

文章编号:1672-9250(2004)3-4-0067-05

我国东南四省人防工程内氡的调查

李晓燕^{1,2}, 王 燕^{1,2}, 郑宝山¹, 王 学¹

(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:我国东南四省广泛分布着大量的富铀花岗岩,是氡的高本底区。人防工程因其建于地下,室内氡浓度受本底值影响更大。为了解该地区地下人防工程内氡的浓度水平及可能对人体产生的危害,文章对该区11个城市30个不同类型的人防工程室内氡浓度进行了约24小时连续测定,测定结果为11.1~344.1 Bq·m⁻³,平均值为70.5 Bq·m⁻³。为探讨工程的地质概况、被覆程度、被覆材料及通风程度对室内氡浓度的影响,根据工程被覆程度及人员使用频繁程度将其分为四类:地下停车场(I类);超市,办公室等(II类);被覆坑道(III类);毛洞(IV类)。各类工程的氡浓度平均值分别为29.6、33.7、84.4、137.5 Bq·m⁻³。

关键词:东南四省;花岗岩;人防工程;氡

中图分类号:X591 **文献标识码:**A

氡是一种放射性气体,是铀在自然衰变过程中释放出来的。研究证明氡是仅次于吸烟的第二大致肺癌因素。生活在氡浓度愈高的环境里的人肺癌的发病率愈高^[1-2]。

人类生活环境中的氡主要来源于建筑物基底及其周围土壤和建筑装饰材料^[3]。人防工程为掩蔽的需要,一般选址在地下,有些直接建在山体,是地基及周围土壤氡向上运移的最近通道。受条件限制,地下建筑通风差,空气流动少,氡极易在室内聚集。有文献报道,我国部分城市地下空间氡浓度平均值为479 Bq·m⁻³,是我国33个省市室内氡浓度人口加权平均值23.7 Bq·m⁻³的20倍^[4]。我国人防工程设计时仅仅考虑了战时的需要,没有采取降氡防氡措施。现在和平时期,我们不仅将以往大批人防工程改作民用(如地下商场,地下仓库等),而且新建了许多平战结合的地下工事(如地下停车场,地下娱乐城等),据估计有近30万人常年在此工作和生活,氡对他们健康的可能危害是一个严重的问题。

我国东南四省,从广东、福建到浙江、江西广泛

分布着大量的富铀花岗岩,土壤中氡天然辐射量偏高,装修石材又以花岗岩为主,因此,从理论上讲,此区域为氡的高本底区。从2003年2月22日至4月2日我们在对该区域广州、阳江、汕头、厦门、泉州、福州、温州、宁波、杭州、上饶、南昌共11个城市的30个人防工程点进行室内氡浓度的累积测定的布点工作的同时,用Model 1027型连续测氡仪对各点氡浓度进行了约24小时连续测定。本文拟对不同地质概况、不同被覆程度、不同被覆(装修)材料及不同通风情况的人防工程室内氡浓度进行比较,以探讨地下人防工程氡浓度的影响因素,为地下人防工程制定降氡防氡措施提供科学依据。

1 选点及分类

东南四省人防工程类型很多,就用途来分,有地下停车场、地下商场、地下办公室、储存香蕉的坑道等;从被覆程度来分,有仅铺了水泥地面、周围是基岩裸露的毛洞,有用当地花岗岩石条或水泥简单被覆的坑道,有用钢筋水泥及瓷粉涂料多层被覆装修的平战结合的地下工事;就人员来往频繁程度来分,有人员拥挤的商场及8小时坐班的办公室和人员长期居住的值班室,也有人员接触时间相对较短的地下停车场,有人员定期下去检查的被覆坑道和毛洞,

收稿日期:2003-05-28;修回日期:2003-10-27

第一作者简介:李晓燕(1966—),女,高级工程师,博士研究生,环境地球化学。

也有无人的闲置的坑道和毛洞。本文将 11 个城市 30 个人防工程按不同的用途、人员过往频繁程度及被覆程度分为四类,即 I 类:地下停车场;II 类:地下商场,超市,办公室等;III 类:被覆坑道;IV 类:毛洞。各省选点类型分布情况见表 1。

表 1 各省选点类型分布情况

Table 1. The distribution of different types of sites in different provinces

省 份	I	II	III	IV
广东	3	3	1	2
福建			4	2
浙江	2	4	3	1
江西	1	1	2	1

注: I. 地下停车场; II. 地下商场、超市、办公室等; III. 被覆坑道; IV. 毛洞。

2 测定仪器及方法

采用美国 Sun-nuclear 公司生产的 Model 1027 型连续测氡仪(2002 年 9 月购进,由原公司同期刻度),量程范围:0.1~999 pCi/L (1 pCi/L=37 Bq·m⁻³);灵敏度:2.5 计数/(h·pCi·L⁻¹);精确度:±25%或±1pCi/L;固定测量时间间隔:1,4,8,24 h。

