

PM2.5 检测技术详解

PM2.5 的监测日益受到政府，公众和媒体的重视。目前大家对它的来源，危害都有了一定的了解。随着网友对 PM2.5 从一无所知到逐步了解，大家希望更进一步了解 PM2.5 监测技术和方法的愿望也越强烈。我们收到了一些网友和客户的反馈，希望我们对 PM2.5 的监测技术做更深入的介绍，我们搜集了一些时下提出最多的问题，将我们的资料和相关知识与大家分享。

问：目前世界上流行的颗粒物自动监测美国联邦等效方法设备技术有哪些？

答：主要以：振荡天平技术、Beta 射线技术、Beta 射线光浊度技术和光散射技术为主。在中国的 PM10 颗粒物监测中大量采用了振荡天平和 Beta 射线技术的自动监测设备，以这两项技术为基础开发的 PM2.5 颗粒物监测仪也已进入中国的环境监测领域。

振荡天平法

振荡天平技术是在上世纪 80 年代，由美国 R&P 公司应用于环境颗粒物自动监测领域。在仪器中测量样品质量的微量振荡天平传感器主要部件是一支一端固定另一端装有滤膜的空心锥形玻璃管，样品气流通过滤膜，颗粒物被收集在滤膜上。在工作时空心锥形玻璃管是处于往复振荡的状态，它的振荡频率会随着滤膜上收集的颗粒物的质量变化发生改变，仪器通过准确测量频率的变化得到采集到的颗粒物的质量，然后根据收集这些颗粒物时采集的样品体积计算得出样品的浓度。

一台符合美国环保署要求，获得美国联邦等效方法号的振荡天平法 PM2.5 颗粒物监测仪由 PM10 采样头、PM2.5 切割器、滤膜动态测量系统、采样泵和仪器主机组成。流量为每小时 1 立方米的环境空气样品经过 PM10 采样头和 PM2.5 切割器后成为符合技术要求的 PM2.5 颗粒物样品气体。来自于 PM2.5 切割器的 PM2.5 样品气体进入膜动态测量系统后首先会经过干燥器，在那里样品的相对湿度降到一定的程度，随后样品气体会根据系统切换阀的状态流向不同的部件。在测量的第一时段，PM2.5 样品会直接到达微量振荡传感器，样品中的颗粒物被收集在滤膜上，当第一时段结束时仪器可测得滤膜上的颗粒物的质量，计算出样品的质量浓度；在测量的第二时段，系统切换阀将 PM2.5 样品气样导入滤膜动态测量系统的冷凝器，样品气体中的颗粒物和有机物等组分被冷凝并被安装在那里的过滤器截留，通过冷凝器之后的纯净气体再进入微量振荡传感器，由于此时气样中不含颗粒物，因此传感器上的滤膜不会增重，反而因滤膜上的已收集颗粒物中的挥发性或半挥发性颗粒物的持续挥发，而造成滤膜上已收集颗粒物的质量减少，在第二时段结束时仪器可测得测量周期内挥发掉的颗粒物的质量和浓度。最终仪器用第二时段测得的数据对第一时段测得的数据进行补偿输出测量结果。

