

电离辐射安全与防护专业实务
工业 γ 射线无损探伤应知应会

生态环境部辐射源安全监管司

中国原子能研究院

编制人员：XXX、XXX/

目录

第一章 X 射线无损探伤.....	1
第一节 概述.....	1
第二节 结构组成和工作原理.....	1
2.1 X 射线机.....	1
2.2 X 射线无损探伤的工作原理.....	3
第三节 安全与防护.....	4
3.1 源项及风险分析.....	4
3.2 操作要求.....	4
3.3 管理要求（监管要求和内部管理）.....	5
第四节 案例分析与辐射应急.....	13
4.1 工业 X 射线无损探伤事故案例及经验教训.....	13
4.2 工业 X 射线无损探伤辐射事故处理.....	14
4.3 工业 X 射线无损探伤辐射事故的应急.....	15

第一章 X 射线无损探伤

第一节 概述

X 射线检测是无损检测（无损探伤）中的重要方法之一，它是利用 X 射线来检查工件内部缺陷的一种方法；广泛用于锅炉、压力容器和管道等的制造检验及其在役检验。由于 X 射线机移动方便，射线能量较低，易实施射线的防护，是目前最常用的射线检测手段之一。它与 γ 射线无损探伤最大的差别就在于 X 射线机在制造、安装、贮存、运输过程中均没有辐射及辐射损伤存在，只有在其运行时才会存在辐射防护问题。

X 射线机产生的 X 射线穿透锅炉、压力容器和管道等设备工件后其强度会发生衰减，通过测量射线强度发生衰减前后的差异来判断所检测的设备或工件中是否存在缺陷，以判定检测对象是否符合检测验收标准，确保检测对象的安全运行。

X 射线无损探伤适合于有电源供电、工作面相对宽阔、检测对象（例如：锅炉壁、容器壁和管壁等）较薄（ $<20\text{mm}$ ）的情况。

第二节 结构组成和工作原理

2.1 X 射线机

工业 X 射线无损探伤中使用的低能 X 射线机，一般由四部分组成：射线发生器（X 射线管）、高压电源、冷却系统、控制系统。

X 射线机按照结构通常分为三类：便携式 X 射线机、移动式 X 射线机、固定式 X 射线机；也可以按其他方式分类：例如，按照所加工作电压的形式可分为恒压 X 射线机和脉冲 X 射线机；按照加在 X 射线管上的电压脉冲频率可分为恒频 X 射线机和变频 X 射线机；按照所用的 X 射线管结构材料又可分为玻璃管 X 射线机和陶瓷管 X 射线机；按照 X 射线管的辐射角可分为定向 X 射线机和周向 X 射线机；按照 X 射线管焦点尺寸可分为微焦点、小焦点和常规焦点 X 射线机等；但目前多按照结构进行分类。

工业 X 射线无损探伤中使用的部分低能 X 射线机如图 2-1 所示。



图 2-1 工业 X 射线无损探伤中使用的部分低能 X 射线机

便携式 X 射线机采用组合式射线发生器，其 X 射线管、高压电源、冷却系统共同安装在一个机壳中，也简单地称为射线发生器，在射线发生器中充满绝缘介质。整机由两个单元构成，即控制系统和射线发生器，它们之间由低压电缆连接。现在多数填充的绝缘介质是 SF₆，以减轻射线发生器的重量。填充的 SF₆ 气体的气压应不低于 0.34MPa (3.5kg/cm²)，但也不能过高，以防机壳爆裂，通常不应超过 0.49MPa (5.0kg/cm²)。采用充气绝缘的便携式 X 射线机的体积小、重量轻，便于携带，利于现场进行射线照相检测。便携式 X 射线机的管电压一般不超过 320kV，管电流经常固定为 5mA，连续工作时间一般为 5min。

移动式 X 射线机具有多个分立的组成部分，它们共同安装在一个可移动的小车上，可以方便地移动到现场、车间，进行 X 射线探伤。冷却系统为良好的水循环冷却系统。X 射线管采用金属陶瓷 X 射线管，管电压不高于 160kV (或 150kV)，射线发生器通常就是 X 射线管，它与高压电源之间采用一长达 15m 左右的高压电缆连接，以便于现场的防护和操作。

固定式 X 射线机采用结构完善、功能强的分立射线发生器、高压电源、冷却系统和控制系统，射线发生器与高压电源之间采用高压电缆连接，高压电缆的长度一般为 2m。这类 X 射线机体积和重量都比较大，不便移动，因此固定安装在 X 射线机房内，如图 2-2。这类 X 射线机已形成 150kV 和 250kV (225kV)，320kV 和 450kV (420kV) 等系列，其管电流可用到 30mA 甚至更大的值，系统完善，工作效率高，它是实验室优先选用的 X 射线机。



图 2-2 固定式 X 射线机

2.2 X 射线无损探伤的工作原理

X 射线无损探伤的工作原理是：当 X 射线入射到被测试工件时，一部分 X 射线被吸收，一部分 X 射线被散射，还有一部分 X 射线透过被测试工件。如果 X 射线束是均匀，且被测试工件也是均匀无缺陷的，透过的那一部分 X 射线强度就应该是均匀的；如果被测试工件局部存在缺陷或结构存在差异，它将改变 X 射线透射的均匀状况，使其不均匀；采用适当的探测器（例如，X 射线探伤照相中采用胶片）检测透射 X 射线的强度，从胶片上可显示出被测试工件的局部缺陷或结构差异的部位、大小和性质。

X 射线照相无损探伤一般将被检物体置于 X 射线源 1m 左右的位置，使射线尽量垂直穿透被检部件（如图 2-3 所示）。将装有胶片和增感屏的暗袋紧贴于被测试工件背后放置，使 X 射线照射适当时间进行曝光，在胶片乳胶层产生潜像，将曝光后的胶片进行暗室处理，经显影、停显、定影、水洗和干燥，得到的底片置于观片灯上观察，依据底片的灰度和缺陷图像判断缺陷的种类、大小、数量和位置分布，并按标准要求对缺陷进行等级分类。

