

3D 间隔织物增强聚氨酯基缓冲材料力学及舒适性研究

马浩东^{1,2}, 梁凡超^{1,2}, 谭学章^{1,2}, 赵 澍^{1,2}, 支 超^{1,2,*}

(1.西安工程大学 纺织科学与工程学院, 陕西 西安 710048;

2.西安工程大学 功能性纺织材料及制品教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要:将 3D 间隔织物与聚氨酯基体相复合, 制备成 3D 间隔织物增强聚氨酯基复合材料。对不同厚度、孔隙率和材料的 3D 间隔织物增强聚氨酯基复合材料试样进行了透气性、透湿性和压缩性能的测试, 分析了参数对试样性能的影响。结果表明: 孔隙率越高, 厚度越薄, 试样的透气性越好, 而被间隔织物增强的试样透气性变差; 孔隙率越高, 厚度越厚, 试样的透湿性越差, 试样的屈服强度越低, 抗压性能越差, 更容易产生塑性变形, 间隔织物可以增强聚氨酯基体的抗压性能。

关键词:3D 间隔织物; 聚氨酯基复合材料; 透气性; 透湿性; 压缩性能

中图分类号:TS101.3

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2021)04-0018-05

目前市场上的床垫、坐垫等缓冲材料很多是采用聚氨酯多孔材料作为缓冲介质, 但它们都有共同的缺点, 经过长时间外力挤压, 会造成聚氨酯多孔材料塑性变形, 无法恢复原来形状, 且传统聚氨酯材料的透气性和透湿性已经不能满足人们的使用要求^[1]。

3D 间隔织物是一种在双针床拉舍尔经编机上生产的三维立体结构织物, 它由两个表面层和一个间隔丝层组成, 间隔丝层存在于上下织物层之间^[2]。这种特殊的空间结构, 赋予了间隔织物轻量化、柔软舒适^[3]、透气透湿^[4-5]、缓冲性好^[6-7]、结构整体性好等特点, 可作为一种理想的复合材料骨架使用^[8-9]。

将间隔织物和聚氨酯基体相复合, 制备出不同的 3D 间隔织物增强聚氨酯基缓冲材料, 测试了不同 3D 间隔织物增强聚氨酯基复合材料的透气性和透湿性, 并通过万能材料试验机测试了不同 3D 间隔织物增强聚氨酯基复合材料的压缩性能, 分析了复合材料结构参数对织物的透气性、透湿性和压缩性能的影响规律。

1 试验部分

1.1 试验材料

选用的聚氨酯型号为 F191, 由福州进升工贸有限公司生产, 使用时黑白配料比 1:1, 各量取 30 ml 以备复合使用。选用 A1 和 A2 两种 3D 间隔织物作为复合

材料的增强体, 制备成 3D 间隔织物聚氨酯基复合材料并分别命名为 CM1、CM2、CM3 和 CM4, 另制备尺寸相同的单一聚氨酯样品 M01 作对比备用。

试验所选用的 2 种 3D 间隔织物在 GE296(RD6) 型双针床拉舍尔经编机上编织而成, 机号为 E18。表 1 为间隔织物基本参数, 图 1 为菱形网孔表面组织垫纱运动图。

表 1 间隔织物基本参数

试样	A1	A2
面层组织结构	菱形网孔	菱形网孔
面层组织原料	33 tex/96 F DTY 涤纶复丝	33 tex/96 F DTY 涤纶复丝
间隔丝	直径 0.2 mm 涤纶单丝	直径 0.2 mm 涤纶单丝
厚度/mm	13.32	17.86

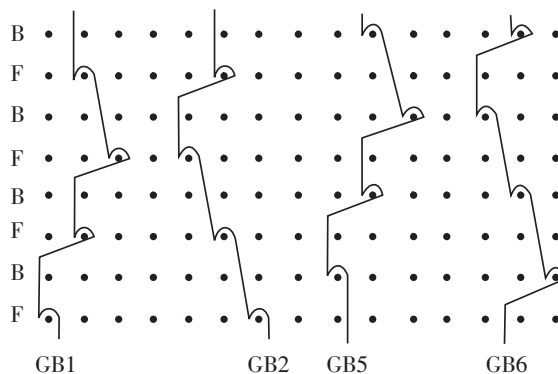


图 1 菱形网孔表面组织垫纱运动图

试验选用的 3D 间隔织物由 6 把梳栉一起垫纱编织而成, GB1、GB2 编织前针床的间隔织物表层组织结构, GB3、GB4 作垫纱运动, 编织形成间隔纱层的组织结构, GB5、GB6 编织后针床的间隔织物底层组织结构, 从而形成最终的三维整体结构。

