

人类环境中的氡:现状评述

有 50 多个国家参加的 IAEA/CEC 氡研究计划

将于今年晚些时候结束

Jasimuddin
U. Ahmed

直到 70 年代后期,氡及其子体产物被认为是仅在铀的开采和水冶中遇到的辐射健康危害。然而,在世界许多地区进行的室内氡普查结果大大改变了这一看法。例如,在温带地区的一些国家中,已注意到居室的氡气浓度增加,这些地区严格的节能措施促使居民紧闭门窗,尤其是在寒冷的季节。人们也日益认识到,在通风条件不好的许多非铀的地下矿井或地下作业面有氡问题。

因此,氡辐照及相关的健康风险,已在全世界得到越来越多的关注。根据联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)的估计,人类受到的来自天然辐射的照射中,来自自然环境中的氡的照射占 53%。在美国(科罗拉多州)、捷克共和国和加拿大(安大略省),已在地下采矿主要是铀矿开采中观察到肺癌发病率过高的现象。在瑞典开采地下萤石的矿工和铁矿矿工中也观察到了这种情况。目前,该科学委员会已肯定了地下矿工的肺癌发病率过高与氡及其子体的照射有关这一结论。

不过,目前对由居室内氡引起的照射的潜在健康影响的认识,仍然有限。不能想当然地用地下矿工肺癌发病率过高与氡的照射之间的关系去理解室内氡照射对公众

的潜在健康风险。因为居室内的照射水平远远低于矿井内的水平。有人认为,早期铀矿工中肺癌发病率过高,或许要用浓烟、矿尘、毒雾以及极高的氡照射等因素的协合作用来解释。不过,如果记住两组人群在两种不同条件下的照射含义不同,则与矿工有关的数据或许是有用的。

80 年代后期,国际原子能机构(IAEA)和欧共体委员会(CEC)发起了一项为期 5 年的关于人类环境中的氡的协调研究计划(CRP)。现在,50 多个国家有正在进行的项目,这说明它们对此课题极感兴趣。此项 CRP 将于今年晚些时候结束。本文介绍一些国家的氡普查的部分结果,并描述继续进行该领域的合作研究的国际框架。

氡的来源

从原理上说,土壤是氡-222 的发源地,它是铀-238 衰变链中的镭-226 的子体产物。氡(氡-220)是氡-224 经 α 衰变产生的,后者属于钍-232 的衰变链。氡和氡是惰性气体,能通过分子扩散或对流移出土壤,进入大气。氡在空气中的分布情况取决于气象条件。氡和氡的子体产物是重金属的同位素,容易在空气中形成气溶胶。这两种元素通过发射 α 和(或) γ/β 辐射衰变。含有氡和氡子体的气溶胶靠干沉降、降雨等淀析过程从空气中分离。

氡的半衰期是 3.8 天,而氡的寿命很

Ahmed 先生曾任 IAEA 核安全处高级职员。本文的详细参考资料可向作者索取。

短,半衰期仅 55 秒。在氡和氡的子体产物中,有的寿命长,有的寿命短。在空气中的所有天然或人工放射性污染物中,短寿命子体产物在地表处的放射性浓度中比例最高。(见右表。)

花岗岩、意大利凝灰岩和明矾轻质混凝土之类的建筑材料,可能含有很高浓度的镭-226,可以成为进入室内空气中的氡的来源。对于氡通过敞开的门窗、机械的通风与渗漏作用进入建筑物内,以及空气通过缝隙同样不受控制地漏入建筑物内,户外空气都能起重要作用。此外,家里使用的水和天然气中所含的氡气,有一部分也会转移至室内空气中。

室内氡研究的部分重要成果

在过去十年中,欧洲、北美的几乎所有国家以及很多东欧国家,都蜂拥而上地关注起居室内的氡来。它们进行了全国性的普查,以测定室内氡水平并评估随之而来的肺癌风险。包括中国和日本在内的许多温带国家,已开始实施有关居室和工作场所氡问题的大型计划。一些热带国家也有很大的兴趣,并实施了规模不等的氡普查计划。

从科学文献中也能看出人们对氡问题的强烈兴趣。在 1987 年于葡萄牙里斯本举行的“国际天然辐射环境学术会议”(NRE IV)上,发表的 110 篇论文中有 65% 谈论的是氡问题。同样,在 1991 年于奥地利萨尔茨堡举行的 NRE V 会议上,163 篇论文中约有 70% 谈论的是氡。

再者,如前所述,有 55 个国家正在参与 IAEA/CEC 发起的氡协调研究计划。鉴于不能一一介绍这么多国家的普查结果,这里只介绍特别值得注意的几个国家的结果。

美国。80 年代后期,由美国环境保护局(EPA)实施,并由美国公共卫生局公布的一项调查表明,美国的室内氡问题比预料的要严重和普遍得多。根据公共卫生局公布的结果,在非吸烟者中,每年大约有 5000

