

CN9200863

CNIC-00496

BNIF-0005

# 中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

改进的托马斯测氡公式

IMPROVED THOMAS FORMULA FOR  
RADON MEASUREMENT

*(In Chinese)*



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00496

BNIF-0005

## 改进的托马斯测氡公式

汲长松

(北京核仪器厂)

### 摘 要

给出了所研制的便携式 FT 648 型绝对法测氡仪的物理原理。与相对法测氡仪不同,绝对法测氡仪依据仪器的结构参数、测量的运行参数与测量读数,直接得出被测气体的氡浓度值,而毋须事先用已知氡浓度的标准气体源对仪器进行刻度。将滤膜过滤效率  $\Sigma$ 、 $\alpha$  自吸收修正  $\beta$ 、能谱修正系数  $S$ 、探头的几何因子  $\Omega$ 、及重力沉降修正因子  $G$  引入托马斯双滤膜测氡公式,用这一改进了的托马斯公式处理测量结果,消除了原公式的系统偏差。用所研制的 FT 648 型绝对法测氡仪测定了北京地区氡浓度按小时的平均值,及日变化规律。日平均氡浓度为  $8.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ , 得出了“马鞍形”氡浓度—时间关系曲线。

# IMPROVED THOMAS FORMULA FOR RADON MEASUREMENT

(*In Chinese*)

(Ji Changsong)

(BEIJING NUCLEAR INSTRUMENT FACTORY)

## ABSTRACT

The FT 648 type portable absolute radon meter has been developed and the designing principle of this instrument is introduced. The absolute radon meter differs from relative radon meter. By using structure parameters, operating parameters and readout of this instrument, the radon content of measured gas is obtained directly without calibration in advance. Normally, the calibration is done by a standard radioactive gaseous source of which the radon concentration is known. The systematic error is removed by adding filter efficiency  $\Sigma$ ,  $\alpha$  self-absorption correction  $\beta$ , energy spectrum correction  $S$ , geometric factor  $Q$  of probe and gravity dropping correction factor  $G$  to the Thomas formula for radon measurement of two-filter method. The atmosphere radon content, which is given in hour-average, in Beijing area was measured by FT 648 type absolute radon meter. The measurement lasted continuously for several days and nights and a "saddle shape" of radon content-time curve was observed. The day's average radon content was  $8.5 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ .

# 前言

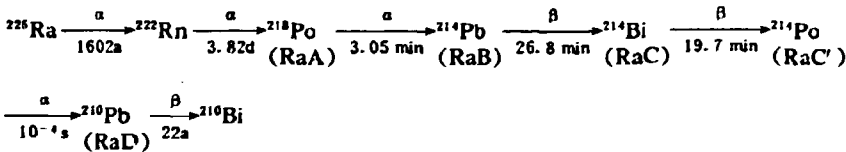
随着人类对氧与其子体危害认识的深入,环境氧与其子体浓度的测量技术的研究、测量手段的研制受到了各国的重视。由于空气中氧浓度的测量属低水平放射性测量,加之样品采集、衰变修正及子体干扰排除等方面的困难,使空气中氧浓度的测量变得相当复杂。虽然空气中氧、氧子体浓度的绝对测定课题早已解决,并且,无论是测量手段,还是测量方法都较简单,但是空气中氧浓度的绝对测量方法的解决至今也仅有十几年的时间<sup>[1]</sup>。

本工作研制成功 FT 648 型便携式绝对法测氧仪。采用改进的托马斯双滤膜测氧公式处理数据,消除了应用托马斯公式导致的系统偏差。用该仪器对北京东郊夏季室外空气中氧浓度按小时的平均值变化规律进行了多日连续实测。

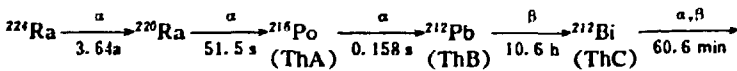
## 1 测氧原理

### 1.1 氧、氧衰变链

氧是铀系元素的衰变产物:



氧是钍系元素的衰变产物:



