

射线探伤及防护

2018年3月26日

一 什么是辐射

广义来讲：凡是能量非经由传导或对流方式，而是直接穿越空间传达至它处的方式统称为辐射。

狭义来讲：辐射可分：

1. 电离辐射：电离辐射是指一切能引起物质电离的辐射总称，也称为放射线。包括 α 射线、 β 射线、 γ 射线、X射线、中子射线等；这类射线能量很高。

2. 非电离辐射：一般指频率在30~3000MHz的射频和微波段的**电磁波**，由于其光子的能量不足以令中性分子及原子电离，故有非电离性称谓。

二 什么是电磁辐射

电磁辐射：**电磁波**通过空间或媒质传递能量的一种物理现象。

自然界中的一切物体，只要温度在绝对温度0K（-273.15℃）以上，都在以**电磁波**的形式时刻不停地向外传送能量，这种传送能量的方式称为电磁辐射。

电磁辐射本身很平常，我们所处的环境，就是一个各种电磁辐射构成的电磁辐射环境，只是由于我们适应了感觉不到而已。但某些物质的辐射**非常可怕**，能导致人和动植物的死亡；比如核辐射！

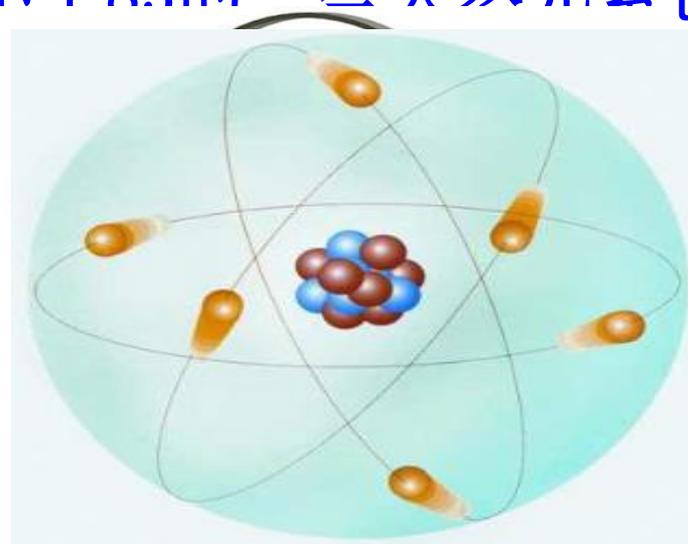
电磁辐射有一个重要的特点：不论物体（气体）温度高低都在时刻不停地向外辐射着，甲物体向乙物体辐射着，同时乙也在向甲物体辐射着。这一点不同于传导，传导是单向进行的（如高温传向低温）。

电磁辐射还有一个重要的特性：**不需要任何媒介物**。也就是说，在真空中也在向外辐射；太阳就是个很好的例子（热量传导在真空中就不能进行了），如太阳黑子爆炸，就是大量能量以电磁辐射的形式向外辐射。

