

# 废弃一次性医用口罩回收再利用研究进展

英世涛,本德萍\*,窦仁杰,肖永要,李慧菁

(西安工程大学 纺织科学与工程学院,陕西 西安 710048)

**摘要:**针对大量废弃一次性医用口罩所产生的资源浪费日益严重的问题,研究分析废弃一次性医用口罩回收再利用方法及其研究进展。结果表明,焚烧法工艺简单,但燃烧时会产生大量有毒气体污染环境;物理机械回收方法简单,工艺流程短,但原料利用不充分,资源浪费较严重,产品附加值低;化学回收原料利用率高,产品应用范围广,但工艺复杂,部分流程对环境有污染。

**关键词:**废弃口罩;聚丙烯;回收利用

**中图分类号:**TS 174.8

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-0356(2022)05-0001-04

自2019年全球新冠肺炎疫情爆发以来,中国乃至世界的医疗卫生产品使用量日益增多,尤其是一次性医用口罩。伴随着一次性医疗卫生产品的应用,相关废弃物带来了难以估量的环境污染。据海洋保护组织Oceans Asia发表的一篇报道显示,2020年全球总共生产了大约520亿只口罩,其中至少有15.6亿只口罩流入海洋,而降解这些口罩至少需要450年,在降解过程中会对地球的生态环境造成难以预估的破坏<sup>[1]</sup>;在卫生方面,以在多个不同环境下佩戴4 h后的口罩为例,口罩外侧菌落平均值为1 096个,内侧菌落数为1 840个<sup>[2]</sup>。口罩丢弃后,口罩附带的细菌伴随着口罩分散在我们生活的各个角落,破坏环境。同时大量的废弃一次性医用口罩所产生的资源浪费日益严重,因此如何高效清洁地处理日常生活中产生的废弃一次性医用口罩已经成为迫在眉睫的问题。

一次性医用口罩一般由两层纺粘非织造材料中间复合一层熔喷非织造材料为主体,以及附属的耳带和鼻夹组成。主体部分以聚丙烯(PP)为原材料,外层和内层纺粘非织造材料主要作用是防水、防溅射,同时提供一定的强力支撑,避免里层的熔喷非织造材料因强力过低而损坏;中间层的熔喷非织造材料主要起过滤作用,熔喷非织造材料纤维直径小,在2 μm左右,纤维

网孔径小,孔隙率大。复合后的口罩经过静电驻极后能有效吸附粉尘颗粒,捕获细菌及病毒飞沫。

目前,废弃一次性医用口罩的处理方法主要有填埋法、焚烧法、物理回收利用及化学回收利用四大类<sup>[3]</sup>。填埋法利用微生物分解口罩,降解时间长,且对土壤有污染,文中主要对后三种回收再利用方法进行研究分析,比较不同方法之间的优缺点。

## 1 焚烧法

焚烧法是通过焚烧废弃一次性医用口罩产生热量,并将热量用于发电、动力驱动等方面,从而达到废弃一次性医用口罩再利用的方法。

贺泓博<sup>[4]</sup>提出了利用酒精对废弃口罩消毒处理后用于燃烧发电的方法,通过试验模拟了废弃一次性医用口罩利用酒精在不同处理方法下产生的热量值,并通过续燃时间反映燃烧性能。试验表明,酒精处理后的废弃一次性医用口罩燃烧性能优于未处理的口罩,续燃时间更长,产生的热量更大;同时处理后的口罩利用真空包装机包装能有效减少酒精挥发从而提高口罩燃烧产生的热量值,但废弃一次性医用口罩焚烧发电产生的废气、废渣对大气环境污染严重,并且资源利用率低。

## 2 物理机械回收

物理机械回收主要是通过物理机械作用将消毒后的废弃一次性医用口罩破碎成颗粒或碎片状态,并与其他材料混合均匀后在热效应、压力作用或两者协同作用下粘连形成新的产物,使废弃一次性医用口罩得

收稿日期:2021-12-28

基金项目:省级大创项目“废弃口罩PP熔喷非织造布复合纳米SiO<sub>2</sub>锂电池隔膜研究”(S202110709080)

