

⑫ 63-68

空气中钍射气活性炭收集器的研究

X591.02

R144

俞义樵

(重庆大学房地产及能源管理处, 重庆, 400044)

摘要 根据塑料管内活性炭吸附空气中的钍射气 ^{220}Rn 的实验数据和高纯锗探头探测效率的空间分布规律, 设计了三种空气中钍射气 ^{220}Rn 的收集器。

关键词 活性炭; 收集器 / 钍射气

中国图书资料分类法分类号 O571.1

大气 - 辐射剂量

0 引 言^[1~4]

人类环境中的高浓度氡 ^{222}Rn (Radon, 铀射气)对人体健康造成的损害已经引起世界各国的重视, 国际原子能机构(IAEA)于1991年组织并开展了全球协作项目“人类环境中的氡 ^{222}Rn ”。我国作为六个协作组之一, 对环境中 ^{222}Rn 的探测方法及相应仪器设备方面作了广泛研究。近年来, 人们对氡的另一种同位素 ^{220}Rn (Thoron, 钍射气)越来越感兴趣。对于室内氡的一些研究表明, 虽然 ^{220}Rn 的衰变物浓度仅在氡衰变物浓度中占很小一部份, 但它所引起的辐射剂量却很显著(Steinhausler 1975, Schery 1986, Katase 1988, Martz 1990)。国外(欧、美、澳、日)的一些实验室相继开展了对空气中钍射气 ^{220}Rn 及其子体的探测与评价。研究过程中主要采用双滤膜大容器收集 ^{220}Rn 的间接测量和大容积 α 粒子静电沉淀的直接测量, 由于均是大容积采样, 不便于携带, 因而仅适用于实验室或小范围测量, 不利于作大面积环境空气中 ^{220}Rn 及其子体的监测。笔者通过一系列的实验与分析, 研制出一种以活性炭为吸附载体的空气中 ^{220}Rn 小型收集器, 所用活性炭不大于50g, 具有小巧便携等特点, 便于实现大面积环境空气中 ^{220}Rn 收集式 γ 能谱测量与评价。

1 设计分析

空气中 ^{220}Rn 放射性活度的测量方法可以从空气中 ^{222}Rn 放射性活度的测量方法中派生出来。然而, 由于 ^{220}Rn 的半衰期为55.4s, 而 ^{222}Rn 的半衰期为3.84d, 半衰期的巨大差别导致了两种测量方式的不同, 且 ^{220}Rn 的探测难度远大于 ^{222}Rn 。由钍(^{232}Th)系同位素表可知, ^{220}Rn 衰变成 ^{216}Po (半衰期仅0.15s), 又快速衰变成的半衰期为10.64h的 ^{212}Pb , 后者再衰变成 ^{212}Bi 时将发射能量为239keV的 γ 射线, 从而可以选用 γ 能谱分析测量。

^{220}Rn 的半衰期约为 ^{212}Pb 半衰期的1/700, 等量的 ^{220}Rn 全部衰变成 ^{212}Pb 后, 其放射性活度将减小至1/700。若分辨率的高纯锗(HP-Ge)探测器对 ^{212}Pb 的最低探测限(MDL)为0.1Bq, 则需要从空气中收集到的 ^{220}Rn 达70Bq以上。以空气中 ^{220}Rn 放射性比活度为10Bq/

• 收文日期 1999-01-11

第一作者: 男, 1949年生, 副教授

m^3 作为监测起点, 则须将 7 m^3 空气中的 ^{220}Rn 全部收集在一起, 方能测量 ^{212}Pb . 按照采样时间为 4 h 计算, 要达到 7 m^3 体积空气的要求, 采样空气流量至少应为 30 L/min .