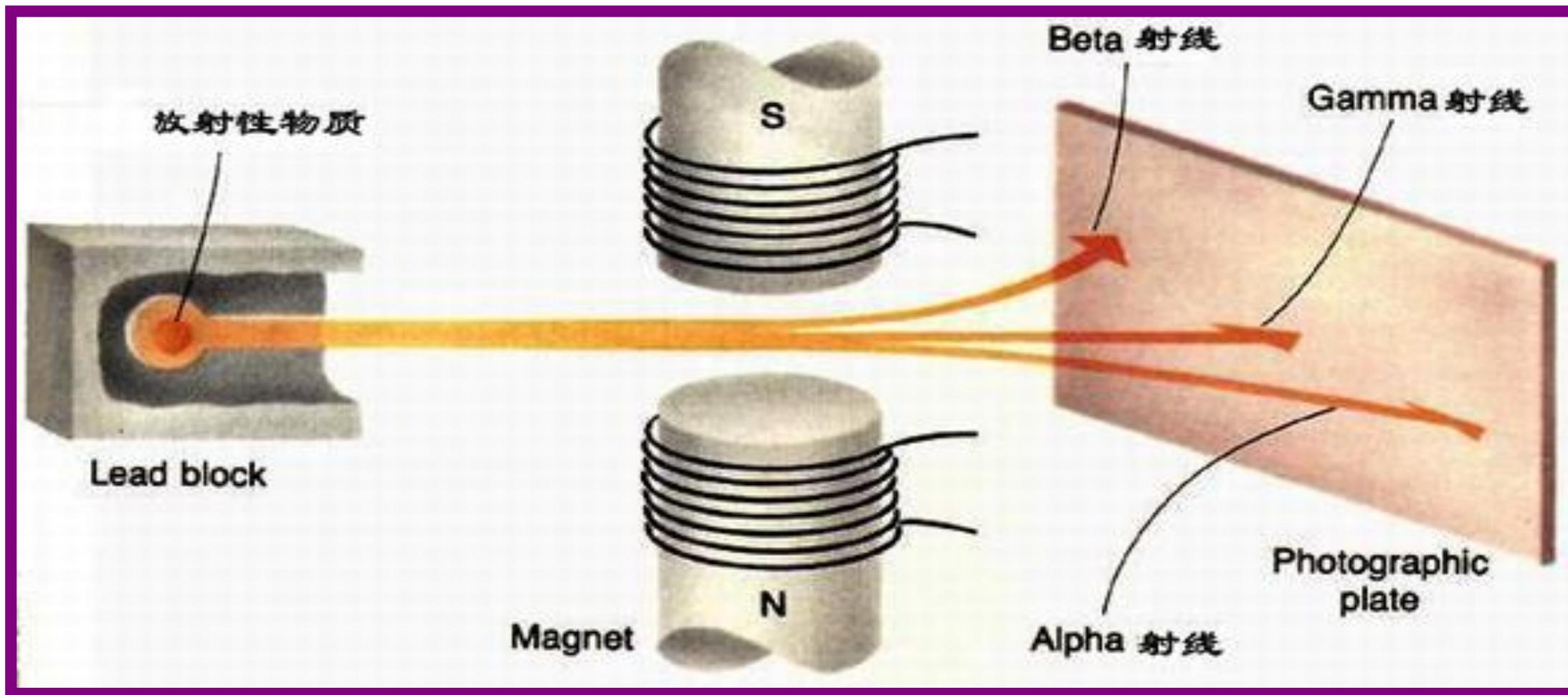
三 放射性物质

某些物质的原子核能发生衰变，放出我们肉眼看不见也感觉不到，只能用专门的仪器才能探测到的射线，物质的这种性质叫放射性。放射性物质是那些能自发的向外辐射能量，发出射线的物质。一般都是原子核质量很高(大于金元素)的金属，像氡、镭、钷和铀等。

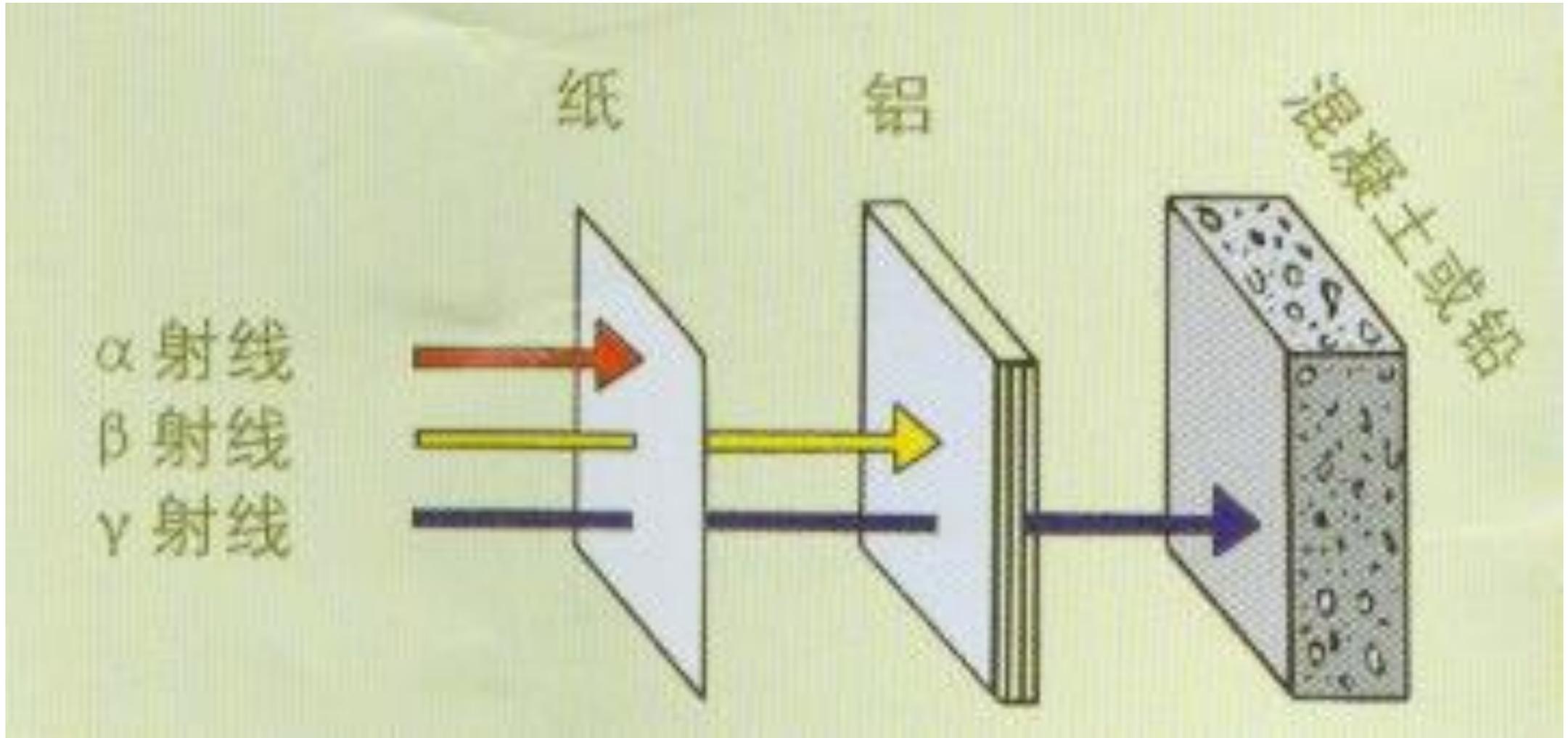
原子序数大于(等于)83(铋Bi)的所有元素(见元素周期表)，它们的原子核都是不稳定的，它们会自发的从原子核中放射出射线而转变成另一种元素的原子核，这种变化叫原子核的衰变。原子序数小于83的一些天然元素也有具有放射性。



