

成都地区室内环境氡浓度和 γ 辐射水平调查

徐立鹏,葛良全*,谷懿,邹功江,王卓,朱国祯 (成都理工大学核技术与自动化工程学院,四川 成都 610059)

摘要: 采用固体核径迹法和热释光剂量计,对成都市不同建造年代、建筑类型、建筑结构、建筑材料以及楼层的 100 间居室进行了室内环境氡浓度和 γ 辐射水平的测量.调查结果表明:成都市居室环境中氡浓度范围为(8.4~177.1)Bq/m³,算术平均值为(39.5±22.9)Bq/m³,低于世界平均水平; γ 辐射水平的范围为(74.7~164.7)nSv/h,算术平均值为(122.0±16.2)nSv/h,与室内氡浓度无相关性.不同建筑年代、建筑类型、建筑楼层和建筑材料的房屋室内环境氡浓度水平有显著差异.室内环境氡及其子体和 γ 辐射照射所致公众的平均年有效剂量分别为 0.99mSv 和 0.85mSv.

关键词: 室内环境氡浓度; γ 辐射水平; 建筑; 有效剂量

中图分类号: X591;TL7 **文献标识码:** A **文字编号:** 1000-6923(2013)02-0351-06

Investigation of indoor radon concentration and γ radiation levels in Chengdu Area. XU Li-peng, GE Liang-quan*, GU Yi, ZOU Gong-jiang, WANG Zhuo, ZHU Guo-zhen (College of Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China). *China Environmental Science*, 2013,33(2): 351~356

Abstract: Solid state nuclear track method and thermo luminescence dosimeter were used to measure indoor environmental radon concentrations and γ radiation levels in 100 buildings of different building ages, housing types, construction structures, decoration materials and floors in Chengdu. The results showed that the highest level of indoor environmental radon concentration in Chengdu is 177.1 Bq/m³, the lowest level is 8.4Bq/m³, and the average level is (39.5 ± 22.9) Bq/m³, the data is lower than average value of the world; The highest level of indoor γ radiation in Chengdu is 164.7 nSv/h, the lowest level is 74.7nSv/h, and the average level is (122.0±16.2) nSv/h, which is not concerned with indoor radon concentration. Statistical analyses showed that the differences of indoor environmental radon concentration among different building ages, types, floors, and decoration materials of buildings were significant. Radon and his daughter's annual effective dose to shine is 0.99mSv, while the effective dose of γ radiation is 0.85mSv every year.

Key words: indoor environmental radon concentration; γ radiation levels; building; effective dose

生活环境中的室内氡和 γ 辐射对人体健康存在潜在的危害,其所致公众平均辐射剂量占天然辐射照射的 70%^[1].氡及其子体对人体的辐射损伤占人体所受全部环境辐射的 54%,并且发病潜伏期比较长^[2].随着人们生活水平的不断提高,房屋建筑结构、建筑材料以及通风情况等因素对我国室内环境氡浓度和 γ 辐射的影响也在逐渐增大.为此,对全国室内环境氡浓度和 γ 辐射水平做了相关调查和研究,本文主要介绍其中针对成都地区所进行的室内环境氡浓度和 γ 辐射水平调查,并对调查结果进行了分析.

1 调查方法

1.1 采样点的选择

选取成都市所辖九区四市六县 100 户的居民住宅作为测量样本,其中主要以楼房为主.测量点的选取均符合《住房内氡浓度控制标准》GB/T16146—1995^[3]的规定.

1.2 探测材料

探测仪器是由核工业北京化工冶金研究院提供的 KF606B 型氡和 γ 个人剂量计^[4],氡浓度测量所采用的探测材料是日本 BARYOTRAK 公司生产的 CR-39 固体核径迹探测器,规格为 1cm×1cm×1mm.由于探测器在测量过程中能避免 ²²⁰Rn

收稿日期: 2012-05-13

基金项目: 国家“863”项目(2012AA06A61803);国家自然科学基金资助项目(41074093)

* 责任作者, 教授, glq@cdut.edu.cn

对 ^{222}Rn 的影响,从而使得测量结果更接近真值,仪器对氡浓度的探测下限可以达到 1.7Bq/m^3 。 γ 辐射水平测量元件是北京解放军防化研究院生产的 GR-200A 型 $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P})$ 热释光探测器 (TLD),规格为 $\phi 4.5\text{mm} \times 0.8\text{mm}$, γ 辐射剂量率的探测下限为 29.6nSv/h 。

