

基于空间模型的绗缝因素对羽绒制品保暖性的影响

代萌婷, 屠 晔*

(1. 浙江理工大学 服装学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江理工大学 国际教育学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:以羽绒制品绗缝保暖性为研究对象,选取 30 cm×30 cm 羽绒试样,将 3 种绗缝形式(水平绗缝、垂直交叉绗缝、斜线绗缝)、7 种绗缝数量进行组合,在水平放置与 24 h 悬挂放置两种状态下,分别测试羽绒的保暖性,探究两种放置方式下不同绗缝因素对羽绒保暖性的影响,同时建立绗缝后羽绒表观体积的近似几何模型。结果表明:绗缝形式和绗缝数量对羽绒保暖性均影响显著,考虑羽绒制品实际使用状况,绗缝形式为斜线绗缝、绗缝数量为 2 条时羽绒保暖性较优。两种放置方式下的羽绒保暖性有显著差异。当绗缝数量≥2 条时,建立水平放置与 24 h 悬挂放置的羽绒保暖性线性回归模型,预测精度为 0.998。建立的羽绒表观体积和保暖性回归模型可用于定量分析和预测羽绒制品的保暖性。

关键词: 绗缝形式; 绗缝数量; 羽绒制品; 保暖性; 近似几何模型

中图分类号: TS 941.775; TS 101.923.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2021)06-0490-07

Effect of Quilting Factors on the Thermal Insulation Property of Down Products Based on Spatial Model

DAI Mengting, TU Ye*

(1. School of Fashion Design and Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. School of International Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Quilting is an important factor affecting the thermal insulation property of down products. Taking the quilting warmth of down products as the research object, for the down samples of 30 cm×30 cm, 3 kinds of quilting forms (horizontal quilting, vertical cross quilting and diagonal quilting) and 7 kinds of quilting number were selected to test the thermal insulation property of down respectively under the two conditions of not hanging and 24 hours hanging, and to study the influence of different quilting factors on the thermal insulation property of down under the two kinds of placing treatments. At the same time, the approximate geometric model of the apparent volume of quilted down was established. The results show that both the form and number of quilting have significant effect on the down thermal insulation property, and considering the actual use of down products, the diagonal quilting is confirmed and the quilting number is confirmed as two. There are significant differences in the thermal insulation property of down between the two treatments. When the number of quilts is more than or equal to 2, the linear regression model of the down thermal insulation property of the no hanging and 24-hour hanging treatment is established, and the prediction accuracy is 0.998. The regression model of down apparent volume and thermal insulation property can be used to quantitatively analyze and predict the thermal insulation property of down products.

Key words: quilting form, quilting number, down products, thermal insulation property, approximate geometric model

绗缝是羽绒制品生产过程中一道重要的工序,可以起到固定羽绒绒朵,增加保暖性的效果^[1-2]。在绗缝因素研究中,绗缝形式与绗缝数量对羽绒制品的保暖性有重要的影响,但此类研究多是在水平

收稿日期:2021-04-29; 修订日期:2021-05-27。
基金项目:浙江省科技厅基金项目(2021C35110)。
作者简介:代萌婷(1996—),女,硕士研究生。
* 通信作者:屠 晔(1973—),女,讲师。主要研究方向为服装技术与理论。Email:buyinew@163.com

放置状态下测试保暖性。水平放置与服装日常使用状态存在较大差异^[3-4],在实际穿着中服装与地面呈垂直状态,当绗缝间距较大时重力作用会影响羽绒绒朵分布,导致保暖性下降^[5-6]。目前,放置状态、绗缝因素与羽绒保暖性的关系尚不明确。因此,有必要以定量分析的方式探究不同的放置状态、绗缝因素与羽绒保暖性的关系。

文中在分析是否悬挂放置及放置时间对羽绒保暖性影响的基础上,设计双因素实验,结合绗缝形式与绗缝数量测试两种放置状态下羽绒的保暖性,同时建立羽绒表观体积近似几何模型,定量分析和预测羽绒的保暖性。以期羽绒服类产品的绗缝因素设计和开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

