

# 馆藏文物保存环境检测用无动力扩散采样器初步设计

解玉林,徐方圆,吴来明

(馆藏文物保存环境国家文物局重点科研基地,上海博物馆,上海 200050)

**摘要:** 因为无动力扩散采样技术适合于对馆藏文物保存环境中的多种污染气体进行检测,为此,优化设计研制了一种无动力扩散采样器。通过分析采样器的工作原理,根据菲克第一扩散定律推导了污染物浓度换算公式。在比较了现有徽章式和扩散管式两种典型采样器的基础上,以扩散管式采样器为原型,增加了接头部件,以二氧化氮为污染气体代表,试验比较了采样器的不同组合对采样效果的影响。研究表明:该采样器能够根据采样环境的实际情况灵活组合,提高了采样器的适用性;二氧化氮采样分析计算结果基本达到设计要求,增加扩散腔厚度能降低采样的分散性;采用双面采样可以成倍增加污染物吸附量,提高检测灵敏度。

**关键词:** 馆藏文物保存环境;无动力扩散采样;采样器;二氧化氮

**中图分类号:** G264 **文献标识码:** A

## 0 引言

无动力扩散采样器是无需动力,依靠气体分子扩散或渗透原理采集空气中气态或蒸汽态污染物的一种采样装置。正是由于它不需要任何电源和抽气装置,充分满足了博物馆文物保存环境安全的需求。另外,它小巧轻便,采样操作简单,分析费用相对较低,适合于博物馆小型文物展柜、储藏柜内空气质量的检测,由经过简单培训的博物馆工作人员放置采样后寄回实验室分析。利用无动力可以同时进行分析大规模的测定,为了解污染气体浓度分布状况,长时间浓度积累提供依据。

采用扩散原理对大气低浓度背景区污染物进行富集检测的想法首先由 Palmes 在 20 世纪 70 年代提出,并从理论和实验数据上证明了该方法的可行性<sup>[1]</sup>。此后多种形式的采样器相继出现,早期主要应用于污染物浓度较高的工业环境检测<sup>[2]</sup>,直至 20 世纪 90 年代,随着仪器检测精度的提高,逐渐应用于室内环境(包括馆藏文物保存环境)污染物的检测<sup>[3]</sup>。

本工作在总结前人研究成果的基础上,针对馆藏文物保存环境空间小,污染物浓度低的特点,研制开发了一种可改变扩散采样效率的多功能无动力扩

散采样器,初步比较了其采样效率。

## 1 采样器设计

### 1.1 设计原理

无动力扩散采样器目前主要有三种形式<sup>[4]</sup>,如图 1 所示。A 浸渍滤纸采样器;B 扩散管式采样器;C 徽章式采样器。除第一种外,其余采样器均主要由壳体、挡风层、扩散腔和吸收层所组成。污染气体透过挡风层,在扩散腔内扩散形成一动态平衡的浓度梯度,不断被底层的吸收层吸附。

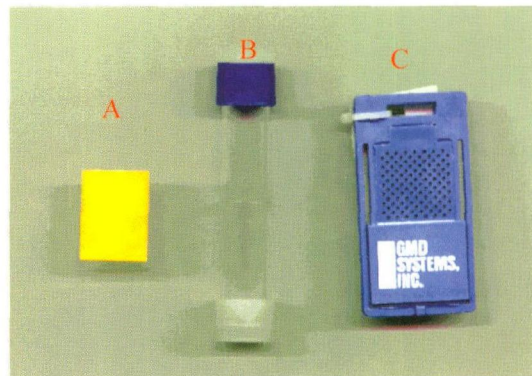


图 1 三种无动力扩散采样器

A. 浸渍滤纸, B. 采样管, C. 徽章式采样器

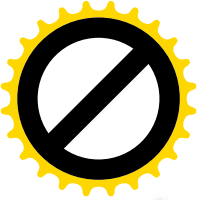
Fig.1 Three types of passive samplers

收稿日期:2009-07-27;修回日期:2009-12-08

基金项目:国家科技支撑计划资助(2006BAK20B01),国家文物局文物保护科学和技术研究课题资助(20040308)