放射性核素		半衰期	放射性浓度 (mBq/m ³)
天然	氡	12.3 a	≈20
	碳-14	5736 a	≈40
	铍-7	53.6 d	1—7
	氡子体*	164 μs—26.8 min	1000—5000
	铅-210	22.3 a	0.2—1.0
	钋-210	138.4 d	0.03—0.3
	铅-212	10.6 h	20—1000
人工	铯-131	8.04 d	<0.0001(4000**)
	铯-137	30.1 a	0.0005—0.005(4000**)
	钷-106	386.2 d	0.0001—0.002(2000**)

* 氡子体有:钋-218,铅-214,铋-214 及钋-214。

** 切尔诺贝利核事故后,德国戈廷根 1986 年 5 月 2—3 日的最高值。

来源: J. Porstendorfer, *Properties and Behaviour of Radon and Thoron and Their Decay Products in the Air, Proceedings of the Fifth International Symposium on the Natural Radiation Environment Tutorial Session*, 欧共体委员会出版,卢森堡办事处,1993 年,ISBN 92-826-5604-7。

名肺癌患者被认为其病因完全来自室内的氡照射;在吸烟者中,15 000 例的肺癌死亡与室内氡照射有关。较近的某些估计显示的数字更高。美国公共卫生局说,统计数字表明,室内氡使人类付出的代价“很可能比室外空气污染问题超出 10 倍”。EPA 关于进一步普查以测试更多房屋的建议得到了美国军医处处长、美国医学学会、美国肺癌学会以及其它卫生组织的支持。

EPA 于 1989—1991 年实施的全国住宅氡普查计划,曾估算出了 50 个州的有人居住房间的年平均氡浓度频度分布。一份长达 22 页的调查表收集有关各种因素的信息。结果表明,氡浓度的年算术平均值为 46 ± 2 贝可/米³(Bq/m³)。同时还表明,约 600 万套住房单元超过了 150 Bq/m³ 这一行动水平。

美国的另一项研究汇集了来自现有来源(诸如 EPA、匹兹堡大学及不同类型的个别州的有关机构)的测量结果。这项研究囊括了对 1730 个县的家庭进行的氡测量结果。所涉及的县大大超过了全美县数的一半,这些县的人口约占全美总人口的 90%。

空气中天然和人工放射性核素的浓度范围

国际氡计量学计划

已建立了一个由参考、技术支持与地区协调的许多实验室组成的体系,其目的在于帮助确保世界上不同机构所取得的氡测量结果是相互兼容的。该体系被称作国际氡计量学计划(IRMP)。该计划由IAEA与欧共体委员会负责协调,萨尔茨堡大学作为科研秘书处。各类实验室承担的义务如下:

- 参考实验室负责对与氡(氡-222)、氡(氡-220)及它们的衰变产物的计量学有关的科学问题进行指导,特别是在测量器具的室内和现场校准、现场取样、普查方法和分析程序方面。现已为三个地区指定了此类实验室,它们是:欧洲——联合王国放射防护局;北美——美国内政部矿务局环境测量实验室;亚太地区——澳大利亚辐射实验室。

- 技术支持实验室以供应校准过的照射室的形式提供技术支持,这类照射室用于在限定的实验室条件下进行氡-222、氡及它们的衰变产物的比对演练。已为IRMP指定了三个技术支持实验室,它们是:美国蒙哥马利和拉斯维加斯

的两个环境保护机构,负责氡-222;以及位于加拿大埃利奥特湖的CANMET,负责氡。

- 地区协调实验室将在协调和组织与氡-222、氡及它们的衰变产物的质量保证计划有关的地区性活动中提供后勤支援。已为五个特定地区指定的实验室有:南美——巴西的辐射防护研究所;亚太地区——澳大利亚辐射实验室;非洲——加纳原子能委员会;欧洲及中东——捷克共和国的流行病学研究所;以及亚洲——中国衡阳铀矿冶研究所。

此项业务性的计划按如下方式运作:要求校准无源探测器的终端用户将探测器送到本国的国家实验室。国家实验室也许校准这些探测器,也许将它们送到地区协调实验室由技术支持实验室校准。技术支持实验室将定期组织校准活动,并将它们的测量技术与参考实验室比对。各级实验室可使用由本国基准实验室(如美国国家科学技术学会和英国国家物理实验室)提供的氡源校准它们的设备。

