文章编号:1006-544X(2004)01-0087-06

室内空气中氡的来源、危害及控制措施分析

卢新卫

(陕西师范大学 旅游与环境学院,陕西 西安 710062)

摘 要:元素氡及其衰变子体与人体健康关系密切. 在介绍元素氡特性的基础上,系统分析了室内环境中氡的来源及室内空气中氡对于人体健康的危害:室内空气中的氡主要来自于建筑物底部的岩石土壤、建筑装饰材料、室内生活用水及化石燃料;室内氡对于人体健康的影响与氡暴露浓度及人体暴露时间有关,其危害主要表现在引起肺癌及白血病. 针对不同氡源、不同建筑物提出通过污染源的阻断以及通风等具体措施可有效地降低室内氡的浓度,达到改善室内生活环境质量的目的.

关键词:氡;来源;危害;控制措施

中图分类号:O613.16;X591 **文献标识码**:A①

氡是世界卫生组织(WHO)公布的19种主要致癌物质之一[1],是目前仅次于香烟引起人类肺癌的第二大元凶[2]. 氡普遍存在于人类生活的空间之中,由于人们大部分时间工作、生活在室内,所以室内氡的含量水平对人体健康的影响至关重要. 20世纪80年代以来,环境氡与人体健康的关系引起了人们的广泛关注. 1989年国际原子能机构向各成员国政府建议开展“人类环境氡调查”的研究工作. 我国卫生部1996年颁布了《住房内氡浓度控制标准》(GB/T 16146-1995),并制定了配套的《地下建筑氡及其子体控制标准》(GB 16356-1996)、《地热水应用中的放射卫生防护标准》(GB 16367-1996)和《建筑材料放射性核素限量》(GB 6566-2001)等国家标准.

近年来,随着世界各国经济的飞速发展、人们生活水平的快速提高和工作条件的改善,人们的住房条件、房屋结构和工作环境发生了巨大的变化,人们对工作及居住环境的空气质量,特别是室内氡及其衰变子体对人体健康影响的关心日益增加. 室内氡的辐射危害问题已成为公众关注的敏感话题,也成为环境科学、地球化学、环境卫生学等学科中的研究热点[3~10]. 本文主要就氡的性质、室内氡的来源、氡的危害及室内氡的控制措施进行讨论分析.

1 氡的特性

氡的原子序数是86,是元素周期表中第6周期的零族元素、惰性气体族(He,Ne,Ar,Kr,Xe,Rn)的最后一个元素,也是气体中最重的一个元素. 在自然界氡没有稳定同位素,它有3个放射性同位素,即^{222}Rn,^{220}Rn,^{219}Rn. ^{222}Rn是U系(^{238}U)衰变的中间产物,其进一步衰变可产生^{218}Po,^{214}Pb,^{214}Bi,^{214}Po等短寿命子体,而^{220}Rn和^{219}Rn分别是Th系和Ac系中Ra的同位素衰变产物,它们的半衰期分别为3.825 d,54.5 s和3.92 s[11]. 氡本身不参加化学反应,但其衰变产生的射线及短寿命子体对人体健康具有危害作用. 由于^{220}Rn和^{219}Rn的半衰期较短,因而在环境中含量最多、对人体危害最大的主要是^{222}Rn及其短寿命子体[12].

① **收稿日期**:2003-03-06

基金项目:中国博士后科学基金项目(10433);陕西省自然科学基金项目(2003D04)、陕西师范大学重点科研项目(995101)和引进人才基金项目资助(210604)

作者简介:卢新卫(1968-),男,博士,副教授,环境地球化学、环境科学专业.

^{222}Rn 经 α 衰变后产生的子体（如^{218}Po，^{214}Pb，^{210}Pb，^{206}Pb 等）90% 以上被空气中的气溶胶粒子所吸附，呈游离状态，它们能被许多物质（木炭、粘土等）吸附，可在空气中存留较长时间. 氡衰变所产生的 α、β、γ 射线对人体有辐射作用，进入体内的氡及其衰变子体难以排出体外，可促使人体组织产生癌变. 环境中的氡具有一定的溶解性，能够溶解于水、脂肪和各种有机溶剂中. 氡在脂肪中的溶解度为水中的 125 倍，因此，随呼吸进入体内的氡可遍布人体的各个组织.