### 1.2 氧浓度绝对测定——托马斯公式

双滤膜测氧法是在 1960 年前后提出的<sup>[2]</sup>,但由于缺少一个可以根据出口滤膜的  $\alpha$  活度,准确计算被测气体中氧浓度的方程式,因而长期以来该法仅被用作相对测氧浓度的方法。1969 年,托马斯(Thomas)原则上解决了这一难题,推导出了托马斯双滤膜绝对测氧公式<sup>[3]</sup>,并经实验验证成立。从而使双滤膜测氧法可用于氧浓度的绝对测定。该方法的测量结果不受氧与其子体放射性平衡程度的影响。

该方法的物理过程是这样的。待测氧浓度的样气由“样气入口”通过“入口导管”、“入口滤膜 A”进入“衰变室 B”(图 1)。样气经过“A”时,原有的氧、氧子体几乎全部被滤去,只有氧随样气进入“B”。在 B 内,样气由 A 至“出口滤膜 C”的渡越过程中,其中所含的氧不断地衰变成子体 RaA 等。后者在通过 C 时被收集于 C 上。在“滤膜测量位”上测出 C 的  $\alpha$  活度计数 X。将 X 代入托马斯公式便可直接由仪器的结构与运行各参数值得到被测样气的氧含量  $\gamma$ 。托马斯公式为

$$\gamma = \frac{(16.65)X}{E \cdot V \cdot Z \cdot T_1} \text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \quad (1)$$

式中, X——出口滤膜 C 上沉积的子体所发射的  $\alpha$  粒子测量计数( $T_1 \sim T_2$  时间间隔内);

E—— $\alpha$  粒子探测器的 ( $4\pi$ ) 探测效率;

V——衰变室的容积, L;

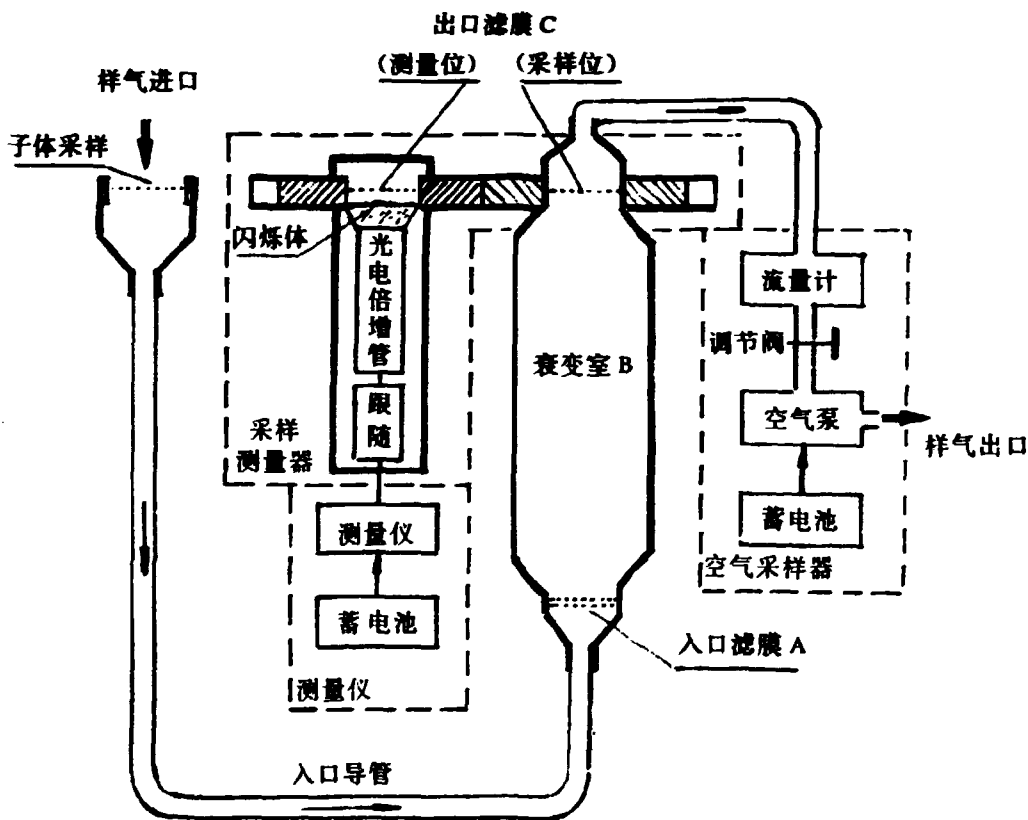


图 1 FT 648 绝对法测氧仪框图

$Z$ ——衰变修正因子;

