

第十一讲 辐射防护

郑世才

(新立机器厂, 北京 100039)

SAFETY PROBLEMS IN RADIOLOGY

Zheng Shicai

(Xinli Machinery Plant, Beijing)

1 辐射防护概述

辐射, 即通常所称的射线, 按它与物质相互作用引起的电离情况可分为(致)电离辐射和非(致)电离辐射两类。任何射线与物质作用, 无论是直接作用或间接作用, 凡引起物质电离的辐射称为电离辐射, 不能引起物质电离的辐射称为非电离辐射。电离辐射中包括直接致电离粒子和间接致电离粒子。直接致电离粒子(如电子、 β 射线、质子、 α 粒子等带电粒子)具有足够的动能, 通过碰撞引起物质电离; 间接致电离粒子(如中子、光子等非带电粒子)与物质作用时能够释放直接致电离粒子或引起原子核变化。非电离辐射(如红外线、微波等)能量低, 不能引起物质电离。

人们很早就认识到电离辐射对人体的危害作用, 并注意到安全防护问题, 辐射防护就是研究该问题的一个学科。严格说来, 辐射防护是原子能科学技术的一个重要分支, 它研究的是人类免受或少受电离辐射危害的一门综合性边缘学科。其基本任务是保护从事放射性工作的人员、公众及其后代的健康与安全, 保护环境, 促进原子能事业的发展。辐射防护研究的主要内容包括辐射剂量学、辐射防护标准、辐射防护技术、辐射防护评价和辐射防护管理等。辐射剂量学研究辐射剂量及辐射剂量的测量。辐射防护标准是实施辐射防护的依据, 目前各国都是根据ICRP(国际放射性辐射防护委员会)的建议, 结合本国情况制订相应标准。辐射防护评价包括对辐射设备、辐射安全、辐射对环境的污染等的评价。

1977年ICRP发表了第26号出版物, 对放射生物学、剂量限制制度和防护标准等辐射防护方面提出了新建议。1978年ICRP发表了第28号出版物,

对第26号出版物的一些条文作了补充和修正。1979年ICRP发表了第30号出版物, 论述了对放射性核素年摄入量的限制等问题。我国于1960年首次颁布《放射性工作卫生防护暂行规定》。1974年经修订后, 作为国家标准GBJ8-74《放射防护规定》发布。1984年进一步修订, 发布了国家标准GB4792-84《放射卫生防护基本标准》。国家环境部门1988年发布了国家标准GB8703-88《辐射防护规定》, 1989年发布了国家标准GB11924-89《辐射安全培训规定》。1996年发布了国家标准GB16387-96《放射工作人员的健康标准》。国务院总理于1989年10月24日签署了中华人民共和国国务院第44号令《放射性同位素与射线装置放射防护条例》。1997年6月5日国家卫生部发布第52号令《放射工作人员健康管理规定》(1997年9月1日起执行)。以上这些标准和文件, 应作为处理辐射防护问题的依据。

工业射线无损检测在辐射防护方面面对的主要问题是外照射防护。本讲座将针对工业射线无损检测, 介绍辐射防护的基本概念和相关内容。

2 辐射量与辐射生物效应

2.1 主要辐射量

现在广泛使用的描述辐射的物理量主要是照射量、吸收剂量和剂量当量。

照射量是描述X射线或 γ 射线使空气产生电离能力的物理量, 它不适于其它辐射, 也不适于其它物质。吸收剂量表示了各种物质吸收电离辐射能量的情况, 它适用于任何类型的电离辐射, 也适用于任何物质。在研究辐射防护时必须考虑不同辐射的辐射损伤的差别。为此, 引入辐射的品质因数, 常记为 Q , 它表示吸收能量微观分布对辐射生物效应的影

响; 引入修正因子, 常记为 N , 表示吸收剂量的空间、时间等分布不均匀性对辐射生物效应的影响。剂量当量则定义为吸收剂量与辐射品质因数及修正因子之积, 用于统一评价不同类型的电离辐射对生物体产生的辐射损伤。