作者简介:解玉林(1948—),女,研究馆员,上海博物馆文物保护与考古科学实验室,研究方向:馆藏文物保存环境,有机文物保护,

E-mail: yulin\_xie@163.com



在整个采样过程中,气体的自由扩散起到了关键作用。根据菲克第一扩散定律,污染气体的流通量  $\Phi$  可以表示为:

$$\Phi = -D \cdot dc/dL \quad (1)$$

式中,  $D$  为污染气体在空气中的扩散系数;  $dc/dL$  为扩散浓度梯度; 而  $\Phi$  为污染气体的流通量, 即单位时间、单位面积的净扩散量, 可以表示为  $\frac{m_s}{A \cdot t}$ , 其中  $A$  为扩散层的截面积,  $t$  为扩散时间,  $m_s$  为通过某一扩散层截面的污染气体质量。在基本稳定的环境中长时间采样时, 采样器顶部的污染气体浓度为一缓慢变化波动过程, 而采样器吸附层附近则浓度趋于零, 因此采样器各扩散层面的浓度差基本稳定, 形成稳态扩散。在稳态扩散中各扩散空间内的浓度变化是线性的, 浓度梯度可表示为  $\Delta c/\Delta L$ , 由此可得:

$$\Delta c = -\frac{m/s \cdot \Delta L}{t \cdot D \cdot A} \quad (2)$$

污染气体通过壳体, 透过挡风层, 在扩散腔自由扩散后被吸收层吸收, 在各层面中扩散截面积  $A$  和扩散厚度  $L$  均各有不同, 但基本可以认为是稳态扩散。另外, 在稳定环境中采样时, 采样器的外部有一个不流动的空气薄层, 在这一薄层中气体的扩散是靠层流扩散到采样器内。与采样器的长度相比, 此边界层的厚度不能忽略, 且其厚度随采样时的气压、风向不同而变化。由此可得所需检测的环境污染气体浓度  $c$ :

$$\Delta c = c_1 - c_2 = c = \Delta c_k + \Delta c_d + \Delta c_q + \Delta c_p \quad (3a)$$

式中,  $c_1$  为采样器端口的气体浓度,  $c_2$  为吸收层附近的气体浓度, 其接近于零;  $\Delta c_k$ 、 $\Delta c_d$  和  $\Delta c_q$  和  $\Delta c_p$  分别是采样器壳体、挡风层、扩散腔及静止空气薄层两端的浓度差, 代入 2 式得:

$$c = \frac{m_s}{t \cdot D} \left( \frac{L_k}{A_k} + \frac{L_d}{A_d} + \frac{L_q}{A_q} + \frac{L_p}{A_p} \right) \quad (3b)$$

式中,  $L_k$ 、 $L_d$ 、 $L_q$ 、 $L_p$ 、 $A_k$ 、 $A_d$ 、 $A_q$ 、 $A_p$  分别是采样器壳体、挡风层、扩散腔及静止空气薄层的扩散层厚度及截面积, 由此可得通过某一扩散层截面的污染气体质量  $m_s$ :

$$m_s = D \cdot c \cdot t \times \frac{2}{\left( \frac{L_k}{A_k} + \frac{L_d}{A_d} + \frac{L_q}{A_q} + \frac{L_p}{A_p} \right)} \quad (4)$$

由式 4 可知: 针对馆藏文物保存环境中痕量污染气体的检测, 在分析手段一定的前提下, 为提高检测灵敏度, 需要增加被底层吸附的量。因此可以增加扩散截面积, 延长采样时间, 缩短扩散厚度。