采用手糊法制备织物增强复合材料, 3D 经编间隔

收稿日期: 2021-02-01

基金项目: 陕西省教育厅科研计划资助项目(17JS045); 省级大学生创新创业训练计划资助项目(202010709082)

作者简介: 马浩东(1999-), 男, 本科, 主要研究方向为纺织新技术新工艺, E-mail: 2876729409@qq.com.

* 通信作者: 支 超(1986-), 男, 副教授, 主要研究方向为多相复合材料声力学性能及理论模拟, E-mail: zhichao@xpu.edu.cn.

织物增强复合材料声学性能研究部分使用的基体材料为福州进升工贸有限公司提供的聚氨酯黑白料,以经编间隔织物作为其“骨架”。实验室温度 26 °C,相对湿度 65%。制备步骤为:

(1)将聚氨酯白料和黑料按 1:1 称量备用;

(2)为防止间隔材料尺寸经聚氨酯复合后出现变化,将各组间隔织物剪成 19 cm×19 cm 若干,以备复合使用;

(3)将聚氨酯黑、白料搅拌混合均匀,浇灌入 19 cm×19 cm×11.5 cm 的模具,间隔织物放入模具,保证正反两面聚氨酯涂抹均匀,合模、发泡、静置发泡完成,开模制备出间隔织物聚氨酯基复合材料;

(4)将复合材料裁剪成 18 cm×18 cm 大小,厚度以间隔织物原本为基础,打磨光滑以备测试。

制备出的样品有厚和薄 2 个规格,这由 3D 间隔织物的厚度决定,试样的孔隙率是根据试验测试的面积用直径 2 mm 的针给试样的测试面积内均匀打孔。表 2 为样品的基本参数,图 2 为 CM1、CM2、CM3、CM4 和 M01 试样实物图。

表 2 样品的基本参数

样品	间隔织物类型	厚薄	材料使用	孔隙率/%
CM1	A1	薄	聚氨酯、间隔织物	5.0
CM2	A1	薄	聚氨酯、间隔织物	2.5
CM3	A2	厚	聚氨酯、间隔织物	2.5
CM4	A2	厚	聚氨酯、间隔织物	0.0
M01	A1	薄	聚氨酯	2.5

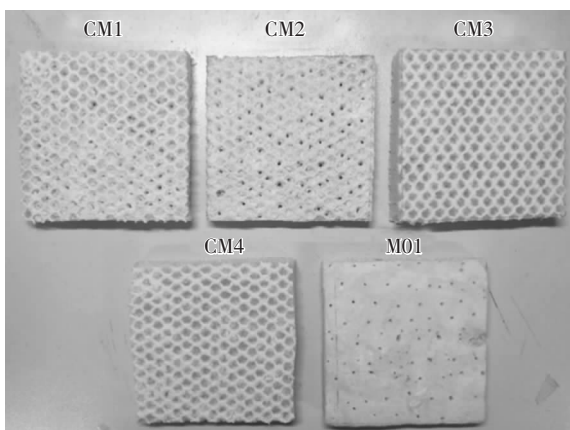


图 2 CM1、CM2、CM3、CM4 和 M01 试样实物图

1.2 试验方法

1.2.1 复合材料试样厚度

采用 YG141D 型数字式织物厚度仪,加压大小与加压时间等试验参数需按 GB/T 1380—1997 的有关规定执行,将试样放置于基准板上,压脚面积为 5 cm²,

加压砝码为 50 cN,在同一个试样上选 5 个不同的地方测其厚度,并求平均值,用 mm 表示,精确到小数点后 2 位。测试条件许可,试样应在三级标准大气条件,温度(20±2) °C、相对湿度 65%±5%下调试和测试。