1.3 测量方法

选用《环境空气中氡的标准测量方法》GB/T14582—1993^[5]中所规定的固体径迹蚀刻法,满足《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB50325—2001^[6]中所规定的对民用建筑工程室内空气中氡浓度的检测的相关技术要求。

成都地区的室内环境氡浓度和 γ 辐射水平调查共有 3 次。在测量现场,测量探测器放置于人员留驻时间较长,气流稳定的卧室、办公室和书房。要求探测器远离通风口,距离墙壁大于 20cm ,距地面 1.5m 以上。在正常生活状态下采样,每次放置时间为 3 个月。收集探测器后立即将探测器放于铝箔袋中密封保存,寄往核工业北京化工冶金研究院进行测量,得到室内环境氡浓度和 γ 辐射水平值。

2 结果与讨论

2.1 室内环境氡浓度和 γ 辐射剂量率的总体情况

成都地区居民住宅内氡浓度的分布范围为 $(8.4 \sim 177.1)\text{Bq/m}^3$,平均值为 $(39.4 \pm 22.9)\text{Bq/m}^3$,低于世界平均水平^[4],而与 20 世纪 90 年代采用闪烁法进行调查测量的氡浓度 29.4Bq/m^3 相比^[7],升高了 10Bq/m^3 。统计发现,97.9% 的房屋室内氡浓度低于健康氡浓度限值 100Bq/m^3 ^[8]。 γ 辐射水平的范围 $(74.7 \sim 164.7)\text{nSv/h}$,平均值为 $(122.0 \pm 16.2)\text{nSv/h}$ 。成都地区室内环境氡浓度和 γ 剂量率频数分布见图 1,发现氡浓度基本呈对数正态分布;而 γ 辐射水平服从偏正态分布,表明测量得到的 γ 辐射水平值大部分集中于数值较大的范围之内。运用统计分析软件 SPSS,对氡浓度和 γ 辐射水平进行了回归分析,发现两者之间的线性相关系数仅为 0.027,两者之间的关联性不大。

2.2 各区县的室内环境氡浓度和 γ 辐射水平

成都地区居民住宅内氡浓度和 γ 辐射剂量

率调查结果见表 1,可以看出,部分地区氡浓度均值相差较大,大邑县最低,而温江最高,差值达到 39.0Bq/m^3 ,存在较大的差异。原因在于成都市城乡一体化发展相对较慢,城市市区的建筑和郊县的建筑风格、建筑类型相差很大。成都市位于成都平原中心地带,土壤氡浓度本底较低,建筑材料是室内氡的主要来源。不同建筑材料对于室内氡浓度和 γ 辐射的影响程度不同^[9],建筑类型和建筑材料的差异,必然引起室内氡浓度明显区别。大邑县室内氡浓度均值最低 29.2Bq/m^3 而 γ 辐射水平最高 137.5nSv/h ,温江区室内氡浓度均值最高 68.2Bq/m^3 而 γ 辐射水平却最低 95.8nSv/h ,其原因有待进一步调查研究。

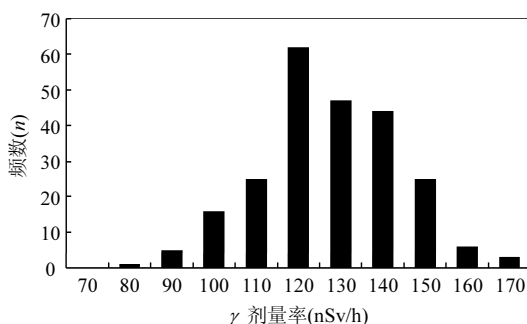
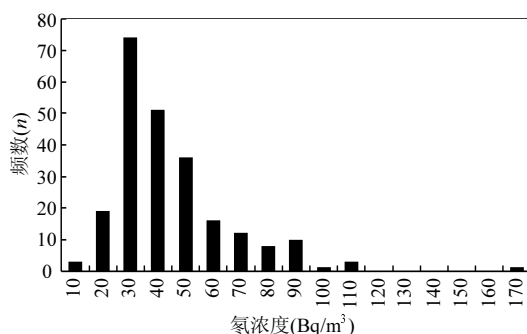


图 1 室内平均氡浓度和 γ 辐射剂量率频数分布

Fig.1 Distribution of indoor radon concentrations and gamma dose rate frequencies