## 1.2 现有典型采样器的比较

### 1.2.1 徽章式采样器

20 世纪 90 年代初, 中国预防医学科学院环境卫生监测所采用了一种徽章式采样器<sup>[5]</sup>, 结构如图 2 所示。

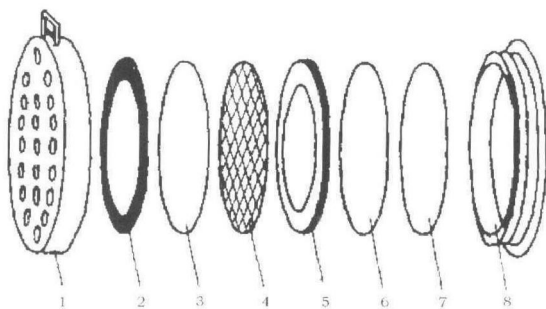


图 2 徽章式采样器结构

1. 前盖, 2. 硅橡胶密封圈, 3. 核孔滤膜, 4. 涤纶纱网(70 目)  
5. 压环, 6. 吸收层, 7. 托板, 8. 底座

Fig. 2 Diagram of badge sampler

这种采样器虽然外形直径较大, 但真正气体扩散的截面积是前盖的 19 个小孔, 面积约  $25\text{mm}^2$ , 扩散截面积偏小。其扩散腔的厚度仅有  $2 \sim 3\text{mm}$ , 虽然这样能增加吸收层吸附的污染气体量。但在采样器安装过程中不可避免的会由于核孔滤膜、涤纶纱网的轻微不平整, 而严重影响扩散腔的规整性, 给测量造成不可预计的误差。另外根据实验验证, 其采样速率受外界风速的影响极大, 采样速率要根据采样时不同的风速、风向而通过实验确定。

**1.2.2 扩散管式采样器** 中国科学院生态环境研究中心在 20 世纪 90 年代采用了一种扩散管式采样器<sup>[6]</sup>, 其结构如图 3 所示。

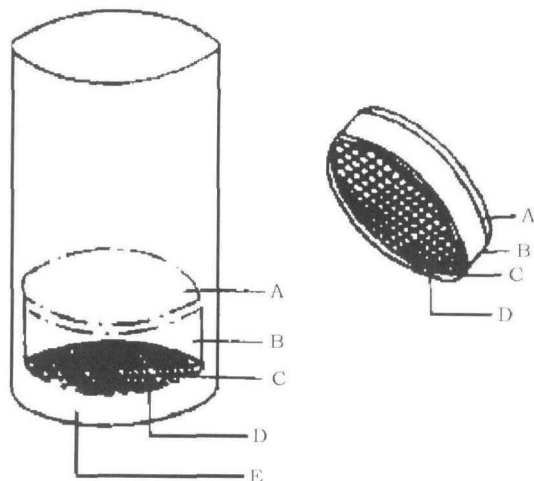
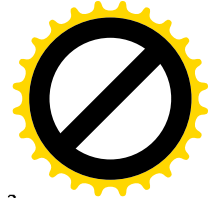


图 3 扩散管式采样器

- A. 后盖, B. 扩散腔, C. 中间带孔的前盖, D. 不锈钢丝网, E. 储备容器

Fig. 3 Diagram of tube sampler

根据该种采样器的设计原理, 污染气体通过孔径为  $20\text{mm}$  的圆孔进入采样器, 最大限度的增加了扩散的截面积;  $10\text{mm}$  长的圆环形成了规整的扩散腔, 有效地减少了吸附量计算过程中的误差。因此,



相对于徽章式采样器,扩散管式采样器更适合于馆藏文物保存环境微量污染气体的检测。

### 1.3 采样器的改进设计

在上述扩散管式采样器的基础上,本工作对其进行了多方面的研究设计和改进。

首先,在选材制作上选用了食品级的高压低密度聚乙烯通过一次性模压挤塑成型。制作材料具有良好的化学稳定性,在一般情况下耐酸、碱、盐类及水溶液的腐蚀作用,具有一定的机械性能,其清洁度 $\leq 10$ 分/kg(按GB 11115检测);制作过程中不添加任何辅料,保证采样器具有多种优异的性能:①采样器扩散腔内壁对污染气体无吸附;②采样器使用过程中无各种杂质、污染气体的析出和释放;③采样器后盖与吸附层上的浸渍吸附液不发生化学反应;④有一定的耐老化性,易清洁,可重复使用;⑤有足够机械强度,使用过程中不变形。

