

监测分析

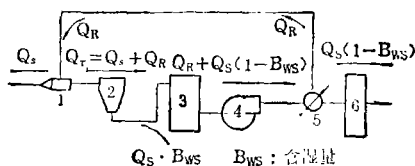
PM₁₀ 非等速采样的误差分析

周 跃

(中国预防医学科学院环境卫生与卫生工程研究所)

大气中粒子粒径范围很大,但能够危害人体的粒子范围是有限的。多数国家认为小于 $10\mu\text{m}$ (空气动力学直径)的粒子对人体有较大的危害。因此,对小于 $10\mu\text{m}$ 粒子的采样也越来越多地引起各个国家的重视。我们把小于 $10\mu\text{m}$ 粒子的采样称之为 PM₁₀ (Particulate Matter Less Than $10\mu\text{m}$) 采样^[1]。

在烟道内采样与在大气中采样的一个最大差别在于:烟道内要进行等速采样,即采样嘴的流速要与烟道内的流速相同。这样才能使采样结果反映烟道内的真实情况。对 PM₁₀ 烟道采样来说,又多了一个限制条件:要求等流量。一般 $10\mu\text{m}$ 切割器都有其设计的流量,而常常是烟道流速与设计切割器入口流速不同。既要保证等速采样,又要使切割器入口保持其设计流速,这就出现了一对矛盾。要解决这一矛盾有两种方法:一种是改变采样嘴的尺寸,准备一系列不同孔径的采样嘴,事先测出烟道内的流速,然后选择合适的采样嘴。由于烟道内每个测点的流速不可能相同,而采样速度又不能随流速的变化而变化。于是,只能用采样时间来加权采样速度,使每个点的采样时间与该点的流速成比例。这就叫做速度加权采样^[2,4]。另一种是循环法^[5]。其流程如图 1 所示,切割器所要求的流量是一定的,即 Q_T 。当等速采样时所需的流量 Q_s 小于 Q_T 时,可通过三通阀来调节 Q_R ,使得 $Q_T = Q_s + Q_R$ 。如果烟道内各点流速不同(大多数情况都是如

图1 PM₁₀ 采样循环流程图

1. 混合嘴 2. 切割器 3. 冷凝器
4. 抽气泵 5. 三通阀 6. 流量计

此),则 Q_s 就有变化。这时也可调节三通阀来改变 Q_R ,使得 Q_T 保持不变。如果 Q_s 大于 Q_T ,可在采样前更换小口径的混合嘴使 $Q_s \leq Q_T$,这样就能达到等速采样的目的了。

这两种方法各有其优缺点。当烟道内的流速变化不大时可用第一种方法,反之,可用第二种方法。烟道内的复杂情况给等速采样带来很大的困难,这样就产生了非等速采样误差。误差的大小取决于采样粒子的大小及采样速度偏差的多少等因素。那么,对于 $10\mu\text{m}$ 以下的粒子如何来控制偏差?在同一测孔的不同测点是否能够只用一个采样头使得偏差在其允许范围内?以及其它问题带来的偏差,这就是下面要讨论的问题。

非等速采样的误差可由下式来表示^[2]:

$$A = 1 + (R - 1) \frac{B}{B + 1} \quad (1)$$

式中, A 为吸出系数。测量浓度与实际浓度之比; R 为气流速度 v 与采样嘴流速 u 之比。

$$B = (2 + 0.617/R)Stk$$

式中, Stk : 即 Stokes 数 $= \tau v/d$

其中, τ 为停滞时间 $= CD^2/18\mu$; D 为粒子

的空气动力学直径; C 为滑动校正系数; μ 为气体粘度; d 为采样嘴直径。

linoya^[3] 和 Durham^[7] 的实验数据已证实了此式。由上式可见, 当 Stk 数一定时, $|A - 1|$ 要比 $|R - 1|$ 小。因此, 可以由分析 $|R - 1|$ 的大小来判断 $|A - 1|$ 的大小。对于 PM10 采样 $|R - 1|$ 可以比总尘量采样大 10% 仍能保证精度。

