

# 三十年来我国特殊场所氡浓度的变化

卢志娟<sup>1</sup>,涂 彧<sup>1</sup>,俞荣生<sup>2</sup>

中图分类号: R145 文献标识码: A 文章编号: 1004—714X(2009)04—0501—02

氡是一种天然存在的放射性惰性气体,广泛地存在于我们的日常生活环境中。据联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)1998年报告估计,正常本底地区广大公众因吸入氡及其子体所致辐射照射的年有效剂量约为 $1.2\text{mSv}$ ,约占全部天然辐射剂量的50%。研究表明,氡污染在肺癌诱因中仅次于吸烟,排在第二位,是世界卫生组织公认的19种环境致癌物质之一。UNSCEAR2000年估计,人类肺癌的10%左右可归于氡及其子体的照射。我国存在数个氡浓度较高的特殊场所,包括地下建筑、窑洞、工业废渣建筑及矿山。了解这些场所的氡浓度水平及其变化趋势,对于全面评价我国公众及相关工作人员的氡暴露情况具有重要意义。

## 1 地下建筑空气中的氡浓度水平

随着我国经济的迅速发展和人口的增加,越来越多的地下建筑被用于生产、生活等各个方面。地下建筑位于地面以下或山体里,以岩石、土壤为其围护结构,建筑四周均可释放氡气,加之一般通风条件较差,因此氡浓度明显高于地面建筑。

表1给出了我国上世纪80、90年代地下建筑的平均氡浓度,以及部分城市(氡浓度较高或较低的城市)的数据。因2000以后的数据涉及省市少,且地区分布较集中,不能代表全国的氡浓度水平,未列入下表。我国80、90年代地下建筑的平均氡浓度接近,分别为 $243.2\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $252.4\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ,与李晓燕<sup>[21]</sup>2007年给出的全国23个城市234个地下人防工程的测量结果( $247\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )相近,约为我国室内氡浓度水平的5.5倍,无明显升高或降低趋势。其中福建、昆明、湖南、河南及山东的地下建筑氡浓度较高,北京、成都、上海、苏州地区的氡浓度较低,均低于 $100\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

我国目前地下建筑的平均氡浓度低于国家控制标准,但仍然存在上述数个氡浓度较高的地区。且Lubini<sup>[1]</sup>等在甘肃进行的一项为期三年涉及55户居民的流行病学研究指出,肺癌的危险度随氡浓度的增加而升高。因此,应进行代价利益分析,找出辐射防护的代价和辐射危害的代价之和为最小的方案,从而将地下建筑中的氡浓度降低到可合理达到的尽可能低水平。

## 2 窑洞空气中的氡浓度水平

窑洞是黄土高原地区常见的传统住宅类型,主要分布于我国的甘肃、河南、山西、宁夏及陕西。窑洞湿度适宜、冬暖夏凉、造价低廉,是当地居民比较喜欢居住的场所。其特殊的结构,使得室内氡浓度易于累积,窑洞中氡浓度偏高的问题已引起我国学者的关注<sup>[22]</sup>。

基金项目:放射医学与防护重点实验开放课题(SS16002)  
江苏省高校自然科学基金重大项目(05KJ33013)  
作者单位:1 苏州大学放射医学与公共卫生学院,江苏 苏州 215123  
2 苏州市疾病预防控制中心  
作者简介:卢志娟(1985~),女,江苏南通人,硕士在读,放射医学七年制。  
通讯作者:涂彧(1965~),男,教授,博士生导师。

表 1 我国部分省市地下建筑氡浓度水平

地区	测量时间	样品数	平均值 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )	参考文献
全国(16省市)	80年代	1105	243.2	[1—10]
全国(20省市)	90年代	611	252.4	[2,11—20]
福建	1988~1989	14	463	[2]
昆明		12	644.5	[1]
河南	1987~1988	104	797.2	[8]
长沙		68	530.5	[9]
衡阳		54	912.2	[9]
株洲		23	415.3	[9]
鲁豫两省	1994~1995	83	920.0	[11]
北京	1985	198	40.7	[3]
成都	1989	63	26.4	[6]
上海	1992	19	80.6	[17]
苏州		5	31.0	[18]

注:数据处理遵循以下原则:①同一年代,测量地域有重叠,取涉及地域范围较大的数据;若为独立进行的测量且地区相同,则取两者的平均值参与统计。②文献中据通风方式不同给出不同数值时,取接近日常生活或工作状态下的数值。③未明确测点数不参与统计,仅有一个测点数不参与统计。④同时给出瞬时测量及累计测量的结果时,取累积测量数据参与统计。⑤所有数据基本都以算术平均值参与统计,结果以测点为单位。