照射量、吸收剂量和剂量当量的国际单位制计量单位和我国法定计量单位与以前的专用计量单位的关系见表 11-1。

表 11-1 照射量、吸收剂量和剂量当量的计量单位

辐射量	我国法定计量单位	专用单位	两种单位的关系
照射量	库仑/千克(C/kg)	伦琴(R)	1C/kg= 3.876 × 10 ³ R
吸收剂量	戈瑞(Gy)	拉德(rad)	1Gy= 100rad
剂量当量	希沃特(Sv)	雷姆(rem)	1Sv= 100rem

直接测量吸收剂量是比较困难的, 但可以通过仪器测量照射量来计算被辐照物体的吸收剂量。记辐照场中某点的照射量为 X (C/kg), 该点空气的吸收剂量为 D_a (Gy), 则可得到空气的吸收剂量与照射量的关系为

$$D_a = 33.7X$$

如果照射量的单位为伦琴, 则它们的关系为

$$D_a = 8.69 \times 10^{-3}X$$

因此, 只要知道了辐照场中某点的照射量, 就可以计算该点空气的吸收剂量。在一定的条件(电子平衡)下, 不同物质的吸收剂量之间存在一定的关系, 因此, 可以通过空气的吸收剂量求出其它物体的吸收剂量。实际应用中常直接将这种关系写成物体的吸收剂量与照射量的关系

$$D_m = f \cdot X$$

式中 D_m ——物体的吸收剂量, Gy

X ——物体所在处的照射量, C/kg

f ——换算因子, Gy · kg/C

换算因子的值与射线能量有关, 也与被辐照物体性质有关, 人体的换算因子值可从有关手册查到。

2.2 辐射生物效应

辐射作用于物体时由于电离作用, 将造成生物体的细胞、组织、器官等的损伤, 引起病理反应, 这一现象称为辐射生物效应。辐射对生物体的作用是一个极其复杂的过程, 生物体从吸收辐射能量开始到产生生物效应, 要经历许多不同性质的变化, 一般认为将经历四个阶段的变化, 即 物理变化阶段, 持续约 10^{-16} s, 细胞被电离。 物理—化学变化阶段, 持续约 10^{-6} s, 离子与水分子作用, 形成新产物。 化学变化阶段, 持续约几秒, 反应产物与细胞分子作

用, 可能破坏复杂分子。 生物变化阶段, 持续约几十分钟至几十年, 上述化学变化可能破坏细胞或其功能。

辐射生物效应可表现在受照者本身, 也可以出现在受照者的后代。表现在受照者本身的称为躯体效应, 出现在受照者后代时称为遗传效应。躯体效应按显现的时间早晚又分为近期效应和远期效应。

从辐射防护的观点, 全部辐射生物效应可以分为随机效应和非随机效应两类。

随机效应是效应的发生率不存在剂量阈值的效应。对于正常的低剂量照射情况, 从辐射防护的目的出发, 常假定随机效应的发生率与剂量之间存在线性关系, 即剂量越大随机效应的发生率越大。对随机效应进行定量描述的重要概念是危险度和权重因子。危险度定义为单位剂量当量诱发受照器官或组织恶性疾患的死亡率, 或出现严重遗传疾病的发生率。权重因子定义为各器官或组织的危险度与全身受到均匀照射的危险度之比, 记为 w 。表 11-2 列出了人体各器官和组织的危险度和权重因子。

表 11-2 器官和组织的危险度和权重因子

器官、组织	效 应	危险度/Sv ⁻¹	权重因子 w
生殖腺	二代重大遗传疾病	4×10^{-3}	0.25
乳 腺	乳腺癌	2.5×10^{-3}	0.15
红骨髓	白血病	2×10^{-3}	0.12
肺	肺 癌	2×10^{-3}	0.12
骨	骨 癌	5×10^{-4}	0.03
甲状腺	甲状腺癌	5×10^{-4}	0.03
其它组织	癌	5×10^{-3}	0.30*
全 身	诱发癌症	1×10^{-2}	—
	一代遗传疾病	4×10^{-3}	—

