

可吸入颗粒物测量原理、标准、仪器调研报告

詹若涵

2016年4月11日

三种较精确的可吸入颗粒的测量方法介绍：

1. 方法：重量法（手工分析方法），beta射线法（BAM），微量振荡天平法（TEOM）

2. 原理：

重量法：

- 让气体通过具有切割特征（滤膜，区分不同颗粒大小，pm10和pm2.5）的采样器，不同尺寸的微粒停留在不同的滤膜上；
- 一段时间后测量称重；

BAM:

- 让气体通过具有切割特征（滤膜，区分不同颗粒大小，pm10和pm2.5）的采样器，不同尺寸的微粒停留在不同的滤膜上；
- beta射线持续照射滤膜，与此同时，beta射线检测器监测到的beta射线的能量减弱，通过检测器的输出信号直接反应颗粒物的质量变化；

TEOM:

- 让气体通过具有切割特征（滤膜，区分不同颗粒大小，pm10和pm2.5）的采样器，不同尺寸的微粒停留在不同的滤膜上；
- 一端装有滤膜的空心锥形瓶的振荡频率会随着滤膜上收集的颗粒物质量的变化而发生变化，从而反映出收集到的颗粒物的质量。

环境空气指数计算方法：

分段线性。将污染物浓度划分成不同的区间段（对应优、良等），每一个区间段污染物浓度的上界和下界对应相应的AQI值，通过分段线性的函数计算出来。

污染物项目 P 的空气质量分指数按式（1）计算：

$$IAQI_p = \frac{IAQI_{Hi} - IAQI_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + IAQI_{Lo} \quad (1)$$

式中： $IAQI_p$ —— 污染物项目 P 的空气质量分指数；

C_p —— 污染物项目 P 的质量浓度值；

BP_{Hi} —— 表 1 中与 C_p 相近的污染物浓度限值的高位值；

BP_{Lo} —— 表 1 中与 C_p 相近的污染物浓度限值的低位值；

$IAQI_{Hi}$ —— 表 1 中与 BP_{Hi} 对应的空气质量分指数；

$IAQI_{Lo}$ —— 表 1 中与 BP_{Lo} 对应的空气质量分指数。

当 $IAQI_{\{p\}}$ 计算超过 50 时，取最高的为首要污染物；

美国环保局和中国环保局对应的AQI计算方法相同，但是不同区间段的污染物浓度的上下界不同，美国标准更加严格（美国大使馆应用此标准），从而即使污染物浓度测的相同，中国发布的AQI指数会低于美国。（具体对应的浓度限值请见附录）

数据监测组织

中国环保局的实时监测数据来源：

- 国家空气质量自动监测点位（BAN或TEOM），每小时更新；
- 日监控数据和实时监控数据仅作为当日参考标准，日后矫正后才能用于空气质量达标标准的评价；

美国大使馆实时监测数据来源：

- 测量仪器：beta测量仪；
- AQI计算标准：美国环保局；

World Air Quality Index project (WAQI) : (<http://aqicn.org/>)

1. 组织介绍：国际组织，发布全球空气质量；
- 数据来源：各个国家环保局公布的官方实时污染物浓度数据（运用自动监测装置，因此若要作为空气质量的评定还需之后矫正）。包含中国环保局和美国驻中大使馆数据。
- AQI计算标准：美国环保局。

北京大学可吸入颗粒测量仪：

- 原理：微量振荡天平法
- 仪器数：十多台
- 每台价格：20+万人民币
- 测量周期：每天得到一个经过矫正的环保局认证数据；可以实时测量，但实时数据需要矫正，没有得到环保局认证；

可吸入颗粒仪器介绍

beta测量仪厂商：MetOne

- 美国大使馆测量所用仪器:MetOne , BAM1020
- 拥有EPA(美国环保局)等多项机构认证
- 价格：
 - 官网上没有具体价格介绍，指示说与技术人员联系以后确定；
 - 国内代理商报价：面议
 - world air quality index网站：（13年数据）12万CNY，中国约500台；
- 产品介绍网站：http://www.metone.com/docs/bam1020_datasheet.pdf

