

抗菌空气过滤纸制备关键技术分析

郑进宝, 李琛

(东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要: **目的** 分析抗菌空气过滤纸制备的关键技术, 指出该研究领域亟待解决的问题及未来研究方向, 为今后制备抗菌空气过滤纸提供参考依据。**方法** 通过查阅国内外相关资料, 从抗菌空气过滤纸的材料出发, 分析抗菌物质和纤维的种类, 总结抗菌空气过滤纸的制备和主要性能研究方法。**结果** 部分抗菌物质赋予空气过滤纸的抗菌性能, 但其粒子迁移特性和安全性能尚不能确定, 混合超细纤维有望提高滤纸的过滤性能, 综合抗菌性和过滤性两方面有待系统深入研究。**结论** 研发以植物纤维为主混合超细纤维, 结合天然抗菌物质制备高效、安全、环保的抗菌空气过滤纸, 具有重要的研究意义和巨大的市场前景。

关键词: 抗菌物质; 纤维; 抗菌纸; 空气过滤纸

中图分类号: TB484.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)19-0026-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.19.004

Key Technology for Preparation of Antibacterial Air Filter Paper

ZHENG Jin-bao, LI Chen

(Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the key technology for preparation of antibacterial air filter paper and point out the problems required to be solved in this research field and the future research direction, thus providing reference for the preparation of antibacterial air filter paper in the future. Through the relevant information at home and abroad, the types of antibacterial substances and fibers were analyzed from the materials of antibacterial air filter paper, and the preparation and main performance research methods of antibacterial air filter paper were summarized. Some antibacterial substances endowed the air filter paper with antibacterial properties, but the particle migration characteristics and safety performance were still uncertain. The mixed ultra-fine fiber was expected to improve the filtration performance of the filter paper, and the comprehensive antibacterial and filtration properties needed to be systematically studied. It is of great research significance and has huge market prospect to develop high-efficiency, safe and environment-friendly antibacterial air filter paper based on plant fiber and natural antibacterial substances.

KEY WORDS: antibacterial substance; fiber; antibacterial paper; air filter paper

随着空气污染和微生物气溶胶导致的呼吸道传染病愈加严重, 抗菌材料和过滤材料的研发受到了人们的普遍关注。空气过滤纸由一种或多种纤维以及填

料制成, 最早研发空气过滤纸主要用于战争以防毒烟和毒雾侵袭, 目前, 广泛用于电子、汽车、医疗卫生等行业阻隔灰尘、细菌和微生物^[1]。性能优良的空气

收稿日期: 2021-02-24

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (2572018BL07)

作者简介: 郑进宝 (1997—), 男, 东北林业大学硕士生, 主攻包装材料与成型技术。

通信作者: 李琛 (1979—), 女, 东北林业大学副教授, 主要研究方向为运输包装、生物基包装材料等。

过滤纸不仅要具有较高的过滤精度、相对较低的过滤阻力和较高的纳污能力,还需要为适应不同行业对空气过滤纸性能的需求进行多功能化和相关性能的改善优化^[2],如活性炭吸附过滤纸^[3-5]、光触媒空气过滤纸^[6]、阻燃空气过滤纸^[7-9]。

抗菌纸作为抗菌材料应用的一个新领域,种类繁多,广泛应用于医疗、食品、工业及人们的日常生活^[10-11]。抗菌纸是具备抗菌能力的纸张,抗菌剂通过表面加工、浆内添加等方式与纤维混合抄造成纸^[12],或通过酯化、醚化、接枝共聚等反应使纤维改性具备抗菌功能^[13-14],使用抗菌性的印刷油墨使纸张具有一定的抗菌效果^[15]。在一些特定的应用领域中,如抗菌性医用纸、汽车空气滤芯或空调抑菌过滤层等,不仅需要纸张具备抗菌性能,还需要其具有高效的过滤效果。

2020 年突如其来的新冠病毒,口罩消耗量剧增,口罩的主要原料为聚丙烯,是不可生物降解的材料。据世界自然环境保护组织报道,如果所用口罩中有 1% 处置不当,则每月可能有 1000 万只口罩对环境造成污染。随着新“限塑令”的颁布,市场对无毒无害、可回收、可生物降解的材料需求更加强烈,口罩的回收处理,以及新型可降解口罩材料的研发,已成为科技工作者的研究热点。空气过滤纸作为一次性口罩材料,不仅需要能够阻隔细菌和微生物,还需要具备抗菌功能。研发由植物纤维原料结合抗菌物质制备新型功能化抗菌空气过滤纸,具有重要的研究意义和巨大的市场前景。

1 抗菌空气过滤纸的材料选择

抗菌空气过滤纸的材料由抗菌物质、纤维和一些添加剂(如粘结剂、表面活性剂等)组成。好的滤纸应该具有较好的抗菌和过滤性能,然而影响其性能的因素有很多,单从材料结构方面讨论,影响过滤性能的因素有纤维种类和形态、滤纸结构等。其中,抗菌物质、纤维种类和形态对抗菌空气过滤纸的抗菌性能和过滤性能的影响极其重要。

1.1 抗菌物质

除了个别纤维本身具有一些抗菌特性(如碳纤维、改性过的抗菌性纤维),赋予空气过滤纸的抗菌性主要还是抗菌物质。抗菌物质可分为无机抗菌剂、有机抗菌和天然抗菌剂^[16]。

无机抗菌剂主要包括发生氧化还原反应起到杀菌抑菌作用的光催化型抗菌剂(TiO_2)、利用金属离子吸引带负电荷的细菌从而破坏微生物合成酶的活性溶出型抗菌剂(Ag^+ 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+})等^[17]。将纳米活性炭和纳米二氧化钛的混合物均匀涂覆于网格布上组成吸附层,有效提升了空气过滤纸的效率和容尘

量^[18]。将纳米银离子、石墨烯、银以及二氧化钛均匀分散涂覆在空气过滤纸上,利用这些抗菌物质的抑菌性,使空气过滤纸拥有优良的抗菌性能^[19-20]。虽然无机抗菌剂耐热性好、不易抗菌失效,但无机抗菌剂价格昂贵、工艺复杂,且不同的金属在应用中也有局限性。

有机抗菌剂的抗菌机理主要是与微生物细胞表面的阴离子结合或基团反应,破坏微生物的合成,进而抑制微生物的繁殖。虽然有机抗菌剂来源丰富、价格低,且抑菌效果显著、见效快,但同时存在耐热性差、易挥发、毒性较大等缺点^[21]。目前,已有学者将这些抗菌剂应用于食品包装行业,但很少应用于空气过滤纸开发当中,抗菌剂的加入是否与纤维基材有协同效应还需要进一步研究考证。

