

精纺毛织物透气性预测回归模型研究

佐同林¹, 王立志², 王子鹤¹

(1. 内蒙古工业大学 轻工与纺织学院, 内蒙古 呼和浩特 010051;

2. 内蒙古自治区纤维检验局, 内蒙古 呼和浩特 010011)

摘要:以精纺毛织物为对象, 采用主成分回归方法建立了织物透气性与提取主成分的关系模型; 通过对多元回归模型假设检验、回归方程及系数显著性检验和拟合度衡量, 完成了对该回归方程的有效性检验。结果表明所得方程满足多元回归模型的假设, 多元回归关系非常显著, 拟合度高。

关键词:精纺毛织物; 主成分分析; 透气性预测; 回归模型

中图分类号:TS136 TS131.9

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2014)06-0036-04

精纺毛织物的透气性是其重要风格特征之一, 且受多方面因素影响, 故要对其进行预测比较困难。传统预测方法是建立因素与透气性之间的多元线性回归预测模型^[1-3], 但由于因素间多重共线性的存在, 使其在一定程度上存在预测精度不够的问题。本文采用主成分分析方法, 通过在众多影响因素中提取少数且各自独立的主成分作为自变量, 与透气性作为因变量进行回归以建立回归方程, 并对回归模型假设、方程及系数的显著性、拟合程度进行了检验, 以期实现对精纺毛织物透气性的科学预测。

1 实验部分

1.1 材料和仪器

选用 20 个品种的精纺毛织物作为测试样品。试验仪器: Y511B 型织物密度镜, Y802K 型快速八篮烘箱, Y311 型纱线捻度机, YG461E/II 数字式透气量仪, 扭力天平, 电子分析天平, 布样花边截切机等。

1.2 测试方法

依据 GB/T 5453-1997 测试织物试样透气量 Q ($L/m^2 \cdot s$), 依据 GB/T 7690.2-2001 测试经纬纱捻度 (捻/m), 依据 GB/T 7690.1-2001 测试经纬纱线密度 N_j 、 N_w , 依据 GB/T 7689.2-2001 测试经纬密度 P_j 、 P_w (根/10 cm); 测试和计算织物的平方米克重 W (g/m^2)、经纬纱缩率 a_j 、 a_w (%)、经纬向紧度 E_j 、 E_w 和总紧度 E 。

2 建立回归方程

2.1 主成分分析

表 1 是试样织物结构参数之间的相关系数矩阵。从表 1 可看出, P_j 与 P_w 、 E_j 、 E 之间有较强的正相关性; P_w 与 a_j 有较强的负相关性, 与 E_j 、 E_w 、 E 之间有较强的正相关性; W 和 a_j 、 a_w 有较强正相关性, 与 N_j 、 N_w 有较强负相关性; a_j 与 a_w 有较强正相关性, 与 E 有较强负相关性; N_j 、 N_w 和 E_j 、 E_w 、 E 有较强正相关性; 经纱捻度与纬纱捻度有较强正相关性; E_j 和 E_w 、 E 有较强正相关性; E_w 与 E 也有较强正相关性。因而这 12 项结构参数适宜进行主成分分析。

对上述 12 项结构参数进行主成分分析, 其结果见表 2。

从表 2 可看出, Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 的累积贡献率已经达到 87.71%, 基本上反映了织物结构的全部信息, 所以提取 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 作为主成分。表 2 中特征值表征的是各主成分在各变量上的载荷。设 P_j 为 X_1 , P_w 为 X_2 , W 为 X_3 , a_j 为 X_4 , a_w 为 X_5 , N_j 为 X_6 , N_w 为 X_7 , 经纱捻度为 X_8 , 纬纱捻度为 X_9 , E_j 为 X_{10} , E_w 为 X_{11} , E 为 X_{12} , 从而可得到各主成分的表达式如下 (表达式中各变量已经是标准化变量, 不是原始变量):

$$Z_1 = 0.647x_1 + 0.694x_2 - 0.490x_3 - 0.648x_4 - 0.449x_5 + 0.547x_6 + 0.532x_7 - 0.022x_8 - 0.196x_9 + 0.858x_{10} + 0.866x_{11} + 0.950x_{12} \quad (1)$$

