

住宅内和工作场所中氡-222 的防护

李素云

(中国辐射防护研究院, 太原 030006)

摘要:本文介绍住宅内和工作场所中氡的防护原则, 论及了 ICRP 有关住宅内和工作场所中氡防护问题的若干建议, 并简述降低建筑物内氡及其子体浓度的实用途径。最后, 通过住宅内和工作场所中氡浓度现状举例提示氡的防护问题的重要性。

关键词 氡 住宅内 工作场所中 防护

1. 前言

天然放射性惰性气体氡(^{222}Rn)存在于室外空气和含工作场所在内的所有建筑物中, 因此, 它既是住宅内又是工作时一个不可避免的辐射照射源。在某些地区, 包括工作场所在内的建筑物内空气中可出现高的氡水平, 这在诸如地下矿山、天然岩洞、隧道、温泉医疗地区及处理或储存氡浓度高的地下水的供水设施等工作场所内尤其如此。

ICRP 于 1994 年发表了它的第 65 号出版物^[1], 给出确定氡浓度和暴露量时所采用的量和单位, 概述用于氡防护的主要原则; 论及有关氡子体照射产生的健康效应及暴露量和有效剂量之间的转换; 简述降低建筑物内氡及其子体浓度的实用途径; 最后, 对住宅和工作场所中氡的防护问题提出若干建议。下面就其主要部分作以介绍, 并进行简单讨论。

2. 防护原则

委员会区分了辐射照射的两种情况, 其一, 人类活动引起新的照射源或方式, 从而增加了总照射; 其二, 人类活动减少了已有源的照射。第一个称为实践, 第二个为干预。它也区别了可能需要服从委员会关于实践的防护体系的工作时氡照射的情况及应当考虑需要采取行动来防止住宅内氡照射的情况。氡出现在所有建筑物中, 并且建筑物间浓度差别很大。在工作场所中, 有时难于在应作为实践引起的与可能需要干预的已有状况引起的氡浓度之间进行明显的区别。ICRP 第 65 号出版物的目的之一就是给出该区别的导则。

有关氡子体的照射, 与 ICRP 第 60 号出版物^[2]中所阐述的一样, 对于实践, 基于以下通用原则:

(a) 涉及照射的实践, 除了对受照个人或社会能产生足够的利益可以抵偿它所引起的辐射危害的, 就不得采用(实践的正当性)。

(b) 对一项实践中和任一特定源, 个人剂量的大小, 受照的人数, 以及在不是肯定受到照射的情形下其发生的可能程度, 在考虑了经济和社会因素后, 应当全部保持在可以合理做到的尽量低的程度。这一程序应当受到限制个人剂量的约束(剂量约束), 对潜在照射则应受到限制个人危险的约束(危险约束), 以便限制内在的经济和社会判断容易带来的不公平(防护的最优化)。

(c) 个人受到所有有关实践联合产生的照射, 应当遵守剂量限值, 或者在潜在照射情形下遵守对危险的某些控制。其目的是为了保证个人不会受到从这些实践来的在正常情况下被断定为不可接受的辐射危险。不是所有的源均能在源的所在处采取行动施加控制, 所以在选定剂量限值前应先规定哪些源应包括在内作为有关的源(个人剂量和危险限值)。

对于干预, 委员会建议要遵循两条一般原则:

(a) 拟议中的干预应当利多于害, 即由于降低剂量而减少的危害, 应当足以说明干预本身带来的危害与代价, 包括社会代价在内, 是值得的。

(b) 干预的形式、规模及持续时间应当谋求最优化, 使得降低剂量而获得的净利益即减低辐射危害而得到的利益扣除干预带来的危害后为最大值。

3.3 从几种不同容量的 X 射线机所致受照剂量来看, 800mA 和 500mA X 射线机较低, 而 200mA 以下 X 射线机反而较高。这是因为这类高毫安 X 射线机大多为隔室操作, 而且为大医院所用, 防护条件较好。而低毫安 X 射线机防护较差, 特别是 50mA 以下 X 射线机在我区大多为乡镇级以下农牧区所用, 而

且均为早期产品, 使用年限长, 加之使用人员防护意识淡薄。由此可见这种机器毫安数与工作人员受照剂量倒置现象主要与防护条件有关, 而与 X 射线机本身的容量大小无关。因此, 重视对 X 射线机的防护是降低放射工作人员个人剂量的关键所在。

(1995 年 11 月 14 日收稿)

