

工作场所空气中总粉尘浓度测定的误差分析

崔凯, 常继兵, 周昕沁

摘要: [目的] 测定工作场所空气中总粉尘的浓度, 分析测定过程中各环节的误差来源。[方法] 通过滤膜除静电、天平室温度、湿度调节和洁净室模拟采样, 对工作场所空气中总粉尘浓度测定过程中, 滤膜的准备、采样和样品的称量环节中可能存在的误差来源进行分析。[结果] 以滤膜上总粉尘增量最低要求 0.1 mg 计: 滤膜未除静电 ($n=8$, 置于天平托盘正中) 引起的称量误差为 0.1 mg 的 -50%~450%; 采样后折叠的未除静电滤膜 ($n=10$) 在天平托盘上放置位置变化, 引起的称量误差为 0.1 mg 的 110%~880%, 而除静电后改变放置位置, 则未引起称量结果的明显变化; 采样气流 (20 L/min) 导致滤膜 ($n=8$) 质量减少, 引起的称量误差为 0.1 mg 的 -20%~0%; 天平室温度和相对湿度在 21.9~31.2℃和 50.8%~66.1% 范围内时, 滤膜 ($n=8$) 的称量值变化引起的称量误差为 0.1 mg 的 -30%~40%。[结论] 测尘滤膜所带静电是影响工作场所空气中总粉尘浓度测定准确性的主要因素。通过对滤膜除静电、调节采样前后天平室温度和湿度保持接近的质量控制措施, 对聚丙烯粉尘工作岗位空气中总粉尘浓度的测定结果能够更为准确的反映劳动者接触工作场所空气中粉尘的浓度。

关键词: 工作场所; 总粉尘; 测尘滤膜; 称量; 误差

Error Analysis for Determination of Total Dust Concentration in Air of Workplace CUI Kai, CHANG Ji-bing, ZHOU Xin-qin (Laboratory of Physics and Chemistry, Shanghai Shenfeng Institute of Novel Geological Techniques Co., Ltd., Shanghai 201702, China). Address correspondence to CUI Kai, E-mail: ck4587@126.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To measure total dust concentration in the air of workplace and analyze the sources of errors in determination. [Methods] Through eliminating static electricity of filter, changing temperature and humidity in balance room, and simulated sampling in clean room, we analyzed the potential error sources in determination of total dust concentration in workplace air, including membrane preparation, sampling, and weighing processes. [Results] Following the requirement for minimum total dust increment on filter of 0.1 mg, the error caused by static electricity of filter was -50%-450% ($n=8$); that caused by position change on tray and having filter without static electricity eliminated and folded two times after sampling was 110%-880% ($n=10$); that caused by filter weight loss due to sampling flow (20 L/min) was -20%-0% ($n=8$); that caused by temperature (21.9-31.2℃) and relative humidity (50.8%-66.1%) change in balance room was -30%-40% ($n=8$). However, no obvious change was observed in weighing results of filter with static electricity eliminated and position change on tray. [Conclusion] Static electricity of filter is a main factor that affects the accuracy of weighing of total dust concentration in workplace air. Through quality control measures such as eliminating static electricity of filter and keeping temperature and humidity in balance room consistent before and after sampling, more accurate dust concentration in polypropylene workplace air could be achieved.

Key Words: workplace; total dust; filter; weighing; error

生产性粉尘是指能较长时间悬浮在生产环境空气中的固体颗粒, 它可引起尘肺等多种职业性肺部疾患^[1]。高分散度、高浓度的可氧化的粉尘(如: 面粉、硫磺、铝等)遇到明火、火花或放电时还可发生爆炸^[2]。因此对工作场所空气中总粉尘浓度的检测是职业病

危害因素检测的一个重要内容。总粉尘由已知质量的滤膜采集, 通过滤膜的增量和采气量计算出空气中总粉尘的浓度^[3]。在实际检测过程中, 由于粉尘采样器性能的限制, 无法长时间保持流量稳定, 目前多选择在工作日内空气中粉尘浓度最高的时段, 分别进行短时间采样, 记录劳动者每个时段的接触时间和日工作时间, 然后算出时间加权平均容许浓度(PC-TWA)及超限倍数。研究报道, 在耐火材料、锡矿、铸造厂等工作场所通过短时采样进行大量粉尘检测, 5%~95%的样本其滤膜增重在 0.09~4.15 mg, 滤膜采样后增重

