

# 球形压力模型下经编间隔织物压力传递的研究

冷黎霞, 白世琪, 詹永娟, 周小红  
(浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室, 杭州 310018)

**摘 要:** 经编间隔织物是由两个外表面和间隔层组成的柔性立体织物, 具有独特的压缩性能。论文对一组不同结构的经编间隔织物, 采用一种 8 通道压力分布测试装置, 实验研究了球形压力模型下经编间隔织物压力传递的特征: 在球形压力模型下, 经编间隔织物纵向传递载荷分布具有一阶指数衰减函数的关系, 该衰减函数的衰减指数主要受经编间隔织物纵密、横密、组织的影响, 也受实验金属球重量的影响。

**关键词:** 球形压力模型; 经编间隔织物; 传递载荷; 一阶指数衰减函数; 线性回归分析

**中图分类号:** TS186.1      **文献标识码:** A

## 0 引 言

经编间隔织物是由间隔纱层和两个外表面组成的独特的三维立体结构, 间隔纱联系并且支撑两个独立的外表面。<sup>[1]</sup> 该织物具有优越的压缩性能和气候调节功能, 用途十分广泛, 可用于床垫、坐垫、运动鞋面和鞋垫。<sup>[2]</sup> 经编间隔织物的压缩性能研究包括压缩回弹性能和压力分布特性。关于经编间隔织物的压力分布特性, 陈燕等<sup>[3]</sup> 通过 Tekscan 压力分布测量系统对经编间隔织物, 模拟臀部压强进行压力分布测试, 得到织物的压强峰值、压强平均值和接触面积; 麻静媛<sup>[4]</sup> 采用 Novel Pedar 足底压力分布测量系统, 测试鞋承受人体力及单位面积压力在鞋底分布情况; Alexander Kraus<sup>[5]</sup> 通过带有压力分布测量系统的 Pedar 鞋垫来测试研究了人在静态和动态过程中脚和鞋之间的压力分布; 叶晓华等<sup>[6]</sup> 采用压力测量系统, 测试了经编间隔织物与海绵、羊毛地毯的压强大小和分布。

本文对一组不同结构的经编间隔织物, 采用一种 8 通道压力分布测试装置, 实验研究球形压力模型下经编间隔织物纵向压力传递的特征。

## 1 实验材料与实验方法

**1.1 实验材料**

实验采用 4 种经编间隔织物, 表 1 所示为其基本规格。织物表面纱线和间隔单丝原料均为涤纶, 织物结构以织物厚度、间隔单丝线密度、面层纱的线密度、纵密、横密和织物组织结构等 6 个参数表示。

**表 1 经编间隔织物的基本规格**

试样	面层纱线 密度/tex	单丝直径 /mm	厚度/ mm	纵密/ cpc	横密/ wpc
1	11	0.06	4	18	12
2	33.3	0.13	6	10	5
3	33.3	0.12	8	8	7
4	33.3	0.12	9	10	8

表中: cpc 指每厘米长度中线圈横列数; wpc 指每厘米长度中线圈纵行数。

**试样 1 的组织结构:**

GB1: 1-0-0-0/0-1-1-1/1-0-0-0/0-1-1-1//GB2: 1-0-2-2/2-3-4-4/4-5-3-3/3-2-1-1//GB3: 4-5-3-3/3-2-1-1/1-0-2-2/2-3-4-4//GB4: 1-0-1-2/2-3-2-1/1-0-1-2/2-3-2-1//GB5: 1-1-1-0/1-1-1-2/1-1-1-0/1-1-1-2//GB6: 1-1-1-2/1-1-1-0/1-1-1-0/1-1-1-0//。

试样 2 的组织结构:

GB1: 1-0-1-1/2-3-2-2/1-0-1-1/2-3-2-2/1-0-1-1/  
2-3-2-2/4-5-4-4/3-2-3-3/4-5-4-4/3-2-3-3/4-5-4-4/3-  
2-3-3//GB2: 4-5-4-4/3-2-3-3/4-5-4-4/3-2-3-3/4-5-4-  
4/3-2-2-2/1-0-1-1/2-3-2-2/1-0-1-1/2-3-2-2/1-0-1-1/  
2-3-2-2//GB3: 1-0-2-1/2-3-1-2//GB4: 1-0-2-1/2-3-  
1-2//GB5: 1-1-1-0/1-1-1-2//。

试样 3 的组织结构:

