

文章编号:1672-9250(2004)3-4-0063-04

# 我国六省人防工程氡浓度调查及影响因素初探

王燕<sup>1,2</sup>, 李晓燕<sup>1,2</sup>, 郑宝山<sup>1</sup>, 王学<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:**采用美国 SUN 公司的 1027 型测氡仪测得我国内蒙、山东、河南、湖北、湖南、广西 6 省共 8 个城市地下人防工程内的氡浓度, 最高值为 547.6 Bq/m<sup>3</sup>, 最低值为 22.2 Bq/m<sup>3</sup>。从地质背景、地下水、通风情况等五个方面讨论了氡浓度的影响因素, 并提出主要影响因素为通风情况。

**关键词:**地下人防工程; 氡; 浓度

**中图分类号:**X591 **文献标识码:**A

氡是一种天然放射性惰性气体, 在自然界具有很强的迁移性。它通过呼吸进入人体, 在体内累积产生内照射, 引发肺癌、白血病、胃癌、呼吸道癌等多种疾病。氡的主要危害是导致肺癌, 研究表明氡已成为仅次于吸烟的第二大致肺癌因素, 公众肺癌的 10% 可归因于氡及其子体的照射<sup>[1]</sup>。因此, 氡这种“天然污染”近年来引起了国内外各领域的广泛关注。对人体构成危害的环境氡主要是空气中的氡, 室内空气中氡的浓度大大高于室外, 地下建筑物内的氡浓度又明显高于地面建筑。

近年来, 地下空间开发利用已成为世界都市化的方向之一。我国人防部门经营管理原有人防工程, 使其由战时临时避难场所变为商场、舞厅、餐厅、招待所等公众场所。此外还采取多种经济形式在繁华地段、车站、广场等处新修地下商场、旅社、娱乐场所等。在我国, 据不完全统计, 人防地下商场面积已在 1 000 多万 m<sup>2</sup> 以上<sup>[2]</sup>。这些工程由于空间有限、通风条件差等原因, 氡的危害问题日益突出。在这些场所, 据估计有近 30 万人常年工作和生活, 氡对他们的健康可能造成的危害是一个极为严重的问题。因此对重点城市地下人防工程内氡的浓度状况

和可能造成的健康危害进行调查研究是十分必要的。

本文拟对内蒙、山东、河南、湖北、湖南、广西 6 省的 8 个城市的地下人防工程内氡浓度进行初步调查, 研究各种因素对氡浓度的影响, 并探讨人防工程的降氡防氡措施。

## 1 测定方法及选点原则

### 1.1 测定方法

氡的监测方法总体可分为累计测定与瞬时测定两类。要了解生活或工作环境中氡的辐射剂量是否已经超过允许的安全限值, 是否积累到危害健康甚至致癌的程度, 应采用长时间的累积测定方法。要在短时间内定性的测出氡浓度的高低程度, 及分析氡浓度的各种影响因素, 则需用瞬时法进行测定。

本次调查采用瞬时法进行测定, 所用仪器为美国 SUN 公司生产的 1027 型连续测氡仪。

### 1.2 选点原则

由于氡浓度测量的目的是为了调查及防治其对人体健康的危害。所以, 我们主要选择人员来往频繁及长期有人工作的地下人防工程。这类工程以民用的地下商场、停车场、旅社、娱乐场所居多。每个城市共选 2 个有代表性的工程进行瞬时测定, 测定时间一般不少于 24 小时。监测同时对每个工程的地质背景、建筑结构、被覆及装修情况、通风情况、温

收稿日期: 2004-03-16; 修回日期: 2004-07-26

第一作者简介: 王燕(1980—), 女, 硕士研究生, 从事环境地球化学与人体健康方面的工作。

度、湿度、气候、人员活动频繁程度等相关情况进行调查,以便分析氡浓度异常的原因。

### 1.3 仪器性能

瞬时测定采用的仪器为美国 SUN 公司生产的 1027 型连续测氡仪。2002 年 9 月购入,由原公司同期进行刻度。量程范围:0.1~999 pCi/L(1 pCi/L = 37 Bq/m<sup>3</sup>);精确度:±25% 或 1 pCi/L;灵敏度:2.5 次计数/(h·pCi·L<sup>-1</sup>);测量时间间隔:1,4,8,24 小时(本文中测量结果均为 1 小时间隔)。

