

文章编号: 1671-0444(2014)02-0229-05

聚酯和聚丙烯针刺非织造材料 耐氙灯老化性能的比较

方远远, 戚晶磊

(上海勘测设计研究院, 上海 200434)

摘要: 对相同面密度的聚酯和聚丙烯针刺非织造材料进行 500 h 的氙灯老化试验, 比较老化后纤维的形貌、结晶度、化学结构, 以及整体针刺材料的强度保持率、孔径和孔隙率。结果表明, 聚丙烯针刺材料的各项指标的下降较聚酯明显, 而两种材料背面的纤维老化程度低于正面。

关键词: 氙灯老化; 聚酯; 聚丙烯; 针刺非织造材料

中图分类号: TS 176⁺.3

文献标志码: A

Comparison of Xe-lamp Aging on Needle-Punched PET and PP Nonwovens

FANG Yuan-yuan, QI Jing-lei

(Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai 200434, China)

Abstract: The polyethylene terephthalate (PET) and polypropylene (PP) needle-punched nonwovens with same surface density were selected to conduct the 500 h Xe-lamp aging. Fiber morphology, degree of crystallinity, chemical composition, strength retention rate, pore size and porosity of the nonwovens were analyzed and compared after the aging process. The results showed that the properties of PP showed a dramatic decline compared with PET, while the back side of the materials suffered less damage than the front side.

Key words: Xe-lamp aging; polyethylene terephthalate; polypropylene; needle-punched nonwovens

土工合成材料可起到排滤、加筋、防护、防渗等作用, 在各项工程中被广泛应用^[1-3]。作为其中的重要分支, 针刺非织造布具有良好的透水、透气性能和优越的力学性能^[4-6]。根据实际工程中土、砂颗粒的大小分布, 选择不同面密度、厚度和孔径的针刺土工材料, 能够有效起到排水保土的功能。

依据原材料划分, 最常用的针刺土工非织造布主要有聚酯和聚丙烯两类, 原因在于这两种聚合物的强力、化学稳定性较好, 且成本较低。在实际应用中, 工程技术人员十分重视土工合成材料的耐久性, 即材料的抗老化性、抗化学腐蚀能力和热稳定性。其中, 抗老化性的检测方法主要有人工老化和自然老化, 而人工老化可分为氙灯老化和紫外老化两种。氙灯光谱能量分布与自然光中紫外、可见光部分最相

似, 在近红外线区有强烈氙辐射线叠加在连续光谱上, 能够产生大量的热。因此氙弧灯具有良好的太阳光模拟性, 被广泛应用于气候日晒的模拟老化^[7]。

然而, 目前对于针刺非织造材料抗老化性能的研究不够深入, 往往局限于表征强力保持率。本文系统研究了氙灯老化对针刺非织造材料物理、化学结构的影响。通过使用相同面密度的聚酯、聚丙烯针刺非织造材料进行氙灯老化试验, 研究老化前后纤维形貌、结晶度和化学结构的变化, 并测试整体材料的孔径和强力指标。

1 试验

1.1 试验材料

本试验采用面密度为 350 g/m²、厚度为 2.6 mm

收稿日期: 2013-11-30

作者简介: 方远远(1985—), 女, 浙江温州人, 硕士, 研究方向为土工合成材料测试。E-mail: fyy@sidri.com

的聚酯针刺非织造布,以及面密度为 350 g/m^2 、厚度为 3.2 mm 的聚丙烯针刺非织造布。

1.2 氙灯老化

老化仪使用风冷氙灯气候试验箱(SN-500型,上海林频仪器有限公司),光源位于老化箱正上方。测试步骤参照ASTMD 4355执行。制备试样大小为 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$,每组样品至少5块。如图1安放试样后,启动氙弧灯老化仪,设定老化条件:一个周期 120 min ,其中, 90 min 光照,温度为 $(65 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度为 $(50 \pm 5)\%$, 30 min 光照加喷淋。试验过程中始终保持波长为 340 nm 和辐照度为 0.35 W/m^2 ,试验时间为 500 h 。

