

浙江省居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的初步调查

胡 丹 杨维耿, 宋建锋, 何必胜 潘华东

中图分类号: R145 R145 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)01-0077-0

**【摘要】** 目的 初步了解浙江省居室内的氡浓度和  $\gamma$  辐射水平及其分布特性, 估算这两类辐射所致居民的受照剂量。方法 采用固体核径迹方法和热释光剂量方法测量氡浓度和  $\gamma$  辐射水平; 根据地级市行政区域划分, 随机抽取共 490 个卧室或客厅开展 3 个月以上的累积测量; 在其中 75 个房间开展 6 个月以上测量以观察两类辐射水平的季节性变化; 在开展调查过程中记录建筑物的结构、建筑年代、通风情况和楼层等信息。结果 全省居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平平均值为  $29.3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $105.8 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ , 所致公众的平均年有效剂量分别为 0.77 和 0.74 mSv; 新建居室内的氡浓度较高, 别墅内氡浓度明显高于其他类型的建筑物, 居室内氡浓度水平随通风时间减少而升高; 室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平没有明显的相关性, 且随季节变化也不明显。结论 当前浙江省居室内的平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平虽然不高, 但室内氡浓度已有增高的趋势, 值得关注与控制。

**【关键词】** 浙江省; 氡;  $\gamma$  辐射; 年均有效剂量; 别墅

室内氡和  $\gamma$  辐射是人类受到天然辐射照射的主要源项, 其所致公众平均剂量占有天然辐射照射的约 70%<sup>[1]</sup>。特别是近几年来, 世界卫生组织 (WHO) 高度重视室内氡对公众的健康影响问题, 2005 年已将室内氡致肺癌列入全球疾病负担名录<sup>[2]</sup>。当前, 国际放射防护委员会 (ICRP) 也非常关注室内氡照射及其控制问题。另一方面, 随着我国国民经济的快速增长和人民生活水平的不断改善, 人们的居住条件和环境也已发生了很大变化, 居住环境中的氡和  $\gamma$  辐射水平也可能有了一定的变化。

浙江省是我国经济发展较快且人口密度最高的省份之一, 调查本省当前室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平并分析其变化趋势, 对评价和控制天然辐射照射对浙江省居民的健康影响具有重要意义。

## 1 浙江省概况

浙江省地处中国东南沿海长江三角洲南翼, 东临东海, 南接福建, 西与江西、安徽相连, 北与上海、江苏接壤。浙江省地形复杂, 境内地形起伏较大, 浙江西南、西北部地区群山峻岭, 中部、东南地区以丘陵和盆地为主, 东北地区地势较低, 以平原为主; 全省大陆面积中, 山地丘陵占 70.4%, 平原占 23.2%, 河流湖泊占 6.4%。气候总的特点是季风显著、四季分明、年气温适中、光照较多、雨量丰沛、空气湿润、雨热季节变化同步。2008 年末, 浙江省常住人口为 5 180 万人, 城镇人口占全省人口的 57.9%<sup>[3]</sup>。

## 2 材料与方法

基金项目: 浙江省科技计划项目 (2007C33057)

作者单位: 浙江省辐射环境监测站, 浙江 杭州 310012

作者简介: 胡丹 (1970~), 女, 浙江绍兴人, 高级工程师, 主要从事辐射环境监测研究工作

展放射防护工作。

3.6 加强培训 加强放射卫生法律法规和防护知识的培训, 使医疗机构负责人和放射工作人员提高认识, 达到保护受检者、放射工作人员的目的。

参考文献:

[1] 姜云, 杜国生, 李石银. CR 装备普及与设备管理 [J]. 放射影像与防护设备, 2004, 1: 34-35.

[2] 王智. CR 常见伪影分析及建议 [J]. 中国中西医结合影像

2.1 测量方法 本次氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的测量使用核工业北京化工冶金研究院研制的 KF-606B 型被动式剂量计<sup>[4]</sup>。该剂量计内含 1 个固体核径迹探测元件 (CR-39) 和 2 个热释光剂量元件 LiF (Mg, Cu, P), 可分别用于测量室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平。在累积测量 90d 的情况下, 该剂量计对氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的探测下限分别约为  $1.7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $29.6 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。为保证测量结果可靠, 在整个调查过程中严格执行剂量计的及时使用和回收后尽快分析的调查原则, 分析过程严格按本实验室相应的质量保证体系程序执行; 另外, 还按各地布点数的 10% 比例布放平行样, 要求平行样监测结果在  $\pm 20\%$  内符合。