表 2 我国窑洞中的氡浓度水平

地区	80年代			2000~		
	氡浓度 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )			氡浓度 ( $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ )		
	样品数	平均值	参考文献	样品数	平均值	参考文献
甘肃	41	101.7	[2]	49	120.0	[25]
河南	4	80.0	[2]			
宁夏	20	35.1	[2]			
(砖窑)	22	28.5	[2]	16	43.0	[22]
山西(土窑)	21	63.5		33	73.0	
(石窑)	4	125.0		45	32.0	
(砖窑)	81	30.1	[2]	16	50.0	[22]
陕西(土窑)	88	62.3		81	71.0	
(石窑)	97	42.4		10	50.0	
平均值	378	52.1 (62.8)		250	69.9 (78.1)	

注:括号内为以地区为单位的平均值。

表2列出了我国上述五个地区窑洞内的氡浓度,并给出了80年代及2000年以后的平均值(以测点为单位,90年代因数据少,未予列出),后者较前者有所上升,两者均明显高于相应的室内氡浓度水平。若以地区为单位,80年代的氡浓度平均值为 $62.8\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ,与文献<sup>[2]</sup>中的 $60.9\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 基本相同,低于2000年以后的 $78.1\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

潘自强<sup>[23]</sup>于1997年指出:有必要注意钍及其子体对居民产生的照射。在UNSCEAR1993年的报告中,钍及其子体产生的照射剂量约为氡及其子体的6%,而我国学者据现有数据估算出我国钍射气及其子体产生的剂量约为氡的20%<sup>[24]</sup>。对不同类型住宅中氡、钍浓度比值的研究表明,泥墙结构住宅中 $^{220}\text{Rn}$ / $^{222}\text{Rn}$ 比值最高。尚兵等<sup>[25]</sup>应用经过改良、具有 $^{220}\text{Rn}$ / $^{222}\text{Rn}$ 鉴别能力的探测器,对甘肃地区窑洞的氡浓度进行测量后发现,由于 $^{220}\text{Rn}$ 的影响, $^{222}\text{Rn}$ 的真实水平也许只有以往测量结

果的 1/3。据此,我国窑洞中<sup>222</sup>Rn的实际水平还有待于进一步的研究。

3 工业废渣建筑室内空气中的氡浓度水平

截至 1997 年,我国工业废渣的年排放量已超过 70 亿吨。工业废渣虽然种类繁多,但总的来讲,工业废渣建材资源化的途径大致可归纳为以下几点:①生产建材制品。②生产水泥。③配制混凝土。④回填、筑路材料。采用煤渣、工业废渣作建材原料制作的炉渣水泥、石煤砖、磷石膏等含镭量都偏高,其中磷石膏含镭量高达 640~5 120Bq/kg。匈牙利应用煤灰建材作为房基的填充料,其含镭量为 500~1 500Bq/kg。住宅内氡浓度达到 103.7Bq·m<sup>-3</sup>,其中少数高达 1 000Bq·m<sup>-3</sup>,而我国报道的煤渣建材建筑物室内氡浓度为 206.5Bq·m<sup>-3</sup>[2]。

表 3 给出了文献[2]中未列出的几个城市的工业废渣建筑物室内氡浓度,平均浓度为 146.1Bq·m<sup>-3</sup>,低于文献[2]中的 206.5Bq·m<sup>-3</sup>,若将两者进行汇总,则平均浓度为 165.2Bq·m<sup>-3</sup>,约为我国室内氡浓度水平的 3.6 倍。其中,湖南、江西及黄山等地区的氡浓度较高。

由于统计数据中缺乏 2000 年以后的文献资料,我国目前工业废渣建筑物室内氡浓度水平不得而知。但随着 2000 年以来我国关于建筑材料及建材用工业废渣放射性物质控制标准的进一步完善,我国工业废渣建筑室内氡浓度有望降低。

表 3 工业废渣建筑物中氡浓度水平

地区	测量时间	测点数	平均值	参考文献
广州	1997. 11~1998. 2	11	122. 5	[26]
湖北		7	80. 4	[2]
武汉	1996. 12~1997. 3	10	61. 9	[27]
	1999~2003	181	35. 5	[28]
湖南		172	223. 1	[29]
	1989. 8~1991. 8	38	54. 9	[30]
某地		100	264. 0	[31]
山东		6	146. 0	[32]
平均值		525	146. 1	
		242	206. 5	[2]
总平均		767	165. 2	

