

熔喷非织造材料在空气过滤领域的技术发展研究

张煌忠

(三明职业技术学院,福建 三明 365000)

摘要:由于熔喷非织造材料在空气过滤方面具有高效、低阻、抗菌、节能的优势,使熔喷非织造材料的空气过滤市场越来越大。随着现代工业技术和世界经济全球化的发展,科学技术在熔喷非织造空气过滤材料上得到广泛应用,发展生物可降解熔喷材料、熔喷纳米纤维、双组份熔喷、驻极处理等代表了熔喷非织造空气过滤材料的技术发展方向。

关键词:熔喷非织造材料;空气过滤;技术发展

中图分类号:TS176.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2015)04-0056-05

熔喷工艺是至今可以直接纺得的最细的超细纤维的一种非织造材料生产技术,它利用聚酯、聚丙烯等热塑性高聚物在受热熔融的状态下,从纺丝箱体喷丝板上的细小喷丝孔中高速喷射而出,依靠喷丝孔两侧与聚合物熔体喷出方向呈一定夹角的高速热空气流喷吹,使其瞬间极限拉伸,形成超细纤维并收集在凝网帘或滚筒上,再经过自身粘合或其他固结方法而成为超细纤维非织造材料。熔喷非织造材料具有纤维超细、比表面积大、孔隙小、空隙率高等特点,在一般性过滤中能够发挥高效、低阻、节能的优势,达到良好的滤除粉尘和细菌等有害物质的效果,是一种性能优良的过滤材料。在空气过滤领域,熔喷非织造材料已经大量推广应用到医用防菌口罩、室内空调机过滤、汽水分离过滤、净化室过滤等方面。经过适当的驻极化处理后,熔喷非织造材料的空气过滤效率可大大提高到 99% 以上,甚至可达 99.999%,适用于电子设备、超净车间等高要求的空气净化场所,因而受到国内外众多生产企业和使用客户的高度关注^[1]。

1 熔喷非织造材料的空气过滤机理

空气过滤是将悬浮在气体中的固体颗粒分离出来的一种技术,其基本原理是空气在通过过滤材料(可渗性介质)时,空气中固体颗粒为过滤材料

所截留或吸附,从而实现气体和固体颗粒的分离。

熔喷非织造材料的空气过滤机理是:当运动中的气体携带粉尘颗粒流经由熔喷非织造材料制成的过滤介质时,由于熔喷非织造材料含有数量足够多的杂乱排列的超细纤维,孔径尺寸较小的孔隙形成了对粉尘颗粒的无数道截留或吸附屏障,同时其又具有结构蓬松、孔隙数量多、空隙率高的特点,不会对气流形成过大的透过阻力^[2]。粉尘颗粒由于有较大的体积尺寸且一般带有某种电荷,通过熔喷非织造材料因形成筛效应、惯性效应、拦截效应、扩散效应、静电效应等作用而被有效拦截,所以熔喷非织造过滤材料既允许洁净气流顺利通过,又能有效拦截粉尘粒子。

2 熔喷非织造材料在气体过滤领域的技术发展

传统的空气过滤材料存在着过滤效果不佳、不耐用或者阻力偏大、不环保(不可焚烧或分解)等缺点,随着现代工业技术和世界经济全球化的发展,世界各国对环境保护意识的增强,熔喷非织造材料作为一种良好的空气过滤材料,其过滤效果好、透过阻力小、重量轻、容量大、环保、价格适中等特点代表了未来过滤材料的主要发展方向,同时新的科学技术在熔喷非织造空气过滤材料上也得到更加广泛的应用。

2.1 发展生物可降解熔喷材料

随着世界工业的迅速发展,空气污染变得越来越严重,人们对空气过滤材料提出了越来越高的要求,同时也更加注重减少过滤材料本身对环境的污染。以往的空气过滤材料多数是由聚丙烯、聚乙烯、聚酯和聚酰胺等不易降解的聚合物材料制成,其自身废弃物的处理往往还会造成环境的再污染。世界环保意识的强化使得新型环保可降解过滤材料的应用日渐增多,聚乳酸熔喷非织造材料就是其中的重要代表之一。

