

# 利用Fluke 983粒子计数器评估室内空气质量

应用文章

## 概述

在过去的几年中，室内空气质量（IAQ）已经成为被大肆宣扬且争议颇多的一个话题，尤其是对于大众健康方面的影响。据美国环保署估计，我们大约有90%的时间位于室内。而更进一步的表明，在一些商业环境中，室内空气的被污染程度要超出室外空气多达5倍。

空气中的悬浮粒子存在于各种形式，从动物的皮屑、植物的花粉和空浮细菌，到玻璃纤维、石棉和燃烧颗粒物。在静止不动的情况下，一个人每分钟会脱落多达500,000个皮脂颗粒（ $\geq 0.3\mu\text{m}$ ）；在活动状态下，则可以达到每分钟45,000,000个皮脂颗粒。湿度和温度对于这些污染物质的产生率影响非常大。为了正确地识别和诊断IAQ问题，技术员所需的工具不仅要能够读取粒子浓度，而且还要能够洞察引起污染物质增长的环境条件。

## 粒子计数器为什么如此重要

根据对健康和舒适度（例如住宅、办公室、喷漆间）或污染（例如医院、食品和饮料车间、无尘室）的影响，不同的场所具有不同的可接受颗粒物浓度。浓度太高会导致病态建筑综合症（SBS）、生产力低下、产品受到污染等，或以上所有的后果。

将空气质量维持在可接受的水平，不仅能够减少停工带来的费用，而且还会减少或消除将来昂贵的维修费用。建立室内空气质量（IAQ）维护的维护程序第一步就是要首先确定当前是否存在问题。



## 空气质量（IAQ）的监测

室内空气质量的监测是进行维护程序或对于与空气质量问题潜在相关的投诉作出反应的第一步。在两种情况下，方法都是相类似的。

1. 向现场的可靠人员了解情况。谁进行了投诉？症状是什么？出现投诉的人员是集中于某一个中心

还是分散于整个现场？调查的目的是根据过敏反应或刺激所显现的症状评估毒性的级别。

- 调查建筑物的历史。建筑物是什么时候建造和/或改造的？是否曾经损伤过，以及采取了什么补救措施？现场的维护情况如何？例如，房顶或管道渗漏可能经过修理，但是随后的由于水造成的建筑物损伤并没有被发现。
- 进行实际的检查。技术员要通过考虑有害的粒子源，来充分了解其测试环境。在给定的场所，必需考虑到包括排气孔、熔炉、清洁设备的区域，以及具有新刷的油漆和/或新铺的地毯的区域，尤其是在有人投诉的区域更是如此。是否散发有气味或可见的粒子源（例如霉菌）？
- 进行空气质量测量。在进行完整的室内空气质量监测时，也要测量温度、湿度、一氧化碳（CO）和二氧化碳（CO<sub>2</sub>），以识别出由于通风不良和/或流通空气受到污染，而导致的污染颗粒物问题。例如，温度和湿度读数在识别霉菌和细菌中扮演着关键的角色。如果某个区域的相对湿度较高，并且3.0 μm或更大的粒子的浓度较高，则很有可能是出现了霉菌孢子，一旦识别出这种现象，则应该采取补救措施。

评估室内空气质量的最有效办法是将几个室外空气的读数做为基线，要留意抽取读数的位置和室内现场的关系。应该至少从建筑物的新风通风口抽取一个读数。但是要注意，通风口的位置要确保基线读数不受污染源的影响。例如，选取靠近装卸货区的位置。室内空气中的颗粒“指标”是利用室内过滤的效率修正基线读数而计算得到的。

