



医用口罩熔喷层非油性颗粒过滤效率和纤维形态的相关性分析

周晴^{①*} 李丽^① 魏安海^② 俞兰^① 陈籽苗^① 谭锐^① 杨利^② 张和华^②

①重庆医疗器械质量检验中心 重庆 401120

②陆军军医大学大坪医院医学工程科 重庆 400042

[摘要] **目的:** 分析评价医用口罩熔喷层非油性颗粒过滤效率和熔喷纤维形态的相关性, 以用于符合口罩颗粒过滤效率的熔喷层材料的快速选择。**方法:** 随机选取不同厂家、不同批次的医用外科口罩 50 只, 设定 50 组样本, 采用 TSI MODEL 8130A 型自动滤料检测仪, 以非油性颗粒为介质对熔喷布进行检测, 同时用 HITACHI TM3030 型扫描电子显微镜测量其纤维直径以及微观形态, 并对测试结果进行分析。**结果:** 测试的 50 组样本中过滤效率较高的熔喷材料纤维直径小, 约为 1~6 μm ; 过滤效率较低的熔喷材料纤维直径大, 约为 5~12 μm 。**结论:** 熔喷层材料的过滤效率与熔喷纤维直径大概率成负相关。

[关键词] 医用外科口罩; 非油性颗粒过滤效率; 气溶胶; 熔喷层; 纤维直径

[Abstract] **Objective:** We explored the relationship between the filter efficiency of the first important layer of filter layer (made of melt-blown fabric) for mask and its fiber diameter to quickly select the materials of melt-blown layer which meet the particles filtration efficiency. **Methods:** For 50 samples of masks, automatic filter detector (TSI MODEL 8130A) was used to detect the filtration efficiency of salt. The diameter and micromorphology of the fiber were also detected with the scanning electron microscope (HITACHI TM3030). **Results:** We found that the melt blown material with high filtration efficiency of salt has small fiber diameter ((1 μm ~6 μm), while the melt blown material with low filtration efficiency, the fiber diameter was larger (5 μm ~12 μm). **Conclusion:** The filtration efficiency of filter layer probably has a negative correlation with the fiber diameter.

[Key words] Surgical Mask; Salt Filtration Efficiency; Aerosol; Spray Melt Layers; Fibre Diameter; Scanning Electron Microscope

随着新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 疫情暴发, 从事医疗救治的医护人员长期处于高危工作环境, 职业暴露危险性在不断的增大, 各类医用口罩成为紧缺物资^[1]。新型冠状病毒 (2019-nCoV) 通过飞沫、接触及气溶胶传播, 对呼吸道的有效防护将极大降低病原微生物和颗粒进入人体的可能性^[2]。作为对病毒气溶胶、含病毒液体等具有隔离作用的面料—熔喷材料在疫情期间也变得越来越紧俏, 价格也随之上升。然而, 由于市面上的熔喷布质量参差不

齐, 如何通过有效手段识别熔喷布的好坏变得尤为重要^[3]。熔喷纤维以聚丙烯为主要原料, 20 世纪 60 年代后期美国 Exxon 公司认识到其商业应用价值, 开始转为民用并得到发展^[4]。我国在熔喷技术及产品应用方面也取得了长足进步, 目前为熔喷非织造材料第一生产大国^[5]。熔喷纤维的主要工艺流程有: 聚合物投入→熔融挤出→纤维形成→冷却→成网→粘合→切边, 其中关键参数有熔融指数、热气流速度、热空气喷射角、接收距离以及螺杆挤出速度等^[6-7]。由于熔喷纤维极细, 纤网均匀度好手感柔软, 具有独特的毛细结构, 增加单位面积纤维的数量和表面积, 可使熔喷布具有很好的过滤性, 是较为良好的口罩材料^[8-9]。当前, 在各级医疗机构、地震、洪水侵袭的受灾地区以及病毒性疾病的高发季节, 口罩更是被人们广泛使用。

