

# 环境中<sup>220</sup>Rn 子体的累积测量\*

陈 勇\*\* 程建平

郭秋菊 孙建永

(清华大学工程物理系,北京,100084)

(北京大学技术物理系,100871)

卓维海

(日本名古屋大学工学部,名古屋,464-8603)

**摘 要** 本文介绍了一种以评价暴露量为目的的<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 子体累积测量仪。该测量仪使用固体径迹片 CR-39 为探测元件,用小型静音泵进行滤膜采样,之后蚀刻、读数,通过径迹密度分别求算<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 平衡当量浓度( $EEC_{Rn}$ 、 $EEC_{Tn}$ )。在采样时间为 24 h,采样流速为 0.8 L/min 的条件下, $EEC_{Rn}$  和  $EEC_{Tn}$  的探测下限分别为  $0.57 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $0.07 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。最后介绍了使用该测量仪于 2001 年春在广东省珠海市进行环境<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 子体的测量结果。

**关键词** <sup>220</sup>Rn 子体 <sup>222</sup>Rn 子体 CR-39 累积测量 平衡当量浓度

## 1 引言

在联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)2000 年报告<sup>[1]</sup>中,<sup>220</sup>Rn 及其子体所致剂量与<sup>222</sup>Rn 及其子体所致剂量之比由 1993 年报告<sup>[2]</sup>的 6% 提高为 9%。在我国,由于土壤和建材中<sup>220</sup>Rn 的母体核素<sup>232</sup>Th 的含量较高,加之某些地区住房结构的影响,上述比值粗略估算可达到 20%<sup>[3]</sup>。显然,这一数值不可忽略,有必要进行全面细致的调查和研究<sup>[4,5]</sup>。对于以评价<sup>222</sup>Rn 及其子体所致公众剂量为目的的环境调查,一般认为可以仅对<sup>222</sup>Rn 浓度进行测量,之后通过平衡因子来粗略地估算其子体所致的剂量。但是,对<sup>220</sup>Rn 子体所贡献的剂量却不能通过同样的方法来估算。这是因为,由于<sup>220</sup>Rn 射气的半衰期(55.6 s)很短,使之在室内的浓度分布随着与墙壁距离的增加呈指数衰减;而对于其子体,由于半衰期相对较长( $T_{1/2}$ : 10.64 h),在室内呈均匀分布。上述分布特点,

不论是在理论上还是在实际测量中均已被证实<sup>[6,7]</sup>。因此,与<sup>222</sup>Rn 及其子体不同,对于<sup>220</sup>Rn 及其子体来说,在环境中二者几乎不可能达到放射平衡状态,平衡因子并不具有实际意义。

可以说,对<sup>220</sup>Rn 子体的直接测量是评价其所致剂量必不可少的步骤。关于<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体的测量方法,已有文献对此进行过综述<sup>[8,9]</sup>。已有的测量方法或空气采集流量过大,设备大型,造价昂贵,或后处理复杂、烦琐,故不适宜大范围的环境调查测量。同时,鉴于<sup>220</sup>Rn 子体浓度受诸多环境因素影响,一般认为累积测量较瞬时测量更有代表性。为此,我们在这里介绍一种新型简便的、适用于环境调查的<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体累积测量仪。此测量仪由日本名古屋大学开发,北京大学改进加工并制造,本文介绍该测量仪及其初步的使用情况。

## 2 <sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 子体的累积测量方法

\* 国家自然科学基金资助课题(项目编号:1075007)。

\*\* 第一作者简介:陈勇,男,1978 年出生,2000 年毕业于清华大学工程物理系核工程与技术专业,现为清华大学工程物理系硕士研究生。

2.1 测量原理

累积测量仪由采样器、小气泵 (DMS-003, ULVAC, SINKU KIKO, 日本国) 和流量计组成。探测器的剖面图和立体图分别如图 1、图 2 所示。柱体由不锈钢材料制成, 柱壁上有对称的 4 个进气孔 (φ3 mm), 顶端有一出气孔。出气孔的内端放置有采集子体用的滤膜 (Advantec MFS, CN, 孔径 0.8 μm)。CR-39 (日本国 Fukuvi 化工厂生产) 作为粒子的探测器置在图中 4 个圆孔的外端。

