

不同条件对口罩用熔喷布过滤效率与气流阻力的影响

王清源

(镇江市产品质量监督检验中心, 江苏 镇江 212000)

摘要: 研究不同条件下口罩用聚丙烯熔喷布过滤效率和气流阻力的变化情况, 为熔喷布的生产、应用和口罩的使用提供参考依据。通过选用不同测试流量、不同叠加层数和不同加载时间三种条件, 对口罩用熔喷布的盐性颗粒物过滤效率和气流阻力进行试验并进行结果分析。结果发现随着测试流量的增加, 口罩用熔喷布的盐性过滤效率呈线性趋势下降, 气流阻力呈线性趋势增长; 随着样品叠加层数的增加, 过滤效率先增大后趋于稳定, 气流阻力值呈线性趋势增大; 随着加载时间的延长, 过滤效率和气流阻力结果均随之增大, 但过滤效率增大趋势由急变缓, 气流阻力由缓变急。因此, 在熔喷布生产时可通过增大过滤面积来降低气体通过流量, 也可以在口罩制作时适当的选用多层熔喷布, 两者均可提高产品的过滤效率。另外, 口罩不宜长期使用, 不然会造成呼吸不畅。

关键词: 熔喷布; 口罩; 过滤效率; 气流阻力; 测试流量; 叠加层数; 加载时间

The influence of different conditions on the filtration efficiency and airflow resistance of meltblown cloth for masks

Wang Qingyuan

(Zhenjiang Center for Products Quality Supervision & Inspection, Zhenjiang, Jiangsu, 212000)

Abstract: To study the changes in filtration efficiency and airflow resistance of polypropylene melt blown cloth for masks under different conditions, to provide a reference for the production and application of melt blown cloth and the use of masks. By selecting three conditions of different test flow rates, different stacking layers and different loading times, the salt particle filtration efficiency and airflow resistance of the melt blown cloth for masks were tested and the results were analyzed. It was found that with the increase of the test flow rate, the salt filtration efficiency of the meltblown cloth for masks decreased in a linear trend, and the airflow resistance increased in a linear trend; as the number of layers of samples increased, the filtration efficiency first increased and then stabilized, the airflow resistance value increases in a linear trend; with the extension of the loading time, the filtration efficiency and the airflow resistance results increase, but the increasing trend of the filtration efficiency changes from abrupt to slow, and the airflow resistance changes from slow to abrupt. Therefore, in the production of melt-blown cloth, the air flow can be reduced by increasing the filter area, and multi-layer melt-blown cloth can be appropriately selected when making masks, both of which can improve the filtration efficiency of the product. In addition, masks should not be used for a long time, otherwise it will cause breathing difficulties.

Key words: melt blown cloth; mask; filtration efficiency; airflow resistance; test flow; number of stacks; loading time

随着 2020 年新冠疫情的爆发，口罩成为争相采购的商品，而口罩中间层核心材料，聚丙烯熔喷法非织造布（简称熔喷布）一度成为网红产品，为大众所熟知。熔喷非织造布是聚合物一步法成布技术中的一种。20 世纪 50 年代初美国海军实验室在政府资助下发明了熔喷非织造布技术，即熔融聚合物被柱塞挤压机挤入一股敛聚的热气流，形成超细纤维吹向凝网器堆积成一种超细过滤材料，生产出尼龙熔喷非织造布^[1]。目前，口罩用熔喷布多以聚丙烯为原料，因其具有独特毛细结构的超细纤维增加单位面积纤维的数量和表面积，从而使其对空气中的微细粉尘和细菌等微米级颗粒具有优良的捕获性能。

对于应用于空气过滤领域中非织造布滤料，很重要的过滤性能指标是颗粒物过滤效率和气流阻力^[2]。效率是指对过滤元件进行试验时，过滤元件过滤掉的气溶胶浓度与过滤前的气溶胶浓度之比；阻力是指在一定试验风速或风量下，过滤元件前后的静压差^[3]。口罩是过滤领域的一种典型产品，现行有效的标准中对过滤效率项目的测试流量和技术要求不尽相同，如在 YY 0469-2011《医用外科口罩》^[4]标准中规定过滤效率项目测试流量为（30±2）L/min，过滤效率大于等于 30%；在 GB/T 32610-2016《日常防护型口罩技术规范》^[5]中规定过滤效率项目测试流量为（85±4）L/min，过滤效率因级别不同要求不同，最低不得低于 90%。国内现行的熔喷布标准也有很多，多为新制定的地方标准和团体标准，其中 FZ/T 64078-2019《熔喷法非织造布》^[6]作为唯一的行业标准，其过滤效率项目采用的就是 GB/T 32610-2016 附录 A 的方法，测试流量为（85±4）L/min。本次研究在不同测试流量、不同叠加层数和不同加载时间三种条件下，分别测得熔喷布过滤效率和气流阻力结果，分析其变化情况，为熔喷布的生产、应用和口罩的使用提供参考依据。