GB1: 1-0-1-2/1-0-2-3/2-1-2-3//GB2: 2-3-2-1/  
2-3-1-0/1-2-1-0//GB3: 1-0-2-1/2-3-1-2//GB4: 1-0-  
2-1/2-3-1-2// GB5: 1-0-1-2/1-0-2-3/2-1-2-3//GB6:  
2-3-2-1/2-3-1-0/1-2-1-0//。

试样 4 的组织结构:

GB1: 1-0-0-0/1-2-2-2/1-0-0-0/2-3-3-3/2-1-1-1/  
2-3-3-3//GB2: 2-3-3-3/2-1-1-1/2-3-3-3/1-0-0-0/1-2-  
2-2/1-0-0-0//GB3: 1-0-1-0//GB4: 1-0-1-0//GB5: 2-  
3-3-3/2-1-1-1/2-3-3-3/1-0-0-0/1-2-2-2/1-0-0-0//  
GB6: 1-0-0-0/1-2-2-2/1-0-0-0/2-3-3-3/2-1-1-1/2-3-  
3-3//。

1.2 实验方法

实验采用 8 通道压力分布测试装置,其主机面  
板结构如图 1 所示,实验数据在液晶屏上显示。

如图 2 所示,试样台设置传感器位置可变化的  
托架 2,传感器 1 置于托架 2 上,将织物平放在托架  
2。将不同质量和直径的球形压力模型 4 对试样 5  
施加球形载荷,1、2、3 号球形压力模型的质量分别  
为 140、270、440 g,直径分别为:30、40、50 mm。设  
球形压力模型中心正对的传感器为受载荷起始点,  
其余传感器沿经编间隔织物纵向方向分布,距受载  
荷起始点距离分别为15、20、25、30、35、40、45 mm,

其中传感器获取的信号经过处理,在显示器上显示,  
得到经编间隔织物在球形压力模型的中心位置和距  
离中心位置一定距离的传递载荷。

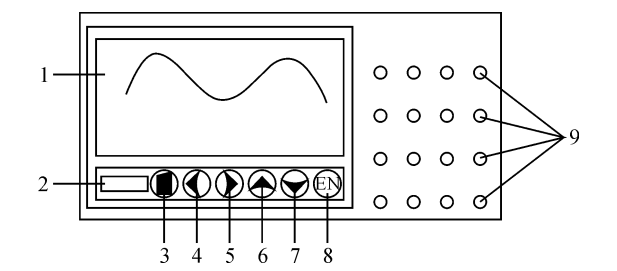


图 1 8 通道压力分布测试装置主机面板结构  
1-液晶显示屏,2-USB 接口,3-翻页键,4-左移键,5-右移键,6-上  
移键,7-下移键,8-确认键,9-通道接口

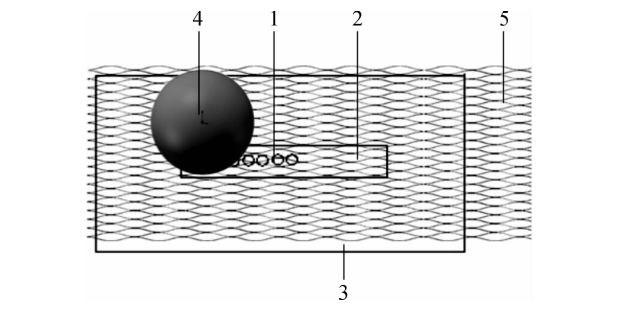


图 2 球形压力模型下传感器沿经编间隔  
织物纵向分布  
1-传感器,2-传感器托架,3-试样台,4-球形压力模型,5-经编间  
隔织物

2 实验结果与分析

2.1 实验结果

涤纶经编间隔织物纵向分别受到 3 种球形压力  
模型作用,传递载荷实验数据见表 2,取 3 次实验平  
均值。

表 2 球形压力模型下经编间隔织物的纵向传递载荷实验数据

距离 /mm	试样 1 传递载荷/cN			试样 2 传递载荷/cN			试样 3 传递载荷/cN			试样 4 传递载荷/cN		
	1 号球	2 号球	3 号球	1 号球	2 号球	3 号球	1 号球	2 号球	3 号球	1 号球	2 号球	3 号球
0	91.4	116.1	186.7	93.6	144.0	168.5	51.2	66.4	87.5	69.6	101.1	115.3
15	7.0	17.2	29.4	13.0	28.9	26.5	12.5	20.1	36.7	9.0	14.7	35.2
20	5.7	11.4	17.8	9.5	13.4	18.2	7.4	16.1	23.3	4.8	10.1	16.8
25	4.8	4.8	4.8	4.8	10.3	15.1	0.48	8.5	19.7	0.5	6.3	13.8
30	1.8	3.4	3.4	0.09	6.0	8.2	0	0.05	8.9	0.02	1.3	5.6
35	0.09	0.09	0.09	0	5.1	6.2	0	0	0.5	0	0.07	1.1
40	0	0	0	0	2.8	3.6	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0.03	1.3	0	0	0	0	0	0