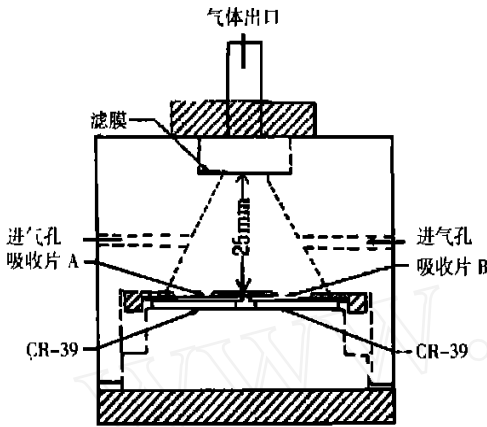


图 1 探测器的剖面图

Fig. 1 Sectional drawing of the detector

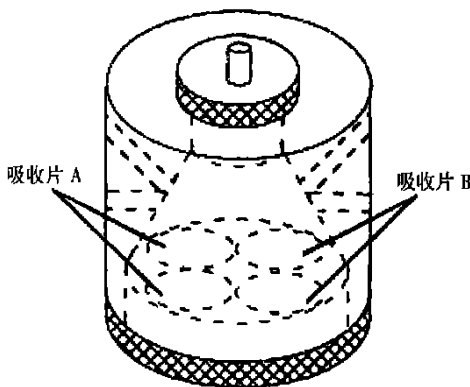


图 2 探测器的立体图

Fig. 2 The sketch map of the detector

空气中的<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体通过气泵被采集在滤膜上, 子体衰变时发射的粒子通过 25 mm 厚的空气层和作为吸收片的 Al 膜 (Al Mylar) 后打到 CR-39 径迹片上, 形成径迹, 被累积

记录。为了对<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体进行甄别, 我们设置吸收片 A 的质量厚度为 4.8 mg/cm<sup>2</sup>, 使之只有由<sup>212</sup>Pb (ThC) 发出的粒子 (8.78 MeV) 可以穿过而被 CR-39 记录; 而吸收片 B 较薄 (0.5 mg/cm<sup>2</sup>), 使<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体<sup>218</sup>Pb、<sup>214</sup>Pb、<sup>212</sup>Bi 和<sup>212</sup>Pb (RaA、RaC、ThC 和 ThC) 衰变时发射出的 4 个粒子均可通过而被 CR-39 记录。

采样结束后将采样器放置 3 天, 令所有采集在滤膜上的<sup>212</sup>Bi 衰变至<sup>208</sup>Pb, 之后在实验室将 CR-39 进行化学蚀刻处理 (蚀刻条件: 7.5 mol/L NaOH, 75 °C, 8 h), 采用自行设计的自动读数系统进行读数和计算。

2.2 平衡当量<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 浓度的计算

计算中涉及的<sup>222</sup>Rn、<sup>220</sup>Rn 及其短寿命子体的辐射特性列于表 1、表 2。

表 1 <sup>222</sup>Rn 及其子体的主要辐射特性<sup>[10]</sup>

Tab. 1 The radiation characteristic of <sup>222</sup>Rn and its progeny

核素	主要衰变类型	半衰期	粒子能量 (MeV)
<sup>222</sup> Rn		3.824 d	5.49
<sup>218</sup> Pb (RaA)		3.05 min	6.00
<sup>214</sup> Pb (RaB)	,	26.8 min	-
<sup>214</sup> Bi (RaC)	,	19.9 min	-
<sup>214</sup> Pb (RaC)		164 μs	7.69
<sup>210</sup> Pb (RaD)	,	22.3 a	-

表 2 <sup>220</sup>Rn 及其子体的主要辐射特性

Tab. 2 The radiation characteristic of <sup>220</sup>Rn and its progeny

核素	主要衰变类型	半衰期	粒子能量 (MeV)
<sup>220</sup> Rn		55.6 s	6.29
<sup>216</sup> Pb (ThA)		0.15 s	6.78
<sup>212</sup> Pb (ThB)	,	10.64 h	-
<sup>212</sup> Bi (ThC)	, (64%)	1.01 h	-
	(36%)		6.1
<sup>212</sup> Pb (ThC)		2.98 × 10 <sup>-7</sup> s	8.78
<sup>208</sup> Pb (ThD)		稳定	-

