

基于颗粒物检定装置对颗粒物分析仪检定校准的可行性分析

景春雷, 赵恩泽

(石家庄兆荣科技有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 介绍颗粒物 PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 基本概念、测量方法、环境空气颗粒物监测仪介绍、环境空气颗粒物检定装置介绍; 通过本研究工作, 对环境空气颗粒物监测仪器的校准及检定提出了一种新的思路方法, 利用检定装置来标定待测仪器, 建立环境空气颗粒物监测仪器校准标定的参考方法, 保证了测量结果的准确性。

关键词: 环境空气颗粒物; 标定

中图分类号: X830.5, TB99 **文献标识码:** A

Feasibility analysis of particle analyzer calibration based on particle calibration device

(Jing Chunlei, Zhao Enze)

(Shijiazhuang Zhaorong Technology Co., Ltd, HeBeiShijiazhuang 050000, China)

Abstract: Introduce the basic concepts and measurement methods of particulate matter PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP, as well as the introduction of ambient air particulate matter monitoring instruments and ambient air particulate matter calibration devices; Through this research work, a new approach for monitoring ambient air particulate matter is proposed based on the existing commonly used monitoring methods. The calibration device is used to calibrate the instrument to be tested, and a reference method for measuring ambient air particulate matter is established to ensure the accuracy of the measurement results.

Keywords: Ambient air particulate matter; calibration

1 颗粒物基本介绍

1.1 PM_{2.5} 基本概念

细颗粒物指环境空气中空气动力学当量直径小于等于 2.5 μ m 的颗粒物, 又称细粒、细颗粒、PM_{2.5}。它能较长时间悬浮于空气中, 其在空气中含量浓度越高, 就代表空气污染越

严重。虽然 $PM_{2.5}$ 只是地球大气成分中含量很少的组分，但它对空气质量和能见度等有重要的影响。与较粗的大气颗粒物相比， $PM_{2.5}$ 粒径小，面积大，活性强，易附带有毒、有害物质（例如，重金属、微生物等），且在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境质量的影响更大。

2013 年 2 月，全国的科学技术名词审定委员会正式将 $PM_{2.5}$ 的中文名称定为细颗粒物。细颗粒物在化学成分上主要包括以下部分：有机碳（OC）、元素碳（EC）、以及硫酸盐、铵盐、钠盐和硝酸盐等盐类。

1.2 PM_{10} 基本概念

可吸入颗粒物，通常是指粒径在 $10\mu m$ 以下的颗粒物，又称 PM_{10} 。可吸入颗粒物在环境空气中持续的时间很长，对人体健康和大气能见度的影响都很大。通常来自在未铺的沥青、水泥的路面上行驶的机动车、材料的破碎碾磨处理过程以及被风扬起的尘土。可吸入颗粒物被人吸入后，会积累在呼吸系统中，引发许多疾病，对人类危害大。

可吸入颗粒物的浓度以每立方米空气中可吸入颗粒物的毫克数表示。国家环保总局 1996 年颁布修订的《环境空气质量标准（GB3095-1996）》中将飘尘改称为可吸入颗粒物，作为正式大气环境质量标准。

1.3 TSP 基本概念

大气监测中将粒径小于 $100\mu m$ 的所有液体或固体颗粒称为总悬浮微粒（即 TSP）。微粒的直径（空气力学直径）在 $15\mu m$ 或 $10\mu m$ 以下的，称为吸入性微粒（inhalable particles，简称 IP），这些微粒能够随呼吸进入人体，危害健康。在大气中长期悬浮而不沉降，降低大气能见度，参与大气化学反应，加重污染程度。

2 环境空气颗粒物检测方法

光散射法：该方法的基本原理是，一个激光光源发出的光投射在被测颗粒物上，引起光散射，沿一定方向通过光电转换元件接收散射光信号。包括散射光的次数和强度。检测出的散射光的次数表示粒子数，光强度信号表示粒子的大小。该方法可以直接得到粒子数，但经过统计计算后换算为质量浓度。

射线法：射线出现在介质上时，粒子与介质中的电子碰撞，损失能量而被吸收，但在低能条件下与粒径、成分、颜色、分散状态无关，均取决于介质的质量。气体由采样头吸入采样管，经滤纸排出，颗粒物堆积在滤纸上，当射线通过堆积有颗粒物的滤纸时，能量衰减，经过衰减前后的射线能量测量，可以计算出颗粒物的质量浓度。

微量振动天平法：微量振动天平法是在质量传感器内运用一个振动空心圆锥管，在其振动端安装可更换的滤膜，振动频率取决于圆锥管的特点及其质量。当采样气流通过过滤器，其中颗粒物沉积在过滤器上，过滤器质量变化导致振动频率变化时，经过振动频率的变化，计算出过滤器上沉积颗粒物的质量，根据流量、现场环境温度和气压计算出该时间段颗粒物标识的质量浓度。

3 环境空气颗粒物监测仪介绍

3.1 环境空气颗粒物监测仪外观



图1 环境空气颗粒物监测仪

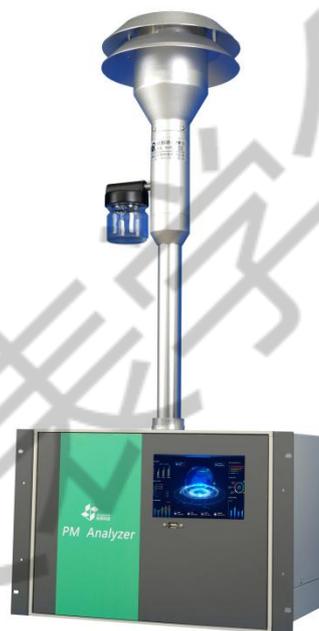


图2 环境空气颗粒物分析仪



图3 扬尘在线监测系统

3.2 检测原理与方法:

