

打印条件对打印机释放颗粒物水平的影响

慕宇航, 王宏博, 何郎志, 李子慧, 王云

北京大学公共卫生学院劳动卫生与环境卫生学系, 北京 100191



DOI 10.11836/JEOM23196

摘要:

[背景] 打印机工作会释放颗粒物, 危害人体健康, 但目前对打印条件如何影响打印机释放颗粒物水平的研究不足。

[目的] 探究不同打印条件对打印机释放颗粒物水平的影响。

[方法] 在密闭实验仓内进行打印实验, 通过便携式气溶胶粒径谱仪和臭氧检测仪分别监测打印机工作过程中实验仓内 0.25~32 μm 粒径范围的颗粒物数量浓度和臭氧浓度的变化情况。实验监测分为三部分, 以打印前 2 min 颗粒物数量浓度作为实验前背景浓度, 以打印 72 页纸作为打印过程进行监测, 打印结束后再监测 10 min。打印条件设置包括不同字体、不同字号、单面打印和双面打印方式、不同页面布局、不同大小的打印纸、不同品牌的打印纸、不同潮湿程度的打印纸。使用 Spearman 相关性分析检验打印条件与颗粒物水平间的关系。

[结果] 打印不同字体(宋体和楷体)、不同字号(四号和五号)时, 实验仓内颗粒物数量浓度峰值为 14.71~59.35 $\text{P}\cdot\text{cm}^{-3}$, 差异没有统计学意义($P>0.05$)。单面打印和双面打印时, 颗粒物数量浓度峰值差异没有统计学意义($P>0.05$), 峰值出现的时间差异有统计学意义($P<0.05$)。对于不同页面布局, 打印释放的颗粒物数量浓度峰值为纸张上 1/3 > 中 1/3 > 下 1/3, 差异有统计学意义($P<0.05$)。使用 B5 纸进行打印时未监测到颗粒物数量浓度明显升高。使用不同品牌(得力和晨光)的打印纸, 颗粒物数量浓度峰值差异没有统计学意义($P>0.05$)。使用不同潮湿程度的打印纸颗粒物数量浓度峰值不同, 差异有统计学意义($P<0.05$), 且随着潮湿程度升高颗粒物数量浓度升高($r=0.95$, $P<0.05$)。仅在使用不同潮湿程度的打印纸, 观察到颗粒物峰面积差异有统计学意义($P<0.05$)。不同页面布局和纸张潮湿程度下, 颗粒物排放速率的差异有统计学意义($P<0.05$)。各打印条件下, 实验仓内臭氧浓度变化无统计学意义($P>0.05$)。

[结论] 通过改变打印条件, 可以影响打印机释放颗粒物水平, 其中改变页面布局、纸张大小和潮湿程度对结果的影响较为显著; 改变字体、字号、纸张品牌和使用单双面打印对结果无显著影响。

关键词: 打印机; 颗粒物; 打印条件; 数量浓度

Influence of printing conditions on concentration of printer-emitted particles MU Yuhang, WANG Hongbo, HE Langzhi, LI Zihui, WANG Yun (Department of Occupational and Environmental Health, Peking University School of Public Health, Beijing 100191, China)

Abstract:

[Background] Printers can release particles, which is harmful to human health. However, there is insufficient research on how printing conditions affect the level of particles released by printers.

[Objective] To explore the effects of different printing conditions on the level of printer-emitted particles.

[Methods] The experiment was carried out in a closed experimental chamber, and the changes in the number concentration of particles (size range: 0.25-32 μm) and ozone concentration in the experimental chamber during designed printing process were monitored with a portable aerosol particle size spectrometer and an ozone detector respectively. The monitoring included three parts: 2 min before printing as the background number concentration, printing 72 sheets with a designed printing task sets, and then 10 min after printing. A set of printing tasks with predetermined conditions included font, font size, single/double-sided printing mode, page layout, paper size, paper brand, and paper moisture content. The association between printing conditions and level of printer-emitted particles was evaluated by Spearman correlation analysis.

[Results] When printing in different fonts (Song and Kai) and different font sizes (14 points and

作者简介

慕宇航(2000—), 男, 本科生;
E-mail: 1710306112@pku.edu.cn

通信作者

王云, E-mail: wangyun@bjmu.edu.cn

作者中包含编委会成员 有

伦理审批 不需要
利益冲突 无申报
收稿日期 2023-06-11
录用日期 2023-11-14

文章编号 2095-9982(2023)12-1437-07

中图分类号 R12

文献标志码 A

引用

慕宇航, 王宏博, 何郎志, 等. 打印条件对打印机释放颗粒物水平的影响[J]. 环境与职业医学, 2023, 40(12): 1437-1443.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM23196

Correspondence to

WANG Yun, E-mail: wangyun@bjmu.edu.cn

Editorial Board Members' authorship Yes

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2023-06-11

Accepted 2023-11-14

To cite

MU Yuhang, WANG Hongbo, HE Langzhi, et al. Influence of printing conditions on concentration of printer-emitted particles[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2023, 40(12): 1437-1443.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM23196