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2016.15551

[作者简介] 崔凯(1981—), 男, 博士, 工程师; 研究方向: 卫生理化检验; E-mail: ck4587@126.com

[作者单位] 上海申丰地质新技术应用研究所有限公司理化检测实验室, 上海 201702

较小^[4]。因此在总粉尘浓度的测定过程中,由滤膜保存时间、空气浮力、静电、天平室温度、湿度和滤膜纤维脱落等造成的误差,均有可能导致测定结果无法真实反映工作场所空气中粉尘的浓度^[5]。由于检测过程一般在1~2 d内完成,滤膜保存时间短;短时间内,影响空气浮力的大气压力变化不大。因此,本研究有针对性地选择在空气中总粉尘浓度检测过程中,测尘滤膜的准备、采样和样品的称量三个环节涉及到的静电、天平室温度、湿度和滤膜纤维脱落对测定结果的影响进行实验,并选择一处具有聚丙烯粉尘的工作场所进行采样,并测定空气中总粉尘浓度。

1 材料与方法

1.1 仪器

ZC-QF 便携双头粉尘采样器(浙江恒达仪器仪表有限公司,中国),AB265-S 分析天平(梅特勒-托利多公司,中国,天平感量0.01 mg),ST-101A 除静电器(东莞景泰除静电设备有限公司,中国),DH-815B 除湿机(心岛公司,中国),608-H2 温湿度计(TESTO 公司,德国,准确度:±0.5℃、±3%RH;分辨率:0.1℃、0.1%RH),丙纶测尘滤膜(南通金南玻仪五金厂,中国,直径:40 mm)。

1.2 方法

根据GBZ/T 192.1—2007《工作场所空气中粉尘测定 第1部分:总粉尘浓度》^[3]要求,本文空气中总粉尘浓度的测定采用短时间采样方法,采样流量为20 L/min,采集时间为15 min。测定过程分为样品的采集、样品的运输和保存、样品的称量、结果计算四个步骤。其中,样品的采集又分为滤膜的准备和采样两个环节。实验使用的粉尘采样器均经过检定;采样后的滤膜折叠放置于清洁的硫酸纸袋中运输和保存,整个过程中滤膜处于折叠状态,可有效防止粉尘的脱落;结果计算参考GB/T 8170—2008^[6]规定进行数值修约。针对滤膜的准备、采样和样品的称量中涉及到的静电、天平室温度、湿度和滤膜纤维脱落对测定的误差影响进行分析。

对于滤膜的准备和样品的称量,根据GB 5748—85《作业场所空气中粉尘测定方法》^[7],滤膜称量时将其置于天平上,记录初始质量即可,但以GB 5748—85为基础修订的GBZ/T 192.1—2007^[3]中,增加了滤膜在称量前需通过除静电器,除去静电,再在分析天平上进行称量的要求。本文通过同一滤膜进行未除静电

的首次称量和除静电后的再次称量进行结果比对,探讨静电对滤膜称量的影响。

由于滤膜会吸附空气中的水分,环境温度的波动会直接影响电子天平传感器自身温度的变化,导致磁通量和流经线圈中的电流随之变化,影响电子天平称量结果的准确性^[8]。因此天平室的温度和湿度在滤膜称量过程中应给予有效控制。根据美国职业安全与健康研究院(NOISH)规定,天平室的温度和湿度应保持在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和 $(50 \pm 5)\%$ ^[9],但GBZ/T 192.1—2007^[3]中并没有相关规定。本文通过空调和除湿机对天平室内温度和湿度进行调节,以检验滤膜的准备和样品的称量过程中温度和湿度对滤膜称量的影响程度。受天平室空调性能限制,本实验中天平室温度调节在 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 范围内。

在滤膜采样后,会出现滤膜质量小于采样前滤膜质量的现象(见表1)。通过大量实验发现当采样前后称量过程中滤膜未除静电时,滤膜减重出现的频率较高(约9%),减重-0.01~-1.39 mg。对于已除静电的滤膜,滤膜减重出现频率明显减少(约2%)但仍会出现,减重-0.01~-0.10 mg。由于采样气流可能会导致滤膜纤维或附着物脱落,而引起滤膜异常减重,而1000级和100级洁净室可有效控制空气中的粉尘数量,因此本文选择了1000级和100级洁净室进行模拟采样实验,以检验部分滤膜纤维或附着物脱落是否会导致滤膜的异常减重。

