

CN9400198

CNTC-00728

SMC-0094

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

地下建筑内氡及其子体浓度调查
与所致内照射剂量估算

MEASUREMENTS OF ^{222}Rn AND ITS DAUGHTERS
AND ESTIMATION OF INTERNAL DOSES
TO WORKERS IN THE UNDERGROUND BUILDINGS

(In Chinese)



原子能出版社

中国核信息中心

China Nuclear Information Centre



曹建平：苏州医学院讲师。1984年毕业于苏州医学院放射医学专业。1990年获该专业硕士学位。

Cao Jianping; Lecturer of Suzhou Medical College. Graduated from Department of Radiation Medicine of Suzhou Medical College in 1984, majoring in radiation medicine and got master degree in the same speciality in 1990.

CNIC-00728

SMC-0094

地下建筑内氡及其子体浓度调查 与所致内照射剂量估算

曹建平 陆治利

(苏州医学院)

李亘山

(南京市卫生防疫站)

摘 要

采用双滤膜法和 Thomas 法对南京市地下建筑物内氡及其子体浓度分别进行了监测。应用 UNSCEAR 最新报告中的剂量转换因子,对地下建筑物内工作人员进行了内照射剂量估算;对影响地下建筑内氡及其子体浓度的通风情况作了初步探讨。结果如下:南京市地下建筑物内氡及其子体浓度均呈对数正态分布,两者的几何均值分别是 $40.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $1.4 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$,平衡因子为 0.63,氡短寿命子体间的放射性平衡比为 $1 : 0.57 : 0.49$,工作人员在地下建筑物内因吸入氡子体造成的年有效剂量当量为 1.3 mSv ,高出当地居民 86%。

**MEASUREMENTS OF ^{222}Rn AND ITS DAUGHTERS AND
ESTIMATION OF INTERNAL DOSES TO WORKERS
IN THE UNDERGROUND BUILDINGS**

(In Chinese)

Gao Jianping Lu Zhizhao
(SUZHOU MEDICAL COLLEGE)

Li Yuanshan
(NANJING HYGIENE AND ANTIEPIDEMIC STATION)

ABSTRACT

The results of concentration measuring of ^{222}Rn and its daughters and estimation of internal doses to workers in the underground buildings at Nanjing city are presented. The double filtering membrane method and Thomas method were used in the monitoring of ^{222}Rn and its daughters, and the dose conversion factor was taken from the latest UNSCEAR report. Concentration distributions of ^{222}Rn and its daughters were approximately log-normal. The geometric means for ^{222}Rn was $40.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ and for its daughters was $1.4 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$. The equilibrium factor was 0.63. The radioactive equilibrium ratio between short-lived ^{222}Rn daughters was $1 : 0.57 : 0.49$. The estimation value of annual effective dose equivalent from ^{222}Rn daughters to workers working at underground sites was 1.3 mSv, which was 86% higher than that of those working on ground sites.

氡是自然界中普遍存在的天然辐射源,人类无时无刻不在受到氡及其子体的照射。根据 UNSCEAR 的最新估计^[1],正常本底地区天然辐射源致人体的年有效剂量当量为 2.4 mSv,氡及其子体的贡献为 1.1 mSv(约占 50%),其中室内氡及其子体的贡献为 1 mSv。由于人类的日常活动 70~80%是在氡浓度较高的室内进行,因此,环境中氡及其子体对人类的辐射危害越来越受到人们的关注^[2~4],国际卫生组织(WHO)已将氡列为仅次于吸烟的第二位肺癌诱发因素。地下建筑物由于氡析出率高、空气交换较差等原因,可使其中的氡及其子体浓度积聚到较高水平,因而地下建筑物内氡及其子体的辐射危害更为突出。近年来,由于地下空间广为开发利用,地下建筑物工作的人数不断增加,在其中的停留时间不断延长,因此,了解地下建筑物内氡及其子体浓度,以及工作人员的受照剂量十分必要。为了安全合理地利用各类地下建筑,我们对南京市已开发利用的部分地下建筑进行了氡及其子体浓度调查,并对地下建筑内工作人员进行了内照射剂量估算。

