

摘要：对 PM2.5 的检测主要是根据颗粒物的力学、光学、电学等物理性质与颗粒物的数量、质量或其他参量之间的关系，通过相应的检测设备进行的。本文对常用滤膜称重法、光散射法、β 射线吸收法、微量振荡天平法等 PM2.5 检测方法的工作原理及各自的优缺点进行综述，为 PM2.5 检测提供技术指导，便于 PM2.5 检测者根据实际的检测需求选择合适的检测方法。

关键词：滤膜称重法；微量振荡天平法；压电晶体法；光散射法；β 射线吸收法

中图分类号：TP212

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2019)03-0013-04

收稿日期：2019-03-06

PM2.5 检测技术研究进展

张艳艳

国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心，北京 100160

一、引言

近年来，我国多地雾霾天气频发，不仅降低大气能见度，影响民众的出行，还对民众的健康造成了严重的威胁，引起了社会对空气质量的广泛关注。

空气中的 PM2.5 指的是环境空气中空气动力学当量直径 $< 2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒，是形成雾霾天气的关键因素之一，对空气中的 PM2.5 进行检测和控制，是解决我国当前区域性的霾污染现状的根本有效手段^[1]。

近年来 PM2.5 的检测原理主要是基于颗粒物的力学、光学、电学等物理性质及其数量、质量或其他参数之间的关系，常用检测方法有基于力学性质的滤膜称重法（重量法）、微量振荡天平法、振动检测法和压电晶体法，基于光学性质的光散射法、对射型光强检测法和激光诱导荧光法，以及其它原理的 β 射线吸收法和电荷法等。本文对这些常用的 PM2.5 检测方法的工作原理及特点进行介绍。

二、PM2.5 检测方法

1、基于颗粒物力学性质的检测方法

(1) 滤膜称重法

滤膜称重法是国际普遍认可的基准法，我国以及欧美国家的颗粒物浓度测量标准中均采用此种方

法。它是在规定的流量下采样，由滤膜捕集空气中的 PM2.5，在恒温恒湿条件下使用天平称量滤膜采样前后的质量，计算质量差以获得捕集的 PM2.5 的质量，结合采样流量计算空气中的 PM2.5 的浓度^[2-5]。

这种颗粒物测量方法可以保留颗粒物样品，用于进行化学成分分析，以获得 PM2.5 中各污染物的组成，是目前公认的最准确的基准法。其优点是原理简单，测定数据准确可靠，不受颗粒物形状、大小、颜色等

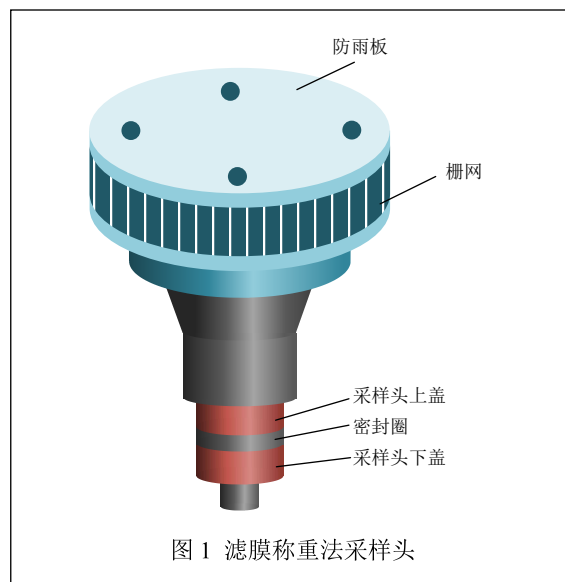


图 1 滤膜称重法采样头

的影响, 缺点是不能实时检测, 操作费时, 一般检测时间为 3h~24h, 采样仪笨重, 噪声大, 该方法具有一定的不确定性和较低的时间分辨率。

(2) 微量振荡天平法

微量振荡天平法的工作原理是在质量传感器内使用一个振荡空心锥形管, 该振荡空心锥形管一头粗, 一头细, 粗头固定, 细头装有滤芯。工作时, 空气从粗头进, 细头出, PM2.5 被滤芯截流, 细头在电场的作用下以一定的频率振荡, 该频率和细头重量的平方根成反比, 依靠颗粒物在滤膜上的集聚对天平振荡系数的改变来计算颗粒物质量浓度^[3-5]。