2.2 实验分析

以球形压力模型中心作用为坐标原点,绘经编间

隔织物受该球形压力模型下的纵向传递载荷的散点图,  
并利用一阶指数衰减拟合公式  $y=y_0+A_1 \exp (-x / t_1)$

进行拟合<sup>[7]</sup>,其中  $y$  为经编间隔织物在纵向方向的传递载荷, $x$  为距离, $x=0$  是指球形压力模型的中心位置, $A_1$ 、 $y_0$  为一阶指数衰减函数的常数, $1/t_1$  为经编间隔织物的纵向传递载荷衰减指数,拟合曲线见图 3。

置, $A_1$ 、 $y_0$  为一阶指数衰减函数的常数, $1/t_1$  为经编间隔织物的纵向传递载荷衰减指数,拟合曲线见图 3。

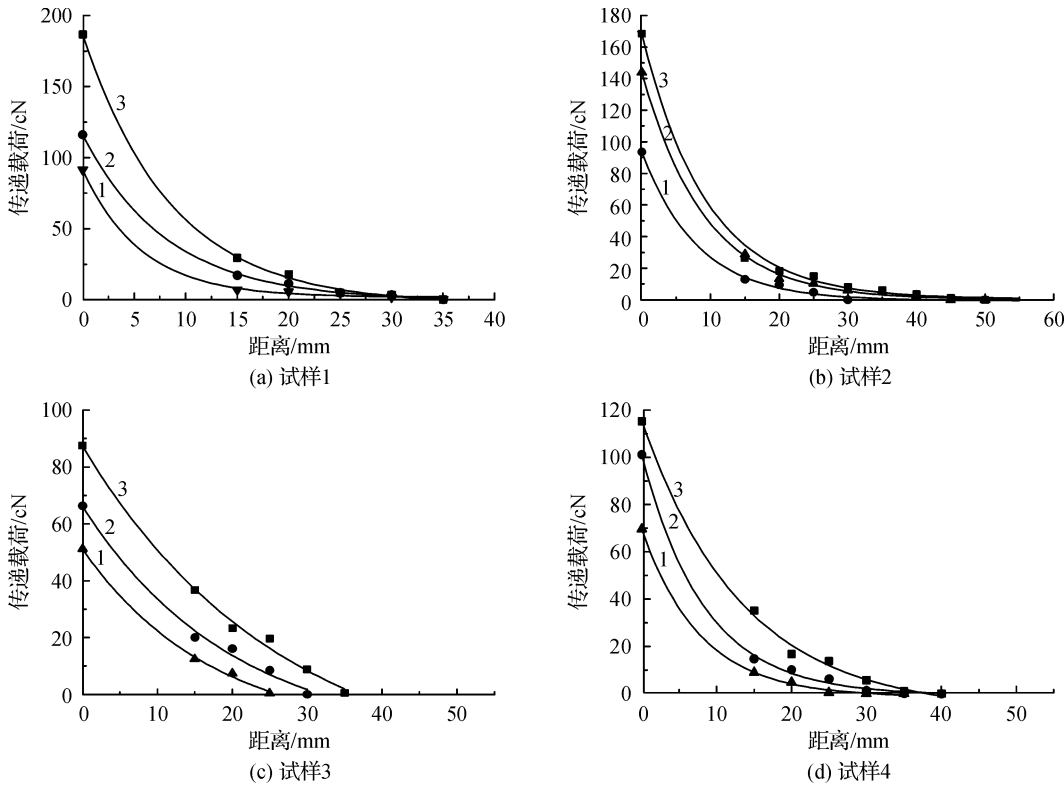


图 3 球形压力模型下经编间隔织物纵向传递载荷分布的拟合曲线

注:1、2、3 分别为 1 号、2 号、3 号球形压力模型下的纵向传递载荷

曲线的拟合方程、决定系数和衰减指数见表 3。表 3 可见,曲线拟合决定系数大于 99%,拟合度好。

衰减指数表示经编间隔织物在球形压力模型下传递载荷以指数方式随离开球形压力模型中心位置

而衰减的快慢程度,衰减指数越大,传递载荷消失得越快,经编间隔织物承受载荷的面积越小,分布比较集中。反之,衰减指数越小,传递载荷消失得越慢,经编间隔织物承受载荷的面积越大,分布较分散,即具有较好的缓压性能。