1 调查与测量方法

1.1 采样点选择

根据地下建筑物的类型与用途,安排九个监测场所。其中包括半地下建筑、高层建筑物地下室、掘开式及地道式等类型的地下建筑。它们分别被用作餐馆、娱乐场所、综合性办公场所、旅馆等。每个监测场所根据地下建筑物的大小、结构及通风情况均匀安排监测点。选择相应的地面建筑进行比对监测。本次调查,共设 63 个地下建筑监测点,24 个地面建筑监测点。

1.2 采样时间

为减少季节变化对氡及其子体浓度的影响,在四月下旬至五月上旬集中监测,采样时间选择在氡浓度相对稳定的九至十六时进行^[5]。采样时记录天气、温度、通风情况、建筑物结构等影响因素。

1.3 测量方法与仪器

用双滤膜法测量氡浓度,用改进的 Thomas 法测量氡子体浓度。氡及其子体同时采样,具体方法如下:用 KB-120E 型空气采样泵连接体积为 15 升的双滤膜筒,以 $100\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 流速采集空气样。取样至 5 分钟时,换取首层入口滤膜,在 FD-3002 测氡仪上分别于采样后 1~5 分钟、6~20 分钟以及采样后 3 小时进行 α 计数。采样 15 分钟后,取下出口滤膜,于上述测氡仪上分别于采样后 1~30 分钟和 3 小时进行 α 计数。用曲线拟合法计算出氡及其子体浓度。本方法曾在阳江高本底地区空气中氡及其子体浓度调查中应用,有关刻度及参考指标参见文献^[7]。监测过程中多次应用天然铀薄源进行仪器的效率刻度及本底测量。

2 结果与分析

2.1 南京市地下建筑内氡及其子体浓度

(1)分布 将南京市地下建筑物内氡、氡子体 α 潜能浓度以及氡短寿命子体 RaA、RaB 和 RaC 的累积频率分布分别在对数概率纸上作图,结果均近似为一直线,见图 1~4。表明地下建筑物中氡、氡子体 α 潜能以及氡短寿命子体 RaA、RaB、RaC 的浓度均服从对数正态分布,这与文献^[8~11]报道的结果相一致。

(2)氡及其子体浓度 南京市地下建筑物内氡、氡短寿命子体 RaA、RaB、RaC 以及氡子

体 α 潜能浓度列于表1。由表可见,南京市地下建筑物内氡以及氡子体 α 潜能的几何均值分别是 $40.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $1.4 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$ (算术均值分别是 $48.4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $2.4 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$)分别比地面建筑物内氡及其氡子体 α 潜能浓度高出2.5倍和2.8倍(地面建筑物内氡及其氡子体 α 潜能浓度的几何均值分别是 $16.3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $0.5 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$)。地下建筑物内氡短寿命子体RaA、RaB、RaC的浓度也均比地面建筑高出两倍以上。 t 检验结果表明,地下建筑与地面建筑内氡、氡短寿命子体RaA、RaB、RaC以及氡子体 α 潜能浓度的差异均有非常显著性意义($P < 0.01$)。地下建筑物内氡与子体的平衡因子 $F = 0.63$ (地面建筑物内 $F = 0.51$),与文献^[12]报道的结果相一致。地下建筑物内氡短寿命子体间放射性平衡比RaA : RaB : RaC = 1 : 0.58 : 0.47(地面建筑物内RaA : RaB : RaC = 1 : 0.64 : 0.44)。

