

## 空气中氡子体测量程序

田德源

(卫生部工业卫生实验所, 北京)

**提要** 本文介绍用最优化的三段法(或改进的Tsivoglou法)测量待测空气中氡短寿命子体浓度的程序。

**关键词** 氡短寿命子体 三段法 浓度 总 $\alpha$ 潜能

空气中氡短寿命子体对人体的辐射危害比氡本身大得多,所以人们往往把注意力集中在子体上。测量待测空气中氡子体浓度的方法很多,最精典、最常用的有三段法(Three-count Technique, or Modified Tsivoglou Method)。本文介绍用三段法测量待测空气中的氡子体浓度。

## 一、原理

用空气采样器通过滤膜以恒定的抽气速率抽取待测空气,将空气中的氡子体收集在滤膜上。取样结束后迅速将滤膜置于 $\alpha$ 测量仪,测量三段不同时间间隔内的计数。

从衰变规律出发,根据取样期间的初始条件和测量期间的边界条件,解Bateman方程,得到滤膜上各子体变化规律。然后由取样结束后三段时间内的积分总 $\alpha$ 计数,解三元一次联立方程,得到计算氡子体及其总 $\alpha$ 潜能浓度的公式<sup>[1]</sup>,由取样结束后的三段计数计算氡子体浓度。

对测量程序进行了最优化选择,推荐取样5分钟;取样结束后1~4, 5~16和23~30分钟分别测量三段计数的程序<sup>[2]</sup>。

## 二、适用范围

用于测定环境大气中氡短寿命子体及其总 $\alpha$ 潜能浓度。

当空气中RaA的浓度为3.7Bp/m<sup>3</sup>(0.1pCi/L),RaA、RaB和RaC之间的浓度比为1:0.6:0.4,抽气速率、仪器效率、滤膜过滤效率和滤膜自吸收修正的相对误差分别取3、1、1、和1%时,各子体及其总 $\alpha$ 潜能浓度的合成不确定度分别为61、41、58和16%。

## 三、测量程序

1.采样:将采样头按上新滤膜,随即接入空气采样装置,开采样器取样五分钟。同时用秒表计时,并调节流量,使抽气速率稳定在V L/min。

2.测量:取样结束后关采样器,并迅速将滤膜置于 $\alpha$ 测量仪(不停秒表),测量6~9, 10~21和28~35分(也就是取样结束后1~4, 5~16和23~30分)滤膜上的积分总 $\alpha$ 计数 $C_1$ 、 $C_2$ 和 $C_3$ 。

本程序要求取样结束到测量开始的全部操作在一分钟内完成,测量时间不得提前或错后。否则,不能使用下面所列的计算公式。

## 四、计算

设总效率为G(包括仪器效率、滤膜过滤效率和滤膜自吸收修正等),抽气速率为V L/min和本底计数率为 $C_0$  cpm,则氡子体及其总 $\alpha$ 潜能浓度分别为:

$$Q_1 = (5.0633C_1 - 2.5947C_2 + 2.1476C_3 - 1.6807C_0) / GV$$

$$Q_2 = (0.14439C_1 - 0.76132C_2 + 1.9648C_3 - 5.8121C_0) / GV$$

$$Q_3 = (0.82798C_1 + 1.2236C_2 - 1.2488C_3 - 2.2341C_0) / GV$$

$$Q_4 = (16.073C_1 - 11.089C_2 + 42.365C_3 - 222.80C_0) / GV$$

式中 $Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_3$ 为氡子体浓度, $Q_4$ 为总 $\alpha$ 潜能,氡子体浓度单位为Bq·m<sup>-3</sup>, $\alpha$ 潜能浓度单位为10<sup>-10</sup>J·m<sup>-3</sup>。