* 选取其它五个接受剂量当量最大的器官或组织, 每个器官或组织的权重因子取为 0.06, 其它器官或组织不计。胃、小肠、大肠上段、大肠下段可作为四个独立器官。

非随机效应是指存在阈值的效应, 这种生物效应只有当剂量超过一定的值之后才发生, 效应的严重程度也与剂量的大小相关。因此, 只要限制剂量当量就可以避免非随机效应的发生。一些器官或组织的非随机效应阈值如表 11-3 所示。

2.3 辐射损伤

辐射损伤就是电离辐射产生的各种生物效应对人体造成的损伤。它可以来自人体之外的辐射照射, 也可以产生于吸入体内的放射性物质的照射。辐射损伤过程主要有急性损伤和慢性损伤两种。

急性损伤是短时间内全身受到大剂量(如数戈

表 11-3 非随机效应的剂量阈值

器官、组织	效 应	单次照射的 剂量阈值	多次照射累积 剂量阈值/Gy
生殖腺	永久性不育	3Gy	—
眼晶状体	晶体混浊	0.5~2.0Sv	> 15
红骨髓	造血机能损伤	1.5Sv	> 20
皮 肤	难以接受的变化	—	> 20

[瑞])照射产生的辐射损伤。典型的急性损伤表现为三个阶段,即 前驱期:受照者出现恶心、呕吐等状况,约持续1~2d。 潜伏期:一切症状消失,可持续数日或数周。 发症期:表现出辐射损伤的各种症状,如呕吐、腹泻、出血、嗜眠及毛发脱落等,严重者导致死亡。

急性损伤主要是中枢神经系统损伤、造血系统损伤和消化系统损伤,也可以造成性腺损伤和皮肤损伤等。由于急性损伤将造成严重后果,所以必须防止短时间大剂量的照射。

慢性损伤是长时间受到超过容许水平的低剂量照射,在受照后数年甚至数十年后出现的辐射生物效应。对慢性损伤目前尚难以判定辐射与损伤之间的因果关系。目前认为慢性损伤主要有白血病、癌症(皮肤癌、甲状腺癌、乳腺癌、肺癌、骨癌等)、再生障碍性贫血和白内障等。

除上述两种情况外,实际存在的另一种情况是慢性小剂量照射,即长时期受到低于最大容许剂量的照射。对于这种照射的辐射生物效应,过去是从高剂量和高剂量率的效应外推进行评估的,近年来的资料表明,低剂量和低剂量率引起的辐射生物效应低于从高剂量和高剂量率外推得出的结果。慢性小剂量照射产生的辐射损伤可能会诱发癌症。一种观点认为,机体对辐射损伤具有修复功能,当辐射损伤较轻时,机体的修复作用将使辐射损伤表现不出症状。关于人的慢性小剂量照射情况的直接经验很少,尚需进一步研究。

辐射损伤与许多因素有关,主要是辐射性质、剂量、剂量率、照射方式、照射部位和范围等。

3 辐射防护原则、剂量限制体系和防护技术

3.1 辐射防护原则

辐射防护的目的是防止发生有害的非随机效应,将随机效应的发生率限制在被认为是可以接受的水平范围之内,从而尽量降低辐射可能造成的危害。为了实现上述防护目的,在辐射防护中应遵循三项原则,即正当化原则、最优化原则和限值化原则。

正当化原则要求,在任何包含电离辐射照射的实践中,应保证这种实践对人群和环境产生的危害小于给其带来的利益,即获得的利益必须超过付出的代价,否则不应进行这种实践。

最优化原则要求,应避免一切不必要的照射,任何伴随电离辐射照射的实践,在符合正当化原则的前提下,应保持在可以合理达到的最低照射水平。

限值化原则要求,在符合正当化原则和最优化原则的前提下所进行的实践中,应保证个人所接受的照射剂量当量不超过规定的相应限值。

3.2 剂量限制体系

按照辐射防护的目的和上述原则,辐射防护标准关于剂量当量的限值规定主要包括 对非随机效应规定了不同器官或组织的最大容许剂量当量限值。对随机效应依据可以接受的水平,以危险度为基础规定全身均匀照射的年剂量当量限值和非均匀照射时各器官和组织容许的有效剂量当量限值。