放射性物质放出的射线有三种，它们分别是 α 射线、 β 射线和 γ 射线。



射线种类	组成	速度	贯穿本领	电离作用
α 射线	α 粒子是 氦原子核 ${}^4_2\text{He}$	约 $\frac{1}{10}c$	很小一张薄 纸就能挡住	很强
β 射线	β 粒子是 高速电子流 ${}^0_{-1}e$	接近 c	很大能穿过几 毫米厚的铝板	较弱
γ 射线	波长很 短的电磁波	等于 c	能穿过几 毫米厚的铅板	很弱



四、电离辐射伤害

放射属于电离辐射一部分；放射伤害当然也就属于电离辐射伤害。电离辐射是指一切能引起物质电离的辐射总称，也称为放射线。包括 α 射线、 β 射线、 γ 射线、X射线、中子射线等；这类射线能量很高。

电离辐射的能量很高，足以改变原子结构，这种原子的电量平衡的改变，能够对细胞产生改变，使组织的某些大分子结构被破坏，如使蛋白质及核糖核酸和脱氧核糖核酸分子链断裂，进而产生新的细胞（癌细胞）。这种使细胞产生改变或产生新的细胞的能力，使得电离辐射在未采取保护措施的情况下具有极高的危险性。

在大剂量的照射下，放射性对人体和动物存在着某种损害作用。如在400rad的照射下，受照射的人有5%死亡；若照射650rad，则人100%死亡。照射剂量在150rad以下，死亡率为零，但并非无损害作用，往往需经20年以后，一些症状才会表现出来。放射性也能损伤遗传物质，主要在于引起基因突变和染色体畸变，使一代甚至几代受害。

1戈瑞（Gy，国际单位）是指1Kg受照射物吸收1焦耳辐射能量。

1拉德（rad）是指1Kg受照射物吸收0.01焦耳辐射能量。

1西弗（Sv）= 1戈瑞×生物组织的吸收系数

1伦琴就是在标准状态下（0℃，1个大气压），每立方厘米空气（0.0129g）能产生 2.08×10^9 个离子对或形成一个正电或负电的静单位时X射线或 γ 射线的照射量。

1Gy (= 1J/kg) = 100rad ≈ 119伦琴

如果，生物组织的吸收系数为1：

1西弗（Sv）= 1戈瑞（Gy）= 100拉德

1个体重70Kg人，受400rad照射，相当于全身吸收280焦耳射线能量（1次引体向上消耗的能量就是280焦耳左右）；超过800rad（8000毫西弗）照射，相当于2次引体向上消耗的能量，救治希望会比较渺茫。

核辐射对人和生物的伤害，与核辐射的剂量、暴露于核辐射的时间以及核物质的半衰期有关，严重者可立即致死，具体而言：

当**短时辐射量**低于100毫西弗（10rad）时，对人体没有危害；

如果超过100毫西弗（10rad），会对人体造成危害；

100到500毫西弗（50rad）时，人们不会有感觉，但血液中白细胞数会减少；

1000到2000 毫西弗（200rad）时，可导致轻微的射线疾病，如疲劳、呕吐、食欲减退、暂时性脱发、红细胞减少等；

2000到4000 毫西弗（400rad）时，人的骨髓和骨密度受到破坏，红细胞和白细胞数量大量减少，有内出血、呕吐等症状；

大于4000 毫西弗（400rad）时能危及生命，但依然可以救治，成功率可达90%；

超过6000毫西弗（600rad）时，救治存在一定困难；

超过**8000毫西弗（800rad）**时，救治希望会比较渺茫。

数据显示，人类每时每刻都生活在各种辐射中。来自天然辐射的个人年有效剂量全球平均约为**2.4毫西弗**，其中，来自宇宙射线的为0.4毫西弗，来自地面 γ 射线的为0.5毫西弗，吸入（主要是室内氡）产生的为1.2毫西弗，食入为0.3毫西弗。实时测量，在宁东地区环境约为**0.07~0.1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$** 。

人们每年摄入的空气、食物、水中的辐射照射剂量约为0.25毫希。戴夜光表每年有0.02毫希；乘飞机旅行2000公里约0.01毫希；每天抽20支烟，一年有0.5至1毫希；一次X光检查0.1毫希。

阿尔法(α ：氦原子核束)辐射伤害：

1、这是所有电离辐射中危害最轻的一种，因为只需用一张纸或轻质衣料即可阻止这种辐射。

2、这种辐射是一种内部辐射危害，因为只有以某种方式进入人体后，如吸入，摄入等，才会对人体构成危害。

3、一旦进入人体后，阿尔法放射物以一种与钙非常类似的方式进行反应，在很长一段时间内可以作为骨质结构的组成部分，对人体骨骼及细胞结构造成危害。

贝塔(β ：电子束)射线伤害：

- 1、是一种内部辐射危害，因为当吸入或摄入进入人体后其危害最大。
- 2、当接受极高的剂量照射时可能造成皮肤灼伤。
- 3、房屋的墙壁或轻金属即可阻止贝塔辐射。塑料同样也是一种可接受的防护材料。

伽马(γ ：电磁波)射线伤害：

- 1、原子核内所产生的高频电磁波波。
- 2、这是一种外部辐射危害，因为如果不采取严密的防护措施，伽马射线很容易被人体吸收。
- 3、防护时应采用高致密材料，如铅。