10.5 points), the number concentration peaks of particles in the experimental chamber were $14.71\text{--}59.35\text{ P}\cdot\text{cm}^{-3}$, and there was no significant difference ($P>0.05$). There was no difference in the peak concentrations of printer-emitted particles between single-sided printing and double-sided printing ($P>0.05$), but there was a significant difference in the time of peak occurrence ($P<0.05$). For different page layouts, a significant difference in the peak concentrations of printer-emitted particles was found among each trisection area ($P<0.05$, upper $1/3>\text{middle } 1/3>\text{lower } 1/3$). No increase in the concentration of printer-emitted particles was detected when printing with B5 paper. The peak concentration of printer-emitted particles in printing paper with varying degrees of paper moisture showed differences ($P<0.05$), and the concentration of particulate matter increased with the increase of moisture content ($r=0.95$, $P<0.05$). The peak area of particles was found only related to degree of paper moisture ($P<0.05$). There were significant differences in the emission rate of particles under different page layouts and degrees of paper moisture ($P<0.05$). There was no significant change of ozone concentration in the experimental chamber under different printing conditions ($P>0.05$).

[Conclusion] By changing printing conditions, the levels of printer-emitted particles are affected. Among them, page layout, paper size, and degree of paper moisture have a significant impact on the results; however, single/double-sided printing, font, font size, and paper brand have no significant impact on the results.

Keywords: printer; particle; printing condition; number concentration

打印机广泛地被用于办公、学习等领域,已成为日常生活中不可或缺的设备。随着打印机的广泛使用,打印机释放颗粒物(printer-emitted particles, PEPs)的排放水平及其对健康的影响也日益受到人们的关注。本课题组前期研究发现,打印机工作会导致室内空气中的颗粒物浓度升高^[1-4];暴露于PEPs不仅会导致呼吸系统炎症反应、肺功能减弱和氧化应激水平增加^[5-6],还会对心脏自主神经系统和心血管系统产生不利影响^[7-9],其中PEPs的暴露水平是决定其健康危害程度的关键因素。PEPs的浓度会受到多种因素的影响而发生变化,然而,现有研究尚未完全阐明影响PEPs水平的因素及其之间的关联。为进一步明确影响PEPs水平的因素,本实验将探究不同打印条件下(不同字体、不同字号、打印方式、不同页面布局、不同大小的打印纸、不同品牌的打印纸、不同水分含量的打印纸)PEPs浓度的变化情况,期望为指导人们安全有效地使用打印机提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验器材

实验仓(体积 0.606 m^3 , 长 1.035 m , 宽 0.711 m , 高 0.823 m), 打印机(惠普 LaserJet M1136, 美国), 硒鼓(天色 cc388a, 中国), 70 g A4 打印纸(得力, 中国), 70 g A4 打印纸(晨光, 中国), 70 g B5 打印纸(得力, 中国), 5 mL 喷雾瓶、10 mL 喷雾瓶, 便携式气溶胶粒径谱仪(Grimm11-A, 德国), 电子温湿度仪(柏奥易杰, 中国), 臭氧检测仪(Aeroqual S500, 新西兰), 热球式风速仪(雷若仪表, 中国), 红外线测温仪(希玛仪表 SMART SENSOR AS852B, 中国)。

1.2 实验装置

在密闭实验仓中进行实验,实验仓与外界通过通风管道进行连接,左右壁各有一条出风管道,上壁一条进风管道,与气泵连接,管道内设置有滤膜,可以保证进入实验仓内的气体纯净(不含颗粒物)。激光打印机位于实验仓中,气溶胶粒径谱仪采样点正对出纸口中心,二者相距 0.218 m ,粒径谱仪每 6 s 记录一次数据。将电子温湿度计、红外线测温仪、风速仪、臭氧检测仪置于实验仓中,通过仓门上的手套控制仪器。

1.3 实验操作

每次实验前根据上述设置调整好相应实验装置,关闭实验仓门,打开气泵进行通风,保证每次实验前实验仓内颗粒物背景浓度低于 $20\text{ P}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。每次打印前测定仓内温度、湿度、风速、打印机加热辊温度,打印结束后进行通风,且相邻两次打印间隔时间至少 30 min ,以保证每次实验前以上各项指标基本不变。实验重复三次。每次实验前,实验仓内温度保持在 $22\text{--}26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,湿度为 $20\%\text{--}30\%$ 之间,打印机加热辊温度为 $30\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。实验过程中实验仓内风速始终小于 $0.05\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。开启气溶胶粒径谱仪监测 2 min ,随后开始打印,打印结束后监测 10 min 。打印机打印速度为 A4 纸每分钟 18 页、B5 纸每分钟 7.2 页,每次实验打印 72 页。具体设置如下。