## 2 测定结果

本次调查涉及 6 省 8 个城市共 16 个工程,测定结果列于表 1。从表 1 中可以看出,不同类型的工程氡浓度值差别较大,最高的为 547.6 Bq/m<sup>3</sup>,最低的为 22.2 Bq/m<sup>3</sup>。氡浓度最高的工程为一闲置办公用房,密闭、不通风,整体面积较大,但分割成大量狭小的办公室,并且非常潮湿。氡浓度最低的是一地下商场,该商场位于广场下方,上无建筑物阻拦,且有多个宽大的出口,整体空间较大,无阻隔,利于空气流通及氡的扩散,并且该工程非常干燥。国家有关氡浓度的控制标准为:已用地下建筑 400 Bq/m<sup>3</sup>,待建地下建筑 200 Bq/m<sup>3</sup>[3]。本次调查的 16 个工程中,有 5 个工程氡浓度超过 200 Bq/m<sup>3</sup>(两处为长期闲置不用的办公用房,另三处分别为商业街、招待所、饭店),其中有 2 个超过 400 Bq/m<sup>3</sup>(其中一个工程内有大量长期从业人员)。氡浓度超标工程的比率较高,并且在超标的工程中有大量的从业人员在内长期工作。氡对他们的健康造成的危害不可忽视。

总体来说,山体内部的工程的氡浓度高于掘开式工程;空间较宽阔的仓库、商场、大型超市,氡浓度相对较低;通风情况好的工程的氡浓度远低于通风情况差或不通风的工程;对于干道式工程改造的地下商业街,氡浓度要高于上述商业场所;人员流量大的工程,氡浓度低于人员流量小的工程。但也有个别工程不符合以上规律。

## 3 讨论

### 3.1 氡浓度的影响因素

氡浓度的高低取决很多方面:地质情况(岩石、土壤、地质构造等)、地下水、建筑及装修材料、通风情况、装修情况等[4]。下面分别对各因素进行分析。

3.1.1 地质情况 地质情况包括岩性、构造(尤其是断裂构造)、覆盖层(土壤)等情况,它们决定了氡的来源及迁移途径[5],从根本上决定着氡浓度的高低。本次 16 个工程,除在山体内的工程(SD-QD-001、SD-QD-003、HB-WH-001、GX-GL-001)外,其余均在土壤层内,地质情况比较单一,无明显致高氡因素,因此此类工程中出现的高氡浓度主要因素不是地质条件。山体内部的工程,具有多种高氡因素(构造复杂多样、地下水水位高等),氡浓度普遍较高。

3.1.2 地下水 地下水是室内氡的又一主要来源。但本次调查的工程绝大多数为办公室、商场或旅社。这些工程的被覆情况都很好,可以有效阻止地下水的渗入。因此地下水对这些工程的影响并不大。唯一未完全被覆的工程 HB-WH-001 处在有破碎带的山体内部,地下水丰富,自然通风良好。该工程的氡浓度并不高,可能是由于:(1)该山体内部的地下水氡含量不高;(2)该工程内,通风对氡的影响大于地下水。

3.1.3 建筑形式和建筑格局 掘开式工程一般位于广场下方,上方无建筑物阻隔且贴近地面,有利于室内氡的垂向扩散。其用途多为大型地下超市或商场,整体空间较大,出口较多,有利于氡的横向扩散。此类工程氡浓度一般低于 100 Bq/m<sup>3</sup>。本次结果中仅有一个工程为干道式。干道式工程比掘开式深,多挖在建筑物下方,并且干道式工程本身是狭长的地下建筑,改造为商业街后,通道和经营场所都比较狭小,出口也较少,对氡的垂向和横向迁移扩散均不利,从而造成干道式工程极易富集氡气。此时必须靠机械通风系统帮助氡气扩散,降低氡浓度。但此商业街效益不好,通风设备停用,致使氡浓度高达 436.6 Bq/m<sup>3</sup>,在投入使用的工程中是最高的。

