

# 大气颗粒物滞留时间的确定方法及初步实验验证\*

单 健<sup>1)</sup> 肖德涛<sup>1)</sup> 刘 卫<sup>2)†</sup> 林 俊<sup>2)</sup> 王广华<sup>2)</sup> 位楠楠<sup>1)</sup> 周青芝<sup>1)</sup>

1) (南华大学核科学技术学院, 衡阳 421001)

2) (中国科学院上海应用物理研究所, 上海 201800)

(2009 年 7 月 30 日收到; 2009 年 10 月 21 日收到修改稿)

通过研究大气颗粒物中<sup>222</sup>Rn 子体活度比与颗粒物平均寿命之间的关系, 建立了基于活度比估算大气颗粒物滞留时间 (residence time of atmospheric aerosol, RTAA) 的方法, 并在相对理想条件下进行了实验验证. 当氡室浓度稳定为 1.816 kBq/m<sup>3</sup> 时, 由<sup>214</sup>Bi/<sup>214</sup>Pb 活度比计算出的 RTAA 为 112.17 min, 与氡室的平均换气时间 (104.17 min) 相当, 表明大气颗粒物中同一衰变链上的放射性核素活度比 (如<sup>214</sup>Bi/<sup>214</sup>Pb, <sup>210</sup>Bi/<sup>210</sup>Pb 或<sup>210</sup>Po/<sup>210</sup>Pb) 可以用于估算 RTAA.

**关键词:** 大气颗粒物, 滞留时间, 氡子体

**PACC:** 2390, 9265V, 8670L

## 1. 引 言

大气颗粒物是悬浮在大气中的固体、液体颗粒状物质的总称. 随着经济的发展、城市规模的扩大和国民生活方式的改变, 城市大气颗粒物污染也越来越严重, 颗粒物污染已成为制约我国空气质量进一步改善的瓶颈, 成为推进生态文明型城市建设的重点和难点之一<sup>[1]</sup>. 大气颗粒物对环境的污染程度及对人体健康的影响大小不仅与颗粒物的大小有关, 还与不同粒径大气颗粒物在空气中的滞留时间 (residence time, RT) 有极大的关系<sup>[2]</sup>. 为了深入研究大气颗粒物污染对环境和人们健康的危害, 除了研究大气颗粒物浓度和粒径分布特征的同时, 还有必要研究不同粒径大气颗粒物在大气的 RT. 掌握了不同粒径大气颗粒污染物的 RT, 才能更好地指导人们在特定的大气颗粒物污染期 (大雾、灰霾、大型工业污染) 的户外活动. 才有可能针对污染物影响时间采取相应防治措施, 因此, 研究不同粒径大气颗粒污染物的 RT 具有较大的科学意义和实用价值.

国外有机机构和研究人员已对一些区域大气颗

粒物的 RT 进行了一些研究, 主要得到了大气中总悬浮颗粒物的平均滞留时间 (mean residence time, MRT), 低层大气的大气颗粒物粒子的 MRT 大约为 8 天, 封闭箱体空间的 MRT 大约 2.8 h, 目前国外逐步深入研究不同粒径大气颗粒物滞留时间<sup>[3-6]</sup>. 国内提到了大气污染物 RT 的问题<sup>[7,8]</sup>, 指明了 RTAA 对大气污染及对人体健康影响的重要性, 但还没有出现具体研究 RT 的报道; 有研究者报道了通过测量<sup>210</sup>Pb 和<sup>7</sup>Be 的活度通量研究了大气颗粒物有关的沉降率<sup>[9-11]</sup>, 但没有关于 RTAA 的具体研究. 本文从研究大气中<sup>222</sup>Rn→<sup>218</sup>Po→<sup>214</sup>Pb→<sup>214</sup>Bi→<sup>214</sup>Po→<sup>210</sup>Pb→<sup>210</sup>Bi→<sup>210</sup>Po 衰变链上各核素的不平衡度与其附着颗粒物的寿命关系入手, 建立了确定 RTAA 的方法, 并用实验验证 RTAA 方法的准确性.

