

超细微粒对人体健康及室内空气品质的影响

上海金山规划建筑设计研究院 倪凌 同济大学楼宇设备工程与管理系 潘毅群

文摘 介绍超细微粒的污染源、特性及其对人体健康的影响,分析在评价室内空气品质时测量超细微粒的必要性。

关键词 超细微粒 室内空气品质

Abstract Introduce the sources and characteristics of ultrafine particles (UFP) and their impact on human being's health. Analyze the necessity of measuring UFP while doing indoor air quality (IAQ) evaluation.

Key words Ultrafine particles (UFP) Indoor air quality (IAQ)

1 引言

空气中存在着大量的悬浮微粒,悬浮微粒径大小范围不同,在呼吸道内滞留的部位不同,对人体的伤害也不同。空气当量直径 $\leq 10\mu\text{m}$ 的微粒,称为可吸入微粒(Inhalable Particles),简称IP或 PM_{10} 。大于 $5\mu\text{m}$ 的微粒易被呼吸道所阻留,部分由咳嗽、吐痰等排出体外,但对局部粘膜产生刺激作用,可引起慢性鼻炎、咽炎;而小于 $5\mu\text{m}$ 的微粒可进入肺部直接使人致病,特别是 $0.01\mu\text{m}$ (10nm)到 $0.1\mu\text{m}$ (100nm)粒径的微粒有百分之五十会沉积在肺中造成肺部硬化。可见粒径越小的微粒在呼吸道内沉附率越高。粒径小于 $0.1\mu\text{m}$ (100nm)的微粒称为“超细微粒”,因其对人体健康造成很大的威胁,超细微粒近年来在世界上成为IAQ研究领域的新热点。

2 产生超细微粒的污染源

超细微粒现在被越来越多地应用于工业和高科技行业(纳米技术),燃料在燃烧过程中也会产生超细微粒。在室外大气环境中,柴油发动机是产生超细微粒的主要污染源。另外,室内某些污染源在释放挥发性有机化合物(VOC)的同时也会散发超细微粒。

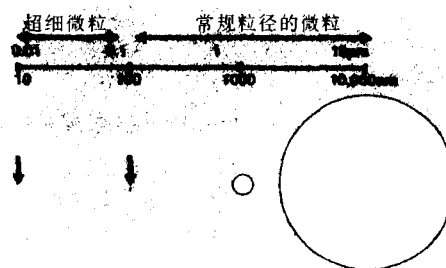


图1 常规粒径的微粒与超细微粒的尺寸对比

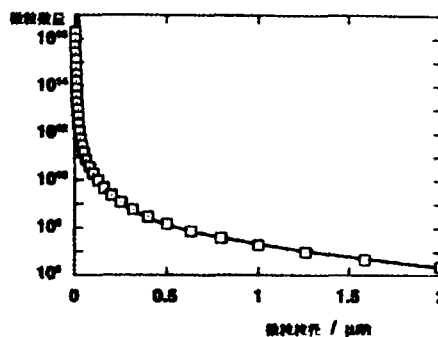


图2 当质量浓度为 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时每毫升空气中不同粒径微粒的个数示意图

3 超细微粒的特性

从图1所示的常规微粒与超细微粒的尺寸对比可以看出,它们之间的差距是非常大的。而从图2可以

看出, 当质量浓度一定时, 微粒的粒径越小, 微粒的个数越多, 尤其是超细微粒 ($<0.1\mu\text{m}$) 的个数有非常显著的增加。由此可见, 与常规粒径的微粒相比, 超细微粒具有粒径小、数量多的特点。

4 超细微粒对人体健康的影响

我们知道, 人的肺是由支气管和肺泡构成的, 而肺的特殊构造对非超细微粒具有很好的清除作用。如图 3 所示, 支气管表面有一层薄薄的粘液和纤毛, 这些粘液和纤毛能够捕捉微粒, 在肺泡中运动着的巨噬细胞也会吞噬没有被粘液或纤毛捕捉到的微粒。吞噬了微粒的巨噬细胞移动到支气管中, 与被粘液和纤毛捕捉到的微粒一起, 通过人的咳嗽、吐痰排出体外。这种清除作用可以防止非超细微粒 (有害微粒如石英、石棉等除外) 对人体的危害。