从自然界中动物、植物或由微生物提取的抗菌物质凭借其无毒、高效和可操作等特点已成为各行各业关注的焦点。由微生物纳他霉素链霉菌发酵产生的纳他霉素具有广泛的抗菌谱,是一种天然的抗真菌剂^[22]。葡萄糖氧化酶是一种从不同类型真菌中提纯的黄素蛋白,将葡萄糖氧化酶、葡萄糖和聚乙烯醇等胶黏剂混合均匀后涂布到基纸表面得到抗菌空气过滤纸,利用反应生成的过氧化氢具有缓释性和持久性,使得该空气过滤纸具有高效、长久的杀菌效果^[23-24]。从芳香植物和药用植物中萃取的植物精油具有很强的抗氧化性和较好的抑菌效果^[25-28],科研工作者们测定了 52 种植物精油对微生物的抗菌活性,研究表明植物精油的抗真菌活性要远远大于细菌^[29-30]。壳聚糖为动物源天然抗菌剂,具有良好的生物相容性、生物可降解性,且天然无毒,对细菌抑制作用较强,而对真菌几乎无抑制效果^[31-33]。将壳聚糖与植物精油进行复合使用,不仅能抑菌互补,增强复合膜的抑菌性,还能延缓精油的缓释作用^[34-35]。也有研究将纳米银和壳聚糖混合作为抗菌剂制备抗菌纸,结果表明,壳聚糖与纳米银的协同抗菌能力比单一抗菌剂好^[36]。

从目前的研究情况可以看出,将无机抗菌物质应用于空气滤纸,其安全性能尚不能确定,无机纳米粒子的迁移特性也未得到验证。有机抗菌物质大部分也具有毒性,不宜应用于空气过滤纸中。将天然抗菌剂应用于空气过滤纸,具有较好的可行性,但综合抗菌性和过滤性两方面的研究较少,并且对于天然抗菌剂与无机抗菌剂复配使用,发挥协同效应,提高抗菌效果的研究很少,采用何种方法防止无机抗菌物质的迁移有待深入研究。

1.2 纤维

抗菌空气过滤纸使用的常见纤维有植物纤维、合成纤维、玻璃纤维和碳纤维等无机纤维,纤维的种类、直径、不同纤维种类的配比等对其过滤性能有很大的

影响。植物纤维抄纸因其本身具有网状、多孔结构,且纤维之间有氢键结合使纸的结构致密,十几微米的孔径就可以过滤几微米的微粒,在过滤材料应用上具有非常大的发展潜力。对于不同定量的针叶木浆手抄滤纸,提高定量时,虽然会减小最大孔径,但阻力也会上升。可见传统空气过滤纸生产中使用的植物纤维原料会导致滤纸过滤效率和过滤精度之间产生不可调和的矛盾^[37]。为了提高纸的过滤效率和容尘量、降低阻力,通过提高浆料游离度、降低填料用量、减小抄造压力等方式来提高纸张的松厚度仍不能很好满足需求^[38]。通过对纤维进行丝光化处理,使纤维形态圆润、光滑、扭曲,从而改善纸的透气性^[39-40]。由于植物纤维或者改性的植物纤维原料对改善空气过滤纸的过滤性能有限,人们通过直接纺丝法、复合纺丝法、共混纺丝法、静电纺丝法、熔喷法和闪蒸法等生产出可控直径 5 μm 以下的超细纤维^[41]。超细纤维直径小,可显著提高过滤材料的过滤效率,在复合过滤材料中的应用得到越来越多的重视,是国内外研究提升滤材过滤性能的主要发展趋势^[42-43]。

玻璃纤维是最常用的一种超细纤维,最细的玻璃纤维直径可达 100 nm 左右^[44]。由于玻璃纤维光滑且呈圆形断面,纤维之间无化学结合,所以成纸松厚、阻力小,过滤速度得以提高。玻璃纤维具有精度高、阻力低、化学稳定性好等突出优点,因此具有较大的发展潜力。玻璃纤维滤纸也存在一些缺点,如带有电荷,容易相互缠绕;表面比较光滑,纤维之间几乎没有形成的基团也不存在物理结合,所以生成的纸张无法自然产生结合强度,并且在机械压折过程中纸张易破损^[45-46]。

常见的无机纤维中除了有玻璃纤维,还有重要的碳纤维。近年来,碳纳米管的生物学效应引起了人们极大的兴趣,尤其是在吸附材料和抗菌材料等方面,已逐渐成为新的研究热点^[47]。2007 年,有报道以原始聚集态存在的单壁碳纳米管具有一定的杀菌能力^[48],研究者将碳纳米管改性以增加其韧性和再生性,并用来去除病毒和细菌病原体^[49]。还有文献报道将碳纳米管加入其他材料中,制成的混合材料具有较好的抗菌性能^[50],也有人将其作为载体载入抗生素,以增强其靶向抗菌作用^[51]。大量的研究证实碳纳米管具有良好的抗菌能力,且具有机械强度高、耐高温等优良特性,常与玻璃纤维混合制成滤纸。有研究结果表明,采用碳纳米管和玻璃纤维复合的空气滤纸有较好的抗菌性,且碳纳米管负载于纸页表面的抗菌效果较好^[52]。单种纤维都很难得到高性能滤纸^[53-54],适量加入过渡物质,采用粗骨架与细填充纤维混合的方式能够提高过滤效果^[55],因此,将不同种类的纤维以一定配比和工艺制备高效率、低阻力的抗菌空气过滤纸是重点的研究方向,无论是植物纤维还是玻璃纤维、碳纤维等无机纤维在制备抗菌空气

过滤纸领域中均有重要的研究价值。另外,合成纤维(如聚乙烯醇等)具有表面光滑、密度低、出色的化学稳定性和热熔性能等特点,在滤纸抄造过程中加入此类纤维也是提高滤纸质量的绝佳选择^[56]。

2 抗菌空气过滤纸的制备

2.1 滤纸基材的制备

抗菌空气过滤纸的制备过程主要包括滤纸基材的制备和抗菌物质的负载。造纸湿法成型和静电纺丝是目前过滤材料领域内 2 种主要滤纸基材的制备方式。湿法成型是以造纸工艺为基础,以水为载体,植物纤维或含超细纤维的纤维混合悬浮液在纸机成形网上脱水,经过干燥等一系列处理后形成的滤纸基材^[57-58]。也可以利用湿法成型制备玻璃纤维滤纸^[59],将玻璃纤维和添加剂混合均匀进行打浆,再将得到的浆料在网纸上成型,干燥后得到过滤纸基材。