非专业级别可吸入颗粒物测量仪（前五种数据基于WAQI网站）

1. Delos DC1100 Pro, with PC interface (WAQI推荐)

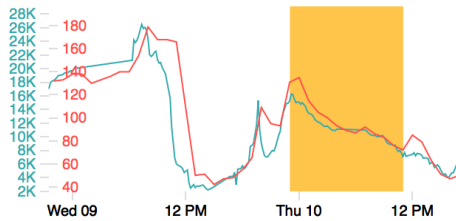
- 网站：<http://www.dylosproducts.com/dcproairqumo.html>
- 价格：\$310

- 原理：光散射粒子计数。光持续发射，粒子流通过，根据粒子的不同大小散射波不同，从而判断粒子大小并计数。同时测量pm2.5和pm10。

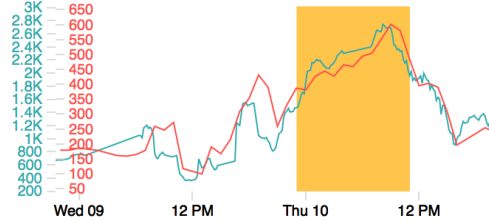
(参考文章：<http://aqicn.org/air/doc/a-low-cost-instrument-for-environmental-particulate-analysis-based-on-optical-scattering.pdf>)

- 准确度

Dylos $\geq 0.5\mu$ and BAM PM_{2.5}: Dylos - BAM



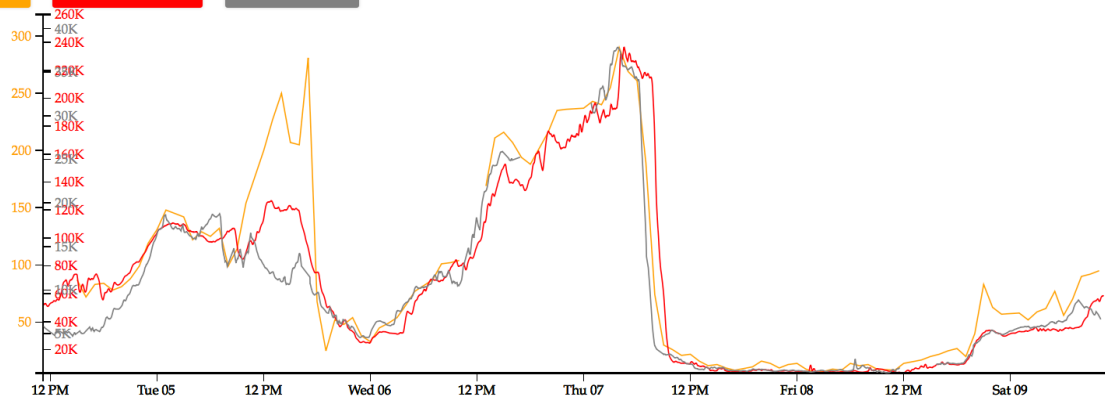
Dylos $\geq 2.5\mu$ and BAM PM₁₀: Dylos - BAM



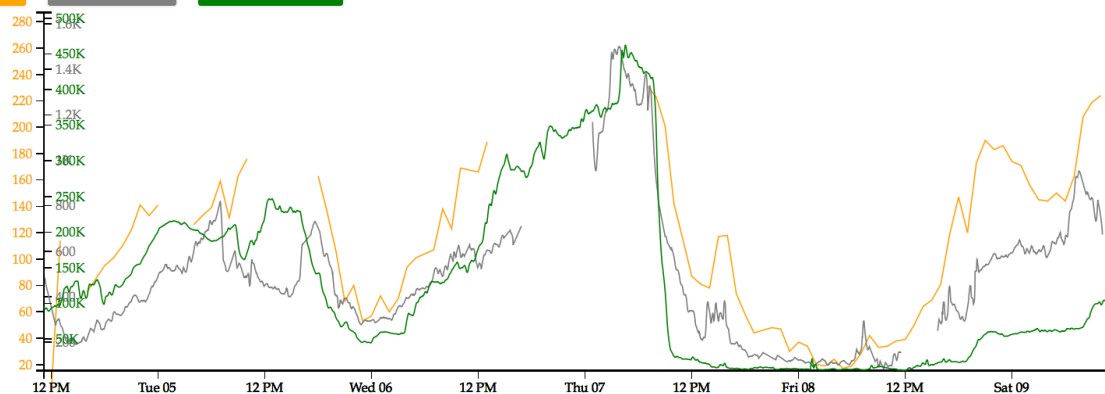
2. 诺方电子激光pm2.5传感器 (SDS011)