3.1.4 通风情况 通风情况的好坏不能影响氡的来源,但对氡的扩散状况有决定性的影响。因此其对氡浓度的影响虽然不是最根本的,却是最直接的。高氡场所,只要加强通风,氡浓度的下降都会非常明显。相反,即使没有高氡源,长期封闭,不进行通风或偶尔通一次风,氡在封闭的空间不断累积,氡浓度也会越来越高。HN-CS-003 即为此种情况。

3.1.5 建筑及装修材料 本次调查未发现因建筑材料引起的氡浓度过高。有一处工程大量使用花岗岩做装修材料,但在通风条件较好的情况下未出现

表 1. 各城市人防工程中氡浓度调查结果及相关情况  
Table 1. Radon concentrations and relative circumstances of underground structures

序号	测量 时间/h	氡浓度(Bq/m <sup>3</sup> )			工程情况				
		平均值	最大值	最小值	工程用途	测试点	装修情况	通风情况	其它
NM-HS-001	29	25.90	92.50	0.00	地下商场	办公室	大理石地面,柱子等有少量花岗岩材料	工程在装修期间,自然通风	掘开式工程 商场管理人员办公室,比较干燥
NM-HS-003	25	547.60	814.00	207.20	办公用 (闲置)	闲置	瓷砖上铺绿色胶皮	由于闲置,通风设备未用	掘开式工程 平时全部封闭,非常潮湿
NM-BT-013	23	81.40	118.40	0.00	医院地 下部分	仓库	水泥地面	自然通风	结建式工程 用于堆放杂物,使用频繁
NM-BT-014	24	22.20	96.20	0.00	地下商场	消防泵房	水泥地面	自然通风	掘开式工程 屋内有水,但不潮湿
SD-JN-001	30	273.80	540.20	122.10	地下旅社	配电室	水泥地面,水泥拱顶	在工程比较靠里部分, 且长期锁着门,空气不流通	掘开式工程 无空调、通风设备,且人员流动不频繁
SD-JN-002	28	25.90	133.20	0.00	地下商场	办公室	水泥地上铺木地板	上班时门一直打开,门外走廊上有 通风设备,整个工程通风情况很好	办公室内有空气净化器等。 处于繁华地段,人流量非常大
SD-QD-001	25	162.80	270.10	51.80	办公用 (闲置)	值班室	地面铺瓷砖, 墙面涂防水涂料	房间内有通风口	工程处于花岗岩山体内,值班室内长期有人值 班,比较潮湿,但值班室内、楼道内均有除湿机
SD-QD-003	27	118.40	185.00	48.10	地下商业街	监控室	水磨石地面	每天通风两小时	工程处于花岗岩山体内,商业区内人员流量 不大,但有人员在内长期工作
HN-ZZ-001	56	99.90	185.00	22.20	办公用 (正在装修)	大厅	地面全部用花岗岩材料, 墙、顶用装饰板	24 小时强制通风	掘开式工程未正式投入使用, 且不会有人长期在内工作
HN-ZZ-003	27	37.00	92.50	0.00	大型地下超 市(待招商)	值班室	地面铺瓷砖, 顶部为装饰板	有通风口,但一般不开, 自然通风情况较好	掘开式工程有人长期值班
HB-WH-001	24	48.10	170.20	11.10	仓库	仓库	部分被覆,部分锚喷	自然通风,但通风良好	山体内一个整体大仓库,非常潮湿,有几处滴水,冬季干 燥,山体主要为石英砂岩,有小破碎带,口部风化严重
HB-WH-004	23	436.60	673.40	251.60	地下商业街	办公室	水磨石地面	有强制通风系统,但长期不用	掘开式工程 空调、风机、除湿等各种设施均正规、完备
HN-CS-001	75	55.50	173.90	11.10	大型舞厅	办公室	舞厅装修大量使用花岗岩 材料,但办公室内未用	强制通风设备,舞厅通风情况非常 好,办公室通风条件稍差	结建式工程无人在内工作或值班, 一般整个工程为全封闭状态
HN-CS-003	71	358.90	666.00	153.40	办公用 (已闲置)	办公室	地面为强化木地板,端 面为防水水泥+胶+漆+王	有强制通风设备,每周定期排风	山体内一个非常宽阔的工程, 但整体只进行了锚喷
GX-Gf-001	20	253.30	370.00	59.20	饭店	包厢	墙面、地面均为瓷砖	有两个换气扇,与洞内空 气流通,洞与外部自然通风	
GX-GL-003	24	29.60	66.60	0.00	地下商场	办公室	墙面、地面均为大理石	有大吊扇,排风扇进行空气流通	掘开式工程长期 有人办公,位于火车站前广场下,人流量较大