采样后滤膜按接尘面朝里对折两次。折叠后的滤膜体积较小,本实验将折叠后的滤膜(除静电和未除静电)放置在天平托盘中间和边缘,以检验放置位置是否会对称量结果产生影响。

表1 滤膜采样后异常减重结果

除静电	滤膜减重 出现频率	样本数 (个)	减重范围 (mg)	涉及职业病危害因素
未除静电	9%	130	-0.01~-1.39	木粉尘、砂轮磨尘、电焊烟尘、矽尘、大理石粉尘、滑石粉尘、聚乙烯粉尘、铅尘、聚丙烯粉尘、煤尘、水泥粉尘
已除静电	2%	130	-0.01~-0.10	

2 结果

2.1 滤膜准备

2.1.1 滤膜准备过程 取已于干燥器内干燥2 h以上的滤膜,用镊子取下滤膜的衬纸,首先称量未除静电的滤膜,并记录称量质量,然后通过除静电器,对同一张滤膜除静电,称量并记录除静电后的滤膜质量。最

后将滤膜安装在采样夹上备用。称量过程中使用的天平为同一天平,且每次称量后均进行重新调零。

2.1.2 静电 在 天平室温度、湿度为 20.7℃、51.2% 的条件下,取 8 张未除静电滤膜,分别在电子天平上进行多次称量,直至称量数值稳定。由于滤膜静电在天平托盘上有残留,首次称量取下滤膜后天平出现无法归零的现象,显示数值为 0.00~0.19 mg。滤膜重复称量后(3 次以上)的称量值与除静电后的称量值接近(两者之差小于 0.02 mg),可能是由于重复称量过程中,镊子将滤膜和天平上残留的静电导出,使未除静电滤膜的称量值与已除静电后滤膜的称量值接近。当天平室空气湿度大于 60% 时,由于空气湿度大,滤膜静电易导出,未除静电滤膜的称量值与已除静电后滤膜的称量值接近,除静电对滤膜的称量结果无明显影响。

所取 8 张滤膜,未除静电时的首次称量值(m_2)与除静电后的称量值(m_1),两者之差 m_2-m_1 分别为: 0.24、0.45、0.07、-0.05、0.13、-0.02、0.21、0.18 mg。 m_2-m_1 值无明显变化规律,与 Otto O. Hänninen 等^[5]报道相同。按照 GBZ/T 192.1—2007^[3],滤膜上总粉尘的增量(Δm)要求,当分析天平感量为 0.01 mg,滤膜直径为 40 mm 时, $0.1\text{ mg} \leq \Delta m \leq 10\text{ mg}$ 。由滤膜未除静电而引起的称量误差 -0.05~0.45 mg,为滤膜上总粉尘的增量(Δm)最低要求 0.1 mg 的 -50%~450%。

2.1.3 天平室温度和相对湿度 取 8 张滤膜(称量前除静电),分别在天平室不同温度、湿度下,称量得到 m_1 (温度 31.2℃、相对湿度 50.8%)、 m_2 (温度 21.9℃、相对湿度 52.5%)、 m_3 (温度 20.7℃、相对湿度 51.2%) 和 m_4 (温度 22.1℃、相对湿度 66.1%),分别计算 m_2-m_1 、 m_3-m_2 、 m_4-m_2 的值。表 2 可见,天平室温度在 21.9~31.2℃ 和相对湿度在 50.8%~66.1% 变化范围内,滤膜各称量值之差为 -0.03~0.04 mg,是滤膜上总粉尘的增量(Δm)最低要求 0.1 mg 的 -30%~40%。天平室温度由 31.2℃ 降至 21.9℃ 时,8 个被试样品中有 5 个