第一作者:英世涛(2000—),本科,研究方向为非织造功能材料,E-mail:2252044656@qq.com。

\*通信作者:本德萍(1964—),副教授,研究方向为非织造功能材料,E-mail:xfbdp@163.com。

到再次利用。

虞嘉希等<sup>[5]</sup>将废弃一次性医用口罩用消毒剂处理后,利用破碎装置得到口罩颗粒,再通过静电分离机进行电选以及浮选机浮选得到聚丙烯颗粒,将聚丙烯颗粒与木粉和聚丙烯接枝马来酸酐混合均匀后在开炼机中混炼,最后热压成型制备木塑复合材料。该方法得到的木塑材料力学性能优异,耐酸碱性好,耐腐蚀能力强,不易被虫蛀,不长真菌,适用于家装建筑材料。

费俊豪等<sup>[6]</sup>以废弃一次性医用口罩为原料,经消毒处理后将废弃一次性医用口罩与木质素磺酸盐分别烘干、粉碎并以一定比例混合均匀,同时混入一种或多种偶联剂、增强剂、抗氧剂、颜料、抗菌剂等经热压熔融后制备高吸水性木塑复合薄膜,得到的木塑复合薄膜吸水性好,拉伸断裂强度较高。并且,添加木质素磺酸盐的木塑复合薄膜相比于不添加木质素磺酸盐的木塑复合薄膜,具有更高的断裂强度和断裂伸长率,可用于保水地膜、树膜等产品。

Mohammad Saberian 等<sup>[7]</sup>将废弃一次性医用口罩的耳挂和鼻夹去除,经过消毒处理后切割成 2 cm 长、0.5 cm 宽的纤维碎片,以不同的质量百分比混入道路再生混凝土骨料(RCA)中,制备的混凝土试样再经固化处理,通过一系列测试表明,一次性废弃口罩碎片的引入提高了混凝土的强度和刚度,并提升了混凝土的延展性和耐用性。经预测,利用这种方法修建一条 1 公里长的双车道公路,大约能消耗 300 万只废弃口罩,有效解决废弃一次性医用口罩处理难题。

Daniele Battagazzore 等<sup>[8-9]</sup>设计了两种机械回收方案用于废弃一次性医用口罩回收处理。第一种将废弃一次性医用口罩过滤部分单独回收,首先将口罩过滤层破碎成规定大小,送入内部混合器(Brabender)混合均匀,再喂入螺杆挤压机中熔融,挤出成再生聚丙烯颗粒,颗粒加入升温至 190 °C 的热压成型机中,压制成聚丙烯薄膜。第二种将耳挂与过滤部分一起回收,取出鼻夹后将口罩破碎成规定大小,后续操作与第一种方法相同。结果表明两种方案制备的再生聚丙烯相比于利用其他废弃塑料制备的混合聚烯烃具有更加优异的刚度和强度;引入耳挂后的聚丙烯相比于没有引入耳挂的聚丙烯产物,刚度大幅提升,但黏度略有降低,强度和韧性下降明显;同时两种再生聚丙烯对光氧化的稳定性与商用聚丙烯相差不大。Daniele 的这种回

收方法对废弃一次性医用口罩的回收再利用有积极作用,在工业应用方面具有潜在市场。

陆振乾等<sup>[10]</sup>将废弃一次性医用口罩回收后利用高温消毒,再浸入消毒液中二次消毒后清洗烘干。将消毒后口罩的纺粘材料和熔喷材料拆分后分别进行压烫处理,处理后的熔喷、纺粘材料及高性能织物叠层后通过热压机复合在一起。高性能织物作为增强材料放置在中间,由玻纤织物、玄武岩织物、碳纤维织物组成;纺粘及熔喷材料分布在两侧,纺粘层及熔喷层由 1~6 层纺粘布或熔喷布复合而成。该方法制备的复合板成型工艺简单,成本低,能有效减少废弃一次性医用口罩带来的污染,绿色环保。