$F_d$ ——扩散修正因子。

应用托马斯公式测氧浓度,已不要求事先用已知氧浓度的放射性气体源对仪器进行刻度。因此,从实验核物理方法角度看,该法属绝对测氧法,或称直接测氧法。

### 1.3 改进的托马斯公式

实验(见表 8)证实,按照托马斯公式计算出的实验结果含有明显的系统偏差。为了消除

该系统偏差,本工作对托马斯公式加以改进,为

$$X = \frac{(16.65)X}{E \cdot V \cdot Z \cdot F_1 \cdot \Sigma \cdot \beta \cdot S \cdot \Omega \cdot G} \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} \quad (2)$$

式中,  $E$ ——出口滤膜的过滤效率;

$\beta$ ——出口滤膜的  $\alpha$  自吸收修正;

$S$ ——能谱修正系数;

$\Omega$ ——探头的几何因子;

$G$ ——重力沉降修正因子(暂取 1)。

其它符号的意义同(1)式。

## 2 仪器的物理设计

### 2.1 衰变室结构形状

托马斯实验是在入口滤膜直径=衰变室直径=出口滤膜直径的原始条件下完成的。为了便于设计大衰变室商品仪器,必须将这一条件扩展成三个直径不等场合。实验验证了托马斯公式对这一扩展的适用性。

### 2.2 低氡浓度与托马斯公式

托马斯公式原成立于高氡浓度( $\sim 370 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )的条件。为适用典型大气中氡浓度( $\sim 3.7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )测定的需要,应将适用范围扩展至 $\sim 0.37 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 场合。实验验证了这一扩展的现实性。

### 2.3 系统偏差的消除

托马斯公式经过 2.1 与 2.2 条的扩展之后,用托马斯公式处理测量结果,观测到明显的系统偏差。将修正因子  $\Sigma$ 、 $\beta$ 、 $S$ 、 $\Omega$  与  $G$  引入托马斯公式(1)后,得到改进了的托马斯公式(2),作为绝对测氡浓度的计算公式,使系统偏差消除。

### 2.4 提高灵敏度

作为直接测量结果,出口滤膜上的  $\alpha$  粒子计数,来自沉积在膜上的  $\text{RaA}$  和  $\text{RaC}'$  子体。前者的半衰期仅为 3.05 min。采样结束至开始测量  $\alpha$  粒子计数之间的时间间隔越短,收集到的  $\text{RaA}$   $\alpha$  粒子计数也越大。构思了一种独特的动密封、动蔽光快速封闭换样品的机械结构,使这一换样品动作由一般 2 min 左右,缩短至 10 s。这一措施可多捕捉  $\text{RaA}$  子体的  $\alpha$  粒子达  $\sim 20\%$ 。

### 2.5 采样泵与滤材顺序设置

依照 IEC 标准 579 号“放射性气溶胶污染测量仪和监测仪”<sup>[5]</sup>,及 ISO 2889<sup>[6]</sup>、IEC 761-3<sup>[7]</sup>有关规定,采样泵置于过滤器的下游。

### 2.6 消除重力沉降影响

托马斯实验中,衰变室轴线方向为水平放置,这种安置可能导致由入口滤膜向出口滤膜渡越时,气溶胶粒子由于重力作用而沉降到室壁上的额外损失。本设计中,衰变室轴线改为垂直放置,基本上消除了重力沉降导致的子体损失,因而可取  $G = 1$ 。

### 2.7 衰变室形状选定

估算表明,衰变室容积  $V$  一定时,两滤膜(出口与入口)之间的距离  $L$  越小,扩散修正因

子  $F_1$  越大,即氧子在液越过程中由于扩散面造成的损失越小,本设计采用“矮胖”形状的衰变室。

### 2.8 探测器选定

采用无窗、大面积闪烁体,便于提高探测效率  $B$ 。同时,热压  $ZnS(Ag)$  闪烁体被污染时可以清洗。

### 2.9 空气动力学条件选定

衰变室内样气的层流状态是托马斯双滤膜绝对测氧浓度的关键条件。据空气动力学原理估算仪器采样最佳流速范围。该条件保证了本仪器的  $F_1$  值在工作过程中的稳定性,从而使测量结果重复性好。