X射线(X：电磁波)伤害：

- 1、从本质上讲， γ 射线和X射线两者没有区别，都是电磁波；而且它们在波谱里还出现了重叠。它们的区别是：X射线是原子内层电子受激辐射产生； γ 射线是原子核受激辐射产生。
- 2、X射线频率比 γ 射线普遍较低；X射线光子能量也较低。

3、穿透能力比 γ 射线要弱，对人的伤害比 γ 射线小。

中子射线 (n: 中子束) 伤害:

1、中子是原子核的组成物质;

2、中子对人的伤害大小取决于中子束的速度，以及人与中子源的距离；高速中子（或者说高能中子）的杀伤力非常大，穿透能力甚至超过 γ 射线；在其杀伤半径范围内，中子可以穿透坦克的钢甲和钢筋水泥建筑物的厚壁，杀伤其中的人员；中子穿过人体时，使人体内的分子和原子变质或变成带电的离子，引起人体里的碳、氢、氮原子发生核反应，间接产生 α 射线、 β 射线、 γ 射线，破坏细胞组织，使人发生痉挛，间歇性昏迷和肌肉失调，严重时会在几小时内死亡。

电离辐射危害有两大影响：

躯体效应：即仅对接触辐射的个人产生危害的辐射效应。

短时间内大剂量电离辐射引起的放射性损伤，称**急性放射病**；较长时间超过允许剂量的辐射损伤，称**慢性放射病**。此病常见于接受过量射线的工作人员、公众及核武器爆炸的罹难者，主要引发造血功能障碍、内脏出血、组织坏死、感染及恶性变等；比如，核辐射导致的全身外照射损伤主要出现在急性放射病典型病程的初期，表现为恶心、呕吐、疲劳、发热和腹泻。

内外照射形成放射病的症状有：疲劳、头昏、失眠、皮肤发红、溃疡、出血、脱发、白血病、呕吐、腹泻等。有时还会增加癌症、畸变、遗传性病变发生率，影响几代人的健康。一般讲，身体接受的辐射能量越多，其放射病症状越严重，致癌、致畸风险越大。

遗传效应：即可以遗传给未来后代的辐射效应。

电离辐射也能损伤遗传物质，人体受到辐射后，会引起机体细胞分子、原子电离，使组织的某些大分子结构被破坏；如使蛋白质及核糖核酸和脱氧核糖核酸分子链断裂；引起基因突变和染色体畸变，使一代人受害，甚至遗传给后代。

五、什么是探伤

探伤是指探测金属材料或部件内部的裂纹或缺陷；

无损探伤是在不损坏工件或原材料工作状态的前提下，对被检验部件的表面和内部质量进行检查的一种测试手段。

常用的无损探伤方法有：X光射线探伤、γ射线探伤、超声波探伤、磁粉探伤、渗透探伤、涡流探伤等方法。

一、磁粉探伤

磁粉探伤是用来检测铁磁性材料表面和近表面缺陷的一种检测方法。当工件磁化时，若工件表面有缺陷存在，由于缺陷处的磁阻增大而产生漏磁，形成局部磁场，磁粉便在此处显示缺陷的形状和位置，从而判断缺陷的存在。

磁粉探伤设备简单、操作容易、检验迅速、具有较高的探伤灵敏度，可用来发现铁磁材料镍、钴及其合金、碳素钢及某些合金钢的表面或近表面的缺陷；它适于薄壁件或焊缝表面裂纹的检验，也能显露出一定深度和大小的未焊透缺陷；但难于发现气孔、夹渣及隐藏在焊缝深处的缺陷。

二、超声波探伤

超声波探伤是利用超声能透入金属材料的深处，并由一截面进入另一截面时，在界面边缘发生反射的特点来检查零件缺陷的一种方法，当超声波束自零件表面由探头通至金属内部，遇到缺陷与零件底面时就分别发生反射波来，在萤光屏上形成脉冲波形，根据这些脉冲波形来判断缺陷位置和大小。

超声波探伤比X射线探伤具有较高的探伤灵敏度、周期短、成本低、灵活方便、效率高，对人体无害等优点；缺点是对工作表面要求平滑、要求富有经验的检验人员才能辨别缺陷种类、对缺陷没有直观性；超声波探伤适合于厚度较大的零件检验。

三、渗透探伤

着色探伤：着色（渗透）探伤的基本原理是利用毛细现象使渗透液渗入缺陷，经清洗使表面渗透液支除，而缺陷中的渗透残留，再利用涂吸附剂，使缺陷内的彩色油液渗至表面，根据彩色斑点和条纹发现和判断缺陷的方法。

四、涡流探伤

其原理是用激磁线圈使导电构件内产生涡电流，借助探测线圈测定涡电流的变化量，从而获得构件缺陷的有关信息。

它适用于导电材料，包括铁磁性和非铁磁性金属材料构件的缺陷检测。由于涡流探伤，在检测时不要求线圈与构件紧密接触，也不用在线圈与构件间充满藕合剂，容易实现检验自动化。但涡流探伤仅适用于导电材料，只能检测表面或近表面层的缺陷，不便使用于形状复杂的构件。在火力发电厂中主要应用于检测凝汽器管、汽轮机叶片、汽轮机转子中心孔和焊缝等。





