

KC-8301 可吸入颗粒物采样器的研制

曹守仁 李淑敏 韩克勤 李震

(中国预防医学中心卫生研究所)

空气中悬浮颗粒物,粒径* <10μ的称为可吸入颗粒物 Inhalable Particles (IP),它可沉积在上、下呼吸道及肺泡区,是危害人体健康的主要空气污染物之一^[1]。为了测定空气中 IP 的浓度,本文根据惯性冲击的原理,将采样头设计成二段,当流量为 131/min 时,50% 截留颗粒粒径为 10μ,粒径 >10μ 的颗粒物收集在环形玻璃纤维滤纸上,粒径 <10μ 的颗粒物收集在后级滤纸上,同时还设计了一种较合理的入口,为研究 IP 对人体健康影响提供了采样仪器。

一、设 计

1. 采样头的设计^[2] 根据惯性冲击参数公式

$$\phi = \frac{D_p^2 \rho_p V_0 C}{18 \eta D_H} \quad (1)$$

式中 ϕ 为冲击参数, D_p 为空气动力学当量直径 cm, ρ_p 为颗粒密度 g/cm³, V_0 为喷嘴口气体流速(即颗粒末端速度) cm/s, η 为空气粘度 g/cm·s, D_H 为喷嘴直径, C 为肯宁汉校正系数。

$$\therefore V_0 = \frac{Q}{0.785 D_H^2 N} \quad (2)$$

式中 Q 为气体流量 ml/s, N 为喷嘴数,将(2)代入(1)

$$\therefore \phi = \frac{D_p^2 \cdot \rho_p \cdot Q \cdot C}{14.13 \eta \cdot D_H^3 \cdot N} \quad (3)$$

本采样器的设计参数取值为 $\phi = 0.12$, $D_p = 10\mu$, $\rho_p = 1 \text{ g/cm}^3$, $Q = 131/\text{min} = 216.7 \text{ ml/s}$, $C = 1.016 \approx 1$, $\eta = 182.7 \times 10^{-6} \text{ g/cm}\cdot\text{s}(18^\circ\text{C})$, 将各参数取值代入(3)式则得

出喷嘴口径与孔数的关系。考虑到单孔式($N = 1$)的雷诺数比较大,故本采样器采用多孔式($N = 16$)以扩大收集面积,为了减少孔数过多带来的气流间的影响,将 16 个孔均匀分布在 $\phi 5\text{cm}$ 的圆周上,并将捕集板(圆环形)的边缘设计成凸沿以减少大颗粒漏过,该采样器设计参数见表 1。

2. 采样器入口设计^[3] 一个理想的入口应不受风的影响,将欲采集的颗粒物全部采进来,且能达到仪器的收集部位,并能防止雨、雪、昆虫等异物进入采样器内,根据 Liu 的报道^[3],在无限大壁上开一个 9.2cm 圆形入

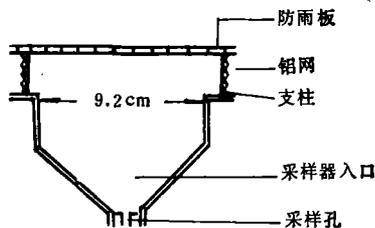


图 1 采样器入口

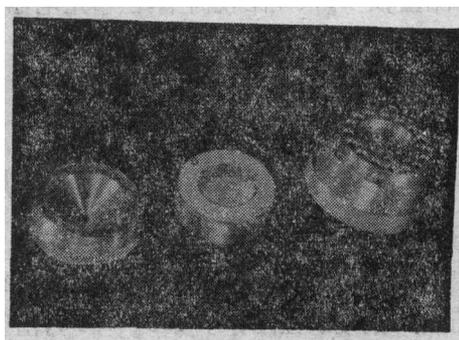


图 2 KC-8301 采样头解剖

* 粒径指空气动力学当量直径,是以终端速度相等的单位密度球形颗粒的直径表示。

表 1 采样器设计参数取值

孔径 D_H cm	孔板距离 S cm	孔喉长 l cm	S/D_H	L/D_H	ϕ	颗粒速度 V_0 cm/s	雷诺数 Re
0.35	0.90	0.70	2.6	2.0	0.12	140.8	350.7

口,当风速达 40 公里/小时情况下,对粒径为 10μ 的颗粒物的吸入效率仍达 90% 以上,平均壁损失为 1.85%,采样头入口见图 1.

二、校 准

本实验采用美国 TSI 公司生产的 3050 型振动孔单分散气溶胶发生器,制备亚甲基标准颗粒进行校准.

1. 50% 截留点粒径 D_{50} 的校准 将二段装有滤纸的采样头,置于标准粒子混合室内,以 13 l/min 的流量采样,采样后取下滤膜用乙醇溶解亚甲基,比色测定计算出不同粒径的累积捕集效率.以空气动力学当量直径 μ 做横座标,累积捕集效率百分数为纵座标,在半对数纸上作图,如图 3.从图 3 看出 50% 截留点粒径为 9.3μ ,符合设计要求,误差 $<10\%$ ($10 \pm 1\mu$).