2.2 通风类型对氡及其子体浓度的影响

本次调查的地下建筑物内部都使用压入式机械通风。因此,尽管建筑物类型不同,但氡及其子体浓度差异不明显。为了解自然通风与机械通风,地下建筑物内氡及其子体浓度的差异,选择4个监测点,关闭通风机4小时后监测自然通风时氡及其子体浓度,并与机械通风时的监测结果进行比对,结果见表2。可见,自然通风时地下建筑物内氡浓度上升为 $527.2 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ (算术均值是 $557.7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$),氡子体 α 潜能浓度上升为 $20.0 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$ (算术均值是 $25.4 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$),分别是机械通风时的11.5倍和10.6倍。 t 检验表明,自然通风时地下建筑物内氡、氡子体 α 潜能浓度、氡短寿命子体的升高均有非常显著性意义($P < 0.01$)。自然通风时,地下建筑物内氡与子体的平衡因子 $F = 0.83$,氡短寿命子体间放射性平衡比RaA : RaB : RaC = 1 : 0.57 : 0.49。可见,地下建筑物内氡的折出率比地面建筑高得多;通风类型对地下建筑物内氡及其子体浓度影响极大^[9-10];采用压入式机械通风可明显降低地下建筑物内氡及其子体浓度。

3 内照射剂量估算

假设普通工作人员每天在地下建筑物内工作8小时,在地面建筑物内停留11小时,在室外停留5小时,则这三处的居留因子分别是0.33,0.46和0.20。再假设成人在建筑物内(包括地下建筑)平均呼吸率为 $0.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,室外为 $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; α 潜能未结合态份额 $f_a = 0.05$;气溶胶活度中值直径AMD = $0.2 \mu\text{m}$ 。根据UNSCEAR 1988年报告中给出的剂量转换因子 $10 \text{ nSv} \cdot \text{h}^{-1} / \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[1],估算出南京市地下建筑物内工作人员因吸入氡子体所致的年有效剂量当量(H_e)为 1.3 mSv 。此值与北京地区地下建筑物内工作人员的内照射剂量估算结果(1.25 mSv/a)^[10]基本一致。

南京市地面建筑物内、室外环境中氡子体 α 潜能浓度分别是 $4.9 \times 10^{-8} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $2.8 \times 10^{-8} \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[1]。假定普通居民地面建筑内停留19小时,室外停留5小时,则普通居民因吸入氡子体所致年有效剂量当量为 0.7 mSv 。

可见,南京市地下建筑物内的工作人员因吸入地下建筑内氡子体所致的年有效剂量当量高出当地普通居民的86%,且超过了我国《辐射防护规定》中的公众成员的年有效剂量当量限值($1 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$)^[13]。如将地下建筑物内工作人员在地面建筑内、室外环境中所吸入的氡子体估算在内,则他们在地下建筑物内、地面建筑内、室外环境中因吸入氡子体所致的年有效剂量当量为 1.75 mSv 。