4 煤矿及非铀金属矿山空气中氡浓度

表 4 给出了我国煤矿及非铀金属矿山氡浓度的平均水平。在计算总平均值时,对只有平衡当量氡浓度实测值的,煤矿取平衡因子为 0.4,非铀金属矿取 0.6<sup>[7]</sup>。由于表中数据有限,统计结果不能代表全国煤矿及非铀金属矿山氡浓度的平均水平,但可作为平均值的参考。据表中数据,三十年来,非铀矿山氡浓度总体呈下降趋势。目前我国煤矿氡浓度水平约为 74.6Bq·m<sup>-3</sup>,为 90 年代的 55%;90 年代非铀金属矿山的氡浓度仅为 80 年代的 6.5%。分析认为,一方面,由于我国采取了有力措施,矿山氡浓度确有下降;但非铀金属矿山 80 年代的统计数据中,钨矿、锡矿、钨钼矿等氡浓度较高的矿山均参与统计,而 90 年代的统计数据缺乏这部分测量结果,从而导致两者平均值迥异。据此,我国非铀金属矿山的氡浓度水平还有待于进一步完善。

表 4 煤矿及非铀金属矿山空气中氡浓度

矿山性质	地区	测量时间	矿山数	平均值(Bq·m <sup>-3</sup> )	参考文献
煤矿	7 省市	90 年代	41	135. 8	[7, 33]
	5 省	2000 以后	36	74. 6	[7, 34~37]
非铀金属矿	5 省	80 年代	25	18650. 2	[7]
	5 省	90 年代	38	1207. 9	[7, 38]

5 小结

我国特殊场所的氡浓度较一般居住环境高出数倍至数十倍,由此造成相关人员的肺癌危险性也相应增加。在上述四个

特殊场所中,窑洞氡浓度呈上升趋势。然而,窑洞作为一种特殊的住宅,其地区分布较集中,且其住宅比率及居住人口近年来呈下降趋势。以泾川县为例,目前泾川县窑洞的住宅比率为 10.5%,其居住人口仅为 5.0%,与上世纪 80~90 年代统计的 30%的居住人口相比,减少到 1/6。因此,窑洞氡浓度的上升并不会增加我国公众的氡暴露。矿山氡浓度现已明显下降,这与国家为保障相关工作人员的健康而先后出台和完善的多项标准密切相关。地下建筑的氡浓度三十年来并无下降趋势,而随着经济的发展,地下建筑的应用越来越广泛,越来越多的人在其中工作、生活。因此,随着国家相关标准的出台,地下建筑将成为我国特殊场所氡浓度控制的重点。

参考文献:

[1] Lubin J, Jay H. 王作元, 王陇德, 等. 住宅室内氡浓度的时间空间变化对肺癌危险度的影响[J]. 辐射防护, 2004, 24(5): 279—288.

[2] 潘自强. 我国空气中氡及其短寿命子体产生的照射[J]. 辐射防护, 2003, 23(3): 129—138.

[3] 于秋英, 马宝玺, 王慧之, 等. 沈阳市地下室氡气浓度及所致人体辐射剂量的调查[J]. 中国公共卫生学报, 1991, 10(3): 143—144.

[4] 刘祖森, 戈其君, 张炳尧, 等. 广东大亚湾核电站运行前深圳市环境辐射水平及其所致居民剂量[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1997, 17(3): 193—196.

[5] 齐万彪, 林莲卿, 闻慧芬, 等. 北京市地下人防工事中氡浓度及其所致内照射剂量估算[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1990, 10(4): 263—266.

[6] 刘怡刚, 江仁德, 张志永. 成都市地下建筑内氡浓度及所致辐射剂量[J]. 中国公共卫生学报, 1992, (3): 29.

[7] 潘自强. 人为活动引起的天然辐射职业性照射的控制[J]. 中国辐射卫生, 2002, 11(3): 129—134.

[8] 孟繁卿, 丁华光, 杨顺勤, 等. 河南省地下建筑内氡及氡子体浓度与内剂量评价[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1991, 11(2): 113—115.

[9] 刘汉钦, 肖仁义, 曾新元. 长沙、衡阳、株洲三市人防工事中的辐射水平调查[J]. 辐射防护, 1986, 6(1): 34—39.

[10] 戈立新, 汪名侠, 李传琛. 上海地区空气中氡水平调查[J]. 辐射防护, 2002, 22(4): 246—252.