表 1 综合列出了本设计与托马斯实验的对比。

表 1 托马斯绝对测氧法扩展与改进

项 目	托马斯装置	绝对测氧仪 FT 648	注
直径 入口滤膜 $\phi_1$ 衰变室 $\phi_2$ 出口滤膜 $\phi_3$	$\phi_1 = \phi_2 = \phi_3$ (50 mm)	$\phi_1 \neq \phi_2 \neq \phi_3$ 60 mm (150 mm) (60 mm)	扩展
测量范围, $Bq \cdot m^{-3}$	370	3.7~0.37	扩展
$S, \Omega, \beta, \Sigma$ 各参数	没考虑 (取 $\Sigma = 1$ )	分别考虑影响 $S, \Omega, \beta, \Sigma$	改进
重力沉降损失 $G$	没考虑	消除 ( $G = 1$ )	改进
公式	$X_m = \frac{(16.65)X}{R \cdot V \cdot Z \cdot F_1} (Bq \cdot m^{-3})$	$X_m = \frac{(16.65)X}{R \cdot V \cdot Z \cdot F_1 \cdot \Sigma \cdot \beta \cdot S \cdot \Omega \cdot G} (Bq \cdot m^{-3})$	改进
衰变室容积 L	~0.5	~15	改变

## 3 仪器描述

FT 648 型绝对测氧仪由(a)采样、测量器;(b)衰变室;(c)空气采样器;(d)测量仪等四个部分组成。图 1 示出仪器的框图。其主要技术参数为:

- 入口滤膜直径:  $\phi 60$  mm
- 出口滤膜直径:  $\phi 60$  mm
- 衰变室容积:  $V = 14.8$  L
- 滤膜间距: 78 cm
- 探测器:  $ZnS(Ag)$
- 闪烁体直径:  $\phi 65$  mm
- 滤膜与闪烁体间距: 1 mm
- 采样泵:  $40$  L  $\cdot$  min $^{-1}$

测量仪表: 测量仪  
 电源: 6. 24V 电池

## 4 修正系数

### 4.1 探测效率 $E$

$E$  为探头对采样滤膜源的探测效率, 习惯上称作  $4\pi$  探测效率。本工作将  $E$  调至  $E = 0.40$ 。为了提高调整  $E$  的精确度, 选用较强的小面源。

### 4.2 衰变修正因子 $Z$

样气穿过 A 进入 B 后(图 1), 氧便不断地衰变成  $RaA$  子体等; C 不断收集  $RaA$  子体, 并衰变成  $RaB$  等; 停止采样后, 子体向 C 上的沉积过程终止, 但在 C 上的  $RaA$  等子体的级联衰变继续进行; 计数过程中, 级联衰变在提供  $\alpha$  计数的同时继续进行。衰变修正因子  $Z$  考虑上述四个动态过程对计数  $X$  的影响, 并加以修正。 $Z$  由级联衰变方程组算出。部分  $Z$  值列于表 2<sup>[2]</sup>。

### 4.3 扩散修正因子 $F_1$

样气由 A 向 C 的渡越过程中(图 1), 不断产生  $RaA$  子体。由于布朗运动, 致使这些新产生的  $RaA$  子体, 在气体整体层流运动方向的垂直方向上, 具有某一分速度, 因此而向衰变室 B 的室壁沉积。 $F_1$  是考虑这一扩散损失, 反映到达出口滤膜 C 的  $RaA$  子体比份的修正因子。部分  $F_1$  值列于表 3<sup>[2]</sup>, 它是衰变室滤膜间距(即衰变室长) $L$ , 及采样流速  $q$  的函数, 它也与扩散系数  $D$  相关。

表 2 衰变修正因子  $Z(t, T_1, T_2)_m$

$t, \text{min}$	$T_1, \text{min}$	$T_2, \text{min}$	$Z$
5	1	6	1.672
5	1	15	2.597
5	1	30	3.411
5	1	100	6.314
10	1	6	2.312
10	1	15	3.803
10	1	30	5.425
10	1	100	11.068
15	1	6	2.656
15	1	15	4.634
15	1	30	7.070
15	1	100	15.281
15	0.5	30.5	7.552
15	0.5	60.5	12.003
30	1	30	11.121



