报告的内容应当包括该放射性同位素的核素、活度、转移时间和地点、辐射安全负责人和联系电话等内容；转移放射源的还应提供放射源标号和编码。使用单位应当在活动结束后 20 日内到使用地省级环境保护主管部门办理备案注销手续，并书面告知移出地省级环境保护主管部门。”

(5) 放射源的倒装

探伤装置装源（包括更换放射源）应由放射源生产单位进行操作，并承担安全责任，放射源生产单位也可委托有能力的单位进行装源操作。生产、销售、使用探伤装置单位不得自行进行装源操作。

(6) 废旧放射源的收贮

法律依据：

《防护条例》第二十三条规定：“持有放射源的单位将废旧放射源交回生产单位、返回原出口方或者送交放射性废物集中贮存单位贮存的，应当在该活动完成之日起 20 日内向其所在地省、自治区、直辖市人民政府环境保护主管部门备案。”

《许可管理办法》第三十八条、三十九条规定，“生产、进口放射源的单位在销售 I 类、II 类、III 类放射源时，应当与使用放射源的单位签订废旧放射源返回合同。使用 I 类、II 类、III 类放射源的单位应当按照废旧放射源返回合同规定，在放射源闲置或者废弃后 3 个月内将废旧放射源交回生产单位或者返回原出口方。确实无法交回生产单位或者返回原出口方的，送交有相应资质的放射性废物集中贮存单位贮存。使用放射源的单位应当在废旧放射源交回、返回或者送交活动完成之日起 20 日内，向其所在地省级环境保护主管部门备案。”

3.3.3 放射源的运输管理要求

(1) 运输资质许可

申请从事放射性物品道路运输经营，申请从事非经营性放射性物品道路运输，详见《放射性物品道路运输管理规定》第二章 运输资质许可。

第七条 申请从事放射性物品道路运输经营的，应当具备下列条件：

①有符合要求的专用车辆及设备：

专用车辆其他要求：车辆为企业自有，且数量为 5 辆以上；核定载重质量在 1 吨及以下

的车辆为厢式或者封闭货车；车辆配备满足在线监控要求，且具有行驶记录仪功能的卫星定位系统。

设备要求：配备有效的通讯工具；配备必要的辐射防护用品和依法经定期检定合格的监测仪器。

②有符合要求的从业人员

专用车辆的驾驶人员取得相应机动车驾驶证，年龄不超过 60 周岁。

从事放射性物品道路运输的驾驶人员、装卸管理人员、押运人员经所在地设区的市级人民政府交通运输主管部门考试合格，取得注明从业资格类别为“放射性物品道路运输”的道路运输从业资格证（以下简称道路运输从业资格证）。

有具备辐射防护与相关安全知识的安全管理人员。

③有健全的安全生产管理制度

有关安全生产应急预案；

从业人员、车辆、设备及停车场地安全管理制度；

安全生产作业规程和辐射防护管理措施；

安全生产监督检查和责任制度。

第八条 生产、销售、使用或者处置放射性物品的单位（含在放射性废物收贮过程中的从事放射性物品运输的省、自治区、直辖市城市放射性废物库营运单位），符合下列条件的，可以使用自备专用车辆从事为本单位服务的非经营性放射性物品道路运输活动：

①持有有关部门依法批准的生产、销售、使用、处置放射性物品的有效证明；

②有符合国家规定要求的放射性物品运输容器；

③有具备辐射防护与安全防护知识的专业技术人员；

④具备满足第七条规定条件的驾驶人员、专用车辆、设备和安全生产管理制度，但专用车辆的数量可以少于 5 辆。

第九条 国家鼓励技术力量雄厚、设备和运输条件好的生产、销售、使用或者处置放射性物品的单位按照第八条规定的条件申请从事非经营性放射性物品道路运输。

第十条 申请从事放射性物品道路运输经营的企业，应当向所在地设区的市级道路运输管理机构提出申请，并提交下列材料：

①《放射性物品道路运输经营申请表》，包括申请人基本信息、拟申请运输的放射性物品范围（类别或者品名）等内容；

②企业负责人身份证明及复印件，经办人身份证明及复印件和委托书；

③证明专用车辆、设备情况的材料，包括：未购置车辆的，应当提交拟投入车辆承诺书。内容包括拟购车辆数量、类型、技术等级、总质量、核定载质量、车轴数以及车辆外廓尺寸等有关情况。