2.3 不同建造年代居室环境氡浓度和 γ 辐射水平

不同房屋建筑年代室内环境氡浓度和 γ 辐射剂量率调查结果见表 2。虽然 γ 辐射水平随房屋建筑年代的向后推移基本稳定不变,但是氡浓度呈现增加趋势,2000 年以后的室内氡浓度为 41Bq/m^3 ,略高于世界平均水平。初步推断可能在于不同年代

房屋使用的建筑材料不同所致.成都市自 2003 年开始大力推广新型墙体材料.新型墙体材料主要是用水泥、混凝土、砂等硅酸质材料,有的掺加煤矿石、粉煤灰、炉渣等工业废料和建筑垃圾经过压制或烧结而成.部分掺入含放射性活度较高的粉煤灰、工业炉渣的墙体材料,由于其加工工艺与传统黏土砖不同,被制作成高孔隙度砖体,致使氡的析出率增大^[10],从而导致室内氡浓度升高.

表 1 成都各区县室内氡浓度和 γ 辐射剂量率测量结果
Table 1 Indoor radon concentrations and gamma dose rate of different areas

地区	样本数	氡浓度(Bq/m ³)		γ 剂量率(nSv/h)	
		范围	均值±标准差	范围	均值±标准差
成华区	18	21.3~2.4	36.5±15.0	98.6~156.3	125.7±15.4
崇州	16	8.4~67.3	35.8±16.5	86.6~151.7	119.2±19.2
大邑县	2	9.0~49.5	29.2 [*]	119.7~155.4	137.5 [*]
都江堰	9	17.7~81.6	40.1±19.6	101.7~148.8	128.2±17.9
高新区	8	18.2~103.9	51.4±35.1	96.2~137.0	119.7±13.3
金牛区	13	12.7~83.9	39.1±17.5	93.9~141.5	120.9±15.8
金堂	19	15.8~81.4	34.1±17.8	88.8~140.9	118.8±11.4
锦江区	7	20.7~51.9	32.7±10.2	88.0~144.2	121.3±18.8
龙泉驿	16	14.0~74.2	35.9±18.7	99.7~164.7	124.6±16.8
彭州	15	22.0~177.1	44.6±40.3	74.7~148.7	114.4±21.9
郫县	14	11.6~74.0	39.3±18.	109.3~152.5	128.2±15.6
青白江	24	12.1~89.1	42.4±19.9	89.6~147.4	125.3±13.5
青羊区	14	14.5~86.2	35.5±16.4	99.4~145.2	119.4±13.0
邛崃	12	12.2~167.6	54.0±42.2	112.3~149.6	128.3±11.7
双流	7	26.5~69.6	43.2±15.2	92.3~156.4	120.4±21.9
武侯区	18	19.7~102.7	33.6±19.	92.1~164.6	117.7±17.3
新都	15	8.8~85.1	35.4±22.9	108.4~159.9	127.4±13.8
新津	3	21.4~60.4	36.6 [*]	108.0~135.8	119.6 [*]
温江	4	64.7~73.6	68.2±3.9	91.7~99.0	95.8±3.1
全市	234	8.4~177.1	39.5±22.9	74.7~164.7	122.0±16.2

注:^{*}由于大邑县和新津地区的样品数较少,氡浓度和 γ 辐射水平的均值仅作参考

表 2 不同建筑年代室内氡浓度和 γ 辐射剂量率测量结果
Table 2 Indoor radon concentrations and gamma dose rate of different building ages

建筑年代	样本数	氡浓度(Bq/m ³)		γ 剂量率(nSv/h)	
		范围	均值±标准差	范围	均值±标准差
20 世纪 80 年代	13	8.4~57.3	27.1±12.3	103.6~137.9	120.7±9.6
20 世纪 90 年代	88	8.8~167.6	38.6±24.6	88.0~159.9	124.9±14.0
21 世纪初	128	12.1~177.1	41.0±22.4	74.7~164.7	120.1±18.1

2.4 不同房屋类型居室内氡浓度和 γ 辐射水平

通过对 3 种不同建筑类型房屋室内环境氡浓度调查结果的统计发现,别墅中的氡浓度水平不但比平房和楼房的高,而且还高于全国调查水平的算术平均值 43.8Bq/m³^[11].别墅、平房和楼房居室内 γ 辐射水平的均值都接近总体平均水平

值,无明显差异,基本保持稳定.

别墅中高浓度的氡和装修材料的选取有关.石材的放射性一般高于其他材料^[12],调查发现,有 80%的别墅中选用的装修材料是石材的地砖,这些别墅的室内氡浓度都高于其他别墅中的室内氡浓度.说明装修材料对居室内氡浓度水平的提高有很大的影响.