## 2. 原理和方法

颗粒物在大气中因压缩、扩散、沉积、再悬浮等作用而干沉降, 因降雨而湿沉降. 被吸附在其中的放射性物质的总粒子数、衰变粒子数和转移粒子数之间的平衡关系可以表示为

$$dN_d/dt = \lambda_p N_p - (\lambda_d + \lambda_R) N_d, \quad (1)$$

\* 国家自然科学基金 (批准号: 10775174), 中国科学院知识创新工程重要方向性基金 (批准号: KJ9X-3SYW-N3), 上海应用物理研究所领域前沿项目 (批准号: 90070301), 湖南省教育厅重点项目 (批准号: 07A060), 湖南省研究生创新基金 (批准号: 2008CXJJ02) 资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: liuwei@sinap.ac.cn

其中,  $N_p$  和  $N_d$  分别为母体与子体的粒子数,  $\lambda_p$  和  $\lambda_d$  分别它们的衰变常量;  $\lambda_r$  是转移系数, 则  $1/\lambda_r$

为 RTAA.

$^{222}\text{Rn}$  在大气中衰变产生系列的子体, 如图 1 所

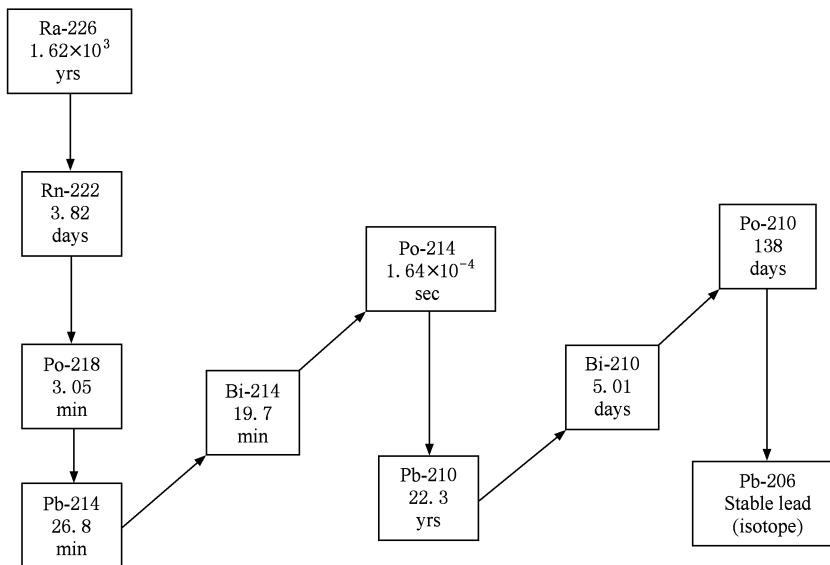


图 1 氡的衰变链

示. 这些子体核素主要与极化空气、水或其他微粒结合形成带阳离子大气颗粒物<sup>[12]</sup>. 当比较这些大气颗粒物中同一条衰变链中两个核素比活度的相互关系时, 如比较  $^{210}\text{Pb} \xrightarrow{\beta^-, 22.3\text{ years}} ^{210}\text{Bi} \xrightarrow{\beta^-, 5.10\text{ days}}$   $^{210}\text{Po}$  衰变链中的  $^{210}\text{Pb}$  和  $^{210}\text{Bi}$ , 或  $^{210}\text{Pb}$  和  $^{210}\text{Po}$  的比活度关系, 可以分别得到

$$\frac{dN_{\text{Bi}}}{dt} = \lambda_{\text{Pb}} N_{\text{Pb}} - (\lambda_{\text{Bi}} + \lambda_r) N_{\text{Bi}} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dN_{\text{Po}}}{dt} = N_{\text{Bi}} \lambda_{\text{Bi}} - (\lambda_{\text{Po}} + \lambda_r) N_{\text{Po}} = 0. \quad (3)$$

其中,  $N_{\text{Pb}}$ ,  $N_{\text{Bi}}$  和  $N_{\text{Po}}$  分别为  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Po}$  的粒子数,  $\lambda_{\text{Pb}}$ ,  $\lambda_{\text{Bi}}$  和  $\lambda_{\text{Po}}$  分别它们的衰变常量;  $\lambda_r$  是转移系数. 方程(2), (3) 与方程(1) 原理相同, 因此, 可以利用放射性大气颗粒物中核素的衰变特性与转移速率的相关信息<sup>[13,14]</sup>, 通过对大气颗粒物中  $^{222}\text{Rn}$  衰变产物比活度的测量, 由放射性核素的衰变规律及平衡度的关系来计算获取 RTAA.