根据定义, 空气中<sup>222</sup>Rn (<sup>220</sup>Rn) 的短寿命子体不平衡混合物的平衡当量氡 (氡) 浓度  $EEC_{Rn}$  ( $EEC_{Th}$ ) 是假定与其短寿命子体处于放射性

平衡时的<sup>222</sup>Rn(<sup>220</sup>Rn)的放射性浓度。该短寿命子体平衡混合物与 $EEC_{Rn}$ ( $EEC_{Tn}$ )所指的实际的不平衡混合物具有相同的潜能浓度 $C_{pRn}$ ( $C_{pTn}$ )。

空气中<sup>222</sup>Rn(<sup>220</sup>Rn)的短寿命子体的任何混合物的潜能浓度 $C_{pRn}$ ( $C_{pTn}$ )是单位体积空气中存在的这些原子的潜能之和。因此,如果 $C_i$ 是衰变产物 $i$ 的放射性浓度( $Bq \cdot m^{-3}$ ),则短寿命子体混合物的潜能浓度 $C_p$ (对氡子体表示为 $C_{pRn}$ ;对钍子体表示为 $C_{pTn}$ )为:

$$C_p = \sum_i C_i (p_{p,i} / i) \quad (1)$$

式中, $p_{p,i}$ 为 $i$ 种核素的原子的潜能,是该原子按衰变链衰变到<sup>210</sup>Pb(RaD)或<sup>208</sup>Pb(ThD)的过程中所发射的总能量。某种核素每Bq放射性的总潜能为 $p_{p,i} / i$ ;  $i$ 为 $i$ 种核素的衰变常数,以 $s^{-1}$ 为单位。

根据公式(1),并参照表1及表2,可得到:

<sup>222</sup>Rn子体的潜能浓度( $MeV \cdot m^{-3}$ )

$$C_{pRn} = 3516 C_{RaA} + 17840 C_{RaB} + 12352 C_{RaC}$$

其中, $C_{RaA}$ 、 $C_{RaB}$ 、 $C_{RaC}$ 分别为RaA、RaB和RaC的放射性浓度, $Bq \cdot m^{-3}$ 。

<sup>220</sup>Rn子体的潜能浓度( $MeV \cdot m^{-3}$ )

$$C_{pTn} = 431000 C_{ThB} + 40900 C_{ThC}$$

其中, $C_{ThB}$ 、 $C_{ThC}$ 分别为ThB和ThC的放射性浓度, $Bq \cdot m^{-3}$ 。

同时,根据表1及表2,可推算出平衡当量浓度 $EEC_{Rn}$ ( $EEC_{Tn}$ )与潜能浓度 $C_{pRn}$ ( $C_{pTn}$ )的关系如下:

$$EEC_{Rn} = 2.88 \times 10^{-5} C_{pRn} \quad (2)$$

$$EEC_{Tn} = 2.12 \times 10^{-6} C_{pTn} \quad (3)$$

对于<sup>222</sup>Rn子体:

$$C_{pRn} = (6.00 + 7.69) N_{RaA} +$$

$$7.69 N_{RaB} + 7.69 N_{RaC}$$

其中, $N_{RaA}$ 、 $N_{RaB}$ 、 $N_{RaC}$ 分别为每 $m^3$ 空气中<sup>222</sup>Rn在单位时间内衰变产生的RaA、RaB和RaC的粒子个数。

在此,若假设子体为放射平衡状态\*,即:

$$RaA N_{RaA} = RaB N_{RaB} = RaC N_{RaC}$$

则平衡当量浓度可表示为:

$$EEC_{Rn} = 2.88 \times 10^{-5} \times [8.05 \times$$

$$\left[ \frac{2 C_{RaA}}{RaA} + \frac{C_{RaB}}{RaB} + \frac{C_{RaC}}{RaC} \right] \quad (4)$$