第十一条 申请从事非经营性放射性物品道路运输的单位，向所在地设区的市级道路运输管理机构提出申请时，除提交第十条第（三）项、第（五）项规定的材料外，还应当提交下列材料：

①《放射性物品道路运输申请表》，包括申请人基本信息、拟申请运输的放射性物品范围（类别或者品名）等内容；

②单位负责人身份证明及复印件，经办人身份证明及复印件和委托书；

③有关部门依法批准生产、销售、使用或者处置放射性物品的有效证明；

④放射性物品运输容器、监测仪器检测合格证明；

⑤对放射性物品运输需求的说明材料；

⑥有关驾驶人员的驾驶证、道路运输从业资格证及复印件；

⑦有关专业技术人员的工作证明，依法应当取得相关从业资格证件的，还应当提交有效

的从业资格证件及复印件。

第二十二条 非经营性放射性物品道路运输单位应当按照《放射性物品运输安全管理条例》、《道路运输条例》和本规定的要求履行托运人和承运人的义务，并负相应责任。

非经营性放射性物品道路运输单位不得从事放射性物品道路运输经营活动。

(2) 伽马射线探伤源运输许可的办理方法

第二十三条 承运人与托运人订立放射性物品道路运输合同前，应当查验、收存托运人提交的下列材料：

①运输说明书，包括放射性物品的品名、数量、物理化学形态、危害风险等内容；

②辐射监测报告，其中一类放射性物品的辐射监测报告由托运人委托有资质的辐射监测机构出具；二、三类放射性物品的辐射监测报告由托运人出具；

③核与辐射事故应急响应指南；

④装卸作业方法指南；

⑤安全防护指南。

托运人将本条第一款第 d 项、第 e 项要求的内容在运输说明书中一并作出说明的，可以不提交第 d 项、第 e 项要求的材料。

托运人提交材料不齐全的，或者托运的物品经监测不符合国家放射性物品运输安全标准的，承运人不得与托运人订立放射性物品道路运输合同。

第二十四条 一类放射性物品启运前，承运人应当向托运人查验国务院核安全主管部门关于核与辐射安全分析报告书的审批文件以及公安部门关于准予道路运输放射性物品的审批文件。

二、三类放射性物品启运前，承运人应当向托运人查验公安部门关于准予道路运输放射性物品的审批文件。

托运人应委托具有国家规定的放射性物品道路运输资质的承运人进行运输，并对装源容器进行表面污染和辐射水平监测，编制辐射监测报告，连同书面申请报告、运输方案及应急预案、承运单位的资质证明材料、司机和押运人员的资质证明材料等到启运地县级以上公安部门办理放射性物品运输许可（运输证明）。

3.3.4 探伤作业场所的安全管理要求

(1) 固定场所作业

①探伤室及安全设施

探伤室屏蔽的基本结构应包括屏蔽墙、迷道、连锁屏蔽门、警示灯等；屏蔽设计应充分考虑有用线束照射的方向和范围、装置的工作负荷及周围环境情况。在进行屏蔽墙设计时，根据《工业伽马射线探伤放射防护标准》(GBZ132-2008)中的规定，探伤室屏蔽墙外 30cm 处空气比释动能率不大于 $2.5 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ，无迷道探伤室门的防护性能应与同侧墙的防护性能相同。

探伤室应安装固定式辐射剂量（率）监测仪并与门机连锁，该仪器应具有报警功能并设定合理的报警值。当固定式辐射剂量（率）监测仪报警后，辐射防护人员应到场并采取相关措施，工作人员方可进入。