2.2 布点原则与方法 为初步了解全省居室内的氡浓度和  $\gamma$  辐射水平, 按本省 2005 年末常住人口的 1:10 万人比例, 先后在 11 个地级市共布放 490 个剂量计开展连续 3 个月的测量调查。各地住宅的选择考虑了建筑物的结构和年代等分布情况进行随机抽取。

为了解氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的季节变化情况, 在杭州市的 52 个居室开展了连续 1 年以上的 4 期测量, 在嘉兴市和衢州市的 23 个住宅开展了连续 6 个月以上的两期测量。

探测器 (剂量计) 一般布放在多层楼房的 3~4 层、平房和别墅住户的 1 层、高层楼房 (10 层以上) 的中间楼层。探测器悬挂位置首选卧室, 其次是客厅或餐厅, 避开空气不流动的死角和通风速度较快的风道 (远离风口); 探测器布放位置距离墙、窗或门大于 1 m, 高度在 1.5~2.0 m 之间。同时在布放或回收探测器的过程中, 实地了解并记录建筑物结构、楼层、建筑年代、装饰材料和通风等情况。

## 3 结果与分析

3.1 氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的总体情况 探测器的回收率约 87%, 共回收 585 个探测器。氡浓度的最小和最大值分别为

学杂志 2008, 15: 393-394.

[3] 杨学东. CR 设备质量控制的探讨 [J]. 实用医学影像杂志 2007, 8(2): 133-134.

[4] 陈燕, 陶昌明. CR 影像的质量控制 [J]. 中国交通医学杂志 2004, 18: 5.

[5] 牛延涛, 刘振生, 王革新, 等. 容易引起误诊的几种 CR 伪影的原因分析及解决方法 [J]. 中华放射医学与防护杂志 2009, 29: 233.

(收稿日期: 2010-08-02)

1.9 和 183.5  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  ,算术均值为  $29.3 \pm 20.3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  ,比  
上世纪 80 年代 209 个室内的均值( $17.2 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )<sup>[5]</sup> 高出了  
约 74%;  $\gamma$  辐射水平的范围为 59.8 和 187.4  $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$  ,算术均  
值为( $105.8 \pm 21.4$ )  $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$  ,与上世纪 80 年代的报道值基  
本一致<sup>[6]</sup>。氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的频数分布分别见图 1 和图  
2 ,氡浓度基本呈对数正态分布 ,而  $\gamma$  辐射水平基本呈正态分  
布;经统计分析 ,氡浓度和  $\gamma$  辐射水平之间的线性相关系数仅  
为 0.1 148 ,说明了两者之间的关联性不大。