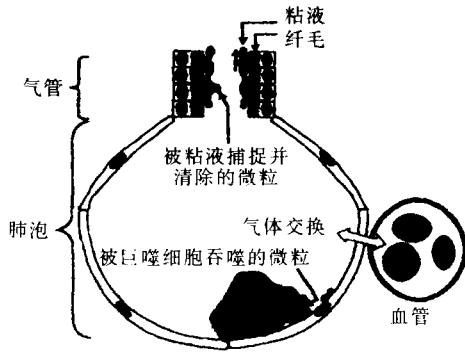


图 3 人体肺部清除微粒的机理示意图

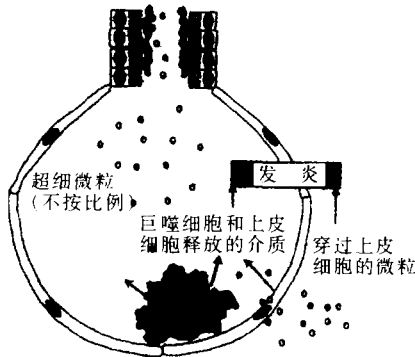


图 4 吸入大量超细微粒的人体肺部因清除微粒的机理失效而发炎

然而, 人肺对超细微粒却显得有些无能为力。超细微粒具有粒径小、数量多的特点, 相同质量的超细微粒的数量比非超细微粒大得多。大量的超细微粒

进入肺泡之后, 巨噬细胞似乎无法像吞噬大的微粒那样有效地吞噬超细微粒, 而且吞噬数量如此之多的超细微粒对巨噬细胞来说也实在非常困难。另外, 相同质量的超细微粒的表面积也比非超细微粒要大得多, 而这些超细微粒的表面所产生的有害的氧化剂也会阻碍巨噬细胞的噬菌作用, 使很多超细微粒游离于肺泡中, 损害其他细胞。大量地吞噬超细微粒还会刺激巨噬细胞使之产生有害的氧化剂和介质, 从而使肺部发炎。超细微粒和巨噬细胞分泌的有害氧化剂和介质会损伤附近的上皮细胞 (如图 4 所示), 而这些上皮细胞是防止微粒和细菌进入脆弱的内部组织的屏障。上皮细胞遭到损伤之后, 超细微粒就会进入内部组织, 并继续产生有害的氧化剂和刺激周围细胞分泌介质, 从而造成越来越严重的危害。超细微粒的这种作用会加重某些呼吸道疾病, 如支气管炎和哮喘。

越来越多的研究报告表明, 空气中可吸入微粒 PM_{10} 的增加会引起支气管炎和哮喘病例的增加。Whitby (1978) 测量了大气中颗粒物的数量浓度、表面积浓度和体积浓度的粒度谱, 如图 5 可知, 大气颗粒物数