探伤室应有连锁装置，该装置可采用手动方式启动和关闭。射线装置启动之前手动关闭安全门并使其保持闭锁状态。探伤结束之后，如固定式辐射剂量（率）监测仪显示结果正常，可通过连锁装置手动开启安全门。

应在迷道和探伤室内安装安全门的紧急开启按钮，并配有清晰的标识和说明。

同一探伤室内每次只能启动 1 台探伤装置进行探伤作业。

探伤室工作人员入口门外和被探伤物件出入口门外应设置固定的电离辐射警告标志和工作状态指示灯箱。探伤作业时，应由声音警示，灯箱应醒目显示“禁止入内”。

②安全检查

工作人员进行探伤前应检查联锁装置、灯铃报警以及固定式辐射剂量（率）监测仪是否能正常工作；探伤设备是否正常；

工作人员照射前应检查探伤室内有无人员滞留；

工作人员是否携带便携式辐射剂量（率）监测仪、个人剂量报警仪、佩戴个人剂量计；

工作人员进入探伤室前应用便携式辐射剂量（率）监测仪进行监测，该监测仪应与防护门钥匙、探伤装置的安全锁钥匙串结一起。

伽马射线探伤室的各项安全措施必须定期检查，并做好记录。

（2）移动探伤作业

探伤单位应向被检测方了解现场作业的特殊管理和特殊安全等相关问题，并配合现场管理者对相关工作人员进行安全培训。

开始探伤作业前，应根据《工业伽马射线探伤放射防护标准》（GBZ132-2008）中的规定，划定作业场所警戒区域，并在相应的边界设置警示标识：

将作业时被检物体周围的空气比释动能率大于 $15 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 的范围内划为控制区，并在其边界上设置清晰可见的“禁止进入射线区”警告牌，拉警戒绳，射线探伤作业人员应在控制区边界外操作；在控制区边界外将作业时空气比释动能率大于 $2.5 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ 的范围划为监督区，并在其边界上设置清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌，必要时设专人警戒，防止无关人员进入。

伽马射线移动探伤作业时应配备现场安全员，主要负责场所区域的划分与控制、场所限制区域的人员管理、场所辐射剂量水平监测等安全相关工作，并承担探伤装置的领取、归还以及确认探伤源是否返回装置等工作。现场安全员应接受与操作人员等同的辐射安全培训。

作业现场（应急探伤作业除外）边界外公众可达地点放置安全信息公示牌，将辐射安全许可证、公司法人、辐射安全负责人、操作人员和现场安全员的姓名、照片、资质证书和环保部门监督举报电话等信息进行公示，接受公众监督。

安全信息公示牌面积应不小于2平方米，公示信息应采取喷绘（印刷）的方式进行制作。安全信息公示牌应适应野外作业需要（具备防水、防风等抵御外界影响的能力），确保信息的清晰辨识。公示信息如发生变化应重新制作安全信息公示牌，禁止对安全信息公示牌进行涂改、污损。

应根据实际需要使用合适的准直器，以缩小监督区及控制区的范围。

应通过利用地形、局部屏蔽或使用专用探伤装置等措施减小周围环境的辐射水平。

探伤作业时对射线不能有效屏蔽且作业人员无法躲避时，应使用全自动探伤装置进行探伤，以减小人员的受照剂量。

3.3.5 安全检查

（1）辐射剂量（率）监测仪：是不是在检定范围内，是否能够正常使用（简单的判断方法）。

（2）辐射剂量（率）监测的检查：探伤过程中、探伤结束后、出入库的监测、环境监测。

（3）设备的安全状态：

①探伤前：安全联锁装置、铭牌等；安全机构；

②探伤后：外观检查；是否有源辫子；设备驱动是否能拆卸。

（4）驱动系统和导管等附件：外观检查是否变形，能否正常使用。

（5）驱动与源辫子、驱动与设备、导管与设备、导管与导管连接情况以及源辫子的磨损、驱动揽的磨损情况。

（6）探伤室的门机联锁、灯铃、警示标识，探伤前的人员清空。

- (7) 移动探伤分区的警戒线及警示标志标识，防止无关人员进入。
- (8) 源的盘存、源库的保卫及双人双锁管理制度。
- (9) 应急物资检查。
- (10) 监督检查：对制度的执行情况进行内部检查。