- 网站：<http://inovafitness.com/en/Laser-PM2-5-Sensor-SDS011-35.html>
- 价格：150CN¥
- 原理：光散射粒子计数。
- 大小：71mm*70mm*23mm
- 准确度比较：

BAM PM_{2.5} - SDS011 PM_{2.5} - Dylos PM_{2.5}



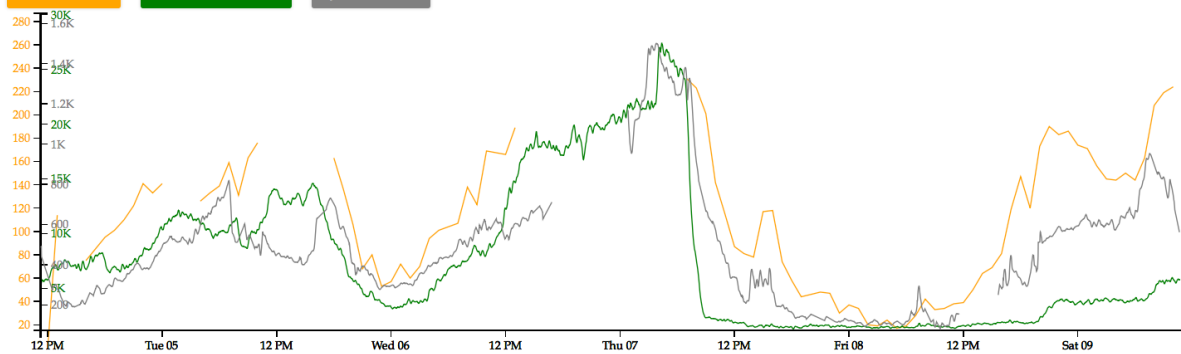
BAM PM₁₀ - Dylos PM₁₀ - SDS011 PM₁₀



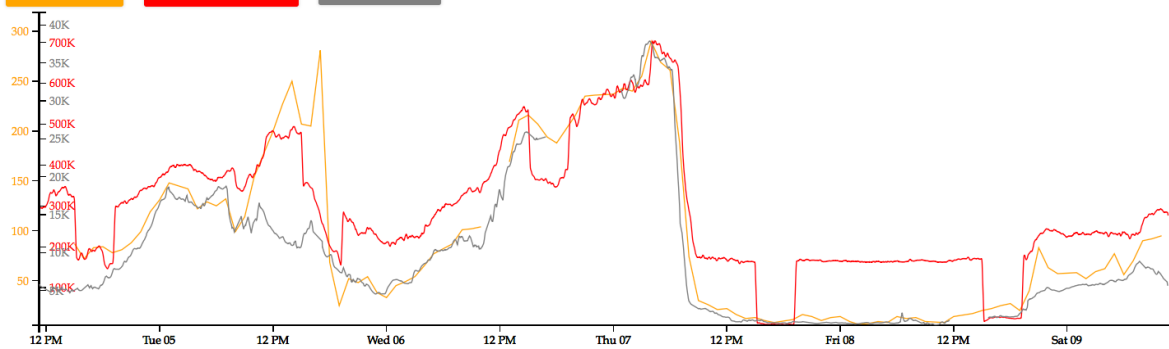
3. PMS 1003 (攀藤)

- 网站: <http://www.plantower.com>
- 原理: 光散射粒子计数。
- 价格: 115CN¥
- 大小: 65*42*23mm
- 准确度比较:

BAM PM10 - PMS1003 PM10 - Dylos PM10



BAM PM2.5 - PMS1003 PM2.5 - Dylos PM2.5



4. 其他的low-cost sensors (低于50CN¥)

- 原理对比: dylos通过计数然后分类 (见上文的原理), low-cost sensor(如日本的Shinyei和韩国的Samyoung)通过计算粒子被探测器探测到的时间
- 缺点: 有时pm2.5相关性大, 有时pm10相关性大, 不方便进行数据矫正并且计算AQI.