其次,在结构上根据设计原理进行了大胆的改进,使其适用的污染气体浓度检测范围更广泛,检测精密度有所提高,采样器的放置更方便。

由采样器的设计原理,式(3b)中括号内的前三项为与采样器的几何形状有关的数据,分别为不锈钢丝网、聚四氟乙烯微孔滤膜和扩散腔的有效截面积和厚度。在本研究中所选用的不锈钢丝网和滤膜的规格如下:不锈钢丝网的厚度0.19mm,孔隙度19%(丝的直径为0.08mm);聚四氟乙烯滤膜(Millipore产品)厚度0.175mm,孔隙度70%(孔径为1 $\mu$ m)。式(3b)中括号内的第四项与采样时的风速和周围的空气扰动有关,有研究表明<sup>[5]</sup>此边界层的厚度大约为1~2mm。在扩散腔厚度取10mm,边界层厚度取1.5mm的情况下,将这些数值代入式(3b)中第二项可得:

$$\frac{L_k}{A_k} : \frac{L_d}{A_d} : \frac{L_a}{A_a} : \frac{L_p}{A_p} = 4 : 1 : 40 : 6 \quad (5)$$

由式(5)可知,在对污染气体浓度的计算过程中扩散腔的影响最大;聚四氟乙烯滤膜的影响最小,仅为扩散腔的2.5%;不锈钢丝网和边界层的影响相当,分别约为扩散腔的10%和15%。在采样过程中边界层的厚度是无法确定的,对检测的准确度影响最大,而适当的增加扩散腔的厚度有助于降低边界层的影响。但是随着扩散腔厚度的增加吸收层吸附的污染气体量又会明显减少,给分析带来困难。根据上述两点考虑,本课题设计了针对不同污染气体浓度环境检测的多功能无动力采样器。

该采样器主要由端盖、中段、接头和后盖四部分组成,其结构如图4所示。

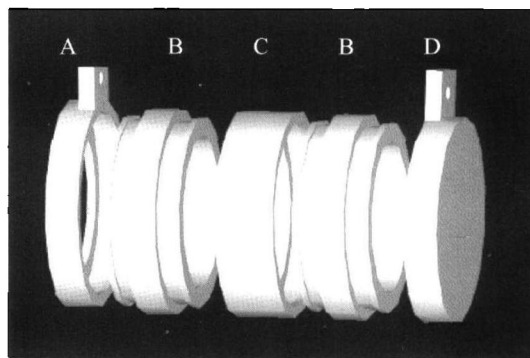


图4 采样器各部件结构

A. 端盖, B. 中段, C. 接头, D. 后盖

Fig. 4 Diagram of sampler components

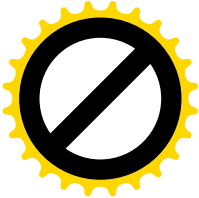
采样器各部分配合紧密,在按要求安装好后,气体只能从采样器端盖的圆孔处透过挡风层扩散入采样器。采样器的端盖、中段和后盖与上述扩散管式采样器基本相同,但在端盖和后盖上均有一带孔的附加突出部分,这一是为了方便采样器各部分的拆卸和安装,二是能使采样器悬挂在空中采样。

此次最重要的改进在于增加了接头部分,接头部分是一T字型圆环,可以用来连接两个中段。正是由于接头部分的引入,使采样器的结构能根据检测环境的特点而自由组合,使采样器具有更广泛的适应性。如在污染物浓度较高的环境下可以通过成倍延长扩散腔的厚度,降低污染物的吸附量,使吸附层在长时间采样过程中始终处于欠饱和状态;同时延长了扩散腔厚度就减少了边界层和挡风层对采样的影响,在一定的条件下甚至可以忽略边界层和挡风层的影响,而简化吸附量与气体浓度之间的换算关系。在污染气体浓度较低的时候可以将采样吸收层放在接头部分,采样器两端同时装上带孔的端盖,使污染气体从两端同时扩散入采样器,增加吸收层的吸附量,提高检测灵敏度。另外还可以在采样器不同位置放入多层吸附层,研究探讨各种采样参数。总之,该采样器的设计为无动力采样技术的研究提供了坚实的基础,并为进一步的发展提供了广阔的空间。