超声波探伤机

六、什么是射线探伤

射线探伤是指利用射线穿透物体来发现物体内部缺陷的探伤方法。射线能使胶片感光或激发某些材料发出荧光；射线在穿透物体过程中按一定的规律衰减，利用衰减程度与射线感光或激发荧光的关系可检查物体内部的缺陷。

射线探伤分为X光射线探伤、 γ 射线探伤、高能射线探伤和中子射线探伤。

射线对人体是有害的。探伤作业时，应遵守有关安全操作规程，应采取必要的防护措施。

X光射线探伤：

x射线是由x射线管加高压电激发而成，可以通过所加电压（数万伏乃至数十万伏）和电流来调节x射线的强度。

γ 射线探伤：

γ 射线是由放射性元素激发，强度不能调节，只随时间成指数倍减小。

常用X光射线探伤机





现场常用 γ 射线机类型

硒-75探伤机



钴-60探伤机



铯-137探伤机



射线照射手部的照片

七、射线探伤安全措施

1、射线作业单位资质要求

射线作业单位必须依法取得有效的《辐射安全许可证》，射线作业人员取得《放射工作人员证》等；禁止无证或者不按照规定的种类和范围进行射线作业。

2、射线专项培训

探伤作业人员上岗前要进行必要的放射性知识培训并经考试合格（其他相关人员也要进行必要的放射性知识培训）。

3、射线作业许可证

任何单位在进行射线探伤作业前必须办理《射线作业许可证》，无《射线作业许可证》严禁进行探伤作业；探伤作业要严格按照《射线作业许可证》许可的射线种类、许可范围、许可时间和安全相关防护要求进行探伤作业等。

4、射线作业发布、公告及告知

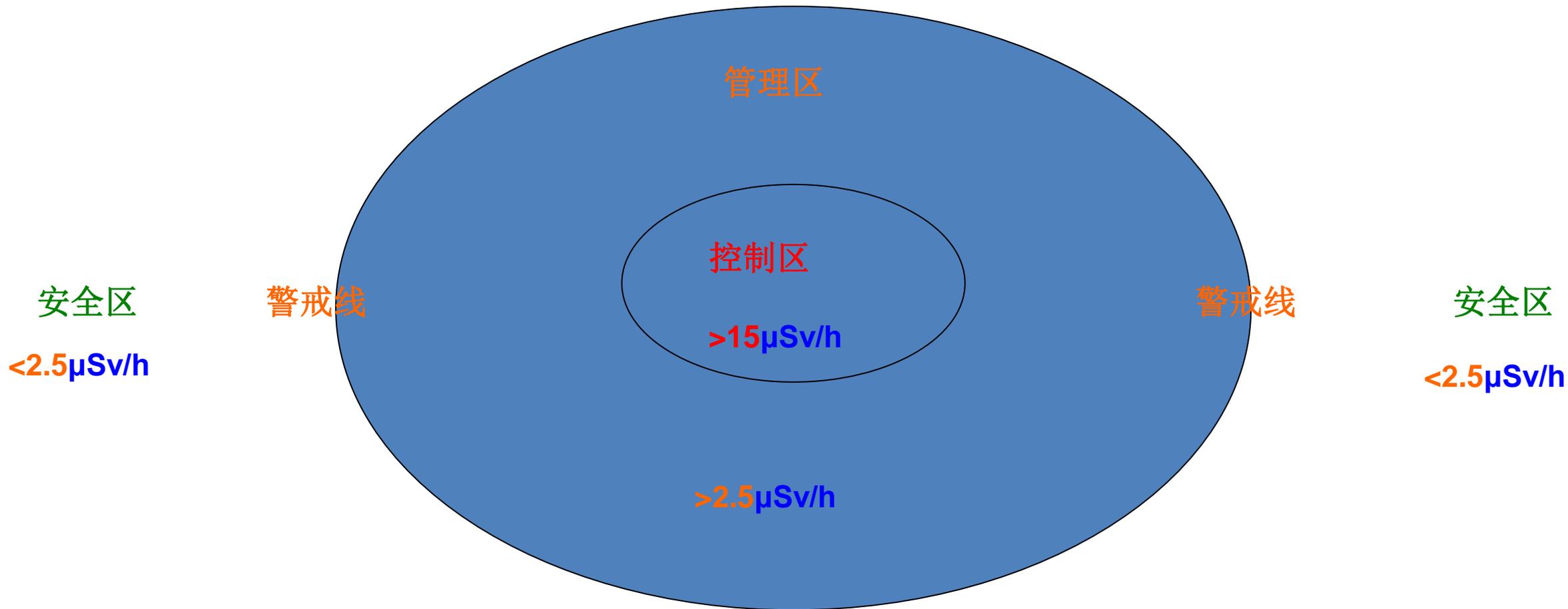
射线作业必须以书面方式告知受影响的相关单位，被告知单位必须签字确认；同时，到作业公告牌或分布图上标注自己的**作业区域、位置和时间**并通知到各装置的相关人员。

5、射线作业区域划分

控制区是指由辐射源至辐射剂量当量**15 μ Sv/h**（微西弗）的点为半径的圆球体以内区域，该区域为**绝对禁入区**。

管理区是指由辐射源至辐射剂量当量**2.5 μ Sv/h**（X射线为**1.5 μ Sv/h**）的点为半径的圆球体区域以内，但在控制区以外，该区域只能由射线作业人员作业时进入。

