

医学参考报

放射医学与防护频道

Radiological Medicine and Protection

Number 01

执行主编介绍



尚兵 研究员

硕士生导师, WHO 氡项目专家组成员, 中国核物理学会固体核径迹专业委员会委员。1977年毕业于复旦大学, 曾就职于湖北省医学科学院辐射防护所, 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学安全所。从事环境放射性检测与健康危害研究, 主持和参与多项国家标准起草, 在国内外核心期刊发表研究论文60余篇, 获得省部级科技进步成果奖5项。

导读

α 粒子辐射生物效应研究现状

2版

ICRP第126号出版物《氡照射的放射防护》简介

3版

非铀矿山²²²Rn、²²⁰Rn水平及矿工受照剂量研究

4版

民用建筑防氡降氡综合措施

5版

新型墙体材料与室内氡的控制

6版

氡浓度超标住宅氡来源分析与治理实践

7版

净化器降氡效果研究

8版

消息



医学参考报社网站已开通, 以放射医学与防护频道为主的各频道, 现正免费注册网站会员, 并可网上阅读报纸以及参加继续教育等学术活动。

网址: www.yxckb.com

氡暴露有效剂量转换系数最近研究进展

中国人民解放军防化指挥工程学院 张磊

氡是人类所受天然辐射的最主要来源, 也是除吸烟之外肺癌的第二大诱因。评价氡暴露危害时, 通常用到氡暴露有效剂量转化系数, 简称“剂量转换系数”(Dose Conversion factor, DCF), 其定义为单位平衡当量氡浓度暴露所致有效剂量。DCF作为氡浓度(测量量)和有效剂量(防护量)之间最重要的换算系数, 其发展受到了大家普遍的关注。

氡暴露剂量评价方法通常分为剂量学方法和流行病学方法。剂量学方法评价氡子体暴露剂量时, 充分考虑了暴露场所氡子体平衡关系、氡子体未结合态份额、氡子体粒径分布等具有环境特异性的参数, 带入呼吸道模型、消化道模型及核素生物动力学模型, 计算出氡子体呼吸道区域沉积照射导致的吸收剂量, 进而计算出氡子体暴露有效剂量转换系数。

UNSCEAR(联合国原子核

辐射效应科学委员会)在1982年采用了剂量学方法给出了氡暴露有效剂量转换系数[室内8.7 nSv/(Bq h m⁻³), 室外17 nSv/(Bq h m⁻³)。UNSCEAR 1988报告中认为室内室外的区别并没有82年认为的如此显著, 因而对室内室外结果进行了时间加权平均, 给出了平均剂量转换系数值10 nSv/(Bq h m⁻³)。93年报告在进一步分析室内氡调查结果后, 将室内氡子体平衡当量浓度代表值从16 Bq/m³降低到15 Bq/m³, 而对应的剂量转换系数降低为9 nSv/(Bq h m⁻³)。UNSCEAR 2000报告总结并比较了流行病学调查和剂量学评估方法给出的剂量转换系数值(6 nSv/(Bq h m⁻³)~15 nSv/(Bq h m⁻³), 认为9 nSv/(Bq h m⁻³)的剂量转换系数用于评价氡暴露年有效剂量是合适的。UNSCEAR 2006报告沿用了上述观点。

流行病学方法评价氡子体

暴露剂量时, 剂量转换系数导出采用“危险效原则”, 即比较矿山流行病学给出的单位氡暴露所致死亡率和日本原爆数据给出的单位有效剂量所致死亡率, 再乘以单位活度氡子体α粒子能量, 给出公众和职业人员的氡暴露致剂量转化系数。

ICRP(国际放射防护委员会)在第65号报告中采用流行病学方法给出了剂量转换系数6 nSv/(Bq h m⁻³)。虽然, ICRP 65号报告中承认流行病学调查存在着个人暴露量估计的不确定性、选择对照组困难、矿山工作环境受非放射性矿尘影响及不同的吸烟习惯的差别等等, 但是委员会认为“用剂量学模型评价吸入放射信物质所致死亡和危险系数被几个重要领域的不确定性复杂化”。因而, 委员会在ICRP 65号报告中明确指出, “剂量学模型不应当用于评价和控制氡的照射”。

ICRP委员会在2007年建议书中肯定了Darby、Krewski和Lubin等人关于室内氡流行病学调查的结果, 同时承认了室内氡调查给出来的“肺癌危险与居民²²²Rn照射之间的显著相关性”。但坚持认为“关于氡危险评价仍然应与矿山流行病学研究相结合, 即使目前有大量的关于住宅氡照射的数据可以利用”。

然而, ICRP 2009年10月突然发布了一个仅两页纸的声明, 首次认同了居室流行病学调查的结果, 认为氡暴露终身死亡系数应该修订为5×10⁻⁴ WLM, 较ICRP 65号报告中的2.88×10⁻⁴ WLM有了明显的提高。而关于氡暴露剂量转换系数的得来, ICRP观念发生了较大的转变, 明确指出, “基于生物动力学模型和剂量学模型计算出其它核素剂量转换系数将同样适用于计算氡暴露剂量”。

下转第2版

专家点评

尚兵 研究员

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所

这是一期氡照射与防护的专刊。氡是天然铀系的中间产物, 普遍存在于我们生活的空间。流行病学研究认为人类肺癌10%由氡引起, 氡及其子体照射是除吸烟之外引起肺癌的第二因素, 也是导致非吸烟者肺癌的首要环境因素。

本期是分为三个部分。第一部氡的研究与进展, 收集的5篇文章介绍了近年来对《α粒子辐射生物效应研究获得的重要发现》;《不同暴露环境氡剂量转换因子研究》介绍了从以往推荐的典型值到考虑氡子体的环境行为来估算氡暴露的新思路;《我国异常高氡温泉对周围居民健康状况影响》报告了高氡照射对居民染色体畸变率、微核率、p53、p16和k-ras基因转录水平的影响, 该结果为进一步开展氡致肺癌生物标志物的研究提供线索;另外2篇

介绍ICRP 126出版物氡照射的放射防护要点和国际机构对氡控制限值修改的动态。

第二部氡的暴露水平。氡的暴露分为职业照射和公众照射。《非铀矿山²²²Rn、²²⁰Rn水平及矿工受照剂量研究》报道了我国金属矿和非金属矿的暴露水平, 为加快解决非铀矿山矿工的照射和防护提供了基础数据。《生活饮用水氡测量与控制现状》对近年来我国生活饮用水源的变化、测量技术、各类水源氡的水平以及WHO、欧盟对水氡的控制标准进行了阐述。另外收集了《雾霾天气对氡子体平衡因子的影响》, 该文观察了雾霾天气室外颗粒物(PM_{2.5})对室内空气溶胶的贡献和氡子体的影响, 以及由此引起的F值的变化, 发现F值与PM_{2.5}浓度有正相关性, 对估算我国居民氡的受照剂量有很好的参考价值。

第三部分氡的控制与防护, 这是大家比较关心的问题。《新型墙体材料与室内氡的控制》介绍我国新型墙体材料应用中出现的室内氡浓度增高问题, 对我国现行建材放射性控制标准中内照射指数的缺陷和

氡控制指标的选择提出了建议。希望能引起关注和讨论, 加快建材标准的修改。《民用建筑防氡降氡综合措施》总结了2014年我国第一部建筑防氡技术标准——《民用建筑防氡防治技术规程》, 通过这篇文章可以对房屋的选址、建筑防氡设计、建筑材料选择、入场和施工有一个全面的了解。已有建筑氡超标也是公众和专业人员关心的问题。《氡浓度超标住宅氡来源分析与治理实践》通过对一栋土壤氡导致的室内氡浓度超标房屋的治理, 对氡源的判断, 主动减压和被动减压的施工方法以及降氡效果进行了评价。

美国EPA把每年1月定为全国氡行动月 National Radon Action Month。因为冬天往往是氡危害最严重的季节, 关闭门窗后氡气不易排出, 而取暖造成的负压会增加氡的析出率。氡行动月的目的是通过宣传, 提高公众对氡危害的认识, 促进氡的测试和超标房屋的治理, 推动新建筑防氡计划的实施。放射医学与防护频道2016年第一期推出的氡的照射与防护专刊也具有同样的意义。

终校	排版设计	年 月 日	经营监管部	年 月 日
	编辑出版	年 月 日	总编室	年 月 日

α 粒子辐射生物效应研究现状

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 苟巧

α 粒子是环境和职业暴露中的一种重要射线。除了室内氡及其子体产生的低剂量 α 辐射,核事故导致的 α 粒子辐射也可能对公众产生显著损伤。此外,放射性同位素产生的 α 射线在核医学肿瘤治疗中的应用日益广泛。由于 α 粒子具有较高的传能线密度(LET)和较强的相对生物学效应,其相关的生物学研究已成为当今放射生物学、放射医学、放射治疗学与 α 粒子物理交叉学科研究的热点和前沿课题。

迄今为止,国内外 α 粒子辐射生物效应研究获得了许

多重要的发现,主要围绕以下几个方面:

1. 染色体和 DNA 损伤: α 粒子辐射诱发染色体断裂后,重新修复的可能性较小,因此容易引起染色体畸变,以易位和缺失为主;α 粒子诱发的 DNA 损伤复杂,且不易修复,在一定范围内呈现剂量-效应关系;受损的染色体和 DNA 在复制前未得到修复,会导致基因组不稳定性、细胞凋亡或恶性转化等不良后果。

2. 线粒体损伤: α 粒子辐射导致人支气管上皮细胞线粒体 DNA 减少并伴随结构和功

能障碍;线粒体敲除的人支气管上皮细胞对 α 粒子辐射的敏感性增强。

3. 氧化/抗氧化失衡: α 粒子诱发永生化人支气管上皮细胞恶性转化过程中细胞内氧化/抗氧化失衡,脂质过氧化、DNA 氧化损伤和双链断裂增强;大鼠吸入氡及其子体染毒后的外周血和肺组织匀浆中,以及常接触氡的职业人群外周血中,抗氧化酶 SOD 活力降低、脂质过氧化产物 MDA 水平增高。

4. 旁效应:用 α 粒子在体外低剂量照射人成纤维细胞,能促进其周围未受辐射细

胞内微核形成;α 粒子辐射引起的细胞旁效应通过 p53-SCO2-ROS 等通路进行调节。

5. 致癌性转化:从二十世纪九十年代至今,多种 α 粒子辐射致癌细胞模型成功建立;已证明在 α 粒子辐射诱发人支气管上皮细胞恶性转化过程中,细胞内 p53、k-ras、p16、bcl-2、MGMT 等基因突变,鞘氨酸激酶 SKIP、蛋白质磷酸酶 PPP3CC、肉瘤抗原 CCDC18 等发生甲基化改变,miR-200 家族、ZEB 家族、上皮-钙连接素等表达显著下调,Annexin I、神经-钙连接素