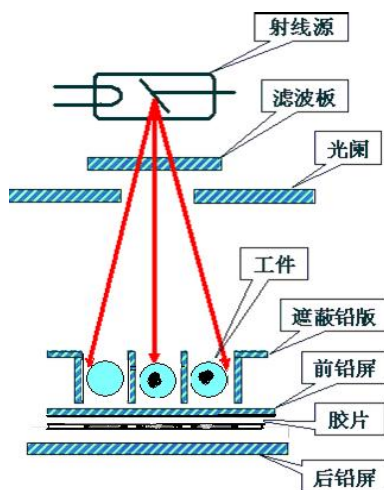


图 2-3 X 射线无损探伤工作原理示意图

第三节 安全与防护

3.1 源项及风险分析

X 射线机故障：可能发生的事为 X 射线机漏射线指标达不到《工业 X 射线探伤放射防护要求》（GBZ117-2015）规定的要求，或射线机故障以及控制系统失灵，出现异常曝光可致人员受到一定的照射剂量，造成工作人员不必要的照射；

未分区管理导致误照：作业现场未按照标准和分级管理要求划分控制区和监督区，未设置警戒线或曝光前未清查现场，使人员误入或滞留于辐射区域，可导致较大剂量的照射，可能造成辐射损伤。探伤作业人员未按规定撤离到安全区域即开始曝光，受到较大剂量的辐射照射。

X 射线机被盗：不了解 X 射线机工作原理、性能的人员开机造成周围人员的不必要照射。

3.2 操作要求

3.2.1 X 射线固定无损探伤安全操作要求

(1) 无损探伤人员进入无损探伤室时除佩戴常规个人剂量计外,还应配备可直接显示剂量率值和超阈声/光报警的个人剂量报警仪。当辐射水平达到设定的报警水平(阈值)时,无损探伤人员应立即离开无损探伤室,同时阻止其他人进入无损探伤室,并立即向辐射防护负责人报告。

(2) 每天工作时,每次无损探伤作业前作业人员应检查射线机,检查安全装置、联锁装置的性能及报警信号、标志的状态。

(3) 交接班或当班使用剂量仪前,应检查剂量仪是否正常工作。如在检查过程中发现剂量仪不能正常工作,则不应开始无损探伤工作。

(4) 在控制 X 射线机的曝光条件时,必须严格遵守设备操作规程。无损探伤人员应正确使用配备的辐射防护装置,如准直器和附加屏蔽,将潜在的辐射降到最低。

(5) 在每一次照射前,操作人员都应该确认无损探伤室内部没有人员滞留并关闭防护

门。只有在防护门关闭、所有防护与安全装置系统都启动并正常运行的情况下,才能开始无损探伤工作。

3.2.2 X 射线移动探伤安全操作要求

(1) 无损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。

(2) 每天工作时,每次无损探伤作业前作业人员应检查射线机,检查安全装置、联锁装置的性能及报警信号、标志的状态。

(3) 开始无损探伤作业前,作业人员应划定作业场所警戒区域,并在相应的边界设置警示标识:

① 划定控制区,并在其边界上设置清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告牌,拉警戒绳,无损探伤作业人员应在控制区边界外操作,控制区的范围应清晰可见,工作期间要有良好的照明,确保没有人员进入控制区。如果控制区太大或某些地方不能看到,应安排足够的人员进行巡查。

② 划定监督区,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,在监督区边界附近不应有经常停留的公众成员。应在监督区边界和建筑物的进出口的醒目位置张贴电离辐射警示标识和警告标语等提示信息。

(4) 现场用于无损探伤的每台 X 射线机应至少配备一台便携式剂量(率)仪。开始无损探伤工作之前,应对剂量仪进行检查,确认剂量仪能正常工作。在现场无损探伤工作期间,便携式剂量(率)仪应一直处于开机状态,用以监督防止 X 射线曝光异常或不能正常终止。

(5) 无损探伤作业时,至少有 2 名操作人员同时在场,操作人员应佩戴个人剂量计、直读剂量计和个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式剂量(率)仪,两者均应使用。

(6) 应有提示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示装置。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别,并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。警示信号指示装置应与射线机联锁。在控制区的所有边界都应能清楚地听见或看见“预备”信号和“照射”信号。

(7) 开始现场无损探伤之前,无损探伤人员应确保在控制区内没有任何其他人员,并防止有人进入控制区。

(8) 在试运行(或第一次曝光)期间,应测量控制区边界的剂量率以证实边界设置正确。必要时调整控制区的范围和边界。

(9) 周向式 X 射线机用于现场无损探伤时,应将 X 射线管头组装体置于被检测物件内部进行透照检查。做定向照射时可使用准直器(仅开定向照射口)。

3.3 管理要求(监管要求和内部管理)

3.3.1 对 X 射线无损探伤单位的要求

(1) 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。

(2) 应建立辐射安全和防护机构,并至少设置 1 名辐射安全和防护负责人和 1 名辐射防护人员。

(3) 应制定辐射安全和防护管理制度,包括岗位职责、人员培训、无损探伤装置台账管理、无损探伤装置检查维护、辐射监测和辐射安全检查等内容。

(4) 应制定 X 射线无损探伤作业相关的操作规程,包括固定探伤室作业、移动探伤作

业、无损探伤装置和辐射监测仪使用等操作规程。

(5) 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。

(6) 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。

(7) 制定无损探伤装置的领取、归还和登记制度，无损探伤装置台账和实物定期清点检查制度。

3.3.2 辐射安全和防护管理机构的要求

(1) 辐射安全和防护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。

3.3.3 辐射工作人员岗位职责的要求

(1) 辐射安全和防护负责人

① 辐射安全和防护负责人应由无损探伤单位内负责辐射安全和防护的领导担任。

② 负责辐射安全和防护机构及人员的监督和管理工作的。

③ 负责辐射安全和防护管理制度的贯彻实施。

④ 组织本单位相关部门及人员开展辐射应急行动。

⑤ 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

① 定期组织对无损探伤室、无损探伤装置的安全状况进行检查并记录。

② 组织开展相关辐射监测，并负责监测数据的记录及管理。

③ 负责个人剂量计及辐射监测仪的维护、检定及比对。

④ 负责辐射防护用品与应急物资的管理及发放。

⑤ 参与本单位的辐射应急行动，控制应急人员的受照剂量。

⑥ 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) X 射线无损探伤操作人员

① 遵守辐射安全和防护管理制度，执行 X 射线无损探伤作业相关的操作规程。

② 正确佩戴个人剂量计和个人剂量报警仪，熟练使用便携式剂量（率）仪。

③ 负责作业前后对无损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。

④ 在无损探伤作业时采取合理的防护措施减少人员受照剂量。

⑤ 发现辐射安全隐患及时向辐射安全和防护负责人报告。

3.3.4 人员资质及培训的要求

(1) 从事工业 X 射线无损探伤活动的辐射工作人员、安全员和辐射安全管理人员应参加初级以上辐射安全网络培训，经考试合格后持证上岗。

(2) 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、射线无损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。

