

# 氡研究的近况

辽宁省劳动卫生职业病防治所 (沈阳,110005) 孟文斌

**摘要:**围绕 ICRP 第 65 号出版物的新建议,简述关于住宅和工作场所氡的防护问题,并回顾了氡研究热的历史、形成和发展,以及有关热点问题。

**关键词:**氡 住宅 工作场所 行动水平

虽然人类生活在自然界中世世代代都受到天然电离辐射的影响,但直到伦琴发现 X 射线并应用于医学、工业生产和科研后才观察到过量的 X 射线照射会引起皮肤烧伤、脱毛和溃疡等有害效应。近年来关于电离辐射对人类的危害已进行了广泛深入的研究,发现患癌症最多的是受氡子体照射的矿工和受室内氡子体照射的广大公众。在纪念伦琴发明 X 射线 100 周年时,请不要忘了当今辐射防护研究的热点——氡。关于 ICRP 第 26、39、60 号出版物对住宅内氡浓度的控制原则和建议,国内已有学者作了综述<sup>[1]</sup>。本文围绕 ICRP 第 65 号出版物<sup>[2]</sup>的新建议,简述有关氡研究的近况和发展。

## 1 ICRP 第 65 号出版物的建议

ICRP 第 60 号出版物<sup>[3]</sup>对职业性照射规定了新的剂量限值,按 5 年平均,每年 20mSv,在任何一年不得超过 50mSv。并指出在天然本底照射的组成中,由体内<sup>40</sup>K、地面宇宙射线和地壳内放射性核素引起的照射均不属于控制范围,只有工作场所的氡和操作含天然放射性核素的材料可视为管理部门的职责。但由于所有的工作场所总有一些氡的照射,人类活动也使住宅内氡水平升高。为解决这些问题,ICRP 第 65 号出版物专门讨论了住宅和工作场所氡的防护问题,并对住宅和工作场所的防护提出了有关建议(见表 1)<sup>[2]</sup>。主要说明如下:

对住宅内的氡,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是正当的。如果补救措施简单,可以考虑该数值再稍低些,因此行动水平的选择限于 3~10mSv 范围内。

如取年停留时间 7 000 小时,平衡因子  $F=0.4$ ,则与 3~10mSv 相应的平均氡浓度为 200~600Bq·m<sup>-3</sup>,其可产生的氡年暴露量为 1.4~4.2MBq·h·m<sup>-3</sup>,氡子体年暴露量为 3.11~9.33mJ·h·m<sup>-3</sup>(0.88~2.63WLM)。

对于工作场所的氡,对非职业照射的工作人员与住宅氡一样,采用相同的行动水平。因此工作场所的行动水平可由住宅氡的行动水平乘以 7 000/2 000(停留时间比值)和 3.88/5.06(剂量转换系数比值)求得,约为 500~1 500Bq·m<sup>-3</sup>。但某些矿井下平衡因子可能与 0.4 相差很大,应予考虑,其年有效剂量仍为 3~10mSv。当简单的措施不能将氡浓度降到行动水平以下时,则施行用于实践的防护体系。

怎样区分施行用于实践的防护体系的场所和应当进行干预的场所是较困难的,因此委员会建议用行动水平来描述其选择。即用行动水平先定义应当进行干预的工作场所(包括矿山),然后再定义应当采用有关实践的防护体系的工作场所,这种工作场所由负责的管理部門合理地确认。

表 1 中单位暴露量的有效剂量(剂量转

换因子)是由直接比较与单位有效剂量和单位氡子体暴露量相关的危害而得出的,称为剂量约定转换因子。给出的值与ICRP第32号出版物按剂量学途径给出的转换因子范围4~11mSv/WLM和UNSCEAR(联合国原

子辐射效应科学委员会)1993年报告的5.6mSv/WLM相似。

当确认某工作场所需将防护体系应用于实践时,其职业性年暴露量限值为5年内平均每年14mJ·h·m<sup>-3</sup>(4WLM),单独一年

表1 ICRP第65号出版物建议值

量	单位	数值
住宅内、工作时标称死亡及危险系数	(mJ·h·m <sup>-3</sup> ) <sup>-1</sup>	8×10 <sup>-5</sup>
	(WLM) <sup>-1</sup>	3×10 <sup>-4</sup>
剂量约定转换,单位暴露量的有效剂量		
住宅内	mSv/(mJ·h·m <sup>-3</sup> )	1.1
	mSv/(WLM)	4
场所	mSv/(mJ·h·m <sup>-3</sup> )	1.4
	mSv/(WLM)	5
行动水平		
住宅    氡浓度	Bq·m <sup>-3</sup>	200~600*
年有效剂量	mSv	3~10
场所    氡浓度	Bq·m <sup>-3</sup>	500~1500*
年有效剂量	mSv	3~10
职业性年暴露量限值5年内的年平均值	mJ·h·m <sup>-3</sup>	14
	WLM	4
单一年份内的最大值	mJ·h·m <sup>-3</sup>	35
	WLM	10