## 2 采样器性能研究

### 2.1 研究方法

针对所设计的无动力扩散采样器,本研究比较了各种采样器结构组合对采样效果的影响。为此,选择二氧化氮作为采集分析的对象,用20%(W/W)三乙醇胺作为吸收浸渍液,在采集过程中发生如下反应: $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{HNO}_3$ ;  $\text{HNO}_2 + \text{HNO}_3 + 2\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3 \rightarrow \text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{ONO})(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2 + \text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{ONO})_2(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2 +$



$2\text{H}_2\text{O}$ 。采样后参照国家标准 GB/T 15435《环境空气 二氧化氮的测定 Saltzman 法》<sup>[7]</sup>进行化学分析,按照理论计算获得所测环境二氧化氮的平均浓度,并同时用 API MODEL 200A 化学发光法氮氧化物自动分析仪进行分析比对。

### 2.1.1 试剂和材料 共 5 种

1) 水。本试验所用的水均为无二氧化氮的二次蒸馏水,所用水以不使显色液呈淡红色为合格。

2) 浸渍吸收液。称取 2g 三乙醇胺,溶于 10mL 水中,临用前现配。

3) 采样吸收滤纸。在洁净环境中,将干净的新华中速定性滤纸裁剪成  $\phi 20\text{mm}$  的圆纸片,在上面均匀滴加 100 $\mu\text{L}$  浸渍吸收液后,迅速装入采样器。试验时现用现制。

4) 显色液。称取 5.0g 对氨基苯磺酸于 200mL 热水中,将溶液冷却至室温,全部移入 1000mL 容量瓶中,加入 50mL 冰乙酸和 50mg N-(1-萘基)乙二胺盐酸盐,用水稀释至刻度。此溶液保存在暗处,可稳定三个月。若出现淡红色表示已被污染,应弃之重配。

5) 亚硝酸盐标准溶液。精确称取 0.3750g 亚硝酸钠(优级纯,预先在干燥器内放 24h),移入 1000mL 容量瓶中,用水稀释至刻度,此溶液中含有  $\text{NO}_2$  250mg/L,在暗处可稳定三个月。临用时将其稀释成 2.50mg/L 的标准工作液。

2.1.2 采样过程 按要求装好采样器后,直接在现场采样,暴露采样一定时间后,取回立即进行分析,并记下采样开始和结束时间以及采样过程中的气温。整个过程衔接迅速,可忽略采样器保存对检测结果的影响。

2.1.3 分析过程 在一洁净的环境中,将采样器打开,用干净的不锈钢镊子快速取出采样浸渍滤纸,放入 25mL 具塞比色管,加显色液至 10mL,加盖放置 40min(每隔 10min 轻摇一次),显色完毕。用 10mm 比色皿,在波长 540nm 处,以水作参比,测定样品溶液的吸光度,计算  $\text{NO}_2^-$  的含量。在样品测定的同时,另用未采样的浸渍滤纸,作为样品的空白值。

### 2.2 采样效率

不利用采样器接头部分,直接将端盖、中段和后盖组合在一起,形成最简单的单级无动力采样器,则公式(3b)中各相关参数为  $D_{\text{No}_2} = 1.54 \times 10^{-5} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $21^\circ\text{C}$ );  $L_k = 0.19\text{mm}$ ;  $L_{d1} = 0.175\text{mm}$ ;  $L_q = 10\text{mm}$ ;  $A_k = 19\% A_q$ ;  $A_{d1} = 70\% A_q$ ;  $A_p = A_q = 3.14 \times 10^{-4} \text{m}^2$ 。在计算过程中边界层厚度按  $L_p = 1.5\text{mm}$  计算;盐酸萘乙二胺 Saltzman 方法的转换系数按 0.76 计算<sup>[8]</sup>。则:

$$C(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{m_s(\mu\text{g})}{t(\text{h})} \times 963.2(\text{h} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (6)$$