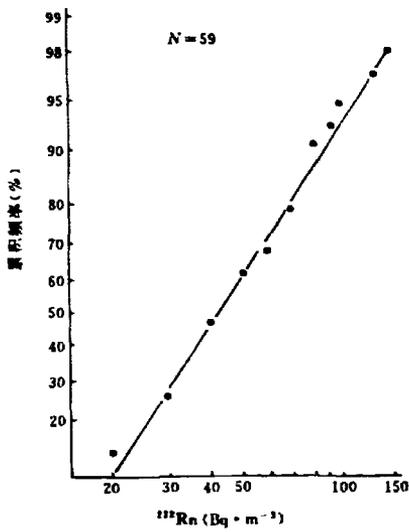


图1 氡浓度累积频率分布

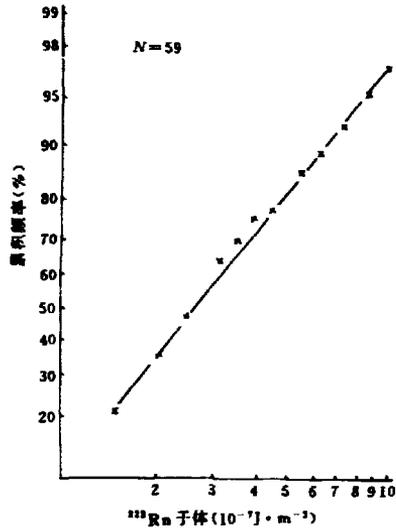


图2 氡子体 α 潜能浓度累积频率分布

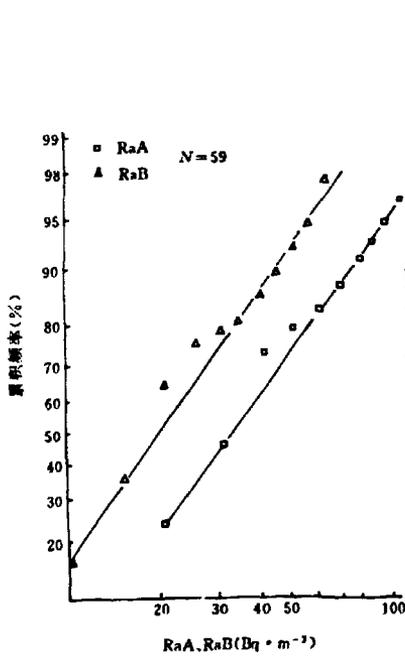


图3 RaA, RaB 累积频率分布

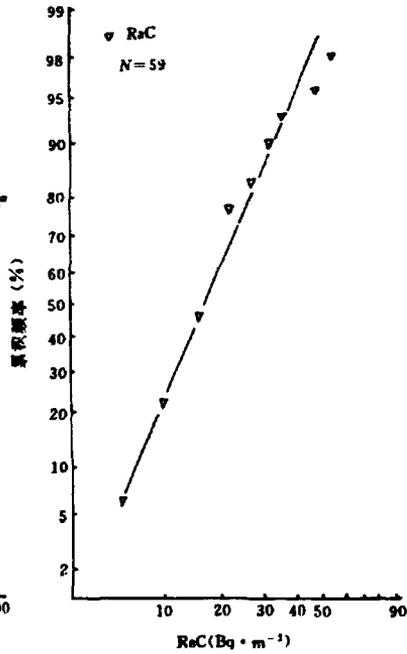


图4 RaC 累积频率分布

表1 地下建筑内氡及其子体浓度

编号 n	$^{222}\text{Rn}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			$\text{RaA}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			$\text{RaB}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			$\text{RaC}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			α 子体潜能($10^{-11} \cdot \text{m}^{-3}$)		
	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	
1	24.4±5.0	23.9±1.2	23.4±5.1	22.9±1.2	12.4±2.7	12.2±1.2	11.5±2.5	11.3±1.2	1.1±0.6	0.8±1.3					
2	59.2±10.3	55.2±1.2	32.8±6.4	32.1±1.2	17.6±3.3	17.5±1.2	15.8±3.1	15.4±1.2	2.3±1.5	1.7±2.4					
3	51.4±20.2	48.2±1.8	37.3±23.2	29.5±2.1	26.3±22.8	18.5±2.4	14.7±9.6	11.8±1.9	1.6±1.3	1.1±2.6					
4	62.9±17.4	60.1±1.4	33.0±19.0	27.9±1.8	20.3±11.7	16.8±1.9	15.2±8.0	12.4±2.0	2.1±2.1	1.7±2.8					
5	46.5±22.8	40.1±1.8	36.0±25.1	28.7±2.0	21.4±15.4	16.4±2.1	17.2±12.1	13.9±1.9	2.0±2.2	1.2±2.5					
6	62.0±20.2	53.2±1.8	53.9±28.8	45.3±1.9	28.6±14.2	25.3±1.7	23.8±12.9	21.1±1.6	5.7±4.4	3.9±2.6					
7	26.2±11.0	23.5±1.6	21.6±8.4	20.0±1.5	14.3±2.8	14.0±1.2	12.0±2.6	11.7±1.2	1.6±1.3	1.1±2.2					
8	56.0±45.9	43.0±2.0	46.7±38.9	35.3±2.0	21.6±18.1	16.9±2.1	22.8±19.0	17.4±2.0	2.5±2.5	1.6±2.8					
9	25.7±11.1	23.4±1.5	24.5±9.3	22.7±1.5	16.8±3.8	16.3±1.3	15.7±3.9	15.2±1.3	1.1±0.8	0.8±2.5					
平均 59	48.4±28.8	40.5±1.9	36.3±25.7	29.6±1.9	21.0±15.0	17.0±1.9	17.2±11.7	14.4±1.8	2.4±2.7	1.4±3.0					
地下室内 24	20.2±12.3	16.3±1.5	17.2±11.2	13.7±1.9	11.0±6.5	8.9±2.0	7.5±5.2	5.8±2.1	1.0±1.4	0.5±4.0					