有效剂量当量定义为器官或组织一年接受的剂量当量与该器官或组织的相对危险度权重因子之积。对整个人体在非均匀照射时,年有效剂量当量为

$$H_E = \sum W_T \cdot H_T$$

上述对随机效应非均匀照射的规定则是

$$H_E = H_{E,lim}$$

式中 H_E ——全身一年的有效剂量当量

W_T ——器官或组织的相对危险度权重因子

H_T ——器官或组织一年内接受的剂量当量

$H_{E,lim}$ ——全身均匀照射时的年剂量当量限值

显然,这种规定意味着 $H_{E,lim}$ 仅是一个“可以接受的水平”的限值,并不是保证不发生辐射损伤的限值。因此,在实践中应遵循最优化原则,尽量降低受到的辐射照射。对于工业射线检测人员,辐射防护标准主要是对剂量当量限值、特殊照射、应急照射三方面作出规定。表 11-4 列出了关于剂量当量限值的主要规定。

表 11-4 GB 4792-84 关于剂量当量限值的规定

效应	照射对象 或方式	年剂量当量限值/mSv·a ⁻¹		连续三个月 的剂量当 量限值/mSv
		放射性 职业人员	公众 人员	
非 随机 效应	眼晶状体	150	50	75
	其它单个 器官或组织	500	50	250
随机 效应	全身均匀外照射	50	5	25
	全身非均 匀外照射	$H_T \cdot W_T$	$H_T \cdot W_T$	$H_T \cdot W_T$
		50	5	25

对于一些特殊情况, 有时需要少数人员接受超过年剂量当量限值的照射, 这种情况属于特殊照射。为了制止事故的扩大或进行抢救、抢修, 有些工作人员需要接受超过正常剂量当量限值的照射, 这种照射称为应急照射。对特殊照射和应急照射 GB 4792 - 84 也作出了相应的规定。

对射线检测人员, 应考虑的主要是外照射的辐射防护, 通过防护控制外照射剂量, 使其保持在可以做到合理的最低水平, 不超过国家辐射防护标准规定的剂量当量限值。

3.3 外照射防护方法

对外照射主要从照射时间、照射距离和屏蔽三方面来控制人员所受到的照射剂量。

常用的 X 射线和 γ 射线屏蔽材料是铅和混凝土。图 11-1 和图 11-2 是宽束 X 射线分别在铅和混凝土中的减弱曲线, 图中给出了透射线强度与入射线强度比与所需屏蔽厚度的关系, 从这些曲线可方便地确定所需的屏蔽厚度。

4 辐射防护监测

辐射防护监测是估算和控制公众及放射性工作人员所受辐射剂量的测量工作, 它包括测量纲要制定、测量实施和结果解释。辐射防护监测包括个人监测、场所监测、环境监测、流出物监测和事故监测。

个人监测主要是测量被辐射照射的个人所接受的剂量, 测量工作人员接受的累积剂量, 可避免工作人员受到超剂量的照射, 同时也有助于分析超剂量的原因, 为治疗和研究辐射损伤提供数据。场所监测