3.3.5 职业健康与个人剂量管理要求

(1) 职业健康管理

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，方可参加无损探伤工作。

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 射线无损探伤单位应建立辐射工作人员的职业健康档案。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁，或者停止辐射工作三十年。允许辐射工作人员查阅、复印本人的个人剂量监测档案。

⑤ 无损探伤单位在运行过程中有时会发生一些特殊情况，少数工作人员可能受到超过年剂量限值的照射。对这种照射必须事先经过周密的计划，由本单位领导及辐射防护负责人批准，并受剂量限值的约束。对接受这种事先计划的特殊照射的人，应及时组织健康检查，按照国家有关标准进行医学随访观察并将受照剂量和观察结果详细记入个人剂量和健康档案。

(2) 个人剂量管理

① 辐射工作人员应进行个人外照射剂量监测。

② 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。

③ 个人剂量计应定期送交有资质的检测部门进行测量，外照射个人剂量监测周期一般为 30 天，最长不超过 90 天，并建立个人剂量档案。工作人员个人剂量应受剂量限值的约束。

④ 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。

⑤ 个人剂量监测报告数据应及时告知本人。

⑥ 个人剂量计使用注意事项：

a. 个人剂量计应专人专用。

b. 个人剂量计应正确佩戴。

c. 个人剂量计应注意保护，避免受到高温、水泡、挤压等。

d. 从事辐射工作时应一直佩戴个人剂量计。

⑦ 个人剂量管理限制

a. 职业照射剂量限值

应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv；任何一年的有效剂量 50mSv；眼晶体的年当量剂量 150mSv；四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 500mSv；

b. 对于年龄为 16-18 岁接受涉及辐射照射就业培训的学徒工和年龄为 16-18 岁在学习过程中需要使用放射源的学生，应控制其职业照射使之不超过下述限值：

年有效剂量 6mSv；眼晶体的年当量剂量 50mSv；四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量 150mSv。

c. 特殊情况

如果某一实践是正当的，是根据良好的工程实践设计和实施的，其辐射防护已按相关标准的要求进行了优化，而其职业照射仍然超过正常照射的剂量限值，但预计经过合理的努力可以使有关职业照射剂量处于正常照射剂量限值以下，则在这种情况下，审管部门对剂量限值进行如下临时变更：

依照审管部门的规定，可将职业照射的剂量水平期由 5 个连续年破例延长到 10 个连续年；在此期间，任何工作人员所接受的年平均有效剂量不应该超过 20mSv，任何单一年份不应该超过 50mSv；此外，当任何一个工作人员自此延长平均期开始以来所接受的剂量累计达到 100mSv 时，应对这种情况进行审查。

剂量限值的临时变更应遵守审管部门的规定，但任何一年内不得超过 50mSv，临时变更的期限不得超过 5 年。

剂量限值要求的临时改变应由注册者或许可证持有者向审管部门提出正式申请，经审查

认可后，方可进行；未经审管部门认可的，不得进行这种临时改变。

d. 公众照射剂量限值

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

年有效剂量，1mSv；特殊情况下，如果5个连续年平均剂量不超过1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到5mSv；眼晶体的年当量剂量，15mSv；皮肤的年当量剂量，50mSv。

3.3.6 辐射监测

X射线无损探伤装置使用单位应制定本单位的个人剂量、工作场所和周边环境的辐射监测方案。

监测方案内容包括：辐射工作人员个人剂量监测、工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测；监测方案中应包括实施部门、监测项目、点位及频次、监测机构等。

X射线无损探伤装置使用单位应建立辐射监测记录或报告档案，并妥善保存，接受监管部门的监督检查。监测记录或报告应记载监测数据、测量条件、测量方法和仪器、测量时间和测量人员等信息。对于监测数据异常的情况，应该进行调查分析，发现安全隐患的，应进行整改并报告监管部门。

(1) 辐射监测仪的要求

X射线无损探伤作业时配备便携式辐射剂量（率）仪。

工作人员应佩戴个人剂量计、直读剂量计和个人剂量报警仪。个人剂量报警仪不能替代便携式辐射剂量（率）仪，两者均应使用。个人剂量报警仪：工作人员进行操作时每人均需佩戴个人剂量计：专人专用、每人一个。

便携式辐射剂量（率）仪的主要性能应满足以下要求：

- ① □ 量程范围：最低示值不高于0.1 μ Gy/h (μ Sv/h)，最高示值不低于100mGy/h(mSv/h)；
- ② 能量响应：相对误差 $\leq \pm 30\%$ （在能量范围为50keV \sim 1.3MeV，相对于 ^{137}Cs 的0.662MeV）；
- ③ 具有声、光报警及电池电量检查功能。