2 室内空气中氡的来源

^{222}Rn 来源于^{226}Ra 的衰变，1Bq 的^{226}Ra 每秒产生 2×10^{-6} Bq 的^{222}Rn，而^{226}Ra 的多少取决于自然界中^{238}U 的含量. 由于^{238}U 广泛分布于自然界中，从而决定了环境中氡的普遍存在. 由放射性元素衰变产生的氡释放到空气中的量非常大(表 1). 在自然界,岩石、土壤和地下水是空气中氡的主要来源. 从氡的分布范围来看,室外氡主要由岩石、土壤、地下(热)水、矿山、燃煤等介质提供,室内空气中的氡主要由地基(岩石、土壤)、建材、生活用水、燃气和燃煤等介质所产生.

表 1 全球每年释放到大气环境中的氡

Table 1 Radon content released to atmosphere every year Bq/a

来源	土壤	海水	植物和地下水	天然气	煤	建筑物	总计
^{222}Rn 析出率	7.5×10^{19}	9.0×10^{17}	$<2.0\times10^{19}$	3.0×10^{14}	2×10^{13}	3.0×10^{16}	1×10^{20}

注:据文献[13]

2.1 岩石与土壤

空气中^{222}Rn的母体是^{238}U和^{226}Ra. ^{238}U和^{226}Ra广泛分布在自然界的岩石和土壤之中，不同岩石中其含量差异较大（表 2）：在岩浆岩中，铀随着 SiO_2含量的增高而增大；沉积岩中铀的丰度取决于岩石的形成环境与岩石所含碳质、有机质、磷质成分的多少. 花岗岩中铀含量最高，尤其是壳源型重熔花岗岩，其次是页岩、石灰岩和砂岩. ^{226}Ra 是由^{238}U 衰变而形成，因而岩石中镭含量的高低主要与岩石中铀含量密切相关. 土壤中^{226}Ra 的含量受控于成土母质、成土母岩. 由于成土母岩、母质中 U、Ra 含量的不同，导致土壤中 U、Ra 含量也不相同，从而影响到室内环境中氡的浓度. 室内环境中的氡除与岩石、土壤中 U、Ra 含量有关外，建筑物的地基处理方式、地基的裂隙发育程度也直接影响室内氡的含量水平，未加处理的土壤地基及地基裂隙发育的建筑物内氡的含量较高.

表 2 岩石中铀的含量

Table 2 Uranium content of rock

岩石类型	花岗岩	页岩	石灰岩	基性火山岩	砂岩
$w(U)/10^{-6}$	4.70	3.70	2.20	0.90	0.45

2.2 建材及室内装饰材料

建材中放射性核素含量随建材种类及地区不同而有较大的变化（表 3）. 一般来说，木制品、熟石膏、金属、水泥中含量较低，而花岗岩、浮石、粘土砖以及工业副产品如人造石膏、火力发电厂飞灰制成的混凝土、工业废渣中含量较高. 因而，使用不同建材建筑的居室内氡的浓度差异较大（表 4）. 湖南湘西部分煤渣建材住宅内氡的浓度达 189.6 ~ 550.4 $Bq\cdot m^{-3}$（平均达 281.2 ± 23.9 $Bq\cdot m^{-3}$）[14]. 据湖南郴州测定，使用镭含量高达 341 $Bq\cdot kg^{-1}$的石煤渣砖建成的住宅，室内氡浓度达 473 ~ 1 310 $Bq\cdot m^{-3}$，已大大超过国家规定. 目前在我国使用的建材中对室内氡浓度贡献较大的是放射性核素含量较高的煤渣砖或参有粉煤灰的水泥砌块等材料. 这类建材使用于 20 世纪 70 年代末，主要分布在浙江、江西、安徽、湖南、湖北等地：江西上饶地区煤渣砖房中氡浓度的均值为 126.3 $Bq\cdot m^{-3}$，是普通房屋内（81.4 $Bq\cdot m^{-3}$）的 1.5 倍[12]；安徽黄山地区煤渣砖房内氡的浓度为 498 ~ 523 $Bq\cdot m^{-3}$，超过了室内氡浓度的控制限值（400 $Bq\cdot m^{-3}$）. 当建材中镭的含量超过了 500 $Bq\cdot kg^{-1}$时，建材就成

