文章编号:2095-9982(2017)11-0953-05 中图分类号:R122.2 文献标志码:A

【论著|原创精选】

室内激光打印机污染物的释放特性

潘祥凯,高衍新,王德军,孔凡玲,隋少峰

摘要:

[目的] 对办公场所激光打印机工作所产生的颗粒物、臭氧、总挥发性有机物(TVOC)的空气污染水平和各类污染物随时间的衰减规律进行研究。

[方法] 使用纳米粒子粒径谱仪、超细粒子计数器、双紫外光臭氧检测仪、挥发性有机物检测仪对山东省某办公场所三个品牌的打印机工作时产生的颗粒物、臭氧、TVOC的水平以及颗粒物粒径分布进行检测。

[结果] 打印机工作时产生的颗粒物水平(34 783个/m^3)远远大于室内空气的本底值(6 843个/m^3),空气中的臭氧(0.38 mg/m^3)和TVOC(2.38 mg/m^3)水平的均值均超过了GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》的限值(臭氧:0.16 mg/m^3;TVOC:0.60 mg/m^3)。打印机产生的颗粒物以超细颗粒物为主(粒径范围为10~238 nm),其中49 nm粒径以下颗粒占总颗粒数的比例超过了37%,116 nm粒径以下颗粒占总颗粒数的比例超过92%。打印工作结束后的2~3 min内,颗粒物、臭氧水平降低到接近环境本底的水平;TVOC衰减较慢,10 min后水平仍维持在较高水平(0.14~0.19 mg/m^3)。

[结论] 打印机产生的颗粒物以粒径<116 nm为主。随着打印机工作量的增加,其产生的颗粒数、臭氧和TVOC水平增加。打印机产生的颗粒物和臭氧水平的衰减较快,TVOC的水平衰减相对较慢,对室内空气质量有长时间的不良影响。

关键词: 室内空气质量;激光打印机;颗粒物;臭氧;总挥发性有机物;污染特征

引用: 潘祥凯,高衍新,王德军,等.室内激光打印机污染物的释放特性[J].环境与职业医学,2017,34(11):953-957. **DOI:** 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17406

Release characteristics of pollutants from indoor laser printers *PAN Xiang-kai, GAO Yan-xin, WANG De-jun, KONG Fan-ling, SUI Shao-feng (Institute of Occupational and Environmental Monitoring and Assessment, Shandong Center for Disease Control and Prevention, Jinan, Shandong 250014, China). Address correspondence to SUI Shao-feng, E-mail: shaofengsui@163.com* *· The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.*

Abstract:

[Objective] To investigate the levels of indoor air pollutants, including particles, ozone, and total volatile organic compounds (TVOC), released from laser printers and the attenuation patterns of the pollutants over time during printing process in workplaces.

[Methods] Particles, ozone, and TVOC produced during printing process by three selected brands of laser printers were detected by ultrafine particle counter, ozone monitor, and VOC monitor, respectively. The distribution of particle size was also described with nanoparticle sizer at the same time.

[Results] The selected laser printers produced a higher concentration of particles during printing process (34 783 particles/m^3) than the indoor background concentration (6 843 particles/m^3). Both the average concentrations of ozone (0.38 mg/m^3) and TVOC (2.38 mg/m^3) exceeded the threshold values (ozone: 0.16 mg/m^3; TVOC: 0.60 mg/m^3) stipulated by the national *Indoor air quality standard* (GB/T 18883–2002). Ultrafine particles with a size range of 10-238 nm composed the majority of particles released from the printers, of which the particles size less than 49 nm and less than 116 nm accounted for more than 37% and 92% of the total particles, respectively. In addition, the concentrations of particles and ozone returned to the level of environmental background 2-3 min after the end of printing. The attenuation of TVOC was slower and its concentration remained at a high level after 10 min following the end of printing (0.14-0.19 mg/m^3).