(1) 不同字体: 选择宋体、楷体字体,打印内容为“中”字,500 字每页,字号小四,单面打印,得力 A4 打印纸,进行实验。

(2) 不同字号: 选择四号、五号字号,打印内容为“中”字,500 字每页,字体宋体,单面打印,得力 A4 打印纸,进行实验。

(3) 打印方式: 分别选择单面打印和双面打印,打

印内容为“中”字, 500 字每页, 字体宋体, 字号小四, 得力 A4 打印纸, 进行实验。

(4) 不同页面布局: 将 A4 打印纸从上到下分为三部分, 共 30 行, 分别从第 1、11、21 行开始, 打印内容为“中”字, 200 字每页, 字体宋体, 字号小四, 单面打印, 得力 A4 打印纸, 进行实验。

(5) 不同大小的打印纸: 选择 A4、B5 的打印纸, 打印内容为“中”字, 500 字每页, 字体宋体, 字号小四, 单面打印, 得力打印纸, 进行实验。

(6) 不同品牌的打印纸: 分别选择得力、晨光的 A4 打印纸, 打印内容为“中”字, 500 字每页, 字体宋体, 字号小四, 单面打印, 进行实验。

(7) 不同潮湿程度的打印纸(即不同水分含量): 使用喷雾瓶对得力 A4 打印纸进行处理, 分别将 0、5 和 10 mL 蒸馏水手动均匀喷涂在 72 页打印纸上。喷涂速度保持均匀且于 3 min 内处理完毕。打印内容为“中”字, 500 字每页, 字体宋体, 字号小四, 单面打印, 进行实验。

1.4 数据处理

1.4.1 测量值计算 用粒径谱仪进行颗粒物水平监测, 用臭氧检测仪进行臭氧浓度监测。粒径谱仪可测量粒径 0.25~32 μm (分 31 个通道)的颗粒物数量浓度和质量浓度。本研究中颗粒物数量浓度指 0.25~32 μm 各粒径颗粒物数量浓度之和, $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度指粒径小于 2.5 μm 的颗粒物质量浓度。为排除仓内背景浓度对实验的干扰, 以打印前 2 min 测得的颗粒物和臭氧浓度均值作为背景浓度, 将实时测量浓度减去背景浓度作为该时刻的颗粒物和臭氧浓度。峰值浓度是从打印开始至打印结束 10 min 内的颗粒物和臭氧最高浓度。峰面积为实验过程中颗粒物总排放量, 由颗粒物数量浓度-时间图象积分所得, 单位 $\text{P}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{min}$ 。

1.4.2 颗粒物排放速率和沉降速率的计算 颗粒物排放速率计算公式^[10]为:

$$S = V \left[\frac{C_{in(\Delta t)} - C_{in0}}{\Delta t} + \lambda C_{in(t)} \right] \quad (1)$$

颗粒物沉降速率为计算公式^[11]为:

$$\lambda = \frac{1}{t} \ln \frac{C_{in(\Delta t)}}{C_{in(t)}} \quad (2)$$

式(1)~(2)中, t 为打印结束后监测时间, min; S 为颗粒物排放速率, $\text{P}\cdot\text{min}^{-1}$; V 为容器体积, 0.606 m^3 ; λ 为颗粒物沉降速率, min^{-1} ; $C_{in(\Delta t)}$ 为实验仓内颗粒物数量浓度峰值, $\text{P}\cdot\text{cm}^{-3}$; C_{in0} 为实验仓内颗粒物背景数量浓度,

$\text{P}\cdot\text{cm}^{-3}$; Δt 为打印时间, min; $C_{in(t)}$ 为峰值后衰减 t min 的颗粒物数量浓度, $\text{P}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

1.5 统计学分析

用 SPSS 22.0 对实验数据进行统计分析, 正态和近似正态数据使用均数±标准差进行描述, 用独立样本 t 检验和方差分析比较组间差异。非正态数据用中位数和百分位数进行描述, 用 Wilcoxon 秩和检验进行比较。使用 Spearman 相关性分析检验打印条件与颗粒物水平间的关系。 $P < 0.05$ 时认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同条件下颗粒物和臭氧浓度变化情况