3. 住宅内氡的防护

在某些住宅内氡水平确实很高,需要采取补救措施,主要问题是确定应当进行干预的行动水平。在第 60 号出版物中指出,“行动水平的选定是很复杂的,不仅取决于照射水平,而且取决于行动的可能规模,它涉及集团及个人的经济问题。”还指出,“行动水平最好选择得使这个水平可以确定有相当数目然而也不是多得难以指手的房屋需要补救措施,所以不应指望会有适合于各国的相同的行动水平。”强调干预是为了防护公众中受到较高照射水平的个体成员,不涉及整个人群受照的广泛的公共卫生问题。

ICRP 在其第 65 号出版物中给出^[1],当连续的年有效剂量超过 10mSv 时,采取防护住宅内氡的某些补救措施几乎总是正当的。如补救措施简单,可以考虑该数值再稍低些,因此,对于年有效剂量,行动水平的选择限于约 3~10mSv 的范围,委员会建议,有关的管理部門应将行动水平定在这一范围之内。相应的氡浓度值约为 200~600Bqm⁻³。如用平衡等效氡浓度来表示,这相当于 80~240Bqm⁻³(取平衡因子 0.4)。该行动水平既用于现有住宅,又用于新建住宅。在 ICRP 第 39 号出版物中^[3],所采用的行动水平,如用平衡等效氡浓度来表示,对现有住宅为 200Bqm⁻³,而对新建住宅为 100Bqm⁻³。

由国家有关的管理部門决定将行动水平规定成强制性的还是建议性的。无论怎样,都应使户主充分认识到氡的危险及采取补救措施的重要性。由于室内氡水平的任何测量结果都带有固有的不确定性,所以,允许存在某些灵活性,然而,一旦决定干预,那么干预的方法和规模就应是最优化的。

降低室内高氡浓度的主要方法如下:

(1)采用转换建筑物与土壤之间压差方向来减少氡的来源,常称作土壤减压。这一点很容易利用小风扇从地板下面,或在住宅下面(或接近于)有孔地区,或在悬浮地板下面空间内,抽出氡而达到。

(2)提高地基对土壤气体进入的阻力降低氡的逸出或处理建筑材料以减少氡的析出。这种密封过程对现有房屋难于奏效,因为现有房屋已存在有很多氡从地下进入的通路。

(3)除掉氡源,这一点可能只有对供水,以及在极个别情况下,象底土一类的固体物质才是可行的。

(4)提高室内通风率来稀释氡及其子体。在建筑物内的通风率已高于居住者所希望的水平,而进一步通风将会升高取暖或降温的代价时,该方法效能

有限。有些形式的通风会降低建筑物内的压力,从而增加氡的进入。

(5)降低氡子体浓度,例如采用过滤或增加室内空气流动以提高氡子体的沉积。

4. 工作场所中氡的防护

氡存在于所有的工作场所中,在象铀矿一类的某些工作场所中,氡是一个被公认的照射源。但在诸如建筑物和非铀矿等其他工作场所中,氡普遍被忽视。在工作场所中将应当归因于实践的氡的照射和应视为既已存在的氡的照射区分开来还存在某些困难,委员会建议利用行动水平来区分应当进行干预以减少氡的照射的工作场所(包括矿山)与对氡的照射应当采用委员会有关实践的防护体系的工作场所。

对不作为职业照射的工作人员通常以对公众成员同样的方法来对待,因此,对于工作场所的干预,采用如对住宅的行动水平同样的行动水平是合理的。工作场所中有关干预的行动水平可以很容易从有关住宅的行动水平的范围乘以停留时间比值(7000/2000)和剂量转换系数比值(3.88/5.06)而导出,得出的范围取整数后为 500~1500Bqm⁻³。在某些矿下,平衡因子可能与 0.4 相差很大,管理部門需要考虑这种差别。

ICRP 在其第 60 号出版物中指出,对于工作场所到处存在的辐射,为避免不现实的及不必要的防护措施,委员会认为,有关实践中的防护体系应当只应用于这样的工作,即工作时受到的照射归因于可合理地视作运行管理部門负有责任的那些情况。

在某种程度上,工作场所的氡就可如此对待。不过,委员会指出,“…所有的工作场所总是有一些氡引起的照射,重要的是不要使用对每一处不需要管制的单独的工作场所均需分别作出决定予以豁免的那种正式的制度。应有一个总的制度使它们不必按职业照射来控制。但确定这个制度需要相当多的知识与判断。”

有关氡子体的照射,对要求采用防护体系和实行补救措施两种情况采纳同一行动水平明显有益的,因此,委员会对该两种目的建议采纳的行动水平在 500~1500Bqm⁻³范围以内,年有效剂量的相应范围为 3~10mSv。当简单的补救措施不能将氡浓度降至行动水平以下时,则应用实践的防护体系加以控制。