要获得 RTAA, 需要建立一个模型并假设一定的条件成立.

**假设 1** 大气在一定区域内为一个相对封闭且充分混合的系统, 则其低层大气中 RTAA 是由多种迁移过程综合作用的, 其中最重要的是因压缩、扩散、沉积、再悬浮形成的干沉降和因降雨的净化作

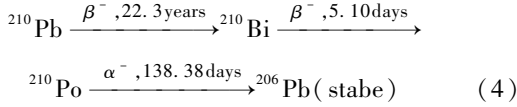
用形成的湿沉降作用.

**假设 2** 大气聚集成的空气团在大范围内运动中, 如果一个地区所有大范围大气运动中  $^{222}\text{Rn}$  衰变产生的放射性核素在到达另一地区之前就被清除, 那么该地区大气颗粒物中几乎所有的  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Po}$  都是由当地的  $^{222}\text{Rn}$  衰变产生的. 在这种情况下, 假设  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Po}$  在产生之后能够即时附着于颗粒物形成大气颗粒物. 显然, 大气颗粒物粒子的存在寿命 (即 RT) 会影响附着于其上面的  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Po}$  的平衡度, 因此, 它们之间所存在的不平衡度就可以反过来用于获得 RTAA.

Whittlestone 等<sup>[15]</sup> 得到  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Po}$  在产生后会迅速被大气颗粒物吸附形成亚微米颗粒物, 在气象条件下通过对流等作用会很快的充分混合, 保证假设 1 成立; 对于假设 2, 因为氡 ( $^{222}\text{Rn}$ ) 浓度跨地区影响可以忽略, 因为其半衰变期相对很短. 另外, 其子体  $^{210}\text{Bi}$  的半衰期也较短 (5.01 天),  $^{210}\text{Po}$  的半衰期 138 天. 加上气象因素和一般颗粒物滞留的平均时间不可能 7 倍于  $^{210}\text{Po}$  的半衰期 (研究指明灰霾存在的周期为 4—5 个月, 最长不会跨两个季度). 所以,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Pb}$  的活度始终不能达到完全平衡的, 因此, 可以通过测量大气  $^{210}\text{Po}$  与  $^{210}\text{Pb}$  或  $^{210}\text{Bi}$  与  $^{210}\text{Pb}$  的活度比来获得 RTAA 的信息.

### 3. 公式推导

根据以上原理,可以用同一衰变链



的两种放射性同位素的放射性比活度(如 ${}^{210}\text{Pb}$ ,  ${}^{210}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}\text{Po}$ ,  ${}^{210}\text{Pb}$ )来推导 RTAA 计算公式.

#### 3.1. 由 ${}^{210}\text{Bi}$ 和 ${}^{210}\text{Pb}$ 活度比估算 RTAA

由方程(2)得

$$\lambda_{\text{Pb}} N_{\text{Pb}} = (\lambda_{\text{Bi}} + \lambda_{\tau}) N_{\text{Bi}}, \quad (5)$$

$$\lambda_{\tau} = \frac{\lambda_{\text{Pb}} N_{\text{Pb}} - \lambda_{\text{Bi}} N_{\text{Bi}}}{N_{\text{Bi}}}, \quad (6)$$

所以

$$\begin{aligned} \tau_{\text{R}} &= \frac{1}{\lambda_{\tau}} = \frac{N_{\text{Bi}}}{\lambda_{\text{Pb}} N_{\text{Pb}} - \lambda_{\text{Bi}} N_{\text{Bi}}} \\ &= \frac{1}{\lambda_{\text{Bi}}} \frac{(N_{\text{Bi}} \lambda_{\text{Bi}}) / (\lambda_{\text{Pb}} N_{\text{Pb}})}{1 - (N_{\text{Bi}} \lambda_{\text{Bi}}) / (\lambda_{\text{Pb}} N_{\text{Pb}})}. \end{aligned} \quad (7)$$