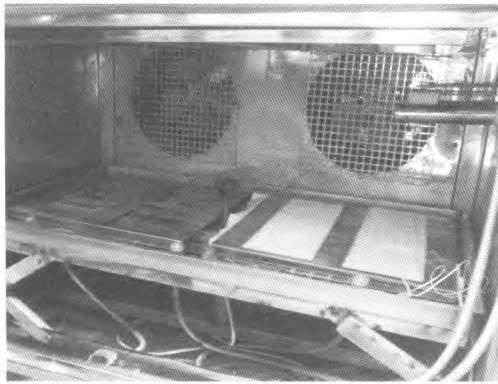


图1 氙灯老化仪中样品放置照片

Fig. 1 Image of testing specimen in the chamber of Xe-lamp weather-ometer

1.3 性能测试

1.3.1 形貌测试

纤维形貌观察使用JSM-5600LV型扫描电子显微镜(SEM),使用导电胶将样品粘在铝制样品台上,喷金 60 s 后放入显微镜真空腔内,抽真空后观察,使用加速电子电压为 5 kV ,最高放大倍数为 $1\,000$ 倍。

孔径测试使用Galwick溶剂将样品完全浸润,置入美国Quantachrome仪器公司的Porometer 3G型孔径仪进行测试。

1.3.2 傅里叶红外光谱(FTIR)与X射线衍射(XRD)测试

试样的红外光谱由美国Avatar 380型红外谱仪测试,测定波数范围为 $650 \sim 4\,000 \text{ cm}^{-1}$ 。使用衰减全反射法(ATR)模式,直接将样品置于仪器上测得。

X射线衍射采用日本理学公司生产的D/Max-3A X型射线衍射仪,所用管电压为 40 kV ,电流为 40 mA ,扫描速度为 $8^\circ/\text{min}$,按每隔 0.02° 取一个数据点的速率记录,测定衍射强度。

1.3.3 强力测试

老化试验结束后,取出的试样与未老化试样一起进行拉伸强度试验,计算老化后的强度保持率。强力测试使用微机控制电子万能试验机(6104型,深圳新三思材料检测有限公司)。制备试样大小为 $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$,每组样品测试10块。将样品在标准大气中调湿。

夹具隔距: $(100 \pm 3) \text{ mm}$,试样的伸长速率为隔距长度的 $(20 \pm 5)\%/\text{min}$ 。开动拉伸试验机并连续运行至试样断裂,记录最大负荷,精确至满量程的 0.2% ,记录伸长率。

2 试验结果与分析

2.1 纤维形貌

图2为聚酯和聚丙烯针刺非织造布在老化前后的扫描电镜照片。由图2可知,老化后的纤维直径与老化前类似,说明纤维主体在经过 500 h 的氙灯照射后并未产生明显解体,然而,老化后聚酯与聚丙烯纤维的断裂数量呈显著增加。