1.2.2 复合材料试样质量

采用 D1(M)001239 电子天平,规格为 MAX=200 g,MIN=0.01 g,e=0.001 g,d=0.000 1 g,在 LTD 指示灯显示为 0.000 0 g 时,打开天平侧门,将被测物小心置于秤盘上,关闭天平门,待数字不再变动后即得被测物的质量。试验结束后取出被测物,关闭天平门。

1.2.3 试样透气性能

采用 YG461E 数字式透气量仪,所使用试样大小为 18 cm×18 cm,定值圈大小 20 cm²。下压定值圈在试样中取 20 cm² 大小的面积,然后确定该面积内的孔隙率,再启动透气仪进行测定,试样的调湿、测试的标准大气条件为温度(20±4) °C、相对湿度 65%±4%^[10]。

1.2.4 试样透湿性能

通过在试样的一个表面倒入 10 ml 的水,观察水透过试样的时间来比较试样透湿性的好坏,水透过的时间越短,其透湿性越好。在试样四周贴上定量透明宽胶带,测试时双手按住试样四周尽量防止水在边上缝隙流下,以此减少误差。如果水在织物表面停留 10 min 无下渗趋势,则判定为不透。每个试样连续测试 3 次后取平均值作为水透过试样所需时间^[11]。

1.2.5 试样压缩性能

采用万能材料试验机,试验前需要对万能材料试验机进行检定,检定方法为:根据试验机被检区间的力值,将相应力值的标准拉力试样装夹在试验机上,按 GB/T 228—2002 标准规定的速度让试验机对标准拉力试样进行拉伸,当标准拉力试样处于拉伸状态时装上引伸计或贴上应变片,让拉力试验机继续对标准拉力试样进行拉伸,引伸计或应变片将标准拉力试样的伸长量显示出来,该方法利用胡克定律,根据标准拉力试样的伸长量换算为力值与试验机度盘力值进行对比,来确定试验机的精度。

2 结果与分析

2.1 试样厚度和质量

5 种不同试样厚度和质量测试结果见表 3。间隔织物与聚氨酯复合后,厚度都比原来间隔织物的厚度

有略微的增加,原因是聚氨酯在间隔织物中间发泡,给间隔织物两边的面组织一个向外的力,冷却定型后厚度会增加。在质量上,M01明显比其他4个试样要轻,是因为在制备过程中为了更好地让聚氨酯在间隔织物的中间填充,试验制备过程中给复合试样加压,而制备纯聚氨酯时没有加压,导致M01的质量和密度是最小的。

表3 复合材料基本参数

样品名称	厚度/mm	质量/g	密度/g·cm ⁻³
CM1	13.98	18.83	0.134
CM2	13.75	17.61	0.128
CM3	19.11	20.83	0.109
CM4	18.68	17.44	0.093
M01	14.11	10.14	0.072

2.2 试样透气性

5种不同试样透气率测试结果见表4。可以看出透气率最高的是试样M01,透气率最低的是试样CM4,CM3的透气率比CM4的透气率高,CM3和CM4的厚度相差不大,它们所用的间隔织物一样,而出现CM3的透气率比CM4的透气率高的原因是它们的孔隙率不一样,其中CM3的孔隙率是2.5%,而CM4的孔隙率为0%;CM1的透气率比CM2的透气率略高,CM1和CM2的厚度相似,影响这2个试样的因素是它们的孔隙率不一样,CM1的孔隙率为5%,而CM2的孔隙率为2.5%;CM2的透气率比CM3的透气率高很多,CM2和CM3的孔隙率是一样的,都是2.5%,但是它们的厚度相差5.36mm,说明试样的厚度会较大影响它自身的透气性能;M01的透气率比CM2的透气率高,M01和CM2的厚度是相似的,不同的是M01是一块纯聚氨酯试样,CM2是间隔织物与聚氨酯复合的试样,说明间隔织物会影响聚氨酯的透气性能,可以推出面组织的类型、间隔丝的直径、间隔丝的倾斜角度等的不同都会影响间隔织物和聚氨酯复合所形成材料的透气性。

表4 试样透气率测试结果

试样	测试面积/cm ²	喷嘴号	透气率/mm·s ⁻¹
CM1	20	4	376.14
CM2	20	4	353.62
CM3	20	4	221.81
CM4	20	3	164.25
M01	20	4	466.47