表 3 我国部分建材中镭的含量

Table 3 Radium contents in some building materials of China

建材名称	分布地区	Ra 含量/($Bq\cdot kg^{-1}$)
普通砖	全国	55
碎石	全国	50
普通水泥	全国	50
工业废渣水泥	全国	110
一般煤渣砖	全国	110
石煤渣砖瓦	湖北	890
石煤渣砖瓦	湖南	700
石煤渣砖瓦	华东	100
红砖	成都	56
硅酸盐砖	成都	140
粉煤灰砖	云南	221
煤渣砖	云南	151
煤渣砖	广西	64

表 4　不同建材室内的氡浓度

Table 4　Indoor Rn concentrations resulted from various building materials　　Bq · m^{-3}

建材类型	粘土砖	混凝土	煤渣砖、砌块砖	粉煤灰陶粒	花岗岩	磷石膏	石煤炭化砖
室内^{222}Rn	47.4 ± 24.6	32.2 ± 4.8	91.8 ± 12.4	23.3 ± 5.5	31.5	131 ± 7.2	363 ± 15

注：^{222}Rn 浓度为门窗关闭时的测定值. 数据来自文献[15].

为室内环境中氡的主要来源. 由于用煤渣砖建筑的房屋有一定的普遍性，因此需要加强对用高放射性核素含量的煤渣砖或类似产品建造的房屋进行监测和治理.

随着人们生活水平的提高、住房条件的改善，人们对于室内装修越来越讲究，美观、耐用的天然石材在室内装修中使用量也越来越大. 不同类型的石材其 γ 辐射剂量率是不同的，用表面 γ 辐射剂量率高的石材装修房间后，室内环境中氡的浓度有升高的趋势. 因此，国家对于各类装饰材料的辐射剂量及其用途有严格的标准规定(GB 6566 – 2001)，C 类装饰材料不能用于室内装修，尤其不能用于居室内装修，只可用于建筑物的外装饰及室外其它用途.

2.3　室内生活用水

氡在水中具有一定的溶解度. 不同水体中氡的浓度差异较大，地面水中氡浓度较低，一般在 n kBq · m^{-3}以下，而地下水中氡的浓度变化较为复杂，其富集程度主要取决于水循环过程中岩石内放射性物质的含量和岩石的射气系数. 由于各个地区的地质构造、岩石类型不同，其地下水中氡的浓度差异较大，一般流经变质岩、酸性侵入岩和喷发岩的裂隙水中氡的浓度较高($n \times 100$ kBq · m^{-3})，沉积岩地区水中氡的浓度较低($n \times 10$ kBq · m^{-3}). 地热水中氡的浓度相对较高(表 5)，如陕西临潼华清池水中氡的浓度高达 1 461 kBq · m^{-3}.

综上所述，任何天然水体中都含有氡，而且地下潜水中的氡含量往往又比地表河水、溪水和湖水中的氡浓度高.

当含氡的水暴露于空气中时，大部分氡将从水中释放出来，通常由家庭用水引起的室内氡增加仅占很小份额，但也有例外. 水中氡对于室内环境中氡浓度的影响大小取决于水源、用水量、用水方式、房间大小、房间的通风效果等. 热水喷淋或搅动(如淋浴、厨房洗刷、洗衣机洗衣)能使水中氡最大限度的释放出来. 在体积小、结构严密、用水量大的房间内，室内氡浓度易受水中氡的影响.

表 5　我国几处地热水中氡的浓度

Table 5　Radon concentration of ground warm water in some areas of China　　kBq · m^{-3}

地　点	水中氡的浓度	地　点	水中氡的浓度
广东从化	111	陕西临潼华清池	1 461
江西庐山温泉	185	吉林抚顺温泉	194
新疆乌苏南温泉	227	安徽泮汤温泉	370 ~ 444
辽宁汤河	2 720	北京小汤山	96

注：据文献[12]

人们在做饭、洗衣和淋浴时，水中氡可以释放到室内空气中，水中氡的释放量与温度和时间有关. 当室内生活用水中氡浓度大于 10 kBq · m^{-3}时，水中氡对室内环境中氡浓度的贡献不可忽视.