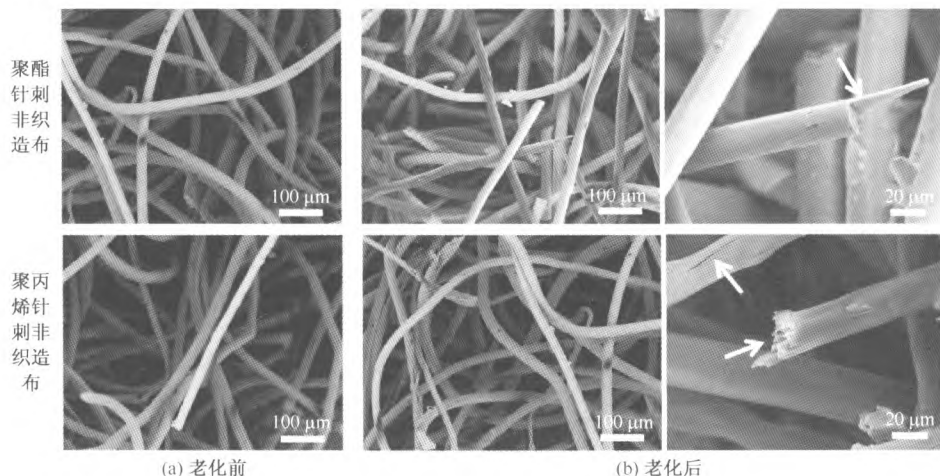


图2 氙灯老化前后样品的扫描电镜照片

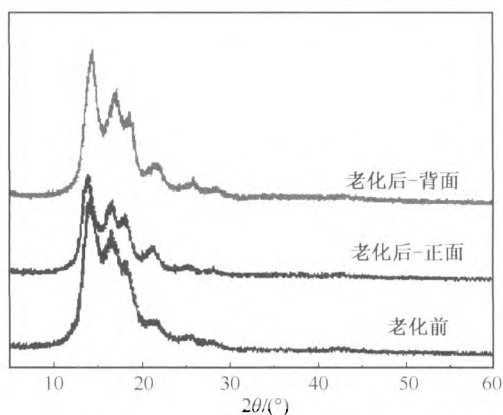
Fig. 2 SEM images of the samples before and after Xe-lamp aging

值得注意的是,老化后纤维更趋向于产生沿轴向的断裂或裂痕,如图 2 中白色箭头所示. 聚酯纤维断头处虽然较为平整,但其断裂过程中伴随撕裂现象,而聚丙烯纤维表面则有清晰的轴向裂痕,断头处也显示出类似原纤化的结构. 这些现象说明在非受力情况下,氙灯老化更易使纤维在轴向上形成裂痕. 这有可能与纺丝工艺中形成的分子链取向结构有关,老化至一定程度时,分子链之间的作用力减小,使得部分分子链产生大尺度滑移并在纤维表面形成轴向裂痕.

2.2 纤维结晶度与化学结构

本试验中的针刺材料具有较高的厚度,而氙灯光源是从上往下的单向照射,因此,在对老化后的纤维进行 X 射线衍射和红外光谱分析时,分别从针刺非织造布的正面(迎光面)和背面(背光面)取样.

纤维老化前后的 X 射线衍射图谱如图 3 所示,其结晶度如表 1 所示. 由图 3 可以看出,老化后,聚酯纤维在 17.8°和 27.1°的两个主衍射峰,以及聚丙烯纤维在 14.8°和 17.5°的两个主衍射峰强度均有所下降,说明两种纤维的结晶度在老化后均有一定程度的下降. 通过计算结晶度后发现,聚丙烯纤维结晶度的下降较聚酯纤维明显,这是因为聚丙烯的分子链上存在叔碳原子,光照分解后易形成碳基引发主链分解,而聚酯主链由苯环组成,结构较为稳定. 针刺布背面的纤维仍维持了较高的结晶度. 这表明对于厚度超过 2 mm 的厚型针刺非织造材料而言,氙灯光源并不能完全穿透整个样品. 而尽管合成纤维在氙灯老化过程中受到光、热、湿的综合作用,但由于老化时间达 500 h,因此,可认为针刺布正面和背面所经历的热、湿过程是一致的,唯一的区别在于光强. 光在穿透厚型非织造材料的过程中,其强度逐渐衰减,这可能是背面纤维的结晶度下降较少的主要原因.



(b) 聚丙烯针刺非织造布

图 3 氙灯老化前后样品的 X 衍射图谱

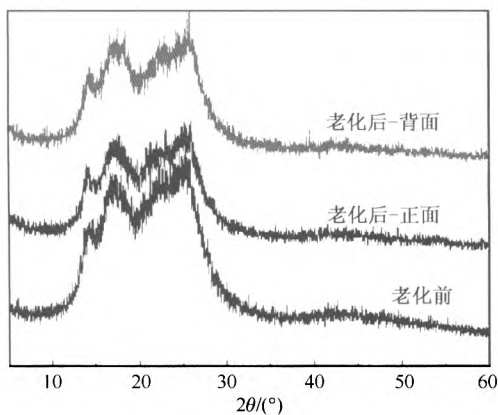
Fig. 3 XRD spectra of the samples before and after Xe-lamp aging