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[作者简介]潘祥凯(1958—),男,本科,高级工程师;研究方向:环境卫生与卫生工程学;E-mail:3196652851@qq.com

[通信作者]隋少峰,E-mail:shaofengsui@163.com

[作者单位]山东省疾病预防控制中心职业与环境卫生监测评价所,山东 济南 250014

[Conclusion] The sizes of particles produced by selected laser printers are mainly under 116 nm. Along with increasing printing workloads, all the concentrations of particles, ozone, and TVOC are increased. The concentrations of particles and ozone attenuate quickly, but the concentration of TVOC attenuates slowly and has a long-time adverse effect on indoor air quality.

Keywords: indoor air quality; laser printer; particle; ozone; total volatile organic compounds; pollution characteristics

Citation: PAN Xiang-kai, GAO Yan-xin, WANG De-jun, et al. Release characteristics of pollutants from indoor laser printers[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(11): 953-957. **DOI:** 10.13213/j.cnki.jeom.2017.17406

随着信息化、数字化时代的到来，打印机、复印机等办公设备广泛地应用于人们的工作和生活中，也逐渐成为室内空气污染的重要污染源之一，对人体造成潜在危害[1]。激光打印机采用电晕放电的原理，让硒鼓带电，吸附墨粉成像，在这个过程中，高压电荷电离空气中的氧气产生臭氧。墨粉定影过程中，高温促使油墨和纸张中的有机成分挥发，产生总挥发性有机物(total volatile organic compound，TVOC)污染和由挥发性有机物凝结成的细小颗粒[2]。由于办公室面积狭小，空气不流通，办公人员与打印机距离较近等原因，打印机在使用过程中产生的污染物易在室内蓄积，对办公人员的身体健康造成一定的威胁。与打印机相关的职业危害案例已屡见报道：暴露于打印机释放出的污染物，可能导致眼睛、鼻子、喉咙和下呼吸道的刺激症状，同时还会导致精神疲倦、头疼、皮肤反应[3-4]。有研究表明，打印机职业暴露时间的增加，可能导致更加严重的疾病，如尘肺病[5]、血栓[6]、碳纳米颗粒腹膜沉积[7]等。

近年来，有国外的研究表明，激光打印机是室内环境中超细颗粒物、臭氧和挥发性有机物的主要来源[8-10]。但关于打印机释放的颗粒物的粒径分布、化学污染物水平变化规律的研究报道尚不多见[11]。因此有必要对打印机污染物释放规律进行研究，以期改善室内空气质量，减少工作人员在污染物中的暴露机会。本研究对室内打印机工作状态下颗粒物、臭氧、TVOC的释放和变化规律进行分析。

1 材料与方法

1.1 主要仪器

空气中颗粒物的粒径测试：NanoScan SMPS 3910型纳米粒子粒径谱仪(TSI，美国)，13通道，粒径测量范围覆盖10~420 nm。颗粒物计数：P-TRAK 8525型超细粒子计数器(TSI，美国)，检测的污染水平范围0~5×10^5个/cm^3，检测的粒子直径范围0.02~1 μm。臭氧水平检测：205型双紫外光臭氧检测仪(2B，美国)，量程2 μg/m^3~200 mg/m^3(1 ppb~100 ppm)。TVOC检测：ppbRAE Plus PGM-7240型VOC检测仪(华瑞，美国)，检测范围0~4 672 mg/m^3(0~2 000 ppm)。

1.2 试验场所

在一间面积约30 m^2(长6.5 m、宽4.5 m、高3.2 m)的房间内对打印机不同工作状况下产生的空气污染物特性进行测试。测试时门窗关闭，房间没有通风换气设施。按照GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》[12]要求，测试时连接一根导管至打印机的打印口附近(导管口距离打印口距离为10 cm，导管直径为1.0 cm)。现场室内温度为25.0~26.5℃，相对湿度为45%~55%。

1.3 试验内容

测定试验场所中18台激光打印机工作过程中颗粒物、臭氧、TVOC的释放量。每一台打印机在不同的工作日重复测量3次。在检测工作进行时，为避免相互干扰，只有一台打印机执行打印任务。打印工作一旦开始，即检测污染物水平。