注: n 为样本数, \bar{X} 为算术平均值, SD 为算术标准差, \bar{X}_y 为几何平均值, Sg 为几何标准差, 下同。

表2 通风类型对氡及其子体浓度的影响

通风类型 n	$^{222}\text{Rn}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			$\text{RaA}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			$\text{RaB}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			$\text{RaC}(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3})$			α 子体潜能($10^{-11} \cdot \text{m}^{-3}$)		
	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	$\bar{X} \pm \text{SD}$	$\bar{X}_y \pm \text{Sg}$	
自然通风 4	57.7±175.7	527.2±1.4	533.8±180.7	489.4±1.9	268.3±87.8	252.6±1.4	236.2±89.9	217.9±1.5	25.4±19.3	20.0±1.9					
机械通风 59	48.4±28.8	40.5±1.9	36.3±25.7	29.6±1.9	21.0±15.0	17.0±1.9	17.2±11.7	14.4±1.8	2.4±2.7	1.4±3.0					

参 考 文 献

- [1] UNSCEAR report. Annex A, 1988
- [2] 孟文斌. 氡子体照射对公众健康的影响. 中华放射医学与防护杂志, 1989, 9(3): 208~210
- [3] Keller G, et al. Radon-222 concentrations and decayproduct equilibrium in dwellings and in the open air. Health Phys, 1984 (47): 385
- [4] Man-yin W. Tso, Chung-chuen Li. Indoor and outdoor ^{222}Rn and ^{220}Rn daughters in Hong Kong. Health Phys, 1987, 53 (2): 175~180
- [5] Man-yin W. Tso, John K. C. Leung. Survey of indoor ^{222}Rn concentrations in Hong Kong. Health Phys, 1991, 60(2): 237~241
- [6] 江苏省环境调查协作组. 江苏省环境氡及其子体浓度与所致居民内照射剂量估算. 中华放射医学与防护杂志, 1992, 12(1): 28~32
- [7] 章仲侯等. 阳江高本底地区空气中氡、钍及其子体致居民的辐射剂量. 中华放射医学与防护杂志, 1982, 2(2): 27~33
- [8] 尚兵等. 湖北省不同类型地下建筑物空气中的氡水平. 中华放射医学与防护杂志, 1990, 10(1): 15~19
- [9] 孟文斌等. 辽宁省地下建筑物内氡及其子体水平调查. 中华放射医学与防护杂志, 1988(4): 247
- [10] 齐万彪等. 北京市地下人防工程中氡浓度及其所致内照射剂量估算. 中华放射医学与防护杂志, 1990, 10(4): 263~266
- [11] 忻旭峰等. 拉萨市室外空气中氡子体浓度. 中华放射医学与防护杂志, 1985, 5(3): 205~207
- [12] 孟繁卿等. 河南省地下建筑内氡及氡子体浓度与内照射剂量评价. 中华放射医学与防护杂志, 1991, 11(2): 113~115
- [13] 中华人民共和国国家标准 GB8703-88. 辐射防护规定. 中国标准出版社出版, 1989, 10

C

地下建筑内氡及其子体浓度
调查与所致内照射剂量估算

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

☆

开本 787×1092 1/16·印张 1/2·字数 5 千字

1993 年 3 月北京第一版·1993 年 3 月北京第一次印刷

ISBN 7-5022-0858-5

TL·551

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-0858-5
TL • 551

P.O.Box 2103
Beijing, China

China Nuclear Information Centre