口罩的过滤效率是指在规定条件下, 口罩对空气中颗粒物的滤出百分比, 所以颗粒过滤效率是对医用外科口罩、医用防护口罩阻隔病毒气溶胶效果的最重要指标之一^[10-11]。国家食品药品监督管理局《医用外科口罩》(YY 0469-2011)^[12]要求, 口罩对非油性颗粒的过滤效率 $\geq 30\%$; 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准管理委员会《医用防护口罩技术要求》(GB 19083-2010)^[13]在气体流量为 85 L/min 情况下口罩对非油性颗粒过滤效率应 $\geq 95\%$ 。

1 试验仪器及材料

1.1 试验仪器

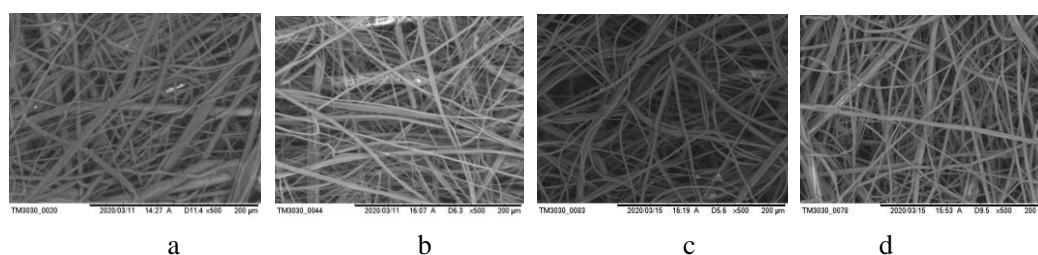
采用 HITACHI TM 3030 型扫描电子显微镜(日本株式会社日立高新技术那珂事务所); TSI MODEL 8130A 型自动滤料检测仪(美国 TSI 集团)。

1.2 试验样品

随机选取不同厂家、不同批次的医用外科口罩 50 只, 设定 50 组样本。

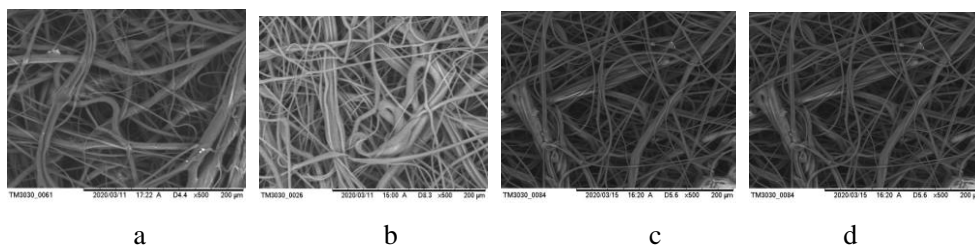
2 试验方法

过滤效果测试。将选取的口罩去除内外层, 取中间熔喷层于自动滤料检测仪上测试样品的非油性颗粒过滤效率, 医用外科口罩熔喷层用 30 ml/min 气流进行测试, 得到每个样本的非油性颗粒过滤效果。然后将以上样本依次进行电镜扫描, 在 500 倍放大下载图, 观察不同非油性颗粒过滤效率下熔喷纤维的结构情况, 将获得的放大图片随机进行纤维直径测量。熔喷层电镜扫描见图 1、图 2 和图 3。



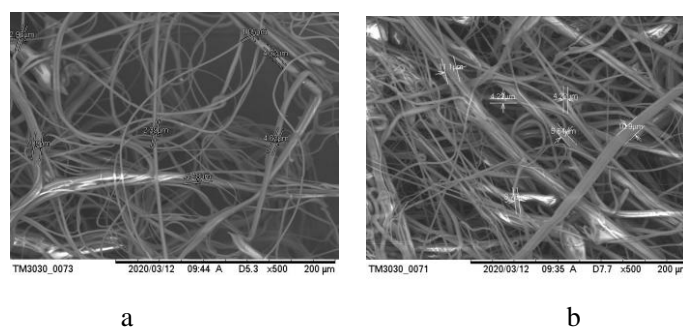
注: 图中 a 为纤维直径分布 1~5 μm ; b 为纤维直径分布 1~6 μm ; c 为纤维直径分布 1~7 μm ; d 为纤维直径分布 1~8 μm