5. 海尔空气盒子（2014年8月实验最后更新）

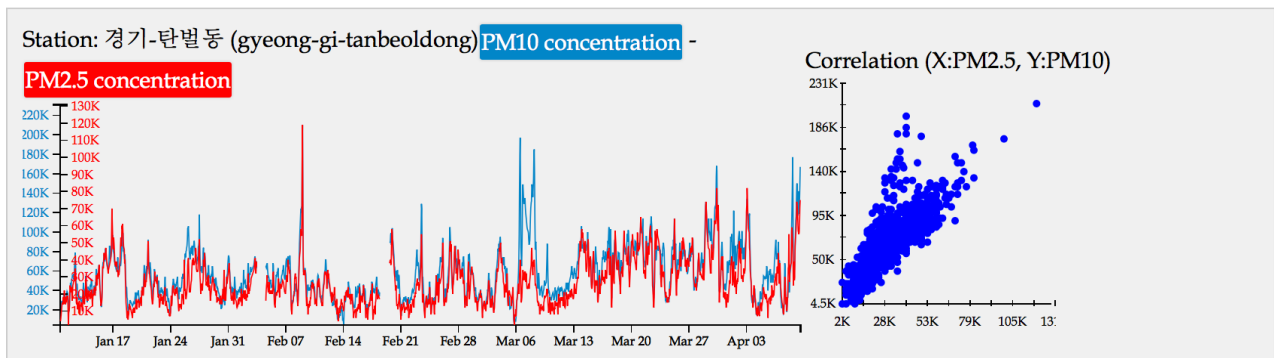
- 感应器很弱，不能感应微小变化，无法提供实时数据变化图
- 起感应作用的硬件成本低
- 价格：299 CN¥

6. 苏净仪器公司：（我已在官网填写询价说明，等待他们工作人员联系）

- SJPM-1025大气颗粒物浓度监测
 - 原理：beta射线法
 - 监测粒子：pm2.5, pm10
 - 采样记录周期：10-9999min
 - 价格：待询
- Y09-PM10手持式
 - 原理：光散射颗粒计数法
 - 监测粒子：pm1.0, pm2.5, pm10.0
 - 检测周期：0-999999s
 - 价格：待询
- Y09-PM台式
 - 原理：光散射颗粒计数法
 - 监测粒子：pm1.0 pm2.5 pm10
 - 检测周期：0-999999s
 - 价格：待询
- SJPM-HD01
 - 原理：光散射颗粒计数法
 - 检测粒子：>= 0.5um
 - 价格：待询

pm10和pm2.5之间的关系：

- 我国pm10早已纳入空气质量监测体系，而pm2.5是在2016年才实施强制标准
- 韩国在2014年7月时仍只有首尔才有pm2.5的监测数据
- pm10和pm2.5的数据呈现强相关性
- 韩国政府公布数据



