

烟 尘 和 烟 气 测 试 仪

中国医学科学院卫生研究所卫生防护研究室

工业污染源排出的烟尘和烟气，常具有浓度高、温度高、湿度大及有腐蚀性等特点，对其监测所用方法和仪器，就与一般用于车间和大气测定的不同。至目前为止，对烟尘和烟气的排放监测，国外一般也还停留在现场定期采样带回实验室分析这一水平，尚无可供广泛使用的连续自动监测的仪器。我们于1974年参考国外资料自己动手研制了一套烟尘和烟气排放监测用的仪器。三年来，在各地办短训班和现场实际应用证明，它们达到国外较好的水平，现将仪器的特点和性能介绍于下：

烟 尘 测 试 仪

一、组成

烟尘测试仪采用滤筒作为捕尘装置，在

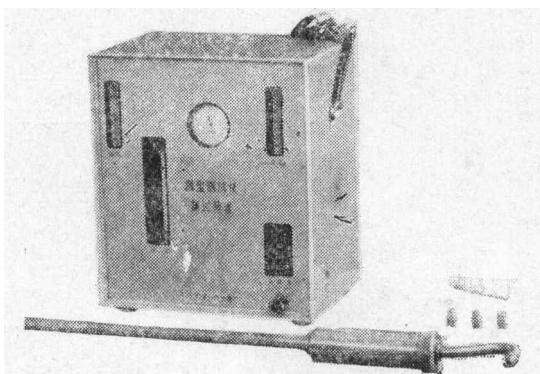


图1 烟尘测试仪外形

烟道内部采样，整个仪器的外形如图1，包括滤筒、采样管和测量箱三个部分。

1. 滤筒：分玻璃纤维滤筒和刚玉滤筒两种。玻璃纤维滤筒用无碱超细玻璃纤维制成。滤筒直径32毫米，长120毫米，厚0.7—0.9毫米，重约2.4克。刚玉滤筒用细的白刚玉砂制成。滤筒的直径28毫米，长100毫米，厚1.5—2毫米，重量比玻璃纤维滤筒要大得多，约为45克左右。

2. 采样管：分玻璃纤维滤筒采样管和刚玉滤筒采样管两种。

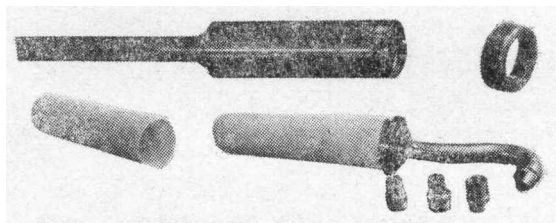


图2 玻璃纤维滤筒采样管

玻璃纤维滤筒采样管的构造见图2，滤筒装入滤筒夹后，靠入口处的两个锥度相同的圆环夹紧，使之不漏气。在滤筒外还有一个内径比滤筒稍大一些的多孔不锈钢筒托。当烟气中夹带水滴打湿滤筒或在高温下采集较细的尘粒时，滤筒阻力增大强度降低，在此情况下，不锈钢筒托就能防止滤筒破裂。