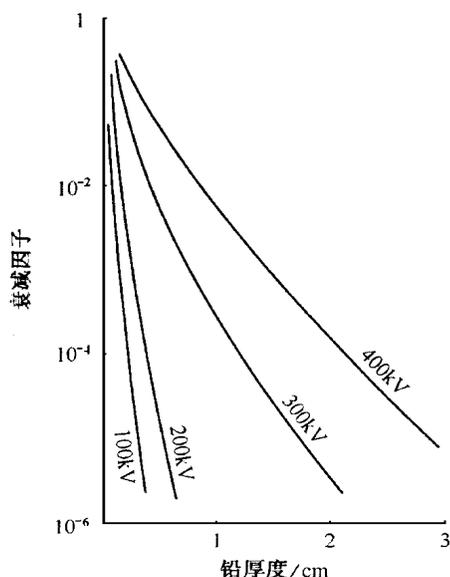


图 11-1 宽束 X 射线在铅中的减弱曲线

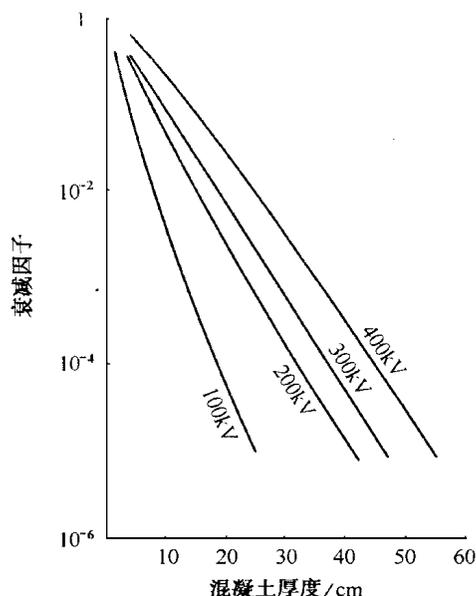


图 11-2 宽束 X 射线在混凝土中的减弱曲线

和环境监测主要是测定工作场所和周围环境的辐射水平, 从而预测工作人员和公众人员可能受到的辐射程度, 也可以为各种辐射防护设计提供准确的数据, 并以此采取正确的防护措施, 确保工作人员和公众人员的安全。流出物监测是对进行放射性工作的单位之排放物进行监测, 测量其排出物中可能含有的放射性核素的活度与总量, 避免其对环境造成污染, 对公众和社会造成危害。事故监测是迅速确定有关数据, 以便采取措施。

对工业射线检测工作来说, 主要是进行个人剂量监测和场所辐射水平监测。

剂量监测方法按原理可分为:

- (1) 电离法 利用辐射对气体的电离作用, 测定产生的电离电流, 从而测出辐射剂量。
- (2) 闪烁法 利用闪烁体在辐射作用时的荧光辐射, 通过光电倍增管测定电流, 以测出辐射剂量。
- (3) 感光法 利用辐射对胶片的感光作用, 测定产生的黑度, 以此测出辐射剂量。
- (4) 固体发光法 利用辐射可引起一些物质发生物理变化, 如热释光、光致发光等测量辐射剂量。
- (5) 化学法 利用辐射可引起一些物质发生化学变化, 如硫酸亚铁的二价铁离子在辐射作用下转变为三价铁离子等测出辐射剂量。
- (6) 热能法 利用辐射在物质中损失的能量转化为热, 使物体温度升高, 然后测出辐射剂量。

不同的方法有不同的特点, 个人剂量监测常用的剂量计特点如表 11-5 所示, 场所剂量监测常用的剂量计是携带式照射量率计和巡测仪。巡测仪主要

表 11-5 常用个人剂量计性能比较

个人剂量剂种类	测量的辐射类型	可测剂量范围/ $\times 10^2\text{Sv}$	能量响应	衰退	重复测读	重复使用
胶片式	β X, γ , 热中子	0.5~15	80keV 以上与能量无关	明显	可以	不可以
光致荧光式	X, γ , 热中子	0.05~ 2×10^3	40keV 以上与能量无关	很小	可以	可以
热释光式	β X, γ , 热中子	$10^2 \sim 10^5$	30keV 左右为 30%	很小	不可以	可以