安全区是指管理区以外的区域，该区域为公众可进入的区域。



6、射线作业准备

- 1) 作业开始前，射线作业单位人员必须对警戒线以内的无关人员清场。
- 2) 每个射线作业必须配备一部合格有效的放射量测定仪。
- 3) 作业开始前根据放射源放射强度确定的安全防护半径，落实射线警示标志。具体包括：
 - a) 警示牌：使用反光材质制作，板面中文书写“探伤检测，小心辐射”警示语，每个作业点路口必须设置警示牌。
 - b) 警示带：按照宁能化QHSE部规定执行。
 - c) 警示灯：为红色频闪灯，每个路口和可能有人进行的地点。
 - d) 警示标志在所有射线作业结束后方可撤除。
- 4) 射线作业单位现场负责人对现场安全防护措施进行检查确认。
- 5) 项目公司值班人员对人员清场、警戒情况进行确认。

探伤作业安全警戒应采取的措施

探伤作业现场警示、警戒防护措施如下图所示，必须醒目，避免在光线昏暗地方出现误入误照，造成伤害。



7、射线作业监护和监测

- 1) 射线作业期间必须有监护人（与射线作业许可证上相符）始终在现场，并沿警示带不间断巡检，防止其他人误入。
- 2) 射线作业单位在进行射线作业时，必须使用放射量测定仪测定安全防护区域和控制管理区域边界处的放射量，确保放射量水平在合格范围之内。
- 3) 使用 γ 射线机作业结束后必须使用放射量测定仪对作业地点进行检测，在确认放射源已进入储源罐后（周围无辐射）方可撤除警示标志。

8、射线作业应急

- 1) 有事故应急措施的设备、工具，如：铅罐、铅衣、铅眼镜、铅橡皮手套、屏蔽块、不短于1.5米的长臂钳、钢丝等其他起码的应急工具。
- 2) 有现场安全负责人电话，项目经理电话，装置区负责人、值班长电话，HSE管理人员电话，出现情况及时处理。