若采用活性炭收集空气中 ^{220}Rn 的方法来收集 ^{220}Rn , 且仅仅把 ^{220}Rn 吸附在活性炭表面看作一个收集过程, 那么需要约 1000 g 的活性炭, 其体积约为 370 cm^3 , 用如此数量的活性炭来吸附放射性活度低至 0.1 Bq 的 ^{212}Pb , 再用 γ 射线谱仪测量, 几乎不可能办到. 按照 ^{220}Rn 环形铜管活性炭收集器的设计思路 (Solomon and Gan, ARL, 1989), 采用活性炭填充的塑料管测量出不同横截面积及长度所吸附空气中 ^{220}Rn 的分布状况等, 可以作为设计空气中钍射气 ^{220}Rn 活性炭收集器的依据.

2 实验测量

1) 选用编号为 Nb.H15 的活性炭 (椰壳在 200°C 下烧制而成, 并且经过 12-20 网孔筛出), 内径分别为 12.5 mm 、 16 mm 、 19 mm 、 25 mm 的塑料管, 塔式钍射气 ^{220}Rn 气流生成源 (Th-1025 型,

^{228}Th), 以及相应的抽气泵, 调节阀, 湿度计和气量表等, 联接成活性炭吸附 ^{220}Rn 实验系统, 如图 1 所示.

2) 利用活性炭吸附 ^{220}Rn 实验系统在不同流量 (L/min) 和湿度 (RH) 状况下, 分别对上述四种不同内径的活性炭塑料管进行采样. 采样后再自塑料管 (长度 l) 入口处起, 按每 10 cm 为一段取出所填充的活性炭作为一份测量样品. 选用美国 Ortec 高纯锗探测器, 分别测量出各个样品所吸附 ^{220}Rn 的子体 ^{212}Pb 的放射性活度 A_{212} , 作出各段活性炭吸附 ^{220}Rn 的放射性