2.3 试样透湿性

5种不同试样透湿性测试结果见表5。试样CM1

的水透过时间小于CM2,CM1的孔隙率为5%,CM2孔隙率为2.5%,说明孔隙率越大透湿性越好;虽然试样CM3比CM2厚,但是它们水透过时间只相差了0.17s,可以推知在其他条件一样的情况下,厚度会对试样的透湿性造成一定的影响,厚度越厚透湿性越差,但影响不大;试样CM3孔隙率大于零而CM4孔隙率等于零,试验中CM4几乎不透水,说明试样透水很大程度上取决于孔隙率,从而可以推知聚氨酯的透湿性不好;M01和CM2是间隔织物对照组,M01没有被间隔织物增强,试验中水透不过去,而试样CM2可以透水,原因可能是间隔织物与聚氨酯复合过程中需要在表面加压使聚氨酯在间隔织物夹层发泡与间隔丝结合,加压会使发泡成型的聚氨酯内外表面空隙率降低,密度变大,而纯聚氨酯试样没有经过加压,其密度偏小,表面分布了很多细小的凹陷,由于水的表面张力,纯聚氨酯打孔部位上水的重量不足以使其穿过去,导致即使打孔也不透水。

表5 水透过试样所需时间

试样	水透过试样时间/s
CM1	2.47
CM2	5.02
CM3	5.19
CM4	不透
M01	不透

2.4 试样压缩性能

4种不同试样应力应变曲线如图3所示。在应变一定时,M01所受应力最小,其次是CM3。在应变0%~7%和15%~20%这两个区间时,CM4所受应力大于CM2,在应变为7%~15%时CM4所受应力小于CM2。

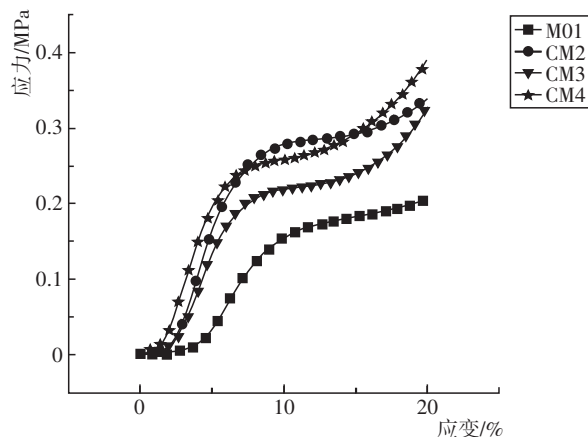


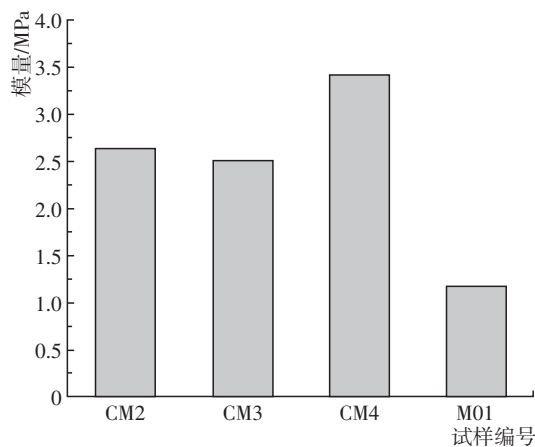
图3 4种不同试样应力应变曲线

4种不同试样屈服点见表6。试样的屈服强度大

小顺序为 $CM2 > CM4 > CM3 > M01$ 。屈服强度越高,试样越不容易发生塑性变形,试样的抗压性能就越好。屈服强度 $CM4$ 大于 $CM3$,可以得知 $CM4$ 的抗压性能比 $CM3$ 好, $CM3$ 和 $CM4$ 的厚度相差不多,但 $CM3$ 的孔隙率比 $CM4$ 的孔隙率高($CM3$ 的孔隙率是 2.5%, $CM4$ 的孔隙率为 0%),可知孔隙率会影响试样的抗压性能,孔隙率越高,屈服强度越低,抗压性能越差;屈服强度 $CM2$ 大于 $M01$,可以得知 $CM2$ 的抗压性能比 $M01$ 好, $CM2$ 和 $M01$ 的厚度相差不多,它们的孔隙率是一样的,不同的是 $M01$ 是纯聚氨酯试样,而 $CM2$ 被间隔织物增强,说明间隔织物可以增强聚氨酯的抗压性能,也可以间接得知间隔织物的面组织、间隔丝密度、间隔丝直径、间隔丝的倾斜角度等都会对与聚氨酯结合后的复合材料的抗压性能造成一定的影响;屈服强度 $CM2$ 大于 $CM3$,可以得知 $CM2$ 的抗压性能比 $CM3$ 好, $CM2$ 和 $CM3$ 都是聚氨酯和间隔织物复合的试样,孔隙率也一样,相差较大的只有厚度,可以推出厚度越厚,试样的抗压性能越差,更容易产生塑性变形。