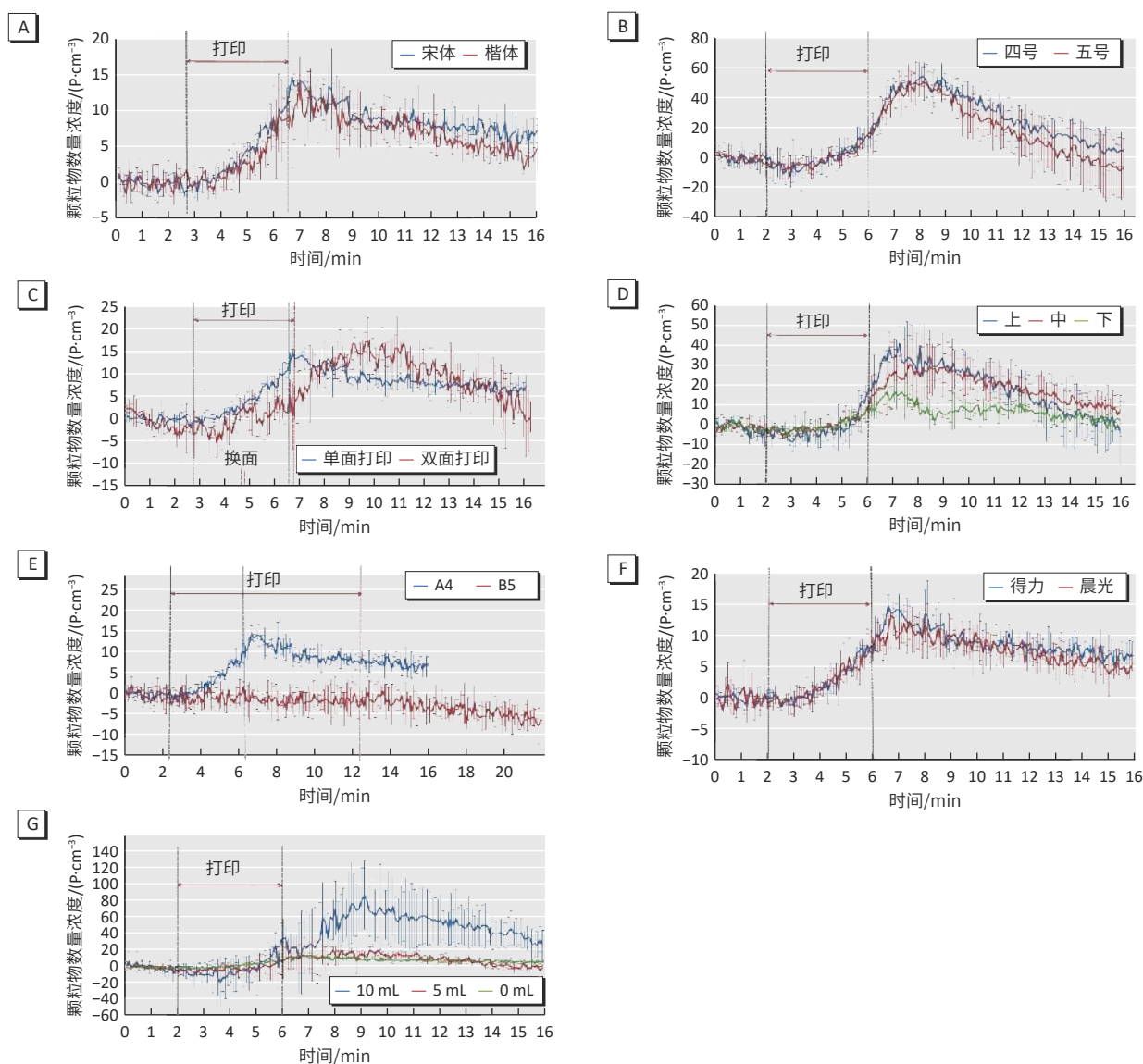
在不同的页面布局、潮湿程度打印纸条件下, 颗粒物数量浓度峰值变化差异有统计学意义($P < 0.05$), 而在不同的打印条件下 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度峰值和臭氧浓度峰值变化均无统计学意义($P > 0.05$), 如图 1、表 1 所示。在打印不同种字体时, 宋体对应的数量浓度峰值比楷体高 9.86%, 但差异没有统计学意义($P > 0.05$)。在打印不同字号时, 四号对应的颗粒物数量浓度峰值比五号高 6.99%, 但差异没有统计学意义($P > 0.05$)。对于不同的打印设置, 单面打印于 6.7 min 达到峰值, 双面打印达到峰值的时间明显晚于单面打印, 为 9.2 min, 峰值出现的时间差异具有统计学意义($P = 0.025$)。双面打印对应的数量浓度峰值略高于单面打印, 但差异没有统计学意义($P > 0.05$)。对于不同的页面布局, 打印位于纸张上 1/3、中 1/3 和下 1/3 对应的颗粒物数量浓度于 5.5 min 开始出现差异, 上 1/3 > 中 1/3 > 下 1/3, 差异具有统计学意义($P < 0.05$)。对于不同大小的打印纸, 使用 A4 纸颗粒物数量浓度会在打印后正常升高, 峰值浓度为 $(16.16 \pm 2.54) \text{ P}\cdot\text{cm}^{-3}$, 之后缓慢下降, 但是使用 B5 打印纸所需打印时长更长, 且实验过程中颗粒物数量浓度未出现明显峰值。对于不同品牌的打印纸, 使用得力打印纸和晨光打印纸颗粒物数量浓度差异没有统计学差异($P > 0.05$)。对于不同潮湿程度的打印纸, 使用 10 mL 水处理的纸张其颗粒物数量浓度峰值远远超过使用 5 mL 水处理的纸张和未使用水(0 mL)处理的纸张, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。通过相关性分析发现, 纸张潮湿程度与颗粒物数量浓度峰值存在正相关性($r = 0.95, P < 0.05$)。