这种测量方法是最近几年发展起来的, 优点是实时性好、准确度高, 缺点是在测量时仪器受温度、湿度影响较大, 工作环境要求在 50℃ 以上, 加热管容易使颗粒物中的挥发性物质损失从而导致测量浓度损失, 测量数据偏低。

(3) 振动检测法

振动检测法的工作原理比较简单, 可以实现 PM2.5 浓度的在线检测, 所采用的仪器如图 2 所示。整个系统包括检测腔体, 腔体底部设有放有滤纸的透气孔, 腔体底部连接一个弹簧-阻尼系统。其检测过程为: 一定量的空气由管道进入检测腔体内, 进入腔体内空气通过透气孔流出腔体, 空气中的颗粒物被透气孔上的滤纸捕获, 腔体的质量增加, 激振器以一定频率将腔体起振, 拾振器接收到与腔体质量有关的频率输出, 从而获得 PM2.5 的浓度^[6]。

(4) 压电晶体法

压电晶体法是一种 PM2.5 浓度的实时在线检测方法。测量敏感元件采用石英谐振器, 工作原理是空气以恒定流量通过切割器进入静电采样器, 采样器内包括高压放电针和石英谐振器电极, 在高压电晕放电的作用下, 气流中的颗粒物沉降于谐振器电极表面上, 电极上增加的颗粒物的质量使谐振器的振荡频率发生变化, 根据该频率变化可计算出 PM2.5 的质量浓度^[4]。

这种方法的缺点是需要定期维护测试仪器。因为石英谐振器对其表面质量的变化十分敏感, 因此使用一段时间后需要对电极进行清洁。

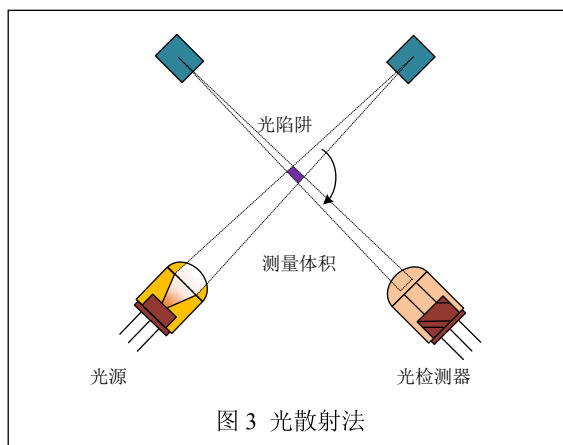
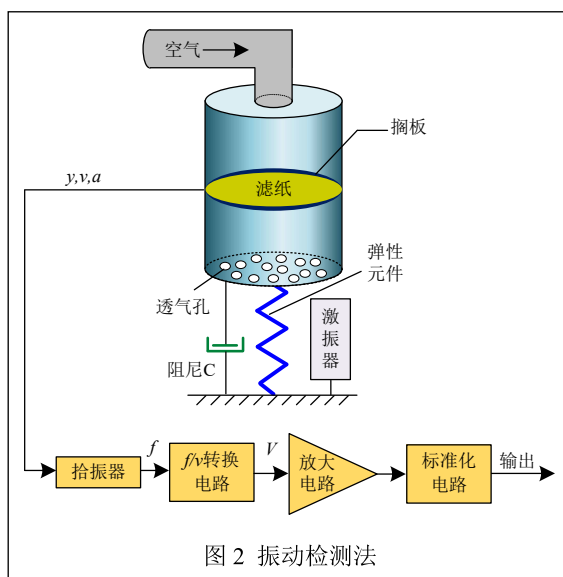
2、基于颗粒物光学性质的检测方法