仪器检定：便携式辐射剂量（率）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辐射剂量（率）仪上。

仪器的使用：便携式辐射剂量（率）仪须在检定有效期内使用。使用前，应对辐射检测仪器进行检查，包括是否有物理损坏、调零、电池、仪器对射线的响应等。

(2) 辐射监测的项目

辐射监测应包括外照射个人剂量监测、作业场所监测、周围环境监测及应急监测等内容。

① 个人剂量监测

个人剂量监测的目的是为了控制和判定电离辐射对人体的照射剂量，从而估计照射对人体的影响，以便采取更完善的辐射防护措施，防患于未然，确保放射性工作人员健康和安全。

监测仪器：个人剂量计、个人剂量报警仪。

监测对象：辐射工作人员。

监测佩戴要求：进行辐射工作时，工作人员须佩带个人剂量计和个人剂量报警仪。

测量频率：个人剂量计应定期送交有资质的检测部门进行测量，外照射个人剂量监测周期一般最长不超过90天。

需进行结果评价。

② 作业场所监测

a. 固定X射线无损探伤室的监测

i) 固定X射线无损探伤室周围辐射水平的监测

周围辐射水平巡测：X射线无损探伤室的放射防护检测，特别是验收检测时应首先进行周围辐射水平的巡测，以发现可能出现的高辐射水平区。巡测时应注意：巡测范围应根据无

无损探伤室设计特点、照射方向及建造中可能出现的问题决定并关注天空反散射对周围的辐射影响；无固定照射方向的无损探伤室在有用线束照射四面屏蔽墙时，应巡测墙上不同位置及门上、门四周的辐射水平；设有窗户的无损探伤室，应特别注意巡测窗外不同距离处的辐射水平；测试时，射线机应工作在额定工作条件下、没有被检工件、无损探伤装置置于与测试点可能的最近位置，如使用周向式无损探伤装置应使装置处于周向照射状态。

ii) 定点检测

一般应检测以下各点:通过巡测，发现的辐射水平异常高的位置；无损探伤室门外 30cm 离地面高度为 1m 处，门的左、中、右侧 3 个点和门缝四周；无损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；人员可能到达的无损探伤室屋顶或无损探伤室上层外 30cm 处，至少包括主射束到达范围的 5 个检测点；人员经常活动的位置；每次无损探伤结束后，应检测无损探伤室的入口，以确保 X 射线机已经停止工作。

iii) 检测周期

X 射线无损探伤室建成后应由有资质的技术服务机构进行验收检测；投入使用后每年至少进行 1 次常规检测。

iv) 结果评价

X 射线无损探伤装置在额定工作条件下，探伤室周围辐射水平应符合屏蔽的要求。

b. 移动 X 射线无损探伤监测

分区监测

i) 监测方法: X 射线无损探伤作业前，通过巡测划出控制区和监督区，并在相应的边界设置警示标志；X 射线无损探伤控制区边界处空气比释动能率应等于 $15\mu\text{Gy/h}$ ，控制区边界外空气比释动能率在 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 以上的范围划为监督区；无损探伤作业现场的控制边界设置警戒线和辐射警示标志，实行专人看守；当 X 射线无损探伤装置、场所、被检物体（材料、形状、规格）、照射方向、屏蔽等条件发生变化时，应重新进行巡测，确定新的划区界限。

ii) 监测频率:每次进行 X 射线无损探伤作业时进行监测。

iii) 结果评价:通过监测数据，确定划分的区域是否合理，是否符合相关标准的要求。

作业结束后的监测

i) 监测方法:无损探伤作业结束后，关闭 X 射线机电源，使用便携式辐射剂量（率）仪对 X 射线机出束面进行辐射监测。

ii) 监测频率:每次作业结束后进行监测。

iii) 结果评价:通过监测确定 X 射线机是否正常关闭，有无 X 射线继续发出。

3.3.7 X 射线无损探伤装置的管理

(1) 装置技术要求

① X 射线管头组装体：

a. 移动式或固定式的 X 射线装置管头组装体应能固定在任何需要的位置上并加以锁紧；

b. X 射线管头应设有限束装置；

c. X 射线管头窗口孔径不得大于额定最大有用线束射出所需尺寸。

d. X 射线管头应具有如下标志：制造厂名称或商标；型号及出厂编号；X 射线管的额定管电压、额定管电流；焦点的位置；出厂日期；电离辐射标志。

e. X 射线装置在额定工作条件下，漏射线参考空气比释动能率应符合表 3-1 的要求。

表 3-1 X 射线管头组装体漏射线参考空气比释动能率

管电压/kV	漏射线参考空气比释动能率/ $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$
--------	--

<150	<1000
150~200	<2500
>200	<5000

② 控制台：

- a. 应设置有 X 射线管电压及高压接通或断开状态的显示，以及管电压、管电流和照射时间选取及设定值显示装置。
- b. 应设置有高压接通时的外部报警或指示装置。
- c. 控制台或 X 射线管头组装体上应设置与无损探伤室防护门联锁的接口，当有人推门进入无损探伤室时，X 射线管电压及高压能立即切断。
- d. 探伤室门未全部关闭时不能接通 X 射线管电压；已接通的 X 射线管电压在任何一个探伤室门开启时能立即切断。
- e. 应设有钥匙开关，只有在打开控制台钥匙开关后，X 射线管才能出束；钥匙只有在停机或待机状态时才能拔出。
- f. 应设置紧急停机开关。
- g. 应设置辐射警告、出束指示和禁止非授权使用的警告等标识。

③ 连接电缆

对于移动式 X 射线装置，控制器与 X 射线管头或高压发生器的连接电缆不应短于 20m。

④ 产品说明书

产品说明书应至少包含以下内容：

- a. X 射线装置的型号、规格和主要技术指标；
- b. 距 X 射线管头表面 5cm 处和距离焦点 1m 处的最大泄漏辐射剂量率；
- c. 在典型工作条件(管电压、管电流、常用被检工件等)下，X 射线装置周围等剂量曲线示意图。

(2) X 射线装置的检查和维护

无损探伤单位应制定 X 射线装置的领取、归还和登记制度，X 射线装置台账和定期清点检查制度。

① 无损探伤单位的日常检查

每次工作开始前应进行检查的项目包括：

- a. 射线机外观是否存在可见的损坏；
- b. 电缆是否有断裂、扭曲以及配件破损；
- c. 液体制冷设备是否有渗漏；
- d. 安全联锁是否正常工作；
- e. 报警设备和警示灯是否正常运行；
- f. 螺栓等连接件是否连接良好。