3.3.6 年度评估

应当对本单位的放射性同位素、射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发放辐射安全许可证的环境保护主管部门（以下简称发证机关）提交上一年度的评估报告。

安全和防护状况年度评估报告应当包括下列内容：

- (1) 辐射安全和防护设施的运行与维护情况；
- (2) 辐射安全和防护制度及措施的制定和落实情况；
- (3) 放射性同位素进出口、转让或者送贮情况以及放射性同位素、射线装置台账；
- (4) 场所和工作人员的监测情况及监测数据；
- (5) 辐射事故及应急响应情况；
- (6) 新建、改建、扩建和退役核技术利用项目情况；
- (7) 存在的安全隐患及其整改情况；
- (8) 其他有关法律、法规规定的落实情况。

年度评估发现安全隐患的，应当立即整改。

思考题：

1、结合源项分析，试分析导致放射源对人员造成意外伤害的途径有哪些？

答：(1) 伽马射线探伤装置自身的问题；

- (2) 放射源管理方面的问题；
- (3) 伽马射线探伤装置或放射源运输中出现的问题；
- (4) 探伤过程中的操作问题；

(5) 在正常的伽马射线探伤时，会对辐射工作场所周围的工作人员及辐射工作场所外公众产生伽马射线外照射。

2、试述探伤装置运输移动过程中的要求

答：(1) 探伤装置必须专车运输，专人押运；

(2) 押运人员须全程监护探伤装置，并使用便携式辐射监测仪进行辐射监测。

(3) 托运人和承运人应当按照国家职业病防治的有关规定，对直接从事放射性物品运输的工作人员进行个人剂量监测，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

3、伽马探伤作业中为了避免发生辐射事故的发生，具体应如何做？

答：(1) 工作人员应取得培训资质，并按操作规程操作；

(2) 工作结束后检查源辫是否在容器的安全屏蔽位置；

(3) 正确使用辐射监测仪，每次探伤作业结束后及探伤设备出入库时进行辐射水平测量，确定放射源在探伤容器内；

(4) 由专业人员处理设备故障，严禁近距离接触放射源；

(5) 做好探伤设备的保安工作，以免丢失被盗。

4、探伤装置的管理具体管理要求有哪些？

答：(1) 对探伤单位的管理要求；

(2) 放射源的管理要求；

- (3) 放射源的运输管理要求;
- (4) 探伤作业场所的安全管理要求;
- (5) 安全检查;
- (6) 年度评估;

5、如何对从事探伤人员的职业健康进行管理?

答:(1) 辐射工作人员上岗前, 应进行上岗前职业健康检查, 符合辐射工作人员健康标准的, 方可参加探伤工作。

(2) 辐射工作人员上岗后应定期进行职业健康检查, 两次检查的时间间隔不应超过 2 年, 必要时可增加临时性检查。

(3) 辐射工作人员脱离辐射工作岗位时, 应进行离岗前的职业健康检查。

(4) 射线探伤单位应建立辐射工作人员的职业健康档案。

第四节 案例分析与辐射应急

4.1 案例分析

4.1.1 部分违法违规应承担的法律责任

部分可能出现的违法违规行为及所应承担的法律责任如下:

(1) 违法行为: 转入、转出放射性同位素未按照规定备案; 将放射性同位素转移到外省、自治区、直辖市使用, 未按照规定备案; 将废旧放射源交回生产单位、返回原出口方或者送交放射性废物集中贮存单位贮存, 未按照规定备案。