(1) 光散射法

根据 Mie 散射理论, 在温度和湿度较稳定的洁净环境下, 当光照射在空气中悬浮的 PM2.5 上时, 产生与其质量浓度成正比的散射光^[3-5]。

光散射法正是基于这种理论设计的一种实时在线检测法, 采用的仪器一般包括光源、集光镜、传感器、放大器和分析电路等。光源发出光照射在 PM2.5 上, 产生散射, 并通过集光镜到达传感器上, 传感器将接收到的光信号转换成电信号, 经过放大和分析电路计算出 PM2.5 的浓度。

光散射法的优点是体积小、重量轻、操作简便且噪音低、稳定性好, 可直读测定结果。缺点是测定结果与 PM2.5 粒径、颜色、成分、形状及密度等因素有关,



易受到环境中各种因素如相对湿度的影响。

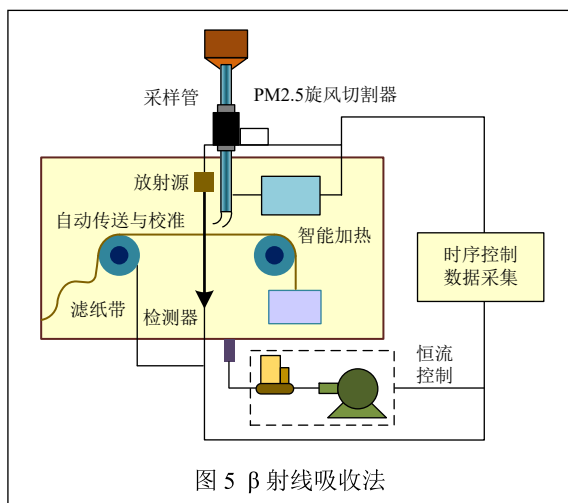
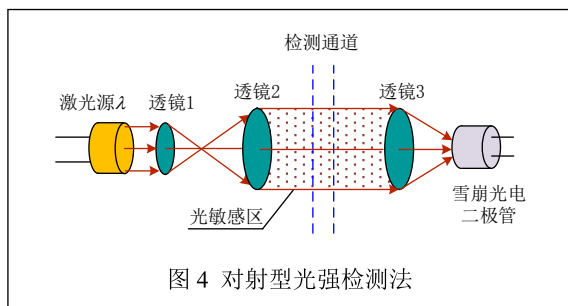
(2) 对射型光强检测法

对射型光强检测法采用的仪器如图 4 所示，激光源发出激光，经过透镜 1 和透镜 2 后照射在光敏感区，通过光敏感区的光经过透镜 3 后由雪崩光电二极管接收。当有 PM2.5 通过光敏感区时，PM2.5 就会遮蔽光线而导致进入雪崩光电二极管的光量减少，雪崩光电二极管产生与颗粒物的尺寸呈比例的电脉冲信号，进而可以获得 PM2.5 的浓度^[8]。

对射型光强检测法的优点是稳定性高、响应快，物体的颜色、光泽等因素对颗粒物检测的影响比较小。

(3) 激光诱导荧光法

激光诱导荧光法的工作原理是利用特定波长的激光束，将大气中的 PM2.5 激发到较高能级，然后当其由较高能级跃迁回基态时，就会以荧光的形式将能量释放出来，荧光的强度与 PM2.5 在空气中的含量成正比，从而可通过对荧光强度的检测来获知 PM2.5 的含量^[9]。



该方法具有灵敏度高、响应速度快的优点，可以实现对很低浓度 PM2.5 的检测。其缺点是所采用的设备过于精密，测试成本高，目前多用于科学研究。

3、基于颗粒物其他性质的检测方法

(1) β射线吸收法

β射线在通过颗粒物时会被吸收，当能量恒定时，颗粒物对β射线的吸收量与颗粒物的质量成正比，并只与颗粒质量有关，与种类、粒径、形状、颜色和化学组成均无关。β射线吸收法就是将含有 PM2.5 的空气通过切割器后由滤膜收集，然后对其照射一束β射线，通过测量β射线的透过强度即可以获得空气中 PM2.5 的浓度^[9-10]。图 5 所示为β射线吸收法检测 PM2.5 的系统结构示意图。