等表达增强,为阐明氡及其子体致癌机理和研究肿瘤标志物奠定了理论基础。

近年来 α 粒子的临床应用研究逐渐深入。一方面,探讨不同短寿命 α 放射性核素标记(如 Ac-225、At-211、Bi-213、Pb-212、Ra-223)的单克隆抗体和靶向化合物(如 Ra-223 的二氯化物具有亲骨性)对肿瘤细胞的杀伤作用及其分子机制;另一方面,研究 α 粒子对正常细胞的损伤剂量以及对各种肿瘤细胞适宜的杀伤剂量,为选定临床适用的 α 放射性核素标记的药物的剂量提供依据。

◀ 上接第 1 版

转换系数。并且将针对不同暴露环境(居室/工作场所)考虑不同的氡子体气溶胶性质和不同平衡比,给出不同的氡暴露剂量转换系数。“该剂量转换系数的结果将替代 ICRP65 号报告中基于流行病学调查结果和危险等效原则给出的剂量转换系数”。

为此,在随后的 ICRP115 号报告中,委员会再次陈述“居室流行病学给出的危险估计足够用于居室水平氡暴露的防护”,而“采用危险等效原则‘约束转换’给出剂量转换系数不再需要”。为此,在 ICRP115 报告在附件 B 中再次总结了近些年来新呼吸道模型计算出的氡暴露剂量转换系数,但没有给出剂量转换系数的推荐值,而是继续认为“应该给出不同环境不同的剂量转换系数”。

在 2014 年出版的 ICRP126 号报告中,ICRP 仍然没有推荐剂量转换系数值,只是在计算室内浓度限值对应的年有效剂量时,首次同时采用了剂量学方法给出的剂量转换系数(13mSv/WLM)和流行病学新的危险系数等效给出的剂量转换系数(6~7mSv/WLM),并承认前者仍然比后者高一倍左右。

至此,UNSCEAR 和 ICRP 都认同居室流行病学调查给出氡暴露危险系数(5×10⁻⁴WLM),该危险系数较 ICRP65 号报告中危险系数增大了近 1 倍。在氡暴露剂量转换系数方面,UNSCEAR 和 ICRP 目前都推荐采用剂量学模型给出氡暴露有效剂量转换系数,并预测新呼吸道模型给出的剂量转换系数将较以前增大了 1 倍多。但是,UNSCEAR 目前还没有修订给出新的剂量转换系数,仍然推荐沿用 9mSv/(Bq h m⁻³)。ICRP 则坚持应该采用剂量学模型给出不同环境下的不同的剂量转换系数值。而在现有环境测量数据不充分的背景下,暂未给出剂量转换系数推荐值。

有趣的是,ICRP126 号报告出台之前,世界核工业组织 WNA 铀矿标准化专家组成员针对 ICRP115 号报告中的一些观点进行了讨论分析,认为“由于对模型及其输入参数认识不足,且剂量学方法给出的计算结果无法验证,采用剂量学模型给出不同环境下的剂量转换系数值为时尚早”。矿山流行病学调查结果可以很好地作为标杆来衡量剂量学模型的可靠性。为此,铀矿工业仍然“坚持采用基于流行病学的危害评估数据来评估氡暴露危害,但需检验流行病学危害模型结果”。至于剂量学方法评估,铀矿工业认为“需要更多研究包括剂量学模型的不确定性分析、现场气溶胶测量技术的建立及测量数据的收集等工作来促进剂量学模型在铀矿工业中的实际应用”。

异常高氡温泉对周围居民健康状况影响的研究

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 刘建香 阮健磊 秦宏冉等

人类生活环境中由于吸入氡及其子体所产生的辐射剂量约占全部天然辐射剂量的 54%。最近在四川省若尔盖降扎乡发现一处异常高氡温泉,当地的藏民认为泉水可以治病,温泉周围已经形成了新的生活区。我们在该地区进行了氡水平的测量,结果显示生活区室内外氡浓度高达 201,164Bq/m³ 和 699 Bq/m³,是世界上罕见的异常高氡区,因此我们对该地区居民的辐射生物效应进行了研究。

1 研究对象的基本情况

研究对象均为我国四川省若尔盖地区藏族居民,高氡暴露组共观察了 97 人,男性占 50.5%,年龄为 9~63 岁,女性占 49.5%,年龄为 6~54 岁;对照组观察了 49 人,男性占 24.48%,年龄为 18~77,女性占 75.52%,年龄为 15~74。两组居民均生活在相同海拔高度,生活习惯相似,对照组人员为未接触过氡泉的藏族居民,室内氡浓度均值为 53.4 Bq/m³。所有调查对象要求无急性疾病、无吸烟饮酒的不良嗜好,均为非放射工作者。

2 样品采集及分析方法

分析用样品为高氡暴露人员和对照人员的静脉血。血样采集后提取血浆和全血中的总 RNA 及总蛋白,并经过定量和纯度分析后,于 -80℃ 冻存备用。

染色体畸变及微核率均采用常规方法进行分析统计。样品经过细胞培养、制片、染色,观察并记录染色体畸变数和微核率。样品中的 miRNA 和相关基因转录水平的测定按照 ABI PRISM 7500 fast 实时荧光 PCR 仪用户手册进行操作。采用 Western blotting 方法检测蛋白表达,SPSS17.0 软件进行统计学分析。

3 高氡暴露地区居民染色体畸变

与对照组相比,高氡暴露组的断片以及染色体型总畸变均显著增高,单断和染色体单体型总畸变均明显增高,“双+环”、易位以及单体互换则无明显变化。我们将高氡暴露组按照每月不同洗澡次数进行比较,发现“双+环”、染色体型畸变总和随着洗澡次数的增多而增多;将染色体畸变与性别之间进行比较,高氡暴露组“双+环”、断片、易位等染色体型畸变以及单断、单体互换等染色体型畸变,女性均略高于男性,但差异无统计学意义。染色体型畸变与年龄之间的差异也无统计学意义。

4 高氡暴露地区居民微核率

高氡暴露组人员的微核率与对照组相比,均显著升高,洗澡次数、性别对微核率、微核细胞率以及阳性率的影响不明显。微核率、微核细胞率以及阳性率均受到年龄

▶ 下转第 7 版

医学参考报		放射医学与防护频道							
理事长兼总编辑: 巴德年 副理事长: 曹雪涛等 理事会秘书长: 周赞	社长: 魏海明 副社长: 吕春雷 副社长: 周赞	名誉主编: 吴祖泽 潘自强 主编: 马力文 副主编: 姜恩海 罗庆良 邹跃 刘长安 常务编委: 陈英 郭亦超 江其生 金顺子 刘芬菊 吕慧敏 李君利 刘强 李蓉 刘英 陆毅 刘玉龙 吕玉民 冉新泽 尚兵 问清华 万玲 朱国英 张淑兰 编委: 崔凤梅 陈红红 陈肖华 崔勇 高林峰 何玲 鞠永健 刘福东 梁莉 刘丽宏 凌光华 马庆录 任福利 吴锦海 邬家龙 乌丽娅 王墨培 王善强 肖德涛 谢萍 邢志伟 姚波 余长林 杨文峰	杨业鹏 尹在哲 赵超英 张继勉 张玉松 张照辉 专家委员会主任委员: 尉可道 专家委员会副主任委员: 贾廷珍 委员: 白光 龚守良 龚治芬 李开宝 施仲齐 董建 王桂林 王洪复 王继先 王文学 周湘艳 编辑部主任: 张照辉 编辑部副主任: 郭亦超 陆毅 编辑: 王墨培 肖宇 曹宝山 岳瑶 学术发展部主任: 梁莉 学术发展部副主任: 刘丽宏 刘强						
社址: 北京西城区红莲南路30号4层B0403 邮编: 100055 总机: 010-63265066									

终校	排版设计	年 月 日	经营监管部	年 月 日
	编辑出版	年 月 日	总编室	年 月 日

ICRP 第 126 号出版物《氡照射的放射防护》简介

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 邓君 宋延群

国际放射防护委员会 (ICRP) 于 2014 年 4 月批准通过了第 126 号出版物《氡照射的放射防护》(ICRP, 2014), 以阐明和指导如何做好居民住宅、工作场所以及其他类型场所中公众和工作人员氡照射的防护工作。

报告综合考虑了 ICRP 最新的放射防护体系建议、所有可用氡照射风险的科学知识和有关组织、国家获得的氡照射控制方面的经验, 提供了最新的氡照射放射防护相关导则。

报告描述了氡照射的特点、氡的来源和运输机制、健康风险以及控制氡照射面临的挑战。委员会建议一种综合的氡照射控制方法——尽量依靠建筑物或场所的管理来控制氡照射。这种方法基于最优化的原则, 并反映了关键利益相关者 (尤其是工作场所中) 的责任和审管部门控制氡照射的目标。报告还提出了职业性氡照射管理的相关建议和要求。

报告提出了 12 条主要观点:

1. 人们在居室、工作场所以及各种类型的建筑物中均可受到氡的照射。室内氡浓度的差异会导致较大氡照射的不均匀分布。通常情况下, 室外氡照射不是一个问题。
2. 有充足的证据显示, 氡及其子体照射会导致肺癌。氡是继吸烟之

后的第二致肺癌因素。

3. 由于氡的母体核素普遍存在于地壳中且活度未受改变, 氡的照射属于现存照射, 氡照射的路径能够被控制。

4. 国家审管部门应该对氡照射的类型进行分类, 并建立全国性的防氡控氡战略。由于大多数的氡照射发生在居室内, 该战略应从公众卫生的角度描述居室内氡照射, 还应致力于降低整个人群氡照射的集体剂量和个体最高照射剂量。

5. 该战略应简单明了, 且具有实用性和整体性, 以适用于所有类型的建筑; 还应根据具体情况与责任进行等级划分; 不再进行吸烟者与非吸烟者的区分。该战略还应与其他公共卫生政策相结合, 例如能源节省, 控制吸烟, 以及室内空气质量控制等。

6. 氡防护战略应包括: 对于新建建筑应采取的预防措施; 对于现存建筑应采取的减缓措施。

7. 氡照射的控制主要基于适当参考水平的防护最优化原则。根据委员会的建议, 这个水平对应于年剂量限值, 可在 1~20 mSv 范围内。委员会认为, 大约 10 mSv 左右的年剂量应作为制定氡照射参考水平的基准。