1.1.1 原料 羽绒服面料(100 %涤纶织物,面密度 102 g/m²),防绒内胆(100 %涤纶织物,面密度 76 g/m²),均由苏州纺织公司生产;白鹅绒(纯度 95%),由山东奥绒服装公司生产。

1.1.2 仪器 YG606D 型纺织品保暖测试仪,宁波纺织仪器厂制造;游标卡尺,上海耐美特实业有限公司制造;恒温恒湿实验室,中山科瓦特机电有限公司制造;试样悬挂装置,自制,具体如图 1 所示。

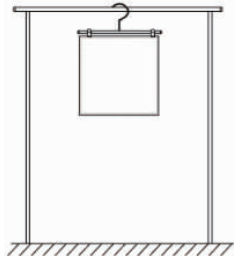


图 1 悬挂装置

Fig.1 Suspension device

1.2 方法

1.2.1 实验因素与水平的确定 由于绗缝形式与绗缝数量对羽绒制品的保暖性有重要的影响,故将绗缝形式和绗缝数量作为实验因素。绗缝形式包括直线、折线、曲线 3 种,而直线绗缝居多。文中选用直线绗缝,将绗缝形式设置为水平绗缝、垂直交叉绗缝、斜线绗缝 3 个水平。不同的绗缝数量会影响羽绒试样静止空气的含量,进而影响保暖性,故绗缝数量设置为 0~6 条共 7 个水平。

1.2.2 试样制备 将羽绒服原材料制作成 30 cm×30 cm 的试样,其中,白鹅绒的填充密度选择 130 g/m²^[7]。将不同绗缝形式、绗缝数量组合可以得到 19 个试样,编号为 0#~18#,具体如图 2 所示。