#### 3.2. 由 ${}^{210}\text{Po}$ 和 ${}^{210}\text{Pb}$ 活度比关系估算 RTAA

由方程(2)同理可得  $N_{\text{Bi}} = \frac{N_{\text{Po}} \lambda_{\text{Pb}}}{\lambda_{\text{Bi}} + \lambda_{\tau}}$ , 代入(3)

式得

$$N_{\text{Pb}} \lambda_{\text{Pb}} \lambda_{\text{Bi}} = (\lambda_{\text{Bi}} + \lambda_{\tau}) (\lambda_{\text{Po}} + \lambda_{\tau}) N_{\text{Po}}, \quad (8)$$

两边同时乘  $\frac{\lambda_{\text{Po}}}{N_{\text{Pb}} \lambda_{\text{Pb}} (\lambda_{\text{Bi}} + \lambda_{\tau}) (\lambda_{\text{Po}} + \lambda_{\tau})}$ , 得

$$\frac{\lambda_{\text{Po}} N_{\text{Po}}}{N_{\text{Pb}} \lambda_{\text{Pb}}} = \frac{\lambda_{\text{Bi}} \lambda_{\text{Po}}}{(\lambda_{\text{Bi}} + \lambda_{\tau}) (\lambda_{\text{Po}} + \lambda_{\tau})}, \quad (9)$$

令  $\tau_r = \frac{1}{\lambda_r}$ , 即

$$\frac{\lambda_{\text{Po}} N_{\text{Po}}}{N_{\text{Pb}} \lambda_{\text{Pb}}} = \frac{(\tau_r)^2}{\left(\tau_r + \frac{1}{\lambda_{\text{Bi}}}\right) \left(\tau_r + \frac{1}{\lambda_{\text{Po}}}\right)}. \quad (10)$$

## 4. 实验验证

#### 4.1. 实验设备及测量方法

在湖南省重点实验室南华大学标准氦室内进行验证 RATT 理论的实验. 标准氦室是一个相对独立的气体空间, 含氦浓度较高的混合气体在氦室内循环运动、充分混合, 同时设有进风口、出风口和温

湿度、气压及风速等调控系统. 控制温湿度和气压等条件、调节进出气体的量来控制里面的氦浓度. 氦室内部没有湿沉降, 其进出空间的气体流速主要影响内部大气颗粒物的 MRT. 测定氦室的平均换气时间, 由氦室中氦及氦子体比活度估算 RTAA; 比较平均换气时间和 RTAA 来验证本研究的合理性和准确性.

利用高灵敏度的热球风速仪对氦室内径为 10 cm 的出风管道内进行风速测定, 根据单位时间的换气量和标准氦室的 25 个立方体容量计算氦室内气体的平均换气时间. 利用 PQ2000 全天候地监测标准氦室内的氦浓度; 用实验室专用的氦子体采样器和采样膜进行氦子体采样<sup>[16-19]</sup>, 借助 Thomas 三段法<sup>[20]</sup>测量和计算氦子体的浓度. 由于在实验中所测氦子体核素是 ${}^{214}\text{Pb}$ 和 ${}^{214}\text{Bi}$ , 将 ${}^{214}\text{Pb}$ 和 ${}^{214}\text{Bi}$ 分别代替方程(8)中 ${}^{210}\text{Pb}$ 和 ${}^{210}\text{Bi}$ , 得到

$$\tau_x = \frac{1}{\lambda_{214\text{Bi}}} \frac{(N_{214\text{Bi}} \lambda_{214\text{Bi}}) / (\lambda_{214\text{Pb}} N_{214\text{Pb}})}{1 - (N_{214\text{Bi}} \lambda_{214\text{Bi}}) / (\lambda_{214\text{Pb}} N_{214\text{Pb}})}, \quad (11)$$

$$\tau_x = \frac{1}{\lambda_{214\text{Bi}}} \frac{A_{214\text{Bi}} / A_{214\text{Pb}}}{1 - A_{214\text{Bi}} / A_{214\text{Pb}}}. \quad (12)$$

其中式中的  $\tau_x$  表示 RTAA,  $A_{214\text{Bi}}$  和  $A_{214\text{Pb}}$  分别代表 ${}^{214}\text{Bi}$ 和 ${}^{214}\text{Pb}$ 的活度.