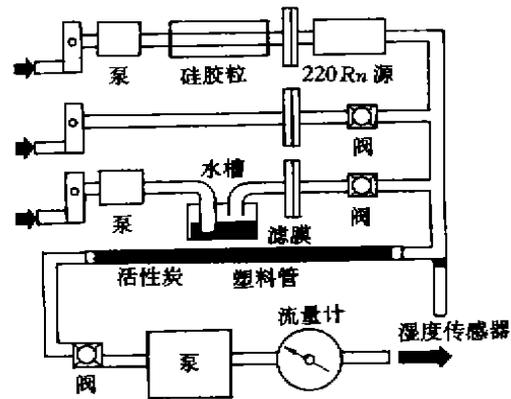


图 1 活性炭吸附 ^{220}Rn 实验系统

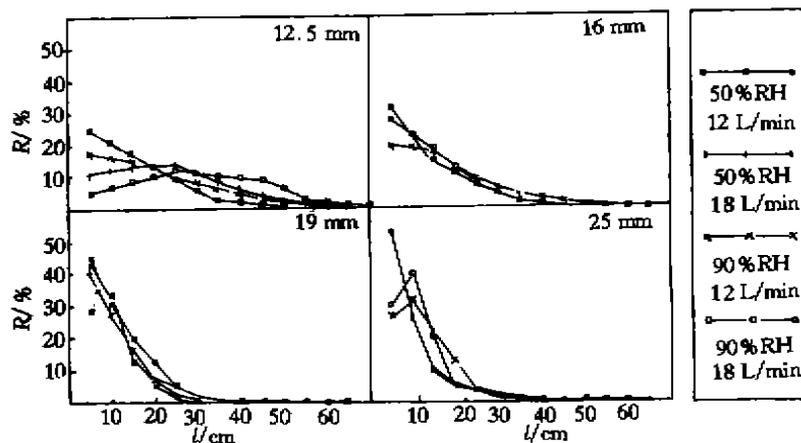


图 2 各段活性炭吸附 ^{220}Rn 百分含量分布曲线

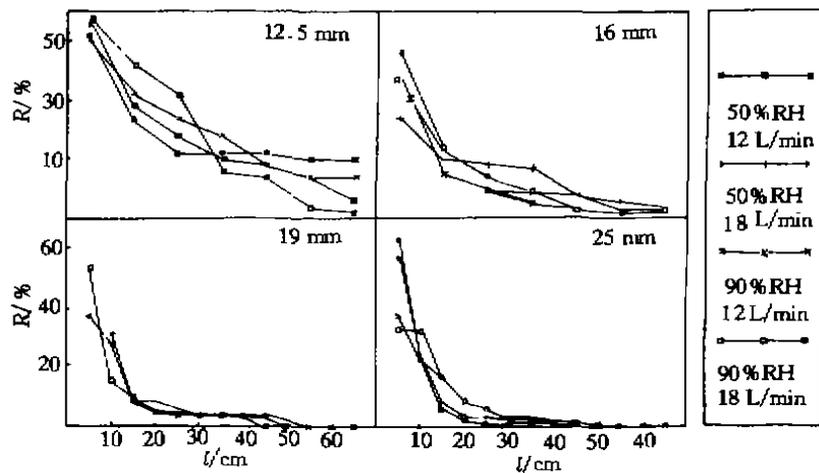


图3 各段活性炭吸附水份百分含量分布曲线

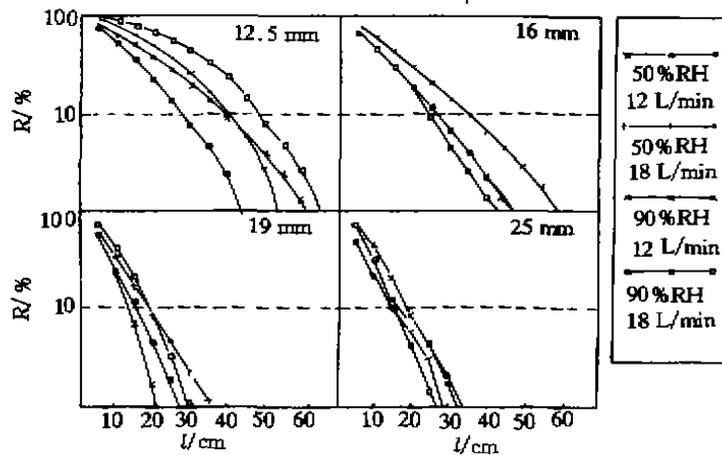


图4 各段活性炭气流中²²⁰Rn百分含量变化曲线

活度 A_{220} 占全部活性炭吸附²²⁰Rn 的放射性活度 ΣA_{220} 的百分含量 $R \left(= \frac{A_{220}}{\Sigma A_{220}} \right)$ 分布曲线(图 2), 图中横坐标表示各段活性炭所在位置与塑料管入口之间的距离 l 。

3) 作出在不同流量和湿度状况下, 四种不同内径塑料管各长度段活性炭吸附水份的分布曲线, 如图 3 所示, 以此分析活性炭吸附²²⁰Rn 百分含量与吸附水份之间的关系。

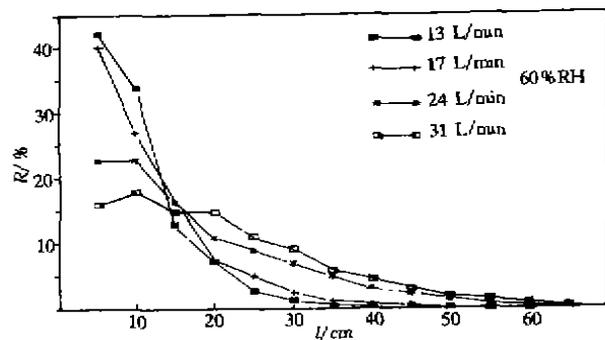
4) 计算出流经四种不同内径塑料管各长度段活性炭的气流中未被吸附的²²⁰Rn 含量变化曲线, 如图 4 所示。由此得知气流通过那一个长度段后空气中的²²⁰Rn 含量为零。

5) 实验中所用干燥活性炭的密度约为 0.37 g/cm^3 , 计算出不同内径塑料管填充的活性炭, 如表 1 所示, 以供设计收集器时确定所用活性炭质量。

表 1

内径/mm	横截面积/mm ²	每 100 mm 管长内 活性炭质量/g	每 50 g 活性炭塑 料管长度/mm
12.5	123	4.6	1080
16.0	201	7.4	680
19.0	283	10.5	480
25.0	490	18.1	280