$t, \text{min}$	$T_1, \text{min}$	$T_2, \text{min}$	$Z$
30	1	60	19.184
30	0.5	30	12.249
30	0.5	60	20.535
30	0.5	30.5	12.344
30	0.5	60.5	20.570
60	1	31	20.220
60	1	61	33.691
60	0.5	30.5	20.632
60	0.5	60.5	34.184

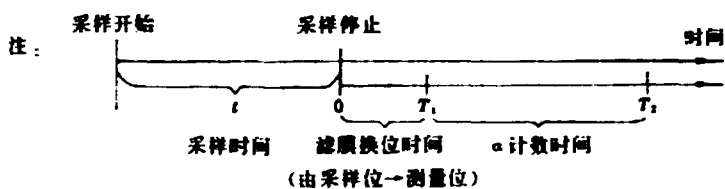


表 3 扩散损失修正因子  $F_r (\mu = \pi D l / q)$

$\mu$	$F_r$	$\mu$	$F_r$
0.005	0.877	0.25	0.420
0.008	0.849	0.30	0.384
0.01	0.834	0.35	0.349
0.02	0.778	0.40	0.324
0.03	0.737	0.45	0.302
0.04	0.705	0.50	0.282
0.05	0.678	0.60	0.248
0.06	0.654	0.70	0.220
0.07	0.633	0.80	0.197
0.08	0.614	0.90	0.178
0.09	0.596	1.00	0.162
0.10	0.580	1.50	0.110
0.12	0.551	2.00	0.083
0.14	0.525	2.50	0.067
0.16	0.502	3.00	0.056
0.18	0.481	4.00	0.042
0.20	0.462	5.00	0.033

$\pi = 3.1416$

$D$ ——扩散常数,对RnA原子取  $0.085 \text{ cm}^2/\text{s}$

$L$ ——装置室长,  $78 \text{ cm}$

$q$ ——采样流量,  $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

#### 4.4 过滤效率 $\Sigma$

本工作选定双层滤膜法<sup>[8]</sup>来测定所用滤膜的过滤效率。取两张质量厚度相近的出口滤膜,重叠在一起。氧氡子体采样后,测出第一层和第二层滤膜在同一时间间隔内的计数  $n_1$  和  $n_2$ , 则

$$\Sigma = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3)$$

#### 4.5 自吸收系数 $\beta$

本工作选用美国辐射防护标准法<sup>[9,10]</sup>进行滤膜对  $\alpha$  粒子的自吸收系数  $\beta$  实验测定

$$\beta = \frac{2C_1}{2C_1 + C_2 - C_3} \quad (4)$$

式中,  $C_1$  ——子体采样后等待 30 min 的  $\alpha$  放射性计数

$C_2$  ——试样反面的  $\alpha$  放射性计数

$C_3$  ——用一张未采样的、同型号、质量厚度比较接近的滤膜,覆盖采样膜正面后的  $\alpha$  放射性计数

表 4 列出了  $Q = 35 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , LXGL-15-1 滤膜  $\Sigma, \beta$  值的测量结果。

表 4  $\Sigma, \beta$  测定值

No	$C_1, n_1$	$C_2$	$C_3$	$n_2$	$\beta$	$\Sigma$	注
	40 s						
1	213	190	152		0.898		$Q = 35 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ $C_{\text{本底}} = 45/40 \text{ s}$
2	207	166	134	58	0.910	0.920	
3	185	157	139		0.940		
4	185	150	106		0.870		
5	143	126	109	53	0.920	0.918	
6	128	103	89		0.922		
	平均值				0.910	0.919	

#### 4.6 能谱修正因子 $S$

鉴于迄今还没有氧氡子体标准源可供使用,探测效率  $E$  选用  $^{239}\text{Pu}$  ( $E_p(\text{MeV}) = 5.1554, 73.3\%; 5.1429, 15.1\%$ ) 进行调整。而氧子体 ( $E_p(\text{MeV}) = 6.00; 7.69$ ) 氡子体 ( $E_p(\text{MeV}) = 7.81$ ) 发射的  $\alpha$  粒子与  $^{239}\text{Pu}$  不同,这导致  $E = 0.40$  的偏离。能谱修正因子  $S$  对此加以修正。

