

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

彭毓^{1a}, 巩超^{1a}, 朱世瑞^{1a}, 赵茜^{1a}, 何丽华^{1a}, 余灿清^{1b}, 闫赖赖^{1c}, 徐钰^{2,3}, 王云^{1a}

1. 北京大学公共卫生学院 a. 劳动卫生与环境卫生学系 b. 流行病学与卫生统计学系 c. 卫生检验学系, 北京 100191
2. 北京大学人民医院呼吸科, 北京 100044
3. 北京积水潭医院呼吸科, 北京 100035

摘要:

[背景] 打印复印设备会释放大量颗粒物, 危害人体健康, 但目前对办公场所打印机释放颗粒物水平及其影响因素探究不足。

[目的] 调查教师办公室打印设备使用情况及其工作时的室内颗粒物水平, 探讨打印机放置位置和室内通风对打印机工作时释放颗粒物污染水平的影响。

[方法] 在 2021 年 1 月 4—6 日的 9—16 时, 应用方便抽样法选取北京市某大学 20 间教师办公室, 测定打印设备工作时的室内颗粒物水平, 并对办公室内 31 名教师的打印设备使用情况进行调查。在办公室内开展实验, 探讨打印机的放置方位、检测距离、通风以及通风时打印机与窗口的距离对打印机释放颗粒物数量浓度的影响。

[结果] 除 1 台打印机置于地面, 其他 30 台打印机放置在距地面高(0.71±0.16)m 桌面上, 20 台(65%)打印机与教师的水平距离小于 1 m。23 位(74%)老师打印频率在每周 1~5 次之间, 每次打印的页数为(7.03±4.07)页。打印设备工作时的教师办公室 PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁ 质量浓度峰值为(21.96±12.96)、(7.92±5.54)、(5.77±5.00) μg·m⁻³, PM_{0.25~0.28} 数量浓度峰值为(40 941±36 926)个·L⁻¹。模拟实验表明, 当位于打印机的正面、侧面和后面时, 打印过程释放的 0.25~0.28 μm 颗粒物数量浓度峰值分别为(24 257±551)、(12 588±1 354)、(11 192±249)个·L⁻¹, 差异有统计学意义($F=214.9, P<0.01$); 当检测点与打印机的距离为 0.1、0.2、0.3 m 时, 打印过程释放的 0.25~0.28 μm 颗粒物数量浓度峰值分别为(24 257±551)、(19 847±1 426)、(16 480±878)个·L⁻¹, 差异有统计学意义($F=44.66, P<0.01$); 当通风与不通风时, 打印过程释放的 0.25~0.28 μm 颗粒物数量浓度峰值分别为(18 595±488)、(24 257±511)个·L⁻¹, 差异有统计学意义($F=192.6, P<0.01$); 当打印机与窗口相距 1、2、3 m 时, 打印过程释放的 0.25~0.28 μm 颗粒物数量浓度峰值分别为(16 780±823)、(18 347±348)、(18 595±488)个·L⁻¹, 差异有统计学意义($F=8.407, P<0.05$)。

[结论] 学校办公人员的打印量较小, 打印机工作时教师办公室内颗粒物浓度较低。打印机的方位、距离、通风以及通风状态下与窗口的距离均是打印机释放颗粒物浓度的影响因素。

关键词: 打印机; 颗粒物; 办公室; 影响因素

Usage of printing equipment in college teachers' offices and influencing factors of released particulate matter PENG Yu^{1a}, GONG Chao^{1a}, ZHU Shirui^{1a}, ZHAO Qian^{1a}, HE Lihua^{1a}, YU Canqing^{1b}, YAN Lailai^{1c}, XU Yu^{2,3}, WANG Yun^{1a} (1.a. Department of Occupational and Environmental Health b. Department of Epidemiology and Biostatistics c. Department of Laboratorial Science and Technology in Preventive Medicine, Peking University School of Public Health, Beijing 100191, China; 2. Department of Respiratory Medicine, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China; 3. Department of Respiratory Medicine, Beijing Jishuitan Hospital, Beijing 100035, China)

Abstract:

[Background] Printing and copying equipment is likely to release a large amount of particulate matter, thereby endangering human health. However, there is insufficient research on the level of particulate matter released by printers in offices and its influencing factors.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.21103

基金项目

国家自然科学基金项目(31971313)

作者简介

彭毓(1998—), 男, 本科生;

E-mail: 1610306205@pku.edu.cn

通信作者

王云, E-mail: wangyun@bjmu.edu.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-03-18

录用日期 2021-09-20

文章编号 2095-9982(2021)11-1219-06

中图分类号 R122.2

文献标志码 A

►引用

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.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21103

Funding

This study was funded.