表 6 $CM2$ 、 $CM3$ 、 $CM4$ 和 $M01$ 屈服点

样品	应力/MPa	应变/%
$CM2$	0.26	8.51
$CM3$	0.20	7.39
$CM4$	0.24	6.74
$M01$	0.16	10.79

图 4 $CM2$ 、 $CM3$ 、 $CM4$ 和 $M01$ 的模量柱状图

4 种不同试样模量测试结果如图 4 所示。试样模量大小顺序为: $CM4 > CM2 > CM3 > M01$,模量 $CM2$ 大于 $CM3$,说明在一定应力作用下, $CM2$ 发生弹性变形更小,即 $CM2$ 刚度更大,它们所用的材料和孔隙率是一样的,只有厚度不一样,而模量仅相差 0.12,说明

厚度对试样模量的影响不大;模量 $CM4$ 大于 $CM3$,说明在一定应力作用下, $CM4$ 发生弹性变形更小,即 $CM4$ 刚度更大,它们所用的材料和厚度是一样的,只有孔隙率不一样,模量相差了 0.9,说明孔隙率会影响试样模量,原因可能是对试样打孔影响到了间隔织物间隔丝的结构;模量 $CM2$ 大于 $M01$,说明在一定应力作用下, $CM2$ 发生弹性变形更小,即 $CM2$ 刚度更大, $M01$ 是纯聚氨酯试样, $CM2$ 是被间隔织物增强的聚氨酯试样,它们的孔隙率和厚度是一样的,模量相差了 1.46,说明间隔织物可以增强聚氨酯的力学性能。

3 结论

将 5 个不同规格的试样进行对比分析,对 $CM1$ 、 $CM2$ 、 $CM3$ 、 $CM4$ 和 $M01$ 进行透气性和透湿性测试,对 $CM2$ 、 $CM3$ 、 $CM4$ 和 $M01$ 进行压缩性能测试。其中透气透湿性的对照组是: $CM1$ 与 $CM2$ (孔隙率不同,分别为 5%和 2.5%)、 $CM2$ 与 $CM3$ (厚度不同)、 $CM3$ 与 $CM4$ (孔隙率不同,分别为 2.5%和 0%)、 $M01$ 与 $CM2$ (有无间隔织物增强);压缩性能的对照组是: $CM2$ 与 $CM3$ (厚度不同)、 $CM3$ 与 $CM4$ (孔隙率不同,分别为 2.5%和 0%)、 $M01$ 与 $CM2$ (有无间隔织物增强)。对比分析数据,得出结论:

(1)试样在厚度和材料相同的情况下,孔隙率大的透气性好;试样在材料和孔隙率相同的情况下,厚度越薄,试样透气性越好;试样在厚度和孔隙率相同的情况下,被间隔织物增强的试样透气性差。

(2)试样在厚度和材料相同的情况下,孔隙率高的透湿性好;试样在材料和孔隙率相同的情况下,厚度越厚,试样透湿性越差,但厚度对试样透湿性的影响不大。

(3)试样在厚度和材料相同的情况下,孔隙率越高,试样的屈服强度越低,抗压性能越差,试样更容易发生塑性变形和弹性变形;试样在厚度和孔隙率相同的情况下,间隔织物可以增强聚氨酯的抗压性能,试样不容易产生弹性变形;试样在材料和孔隙率相同的情况下,厚度越厚,试样的抗压性能越差,更容易产生塑性变形,但厚度对试样的弹性变形影响不大。

参考文献:

- [1] 鲍 铮,刘 钧,张鉴炜,等.硬质聚氨酯泡沫压缩性能增强研究进展[J].工程塑料应用,2016,44(8):124-128,137.