#### 4.2. 实验结果和分析

##### 4.2.1. 风速仪测 RT

已知氦室出风管道有效直径  $d$  为 0.10 m, 利用热球风速仪对管内 11 个位置进行风速测定. 风速测量方法如图 2 所示, 已知氦室空腔体积为  $V_{\text{总}} = 25 \text{ m}^3$ , 当氦室浓度较长时间稳定为  $1.816 \text{ kBq/m}^3$  时, 多次在同一横截面上测量 11 个点的风速取平均值得到氦室的平均换气速度, 计算得此时其出风口的平均风速为  $\mu = 0.51 \text{ m/s}$ , 也就是氦室空腔内平均换一次气所需时间  $T$  约为 1.7361 h.

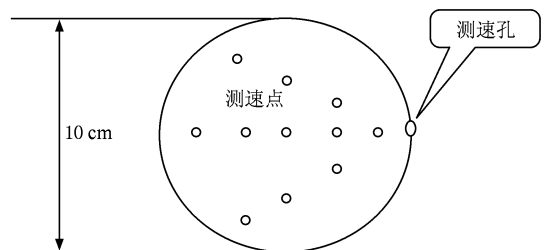


图 2 氦室出气口风速测量点示意图

#### 4.2.2. 测定氦子体的比活度和估算 RTAA

利用 PQ2000、氦子体采样器、氦子体测量的标准测量装置测得的氦浓度、氦子体的浓度, 结果如表 1 所示, 计算得<sup>214</sup>Bi, <sup>210</sup>Pb 的活度平衡比(简称平衡比)在 0.489—0.966 之间, 将相关数据代入方程(12)得到对应的 RTAA 处于 27.22—798.12 min, 相应的关系曲线如图 3 所示, 这样的结果与文献[21]得到的研究结果比较一致。