\* 假定在住宅内每年7000h或工作时每年2000h,平衡因子0.4

内为35mJ·h·m<sup>-3</sup>(10WLM)。

## 2 氡的历史与现状

### 2.1 历史

对氡认识的历史可追溯到十五、十六世纪,西欧的两个砷银矿就曾记载过矿工常患有被称之为“矿山病”的呼吸道疾病而早亡,这种矿山病后来被诊断为肺癌,开始认为起因于氡,直到1951年才认识到氡子体是矿工肺癌的主要致病因素。

自1879年德国首次发表矿工肺癌病例报告以来,世界各国许多地区,如美国、瑞典、前苏联、英、法、加拿大、南非等都相继出现了肺癌病例。我国云锡矿、湖南香花岭矿均因肺癌而闻名。但美国在1950年以后才有氡浓度的资料;在东德1955年以后才有氡的数据;

我国70年代才有氡的测量。

直到70年代后期,氡及其子体产物被认为只是在铀矿开采中遇到的辐射危害。虽然50年代已发现瑞典部份住宅内氡浓度较高,即含<sup>226</sup>Ra较高的明矾页岩混凝土建造的房屋内氡水平非常高,但没有引起国际上的注意,认为是局部问题。

### 2.2 氡研究热的形成

近十多年来,世界许多国家和地区进行的室内氡普查结果使人们耳目一新,正如UNSCEAR1993年报告汇总结果所表明的:室内氡水平的变化从几个Bq·m<sup>-3</sup>直到10<sup>5</sup>Bq·m<sup>-3</sup>。这说明某些公众可接受到与铀矿开采早期井下矿工不相上下的氡暴露量。人口加权平均氡浓度为40Bq·m<sup>-3</sup>。人类受到的辐射剂量主要来自天然辐射,而天然辐

射中 54% 又来自氡。改变环境辐射的人类活动主要是医疗照射、核武器试验和涉及天然放射性核素的各种工业过程,如煤电站、地热能的开发、磷酸盐矿、新型建材(工业废渣利用)的开发利用以及许多辐射发光产品、电子仪器、高空飞行等,其中氡又占有很大的比例。

室内氡对人体健康的威胁已同当今世界环境污染的重大问题相提并论,如农药残留量、化工毒物、吸烟等。室内平均氡浓度的剂量与危害可与每年进行 20 次 X 线透视检查相当,因此氡照射及其相关的健康危害受到世界各国的关注。近十几年来,在世界范围内掀起的氡研究热现仍方兴未艾。

到 80 年代后期(1988),国际原子能机构(IAEA)和欧洲共同体委员会(CEC)发起了一项为期 5 年(1988~1994 年)的关于人类环境中氡的协调研究计划(CRP)。有 55 个国家参加了这项研究计划,现已结束<sup>(4)</sup>,这项研究计划标志着世界氡研究热的形成和高潮的到来。为了确保世界各国所测得的氡浓度结果有可比性(兼容性),建立了由参考、技术支持与地区协调的多实验室组成的体系,即国际氡计量学计划(IRMP)。其中负责指导亚太地区的参考实验室为澳大利亚辐射实验室,负责<sup>222</sup>Rn 的技术支持实验室是美国蒙哥马利和拉斯维加斯两个环保机构,用于比对演练。亚洲地区的协调实验室是中国衡阳铀矿冶金研究所。

### 2.3 基本安全标准出台

由联合国粮农组织(FAO)、IAEA、国际劳工组织(ILO)、经济合作与发展组织核能机构(NEA/OECD)、泛美卫生组织(PAHO)和世界卫生组织(WHO)六个国际组织根据 ICRP 1990 年建议共同研制的《国际电离辐射防护和辐射源安全基本安全标准》(简称 BSS)即将出台<sup>(5)</sup>。它以 ICRP 第 60 号出版物的新建议为基础,取代 1982 年安全丛书 No. 9,该基本标准中推荐的居室和工作场所

氡的行动水平分别为 200 和 1 000Bq·m<sup>-3</sup>。

依照 BSS,天然源的照射一般为长期照射,须遵守与干预有关的各项要求。例外的情况是涉及天然辐射源(例如因向环境排放放射性物质)使公众受到照射增加的那些活动和涉及氡的某些职业性照射的活动。如果干预无法使这类照射降到 BSS 给出的行动水平以下,则此类活动必须遵照与实践有关的各项要求。

### 2.4 行动水平

各国与国际采用的室内氡的行动水平和上限值(表 2)是有些不同的。因各国有各国实际情况,但多数是 200Bq·m<sup>-3</sup>,与 BSS 建议值相一致。