辐射防护三大基本方法

1、保持距离

保持与射线源距离

辐射强度与距离平方成正比

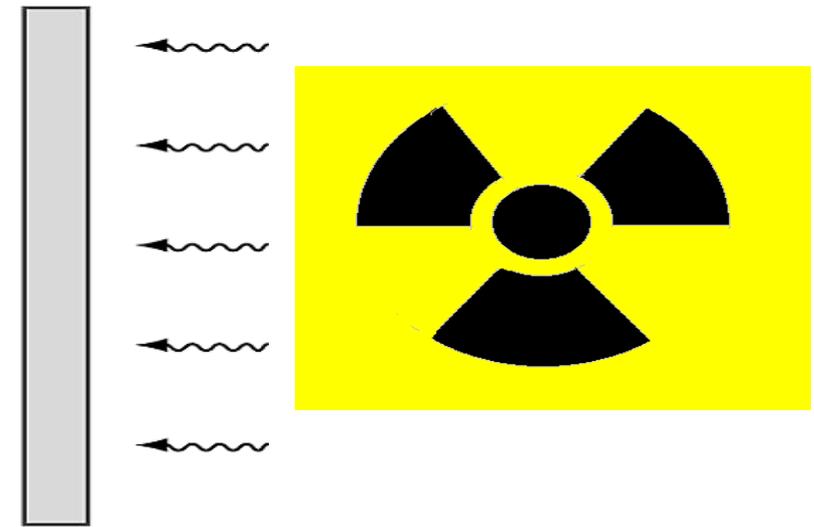


2、减少时间

受到的辐射量与时间成正比

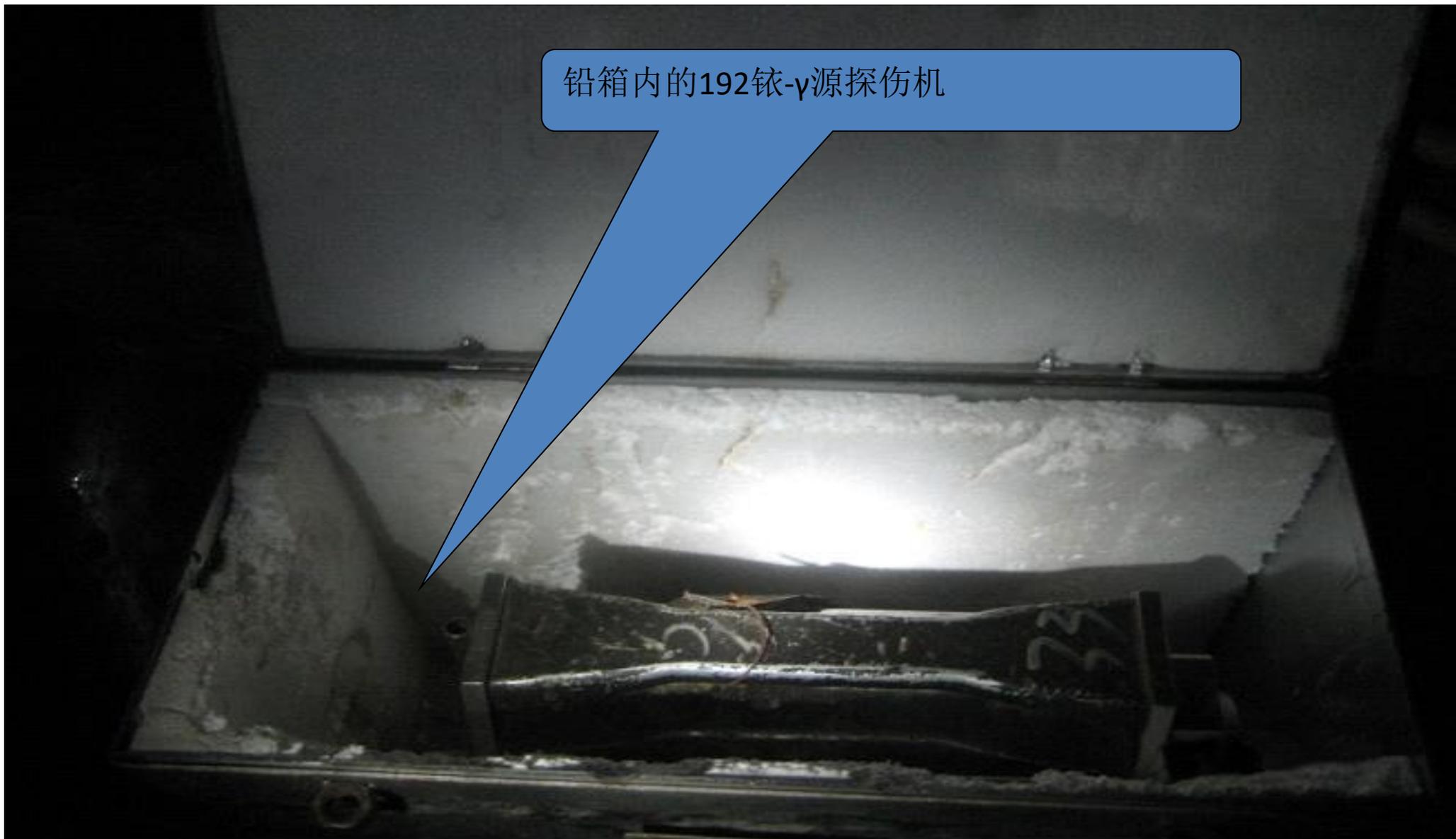
3、屏蔽防护

在人和射线之间增设屏蔽



放射源运输车辆标识





铅箱内的¹⁹²铱- γ 源探伤机

放射量测定仪



检测人员在检测
现场管理区警戒
线外测试射线剂
量



八、工业探伤放射事故案例

• 案例1

1998年11月14日，广东M市某检测公司1台铯-137探伤机被窃，后探伤机被不明用途人员解体，放射源在人口密集地区裸露长达146小时，6人受到照射，其中5人受照剂量超过50毫希沃特（职业人员剂量限值）。