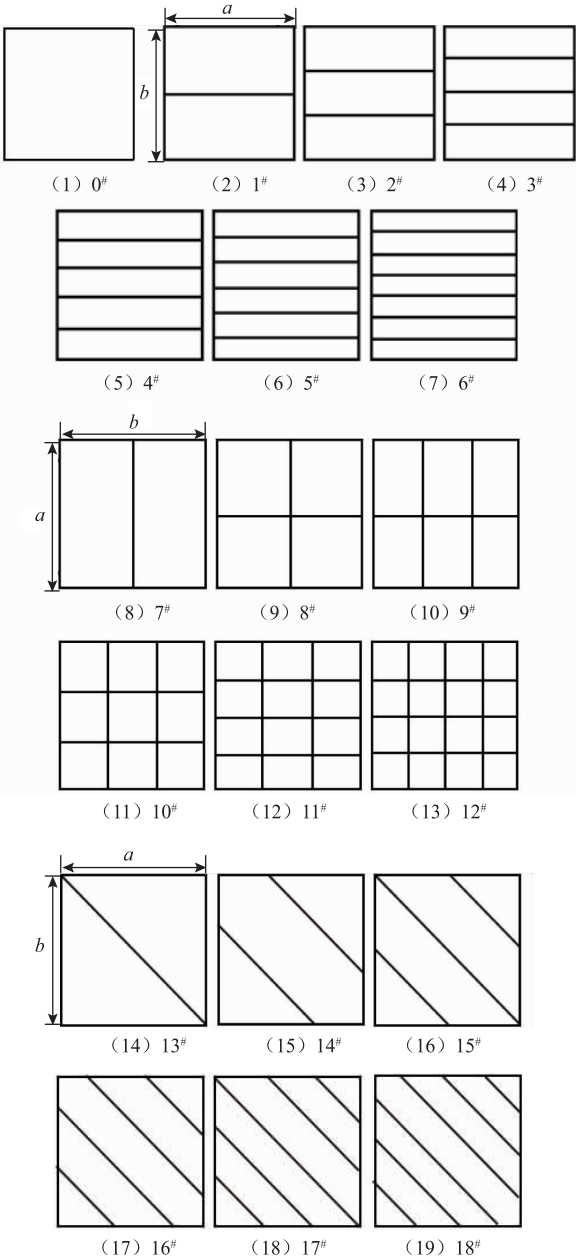


图 2 不同水平组合下的绗缝试样

Fig.2 Quilted samples with different combinations

1.2.3 悬挂放置时间的选定 受重力的影响,试样悬挂一定时间后,部分羽绒会下沉。为了探究悬挂放置时间对羽绒保暖性的影响,采用 0# 试样进行悬挂放置实验,放置时间分别为 0,1.5,3.0,6.0,12.0,18.0,24.0 h,测试其保暖性,同时与水平放置方式进行对比,具体结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,悬挂状态下,0# 试样的传热系数先随着悬挂时间的增加而增大,随后变化趋于平缓;当悬挂放置时间在 18~24 h 之间,试样传热系数不再发生变化,达到稳定状态;在水平放置状态下,0# 试样的传热系数不受时间的影响。因此,以下实验悬挂放置时间取 24 h。

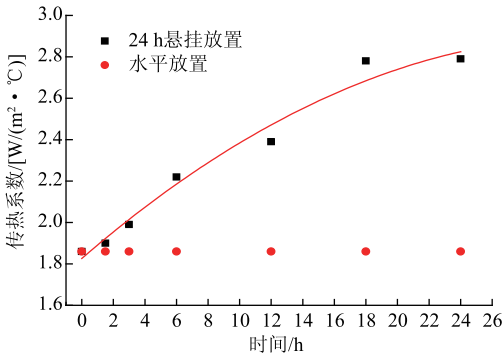


图 3 0[#]试样传热系数随放置时间变化的趋势

Fig.3 Trend of 0[#] sample's heat transfer coefficient over time

1.2.4 试样保暖性的测试 在温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $65\% \pm 2\%$ 的条件下,根据 GB/T 35762—2017《纺织品热传递性能试验方法平板法》^[8],采用纺织品保暖测试仪测试水平放置与 24 h 悬挂放置试样的传热系数。每个试样重复测量 3 次,取平均值。

1.2.5 试样缝边长度的测试 采用游标卡尺测量试样缝边 a, b 的长度,其中, a 为绗缝数量较少的边, b 为绗缝数量较多的边。每个试样重复测量 3 次,取平均值。

2 结果与分析

试样缝边长度测试结果见表 1。

表 1 试样保暖性及缝边长度测试结果

Tab.1 Test results of the length and thermal insulation property of samples

编 号	绗缝形式	绗缝数量/ 条	传热系数/[W/(m ² ·℃)]		传热系数差值/ [W/(m ² ·℃)]	a/cm	b/cm
			水平放置	24 h 悬挂放置			
0 [#]		0	1.86	2.79	0.93	29.59	29.43
1 [#]	水平绗缝	1	2.07	2.34	0.27	29.48	29.15
2 [#]		2	2.21	2.30	0.09	29.32	28.41
3 [#]		3	2.57	2.65	0.08	29.25	27.99
4 [#]		4	2.73	2.79	0.06	29.04	27.64
5 [#]		5	3.01	3.05	0.04	28.95	27.44
6 [#]		6	3.40	3.41	0.01	28.78	27.17
7 [#]	垂直交叉绗缝	1	2.07	2.38	0.31	29.38	29.15
8 [#]		2	2.32	2.37	0.05	28.90	28.80
9 [#]		3	2.64	2.68	0.04	28.33	28.61
10 [#]		4	2.91	2.93	0.02	28.17	28.42
11 [#]		5	3.04	3.05	0.01	28.05	28.19
12 [#]		6	3.45	3.45	0.00	28.00	27.90
13 [#]	斜线绗缝	1	2.05	2.32	0.27	29.70	29.33
14 [#]		2	2.18	2.26	0.08	29.57	29.25
15 [#]		3	2.49	2.56	0.07	29.31	29.05
16 [#]		4	2.56	2.60	0.04	29.11	28.78
17 [#]		5	2.72	2.75	0.03	28.78	28.38
18 [#]		6	3.00	3.01	0.01	28.65	28.15