2.2 不同打印条件颗粒物峰面积

峰面积可以一定程度代表打印过程中颗粒物的排放总量, 具体结果如表 1 所示, 不同条件下颗粒物峰面积比较为宋体 > 楷体 ($P > 0.05$), 四号 > 五号

($P>0.05$), 单面打印 > 双面打印($P>0.05$), 中 1/3 > 上 1/3 > 下 1/3($P>0.05$), 得力 > 晨光($P>0.05$), 10 mL >

5 mL > 未使用水(0 mL)($P<0.05$)。使用 B5 纸进行打印无峰值出现, 如图 1E 所示。



[注] A: 不同字体颗粒物数量浓度变化; B: 不同字号颗粒物数量浓度变化; C: 单面打印和双面打印颗粒物数量浓度变化; D: 不同页面布局颗粒物数量浓度变化; E: 不同大小打印纸颗粒物数量浓度变化; F: 不同品牌打印纸颗粒物数量浓度变化; G: 不同潮湿程度打印纸颗粒物数量浓度变化。

图 1 不同打印条件下颗粒物数量浓度变化情况

Figure 1 Changes in the number concentration of particles under different printing conditions

2.3 不同打印条件下颗粒物排放速率与沉降速率

如表 1 所示, 不同打印条件颗粒物排放速率和沉降速率的比较: 不同字体的颗粒物排放速率为宋体 > 楷体, 颗粒物沉降速率为宋体 > 楷体, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。不同字号的颗粒物排放速率为四号 > 五号, 颗粒物沉降速率为四号 > 五号, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。不同打印设置的颗粒物排放速率为双面打印 > 单面打印, 颗粒物沉降速率为双面打印 > 单面打印, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。不同页面布

局的颗粒物排放速率为上 1/3 > 中 1/3 > 下 1/3, 差异有统计学意义($P<0.05$); 颗粒物沉降速率为上 1/3 > 中 1/3 > 下 1/3, 差异无统计学意义($P>0.05$)。不同品牌打印纸的颗粒物排放速率为得力 > 晨光, 颗粒物沉降速率为得力 > 晨光, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。不同潮湿程度打印纸的颗粒物排放速率为 10 mL > 5 mL > 未使用水(0 mL), 差异有统计学意义($P<0.05$); 颗粒物沉降速率为 10 mL > 未使用水(0 mL) > 5 mL, 差异无统计学意义($P>0.05$)。

表 1 不同打印条件颗粒物释放情况 (n=3)
Table 1 Particle release under different printing conditions (n=3)

条件	颗粒物数量浓度峰值/ (P·cm ⁻³)	峰面积/ (P·cm ⁻³ ·min)	颗粒物排放速率/ (10 ⁶ P·min ⁻¹)	颗粒物沉降速率/ (P·min ⁻¹)	PM _{2.5} 质量浓度峰值/ (μg·m ⁻³)	臭氧浓度峰值/ (μg·m ⁻³)
字体						
宋体	16.16±2.54	98.76±11.67	2.99±0.59	0.04±0.02	2.56±0.47	4.20±0.38
楷体	14.71±2.91	79.60±16.01	2.85±0.51	0.03±0.01	3.95±0.77	4.36±0.96
F/t	0.65	1.68	0.32	0.48	-2.18	-0.21
P	0.55	0.17	0.76	0.66	0.10	0.84
字号						
四号	59.35±6.31	278.26±59.73	12.81±1.74	0.04±0.01	2.81±0.99	4.67±1.32
五号	55.47±7.44	204.65±24.80	11.65±1.56	0.03±0.02	2.70±1.42	4.20±1.75
F/t	0.69	0.92	0.87	1.21	0.10	0.30
P	0.53	0.41	0.44	0.29	0.93	0.78
打印方式						
单面打印	16.16±2.54	98.76±11.67	2.99±0.59	0.04±0.02	2.56±0.47	4.20±0.38
双面打印	19.71±2.69	92.98±9.66	4.42±1.25	0.04±0.01	3.19±0.24	2.33±1.37
F/t	-1.66	0.66	-1.80	0.81	-1.65	1.85
P	0.17	0.54	0.15	0.46	0.17	0.14
页面布局						
上1/3	48.74±3.56	198.88±93.34	10.58±1.04	0.04±0.01	6.66±5.42	3.89±0.96
中1/3	37.72±16.23	203.26±95.22	7.79±2.67	0.04±0.02	4.55±1.71	3.62±1.21
下1/3	21.51±4.14	84.53±38.83	4.38±0.67	0.03±0.003	5.04±0.67	2.96±1.80
F/t	5.71	2.11	10.02	0.86	0.28	0.27
P	0.04	0.20	0.01	0.47	0.77	0.77
不同厂商						
得力	16.16±2.54	98.76±11.67	2.99±0.59	0.04±0.02	2.56±0.47	4.20±0.38
晨光	15.53±3.53	86.78±14.98	2.94±0.68	0.03±0.01	4.94±1.30	6.38±1.44
F/t	0.25	1.09	0.09	0.62	-2.43	-2.06
P	0.82	0.34	0.93	0.57	0.07	0.11
不同潮湿程度(72页)						
未使用水	16.16±2.54	98.76±11.67	2.99±0.59	0.04±0.02	2.56±0.47	4.20±0.38
5 mL	28.69±1.57	176.73±83.66	6.69±1.23	0.03±0.01	3.26±0.86	4.67±1.14
10 mL	90.38±41.19	442.52±151.14	12.83±3.53	0.06±0.02	2.53±0.41	2.68±1.06
F/t	8.33	9.75	15.51	1.67	0.92	3.03
P	0.02	0.01	<0.01	0.27	0.45	0.11