8. 在氡防护战略的实施过程中,

委员会建议室内氡浓度导出参考水平的最高值仍然为 $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ (年平均浓度), 该值同样适用于其他类型建筑和工作场所。

9. 委员会强烈建议国家审管部门应建立全国氡浓度导出参考水平。该水平应该是在综合考虑当前经济和社会情况等因素, 合理可达尽量低至 $100\sim 300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

10. 在大多数工作场所, 工作人员接受氡照射是偶然的, 未认定为职业性照射。委员会建议通过以下步骤对工作场所进行等级划分。

1) 对于所有建筑和工作场所, 根据普遍导出的参考水平, 采取最优化的防护;

2) 根据具体的照射情况, 如居留时间以及年剂量 10 mSv 的参考水平, 采取最优化的防护;

3) 当采取所有合理的措施后, 氡照射仍然高于参考水平, 应对职业照射采取相应的防护措施。

11. 如经国家审管部门认定, 工作人员所受氡照射为职业照射时, 应从一开始就在相应工作场所采取相应的职业照射防护措施。

12. 当国家审管部门认定氡照射情况为计划照射情况时, 应实施相应的职业照射剂量限值。

生活饮用水氡水平与控制现状

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 武云云 尚兵

氡在 20°C 时的溶解度为 $230 \text{ cm}^3/\text{L}$, 是一种易溶于水的气体。水循环过程中所流经的岩石、土壤以及水本身含有的核素 ^{226}Ra , 所以地下水、地表水中均含有氡。氡的含量与水源类型密切相关, 地表水中氡浓度较低, 地下水由于受地质条件的作用, 氡浓度明显高于地表水。水中氡是氡照射的一个潜在重要来源。一方面, 水氡会随用水行为释放出来进入室内环境, 室内环境中的氡及其衰变子体经由呼吸途径进入人体而产生辐射危害; 另一方面, 水氡还会通过饮水这一途径摄入人体, 对消化器官及其他器官产生内照射危害。因此, 生活用水氡浓度及辐射危害受到世界各国的广泛关注。该文针对我国生活饮用水源类型分布、饮用水中氡浓度水平、饮用水氡控制现状进行介绍。

1 我国饮用水源类型分布

根据 2004 年水利部《全国城市饮用水源地安全保障规划》调查, 全国城镇 (包括 661 个设市城市和 1,746 个县镇) 集中式饮用水源地共 4,555 个, 其中, 地下水源地 2,150 个, 占水源地总个数的 47.2%; 河道型水源地 1,299 个, 占水源地总个数的 28.5%; 水库型水源地 1,072 个, 占水源地总个数的 23.5%; 湖泊型水源地 34 个, 占水源地总个数的 0.7%。上述提及的 4,555 个水源地供水总人口为 37,984 万, 地下水水源地供水人口为 11,568 万, 占水源地供水总人口的 30.5%; 河道型水源地供水人口为 16,225 万, 占水源地供水总人口的 43%; 水库型水源地供水人口为 9,540 万, 占水源地供水总人口的 25%; 湖泊型水源地供水人口为 651 万, 占水源地供水总人口的 2% (图 1)。

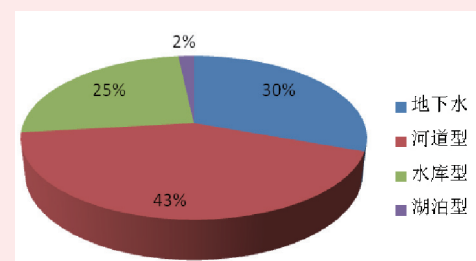


图 1 我国不同类型水源地供水人口比例

地下水是我国生活饮用水的重要供水水源。20 世纪 60 年代中期到 70 年代末, 我国开始大规模开发利用地下水。根据环保部、国土资源部与水利部正式发布的《全国地下水污染防治规划 (2011~2020 年)》, 近三十年随着我国社会经济的快速发展, 地下水资源开发利用量呈迅速增长趋势。20 世纪 70 年代, 全国地下水年开采量达到 570 亿立方米左右, 至 80 年代增长到 750 亿立方米, 到 2009 年地下水开采总量已达 1098 亿立方米, 占全国总供水量的 18%, 三十年间增长了近一倍。我国北方地区 65% 的生活用水来自地下水, 全国 655 个城市中, 400 多个城市以地下水为饮用水源, 约占城市总数的 61%。我国农村生活饮用水的水源主要以地下水为主, 饮用地下水的人口占 74.87%。

下转第 8 版 ▶

国际机构有关氡控制限值改变

中国人民解放军防化指挥工程学院 张磊

氡是室内重要的污染物, 因此, 氡暴露防护问题一直以来是国际机构关注的热点。国际放射防护委员会 (ICRP)、国际原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR)、世界卫生组织 (WHO)、国际原子能机构 (IAEA) 在不同的出版物中对住宅和工作场所中氡的控制与防护进行了明确规定。

1993 年, ICRP 第 65 号出版物《住宅和工作场所氡-222 的防护》中依据危险等效原则给出的剂量转换系数和 $3\sim 10 \text{ mSv/a}$ 的年有效剂量行动水平, 给出了住宅和工作场所的氡浓度行动水平 (住宅: $200\sim 600 \text{ Bq/m}^3$, 工作场所: $500\sim 1,500 \text{ Bq/m}^3$)。该氡浓度行动水平在 ICRP103 号出版物《国际放射防护委员会 2007 年建议书》中得到了沿用, 并进一步强调“各个国家应该根据本国的实情, 利用最优化防护基本原则, 自行制定在参考水平上, 限值以下的国家性的参考水平”。

2003 年, IAEA 在第 33 号安全报告《非铀矿山工作场所氡的防护》中参考了 ICRP 推荐的氡控制限值 ($500\sim 1,500 \text{ Bq/m}^3$), 给出了非铀矿山工作场所中氡的行动水平值 $1,000 \text{ Bq/m}^3$, 该值对应的氡暴露年有效剂量 6 mSv/a 。作为单一行动水平

实用量, 对于工作场所氡暴露管理非常有效。为此, ICRP103 号报告中认为“这个国际统一制定的数值, 可以作为在全球范围内规定氡照射情况职业防护要求的起点”。

随着近些年剂量学和流行病学的发展, 特别是住宅氡流行病学调查结果得到了大家广泛的认可, 国际机构关于氡控制限值也发生的比较大的变化。这种变化主要源于两个方面: (1) 流行病学给出的氡暴露危险系数从 $2.8 \times 10^{-4}/\text{WLM}$ 变为 $5.0 \times 10^{-4}/\text{WLM}$, 增加了约一倍; (2) ICRP 认同了剂量学方法给出剂量转换系数的思路, 认为“基于生物动力学模型和剂量学模型计算出其它核素剂量转换系数将同样适用于计算氡暴露剂量转换系数”, 而“这种估算方法上的改变可能导致单位氡暴露导致的年有效剂量会增加一倍”。

为此, 2009 年 WHO 率先在《室内氡手册》中“建议各国政府应把室内氡浓度参考水平制定于 $100\sim 300 \text{ Bq/m}^3$ 之间”。ICRP 随即在 2009 年 11 月的一份氡声明中认可了上述观点, 并在 ICRP115 号出版物《氡及其子体的肺癌危险》中强调“住宅氡暴露危害的控制可以直接采用住

宅氡流行病学调查给出的肺癌危险估计, 不再需要剂量转换系数”, 而对于职业照射控制“仍然采用剂量约束, 需要采用剂量转换系数进行剂量评估”, 该剂量转换系数在 $10\sim 20 \text{ mSv/WLM}$ 之间, 约是 ICRP65 号报告中的推荐值两倍或两倍以上。

2014 年 ICRP126 号出版物《氡暴露防护》中, 细化了不同场所中的氡照射情况, 将不同场所氡照射分为现存照射和计划照射进行管理。对于现存照射, 其推荐参考水平 $100 \text{ Bq/m}^3\sim 300 \text{ Bq/m}^3$, 对于计划照射, 推荐了“进入水平” (Entry level) $1,000 \text{ Bq/m}^3$ 。

总而言之, 近些年随着流行病学和剂量学的发展, 氡控制限值也发生了显著变化, 主要体现在: (1) 室内氡控制限值直接采用住宅氡暴露流行病学调查给出的肺癌危险系数, 参考水平推荐值较之前降低了一倍, 在 $100\sim 300 \text{ Bq/m}^3$ 之间; (2) 工作场所氡照射细化分为现存照射和计划照射两种, 对于现存照射直接采用室内参考水平推荐值, 对于计划照射设定了一个“进入水平” $1,000 \text{ Bq/m}^3$ 限值。各个国家应该根据各自发展状况, 制定优化的氡暴露参考水平推荐值。

非铀矿山 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 水平及矿工受照剂量研究

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 尚兵 崔宏星 武云云 张庆召



高水平氡的暴露是引起矿工肺癌发病率高的主要原因, 氡致矿工肺癌在铀矿山已被证实是职业性癌症并受到广泛关注。有资料显示我国地下矿山工作人员受到氡照射的剂量水平远高于其它行业, 甚至超过放射性职业人员。近年来我国矿业发展迅速, 从业人员数量达342万, 因此有必要对非铀矿山工作环境中的氡水平和矿工受照剂量开展研究。

非铀矿山主要包括金属

矿山、非金属矿山。选择25座金属矿和18座非金属矿进行了为期1年的累积测量。结果显示, 金属矿(12种25座, $n=147$) ^{222}Rn 浓度范围 $11\sim 19,600\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, 算数均值(AM)和几何均值(GM) $1,211\pm 2,359$ 和 $311\pm 5.5\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; ^{220}Rn 浓度范围 $< \text{LLD}\sim 6,554\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, 算数均值(AM)和几何均值(GM) 268 ± 701 和 $70\pm 4.4\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。非金属矿(4种18座, $n=118$) ^{222}Rn 浓度范围 $5\sim 1,784\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$,

AM和GM分别为 98 ± 206 和 $55\pm 2.5\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$; ^{220}Rn 浓度范围 $< \text{LLD}\sim 436\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, AM和GM分别为 60 ± 76 和 $38\pm 2.4\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。地下矿山 ^{222}Rn 浓度超过 $1,000\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (GB18871-2002 工作场所氡浓度限值) 和 $3,700\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ (我国铀矿冶氡浓度限值) 的测点分别占测量总数的15%和7.0%。有6座矿井 ^{222}Rn 浓度均值超过 $1000\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, 占测量矿山的15.0%。其中金属矿 ^{222}Rn 浓度超标比率最高, 有5座矿