委员会在其第 60 号出版物中对有效剂量所建

议的剂量限值为在 5 年期间内平均每年 20mSv, 另有任何单独一年内有效剂量不得超过 50mSv 的附加条件。根据同等危害的剂量约定转换, 从转换因子 $1.43\text{mSv}(\text{mJhm}^{-3})^{-1}$ 中得出, 20mSv 相当于 14mJhm^{-3} (4 WLM), 而 50mSv 相当于 35mJhm^{-3} (10WLM), 这样, 对于氡的相应限值为:

5 年内平均每年 14mJhm^{-3} (4WLM), 在单独一年内 35mJhm^{-3} (10WLM)。

即使在短期内接受全部一年的暴露量, 肺组织受到的吸收剂量也不足以引起确定性效应。氡的导出空气浓度(停留时间每年为 2000h, 平衡因子为 0.4)大约为 3000Bqm^{-3} (一年内平均)。氡的暴露量限值和导出空气浓度不是控制氡照射的主要依据, 应采用委员会有关实践防护的完整体系, 强调防护最优化。

对于应用实践中防护体系的工作场所, 应当确定总暴露量, 而不是行动水平以上的净数值。行动水平不过是决定氡的照射应用防护体系的手段, 而总暴露量均应视作属于运行管理部门的职责。

5. 住宅内和工作场所中氡浓度现状举例

20 世纪 70 年代以后, 在几个国家中进行了规模较大的室内氡的调查。这些结果表明, 居室内氡水平变化很大, 从几个 Bqm^{-3} 直到约 100kBqm^{-3} , 这意味着, 某些公众成员所暴露的氡水平与铀矿开采早期井下铀矿工的不相上下。

人口加权平均室内氡浓度约为 40Bqm^{-3} , 大部分数据来自温带地区。如取室内照射的平衡因子为 0.4, 则人口加权平均室内平衡等效氡浓度为 16Bqm^{-3} 。大陆地区室外平均氡浓度为 10Bqm^{-3} , 平衡因子取为 0.8, 那么平均平衡等效氡浓度为 8Bqm^{-3} 。我国某些地区室内氡浓度调查结果表明, 石煤渣砖建房室内氡浓度比普通建房室内氡浓度显著增高, 附表中所列数据说明了这一点。

附表 石煤渣砖房和对照房室内氡浓度

房屋类型	组别	房间数	氡浓度, Bqm^{-3}
石煤渣砖房	1		937
	2	47	254
	3	42	300
	4	11	169
	5	47	348
	6	41	226
	7	49	218
	8	35	63
对照房	1		24
	2	10	81
	3	51	22

矿山井下氡浓度更是一个值得重视的问题, 20 世纪 20 年代, 在斯尼伯格地区中多数矿下观察到的平均氡浓度范围为 $70\sim 120\text{kBqm}^{-3}$ 。目前, 全世界大约有 4.7×10^8 井下矿工, 其中 84% 的矿工从事煤矿开采, 16% 从事其他矿物开采, 在后一组中约有 9×10^4 矿工从事铀矿开采。

我国铀矿山内, 随着井下通风及防护条件的改善, 目前井下氡浓度已大大低于 50 年代末及 60 年代初井下氡浓度。1975~1979 年、1980~1984 年及 1985~1989 年间地下铀矿开采年有效剂量世界均值分别为 5.5, 5.2 及 4.5mSv (取剂量转换因子为 5.6mSv WLM^{-1})⁽⁴⁾。我国某些铀矿工年平均有效剂量约为 16mSv , 如人均每年井下工作时间 1000h, 那么, 平均来说, 年有效剂量约为 8mSv , 仍高于近年来全世界平均值。

总之, 氡子体职业性照射年暴露量限值, 由过去的 4.8WLM 降为 4WLM, 暴露量—有效剂量转换因子, 对工作人员为 5mSv WLM^{-1} , 对公众成员为 4mSv WLM^{-1} 。近十多年来曾采用了不同的暴露量—有效剂量转换因子, 因此, 在进行有效剂量估算结果的比较时, 应注意所采用的剂量转换因子。住宅内和工作场所中氡浓度现状提示, 氡的防护是个需要密切关注的问题。

参 考 文 献

- 1 International Commission on Radiological Protection. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Pergamon Press, Oxford, 1994.
- 2 International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the international Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press, Oxford, 1991.
- 3 International Commission on Radiological Protection. Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation. ICRP Publication 39. Pergamon Press, Oxford, 1984.
- 4 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1993 Report. Annex A. United Nations, New York, 1993.
- 5 李素云. 石煤渣砖建房所致居民集体有效剂量当量的估计. 辐射防护, 1989, 9(3): 235

(1996 年 1 月 17 日收稿)