该方法操作简单，需要样品的量较少，能实现实时自动监测，可以采用间断或连续测量模式，与光学测定法相比，由于测量结果只与 PM2.5 颗粒质量有关，避免了颗粒粒径大小及其分布对测量结果的影响，缺点是响应速度比较慢。

(2) 电荷法

电荷法是直接测量颗粒物静电感应所带的电荷量来间接确定其质量。将测量探头置入到含有 PM2.5 的空气中，仪器的探头可以探测 PM2.5 颗粒在对探头的撞击、摩擦和静电感应而产生的电荷变化，其中大部分来自静电感应，基于对静电荷的测量获得 PM2.5 的浓度^[4]。

该方法测量速度快，可以对 PM2.5 进行在线监测，缺点是由于不同的颗粒材料会产生不同的感应、摩擦电流，此类设备使用前需要标定。

三、总结

上述几种常用的 PM2.5 检测方法具有各自的优缺点，在对 PM2.5 进行检测时可以综合考虑检测精度以及成本限制，选择合适的 PM2.5 检测方法，实现对 PM2.5 的准确检测，并基于 PM2.5 检测结果，实现对 PM2.5 污染的有效控制。

参考文献

[1] 毛翔南, 马宇明, 蔡治强, 等. PM2.5 检测标准及量值溯源

- 方法现状及进展 [J]. 中国计量, 2013(3): 30-32.
- [2] 曲建翹. 室内空气质量检验方法指南 [M]. 中国标准出版社, 2002: 94-100.
- [3] 罗曼. 基于便携式检测仪的空气 PM2.5 浓度监测与分析 [J]. 科技与企业, 2014(14): 408-410.
- [4] 杨书申, 邵龙义, 龚铁强, 等. 大气颗粒物浓度检测技术及其发展 [J]. 北京工业职业技术学院学报, 2005, 4(1): 36-39.
- [5] 盛成龙, 夏凤毅. 大气细颗粒物自动检测技术比较 [J]. 环境与健康杂志, 2013, 30(4): 294.
- [6] 周文晶, 汪家玮, 李佳颖, 等. 利用振动原理实时检测大气颗粒物浓度的方法研究 [J]. 自动化仪表, 2006, 27(z1): 90-91, 94.
- [7] 《空气和废气监测分析方法指南》编委会. 空气和废气监测分析方法指南 (下册) [M]. 中国环境出版社, 2014: 586-587.
- [8] 杨永杰, 张裕胜, 杨赛程, 等. 一种 PM2.5 检测传感器设计 [J]. 传感器与微系统, 2014, 33(3): 76-78, 81.
- [9] 赵京福, 邹喆, 龚强. 大气 PM10、PM2.5 的光电检测技术研究 [J]. 民营科技, 2014(8): 251.
- [10] 沈友弟. 基于 β 射线吸收法的 PM2.5 测量技术的研究 [J]. 化工设计通讯, 2017, 43(6): 194-195.

Research Progress on PM2.5 Detecting Technology

ZHANG Yan-yan

(Patent Examination Cooperation Center, CNIPA, Beijing 10016, China)

Abstract: The detection of PM2.5 is completed with relevant equipment based on the relationship between the mechanical, optical, electrical or other physical properties of particulate matter and the quantity, mass or other parameters of particulate matter. The working principles and characteristics of main PM2.5 detection methods are reviewed in this paper, such as filter membrane weighing method, light scattering method, β ray absorption method, tapered element oscillating microbalance method and so on.

Key words: filter membrane weighing; tapered element oscillating microbalance; piezoelectric crystal; light scattering; β ray absorption

作者简介

张艳艳, 国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心, 硕士研究生, 助理研究员, 主要研究方向为测量控制领域。

通信地址: 北京市丰台区汽车博物馆南路 2 号

邮编: 100160

邮箱: zhangyanyan_1@sip.gov.cn