将仪器放在离地面 1 m 左右离墙约 0.4 m 远的地方,尽量关闭通风设备和门窗,仪器每隔 1 h 自动测定数据一个,连续测定约 24 h,取平均值。

3 结果与讨论

3.1 各类人防工程测量结果及相关情况

此次调查,最高值 344.1 Bq·m⁻³,为一避暑茶室(毛洞),最低值 11.1 Bq·m⁻³,为地下会议室和值班室,平均值为 70.5 Bq·m⁻³。表 2 为各类人防工程测定结果,表 3-6 是各测点氡测定结果及相关情况。

表 2 各类人防工程氡浓度测定结果

Table 2. Average radon concentrations in different structures Bq·m⁻³

类型	样本数	氡浓度范围	算术平均值
I	6	22.2~48.1	29.6
II	8	11.1~74	33.7
III	10	11.1~225.7	84.4
IV	6	18.5~344.1	137.5
总计	30	11.1~344.1	70.5

表 3 I 类工程(地下停车场)氡浓度及相关情况

Table 3. Radon concentrations and relevant circumstances for type-I structures

编号	氡浓度/ Bq·m ⁻³	装修材料	通风情况
G-1-001	22.2	水泥,涂料	机械通风,空气流动大
G-1-011	22.2	水泥,涂料	机械通风,空气流动大
G-2-001	18.5	花岗岩,瓷粉	自然通风,空气流动大
Z-1-009	44.4	石灰,水泥,黑胶皮	自然通风,空气流动大
Z-1-010	22.2	水泥,混凝土	自然通风,空气流动大
J-1-009	48.1	水泥,石灰	底下二层,通风不好

表 4 II 类工程(地下商场,办公室等)氡浓度及相关情况

Table 4. Radon concentrations and relevant circumstances for type-II structures

编号	氡浓度/Bq·m ⁻³	用途	装修材料	通风情况
G-1-010	51.8	商场	水泥,花岗岩	机械通风,但人员来往频繁,空气流动差
G-2-002	11.1	会议室	花岗岩,地毯	电风扇吹,空气流动好
G-3-012	18.5	幼儿园	水泥,花岗岩	机械通风,空气流动好
Z-1-002	18.5	商场	石灰,地砖	紧邻过道,通风好
Z-2-001	43.6	办公室	瓷粉,地毯	有空气过滤器,自然通风
Z-2-009	25.9	办公室	水泥,地砖	自然通风
Z-2-010	25.9	超市	涂料,地砖,塑料扣板	自然通风
J-2-008	74.0	办公室	花岗岩,涂料,塑料扣板	自然通风

注:Z-2-001 因中途停电,测量结果为 5 小时平均值。

表 5 III类工程(被覆坑道)氡浓度及相关情况

Table 5. Radon concentrations and relevant circumstances for type-III structures

编号	氡浓度/ $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	用途	被覆情况	通风情况
G-3-010	33.3	存放香蕉	水泥被覆	自然通风
F-2-004	14.8	存放香蕉	水泥浆被覆,地面贴瓷砖	自然通风
F-1-003	44.4	闲置	花岗岩石条被覆	测点位于一个风口,自然通风效果好
F-1-006	225.7	餐厅厨房	花岗岩石条被覆	洞内死角,通风极差
F-1-007	29.6	木雕展示厅	花岗岩石条,水泥	厅内空间大,自然通风效果好
Z-2-002	144.3	存放香蕉	花岗岩石条被覆,地下水丰富	离地面约 30 m 深,通风差
Z-1-001	107.3	杂物房	水泥石灰,花岗岩	门紧闭,不通风
Z-3-003	148	储存战备粮	钢筋,水泥被覆	密闭,不通风
J-1-004	85.1	堆放杂物	钢筋,水泥被覆	密闭,不通风
J-2-001	11.1	值班室	钢筋,水泥被覆,地面地毯	正对洞口,通风好

表 6 IV类工程(毛洞)氡浓度及相关情况

Table 6. Radon concentrations and relevant circumstances for type-IV structures

编号	氡浓度/ $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	用途	通风情况	地质情况
G-3-001	344.1	避暑茶室	自然通风	墙体及顶部基岩出露(花岗岩),顶部有断裂带,潮湿
G-3-003	266.4	存放香蕉	自然通风	花岗岩基岩出露,潮湿
F-1-008	22.2	闲置	自然通风	花岗岩体出露,地下水丰富
F-3-004	122.1	书城水泵房	平常门关闭,不通风	墙体为燕山晚期细粒花岗岩,风化明显
Z-3-001	51.8	设备房	平常门关闭,不通风	地下水丰富,花岗岩体出露
J-1-001	18.5	闲置	一面朝向过道通风口	三面为安山玢岩出露,干燥