Correspondence to

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

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2021-03-18

Accepted 2021-09-20

► To cite

PENG Yu, GONG Chao, ZHU Shirui, et al. Usage of printing equipment in college teachers' offices and influencing factors of released particulate matter[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(11): 1219-1223, 1230.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21103

[Objective] This study is designed to investigate the usage of printing equipment in college teachers' offices and the level of indoor particulate matter during printing, and to explore the influence of printer location and indoor ventilation on the particulate matter pollution level released during printer operation.

[Methods] From 9:00 to 16:00 on January 4 to 6, 2021, 20 faculty offices in a university in Beijing were selected by convenient sampling to measure the indoor particulate matter level during printing, and to investigate the printing equipment usage of 31 users in the offices. Besides, experiments were designed to explore the influence of position and distance from a printer, ventilation, and the distance between a printer and a nearby window during ventilation on the number concentration of particulate matter released by the printers.

[Results] Except one printer being placed on the ground, the other 30 printers were placed on office desks (0.71 ± 0.16) m above the ground. Among them, 65% of the printers ($n=20$) were less than 1 m away from the users horizontally, and 74% of the users ($n=23$) accessed the printers 1-5 times a week, printing (7.03 ± 4.07) pages per time. The peak mass concentrations in users' offices during printing of PM_{10} , $PM_{2.5}$, and PM_1 were (21.96 ± 12.96), (7.92 ± 5.54), and (5.77 ± 5.00) $\mu g \cdot m^{-3}$, respectively, and the peak number concentration of $PM_{0.25-0.28}$ was (40941 ± 36926) $P \cdot L^{-1}$. The experiments showed that when the particle sizer was located in the front, side, and back of the printers, the peak values of $PM_{0.25-0.28}$ number concentration during printing were (24257 ± 551), (12588 ± 1354), and (11192 ± 249) $P \cdot L^{-1}$, respectively, and the difference among them was statistically significant ($F=214.9$, $P < 0.01$); when the particle sizer was placed 0.1, 0.2, and 0.3 m away from the printers, the peak values of $PM_{0.25-0.28}$ number concentration during printing were (24257 ± 551), (19847 ± 1426), and (16480 ± 878) $P \cdot L^{-1}$, respectively, and the difference among them was statistically significant ($F=44.66$, $P < 0.01$); when the experiment room was ventilated or not, the peak values of $PM_{0.25-0.28}$ number concentration during printing were (18595 ± 488) and (24257 ± 551) $P \cdot L^{-1}$, respectively, and the difference between them was statistically significant ($F=192.6$, $P < 0.01$); when the distance between the printer and the window was 1, 2, 3 m, the peak values of $PM_{0.25-0.28}$ number concentration during printing were (16780 ± 823), (18347 ± 348), and (18595 ± 488) $P \cdot L^{-1}$, respectively, and the difference among them was statistically significant ($F=8.407$, $P < 0.05$).

[Conclusion] The overall printer workload is small and the concentration of particulate matter in the faculty offices is low when the printers are working. Printer position, distance, ventilation, and the distance from a nearby window under ventilation conditions are factors affecting the concentration of particulate matter released by the printers.

Keywords: printer; particulate matter; office; influencing factor

人的一生中有一半以上的时间是在室内度过的,因此大多数与环境接触有关的疾病都与室内空气质量相关^[1]。随着办公自动化的普及,打印复印设备越来越广泛地应用在人们的工作和生活中,其工作时会释放大量颗粒物,造成室内空气污染,进而对人体健康造成潜在影响^[2-7]。根据既往研究,打印复印设备释放的颗粒物大多为细颗粒物或超细颗粒物^[8],而颗粒物粒径的大小对颗粒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^[9-10]。因此,明确打印机释放颗粒物的暴露水平及其影响因素,对于控制办公场所污染物暴露水平,保护办公人员的身体健康有重要意义。但现有研究多监测打印店或打印中心的污染物水平,对办公场所打印设备污染水平研究较少;此外,虽发现打印复印设备释放污染物受多种因素影响^[11-14],如本课题组前期研究中发现打印机释放颗粒物呈现首峰效应,且受页面覆盖率和打印静息时间的影响^[12-13],但是缺乏对于打印机方位、距离和通风等颗粒物污染水平的影响因素的探究。本研究通过调查教师办公室打印设备使用情况,测量打印机工作时室内污染物的浓度水平,评估打印机对办公人员的健康危害,并探讨打印机方位、检测距离、通风以及通风时与窗口的