#### 4.2.3. 结果分析

当氦室浓度稳定为 1.816 kBq/m<sup>3</sup> 时, 热球风速

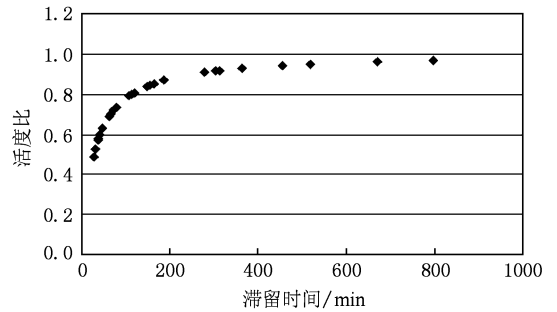


图 3 滞留时间与活度比的关系

表 1 利用 PQ2000, Thomas 三段法测量的氦、氦子体的浓度及 RTAA 数据表

序号	温度 /°C	气压 /kPa	采样后 2—5 min 计数	采样后 6—20 min 计数	采样后 21—30 min 计数	<sup>214</sup> Pb / (Bq/m <sup>3</sup> )	<sup>214</sup> Bi / (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡比	RTAA/min
1	23	101.0	803	2705	1564	107.39	61.73	0.5748	38.42
2	30	100.0	1480	4295	2265	119.68	115.56	0.9656	798.12
3	30	100.1	4844	14975	8114	467.09	397.80	0.8517	163.19
4	30	100.0	6574	15630	8426	486.28	257.02	0.5285	31.87
5	30	100.1	9015	22125	11345	547.78	502.26	0.9169	313.69
6	30	100.0	8415	23123	12079	619.52	594.32	0.9593	670.47
7	30	100.0	9187	23114	12119	634.52	501.11	0.7897	106.77
8	30	100.0	8069	21866	11765	668.19	487.09	0.7290	76.45
9	30	100.5	613	1673	901	47.41	34.74	0.7328	77.96
10	30	100.8	850	2542	1366	70.93	61.52	0.8674	185.96
11	30	100.8	834	2545	1387	75.19	60.04	0.7984	112.59
12	23	101.0	803	2705	1564	99.25	57.05	0.5748	38.42
13	30	100.5	1325	3997	2139	109.51	99.41	0.9078	279.72
14	30	100.5	1335	4226	2362	137.55	94.77	0.6889	62.96
15	30	100.5	1547	4871	2699	153.42	112.37	0.7325	77.83
16	30	100.5	1525	4724	2690	164.88	94.23	0.5715	37.91
17	21	101.0	3109	10080	5493	296.64	257.50	0.8681	187.01
18	21	101.0	2981	10160	5543	299.57	273.89	0.9143	303.17
19	28	100.5	4883	15047	8038	408.50	387.28	0.9481	518.88
20	20	101.0	3941	13756	7620	430.44	360.96	0.8386	147.66
21	30	100.5	5810	17941	9963	570.52	398.86	0.6991	66.05
22	30	100.5	5740	17865	9959	576.27	395.29	0.6859	62.09
23	20	100.8	1017	3248	1895	122.35	59.86	0.4892	27.22
24	16	100.8	1273	4286	2358	129.88	109.87	0.8460	156.10
25	16	100.8	1251	4019	2292	139.80	83.68	0.5986	42.39
26	16	100.8	1297	4327	2471	150.98	94.54	0.6262	47.62
27	22	100.8	3903	12174	6652	360.48	290.94	0.8071	118.93
28	16	100.8	3716	12593	6851	364.59	338.24	0.9277	364.88
29	22	100.8	3695	11702	6507	370.90	266.38	0.7182	72.44
30	24	101.0	3814	13104	7130	379.31	357.09	0.9414	456.81

仪测得氦室空腔内稳定的平均换一次气所需时间  $T$  约为 104.17 min. 与同条件下多次测量  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  活度比计算出 RTAA 为 112.17 min 的结果相比是相当合理的, 因为这样的换气速度确实不能使氦室内的子体达到平衡, 其平均换气所需的时间虽然不可能与完全等于 RTAA, 但他们的值相近是合理的, 其中的误差主要有两方面. 一方面平均换气只能定性的说明在此时间段内大部分颗粒物可能会被冲洗一次, 但实际冲洗效果会差一些; 所以 RTAA 应略大于平均换气时间; 其次, 利用 Thomas 三段法得到的 RT 可能与采样流量、时间、计数测量以及子体的附壁效应等误差因素有关 (限于篇幅, 关于其具体影响将专门进行实验测量分析与计算), 所以氦室的平均换气时间可以近似表示其中 RTAA.

## 5. 结 论

基于上述结果及分析, 可以得到以下结论: (1) RTAA 可以通过测量大气中  $^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb} \rightarrow ^{210}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Po}$  衰变链大气颗粒物中各子体的活

度比相关公式计算得到. (2) 在相对理想的环境中 (相对封闭的氦室中) 采用氦衰变后短寿命子体的示踪方法分析、测量和计算得到的 RTAA 为 27.22—798.12 min 是合理的, 即对于室内空间 RTAA 不长的情况, 其 RT 值的估算可以通过测量  $^{214}\text{Bi}$  与  $^{214}\text{Pb}$  的活度比来计算. (3) 实验中氦室中浓度偏高时测量  $^{214}\text{Bi}$  与  $^{214}\text{Pb}$  的活度比无限趋近 1 (图 3 所示), 相应计算的 RT 迅速趋近无限大的现象, 这说明对于空气中停留时间较长的颗粒物, 其 RT 的测量已不能通过测量  $^{214}\text{Bi}$  与  $^{214}\text{Pb}$  的活度比来计算, 而应该改用对应的长寿命的氦子体作为示踪元素, 即自然环境中 RTAA 的测量计算应该用  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Po}$  作为测量对象, 这与放射性核素衰变平衡规律是完全相符的. 当然, 相对封闭的氦室 (箱体) 内 RTAA 受温度、气压、湿度及氦浓度的影响规律还需进一步研究.

感谢南华大学湖南省氦重点实验室顾问丘寿康研究员的指导.