表 3 压力分布的拟合方程及衰减指数

试样	小球序号	拟合方程	衰减指数 $\times 10^{-2}$	$R^2$
1	1	$y = 0.787\ 66 + 90.570\ 93\exp(-x/6.116\ 7)$	16.35	0.998\ 04
	2	$y = -0.503\ 23 + 116.564\ 12\exp(-x/8.222\ 23)$	12.16	0.999\ 46
	3	$y = -1.609\ 6 + 188.347\ 76\exp(-x/8.328\ 09)$	12.01	0.999\ 41
2	1	$y = 0.143\ 69 + 143.857\ 36\exp(-x/9.114\ 14)$	10.97	0.999\ 08
	2	$y = -0.505\ 07 + 94.071\ 2\exp(-x/8.103\ 85)$	12.34	0.998\ 6
	3	$y = 0.561\ 49 + 167.842\ 87\exp(-x/9.406\ 64)$	10.63	0.999\ 14
3	1	$y = -14.454\ 43 + 65.619\ 48\exp(-x/17.321\ 15)$	5.77	0.998\ 6
	2	$y = -16.949\ 93 + 83.150\ 96\exp(-x/20.085\ 98)$	4.95	0.994
	3	$y = -29.422\ 76 + 116.745\ 49\exp(-x/26.625\ 61)$	3.76	0.995\ 83
4	1	$y = -0.730\ 33 + 70.349\ 4\exp(-x/7.504\ 46)$	13.33	0.999\ 3
	2	$y = -0.495\ 2 + 101.537\ 6\exp(-x/8.296\ 59)$	12.05	0.998\ 9
	3	$y = -4.240\ 39 + 119.812\ 73\exp(-x/12.573\ 04)$	7.95	0.996\ 88

采用 SPSS 统计软件<sup>[8]</sup>进行多元线性回归分析,其多元线性回归方程通式为  $y=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\cdots+\beta_px_p$ ,其中  $\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_p$  为回归系数, $\beta_0$  为回归

常数。将经编间隔织物纵向传递载荷衰减指数作为因变量,经编间隔织物的结构参数与球形压力模型的参数作为自变量,经编间隔织物的结构参数包括

织物厚度、间隔单丝线密度、面层纱的线密度、纵密、横密和织物组织结构,其中织物组织为一种分类变量,在作为基本参数输入时,取 1、2、3、4 表示本文涉及样品的 4 种组织结构,球形压力模型的参数包括球的质量和直径。回归分析方法采用向后消去法,取显著性水平  $\alpha=0.1$ ,当自变量对应的  $F$  值小于  $F_{\alpha=0.1}$  时,该变量将进入回归方程,当  $F$  值大于  $F_{\alpha=0.1}$  时,将其剔除,每次剔除一个不符合进入模型条件的变量。

表 4、表 5 为球形压力模型下经编间隔织物纵向传递载荷衰减指数的回归分析和方差分析结果,多元线性回归模型方程为:

$$y = -7.469 + 2.630x_1 - 2.229x_2 + 3.242x_3 - 0.01x_4$$

式中: $y$ —纵向传递载荷衰减指数, $\times 10^{-2}$ ;  $x_1$ —纵密, cpc;  $x_2$ —横密, wpc;  $x_3$ —织物组织;  $x_4$ —球质量。

表 4 球形压力模型下经编间隔织物纵向传递载荷衰减指数的回归分析

模型	未标准化的系数		标准化 的系数	$t$	显著性
	系数	标准误差			
常数	-7.469	3.676		-2.032	0.082
纵密	2.630	0.387	2.793	6.795	0.000
横密	-2.229	0.424	-1.572	-5.258	0.001
组织	3.242	0.734	1.002	4.415	0.003
球重量	-0.010	0.003	-0.343	-3.123	0.017

表 5 球形压力模型下经编间隔织物纵向传递载荷衰减指数的方差分析

模型	平方和	自由度	均方	$F$	显著性
回归	143.710	4	35.928	19.030	0.001
残差	13.215	7	1.888		
合计	156.926	11			

对方程的检验采用  $F$  检验法,该回归模型的分布为第一自由度为 4,第二自由度为 7 的  $F$  分布,  $F(4,7)=19.030$ ,在给定的显著水平  $\alpha=0.01$  下,由  $F$  分布表查得,  $F_{0.01}(4,7)=7.85$ ,因为  $F>F_{0.01}$ ,所以球形压力模型下经编间隔织物纵向传递载荷衰减指数与织物纵密、横密、组织及球形压力模型质量有十分显著的线性关系。