污染物颗粒会非常快地在周围环境空气中进行扩散，使得难以识别出污

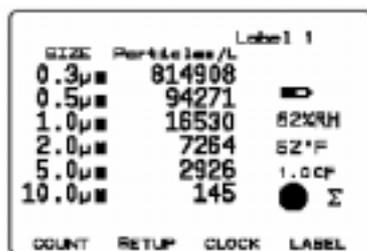
染源。一个方法是读取多个室内读数，首先从出现投诉的区域开始，然后向外移动。在收集了数据之后，要留意污染物颗粒的数量和大小的所有非正常增长。利用Fluke 983集成的温度和湿度传感器，根据公认的参数（参见ASHRAE标准55和62）测量温度和相对湿度。将粒子读数和室外读数基线进行比较，即可获知颗粒物浓度的相对严重程度，并识别出可能会有助于找到污染源的热点和路径。继续跟踪较高浓度的路径，直到识别出污染源。在根治了污染源之后，要重新评估该区域，以确保采取了正确的措施解决了问题。

进行这样的测量往往需要使用多个工具，但是，Fluke 983包括有温度和湿度传感器，具有6个通道的粒子显示。利用该工具，技术员可进行基本的IAQ测量，并采取相应的步骤解决问题。

### 数据的解释

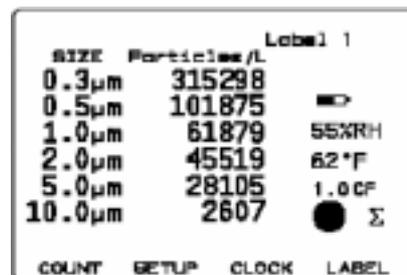
要正确的解释数据就需要理解测试区域。是住宅区还是商业区？场所是暴露于油烟还是动物？该区域位置或其附近是否有建筑物？正确的评估环境能够缩小问题颗粒的范围。

相对其它变量一样，设施的规模和类型对浓度极限的影响非常大。但是，高水平的评估基准都能够为判断在问题是否存在指出方向。以下的室外空气读数可为技术人员提供高级别的参考点：



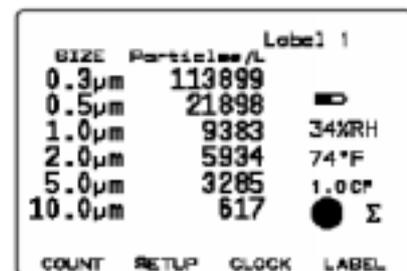
图A。

**情景1：**在图B中所显示的颗粒物浓度来自于一个新住宅（<5年），没有显示出任何超出正常范围的颗粒物浓度。在住宅环境中，由于存在更多的潜在污染源（例如宠物的皮屑），扩散空间更小以及过滤措施不是特别完善，所以特定的颗粒物浓度有时会高于室外的读数。