法律责任: 由县级以上人民政府环境保护主管部门责令限期改正, 给予警告; 逾期不改正的, 由原发证机关暂扣或者吊销许可证。

(2) 违法行为: 在室外、野外使用放射性同位素和射线装置, 未按照国家有关安全和防护标准的要求划出安全防护区域和设置明显的放射性标志; 未经批准擅自在野外进行放射性同位素示踪试验。

法律责任: 由县级以上人民政府环境保护主管部门责令停止违法行为, 限期改正; 逾期不改正的, 处 1 万元以上 10 万元以下的罚款。

(3) 违法行为: 不按照规定设置放射性标识、标志、中文警示说明; 不按照规定建立健全安全保卫制度和制定事故应急计划或者应急措施; 不按照规定报告放射源丢失、被盗情况或者放射性污染事故。

法律责任: 由县级以上人民政府环境保护行政主管部门或者其他有关部门依据职权责令限期改正; 逾期不改正的, 责令停产停业, 并处二万元以上十万元以下罚款; 构成犯罪的, 依法追究刑事责任。

(4) 违法行为: 违反防护条例规定, 造成辐射事故。

法律责任: 由原发证机关责令限期改正, 并处 5 万元以上 20 万元以下的罚款; 情节严重的, 由原发证机关吊销许可证; 构成违反治安管理行为的, 由公安机关依法予以治安处罚; 构成犯罪的, 依法追究刑事责任。因辐射事故造成他人损害的, 依法承担民事责任。

(5) 违法行为: 未按照规定对制造的一类、二类放射性物品运输容器统一编码的; 未按照规定将制造的一类、二类放射性物品运输容器编码清单报国务院核安全监管部门备案的; 未按照规定将制造的三类放射性物品运输容器的型号和数量报国务院核安全监管部门备案的。

法律责任：由国务院核安全监管部门责令限期改正；逾期不改正的，处1万元以上5万元以下的罚款。

(6) 违法行为：通过道路运输放射性物品，未经公安机关批准通过道路运输放射性物品的，运输车辆未按照指定的时间、路线、速度行驶或者未悬挂警示标志的，未配备押运人员或者放射性物品脱离押运人员监管的。

法律责任：由公安机关责令限期改正，处2万元以上10万元以下的罚款；构成犯罪的，依法追究刑事责任。

4.1.2 辐射事故分类

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。

4.1.3 事故案例

(1) 案例1：探伤源丢失、失控导致的人员损伤案例1

1996年1月5日，吉林某公司在某石化企业施工现场丢失Ir-192放射源一枚，被早上上班途经的宋学文捡到，由于源辫比较精致，被误认为是精致的钥匙链，放入口袋中。上午10点左右宋学文感觉头晕恶心，并伴有呕吐，回到宿舍休息。下午5点单位领导探望病情时才得知宋学文捡到丢失的放射源，将宋学文紧急送往医院并回收放射源。宋学文将放射源揣入兜中达10个小时之久，经过截肢等多次手术，最后保住了性命。

该事故定性为重大辐射事故，丢失的放射源为II类Ir-192放射源。

(2) 案例2：探伤源丢失、失控导致的人员损伤案例2

2005年7月13日，黑龙江省哈尔滨市一居民楼有两家人相继得了怪病，被诊断为“骨髓造血受抑症”。经调查在1楼一名住户家中发现Ir-192放射源一枚，致使居民楼中6人住院，其中1位老人死亡，1名儿童多次病危。117人疑似受照，进行了体检。

该事故定性为重大辐射事故，丢失的放射源为III类Ir-192放射源（注：推算当事人捡拾时的类别）。

(3) 案例3：探伤源丢失、失控导致的人员损伤案例3

2006年7月，某检测单位在未办理备案登记的情况下，将一台探伤设备转移到山东作业，探伤结束后，由于设备故障放射源未能回收至探伤设备中，工作人员由于未携带个人剂量报警仪和辐射监测仪，未能发现放射源丢失在施工现场。放射源被人捡走，导致一人受超剂量照射手部烧伤，多人误照。