2.1 绗缝形式和绗缝数量对羽绒保暖性的影响

2.1.1 两种放置方式下羽绒保暖性分析 将绗缝形式、绗缝数量和放置方式作为控制变量,试样传

热系数作为因变量,采用方差分析方法探究变量之间的主效应与交互效应,得到主体间效应检验结果,具体见表 2。

表 2 主体间效应检验

Tab.2 Intersubjective effect test

源	df	均方	F	Sig. (双侧)
绗缝形式	2	0.640	10.458	0.000 10 **
绗缝数量	6	2.460	40.192	0.000 00 **
放置方式	1	1.632	28.532	0.021 00 *
绗缝形式×绗缝数量	12	0.069	1.128	0.140 99
绗缝数量×放置方式	6	0.693	12.115	0.000 00 **
绗缝形式×放置方式	2	0.002	0.031	0.969 96

注: * 表示在 0.05 水平上存在显著性; * * 表示在 0.01 水平上存在显著性。

由表 2 可以看出,在显著水平 $\alpha = 0.05$ 下,绗缝形式、绗缝数量与放置方式对试样传热系数均有显

著影响;交互作用中绗缝数量×放置方式对试样传热系数的影响显著,绗缝形式×绗缝数量、绗缝形

式×放置方式对试样传热系数的影响不显著。比较绗缝形式、绗缝数量、放置方式的概率 p 值,从低到高依次为绗缝数量 < 绗缝形式 < 放置方式,表明各因素对试样传热系数的影响程度由高到低依次

为绗缝数量 > 绗缝形式 > 放置方式。
1) 绗缝形式。分别对两种放置方式下 3 种绗缝形式试样的传热系数进行 Duncan 多重比较,具体结果见表 3。

表 3 不同绗缝形式的试样传热系数 Duncan 多重比较
Tab. 3 Duncan multiple comparison of the heat transfer coefficient of different quilting form

放置方式	绗缝形式	Alpha =0.05 的子集			Sig.
		1	2	3	
水平放置	垂直交叉绗缝	2.505 7			1.000
	水平绗缝		2.455 3		1.000
	斜线绗缝			2.350 9	1.000
24 h 悬挂 放置	垂直交叉绗缝	2.768 3			1.000
	水平绗缝		2.712 9		1.000
	斜线绗缝			2.598 4	1.000

由表 3 可以看出,3 种绗缝形式的试样传热系数均值从小到大依次为斜线绗缝 < 水平绗缝 < 垂直交叉绗缝,表明不同绗缝形式试样的保暖性由强到弱依次为斜线绗缝 > 水平绗缝 > 垂直交叉绗缝。从直观上来看,在绗缝数量相同时,虽然斜线绗缝与水平绗缝分割的独立空间数量相同,但斜线绗缝分割出独立空间的两对立边宽度大,静止空气减少量较少;垂直交叉绗缝分割的独立空间数量比其他绗缝更密集,各绗线间的交叉点多,从而影响分割空间四角的厚度,静止空气减少量较多。

2) 绗缝数量。分别对两种放置方式下的不同绗缝数量的试样传热系数进行 Duncan 多重比较,具

体结果见表 4。
由表 4 可见,在水平放置时,试样传热系数均值随绗缝数量的增加呈递增趋势,绗缝数量为 0 时试样传热系数均值最低;在悬挂放置 24 h 时,试样传热系数均值随绗缝数量的增加呈先减后增的趋势,绗缝数量为 2 条时试样传热系数均值最低。这是由于绗缝数量较少时,试样内羽绒有足够的空间距离,可阻碍绒朵间相互抱合,纤维热传导降低,内部空气流动阻力增大,对流传热微弱,保暖性较好。当绗缝数量增加后,试样被分割成多个独立空间,绒朵间相互接触增加纤维的热传导^[9-10],且每个独立空间边缘处空气流动阻力变小,对流传热增加,保暖性下降。

表 4 不同绗缝数量的试样传热系数 Duncan 多重比较
Tab. 4 Duncan multiple comparison of the heat transfer coefficient of different quilting number