标准化的回归系数用以判断各自变量对因变量的重要程度,绝对值越大,所对应的自变量对因变量

的影响程度也越大。经编间隔织物的纵密对经编间隔织物纵向传递载荷衰减指数的影响程度最大,成正相关,其次是经编间隔织物的横密,成负相关,第三是经编间隔织物的组织,实验球形压力模型质量对经编间隔织物纵向传递载荷衰减指数有一定的影响。

### 3 结 论

采用一种 8 通道压力测试装置,测试了球形压力模型对一组不同结构的涤纶经编间隔织物作用下,在重心位置和沿经编间隔织物纵向的传递载荷分布,利用 origin 软件对经编间隔织物纵向传递载荷分布进行一阶指数衰减函数的拟合,采用 SPSS 统计软件对经编间隔织物纵向传递载荷的衰减指数进行了多元线性回归分析。

a)在球形压力模型下,该组涤纶经编间隔织物纵向传递载荷分布具有一阶指数衰减函数的关系,拟合方程的决定系数大于 99%。

b)在球形压力模型下,该组涤纶经编间隔织物纵向传递载荷分布的一阶指数衰减函数的衰减指数主要受经编间隔织物纵密、横密、组织的影响,也受球形压力模型质量的影响。

### 参考文献:

[1] 蒋高明. 现代经编工艺与设备[M]. 北京: 中国纺织出版社,2001: 334-377.

[2] 夏凤林. 经编间隔织物的抗压回弹性研究[J]. 纺织学报,2003,24(4): 338-340.

[3] 陈 燕, 蒋高明. 经编间隔织物缓压性能的研究[J]. 针织工业, 2008, 4(4): 26-28.

[4] 麻静媛. 对 Novel Pedar 足底压力分布测量系统应用技术的初步开发[J]. 中国体育科技, 2002, 12(7): 23-25.

[5] Alexander Kraus, Stephan Odenwald. Determining ground reaction forces using a pressure distribution measuring system[J]. The Engineering of Sport, 2007, 7(2): 111-116.

[6] 叶晓华, 冯勋伟. 经编间隔织物缓压性能的探讨[J]. 东华大学学报, 2006, 32(4): 88-91.

[7] 周剑平. Origin 实用教程 7.5 版[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004: 207-212.

[8] 杜 强, 贾丽艳. SPSS 统计分析: 从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009: 150-170.

# Research on the Pressure Transmission of Warp Knitted Spacer Fabric under the Spherical Compression Model

LENG Li-xia<sup>1</sup>, BAI Shi-qi<sup>1</sup>, ZHAN Yong-juan<sup>1</sup>, ZHOU Xiao-hong<sup>1</sup>

(The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology  
(Zhejiang Sci-Tech University), Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** The warp-knitted space fabric is a kind of three-dimensional fabric, which is composed of two pieces of independent outer surface layers and the gap yarn, and it has unique compression performance. The 8-channel pressure tester is developed to test the different kinds of warp-knitted space fabric, and studies the feature of pressure transmission under the spherical compression model. The results show the first-order exponential decay function can fit the distribution of transfer load well, and it is mainly affected by the wales, courses and fabric weave, besides it has certain relations with the weight of the spherical compression model.

**Key words:** the spherical compression model; the warp-knitted space fabric; transfer load; the first-order exponential decay function; the linear regression analysis

(责任编辑: 许惠儿)

(上接第 488 页)

# HPMC/SiO<sub>2</sub> Inorganic Hybrid Composite Films Were Prepared via Sol-Gel Process

FAN Chun-yan<sup>a</sup>, WANG Jia-jun<sup>b</sup>, GU Chun-hong<sup>a</sup>, LIU Hai-long<sup>a</sup>

(Zhejiang Sci-Tech University, a. School of Textiles and Materials; b. The Key  
Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology,  
Ministry of Education, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Transparent HPMC/SiO<sub>2</sub> inorganic-organic hybrid composite films, consisting of inorganic-organic hybrid composites on polylactic acid(PLA) film, are prepared via sol-gel process. The structure and properties of the hybrid composite films are inspected. The results show that when the volume ratio of HPMC solution to the hybrid sol is 6%, oxygen barrier of the hybrid composite films improved 32.3 times than PLA film. At the same time, tensile strength of the hybrid composite films are better than pure PLA film.

**Key words:** composite films; sol-gel; SiO<sub>2</sub>; HPMC; oxygen barrier

(责任编辑: 张祖尧)