表 2 天平室温度和相对湿度变化对滤膜称量结果的影响						
样品数 (个)	天平室温度 (℃)	相对湿度 (%)	滤膜称量 (mg)	m_2-m_1 (mg)	m_3-m_2 (mg)	m_4-m_2 (mg)
8	31.2	50.8	m_1	0.02	0.00	0.00
				-0.03	0.01	0.02
	21.9	52.5	m_2	-0.02	0.00	0.00
				-0.01	0.00	0.02
	20.7	51.2	m_3	0.00	0.00	-0.03
				-0.02	0.01	0.04
	22.1	66.1	m_4	0.00	0.00	-0.01
				-0.02	-0.01	0.02

称量值减小(m_2-m_1),称量值有减小趋势。天平室相对湿度由 52.5% 升至 66.1% 时,8 个被试样品中有 4 个称量值增大(m_4-m_2),称量值有增大趋势。

2.2 采样 在 100 级和 1000 级洁净室空气中微尘的数量可以得到有效的控制,进行模拟采样实验,空气中的微尘不会给滤膜带来明显增重。为了验证滤膜采样后异常减重是否由于采样过程中采样器气流导致滤膜上纤维或附着物脱落所致,本研究选择在 100 级和 1000 级洁净室中进行模拟采样试验。

表 3 可见,洁净室模拟采样后的滤膜约有 0.00~-0.02 mg 的减重,未出现大于 -0.02 mg 的减重现象,滤膜纤维或附着物脱落因素导致的滤膜减重程度有限。

表 3 100 级和 1000 级洁净室模拟采样试验结果		
样品数(个)	洁净室	模拟采样后滤膜质量变化(mg)
8	100 级	0.00、-0.01、-0.01、-0.01、-0.01、0.00、-0.01、-0.01
8	1000 级	-0.01、-0.02、0.00、-0.01、-0.01、-0.01、-0.01、0.00

2.3 样品的称量 采样后,从采样夹中取出滤膜,将滤膜的接尘面朝里对折两次,然后置于清洁容器内运输和保存。由于折叠后的滤膜体积较小,所以在称量时可选择将滤膜放置在天平托盘的中间和边缘。

分别针对未除静电和已除静电滤膜在天平上放置位置对称量结果的影响进行实验。表 4 可见,对于折叠后未除静电的滤膜,放置在天平托盘边缘(滤膜距托盘边缘约 1~2 mm)较放置在托盘中间,天平读数增加 0.11~0.88 mg,为滤膜上总粉尘的增量(Δm)最低要求 0.1 mg 的 110%~880%,与赵金耀等^[10]报道的实验数据有较大差异。而滤膜除过静电后,在天平托盘上的放置位置对称量结果无明显影响。

表 4 滤膜在天平托盘放置位置对称量结果的影响		
样品数(个)	除静电	放置于托盘边缘 m_2 -放置于托盘中间 m_1 (mg)
8	已除静电	-0.01、0.00、0.00、0.00、0.00、-0.01、0.00、0.00
10	未除静电	0.14、0.25、0.53、0.11、0.48、0.54、0.88、0.44、0.12、0.25

2.4 工作场所总粉尘采样实验 选择一个聚丙烯粉尘工作岗位,进行工作场所空气中总粉尘浓度的测定,并对采取质量控制措施和未采取质量控制措施的测定结果做了比对。表 5 可见,两种测定结果有明显差异。由采取质量控制措施的滤膜增重(样品 1~4)得到的测定结果与现场调查结果相

符,能真实的反映工作场所的卫生状况。

质量控制措施:采样前后滤膜称量前均进行除静电,滤膜采样前与采样后称量时天平室温度、相对湿度差异小于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\%$ 。采样前滤膜称量时天平室温度、湿度为 21.9°C 、 52.5% ,采样后滤膜称量时天平室温度、湿度为 20.9°C 、 53.2% 。未采取质量控制措施时,滤膜未除静电,采样前滤膜称量时天平室温度、湿度为 21.9°C 、 52.5% ,采样后滤膜称量时天平室温度、湿度为 32.3°C 、 62.7% 。

现场调查结果:企业生产车间共有5个投料岗位,每日生产时,最多有2个岗位正常工作,现场每个投料口均设有一台机械吸尘装置,且工作时均正常开启,另现场调查发现,企业制定了车间卫生管理制度,要求工人在每日工作结束后,需对工作台面及地面进行清理、打扫。