图 1 非油性颗粒过滤效率 $\geq 95\%$ 的熔喷层电镜扫描典型图



注：图中 a 为纤维直径分布 4~11 μm；b 为纤维直径分布 5~12 μm；c 为纤维直径分布 6~13 μm；d 为纤维直径分布 5~12 μm

图 2 非油性颗粒过滤效率≤40%以下的熔喷层电镜扫描典型图



注：图中 a 为颗粒过滤效率 98% 直径 1~5 μm；b 为颗粒过滤效率 25% 直径 4~11 μm

图 3 熔喷层纤维直径测量典型图

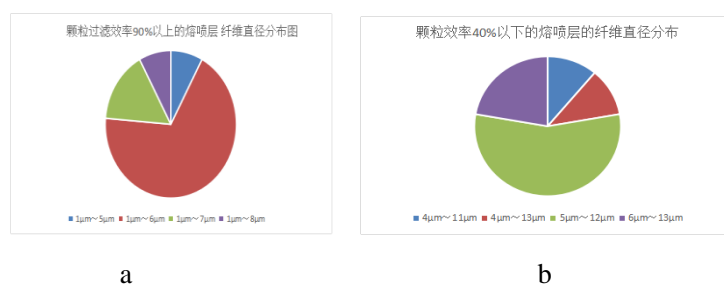
3 结果

对 50 组样品的检测结果显示：①非油性颗粒过滤效率≥90%的有 38 组，40%~80%的有 4 组，≤30%的有 8 组；②非油性颗粒效率≥90%的 38 组熔喷布在电镜下观察，并测量其纤维直径 1~5 μm 共 3 组，1~6 μm 共 26 组，1~7 μm 共 6 组，1~8 μm 共 3 组，每组纤维形态较好，结构蓬松；③非油性颗粒过滤效率≤30%的熔喷布在电镜下观察，并测量其纤维直径 4~11 μm 共 1 组，4~13 μm 共 1 组，5~12 μm 共 5 组，6~13 μm 共 1 组，每组纤维形态不佳、交叉且扭结严重，混杂粗纤维较多。非油性颗粒过滤效率见表 1；分布见图 4。

表 1 50 组样本非油性颗粒过滤效率和纤维直径检测结果

样本序号	非油性颗粒过滤效率(%)	纤维直径分布(μm)	样本序号	非油性颗粒过滤效率(%)	纤维直径分布(μm)
1	99	1~6	26	25	4~11
2	18	5~12	27	70	3~11
3	95	1~7	28	98	1~7
4	97	1~7	29	80	2~12
5	96	1~6	30	95	1~6
6	98	1~6	31	97	1~6
7	27	5~12	32	23	5~12
8	95	1~7	33	98	1~6
9	97	1~6	34	98	1~6
10	98	1~6	35	56	5~12

11	28	5~12	36	99	1~5
12	99	1~6	37	97	1~6
13	96	1~6	38	93	1~6
14	98	1~7	39	91	1~8
15	95	1~8	40	21	5~12
16	99	1~6	41	99	1~6
17	22	6~13	42	93	1~6
18	98	1~6	43	96	1~6
19	97	1~6	44	96	1~6
20	99	1~5	45	98	1~6
21	24	4~13	46	96	1~6
22	95	1~8	47	40	6~13
23	96	1~6	48	90	1~6
24	93	1~7	49	96	1~6
25	95	1~6	50	99	1~5