聚乳酸,英文名称 Polyactic acid,简称 PLA,是由生物发酵产生的乳酸经化学合成而得的热塑性聚合物,具有良好的生物相容性和可降解性,在自然环境中微生物作用下能缓慢分解而最终消失的环境友好材料,具有可再生、生物相容、低碳排放和低能耗等特点。聚乳酸不同于其他的树脂,而是来源于可再生的玉米、小麦、甘蔗等天然农作物,是一种完全绿色材料,可以在土壤里自然降解,近年来越来越受到全世界的关注。聚乳酸的生产工艺路线主要是以小麦、谷物、玉米、甜菜等含淀粉的可再生植物资源为原料的发酵法,淀粉原料经发酵过程制成乳酸,再通过化学合成转换成聚乳酸^[3]。发酵法以其原料充足、原料利用率和转化率高、生产成本低于合成法而为各国所采用。目前,聚乳酸熔喷非织造材料生产工艺在美国和日本已经基本成熟,其中最典型的是美国 Nature Works 公司的技术。由于聚乳酸切片与聚丙烯切片的相关物化性能非常接近,所以对已有的聚丙烯熔喷生产线进行适当改造就可以适应聚乳酸熔喷过滤非织造材料的生产。但聚乳酸切片需要进行必要的干燥,同时聚乳酸熔体的流动特性更接近于牛顿流体,所以需要使用更细的喷丝孔,其他条件(如 DCD 值、喷丝板温度、成网机网带孔隙率和网带速度等)也要进行适当的调整,其生产技术和性能指标如表 1 和表 2 所示。

由于熔喷非织造材料工艺流程短、效率高、成本低,同时国内聚丙烯熔喷非织造材料生产线较多,因此,聚乳酸熔喷非织造材料是一种很有发展前景的空气过滤材料。目前的关键是提高聚乳酸非织造过滤材料的机械性能和物理性能,加快聚乳酸生产技术的开发转化,降低生产成本。

2.2 发展熔喷纳米纤维

对于非织造材料这类组织结构而言,空气的过滤效率与孔隙尺寸密切相关。相关实验研究表

明,熔喷非织造过滤材料的纤维越细、数量越多、密度越大,对粉尘颗粒的拦截效率也越好。在材料克重和厚薄不变的条件下,纤维的直径在很大程度上决定了孔隙尺寸的大小。通过对几个相似厚度的非织造材料样品进行实验分析,可以看出纤维直径与非织造材料平均孔径的关系,如表 3 所示。

表 1 美国 Nature Works 公司的 6262D 聚乳酸熔喷生产技术参数

Table 1 The Nature Works of polylactic acid (PLA) 6262 d melt – blown technology parameters	
指 标	数 值
母粒熔融指数(210 ℃)/[g · (10 min) ⁻¹]	80
熔体挤出量/[g · (孔 · min) ⁻¹]	10
侧吹风温度/℃	280
网带速度/(m · min ⁻¹)	7.5
接收距离(DCD)/cm	25

表 2 美国 Nature Works 公司的 6262D 聚乳酸非织造材料性能测试指标

Table 2 The Nature Works of polylactic acid (PLA) 6262 d nonwoven material performance testing index		
指 标		数 值
平均克重/(g · m ⁻²)		40.6
纤维平均直径/μm		4 ~ 8
粉尘过滤效果/%	0.5 μm	94.92
	0.3 ~ 0.5 μm	88.24
断裂强力/cN	纵向	65.62
	横向	27.78
断裂伸长率/%	纵向	2.36
	横向	4.27

表 3 纤维直径与非织造材料平均孔径的关系
Table 3 Fiber diameter and average pore diameter of nonwoven materials

样 品	纤维平均直径/nm	材料平均孔径/μm
1	180	0.45
2	256	1.37
3	516	1.68
4	793	2.58
5	1 034	3.2
6	1 114	5.35