事故原因：管理松懈，规章制度不落实。
库房保管员未履行职责，对入库探伤机没有履行验收、登记手续，放射源储源池及库房门均未上锁。



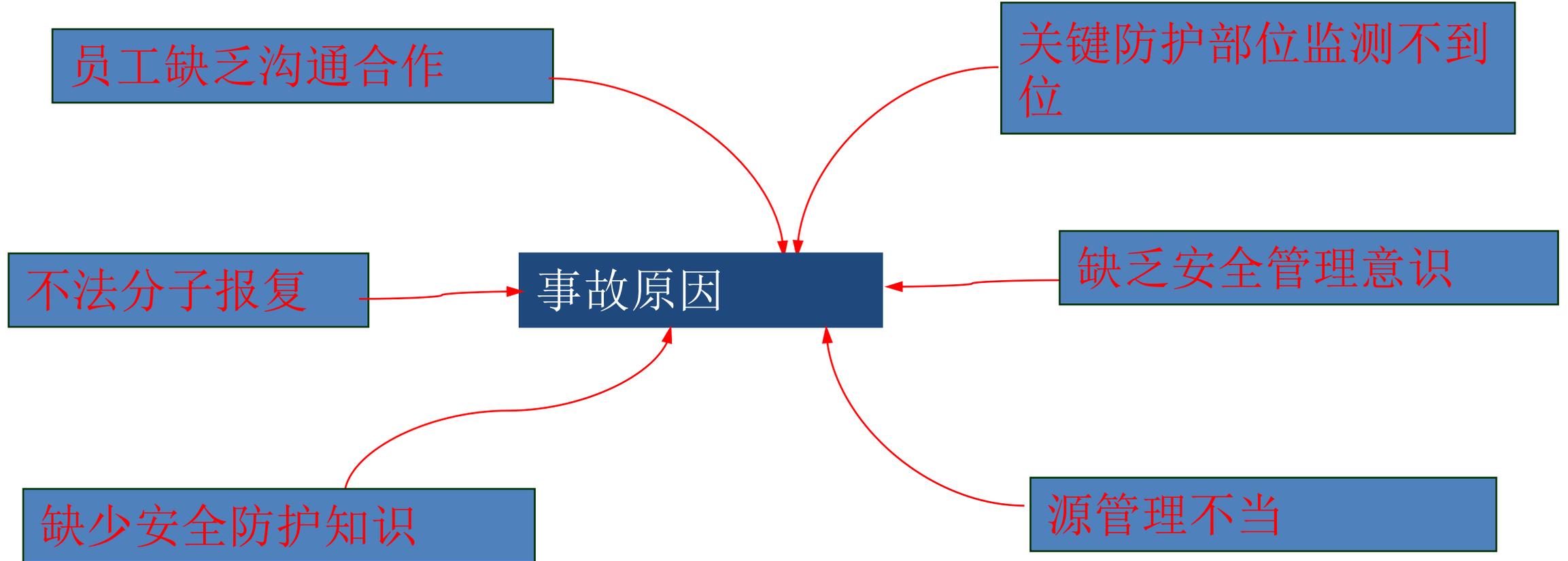
上面折弯放置的是放射源，照片中的放射源从孔洞中脱出，处于事故状态

• 案例2

- 1996 年1月4 日夜，吉林某公司探伤人员黄某等3人在探伤作业完后，按正常作业程序将铯-137 放射源（收回探伤机，用剂量报警仪测试确定放射源已收入探伤机屏蔽体，随手又关闭了剂量报警仪。但是收回后发现锁定安全装置的钥匙已经折断，放射源无法锁定。后把探伤机放回库房中未锁门，被偷。
- 事故原因：
 - 探伤工作人员违章操作，在探伤机放回到库房前关闭了剂量报警仪，以致放射源从探伤机屏蔽体脱出后不能报警。探伤机安全锁定装置存在故障，未能及时维修。

- 案例3
- 1991年甲化工厂大检修，因本公司探伤作业力量不足，聘请乙化工厂两名X射线探伤人员协助进行探伤作业，在交叉作业过程中，未及时通知乙单位人员撤离，造成乙单位两名人员大剂量照射约10分钟，后经检查，一人肝部患一血管瘤，在北京治疗四年后，病情得到控制。
- 事故原因：
 - 1.责任心不强，施工人员未通知其它人员撤离；
 - 2.交叉作业安全措施不全，监护不到位；
 - 3.各作业组沟通不畅。

1、探伤辐射事故原因归纳



2、探伤辐射事故后果归纳

- 严重的确定性效应

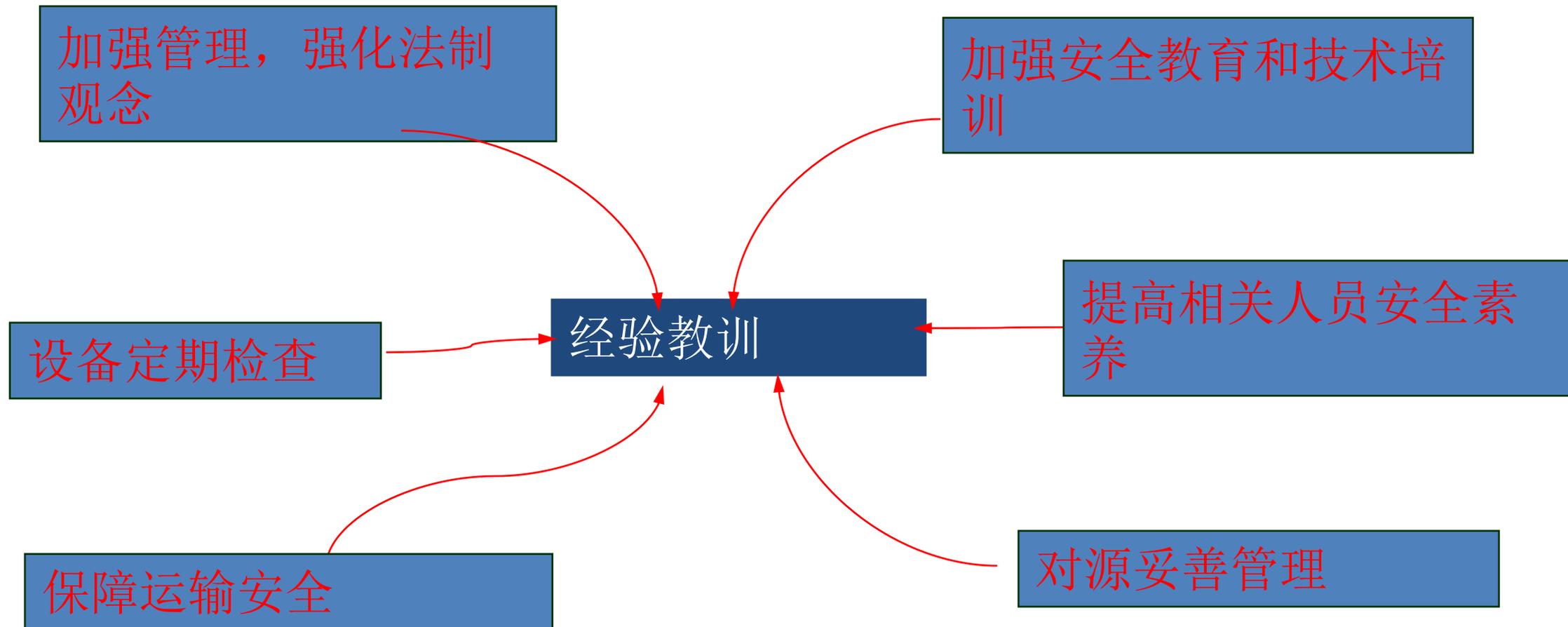
死亡，失去肢体，皮肤受损。

增加随机性危险

致死亡性癌症

环境污染

社会及经济后果



我是高能量射线
我能杀人于无形
但只要防护到位
也不会构成伤害

结束

(不足之处敬请指正)

2018年3月26日