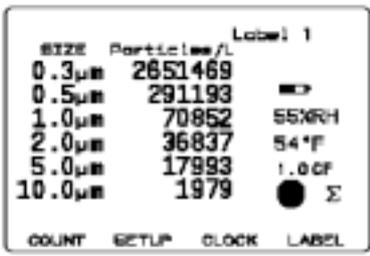
图B。

**情景2：**图C中所示的颗粒物浓度代表了一般的办公场所，并没有显示出任何超出正常值范围的浓度。在商业环境中，由于过滤措施更好，且和室外空气的流通更好，所以颗粒物浓度应该明显低于室外的读数。



图C。

**情景3：**图D中所示的颗粒物浓度读数来自于具有可见霉菌的老住宅。读数明显偏高，应该采取措施清除霉菌，并解决问题的根源。



图D

**情景4：**如果情景3中的污染源是不可见的，则可以利用图E所示的颗粒尺寸表来识别可能的污染源。可以抽取污染物颗粒的样本，到实验室进行更进一步的分析。

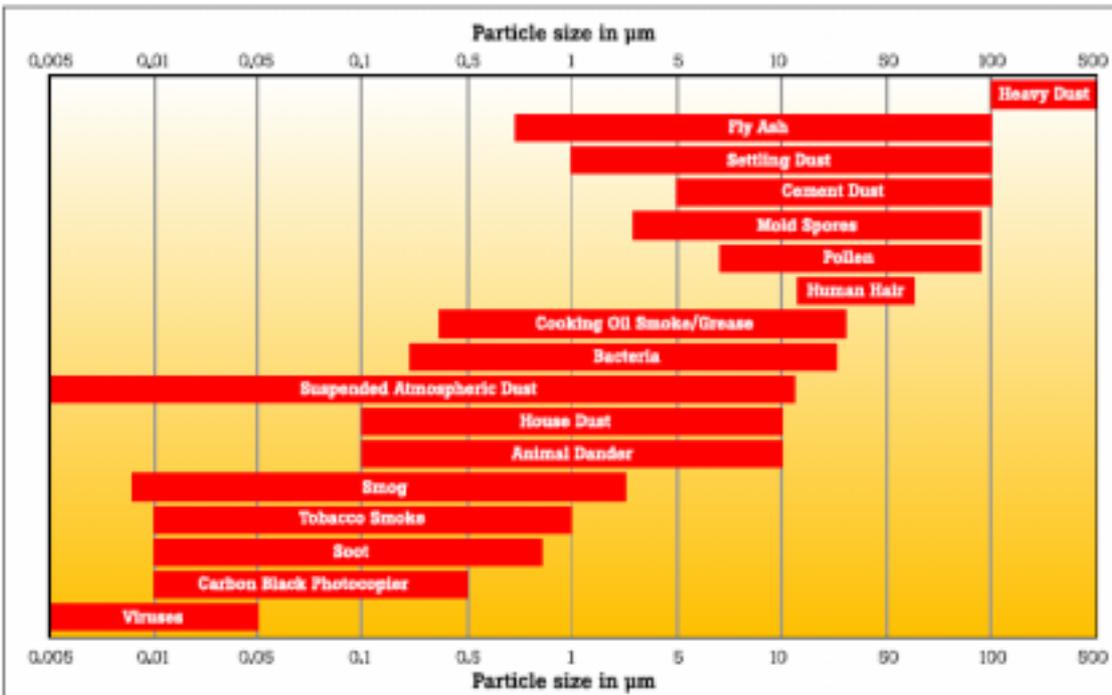
### 无尘室的测量练习

无尘室是粒子计数器非常好的应用场所。为便于说明，我们用Fluke 983进行测试，来评估ISO Class 5（按照ISO 14644-1:1999标准）无尘室。为了取得Class 5无尘室的资格，特定大小颗粒物的浓度不得超过下表规定的极限：

ISO分类	颗粒物极限					
	0.1 µm	0.2 µm	0.3 µm	0.5 µm	1.0 µm	5.0 µm
	m <sup>3</sup>					
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1000	237	102	35	8	
4	10000	2370	1020	352	83	
5	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7				352000	83200	2930
8				3520000	832000	29300
9				35200000	8320000	293000

我们的测试涉及到房间内0.3 µm 颗粒的浓度。从无尘室的6个不同位置抽取几个2升的样本，获得如下结果：

位置 (L)	浓度 (C)						平均浓度 (AC <sub>i</sub> )
	1	2	3	4	5	6	
A	750	560	655	730			674
B	1575	1250	750	950	1100	1300	1154
C	1300	850	980	1125	1350	975	1097
D	1150	775	450	825	845	1000	841
E	825	855	730	940	695	925	828
F	1700	1585	1135	900	1725	1210	1376



图E.

## 粒子计数器的功能

粒子计数器的使用是比较简单的。但是，理解计数器的功能有时候稍微困难点儿。以下的术语被用来描述光学式粒子计数器（OPC）的准确度、效率和其它属性。

**计数模式（Count Mode）：**计数模式定义了粒子计数器如何显示数据。浓度和合计是两种典型的计数模式，而Fluke 983还增加一种音频模式。在浓度模式下，计数器采样少量的空气，然后基于体积设置（ $\text{cm}^3$ 或 $\text{ft}^3$ ）计算结果值；在合计模式下，用户可以查看颗粒积聚过程中的颗粒数量，直到采样结束；在查找浓度超过预定义参数的区域时，音频模式是非常有用的。一旦超过预设的浓度值，计数器就会发出音频信号通知用户。

**零计数（Zero Count）：**零计数是对粒子计数器准确度的一种测量方法，应该在使用之前进行，并在以后定期进行，或者在怀疑有采样误差时执行。按照制造商的说明，将零计数过滤器安装到粒子计数器，然后将计数器运行15分钟。在5分钟的周期内，计数器应该不会检测到多于1个大于 $0.3\ \mu\text{m}$ 的颗粒。