② 运营单位的定期检查

定期检查的项目应包括：

- a. 电气安全，包括接地和电缆绝缘检查；
- b. 制冷系统过滤器的清洁或更换；
- c. 所有的联锁和紧急停机开关的检查；
- d. 机房内安装的固定辐射检测仪的检查；
- e. 制造商推荐的其他常规检测项目。

③ X 射线装置维护

- a. 射线装置的维护应由受过专业培训的工作人员或设备制造商进行；
- b. 设备维护包括射线机的彻底检查和所有零部件的详细检测；

- c. 当设备有故障或损坏,需更换零部件时,应保证所更换的零部件都来自设备制造商;
- d. 应做好设备维护记录;
- e. 每次工作前,射线无损探伤作业人员应检查安全联锁装置的性能及警示信号的状态,确认无损探伤室内无人且门已关闭、所有安全装置起作用后才能启动照射;
- f. 辐射防护人员应定期检查无损探伤室安全门-机联锁装置,以及出束信号指示灯等安全措施,当无损探伤室有多台射线装置时,每台装置在使用时均应联锁;
- g. 辐射安全和防护负责人应至少每半年组织一次对联锁安全装置和紧急停止按钮的安全检查;
- h. 发现问题应及时组织检修和维护,并做好发现问题及检修维护结果的记录。

3.3.8 X 射线无损探伤场所的安全管理

(1) X 射线固定无损探伤室

a. 无损探伤室的设置必须充分考虑周围的辐射安全,无损探伤室必须与操作室分开并避开有用射线束照射的方向。无损探伤室一般不设观察窗口,如需设置时,应避开有用线束的照射方向,并应具有与同侧墙相同的屏蔽防护性能。

b. 无损探伤室的位置应设在厂区或车间中公众活动较少的区域,操作室、工作人员进出门、评片室、暗室等相关用房和工件门应尽可能设在非主防护墙一侧,如因条件限制而必须设在主防护墙一侧,应避开曝光频率较高的位置。

c. 无损探伤室应有顶盖,主、副防护墙防护厚度应符合防护标准要求。

d. X 射线无损探伤室墙和入口门的辐射屏蔽应同时满足:

人员在关注点的周剂量参考水平,对职业工作人员不大于 $100\mu\text{Sv}/\text{周}$,对公众不大于 $5\mu\text{Sv}/\text{周}$;关注点最高周围剂量当量率参考水平不大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

e. X 射线无损探伤室顶的辐射屏蔽应满足:

无损探伤室上方已建、拟建建筑物或无损探伤室旁邻近建筑物在自辐射源点到无损探伤室顶内表面边缘所张立体角区域内时,无损探伤室顶的辐射屏蔽要求与d.款相同;对不需要人员到达的无损探伤室顶,无损探伤室顶外表面 30cm 处的剂量率参考水平通常可取为 $100\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

f. 无损探伤室、暗室应设机械通风,无损探伤室机械通风装置应设在进料防护门对侧,引风口高度应设在探件中心水平位置。每小时有效通风换气次数应不小于3次。

g. 无损探伤室工作人员出入口门外和被无损探伤物件出入口门外醒目位置应张贴电离辐射警告标志和安装工作状态指示灯。无损探伤作业开始前,应有声光警示,无损探伤过程中指示灯应醒目显示禁止入内的标识。

h. 无损探伤室防护门一般采用电动式,防护门上应有电离辐射警告标识和中文警示说明,设在房间的一端并设有迷道。无迷道无损探伤室门的防护性能应与同侧墙的防护性能相同。

i. 应安装门-机联锁安全装置,并保证在门(包括人员门和货物门)关闭后 X 射线装置才能进行无损探伤作业。门打开时应立即停止 X 射线照射,关上门不能自动开始 X 射线照射。门-机联锁装置的设置应方便无损探伤室内部的人员在紧急情况下离开无损探伤室。联锁安全装置应具有以下功能:安全门开启时射线装置不能启动照射,在照射过程中安全门一旦开启射线装置自动停止,重新启动被中止的照射只能通过控制台进行。

j. 应在控制台、迷道和无损探伤室内及出入口处安装紧急停止按钮,无损探伤室出口处设有紧急开门按钮,并配有清晰的标识和说明。

k. 对正在使用中的无损探伤室应检查无损探伤室防护门-机联锁装置,以及出束信号指示灯等安全措施,当同时使用多台射线装置时,每台装置均应与防护门联锁。

l. 无损探伤室门口和内部应同时设有显示“预备”和“照射”状态的指示灯和声音提示

装置。“预备”信号应持续足够长的时间,以确保无损探伤室内人员安全离开。“预备”信号和“照射”信号应有明显的区别,并且应与该工作场所内使用的其他报警信号有明显区别。照射状态指示装置应与 X 射线无损探伤装置联锁。无损探伤室内、外醒目位置处应有清晰的对“预备”和“照射”信号意义的说明。

m. X 射线固定无损探伤室启用前必须进行验收检测,合格后方可使用。无损探伤室电离所产生的臭氧必须排到无人工作和生活的地方。

n. 应定期测量无损探伤室外周围区域的辐射水平或环境的周围剂量当量率,包括操作者工作位置和周围毗邻区域人员居留处。测量值应当与参考控制水平相比较。当测量值高于参考控制水平时,应终止无损探伤工作并向辐射防护负责人报告;应委托使用单位所在地的有资质单位每年进行一次无损探伤室及无损探伤室临近区域的辐射水平测量,并根据测量结果提出评价或改进意见。

o. 同一无损探伤室内每次只能启动 1 台射线无损探伤装置进行无损探伤作业。

(2) X 射线移动无损探伤场所

X 射线移动无损探伤作业的特点是作业点流动性大,操作距离与防护条件不固定(或部分固定),且不易采用固定(或活动)式的防护屏蔽体,同时作业场所设施较复杂,给工作人员与公众的防护带来一定的困难。

a. 应考虑控制器与 X 射线管和被检物体的距离、照射方向、时间和屏蔽条件等因素,选择最佳的设备布置,以保证进行无损探伤作业时,人员的受照剂量低于其剂量限值,并达到可合理做到尽可能低的水平。操作人员应尽可能利用各种屏蔽方式保护自己。

b. 无损探伤作业时,应对工作场所实行分区管理,并在相应的边界设置警示标识。具体如下:

将作业时被检物体周围的空气比释动能率在 $15\mu\text{Gy/h}$ 以上的范围内划为控制区,在其边界上必须悬挂清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告牌,无损探伤工作人员应在控制区边界外进行操作,否则应采取专门的防护措施、穿戴个人防护用品;

在控制区边界外将作业时空气比释动能率在 $2.5\mu\text{Gy/h}$ 以上的范围划定为监督区,并在其边界上悬挂清晰可见的“无关人员禁止入内”警告牌,必要时设专人警戒。在监督区边界附近不应有经常停留的公众成员;

c. 现场无损探伤作业过程中,控制区内不应同时进行其他工作。为了使控制区的范围尽量小,X 射线机应用准直器,视情况采用局部屏蔽措施(如铅板)。

d. 控制区的边界尽可能设定实体屏障,包括利用现有结构(如墙体)、临时屏障或临时拉起警戒线(绳)等。

e. 现场无损探伤工作在多楼层的工厂或工地实施时,应防止现场无损探伤工作区上层或下层的人员通过楼梯进入控制区。

f. 射线机控制台有钥匙控制,钥匙由专人管理。控制台应设置在合适位置或设有延时开机装置,并设有紧急停机按钮,以便尽可能降低操作人员的受照剂量。

g. 如果经常性无损探伤作业一旦改变工作条件,如射线机类型、工作时使用的管电压和管电流、照射方向和时间、被检物体类别与规格以及场地屏蔽条件等因素,则场所的空气比释动能率随之改变,控制区与监督区的范围也将相应改变。因此,现场无损探伤的工作条件和现场变动时,必须进行场所监测,并验证确定控制区和监督区范围。

3.3.9 辐射应急预案及演练

X 射线装置使用单位应制定本单位的辐射事故应急预案,成立应急响应组织,针对可能发生的辐射事故(件)制定应急响应工作程序。应准备充足的辐射事故应急物质,定期开展辐射事故应急培训和应急演练。

第四节 案例分析与辐射应急

4.1 工业 X 射线无损探伤事故案例及经验教训

4.1.1 工业 X 射线无损探伤放射事故概况

据环保主管部门统计资料显示, 1988-1998 年间全国放射性同位素工业无损探伤和工业 X 射线无损探伤行业中共发生 26 起事故, 占总放射性事故的 7.8%, 其中, 放射性同位素工业无损检测无损探伤 12 起, 射线装置工业无损探伤事故 14 起。

事故中的绝大部分归因为人为因素的责任事故, 占工业无损探伤事故的 73%; 技术性事故仅占 27%。放射性事件占 11.5%, 一般事故(IV 级)占 38.5%, 较重事故(III 级)占 38.5%, 重大事故(II 级)占 11.5%。分析这些事故的发生原因大抵可以归纳为: 维修人员缺乏安全防护知识, 无损探伤时导致人员受照; 对放射源的管理不当, 致使放射源被盗; 单位领导缺乏安全管理意识, 企业内安全文化不健全导致人员被照; 关键防护部位监测不到位, 工作时员工缺乏沟通合作, 致使误照射; 还有的被不法分利用无损探伤放射源恶意报复, 造成恶劣的社会影响等。

4.1.2. 事故案例

X 射线无损探伤误照事件

某锅炉厂无损探伤室在进行工件 X 射线无损探伤时, 由于失误造成一名无损探伤工人受到误照。

(1) 事件起因及过程

2004 年 6 月 15 日上午约 11 时两名无损探伤工在进行锅炉筒体焊缝摄片时, 一名无损探伤工进入锅炉筒体内架设周向 X 射线无损探伤机, 另一名无损探伤工在锅炉筒体外部贴片。架设周向 X 射线无损探伤机的无损探伤工在完成架设后, 从锅炉筒体内出来, 由于场内设备遮挡了视线, 未看到另一名在锅炉筒体下面贴片子的无损探伤工, 以为照射场内已无人, 进入控制室启动 X 射线机。曝光条件为 $U=200KVP$, $I=5mA$, $T=3min$ 。贴片子的无损探伤工贴完片退出透照室时, 被启动 X 射线机的无损探伤工发现立即停机, 控制器计时显示 1.9min (已曝光时间 1.1min)。

(2) 事件原因

现场勘察发现, 该厂无损探伤室持有放射工作许可证, 两名无损探伤工持有放射工作人员培训合格证, 该厂建立了放射防护管理组织, 制订了相应的放射防护管理制度、操作规程和应急处理措施。无损探伤室入口设置了电离辐射警示标志和警示灯, 被误照的无损探伤工在从事放射工作时, 未佩带个人剂量计, 无损探伤机控制台无高压接通后的报警和指示装置, 无损探伤工未佩带有效的射线检测仪或报警仪。

为了确定该起事件是否构成放射事故, 该市疾病预防控制中心对该误照事件进行了剂量模拟检测, 其出具的《某厂“误照事件”放射工作评价报告》认为: 最大的可能剂量值为 2.68mGy, 不可能导致辐射损伤确定效应的发生; 导致辐射损伤随机性效应的发生概率增加, 但在《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB1887-2002) 中职业照射的允许剂量限值范围内。市职业病防治所对误照无损探伤工的体检结果亦未发现明显异常。

通过调查取证可认为, 此次“X 射线误照事件”主要是由于放射工作人员疏忽大意, 未严格按照操作规程操作所致。其次是由于该无损探伤机控制台无高压接通后的报警和指示装置, 无损探伤工未佩带有效的射线检测仪或报警仪, 使被误照无损探伤工发生误照时全然不知。依据市疾病预防控制中心的剂量模拟检测报告所示, 受照无损探伤工最大受照剂量未达

到国家《放射事故管理规定》的放射事故零级事故的标准，因此不定为放射事故。

(3) 经验教训

① 强化自主性管理

放射工作单位的放射防护管理属于自主性管理。加强其放射防护工作的自觉性和主动性，增加放射防护知识培训，明确岗位职责，将会减少人为因素造成的责任放射事件。放射工作人员从事放射工作时要按规定佩戴个人剂量计，坚持使用有效的射线检测仪或报警仪，定期做好个人剂量检测并建立个人剂量档案。