氡异常。因此,就本次调查来看,装修材料对氡浓度的影响相对较小。

### 3.2 降低人防工程中氡浓度的防护措施

降低氡浓度的方法很多,通风是最快捷有效的方法,同时应根据不同工程特点采取其他措施。

3.2.1 原有人防工程 原有人防工程无法改变地质条件、建筑形式,主要从通风和装修等补救防护措施方面考虑。地质条件复杂、地下水丰富的,可采取用高强度水泥封闭地基和墙体缝隙、增加防潮层、墙壁表面粉刷防氡涂料等多种手段共同防氡。若工程的密闭性已经较好,则应尽量少用花岗岩等铀、钍、镭含量高的装修材料、同时建立完善的排风系统。如通风受限制,可采用局部空气净化技术。

3.2.2 新建人防工程 新建人防工程时,应注意:选址时避开断裂破碎带和放射性元素含量高的岩石地区;建筑设计应考虑防氡效果,如建筑空间不要过于狭小、要有利于通风等;建筑材料及装修材料要符合安全标准<sup>[6]</sup>(参考国家标准《建筑材料放射性核素限量》(GB6566-2001));墙壁表面刷漆或防氡涂料;建立完善的排风设施等。

## 4 结论

(1)为防治地下人防工程内的氡危害,应当进行更深入、广泛、细致的工作,并对超标工程采取一定的补救行动。如完善通风系统、增加防潮层、封堵裂缝等。建议有关部门在人防工程设计、建造时将氡浓度作为重要指标采取控制措施。

(2)从本次调查情况来看,地下工程中氡浓度高低的主要影响因素是通风情况,而非一般文献所说的地下岩石、土壤中的放射性元素含量,及地质构造中的断裂破碎带。上述因素确实是地下工程中的氡主要来源,但以现在的建筑施工水平,完全可以对氡的各种来源进行有效的封堵。但即使是氡的来源很少,工程的通风状况不佳,工程内的氡气长期累积,也会造成非常高的氡浓度。因此,地下人防工程中的人员应提高降氡防氡意识,工作期间应连续通风,自然通风条件不好的,应设机械通风装置,并使之保持良好状态,或使用空气净化装置清除工程内的氡及其子体。

## 参 考 文 献

- [1] ICRP. 室内氡子体照射产生的肺癌危险[A]. ICRP 第 50 号出版物(李素云译),北京:原子能出版社,1992
- [2] 戴鸿贵,郑正,余刚,等. 地下工程中的氡异常及其治理对策[J]. 南京大学学报(自然科学),1999,35(2):222-229
- [3] GB16356-1996. 地下建筑氡及其子体控制标准[S]
- [4] 张书成. 住宅中氡浓度的影响因素[J]. 地质与勘探,1996,32(6):43-44
- [5] 程业勋,王南萍,侯胜利,等. 空气氡的大地来源理论研究[J]. 辐射防护通讯,2001,21(2):15-18
- [6] 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

## PRIMARY RESEARCH ON RADON CONCENTRATIONS AND THEIR AFFECTING FACTORS IN UNDERGROUND STRUCTURES IN SIX PROVINCES OF CHINA

WANG Yan<sup>1,2</sup>, LI Xiao-yan<sup>1,2</sup>, ZHENG Bao-shan<sup>1</sup>, WANG Xue<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

### Abstract

In this work, we used a Model 1027 Continuous Radon Monitor from the Sun Nuclear Corporation to measure radon level in air of the underground structures in 8 cities. The max. value of radon concentration in these underground structures is 547.6 Bq/m<sup>3</sup> and the min. value is 22.2 Bq/m<sup>3</sup>. The influence to radon under different conditions has been discussed. Ventilation efficiency is the most important condition.

**Key words:** underground structure; radon; concentration