3.2 地质概况对氡浓度的影响

人防工程位于地面以下或山体里,周围土壤、山体(基岩)和地下水是室内氡的主要源头。富铀花岗岩析出率高,地下水中的氡也可由水中溢出,进入空气,因此,土壤、基岩的类型及地下水的丰富与否都直接影响着人防工程内氡浓度的大小。除此之外,氡还与其它的地质环境因素如地质构造、裂隙、岩溶,有着密切联系。我国个旧地区氡高异常,就是因为个旧位于一大断裂带上,且岩石节理裂隙发育,花岗岩、二长岩风化程度高^[5]。本次调查的氡浓度最高值是 $344.1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,测点为一毛洞,洞内地面铺有水泥,墙体及顶部均为花岗岩基岩出露,且基岩有明显的断裂带,洞内地下水丰富,有一口水井,具备了理论上氡高的各种因素^[5,6]。从表 6 看出,同是未被覆的毛洞(IV类工程),出露基岩为花岗岩的测点,室内氡浓度都较高(除 F-1-008),出露基岩为安山玢岩的测点(J-1-001),氡浓度仅为 $18.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。但 F-1-008 测点同为花岗岩体出露,地下水丰富,测定结果却很低,这是否与花岗岩含铀量不高或通风等其它因素有关,有待累积测定结果出来后作进一步的研究。

3.3 被覆程度对氡浓度的影响

人防工程因其特殊的地理建筑位置,氡极易从周围土壤和山体析出并大量聚集在工程内。为工程的坚固和室内安全考虑,一般要对工程进行被覆。对工程进行被覆可以切断氡源,从而阻止氡析出向室内扩散。因此,人防工程被覆程度的好坏直接影响着工程内氡浓度的大小。在被测的四类人防工程里面,I类工程(地下停车场)是被覆程度最好的,四周和地面在用钢筋水泥被覆的基础上又刷了一层涂料,有些地面还铺了一层黑胶皮;II类工程(地下商场,超市,办公室等)被覆也很好,IV类工程(毛洞)是被覆程度最差的一类工程,除地表简单用水泥涂了一层外,四周基本上都是基岩裸露;III类(被覆坑道)被覆比IV类好,比I类、II类差。在这四类人防工程中,虽然同一类中各点的氡浓度相差较大,这是因为受地质概况及通风等其它因素的影响,但四类工程的平均室内氡浓度具有明显递增的趋势,分别是 $29.6, 33.7, 84.4, 137.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。因此人防工程被覆程度越好,室内氡浓度越低。

3.4 被覆(装修)材料对氡浓度的影响

对人防工程进行被覆(装修)能降低其室内氡浓

度,但被覆材料的不同,对氡浓度影响也不同。从表3至表5所列人防工程的氡测定结果及被覆(装修)情况来看,用花岗岩被覆的人防工程有10个,平均氡浓度为 $72.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,用水泥石灰等材料被覆的有14个,平均氡浓度为 $40.4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,明显低于前者。因此,花岗岩被覆(装修)使室内氡浓度偏高。

3.5 通风对氡浓度的影响

氡是一种气体,它的运动符合一切气体运动的规律。通风能加大气体的流动,促进扩散,通风是降低室内氡浓度的最有效的方法之一^[7]。G-3-012和Z-1-001两测点的氡浓度分别为11.1、107.3 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。两者装修材料一致(四周水泥石灰,地面花岗岩),氡浓度却相差很大,前者在自然通风很好的基础上又加了机械通风,而后者为一指挥所杂物房,平常完全密闭,不通风。当然,这是位于不同省份不同城市的两个点,各点地质上的差异对其氡浓度也有一定影响。但表5中F-1-003和F-1-006为同一城市的相邻两个测点,氡浓度分别为44.4、225.7 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,其地质概况、被覆程度、被覆材料都一致,但后者氡浓度是前者的5倍。两点的差异在于通风条件的不同,前者位于一个风口,自然通风效果很好,人在里面能感觉到空气的流动,而后者为坑道内一个死角,不通风,人在里面觉得胸闷透不过气。从表3~5所列各点测定结果和通风情况来看,通风好的工程室内氡浓度都在 $50 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 以下,而大于 $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 的,基本上属于通风不好的工程。因此,通风能有效降低人防工程室内氡浓度。