β 射线是一种高速电子流，具有较强的穿透能力，当 β 射线通过空气中的颗粒物时，会发生散射和吸收现象。根据散射和吸收的特性， β 射线被吸收则能量衰减从而导致监测到的 β 粒子的数量减少，可以通过测量 β 射线的强度变化来间接反应空气中颗粒物的浓度。

样品空气通过切割器以恒定的流量经过进样管，颗粒物截留在滤膜上。 β 射线通过滤膜时，能量发生衰减，通过对衰减量的测定计算出颗粒物的质量。 β 射线衰减量与颗粒物的质量遵循以下吸收定律：

$$N=N_0 \cdot e^{-km} \quad (1)$$

式中：N——单位时间内通过滤膜的 β 射线量；

N_0 ——单位时间内发射的 β 射线量；

k——单位质量吸收系数， cm^2/mg ；

m——颗粒物单位面积质量， mg/cm^2 。

颗粒物质量经如下方法测得：

步骤 1：空白滤膜的测定

$$N_1=N_0 \cdot e^{-km_0} \quad (2)$$

式中： N_1 ——单位时间内通过空白滤膜的 β 射线量；

m_0 ——空白滤膜颗粒物单位面积质量， mg/cm^2 。

步骤 2：颗粒物截留后滤膜的测定

$$N_2=N_0 \cdot e^{-k(m_0+\Delta m)} \quad (3)$$

式中： N_2 ——单位时间内通过颗粒物截留后滤膜的 β 射线量；

Δm ——截留在滤膜的颗粒物单位面积质量， mg/cm^2 。

合并公式（2）和（3）得：

$$N_1=N_2 \cdot e^{k\Delta m} \quad (4)$$

或

$$\Delta m = \frac{1}{k} \ln \frac{[N_1]}{[N_2]} \quad (5)$$

3.3 检测过程：

环境空气颗粒物监测仪主要包括辐射源、探测器和数据分析三个部分。

1) 辐射源

β 射线的发射需要辐射源，设备使用的是 C-14，辐射源会释放出 β 射线，形成一个稳定的射线源。

2) 探测器

探测器是用来测量 β 射线的强度变化的装置。设备使用的探测器是光电倍增管，当 β 射线通过光电倍增管时，会激发其中的原子，产生光信号。通过测量光信号的强度，可以反应 β 射线的强度。

3) 数据分析

通过对探测器测得的 β 射线强度进行数据分析，可以得到空气中颗粒物的浓度。数据分析主要包括信号处理、数据校正和数据解读等步骤。信号处理是对探测器测得的光信号进行放大和滤波处理，以提高测量的精度和稳定性。数据校正是根据标准样品进行校准，消除测量误差。数据解读是将测得的 β 射线强度转化为颗粒物浓度数据，通常为微克/立方米为单位。

4 环境空气颗粒物检定装置介绍

4.1 装置结构及工作过程

主要可分为发尘部分、扩散腔、检测腔和除尘部分。粉尘由发尘装置连续、稳定发出进入稀释腔；同时在发尘装置旁边有一管路为洁净空气，可对粉尘浓度作进一步稀释。粉尘气溶胶经过沉降和稀释进入检测腔。检测腔底部安装有支架，用于安放被检测粉尘仪和安装滤膜采样装置。在装置末端装有风机，可用来将测试段中的含尘空气吸入静电式除尘器中，从而达到回收测试粉尘的目的；也可使粉尘浓度从较高值快速降低至较低值。

4.2

利用重量法标定环境空气颗粒物检定装置的内置传感器，产生一定量的粉尘浓度，用环境空气颗粒物检定装置与标准滤膜采样装置在相同条件下同时采样或检测，记录环境空气颗粒物检定装置在检测期间的测量平均值 C ，同时用标准滤膜采样装置的采样流量、采样时间、滤膜采样前后增加粉尘的质量等参数计算得到参考粉尘浓度 C_s ； C 与 C_s 的示值误差 $\leq \pm 10\%$ 。

表 1 重量法标定环境空气颗粒物检定装置的内置传感器

标准浓度值 C_s , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	被校仪器浓度值 C , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	示值误差
205.6	213.5	-3.7%
207.2	216.4	
205.3	211.8	
524.5	554.6	-4.6%
521.6	548.5	
520.4	539.6	
841.4	876.7	-3.2%
832.8	854.8	
835.7	861.1	



图 4 环境空气颗粒物采样器

利用已标定的环境空气颗粒物检定装置去标定待测的环境空气颗粒物监测仪。将环境空气颗粒物检定装置与被检仪器在相同条件下同时采样或检测，得到结果分别为 C_s 和 C 。 C 与 C_s 的示值误差 $\leq\pm 10\%$ 。

表 2 利用已标定的环境空气颗粒物检定装置去标定待测的环境空气颗粒物监测仪

标准浓度值 C_s , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	被校仪器浓度值 C , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	示值误差
221.5	206.7	7.1%
228.6	210.1	
215.4	204.3	
536.1	509.8	4.9%
524.8	501.3	
517.8	493.2	
854.1	816.7	4.2%
846.2	811.2	
831.7	801.5	

参考文献:

[1] 崔延青,王春迎,尚永昌. 大气细粒子监测技术进展[J]. 中国环保产业,2012 (4): 8-13.

[2] 张文阁,高思田,宋小平,等.细颗粒物PM_{2.5}浓度测量及计量技术.中国粉体技术,2013年12月,第19卷,第6期.

中国仪器仪表学会