距离等因素对打印机释放颗粒物浓度的影响,以期控制办公室打印机污染和合理使用打印机提供参考建议。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器设备

A4 打印纸(得力,中国),国产兼容硒鼓(格之格,中国),激光打印机(HP,美国)。粒径谱仪(GRIMM,德国),直读式臭氧检测仪(Aeroqual,新西兰),激光测距仪(UNIT,中国),电子温湿度计(伯奥易杰,中国)。

1.2 办公室打印设备使用情况调查

1.2.1 现场调查 在2021年1月4—6日的9—16时,采用方便抽样法随机选择北京某高校某办公楼2~8层的20间教师办公室进行调查,调查时3人配合,记录办公室内人数,打印机数量、型号,办公室是否开窗通风等基本情况。关闭门窗,使用激光测距仪测量办公室的长、宽、高,窗户的长、高,打印机到地面的垂直距离及与每位教师的水平距离;使用电子温湿度计在办公室中心距地面1 m处测量室内温度、相对湿度;于打印机工作时在打印机附近相同高度使用粒径谱仪测量室内颗粒物水平,包括 PM_{10} (空气动力学直径 $\leq 10 \mu m$ 的颗粒物)、 $PM_{2.5}$ (空气动力学直径 $\leq$

2.5 μm 的颗粒物)、 PM_{10} (空气动力学直径 $\leq 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物)的质量浓度(单位为 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), $\text{PM}_{0.25-0.28}$ (空气动力学直径为 0.25~0.28 μm 的颗粒物)的数量浓度(单位为个 $\cdot\text{L}^{-1}$);使用直读式臭氧检测仪测量室内臭氧的质量浓度(单位为 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$);将所有内容记录在调查表中。室外的颗粒物浓度数据来源于北京市海淀区万柳监测站公布的结果。将测得的结果与 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》^[15], GB 3095—2012《环境空气质量标准》^[16] 及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室内颗粒物数量浓度峰值水平^[17] 进行比较,评价办公楼室内环境的空气质量。

1.2.2 问卷调查 在进行现场调查的同时,向办公室内的老师发放电子版调查问卷,共完成问卷 31 份,问卷内容主要由个人基本情况、打印机的使用情况构成,如打印机使用频率、每次打印页数、每包打印纸使用时间、开窗通风的频率和时间、是否吸烟等。

1.3 打印机释放颗粒物污染水平的影响因素

1.3.1 实验条件设置 将一台激光打印机置于体积为 86.97 m^3 (6.31 m $\times$ 5.89 m $\times$ 2.34 m)的实验室内,房间有 1 扇门,4 扇窗户,每扇窗户面积为 0.82 m^2 (1.46 m $\times$ 0.56 m),窗下缘离地高度 0.85 m。实验时门窗关闭,室内温度为 20~24 $^{\circ}\text{C}$,湿度为 10%~20%,室外 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度小于 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,臭氧质量浓度小于 $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。实验过程中的通风状态为开窗通风,风速为 $0.40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

采用高琰钧等^[12]的研究中所用的打印机 B 进行黑白单面打印,打印机进纸速度为每分 20 页,A4 打印纸厚度 $70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,打印内容为小写字母 a(每页 33 行,每行 64 字符,字号四号,字体 Times New Roman),每次实验打印 40 页。

使用粒径谱仪、直读式臭氧检测仪从打印前 1 min 到打印后 10 min 测量颗粒物和臭氧浓度,每分钟读数一次。以打印后的数量浓度峰值代表打印过程中颗粒物的浓度值。相邻两次实验间隔超过 30 min,并开窗通风,确保下一次实验开始时室内的颗粒物浓度降低至背景水平,打印机加热辊和硒鼓的温度也降低至 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。

1.3.2 比较不同位置与通风因素对打印机释放颗粒物污染水平的影响 如表 1 所示,共设计 8 组实验,每组实验重复 3 次。通过比较实验 1、2、3,揭示打印机不同的方位(正面、侧面、背面)处颗粒物污染水平;通过比较实验 1、4、5,揭示打印机不同水平距离