② 严格执行放射防护法规

相关的法律、法规已相继出台，且正在逐步完善。对于那些由于人为因素造成的责任放射事件者、个人和单位，应给予警告和行政处罚，严格执法。

③ 增强安全文化知识

提高责任者综合素质，包括：文化素质、专业素质、技术素质、心理素质、法律意识等。归纳起来是安全文化问题。只有这样才能有效地防止此类事件的再次发生，防患于未然。

4.2 工业 X 射线无损探伤辐射事故处理

在《电离辐射防护与放射源基本安全标准》(GB18871-2002)中，将事故定义为“从防护或安全的观点看，其后果或潜在后果不容忽视的任何意外事件，包括操作失误、设备失效或损坏”。辐射事故是指能够直接或间接对生命、健康或财产产生危害或损失的辐射源失控的异常现象。随着核科学技术的不断发展和对辐射危害认识的加深，防护措施越来越健全、完善。工业射线无损探伤设施的设计、建造和运行都经过了特殊的安全考虑，不仅保护了工业射线无损探伤设施，也保护了工作人员和公众。但由于设备、人为的因素还可能发生事故。因此，如何预防事故的发生及如何处理好事故是工业 X 射线无损探伤辐射防护与安全的一项重要任务。

4.2.1 工业 X 射线无损探伤辐射事故的分类及原因

(1) 工业 X 射线无损探伤辐射事故的类型

根据辐射事故的性质、严重程度、可控性和影响范围等因素，我国将辐射事故分为特别重大辐射事故(I级)、重大辐射事故(II级)、较大辐射事故(III级)、和一般辐射事故(IV级)四个等级。

(2) 工业 X 射线无损探伤辐射事故的原因

引起辐射事故的原因很多，从已发生过的辐射事故分析归纳，可以分为人为因素和不可预见的客观因素两类。

不可预见的客观因素主要指设备突然失灵、损坏和外界条件突然变化，这些因素可以引起意外辐射事故。随着人们从事辐射工作的经验增多和对过去发生的辐射事故教训的总结，现在已不断完善辐射安全措施，提高各种设备的可靠性，增加了安全措施的冗余性。这样，不可预见的客观因素引起的事故越来越少。

人为因素可分为下列几种情况：

①管理不善，领导失职。它主要指制度不健全，职责不明确；操作规程不完善，或者未建立；不重视安全；安全监测手段缺乏或不完善；监测不及时、误测、漏测而造成判断错误；教育训练不够、技术不熟悉等。

②操作失误，个人失职。这主要指违反操作规程和有关规定；责任心不强，精神不集中；过度疲劳，发生误操作等。

(3) X 射线无损探伤所引起辐射事故的主要原因有：

①人为原因，如：X 射线无损探伤工作结束后，X 射线单元没有关闭（或屏蔽窗没有关闭），而操作人员未能使用合适的测量仪器进行测量，以发现 X 射线管还在继续工作发射射线。同一工作场所内同时执行两项 X 射线无损探伤工作时，由于无损探伤装置安装人员的忽略，致使电缆、控制面板和 X 射线管的连接混乱，导致当无损探伤操作人员启动照射时，却激活了另一个 X 射线管，对另一个无损探伤操作人员造成了照射。

②不可预见的客观原因。如：设备故障或安全系统失效等。

4.2.2 工业 X 射线无损探伤辐射事故的处理

辐射事故发生后，要冷静和实事求是地进行科学分析，找出事故原因，采取有针对性的处理措施。

工业 X 射线无损探伤辐射事故发生后处理的原则是：

（1）立即消除事故源，防止事故继续蔓延和扩大。

（2）减少事故造成的照射，控制事故影响的区域。事故发生后，要尽快查明其影响范围，设立明显的标志（如用绳索或栏杆围起来，或用颜色圈定），必要时增设岗哨，严禁无关人员进入，以免受到不必要的照射，防止事故扩大。

（3）及时处理。出现事故后，应尽快集中人力、物力，有领导、有组织、有计划地进行处理。这样，可以缩小事故影响，减少事故损失。

（4）彻底处理，不留后患。

（5）处理较复杂的事故时，应该在有资格的安全防护人员的指导和监督下进行，要对事故处理人员进行辐射监测。

（6）在事故处理过程中，要在可合理做到的条件下，尽可能减少人员照射。当有人员受到辐射损伤时，应首先救人。

（7）事故处理后应及时总结报告，积累相关资料。

4.2.3 安全防护人员在事故处理中的职责

安全防护人员在预防和处理事故中起着非常重要的作用。他们平时应对辐射事故保持高度警惕。当事故发生后，应积极配合有关方面完成下述任务：

（1）迅速测定辐射场，测量迅速全面，数据要准确，以便为制定事故处理方案提供资料。

（2）制定事故处理时的辐射防护方案。参与事故处理方案的设计，审查和确定处理过程中的辐射防护要求和措施，并监督其实施。

（3）测定个人剂量，做好事故处理过程中的辐射剂量监测。对估计受到大剂量照射的人员应建议进行医学检查。

（4）鉴定事故处理效果，现场能否恢复工作应由安全防护人员提出建议。

（5）总结经验教训，提出预防措施。

4.3 工业 X 射线无损探伤辐射事故的应急

虽然 X 射线无损探伤不会发生辐射源丢失控制而导致大量放射性物质释放到环境中的重大辐射事故，但也会出现 X 射线管非正常出束对相关工作人员和公众造成危害的情况。所以，制定适用于 X 射线无损探伤辐射事故的应急计划是必要的。

4.3.1 制定应急计划的基本原则

一旦发生与工业 X 射线无损探伤相关的辐射事故，必须根据具体情况采取对抗措施，减少危害。在什么情况下采用何种对抗措施是应急计划的主要内容，适用于正常运行时的辐射防护限制体系不适用于事故状态。制定应急干预计划的基本原则是：