[注]由于使用 B5 打印纸时无峰值出现,本表中不展示不同纸张大小之间的差异。

3 讨论

既往研究显示,改变页面覆盖率会影响 PEPs 水平,本实验中字体、字号对 PEPs 水平的影响,主要通过影响页面覆盖率来发挥作用^[12-13]。宋体“中”字的页面覆盖率略大于楷体,但差异过小,因此本实验中打印不同字体颗粒物的数量浓度没有明显差异。不同字号存在页面覆盖率的差异,故结果显示打印四号字时颗粒物数量浓度略高。鉴于打印过程中字体、字号、加粗等字体格式选择多样,在后续实验中可进一步探索 PEPs 水平最低的字体格式,从而降低 PEPs 排放水平。

温度是影响 PEPs 水平的因素之一。双面打印峰

值延后可能和纸张温度有关,进行第二面打印时的纸张已经过加热,导致挥发性有机物冷凝成核慢,颗粒物形成减慢^[14-15]。有研究发现进行连续打印之间的间隔越长,粒径小于 1 μm 的颗粒物(PM₁)数量浓度越高,原因可能是间隔打印时加热辊温度发生变化,碳粉未达到固定温度从而以颗粒物形式释放^[16],与本实验结果一致。双面打印峰值出现晚且持续时间长,颗粒物的暴露水平更高,因此选择单面打印可降低 PEPs 的危害。需要换面的双面打印在进行换面后,纸张已经被加热,因此颗粒物浓度会更高。选择不同页面布局,PEPs 浓度不同。这可能与碳粉加热情况有关,越靠近

页脚开始打印,碳粉融化更加充分,也更能和纸张充分结合,脱离的碳粉更少,颗粒物浓度越低^[17-18]。打印 A4 纸速度为每分钟 18 页,而打印 B5 纸的速度为每分钟 7.2 页,以往研究发现打印时间的延长使碳粉加热更加充分,因此颗粒物水平更低^[19]。基于该发现,建议打印机制造商考虑调整打印设置,延长碳粉加热时间,以减少颗粒物释放水平;用户在选择打印纸的大小时,则需要综合考虑打印效率与颗粒排放水平,选择适宜大小的纸张进行打印。

此外,不同品牌的打印纸对应的颗粒物数量浓度曲线基本相同,可能是两种纸张成分、性质相似。使用 80 g 打印纸进行打印时 PM₁ 数量浓度明显高于 70 g 打印纸^[20]。对于成分、平滑度等纸张特性是否会影响打印机颗粒物释放量仍缺乏相关研究。本实验选择了不同潮湿程度的打印纸进行研究,结果发现潮湿程度高的纸张打印时颗粒物数量浓度峰值显著升高。纸张潮湿程度高可能导致纸张表面漏电,在转印过程中碳粉难以附着在纸张上,且在加热过程中更容易产生挥发性有机物,进而导致颗粒物浓度升高。

在所有打印条件下都观察到打印工作结束 10 min 后,颗粒物浓度未回归基线水平,说明 PEPs 的沉降速率不高,其原因可能是颗粒物粒径小,悬浮时间长。有研究证明,改变通风条件可以影响 PEPs 的污染水平,进行通风的室内颗粒物浓度较低^[21-22]。

实验还监测了臭氧含量的变化情况,发现臭氧含量在打印工作中会有一定升高,但峰值均未超过我国 GB 3095—2012《环境空气质量标准》设置的 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

本实验存在不足之处,PEPs 以细颗粒物(含 250 nm 以下)为主,已经小于本实验所用粒径谱仪监测范围(0.25~32 μm),这部分数据缺失会造成一定影响。另外,本研究选择了生活中常用的宋体和楷体、四号和五号,但由于二者页面覆盖率相差较小,难以观测到明显差异性。在实验仓中进行实验可以有效控制无关变量的干扰,但现实打印作业环境下因素复杂多变,因此该实验尚无法解析多种混合因素的联合作用。