井和38个测点 ^{222}Rn 浓度超过 $1,000\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, 分别占金属矿抽样率的20%和27.5%。个别点的 ^{222}Rn 浓度超过 $10,000\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

假设我国矿山工作人员每天工作时间为8小时, 若按每年250工作日计算, 年停留时间约为2000小时。根据UNSCEAR2000年出版物给出的剂量转换因子和实测的F值, 可估算出矿山工作人员吸入 ^{222}Rn 、 ^{220}Rn 及其衰变产物导致的年有效剂量。

结果显示, 金属矿地下采矿矿工受到的年均有效剂量最高, 为 7.75mSv 。稀土矿次之为 1.41mSv , 其中53%来自 ^{220}Rn 的贡献。煤矿为 0.75mSv 比近期文献报道的水平要低, 这与本调查选择的煤矿主要是国有企业, 生产规范, 井下通风良好有关。非金属矿山最低仅为 0.38mSv , 其中磷矿为 0.72mSv 。总体趋势与波兰调查结果相似(金属矿 9.6mSv 和磷矿 0.18mSv)。

雾霾天气对氡子体平衡因子的影响

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 侯长松 尚兵 张庆召 崔宏星 武云云 邓君

2013年以来在北京地区雾霾天气频发, 其主要特征是大量微小颗粒物(粒径 $< 2.5\mu\text{m}$) 悬浮在大气中, 对空气造成污。雾霾天气除了细颗粒物浓度增高外, 还会引起大气中的有害物质如重金属富集。有研究显示, 雾霾天气空气中铬(Cr)、铜(Cu)、锌(Zn)和铅(Pb)等重金属元素的富集因子超过10。氡的短寿命子体 ^{218}Po 、 ^{214}Po (钋)、 ^{214}Pb (铅)、 ^{214}Bi (铋)属于重金属元素, 而且带有电荷, 很容易与空气中气溶胶结合, 形成结合态氡子体。

氡子体平衡因子(Equilibrium factor, 简称F值)是氡与其短寿命子体之间平衡状态的一种度量, 其定义为平衡当量氡浓度(与氡处于放射性平衡状态的氡子体浓度, EECRn)与氡浓度(CRn)之比($F=\text{EECRn}/\text{CRn}$), 是估算吸入氡照射剂量的重要参数。UNSCEAR2000年报告总结了全球平衡因子的研究结果, 推荐的室内典型值为0.4, 室外为0.5~0.7。上个世纪80~90年代, 我国曾对室内氡和F值进行过广泛调查, 室内F值的典型值在0.47~0.49之间, 高于世界典型值约20%。

影响氡子体平衡因子的主要因素有空气流率和气溶胶浓度。雾霾天悬浮在大气中的细小颗粒物浓度增高, 关闭门窗

将会导致室内空气换气率下降, 从而引起氡子体的沉积率下降。雾霾天气空气中悬浮的细颗粒物增加, 有利于氡子体结合态形成。

为了解雾霾天气对氡子体浓度和F值的影响, 我们采用德国EQF3120型氡钍射气及其子体测量仪和GRIMM1.109气溶胶测量仪, 对北京市区的1间办公室和郊区的1栋住宅进行了氡浓度 CRn 、氡子体潜能浓度 Cp 和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度

的连续观测, 得到以下结果。

1、室外 $\text{PM}_{2.5}$ 对室内 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响: 图1是北京空气质量指数监测网报道的室外 $\text{CPM}_{2.5}$ 和在郊区一独立住宅内实测的 $\text{CPM}_{2.5}$, 两者的变化趋势相近。在关窗的条件下, 仍能观察到室内 $\text{CPM}_{2.5}$ 与室外 $\text{CPM}_{2.5}$ 呈现正相关, $R^2=0.2882$ (图3)。

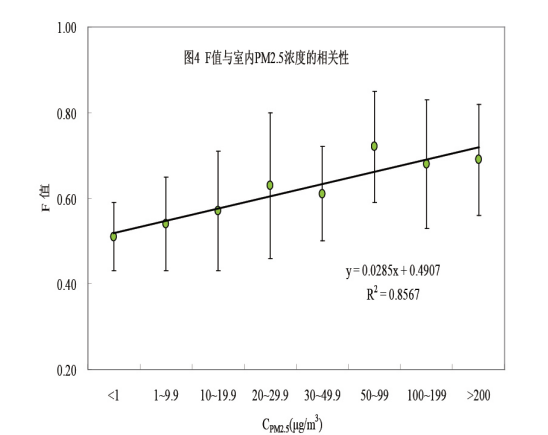
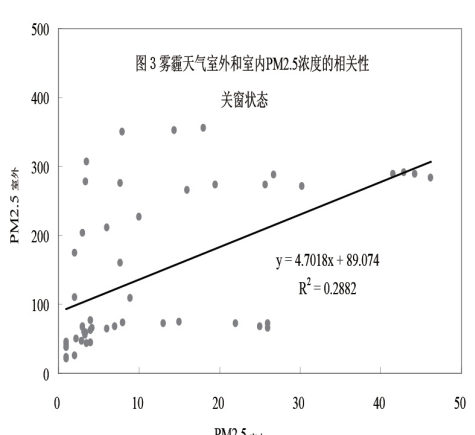
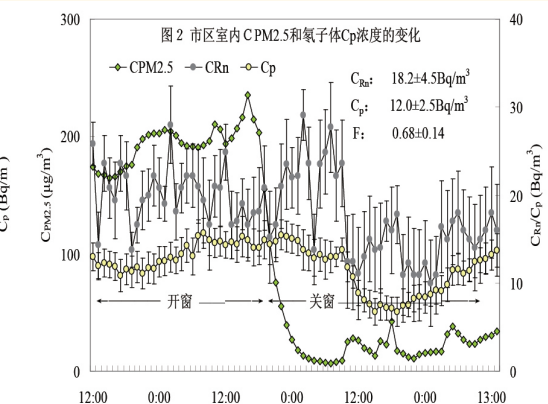
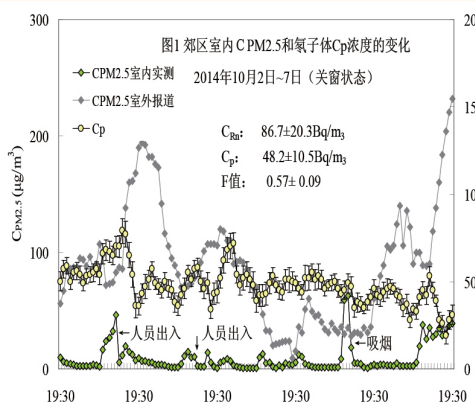
2、室内 $\text{PM}_{2.5}$ 对F值

的影响: 大气中氡子体可分为结合态与未结合态。理论上认为, 短寿命氡子体与气溶胶的结合速率 fD 与气溶胶粒子的数密度有关, fD 的实验拟合公式为: $fD=414/Z$, Z 为空气中气溶胶数密度。雾霾天气在2间房间观察到的F值分别为 0.57 ± 0.09 (郊区) 和 0.68 ± 0.14 (市区), 高于UNSCEAR给出的0.4的世界典型值, 也高于上个世纪80~90年代我国室内

0.47~0.49的实测值(图1和图2)。对 $\text{CPM}_{2.5}$ 数据进行分级处理后, 可以看到F值与 $\text{CPM}_{2.5}$ 间有显著的正相关, $R^2=0.8567$ (图4)。

3、人员活动的影响: 有图2可见, 雾霾天气室外颗粒物对室内有明显影响。重度污染天气 ($\text{CPM}_{2.5}>300$) 开窗和关窗条件下测量到的室内 $\text{CPM}_{2.5}$ 有很到差异, 开窗时 $\text{CPM}_{2.5}$ 最高值达 $236\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。关窗切断污染源后, $\text{CPM}_{2.5}$ 会迅速下降, 并保持在较低水平。另外, 人员活动, 如开门, 抽烟等也会引起的 $\text{CPM}_{2.5}$ 增高, 但增高幅度和持续时间低于重度雾霾天气室外 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响(图1~图2)。

我国细颗粒物水平从2000年已经有所增高, 其中有63.5%的城市空气质量超过国家二级标准。魏复盛等研究显示广州、武汉、兰州、重庆四大城市 $\text{PM}_{2.5}$ 年日均值为 $46\sim 160\mu\text{g}/\text{m}^3$, 是美国典型值 ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$) 3~10倍。2013年以来北京市雾霾天气频发, 重度污染天数的比率居高不下。F值是估算氡子体受照剂量的重要参数, 受照剂量与F值呈正比。F值增高将导致肺部受照剂量增高。因此, 室内颗粒物浓度增加对氡子体结合状态的影响和由此所引起的F值改变值得关注。



民用建筑防氡降氡综合措施

深圳市建筑科学研究院股份有限公司 孙浩 刘丹

氡是我国国家标准控制的对人体影响较大的5种室内污染物之一,现代建筑中大量使用新型掺渣建筑材料,而节能减排则要求室内经常保持较高的气密性。由于建材中氡源的增加和房间的气密性增加,导致了氡在房间中的聚集。国内的大量调研表明,我国城镇室内氡浓度水平呈现上升趋势,地区和城市室内氡浓度总体水平与上个世纪80年代末相比月增高了80%。现代建筑室内氡的主要来源是土壤氡和建材氡,一层、二层住宅土壤氡影响较大,三层及以上住宅土壤氡影响可以忽略不计,建材氡则影响整个建筑。

欧美等发达国家的氡防治主要体现在发挥防氡降氡建设规划的作用以及具体的建筑氡防治技术上。欧美等国在编制建设规划时考虑的防氡降氡主要要求有:不应将建筑物,特别是民用住宅规划建设在高放射性富集区内;建设规划规划的建筑物不能过于密集;建设规划制定钱,务必对规划区的土壤氡浓度进行测定,有深水源时要测量水氡,偏高地区内要测地面 γ 放射性。发达国家的防氡降氡技术包括多方面的内容,最关键的有:堵住氡的释放源;在建筑工程设计前对其场地及周围的土壤氡进行测量;注意科学设计(其中最重要的是室内合理通风);建筑材料必须是环保的;建筑施工需规范,必要时采用涂刷防氡涂料等措施。