检测计算结果如表 1 所示。

表 1 无动力采样分析与仪器分析的比较

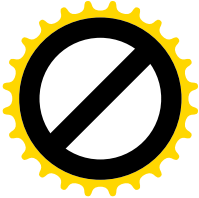
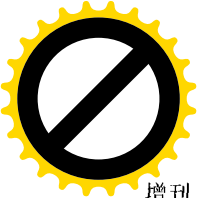
Table 1 Comparison of sampling efficiency between the no-power sampling and the analyzer									( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
采样时间/h	1	2	3	4	5	平均值	CV/%	仪器法	相差/%
72.75	41.13	38.46	39.87	40.40	40.17	40.00	2.5	43.17	7.3
48.50	35.43	32.64	34.26	34.04	34.85	34.24	3.1	37.44	8.5
24.50	37.13	34.13	38.09	35.77	36.73	36.37	4.1	37.05	1.8
48.25	47.45	42.99	44.77	45.80	45.44	45.29	3.6	46.22	2.0
24.00	34.10	34.51	33.74	35.08	34.06	34.30	1.5	37.82	9.3

由表 1 可知,各样本之间偏差在 5% 以内。而与仪器分析法比较,两者之间相差不足 10%,用无动力扩散采样器采样分析的二氧化氮浓度基本真实反映了检测环境的情况,且仪器法测得的浓度均高于无动力扩散采样分析所得。分析其原因,主要有两个方面。一是由于两种检测方法所采用的分析原理不同;Saltzman 法是利用二氧化氮与对氨基苯磺酸进行重氮化反应,再与 N-(1-萘基)乙二胺盐酸盐作用,生成粉红色的偶氮染料,在波长 540nm 处测定吸光度;而仪器法则是先将二氧化氮转换成一氧化氮,再与臭氧发生化学发光反应,生成激发态的二氧化氮分子,在返回基态时放出与一氧化氮浓度

成正比的光,通过光电倍增管接受此光而测定。两种不同的检测原理之间必然会产生系统误差。另外,无动力扩散采样器的二氧化氮采样吸附量是通过公式、理论推导而来,与实际情况存在一定的出入,如为计算方便采样器边界层的厚度固定为 1.5mm,各采样器的扩散腔均为规整一致的等,这些都是造成误差的原因。从上述数据分析可知,采用所设计的无动力扩散采样器能对二氧化氮等污染气体进行有效分析。

### 2.3 扩散腔厚度对采样效果的影响

利用接头部分将扩散腔厚度增加一倍,即将接头连接两个中段,在中段的另外两端加上端盖和后



盖。如此,扩散腔的厚度达到 21mm,相对于扩散腔则壳体、挡风层、边界层的厚度均可以忽略不计,式(3b)可简化为

$$c = \frac{m_s}{t \cdot D} \cdot \frac{L_q}{A_q} \quad (7)$$

将各项数据代入式 7 中得:

$$C(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{m_s(\mu\text{g})}{t(\text{h})} \times 1586.47(\text{h} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (8)$$

试验分析数据如表 2(采样时间 72.25h)。

表 2 不同扩散腔厚度的采样效果比较

Table 2 Comparison of sampling efficiency between different diffusive thickness samplers ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

厚度 /mm	吸收量/ $\mu\text{g}$					平均	浓度	CV/%	仪器法	相差/%
	1	2	3	4	5					
10.00	3.23	3.57	3.73	3.91	3.62	3.61	48.15	5.2	49.47	2.7
	3.74	3.68	3.32	3.59	3.74	3.61	48.15	3.7	49.47	2.7
21.00	2.19	2.42	2.28	2.58	2.38	2.37	52.00	4.7	49.47	5.1
	2.51	2.28	2.42	2.39	2.38	2.39	52.64	2.6	49.47	6.4

从表 2 可知,随着扩散腔厚度增加,被吸收层吸附的污染物的量减少。扩散腔厚度增加后,使由于安装过程中各层面不规整而带来的误差减小了,各样本之间的标准偏差变小。按照公式 6 和公式 8 计算出的二氧化氮浓度与仪器测量值的差值基本在 7% 以内。虽然增加扩散腔厚度后,计算值与仪器测量值差异变大,但这可以通过修正计算公式中的相关系数来纠正。因此,增加扩散腔厚度,能有效降低