综上,本实验发现打印机工作过程会释放大量颗粒物且不同打印条件下,PEPs 的水平存在差异。该实验证明了字体、字号、打印方式、纸张品牌(得力和晨光)对于 PEPs 浓度的影响较小,而不同的页面布局、打印纸大小、不同潮湿程度对 PEPs 的浓度水平改变较大。因此,通过控制打印条件来改变 PEPs 的水平具有一定的可行性,可根据实验结果指导办公人员和打印机工作人员选择相对环保的打印方式,改善室内环

境,保护人们的健康生活。

参考文献

- [1] PIRELA SV, BHATTACHARYA L, WANG Y, et al. A 21-day sub-acute, whole-body inhalation exposure to printer-emitted engineered nanoparticles in rats: Exploring pulmonary and systemic effects[J]. *NanoImpact*, 2019, 15: 100176.
- [2] CARLL AP, SALATINI R, PIRELA SV, et al. Inhalation of printer-emitted particles impairs cardiac conduction, hemodynamics, and autonomic regulation and induces arrhythmia and electrical remodeling in rats[J]. *Part Fibre Toxicol*, 2020, 17(1): 7.
- [3] ARI A. A comprehensive study on gas and particle emissions from laser printers: Chemical composition and health risk assessment[J]. *Atmos Pollut Res*, 2020, 11(2): 269-282.
- [4] TALIB AH, ABDULATEEF ZN, ALI ZA. Measurement of some air pollutants in printing units and copy centers within baghdad city[J]. *Baghdad Sci J*, 2021, 18(S1): 687-694.
- [5] 吕利枝, 刘林, 苏明阳, 等. 打印机释放颗粒物的特征与影响因素[J]. *环境与职业医学*, 2020, 37(9): 833-839.
- [6] LYU LZ, LIU L, SU MY, et al. Characteristics and influencing factors of particulate matters released from printers[J]. *J Environ Occup Med*, 2020, 37(9): 833-839.
- [7] LYU L, LI Y, OU X, et al. Health effects of occupational exposure to printer emissions on workers in China: Cardiopulmonary function change[J]. *NanoImpact*, 2021, 21: 100289.
- [8] LYU L, XU Y, WANG H, et al. Changes in heart rate variability of healthy subjects shortly exposed to printing shop particles and the effect of air purifier intervention[J]. *Environ Pollut*, 2022, 315: 120418.
- [9] WANG H, LYU L, GAO Y, et al. A case study on occupational exposure assessment and characterization of particles in a printing shop in China[J]. *Environ Geochem Health*, 2023, 45(7): 5371-5385.
- [10] 彭毓, 巩超, 朱世瑞, 等. 高校教师办公室打印设备使用情况及其释放颗粒物的影响因素[J]. *环境与职业医学*, 2021, 38(11): 1219-1223, 1230.
- [11] PENG Y, GONG C, ZHU SR, et al. Usage of printing equipment in college teachers' offices and influencing factors of released particulate matter[J]. *J Environ Occup Med*, 2021, 38(11): 1219-1223, 1230.
- [12] FERRO AR, KOPPERUD RJ, HILDEMAN LM. Source strengths for indoor human activities that resuspend particulate matter[J]. *Environ Sci Technol*, 2004, 38(6): 1759-1764.
- [13] LAI A C K. Particle deposition indoors: a review[J]. *Indoor Air*, 12(4): 211-214.
- [14] 圣莉. 打印机工作条件下 PM_{2.5} 及化学组分的一次排放与二次生成[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [15] SHENG L. Primary emission and secondary generation of PM_{2.5} and chemical components under printer operating conditions[D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.
- [16] WANG D, GUO H, HE C. An investigation on particle emission from a new laser printer using an environmental chamber[J]. *Indoor Built Environ*, 2017, 26(8): 1144-1154.
- [17] KHATRI M, BELLO D, PAL AK, et al. Evaluation of cytotoxic, genotoxic and inflammatory responses of nanoparticles from photocopiers in three human cell lines[J]. *Part Fibre Toxicol*, 2013, 10: 42.
- [18] WANG H, HE C, 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.
- [19] 高琰钧, 魏玉虾, 陈俏, 等. 打印店内 PM_{2.5} 和 PM₁ 的特征与影响因素分析[J]. *中华预防医学杂志*, 2019, 53(3): 284-288.