静电纺丝是制造纳米级纤维的主要方法之一,传统滤纸组成的纤维主要是微米级,在过滤应用中存在许多劣势,如过滤效率较低、阻力较高、品质因子低等^[60],但通过静电纺丝工艺所纺制的纤维直径范围为 20~2000 nm^[61-62],具有长径比大、比表面高等优点,非常适合作为过滤材料^[63-64]。电纺原理可以概括为聚合物溶液在推注装置的作用下,通过被施加高压静电的喷丝针头时形成带同种电荷的液滴,当电荷斥力大于液滴表面张力时形成“泰勒锥”,溶液从喷丝口拉出形成射流,在静电斥力作用下,射流会不断分裂直径变小,同时溶剂挥发,最终固化形成直径很小的纤维沉积到普通过滤纸上,这种干法复合技术可以在不明显增加阻力的前提下提高滤纸的过滤效率^[65-67]。对比静电纺丝和造纸湿法这 2 种不同方法制备超细纤维复合空气过滤纸的结构与性能,湿法成型的滤纸单次容尘量大、使用寿命长,而静电纺复合滤纸的反吹清灰效果要比造纸湿法复合滤纸好^[68]。这 2 种方法制备复合滤纸的结构差异较大,且负载抗菌物质之后对其过滤性能影响尚缺少系统的研究。

2.2 抗菌物质的负载方式

要赋予滤纸抗菌特性,抗菌物质可以在湿法造纸时进行浆内添加,也可以在空气过滤纸以湿法成型或静电纺丝工艺制备完成后,先制备含抗菌物质的稀释液,再通过控制真空抽吸力、喷洒、涂布、浸渍等方法得到抗菌空气过滤纸,工艺过程见图 1。有研究者在成型的滤纸表面涂布柔性丙烯酸乳液黏结剂,然后涂覆纳米载银离子抗菌剂;也有采用喷涂工艺在湿纸上负载羧基吡啶硫酮类物质和纳米银抗菌剂,最后脱水干燥得到具有抗菌性能的玻璃纤维空气过滤纸^[69];也有用碳纤维、玻璃纤维和涤纶纤维的混合材料先制

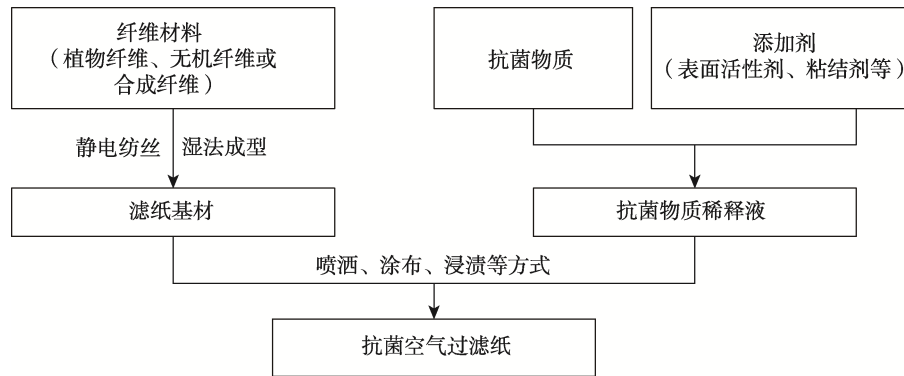


图 1 抗菌空气过滤纸制备工艺流程
Fig.1 Preparation process of antibacterial air filter paper

成湿滤纸基材，再将碳纳米材料分散液和黏合剂混合后得到稀释液，最后将湿滤纸基材以浸渍的方式负载抗菌物质，然后通电加压，取出抽吸、干燥，最后施胶烘干即得有抗菌作用的空气过滤纸^[70]。抗菌物质的添加对滤纸基材本身过滤性能的影响研究很少，为确保抗菌空气过滤纸具有良好的抗菌性和过滤性，选择合适的材料和生产工艺非常重要。

3 主要性能研究方法

抗菌空气过滤纸的性能研究除了具备定量、厚度、强度、透气度等基本性能外，主要性能研究是抗菌性能和过滤性能，其中过滤性能的重要参数有容尘量、过滤效率和过滤阻力等。

3.1 抗菌性能

不同的抗菌物质有不同的抗菌机理，研究抗菌空气过滤纸的抗菌性时通常需要进行抗菌性能测定实验。可采用抑菌环实验来研究壳聚糖和纳米银制备的抗菌纸的抗菌效果，并通过电子显微镜和激光显微拉曼成像光谱仪对抗菌实验后的大肠杆菌进行表征^[36]。也可通过在营养琼脂培养基上接种大肠杆菌和金黄色葡萄球菌，进行菌落计数，研究碳纳米管复合空气滤纸的抗菌性，其抗菌率计算见式（1）^[52]。

$$R = \frac{B-A}{B} \times 100\% \quad (1)$$

式中： R 为抗菌率； A 为试验样品平均回收菌数； B 为对照样品平均回收菌数。

3.2 过滤性能

纤维的过滤机理大致可以分为惯性碰撞、布朗扩散、沉积拦截和静电效应等^[71]，实际的过滤过程非常复杂，往往是几种机理协同作用^[72]，而且随着过滤的进行，沉积在纤维上的颗粒会使滤材结构发生变化，进而影响其过滤性能。被拦截的微粒沉积在微孔内和滤材表面形成滤饼，可以提高过滤精度，同时也增加了过滤阻力、降低透气度。容尘量、过滤效率和过滤

阻力是评估空气过滤纸过滤性能最重要的 3 个参数，容尘量决定滤材的使用寿命，过滤效率决定净化程度，过滤阻力决定运行成本。

容尘量指在达到终止压差时，滤材所能捕集到颗粒污染物的总质量，但由于容尘量与气溶胶颗粒的粒径和分布有关，实验所采用的气溶胶无法完全代表实际的空气状况，因此只能对容尘量进行估值计算^[55]。