刚玉滤筒采样管的构造见图3，滤筒夹与前者不同，滤筒从滤筒夹支架底部插入，然后

(4) 裂解废水的处理接触时间在十二分钟以上，其处理效果基本一致。

(5) 用臭氧降低 COD 臭氧投加量为 COD 降低量的 1.7—2 倍，所以用臭氧去除

COD 是不经济的。在废水进入臭氧反应器前，有一预处理装置，如石英砂过滤器等，可使 COD 有较大幅度降低，臭氧用量大为下降。

用支架底部螺母中的弹簧，将滤筒口顶紧到滤筒夹上，交接处有石棉垫圈，以保证不漏气。

无论是玻璃纤维滤筒采样管或是刚玉滤筒采样管，都配有入口直径不同的采样咀(6、

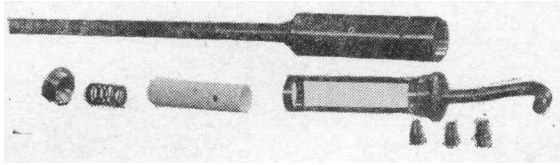


图3 刚玉滤筒采样管

8、10、12 毫米),采样时根据等速采样的要求而选用。

3. 测量箱: 构造见图 6 的虚线部分, 由水汽冷凝器、干燥器、温度计、压力计和转子流量计等组成。冷凝器是用来冷凝收集烟气中部分水汽, 以便计算烟气的含湿量和减轻干燥器的负担。干燥器连在冷凝器之后, 内装硅胶以进一步除去烟气中的水汽, 保护流量计和抽气泵不受水汽或腐蚀性气体影响并使计算进一步简化, 转子流量计、温度计和表型压力计, 则用来测量采样气体的流量、温度和压力, 以便将采样时的采气体积换算成标准状态下的采气体积。

二、性能

1. 捕集效率: 两种滤筒的捕集效率都很高, 对于大于 0.3 微米的尘粒能完全捕集下来。表 1 是两种滤筒的捕集效率试验结果。

表 1 两种滤筒的捕集效率

滤筒号	阻力 (毫米汞柱)	捕集效率 (%)	备 注
玻璃纤维 1	3.8	99.99	用油雾法试验
2	3.2	99.98	
3	3.8	99.99	
4	2.9	99.99	
5	3.5	99.99	
刚 玉 1	54	99.99	用光电粒子计数器, 试验尘粒直径小于 0.5 微米
2	51	99.99	
3	51	99.99	
4	59	99.99	

注: 该试验在 25 升/分流量下, 比速约为 0.28 升/分、厘米²

从表 1 中可以看到两种滤筒的捕集效率几乎都在 99.99% 以上。这个效率对捕集烟气中的尘粒是足够的, 因为试验用的油雾粒子或尘粒的大小平均是在 0.3 微米, 而烟尘粒子要比这大得多, 因此, 两种滤筒作烟尘的捕集装置是完全适用的。

2. 滤筒阻力: 由于作成筒状增加了过滤面积, 两种滤筒的有效过滤面积都约为 100 平方厘米, 即相当于直径 110 毫米大的一块片状滤膜的面积。因过滤面积大, 阻力比片状的要低。表 1 示出, 当流量在 25 升/分时, 玻璃纤维滤筒的空载阻力平均为 3.5 毫米汞柱, 刚玉滤筒的阻力平均为 50 毫米汞柱左右。刚玉滤筒因壁较厚, 过滤孔隙较緻密, 阻力比玻璃纤维滤筒阻力要大。在采样时, 滤筒阻力是随尘粒物质逐渐积聚在滤筒壁面堵塞微小的气孔而增加。当采集的尘粒极小, 烟气温度高, 湿度又大时, 阻力的增加就较显著, 根据几年来现场使用情况来看, 用玻璃纤维滤筒测定电厂、工业锅炉和水泥厂排放的烟尘, 滤筒在整个采样过程中阻力变化是不大的, 平均约增加 30 毫米汞柱。

用刚玉滤筒测定钢铁厂的转炉、冲天炉等排放的烟尘, 每采集 1000 毫克尘样滤筒阻力约增加 100—300 毫米汞柱。粉尘越细阻力增加越多。为了降低滤筒的阻力, 可以采用直径小的采样咀, 减小采样流量以避免滤筒阻力过高。为了节约可将用过的刚玉滤筒表面上积尘刮去后再用。旧的滤筒的初始阻力虽较新滤筒大些, 但并不影响使用。

3. 适用温度: 玻璃纤维滤筒所用的玻璃纤维, 虽能承受 500℃ 的高温, 但由于制作时加入了少量的胶合剂, 胶合剂在高温时会挥发和燃烧使滤筒减重, 因此滤筒的使用温度有一定限制。图 4 的曲线给出了滤筒在不同温度下加热 1 小时后的减重情况, 从曲线上可以看到, 在 200℃ 温度连续加热一小时后, 减重率约为 0.4% (在 10 毫克以下), 这是实际使用时允许的。温度超过 200℃ 时, 减重率