该事故定性为较大辐射事故，所丢失放射源为III类Se-75放射源。

(4) 案例4：探伤源丢失、失控导致的人员损伤案例4

2014年5月7日凌晨，天津某检测单位在南京进行探伤作业时丢失放射源一枚；5月9日凌晨上报江苏省环保厅，中午上报环保部；5月10日上午9点30分左右发现丢失的Ir-192放射源，晚上6点处置完毕。期间放射源被作业现场单位的一名工人捡到并带回家中，因“意外放射源照射致右股外侧皮肤破溃3天”入院，诊断为“1、轻度骨髓型急性放射病；2、右

股外侧IV度急性放射性皮肤损伤。受照当事人的家人及周围群众受到不同程度的照射，全村1000多人进行了体检，其中需要密切观察人员200名。

该事故定性为重大辐射事故，所丢失放射源为II类Ir-192放射源。

(5) 案例5：放射源丢失、被盗案例1

2013年8月19日，安徽某检测公司3名工作人员携带含有1颗Ir-192放射源的设备乘坐面包车从探伤现场返回源库，途中发现面包车后车门打开，含源设备丢失。

该事故定性为重大辐射事故，所丢失放射源为II类Ir-192放射源。

(6) 案例6：放射源丢失、被盗案例2

2004年5月29日凌晨4点半左右，上海某检测公司在结束探伤作业后，由一名司机独自驾驶一辆墨绿色的小解放车将含有Se-75放射源的探伤设备送回源库，在途经上海金山区一偏僻的马路时，因劳累而停车睡觉，等他在早晨8时醒过来，发现放在车上装有Se-75放射源的探伤设备丢失。

该事故定性为较大辐射事故，所丢失的放射源为III类Se-75放射源。

(7) 案例7：放射源丢失、被盗案例3

2006年11月8日，北京某检测公司3名工作人员携带移动探伤机(含Ir-192)到施工现场作业时，起初将探伤机卸下，后决定开车进入，在忘记将设备放回车内的情况下驾车离去，到达作业现场后发现探伤机丢失。

该事故定性为重大辐射事故，所丢失放射源为II类Ir-192放射源。

(8) 案例8：放射源丢失、被盗案例4

2011年11月11日，山东某检测公司探伤现场的2名工作人员同时擅离职守，使含有Ir-192放射源的探伤机处于无人看守状态，待2人回到探伤现场时，探伤机已经丢失。

该事故定性为重大辐射事故，所丢失放射源为II类Ir-192放射源。

4.1.4 案例分析

(1) 南京探伤源丢失、失控导致的人员损伤事故简介

2014年3月天津某公司口头聘用苏某、杨某、李某参与对南京项目的无损检测工作，未接受有关的辐射安全培训。

2014年5月6日晚8点，这三名员工根据工作任务进行探伤作业，7日凌晨3点将探伤机挪到车间外对最后一道焊口进行探伤检测。工作结束后在收拾现场时，苏某发现探伤机的驱动拆不下来，怀疑放射源未能正常回收回到探伤机中，电话汇报给闫某，闫某指示检查一下。苏某就将曝光头拧下未发现放射源，在有灯光的车间中又将导管中段提起，站在约1米高的平台上抖动，也未发现放射源。苏某将检查结果汇报给闫某，闫某指示将探伤机带回项目部等天亮维修。于是三人将没有拆下驱动的探伤机搬到车上，带回项目部。

7日早上7点，闫某对探伤机进行了检查，驱动仍然拆不下来，用报警仪检测探伤机发现报警仪“嘟嘟”叫，认为放射源在探伤机内，是探伤机本身出了故障。

7日早8点左右，临时工王某在倒垃圾回来的路上捡到放射源，并随手放到衣服口袋中，期间与多人有不同时间的近距离接触。

7日上午10点，项目部负责人王某再次使用报警仪进行监测，能听到报警声，且报警仪读数为 $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，认为放射源在机器中。于下午4点与探伤机生产厂家联系，厂家回答第二天派人过来维修。