[11] 于水, 王功鹏, 骆亿生, 等. 部分住宅和地下空间氡浓度的监测及防护措施研究[J]. 辐射防护, 1999, 19(3): 195—200.

[12] 马淑英. 北京市东城区公共场所的氡浓度水平[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1999, 19(2): 141—141.

[13] 蔡勇明, 唐文祥, 陈佳慎. 深圳特区公共场所 Rn-222 浓度调查[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1994, 14(5): 305—307.

[14] 陈斌, 黄炳球, 练海泉. 珠海市室内<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 浓度调查[J]. 全国天然辐射照射与控制研讨会论文集汇编[C]: 181—184.

[15] 王建华, 孟繁卿, 芦国甫. 地下粮仓及周围环境氡的污染[J]. 中国辐射卫生, 1994, 3(2): 100—101.

[16] 徐开宇, 尤建国, 黄泽民. 常州市地下公共场所空气中氡及其子体水平的调查[J]. 环境与健康杂志, 1993, 10(1): 40—41.

[17] 钟声浩, 沈勤松, 张有良. 上海市区地下建筑物内氡及氡子体的浓度[J]. 核技术, 1992, 15(12): 757—762.

[18] 张友九, 俞荣生, 殷文红, 等. 苏州市部分地下商场氡及其子体水平的测定[J]. 中国辐射卫生, 1997, 5(3): 158.

[19] 孟繁卿, 刘成, 王建华等. 郑州部分地下人防工程内氡及其子体浓度与剂量估算[J]. 中国辐射卫生, 1995, 4(2): 87—88.

地下公用建筑防氡分析

徐文珊<sup>1,2</sup>, 陈英民<sup>1</sup>

中图分类号: R145 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2009)04-0503-02

氡是放射性元素铀经过一系列衰变产生的一种放射性气体, 无色无味。铀广泛分布在整个地壳, 所以氡在自然界无处不在。联合国原子辐射效应科学委员会 (UNSCEAR) 2000年报告书中, 天然辐射对公众的年有效剂量为 2.4mSv。氡 (<sup>222</sup>Rn)及其子体的贡献就占 52%<sup>[1]</sup>。早在 1988 年, 国际癌症研究机构 (IARC)就已将氡及其子体划归为 Ⅰ类致癌因素<sup>[2]</sup>。

近年来随着经济的迅速发展, 地下空间开发利用已成为我国都市发展趋势。据不完全统计, 国内仅地下商场面积就已在 1 000 多万 m<sup>2</sup> 以上, 氡浓度超标率可达 22% 左右<sup>[3]</sup>。越来越多的从业人员和流动人员进入地下建筑工作、居住、购物和娱乐, 他们承受着比其他公众更高的辐射危害。因此掌握地下建筑氡的来源, 从根本控制民用地下建筑内氡及其子体浓度是十分必要的。

1 地下建筑中氡的主要来源

由于地下建筑的特殊性, 其室内氡的主要来源途径与地面建筑有所不同。①岩石和土壤。气态放射性元素氡主要由岩石、土壤中的铀、钍不断衰变生成。地下建筑所有六个界面均有岩石和土壤被覆, 四周皆可释放氡气<sup>[4]</sup>, 并通过墙面、管线周围的裂隙进入室内, 成为地下建筑内氡的最主要来源。②地下水。地球表生环境中, 铀的化学性质活泼, 可与氡一起溶于

水, 随地下水迁移<sup>[5]</sup>。地下水位在地下建筑使用期间可随补给、降雨和排水条件的变化而上升, 若地下建筑所处地段岩体裂隙比较发育, 形成地下水循环通道和储水构造, 将成为工程内高氡浓度的外部潜在因素。③建筑材料。随着工业技术的发展, 一些掺工业废渣, 如粉煤灰、煤矸石、钢渣、尾矿石等的新型建筑材料, 因其天然放射性核素含量较高, 成为了影响地下建筑氡浓度的又一重要来源。④室外空气。室外空气中的氡随通风而进入地下建筑内, 进入率与室内外空气中氡浓度及地下建筑空气交换率成正比。

2 地下公用建筑防氡对策

地下建筑内氡及其子体国家控制标准中明确规定: 地下建筑分为已用和待建两种情况, 根据氡及其子体的可控制程度, 已用地下建筑行动水平为 400Bq·m<sup>3</sup> (平衡当量氡浓度), 待建地下建筑设计水平为 200Bq·m<sup>3</sup> (平衡当量氡浓度)<sup>[6]</sup>。根据地下建筑室内氡的来源以及国家标准, 针对地下建筑的具体情况分阶段制定防氡措施。