(0.1、0.2、0.3 m)处颗粒物污染水平;通过比较实验 1、6 揭示通风对颗粒物污染水平的影响;通过比较实验 6、7、8,揭示通风状态下,打印机与窗口不同的距离(1、2、3 m)对颗粒物污染水平的影响。

表 1 打印机释放颗粒物影响因素实验条件 ($n=3$)

Table 1 Experimental conditions for the influencing factors of particulate matter released by printers ($n=3$)

编号	打印机方位	打印机水平距离/m	是否开窗通风	打印机与窗口的距离/m
1	正面	0.1	否	3.0
2	侧面	0.1	否	3.0
3	背面	0.1	否	3.0
4	正面	0.2	否	3.0
5	正面	0.3	否	3.0
6	正面	0.1	是	3.0
7	正面	0.1	是	2.0
8	正面	0.1	是	1.0

1.4 统计学分析

使用 Excel 2019 录入数据,使用 R 3.6.3 进行统计分析。正态分布和近似正态分布的计量资料采用均数 $\pm$ 标准差进行描述;非正态分布的计量资料采用中位数(M)和百分位数(P_{25} , P_{75})描述,不同组别之间进行方差分析比较,以探究各个因素的影响。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 办公室打印设备使用情况

20 间办公室,1 人使用的有 11 间,2 人共用的有 7 间,3 人共用的有 2 间;每人配备一台打印机,共有 31 位教师 31 台打印机。19 间办公室的体积为 $(48.02\pm 4.11) \text{ m}^3$,1 个窗户;另 1 间办公室容积 109.58 m^3 ,有 2 个窗户;每个窗户面积相同,为 3.28 m^2 ;大约每 32.97 m^3 有 1 台打印机。除 1 台打印机置于地面,其他 30 台打印机放置在距地面高 $(0.71\pm 0.16) \text{ m}$ 桌面上。20 台(65%)打印机与教师的距离小于 1 m。由于调查时间为冬季,21 位(71%)教师每天开窗通风时间小于 1 h,提示打印机工作释放的颗粒物,可能因不及时开窗通风而在室内长时间滞留。

在打印机的使用方面,4 位(13%)教师每周打印次数少于 1 次,23 位(74%)的教师每周打印次数在 1~5 次之间,4 位(13%)教师每天打印次数在 1~5 次之间。每次打印的页数在 1~20 页之间,平均每次打印的页数为 (7.03 ± 4.07) 页。教师用完 1 包纸(500 张)的时

间在 2~999 d 之间,中位数为 60(30,100)d。以上说明绝大多数教师们的日常办公打印量很少,打印机工作量较小。

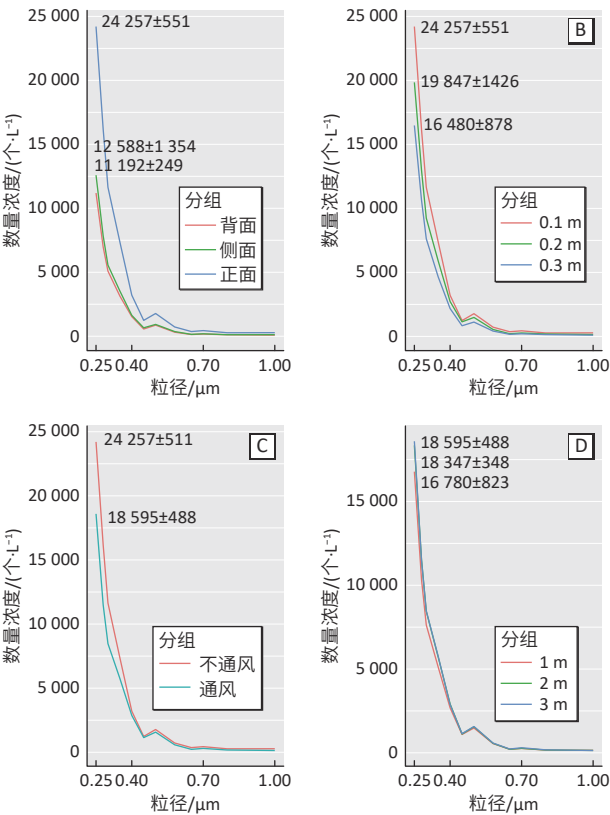
如表 2 所示,20 间办公室的温度范围为 19.1~28.3℃,平均温度为(22.6±2.7)℃;湿度范围为 16.2%~35.1%,平均湿度(22.7±5.6)%。打印机工作导致室内颗粒物浓度改变。室内的臭氧、PM₁₀ 与 PM_{2.5} 的质量浓度低于室外的污染物浓度。与 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》的要求(温度 16~24℃,湿度为 30%~60%,PM₁₀ 浓度小于 150 μg·m⁻³,臭氧浓度小于 160 μg·m⁻³)相比,办公室房间温度达标率为 75%,部分房间温度过高;湿度达标率为 10%,大部分房间湿度过低;PM₁₀ 和臭氧均低于限值。与 GB 3095—2012《环境空气质量标准》规定的 PM_{2.5} 二级限值(75 μg·m⁻³)相比,PM_{2.5} 均低于限值。0.25~0.28 μm 颗粒物的数量浓度平均值为(40 941±36 926)个·L⁻¹,低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的室内颗粒物数量浓度峰值水平(2×10⁷ 个·L⁻¹)。