纳米纤维由于具有较小的孔隙尺寸和较大的比表面积,增加了空气中微小悬浮颗粒在过滤材料表面沉积的概率。纤维的毛细作用和纤维集合

体之间形成的微细孔隙对于颗粒过滤的直接拦截效应和惯性冲击效应更为显著,能有效阻截颗粒粉尘,大大提高了材料的过滤效率,特别是纤维越细,效果越明显^[4]。在同样气压损失的情况下,可以采用更轻克重的纳米熔喷非织造材料与纺粘材料复合,制成的 SMS 类复合产品可以减少熔喷纤维所占的比重。

生产纳米纤维过滤材料所采用的喷丝孔比普通设备上的喷丝孔要小得多,同时需要适当改进拉伸气流的热空气喷射角度、热空气压力、接受距离等工艺条件。目前比较先进的纳米熔喷生产线可以使用孔径达 63.5 μm 的喷丝孔,纺出的熔喷纤维直径大约为 500 nm,最细的单纤直径甚至可达 200 nm,如表 4 所示。

表 4 熔喷纳米纤维与纺粘纤维、一般熔喷纤维的直径对比

Table 4 Melt – blown nanofibers with spun – bonded fibers, general comparison of melt – blown fiber diameter			
纤维种类	纤维平均直径/ μm	每克纤维平均根数	每克纤维平均面积/ m^2
纺粘纤维	15	629	0.000 3
一般熔喷纤维	2	35 385	0.002 2
熔喷纳米纤维	0.3	1 572 698	0.014 8

纺制纳米纤维的熔喷设备由于喷孔小,单孔产量必然大大降低,工艺上可采取增加喷丝孔的孔数来提高生产线的产量。模块结构的喷丝板可组合成 3 m 以上的总宽度(根据产品幅宽而定),每个喷丝板上安排 3 排甚至更多排的喷丝孔。目前比较成熟的生产线是采用 63.5 μm 的孔眼,单排喷丝板的孔眼数达到 2 880 个/ m ,如采用 3 排,则喷丝板的孔眼数可达 8 640 个/ m ,产量可与纺制普通熔喷纤维大体相当。

2.3 发展双组份熔喷技术

双组份纤维是指由两种聚合物混合纺制而成的一种新型化学纤维。通常情况下,组份聚合物要具备和满足双组份成形工艺与产品的特性要求,即一方面要考虑双组份聚合物的熔融温度和粘度等工艺特性的匹配,另一方面还需考虑双组份混合材料在接触边界表面的复合粘合强度等性能因素的融合。近年来随着高性能改性聚合物的开发,特别是生物技术的进步和生物高分子材料的大量涌现,给双组份熔喷非织造材料的选择增加了环境友好色彩。人们可以在满足生产率条件下成功地生产出双组份纤维,并表现出许多基

于独特的双组份性能的优点,从而改善了单一聚合物性能的不足,具备更好的弹性、能回复原状的蓬松性、优异的导电性、较高的吸湿性和持久的抗静电性等,在某些性能方面具备更好的适应性和推广价值^[5]。如可以采用比较便宜的聚丙烯为芯材,在其外层采用能提高过滤性能的聚乳酸聚合物,从而既可以降低成本,又能达到提高过滤性能的要求。

双组份熔喷生产线一般需要两个独立系统的挤出机和一个特殊的融合喷丝头。这种熔喷技术的关键在于采用多路缝隙设计的全新薄板型分配板代替过去的衣架式分配熔体的方法,对双组份的聚合物流量实现精确控制,并按要求把双组份聚合物熔体通过不同的管道分别送到各喷丝孔。它采取了多泵式输送系统,两种不同的高聚物分别加热、计量输送、相互隔离,以分别保证熔融温度、输送量满足双组份的工艺要求,最后在喷丝孔喷口汇合,解决了过去由于不同聚合物的熔融温度存在差异而难于共同纺丝的问题。双组份熔喷原理图如图 1 所示。