表 1 氙灯老化前后样品的结晶度

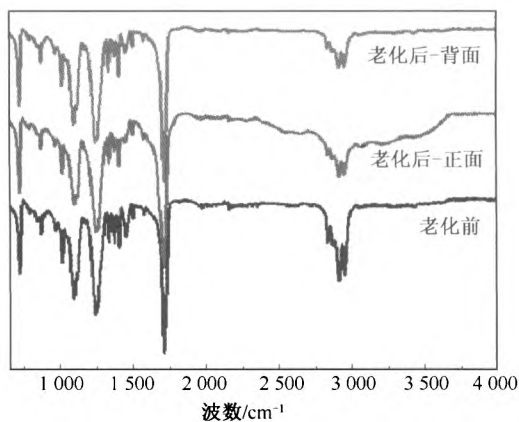
Table 1 Degree of crystallinity of the samples before and after Xe-lamp aging

纤维类型	结晶度/%		
	老化前	老化后-正面	老化后-背面
聚酯	56.64	51.72	54.94
聚丙烯	56.23	45.50	51.71

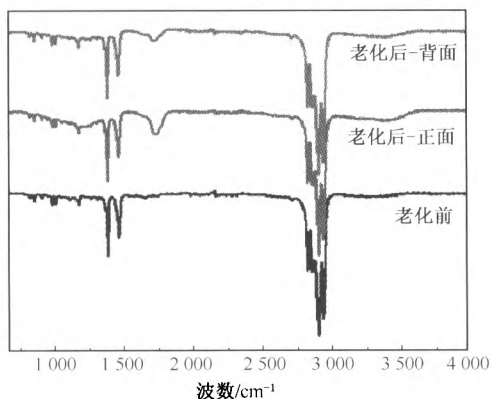
红外光谱图(如图 4 所示)进一步证明了上述这种现象. 从宏观来看,老化前后的红外谱图较为相似. 聚酯纤维老化后,2 850~3 000 cm⁻¹区域的 C—H 伸缩振动与弯曲振动的混合峰带稍稍变弱. 但红外测试使用 ATR 模式,该处的烷烃振动不可认作决定性区别,因此,老化前后聚酯纤维的化学结构可视为不变^[8-9]. 对于聚丙烯纤维而言,老化后 1 750 cm⁻¹处的羰基峰变强,由于羰基含量增加是聚丙烯链断裂的主要表现形式^[10-11],可知聚丙烯纤维的主链在老化过程中发生断裂,且试样正面纤维的主链断裂程度高于背面.