过滤效率的测试有 3 种试验方法：钠焰法、油雾法和计数法^[73]，对于超高效率的检测应使用计数法。计数法原理用气溶胶发生器发生满足试验要求的气溶胶，用洁净的压缩空气将气溶胶喷射入过滤器检测系统的上游^[74]，再用气溶胶检测装置（参考 Sachinidoup 等^[75]的实验研究装置和 ISO 21083 标准^[76]）对过滤器上游、下游的气溶胶分别取样，测量气溶胶某种粒径的浓度（即上下游的颗粒数），通过上游、下游气溶胶浓度之比计算过滤效率见式（2）。

$$E = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \quad (2)$$

式中： E 为过滤效率； C_{in} 为进口气溶胶浓度（个/ cm^3 ）； C_{out} 为出口气溶胶浓度（个/ cm^3 ）。

过滤阻力与空气过滤纸厚度、纤维结构、空气粘度及气流比速有关，见式（3）^[77]。

$$\Delta p = A_1 \times d \quad (3)$$

式中： Δp 为过滤阻力（Pa）； d 为厚度（cm）； A_1 为与空气过滤纸纤维结构、空气粘度及气流比速有关的常数。

通常滤纸的过滤效率越高，过滤阻力就越大，空气透过性就越差，平衡过滤效率与过滤阻力之间的矛盾是过滤材料研究的核心问题^[74]。为了综合表征过滤效率与过滤阻力，采用品质因子作为综合评价过滤性能的重要指标^[78-79]，由过滤效率和过滤阻力计算得到详见式（4）。品质因子越高说明滤纸的过滤效率越高、过滤阻力越低。

$$Q_F = \frac{-\ln(1-E)}{\Delta P} \quad (4)$$

式中： Q_F 为品质因子； E 为过滤效率； ΔP 为过

滤阻力 (Pa)。

4 亟待解决的问题及研究方向

近年来,在科学技术不断发展、经济快速提高的同时,随着工业、交通污染物的大量排放,我国生态环境遭遇严重的破坏。气溶胶作为危害人们身体健康的“元凶”之一,诱发了许多呼吸道疾病,尤其是微生物气溶胶的吸入通常会造成重大的健康风险,并导致许多不良后果。2020年的新型冠状病毒传播速度更快、传播范围更广,对公众健康和社会稳定造成很大威胁。面对空气质量严重下降和呼吸道疾病发病率较往年逐年攀升,普通的空气过滤纸只能拦截尘埃,并不能除菌,难以满足市场需求。

新冠肺炎疫情的全球爆发使一次性防护口罩的使用量剧增^[80],在生产压力大、成本提高的同时,口罩废弃物污染问题也日益凸显。目前,口罩的关键过滤材料以无纺布最为常见,因生产工艺的不同有静电驻极熔喷超细纤维非织造布和纺粘非织造布^[81],最近研究热点纳米纤维膜也为制备高性能过滤材料提供了新思路^[82],但其材质仍是聚乙烯、聚丙烯等塑料^[83]。近年来,越来越多的研究发现微塑料污染在全球范围内普遍存在,且对生物体及生态系统的健康构成了潜在威胁^[84-86]。由于口罩本身释放微塑料以及在使用过程中可能会截留空气中一定量的微塑料,口罩的使用会导致微塑料潜在释放量显著增加,进而污染环境、危害人们的身体健康^[87]。丹麦民间团体塑料变革和自然之友提倡大家利用棉质口罩以减轻废弃口罩带来的环境污染^[88],但棉材质易吸湿且阻隔效率低。新版“限塑令”的加速落地,“以纸代塑”热点使特种纸行业愈发引人关注,市场对无污染、可回收、可生物降解的过滤材料需求也更加强烈^[89-90],因此,研究壳聚糖、聚乳酸、植物精油等天然抗菌物质与生物基可降解复合材料协同效应,开发无毒无害、可生物降解的抗菌空气过滤纸作为防护口罩的过滤材料前景十分广阔。同时,研究工艺(如口罩的灭菌工艺、静电驻极等)对使用性能影响以及如何选择合适工艺降低能耗等问题,也是未来抗菌空气过滤纸展开技术创新的重点。

抗菌空气过滤纸能够有效预防呼吸道疾病的发生,其应用范围非常广泛。在医药卫生行业中,各种药品、医疗器械的生产以及手术室、无菌病房都需要抗菌空气过滤纸对空气进行过滤、除菌,以防感染。在一些要求比较严格的地方,如食品加工、电子行业,甚至在人们的日常生活中也都需要抗菌空气过滤纸。

目前,国内外均致力于开发既具有空气过滤能力,又具有抗菌性能的过滤纸,在初步取得了一些成绩的同时也遇到了一些亟待解决的问题。以往学者们单方面研究滤纸的过滤性或抗菌性能,将两者结合起

来进行系统研究对高效的抗菌空气过滤纸的开发非常重要。抗菌物质的选择及其负载方式在影响抗菌空气过滤纸的抗菌性的同时,抗菌物质的加入对过滤性能的影响、与纤维基材是否有协同效应等等问题还需要进一步研究考证。抗菌物质的粒子迁移导致的安全性能尚不能得出准确的结果,所以为研究出健康安全的抗菌空气过滤纸成为目前的研究方向。从自然界中提取的天然抗菌物质具有无毒、高效等特点,将天然抗菌剂与其他抗菌剂混合或直接取代无机抗菌剂加入到纤维基材中,综合考虑其抗菌性和过滤性能,对开发新型高效的抗菌空气过滤纸具有一定的指导意义。此外,将不同种类的纤维以一定配比和工艺制备高效率低阻力的抗菌空气过滤纸,也是今后重点的研究方向。无论是植物纤维还是玻璃纤维、碳纤维等无机纤维在复合抗菌空气过滤纸开发领域中均有很大的研究价值,但从可降解性的角度出发,开发植物纤维抗菌空气过滤纸必定成为研究热点。

5 结语

抗菌空气过滤纸是将抗菌纸和空气过滤纸相结合的系统研究,其应用前景十分广阔,但也面临着诸多技术问题亟待解决。文中通过查阅大量文献对抗菌空气过滤纸选材、制备及主要性能研究方法进行了阐述,同时指出目前该研究领域亟待解决的问题及未来的研究方向,旨在为制备低能耗、低阻力、高效过滤、抑菌除菌、健康安全无污染、绿色环保可降解的抗菌空气过滤纸提供参考依据。

参考文献:

- [1] 姚丽菲,陈萍,惠岚峰.复合空气滤纸研究进展[J].天津造纸,2020,42(1):12—16.
YAO Li-fei, CHEN Ping, HUI Lan-feng. Research Progress of Composite Air Filter Paper[J]. Tianjin Paper, 2020, 42(1): 12—16.
- [2] 曾旭,张红杰.空气过滤纸的研究进展及发展概况[J].天津造纸,2014,36(4):11—14.
ZENG Xu, ZHANG Hong-jie. Research Progress and Development of Air Filter Paper[J]. Tianjin Paper, 2014, 36(4): 11—14.
- [3] 胥绍华.活性炭过滤纸的生产工艺与应用前景[J].湖南造纸,2009(3):11—12.
XU Shao-hua. Production Technology and Application Prospect of Activated Carbon Filter Paper[J]. Hunan Paper, 2009(3): 11—12.
- [4] 常明珠.一种含有球形活性炭的滤纸:中国,208642033U[P].2019-03-26.
CHANG Ming-zhu. A Filter Paper Containing Spherical Activated Carbon: China, 208642033U[P]. 2019-

- 03-26.
- [5] 陈天烨. 一种新型的活性炭滤纸: 中国, 107503221A[P]. 2017-12-22.
CHEN Tian-ye. A New Type of Activated Carbon Filter Paper: China, 107503221A[P]. 2017-12-22.
- [6] 王正顺, 袁令赞, 纪培红, 等. 光触媒空气滤纸及其性能研究[J]. 黑龙江造纸, 2005(1): 6—9.
WANG Zheng-shun, YUAN Ling-yun, JI Pei-hong, et al. Photocatalyst Air Filter Paper and Its Properties[J]. Heilongjiang Paper, 2005(1): 6—9.
- [7] 葛龙, 宋佃凤. 一种阻燃高效的空气过滤纸: 中国, 111254747A[P]. 2020-06-09.
GE Long, SONG Dian-feng. A Flame Retardant and Efficient Air Filter Paper: China, 111254747A[P]. 2020-06-09.
- [8] 胡健, 徐桂龙, 梁云, 等. 一种耐水洗阻燃汽车空气过滤纸及其制备方法: 中国, 110541328A[P]. 2019-12-06.
HU Jian, XU Gui-long, LIANG Yun, et al. A Washable Flame Retardant Automotive Air Filter Paper and Its Preparation Method: China, 110541328A[P]. 2019-12-06.
- [9] 马珊珊, 张美云, 杨斌, 等. 汽车发动机空气过滤纸的阻燃性能研究进展[J]. 中华纸业, 2017, 38(16): 29—36.
MA Shan-shan, ZHANG Mei-yun, YANG Bin, et al. Research Progress on Flame Retardancy of Automotive Engine Air Filter Paper[J]. Zhonghua Paper, 2017, 38(16): 29—36.
- [10] 黄崇杏, 鲍若璐, 段丹丹. 抗菌纸的研究进展[J]. 包装学报, 2009, 1(1): 34—38.
HUANG Chong-xing, BAO Ruo-lu, DUAN Dan-dan. Research Progress of Antibacterial Paper[J]. Acta Packaging Sinica, 2009, 1(1): 34—38.
- [11] 曾旭, 张红杰, 胡稳, 等. 高效抗菌纸的研究进展[J]. 纸和造纸, 2015, 34(5): 54—60.
ZENG Xu, ZHANG Hong-jie, HU Wen, et al. Research Progress of Efficient Antibacterial Paper[J]. Paper and Papermaking, 2015, 34(5): 54—60.
- [12] 侯欣宇, 王丽, 李爽, 等. 抗菌纸的研究进展[J]. 纸和造纸, 2017, 36(4): 26—29.
HOU Xin-yu, WANG Li, LI Shuang, et al. Research Progress of Antibacterial Paper[J]. Paper and Papermaking, 2017, 36(4): 26—29.
- [13] 方燕. 抗菌纸的制备及其性能探究[J]. 纸和造纸, 2013, 32(8): 45—48.
FANG Yan. Preparation and Properties of Antibacterial Paper[J]. Paper and Papermaking, 2013, 32(8): 45—48.
- [14] 刘秉钺, 王井, 蒋万, 等. 铜系广谱抗菌纸的研制[J]. 中国造纸, 2003(11): 33—35.
LIU Bing-yue, WANG Jing, JIANG Wan, et al. Development of Copper Based Broad Spectrum Antibacterial Paper[J]. China Paper, 2003(11): 33—35.
- [15] 王灿才, 王所杰. 水松纸抗菌水性油墨研究[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 7—9.
WANG Can-cai, WANG Suo-jie. Study on Antibacterial Water-Based Ink for Tipping Paper[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 7—9.
- [16] 赵欣, 朱健健, 李梦, 等. 我国抗菌剂的应用与发展现状[J]. 材料导报, 2016, 30(7): 68—73.
ZHAO Xin, ZHU Jian-jian, LI Meng, et al. Application and Development Status of Antibacterial Agents in China[J]. Materials Guide, 2016, 30(7): 68—73.
- [17] 束浩渊, 潘磊庆, 屠康, 等. 抗菌材料在食品包装中的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(5): 260—265.
SHU Hao-yuan, PAN Lei-qing, TU Kang, et al. Research Progress of Antibacterial Materials in Food Packaging[J]. Food Science, 2015, 36(5): 260—265.
- [18] 陈照峰, 鲍舒婷, 吴操, 等. 一种复合空气过滤纸: 中国, 107303448A[P]. 2017-10-31.
CHEN Zhao-feng, BAO Shu-ting, WU Cao, et al. A Composite Air Filter Paper: China, 107303448A[P]. 2017-10-31.
- [19] 张申元, 林凯, 赵海飞, 等. 一种复合增强型滤纸: 中国, CN106368073A[P]. 2017-02-01.
ZHANG Shen-yuan, LIN Kai, ZHAO Hai-fei, et al. A Composite Enhanced Filter Paper: China, CN106368073A[P]. 2017-02-01.
- [20] 黎淑娟. 一种持久抗菌玻璃纤维空气过滤纸及其制备方法: 中国, CN106223121A[P]. 2016-12-14.
LI Shu-juan. A Kind of Durable Antibacterial Glass Fiber Air Filter Paper and Its Preparation Method: China, CN106223121A[P]. 2016-12-14.
- [21] 尹彦娜, 刘全校, 许文才, 等. 抗菌剂在抗菌纸中的应用研究[J]. 北京印刷学院学报, 2013(2): 14—18.
YIN Yan-na, LIU Quan-xiao, XU Wen-cai, et al. Application of Antibacterial Agents in Antibacterial Paper[J]. Journal of Beijing University of Printing, 2013(2): 14—18.
- [22] CÉ N, NORENA C P Z, BRANDELLI A. Antimicrobial Activity of Chitosan Films Containing Nisin, Peptide, and Natamycin[J]. CyTA-Journal of Food, 2012, 10(1): 21—26.
- [23] MURILLO-MARTÍNEZ M M, TELLO-SOLÍS S R, GARCÍA-SÁNCHEZ M A, et al. Antimicrobial Activity and Hydrophobicity of Edible Whey Protein Isolate Films Formulated with Nisin and/or Glucose Oxidase[J]. Journal of Food Science, 2013, 78(4): 560—566.
- [24] 陈庆, 司文彬. 一种抗菌空气过滤纸及其制备方法: 中国, 107724182A[P]. 2018-02-23.
CHEN Qing, SI Wen-bin. An Antibacterial Air Filter Paper and Its Preparation Method: China, 107724182A[P]. 2018-02-23.
- [25] ARFAT Y A, BENJAKUL S, PRODPRAN T, et al. Properties and Antimicrobial Activity of Fish Protein Isolate/Fish Skin Gelatin Film Containing Basil Leaf Essential Oil and Zinc Oxide Nanoparticles[J]. Food