由于 PM2.5 颗粒物由多种物质组成，并以不同的形态存在于环境空气中，在进行自动监测过程中需要排除由于颗粒物的吸水性带来的测量结果偏高和挥发

性物质在分析过程中丢失造成的测量结果偏低的问题。配置膜动态测量系统的振荡天平法 PM2.5 颗粒监测仪最大限度地解决了这些问题。

Beta 射线法

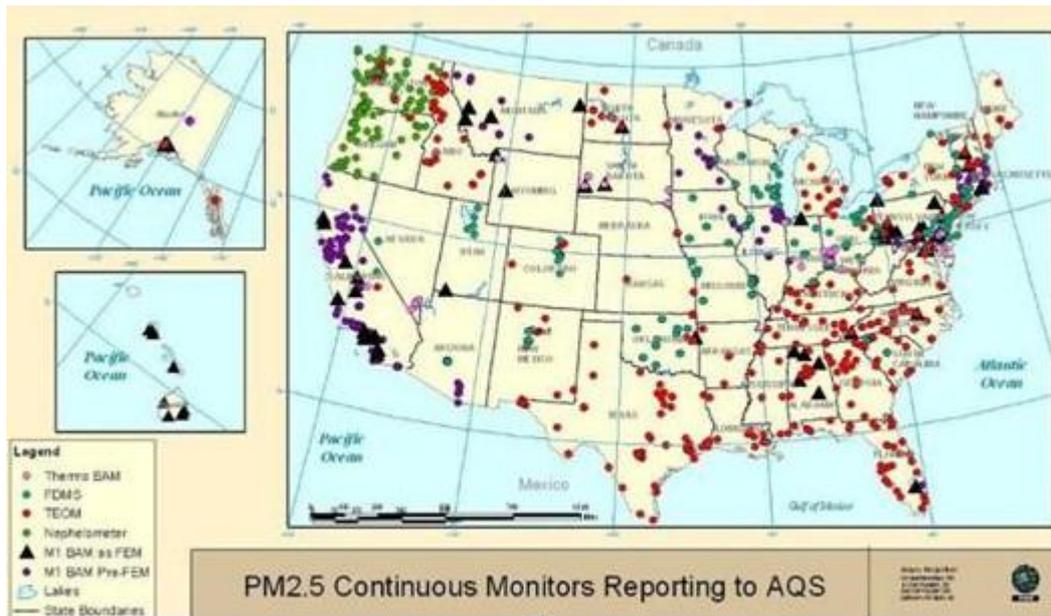
Beta 射线法 PM2.5 颗粒物监测仪由 PM10 采样头、PM2.5 切割器、样品动态加热系统、采样泵和仪器主机组成。符合技术要求的 PM2.5 颗粒物样品气体在样品动态加热系统中样品气体的相对湿度被调整到 35%以下，样品进入仪器主机后颗粒物被收集在可以自动更换的滤膜上。在仪器中滤膜的两侧分

别设置了 Beta 射线源和 Beta 射线检测器。随着样品采集的进行，在滤膜上收集的颗粒物越来越多，颗粒物质量也随之增加，此时 Beta 射线检测器检测到的 Beta 射线强度会相应地减弱。由于 Beta 射线检测器的输出信号能直接反应颗粒物的质量变化，仪器通过分析 Beta 射线检测器的信号变化得到一定时段内采集的颗粒物质量数值，结合相同时段内采集的样品的体积，最终报告出采样时段的颗粒物浓度。根据 2010 年美国环保署公布的美国 PM2.5 监测使用的仪器清单和布点情况，在美国 PM2.5 监测网络中约有 60%的振荡天平法监测仪，Beta 射线法的仪器也占 30%左右。

问：关于 PM2.5 的监测技术，是否国外做过比较，各自的特点是什么呢？

答：多年来，美国环保署不断对颗粒物自动监测技术和设备进行评价和建议改进，积累了大量的测试数据和实验结果。，振荡天平与膜动态测量系统联用技术与经典重量法数据的相关性最佳，在 94%到 99%之间。而 Beta 射线技术相关性在 77%到 90%之间。因此，振荡天平技术成为目前世界各国正在使用的，颗粒物自动监测的主流技术。美国环保署多年来始终在关键测试点位上，使用振荡天平与膜动态测量系统联用技术。在美国 PM2.5 监测网络中约有 60%的振荡天平法监测仪。

下图为 2010 年美国环保署公布的美国 PM2.5 监测使用的仪器清单和布点情况：



美国 2010 年 PM2.5 监测使用的仪器清单和布点

振荡天平技术颗粒物监测仪作为美国环保局认可的 PM10 联邦等效方法设备，和振荡天平及膜动态测量系统联用的颗粒物监测仪作为美国环保局认可的 PM2.5 联邦等效方法设备，为中国及全世界众多国家提供精确、有效的监测数据。在中国、美国和欧洲众多监测相关机构所进行的测试中，上述技术的数据与经典重量法之间数据更加吻合。由此，多年来我国所积累的节能减排和环境监测数据的真实性、可靠性、精确性是毋庸置疑的。