6) 选用内径为 19mm 的活性炭填充塑料管, 进一步探索多种流量状况下活性炭吸附²²⁰Rn 情况。作出四种不同流量状况下吸附²²⁰Rn 百分含量分布曲线, 如图 5 所示。从图中可以看出, 空气流量为 31 L/min 时长度 50 cm 的塑料管内的活性炭可以基本吸附全部流入的空气中²²⁰Rn。

图 5 $\Phi 19$ mm 管活性炭吸附²²⁰Rn 百分含量分布曲线

7) 采用镭²²⁶Ra 制作的点源 (~300 Bq), 对 Ortec 公司高纯锗探测器 (Poptop) 直径为 70 mm 的探头, 在其顶部和侧面空间各位置选

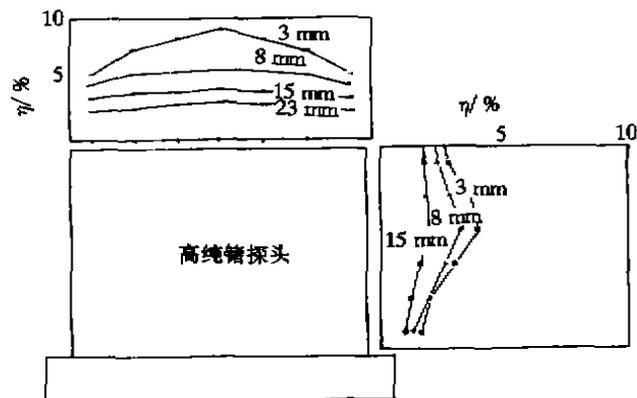


图 6 高纯锗探头探测效率空间分布曲线

点作探测 η 效率测量, 测量结果如图 6 所示, 图中 3 mm, 8 mm, 15 mm, 23 mm 分别表示点源²²⁶Ra 所放置位置至探头顶或侧面的垂直距离。从图中可以看出, 越靠近探头顶中心, 其探测效率越高, 由此可以选择将吸附²²⁰Rn 的活性炭放置于探头进行测量时所应占据的空间, 以获得较高的探测效率。

3 具体设计

上述实验已提供设计空气中²²⁰Rn 活性炭收集器的设计数据。笔者选定收集器内装活性炭质量为 50 g 以内, 气流通过的横截面积为 200 ~ 500 mm², 路径长度为 280 ~ 680 mm, 活性炭填充空间在高纯锗探头顶部和侧面的垂直距离分别为 25 mm 和 10 mm 以内, 并尽可能选用收集效率高的空间作为入口进行设计。为了作对比测量实验分析, 设计出三种类型的收集器。

3.1 环形铜管收集器

如图 7(a) 所示, 简称收集器 a。该收集器仿制于²²²Rn 环形铜管收集器, 采用直径为 16 mm, 长度为 680 mm 的铜管绕制而成, 其绕制内圈直径适合套入高纯锗探头。铜管内部填充活性炭, 气流路径长度为 680 mm, 两头用钢丝绒塞住, 以免通入气流时活性炭泄出。该收集器内容积约 137 cm³, 所填充的活性炭质量约 50 g。

3.2 具有两个腔体的铝制收集器

如图 7(b) 所示, 简称收集器 b。该收集器的两个腔体分别高 25 mm、厚 10 mm, 形成圆环状。入口和出口分别置于连接二腔体内空气能流经最长路径处, 流经每一个腔体的气流保持最佳辐射状态, 以保证气流中²²⁰Rn 能最大限度地被活性炭吸附, 气流所经过的路径长度约 350 mm。该收集器两个腔体总容积约 119 cm³, 所填充活性炭质量约 44 g。

3.3 具有三个腔体的铝制收集器

如图 7(c) 所示, 简称收集器 c。该收集器呈现为 Marcinelli 烧杯形状, 顶部有厚度为 24 mm 的内、外两个腔体, 内腔直径为 45 mm, 外腔的内外直径分别为 53 mm 和 70 mm; 侧面腔体高 45 mm, 厚度 6 mm。气流入口设在探头探测效率较高的顶部内腔处, 气体先经内腔, 后经外腔, 再流入侧面腔体后呈辐射状分别从两侧绕至出口处流出。气流所经过的路径长度约 280 mm。该收集器三个腔体总容积约 125 cm³, 所填充活性炭质量约 46 g。