- Hydrocolloids, 2014(41): 265—273.
- [26] JIN T Z. Current State of the Art and Recent Innovations for Antimicrobial Food Packaging[M]. New York: Microbial Control and Food Preservation, 2017: 349—372.
- [27] SAKKAS H, GOUSIA P, ECONOMOU V, et al. In Vitro Antimicrobial Activity of Five Essential Oils on Multidrug Resistant Gram-Negative Clinical Isolates[J]. Journal of Intercultural Ethnopharmacology, 2016, 5(3): 1.
- [28] TRINETTA V, MORGAN M T, COUPLAND J N, et al. Essential Oils Against Pathogen and Spoilage Microorganisms of Fruit Juices: Use of Versatile Antimicrobial Delivery Systems[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(2): 471—476.
- [29] HAMMER K A, CARSON C F, RILEY T V. Antimicrobial Activity of Essential Oils and Other Plant Extracts[J]. Journal of Applied Microbiology, 1999, 86(6): 985—990.
- [30] SHELEF L A. Antimicrobial Effects of Spices[J]. Journal of Food Safety, 1984, 6(1): 29—44.
- [31] PERDONES Á, VARGAS M, Atarés L, et al. Physical, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Chitosan-Cinnamon Leaf Oil Films as Affected by Oleic Acid[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36(2): 256—264.
- [32] 荆迎军, 郝友进, 渠晖, 等. 壳聚糖的抑菌活性分析及其抑菌机理的研究[J]. 中国抗生素杂志, 2006, 31(6): 361—365.
- JING Ying-jun, HAO You-jin, QU Hui, et al. Study on the Antibacterial Activity and Mechanism of Chitosan[J]. Chinese Journal of Antibiotics, 2006, 31(6): 361—365.
- [33] PERDONES A, SÁNCHEZ-GONZÁLEZ L, CHIRALT A, et al. Effect of Chitosan-Lemon Essential Oil Coatings on Storage-Keeping Quality of Strawberry[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012(70): 32—41.
- [34] 墙梦捷, 鲁晓翔. 壳聚糖与植物精油复配在食品保鲜中的应用[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(9): 45—48.
- QIANG Meng-jie, LU Xiao-xiang. Application of Chitosan and Plant Essential Oil in Food Preservation[J]. China Food and Nutrition, 2020, 26(9): 45—48.
- [35] 徐甜, 高成成, 汤晓智. 壳聚糖/植物精油可食性抗菌膜研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 323—329.
- XU Tian, GAO Cheng-cheng, TANG Xiao-zhi. Research Progress of Chitosan/Plant Essential Oil Edible Antibacterial Film[J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(18): 323—329.
- [36] 李志健, 杨丽红, 杜飞, 等. 壳聚糖/纳米银制备抗菌纸及其抗菌效果研究[J]. 中国造纸, 2019, 38(8): 22—28.
- LI Zhi-jian, YANG Li-hong, DU Fei, et al. Preparation and Antibacterial Effect of Chitosan/Nano Silver Antibacterial Paper[J]. China Paper, 2019, 38(8): 22—28.
- [37] 张维茹. 滤纸的主要技术要求及其影响因素[J]. 天津造纸, 1990(Z1): 88—93.
- ZHANG Wei-ru. Main Technical Requirements and Influencing Factors of Filter Paper[J]. Tianjin Paper, 1990(Z1): 88—93.
- [38] 赵璜, 屠恒忠. 提高过滤纸用浆质量的可取措施[J]. 纸和造纸, 2003(3): 12—14.
- ZHAO Huang, TU Heng-zhong. Measures to Improve The Quality of Filter Paper Pulp[J]. Paper and Papermaking, 2003(3): 12—14.
- [39] 王洪振, 赵传山, 于淑慧. 纤维丝光化对过滤纸性能的影响[J]. 造纸化学品, 2010, 22(2): 10—13.
- WANG Hong-zhen, ZHAO Chuan-shan, YU Shu-hui. Effect of Fiber Actinization on Properties of Filter Board[J]. Paper Chemicals, 2010, 22(2): 10—13.
- [40] 熊皇伟, 惠岚峰, 王发焯. 丝光浆对空气滤纸原纸性能的影响[J]. 中国造纸, 2015, 34(11): 11—17.
- XIONG Huang-wei, HUI Lan-feng, WANG Fa-ye. Effect of Mercerized Pulp on the Performance of Air Filter Paper Base[J]. China Paper, 2015, 34(11): 11—17.
- [41] 崔艳, 梁云, 陈建卿, 等. 原纤化超细纤维的特性与表征[J]. 造纸科学与技术, 2011, 30(6): 113—116.
- CUI Yan, LIANG Yun, CHEN Jian-qing, et al. Characteristics and Characterization of Fibrillated Microfibers[J]. Papermaking Science and Technology, 2011, 30(6): 113—116.
- [42] PAYEN J, VROMAN P, LEWANDOWSKI M, et al. Influence of Fiber Diameter, Fiber Combinations and Solid Volume Fraction on Air Filtration Properties in Nonwovens[J]. Textile Research Journal, 2012, 82(19): 1948—1959.
- [43] MÜLLER T K, MEYER J, THÉBault E, et al. Impact of an Oil Coating on Particle Deposition and Dust Holding Capacity of Fibrous Filters[J]. Powder Technology, 2014(253): 247—255.
- [44] SHAGUFTA U P, PRASHANT S K, SARFARAZ U P, et al. Glass Fiber Coalescing Filter Media Augmented with Polymeric Submicron Fibers and Modified with Angled Drainage Channels[J]. Separation and Purification Technology, 2013(120): 230—238.
- [45] 杨振威, 梁云, 胡健, 等. 玻璃棉直径对空气过滤纸过滤性能的影响[J]. 纸和造纸, 2014, 33(4): 22—25.
- YANG Zhen-wei, LIANG Yun, HU Jian, et al. Effect of Glass Wool Diameter on Filtration Performance of Air Filter Paper[J]. Paper and Papermaking, 2014, 33(4): 22—25.
- [46] 刘仁庆. 玻璃纸与玻璃纤维纸[J]. 天津造纸, 2010(3): 45—48.
- LIU Ren-qing. Cellophane and Fiberglass Paper[J]. Tianjin Paper, 2010(3): 45—48.
- [47] ZHAO X, LIU R. Recent Progress and Perspectives on the Toxicity of Carbon Nanotubes at Organism, Organ, Cell, And Biomacromolecule Levels[J]. Environment international, 2012, 40(2): 244—255.