(a) 聚酯针刺非织造布



(a) 聚酯针刺非织造布



(b) 聚丙烯针刺非织造布

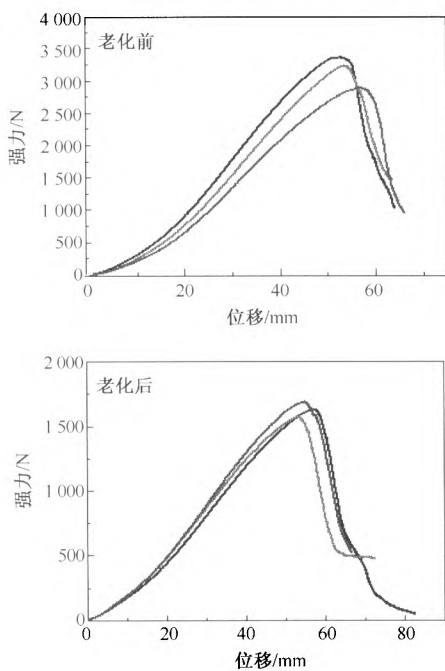
图 4 氙灯老化前后样品的红外光谱

Fig. 4 FTIR spectra of the samples before and after Xe-lamp aging

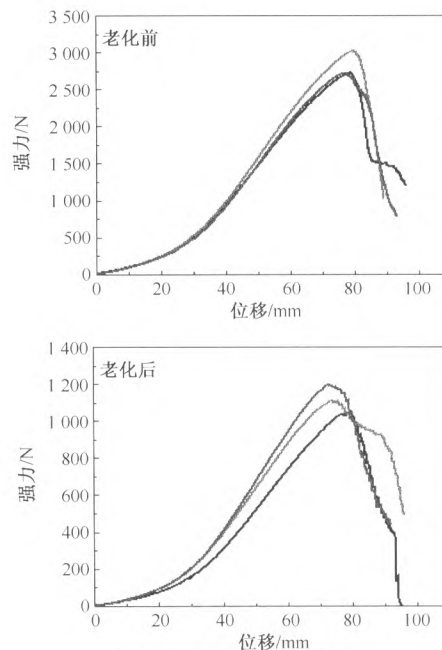
2.3 力学性能与孔径

两种针刺非织造布的典型强力-位移曲线如图 5 所示(每组样品中取 3 条典型曲线). 由图 5 可知, 老化前, 聚酯针刺布的断裂强力达到 3 000 N, 而聚丙烯针刺布断裂强力稍低, 在 2 600 N 左右; 老化后, 聚酯针刺布断裂强力下降至 1 500 N, 聚丙烯针刺布下降至 1 100 N. 在拉伸过程中, 聚丙烯针刺布有明显的纤维粉碎现象, 在受力情况下产生部分粉尘.

强度保持率是评价土工材料老化程度的主要指标, 其为同一材料老化前后的强力比. 聚酯针刺布老化后强度保持率为 51.14%, 聚丙烯针刺布为 39.06%, 因此, 老化后聚酯针刺布的强力得以更好的保持, 这与之前的 X 射线衍射结果类似.



(a) 聚酯针刺非织造布



(b) 聚丙烯针刺非织造布

图 5 氙灯老化前后样品的强力-位移曲线
Fig. 5 Typical strength-displacement curves of the samples before and after Xe-lamp aging

老化对材料的断裂伸长并未产生显著影响. 老化后, 聚丙烯针刺布的断裂伸长率接近 80%, 显示出更好的延展性, 但强力下降较为明显. 可能的原因在于老化降低了针刺布中单纤维强力, 但材料的整体结构未受影响.

孔径、孔隙率和厚度测试(结果如表 2 所示)进一步反映了材料整体结构在老化前后的变化. 孔径测试使用“泡点法”, 测试气体从润湿后材料的一面穿透至另一面, 因此, 实测孔径是连续通道的等效值. 由表 2 可以看出, 老化后两种针刺布的平均孔径均有所减小, 尤其是聚丙烯针刺布的孔径出现显著下降. 这一方面是由于老化后, 大量聚丙烯纤维产生裂痕或发生断裂, 增大了比表面积, 且部分断裂短纤维有可能发生位移, 沿厚度方向掉落或填入一些大孔中, 使连续通道的截面面积减小; 另一方面, 因材料老化引起的厚度减小使其孔径亦相应减小. 此外, 由于老化过程中未伴随质量损失, 两种材料的孔隙率均随厚度减小而减小.

表 2 老化前后样品的孔径、孔隙率与厚度比较

Table 2 Comparison of pore size, porosity and thickness of the samples before and after Xe-lamp aging

针刺布类型	最大孔径/ μm	最小孔径/ μm	平均孔径/ μm	孔隙率/%	厚度/mm	
聚酯	老化前	96.67	39.95	70.72	74.61	2.60
	老化后	84.21	46.61	64.94	72.73	2.52

(续 表)

针刺布 类型	最大孔 径/ μm	最小孔 径/ μm	平均孔 径/ μm	孔隙 率/%	厚度/ mm	
聚丙烯	老化前	145.46	51.32	98.01	80.43	3.19
	老化后	84.32	44.79	71.59	76.13	2.98

3 结 论

本文比较研究了聚酯、聚丙烯针刺非织造材料的耐氙灯老化性能,从试验结果中得出以下结论:

(1) 老化后纤维表面有断裂或裂痕产生,且多沿纤维轴向;

(2) 聚丙烯针刺布的强力和纤维结晶度下降较聚酯明显,由于两种针刺材料均具有一定厚度,氙灯光源无法完全透过,材料背光面纤维的老化程度较小;