放置方式	绗缝 数量	Alpha =0.05 的子集							Sig.
		1	2	3	4	5	6	7	
水平放置	6	3.262							1.000
	5		2.923						1.000
	4			2.726					1.000
	3				2.564				1.000
	2					2.242			1.000
	1						2.063		1.000
	0							1.859	1.000
24 h 悬挂 放置	6	3.295							1.000
	5		2.934						1.000
	0			2.793					1.000
	4				2.773				1.000
	3					2.641			1.000
	1						2.348		1.000
	2							2.307	1.000

3) 处理方式。对两种放置方式下试样的传热系数进行配对样本 T 检验。在显著水平 $\alpha = 0.05$ 下,两种放置方式下试样的传热系数有显著性差异。由图 5 可知,水平放置状态下测得的试样传热系数低于 24 h 悬挂放置的,试样传热系数差值在绗

缝数量为 0~2 条时急剧下降,随着绗缝数量继续增加试样传热系数差值逐渐减小并趋于相同。这是由于绗缝数量为 0~2 条时,绗缝对羽绒绒朵的固定作用较弱,部分羽绒绒朵受到重力作用产生竖直方向的位移,造成位移处两层面料之间没有羽绒三维

结构的支撑^[11-12],面料与外界环境产生热对流^[13],所以此时试样悬挂放置对羽绒保暖性有显著影响;当绗缝数量增加至4条后,分割空间随之减小,迫使绒朵在每个独立空间内活动间隙减小,绗缝对羽绒的固定作用增强,故此时试样悬挂放置对羽绒保暖性影响较小。因此,为确保羽绒制品实际穿着时的保暖效果,绗缝数量至少为2条。

2.1.2 两种放置方式下羽绒保暖性关系 从2.1.1可知,当绗缝数量≥2条时,水平放置与24 h悬挂放置的羽绒试样内部状态均达到稳定状态,在此基础上建立两种放置方式下羽绒试样保暖性回归模型,即

$$y=0.942\,7x+0.200\,3,R^2=0.998。$$

其中, x,y 分别为水平放置和24 h悬挂放置试样的传热系数 $[W/(m^2\cdot^{\circ}C)]$ 。

两种放置方式下试样保暖性线性拟合曲线如图4所示。由图4可知,在绗缝数量≥2条时,两种放置方式下试样的传热系数呈高度线性相关,回归模型预测精度达到0.998,表明回归模型拟合效果较优。

2.1.3 绗缝形式及绗缝数量与羽绒保暖性的关系 为了探究绗缝形式、绗缝数量和水平放置方式与试样传热系数的关系,根据表1测试数据,选用虚拟变量方式对三者关系进行拟合。虚拟变量是反映质的属性的人工变量,通常取0或1,使用虚拟变量可增加模型精度,降低误差方差。将水平放置试样

传热系数作为因变量,绗缝形式与绗缝数量作为自变量,绗缝数量设为 n ,水平绗缝、垂直交叉绗缝、斜线绗缝的虚拟变量分别设为 $(Z_1=0,Z_2=1)(Z_1=1,Z_2=0)(Z_1=0,Z_2=0)$,利用SPSS软件得到虚拟变量模型,具体见表5。由表5可知,模型 $R^2=0.968$,表明模型拟合度良好。不同绗缝形式下绗缝数量与水平放置试样传热系数拟合方程为

水平绗缝 $x=1.857+0.232n;$

垂直交叉绗缝 $x=1.919+0.232n;$

斜线绗缝 $x=1.713+0.232n。$

式中, x 为水平放置试样的传热系数 $[W/(m^2\cdot^{\circ}C)]$ 。

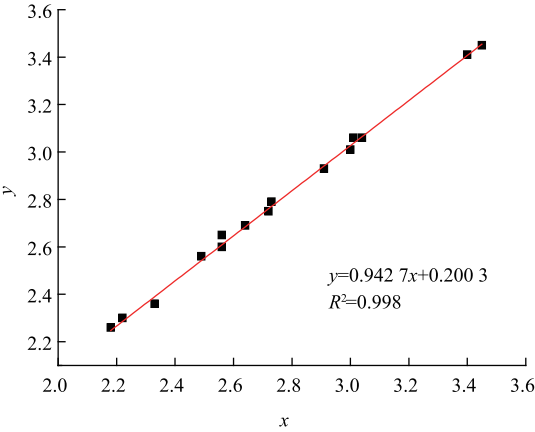


图4 两种放置方式下羽绒试样保暖性线性拟合结果
Fig.4 Linear fitting results of two kinds of placement treatment of down