对于<sup>220</sup>Rn子体:

$$C_{pTn} = (8.78 \times 0.64 + 6.1 \times 0.36) \times$$

$$(N_{ThB} + N_{ThC}) = 7.815(N_{ThB} + N_{ThC})$$

其中, $N_{ThB}$ 、 $N_{ThC}$ 分别为每 $m^3$ 空气中<sup>220</sup>Rn在单位时间内衰变产生的ThB、ThC的粒子个数。

同样,<sup>220</sup>Rn平衡当量浓度可表示为:

$$EEC_{Tn} = 2.12 \times 10^{-6} \times$$

$$\left[ 7.815 \times \left( \frac{C_{ThB}}{ThB} + \frac{C_{ThC}}{ThC} \right) \right] \quad (5)$$

CR-39径迹片上的粒子径迹密度与空气中<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn子体浓度的关系可用下式表示:

$$D_{Rn} = V A^{-1} \left[ \frac{2 C_{RaA}}{RaA} + \frac{C_{RaB}}{RaB} + \frac{C_{RaC}}{RaC} \right] \quad (6)$$

$$D_{Tn} = 0.64 V A^{-1} \left[ \frac{C_{ThB}}{ThB} + \frac{C_{ThC}}{ThC} \right] \quad (7)$$

式中, $D_{Rn}$ 、 $D_{Tn}$ 分别为<sup>222</sup>Rn子体和<sup>220</sup>Rn子体生成的径迹密度,径迹/ $m^2$ ;  $V$ 是采样气体体积, $m^3$ ;  $A$ 是CR-39的计数面积, $m^2$ ;  $\epsilon$ 是相对于面积 $A$ 的探测效率,可表示为:

$$\epsilon = g \cdot c \cdot e \quad (8)$$

式中, $g$ 是计数面积 $A$ 和滤膜间考虑空气层吸收后的几何修正因子,通过蒙特卡罗方法计算可得 $g$ (<sup>212</sup>Pb:0.00399;<sup>214</sup>Pb:0.00493;<sup>212</sup>Bi:0.00746;<sup>218</sup>Pb:0.00769);  $c$ 为滤膜的过滤效率,取数值为1.0<sup>[11]</sup>, $e$ 为滤膜的自吸收因子,取数值为0.96<sup>[12]</sup>。

由方程(4)、(5)、(6)、(7)可得:

$$EEC_{Rn} = 2.88 \times 10^{-5} \times 8.05 \times \frac{D_{Rn} A V^{-1}}{\epsilon}$$

其中, $\epsilon = \left[ \frac{3 \times 0.00493 + 0.00769}{4} \right] \times 0.96 \times 0.963 = 0.0053$ ,则:

$$EEC_{Rn} = 4.33 \times 10^{-2} \times D_{Rn} A V^{-1} \quad (9)$$

同理,

$$EEC_{Tn} = 2.12 \times 10^{-6} \times 7.815 \times \frac{D_{Tn} A V^{-1}}{0.64 \times \epsilon}$$

其中, $\epsilon = 1 \times 0.96 \times 0.00399 \times 0.963 =$

\* 在一般环境中,<sup>222</sup>Rn子体的平衡系数为0.2~0.8,与假设平衡状态下的结果相比,误差不会大于17%。

0.00369, 则:

$$EEC_{Tn} = 7.02 \times 10^{-3} \times D_{Tn} A V^{-1} \quad (10)$$

### 2.3 仪器刻度

我们于 2001 年 7 月在衡阳核工业第六研究所氡实验室进行了仪器的刻度, 对于平衡当量氡浓度, 修正因子为 0.963, 总相对不确定度为 9.0%。

### 2.4 探测下限

$EEC_{Rn}$  和  $EEC_{Tn}$  的探测下限  $LLD_{Rn}$  和  $LLD_{Tn}$  用 Currie<sup>[13]</sup> 的方法计算:

$$LLD_{Rn} = 0.661 \times V^{-1}$$

$$LLD_{Tn} = 0.085 \times V^{-1}$$

如果采样时间为 24 h, 以 0.8 L/min 的速率连续采样, 可算出  $EEC_{Rn}$  和  $EEC_{Tn}$  的探测下限分别为 0.57 Bq·m<sup>-3</sup> 和 0.07 Bq·m<sup>-3</sup>。如果延长采样时间或提高采气速率, 此探测下限还将降低。