- [1] World Health Organization 2002 *The World Health Report 2002 Reducing Risks Promoting Healthy Life* (France: World Health Organization) p9
- [2] Obot C J 2002 *Toxicology and Applied Pharmacology* **184** 98
- [3] Ebaid Y Y, Khater A E M 2006 *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **270** 609
- [4] Duenas C, Fernandez M C, Carretero J 2003 *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **257** 249
- [5] Baskaran M, Shaw G E 2001 *Aerosol Science* **32** 443
- [6] Papastefanou C 2006 *nuclides Applied Radiation and Isotopes* **64** 93
- [7] Bo Q J, Xiao Z X 2008 *Environmentally-friendly* **5** 48 (in Chinese) [卜清军、肖振学 2008 环保前线 **5** 48]
- [8] Wang H, Wang G H, Gao S X 2003 *China Environmental Science* **23** 55 (in Chinese) [王 荟、王格慧、高士祥 2003 中国环境科学 **23** 55]
- [9] Du J Z, Huang D K 2007 *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **274** 63
- [10] Du J Z, Zhang J, Wu Y F 2008 *China Atmospheric Environment* **42** 5101
- [11] Du J Z, Mu H D, Song H Q, Yan S P, Gu Y J, Zhang J 2008 *China Water Air Soil Pollut* **190** 343
- [12] Vohra K G, Subba Ramu M C, Vasudevan K N 1969 *Atmospheric Environment* **3** 99
- [13] Poet S E, Moore H E, kartell E A 1972 *J. Geophys. Res.* **77** 6515
- [14] Moore H E, Poet S E, Martell E A 1973 *J. Geophys. Res.* **78** 7065
- [15] Whittlestone S, Robinson E, Ryan E 1990 *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* **26** 251
- [16] Chen J D, He Z J, Hong J Q, Le R C, Ye Q Y, Zhou B Y 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 5350 (in Chinese) [陈健倬、何志杰、洪锦泉、乐仁昌、叶全意、周宝庸 2009 物理学报 **58** 5350]
- [17] Tan Y L, Xiao D T, Zhao G Z 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 5452 (in Chinese) [谭延亮、肖德涛、赵桂芝 2008 物理学报 **57** 5452]
- [18] Le R C, Lin G Y 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4113 (in Chinese) [乐仁昌、林刚勇 2005 物理学报 **54** 4113]
- [19] Jia W Y, Le R C, Wu Y P 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 2457 (in Chinese) [贾文懿、乐仁昌、吴允平 2003 物理学报 **52** 2457]
- [20] Thomas J W 1972 *Health Phys.* **23** 783
- [21] Vaughan C T, William C G 1999 *Connecticut Journal of Geophysical Research* **104** 11593

# A Method of estimating residence time of atmospheric aerosol and its preliminary experimental verification \*

Shan Jian<sup>1)</sup> Xiao De-Tao<sup>1)</sup> Liu Wei<sup>2)†</sup> Lin Jun<sup>2)</sup> Wang Guang-Hua<sup>2)</sup> Wei Nan-Nan<sup>1)</sup> Zhou Qing-Zhi<sup>1)</sup>

1) (*School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China*)

2) (*Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China*)

(Received 30 July 2009; revised manuscript received 21 October 2009)

## Abstract

A method of estimating residence time of atmospheric aerosol (RTAA) is established based on the relationship between specific activity ratio of radon daughters in atmospheric particles and average life of the particles. The method is further testified in a standard radon chamber. When specific activity of radon is  $1.816 \text{ kBq/m}^3$  in the chamber, the RTAA is estimated to be 112.17 min, which is in agreement with the mean-ventilation time in the chamber, 104.17 min. Therefore, the residence time of the atmospheric aerosol can be estimated by using the specific activity ratios of radionuclide in the same decay chain, such as  $^{214}\text{Bi}/^{214}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}/^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ .

**Keywords:** atmospheric aerosol, residence time, daughter products of radon

**PACC:** 2390, 9265V, 8670L

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10775174), The direction Program of Knowledge Innovation of Chinese Academy of Sciences (Grant No. KJGX-3SYW-N3), The frontier project of Shanghai Institute of Applied Physics (Grant No. 90070301), The key project of Education Department of Hunan Provincial (Grant No. 07A060), Innovation Foundation for Graduate of Hunan Province of China (Grant No. 2008CXJJ02).

† Corresponding author. E-mail: liuwei@sinap.ac.cn