地下热水开发利用节省了化石燃料的消耗量，并且带来了明显的经济效益，但其利用过程中所带来的放射性卫生问题也值得研究. 必须对地下热水使用单位的室内氡进行监测和评价.

2.4　化石燃料

煤炭、天然气、液化石油气及煤层气等化石燃料在城乡居民的生活能源中占有很大的比例，这些燃料中含有较高浓度的 U、Ra 元素. 资料[16]表明，天然气中氡浓度约为 0 ~ 50 kBq · m^{-3}，在输运过程中，天然气的氡的浓度会降低. 一般情况下，经输运后，管道中氡的浓度约为 0.04 ~ 2 kBq · m^{-3}. 如果管道中氡浓度为 1.5 kBq · m^{-3}，假设每天用气 1 m^3，则可向室内环境中排放 1 500 Bq 氡气. 据 Okamoto 等报道，含 2 mg · kg^{-1}铀的煤，每 1 kg 煤可产生 23.8 Bq 的^{222}Rn. Blackbu 等估计英国的煤燃烧释放氡为 30.8 Bq · kg^{-1}. 煤灰的放射性比煤更高，典型范围是煤的 5 ~ 20 倍. 我国煤中铀的含量为 0.6 ~ 10.4 mg · kg^{-1}；若以含铀 4 mg · kg^{-1}计，十几年前年产煤已达 7 亿多吨，全部燃烧 1 年的煤将产生氡约 3.5×10^{13} Bq，对环境造成污染.

除上述 4 种主要来源外，在某些情况下，室外空气中的氡是室内氡的一个重要来源（如密封性能良好的房间，室外氡进入室内后可在室内累积），室外空气中的氡进入室内主要通过室内外空

气交换.

3 氡及其衰变子体的危害

环境中的氡及其衰变短寿命子体对于人体健康的影响是多方面的，且以低剂量长期作用为主. 元素氡衰变所释放出的 α、β 射线的外照射能损伤人体五官，引起皮肤干燥、毛发脱落等病变，严重时会引起皮肤癌. 随呼吸作用进入到体内的氡在液体和脂肪中有较高的溶解度，它会聚集在脂肪较多的器官中，并衰变产生氡子体，对人体造成危害. 在高浓度氡的影响下人体表现出血细胞（红、白细胞）总数升高、血压下降和血管扩张等效应.

动物实验研究表明，氡的生物学效应主要集中在呼吸道肿瘤、肺纤维化、肺气肿和寿命减少方面. 人体各器官受到氡子体辐射剂量的程度是不同的，其中肺部受到的剂量最大. 而氡子体在肺部产生的剂量分布也是不均匀的，气管、支气管上皮细胞层的剂量大大高于肺区或全肺的平均剂量. 流行病学研究显示低剂量的放射性污染物质氡长期作用是人群肺癌发生的危险因素之一，有研究揭示室内环境中氡浓度升高与肺癌的高发有密切关系[17-19]. 室内空气中的氡及其子体被吸入人体后，氡及其短寿命子体衰变释放出的 α 射线对支气管上皮组织产生辐射危害损伤，使人体接受一定量的内照射剂量. 由于人们在室内停留时间较长，同时室内氡浓度高于室外，因此室内空气中氡及其子体对人体产生的天然辐射剂量远大于室外. 美国环境保护署（EPA）估计，每年因居室氡暴露而死亡的人数有 7 000 ~ 30 000 例，国际癌症研究署（IARC）认为氡及其子体是人类的致癌因子，无阈值.