要全部定量地考虑非等速采样误差, 就要把全部粒径分级考虑。我们把粒径小于 D' 的吸出系数定义为:

$$A(<D') = 1 + (R - 1)b \quad (2)$$

其中,

$$b = \frac{\int_0^{D'} m(D) \frac{B}{B+1} dD}{\int_0^{D'} m(D) dD} \quad (3)$$

$m(D)$ 为粒子的分布。

这样, 对于 PM10 采样就可以得出 $A(<10)$ 。由式 (2) 可知 $A(<D') - 1 = (R - 1)b$, 即采样误差为 $b(R - 1)$ 。而当 u 一定时 b 只随 v 有很小的变动。因此, b 在评价非等速采样时是一个很有用的参数, 称之为“非等速误差参数”。一般现场采样 $b(<10)$ 都小于 0.5, 因此, PM10 采样误差总是比 $(R - 1)$ 小得多。

如果 PM10 采样是在多个点用一个采样头进行的(即 u 恒定), 那么, 非等速采样误差应当是每个采样点引起误差的速度加权平均。相对误差为:

$$\begin{aligned} \bar{A} - 1 &= \frac{\sum v_i A_i}{\sum v_i} - 1 \\ &= b \left(\bar{R} - 1 + \frac{S^2}{\bar{R}} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, i 为每个采样点的编号 ($i = 1 \cdots n$); S^2 为 R 的方差。

该公式是假设流速与浓度无关, 因此是个近似式。由于 $|R - 1|$ 的值反映了 $|A - 1|$ 的值, 选择单个测点的 $R_{\max}$ 和 $R_{\min}$ 是很重要的。把它们的范围控制得越小, 则误差

越小。但这就要求在整个截面上用许多采样嘴, 使操作复杂。在大多数的现场采样中都是采用近似选择的。如果 $R_{\max}$ 和 $R_{\min}$ 的选择能使 99% 的采样点的流速都在 $UR_{\max}$ 和 $UR_{\min}$ 之间, 就可以在每次 PM10 采样时用一个采样嘴。这时要求 $S = (R' - \bar{R})/2.6$, R' 是 $R_{\max}$ 或 $R_{\min}$, 取决于哪个值最接近 $\bar{R}$ 。于是由式 (4) 得出相对误差为:

$$\bar{A} - 1 = b(\bar{R} - 1) + 0.15b(R' - \bar{R})^2/\bar{R} \quad (5)$$

如果把 $|R' - 1|$ 控制在小于 $0.2/b$ 或 0.5 之间, 那么, 第二项最多也只有 2%。对于 PM10 采样来说使 $b(10) \cdot |R' - 1| \leq 0.2$ 的意义是最大可能误差为 20%, 最大时, 所有点的 R 值都是 $R_{\max}$ 或 $R_{\min}$, $b(10) \cdot |\bar{R} - 1| = 0.2$ 。但在现场测定时不会出现这种情况。一般来说, 烟道内气流分布是不均匀的, 所以, 由公式 (5) 对于 $|\bar{R} - 1| = 0.2$ 最大可能误差为 12%; 对于 $|\bar{R} - 1| = 0.1$ 为 7%。把最大可能误差时的

$$d = (4QR'/v\pi)^{1/2}$$

和 $D = 10\mu\text{m}$ 代入式 (1) 加以整理就可以得到下式:

$$v^{3/2} = \frac{36(A - 1)\mu Q^{1/2}(R')^{3/2}}{\pi^{1/2}(R' - A)(2R' + 0.617)(10\mu\text{m})^2} \quad (6)$$

这里 $\mu Q^{1/2}$ 是由采样器的结构、烟气温度和烟气组成所决定的。上式中的 R' 值可通过变化 $\mu Q^{1/2}$ 来得到。这样就可以得到一个烟道流速的期望范围。 R' 的结果可由图 2 来得到, 它是取 $A = 1.2$ 和 $A = 0.8$ 绘出的, 通过此图可查出不同 $\mu Q^{1/2}$ 下的 $R_{\max}$ 和 $R_{\min}$ 值。