7日中午11点王某下班回家后将放射源放入自家后院的蛇皮袋中。

7日晚上8点，在认为放射源在探伤机内的情况下，继续进行探伤工作。

8日凌晨3点结束工作，将探伤机放回源库。

8日早上7点左右，项目部洗片人说胶片未能曝光，随即向项目部主要负责人孙某汇报，孙某安排闫某去源库再检查一次。闫某在源库检查时报警仪依然有报警声，认为放射源在探

伤机中，没有丢失。于是电话给探伤机生产厂家。

8日晚7点左右，探伤机生产厂家检修人员检查探伤机时发现放射源不在探伤机中，此时项目部负责人发现问题严重，一边向公司总部汇报一边安排人员寻找。

8日晚上王某所在部门负责人到王某家中询问有没有捡到放射源，王某矢口否认

9日凌晨1点未寻找到放射源，就向公安部门报告，拨打12369电话向南京市环保局报告。

9日凌晨2点43分，江苏省环保厅接到南京市环保局的汇报，启动了应急工作。

9日中午上报环保部。

从9日凌晨应急行动启动开始，直到10日凌晨3点，对探伤作业场所、源库、暂存库、运输车辆、探伤机运输路线、施工单位临时驻地、职工集中租住点进行了4次以上严密搜寻、监测，均为发现异常。

9日12点左右，王某在单位电话让其家人将装放射源的蛇皮袋拿到父母家杂物间。

10日早6点，王某迫于压力和恐惧，将放射源用木棍挑入塑料袋中，手提塑料袋将放射源丢弃到距离其父母家200米左右的杂草中。

10日上午8点开始以厂区为中心、边长6公里，总面积达36平方公里的正方形区域进行第二轮地毯式搜寻。

10日上午9点40分在搜寻过程中发现测量数据异常，最终定位在长满杂草的两平方米范围内。

10日下午6点将丢失的放射源回收到专用设备中。

(2) 南京探伤源丢失、失控导致的人员损伤事故的后果及影响

①对探伤行业影响很大，不利于探伤行业的健康发展。

②探伤单位的企业资质被取消，经济、信誉损失巨大。

③受照当事人的身心受到伤害，导致发生局部急性放射性皮肤损伤。

④受照当事人的家人及周围群众受到不同程度的照射，给这些人员造成了长期的心理压力。全村1000多人进行了体检，其中需要密切观察人员200名。

⑤4名操作人员受到了公安部门的刑事拘留。

⑥由于网络和新闻的炒作，使得事故传播速度快，覆盖广，难以控制，增加了群众核恐惧心理。受到了群众的质疑：食物是否能吃、周围植物的枯死是否为受到放射源照射影响、是否会致癌等。

(3) 南京探伤源丢失、失控导致的人员损伤事故原因分析

①探伤人员未接受有关的辐射安全培训，无证上岗作业。

②探伤人员缺乏专业技能的培训；未能识别出报警仪读数为 $5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 时放射源究竟在不在探伤设备内。

③违章作业，处理不当；在怀疑放射源未能正常回收到探伤机中后，采取违反规章的一些做法——“将导管中段提起，站在约1米高的平台上抖动”，发现的问题没解决就继续进行探伤工作。