我国的民用建筑与发达国家相比有自己的特点,借鉴发达国家的防氡技术,同时结合我国的国情,探索符合我国国情的防氡降氡技术非常有必要。民用建筑室内防氡降氡措施涉及很多过程,包括建筑地址勘察、建筑设计、建筑材料的选用、建筑施工、内部装修等多个环节。室内防氡降氡措施根据对象的不同可分为以下两类:新建建筑防氡降氡措施和已建建筑防氡降氡措施。

1 新建建筑防氡降氡

1.1 建筑房屋的选址

在建筑房屋建造之前需要对房屋所在区域的土壤氡浓度有一定的了解,所建区域没有检测数据的需要进行土壤氡浓度检测,以避免房屋建在土壤氡浓度超过国家标准的土地上。土壤氡浓度小于 $20,000\text{Bq/m}^3$,土地面可不采取防土壤氡工程措施;大于 $20,000\text{Bq/m}^3$ 且小于 $30,000\text{Bq/m}^3$,应采取建筑物底层地面抗裂及封堵不同材料连接处、管井及管道连接处等措施;大于 $30,000\text{Bq/m}^3$ 且小于 $50,000\text{Bq/m}^3$,除应采取上述要求的措施外,地下室应按现行国家标准《地下室防水技术规范》GB 50108的有关规定进行一级防水处理;土壤氡浓度大于 $50,000\text{Bq/m}^3$,采取综合建筑构造防土壤氡措施。

1.2 建筑防氡设计

国家标准根据土壤氡浓度的大小对土壤进行了分类,共分为四类土。对于一类土地,其土壤氡对室内氡浓度影响较小,可不采取工程措施。对于二类土地,土壤氡对室内氡浓度影响已经很明显,应采取建筑物底层地面抗裂及封堵不同材料连接处、管井及管道连接处等措施。对于三类土地,除采取二类土地的措施以外,还应对基础进行一级防水处理,这样既可以防氡,又可以防地下水,事半功倍,降低成本。而且,地下防水工程措施有成熟的经验,可以做得很好。对于四类土地,土壤氡对室内氡浓度影响非常突出,单靠一种构造措施很难达到防治氡的目的,故应采取多种综合的构造措施。

工程场地土壤为四类土时,最好的方法是将一层架空,这样土壤中析出的氡扩散至空气中,无法进入室内。这种方式比较适合非采暖地区,一层架空的同时可以为建设项目提供开敞的空间,可以用于休闲、绿化和停车,提示空间品质。但在采暖地区这样做增大了体形系数,增加了散热面不利于节能,应慎用。

对于无架空层又没有地下室的建筑地基与一层之间应设隔离构造措施阻止土壤氡进入室内。隔离构造有以下三种:设空气隔离间层、设膜隔离层以及土壤减压法。空气隔离间层是通过自然通风的方法降低土壤氡溢出土壤后的浓度,以减少土壤氡进入室内的数量。为保证隔离间层通风畅通,要求间层内部及四周均设有通气口,不能形成封闭空间。这种设计方法在我国很多地区均有采用,原本的目的是为了防潮,但这种构造同时对防氡也有很好的效果,一举两得。膜隔离层主要是运用防氡膜防止氡气渗透。防氡膜由一种特殊的塑料和弹性复合体组成。此复合体结构非常紧凑可以防止氡气渗透,加强防氡膜由聚酯膜组成弹性、耐穿刺、涤纶面膜,其下方铺设防腐的玻璃纤维,并且加上铝膜构成一个屏障,可防止氡气穿刺。而土壤减压法较为专业,具体得参照JGJ/T 349-2015附录C。

1.3 建筑材料选择

在建筑材料的使用上则要尽可能选择铀、镭含量较低,即放射性核素含量不超过国家标准以及氡析出率不超过国家标准的建筑材料。减少使用放射性核素含量较高的花岗岩碎石、磷石膏墙板、煤渣砖或掺有粉煤灰的水泥砌块等建筑材料。

1.4 建筑施工

建筑施工过程中对于防土壤氡施工、防氡涂料施工及防氡复合地面施工均要按照国家标准的要求进行,减少建筑施工过程中出现的裂缝、孔洞等。

防氡土壤氡施工主要防止基础底板开裂,基础底板混凝土初凝前宜在底板保护层内沿底板表面铺一层钢丝编织网片。施工中后浇带宜用于不允许留设变形缝的工程部位。

防建材氡施工主要是防氡涂料和防氡复合地面的施工。目前国产的防氡涂料一般都是涂刷在腻子层上,对于涂刷在腻子层上的防氡涂料,必须待腻子层实干后方可举行涂刷涂料。防氡复合地面施工应在墙面防氡涂料施工完毕后再进行施

工,为保证良好的气密性,防氡地面要与墙面防氡涂料有可靠的交接。

2 已建建筑防氡降氡

对于新建建筑氡浓度高于 200Bq/m^3 或已建建筑氡浓度高于 400Bq/m^3 时,应实地勘察建筑物的构造、房间分布、通风状况、建筑材料、超标房间位置,分析氡的可疑来源,通过采取加强通风、涂刷防氡涂料等方法降低室内氡浓度。

(1) 采取通风降低室内氡浓度。对氡浓度水平较高甚至超标的房间,采用通风降氡是一种控制氡浓度的经济而有效的方法。首选增加室内的自然通风,如:勤开窗开门、保持空气的流通增加室内空气的换气率;减少窗户的密闭性,增加窗户数量和面积等。当增加室内自然通风降氡效果不理想时,可使用机械通风。目前在住宅建筑内使用较多的有两种类型的机械通风,一种是简易排风扇,此种装置主要安装在窗户上,接通电源后可长期运转。在此基础上有改进型的排风装置,镶嵌在窗户上,有风速控制、运转时间控制等功能,对于室内通风有更好的控制。另外一种中央新风系统,将户外的新鲜空气通过负压方式自动吸入室内,通过安装在卧室、客厅或起居室窗户上的新风口进入室内,自动对新风除尘过滤,再由对应的室内管路与数个功能房间内的排风口相连,形成循环系统将室内氡气带走,集中在排风口呼出。在室内通风不足氡气污染较为严重情况下,打开中央新风系统可以持续保持室内空气良好。

(2) 使用防氡涂料降低墙体、天花板和地板的氡析出。对于毛坯房检测出室内氡浓度超标时,可以使用防氡涂料涂刷墙体、天花板和地板,通过密封的方法,可以减少墙体、天花板、地板等氡的析出从而大大降低室内氡浓度水平。

民用建筑室内氡污染的防治措施涉及建筑设计,结构设计,通风给排水系统的设计等多个方面,需要多个专业协同完成。在新建建筑时,必须选择土壤氡浓度较低的地区建造房屋;在使用建筑材料和装饰材料上应遵循选用符合国家标准材料;通过减少氡进入室内的途径来控制室内的氡浓度。对于已建建筑通过涂刷防氡涂料,密封室内缝隙及加强通风等减低室内氡浓度。民用建筑氡污染的防治是一个系统工程,只有各方面密切配合,全方位的采取措施,才能有效地做好室内防氡降氡的工作。

我国氡防治技术在理论研究方面取得了显著的成果,但是受到资金、技术以及公民意识等因素的制约,氡防治技术应用的研究进展缓慢,与欧美等发达国家相比还有一定的差距。我国有必要在法律法规、国家标准制定以及人们防氡意识等方面出发,加强室内氡相关理论与规律的研究,寻找出一条适合本国国情的室内氡污染的防治方法。

《医学参考报·放射医学与防护频道》 2015年工作会议纪要

2015年12月4日在北京大学第三医院召开医学参考报—放射医学与防护频道2015年工作总结和2016年工作计划会议。参加会议的有专家委员会主任委员尉可道、副主任委员贾廷珍、委员周湘艳、王文学、白光,有主编马力文主任、副主编姜恩海,还有常务委员张淑兰、编辑部主任张照辉、学术发展部主任梁莉以及骨干编辑曹宝山和肖宇等。

会议由马力文主编主持并对2015年《频道》出版情况进行了总结:1)本年度《频道》都能按期出版,每期内容较为集中,多为近期,反映了专业的新进展和新成果,体现了办报宗旨;2)报道文章中大幅度的文章有所减少,短篇报道明显增加,而且多了一些新书出版信息、会议信息、会议报道和个别人物介绍;3)增加了文章述评,起到了导读的作用。但个别期《频道》内容过于分散,综述文章显多,原文翻译的文章也有点多,还有少数短篇报道的文章时间超过了半年。希望2016年《频道》办的更好。感谢大家对工作的大力支持。

会议讨论了2016年出版计划,并取得一致意见。

2016年《频道》出版计划

期次	执行主编	内容	点评专家及内容
第一期	吕慧敏	氡的照射	尚兵, 氡照射相关内容
第二期	李君利	辐射防护	
第三期	刘强 高玲	低剂量辐射效应, 特别是免疫效应	
第四期	郭国祯	非电离辐射效应	白光, 电离与非电离辐射基本概念
第五期	李蓉 刘玉龙	贫铀的效应和防治	
第六期	刘芬菊	放射损伤	
2017年第一期	北医三院	放射性损伤	

对今后工作提出改进的几点意见,总结如下

- 继续执行主编负责组织文章的办法。不采取按照单位分摊征稿,有一为主单位,兼有跨单位征稿,这可使稿件更有专业特色。
- 大幅度的文章(主题文章)可保持每期1-3篇,其余部分以摘要报道为主,内容应与主题文章紧密衔接,以免内容过于分散。
- 各位编委,特别是执行主编要熟悉《频道》出版的工作路径,严格按相关规定把好刊物出版的质量关。
- 报刊可刊登会议消息、新书介绍、作家专栏和专家点评
- 每年第一期增加主编或编辑部启示录,将主编总结和会议纪要进行刊登。
- 积极发挥年轻骨干作用
- 积极筹措经费以保障《频道》出版不受其影响。(张照辉报道)

新型墙体材料与室内氡的控制

清华大学辐射防护与环境保护研究室 王俊霖 朱立

氡是除吸烟外引发肺癌的第二大原因,氡广泛存在与我们生活的空间,人们接触到氡的机会比香烟更多。因此世界卫生组织2009年发布了氡手册,建议从建筑源头来控制氡的污染,并将室内氡的控制水平从 $200\text{Bq}/\text{m}^3$ 降低到 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ 。2015年我国最新颁布的GB/T16146-2015室内氡及子体控制要求等效采用了WHO的限值,同时考虑到现存照射防护的最优化原则,给出 10mSv 的剂量限值。