自振荡天平技术和膜动态测量系统技术推出至今，我国环境保护相关领域的专家学者始终对这一技术进行深入的研究与论证，并了解国际相关科学领域的新动态。经过我国众多环境保护机构对颗粒物监测的深入研究和论证，使用振荡天平技术监测可吸入颗粒物 PM10，和使用振荡天平及膜动态测量系统联用技术测定细粒子颗粒物 PM2.5 得到广泛认同，并且这些成熟的技术也正在应用于日常的环境监测之中。

问：这些数据研究数据是怎么得到的？是否可以介绍几篇相应的第三方材料给大家参考？

答：我们的数据多来自美国环保局和第三方的公告，大家如果有兴趣可以自己到美国环保局网站上查阅。这里仅仅列举了几篇报告供大家参考。

1) 来自于美国 Hamilton County Department of Environmental Services, Cincinnati, Ohio 的报告。报告的内容是有关在 2007 年 3 月到 7 月开展的对当时的 PM2.5 自动监测仪器的现场比对测试, 标准设备是联邦参考方法仪器 Thermo Andersen RAAS PM2.5 FRM, 自动仪器是 Thermo Sharp 5030 v1.4、Thermo TEOM with FDMS 1400 AB 和 Met One BAM 1020 v2.55。结论是 TEOM 和 SHARP 有较好的一致性, BAM 1020 在这次测试中数据偏高。

2) 来自于美国 NYS Department of Environmental Conservation 的在 2010 年 7 月的 NACAA Monitoring Steering Committee Meeting 中的报告。报告的内容是有关在 2010 年 1 月到 6 月开展的对 Thermo 5014i、Metone BAM 1020、Thermo 1405DF 和 Thermo 1400+8500 的现场比对测试。报告显示 Thermo 产品与标准称重方法的偏差最小。

3) 来自于英国 Environmental Consultant 的 2006 的报告。报告内容是对 7 款 PM10 采样器或自动监测仪 (Thermo Partisol 2025、Thermo TEOM、Thermo PM10 FDMS、Opsis SM200 by Beta、Opsis SM200 By Mass、Metone BAM1020) 和 1 款 PM2.5 自动监测仪。报告显示 Thermo TEOM 带 FDMS 数据准确, 无需修正; Met One BAM1020 数据偏高, 需要向下修正。

问: 测量 PM10 的仪器是否经过简单调整就可以测量 PM2.5 呢?

答: 由于细粒子颗粒物 PM2.5 的组成与机理的特殊性, 实现其自动监测的难度远远大于传统 PM10, 因此只有几个厂商的几个型号的设备通过了美国环保局的认证。在 2011 年美国环保局所公布的最新联邦参比方法及等效方法设备列表中, 特别标明了每种型号的设备在何种配置情况下可以进行 PM10 监测, 增加哪些必要部件, 才可以进行 PM2.5 监测。在标明振荡天平技术需要增加膜动态测量系统进行联用的同时, 也规定了 Beta 射线技术颗粒物监测仪, 如进行 PM2.5 监测必须使用 VSCC 切割器和使用动态加热系统, 才能称之为联邦等效方法设备。美国环保局 2011 年联邦参比及等效方法清单可在 <http://www.epa.gov/ttn/amtic/criteria.html> 中查找到。

问: 振荡天平法监测技术是否只有国外厂商掌握, 中国目前是否已经掌握了该技术?

答: 不是, 多家国内厂商, 都吸收和引进这一先进精确技术, 研发生产出自己的振荡天平设备, 已经向中国用户进行推广和销售。

问: 能否详细介绍一下美国 PM2.5 的自动监测方法?