有电离室、闪烁计数器、盖革计数管和正比计数器剂量仪,它们的特点可参阅第十讲。在选用剂量仪器时考虑的主要因素是仪器灵敏度、量程、能量响应、响应时间和抗干扰能力等。

5 辐射防护管理

5.1 辐射防护管理的一般规定

我国的有关条例和标准,对辐射防护管理作出的一般规定可归纳为下列七个方面。

(1) 国家对放射工作实行许可登记制度,许可证登记证由卫生和公安部门办理。

(2) 伴有辐射照射的实践及设施的新建、扩建、改建和退役必须事先向主管部门和环保部门提交辐射防护报告,经审查批准方可实施。

(3) 设施的选址、设计、运行和退役阶段均应进行辐射防护评价,运行阶段更应定期进行。辐射防护评价包括辐射防护管理、技术措施和人员受照情况,其基本要求是评价是否符合辐射防护最优化原则。

(4) 从事辐射工作的单位应设置独立于生产运行部门的辐射防护和环境保护机构。

(5) 从事辐射工作单位必须建立辐射防护和环境保护岗位责任制。

(6) 从事辐射工作的人员应经过辐射防护的培训和考核,取得合格证方可工作。辐射工作人员应享受劳动保护和相应待遇。

(7) 辐射工作场所应设有电离辐射标志(样式、尺寸见 GB 8703-88)。

5.2 辐射照射控制管理

对工业射线无损检测,按 GB 4792-84 的规定,符合下列条件的单位或场所,称为放射性工作单位或场所:

(1) 操作带有放射性物质的仪器、仪表或产生电离辐射的设备、装置,当不加防护时源的表面处的剂量率 $> 0.04\text{mSv/h}$ 时。工作位置的剂量率 $> 2.5\mu\text{Sv/h}$ 时。间断工作的年有效剂量当量 $> 5\text{mSv}$ 时。

(2) 使用电子加速器和操作产生电子束的装置,电子束的能量 $> 5\text{keV}$,工作位置的剂量当量符合(1)中的规定。

在放射性工作单位或场所,工作人员的工作条件分为三种:

(a) 一年照射的有效剂量当量可能 $> 15\text{mSv}$ 。对该工作条件要有个人剂量监测,对场所要有经常性监测,建立个人受照剂量和场所监测档案。

(b) 一年照射的有效剂量当量不太可能 $> 15\text{mSv}$,但可能 $> 5\text{mSv}$ 。对这种工作条件要有个人剂量监测,对场所要定期监测,建立个人受照剂量档案。

(c) 一年照射的有效剂量当量不太可能 $> 5\text{mSv}$ 。对这种工作条件可根据需要进行监测,并作记录。

GB 8703-88 对此作了稍微不同的规定。

5.3 辐射工作人员的健康管理

GB 8703-88 第 11.3 条规定,“辐射工作人员”是指“其职业岗位伴有辐射照射的工作人员”,也称为“放射工作人员”。从事辐射工作人员的健康水平应符合 GB 16387-96 或 GB 8703-88 标准附录 K 的要求。对辐射工作人员的健康管理,国家卫生部发布的第 52 号令《放射工作人员健康管理规定》作了具体规定,它包括总则、放射工作人员证的管理、个人剂量管理、健康管理、罚则和附则六个章节。

《放射工作人员健康管理规定》规定,放射工作人员上岗实行“放射工作人员证”制度,该证由省级卫生行政部门审核批准颁发。申领该证人员必须具备的基本条件为:

(1) 年满 18 周岁,健康合格。

(2) 遵守辐射防护法规和制度,接受个人剂量监督。

(3) 掌握辐射防护知识和有关法规,经培训考核合格。

(4) 具有高中以上文化水平和相应的专业技术知识和能力。

有关标准和卫生部发布的第 52 号令,对辐射工作人员的健康管理均作出了规定。主要包括常规医学监督和异常受照人员的医学处理。常规医学监督的目的是评价辐射工作人员的健康状况,确保辐射工作人员的健康在开始从业和从业期间都适应工作。定期医学检查一般一年一次,应由授权的医疗