人体组织吸收氡及其固态衰变子体，还会破坏体内脱氧核糖核酸（DNA）的分子结构，影响细胞的再生过程，从而引发系列癌症病变及血液疾病. 近年来，室内氡浓度与白血病方面的研究越来越多[20-24]，研究结果显示室内氡浓度与白血病的发病率存在一定的相关性. 如 Henshaw 等人研究指出[24]，全世界的白血病、肾癌、黑色素瘤以及一些儿童肿瘤和室内氡暴露有显著性关系，在英国 6% ~12% 白血病可能是氡引起的，在氡暴露较高的康沃尔，23% ~43% 白血病可能是由氡引起的. 全世界室内平均氡浓度 50 Bq · m^{-3} 时，公众各年龄组的 13% ~25% 白血病可能是氡引起. Kildea 指出[25]，氡及其子体在聚乙烯表面积聚比其他表面高 2 ~10 倍，妇女穿戴用聚乙烯纤维做成的衣服（如乳罩）更易受氡辐射，1991 年调查 3 918 名乳癌病人和 1 172 名对照人员，结果显示戴乳罩妇女的危险比不戴乳罩妇女大 1 倍.

氡及其衰变子体对于人体健康的危害主要与室内环境中氡的浓度和人在室内滞留的时间长短有关，也就是说与暴露浓度与暴露时间有关. 一般室内空气中都有氡的存在（室外亦是如此），那么室内空气中氡浓度在多大情况下对人体健康有害，对于人体健康而言有无安全浓度范围，这一问题可从世界各国政府及有关组织所制订的室内氡浓度的“上限值”和“行动值”得到回答. 室内氡浓度“上限值”的含义是指人在其中生活而终生不受氡危害的室内空气氡浓度的范围，该值一般为 70 ~150 Bq · m^3. 室内氡浓度超过上限值较多，而达到“行动值”时，就应采取措施. 室内氡浓度的“行动值”一般为 150 ~ 400 Bq · m^{-3}.

4 室内环境降氡措施

要有效防止氡对人体健康的危害，必须降低室内空气中氡的浓度. 室内环境的降氡措施，一方面要从源头上控制，最大限度地阻断氡气进入室内环境；另一方面通过加强室内与户外的通风，增大空气的流通性，将室内环境中的氡及其衰变子体排出室内，以降低室内空气中氡的浓度.

4.1 源头控制，阻断氡气进入室内

从室内环境中氡的来源看，由于煤炭、液化气、天然气使用的季节性、时间性以及地下热水开采使用的有限性（目前开采量不大，使用单位不多），一般情况下，造成室内氡污染、氡浓度升高的介质主要是建筑物的地基（岩石、土壤）和建材装饰材料. 在地下热水（温泉）洗浴中心，以地下热水为生产、生活用水的单位、住户及饮食行业的操作间等室内环境中，生活用水、煤炭、液化气及天然气对于室内氡浓度将有较大的影响，甚至成为室内空气中氡的主要来源. 对不同氡源、不同建筑物，应采取相对应的降氡措施.

源头控制、阻断氡气进入室内这项降氡措施

对于即将修建的建筑物，在选址、规划设计、地基处理、建筑装饰材料的使用等各个环节都应慎重考虑，提高防氡意识：在建筑物选址、规划设计时，应首先调查该地区是否为高氡分布区，要选择低氡分布区作为房屋的建设基地；如果不能避开高氡区，在地基以及地面处理时，应采用密封性能良好的材料进行严格的防氡处理. 有资料表明，经混凝土、水泥处理的地基及地面，房间内氡的浓度明显低于地砖处理和未处理的房间. 对于墙壁、地面、管道等处可能存在的缝隙要用材料封闭，阻断氡进入居室的通道；在建筑材料上则要尽可能地使用 U、Ra 含量较低的建筑材料，减少使用放射性核素含量较高的花岗岩碎石、煤渣砖或掺有粉煤灰的水泥砌块等建筑材料.

新建房屋装饰时应有绿色环保意识，装饰材料的使用必须参照国家规定的有关标准（GB 6566－2001）选用检测合格的 A 类装饰材料用于室内，C 类装饰材料绝对不能用于居室内装修，这样可以减少装饰材料对于室内空气中氡浓度的影响.