表 3 别墅、平房和楼房居室内氡浓度和 γ 辐射剂量率测量结果
Table 3 Indoor radon concentrations and gamma dose rate of different construction types

房屋类型	样本数	氡浓度(Bq/m ³)		γ 剂量率(nSv/h)	
		范围	均值±标准差	范围	均值±标准差
楼房	183	8.8~103.9	38.1±19.1	86.6~164.7	123.0±15.5
平房	39	8.4~177.1	43.4±35.8	74.7~164.6	120.7±19.2
别墅	12	20.5~89.1	46.5±21.1	89.6~137.7	113.0±16.3

2.5 不同楼层居室内环境氡浓度和 γ 辐射水平

表 4 是对不同楼层室内环境氡浓度和 γ 辐射剂量率调查的结果.室内氡浓度随着楼层的增高呈现波动性变化,但总体上是减少的,这与以前大多数调查研究的结果相符.低层建筑室内的氡浓度不仅有来自建筑材料的贡献,而且土壤氡的扩散对氡浓度的增加也有一定的影响;高层建筑居室内氡浓

度主要来源于建筑材料和装修材料^[13],通风情况对室内氡浓度也有很大的影响.随着楼层高度的增加土壤氡对高层建筑居室内氡浓度的影响越来越弱,因此,土壤氡对低层住宅内氡浓度的影响较大,而对高层住房的影响甚微,与有关文献报道基本一致.发现 γ 辐射水平没有较大的差异,表明楼层的变化对室内的 γ 辐射测量结果影响较小.

表 4 不同楼层居室内平均氡浓度和 γ 辐射剂量率测量结果
Table 4 Indoor radon concentrations and gamma dose rate of different floors

楼层	样本数	氡浓度(Bq/m ³)		γ 剂量率(nSv/h)	
		范围	均值±标准差	范围	均值±标准差
1 层	70	8.4~177.1	42.2±30.1	74.7~164.6	120.8±17.6
2 层	69	8.8~89.1	37.6±18.2	88.8~164.7	124.1±15.4
3 层	36	12.7~103.9	40.0±19.3	96.2~156.4	127.5±14.3
4 层	40	19.7~102.7	40.0±22.8	88.0~148.7	119.1±16.1
5 层	8	26.1~41.0	31.7±5.5	108.4~156.3	126.1±15.1
6 层	5	14.5~45.8	30.5±13.1	103.5~138.1	115.2±13.5
9 层	3	24.4~36.2	32.0 [*]	102.2~113.4	108.3 [*]

注: * 由于第9层的样品数较少,氡浓度和 γ 辐射水平的均值仅作参考

2.6 不同建筑结构居室内环境氡浓度和 γ 辐射水平

表 5 的结果表明,钢结构居室内 γ 辐射水平最低为 103.9nSv/h,其他 3 种建筑结构 γ 辐射水平比较接近,钢结构建筑居室内的氡浓度最高,为 58.9Bq/m³.氡浓度高的钢结构建筑所采用的墙体建筑材料都是砖,而装修材料都为木板,致使氡气

便于从砖中析出经由木板之间的裂隙迁移到居室,从而会使居室内的氡浓度水平提高.但是钢筋混凝土、混合结构和砖木结构建筑室内环境氡浓度基本在同一水平,无显著差异.可以看出,大多数的建筑结构(钢筋混凝土、混合结构和砖木结构)对室内氡浓度的影响效果并不显著.

表 5 不同建筑结构居室内氡浓度和 γ 剂量率测量结果
Table 5 Indoor radon concentrations and gamma dose rate of different construction structure

建筑结构	有效个数	氡浓度(Bq/m ³)		γ 剂量率(nSv/h)	
		范围	均值±标准差	范围	均值±标准差
钢结构	7	21.8~73.6	58.9±18.2	91.7~127.6	103.9±13.5
钢筋混凝土	82	12.1~103.9	40.0±20.7	88.0~156.4	120.3±15.2
混合结构	41	12.2~89.1	36.8±19.3	89.6~149.6	122.2±14.4
砖木结构	15	15.8~100.0	39.8±24.5	107.6~140.9	122.4±9.3