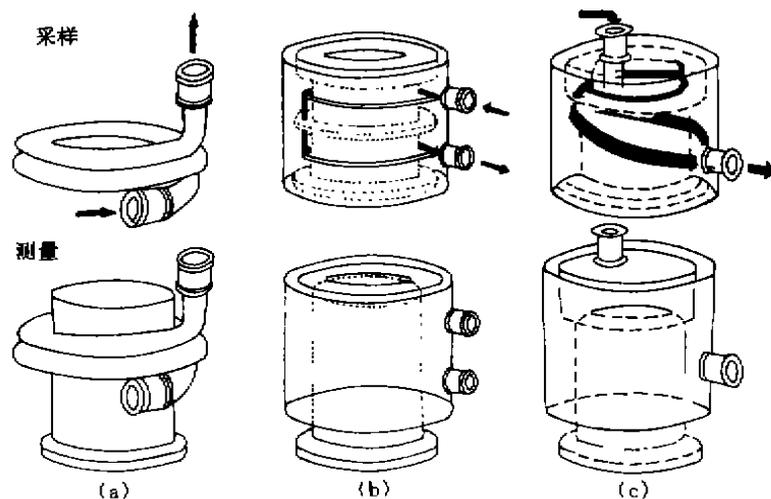


图 7 三种类型²²⁰Rn 活性炭收集器示意图

4 结 语

实验表明,收集器 a 吸附 ^{220}Rn 能力差,且收集效率低;收集器 b 吸附 ^{220}Rn 的能力较好,收集效率较高;收集器 c 不但吸附 ^{220}Rn 的能力好,且收集效率更佳。所制作的收集器 b 存放在重庆大学近代物理实验室,收集器 c 存放在澳大利亚国家辐射实验所(ARL)。关于收集器 b 和收集器 c 实际用于测量环境空气中 ^{220}Rn 的实验数据及计算结果将另文讨论。

以笔者实验数据作为设计空气中 ^{220}Rn 活性炭收集器的依据,设计的活性炭腔体只要具有恰当的横截面积及路径长度,填充的活性炭仅 50g,即能把流量为 30L/min 的气流中的 ^{220}Rn 几乎全部吸附,可满足间接测量环境空气中 ^{220}Rn 的收集要求。

本实验在澳大利亚国家辐射实验所进行,在此要感谢该所 S. D. Solomon 博士给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 Schery S D. Measurements of Airborne ^{212}Pb and ^{220}Rn at Varied Indoor Locations Within the United States, *Health Physics* 1985, 49(6):1061~1067
- 2 Solomon S B, Gan T H. A Charcoal Coil Measurement System for Environmental ^{222}Rn , *Health Physics* 1989, 57(5):801~807
- 3 Schery S D, Grimm D M. *Thoron and Its Progeny in the Atmospheric Environment*, ISBN 0-471-54898-7, 1992
- 4 Krey P W, Beck H L. *Procedures Manual*, 27th Edition, HASL-300, 1992, 1(1); 2-3~2-53

Study on the Activated Charcoal Monitor for Thoron in Air

Yu Yiqiao

(Department of Real Estate & Energy Resources Administration, Chongqing University)

ABSTRACT The data about the ability of activated charcoal absorbing thoron ^{220}Rn in air was determined through a series of experiments. Especially, the activated charcoal, loaded in the experiments, were different in section area, length, rate of flow, humidity, etc. The space distribution of counting efficiency, surveyed using the HP-Gc detector, was measured by a ^{226}Ra point source, so the basis for designing the activated charcoal monitor for ^{220}Rn in air was provided, and three kinds of monitors with different forms were designed.

KEYWORDS activated charcoal; monitor / thoron ^{220}Rn ;

(责任编辑 钟学恒)