对已经修建并通过专业监测发现室内空气中氡浓度较高的房屋进行降氡时，首先是要寻找氡源. 对于建筑物地基岩石、土壤所引起的高氡房屋，若地面、墙壁存在裂缝，可通过裂缝的密封以阻断地基中氡向室内环境的释放，对于处理不好、氡渗漏严重的地面应重新进行防氡处理；若室内氡浓度升高是由建筑装饰材料所引起，可通过换用合格材料重新装修或者使用防氡涂料粉刷墙体. 有资料表明[26]，在墙壁表面覆盖装饰贴面可以减少氡的析出，室内墙壁、地板、天花板采用防氡涂料，或用质地较好的涂料涂刷，能有效降低材料中氡的析出率. 砖外附有白灰，析出率大约可以降低 3 倍，如果白灰外再涂有油漆，析出率又会降低 1 倍. 一般防潮性能较好的材料，防氡性能也较好，这是因为防潮材料一般都具有很好的密封性能，它在阻止水分散发的同时，也阻止了氡的析出. 国外有一种名为“Radonseal”的防氡防潮材料，当将这种涂料刷在混凝土或砖块上后，它可以渗透一定深度，增加了混凝土和砖块的密实性和强度，同时达到较好的防氡效果.

对于生活用水及燃煤、天然气、液化气所造成的室内氡浓度升高，可通过更新水源或者减少水的使用量，改变使用方式，减少以上化石燃料的使用量等措施从源头上控制氡气进入室内.

4.2　加强通风，降低室内氡的浓度

通风是降低室内氡浓度，提高空气质量最简单最有效的方法，这是因为：氡从土壤或结构表面析出率服从气体扩散的 Fick 定律，氡扩散及扩散系数随着室内温度升高和压力下降而增加，而通风能使室内外气压保持一致或室内略高，从而减少了氡从土壤中析出的数量；同时，加大空气换气量可以把室内的氡及其子体排至室外，用室外空气稀释了室内空气中的氡浓度. 室内通风方式有自然通风（开窗换气）及人工通风（如排风扇、空调等）2 种.

因此，在已建房屋内应多采用开窗换气、机械通风、空气净化器等方法，增大空气的流通，尤其是在安装有空调的房间内也应定期开窗换气，洗衣、洗澡或使用燃气、煤气时，要及时开启换气扇或抽油烟机，把氡气和油烟及时排出室外. 若条件许可，房间内可定期使用空气净化器、负离子发生器等，以降低室内氡浓度.

5　结束语

室内环境中的氡与人体健康关系极为密切，氡的浓度不仅与建材及装饰材料有关，而且与燃煤、燃气、生活用水、建筑物所选择的地基、建筑结构、地基处理方式有关，更与人们的生活习惯、室内通风状况有关. 因此，降低室内氡浓度是一个系统工程，涉及许多部门和单位，特别是涉及到每个家庭和公众. 各方面应密切配合，全方位地采取措施，尤其是建筑施工单位对于建筑过程中的选址、建筑材料及装饰材料的使用必须做到严格把关，从污染源上控制，以减少氡向室内环境的释放. 生活用水方面，减少地下热水的使用. 用水、用煤、用气时应保持户内外的有效通风. 同时，广大公众在日常生活中应养成良好的生活习惯，经常开窗换气，以保持室内环境空气的清洁. 只有这样才能有效地降低室内氡的浓度，保证公众的身体健康.

参考文献

[1] 孙世荃. 人类辐射危害评价 [M]. 北京：原子能出版社，1996. 156－168.

[2] Ford E S, Ehemani C R, Sigel P Z, et al. Radon awareness and testing behavior: findings the behavioral risk factor surveil-