先用  $^{239}\text{Pu}$  ( $\phi 30 \text{ mm}$ ) 面源将探测效率  $E$  调至 0.40, 此时,对应的多道分析器计数下阈值为  $\delta$ 。改用  $\phi 30 \text{ mm}$  氧氡子体源,测出对应  $\delta$  的实际探测效率  $E'$ , 则

$$S = \frac{E'}{E}, E = 0.40 \quad (5)$$

测定结果列表 5,  $S$  的平均值为 1.07。

表 5  $S$  测定值

No	$^{239}\text{Pu}$ ( $\phi 30 \text{ mm}$ ) ( $E = 0.40$ )			氩原子体源 ( $\phi 30 \text{ mm}$ )				$S$ ( $E^*/E$ )
	道总 $\alpha$ 计数	0.40 阈计数	谱峰位	道总 $\alpha$ 计数	0.40 阈计数	谱峰位	$E^*$	
1	39931	31909	364	10202	8556	544	0.419	1.05
2	192725	153910	264	1524	1297	588	0.426	1.06
3	192725	153910	264	2892	2492	518	0.430	1.08
4	192725	153910	264	4469	3857	518	0.432	1.08
平 均 值								1.07

$^{239}\text{Pu}$  ( $\phi 30 \text{ mm}$ )-R3-3R<sup>a</sup>

#### 4.7 探头几何因子 $\Omega$

采样滤膜实际为  $\phi 60 \text{ mm}$  的均匀面放射源, 制备均匀的  $\phi 60 \text{ mm}$   $^{239}\text{Pu}$  面源困难较大, 而且也不是必需的。为此, 选用  $\phi 30 \text{ mm}$   $^{239}\text{Pu}$  参考源调整探测效率  $E$ , 由此导致的系统误差用  $\Omega$  修正。

用  $\phi 30 \text{ mm}$   $^{239}\text{Pu}$  源将探头的探测效率  $E$  调至 0.40 左右, 此时, 对应的多道分析器计数下阈值为  $\delta$ , 再用  $\phi 60 \text{ mm}$  的  $^{239}\text{Pu}$  面源测出对应  $\delta$  道阈值的实际探测效率  $E^*$ , 则

$$\Omega = \frac{E^*}{E} \quad (6)$$

测定结果列于表 6,  $\Omega$  的平均值为 0.78。

表 6 探头几何因子  $\Omega$  测定

$^{239}\text{Pu}$ 源	FT 648				
	道总 $\alpha$ 计数	工作阈 $\delta$ 计数	峰位 (道数)	$E$	$\Omega$
R3-3R ( $\phi 30 \text{ mm}$ )	39201	31583	400	0.403	0.78
R6-10 ( $\phi 60 \text{ mm}$ )	3125	1993	300	0.314	

#### 4.8 重力沉降修正因子 $G$

该因子考虑衰变室内, 氩原子体粒子在由入口滤膜至出口滤膜的渡越过程中, 由于自身的质量受重力影响, 而导致的沉降于衰变室壁的损失所进行的修正。本设计中, 样气在衰变室内的运动方向, 与重力在一条直线上, 因而可取  $G = 1$  (见 3.5 节)。

## 5 灵敏度与固有误差

### 5.1 灵敏度

按文献[7], 仪器的  $\alpha$  计数  $X$  相当于本底计数标准偏差两倍时, 所对应的放射性活度, 为该仪器的探测的最小放射性活度, 取作仪器的灵敏度 (95%置信度)。即

$$X_0 = 2 \sqrt{\frac{2n_0}{t_0}}$$

式中,  $t_0$ ——本底测量时间;

$n_0$ ——本底计数。

把  $X_0$  代入式(1), 考虑到获得最高灵敏度时推荐的工作参数为: 取样时间  $t_0 = 1$  h, 采样流量  $Q = 40 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , 计数时间  $T_1 = 0.5 \text{ min}$ ,  $T_2 = 60.5 \text{ min}$ , 以及本仪器的本底限值  $n_0 \leq 18$  计数,  $t_0 = 1$  h, 则相应的灵敏度(测氡浓度)为  $1.4 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