1 试验部分

1.1 样品准备

试验样品为自备白色熔喷布，门幅 175mm，克重 25g/m²，厚度 0.47mm。样品不做温湿度预处理，但均在试验环境条件下放置 24h 以上。

1.2 试验设备

SJPM-F002 颗粒物过滤效率测试仪，测试面积：100cm²，过滤介质：NaCl 气溶胶，计数中位径位（0.075±0.020）μm。

1.3 试验环境

试验环境温度为（25±5）℃，相对湿度（30±10）%。

1.4 试验方法

1.4.1 分别设置测试流量为 30、40、55、70、85、100L/min，测试单层熔喷布的过滤效率和气流阻力值。

1.4.2 当测试流量为 85L/min 时，对熔喷布进行层数叠加试验，最大叠加层数为 5 层，每叠加 1 层记录一次过滤效率和气流阻力值。

1.4.3 当测试流量为 85L/min 时，对单层熔喷布进行连续加载试验，每间隔 1min 记录一次过滤效率和气流阻力值，记录至 30min。

2 试验结果和讨论

2.1 不同测试流量的影响

表 1 是不同测试流量下的过滤效率和气流阻力的实测值。从数据上可以看出随着测试流量的增加，过滤效率结果逐渐减小，气流阻力值逐渐增大。

表 1 不同测试流量下过滤效率与气流阻力的试验结果

测试流量 (L/min)	30	40	55	70	85	100
过滤效率 (%)	98.06	96.40	94.55	92.63	90.78	88.35
气流阻力 (Pa)	41.3	63.3	81.6	98.9	120.6	138.2

通过线性拟合，得到测试流量与过滤效率的线性关系方程式： $y=-0.1345x+101.98$ ，相关系数 R^2 为 0.9978；测试流量与气流阻力的线性关系方程式： $y=1.3412x+5.7067$ ，相关系数 R^2 为 0.993，线性关系均很显著，拟合曲线见图 1。

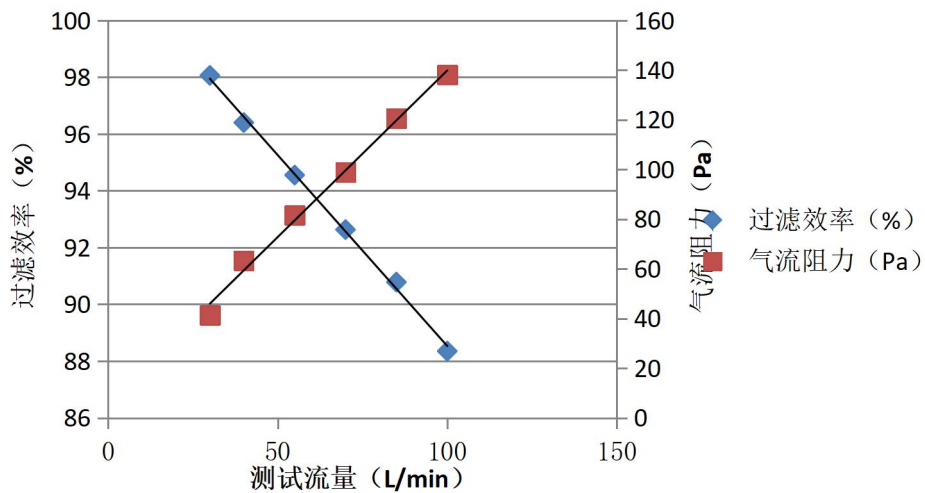


图 1 测试流量与过滤效率和气流阻力关系图

通过方程式可以准确的计算出该熔喷布在不同测试流量下的过滤效率和气流阻力值。因此在熔喷布的生产和应用过程中，可以将成品熔喷布的折叠或压制等工艺形成立体熔喷布，从而通过增加接触面积来降低气体通过流量，使熔喷布具有高过滤效率，低过滤阻力。