2.7 不同建筑墙体材料与室内环境氡浓度和 γ 辐射水平

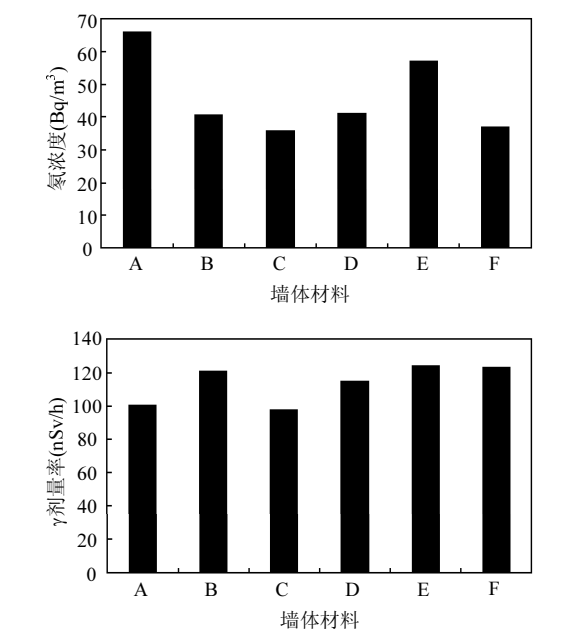


图2 不同墙体材料的建筑室内氡浓度和 γ 辐射剂量率
Fig.2 Indoor radon concentrations and gamma dose rate provided with different decoration materials

A 工业废渣砖 B 普通混凝土 C 新型墙体材料
D 砖 E 砖木混凝土 F 砖、混凝土

图2是采用不同墙体材料的建筑室内环境氡浓度和 γ 辐射剂量率的调查结果.新型墙体材料的建筑室内环境氡浓度和 γ 辐射水平最低,分别为 36.1 Bq/m^3 和 98.2 nSv/h ;以工业废渣砖作为墙体材料的房屋,室内氡浓度最高,为 66.3 Bq/m^3 ,主要原因在于工业废渣中的放射性元素(特别是铀系列的元素)含量较高.其次是砖、木、混凝土,室内氡浓度为 57.5 Bq/m^3 ,由于用这类材料装修的房屋大部分都是老式住房,在设计上多采用小窗结构,部分甚至只在单面设计门窗,这样影响了室内气体的对流,从而使得室内氡浓度偏高.新型墙体材料的建筑室内氡浓度最低,为 36.1 Bq/m^3 .居室内的新型墙体材料大多是加气混凝土砌块和小型混凝土空心砌块,它们有耐高温、抗震、不开裂的优点,并且烧结的空心砖对室内氡浓度所产生的有

效剂量的贡献比相同材质的实心砖低^[14],所以使用新型墙体材料的居室室内氡浓度和 γ 剂量率比较低.采用新型墙体材料的建筑的室内氡浓度与普遍使用的砖、混凝土比较,差异较小;但是与工业废渣砖和砖、木、混凝土比较,有显著差异.

3 有效剂量估算

成都地区室内环境氡浓度为 39.4 Bq/m^3 , γ 剂量率为 122.0 nSv/h ,选取 0.8 作为室内居留因子,即一年中在室内时间为 7008 h .由式(1)计算成都地区室内环境氡及其子体所产生的人均年有效剂量(H_e):

$$H_e = C_{eq} \cdot f \cdot t \tag{1}$$

式中: C_{eq} 为平衡等效氡浓度,其值为室内氡浓度与平衡因子的乘积,室内平衡因子根据报告取世界平均值 0.4; f 是氡子体剂量转换因子,根据 UNSCEAR2000 报告取 $9\text{ nSv}\cdot\text{m}^3/(\text{Bq}\cdot\text{h})$ ^[15]; t 为居留因子.得到成都市居民吸入室内环境氡及其子体所致年均有效剂量为 0.99 mSv ,低于 2000 年调查的世界年平均照射剂量 1.2 mSv ^[16].

由式(2)计算 γ 射线外照射所致年有效剂量(H_γ):

$$H_\gamma = D_\gamma \cdot k \cdot t \tag{2}$$

式中: D_γ 为室内空气 γ 吸收剂量率; k 为将空气吸收剂量(Gy)转换为有效剂量(Sv)的剂量转换因子为 0.7; t 为在室内停留时间.推算出成都市居室内 γ 辐射所致年均有效剂量为 0.85 mSv .成都市市民因室内环境氡吸入和 γ 辐射照射所致的年均有效剂量的总和约为 1.84 mSv ,低于世界人均年有效剂量 2.4 mSv .

4 结论

4.1 成都市市民居室内 γ 辐射水平平均值为 $(122.0\pm16.2)\text{ nSv/h}$;氡浓度平均值为 $(39.4\pm22.9)\text{ Bq/m}^3$.调查的样品都是已经建好的房屋,测量得到的室内氡浓度数值均未超过国家标准限值^[3],在适于人类居住范围之内.