只考虑统计误差时,浓度的合成不确定度分别为:

$$S_1 = (25.638C_1 + 6.7327C_2 + 4.6120C_3 + 1271.4C_0)^{\frac{1}{2}} / GV$$

$$S_2 = (0.0208C_1 + 0.57961C_2 + 3.8604C_3 + 259.48C_0)^{\frac{1}{2}} / GV$$

$$S_3 = (0.68556C_1 + 1.4973C_2 + 1.5596C_3 + 263.76C_0)^{\frac{1}{2}} / GV$$

$$S_4 = (258.35C_1 + 122.96C_2 + 1794.8C_3 + 105149C_0)^{\frac{1}{2}} / GV$$

(下转第58页)

表3 测量取样量与放射性比活度

取样体积 (毫升)	样本 容量	放射性比活度 ( $\times 10^{-2}\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ )
1	24	4.33
2	24	4.30
3	10	0.50

结果表明,测量用样品体积在1~2毫升时测量效果较好,这一结果通过活性试验得到进一步验证,见表4。

表4 测量取样量与净计数率

样品体积 (毫升)	样本 容量	加入氚水 (dpm)	净计数率 $\bar{X}$ (cpm)
1	8	87	17.39
2	8	87	10.51
3	8	87	4.40

#### 4.加入闪烁液体积的选择

以300毫升/分的流速,取样时间为180分钟,取样结束后准确吸取乙二醇吸收液1.0毫升移入各测量瓶中,分别加入二氧六环闪烁液9.0、10.0、11.0、12.0、13.0、14.0、15.0毫升混匀后用液体闪烁谱仪测量其放射性活度列入表5。

表5 闪烁液体积与放射性比活度

闪烁液体积 (毫升)	样本 容量	放射性比活度 ( $\times 10^{-2}\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ )
9	6	2.14
10	6	3.59
11	6	3.78
12	6	5.45
13	6	5.32
14	6	4.53
15	6	2.15

(上接第56页)

式中 $S_{1-4}$ 为氡子体浓度的合成不确定度。单位同上。

#### 五、说明

1.本程序采用三段法测量待测空气中的氡子体浓度,测量周期35分,同时可得氡子体及其总 $\alpha$ 潜能四个浓度。

2.由于氡子体的半衰期很短,现场空气采样后必需紧接着进行现场测量。要严格遵守本测量程序,如果测量程序有所变动,上述公式不再适用,应作相应变化。

3.每次开机,宜用平面参考源检验 $\alpha$ 测

由表5可见闪烁液体积12~13毫升时放射性比活度监测率明显升高。这一结果通过活性试验得到进一步验证,详见表6。

表6 闪烁液的体积与计数率

闪烁液体积 (毫升)	样本 容量	氚水加入量 (dpm)	计数率 $\bar{X}$ (计数/分)
9	6	791	131
10	6	791	115
11	6	791	147
12	6	791	158
13	6	791	141
14	6	791	137
15	6	791	130
16	6	791	133
17	6	791	132
18	6	791	133

### 三、结论

1.通过实际监测中进一步探讨了环境空气中氚水蒸气的监测方法;确认以采样流速300毫升/分,时间180分钟,测量用样品体积为1毫升,闪烁液加入量12毫升为最佳测量条件。

2.用乙二醇鼓泡吸收法,基本上定量地捕集环境空气中的氚,用双道液闪测量的方法,有快速、准确、灵敏度高和干扰因素等优点。此法在监测前苏联切尔诺贝利核电站事故时准确的测出了长春地区空气中氚水蒸气浓度,说明该法是可行的。

3.环境空气中氚中99%转化成氚化水〔HTO〕形式参与天然水的循环,在空气中总氚含量的测定方法比较复杂,不易掌握,本法可以达到能够监测环境空气中氚的目的。

(1993年11月20日收稿)

量仪的工作状态,发现故障及时排除。

4.作为气体测量,同时还应记录气温、气压、湿度、风向和风速等,必要时可对抽气速率作相应的修正。

### 参 考 文 献

- 1.Tian Deyuan, Analysis of Radon Daughters in Air. J. Radioanal. Nucl. Chem, Letters 1991; 154(4): 5-21.
- 2.田德源.氡子体浓度测量程序的最优化.核电子学与探测技术, 1989; (2): 114-118.

(1993年9月17日收稿)