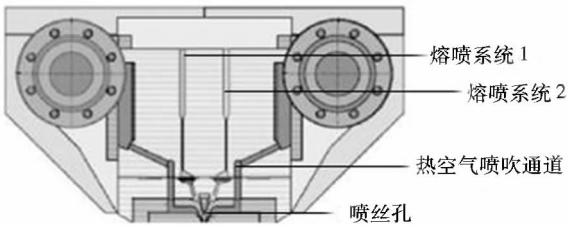


图 1 双组份熔喷原理示意图

Fig. 1 Bicomponent melt – blown principle diagram

2.4 发展驻极熔喷技术

熔喷非织造材料作为一种性能优良的空气过滤材料,不仅要通过增加厚度、发展纳米技术和双组份技术来有效提高过滤效率,而且还要尽可能地降低空气的透过阻力。空气的透过阻力和过滤效率在一定程度上是一对矛盾体,如何在不增大空气透过阻力的同时又能提高材料的过滤效果,最理想的解决办法就是对熔喷非织造过滤材料进行驻极处理。

干燥的固体粉尘颗粒在扩散时,会与不同材料摩擦或接触而产生电荷,但通常电荷强度很弱,而且由于各种原因会使其强度逐渐减弱。而经驻极处理后的熔喷非织造材料由于能够长期储存空间电荷或极化电荷,通过静电作用可以吸附极化

的微细粉尘颗粒。即使是中性粉尘在靠近纤维时,也会感应产生符号相反的镜像电荷,从而在两者之间产生吸引力而被材料捕捉,进一步提高了过滤效率。因此驻极处理后的熔喷非织造材料具有优异的除尘杀菌作用,同时具有良好的稳定性,不会因洗涤而使电极化强度衰减。事实上,即使经过烘烤和熨烫,也不会对其过滤性能造成较大的影响。

可见,驻极处理是提高熔喷法非织造材料过滤效率的重要后整理技术,经过驻极整理的熔喷法非织造材料带有持久的静电,在普通滤尘机理的基础上附加静电效应,可以捕集更多微细尘埃而空气透过阻力却不增大。有实验表明,驻极熔喷法非织造布除对 0.005 ~ 1 mm 的固体尘粒有很好的过滤效果外,对大气中的气溶胶、细菌、香烟烟雾、各种花粉等均有很好的阻截效果,具有极大的研究和推广价值^[6]。

驻极熔喷非织造材料的制备方法很多,有电晕充电法、热极化法和低能电子束轰击法等,其中电晕充电法是最常用的一种方法。电晕驻极法是在低压空气条件下,对针形电极施加数千伏的高压,使针尖附近形成很强的电场;针尖附近的空气分子被电离成正负离子,这些正负离子会频繁地复合,电极尖端就会辐射出淡紫色的电晕光辉,此时针尖下的熔喷非织造材料受到电场的作用产生驻极效果(如图2)。

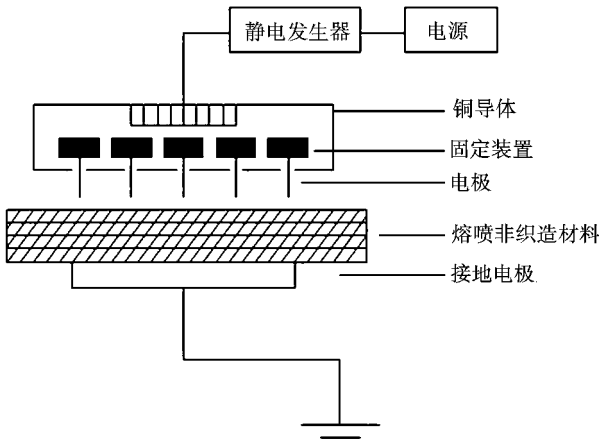


图2 多针充电电晕驻极法原理示意图
Fig.2 More needle corona charging in electrode method principle diagram

如果在充电电极上施加正电压,则在周围大气中,由于电晕电离形成的正离子就被注入熔喷

非织造材料中,以空间电荷或极化电荷的形式长期储存。制造电晕效果的电极可以是单针点电晕充电,也可以是针端处于同一水平面的以阵列分布的多针电晕充电,亦或者是以刀口型、弦丝型的线状电极的电晕充电。由于多针、刀口、弦丝电极的电晕充电不仅扩大了充电范围,而且改善了充电效率,是工业化驻极体生产中极化工艺常用的电极模式。