**符合误差：**如果两个粒子同时穿过了计数器的光束，产生了一个脉冲，并导致计数器仅计算了一个颗粒，即发生了符合误差。当样本内的颗粒浓度增大时，就常常会发生这种类型的误差。根据FED-STD-209标准，符合误差必需低于10%。

**计数效率：**计数器感测并计算通过样本量的一个粒子的概率。计数效率是粒子大小的一个函数，粒子的大小可达到最小的灵敏度门限，高于该门限时，所有的粒子都将被感测并计数。一般认为在最高灵敏度门限下，50%的计数效率是比较理想的，利于OPC和更高分辨率的设备的计数的一致性。

**灵敏度：**设备在特定的计数效率下检测微粒大小的能力。Fluke 983在50%的计数效率下可以检测到 $0.3\ \mu\text{m}$ 的微粒。

**分辨率：**设备检测颗粒大小微小差别的能力。传感器分辨率会受到样本中光源的一致性、流速的变化和光系统的质量的影响。未对准的传感器或有故障的激光二极管都会造成分辨率较差。

**校准：**为了确定通过设备获得的测量值和标准中定义的相应参数的关系而采取的一系列操作或措施。Fluke 983是利用PSL（聚苯乙烯胶乳）乳珠进行校准的，由于其尺寸的一致性和光折射属性较好，所以被广泛使用。

**NIST可溯源性：**溯源性是测量方法或标准及其和规定的参考的关系的属性，参考通常为国家或国际标准。Fluke 983 校准过程中使用的PSL乳珠可溯源至NIST（美国标准和技术研究院）标准。

每一个个体读数都位于无尘室的限制范围之内，但是，我们可以采取以下的步骤来测定读数的统计真实性：

**步骤1：计算颗粒浓度的平均值**

$$M = (AC_1 + AC_2 + AC_3 + AC_4 + AC_5 + AC_6) / L$$

$$995 = (674 + 1154 + 1097 + 841 + 828 + 1376) / 6$$

**步骤2：计算标准偏差**

$$SD = (\sqrt{(AC_1 - M)^2 + \dots + (AC_6 - M)^2}) / (L - 1)$$

$$116 = (\sqrt{(674 - 995)^2 + (1154 - 995)^2 + (1097 - 995)^2 + (841 - 995)^2 + (828 - 995)^2 + (1376 - 995)^2}) / (6 - 1)$$

**步骤3：计算标准误差**

$$SE = SD / (\sqrt{L})$$

$$47.36 = 116 / (\sqrt{6})$$

**步骤4：确立置信上限（UCL）**

#位置编号	95%置信度的置信上限（UCL）因子								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9+
95% UCL	6.31	2.92	2.35	2.13	2.02	1.94	1.9	1.86	NA

$$UCL = \text{平均值} + (\text{UCL因子} \times \text{标准差})$$

$$1,087 = 995 + (1.94 \times 47.36)$$

所得到的所有位置的平均计数值在5类无尘室的要求范围之内。

Fluke 983在一个显示屏上提供了6个通道的粒子数据，使得技术人员可以方便地查看所有的读数。尽管在无尘室的练习中针对的是 $0.3\ \mu\text{m}$ 的微粒，单个显示也会立即提示用户注意其它尺寸的粒子浓度的异常现象。

## 透视中的粒子计数

成功测量室内空气质量（IAQ）的关键是将环境作为一个整体。位置、建筑物的历史、现象和类似于温度和湿度等可测因素都在显现的IAQ问题中扮演着重要的角色。在使用粒子计数器时，要清楚粒子的污染源可能仅仅是一种现象，在表面现象之下有更大的问题。污染源的补救可能并不能解决过滤、通风不良或过于潮湿等核心问题。如果置之不理，这些条件还会引起相同的现象或者更糟。Fluke 983是一款功能强大、坚固耐用、易于使用的工具，可以帮助技术人员识别污染颗粒物问题，并验证解决根本原因的措施。