测量仪的最大可探测浓度则主要受最大可读蚀刻径迹密度的限制。在本实验室的蚀刻条件下, 自动读数系统最大可读蚀刻径迹密度为 10 000 个/cm<sup>2</sup>, 在同样的采样条件下, 对本实验所用的 CR-39,  $EEC_{Rn}$  和  $EEC_{Tn}$  的最大可探测浓度大致分别为 312 Bq·m<sup>-3</sup> 和 348 Bq·m<sup>-3</sup>。同样, 最大可探测浓度会随着采样时间和速率的降低而提高。

## 3 珠海市环境测量

我们使用上述 <sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体累积测量仪, 在广东省珠海市进行了尝试性小规模调查测量, 在检验此测量仪的同时, 初步了解该地区室内外空气中 <sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体水平。

### 3.1 调查概况

测量时间为 2001 年 3 月 26 日至 4 月 9 日。布置测点共为 75 处, 其中室内 54 处, 室外 21 处。测点遍布珠海市各主要行政区(香洲、吉大、拱北、前山、新香洲), 其中, 在人口密度较大的香洲区布点较多, 另外还包括郊区温泉一处。测点选择兼顾了地质、建材、楼层、人口密度及通风状况等因素。在测量期间还对气候条件进行了记录(温度: 最高气温 22~30, 最低气温 18~20; 湿度: 75%~95%; 风力: 1~2 级)。

### 3.2 测量结果及分析

表 3 列出了此次小规模试调查的测量结果。从表 3 可以看出, 珠海市室内的 <sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体的平衡当量浓度均较高, 分别为 52.9 Bq·m<sup>-3</sup> 和 4.0 Bq·m<sup>-3</sup>; 同时, 浓度分布范围大, 部分室内存在着很高浓度的 <sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体, 值得关注和进一步调查研究。

根据室内通风状况, 我们进一步对 <sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体浓度进行了分析。将通风或半通风房间列为非密闭, 完全不通风房间为密闭状况, 则室内通风状况对子体浓度的影响如表 4 所示。可以看出密闭房间内的 <sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn 子体浓度均显著高于非密闭的房间, 特别是 <sup>222</sup>Rn 子体浓度, 密闭房间的约为非密闭房间的 3 倍。

表 3 珠海市室内外 <sup>222</sup>Rn 和 <sup>220</sup>Rn 子体的平衡当量浓度 (Bq·m<sup>-3</sup>)

Tab. 3 Indoor and outdoor  $EEC_{Rn}/EEC_{Tn}$  in Zhuhai City (Bq·m<sup>-3</sup>)

测量项目	室 内				室 外			
	测点数	范 围	平均值	标准差	测点数	范 围	平均值	标准差
$EEC_{Rn}$	54	1.23~152.4	52.9	39.1	21	1.48~12.09	7.5	3.6
$EEC_{Tn}$	54	0.12~12.63	4.0	2.3	21	0.12~0.79	0.6	0.18

表 4 不同通风状况下 <sup>222</sup>Rn 和 <sup>220</sup>Rn 子体的平衡当量浓度 (Bq·m<sup>-3</sup>)

Tab. 4 The  $EEC_{Rn}/EEC_{Tn}$  in the different conditions of air ventilation

测量项目	密 闭				非 密 闭			
	测点数	范 围	平均值	标准差	测点数	范 围	平均值	标准差
$EEC_{Rn}$	31	2.29~152.4	72.7	36.9	23	1.23~31.26	25.0	31.3
$EEC_{Tn}$	31	0.24~12.63	4.5	1.6	23	0.12~8.8	3.2	3.0

#### 4 结论

本文介绍的<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn子体累积测量仪具有体积小、使用方便、造价低廉的优点,适用于一般居室和工作场所以及矿山等较高浓度条件下的环境调查,特别是对于以评价<sup>220</sup>Rn子体所致剂量为目的的环境调查。

使用此测量仪在珠海地区进行的小规模试验调查结果表明:珠海地区环境空气中<sup>222</sup>Rn和<sup>220</sup>Rn子体浓度水平较高,分布范围大,部分室内存在着很高浓度的<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn子体。但是,由于受季节、气候和测点数目少等因素的限制,此结果尚不足以代表珠海市全年的<sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn子体浓度的平均水平。