我国房屋面积居世界首位,每年新增的建筑面积约20亿平方米,占世界一半。在高层建筑和多层建筑中,建筑材料是室内氡的主要来源,其贡献占到室内氡来源的60%~70%。随着我国掺渣建材,特别是含粉煤灰混凝土、轻型发泡混凝土的广泛使用,使得我国室内氡水平较二十世纪八九十年代有所提高。因此,控制室内的氡浓度,对建筑材料放射性的控制尤为重要。

1 建材现状

在我国现行GB6566-2010建筑材料放射性核素限量中根据建材的功能与用途,将其分为建筑主体材料和装饰装修材料。

主体材料中的墙体材料是我国建筑材料工业的重要组成部分,其用量约占所有建筑材料用量的1/2,与土地资源、生态环境以及居住环境都有着密不可分的关系。2013年底,我国第二次全国土地调查结果显示,全国耕地面积共20.3亿

亩,仅占国土面积的14%,人均耕地面积不到世界平均水平(3.9亩)的一半。而传统墙体材料(如实心粘土砖)在生产过程中不仅需要消耗土壤,浪费大量良田,还需要消耗电能和煤,产生大量烟尘和有害气体,使大气受到严重污染。此外使用实心粘土砖作为建筑物外墙材料,由于其外墙保温性能差,也与我国建筑节能和环保的目标相悖。

因此为了节能和资源保护,相对于传统的墙体材料,我国提出了“新型墙体材料”的概念。1992年,国务院发布《关于加快墙体材料革新推广节能建筑的意见》,我国墙体改革的序幕随之被拉开,新型墙体材料行业得到加速发展,我国建筑主体材料逐渐往轻质、多孔、掺渣等方向发展。到1994年新型建筑材料已占建筑材料的12.8%。2010年的时候,国务院办公厅已经发布了《关于进一步推进墙体材料革新和推广节能建筑的通知》,其中规定:2010年底,中国境内的所有城市都要禁止使用实心粘

土砖。新型建筑材料不仅具有符合建筑功能要求的技术性能,如质量轻、强度高、保温隔热等;而且也具备节省自然资源、节约能源消耗、降低生产成本、提高生产效率和满足复合功能等特点,在各类建筑工程中获得了广泛的推广和应用。在即将到来的十三五期间,节能环保与改善民生工程将依然是规划的主旋律,这些都为新型墙体材料的发展带来了契机和广阔的市场前景,同时也对新型墙体材料的本身提出了更明确和严格的要求。

2 新型建材与室内氡

近年来由于环保和节能的需要,轻型发泡混凝土的应用越来越广。荷兰调查发现现代住宅内氡气来源于建筑材料的比率达到60%~70%。德国对10种常用的建筑材料产生的内照射剂量 ER_n 和外照射剂量 E_γ 进行了评估,传统水泥的 ER_n 和 E_γ 分别为 $< 0.3\text{mSv}$ 和 $0.02\sim 0.05\text{mSv}$,轻型混凝土(Lightweight Concrete)分别 $0.3\sim 10\text{mSv}$ 和 $0.1\sim 0.5\text{mSv}$ 。与传

统混凝土相比,轻型混凝土中氡的贡献约增高了5~10倍。

我国也存在同样的问题,2005年结束的我国26个地区室内氡调查结果显示,我国典型地区室内氡浓度的算术均值为 $43.8 \pm 37.7\text{Bq}/\text{m}^3$,该结果虽然与UNSCEAR推荐的 $40\text{Bq}/\text{m}^3$ 世界典型值接近,但与上个世纪80年代全国调查数据相比,氡的浓度增加了近80%。图1为北京、上海等城市不同年代氡调查数据的比较。

贵阳对2000年后修建高层建筑进行了专项调查,结果显示有15%的房间氡浓度超标我国规定的 $200\text{Bq}/\text{m}^3$ 的限值。

3 相关国家标准

室内氡浓度增高这种情况在我国其他城市也普遍存在,为了更好的控制我国室内氡,建立和完善相关的规定是必不可少的。

当前国家标准GB6566-2010建筑材料放射性核素限量对于建筑主体材料的放射性控制采用了内外照射指数,通过测量建材中天然放射性核素 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的放射性比活度来达到控制建材放射性的目的。其中专门对于空心率大于25%的建筑主体材料提出了内照射指数 $IR_a \leq 1.00$,外照射指数 $I_\gamma \leq 1.30$ 的要求。

但是随着人们对于氡的性质认识加深,发现仅限制建材中 ^{226}Ra 的比活度,很难达到控制室内氡的目的,特别是孔隙率很高的加气混凝土。为了能够更为准确的有效的控制

放射性水平。在国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范(GB50325-2010)》中增加了建材表面氡析出率这个参数。即单位面积、单位时间土壤或材料表面析出的氡的放射性活度。并对于民用建筑工程所使用的加气混凝土和空心率大于25%的空心砖等建筑主体材料较《建筑材料放射性核素限量(GB6566-2010)》增加了表面氡析出率 $E \leq 0.015\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的放射性限量。但目前我国对于准确可靠的测量建筑材料的表面氡析出率还无法实现,提出的控制指标缺乏可操作性。

建筑材料中氡从母核镭中衰变产生到释放到大气的过程是一个非常复杂的过程,不仅与母体核素含量有关,还与核素的分布、介质的物理特性如孔隙度、含水率、材料的表面结构、骨架粒度等有关。以色列曾提出直接采用氡析出率作为建材氡的控制指标,建议值为 $1\text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。由于受到材料形状、尺寸以及气象、通风等诸多因素的影响,波动范围很大,实际应用中难以操作,最终未被采纳。奥地利首先将氡的射气系数引入国家标准,使用建材厚度,密度和射气系数三个因数对内照射指数进行修正。2009年以色列发布的SI5098建材放射性控制标准,也将射气系数作为建材放射性的控制的指标。虽然目前缺乏对射气系数模型的有效性和实用性验证,但为解决建材氡放射性控制提供了新的思路。

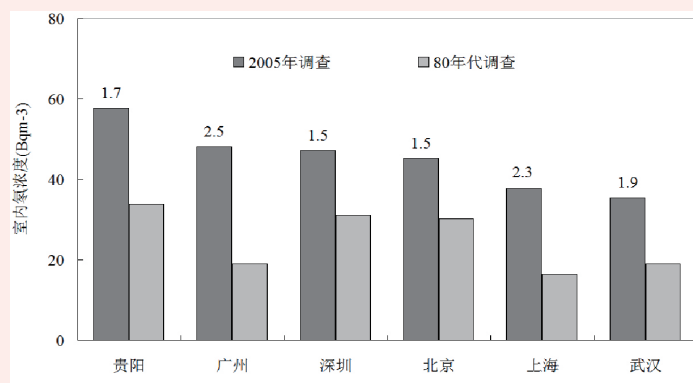


图1 不同年代氡调查数据的比较

中华医学会第十次全国放射医学与防护学术交流会在广西北海召开

中华医学会第十次全国放射医学与防护学术交流会在2015年12月2日~3日在广西北海召开。在中华医学会的领导下,在中华医学会放射医学与防护学分会第九届委员会、全体与会代表和会务组成员的共同努力和配合下,按计划完成了学术交流会的全部内容。在此期间还顺利完成了中华医学会放射医学与防护学分会第十届委员会。

出席学术交流会的会议代表近300人,分别来自科研院所、高等院校、各级疾病预防控制中心、职业病防治机构、卫生监督所、临床医院、放射卫生技术服务机构、企业以及中华医学会学

术会务部、组织管理部等单位。

会议共收到论文246篇,其中放射医学基础与临床部分论文138篇,放射卫生防护、应急及其他论文108篇。

会议期间共安排会议报告62个,其中特邀报告1个,大会报告14个,分会报告47个。

该学术交流会安排的学术报告内容新颖、全面。本领域的专家、学者将国际上最新的研究热点和研究前沿的新理念、新观点、新手段、新技术等带到了会上,并同与会代表进行了充分交流与讨论,使与会代表能够了解放射医学与防护领域的国内外研究内容和动向。

会议特别邀请到中国核工业集团公司,中国工程院潘自

强院士作了“辐射水平和影响研究的一些问题和进展”特邀报告,潘院士将国际上关于辐射水平和影响研究的一些最新观点、研究热点和目前研究中存在的问题等相关内容传递给与会代表,与会代表也利用难得的机会提出了他们感兴趣的问题与潘院士进行了讨论和交流,特别是为年轻的青年学者提供了近距离与院士沟通和交流的机会。

大会报告内容涉及的研究领域广泛,包括放射生物学效应研究、放射医学基础研究,国际医用辐射防护研究的进展、国际辐射流行病学研究进展、国际电离辐射个人剂量监测工

床救治案例介绍、以及放射诊疗设备应用的受检者剂量研究等与放射医学与防护领域相关的研究进展及热点问题报告。

该会议得到我国放射医学与防护领域广大科技工作者、在读研究生的积极响应和高度关注。他们将本单位高水平的研究成果或阶段成果带到会上进行交流,使本次会议能够在百花齐放、百家争鸣的友好、和谐的气氛中圆满完成。

该学术交流会还分别安排了“放射医学基础与临床”和“放射卫生防护与应急”两个分会场进行学术交流,与会代表将他们近年来在各自领域所取得的研究进展和研究成果在分会场上进行了交流和讨论。

会议期间还顺利完成了中华医学会放射医学与防护学分会的换届改选工作,选举产生了中华医学会放射医学与防护学分会第十届委员会、常务委员会和领导班子。新一届委员会由75名委员组成,孙全富研究员任主任委员,岳保荣研究员任前任主任委员,苏旭研究员任候任主任委员,杨晓明、樊飞跃、刘晓冬、卓维海等四位研究员任副主任委员,常务委员会由26名委员组成。

该会议在全体与会代表的积极支持和大力配合下,按照预期计划顺利召开并完成了会议的全部内容,圆满闭幕。

(中华医学会放射医学与防护学分会 范瑶华 报道)

氡浓度超标住宅氡来源分析与治理实践

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 尚兵 崔宏星

1 概况

2010年在北京小汤山发现一些氡浓度超标的房屋,对其中一个小院的4栋房屋进行了降低氡浓度的方法研究和效果跟踪。小院位于小汤山地热田中心地带。据北京市地质工程勘察院提供的《北京市小汤山地热田地下热水资源评价报告》,该地区地热资源丰富,若按深度2,000米,水温 $> 40^{\circ}C$ 圈定,热田面积达86.5平方公里。小汤山地热田在构造上处于北西向的南口—孙河断裂与北东向的黄庄—高丽营断裂交汇以北的三角地带。地热温泉由中、上元古界和早古生界碳酸盐岩地层中发育而来,众多断裂构造控制了热田内地层的分布、埋藏厚度以及地热水的分布,形成一个相对独立的岩溶裂隙介质沉积盆地传导型地热系统。除此之外,热田内还发育有多条小规模断裂,这些断裂形成于燕山期,具有时代新、活动性较强等特点,为氡气从地下深部向地面运移,提供了有利的条件。