表5 模型汇总
Tab.5 Model summary table

模型	非标准化系数		Sig.	R	R ²	调整后 R ²
	B	标准误差				
常数	1.713	0.048	0.000 00 **	0.984	0.968	0.962
n	0.232	0.010	0.000 00 **			
Z_1	0.206	0.051	0.000 87 **			
Z_2	0.144	0.051	0.011 65 *			

注: * 表示在0.05水平上存在显著性; * * 表示在0.01水平上存在显著性。

2.2 试样表观体积对羽绒保暖性的影响

为了进一步对绗缝因素和试样保暖性关系进行定量分析,以水平绗缝为例,建立绗缝后试样表观体积的近似几何模型,分析绗缝因素对水平放置试样保暖性的影响。

2.2.1 试样表观体积近似几何模型 水平绗缝三维示意如图5所示。 $x-z$ 截面示意如图6所示。

由图5可以看出,水平绗缝试样表观体积可近似视为若干个均匀圆柱体体积之和。记绗缝后两相邻边长度为 a,b ,圆柱体的椭圆截面面积为

S_e ,由A,B,D,A构成的截面面积为 S_s ,单个圆柱体体积为 V_{ce} ,水平绗缝试样表观体积为 V_H 。

根据图6及已知条件有:当绗缝数量为 n 时,圆柱体数量与绗缝数量的关系为 $n+1$ 。

$$c=\frac{l}{2(n+1)} \tag{1}$$

$$d=\frac{lb-b^2}{2(n+1)\sqrt{l^2-b^2}} \tag{2}$$

$$e=\frac{b}{2(n+1)} \tag{3}$$

$$r = \frac{lb}{2(n+1)\sqrt{l^2-b^2}}$$

(4)

$$\theta = \frac{l}{2r(n+1)}$$

(5)

式中: l 为试样长度($l=30\text{ cm}$); n 为绗缝数量; a,b 为绗缝后两相邻缝边实际测量值; c 为弧长; θ 为弧长 c 对应的圆心角; r 为圆柱体截面半径。

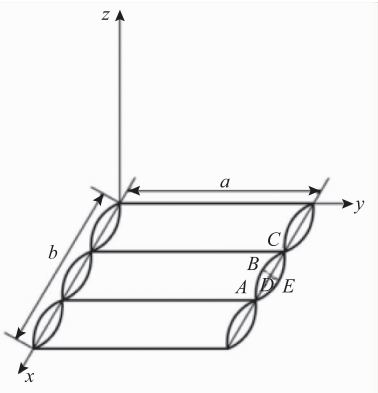


图 5 $n=2$ 时水平绗缝三维示意

Fig.5 3D schematic diagram of gorizontal quilting

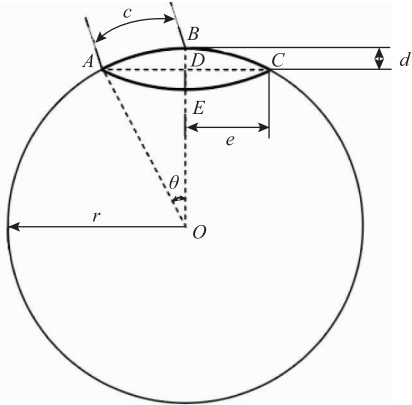


图 6 椭圆柱体截面几何示意

Fig.6 Geometrical diagram of elliptical cylinder section

由于 S_e 不是完全的椭圆形,为精确模拟效果,采用差值法^[14]计算 S_e 。

$$S_e = 4S_\delta = 4\left[\frac{1}{2}\theta r^2 - \frac{1}{2}\left(r - \frac{lb-b^2}{2(n+1)\sqrt{l^2-b^2}}\right)\frac{b}{2(n+1)}\right] = \frac{b\sqrt{l^2-b^2}}{2(n+1)^2}$$