### 3 化学回收利用

化学回收利用是将废弃一次性医用口罩消毒处理后加入反应装置中,在特定条件下与化学试剂相互反应生成可利用的化学产物,从而达到回收利用废弃一次性医用口罩的目的。

于荣华等<sup>[11]</sup>将废弃一次性医用口罩去除耳带和鼻夹后,浸入 NaOH 水溶液中,随后加入六水合氯化镍( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ),发生原位反应后使  $\text{NiOH}_2$  沉积在废弃口罩上再烘干。然后在坩埚中用 700 °C 高温使其碳化,冷却后用去离子水洗涤三次除去可溶性物质,得到 C/Ni 杂化物。结果表明,C/Ni 杂化物应用于微波吸收方面表现了优异性能,包括 -56.3 dB 的强发射损耗以及 4.3 GHz 的吸收带宽。该技术对废弃一次性医用口罩的回收处理提供了新思路,且产品附加值高,过程环保污染小。

付民等<sup>[12]</sup>提供了一种利用废弃一次性医用口罩制备过渡金属氧化物/生物质炭复合材料的方法。将废弃一次性医用口罩消毒杀菌后,放置在过渡金属盐溶液中使金属离子均匀吸附,再加入碱性溶液反应生成金属氢氧化物。将处理后的口罩放在管式炉内高温碳化,口罩碳化成碳材料,金属氢氧化物转化成金属氧化物,得到金属氧化物/生物质炭复合材料。该方法电化学性能优异,工艺简单,解决了单一碳材料电容性差、金属氧化物导电性差的问题,且应用前景广阔,产品附加值高。

Sungyup Jung 等<sup>[13]</sup>采用 Ni/SiO<sub>2</sub> (5wt%) 作为热解催化剂,在管式反应器中利用多阶段热解法先切断

废弃一次性医用口罩纤维中 C—C 键和 C—H 键产生  $H_2$  和  $C_{1-2}HCs$ , 再进一步催化裂解生成  $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$  等气体。同时发现了在有  $CO_2$  存在的环境中能裂解产生  $CO$ , 在  $N_2$  环境中则不会生成  $CO$ 。这种方法为废弃一次性医用口罩的利用提供了一种绿色的处理方法。

徐桂银等<sup>[14]</sup>通过一种碳泡沫微波等离子体 (CFMP) 发生装置, 如图 1 所示, 利用微波照射诱导等离子体放电在氮气中产生 3 000 K 以上的表面温度, 使废弃一次性医用口罩分解成气体 ( $H_2$ 、 $CO$ 、 $C_2H_4$ 、 $C_3H_6$ 、 $CH_4$  等) 和少量的无机矿物。随着时间推移, 固态碳微凸体接枝泡沫的增加提高了等离子体放电效率, 使得这一过程可以自我延续。气体通过分离装置分离后用于工业生产, 固态碳进一步处理后可以用于火力发电。在生产过程中, 废弃一次性医用口罩不需要进行消毒、预分选等处理, 同时不会产生温室气体及微细颗粒物, 从而减少空气污染。

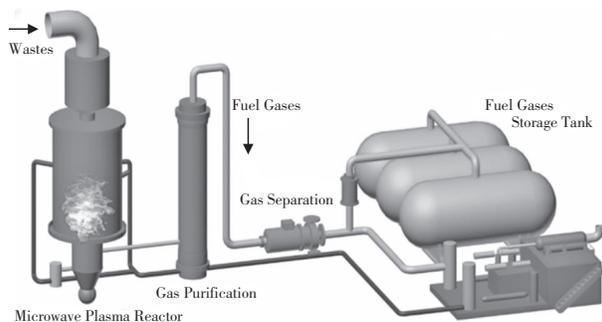


图1 碳泡沫微波等离子体发生装置

宗军等<sup>[15]</sup>将废弃一次性医用口罩放置在烘箱中低温加热灭活微生物, 然后取下金属条, 将灭菌后的口罩放入气氛保护炉中, 再通入惰性气体在  $400\text{ }^\circ\text{C}$  高温下预碳化, 待结构稳定后放入惰性气体保护的高温碳化炉中, 在  $1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$  高温下碳化形成多孔碳凝胶材料。试验得出, 制备的多孔碳凝胶材料具有高比表面积及孔隙率, 在能量储存、制造领域有巨大的应用前景。