使用70 g/m^2的A4旗舰牌打印纸，打印的文档内容为每页34行，每行66个字体为Times New Roman、四号的小写字母a。试验内容包括打印前后打印机污染物水平变化、打印机释放的颗粒物粒径分布、不同打印工作量时的污染物水平、污染物自然衰减过程中的水平变化，均取打印10页文档时的瞬时最高水平。

在打印机打印不同页数所产生的污染物水平的比较试验时，相邻测量之间，打印机至少停止工作30 min。每次打印工作结束时进行测量，取瞬时最高水平。

为了完整描述打印工作造成的空气污染特性，对其中一台打印机在自然状态下污染物水平的衰减过程进行研究。从打印工作开始时进行测量，打印工作量为10页。分别测量从0~10 min不同时刻的污染物瞬时水平。

1.4 统计学分析

采用EpiDate 3.10建立数据库，污染物水平以$\bar{x} \pm s$表示。应用SPSS 20.0进行数据统计处理，采用Graphpad prism 5软件制图。

2 结果

2.1 打印机释放的污染物水平

18台激光打印机涵盖全球三个商业激光打印机品牌，使用年限3~12年。由表1可见，打印机工作时产生的臭氧[(0.38±0.19)mg/m³]和TVOC[(2.38±1.89)mg/m³]水平都超过了GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》规定的限值(臭氧：0.16 mg/m³；TVOC：0.60 mg/m³)[12]。颗粒物的水平为(34 783±33 118)个/cm³，标准差与均值接近，说明不同打印机之间颗粒物的释放量差异较大。

表1 办公场所打印机产生的污染物水平

Table 1 Concentrations of pollutants produced by printers in workplace

污染物 Pollutant	样本量(n)	打印前水平 Concentration before printing ($\bar{x}\pm s$)	打印时水平 Concentration at printing ($\bar{x}\pm s$)	接触限值 Exposure limit
颗粒物(个/cm³) Particulate matter	18	6843±4275	34783±33118	20000[13]
臭氧(mg/m³) Ozone	18	0.07±0.04	0.38±0.19	0.16[12]
总挥发性有机物(mg/m³) Total volatile organic compounds	18	0.04±0.03	2.38±1.89	0.60[12]

2.2 打印机颗粒物粒径分布

三台不同品牌商业激光打印机(以下简称：S机、C机、H机)的颗粒物粒径分布，见图1。不同打印机释放的颗粒物的分散度明显不同。S机产生的颗粒物粒径范围较宽，为10~238 nm；C机和H机产生的颗粒物粒径范围较窄，为10~178 nm。S机的粒径分布接近与正态分布；而C机和H机的粒径分布接近负偏态分布。三台打印机释放的不同粒径颗粒物水平分布有所不同，S机的42~56 nm段的颗粒物水平最高，C机和H机的56~75 nm段的颗粒物水平最高。

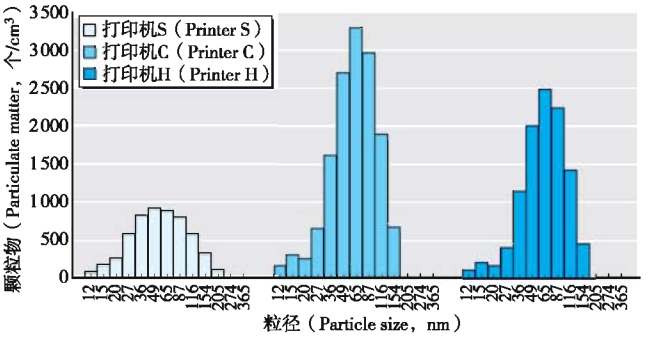


图1 三台激光打印机颗粒物粒径分布的比较

Figure 1 Comparison of particle diameter distributions of 3 brands of laser printers

三台打印机释放的颗粒物中，49 nm粒径以下颗粒占总颗粒数的37%以上，116 nm粒径以下颗粒占总颗粒数的92%以上。154 nm以下的颗粒占总颗粒数的比例在三台打印机中分别达到了98%、100%和100%。