3.6 人均照射剂量

四类人防工程中Ⅱ类是人员活动最频繁的工程,其它三类,人员居留时间很短,Ⅳ类工程中有一避暑茶室,但只是夏天营业,平时基本无人且管理人员住在洞外。所以,对人员健康有较大影响的只有Ⅱ类工程。所测Ⅱ类工程平均氡浓度为 $33.7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,小于我国18城市地面室内平均氡浓度($65.3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)^[6],与UNSCEAR(1993年)报告的世界九个国家的室内氡浓度的平均值 $32.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 相

当^[8]。如果人24小时留在里面,按UNSCEAR(1982年)的报告,氡浓度与非职业照射年有效剂量当量的转换系数为 $29.5 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1} / \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,则人均所受年照射剂量为 0.99 mSv ,比中国室内外氡及其子体所致公众年有效剂量平均值 0.84 mSv ^[9]略高一点。实际按每天工作8小时计算,人防工程氡辐射所致年照射剂量仅为 0.33 mSv 。

4 结论

11个城市30个人防工程室内氡浓度测定结果范围为 $11.1 \sim 344.1 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,平均值为 $70.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。其中地下停车场(Ⅰ类)、超市,办公室等(Ⅱ类)、被覆坑道(Ⅲ类)、毛洞(Ⅳ类)氡浓度平均值分别为29.6、33.7、84.4、137.5 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$,随着被覆程度变差,室内氡浓度增高。Ⅱ类工程氡水平致人均所受年照射剂量为 0.99 mSv 。另外,地质概况、不同被覆(装修)材料及不同通风情况对人防工程室内氡浓度均有影响,其中通风对氡浓度的影响尤为重要,测点通风越好,氡浓度越低。

了解了各点氡浓度现状和致高原因,便可制定合理的防氡降氡措施。首先要消除地质因素的影响,尽量避开断裂带和地下水丰富的地方。对于东南四省花岗岩发育地区,工程被覆时应尽量使用水泥,而不是用当地花岗岩石条,对位于断裂带上的工程,要用高标号水泥和其它建筑材料封闭所有断裂和裂隙,有条件的话,还可在水泥被覆的基础上刷涂料或油漆。另外,通风是降低室内氡浓度的最直接途径,人防工程一定要添置相应的通风设备并加大通风力度,特别是人员使用频繁的工程,更要注意通风条件的改善。对于不经常进入的工事,人进去前应预先通风。总之,一个工程内的氡浓度的大小是各种影响因素共同作用的结果,要降低工程内氡的浓度,只片面的改善一种因素的影响是不妥的,只有各种防范措施共同努力,才能有效地降低室内氡浓度。

参 考 文 献

- [1] 陈智营. 珠海市区环境氡的监测及研究[J]. 中山大学学报论丛, 1998(6): 156
 [2] 杨文塔, 杨磊, 卢玉峰, 等. 用固体核径迹法测定地下场所²²²Rn水平[J]. 中国辐射卫生, 1999(2): 93

- [3] 黄锦生,张慧敏,谢锦尧,等. 密闭空调环境的空气卫生质量调查及卫生学评价[J]. 华南预防医学,2002(1):24
- [4] 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,23(3):131-133
- [5] 卢伟. 氡在地质环境中运动形式研究[A]. 第五届全国固体径迹探测器会议论文集[C]. 中国科学院近代物理研究所, 1995
- [6] 陈迪云,陈智营,胡瑞英. 珠海市大气环境中氡浓度的测定[J]. 环境科学,1999,20(6):97
- [7] 钟声浩,沈勤松,张有良. 上海等市区地下建筑物内氡及氡子体的浓度[J]. 核技术 1992(12):761
- [8] 王燮华. 环境氡的来源及其危害与治理[J]. 国外医学(放射医学核医学分册),1999,(3):103
- [9] 俞义樵,任天山. 室内氡的来源和特性[J]. 重庆大学学报,1999,(3):85

A SURVEY ON AIR RADON LEVEL IN UNDERGROUND SPACES IN FOUR PROVINCES OF SOUTHEAST CHINA

LI Xiao-yan^{1,2}, WANG Yan^{1,2}, ZHENG Bao-shan¹, WANG Xue¹

(1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

Widespread in the four provinces of Southeast China are U-rich granites, with a high-radon background. The radon level in underground space is higher than that above ground. This paper summarizes the work carried out in underground spaces in the high-radon background regions and reports the preliminary results of an ongoing study. Radon concentrations in 30 underground spaces in 11 cities were detected by a Model 1027 continuous monitor. The radon concentrations in 30 underground spaces range from 11.1~344.1 Bq · m⁻³ with an overall arithmetic mean value of 70.5 Bq · m⁻³. Thirty underground spaces were classified as four types: underground garages (I); underground supermarkets and offices (II); covered tunnels (III); and uncovered tunnels (IV). The influence on radon level from the urban circumstances such as geological formation, covering level, covering materials and ventilation situation were also discussed.

Key words: Southeast China; granite; underground space; radon