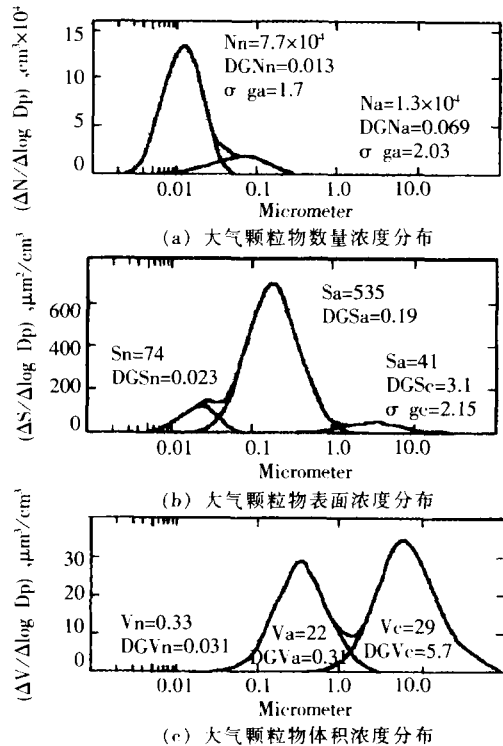


图 5 大气颗粒物的典型粒度分布

量浓度的峰值出现在 $0.01\mu\text{m}$ 左右, 表面积浓度的峰值出现在 $0.1\mu\text{m}$ 与 $1.0\mu\text{m}$ 之间, 体积浓度的峰值出现在 $0.1\mu\text{m}$ 与 $10\mu\text{m}$ 之间。这说明粒径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的超细微粒在数量浓度上占有绝对优势, 而相比而言粒径大于 $0.1\mu\text{m}$ 的非超细微粒的数量浓度则是非常小的; $0.1\mu\text{m}$ 与 $1.0\mu\text{m}$ 之间的非超细微粒的表面积浓度占绝对优势; $0.1\mu\text{m}$ 与 $1.0\mu\text{m}$ 之间的非超细微粒的体积浓度占绝大多数(因颗粒物的质量浓度曲线与体积浓度分布曲线非常接近, 而超细微粒的质量浓度非常小, 因此体积浓度也非常小) 这些数量和表面积占绝对优势的超细微粒使得可吸入微粒 PM_{10} 对人体的危害性增加。

最近又有研究发现, 超细微粒不仅能引起和加重呼吸道疾病, 还有可能引起血栓, 从而导致心脏病发作。虽然现在尚不能确定超细微粒与这些疾病之间的必然联系, 但大量的研究表明它们之间可能有一种因果关系。

由以上的分析可知, 超细微粒对人体的危害比非超细微粒要大得多。

5 超细微粒与室内空气品质

现代人在室内的时间约占全天时间的 80%~90%, 远远超过在室外的时间, 因此, 室内空气品质对人体健康的影响非常大, 室内空气污染对人体的危害也比室外空气污染大。室内空气污染可能引起“病态建筑综合症(SBS)”、“建筑并发症(BRI)”和“多种化学物质过敏症(MCS)”等。室内污染物是多因子、低浓度、多途径、长时间地作用于人体, 而其中只有很少一部分为人们所了解。评价室内空气品质的好坏可以采用客观评价(直接测量各项室内污染物指标)与主观评价(利用人的感觉进行描述和批判)相结合的方法。在进行客观评价时, 我们往往选择具有代表性、长期存在、稳定、容易测到、测试成本低廉的污染物作为评价指标, 例如: 二氧化碳、一氧化碳、可吸入微粒、二氧化硫、氮氧化物、甲醛、菌落数等。但是我们在实际的测试工作中, 往往发现客观评价与主观评价出现矛盾甚至相反的结果, 即虽然室内各种被测污染物浓度均低于标准, 人们对室内空气品质的反映

却不好。追究其原因, 可能是因为人的感觉比仪器更灵敏; 也可能是多种低浓度的污染物长时间地作用于人体, 使人感觉不适; 还有可能是某些我们不可了解或忽略了的污染物所造成的。超细微粒就很有可能是这样一种污染物。室内有很多产生超细微粒的污染源, 室外的超细微粒也能通过围护结构和新风进入室内, 而超细微粒对人体健康的威胁又很大, 因此, 对超细微粒的测量就显得相当重要了。

现在美国国家环境空气质量标准(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)将一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO_2)、臭氧(O_3)、铅(Pb)、可吸入微粒(PM_{10})和 $\text{PM}_{2.5}$ (空气当量直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的微粒)作为评价室外空气品质的指标。而在1987年以前, NAAQS仅对总悬浮颗粒物(TSP)作规定。1987年以后, 将TSP换为对人体健康影响较大的 PM_{10} , 后来, 又加入对人体健康影响更大的 $\text{PM}_{2.5}$ 。我国的城市空气质量预报原来也是将TSP、二氧化硫、二氧化氮作为三个预报指标, 现在已经TSP换成可吸入微粒 PM_{10} 。这些都表明, 空气品质的主要评价指标之一的颗粒物指标呈现出一种粒径趋小的趋势。目前, 国外先进国家对超细微粒越来越重视, 相关的研究工作也正在开展。例如, 英国伯明翰大学环境健康与危险管理系正在对英国的五个城市的超细微粒浓度进行监测。美国环保署EPA授权罗切斯特大学医药与牙科学院作为EPA颗粒物研究中心, 重点研究超细微粒对人体健康的影响。

对于室内空气品质也是同样, 仅仅测量 PM_{10} 是不够的, 还需要测量 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 甚至超细微粒。现在国外已有一些专家提出将超细微粒作为室内空气品质评价的又一项新指标。