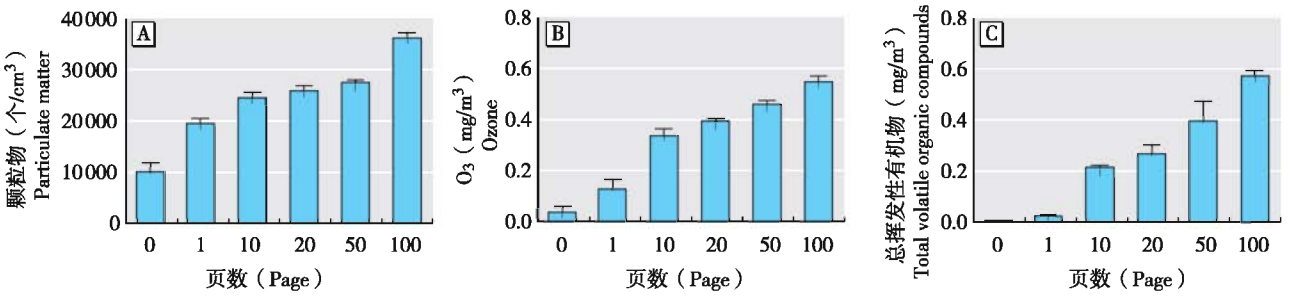
此外，S机的颗粒物释放量最小，而C机的颗粒物释放量最大。

2.3 打印工作量对颗粒物、臭氧、TVOC水平的影响

由图2可知，打印时所产生的颗粒数、臭氧和TVOC水平远大于打印前的本底值。随着打印页数的增加，其颗粒物数量、臭氧和TVOC的水平都随之增加。三种污染物的水平在不同组间的差异均有统计学意义(均$P<0.05$)。

2.4 打印机释放污染物的自然衰减过程

S机工作时释放的三种污染物(包括颗粒物、臭氧、TVOC)的衰减过程见图3。



[注]A：不同打印负数颗粒物浓度变化；B：不同打印页数臭氧浓度变化；C：不同打印页数总挥发性有机物浓度变化。三种污染物在不同组间的差异均有统计学意义(均$P<0.05$)。

[Note] A: Concentration of particulate matters with printing workloads; B: Concentration of ozone with printing workloads; C: Concentration of total volatile organic compounds with printing workloads. Differences of three pollutants among different groups were significant ($Ps<0.05$).

图2 颗粒物、臭氧、总挥发性有机物水平随打印工作量的变化

Figure 2 Changes of concentrations of particulate matters, O_3, and total volatile organic compounds with varied printing workloads

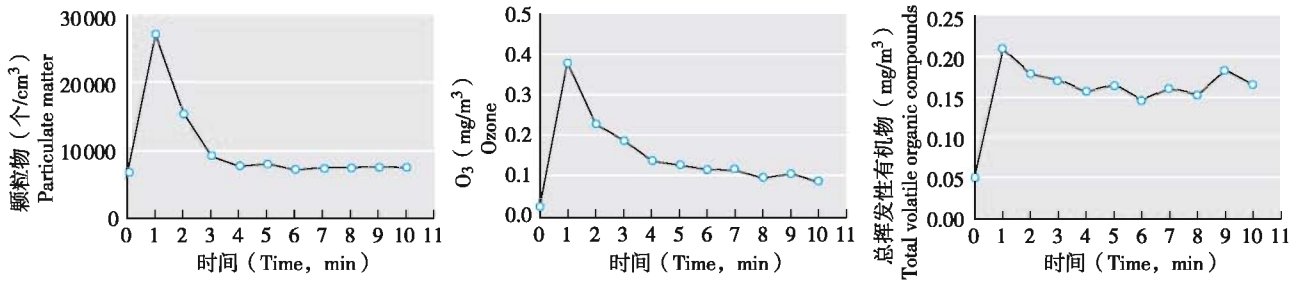


图3　打印机S工作时颗粒物、臭氧和总挥发性有机物水平的衰减过程

Figure 3　Attenuation of concentrations of particulate matters, O_3, and total volatile organic compounds