李丽等<sup>[16]</sup>提供了一种利用微藻处理废弃一次性医用口罩用于生物油的制备方法。将口罩破碎后与微藻 (钝顶螺旋藻) 混合, 在高温反应釜中发生共水热液化反应 (CO-HTL), 冷却后过滤得到固态生物炭及油水混合物, 将油水混合物与二氯甲烷混合后再离心处理, 取下层液体在  $60\text{ }^\circ\text{C}$  下蒸发 20 h 得到生物油。多组试验表明微藻与废弃口罩有协同作用, 能有效提高

生物油的产量及质量, 相比于普通方法制备生物油, 能有效减少生物油中的氮硫含量, 减少对环境的污染。

向虎等<sup>[17]</sup>利用高温高压反应釜使废弃一次性医用口罩碳化, 碳化后的口罩用作碳源经热处理后形成中空纤维多孔结构, 用于制备高性能超级电容器电极材料, 其流程如图 2 所示, 口罩粉碎后形成口罩碎片, 经磺化处理与活性剂均匀混合, 然后在  $750\text{ }^\circ\text{C}$  高温热处理下碳化成活性多孔碳, 可以用做超级电容器的阴极电极。分析表明, 相比于普通阴极电极, 利用废弃一次性医用口罩制备的中空纤维多孔结构具有孔隙率高, 比电容高, 生产的固态电容器循环稳定性好, 电容保持率高的特点; 同时相比于其他废弃一次性医用口罩处理方法, 该方法具有产品附加值高、环保等特点, 为废弃一次性医用口罩等医疗卫生用品的回收提供了新思路。

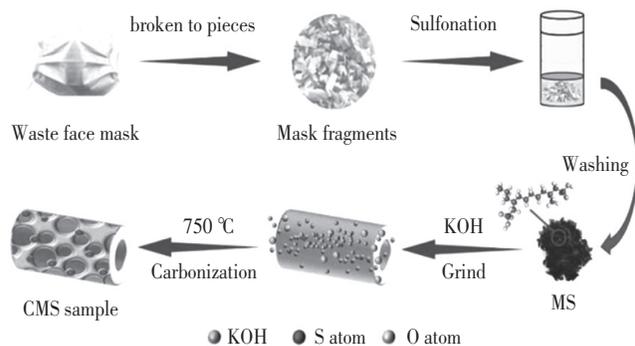


图2 活性多孔碳 (CMS) 样品形成过程示意图

## 4 结束语

通过对废弃一次性医用口罩的回收再利用方法进行研究分析, 主要分为焚烧法、物理机械回收、化学回收三类。其中焚烧法利用燃烧产生的热量用于发电及机械驱动, 特点是工艺成熟简单, 有较大的使用范围, 但环境污染严重, 产能低, 资源利用率低; 物理机械回收是在物理机械作用下将废弃一次性医用口罩破碎成规定尺寸, 与其他材料混合均匀后在热效应、压力或两者协同作用下粘连形成新的产物, 特点是工艺较成熟、流程简单, 但制得的产物产品价值低、资源利用率低; 化学回收利用对废弃一次性医用口罩的利用较成功, 通过化学反应将聚合物大分子转化为小分子化合物进一步利用, 或使废弃口罩中特定基团与化学试剂反应生成新的产物, 特点是产品的附加值较高、绿色环保, 但部分试剂对环境有污染, 可以寻找其他绿色试剂替

代。

总的来说,以上3种方法对废弃一次性医用口罩的利用各有优势,可以通过深入研究口罩材料,设计可降解、可循环利用的口罩;或将口罩的回收利用产品附加值提高,同时探究更多利用废弃一次性医用口罩的新思路。减少资源的浪费,促进资源的可持续发展,推动社会的绿色环保新进程。