答: 美国环保署 (US EPA) 从 1999 年开始建立 PM2.5 颗粒物浓度监测网, 采用的方法是美国联邦参考方法 (FRM) (即, 美国标准方法), 这是一种手工的 24 小时滤膜采样实验室称重的方法。从 2008 年开始, 美国环保署开展了对自动的 PM2.5 颗粒物监测仪认证工作, 这些仪器能在无人值守的情

况下连续运行并至少能提供 PM2.5 颗粒物的小时平均浓度值,经过认证的仪器都会获得美国自动等效方法 (EQPM) 号。

由于 PM2.5 颗粒物由多种物质组成,并以不同的形态存在于环境空气中,在进行自动监测过程中需要排除由于颗粒物的吸水性带来的测量结果偏高和挥发性物质在分析过程中丢失造成的测量结果偏低的问题。经过美国环保署认证的 PM2.5 颗粒物监测仪都有固定的基本配置和工作参数设置来最大限度的保证数据的准确性。

下面介绍一下经过美国环保署认可的两种 PM2.5 颗粒物监测仪所采用的技术:

Beta 射线法 PM2.5 颗粒物监测仪由 PM10 采样头、PM2.5 切割器、样品动态加热系统、采样泵和仪器主机组成。流量为每小时 1 立方米的环境空气样品经过 PM10 采样头和 PM2.5 切割器后成为符合技术要求的 PM2.5 颗粒物样品气体。在样品动态加热系统中样品气体的相对湿度被调整到 35%以下,样品进入仪器主机后颗粒物被收集在可以自动更换的滤膜上。在仪器中滤膜的两侧分别设置了 Beta 射线源和 Beta 射线检测器。随着样品采集的进行,在滤膜上收集的颗粒物越来越多,颗粒物质量也随之增加,此时 Beta 射线检测器检测到的 Beta 射线强度会相应地减弱。由于 Beta 射线检测器的输出信号能直接反应颗粒物的质量变化,仪器通过分析 Beta 射线检测器的信号变化得到一定时段内采集的颗粒物质量数值,结合相同时段内采集的样品的体积,最终报告出采样时段的颗粒物浓度。

微量振荡天平法 PM2.5 颗粒物监测仪由 PM10 采样头、PM2.5 切割器、滤膜动态测量系统、采样泵和仪器主机组成。流量为每小时 1 立方米的环境空气样品经过 PM10 采样头和 PM2.5 切割器后成为符合技术要求的 PM2.5 颗粒物样品气体。样品随后进入配置有滤膜动态测量系统 (FDMS) 的微量振荡天平法监测仪主机。在主机中测量样品质量的微量振荡天平传感器主要部件是一支一端固定另一端装有滤膜的空心锥形管,样品气流通过滤膜,颗粒物被收集在滤膜上。在工作时空心锥形管是处于往复振荡的状态,它的振荡频率会随着滤膜上收集的颗粒物的质量变化发生改变,仪器通过准确测量频率的变化得到采集到的颗粒物的质量,然后根据收集这些颗粒物时采集的样品体积计算得出样品的浓度。配置有膜动态测量系统后仪器能准确测量在测量过程中挥发掉的颗粒物,使最终报告数据得到有效补偿,更接近于真实值。它的工作流程是:来自于 PM2.5 切割器的 PM2.5 样品气样进入膜动态测量系统后首先会经过干燥器,在那里样品的相对湿度降到一定的范围,随后样品气体会根据系统切换阀的状态流向不同的部件。在测量的第一时段,PM2.5 样品会直接到达微量振荡传感器,样品中的颗粒物被收集在滤膜上,当第一时段结束时仪器可测得滤膜上的颗粒物的质量,计算出样品的质量浓度;在测量的第二时段,系统切换阀将 PM2.5 样品气样导入滤膜动态测量系统的冷凝器,样品气体中的颗粒物和有机物等组分被冷凝并被安装在那里的过滤器截留,通过冷凝器之后的纯净气体再进入微量振荡传感器,由于此时气样中不含颗粒物,因此传感器上的滤膜不会增重,反而因滤膜上的已收集颗粒物中的挥发

性或半挥发性颗粒物的持续挥发，而造成滤膜上已收集颗粒物的质量减少，在第二时段结束时仪器可测在测量周期内挥发掉的颗粒物的质量和浓度。最终仪器用第二时段测得的数据对第一时段测得的数据进行补偿输出测量结果。