④探伤设备的检、维护不及时；即使在发现异常告知生产厂家后，厂家并未对探伤机进行及时的检查和维修。

⑤安全检查不到位；在探伤前后未进行相关的安全检查。

⑥安全意识薄弱，重视不够；在发现探伤机的驱动拆不下来，怀疑放射源未能正常回收到探伤机中后，未引起重视，仅简单讲探伤机带回项目部，等待处理。

⑦缺乏必要的辐射监测；在怀疑放射源未能正常回收到探伤机中后，并未对探伤机及其导管进行必要的辐射监测。

⑧未按照要求将探伤设备存入源库。

4.2 辐射应急

4.2.1 应急预案要求

辐射应急预案应包括以下内容：

- (1) 应急机构和职责分工；
- (2) 应急人员的组织、应急培训和应急救助的程序；
- (3) 应急事故类型与应急响应程序；
- (4) 辐射事故调查、报告和处理程序；
- (5) 综合预案、专项预案和现场处置方案。

4.2.2 应急事件响应与处置

(1) 常见辐射应急事件

- ①设备出现故障或违章操作；
- ②源辫子发生脱落、断裂并掉在源导管中；
- ③工作人员在收源导管时不经意间使源辫掉在地上；
- ④放射源被其他人员捡走。

(2) 应急物资的准备

- ①功能完好的能测量高剂量率的辐射监测仪；
- ②个人剂量报警仪、备用的个人剂量计；
- ③备用铅皮、铅衣、源容器；
- ④指示灯、警示标识、警戒绳；
- ⑤适当的工具和源恢复设备（1.5 米以上的长杆夹具、钳子、螺丝刀、断线钳、活动扳手、钢锯、手电筒等）。

(3) 应急处置措施

- ① 辐射安全和防护负责人及辐射防护人员应及时到场；
- ②禁止无关人员进入控制区；
- ③在辐射监测仪监测下并佩戴个人剂量报警仪才能进入潜在高剂量或未知剂量率的地区；
- ④在保证安全并在辐射防护人员指导下将源复位或放入源容器；
- ⑤必要时应向专业技术人员或放射源供应商寻求支援，现场作业人员不可超越职责范围依靠个人技能及经验擅自行动。

(4) 事件报告

- ①射线探伤单位自发生（发现）事故起，2 小时内报告环保部门；
- ②发生放射源丢失、被盗和故意引发的辐射事故应同时报告公安部门；
- ③发生（发现）人员受照射剂量可能达到对人体产生危害时，应同时报告卫生主管部门。

思考题：

1、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几个等级？各等级的具体特点？

答：从重到轻将辐射事故分为四个等级，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。

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。

2、请对南京探伤源丢失、失控导致的人员损伤事故的后果及影响进行分析

答：（1）对探伤行业影响很大，不利于探伤行业的健康发展。

（2）探伤单位的企业资质被取消，经济、信誉损失巨大。

（3）受照当事人的身心受到伤害，导致发生局部急性放射性皮肤损伤。

（4）受照当事人的家人及周围群众受到不同程度的照射，给这些人员造成了长期的心理压力。全村 1000 多人进行了体检，其中需要密切观察人员 200 名。

（5）4 名操作人员受到了公安部门的刑事拘留。

（6）由于网络和新闻的炒作，使得事故传播速度快，覆盖广，难以控制，增加了群众核恐惧心理。受到了群众的质疑：食物是否能吃、周围植物的枯死是否为受到放射源照射影响、是否会致癌等。

3、请对南京探伤源丢失、失控导致的人员损伤事故原因进行分析

答：（1）无证上岗作业

（2）缺乏专业技能的培训

（3）违章作业

（4）探伤设备的检、维护不够

（5）安全检查不到位

（6）安全意识薄弱，重视不够

（7）缺乏必要的辐射监测

（8）未按照要求将探伤设备存入源库

4、辐射应急预案应包括哪些内容？

答：（1）应急机构和职责分工；

（2）应急人员的组织、应急培训和应急救助的程序；

（3）应急事故类型与应急响应程序；

（4）辐射事故调查、报告和处理程序；

（5）综合预案、专项预案和现场处置方案。

5、辐射应急事件响应与处置的系列步骤有哪些？

答：（1）判定辐射应急事件；

（2）应急物资的准备；

（3）应急处置措施；

（4）事件报告。