表 2 各国与国际室内氡的行动水平和上限值

	行动水平 (Bq·m <sup>-3</sup> )	上限值 (Bq·m <sup>-3</sup> )	制定 年份
澳大利亚	200	NR**	NR**
加拿大	800	NR**	1989
中国	200	100	NR**
德国	250	250	1988
爱尔兰	200	200	1991
卢森堡	250	250	1988
挪威	200	<60~70	1990
瑞典	200	70	1990
联合王国	200	200	1990
美国	150	NR**	1988
前苏联	200	100	1990
北欧国家*	400	100	1986
CEC	400	200	1988
ICRP	200~600	--	1993
WHO	100	100	1985

\* 瑞典、芬兰、丹麦等

\*\* 未向 IAEA 报告

行动水平是用于发起干预的水平,目的是帮助人们决定何时要求或者建议在现有居室中采取补救行动。它所涉及的需要开展补救工作的房屋数相当大,但并非大得难以管理。

### 2.5 效应研究

现已肯定,地下矿工的肺癌发病率过高与氡及其子体的照射有关,但对室内氡的潜在健康影响的认识仍很有限,有人估计普通居民肺癌的20%来自氡及其子体的照射。美国居民全部肺癌的10%(每年约2~3万例)来自氡;英国居民全部肺癌的6%来自氡;瑞典每百万人口中由于氡照射每年可发生140例肺癌,而其它各种辐射只引起40例肺癌<sup>[6]</sup>。

为了说明室内氡与肺癌的相关性,需要足够大的调查样本和精心设计的流行病学调查研究。目前尚未见到这方面的调查报告,美国、瑞典、英国正在进行这类大型研究。我国辽宁省卫生防疫站与美国癌症研究所合作,对1985~1987年间沈阳市新诊断的305例肺癌患者(妇女)和365例非肺癌患者(妇女)的居室内氡浓度和其它环境因素进行了调查,结果表明,氡从 $74\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 增加到 $300\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 肺癌危险并不随之增加,因为干扰因素多,如吸烟,工业污染等,尚不能说明问题。最近,卫生部工业卫生实验所与美国癌症研究所合作,将在甘肃省陇东地区开展窑洞居民与肺癌关系的流行病学调查<sup>[6]</sup>。窑洞内氡浓度为 $30\sim 670\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ,75%大于 $150\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ,室外平均浓度为 $22\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。当地居民稳定,400多万人口,吸烟率低,工业污染少,是较好的流行病学调查人群。

## 2.6 减少和控制氡的方法

为了减轻氡的照射,各国已研究了各种控制方法及补救措施,以使室内氡水平降到行动水平以下。关于室内氡污染的控制方法作者已有另文综述<sup>[7]</sup>。

行动水平的确定不仅取决于照射水平,而且受到技术、经济、社会和习惯等各种条件的限制。然而值得庆幸的是:根据氡源的不同,采取不同的方法,可将大多数住宅的氡水平降到 $100\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 以下;而采用防护措施的新建住宅95%以上的氡水平低于新建住宅上限值( $70\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )<sup>[8]</sup>。

ICRP第65号出版物推荐了降低室内氡浓度的主要方法,并定性地汇总了各种补救措施的代价和效能。

香港地区因当地用于混凝土的砂石材料中放射性核素含量较高,致使香港高密度建筑物的高层住宅室内氡主要来自建材。研究表明,应用表面涂层可减少氡发散速度约68%<sup>[9]</sup>。

## 3 结语

综上所述,世界性氡研究热虽已形成并正在高涨,但我国氡研究仍处于发展阶段,尚有大量调查研究有待深入。例如,瑞典已颁布了防治氡污染的建筑方法示范,按地基类型选用合理的建筑设计和适当的氡防治方法来控制新建房屋内的氡污染<sup>[8]</sup>。这对于地下人防工程和现代城市、国防建设十分重要,而国内对土壤气中氡的测量只限于找矿,大面积调查研究尚未受到重视。

近十年来,世界各国在大规模氡水平调查方面都做了很大努力,付出了较大代价,研究的核心仍然是环境水平的氡对人类健康的影响及其对策、补救措施等热点问题,诸如住宅内氡暴露量与居民肺癌关系的研究、室内氡来源、建筑材料的特性与氡发射率、各种减少室内氡浓度的方法研究等,都受到关注。

## 参 考 文 献

- 1 陆杨乔. 中国辐射卫生, 1994;2(增刊):25
- 2 ICRP Publication 65. Annals of the ICRP, 1993; 15
- 3 ICRP Publication 60. Annals of the ICRP, 1991; 35
- 4 Ahmed JU. 国际原子能机构通报, 1994;2:32
- 5 Geonzalez AJ. 国际原子能机构通报, 1994;2:2
- 6 张守志 王文兰. 放射医学与防护简报, 1993; (179):1
- 7 孟文斌. 上海环境科学, 1992;11(1):38
- 8 Swedjemak GA Mäkitlo A. Health Phys. 1990; 58 (4): 453
- 9 Tso MW et al. Health Phys. 1994; 67(4): 378

(收稿日期:1995-02-25)