
题目：口罩的科学及对新冠病毒的防护

作者：成博浪¹，徐奇^{2*}，白所¹，张瑞超¹，成立¹，秦勇^{1*}

1 兰州大学，纳米科学与技术研究所，兰州，邮编：730000

2 西安电子科技大学，先进材料与纳米科技学院，西安，邮编：710071

* 联系人, E-mail: xuq2016@163.com, qinyong@lzu.edu.cn

随着SARS-CoV-2病毒的爆发，民众对口罩的关注也持续高涨。本文对口罩的结构进行了剖析，指出了不同结构的作用；介绍了口罩中间层对颗粒的过滤机制；结合SARS-CoV-2病毒的尺寸及传播途径指出了口罩中间无纺布层带电的必要性；最后给出了一种补充电荷、提升电势，从而提升或者恢复口罩过滤性能的方案。

口罩中的科学

一般的口罩分为三层：外层为防水层，中间层为过滤层（熔喷无纺布），内层为吸湿层贴合皮肤。医用外科口罩、N95/KN95及以上标准的口罩及医用防护口罩，对非油性颗粒的过滤效率均提出了要求。对非油性颗粒的过滤能力取决于口罩中间过滤层的性能。中间过滤层的结构由两层纺粘层和夹在它们之间的熔喷层组成，其中纺粘层，其纤维直径比较粗，在20 μm 左右，两层纺粘层主要作用是支撑整个无纺布结构，对阻隔并没有太大的作用；口罩里面最重要的是熔喷层，熔喷层的纤维直径比较细，在2 μm 左右，只有纺粘层直径的十分之一，这对防止细菌、血液渗透起至关重要的作用。熔喷层对颗粒的过滤机制有：重力沉降，大型颗粒受到重力作用自行沉降至过滤纤维上；惯性撞击，大的颗粒由于惯性太大，无法跟随气流绕过纤维，从而撞到纤维上被过滤；拦截作用，中大型颗粒在通过过滤纤维时，因其直径太大而被纤维所拦截；扩散作用，小颗粒受到其周围分子热运动的影响，呈现布朗运动的轨迹，使得它们偏离气流方向撞向纤维；静电吸引作用，如果过滤纤维带有一定的静电，带电纤维和颗粒之间存在的偶极相互作用可把气流中的颗粒吸附至带电纤维表面。

对新冠病毒的防护

SARS-CoV-2的直径约在0.1 μm ，病毒的传播主要依靠飞沫和飞沫核作为载体。^[1]最新研究表明SARS-CoV-2可在气溶胶中和物体表面上保持稳定数小时至数天的时间，人们可以通过空气和接触被污染的物体而感染这种病毒。^[2]人在呼吸、说话、咳嗽、打喷嚏等时产生的颗粒尺寸约在0.5-125 μm 。^[3]飞沫在干燥的空气中由于水分的蒸发将形成飞沫核，咳嗽时所产生的飞沫核尺寸在0.55-5.42 μm ，其中82%集中在0.74-2.12 μm 。^[4]非静电过滤机制对此粒径范围内的颗粒过滤效率较低。研究表明静电吸引作用对于粒径在几十纳米至几十微米的颗粒，过滤效率可达97%以上。^[5]因此只有引入静电作用才能有效地阻挡此类颗粒的通过，进而更好保护较高风险暴露及以上风险等级人员避免被病毒感染。口罩佩戴过一段时间后，带有病毒的飞沫、飞沫核会逐渐积累至口罩过滤层内；另外，呼吸过程中产生的水汽会逐渐减弱无纺布所带的静电，从而降

低口罩的过滤效率。因此，若要重复使用口罩需要解决消毒和静电的恢复这两个问题。常用的高温干烤、56° C热水处理虽然能杀死病毒，但消毒的同时也会造成无纺布所带静电的减弱，从而降低了口罩的过滤效率。用电吹风或者打火机电子点火器在口罩外侧进行处理可以使其外侧疏水层带电，却无法使中间无纺布层有效补充电荷并长时间驻留。因此，如何用一种简单、有效地方法恢复无纺布上的电荷是使口罩可重复使用的关键。

可重复使用方法

电荷补充：取用一段羽绒服上的毛或常见塑料带制备成一个细毛刷（图 1a）；将口罩最外层沿底部边缘剪开对中间层进行轻轻刷动（图 1b），时间约为 5 分钟。这种使口罩中间层带电的方法基于摩擦起电的原理。当电负性不同的两种材料进行摩擦时，电子将从电负性较弱的材料转移至电负性较强的材料，从而使相对摩擦的材料表面带上等量异号的电荷，而且内部沿厚度方向有一定电荷分布。

性能检测：使用家庭常有材料简单制备简易的验电器（图 1c），以验电器两个金属片间张角的大小作为判断口罩过滤性能优劣的标志。制备过程如下：将锡箔纸裁剪成图 1c 插图所示水滴状的小片；将金属线弯制成尾端带勾状，并将两片锡箔纸挂于金属线尾端；将安装好的锡箔纸与金属线从边缘开口的易拉罐顶端放入易拉罐中，调整角度后固定金属线。

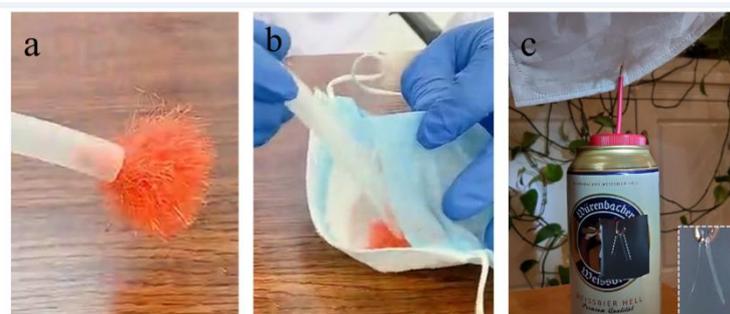


图 1 (a)玻璃绳毛刷, (b) 摩擦起电, (c)滤芯过滤性能的初步判定方案

参考文献

- [1] Zhu N, Zhang D, Wang W, et al. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*, 2020, 382: 727-733
- [2] van Doremalen N, Bushmaker T, Morris D H, et al. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 2020, doi:10.1056/NEJMc2004973
- [3] Thomas R J. Particle size and pathogenicity in the respiratory tract. *Virulence*, 2013, 4: 847-858
- [4] SHINHAO YANG G W M L, CHENG-MIN CHEN, CHIH-CHENG WU,, YU a K-P. The Size and Concentration of Droplets Generated by Coughing in Human Subjects. *Journal of Aerosol Medicine* 2007, 20: 484-494
- [5] Chen T-M, Tsai C-J, Yan S-Y, et al. An efficient wet electrostatic precipitator for removing nanoparticles, submicron and micron-sized particles. *Sep Purif Technol*, 2014, 136: 27-35

致谢：感谢西安电子科技大学王政、兰州大学徐国强、张强强、海军、韩卫华、张靖翔、甘肃省

药监局张起、甘肃省疾病预防控制中心于鲲、兰大一院雷泽林等老师同学朋友们的有益讨论和大力支持，感谢兰州大学学校领导和科研院等部门对于假期开放研发团队实验室等方面的支持，感谢中科院遗传与发育生物学研究所王秀杰研究员和华南理工大学胡健教授给予的有益指导和交流。