- [2] HEPBURN C D, ANAND S C, WOOD C. Recent advances in three-dimensional pressure relieving cushions for the prevention of pressure ulcers[J]. Journal of the Textile Institute, 2017,108(11): 1 940—1 948.
- [3] 叶晓华,胡红,冯勋伟.经编间隔织物的舒适性能[J].针织工业,2007,(11): 15—18.
- [4] 陈晴,张家琳,范丽敏.经编间隔织物的透气性与透湿性[J].服装学报,2017,2(2): 107—112.
- [5] 陈燕,张永革,陈春侠.经编间隔织物透气透湿性能的研究[J].轻纺工业与技术,2014,43(6): 6—7.
- [6] 沈瑶,钱静.经编间隔织物静态缓冲性能的研究[J].包装工程,2008,29(3): 39—41.
- [7] 陈美玉,孙润军,张长琦,等.经编间隔织物的缓压性能[J].纺织学报,2019,40(7): 58—63.
- [8] 李超,孙婉,贾西苑,等.经编间隔织物的应用及其发展[J].产业用纺织品,2016,34(5): 31—33.
- [9] 郭晓芳.经编间隔织物抗冲击人体防护性能的研究[D].上海:东华大学,2013.
- [10] 吴铨洪,徐霞.纺织产品透气性测试方法比较[J].轻纺工业与技术,2020,49(4): 60—61.
- [11] 崔小英.纺织品透气透湿性测试要求及应用[J].纺织检测与标准,2019,5(3): 30—34.

Study on the Mechanics and Comfort of 3D Spacer Fabric Reinforced Polyurethane-based Cushioning Materials

MA Hao-dong^{1,2}, LIANG Fan-chao^{1,2}, TAN Xue-zhang^{1,2}, ZHAO Shu^{1,2}, ZHI Chao^{1,2,*}

(1.School of Textile Science and Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2.Key Laboratory of Functional Textile Material and Product, Ministry of Education, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

Abstract: The 3D spacer fabric was combined with the polyurethane matrix to prepare 3D spacer fabric reinforced polyurethane-based composites. The air permeability, moisture permeability and compression performance of the 3D spacer fabric reinforced polyurethane-based composite samples with different thickness, porosity and materials were tested, and the influence of the parameters on the performance of the sample was analyzed. The results showed that the higher the porosity and the thinner the thickness, the better the air permeability of the sample, while the air permeability of the sample reinforced by the spacer fabric become worse; the higher the porosity and the thicker the thickness, the worse the moisture permeability of the sample; the lower the yield strength of the sample, the worse the compressive performance, and the easier it was to produce plastic deformation. The results also indicated that the spacer fabric could enhance the compression performance of the polyurethane matrix.

Key words: 3D spacer fabric; polyurethane-based composite; air permeability; moisture permeability; compression performance

(上接第 17 页)

Properties of Filters Based on Aramid and Pre-oxidized PAN Fibers Finished by Dipping

DENG Hong

(Patent Examination Cooperation Center of the Patent Office, SIPO, Sichuan, Chengdu 610213, China)

Abstract: In order to improve the filtration properties of filter based on aramid and pre-oxidized PAN fibers, the PTFE emulsion and water-borne epoxy resin as the main materials were used to treat the filters through dip finishing. The morphology of the filters was observed through scanning electron microscope, and the tensile properties, air permeability, pore size and filtration properties of the filters were tested. The results showed that: the resin attachment was observed on the fibers and in the pores formed with different fibers, which reduced the air permeability and pore size. The smallest pore size, maximum pore size and average pore size reduced by 9.30%, 9.75% and 9.08%, respectively. The finished filter showed more excellent filtration efficiency. For particles with size of ≥ 0.3 , ≥ 0.5 , ≥ 1.0 and $\geq 2.5 \mu\text{m}$, the filtration efficiency increased by 32.40%, 16.91%, 4.45% and 2.98%, respectively. However, the tensile breaking strength and elongation of finished filter had no obvious changes, which could satisfy the mechanical property requirements of filters used for dust collector.

Key words: dip finishing; air filtration material; pore size; filtration efficiency