- GAO YJ, WEI YX, CHEN Q, et al. Analysis of characteristics and influencing factors of fine particulate matters and submicron particulate matters in printing shop[J]. *Chin J Prev Med*, 2019, 53(3): 284-288.
- [17] PIRELA SV, SOTIRIOU GA, BELLO D, et al. Consumer exposures to laser printer-emitted engineered nanoparticles: A case study of life-cycle implications from Nano-enabled products[J]. *Nanotoxicology*, 2015, 9(6): 760-768.
- [18] PARK H, PARK S. New approaches to characterize and reduce the number of ultrafine particles from a laser printer[J]. *J Imag Sci Technol*, 2013, 57(1): 010502.
- [19] BYEON JH, KIM JW. Particle emission from laser printers with different printing speeds[J]. *Atmos Environ*, 2012, 54: 272-276.
- [20] 吕利枝, 段淑敏, 王云. 打印复印设备释放污染物与健康效应[J]. *中国公共卫生*, 2020, 36(10): 1523-1528.
- LÜ LZ, DUAN SM, WANG Y. Pollutants released by printing and copying equipment operations and their health effects[J]. *Chin J Public Health*, 2020, 36(10): 1523-1528.
- [21] 郭鑫, 吕利枝, 王云. 打印机释放颗粒物时空分布及通风影响[J]. *中国公共卫生*, 2022, 38(11): 1460-1464.
- GUO X, LÜ LZ, WANG Y. Temporospacial distribution of particles released by printer and influence of ventilation: an experimental study[J]. *Chin J Public Health*, 2022, 38(11): 1460-1464.
- [22] ANSARIPOUR, M, ABDOLZADEH M, SARGAZIZADEH S. Computational modeling of particle transport and distribution emitted from a Laserjet printer in a ventilated room with different ventilation configurations[J]. *Appl Therm Eng*, 2016, 103: 920-933.
- (英文编辑: 汪源; 责任编辑: 汪源)

· 告知栏 ·

《环境与职业医学》杂志 2023 年度审稿专家名单

(按姓氏汉语拼音首字母顺序排列)

白 云	班 婕	卞 倩	蔡美琴	蔡 倩	常秀丽	陈 波	陈承志	陈 德	陈建武
陈 健	陈钧强	陈 敏	陈敏健	陈青松	陈 苘	陈仁杰	陈 涛	陈 田	陈卫红
陈远华	陈章健	崔红梅	崔 雷	崔留欣	戴俊明	戴宇飞	邓芙蓉	丁帮梅	丁春光
丁瑾瑜	丁文军	董瑞华	段化伟	房中则	高林峰	高 宇	谷桂珍	顾沈兵	关 里
郭彩霞	郭红卫	郭雁飞	韩春姬	阚海东	何丽华	何美安	何 云	洪 峰	洪新宇
胡训军	黄 波	黄德寅	黄 婧	黄 敏	黄 楠	黄素丽	贾 光	贾晓东	菅向东
姜岳明	蒋守芳	蒋兆强	金 辉	金克峙	金永堂	晋小婷	靳 远	居静娟	赖 燕
兰亚佳	雷立健	雷晓宁	李 奔	李富业	李 涵	李煌元	李 健	李 乐	李树新
李 涛	李湉湉	李 伟	李卫华	李学文	李艳博	厉曙光	连玉龙	梁戈玉	林华亮
林 立	林 敏	林 楠	林忠宁	刘 聪	刘海宽	刘和亮	刘继文	刘克俭	刘烈刚
刘 敏	刘起展	刘 冉	刘 睿	刘 涛	刘晓曼	刘跃伟	楼建林	卢大胜	卢国栋
陆荣柱	路小婷	罗 斌	马文军	马文军	毛 翎	毛振兴	孟晓静	牛丕业	牛 侨
帕它木·莫合买提	潘小川	彭娟娟	彭莉君	钱海雷	秦立强	秦文华	邱 伟	任利华	单晓梅
沈福海	沈孝兵	沈学锋	施小明	施 燕	史慧静	宋海燕	宋 宏	宋瑞金	宋伟民
孙辰晨	孙桂菊	孙蓉丽	孙文均	孙 莹	谈建国	谈立峰	汤乃军	唐 萌	田海林
田耀华	田 英	万伟国	汪春红	汪严华	汪作为	王爱红	王德军	王 华	王焕强
王继伟	王 瑾	王劲峰	王美林	王素华	王 霞	王友洁	王 云	王志宏	王 致
王忠旭	王祖兵	温 韬	吴 辉	吴 庆	吴少伟	吴 炜	席淑华	向建军	肖 斌
肖国兵	肖 萍	邢鸣鸾	徐东群	徐 健	徐苑苑	徐兆发	徐志伟	许慧慧	薛 涛
闫永建	严茂胜	阎小艳	杨 飞	杨光红	杨 婧	杨 军	杨克敌	杨 磊	杨 莉
姚耿东	叶细标	殷浩文	尹立红	应 峻	于典科	余金明	余善法	余小金	余晓丹
虞慧婷	袁金华	袁 晶	袁 涛	曾 强	曾 强	曾 涛	曾晓雯	翟成凯	詹 铭
张恒东	张红梅	张慧东	张济明	张建彬	张江华	张 洁	张 娟	张美辨	张 强
张 勤	张勤丽	张 荣	张晓峰	张艳淑	张玉彬	张云权	张 昀	张蕴晖	张增利
张忠彬	张遵真	章敏华	赵金垣	赵金镏	赵 岩	赵一鸣	赵卓慧	郑 光	郑金平
郑唯韩	郑 杨	郑玉建	周 峰	周惠嘉	周建伟	周 良	周文慧	周 雪	周志俊
朱宝立	朱晓俊	朱奕奕	朱益民	朱珍妮	祖 平				