- [48] KANG S, PINAULT M, PFEFFERLE LD, et al. Single-Walled Carbon Nanotubes Exhibit Strong Antimicrobial Activity[J]. *Langmuri*, 2007, 23(17): 8670—8673.
- [49] MAUTER M S, ELIMELECH M. Environmental Applications of Carbon-Based Nanomaterials[J]. *Environmental Science Technology*, 2008, 42(16): 5843.
- [50] BRADY-ESTÉVEZ A S, KANG S, ELIMELECH M. A Single Walled-Carbon-Nanotube Filter for Removal of Viral and Bacterial Pathogens[J]. *Small*, 2008, 4(4): 481.
- [51] YUAN W, JIANG G, CHE J, et al. Deposition of Silver Nanoparticles on Multiwalled Carbon Nanotubes Grafted with Hyperbranched Poly(amidoamine) and Their Antimicrobial Effects[J]. *Journal of Physical Chemistry C*, 2008, 112(48): 18754—18759.
- [52] 朱勇, 李红娟, 肖辉. 碳纳米管复合空气滤纸抗菌性研究[J]. *云南化工*, 2017, 44(4): 29—33.
ZHU Yong, LI Hong-juan, XIAO Hui. Study on Antibacterial Properties of Carbon Nanotube Composite Air Filter Paper[J]. *Yunnan Chemical Industry*, 2017, 44(4): 29—33.
- [53] 陈建斌. 浆料配比对汽车空滤纸过滤性能的影响[J]. *湖北造纸*, 2006(3): 11—12.
CHEN Jian-bin. Effect of Pulp Ratio on Filtration Performance of Automobile Air Filter Paper[J]. *Hubei Paper*, 2006(3): 11—12.
- [54] 杜齐, 刘文, 陈雪峰, 等. 浆料比对空气滤纸过滤性能的影响[C]// 2017 全国特种纸技术交流会暨特种纸委员会第十二届年会论文集, 2017: 8.
DU Qi, LIU Wen, CHEN Xue-feng, et al. Effect of Pulp Ratio on Filtration Performance of Air Filter Paper[C]// *Proceedings of National Special Paper Technology Exchange Conference and 12th Annual Meeting of Special Paper Committee in 2017*, 2017: 8.
- [55] 杨振威. 玻纤空气过滤纸原料组成对其过滤性能的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 53—67.
YANG Zhen-wei. Influence of Raw Material Composition of Glass Fiber Air Filter Paper on Its Filtration Performance[D]. *Guangzhou: South China University of Technology*, 2014: 53—67.
- [56] 赵璜, 屠恒忠. 合成纤维在湿法过滤纸生产中的应用[J]. *纸和造纸*, 2004(4): 21—24.
ZHAO Huang, TU Heng-zhong. Application of Synthetic Fiber in Wet Filter Paper Production[J]. *Paper and Papermaking*, 2004(4): 21—24.
- [57] YU T, LIANG Y, CUI Y, et al. Investigation of Lyocell Fibrillated Nanofibers and Papermaking Characteristics[J]. *Advanced Materials Research*, 2011(317): 102—106.
- [58] YU T, LIANG Y, CUI Y, et al. Research on Fibrillated Nanofibers and Application of High Efficiency Filter Material[J]. *Advanced Materials Research*, 2011(335): 411—414.
- [59] 冯小义, 冯沾善, 楼旭军. 一种高强度空气过滤纸及其制备方法: 中国, 105274904A[P]. 2016-01-27.
FENG Xiao-yi, FENG Zhan-shan, LOU Xu-jun. A High Strength Air Filter Paper and Its Preparation Method: China, 105274904A[P]. 2016-01-27.
- [60] HUNG C, LEUNG W W. Filtration of Nano-Aerosol Using Nanofiber Filter Under Low Peclet Number and Transitional Flow Regime[J]. *Separation and Purification Technology*, 2011, 79(1): 34—42.
- [61] RENEKER D H, CHUN I. Nanometre Diameter Fibres of Polymer Produced by Electrospinning[J]. *Nanotechnology*, 1996(7): 216—223.
- [62] GEORGE G C, JACKAPON S V, DARRELL H R. New Methods to Electrospin Nanofibers[J]. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2011, 6(3): 32—38.
- [63] PARK P. Electrospinning of Nanofibers for Filtration Media[D]. Gainesville: University of Florida, 2010: 19—21.
- [64] LI J, SHI X F, GAO F, et al. Filtration of Fine Particles in Atmospheric Aerosol with Electrospinning Nanofibers and Its Size Distribution[J]. *Science China-Technological Sciences*, 2014(57): 239—243.
- [65] KIM K, LEE C, KIM W, et al. Performance Modification of a Meltblown Filter Medium Via an Additional Nanoweb Layer Prepared by Electrospinning[J]. *Fibers and Polymers*, 2009, 10(1): 60—64.
- [66] LEUNG W W, HUNG C, YUEN P T. Effect of Face Velocity, Nanofiber Packing Density and Thickness on Filtration Performance of Filters with Nanofibers Coated on a Substrate[J]. *Separation and Purification Technology*, 2010(71): 30—37.
- [67] HUNG C, LEUNG W W. Filtration of Nanoaerosol Using Nanofiber Filter under Low Peclet Number and Transitional Flow Regime[J]. *Separation and Purification Technology*, 2011(79): 34—42.
- [68] 杨家喜, 梁云, 唐敏, 等. 两种超细纤维复合空气过滤纸的结构与性能研究[J]. *造纸科学与技术*, 2017, 36(2): 8—14.
YANG Jia-xi, LIANG Yun, TANG Min, et al. Structure and Properties of Two Kinds of Superfine Fiber Composite Air Filter Paper [J]. *Papermaking Science and Technology*, 2017, 36(2): 8—14.
- [69] 郭茂, 秦大江. 抗菌性玻璃纤维空气过滤纸及其生产方法: 中国, 103882780A[P]. 2014-06-25.
GUO Mao, QIN Da-jiang. Antibacterial Glass Fiber Air Filter Paper and Its Production Method: China, 103882780A[P]. 2014-06-25.
- [70] 陶卫荣, 瞿薇. 一种高强度空气过滤纸及其制备方法: 中国, 110792002A[P]. 2020-02-14.
TAO Wei-rong, QU Wei. A High Strength Air Filter Paper and Its Preparation Method: China, 110792002A[P]. 2020-02-14.
- [71] IRWIN M H. Handbook of Nonwoven Filter Media[M]. Dutch: Elsevier Science, 2007.