量了13个房间,有12间超过我国《室内空气质量标准》GB/T18883规定的 $200 Bq m^{-3}$ 的氡浓度限值。连续测量结果显示,房间氡浓度变化范围很大,经常有超过 $2,000 Bq m^{-3}$ 的陡峰出现,反应了地热田地区土壤氡活动性较强的规律。室内氡浓度与邻近土壤氡浓度之间存在

正相关性,相关系数 $R^2=0.5223$ 。室内外 γ 剂量率及建筑材料放射性核素含量的测量结果均在正常本底范围。

小院建筑物为独立结构平房,不带地下室。房间地板分为3层,底层是10cm厚水泥,中间设有地热管道,水泥上方为瓷砖或木地板。因地面未做

防水密封处理,采用嗅探式测量,可在地板边缘、管道连接处测量到明显的氡气泄露点。根据测量结果和现场勘查可以确认,建筑物中的高水平的氡气主要来自于地基土壤。

建筑物外侧开设了4个进气窗,使室外空气随时可流入通道。其中2个带抽气泵,如果风力不够,可通过气泵增加通道里的气体交换速度。最后,在建筑物两侧各安装1组高度为1.8m(高于呼吸带)的排气管(见图1~图3)。

3 降氡方法的研究

降低室内氡浓度的方法很多,按原理可分为屏蔽法(如防氡涂料,地面防氡膜、各种密封剂等)、驱除法(自然通风、机械通风、土壤减压等)、吸附法(活性炭吸附袋或净化装置)、沉积法(利用风扇搅动或负离子中和的净化器)等。

采用土壤减压法对超标最严重的一栋房屋进行了降氡改造。该方法是在土壤地基与地板间修建一个气体可以流动的通道或隔层,通过降低隔层中的氡浓度,达驱逐和阻隔土壤氡进入房间的目的。

具体做法如下:首先在房间地板下挖一个60cm深的坑,形成气流通道。然后对铺设的地板进行密封处理,用密封剂或防氡涂料封堵地基衔接处及地板表面的缝隙。另外,在建

改造完成后,对该建筑所有房间(10间卧室+2间客厅+2间工作室)进行了主动减压(启动气泵)和被动减压(仅靠自然通风)测试,主动减压和被动减压平均降氡率分别为95%和62%。

一年以后,选择氡浓度污染最严重的冬季,采用累积探测器进行了1个月的跟踪测量。结果显示:主动减压房间氡浓度均值为 $49 Bq m^{-3}$,范围值 $40\sim 70 Bq m^{-3}$,降氡率为86%,所有测值低于WHO提出的 $100 Bq m^{-3}$ 控制下限。被动减压氡浓度范围值 $100\sim 180 Bq m^{-3}$,均值为 $144 Bq m^{-3}$,降氡率为58%,所有测值低于我国标准规定的 $200\sim 400 Bq m^{-3}$ 的控制下限。与未经改造的建筑物相比,氡浓度明显降低,达到了预期的效果。

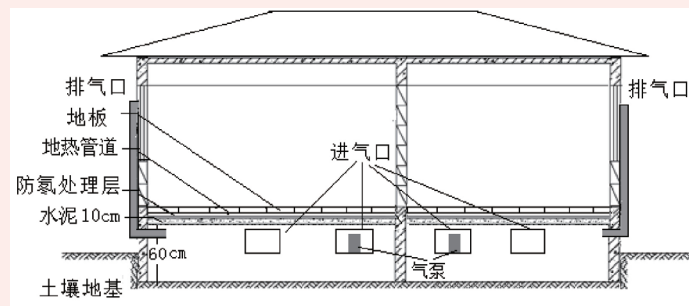


图1 房屋进行土壤减压改造的示意图



图2 房地地基处的进气窗和气泵



图3 房屋两侧的排气管

2 氡的来源分析

采用累积探测器对小院土壤和建筑物中的氡浓度进行了测量。土壤氡浓度均值为 $12,890 Bq m^{-3}$,明显高于北京市平均水平($7,600 Bq m^{-3}$),一些点超过 $20,000 Bq m^{-3}$ 。4栋建筑物在冬季关闭门窗情况下,测

表1 不同方法降氡效果与费用

降氡方法	降低率(%)		费用		持续性	缺点与不足
	氡气	氡子体	设备/改造	年运行		
自然通风	30~90	60~90	—	—	临时性措施	受到季节、风力影响 仅对子体有效
净化除氡	8~49	92~96	2000元/间	500元/间	—	找源困难,易开裂
表面屏蔽	49~64	—	700元/间	—	—	成本较高,需运行费
土壤减压主动	80~90	—	12,000元/间	700元/间	永久性措施	成本较高,受天气影响
土壤减压被动	30~80	—	12,000元/间	—	—	—

4 降氡方法的比较

采用不同降氡方法对小院超标建筑进行了试验,改造和运行费用按照每间房屋 $15m^2$ 的居住面积计算,不同方法的降低效果和费用见表1。

上接第2版

的影响,从趋势上来看,除了20岁年龄组外,微核率随着年龄的增加而增加。

5 高氡暴露地区居民肺癌相关基因表达

Real-time PCR结果表明,与对照相比,高氡组人员的p53基因表达下调,是对照组的0.97倍,k-ras和p16基因均有上调的趋势,分别是对照组的1.33和1.5倍。但三个基因均无统计学差异;基因翻译水平与转录水平的变化趋势相一致。

6 高氡暴露地区居民肺癌相关 microRNA 表达

高氡暴露组 let-7a、miR-145 的表达均下调,分别是对照组的0.61倍和0.64倍,两组之间的差异均无统计学意义。高氡暴露组 miR-34a 和 miR-34b 表达分别是对照组的15.7倍和351.24倍,两组之间的差异非常显著。

7 基本结论和讨论

细胞遗传学的研究显示,染色体畸变高氡暴露组和对照组“双+环”均远远高于国内外健康人的自发染色体畸变率;高氡暴露组的断片和染色单体断裂均高于对照组,“双+环”率随着洗澡次数的增多呈上升趋势。高氡暴露组的微核率和微核细胞率均高于对照组,且随着年龄的增加而增加。提示高氡暴露组研究对象受可能受到了一定的辐射损伤。分子生物学结果表明,p53、p16和k-ras基因转录水平和蛋白表达水平的结果相符合,但是每个基因在两组之间均无明显差异。高氡暴露组 let-7a 和 miR-145 的表达下调,miR-34a/b 异常高表达,示这可能是辐射损伤的早期标记,该结果可为进一步开展氡致肺癌生物标志物的研究提供线索。

国际正式命名“吴祖泽星” 祝贺《医学参考报》顾问吴祖泽先生获此殊荣

2015年11月30日,军事医学科学院举行“吴祖泽星”命名仪式,中国科学院紫金山天文台小行星命名委员会副主任杨捷兴研究员宣读国际命名公报,决定将盱眙观测站在2007年10月9日发现的207809号小行星永久命名为“吴祖泽星”。命名仪式上,小行星发现者、中国科学院紫金山天文台赵海斌研究员介绍了“吴祖泽星”轨道运行和发现情况。紫金山天文台党委书记张丽萍向吴祖泽院士颁授“吴祖泽星”命名证书,并致贺词。军事医学科学院院长贺福初、政委殷志红和紫金山天文台汪琦研究员赠送“吴祖泽星”天体运行模型、命名铜匾和轨道演示光盘。至此,广袤无垠的宇宙太阳系里又将有1颗小行星以中国科学家的名字命名。



军事医学科学院院长贺福初、政委殷志红向吴祖泽院士赠送“吴祖泽星”天体运行模型

吴祖泽院士,专业技术少将,一级研究员,博士生导师。2012年为我们签发贺词、亲为顾问,鼓励和指导我们承办《医学参考报》放射医学与辐射防护频道。

吴祖泽院士是中国造血干细胞研究的奠基人和实验血液学的先驱,成功地实现了世界上首例胎肝造血干细胞移植治疗急性重度骨髓型放射病人,迄今存活超过30年。首次获得人缘干细胞生长因子,被誉为“中国造血干细胞之父”。多次获奖,著作等,2000年获“科学技术一代名师”荣誉称号。

净化器降氡效果研究

中国疾病预防控制中心 辐射防护与核安全医学所 尚兵 崔宏星

氡和氡子体同时存在于空气中,人们吸入含氡空气后大部分氡气被呼出,氡子体则会沉积在呼吸道内,对支气管上皮组织产生照射,最终诱发肺癌。根据 UNSCEAR 估算,吸入氡和氡子体的剂量转换因子 DCF (Dose Conversion Factor) 分别是 0.17 和 9nSv/(Bqhm⁻³),也就是说氡子体的剂量贡献是氡气 53 倍。吸入氡子体是公众受到天然辐射照射的最高暴露。

氡子体以结合态、未结合态的形式存在于大气中,空气净化器通过滤膜过滤技术将大气中的颗粒物,包括附着在气溶胶上的结合态氡子体 (Rn_b) 和纳米级的未结合态氡子体 (Rn_{du}) 截留在滤膜上来去除空气中的氡子体。本文采用德国 EQF3120 氡子体测量仪,对一台过滤型空气净化器去除氡子体的

效果进行测定。该净化器有 3 档风量 (强风 =600m³h⁻¹;弱风 =550m³h⁻¹;睡眠风 =480m³h⁻¹),对不同风量的降低氡子体的效果进行了测试。

1 氡子体去除率 η :

η 是指净化器运行期间和开机前室内污染物降低的比率,计算公式如下:

$$\eta = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中: η —去除率, %;
 C_0 —净化器使用前房间里 Rn_b 和 Rn_{du} 的浓度, Bq m⁻³;
 C_t —净化器运行 t 时刻的 Rn_b 和 Rn_{du} 浓度, Bq m⁻³。

2 年有效剂量 E :