6 总结

超细微粒($<0.1\mu\text{m}$)具有粒径小、数量多的特点, 对人体健康造成很大的威胁。因室内的燃气灶、锅炉、打印机、复印机等都是产生超细微粒的污染源, 室外大气中的超细微粒也可能进入室内。当前对某些IAQ问题用传统的测试方法无法解决时, 不妨测量一下超细微粒的数量浓度, 也许能够找到其原因所在。(下转第31页)

压,使样品中的气泡变小消除计入气泡的可能性,然后测量其中的不溶性微粒子。测量粒径在10-20 μm 范围内,此时粒子及液体的反射率对测量精度影响不大,光障碍式粒子计数器测量时非常稳定。然而现在,要求控制粒子粒径越来越小。如果注射液由蒸馏液转变为超纯水,要控制亚微米级粒子,则光障碍式粒子计数器不能满足测量精度要求。

光散射式粒子计数器广泛应用于半导体工业及其它电子工业中超纯去离子水中粒子测量,超纯化学试剂(如氟氟酸,显影液)中粒子测量。大部分最小探测粒子粒径在0.1-0.5 μm 之间。随着半导体工业的快速发展,新建的半导体工业超纯水中粒子控制在0.05 μm 。

对于不同用户,应在了解计数器的性能并确定它们的用途以后选择合适的液体粒子计数器。

5 液体粒子计数器的校正

液体粒子计数器是国家规定校准的计量器具,需要由标准物质进行校准。校准的主要内容包括:粒径测量准确度、粒径分辨力、采样量准确度。一般应用超纯水中悬浮聚苯乙烯球状粒子(PSL粒子)来校准粒径准确度和粒径分辨力,用标准流量计来校验采样量。各个国家,多个制造商的校正方法各异。我国还没有国家标准关于液体粒子计数器的校准。但是参照国外标准,可按以下方法对液体粒子计数器进行校准。

.....

(上接第45页)

参考文献

- 1 沈晋明,室内空气品质的评价,《暖通空调》,1997年27卷第4期。
- 2 沈晋明,创造舒适的室内环境,《暖通空调》,1997年27卷第1期。
- 3 Vicki Stone and Ken Donaldson, Small Particles-Big Problem, The Aerosol Society Newsletter 33, p12-14, September 19.

(1)使用标准物质:PSL(聚苯乙烯乳胶球)标准粒子标定粒子计数器,此标准粒子具有单分散性的粒径分布。PSL粒子粒径的大小很接近粒子计数器的设定粒径。PSL粒子的阈值电压可以由反应信号的电脉冲峰值分布中估计出,然后可计算出设定粒径的阈值电压。这种方法操作较麻烦。

(2)另一种校准方法是校准计数器内置波高分析器电路中的阈值电压值,使当测量某种浓度的PSL悬浮液时,计数值也显示一定的浓度。一般用一台标准粒子计数器来确定样本PSL粒子浓度。用这种方法校准的粒子计数器不能确定粒径的分辨力:如果多台粒子计数器采用这种方法校准,则可能出现多台粒子计数器测量同一真实样本测量数据会出现重大的不同。因此,粒子计数器下限尺寸的校准方法是很重要的。

参考文献

- 1 Shigeru Arashiki Detection Principle and Performance of the Liquid-Borne Particle Counter RION TECHNICAL NOTE 616,Oct 1999.
- 2 Light Scattering Automatic Particle Counter for Liquid JIS B 9925-1989.
- 3 Standard Practice for Defining Size Calibration Resolution, and Counting Accuracy of Liquidborne Particle Counters Using Near Monodisperse Spherical Particulate Materials ASTM F65887 (1992). □

4 P. Nelson, P.Keady, T.Halvorsen, A New Method for Tracking Indoor Air Pollution Sources, Asia-Pacific Conference on the Building Environment, 1999.

5 Whitby, K. T, The Physical Characteristics of Sulfur Aerosols, Atmospheric Environment, vol. 12. p.135-139, 1978

6 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS), EPA Office of Air Quality Planning and Standards.

7 潘毅群、龙惟定、范存养,上海七幢办公楼室内环境品质评价,《暖通空调》,待发表。 □