

## 目前室内空气污染物现状

灰尘通过呼吸作用进入身体内部，可能会引起呼吸道不适，造成咳嗽等症状，进而诱发其他病症，对人体健康造成危害。一些肉眼不可见的污染物，由于颗粒比较小，很难通过肉眼分辨，这类污染物中很可能包含一些病毒、细菌，通过呼吸作用进入人体后，对人体的呼吸系统造成感染，诱发病症，使得人们的正常呼吸受到阻碍。

在肉眼不可见的污染物中，PM2.5是最常见的一种。PM2.5是对空气悬浮微粒直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物质的统称，这类物质颗粒直径小、质量轻，并可能携带重金属、微生物等有害物质，且在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境质量的影响很大。

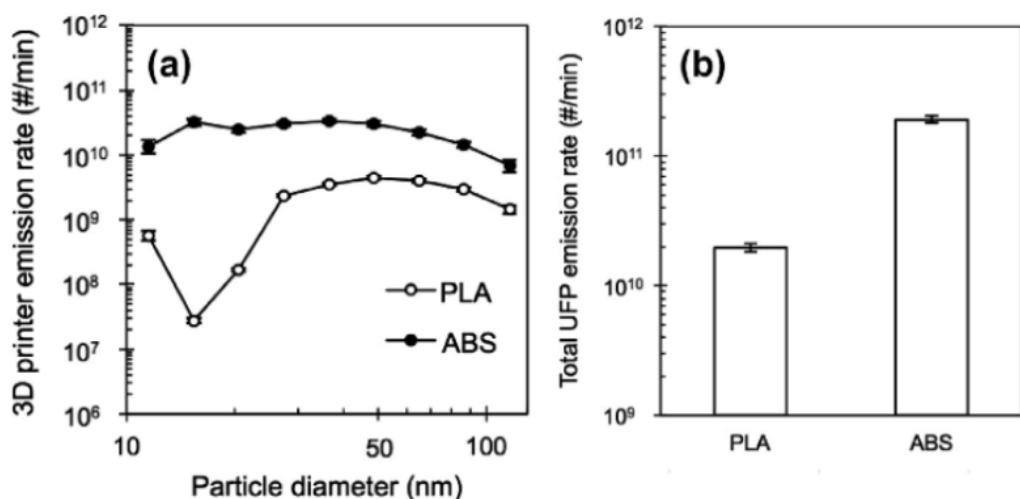
## 我国室内PM2.5的标准

我国: 小于 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 即为达标

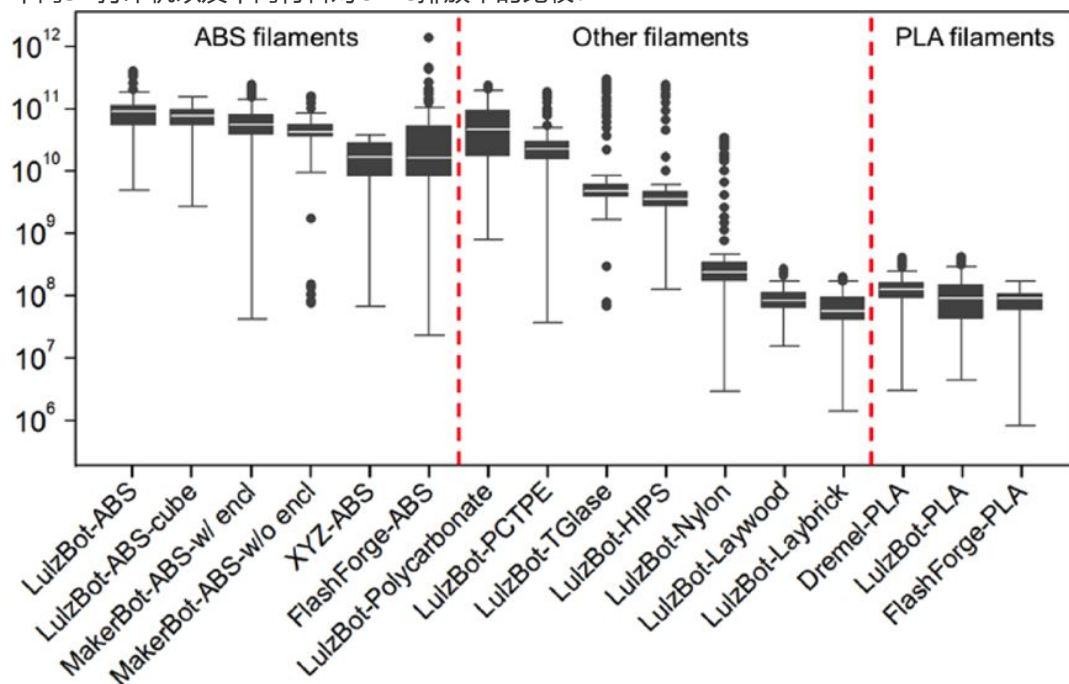
世界卫生组织(WHO): 小于 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 即为达标