2.1 建筑阶段

2.1.1 建筑选址 各地区环境中氡浓度值与当地的地质结构、岩石类型、所处地域等因素密切相关。其中花岗岩放射性铀含量最高, 处于不同山体岩性的地下建筑, 其内氡浓度也以花岗岩最高<sup>[7]</sup>。而在断裂与构造发育区, 即使岩石、土壤中铀含量不高, 由于氡的气体性质, 容易随断层带中破碎岩体裂隙运移、汇集, 导致这些地带的地下建筑室内空气氡浓度相对偏高<sup>[8]</sup>。因此在项目工程开始之前, 详细查阅区域地质构造特征, 具体掌握与该地区氡浓度密切相关的断裂带、破碎带及

[ 20] 杨娟娟, 官庆超, 陈跃, 等. 山东省地下商场氡浓度的监测结果与分析[ J]. 中国辐射卫生, 2000 9(1): 18-19

[ 21] 李晓燕, 郑宝山, 王燕, 等. 我国部分城市地下工程空气中的氡水平[ J]. 辐射防护, 2007 27(6): 368-394

[ 22] 孙全富, 床次真司, 侯长松, 等. 窑洞内氡、钍射气水平及致肺癌的危险评价[ J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005 25(1): 1-5

[ 23] 潘自强. 有必要注意钍及其子体对居民产生的照射[ J]. 辐射防护, 1997 17(3): 188-191

[ 24] 潘自强. 我国天然辐射水平和控制中一些问题的讨论[ J]. 辐射防护, 2001 21(5): 257-268

[ 25] Bing Shang, Jochen Tschiersch, Hongxing Cui. Radon survey in dwellings of Gansu, China: the influence of thorium[ J]. Radiation and Environmental Biophysics, 2009 47: 367-373

[ 26] 张林, 尚兵. 广州市室内<sup>222</sup>Rn-<sup>220</sup>Rn浓度调查[ J]. 中国辐射卫生, 2004 13(1): 36-37

[ 27] 张述林, 罗启芳, 张军, 等. 掺废渣墙体材料建筑物室内放射性水平[ J]. 中国辐射卫生, 1999 8(3): 163-164

[ 28] 侯祖洪, 杨想军, 秦俊, 等. 武汉市居室内放射性水平调查及控制[ J]. 中国辐射卫生, 2005 14(4): 294-295

[ 29] 刘汉钦, 曾新元. 石煤渣碳化砖建材住房的放射性水平[ J]. 环境科学丛刊, 1981 7(9): 37-39

[ 30] 张政国, 张亮, 李纯秀. 湖南省煤渣砖建筑物内含镭量

较高矿区周围室内、外氡浓度的调查研究[ J]. 辐射防护, 1992 12(5): 340-350

[ 31] 李素云. 石煤渣砖建房所致居民集体有效剂量当量的估算[ J]. 辐射防护, 1989 235-239

[ 32] 陈英民, 李福生, 杨珂. 掺工业废渣新型墙体材料建筑室内<sup>222</sup>Rn浓度的研究[ J]. 中国辐射卫生, 2006 15(3): 334-335

[ 33] 张士成, 王鹤龄. 枣庄矿区 24 所煤矿井下氡浓度水平[ J]. 中国辐射卫生, 2005 14(1): 49-50

[ 34] 李舟, 杨忠, 魏涛, 等. 贵州省部分煤矿氡浓度及放射性水平研究[ J]. 中国辐射卫生, 2007 16(1): 22-24

[ 35] 刘福东, 尚兵, 王春红, 等. 河北省地下煤矿<sup>222</sup>Rn-<sup>220</sup>Rn水平及γ剂量率的调查[ J]. 中国辐射卫生, 2007 16(1): 14-16

[ 36] 王教义, 赵清林, 王治国, 等. 煤矿井下氡及其子体浓度调查与剂量估算[ J]. 中华放射医学与防护杂志, 2004 24(2): 157-159

[ 37] 张洪, 王红海, 梁波, 等. 皖苏两省地下煤矿环境中的放射性水平研究[ J]. 中国辐射卫生, 2006 15(3): 260-262

[ 38] 王治国, 房殿奎, 王教义, 等. 金矿井下空气中氡及其子体浓度调查[ J]. 中华放射医学与防护杂志, 1999 19(6): 431-432