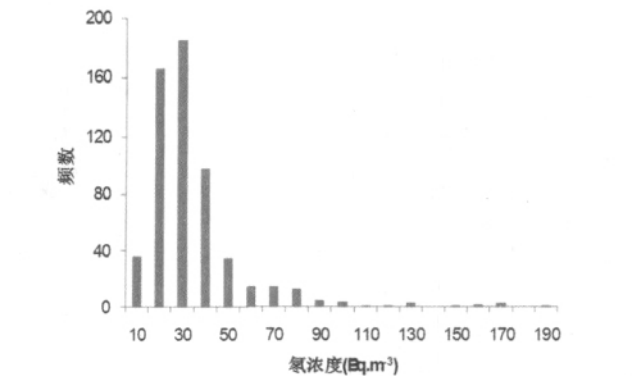


图 1 居室内氡浓度的频数分布图

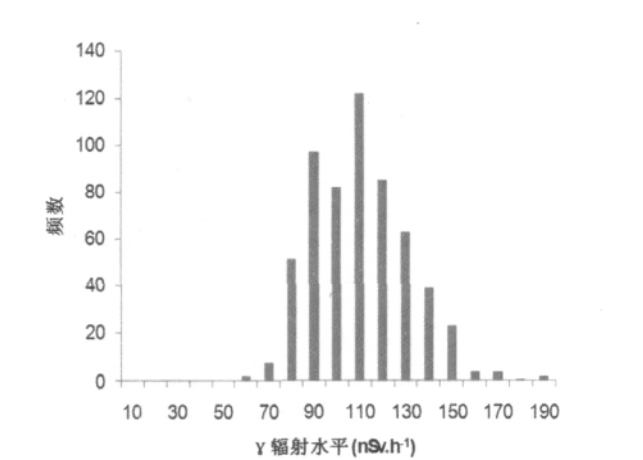


图 2 居室内  $\gamma$  辐射水平的频数分布图

3.2 各地区的氡浓度和  $\gamma$  辐射水平 表 1 列出了浙江省各地  
市居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的测量值。从表 1 中可看出 ,各  
地区的均值和水平虽不尽相同 ,但差异并不很大。舟山市的平  
均氡浓度较低 ,可能是该市地处海岛 ,室内外空气交换好于其  
他地区的原因。但本次调查发现 ,嘉兴市室内平均氡浓度最高  
而  $\gamma$  辐射水平最低 ,其原因有待进一步调查与研究。

表 1 浙江省各地区居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平测量值

地区	样本量 <sup>1)</sup> (n)	氡浓度( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )		$\gamma$ 辐射水平( $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ )	
		均值 $\pm$ 标准差	范围	均值 $\pm$ 标准差	范围
杭州	360	$29.7 \pm 21.2$	2.2 ~ 183.5	$95.4 \pm 16.3$	63.4 ~ 157.3
丽水	33	$31.3 \pm 19.9$	8.8 ~ 90.7	$122.9 \pm 13.7$	99.5 ~ 147.9
舟山	14	$21.7 \pm 12.7$	9.9 ~ 54.6	$105.7 \pm 8.7$	90.0 ~ 116.4
衢州	37	$25.6 \pm 20.9$	5.1 ~ 123.6	$136.2 \pm 22.9$	91.4 ~ 187.4
嘉兴	26	$36.5 \pm 28.5$	10.7 ~ 161.3	$91.2 \pm 16.3$	59.8 ~ 117.4
金华	30	$26.8 \pm 15.0$	6.2 ~ 73.5	$130.9 \pm 9.7$	111.1 ~ 149.8
台州	24	$25.1 \pm 23.1$	1.9 ~ 83.6	$114.0 \pm 12.8$	83.6 ~ 131.4
温州	29	$31.9 \pm 12.6$	10.3 ~ 71.1	$107.1 \pm 10.1$	74.4 ~ 124.3
宁波	19	$32.9 \pm 15.4$	5.0 ~ 62.8	$121.7 \pm 15.5$	69.4 ~ 139.4
绍兴	13	$23.7 \pm 11.8$	12.2 ~ 53.9	$108.2 \pm 12.8$	74.8 ~ 125.2
湖州	- <sup>2)</sup>	-	-	-	-
全省	585	$29.3 \pm 20.3$	1.9 ~ 183.5	$105.8 \pm 21.4$	59.8 ~ 187.4

注:1) 样本量中包括了杭州市 52 个房间的 4 期、衢州市 17 个房间的 2 期和嘉兴市 6 个房间的 2 期数据;2) 湖州市的探测器在收回后遗失。

3.3 不同建筑年代居室的氡浓度和  $\gamma$  辐射水平 见表 2。从  
表 2 可看出 ,平均氡浓度随建筑物年代向后推移呈增高趋势 ,  
而  $\gamma$  辐射水平基本保持稳定。

表 2 不同建筑年代居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平测量值

建筑年代	样品 数	氡浓度( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )		$\gamma$ 辐射水平( $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ )	
		均值	范围	均值	范围
1980 ~ 1989 年	46	26.9	11.4 ~ 79.1	116.5	59.8 ~ 187.4
1990 ~ 1999 年	129	27.3	1.9 ~ 90.7	116.1	69.4 ~ 180.3
2000 年之后	99	31.2	5.0 ~ 161.3	111.2	73.0 ~ 166.9

3.4 不同建筑结构居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平 见表 3。从  
表 3 可看出 ,砖木结构居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平略高于其他  
结构的居室。这可能是由于砖木结构一般是平房或者低层楼  
房 ,土壤氡析出对低层建筑物室内氡贡献相对较大 ,以及有部  
分建筑材料使用了放射性核素含量较高的煤渣砖。

表 3 不同建筑结构房屋室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平测量值

建筑结构	样品 数	氡浓度( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )		$\gamma$ 辐射水平( $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ )	
		均值	范围	均值	范围
砖木结构	39	30.1	8.8 ~ 90.7	124.1	91.4 ~ 180.3
混合结构	80	28.6	1.9 ~ 161.3	114.6	69.4 ~ 149.8
钢筋混凝土	158	28.0	4.0 ~ 123.6	111.4	59.8 ~ 187.4