## 室内PM2.5的来源

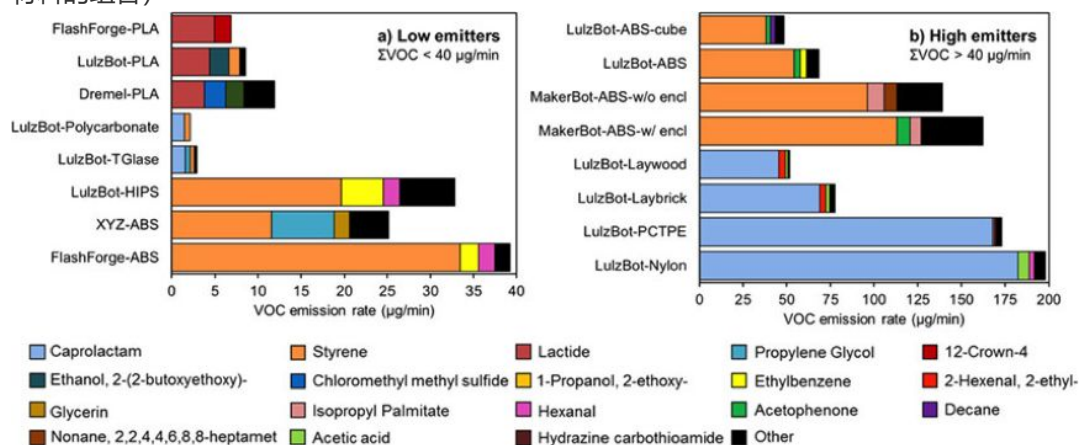
1. 装修: 建材中的污染物种类(甲醛, TVOC等会持续挥发, 他们会导致PM2.5的产生)
2. 切割材料、砂纸打磨产生的微小颗粒物:
  - 激光切割机切割木板与亚克力板产生的微小颗粒物
  - CNC切割机切割玻纤等材料产生微小颗粒物
  - 斜切锯、砂纸打磨器等加工工具的使用产生大量微尘
3. 3D打印机高温熔化塑料的过程中释放出大量超微颗粒(UFP 直径小于 $0.1\mu\text{m}$ 的粒子)和挥发性有机化合物(VOCs)
  - UFPs: 直径远小于PM2.5, 会沉积在肺部, 一部分会穿透肺泡和血管进入血液循环到达全身各处。增加患有心脏病, 肺部疾病的概率。
  - 两种不同3D打印材料UFPs排放率 (a, 基于超微颗粒大小的排放率(11.5-116 nm); b, 总UFPs (<100 nm)的排放率)