在珠海测量期间,得到了广东省珠海市卫生防疫站的大力协助和支持,在此表示衷心感谢。

#### 参考文献

- 1 UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report 2000. 2000
- 2 UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report 1993. 1993
- 3 潘自强. 辐射防护的现状与未来. 北京:原子能出版社,1997
- 4 潘自强. 有必要注意<sup>220</sup>Rn及其子体对居民产生的照射. 辐射防护,1997. 17(3):188
- 5 Guo Q, Sun J, Weihai Zhou. Potential of High Thoron Exposure in China. J. of Nuclear Science and Technology, 2000. 37(8):716
- 6 Yamasaki T, Guo Q, Iida T. Distributions of Thoron Progeny Concentration in Dwellings. Radiat. Prot. Dosim., 1995. 59:135
- 7 Guo Q, Shimo M, Ikebe M, et al. The Study of Thoron and Radon Progeny Concentrations in Dwellings in Japan. Radiat. Prot. Dosim., 1992. 45:357
- 8 George A C. State-of-the-art Instruments for Measuring Radon/thoron and Their Progeny in Dwellings-A Review. Health Physics, 1996. 70:451
- 9 NCRP. NCRP Report 1988. No. 97. 1988. 92~104
- 10 国际放射防护委员会. 住宅和工作场所中氡-222的防护. 国际放射防护委员会第65号出版物. 李素云译. 北京:原子能出版社,1997
- 11 Yamada Y, Miyamoto K. Collection Performance of Air Filters Below 0.3 μm Diameter. 日本保健物理,1982. 17:461
- 12 James A C, Bradfere G F, Howell D M. Collection of Unattached RaA Atoms Using a Wire-gauze. Aerosol Science, 1972. 3:243
- 13 Currie L A. Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination. Analytical Chem., 1968. 4:586

(编辑部收稿日期 2001年7月19日)

## INTEGRATING MEASUREMENT OF <sup>220</sup>Rn PROGENY IN THE ENVIRONMENT

Chen Yong Cheng Jianping

(Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Guo Qiuju Sun Jianyong

(Department of Technical Physics, Peking University, Beijing, 100871)

Zhuo Weihai

(Department of Nuclear Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya, 464-8603)

**Abstract** For the purpose of evaluating the exposure due to inhalation of <sup>220</sup>Rn and its progeny, a new method of integrating monitor of <sup>222</sup>Rn/<sup>220</sup>Rn progeny was developed and introduced in detail in this paper. The

progeny of  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  in air are collected on the surface of a membrane filter through a micro pump. Based on the track-etching technique (CR-39), the equilibrium equivalent concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  can be calculated. The lower detection limits for  $EEC_{\text{Rn}}$  and  $EEC_{\text{Tn}}$  are  $0.57 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  and  $0.07 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$  respectively when sampling time is 24 hours at a stable flow rate of  $0.8 \text{ L/min}$ . Furthermore, rather high  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  progeny concentrations was observed in Zhuhai city during a small survey with the newly developed monitor.

(Key Words:  $^{220}\text{Rn}$  progeny,  $^{222}\text{Rn}$  progeny, CR-39, Integrating Measurement, Equilibrium Equivalent Concentration)

(上接第 146 页, Continued from page 146)

## INTERCOMPARISON ON RADATION MEASUREMENTS OF OFF-SITE EMERGENCY AT THE GUANGDONG NUCLEAR POWER STATION

Ye Minkun Xuan Yiren Teng Huijie Huang Zhijian Song Hailong Dai Jun

(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan, 030006)

**Abstract** The work of intercomparison between Guangdong and Hong Kong areas on radiation measurements of off-site emergency at the Guangdong Nuclear Power Station is reported in this paper. The intercomparison measurements on environmental penetrating radiation dose rate, radiation accumulated dose and content of radionuclides in water solution and milk powder samples were completed from 1998 to 1999. The measurement methods and results for the above three aspects are given, some problems encountered in the intercomparison process are discussed.

(Key Words: Intercomparison Measurement, Penetrating Radiation, Accumulated Dose, Radionuclide Content, Nuclear Power Station, Off-site Emergency)