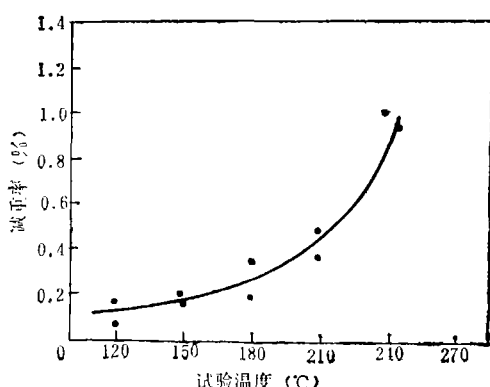


图4 使用温度与玻璃纤维滤筒减重的关系

则升高较快。但是胶合剂等有机物质在 200 多度的温度中并不很快就挥发和燃烧,而是逐渐的挥发和燃烧的。如图 5 所示。在高于 200℃ 温度下使用,如能适当控制采样时间,也可保持滤筒的减重率不超过允许的范围,因此这种滤筒适于在 250℃ 以下的烟气中使用。根据几年来现场实际测定来看,电厂、工业锅炉、水泥厂等在除尘器前的烟道中,烟气温度一般都在 250℃ 以下,因此这种滤筒的耐温性能能满足使用上的要求。

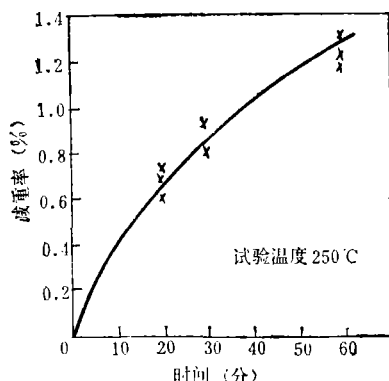


图5 采样时间与玻璃纤维滤筒减重的关系

刚玉滤筒是用白刚玉砂制成的,其突出的特点是能承受高温,根据实验,在 900℃ 高温中连续加热 1 小时滤筒减重仅为 3 毫克左右,这对测定结果的影响可以忽略不计,因此这种滤筒适于在 250—800℃ 高温烟气中使用。

4. 几种方法比较:用滤筒采尘由于直径小,可放入烟道内部采样,这就消除了外部采样法时尘粒可能在较长的采样管内沉积所产生的误差,同时可减少为防止烟气中水蒸汽在采样管内冷凝所需的加热和保温装置。因此,滤筒法仪器结构简单,操作方便,捕集效率也高。这种方法同国内过去烟尘测试中常用的一些方法,如集尘管、滤膜、冲击瓶等法相比,具有许多优点,表 2 是这几种方法几个主要性能上的比较。

表 2 几种烟尘采样法比较

方法	采样方式	精确度	承受温度℃	阻力	坚固性	仪器结构	操作
玻璃纤维滤筒	内部	高	250	低	好	简单	简单
刚玉滤筒	内部	高	800	中	好	„	„
集尘管	外部	中	高温时采样管需冷却	高	易碎	采样管需加热	复杂
滤膜	外部	中	„	高	易破	„	简单
冲击瓶	外部	低	„	低	易碎	„	复杂

三、使用方法

本仪器用于烟尘采样时,应与烟道流速测定相同,将烟道断面分成若干等面积的圆环(或方块),按等速采样的要求在各测点移动采样。维持等速采样的方法,是预先用皮托管测定各采样点的流速,然后根据烟气状态、各点流速及所选用的采样咀直径等计算出在等速情况下各点所需要的采样流量。其计算式如下:

$$Q' = 0.047d^2V_s \left(\frac{B_a + P_s}{T_s} \right) \sqrt{\frac{T_r}{R_d(B_a + P_r)}} \times (1 - X_{sw})$$

当干烟气的组成与空气相近时,可用下式:

$$Q' = 0.0292d^2V_s \left(\frac{B_a + P_s}{T_s} \right) \sqrt{\frac{T_r}{B_a + P_r}} \times (1 - X_{sw})$$