3 熔喷非织造材料在空气过滤领域的前景展望

随着世界工业化进程的加快,汽车尾气、工业排放废气等造成全球空气环境的日益恶化,已经严重危及到人们的健康。据世界卫生组织统计,目前每年全球有多达几百万人因空气污染而过早死亡^[7]。调查发现,吸入被污染的空气会引起慢性呼吸系统疾病的恶化,降低人体细胞的新陈代谢,进而加速人体的衰老,同时也是某些癌病产生的重要诱因。近年来我国大部分省市的大气污染状况越发严重,固体颗粒物是影响我国城市空气质量的主要污染物,主要呈现煤烟型污染特征,城市大气环境中总悬浮颗粒浓度普遍超标、二氧化硫污染保持在较高水平、机动车尾气污染物排放总量迅速增加、氮氧化物污染趋势加重、全国形成多个酸雨区等,部分城市已出现光化学烟雾现象,严重危害生态环境、影响人民群众身体健康^[8]。

熔喷非织造材料由于其纤维直径小、比表面积大、孔隙小、空隙率高等特点,广泛应用于机械加工、电子、制药、医疗、食品等行业的一般性过滤中(如劳保及医疗口罩、防毒面具等),发挥其高效、低阻、抗菌、节能的优势,具有良好的滤除粉尘和细菌等有害物质的效果。另外,随着新的科学技术应用于熔喷非织造空气过滤材料,使之在半导体制造工场、原子力研究中心、无尘室、层流设备、工作台等其他要求超高洁净度的场合(如空调、汽车内空气过滤和发动机空气过滤等)需求强劲,熔喷非织造材料的气体过滤市场越来越大^[9]。

近几年,熔喷非织造过滤材料发展十分迅速,技术不断取得突破,各种专用熔喷原材料不断涌现,世界范围内的产量逐年增加,这些都有力地促进了熔喷非织造过滤材料的发展。

参考文献:

[1] 董家斌,陈廷. 熔喷非织造技术的发展现状[J]. 纺织导报,2012(6):144 – 150.
[2] 李瑞欣,彭景洋,刘亚,等. 非织造布在过滤中的应用[J]. 非织造布,2011(6):63 – 66.
[3] 王剑峰. 生物可降解材料聚乳酸的研究进展[J]. 化学工程与装备,2010(7):118 – 119.
[4] 武松梅,袁传刚. 非织造材料孔径与过滤性能关系的研究[J]. 产业用纺织品,2010,28(1):12 – 14.
[5] 韩冰. 双组份纤维在非织造布中的应用[J]. 轻纺工业与技术,2011,25(3):51 – 53.
[6] 张维,刘伟伟,崔淑玲. 驻极体纤维的生产及其应用概述[J]. 非织造布,2009(3):27 – 29.
[7] 王鹤. 城市空气污染的危害及其防治措施探讨[J]. 黑龙江科技信息,2011(26):69.
[8] 王宝元. 熔喷非织造布的应用和展望[J]. 福建轻纺,2011(4):46 – 48.
[9] 刘玉军,司徒元舜. 我国熔喷非织造布的生产现状及新进展[J]. 纺织导报,2008(12):101 – 103.

Research on the Development of the Technology of Melt – blown
Nonwoven Materials in the Field of Air Filtratim

ZHANG Huangzhong

(Sanming Vocational Technical College, Sanming Fujian 365000, China)

Abstract:Because of the high efficiency, low resistance, antibacterial, and energy saving advantages of melt blown nonwoven material in air filtration, the air filtration material of the melt blown nonwovens is getting bigger and bigger. With the development of modern industrial technology and the globalization of the world economy, science and technology on melt blown nonwoven air filter material have been widely used. Development of biodegradable melt – blown materials, melt blown nanofibers, bicomponent melt blown and electret treatment, represents the technological development trend of melt blown nonwoven air filter material.

Keywords:Melt – blown nonwoven materials; Air filter; Technology development

(责任编辑:李华云)