表 7 列出了本仪器  $E = 0.40$  时, 无滤膜与有滤膜的本底计数  $n_0$  与  $n'_0$  值, 以及相应的实测灵敏度值。

表 7  $n_0$  与  $n'_0$  实验值

项目	№							灵敏度 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	设计指标 $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
	1	2	3	4	5	6	平均		
$n_0$ , 计数/h	8	8	10	2	8	12	8		
$n'_0$ , 计数/h	11	10	12	10	14	13	12	0.9	1.4

## 5.2 固有误差

本实验选用氡气脱出效果较好的液体<sup>226</sup>Ra 源装成的标准浓度氡产生器<sup>[11]</sup>。产生器提供氡浓度  $C_i$  已知的标准氡气。

将标准产生器提供的, 具有约定真值浓度  $C_i$  的标准氡气输给 FT 648 绝对法测氡仪。然后进行采样、等待、计数, 最后得计数  $X_0$ , 由公式(1) 计算出被测气体的氡浓度  $C_i$ 。则

$$I = \frac{C_i - C_i}{C_i} \times 100\% \quad (7)$$

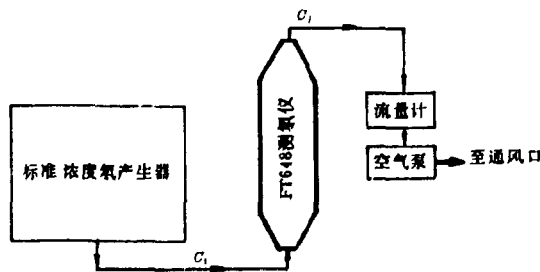


图 2 测定 FT 648 固有误差的实验装置框图

即为所求之固有误差。实验结果列于表 8。由表可见, 该误差值小于 20%。

表 8 FT 648 绝对测氡固有误差测定

№	氡浓度的 约定真值 $C_0$ $Bq \cdot m^{-3}$	空气计数 $X_0$	加氧计数 $X_0$	氡净计数 $X$	氡浓度, $Bq \cdot m^{-3}$			固有误差, %		
					托马斯 公式	$\Sigma$ 修正	$G \cdot S \cdot D \cdot \beta \cdot \Sigma$ 修正	托马斯 公式	$\Sigma$ 修正	$G \cdot S \cdot D \cdot \beta \cdot \Sigma$ 修正
1	166.24	60	216	156	135	147	180	-18.8	-11.7	-8.5
2	166.24	38	215	180	156	169	210	-8.3	+1.9	+25.0
3	166.24	74	221	147	124	135	165	-25.4	-19	-0.5
4	166.24	30	185	155	137	149	179	-17.6	-10	+7.8
5	166.24	17	165	148	128	139	170	-23.0	-16	+2.9
固有误差算术平均值								-18.2	-11.0	+0.8