式中: Q' ——等速采样所需的流量计读数,

升/分；

d ——选用的采样咀直径，毫米；

V_s ——采样点的烟气流速，米/秒；

B_a ——大气压力，毫米汞柱；

P_s ——烟气的静压，毫米汞柱，处于负压时应为负值；

T_s ——烟气的绝对温度 $^{\circ}\text{K}$ ；

T_r ——流量计前烟气绝对温度 $^{\circ}\text{K}$ ；

P_r ——流量计前压力计读数，毫米汞柱；

R_d ——混合干烟气的气体常数，毫米汞柱·立方米/公斤· $^{\circ}\text{K}$ ；

x_{sw} ——烟气中水汽含量的体积百分数；

烟气中水汽含量的体积百分数 X_{sw} ，可用重量法或冷凝法预先求出。当用冷凝法测定时，也可以采用本仪器按图 6 所示的测量系统，根据单位时间的冷凝水量和冷凝器出口的烟气饱和温度，先求出烟气的含湿量，然后再根据烟气的含湿量计算烟气中水汽含量的体积百分数。烟气含湿量的计算式如下：

$$g_{sw} = 910 \frac{m}{Q_r} \sqrt{\frac{R_d \cdot T_r}{B_a + P_r}} + \frac{1000 \frac{R_d}{R_w} \cdot P_v}{B_a + P_r - P_v}$$

当干烟气的组成与空气相近时，可用下式：

$$g_{sw} = 1340 \frac{m}{Q_r} \sqrt{\frac{T_r}{(B_a + P_r)}} + \frac{622 P_v}{B_a + P_r - P_v}$$

式中： g_{sw} ——烟气的含湿量，克/公斤、干空气；

m ——单位时间的冷凝水量，克/分；

P_v ——烟气通过冷凝器后的饱和蒸汽压，毫米汞柱，可根据冷凝器后的烟气温度求得。

R_d ——干空气的气体常数，毫米汞柱·立方米/公斤· $^{\circ}\text{K}$ ；

R_w ——水蒸汽的气体常数，毫米汞柱·立方米/公斤· $^{\circ}\text{K}$ 。

烟气中水汽含量的体积百分数，则可按下式算出：

$$X_{sw} = \frac{g_{sw}}{1000 \frac{R_d}{R_w} + g_{sw}}$$

当干烟气的组成与空气相近时，可用下式：

$$X_{sw} = \frac{g_{sw}}{622 + g_{sw}}$$

对于 250°C 以下的烟气采用超细玻璃纤维滤筒，对于 $250-800^{\circ}\text{C}$ 烟气采用刚玉滤筒。将滤筒放在专用的采样管内，按图 6 顺

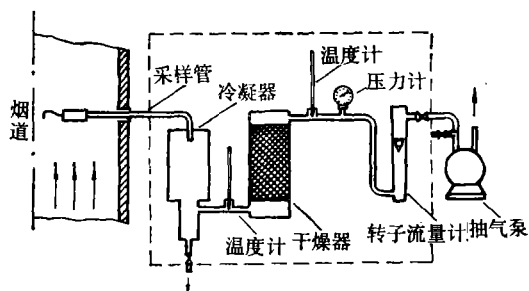


图 6 烟尘测试仪测量系统示意图

序连接整个系统，即可插入烟道内采样，采样时要使管咀对准气流的方向，并保持等速的条件。由于滤筒在采样的过程中，随着表面的尘粒逐渐积聚，通过滤筒的阻力会有某些增加，须随时注意调节流量以保持等速的条件。

采样结束后，从烟道取出采样管时要注意采样管头不要朝下，以免将捕集的尘粒从滤筒中倒出。采样后的滤筒，须与使用前的处理一样，放在 105°C 干燥箱中干燥 1 小时，除去滤筒及尘粒中含有的水份，然后放在干燥器中冷却，用分析天平称重。根据滤筒的增重和采气体积算出烟尘的排放浓度。标准状态下干烟气的采气体积按下式计算：