3.5 不同通风状况居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平 将通风状况

分三类:通风良好(每天自然通风 8 h 以上)、空调通风(自然通  
风无或次要)和通风不良,不同通风状况居室内氡浓度和  $\gamma$  辐  
射水平的测量结果见表 4。从表 4 可看出 ,通风状况似乎没有  
改变室内的  $\gamma$  辐射水平 ,但通风越差 ,室内氡浓度越高。

表 4 不同通风状况居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平测量值

通风状况	样品 数	氡浓度( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )		$\gamma$ 辐射水平( $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ )	
		均值	范围	均值	范围
通风良好	212	26.2	1.9 ~ 123.6	113.6	59.8 ~ 187.4
空调通风	11	32.4	5.4 ~ 62.8	120.7	89.8 ~ 162.9
通风不良	15	37.1	9.9 ~ 72.4	111.6	78.4 ~ 143.9

3.6 别墅与普通楼房居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平 见表 5。  
从表 5 可看出 ,虽然别墅居室内的  $\gamma$  辐射水平与普通楼房居室  
内的水平基本相近 ,但别墅内平均氡浓度远高于普通楼房的水  
平。这可能是由于别墅内大部分房间的开窗通风较少而引起  
氡在室内贮积较多的缘故。

表 5 别墅与普通楼房居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平测量值

房屋类型	样品 数	氡浓度( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )		$\gamma$ 辐射水平( $\text{nSv} \cdot \text{h}^{-1}$ )	
		均值	范围	均值	范围
普通楼房	330	27.4	2.2 ~ 125.1	97.0	60.0 ~ 169.2
别墅	30	68.1	10.3 ~ 183.5	104.5	72.9 ~ 141.3

3.7 不同楼层居室内平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平 见表 6。从

广州市天然辐射所致公众照射剂量的评价

张 林 ,张静波 ,谭汉云 ,莫素芳

中图分类号: R146 文献标识码: B 文章编号: 1004 - 714X( 2011) 01 - 0079 - 02

【摘要】 目的 了解广州市天然  $\gamma$  辐射、空气中氡浓度及食物中天然放射性核素水平 ,估算其所致公众照射剂量。方法 分别采用 FD - 71A 闪烁辐射仪、CR - 39 $\alpha$  固体径迹探测器、CANBRRRA HPGe $\gamma$  能谱仪测量了广州市室内外天然  $\gamma$  辐射、氡浓度水平及食物中天然放射性核素含量 根据结果计算了所致公众年有效剂量当量。结果 室内外天然辐射所致公众人均年有效剂量当量为 3. 018 mSv/a ,所致公众集体年有效剂量当量为  $2. 189 \times 10^4$  ( man  $\cdot$  Sv/a) 。结论 广州市天然辐射属正常天然本底水平。

【关键词】 天然; 辐射; 有效剂量

天然辐射是公众受照的最主要来源 ,天然辐射是不可避免的 ,但是人类活动势必对天然辐射产生影响。因此开展天然辐射研究 ,对于了解并控制天然辐射 ,降低公众不必要的照射具有十分深远的意义。笔者根据广州市天然  $\gamma$  辐射、室内外氡浓度水平的调查结果<sup>[1-2]</sup> 及食物中天然放射性核素含量 ,对公众所受人均年有效剂量当量进行了估算。

基金课题: 广东省科技厅科技计划项目( C31404)  
作者单位: 广州市疾病预防控制中心 广东 广州 510440  
作者简介: 张林( 1966 ~ ) ,男 ,重庆市人 ,副主任技师 ,主要从事放射卫生防护工作

表 6 可看出 ,除 1 楼居室的平均氡浓度略高外 ,其他楼层室内的平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平都没有明显的差别。

表 6 不同楼层室内的平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平

楼层	样品数	氡浓度( Bq $\cdot$ m <sup>-3</sup> )		$\gamma$ 辐射水平( nSv $\cdot$ h <sup>-1</sup> )	
		均值	标准差	均值	标准差
1	17	33. 7	18. 4	108. 9	20. 1
2	52	29. 0	17. 6	115. 1	22. 7
3	45	26. 5	16. 2	108. 6	20. 1
4	22	29. 0	13. 8	117. 7	26. 8
5	34	25. 0	13. 8	115. 6	17. 5
6	64	27. 8	24. 9	117. 7	16. 6
7 层及以上	33	31. 3	22. 0	113. 2	21. 9