表5 聚丙烯粉尘工作岗位空气中总粉尘浓度的测定结果

样品	除静电	代表时间段	滤膜增重(mg)	TWA(mg/m^3)
1~4	已除静电	08:00—12:00	0.03	<0.3*
			0.04	
		13:00—17:00	0.06	
			0.03	
5~8	未除静电	08:00—12:00	0.41	4.38
			0.33	
		13:00—17:00	1.31	
			2.22	

[注]*:本法的最低检出浓度为 $0.3\text{ mg}/\text{m}^3$ (以感量 0.01 mg 天平,采集 300 L 空气样品计)。

采样流量 $20\text{ L}/\text{min}$,采样时间 15 min 。每次平行采集2个样品,选择滤膜增重大的样品,进行总粉尘浓度计算。采样点气象条件:温度 27.2°C 、湿度 63.1% 、气压 102.4 kPa 。

3 讨论

本研究对工作场所空气中总粉尘测定过程中滤膜的准备、采样和样品的称量三个环节所涉及的滤膜静电、天平室温度和相对湿度、采样气流对测定结果的影响进行了讨论。实验结果提示,静电是影响测定结果准确性的主要因素。天平室温度、湿度的变化,对滤膜称量也有明显的影响。以滤膜上总粉尘增量最低要求 0.1 mg 计:滤膜未除静电引起的称量误差为 0.1 mg 的 $-50\%\sim 450\%$;天平室温度和相对湿度在 $21.9\sim 31.2^{\circ}\text{C}$ 和 $50.8\%\sim 66.1\%$ 范围内变化时,被试滤膜的称量值变化引起的称量误差为 0.1 mg 的 $-30\%\sim 40\%$ 。采样后滤膜出现减重时,如果减重小

于 -0.02 mg ,则可能是由采样气流使滤膜纤维或附着物脱落引起的;如果减重大于 -0.02 mg ,则需从静电未除净、滤膜编号错误等其他因素寻找原因。采样后折叠的未除静电滤膜在天平托盘上放置位置变化,引起的称量误差为 0.1 mg 的 $110\%\sim 880\%$,而除静电后改变放置位置,则不会引起称量结果的明显变化。因此为了减小误差,采取的质量控制措施应包括:采样前后滤膜称量前除静电;实验室根据现有能力,尽量保证滤膜采样前与采样后称量时天平室温度、湿度接近(本文中滤膜采样前与采样后称量时天平室温度、湿度差异小于 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\%$)。通过在聚丙烯粉尘工作岗位空气中粉尘浓度的测定,在采取有效的质量控制后,获得的测定结果能够更为准确的反映工作场所劳动者接触粉尘的水平,有利于提高粉尘检测工作的质量。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

- [1]薄以匀,吕琳.我国的粉尘职业危害现状及预防对策[J].中国安全科学学报,1998,8(4):26-30.
- [2]于承迎,李晓丹.做好清洁生产 保障生产安全—昆山粉尘爆炸事件的启示[J].节能与环保,2014(8):56-58.
- [3]工作场所空气中粉尘测定 第1部分:总粉尘浓度:GBZ/T 192.1—2007[S].北京:人民卫生出版社,2007.
- [4]杨磊,陈卫红,王正伦,等.工作场所空气中粉尘采样的一些理论和技术问题[J].中华劳动卫生职业病杂志,2007,25(1):54-57.
- [5]Hänninen O O, Koistinen K J, Kousa A, et al. Quantitative analysis of environmental factors in differential weighing of blank Teflon filters[J]. J Air Waste Manag Assoc, 2002, 52(2):134-139.
- [6]数值修约规则与极限数值的表示和判定:GB/T 8170—2008[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [7]作业场所空气中粉尘测定方法:GB/T 5748—1985[S].北京:中国标准出版社,1986.
- [8]唐图强,唐辉,顾广胜,等.电子天平称量精度探讨[J].医疗卫生装备,2009,30(4):118-119.
- [9]National Institute for Occupational Safety and Health. Guidelines for air sampling and analytical method development and evaluation[S]. Washington: U.S. Government Printing Office, 1995.
- [10]赵金耀,王玉峻.不同称量方式对滤膜称量结果的影响[J].工业卫生与职业病,1993,19(5):303.

(收稿日期:2015-09-18)

(英文编辑:汪源;编辑:洪琪;校对:陶黎纳)