2. 采样器壁损失的测定 用采样器采集不同粒径的颗粒后,分别测定上层、下层滤膜上及采样器内壁亚甲基的浓度,采样器内

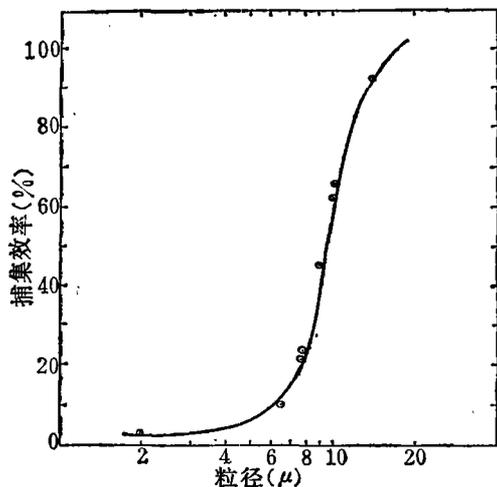


图 3 标准粒子校准曲线

表 2 采样器的壁损失

上层滤膜中 亚甲基含量 $\mu\text{g } A$	下层滤膜中 亚甲基含量 $\mu\text{g } B$	采样头内壁 亚甲基含量 $\mu\text{g } C$	壁损失% $\frac{C}{A+B+C}\%$
115.0	265.0	37.4	8.9
88.6	181.1	11.5	4.1
126.5	301.9	13.8	3.1
25.3	15.5	4.6	10.1
50.6	33.4	8.6	9.3
48.3	16.7	6.9	9.6
31.1	12.7	3.5	7.4
74.8	28.8	5.2	4.8
1.2	61.0	未检出	—
0.6	47.2	未检出	—
1.2	25.3	未检出	—
1.7	63.3	未检出	—
2.3	51.8	未检出	—
1.7	65.6	未检出	—
均值			4.05

壁亚甲基的浓度与上、下层、内壁亚甲基总浓度值之比即为采样器的壁损失,结果见表 2.本采样器壁损失均值 $<5\%$.

3. 对比实验 在现场平行放置一台 Anderson 带 10μ 入口的大流量采样器,一台 KC-8301 采样器,于不同季节采集颗粒物.采样器的流量分别用孔板校准器及皂膜计进行校准,结果见表 3.二者所测定的浓度无显著差别.

4. 两台 KC-8301 采样器平行实验 随机抽两台采样器校准流量后,平行置于现场,采集不同浓度的样品结果见表 4.通过 t 检验二者无显著性差异.

5. KC-8301 采样器与大流量采样器所测定的悬浮颗粒物浓度结果见表 5. $r=0.958$ $a=0.0037$ $b=1.0265$ 浓度偏差 3.1%.从表 5 结果看出两台仪器所测定的 spm 浓度呈高度相关,相关系数 $r=0.958$,相对偏差

表 3 321系列采样器与 KC-8301 采样器实验结果的对比

321 系列采样器 <math> <10\mu </math> 颗粒物的浓度 mg/m^3				KC-8301 采样器 <math> <10\mu </math> 颗粒物的浓度 mg/m^3			
0.135	0.187	0.206	0.220	0.129	0.162	0.262	0.199
0.220	0.222	0.222	0.238	0.212	0.200	0.238	0.262
0.253	0.260	0.260	0.270	0.243	0.227	0.209	0.242
0.270	0.291	0.295	0.295	0.291	0.331	0.338	0.243
0.344	0.344	0.351	0.373	0.391	0.391	0.320	0.379
0.373	0.386	0.438	0.438	0.406	0.445	0.432	0.421
0.580	0.580	0.680		0.602	0.669	0.577	

表 4 KC-8301 A、B 两台采样器在现场采样结果 mg/m^3

A 号 采 样 器				B 号 采 样 器			
0.199	0.200	0.277	0.242	0.212	0.238	0.209	0.291
0.243	0.253	0.319	0.379	0.339	0.243	0.319	0.406
0.432	0.574	0.602	0.421	0.579	0.669		

表 5 KC-8301 采样器与大流量采样器所测 apm 浓度比较

编 号 浓度 mg/m^3	仪 器									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KC-8301 采样器	0.356	0.388	0.375	0.439	0.536	0.802	0.990	0.749	0.663	0.58
大流量采样器	0.395	0.407	0.392	0.373	0.576	0.866	0.997	0.737	0.729	0.601

<5%，由此结果可以用相关系数由过去所测定 TSP 的浓度推算出 IP 的浓度。

三、结 论

本仪器体积小、重量轻、便于携带。所采集的颗粒物 50% 捕集效率 D_{50} 为 9.3μ ，在规定 $10\mu \pm 1$ 范围内，达到设计要求，与国外通用的仪器相比，误差 <10%，壁损失均值 <5%，经 8 个在不同现场试用仪器连续运转 5 昼夜以上，各种参数值是正确的。北京、上

海、武汉、太原、大连、昆明等城市用本采样器及大流量采样器测定颗粒物的浓度进行比较，不论 TSP、IP 的浓度或颗粒物的成分（如 BaP、Cd、Pb、As...）均呈高度相关，两台仪器平行结果一致。

参 考 文 献

- [1] 曹守仁, 环境保护, 7, 21(1982).
- [2] Jerry Cohn et al., *J. Amer. Ind. Hyg. Assoc.*, **28**, 95 (1967).
- [3] Benjamin Y. H. Liu, *Atmos. Environ.*, **15**, 589 (1982).

(上接第 91 页)

燃物、细粒物和重物(如砖头, 废铁等)。轻质可燃物被送到水平筛上(宽 1500mm, 长 6000mm, 筛孔直径 50mm)进行筛选, 筛出可燃物再被送入第二个粉碎机内进一步粉碎, 接着进入制球机内压缩成初级

的齿形可燃物, 再进入级联式旋转干燥器内(直径 2.8m, 长 16.8m)干燥成含水量为 15% 的物体, 最后再运送到第二个压制机内制成煤球。

[羽卒摘译自 *Revue Polytechnique*, 1460, 194—195 (1985)]