由图3可知，经过打印时的高峰值后，颗粒物总水平有一个快速的衰减过程，衰减时间约为2 min，之后进入缓慢衰减期，10 min后颗粒数总水平和质量水平接近打印前的环境本底水平。臭氧水平在3 min内快速下降，以后下降速度减慢，在10 min后，水平逐渐接近打印前的环境本底水平。TVOC水平在打印开始1 min后升至一个较高的水平，下降曲线最为缓慢，10 min后仍持续维持在一个较高的水平（0.14~0.19 mg/m³），对室内空气造成长时间的影响。

3　讨论

通过对打印机工作时所产生的颗粒物水平及粒径分布、臭氧和TVOC水平进行测量，了解了办公场所打印作业产生的空气污染特性，发现打印机对室内空气质量有很大影响。本研究发现打印机工作时产生大量超细颗粒物，92%以上的颗粒物粒径小于116 nm，颗粒物峰值水平范围为（0.2×10^4~6.8×10^4）个/cm³，远远大于澳大利亚昆士兰科技大学国际空气质量与健康研究室推荐2×10^4个/cm³暴露峰水平阈限值[13]。本研究中激光打印机在打印过程中颗粒物峰值水平与McGarry等[13]的研究接近。

污染物颗粒粒径的大小对污染物的危害程度有重要影响，粒径越小，比表面积越大，吸附化学污染物的能力越强，对人体的危害也越大。因此，分析打印机工作时不同粒径颗粒物的水平，即颗粒物的粒径分布非常必要。研究发现，办公场所不同打印机产生的颗粒物水平和粒径分布有差别。打印机S产生的颗粒物水平最低，粒径分布范围较宽；打印机C和打印机H产生的颗粒物水平较高，粒径分布范围较窄。本次调查发现打印机工作产生的颗粒物粒径非常小，主要属于超细颗粒物。三台打印机产生的49 nm以下粒径的颗粒物占颗粒总数的37%以上，116 nm粒径以下颗粒占总颗粒数的92%以上。朱维斌等[11]测定的打印机颗粒物主要分布在143 nm以下，也是以小粒径颗粒物为主。以往Wensing等[9]和He等[14]的研究发现，颗粒物的直径范围主要在100 nm以下，这与本次调查的结果基本一致。

随着打印机工作量的增加，其产生的颗粒数、臭氧和TVOC水平都随之增加。大量打印作业，造成室内空气的污染程度加重。本次研究采用的颗粒物参考值是澳大利亚昆士兰科技大学国际空气质量与健康研究室推荐的2×10^4个/cm³暴露峰水平阈限值[13]，这一限值适用于办公室等室内工作场所。本研究检测的18台打印机的污染程度均高于此标准。打印机产生的超细颗粒衰减较快，打印结束3 min以后，水平降低到接近室内本底的水平。He等[14]的研究也发现打印机停止工作后，测试舱中的颗粒物排放水平有快速衰减现象。

在调查中发现，不同打印机释放的颗粒物水平相差很大，水平的标准差与水平的均数接近。本次调查的打印机品牌、新旧程度、墨盒的使用年限、墨盒中墨粉的含量等均有较大差异，这可能是导致颗粒物排放水平相差很大的原因。近年来，由于打印机的设计、款式也在不断推陈出新，本次调查的结果可能无法反映最新款式的打印机颗粒物的释放情况。

打印机排放的臭氧和TVOC水平均值都超过了我国的GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》的限值[12]。TVOC水平在室内空气中衰减相对较慢，打印工作停止10 min后，室内空气中的TVOC仍维持较高水平，对室内空气质量有长时间的不良影响。Morawska等[15]的研究发现，在打印机的打印过程中，挥发性有机污染物中的成核物质（二甲苯、苯乙烯、乙苯、十五烷、十六烷、十七烷、邻苯二甲酸二甲酯）可以与臭氧反应生成半挥发有机物，半挥发有机物通过均相成核作用形成颗粒物。本次研究没有调查打印机排放污染物中TVOC的构成成分，在后续的研究中将关注打印机排放

的气溶胶成分以及污染物成分随时间的变化规律，这对正确评估其健康危害至关重要。

参考文献

[1]Tang T, Hurraß J, Gminski R, et al. Fine and ultrafine particles emitted from laser printers as indoor air contaminants in German offices[J]. Environ Sci Pollut Res, 2012, 19(9): 3840-3849.