#### 参考文献:

- [1] 金水. 如何处理废弃口罩[J]. 防灾博览, 2021(3): 62-63.
- [2] 戚雅萍, 郑永韬, 邱慧丽, 等. 不同环境人群医用外科口罩佩戴时长与菌落总数的相关性研究[J]. 浙江医学教育, 2021, 20(4): 49-52.
- [3] 陈海明, 董侠, 赵莹, 等. 废弃一次性医用口罩的回收利用与化学升级再造[J]. 高分子学报, 2020, 51(12): 1295-1306.
- [4] 贺泓博. 普通人群废弃口罩消毒处理后混燃的可行性[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(7): 157-158.
- [5] 虞嘉希, 柏小东, 赵良. 一种利用废弃口罩制备木塑复合材料的方法: CN111590785A[P]. 2020-08-28.
- [6] 费俊豪, 吴宇晖, 王旭, 等. 一种利用废弃医用口罩制备高吸水性木塑复合薄膜的工艺: CN112062990A[P]. 2020-12-11.
- [7] SABERIAN M, LI J, KILMARTIN-LYNCH S, et al. Repurposing of COVID-19 single-use face masks for pavements base/subbase[J]. Science of the Total Environment, 2021, 769: 145527.
- [8] BATTEGAZZORE D, CRAVERO F, FRACHE A. Is it possible to mechanical recycle the materials of the dispos-

able filtering masks[J]. Polymers, 2020, 12(11): 2726.

- [9] BATTEGAZZORE D, CRAVERO F, FRACHE A. Development of disposable filtering mask recycled materials: Impact of blending with recycled mixed polyolefin and their aging stability [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2022, 177: 105974.
- [10] 陆振乾, 吕景春, 王春霞, 等. 一种复合材料板及其制备方法: CN111959060A[P]. 2020-11-20.
- [11] YU R, WEN X, LIU J, et al. A green and high-yield route to recycle waste masks into CNTs/Ni hybrids via catalytic carbonization and their application for superior microwave absorption[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2021, 298: 120544.
- [12] 付民, 陈伟, 朱紫桐, 等. 一种基于废弃口罩衍生的碳电极材料的制备及应用: CN113223870A[P]. 2021-08-06.
- [13] JUNG S, LEE S, DOU X, et al. Valorization of disposable COVID-19 mask through the thermo-chemical process [J]. Chemical Engineering Journal, 2021, 405: 126658.
- [14] XU G, JIANG H, STAPELBERG M, et al. Self-perpetuating carbon foam microwave plasma conversion of hydrocarbon wastes into useful fuels and chemicals[J]. Environmental Science & Technology, 2021, 55(9): 6239-6247.
- [15] 宗军, 刘兴江, 刘逸骏, 等. 一种应用废弃口罩制备多孔碳凝胶材料中的方法: CN112158823A[P]. 2021-01-01.
- [16] 李丽, 黄进, 郑林玲, 等. 一种利用微藻处理废弃口罩制备生物油的方法: CN113061454A[P]. 2021-07-02.
- [17] HU X, LIN Z. Transforming waste polypropylene face masks into S-doped porous carbon as the cathode electrode for supercapacitors[J]. Ionics, 2021, 27(5): 2169-2179.

## Research Progress on Recycling of Discarded Disposable Medical Masks

YING Shitao, BEN Deping\*, DOU Renjie, XIAO Yongyao, LI Huijing

(School of Textile Science and Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** In view of the increasingly serious waste of resources caused by a large number of discarded disposable medical masks, the recycling methods and research progress of discarded disposable medical masks were studied and analyzed. The results showed that the incineration process was simple, but a large number of toxic gases will be produced during combustion to pollute the environment. The physical and mechanical recovery method was simple and the process flow was short, but the raw materials were not fully utilized, the waste of resources was serious, and the added value of products was low. Chemical recovery had high utilization rate of raw materials and wide application range of products, but the process was complex and some processes polluted the environment.

**Key words:** discarded mask; polypropylene; recycle