(3) 两种针刺材料的厚度、孔径与孔隙率在老化后有一定减小。

目前实际检测中,对土工合成材料耐老化性的测试往往仅限于表征强力损失,本文的研究结果可作为其有效补充。

参 考 文 献

- [1] 刘宗耀. 土工合成材料工程应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [2] 马时冬. 土工合成材料工程应用现状[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2003, 24(2): 113-118.
- [3] 刘建华, 郭忠印, 丁志勇, 等. 公路排水设计中的土工合成材料应用技术[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2006, 34(4): 484-489.
- [4] 刘莹, 郭莉. 丙纶编织布/涤纶非织布复合针刺土工布的研制[J]. 纺织学报, 1996, 17(5): 320-322.
- [5] 于伟东, 储才元. 纺织物理[M]. 上海: 东华大学出版社, 2001.
- [6] 柯勤飞, 靳向煜. 非织造学[M]. 上海: 东华大学出版社, 2010.
- [7] 张寅江, 徐小萍, 靳向煜, 等. 基于氙灯气候日晒下 PP 与 PET 热轧非织造布老化对比分析[J]. 产业用纺织品, 2013(7): 16-21.
- [8] 方远远, 靳向煜. 聚酯土工织物的老化性能[J]. 非织造布, 2010, 18(1): 21-24.
- [9] 刘文莉, 赵乐, 史可扬, 等. 红外光谱和热裂解气相色谱质谱联用技术鉴别芳香族聚酯纤维[J]. 中国纤检, 2010(3): 59-61.
- [10] 长江口航道建设有限公司, 上海新纺织产业用品有限公司. 土工合成材料老化性能试验和综合评价[R]. 2004.
- [11] 卞丽琴, 谷和平, 孔宏. 红外法快速测定聚丙烯中抗氧剂的含量[J]. 南京工业大学学报, 2006, 28(1): 71-74.

(上接第 204 页)

表 7 4 种产品的孔径

Table 7 The pore size of four samples μm

试样编号	孔径		
	最大孔径	最小孔径	平均孔径
W-1	48.15	2.23	23.37
W-2	40.73	1.70	19.19
W-3	30.85	1.39	15.14
N-1	52.81	2.55	24.60

4 结 语

本文采用相同面密度的 PPS/PTFE 原料分别对其进行针刺、水刺加固,经水刺后的样品强力与针刺样品相差不大,且孔径较小,透气率略有上升。随着面层 PTFE 纤维含量的增大,样品的平均、最大以及最小孔径下降,同时透气率、强力也随之下降。可见水刺工艺以及 PTFE 纤维对于提高材料的过滤效率有一定作用,但会略微增加材料的过滤阻力。

参 考 文 献

- [1] 王胜平, 陈鹏. 电除尘器和布袋除尘器的综合比较[J]. 科技创新与应用, 2013(23): 54-55.
- [2] LORENTZ V. 水刺法非织造布作为过滤介质的优势[J]. 汪玲玲, 译. 国际纺织导报, 2007(12): 50-51.
- [3] 姜可宾, 沈恒根, 杜柳柳. 燃煤锅炉用高温滤料研究与应用[J]. 工业安全与环保, 2007, 33(4): 16-19.
- [4] 中国环境保护产业协会袋式除尘委员会. 我国袋式除尘行业 2012 年发展综述[J]. 中国环保产业, 2013(5): 6-20.
- [5] 黄斌香, 郝杨. 聚四氟乙烯微孔膜及纤维[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [6] 翁美玲, 龙海如, 张孝南. PPS/PTFE 纤维复合水刺耐高温过滤材料的制备与性能研究[J]. 产业用纺织品, 2012(3): 16-20.
- [7] 胡善才. 水刺工艺对水刺非织造布性能的影响[J]. 非织造布, 2001, 9(1): 20-26.
- [8] 李华. 燃煤锅炉烟气除尘用新型复合滤料过滤性能应用研究[D]. 上海: 东华大学环境学院, 2005.
- [9] 王鹏. 燃煤电厂可吸入颗粒物排放及控制研究[D]. 杭州: 浙江大学机械与能源学院, 2008.