表 2 教师办公室内打印机工作时空气质量
Table 2 Air quality in selected faculty offices during printing

项目	室内	室外
温度/℃	22.6±2.7	—
相对湿度/%	22.7±5.6	—
臭氧质量浓度/(μg·m ⁻³)	15.22±9.04	54.44±7.44
PM ₁₀ 质量浓度峰值/(μg·m ⁻³)	21.96±12.96	36.70±8.09
PM _{2.5} 质量浓度峰值/(μg·m ⁻³)	7.92±5.54	9.52±5.06
PM ₁ 质量浓度峰值/(μg·m ⁻³)	5.77±5.00	—
PM _{0.25~0.28} 数量浓度峰值/(个·L ⁻¹)	40 941±36 926	—

2.2 打印机释放颗粒物影响因素分析

图 1 显示了不同实验条件下的颗粒物粒径分布数量浓度图,图中可看到打印机释放的颗粒物主要为粒径小于 0.6 μm 的颗粒物,粒径越小的颗粒物数量浓度越高。比较不同实验条件下,打印过程中释放的 0.25~0.28 μm 颗粒物数量浓度峰值的情况,结果显示:打印机的方位、距离、通风以及通风状态下与窗口的距离均是打印机释放颗粒物浓度的影响因素($P<0.05$)。打印机出纸口正面的颗粒物峰值浓度明显高于侧面和后面;随着与打印机出纸口水平距离的增加,颗粒物浓度峰值逐渐降低($P<0.05$);通风条件下颗粒物峰值浓度低于未通风浓度($P<0.05$);通风时随着打印机距窗口的距离增加,颗粒物峰值浓度不断增加($P<0.05$)。



[注] A: 方位对打印机释放颗粒物污染水平的影响, $F=214.9, P<0.01$ 。
B: 与打印机水平距离对打印机释放颗粒物污染水平的影响, $F=44.66, P<0.01$ 。
C: 通风打印机释放颗粒物污染水平的影响, $F=192.6, P<0.01$ 。
D: 与窗口距离对打印机释放颗粒物污染水平的影响, $F=8.407, P<0.05$ 。

图 1 不同试验条件下的颗粒物粒径分布数量浓度图
Figure 1 Size-resolved number concentration under different test conditions

3 讨论

本研究探讨了打印机的方位、距离、通风等因素对打印机释放颗粒物的影响。打印机正面的颗粒物浓度高于侧面和后面,一方面这可能与打印机出纸口的位置有关,颗粒物附着于纸上随着出纸释放于环境中^[10],另一方面,纸张本身也是颗粒物产生的一个原因^[18]。随着检测点与打印机出纸口水平距离的增加,颗粒物浓度逐渐降低,主要因为打印机释放的颗粒物比较细小,容易随着室内空气的流动逐渐扩散。通风状态下打印机释放的颗粒物浓度小于不通风时,这说明通风对于颗粒物浓度的降低能起到一定的积极作用,这一原因主要为打印机所产生的颗粒粒径较小,具有较强的气流跟随性,可随着空气的流动迅速扩散^[19];而离窗口越近,颗粒物浓度越低,也表明了通风对于颗粒物浓度降低的效果。