年有效剂量 E 是评价吸入氡危害程度的重要指标,氡子体对人体的危害主要是吸入后对呼吸系统产生的内照射。本

文主要考虑开机前后的结合态和未结合态氡子体浓度变化和由此产生的年有效剂量,结合态氡子体和未结合态氡子体的年有效剂量 E_{RnD}、E_{RnDu} 和 E 总可用以下公式计算。

$$E_{RnD} = C_{RnD} \times DCF_{RnD} \times t \quad (2)$$

$$E_{RnDu} = C_{RnDu} \times DCF_{RnDu} \times t \quad (3)$$

$$E_{总} = E_{RnD} + E_{RnDu} \quad (4)$$

DCF_{RnD} 和 DCF_{RnDu}—结合态氡子体和未结合态氡子体的剂量转换系数,分别采用 9 和 140nSv/(Bq h m⁻³);

t—停留时间, h, 工作场所和住宅的年停留时间分别采用 2,700 h 和 7,000 h。

3 去除效果评价

1) 地面住宅降低氡子体效果

地面建筑为一栋独立结构房屋的卧室,房间面积 16m²。

试期间关窗,使房间尽可能保持在稳定状态。净化器置于房间中间,距离测量装置约 1 米。净化器运行前对房间氡和氡子体进行了 48 小时连续测量,氡和子体浓度在 50~250 Bq m⁻³ 和 40~70 Bq m⁻³ 之间。净化器测试采用了 3 个风量,测试时间持续 26 天,图 1 是房间中 C_{Rn}、C_{RnD} 和 C_{RnDu} 的连续测量结果。图 2 开机前后年有效剂量 E 的变化。开机期间 C_{RnD} 降低明显, C_{RnDu} 降低幅度不大。根据公式 (1) 净化装置运行期间 η_{RnD} 可达到 92%~96%; η_{RnDu} 为 40%~50%。年有效剂量在 1.8~2.2mSv,均低于 3mSv 国家标准规定的剂量控制下限。

2) 地下室降氡子体效果

地下室测点位于市区一栋修建于上个世纪五十年代的砖混结构楼房,该建筑 1~4 层

为正在使用的实验室和办公室,地下室为人防工程,目前用作仓库。地下室所有房间没有窗户,里面氡和氡子体浓度非常高。

图 3 是净化器运行前后地下室中 C_{RnD}、C_{RnDu} 和 E 总的变化和去除率 η 。净化器运行 4 h,结合态氡子体 RnD 的去除率为 80%~87%;未结合态氡子体 RnDu 去除率为 60%~80%;有效剂量 E 总可降低 70%~80%。

可见,强风和弱风运行 4 h 的 E 总值 <10mSv,符合国家标准规定的室内氡剂量控制限值。睡眠风运行 6 h 的 E 总值也可达到 10mSv,净化器降低氡子体和氡剂量的效果明显。净化器可明显降低室内氡子体浓度和有效剂量,可以作为不适宜通风的季节降低室内氡的补充。

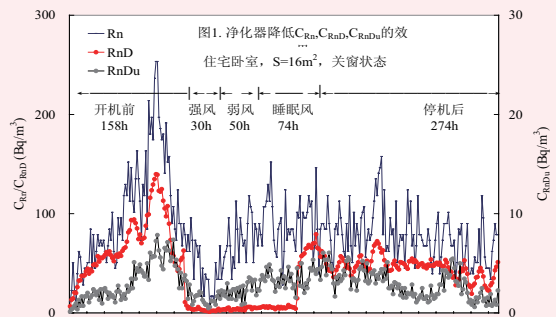


图 1 净化器运行期间地下室 CRn、CRnD 和 CRnDu 的变化

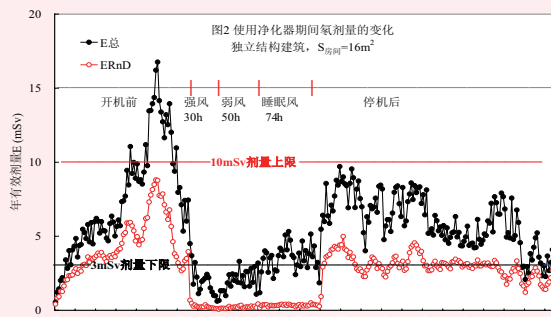


图 2 净化器运行期间房间中 E 总的变化

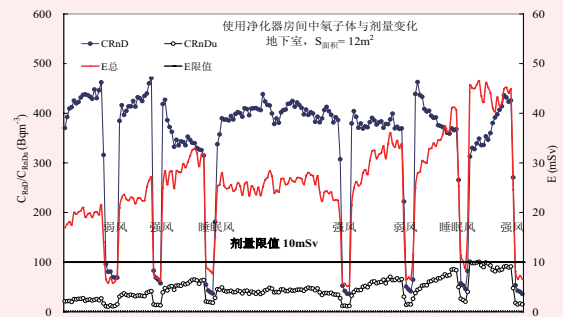


图 3 净化器运行期间地下室 CRnD、CRnDu 和 E 总的变化

上接第 3 版

2 生活饮用水氡含量调查

人们在 20 世纪 50 年代末就注意到了饮用水中氡的问题。世界上一些发达国家和中等发达国家,如:美国、芬兰、瑞士、德国、英国等相继开展了饮用水氡浓度调查。美国水氡调查结果表明,地表水、地下水和井水中氡浓度均值分别为 1.1 Bq/L、11.5 Bq/L 和 208 Bq/L。芬兰井水氡含量人口加权平均值为 56 Bq/L,英国饮用水中氡含量最高值为 26 Bq/L,德国饮用水中氡含量范围为 0.4~4 Bq/L。

我国 20 世纪 80~90 年代研究人员对部分地区的自来水、地热水、井水中氡含量进行了测定。1984~1991 年陈以彬等利用射气闪烁法对 49 个主要城市自来水中氡浓度进行了测定,自来水中氡浓度范围 0.23~42.7 Bq/L,算术均值为 9.04 ± 11.21 Bq/L。我国部分地区不同类型水源中氡含量调查表明,水中氡的含量与水源类型密切相关,不同水源的水中氡浓度差别很大,矿泉水 > 井水 ≥ 自来水 (水源为井水) > 自来水 (水源为地表水) > 地表水。

2014 年,笔者选择北京、内蒙古、宁夏、陕西、河南、辽宁和黑龙江共 7 个省 (直辖市) 的 12 个典型城市,采集生活用地下水,采用连续测氡仪测量装置初步调查结果显示,7 个省 (直辖市) 的 12 个典型城市的生活用地下水中氡含量均值为 11.8 Bq/L,范围为 0.96~63.8 Bq/L,其中氡含量低于 10 Bq/L 的样品数占总样品数的 60.3%。

3 水氡控制标准

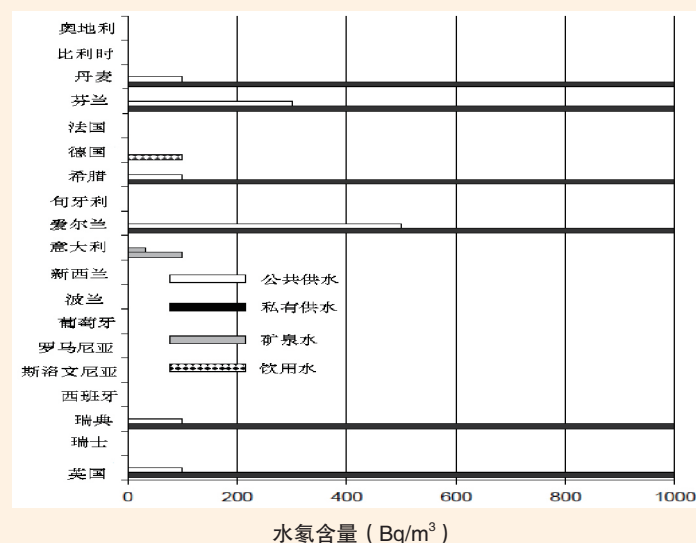


图 2 欧洲国家饮用水中氡参考水平

美国 EPA 于 1991 年首先颁布了饮用水中氡控制限值,饮用水中氡最大允许污染水平为 (Maximum Contaminant Level, MCL) 11 Bq/L。1999 年, EPA 提出饮用水中氡浓度最高不得超过可替换最大污染水平 (Alternative MCL, AMCL) 148 Bq/L,规定当住房内氡浓度低于 148 Bq/m³ 时,水中氡浓度最高不得超过 148 Bq/L;住房内氡浓度超过 148 Bq/m³ 时,如果未对住房采取降氡措施,建议水中氡浓度最高不

超过 11Bq/L。2001 年,欧盟委员会 (European Commission) 给各成员国提出关于饮用水中氡参考水平制订指导意见,建议公共供水系统氡浓度低于 100 Bq/L 不需要采取行动,而高于 1,000 Bq/L 时必须采取补救措施。2004 年,世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 建议公共饮用水中氡浓度超过 100 Bq/L 时应实施控制措施。

丹麦、芬兰、德国、希腊、爱尔兰、瑞典、捷克等欧洲国家分别制订了饮用水中氡浓度参考水平,范围为 20~1000 Bq/L,详见图 2。英国饮用水氡浓度参考水平等同采纳欧盟委员会的建议。波兰规定饮用水中放射性核素 (包括氡) 所致的辐射剂量每年不超过 0.1 μSv。捷克对饮用水中氡的参考水平进行了详细的规定,建议婴儿瓶装水、公共饮用水和瓶装矿泉水中氡的参考水平分别为 20 Bq/L、50 Bq/L 和 100 Bq/L,规定婴儿瓶装水、公共饮用水和瓶装矿泉水中氡的最大允许水平分别为 100 Bq/L、300 Bq/L 和 600 Bq/L。此外,俄罗斯、

斯洛伐克、挪威、罗马尼亚等国也制订了饮用水中氡控制限值,分别为 120 Bq/L、50~1,000 Bq/L、500 Bq/L 和 200 Bq/L。

国际上,多数国家饮用水中氡控制标准为建议性限值,只有少数国家要求强制执行。例如,俄罗斯强制规定所有饮用水中氡的参考水平为 120 Bq/L。斯洛伐克建议饮用水中氡的限值为 50 Bq/L,强制执行限值为 1,000 Bq/L。瑞典规定公共供水中氡的参考水平为 100 Bq/L,私有供水为 1,000 Bq/L,规定大于 1,000 Bq/L 不适合饮用,针对公共供水强制执行,私有供水建议执行。

我国《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006) 中,将生活饮用水中氡含量作为参考指标,其限值采用美国 EPA 规定的 11.1 Bq/L。此外,我国颁布了地热水应用中放射卫生防护标准 (GBZ124-2002),规定了住宅内用于饮用和生活的地热水氡浓度限值为 50 kBq/m³;车间生产用地热水氡浓度限值为 100 kBq/m³;医疗用地热水氡浓度限值为 300 kBq/m³,超过规定限值时,应采取防护措施。