$$V_{nd} = 0.395 \sqrt{\frac{R_d(B_a + P_r)}{T_r}} \cdot Q_r \cdot n$$

当干烟气的组成与空气相近似时：

$$V_{nd} = 0.577 \sqrt{\frac{B_a + P_r}{T_r}} \cdot Q_r \cdot n$$

式中： V_{nd} ——采气体积，标准立方米·干烟气；

n ——采样时间；

烟尘的排放浓度按下式计算：

$$C = \frac{g}{V_{nd}} \times 10^6$$

式中：C——烟尘排放浓度，毫克/标准立方米，干；

g——采样所得的尘粒重量(克)。

烟 气 测 试 仪

一、组成

烟气测试仪由加热采样管，玻璃筛板吸收瓶，测量箱，电源箱等组成。整个仪器的外形见图7。

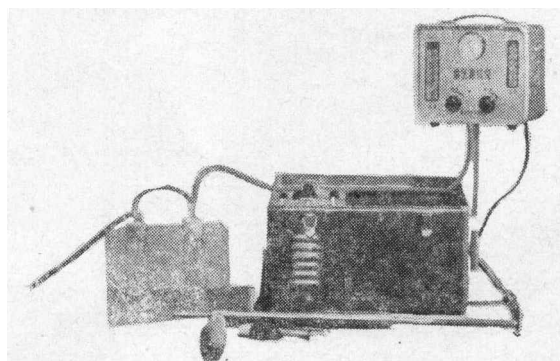


图7 烟气测试仪外形

1. 加热采样管：结构见图8，采样管用不锈钢管制。为了防止烟气中尘粒进入气体吸收装置，采样管的头部进口处设有尘粒过滤管，管内填充滤料。在采集二氧化硫时

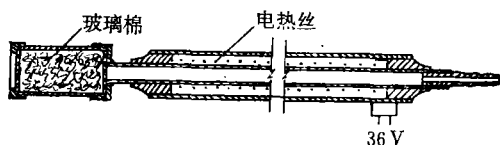


图8 加热采样管结构

最好用无碱玻璃棉，以免影响测定结果。为防止采样气体在采样管内冷凝，采样管作成电热丝加热。加热功率150瓦左右，加热电源为36V低压直流电源，由电源箱内可控硅调压器供给。

2. 玻璃筛板吸收瓶是采集气体的吸收装置，见图9。瓶的容积130毫升，进口管下端是多孔玻璃筛板，鼓泡均匀，吸收效率高。

3. 测量箱是气体的抽气和流量的计量装置，由抽气泵、流量计、压力计、温度计和干燥器组成，见图11虚线部分。抽气泵是采用薄膜泵，体积小，结构简单。抽气泵由110V微型直流电机带动，可连续使用，所需电源由同一电源箱供给。

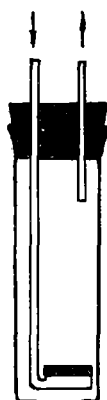


图9 玻璃筛板吸收瓶

流量计采用2升/分小型转子流量计，在流量计的前面装有表型压力计和普通温度计。采样时可以读出采样气体的温度和压力，以便将采样时流量换算到标准状态下的干空气流量。

干燥器内装硅胶，用来吸收气体中的水汽，以保证转子流量计的正常工作 and 免除腐蚀性气体对转子流量计和抽气泵的侵蚀。

4. 电源箱是采样管和抽气泵的供电装置，采样管加热用的电源，由可控硅调压器将220V交流电变成为低压的直流电。输出电压的变化范围在25—40V之间，调节电压的高低，可控制采样管的加热程度。抽气泵所需电源通过变压器的降低和整流而输出。