(6)

$$V_{CE} = \frac{ab\sqrt{l^2-b^2}}{2(n+1)^2}$$

(7)

$$V_H = \frac{ab\sqrt{l^2-b^2}}{2(n+1)}$$

(8)

2.2.2 试样表观体积与羽绒保暖性的关系 水平绗缝试样表观体积近似几何模型计算结果见表 6。

表 6 试样表观体积计算结果与传热系数的比较
Tab.6 Calculation results of apparent volume of sample

绗缝数量/ 条	试样表观 体积/ dm^3	试样传热系数/ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
0	2.533	1.86
1	1.521	2.07
2	1.349	2.21
3	1.105	2.57
4	0.936	2.73
5	0.832	3.01
6	0.711	3.40

由表 6 可知,试样的表观体积随绗缝数量的增加而减小,水平放置试样的传热系数随表观体积的增大而减小,表明此类试样保暖性随表观体积的增大而增加。对绗缝数量与试样表观体积的关系进行回归分析,在显著水平 $\alpha=0.05$ 下,回归模型显著性检验的概率 p 值小于显著水平(回归模型 Sig = 0.003 45、各系数分别为 Sig = 0.043 87,0.008 27,0.000 13),表明可建立回归模型。由此得到回归模型:

$$V = 0.058n^2 - 0.608n + 2.352, R^2 = 0.941。$$

式中: n 为绗缝数量(条); V 为试样表观体积(dm^3)。

对水平放置试样的表观体积与传热系数的关系进行回归分析,在显著水平 $\alpha=0.05$ 下,回归模型显著性检验的概率 p 值小于显著水平(回归模型 Sig = 0.000 22,各系数分别为 Sig = 0.000 02,0.000 52,0.001 33),表明可建立回归模型。水平放置试样的表观体积与传热系数的回归模型:

$$x = 0.784V^2 - 3.333V + 5.277, R^2 = 0.985。$$

式中: x 为水平放置试样的传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]; V 为试样表观体积(dm^3)。

进一步对回归模型进行验证,结果见表 7。

表 7 试样表观体积和传热系数的测试结果比较

Tab.7 Comparison of the predicted results of samples and the measured results

绗缝数量/ 条	试样表观体积/ dm^3		试样传热系数/ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	
	预测	实测	预测	实测
0	2.352	2.533	1.86	1.86
1	1.802	1.521	2.02	2.07
2	1.368	1.349	2.21	2.21
3	1.050	1.105	2.55	2.57
4	0.848	0.936	2.84	2.73
5	0.762	0.832	3.05	3.01
6	0.792	0.711	3.30	3.40

由表 7 可以看出,模型预测的传热系数分布在

实测传热系数两侧且与实测数据接近,表明实测值与预测值相差较小,回归模型拟合度良好,可用该回归模型对羽绒的保暖性进行定量分析和预测。

3 结 语

文中选取 30 cm × 30 cm 羽绒试样,以水平绗缝、垂直交叉绗缝、斜线绗缝 3 种绗缝形式、0~6 条绗缝,在水平放置和 24 h 悬挂放置两种状态下,测试羽绒试样的传热系数,研究两种放置方式下绗缝形式与绗缝数量对羽绒保暖性的影响。同时建立绗缝后羽绒表观体积的近似几何模型,定量分析和预测羽绒制品的保暖性。研究表明:

1) 绗缝形式对羽绒保暖性影响显著,绗缝形式与处理方式交互作用不显著;3 种绗缝形式的羽绒保暖性从高到低依次为斜线绗缝 > 水平绗缝 > 垂直交叉绗缝。

2) 绗缝数量对羽绒保暖性影响显著,绗缝数量与放置方式交互作用显著。水平放置时,羽绒保暖性随绗缝数量的增加呈递减的趋势;经过 24 h 悬挂放置,羽绒保暖性随绗缝数量的增加呈先增后减的趋势。