2.2 不同叠加层数的影响

表 2 是不同叠加层数下的过滤效率和气流阻力的实测值。从数据上可以看出随着叠加层数的增加，过滤效率结果增加趋势由快变慢最后趋于稳定，而气流阻力的结果逐渐增大。

表 2 不同叠加层数下过滤效率与气流阻力的试验结果 (85L/min)

叠加层数	试验结果	
	过滤效率 (%)	气流阻力 (Pa)
1	90.78	120.6
2	98.05	211.7
3	99.72	318.0
4	100.00	423.5
5	100.00	530.5

通过线性拟合，可得到叠加层数与气流阻力的线性关系方程式： $y=103.16x+11.38$ ，相关系数 R^2 为 0.9991，线性关系显著，拟合曲线见图 2。

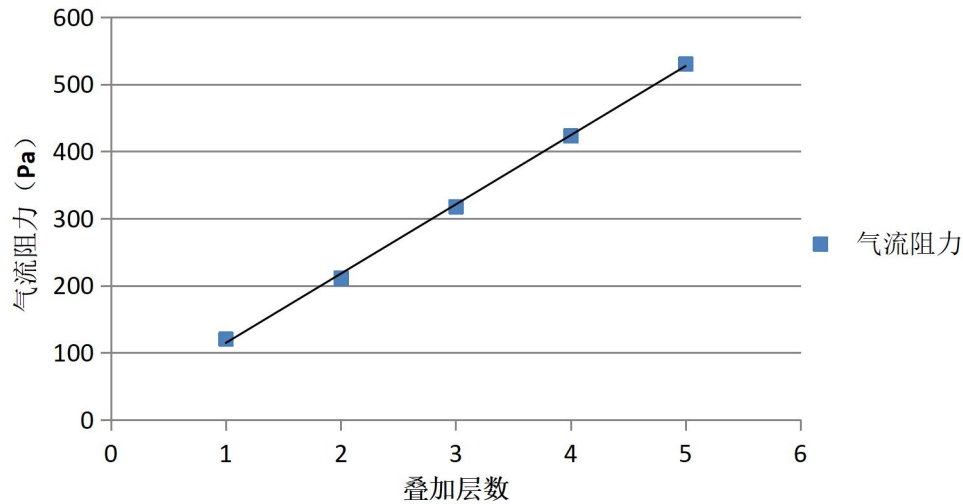


图 2 叠加层数与过滤效率和气流阻力的拟合曲线

通过方程式可以准确的计算出该熔喷布在不同叠加层数下的气流阻力值。在口罩生产过程中，可以通过多层叠加熔喷布的方法增加提高过滤效率，虽然气流阻力也会增加，但是两者存在不同的增长趋势，可以通过上述方程计算不同层数的气流阻力，寻找合适的叠加层数。

2.3 不同加载时间的影响

表 3 是不同加载时间下的过滤效率和气流阻力的实测值。从数据上可以看出随着加载时间的延长，过滤效率和气流阻力值均呈增大趋势。

表 3 不同加载时间下过滤效率与气流阻力的试验结果 (85L/min)

加载时间 (min)	试验结果		加载时间 (min)	试验结果		加载时间 (min)	试验结果	
	过滤效率 (%)	气流阻力 (Pa)		过滤效率 (%)	气流阻力 (Pa)		过滤效率 (%)	气流阻力 (Pa)
1	90.54	119.8	11	95.29	207.8	21	98.50	395.3
2	91.22	123.0	12	95.78	219.5	22	98.60	429.6
3	91.69	130.2	13	96.02	233.8	23	98.81	472.7
4	92.08	138.8	14	96.45	248.6	24	98.93	520.9
5	92.53	147.1	15	96.83	265.7	25	99.09	580.1
6	92.95	156.5	16	97.12	282.7	26	99.20	653.3
7	93.47	165.2	17	97.47	297.9	27	99.30	731.4
8	93.90	175.2	18	97.85	315.6	28	99.42	792.5
9	94.43	185.3	19	98.10	340.1	29	99.50	869.1
10	94.88	196.7	20	98.32	366.8	30	99.63	950.9