图中上、下两部分的曲线是 $\mu\sqrt{Q}$, 它是从 60 到 2430, 但较典型的值是在 750—1310 之间。 $R(v, u)$ 是一组将近垂直的曲线。它们有相同的形状和斜率, 注意, 它们不是速度比 R 而是 v, u 的函数。当采样嘴的速度 u 确定时, 可平行移动 $R(v, u)$ 线, 使其

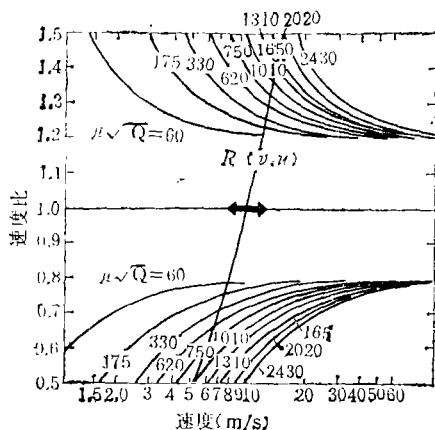


图2 对于 $10\mu\text{m}$ 粒子当 $A=1.2$ (上半部) 和 $A=0.8$ (下半部) 时 R 与 u 的关系曲线

中点 ($R=1.0$ 点) 与 u 值相交, 这时 $R(v, u)$ 与某个 $\mu\sqrt{Q}$ 值有两个交点, 这两个交点的纵坐标即是 $R_{\max}$ 和 $R_{\min}$ 。例如: 若确定采样嘴流速 $u=20\text{m/s}$ 而计算出来的 $\mu\sqrt{Q}=1010$, 那么, 可以得出 $R_{\min}=0.7$; $R_{\max}=1.27$ 。由于 u 是一定的, 因此, 可以得出 $v_{\max}$ 和 $v_{\min}$, 这样就能够得到采样速度的允许偏差范围。如果用一个采样头来采样都能在这个范围内, 那就再好不过了, 而大多数的实际情况也是如此。在有些个别的情况下, 一个采样头采样整个过程会超出偏差允许范围。那么, 就只能把截面分成两部分或更多, 用不同的采样嘴来进行。在这种情况下, 循环法就显示出了其优越性。它可以不换采样嘴而只是调节一下循环流量即可达到等速。

当然, 采样点的数量与误差也有些关系。Shigehara^[4] 的研究数据表明, 一个点总尘量采样误差为 $\pm 50\%$, 而 8 个点则马上降为

$\pm 10\%$ 。进一步的研究表明, 小于 $10\mu\text{m}$ 的粒子不如总粒子层积得好, 因此, 要 12 个测点才能使误差下降到 10% 。如果测孔设在离紊流区 8 倍烟道直径 (向下气流), 或 2 倍烟道直径 (向上气流) 时, 只选 8—9 个测点对 PM_{10} 采样即可使误差控制在 10% 以内。

至于采样嘴设置角度所引起的误差, Durham^[7] 的数据表明: 当采样嘴与轴线成 20° 角时, 当 $R > 1$ 时会降低非等速采样的误差; 当 $R < 1$ 时没有影响; 当 $R = 1$ 时: 速度为 5m/s 时误差为 2% ; 速度为 30m/s 时为 5% 。因此, 可以说当采样嘴与轴线偏差小于 20° 角时, 可忽略它的影响。

从以上讨论可以看到, 由于烟道内工况变化很大, 给 PM_{10} 采样带来了很大的困难。我国在这方面的研究很少, 有很多问题等待我们去解决。

参 考 文 献

- [1] Farthing, W. E. et al., Paper 85-143, 78th Annual Meeting, Air Pollution Control Association, Detroit, Michigan, U. S. A. (1985).
- [2] Belyaev, S. P., Levin, L. M., J. Aerosol Sci., 5(4), 325 (1974).
- [3] Iino, Koichi, EPA-600/7-79-065, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, U. S. A. (1979).
- [4] Shigehara, R. T., EPA-450/3-82-016a, U. S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, North Carolina, U. S. A. (1982).
- [5] Williamson, A. D., Martin, R. S., Ward, T. E., paper 85-14.2, 78th Annual Meeting, Air Pollution Control Association, Detroit, Michigan, U.S.A. (1985).
- [6] Smith, W. B. et al., EPA-600/7-82-036, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, U.S.A. (1982).
- [7] Durham, M. D., ph. D. Thesis, University of Florida, U.S.A. (1978).