- 不同3D打印机以及不同材料对UFPs排放率的比较：



- 高温工作下的3D打印机在熔化可塑性塑料进行打印时会释放出多种VOCs，其中包含部分毒性较大的物质。例如，ABS会释放出的有毒并且会致癌的苯乙烯；基于尼龙的材料大部分会释放出对人体有害但未达到生命威胁程度的污染物己内酰胺
- 挥发性有机化合物排放率（a. 低排放率的3D打印机与材料的组合； b. 高排放率的3D打印机与材料的组合）



- [3D打印机与室内空气污染 - 知乎 \(zhihu.com\)](https://www.zhihu.com/question/35444444)

## 降低PM2.5浓度的方式

### 从源头降低

#### 喷水

在使用CNC切割机时，及时打开水管，沉积污染颗粒

#### 关闭3D打印机盖子

研究表明，在使用3D打印机时关闭3D打印机盖子，能够显著降低3D打印机释放的化学物质与PM2.5溢出率

## 通过通风降低

### 空调新风系统

空调通风系统作为内外空气交换的媒介，是改善室内空气品质的重要手段和途径。在污染浓度较低时，可以利用空调新风系统对室内进行换气

### 开窗

由于设备工坊外空气质量高于工坊内，因此，在污染物浓度较低时，定时开窗能够在一定程度上减少PM2.5浓度值

## 通过空气净化器降低

洁净空气量(Clean Air Delivery Rate, CADR, 即空气净化器提供洁净空气的速率, 单位是 $\text{m}^3/\text{h}$ )

- 为了保证净化器持续高效运行，需要经常更换滤芯。几个月更换一次为佳
- 国标给出了(颗粒物浓度为 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ )的情况下，推荐的净化器适用面积为 $(0.07\sim 0.12)*\text{CADR}$ 
  - 经测量，设备工坊的总面积为 $115.587\text{m}^2$ ，应使用CADR值在 $(963\text{m}^3/\text{h}\sim 1651\text{m}^3/\text{h})$ 区间内的空气净化器
- 摆放位置：

有明确的污染源，则将空气净化器吸入口对着离污染源较近的地方。如果没有明确的污染源，那么就让净化后的洁净空气吹向人活动的地方，且不要让工坊设备、墙或其他障碍物堵住净化器的吸入口

且相关研究表明，摆放在室内中心位置，能够最有效起到净化空气的效果
- 在使用净化器时，若将房间门和窗户都关闭，则净化器会更有效。否则，如果房间门打开，或者使用净化器的同时还使用了新风系统，那么净化器排出的洁净空气会与住宅其他地方的空气混合，从而显著降低净化器的净化效果

PS:

要用洁净有效度（净化器净化对总净化的贡献率）进行实际控制效果评价，即（使用净化器时浓度 - 不使用净化器时的浓度）/不使用净化器时的浓度

针对不同污染物的应对措施

污染物          净化技术	悬浮颗粒物	有害气体	微生物	
	灰尘、花粉 、香烟烟雾 、油烟等	甲醛、苯 、氨等	细菌	病毒
	直径： 0.01 ~ 100 μm	直径： 0.0001 ~ 0.001 μm	直径： 0.2 ~ 10 μm	直径： 0.01 ~ 0.3 μm
过滤	有效	无效	有效	无效
吸附	部分有效	高效	部分有效	无效
静电	有效	不明显	部分有效	无效
负离子	有效	不明显	部分有效	无效
光催化	不明显	有效	有效	有效
紫外线	无效	无效	高效	高效