注意pm2.5和pm10的纵坐标不同

个人想法

- 如果要查看各种非专业可吸入粒子测量器与专业测量器之间的关系，可与WAQI组织合作，他们有对应的专业仪器和非专业仪器，也有多个非专业测量器实验对比的历史数据，我们可从数学专业角度给出相关分析；
- 考虑监测仪准确度时，可从以下几个方面衡量：
 - 监测仪是否准确，不准确差多少？绝对误差与相对误差；
 - 若不准确，相差量是否与当前测量值有关？
 - 若不准确，两个时间点测量值的绝对差值是否准确？（即不关心基数，只用于测试空气净化器的有效程度）
- 通过调查可以发现，公认的专业测量器较贵，非专业测量器数据不可靠；再没有获得非专业测量器与专业测量器的数据转换关系时，不建议购买器材自行测量获取数据；
- 如果需要测量某点雾霾数据，则公认的两种自动测量的方法（beta射线法、微量天平法）仪器较贵，并且即使购买，也需要专业人员进行校正仪器测量；如果从相关公司租用设备测量，则北京偏远地点的数据，一个点一年保守估计需要十万人民币（场地租用、设备租用、空调、电费、专业人员测量等）；（咨询的北京大学环境科学学院的老师不建议我们自行测量点的雾霾值获取数据，因为成本较大。并且，他们认为北京30+的点已经足够还原出雾霾的数值场）
- 建议大家看WAQI组织的网页（<http://aqicn.org/>），内容很不错，数据来源于各国环保局，也包含各种科普知识和实验数据。但缺点是：
 - 中文翻译较少，难以在中国百姓之间普及；
 - 由于没有官方资金支持来源，现靠广告获取资金，部分内容有广告嫌疑（如对dylos的大加肯定），页面也含有广告，使得内容可信度下降。

附录

美国AQI标准与中国AQI标准对比

中美PM2.5日均浓度对应的指数等级				
PM2.5值数	日均浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		空气质量等级	
	中国	美国	中国	美国
0-50	0-35	0-12	一级 (优)	好
50-100	35-75	12-35	二级 (良)	中等
100-150	75-115	35-55	三级 (轻度污染)	对敏感人群不健康
150-200	115-150	55-150	四级 (中度污染)	不健康
200-300	150-250	150-250	五级 (重度污染)	非常不健康
300-500	250-500	250-500	六级 (严重污染)	有毒害

中国AQI分指数及对应的污染物项目浓度限值

表 1 空气质量分指数及对应的污染物项目浓度限值

空气质量 分指数 (IAQI)	污染物项目浓度限值									
	二氧化硫 (SO ₂) 24 小时 平均/ (μg/m ³)	二氧化硫 (SO ₂) 1 小时 平均/ (μg/m ³) ⁽¹⁾	二氧化氮 (NO ₂) 24 小时 平均/ (μg/m ³)	二氧化氮 (NO ₂) 1 小时 平均/ (μg/m ³) ⁽¹⁾	颗粒物 (粒径小 于等于 10μm) 24 小时 平均/ (μg/m ³)	一氧化碳 (CO) 24 小时 平均/ (mg/m ³)	一氧化碳 (CO) 1 小时 平均/ (mg/m ³) ⁽¹⁾	臭氧 (O ₃) 1 小时 平均/ (μg/m ³)	臭氧 (O ₃) 8 小时滑 动平均/ (μg/m ³)	颗粒物 (粒径小 于等于 2.5μm) 24 小时 平均/ (μg/m ³)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	50	150	40	100	50	2	5	160	100	35
100	150	500	80	200	150	4	10	200	160	75
150	475	650	180	700	250	14	35	300	215	115
200	800	800	280	1 200	350	24	60	400	265	150
300	1 600	⁽²⁾	565	2 340	420	36	90	800	800	250
400	2 100	⁽²⁾	750	3 090	500	48	120	1 000	⁽³⁾	350
500	2 620	⁽²⁾	940	3 840	600	60	150	1 200	⁽³⁾	500
说明:	⁽¹⁾ 二氧化硫 (SO ₂)、二氧化氮 (NO ₂) 和一氧化碳 (CO) 的 1 小时平均浓度限值仅用于实时报, 在日报中需使用相应污染物的 24 小时平均浓度限值。 ⁽²⁾ 二氧化硫 (SO ₂) 1 小时平均浓度值高于 800 μg/m ³ 的, 不再进行其空气质量分指数计算, 二氧化硫 (SO ₂) 空气质量分指数按 24 小时平均浓度计算的分指数报告。 ⁽³⁾ 臭氧 (O ₃) 8 小时平均浓度值高于 800 μg/m ³ 的, 不再进行其空气质量分指数计算, 臭氧 (O ₃) 空气质量分指数按 1 小时平均浓度计算的分指数报告。									

中国规定采样点设置 (一般情况下): (环境空气质量监测规范 (试行))

- (1) 手工采样1.5-15m
- (2) 自动监测3-15m
- (3) 道路交通污染监控点: 2-5m