(1) 严重的确定性效应应当采取应对措施加以防止。办法是将个人剂量限制到发生这些严重的确定性效应的剂量阈值以下。

(2) 随机性效应的危害应当采取应对措施加以限制，这些措施对所涉及的个人能带来超过采取应对措施代价的纯利益。

(3) 随机性效应的总发生率应该通过减少集体有效剂量而限制到尽可能合理的低。

从上述原则中清楚地看到，个人剂量水平是决定采取防护对策的重要参数。而总的随机性效应发生率，决定于集体有效剂量，通常是由大范围区域内低水平的个人剂量累积的结果。在事故发生的最初阶段很难想象用很大的代价去减少随机性效应的发生概率，在进行代价利益权衡后，尽可能合理地减少集体有效剂量。

任何防护对策的采取，都可能破坏或干扰正常的生活和工作条件而付出代价，给公众活动带来困难或不方便，甚至带来新的风险。这样当决定采取某一种对策时，只有认为这样的对策的社会代价和风险小于可能被避免的辐射的总危险时，才可以讲这种对策是合适的。

制定工业 X 射线无损探伤辐射事故的应急计划时，应考虑如下因素：

(1) 工业 X 射线无损探伤发生辐射事故（或为制订应急计划而假设）的类型，辐射事故的原因和大小。

(2) 事故照射随时间变化的特征。

(3) 可能照射人群，需要采取防护对策的区域。

(4) 应急状态下的组织工作和各类人员在应急状态下应采取的行动。

(5) 应急程序和执行每项应急措施的步骤和花费的时间，应急状态下对监测仪器的要求，以及进行评价，采取补救行动和防护措施，建立通讯，进行医疗救护等工作所需要的人力、物力、交通运输等。

(6) 平时的应急训练和演习等。

4.3.2 制订应急计划的基本要素（基本内容）

(1) 组织机构及其职责：应急响应组织机构、参加单位、人员及其作用；应急响应总负责人，以及每一具体行动的负责人；本区域以外能提供救助的有关机构；政府和企业 in 事故应急中各自的职责。

(2) 危害辨识与风险评估：可能发生的事故类型、地点；事故影响范围及可能影响的人数；按所需应急响应的级别，划分事故严重度。

(3) 通告程序和报警系统：报警系统及程序；现场 24 小时的通告、报警方式（如电话、警报器等）；24 小时与政府主管部门的通讯、联络方式（便于应急指挥和疏散群众）；相互认可的通告、报警形式和内容；应急响应人员向外求援的方式；向公众报警的标准、方式、信号灯。

(4) 应急设备与设施：可用于应急救援的设施，如办公室、通讯设备、应急物资等；有关部门如企业、武警、消防、卫生、防疫等部门；可用的应急设备，如可以远距离操作辐射源的长钳子、准备用于维护的标准工具箱、复位单元——用于恢复的专用工具、系列的屏蔽材料等；与有关医疗机构（急救站、医院、救护队等）的关系；可用的危险监测设备、个人防护装备（如呼吸器、防护服等）。

(5) 能力与资源：决定各项应急事件的危险程度的负责人；评价危险程度的程序；评估小组的能力；评价危险所使用的监测设备；外援的专业人员。

(6) 保护措施程序：可授权发布疏散居民指令的负责人；决定是否采取保护措施的程序；负责执行和核实疏散居民（包括通告、运输、交通管制、警戒）的机构；对特殊设施和人群（学校、幼儿园、残疾人等）的安全保护措施；疏散居民的接收中心或避难场所；决定终止保护措施的方法。

(7) 信息发布与公众教育：各应急小组在应急过程中对媒体和公众的发言人；向媒体和公众发布事故应急信息的决定方法；为确保公众了解如何面对应急情况所采取的周期性宣传以及提高安全意识的措施。

(8) 事故后的恢复程序：决定终止应急、恢复正常秩序的负责人；确保不会发生为授权而进入事故现场的措施；宣布应急取消、恢复正常状态的程序；连续检测受影响区域的方法；调查、记录、评估应急反应的方法。

(9) 培训与演练：对应急人员进行培训、确保合格者上岗；年度培训、演练计划；对应急预案的定期检查；通讯系统检测的频度和程序；进行公众通告测试的频度和程序及效果评价；对现场应急人员进行培训和更新安全宣传材料的频度和程度。

(10) 应急计划的维护：每项计划更新、维护的负责人；每年更新和修订应急计划的方法；根据演练、检测结果完善应急计划。

4.3.3 应急工作人员防护的措施

可以采取的控制、降低应急工作人员所受照射的防护措施包括：

(1) 开展应急照射的预评价

可按响应行动的时效性要求，开展详尽程度不同的应急照射预评价。评价内容包括响应行动的安排、照射情景与照射途径的预测、可能出现的问题的分析及拟采取的防护行动的设计等。在时间允许的情况下，宜对响应行动现场的照射剂量率水平进行测量，以估计应急工作人员可能接受的总剂量。即便是时间紧迫，也应进行可能接受的剂量的粗略估算。

(2) 开展个人和场所的辐射监测

应急工作人员应佩戴个人剂量计，同时应佩戴设有剂量阈值、具有报警功能的个人剂量报警仪。

在应急响应场所，应根据实际情况和条件，进行外照射辐射水平测量。

(3) 尽可能使用屏蔽、控制受照时间和实施远距离操作

采用屏蔽和使用操作工具进行远距离操作是减少辐射照射的有效方法之一，应由有经验的辐射防护人员设计和指导屏蔽体的使用和实施远距离操作。在高剂量率场所，可采用数人“接力”的办法，以减少单个工作人员的工作时间从而减少所接受的照射。

(4) 穿带个人防护衣具

应为进入事故现场的应急工作人员配备必要的防护衣具。

(5) 实施辐射防护现场监督和指导

对于可能接受超职业照射限值的应急响应行动，应接受有资格的辐射防护人员提供的现场指导和监督。辐射防护人员应向执行响应行动的应急工作人员提供如何采取防护措施、降低辐射照射的建议，对响应现场工作人员可能接受的辐射照射进行监测，并记录他们可能接受的辐射剂量。