采样的分散性,使分析更准确。

## 2.4 双面采样的效果

增加扩散腔厚度虽然能提高采样分析的准确性,但随着厚度的增加,被吸收层吸附的污染物量将明显减少。为了能对低浓度的污染物进行准确检测,考虑双面采样,即将后盖换成扩散腔和端盖,使污染气体从两面同时进入采样器,被在中间的吸收层吸附。则由式 4 得:

$$m_s = D \cdot c \cdot t \times \left[ \frac{2}{\left( \frac{L_k}{A_k} + \frac{L_d}{A_d} + \frac{L_{q1}}{A_{q1}} + \frac{L_p}{A_p} \right)} + \frac{2}{\left( \frac{L_k}{A_k} + \frac{L_d}{A_d} + \frac{L_{q2}}{A_{q2}} + \frac{L_p}{A_p} \right)} \right] \quad (9)$$

式中,  $L_{q1}$  和  $L_{q2}$  分别是吸收层两端扩散腔的厚度,将具体数值代入则:

若两端扩散腔厚度为 21mm 则:

$$C(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{m_s(\mu\text{g})}{t(\text{h})} \times 499.78(\text{h} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (10)$$

$$C(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}) = \frac{m_s(\mu\text{g})}{t(\text{h})} \times 811.68(\text{h} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (11)$$

试验分析数据如表 3 所示。

表 3 单双面采样效果比较

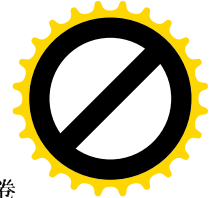
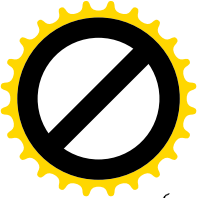
Table 3 Comparison of sampling efficiency between the double-faced sampler and the single-faced sampler ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

厚度 /mm	单/双 面	吸收量/ $\mu\text{g}$					平均	浓度	CV/%
		1	2	3	4	5			
10.00	单	1.41	1.42	1.38	1.46	1.45	1.42	17.83	2.1
	双	2.55	2.56	2.54	2.53	2.54	2.54	16.52	0.6
21.00	单	0.83	0.91	0.73	0.82	0.85	0.83	17.11	7.1
	双	1.53	1.67	1.63	1.56	1.45	1.57	16.54	5.6

由表 3 可知,将单面采样器改装成双面采样器能成倍增加吸收层的吸附量,这特别适用于对低浓度污染气体的检测。由于目前分析手段的限制,对于痕量污染气体,测量精度无法满足要求,吸收层吸附的污染物量极低时,测量的相对误差也就增大了,采用双面采样较好的解决了部分问题。以二氧化氮检测所用的 Saltzman 法为例,其方法的检出限为  $0.12\mu\text{g}/10\text{mL}$ ,按照单面单层采样 48 小时,最低检出浓度为  $1.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,采用双面采样后可提高至

$0.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。比较表 3 的试验数据,由于污染物吸收量的增加,双面采样分析的试验误差明显减少。

另外,比较计算出的二氧化氮浓度,采用双面采样检测出的浓度总是低于单面的,这可以通过公式中的系数校正来纠正。但当污染物浓度较高时,吸收层的吸附量增加,会产生污染气体的竞争吸附与解吸附,造成吸附层附近污染气体浓度  $c_2 \neq 0$ ,破坏扩散采样计算的理论基础,采用双面采样也相应降低了准确检测的最高浓度。



### 3 结 论

由上述分析和试验比较可以得到以下结论:

1) 设计的无动力扩散采样器能对空气环境中的微量污染气体进行准确、有效的分析检测。

2) 在现有扩散管式采样器的基础上,增加一接头部分所设计出的新型采样器在保持原有采样器采样吸收量大,分析检测精密度高,检出限低的基础上,提高了采样器对多种环境条件的适应性,基本能满足各种馆藏文物保存环境中污染气体采样检测的需要,同时也为今后进一步的采样多样性开发研究奠定了物质基础。

3) 以空气中的二氧化氮污染气体为例,采用研究设计的无动力扩散采样器采样分析所得数据与仪器法相比,精密度上均无显著性差异,具有高度相关性和可比性。采样器可用于环境现场污染气体(如二氧化氮)的采样检测。