注：图中 a 为非油性颗粒过滤效率 $\geq 90\%$ 的熔喷层纤维直径分布；b 为非油性颗粒过滤效率 $\leq 40\%$ 的熔喷层纤维直径分布

图 4 非油性颗粒过滤的熔喷层纤维直径分布图

4 讨论

非油性颗粒过滤效率较好的熔喷布，纤维直径在 $1\sim 6\ \mu\text{m}$ 范围分布较多，其在电镜下可见纤维结构蓬松、纤维形态均匀且细长；非油性颗粒过滤效率较差的熔喷布，大部分纤维直径分布在 $5\sim 12\ \mu\text{m}$ ，大多数是混合了较粗的纤维而制成，纤维伸展不充分、并丝、扭结、弯曲以及缠绕情况严重。

熔喷纤维的直径为 $1\sim 7\ \mu\text{m}$ ，随着纤维密度的下降，其表面积增加，这是决定着滤材过滤效率的重要因数^[8]。本试验研究通过对口罩中熔喷层非油性颗粒过滤效率的测试，区分出过滤效率好和差的熔喷纤维，并对其做纤维形态的观察和纤维直径的测量。电镜扫描法简单快速，可帮助生产企业在进货中快速的识别原材料质量，提高生产效率，此方法技术难度不高，无需繁杂的准备，但操作者应对熔喷纤维表象特征有一定的认识，避免与其他纤维混淆而误判。

5 结论

通过对医用口罩熔喷层非油性颗粒过滤效率和纤维形态的系列相关性分析，发现熔喷层材料的过滤效率与熔喷纤维直径大概率成负相关。在后续研究过程中，将会继续选用医用口

罩的熔喷层,并对其油性介质、细菌过滤效果与纤维形态之间的相关性做进一步分析,为医用口罩生产、产品检验及临床应用提供技术依据。

参考文献

- [1]王天阳,李绘鹏,隋东明.院内高危科室工作人员医用口罩使用现状综述[C].苏州:中国医学装备第27届学术与技术交流年会,2018:147-149.
- [2]李明,田明伟.医用口罩的技术标准对比研究及前景展望[J/OL].山东科学,2020,2:1-14.(2020-03-11)[2020-03-23].<http://kns.cnki.net/KCMS/detail/37.1188.N.20200310.1942.002.html>.
- [3]李劲松,张柯,何春雷,等.呼吸道防护装备佩戴密合度测试仪的研制[J].中国医学装备,2018,15(9):1-4.
- [4]辛三法.熔喷非织造工艺中纤维成形机理的研究[D].上海:东华大学,2013.
- [5]何宏升,邓南平,范兰兰,等.熔喷非织造技术的研究及应用进展[J].纺织导报,2016(S1):71-80.
- [6]王宝元.熔喷非织造布的应用和展望[J].福建轻纺,2011(4):46-48.
- [7]陈廷.熔喷非织造气流拉伸工艺研究[D].上海:东华大学,2013.
- [8]石波,安树林.熔喷法聚丙烯非织造布滤材[J].天津纺织科技,2003(1):25-28,47.
- [9]陈凤翔,翟丽莎,刘可帅,等.防护口罩研究进展及其发展趋势[J/OL].西安工程大学学报,2020,34(2):1-12.(2020-03-16)[2020-03-22].<http://kns.cnki.net/KCMS/detail/61.1471.N.20200316.1100.002.html>
- [10]邵蕊娜,李风光,张峻梓,等.浅析口罩的过滤效率辅助测量装置的设计[J].中国医疗设备,2019,34(4):73-75.
- [11]刘思敏,潘四春,岳卫华.医用外科口罩滤材非油性颗粒过滤效率与细菌过滤效率的相关性分析[J].首都医药,2013(24):8-9.
- [12]国家食品药品监督管理局.医用外科口罩:YY 0469-2011[S].北京:中国标准出版社,2013.
- [13]国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准管理委员会.医用防护口罩技术要求:GB 19083-2010[S].北京:中国标准出版社,2011.

***通信作者: 93436942@qq.com**

作者简介: 周晴, 女, (1979-), 本科学历, 工程师, 从事无源医疗器械检验及标准化研究工作。