3. 8 不同时间段居室内氡浓度和  $\gamma$  辐射水平 杭州市 52 个居室不同测量时间段的氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的均值见表 7。从表 7 可看出 ,不同测量时间段的平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的最大值与最小值的比值分别仅为 1. 13 和 1. 12。另外 ,在嘉兴市和衢州市的 23 个居室内 ,测得 2 个时间段的平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平的比值也均小于 1. 16。浙江省居室内氡浓度随季节变化较小 ,其主要原因可能是浙江省年平均气温较高 ,即便是在冬天 ,居民也常有开窗通风的习惯; 另一方面 ,在夏天 ,由于空调的普遍使用反而减少了室内氡向室外的扩散。

表 7 杭州市 52 个居室不同时间段的平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平

时间	氡浓度( Bq $\cdot$ m <sup>-3</sup> )		$\gamma$ 辐射水平( nSv $\cdot$ h <sup>-1</sup> )	
	均值	标准差	均值	标准差
2007. 4 ~ 2007. 7	28. 1	17. 0	95. 8	12. 9
2007. 7 ~ 2008. 3	25. 1	14. 0	106. 9	19. 9
2008. 3 ~ 2008. 8	25. 9	13. 2	105. 5	16. 6
2008. 8 ~ 2008. 12	24. 8	10. 8	99. 7	13. 1

1 仪器与方法

1. 1 仪器 天然  $\gamma$  辐射采用上海电子仪器厂生产的 FD - 71A 闪烁辐射仪 ,测量结果用文献<sup>[3]</sup> 的校正方法进行修正。氡浓度采用中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所生产的 Rn - Tn 探测杯 ,探测材料为英国 Radtrack CR - 39 $\alpha$  固体径迹片 ,使用前经南华大学国家标准氡实验室刻度。食品样品的采集和处理按国家标准《食品中放射性物质检验》规范进行。

1. 2 测量方法 检测方法采用《环境地表  $\gamma$  辐射剂量率测定规范》( GB/T14583 - 1993) 和《环境空气中氡的标准测量方法》( GB/T14582 - 1993) 中的径迹蚀刻法。食品用 CANBRRRAHP

3. 9 剂量估算 浙江省全省居室内平均氡浓度和  $\gamma$  辐射水平为 29. 3 Bq  $\cdot$  m<sup>-3</sup> 和 105. 8 nSv  $\cdot$  h<sup>-1</sup> ,根据联合国原子能辐射效应委员会提供的方法和参数<sup>[1]</sup> ,估算出全省居民所受这两类辐射的年均有效剂量分别为 0. 77 mSv 和 0. 74 mSv。

综上所述 ,本次调查研究初步表明 ,浙江省居室内的氡浓度水平有逐年增高的趋势 ,而  $\gamma$  辐射水平基本保持稳定。居室内氡浓度增高的可能原因是别墅住宅的增多、居室换气率的降低、煤渣砖以及某些新型建筑材料的使用等原因。因此 ,从更好地保护广大公众的健康角度 ,有必要关注室内氡浓度增高的问题 ,并进一步研究适合于本省的氡照射控制措施。

志谢: 本次调查布点工作得到了浙江省辐射环境监测站同事们的大力支持与帮助 ,复旦大学卓维海教授对本次调查工作给予了精心指导 ,在此表达谢意。

参考文献:

[1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ( UNSCEAR) . Sources and effects of ionizing radiation [R] . New York: United Nation ,2000.

[2] World Health Organization ( WHO) . WHO Handbook on Indoor Radon: a public health perspective [M] . Paris: WHO Press ,2009.

[3] 浙江省统计局. 浙江省统计年鉴 2009 [M] . 北京: 中国统计出版社 2009: 27 - 67

[4] 杨明理. KF606B 型氡和  $\gamma$  个人剂量计 [J] . 辐射防护 ,2007 ,27( 4) : 193 - 197.

[5] 李素云. 我国部分地区室内外氡水平及其剂量评价 [J] . 辐射防护通讯 ,1999 ,19( 6) : 8 - 13.

[6] 中华人民共和国卫生部. 中国环境电离辐射水平及居民受照剂量 [P] . 北京: 中华人民共和国卫生部 ,1986: 227 - 248.

( 收稿日期: 2010 - 10 - 08)