制定应对措施

表 1 空气质量分指数及对应的污染物项目浓度限值

空气质量分指数 (IAQI)	污染物项目浓度限值									
	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 1 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 1 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	颗粒物 (粒径小于等于 10μm) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	一氧化碳 (CO) 24 小时平均/ (mg/m <sup>3</sup> )	一氧化碳 (CO) 1 小时平均/ (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	臭氧 (O <sub>3</sub> ) 1 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	臭氧 (O <sub>3</sub> ) 8 小时滑动平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	颗粒物 (粒径小于等于 2.5μm) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	50	150	40	100	50	2	5	160	100	35
100	150	500	80	200	150	4	10	200	160	75
150	475	650	180	700	250	14	35	300	215	115
200	800	800	280	1 200	350	24	60	400	265	150
300	1 600	<sup>(2)</sup>	565	2 340	420	36	90	800	800	250
400	2 100	<sup>(2)</sup>	750	3 090	500	48	120	1 000	<sup>(3)</sup>	350
500	2 620	<sup>(2)</sup>	940	3 840	600	60	150	1 200	<sup>(3)</sup>	500
说明:	<sup>(1)</sup> 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 和一氧化碳 (CO) 的 1 小时平均浓度限值仅用于实时报, 在日报中需使用相应污染物的 24 小时平均浓度限值。 <sup>(2)</sup> 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 1 小时平均浓度值高于 800 μg/m <sup>3</sup> 的, 不再进行其空气质量分指数计算, 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 空气质量分指数按 24 小时平均浓度计算的分指数报告。 <sup>(3)</sup> 臭氧 (O <sub>3</sub> ) 8 小时平均浓度值高于 800 μg/m <sup>3</sup> 的, 不再进行其空气质量分指数计算, 臭氧 (O <sub>3</sub> ) 空气质量分指数按 1 小时平均浓度计算的分指数报告。									

表 2 空气质量指数及相关信息

空气质量指数	空气质量指数级别	空气质量指数类别及表示颜色		对健康影响情况	建议采取的措施
0~50	一级	优	绿色	空气质量令人满意, 基本无空气污染	各类人群可正常活动
51~100	二级	良	黄色	空气质量可接受, 但某些污染物可能对极少数异常敏感人群健康有较弱影响	极少数异常敏感人群应减少户外活动
101~150	三级	轻度污染	橙色	易感人群症状有轻度加剧, 健康人群出现刺激症状	儿童、老年人及心脏病、呼吸系统疾病患者应减少长时间、高强度的户外锻炼
151~200	四级	中度污染	红色	进一步加剧易感人群症状, 可能对健康人群心脏、呼吸系统有影响	儿童、老年人及心脏病、呼吸系统疾病患者避免长时间、高强度的户外锻炼, 一般人群适量减少户外运动
201~300	五级	重度污染	紫色	心脏病和肺病患者症状显著加剧, 运动耐受力降低, 健康人群普遍出现症状	儿童、老年人和心脏病、肺病患者应停留在室内, 停止户外运动, 一般人群减少户外运动
>300	六级	严重污染	褐红色	健康人群运动耐受力降低, 有明显强烈症状, 提前出现某些疾病	儿童、老年人和病人应当留在室内, 避免体力消耗, 一般人群应避免户外活动

AQI指数(PM2.5浓度)：

0~50 (0~35)：空气质量优，请放心工作

51~100 (36~75)：空气质量良，请佩戴口罩，开窗通风

101~150 (76~115)：当前空气质量为轻度污染，请佩戴口罩，开窗通风并打开空调新风系统

151~200 (116~150)：当前空气质量为中度污染，请佩戴口罩，开窗通风并打开空调新风系统

201~300 (151~250)：当前空气质量为重度污染，尽量不要进入设备工坊。如需进入，请佩戴口罩，打开空调新风系统与空气净化器

300~500 (251~500) : 当前空气质量为严重污染, 尽量不要进入设备工坊。如需进入, 请佩戴口罩, 打开空气净化器

> 500 (>500) : 当前空气质量极差, 请关闭门窗, 关闭空调新风系统, 打开空气净化器并尽快离开设备工坊

#### 参考文献:

[1] 中国家用电器研究院., *GB/T 18801—2015 空气净化器[S]*.北京: 中国标准出版社. 2015.

[2] Nazaroff, W.W. *Effectiveness of air cleaning technologies*. in *Proceedings of Healthy Buildings*. 2000. SIY Indoor Air Information Oy Helsinki, Finland.