对于所观测到的室内低水平氡照射的健康效应,Bernard Cohen进行了分析。引人注目地发现辐射致癌的线性无阈值理论大大高估了低水平辐射的风险。1992年发表的这份分析报告还得出结论,即使线性无阈值理论有效,公众对低水平辐射的恐惧也是大大过头了。

联合王国。1989年国家放射防护局(NRPB)就英国室内氡照射所致肺癌的发病率所做的估计表明:“在一年内的总共4100名肺癌患者中,最多或许有2500甚至更多的人与氡有关。室内氡构成英国居民所受电离辐射照射平均值的一半。

到1991年夏季为止,为了给后续的行

病学研究及实施补救和保护性措施作准备,英国测量了58000个家庭内的氡。政府已承认室内氡照射是一种健康危险。迄今为止,已在英国的约10%家庭中发现氡浓度高出200贝可/米³这一行动水平。尽管取得了良好的开端,但还有约90%的有可能受到影响的家庭有待鉴定。

中国。1972年,中国在洋江附近的高本底辐射区开展过流行病学调查。所选择的高本底辐射区(HBRA)的天然辐射水平,比邻近对照区高3倍。调查了每个地区的已在此处定居两代以上的约80000户居民。HBRA区和对照区受到的外部 γ 辐射与氡及其子体的综合照射的年平均有效剂量当

量分别为 5.4 毫希和 2 毫希。还研究了天然辐射以外的环境致癌原和诱变剂,以及宿主复合因素。这次为调查上述两个地区的癌症死亡率而完成的观测量达到 100 万人·年。

研究结果表明,同对照区相比,HBRA 区的癌症死亡率没有增加。相反,HBRA 区的癌症死亡率低于对照区的趋势是可察觉到的。两个地区的遗传病和先天性缺陷的发病率相近。HBRA 区发生循环淋巴细胞染色体畸变的频度高于对照区。

国家与国际的行动水平

这些年来,许多国家的政府及国际团体已制定了有关氡照射的“行动水平”。按照国际放射防护委员会(ICRP)的说法,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建议在现有居室中采取补救行动。行动水平的选取是一项复杂的工作,不仅取决于照射水平,而且取决于可能的行动规模,它们对社会和个人都会带来经济影响。行动水平的最佳选择很可能是这样一种水平,它所涉及的需要开展补救工作的房屋数相当大但又并非大得难以管理。因此,不能指望同一个行动水平会适合所有国家。

许多国家已采用的行动水平看来是不同的。同样,未来新建建筑物的氡浓度上限也是因国而异的。(见右表。)

IAEA 在其《基本安全标准》的现行修订本中,推荐居室和工作场所的氡-222 行动水平分别为 200 Bq/m³ 和 1000 Bq/m³。

IAEA 的氡计划

80 年代,IAEA 为响应成员国的普遍关注,决定对居室与工作场所的氡照射状况进行评估。目的之一是确定制定必要的控制措施所需的指导性意见的类型。1988 年,IAEA 与 CEC 一起发起了关于人类环境中的氡的协调研究计划(CRP),并于 1989 年下半年开始实施。该计划促使 55 个国家提

	行动水平 (Bq/m ³)	上限 (Bq/m ³)	制定年份
澳大利亚	200	NR	NR
加拿大	800	NR	1989
前捷克斯洛伐克	200	100	1991
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
CEC	400	200	1988
ICRP	200—600	—	1993
北欧国家	400	100	1986
WHO	100	100	1985

CEC=欧共体委员会;ICRP=国际放射防护委员会;北欧国家=瑞典,芬兰,挪威及丹麦;WHO=世界卫生组织;NR=尚未向 IAEA 报告。

出了 140 项建议,显示出这些国家对该计划怀有极大的兴趣。

IAEA 审查了这些建议之后,签订了 14 份研究合同和 37 个研究协定,项目总数达到 51 个。此外,CEC 同其成员国签订了 25 份研究合同。

之后,原先由几个专门化的氡实验室实施的国际比对与相互校准计划(IIIP),成了 CRP 联合计划的一部分,但不需 IAEA 分担经费。这样做扩大了 CRP 计划的活动范围,给许多发展中国家提供了机会,使它们能够实际上是免费地参加比对与相互校准演练,并能使用一切数据。IIIP 计划最近易名为国际氡计量学计划(IRMP)。(见上页方框。)它仍然是 CRP 计划的一部分。

该项 CRP 计划名下的工作已取得很大进展,许多项目业已完成,其余项目正接近尾声。在定于 1994 年秋召开的最后一次研究协调会议上,将报告这些结果。此后,鉴于各方对氡问题仍然具有极大的兴趣,经由 IAEA 的这一协调研究计划进行的研究,很可能将侧重于如何减轻氡的照射。 □

国家与国际的居室内氡的行动水平和上限值