3) 两种放置方式下羽绒保暖性有显著差异。羽绒保暖性差值随绗缝数量的增加,呈先急剧下降、后缓慢下降并逐渐趋于相同的趋势。接近羽绒制品实际使用状况的 24 h 悬挂放置方式的较优绗缝数量为 2 条。

4) 当绗缝数量 ≥ 2 条时,两种放置处理下羽绒保暖性呈高度线性相关,建立水平放置与 24h 悬挂放置的羽绒保暖性线性回归模型,模型预测精度可达到 0.998。

5) 以水平绗缝为例,建立绗缝后羽绒表观体积的近似几何模型,羽绒表观体积随绗缝数量的增加而减小,羽绒保暖性随表观体积的增大而增加。并建立绗缝数量与羽绒表观体积、羽绒表观体积与保暖性的回归模型,回归模型可定量分析和预测羽绒制品的保暖性。

参考文献:

- [1] 毛敬,程宁波. 缝制工艺对羽绒服样板设计的影响[J]. 武汉纺织大学学报, 2019, 32(6): 48-53.
MAO Jing, CHENG Ningbo. Influence of sewing process on jacket model design[J]. Journal of Wuhan Textile University, 2019, 32(6): 48-53. (in Chinese)
- [2] 王琼. 羽绒服材料的配伍变化对保暖性的影响[D]. 上海: 东华大学, 2016.
- [3] SATSUMOTO Y, ISHIKAWA K, TAKEUCHI M. Evalua-

ting quasi-clothing heat transfer: a comparison of the vertical hot plate and the thermal manikin[J]. Textile Research Journal, 1997, 67(7): 503-510.

- [4] 代萌婷,屠晔. 新型絮料与传统絮料服用舒适性的灰色近优评价[J]. 毛纺科技, 2020, 48(11): 83-87.
DAI Mengting, TU Ye. Evaluation on wearing comfort of new types of wadding and traditional types of wadding based on grey nearly optimal method[J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(11): 83-87. (in Chinese)
- [5] 张云,吴子婴,及二丽,等. 服装及其面料热传递性能的测试与比较[J]. 纺织学报, 2007, 28(1): 87-90.
ZHANG Yun, WU Ziyang, JI Erli, et al. Measurement and comparison of the thermal transport of fabric and its garment[J]. Journal of Textile Research, 2007, 28(1): 87-90. (in Chinese)
- [6] 黄家成,吴黛唯,刘钰,等. 羽绒服隔热性能测评方法剖析及优化路径探讨[J]. 纺织导报, 2019(8): 92-96.
HUANG Jiacheng, WU Daiwei, LIU Yu, et al. Analysis on the evaluation method of thermal insulation performance of down jacket and discussion on its optimization path[J]. China Textile Leader, 2019(8): 92-96. (in Chinese)
- [7] 何雨. 羽绒服保暖性的测试与评价[D]. 上海: 东华大学, 2020.
- [8] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 35762—2017《纺织品热传递性能试验方法平板法》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [9] GAO J, YU W D, PAN N. Structures and properties of the goose down as a material for thermal insulation[J]. Textile Research Journal, 2007, 77(8): 617-626.
- [10] DAI Mengting, WU Qiaoying, TU Ye. Research on the wearing comfort properties of wadding based on fuzzy comprehensive evaluation [C]//12th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics. Hangzhou: IEEE, 2020: 228 - 232.
- [11] 付贤文,高晶. 鹅、鸭绒纤维形态结构差异及对保暖性能的影响[J]. 纺织学报, 2011, 32(12): 10-14.
FU Xianwen, GAO Jing. Difference of morphological structures between goose down fiber and duck down fiber and their effect on thermal retaining property[J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(12): 10-14. (in Chinese)
- [12] GAO Jing, PAN Ning, YU Weidong. A fractal approach to goose down structure [J]. International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 2006, 7(1): 113-116.
- [13] DARYABEIGI K. Heat transfer in high-temperature fibrous insulation[J]. Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 2003, 17(1): 10-20.
- [14] 黄宣国. 空间解析几何[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2004. (责任编辑: 邢宝妹)