- [72] 王江标. 高效、超高效空气滤纸最易穿透粒径法实验性能的研究[D]. 天津: 天津大学, 2006: 11—14.
WANG Jiang-biao. Study on the Experimental Performance of the Most Easily Penetrating Particle Size Method for High Efficiency and Ultra Efficiency Air Filter Paper[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006: 11—14.
- [73] 程益民, 王松. 玻璃纤维空气滤纸产品标准的对比分析[J]. 纸和造纸, 2016, 35(9): 28—33.
CHENG Yi-min, WANG Song. Comparative Analysis of Glass Fiber Air Filter Paper Product Standards[J]. Paper and Papermaking, 2016, 35(9): 28—33.
- [74] 余娇, 胡健, 王德生, 等. 静电纺串珠纤维复合滤纸的过滤性能研究[J]. 造纸科学与技术, 2020, 39(4): 19—24.
YU Jiao, HU Jian, WANG De-sheng, et al. Study on Filtration Performance of Electrospun Beaded Fiber Composite Filter Paper[J]. Papermaking Science and Technology, 2020, 39(4): 19—24.
- [75] SACHINIDOU P, BAHK Y K, TANG M, et al. Inter-Laboratory Validation of the Method to Determine the Filtration Efficiency for Airborne Particles in the 3-500 nm Range and Results Sensitivity Analysis[J]. Aerosol and Air Quality Research, 2017, 17(11): 2669—2680.
- [76] ISO 21083—1, Test method to measure the efficiency of air filtration media against spherical nanomaterials[S].
- [77] 齐佩云, 严春晓, 金彦任, 等. 空气过滤纸结构性性能波动对过滤性能的影响[J]. 中国造纸, 2019, 38(10): 49—55.
QI Pei-yun, YAN Chun-xiao, JIN Yan-ren, et al. Influence of Structure and Performance Fluctuation of Air Filter Paper on Filtration Performance[J]. China Paper, 2019, 38(10): 49—55.
- [78] PAYEN J, VROMAN P, LEWANDOWSKI M, et al. Influence of Fiber Diameter, Fiber Combinations and Solid Volume Fraction on Air Filtration Properties in Nonwovens[J]. Textile Research Journal, 2012, 82(19): 1948—1959.
- [79] WANG J, KIM S C, PUI D Y H. Investigation of the figure of merit for filters with a single nanofiber layer on a substrate[J]. Journal of Aerosol Science, 2008, 39(4): 323—334.
- [80] GREENHALGH T, SCHMID M B, CZYPIONKA T, et al. Face Masks for the Public During the Covid-19 Crisis[J]. BMJ, 2020(369): 1435.
- [81] 陶永亮, 陈曦, 向科军. 聚丙烯材料在医用口罩中的应用[J]. 橡塑技术与装备, 2020, 48(8): 33—36.
TAO Yong-liang, CHEN Xi, XIANG Ke-jun. Application of Polypropylene Materials in Medical Masks[J]. Rubber and Plastic Technology and Equipment, 2020, 48(8): 33—36.
- [82] 周惠林, 杨卫民, 李好义. 医用口罩过滤材料的研究进展[J]. 纺织学报, 2020, 41(8): 158—165.
ZHOU Hui-lin, YANG Wei-min, LI Hao-yi. Research Progress of Filter Materials for Medical Masks[J]. Acta Textile Sinica, 2020, 41(8): 158—165.
- [83] MATABOLA K P, DE VRIES A R, MOOLMAN F S, et al. Single Polymer Composites: A Review[J]. Journal of Materials Science, 2009, 44(23): 6213—6222.
- [84] LEI L, LIU M, SONG Y, et al. Polystyrene (Nano) Microplastics Cause Sizedependent Neurotoxicity, Oxidative Damage and Other Adverse Effects in *Caenorhabditis Elegans*[J]. Environmental Science: Nano, 2018, 5(8): 2009—2020.
- [85] JIN Y, XIA J, PAN Z, et al. Polystyrene Microplastics Induce Microbiota Dysbiosis and Inflammation in the Gut of Adult Zebrafish[J]. Environmental Pollution, 2018(235): 322—329.
- [86] WANG F, WONG C S, CHEN D, et al. Interaction of Toxic Chemicals with Microplastics: A Critical Review[J]. Water Research, 2018(139): 208—219.
- [87] 陈贤川, 熊雄, 吴辰熙. 一次性防护口罩使用向环境中释放微塑料的潜力研究[J]. 环境保护, 2020, 48(23): 53—55.
CHEN Xian-chuan, XIONG Xiong, WU Chen-xi. Study on the Potential of Releasing Micro Plastics From Disposable Protective Masks[J]. Environmental Protection, 2020, 48(23): 53—55.
- [88] 董彩霞. 一次性口罩带来的污染[J]. 世界环境, 2020(6): 44—45.
DONG Cai-xia. Pollution Caused by Disposable Masks[J]. World Environment, 2020(6): 44—45.
- [89] 王青贤. 纸品成新风口, 仙鹤股份加持食品用纸[J]. 环境经济, 2020(17): 36—39.
WANG Qing-xian. Paper Products Become a New Outlet, and Xianhe Co., Ltd. Holds Food Paper[J]. Environmental Economy, 2020(17): 36—39.
- [90] 彭婷婷. 是什么束缚了塑料制品替代市场发展[J]. 中国商界, 2020(12): 46—49.
PENG Ting-ting. What constrains the Development of Alternative Market for Plastic Products[J]. China Business, 2020(12): 46—49.