二、性能

1. 玻璃筛板吸收瓶，鼓泡小而均匀，吸收效率高。当二个吸收瓶串连用来吸收烟气中二氧化硫气体时，第一个吸收瓶的吸收率即

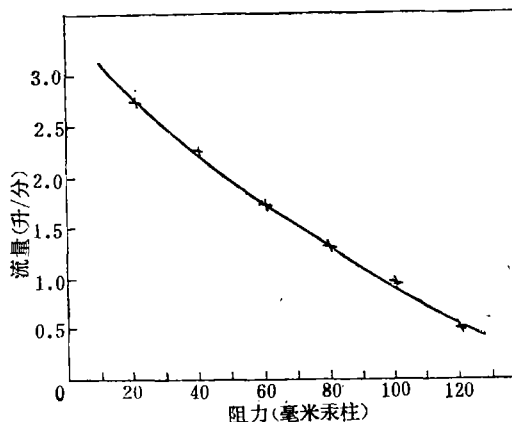


图10 泵的抽气性能

可达到 99.7%,性能优于冲击式采样器。但阻力较大,在1升/分流量时,两个吸收瓶串连使用时的阻力约 60 毫米汞柱。

2. 抽气动力。测试仪采用小型薄膜泵,体积小,结构简单,便于维护,但抽气量和压力比较低。图 10 是泵的抽气性能,从图中可看到阻力在 80 毫米汞柱时,抽气量可保持在 1 升/分的水平。在现场测定中,采气量一般用 0.5—1 升/分,在 2 个吸收瓶串连使用情况下,能满足使用上的要求。

三、使用方法

对气体或蒸汽采样,不要求等速采样,可不分圆环而在烟道中心部位定点采样,采样时将各个仪器按图 11 所示系统连接。将采样管加热到烟气温度后即可进行采样。采样时要保持流量稳定不变,并记下采样流量、温度和压力。

标准状态下干空气的采样体积按下式计算:

$$V_{nd} = 0.577 \sqrt{\frac{B_a + P_r}{T_r}} \cdot Q_r \cdot n$$

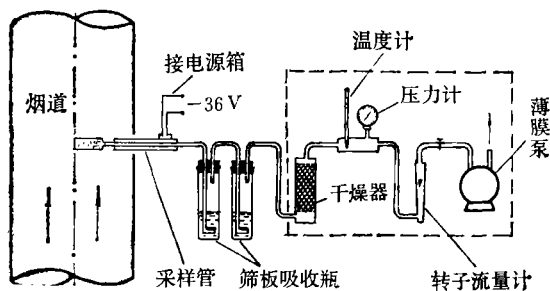


图 11 烟气测试仪测量系统示意图

参 考 资 料

- [1] Environmental Science Services Division: Source Testing for Air Pollution Control. 1971.
- [2] 日本工业规格 Jisz 8808: 烟道排ガス中のばしじん量の測定方法, 1970.
- [3] JISK 0103 Method of Determination of Total Sulfur Oxides and Sulfur Dioxide in Fuel Gas. (日本工业标准) 1971.

注: 1. 玻璃纤维滤筒和刚玉滤筒是分别同北京造纸研究所和山东张店工业陶瓷研究所协作试制。
2. 烟尘和烟气测试仪已由武汉分析仪器厂生产。

★

★

(上接第 12 页)

三、小 结

根据试验结果并结合北京市皮毛厂具体情况,对皮毛染色废液的治理,初步确定采用如下方案。

1. 复鞣液循环使用,皮毛染色前,先在复鞣槽内进行处理,复鞣后的皮张夹带大量含铬复鞣液,流入地沟造成污染。现采用离心机甩水,分离出来的铬液集中在储液池内,然后用泵打回复鞣槽中重复使用。

2. 染皮后的染色废液,按照选定的配方,补加染料和副料,使其重复使用。对黑色兔皮和驼色兔皮废液分别连续重复使用 6—9 次,染出的皮毛吃色足,无花针,经检验成品,

基本上达到或接近产品质量要求。

3. 连续重复使用数次后的废液,采用氢氧化钠或石灰粉作中和剂,进行中和沉淀。将 pH 调到 10 左右,经过 20 小时的静置沉降,上清液中的铬、铜含量降为 2—5 毫克/升,对铬、铜的去除率为 95—98% 以上,对色度去除率达 70%。将沉淀后的上清液用车间洗皮水混合排放,铬、铜含量将大大低于排放标准。

皮毛染色废液的重复使用及中和法治理废旧液的方法,设备简单,投资少,去除效果好。达到了化害为利、综合利用之目的。每年可节省各种染料和副料折合人民币近万元。此法对于中小型皮毛染色车间较为适用,可结合具体情况,通过试验加以采用。