4) 增加扩散腔厚度提高了采样的精密度,降低了数据的分散性,但同时减少了污染物的吸附量,提高了污染气体的最低检测浓度。

5) 采用双面采样可以成倍增加污染物的吸附量,同时也提高了检测的灵敏性,降低了最低检出浓度,有利于低浓度污染气体的检测。

6) 上述浓度的计算公式均通过理论推导而得出,其相关系数与实际的浓度可能有一定的误差,但基本准确,具体的采样速率等参数需通过试验进一

步论证确定。

#### 参考文献:

- [1] Palmes E D, Cunnison A F. Personal monitoring device for gaseous contaminants [J]. *Am Ind Hyg Assoc J*, 1973, **34**:78.
- [2] Richard H B. Monitoring the ambient environment with diffusive samplers theory and practical considerations [J]. *J Envir Monit*, 2000, **2**:1-9.
- [3] De Santis, Bellagotti F R, Vichi F, *et al*. Diffusive sampling as a tool for the evaluation of indoor air quality in the MIMIC project [EB/OL]. [http://iaq.dk/iap/iaq2003/2003\\_10.htm](http://iaq.dk/iap/iaq2003/2003_10.htm).
- [4] Frank L. Different passive sampling systems from a physical point of view [EB/OL]. [http://iaq.dk/iap/iap1998/1998\\_06/1998\\_06.htm](http://iaq.dk/iap/iap1998/1998_06/1998_06.htm).
- [5] 崔九思. 扩散法被动式个体采样器的设计原理、试验装置和性能评价方法[J]. *卫生研究*, 1994, **23**(增刊1):1-12.  
CUI Jin-si. Principle of structural design and evaluation of performance characteristics of passive personal samples by molecular diffusion [J]. *J Hyg Res*, 1994, **23**(Suppl):1-12.
- [6] 陈乐恬, 佟玉芹, 张宝珠, 等. 二氧化硫被动式采样器的研制和应用[J]. *环境化学*, 1992, **11**(5):59-72.  
CHEN Le-tian, TONG Yu-qin, ZHANG Bao-zhu, *et al*. Study on sulphur dioxide passive sampler [J]. *Envir Chem*, 1992, **11**(5):59-72.
- [7] 国家技术监督局. 环境空气 二氧化氮的测定 Saltzman 法 (GB/T 15435-1995). 北京: 中国标准出版社, 1995.  
GB/T 15435-1995 Ambient air - Determination of nitrogen dioxide - Saltzman method.
- [8] 陈乐恬, 佟玉芹. 被动采样法测定环境空气中的二氧化氮[J]. *环境化学*, 1994, **13**(5):460-464.  
CHEN Le-tian, TONG Yu-qin. Determination of nitrogen dioxide from ambient Air by passive sampling [J]. *Envir Chem*, 1994, **13**(5):460-464.

### Preliminary design of a passive diffusive sampler for monitoring of museum environment

XIE Yu-lin, XU Fang-yuan, WU Lai-ming

(Key Scientific Research Base of the Museum Environment, State Administration for Cultural Heritage, Shanghai Museum, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** Because a passive technology employing simple diffusion is most suitable for sampling and detection of various gas pollutants in museum environments, a passive diffusive sampler was designed and optimized. Analysis of the collector's working principles, led to a formula based on the Fick's first law of diffusion for calculating the pollutant concentration. After comparison of two typical existing models - the badge type and the tube type - a tube type was selected as the prototype for further development. A connector component was added and nitrogen dioxide was used as a representative pollutant gas to test the effectiveness of different sampler combinations. Results of these studies suggested that this type of sampler is flexible and can be adapted to actual environments, thus enhancing its applicability. Data based on nitrogen dioxide collection, indicated that design requirements had been met. These studies also indicated that extending the sampler tube can reduce sample dispersion while double-face sampling can multiply pollutant adsorption quantity and improve sensitivity.

**Key words:** Museum environment; Passive diffusive sampling; Sampler; Nitrogen dioxide