信息

加入 BBS 讨论 发挥你的才智

为促进无损检测事业的发展,交流无损检测知识,河南省无损检测学会 1999 年开通了无损检测界的电子公告板(BBS),旨在为我国无损检测人员提供一种快捷的现代化服务手段,为决策层提供可靠的决策依据。在这里你可以提出自己在实际工作中遇到的难题和需求,也可以发挥自己的专长,为同行出谋划策、排忧解难,你也可以从这里找到国内其它有关无损检测的网址并进入该网,会晤无损检测界的老朋友,也可结识新朋友。

过去,由于我们的重视不够,致使众多业内朋友不知此网址,以至没有发挥其应有作用。也有许多热爱因特网的朋友从不同的媒体了解到了该站点,在那里提出了许多日常工作中遇到的问题,希望有关专家、学者和同行能给予解答和帮助,其中不乏射线、超声等非常实际的应用问题。毋庸置疑,这些问题的解决无论对实际生产还是学术研究都是极有价值的。

我们有许多国内外著名的无损检测专家,也有一大批年轻有为的后起之秀和更多的《无损检测》杂志的读者群,他们大多是有丰富实际经验的无损检

测工作者,如果都加入 BBS 讨论交流,将对我国无损检测事业的发展有巨大的推动作用。

BBS 既是技术交流的园地,也是专家学者发挥才智的杏坛。既是新生力量学习的好地方,也是有成就者进一步提高自己和帮助别人的好去处。它将团结我国的无损检测界的科技工作者,为我们的无损检测事业作出更大的贡献。

国外在这方面的工作开展得如火如荼,我们也要乘因特网这班快车,把我们的无损检测事业搞得更兴旺发达。

BBS 网址: <http://www.ndt.com.cn/bbs/bbsindex.html> 或 <http://www.ChinaNDT.com/bbs/bbsindex.html>

同时,我们还开通了电子邮件列表,有兴趣的朋友也可在这里找到,方法是在 <http://www.ndt.com.cn/Products/x-ray/x-ray.htm> 左边的 MA LL IST NG 的目录处点一下即可。

如欲函询,请与河南省无损检测学会秘书处联系,地址:郑州兴华南街 5 号 中南无损检测仪器厂,邮编:450052。(吴成南、冉启芳、赵洪桥)

机构承担,医学监督记录保存时间应不少于其停止辐射工作后 30a(年)。对甲种工作条件下的辐射工作人员,必须进行常规医学监督。

5.4 辐射事故管理

辐射事故按性质分为五类,即超剂量照射事故、表面污染事故、丢失放射性物质事故、超临界事故和放射性物质泄漏事故;按危害程度分为三级,即一般事故、较大事故和重大事故。

辐射工作单位应建立事故报告制度和管理制度,不论发生何种辐射事故,均应及时填报事故报告表。重大事故在其发生后 24h 内应上报主管部门和监督部门。辐射工作单位应建立全面、系统和完整事故档案。

5.5 放射性物质管理

关于放射性物质的管理,国务院第 44 号令作出的规定要点如下:

(1) 放射性同位素不得与易燃、易爆、腐蚀性物品一同存放。存放场所必须有防火、防盗、防泄漏措施,专人负责保管。

(2) 贮存、领取、使用和归还放射性同位素必须进行登记、检查,账物必须相符。

(3) 从事放射性同位素的订购、销售、转让、调拨和借用的单位或个人,必须有许可登记证,并只限于在许可登记证的范围内活动,并向同级卫生和公安部门备案。

(4) 放射性废水、废气和固体废物排放,必须先向所在省、自治区、直辖市的环保部门递交环境影响报告,经批准后到所在县以上卫生行政部门申请办理许可证,并向公安部门登记。

(5) 托运、承运和自行运输放射性同位素或装过放射性同位素的空容器,必须按国家有关运输规定进行包装和剂量检测,经县以上运输和卫生行政部门检查后方可运输。

(6) 生产的装有放射性同位素的设备、射线装置和辐射防护器材,必须符合辐射防护规定。

收稿日期:1999-08-10