water came from the products of HNO_3 or CH_3OH . Using the biological reactor filled with fibre, 5000 mg/L urea in the influent was hydrolyzed by 93% in 3 hours, meanwhile 280 mg/L NO_3^- -N was reduced to 120 mg/L. (See pp. 48—51)

Treatment of Cr(VI) Aqueous Solution by Liquid Membrane with Sulfoxides as Carriers

Ding Mei et al. (Research Center for Eco Environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing)

Extraction of Cr(VI) by liquid membrane has been studied. DOSO and PSO were used as carriers. The related factors i.e. type and amount of the surfactants, quantity of carriers, concentration of NaOH, volume ratio of oil phase and that of internal phase, acidity of external aqueous phase and temperature were studied in bench-scale experiment. The optimization of technological operative factors were obtained in intermittent experiments. Based on this research, the authors considered the graph of state distribution of $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ and CrO_4^{2-} in aqueous solution under various pH values and infrared spectra of free DOSO and the extrated species of Cr(VI), the Cr(VI) extraction mechanism by liquid membrane with DOSO is proposed as follows:

Complexing: $\text{DOSO} + \text{H}^+ + \text{HCr}_2\text{O}_7^- \rightleftharpoons \text{DOSOH}^+ \cdot \text{HCr}_2\text{O}_7^-$ Freeing: $\text{DOSOH}^+ \cdot \text{HCr}_2\text{O}_7^- + 4\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{DOSO} + 2\text{Na}_2\text{CrO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ (See pp. 52—55)

Analysis of Anisokinetic Sampling Errors for PM10 (Particulate Matter $\phi < 10\mu\text{m}$)

Zhou Yao (The Chinese Academy of Prevention Medicine, Beijing)

Isokinetic sampling is called the in-stack sampling which is different from ambient air sampling. The PM10 in-stack sampling is rather difficult as a fixed flow is used in PM10 sampling. In this article, two methods, varied from the nozzle size and EGR(Exhaust Gas Recirculation) method, have been introduced. Anisokinetic sampling er-

rors and their limits which are caused by the former one have been emphasized. Meanwhile, some other factors which cause errors such as numbers of sampling point and angles of sampling nozzle are briefly illustrated.

(See pp. 56—58)

Toxicity of Seven Environmental Toxicants to the Bacteria *E. coli* as an Indicator

Dai Jisen et al. (Hunan University of Medicine, Changsha)

Agar plate method has been used to observe toxicity of Hg, Cd, Pb, As, Cr, phenol and cyanide toward the indicating bacteria *E. coli*. The result is that sensitivity of *E. coli* to the seven chemicals is $\text{Hg} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cr}$ and the inhibition zones of phenol and cyanide have not been seen. *E. coli* used as a kind of indicating bacteria to detect industrial sewage is suitable for the sewage containing metals.

Analysis of regression is taken with the concentrations of Hg, Cd, Pb and As to each mean diameter of inhibition zone, and each correlation coefficient has high significant level, the regression slopes are $\text{As} > \text{Cd} > \text{Hg} > \text{Pb}$. The analysis of regression may provide evidence for further research. (See pp. 59—61)

Study on Relationship of BOD₅ and COD in Accordance with Biochemical Theory

Gao Jianqun and Zheng Yingming (University of Rivers and Seas, Nanjing)

This paper based on biochemical theory focuses on relative mechanism between BOD₅ and COD, and has established a relevant mathematical model which is linear in form. The authors have proposed an assessment formula for the biochemical reaction of wastewater, and so has proved fine relativity between BOD₅ and COD to use water quality data of the Suzhouhe River of Shanghai. (See pp. 62—66)