[3] Siegel, J., *Primary and secondary consequences of indoor air cleaners*. *Indoor air*, 2016. **26**(1): p. 88-96.

[4] 卜钟鸣, et al., *空气净化器细颗粒物去除效果的环境舱测试与实际评价*. *暖通空调*, 2013(12): p. 64-67.

[5] Li, Y., et al., *Indoor and outdoor particle concentration distributions of a typical meeting room during haze and clear-sky days*. *Science China Technological Sciences*, 2017: p. 1-8.

[6] MacIntosh, D.L., et al., *Whole house particle removal and clean air delivery rates for in-duct and portable ventilation systems*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2008. **58**(11): p. 1474-1482.

[7] Peck, R., et al., *Efficiency of portable HEPA air purifiers against traffic related combustion particles*. *Building and Environment*, 2016. **98**: p. 21-29.

[8] USEPA, *Residential Air Cleaners*. 2009.

[9] Zuraimi, M., et al., *Impact of dust loading on long term portable air cleaner performance*. *Building and Environment*, 2017. **112**: p. 261-269.

[10] Chen, L., et al. *Particle transport characteristics in indoor environment with an air cleaner: The effect of nonuniform particle distributions*. in *Building Simulation*. 2017. Springer.

[11] Novoselac, A. and J.A. Siegel, *Impact of placement of portable air cleaning devices in multizone residential environments*. *Building and Environment*, 2009. **44**(12): p. 2348-2356.

[12] Zitting, A.; Savolainen, H. Effects of single and repeated exposures to thermo-oxidative degradation products of poly-(acrylonitrile-butadiene-styrene) (ABS) on rat lung, liver, kidney, and brain. *Arch. Toxicol.* 1980, 46 (3–4), 295–304.

[13] Schaper, M. M.; Thompson, R. D.; Detwiler-Okabayashi, K. A. Respiratory Responses of Mice Exposed to Thermal Decomposition Products from Polymers Heated at and Above Workplace Processing Temperatures. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1994, 55 (10), 924–934.

[14] Oberdorster, G.; Oberdorster, E.; Oberdorster, J. Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. *Environ. Health Perspect.* 2005, 113 (7), 823–839.

[15] Int Panis, L; et al. (2010). "Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers". *Atmospheric Environment*. 44: 2263–2270.  
doi:10.1016/j.atmosenv.2010.04.028.

[16] Brook RD; et al. (2010). "AHA Scientific Statement: Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease". *Circulation*. 121: 2331–2378. doi:10.1161/CIR.0b013e3181dbee1. PMID 20458016.

[17] J. Card; et al. (2008). "Pulmonary Applications and Toxicity of Engineered Nanoparticles". *American Journal of Physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology*. 295 (3): L400.  
doi:10.1152/ajplung.00041.2008. PMC 2536798 Freely accessible. PMID 18641236.

[18] L. Calderón-Garcidueñas; et al. (2008). "Long-Term Air Pollution Exposure is Associated with Neuroinflammation, an Altered Innate Immune Response, Disruption of the Blood-Brain Barrier, Ultrafine Particulate Deposition, and Accumulation of Amyloid B-42 and A-Synuclein in Children and Young Adults". *Toxicologic Pathology*. 36 (2): 289–310. doi:10.1177/0192623307313011. PMID 18349428

[19] Stephens et al. (2013). "Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers". *Atmospheric Environment*, 2013, 79:334-339

[20] [Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality | US EPA](#)

[21] Azimi et al. (2016). "Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop 3D printers with multiple filaments". *Environmental Science and Technology*, 2016, 50:1260-1268. Doi: 10.1021/acs.est.5b04983

[22] Yi et al. (2016). "Emissions of particulate matter from a desktop three-dimension (3D) printer". *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*, 2016, 79(11):453-465.  
Doi:10.1080/15287394.2016.116646