[2]Wang H, He C R, Morawska L, et al. Ozone-initiated particle formation, particle aging, and precursors in a laser printer[J]. Environ Sci Technol, 2012, 46(2): 704-712.

[3]Jaakkola M S, Jaakkola J J K. Office equipment and supplies: A modern occupational health concern?[J]. Am J Epidemiol, 1999, 150(11): 1223-1228.

[4]Terunuma N, Kurosaki S, Kitamura H, et al. Cross-sectional study on respiratory effect of toner exposure[J]. Hum Exp Toxicol, 2009, 28(6/7): 325-330.

[5]Gallardo M, Romero P, Sanchez-Quevedo MC, et al. Siderosilicosis due to photocopier toner dust[J]. Lancet, 1994, 344(8919): 412-413.

[6]Bar-Sela S, Shoenfeld Y. Photocopy machines and occupational antiphospholipid syndrome[J]. Israel Med Assoc J, 2008, 10(1): 52-54.

[7]Theegarten D, Boukercha S, Philippou S, et al. Submesothelial deposition of carbon nanoparticles after toner exposition: Case report[J]. Diagn Pathol, 2010, 5(11): 77-81.

[8]Kagi N, Fujii S, Horiba Y, et al. Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers[J]. Build Environ, 2007, 42(5): 1949-1954.

[9]Wensing M, Schripp T, Uhde E, et al. Ultra-fine particles release from hardcopy devices: Sources, real-room measurements and efficiency of filter accessories[J]. Sci Tot Environ, 2008, 407(1): 418-427.

[10]Lee S C, Lam S, Kin F H. Characterization of VOCs, ozone, and PM_{10} emissions from office equipment in an environmental chamber[J]. Build Environ, 2001, 36(7): 837-842.

[11]朱维斌，胡楠，尹招琴. 室内打印机颗粒污染物特性的测量与分析[J]. 环境科学与技术，2011, 34(5): 104-107.

[12]室内空气质量标准：GB/T 18883—2002[S]. 北京：中国标准出版社，2003.

[13]McGarry P, Morawska L, He C R, et al. Exposure to particles from laser printers operating within office workplaces[J]. Environ Sci Technol, 2011, 45(15): 6444-6452.

[14]He C R, Morawska L, Taplin L. Particle emission characteristics of office printers[J]. Environ Sci Technol, 2007, 41(17): 6039-6045.

[15]Morawska L, He C R, Johnson G, et al. An investigation into the characteristics and formation mechanisms of particles originating from the operation of laser printers[J]. Environ Sci Technol, 2009, 43(4): 1015-1022.

（**收稿日期**：2017-06-15；**录用日期**：2017-09-14）

（英文编辑：汪源；编辑：汪源；校对：陈姣）

【告知栏】

《环境与职业医学》杂志免收审稿费的通知

本着竭诚为广大作者和读者服务的宗旨，《环境与职业医学》杂志从2016年1月1日起免收审稿费。

《环境与职业医学》唯一投稿方式是在线投稿，官方网址为http://jeom.scdc.sh.cn:8081。广大作者投稿时，请注意阅读网站主页公布的“作者指南”，认真检查稿件的研究内容是否符合《环境与职业医学》刊载范畴，写作格式是否符合本刊的要求。网上投稿时务必填写必要项目，并按照本刊要求提供所需的投稿材料，以免延误送审时间。

欢迎业内新老作者踊跃投稿，继续关注和支持本刊的发展。

《环境与职业医学》杂志编辑部