lance system, 1989 ~ 1992 [J]. Health Phys., 1996, 70 (3): 363 – 370.
[3] 翁宝山. 建筑物内氡含量的探讨 [J]. 核子科学, 1993, 30 (3): 219 – 229.
[4] 尚 兵, 王作元, 高平印, 等. 中国甘肃东部地区居民窑洞中的氡浓度 [J]. 辐射防护, 1995, 15 (6): 461 – 463.
[5] 俞义樵, 任天山. 建筑物的降氡方法 [J]. 重庆建筑大学学报, 1999, 21 (4): 55 – 60.
[6] 程业勋, 章 晔, 刘庆成. 居室氡的影响因素及分布特点 [J]. 物探与化探, 1995, 19 (1): 28 – 33.
[7] Bottrell S H. Redistribution of uranium by physical process during weathering and implication for radon production [J]. Environmental Geochemistry and Health, 1993, 15 (1): 21 – 25.
[8] Varley N R. Radon in soil gas and its relationship with some major faults of SW England [J]. Environmental Geochemistry and Health, 1993, 15 (2/3): 145 – 151.
[9] Yu K N, Young E C M, Li K C. A study of factors affecting indoor radon properties [J]. Health Phys., 1996, 71: 179 – 184.
[10] Cohen B L. Test of the linear – no threshold theory on radiation carcinogens is for inhaled radon decay progeny [J]. Health Phys., 1995, 68 (2): 157 – 165.
[11] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社. 1984. 238 – 241.
[12] 中国地质科学院生物环境地球化学研究中心. 地球化学环境 [M]. 北京: 地质出版社, 2001. 80 – 101.
[13] 章 晔, 程业勋, 刘庆成, 等. 环境氡的来源与防治对策 [J]. 物探与化探, 1999, 23 (2): 81 – 83.
[14] 罗开训, 袁镛龄, 李植纯, 等. 煤渣建材住房内氡及其子体浓度与剂量估算 [J]. 中国辐射卫生, 2001, 10 (2): 76.
[15] 杨钦元. 室内氡浓度及其控制措施 [J]. 辐射防护通讯, 2001, 21 (6): 26 – 29.
[16] Gesell T F. Occupational radiation exposure due to radon – 222 in natural gas and natural gas products [J]. Health Phys., 1975, 29: 881 – 887.
[17] 王作元, Lubin J H, 王陇德, 等. 室内氡与肺癌关系研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002, 22 (3): 209 – 214.
[18] Pershagen G, Liang Z H, Hrubec Z, et al. indoor radon exposure and lung cancer in Swedish women [J]. Health Phys., 1992, 63: 179 – 186.
[19] Ruosteenoja E, Makelainen I, Rytomaa T, et al. Radon and lung cancer in Finland [J]. Health Phys., 1996, 71: 185 – 189.
[20] Axelson O, Flodin U. Radon and leukaemia [J]. Lancet, 1989, 334: 673 – 674.
[21] Lucie N P. Radon exposure and leukaemia [J]. Lancet, 1989, 334: 99 – 100.
[22] Alexander F E, Mckinney P A, Cartwight R A. Radon and leukaemia [J]. Lancet, 1990, 335: 1 336 – 1 337.
[23] Richardson R B, Eatough J P, Henshaw D L. Dose to red bone marrow from natural radon and thoron exposure [J]. Br. J. Radiol., 1991, 64: 608 – 624.
[24] Henshaw D L, Eatough J P, Richardson R B. Radon as a causative factor in induction of myeloid leukemia and other cancers [J]. Lancet, 1990, 335: 1 008 – 1 012.
[25] Kildea P M. Radon plate out on synthetic fibers as a possible in breast cancer [J]. Risk Analysis, 1996, 16: 1 – 3.
[26] 耿世彬, 连慧亮. 氡与室内空气环境 [J]. 建筑热能通风空调, 2001, (6): 49 – 51.

Analysis of indoor radon source and hazard control

LU Xin-wei
(*College of Tourism and Environment, Shanxi Normal University, Xi'an* 710062, *China*)

Abstract: The elements of radon and its daughters have much to do with human health as it exists widely in the nature. On a systematic study the property of radon element is introduced , with the source and hazards of indoor radon. It is pointed out that indoor radon is mainly from rocks and soil under the building, from the architecture and decoration materials, indoor water and from fossil fuels. The effect of indoor radon to people health is caused by exposure concentration and exposure time. The hazard of indoor radon is mainly found in the cases of lung cancer and leukaemia. Controlling measures are put forward to deal with different radon sources and different buildings, Pollution prevention and ventination can reduce indoor radon concentration and improve air environment.

Key words: radon; source; hazard; control measure