4.2 成都市各区县平均室内氡浓度存在差异,初步分析是由于建筑类型和建筑材料的差异引

起室内氡浓度明显区别,而 γ 辐射水平基本稳定。

4.3 对不同墙体材料的分析表明:近年所采用的新型墙体材料,能有效的降低居室内氡浓度和 γ 辐射。

4.4 建筑年代、楼层对居室内 γ 辐射影响较小,而对室内氡浓度有较大的影响。

4.5 调查得到成都市居民接受室内环境氡及其子体的平均照射剂量和 γ 辐射所致年均有效剂量分别为 0.99 mSv 和 0.85 mSv,低于世界人均年有效剂量。

参考文献:

- [1] UNSCEAR. Source and effects of ionizing radiation [M]. UNSCEAR 2000 Report, 2000:132-145.
- [2] 黄玉云,卢志雁.室内的隐形杀手—放射性惰性气体氡 [J]. 大同医科专科学校学报, 2000,4:21-22.
- [3] GB/T16146—1995 住房内氡浓度控制标准 [S].
- [4] 杨明理.KF606B 型氡和 γ 个人剂量计 [J]. 辐射防护, 2007, 27(4):193-197.
- [5] GB/T14582—1993 环境空气中氡的标准测量方法 [S].
- [6] GB50325—2001 民用建筑工程室内环境污染控制规范 [S].
- [7] 朱 俊,张文勇,潘亚玲,等.成都市居民住宅内氡浓度水平调查 [J]. 职业卫生与病伤, 2002,17:207.
- [8] 国家住宅与居住环境工程中心.健康住宅建设技术要点 [M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2004.
- [9] Maria Karpinska, Zenon Mnich, Jacek Kapala. Seasonal changes in radon concentrations in buildings in the region of northeastern Poland [J]. Journal Environmental Radioactivity, 2004,77:101-109.
- [10] Rahmana S, Matiullaha Matia N, Ghaurib B M. Seasonal indoor radon concentration in the Northwest Frontier Province and federally administered tribal areas-Pakistan [J]. Radiation Measurements, 2007,42:1715-1722.
- [11] 尚 兵.中国典型地区室内氡水平的研究 [J]. 工程兵勘探设计, 2007,55(5):4.
- [12] 张智慧.空气中氡及其测量方法 [M]. 北京:原子能出版社, 1994:107.
- [13] Khan A J. A study of indoor radon levels in Indian dwellings, influencing factors and lung cancer risks [J]. Radiation Measurements, 2000,32:87-92.
- [14] GB6566-2001 建筑材料放射性核素限量 [S].
- [15] 联合国原子辐射效应科学委员会.电离辐射源与效应 卷 I .辐射源. [M]. 太原:山西科学技术出版社, 2002:104.
- [16] Tian Deyuan. Indoor and outdoor air radon concentration level in China [J]. Proceedings of Indoor Air, 1993,4:459-463.

致谢: 成都地区室内环境氡浓度和 γ 辐射水平调查工作是在原子能科学研究院潘自强院士和刘森林研究员的指导下进行的,固体核径迹探测器和室内环境氡浓度测量所得的结果是由核工业北京化工冶金研究院杨明理研究员提供的,在此一并表示感谢。

作者简介: 徐立鹏(1987-),男,甘肃会宁人,成都理工大学核技术及应用专业硕士研究生,主要从事地学核技术方面研究.发表论文 6 篇。

CO₂ 浓度升高导致末次冰消期全球变暖

南极冰核记录中二氧化碳(CO₂)浓度与温度的协同变化意味着更新世冰川时代 CO₂ 与气候之间的紧密联系.但 CO₂ 在引起这些气候变化方面的作用和相对重要性仍不清楚,部分原因是冰核气记录反映的是当地而非全球温度.汇集全球 80 处媒介物间接测算点还原了远古全球地表温度记录,数据表明,末次(即最近一次)冰消期的温度与 CO₂ 浓度相关,且略滞后于 CO₂ 浓度变化.北半球与南半球各自温度变化的差异与大西洋海洋沉积物记录的经向环流强度的差异一致这些观察与瞬时全球气候模型模拟共同支持如下的结论:对海洋环流变化的反相半球温度响应 CO₂ 浓度升高导致的全球同步变暖相叠加,能够很大程度上解释最近一次冰川时代末期的温度变化。

李立峰 译自《Nature》, April 5, 2012(484),49-55.