在本次调查中,每位老师均配备了一台打印机,这些打印机的放置位置均与老师办公时的呼吸带高

度相同,打印机释放污染物易经呼吸道吸入从而可能对办公人员造成健康危害。为操作方便,打印机与办公人员的水平距离多在1 m以内,鉴于本次实验中发现随着与打印机距离增加,颗粒物浓度明显降低,提示在放置打印机时,不能一味考虑近距离以便于人机操作,还应考虑保持一定距离以减少打印机释放颗粒物暴露水平可能对办公人员造成健康损害。本研究也发现有71%的人员在冬季每天开窗通风的时间较短且开窗时间多为早上未办公时间,实际上在大量打印工作时开窗通风有利于污染物的释放和降低健康危害。

在打印机的使用上,本研究发现老师使用打印机的频率不高,每周的打印次数在1~5次之间,每次的打印页数平均为7页,总体来看打印量较少。可能原因是,当有较大的打印需求时,教师们会选择在校内打印店进行打印。本次研究中办公室打印机工作时 PM_{10} 与臭氧的浓度峰值水平平均低于空气质量标准要求的限值,说明室内空气质量未受到明显的影响。这一方面可能是因为打印机使用频率低,工作量小,另一方面可能是打印机产生的颗粒物大多数为超细颗粒物,未对 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 PM_1 的浓度产生明显的影响^[9-10]。

本研究存在一些不足之处。首先本次调查采用的抽样方法为方便抽样,样本量较小,代表性较差,测量的污染物水平为污染物的瞬时浓度,不一定能反映总体情况,可以在后续研究中在办公室进行长时间连续监测以确定办公室中各种污染物的实际水平。其次,打印机释放颗粒物污染水平影响因素的研究中,由于实验室较大,对于温湿度等条件的控制不甚严格,开窗通风时风速的影响也难以控制。在进一步的研究中,可以采用小型模拟舱进行实验,以精确地控制实验条件;同时,有必要对颗粒物的健康效应开展相关的流行病学和毒理学研究,以明确其对人体的危害作用,为颗粒物危害的健康防护提供理论支持。

综上所述,打印机放置方位、距离、通风以及通风状态下与窗口的距离均可影响打印机释放颗粒物污染水平。办公人员的打印量较小,室内污染物水平较低。但打印机工作时释放污染物,仍可能对办公人员的健康存在危害,特别是超细颗粒物带来的潜在影响值得关注。打印机放置位置远离办公人员,出纸口避免正对办公人员,打印时通风等均有助于降低打印机带来的颗粒物污染水平,保护办公人员的健康。

参考文献

- [1] SUNDELL J. On the history of indoor air quality and health[J]. *Indoor Air*, 2004, 14(Suppl7): 51-58.
- [2] ELANGO N, KASI V, VEMBHU B, et al. Chronic exposure to emissions from photocopiers in copy shops causes oxidative stress and systematic inflammation among photocopier operators in India[J]. *Environ Health*, 2013, 12(1): 78.
- [3] KHATRI M, BELLO D, MARTIN J, et al. Chronic upper airway inflammation and systemic oxidative stress from nanoparticles in photocopier operators: mechanistic insights[J]. *NanoImpact*, 2017, 5: 133-145.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] KLEINSORGE EC, ERBEN M, GALAN MG, et al. Assessment of oxidative status and genotoxicity in photocopier operators: a pilot study[J]. *Biomarkers*, 2011, 16(8): 642-648.
- [7] LUCAS K, MAES M. Molecular mechanisms underpinning laser printer and photocopier induced symptoms, including chronic fatigue syndrome and respiratory tract hyperresponsiveness: pharmacological treatment with cinnamon and hydrogen[J]. *Neuro Endocrinol Lett*, 2013, 34(8): 723-737.
- [8] 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 Int*, 2012, 19(9): 3840-3849.
- [9] 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.
ZHU WB, HU N, YIN ZQ. Measurement and analysis on indoor particle pollution characteristics from printer[J]. *Environ Sci Technol*, 2011, 34(5): 104-107.
- [10] 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.
PAN XK, GAO YX, WANG DJ, et al. Release characteristics of pollutants from indoor laser printers[J]. *J Environ Occup Med*, 2017, 34(11): 953-957.
- [11] HE C, MORAWSKA L, WANG H, et al. Quantification of the relationship between fuser roller temperature and laser printer emissions[J]. *J Aerosol Sci*, 2010, 41(6): 523-530.
- [12] 高琰钧, 魏玉虾, 陈俏, 等. 打印店内 $PM_{2.5}$ 和 PM_1 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.
- [13] 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.
LÜ 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.

(下转第 1230 页)