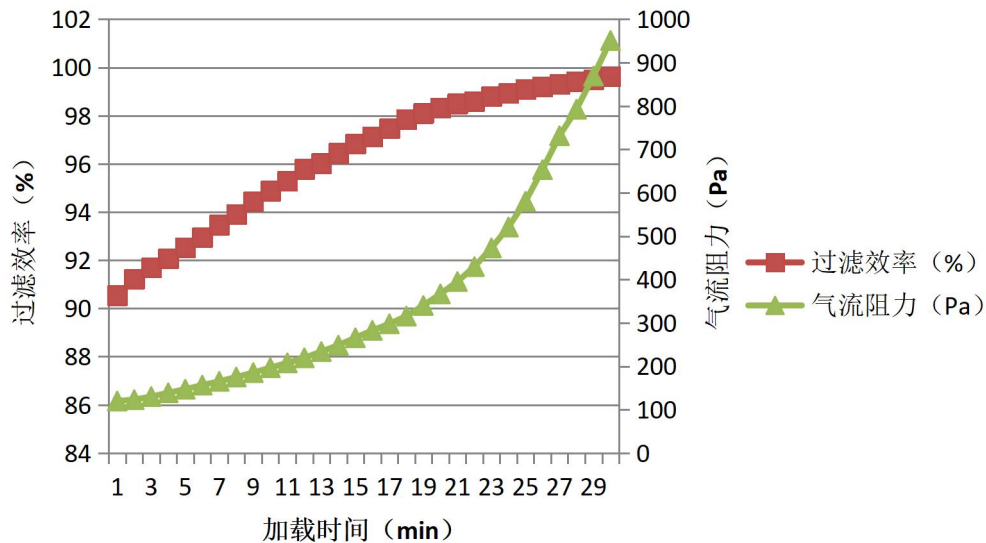


图 3 加载时间与过滤效率和气流阻力变化关系图

图 3 是加载时间与过滤效率和气流阻力变化关系曲线图,从图中可清晰看出在加载过程的前半程,过滤效率结果增长速度较快,气流阻力结果增长速度较慢;在加载过程的后半程,过滤效率结果的增长速度放缓,而气流阻力结果增速加快。出现这种变化情况的原因是在加载过程前期,气溶胶颗粒物的集聚使得纤维的孔径变小,过滤效率的结果快速增大,当加载继续,纤维孔径小到一定程度,过滤效率的结果增大趋势则放缓,而此时,气流阻力增加的速率越来越快。因此在口罩实际使用过程中,建议消费者佩戴一段时间后更换,否则由于颗粒物的集聚使气流阻力增大,造成佩戴者呼吸不畅。

3 结语

熔喷布的颗粒物过滤效率测试过程中,随着测试流量的增加,过滤效率值呈线性下降的趋势,气流阻力值呈线性增大的趋势;当测试流量不变的情况下,随着叠加层数的变多,过滤效率值先增大后趋于稳定,差异变小,气流阻力值呈线性增大趋势;当测试流量不变的情况下,随着加载时间的延长,过滤效率值和气流阻力值均呈增大趋势,过滤效率由急变缓,气流阻力由缓变急。

在熔喷布生产过程中,可以考虑通过使用经过折叠或压制成立体的熔喷布增加过滤面积提高过滤效率,同时降低气流阻力。在口罩的生产过程中,可以考虑在保证相对合适的气流阻力前提下,采用增加熔喷布叠加层数方式提高过滤效率。另外,建议在日常口罩佩戴时,应及时更换,保证呼吸通畅。

参考文献

- [1]王延熙.非织造布生产技术[M].上海:中国纺织大学出版社,1998.273-277.
- [2]杨海华.非织造布过滤材料的应用及发展趋势[J].产业用纺织品,1998,(5):6~8,14.
- [3] GB/T 6165-2008,高效空气过滤器性能试验方法效率和阻力[S].
- [4] YY 046-2011,医用外科口罩[S].
- [5] GB/T 32610-2016,日常防护型口罩技术规范[S].
- [6] FZ/T 64078-2019,熔喷法非织造布[S].

作者简介:王清源(1986-),男,江苏沭阳人,工程师,主要从事纺织品服装的检验与检测研究。