## 6 空气氡浓度 24 小时监测

用本仪器对北京东郊地区夏季室外环境进行 24 小时空气氡浓度测量,测得的氡浓度按

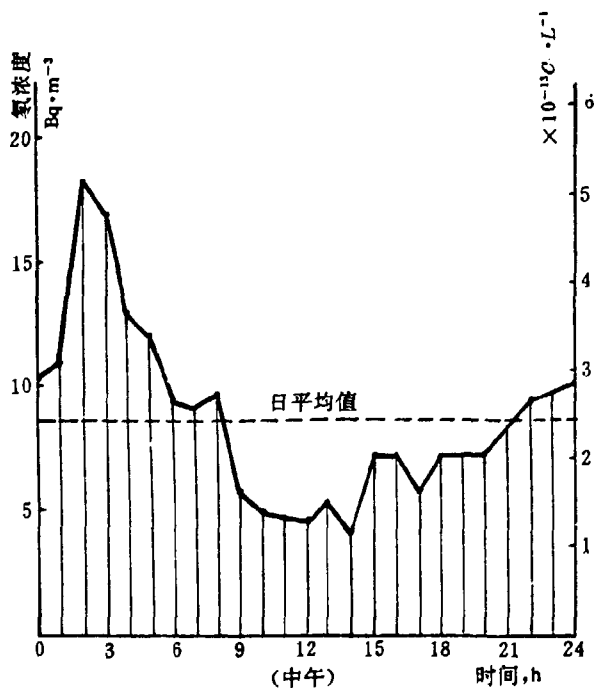


图 3 北京地区空气氡浓度变化曲线

小时的平均值变化规律示于图 3。虚线表示空气氡浓度的日平均值  $\bar{X} = 8.5 Bq \cdot m^{-3}$ 。

上午九时至下午四时空气中氡浓度较低,其平均浓度约为  $5.6\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。一天内,空气中氡浓度的最低值出现在中午十二时至二时左右,此时氡浓度可低至  $\sim 3.7\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

最高浓度出现在午夜一时至凌晨五时,最高值可达  $18.5\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ 。一昼夜内氡浓度变化达 5 倍左右。

表 9 室外空气氡浓度

地 区	氡浓度, $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	来 源
北 京	8.5	本工作
石 家 庄	8.5	
张 家 口	7.7	[13]
秦 皇 岛	8.2	

本工作所测得北京东郊地区室外氡浓度按小时的平均值变化规律具有典型的“马鞍形”特征,与国外<sup>[12]</sup>、国内<sup>[13]</sup>所测之结果相吻合。

本工作所测之日平均值为  $8.5\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ,与文献[13]所测之石家庄、张家口与秦皇岛地区空气氡浓度平均值的对比列于表 9。结果表明北京地区空气氡浓度属典型陆地环境值。

## 7 结 论

(1)根据托马斯双滤膜法测氡浓度公式,研制成功 FT 648 型绝对法测氡仪商品仪器。该仪器适用于典型大气环境( $\sim 3.7\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ )。与其它测氡仪不同的是,它摆脱了测氡仪必须用气体放射源刻度的传统程序。

(2)将托马斯公式应用于低氡浓度环境下处理实验结果时,观测到明显的系统误差。将能谱修正因子  $S$ ,探头几何因子  $\Omega$ ,自吸收因子  $\beta$ ,过滤效率  $\Sigma$  及重力沉降修正因子  $G$  引入托马斯公式后,得到改进的托马斯公式,从而消除了系统误差。

(3)确定了  $S, \Omega, \beta, \Sigma$  与  $G$  的测定方法。

(4)用 FT 648 绝对法测氡仪测定了空气中氡浓度的昼夜连续变化规律。

马连江、张恩山、王金玉、薛阳中、肖子云、孟庆宝、魏桂生及黄继玲参加了本仪器的研制。

## 参 考 文 献

- [1] 汲长松. 核技术 1987(6), 41
- [2] J. Fontan. ANL-TRANS-45, 1964.
- [3] Jess W. Thomas & Phillip C. Leclars, Health Phys., 1970(18), 113
- [4] 汲长松等. 环保通讯, 1985(2), 24
- [5] IEC 标准 579 号. 放射性气溶胶污染测量仪和监测仪
- [6] ISO 2889. 气载放射性物质取样的一般原理, 1975.

- [7] IEC Standard 761-3. Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents.
- [8] 铀矿山空气中氡及氡子体测定方法. EJ378-89
- [9] 美国辐射防护标准汇编. 北京:原子能研究所, 1981.
- [10] 吴桂惠、黄占云. 氡及其子体的测量与危害评价学术讨论会论文集. 太原. 1988. 10
- [11] 汲长松. 中国核科技报告 CNIC-00364, BNIF-0003.
- [12] Thomas F., Gesell. Health Phys., 1983, 45(2), 289
- [13] 周连江等. 中国环境科学, 1986, 6(6):36

改进的托马斯测氡公式

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社激光照排中心排版

北京市海淀区三环快速印刷厂印刷

☆

开本 787×1092 1/16 · 印张 1 · 字数 12 千字

1991 年 6 月北京第一版 · 1991 年 6 月北京第一次印刷

印数 1—150

ISBN 7-5022-0494-6

TL · 264



# CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

ISBN 7-5022-0494-6  
TL • 264

P.O.Box 2103  
Beijing, China

**China Nuclear Information Centre**