$$Z_2 = 0.589x_1 + 0.106x_2 + 0.131x_3 - 0.054x_4 - 0.124x_5 - 0.433x_6 - 0.584x_7 + 0.850x_8 + 0.721x_9 + 0.302x_{10} - 0.224x_{11} + 0.171x_{12} \quad (2)$$

$$Z_3 = 0.006x_1 - 0.211x_2 + 0.039x_3 + 0.637x_4 + 0.693x_5 + 0.579x_6 + 0.471x_7 + 0.309x_8 + 0.448x_9 + 0.254x_{10} + 0.099x_{11} + 0.116x_{12} \quad (3)$$

$$Z_4 = 0.139x_1 + 0.561x_2 + 0.766x_3 + 0.258x_4 +$$

收稿日期: 2014-06-20; 修回日期: 2014-07-29

作者简介: 佐同林(1974-), 男, 副院长, 硕士, 主要研究方向: 纺织材料的结构与性能、功能性纺织品设计开发, E-mail: 80068869@qq.com。

$$0.432x_3 - 0.229x_6 - 0.248x_7 - 0.239x_8 - 0.241x_9 + 0.003x_{10} + 0.328x_{11} + 0.186x_{12} \quad (4)$$

表1 织物结构参数之间的相关系数矩阵

项目	P_j	P_w	W	a_j	a_w	N_j	N_w	经纱捻度	纬纱捻度	E_j	E_w	E
P_j	1.00											
P_w	0.43	1.00										
W	-0.14	0.05	1.00									
a_j	-0.38	-0.43	0.47	1.00								
a_w	-0.24	-0.26	0.49	0.82	1.00							
N_j	0.01	0.13	-0.42	-0.05	0.07	1.00						
N_w	-0.02	0.03	-0.46	-0.11	0.04	0.81	1.00					
经纱捻度	0.35	-0.05	-0.06	0.06	0.03	-0.12	-0.31	1.00				
纬纱捻度	0.14	-0.20	0.07	0.30	0.11	-0.09	-0.22	0.80	1.00			
E_j	0.87	0.47	-0.35	-0.39	-0.22	0.48	0.38	0.25	0.07	1.00		
E_w	0.37	0.83	-0.22	-0.39	-0.19	0.54	0.58	-0.21	-0.28	0.61	1.00	
E	0.73	0.76	-0.30	-0.51	-0.29	0.46	0.42	0.11	-0.04	0.89	0.86	1.00

表2 前四个主成分的特征值及累积贡献率

项目	成分			
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
P_j	0.65	0.59	0.01	0.14
P_w	0.69	0.11	-0.21	0.56
W	-0.49	0.13	0.04	0.77
a_j	-0.65	-0.05	0.64	0.26
a_w	-0.45	-0.12	0.69	0.43
N_j	0.55	-0.43	0.58	-0.23
N_w	0.53	-0.58	0.47	-0.25
经纱捻度	-0.02	0.85	0.31	-0.24
纬纱捻度	-0.20	0.72	0.45	-0.24
E_j	0.86	0.30	0.25	0.00
E_w	0.87	-0.22	0.10	0.33
E	0.95	0.17	0.12	0.19
特征值	4.77	2.34	1.87	1.55
方差贡献率/%	39.76	19.47	15.60	12.89
累积贡献率/%	39.76	59.23	74.83	87.71

主成分 Z_1 在各变量上的载荷排序为 $x_{12} > x_{11} > x_{10} > x_2 > x_1 > x_4 > x_6 > x_7 > x_3 > x_5 > x_9 > x_8$ 。决定 Z_1 大小的主要是 $x_{12}, x_{11}, x_{10}, x_2, x_1$ 五个指标,其相当于 4.8 个原始指标的作用,可以反映全部信息量的 39.763%。从中还可以发现,和织物紧密程度密切相关的指标都排在比较靠前的位置,表明主成分 Z_1 主要反映织物的紧密程度,因此可将 Z_1 称为紧密程度因子。

主成分 Z_2 在各变量上的载荷排序为 $x_8 > x_9 > x_1 > x_7 > x_6 > x_{10} > x_{11} > x_{12} > x_3 > x_5 > x_2 > x_4$ 。决定 Z_2 大小的主要是 x_8, x_9, x_1, x_7, x_6 五个指标,其相当于 2.3 个原始指标的作用,可以反映全部信息量的 19.466%。从中可以看出,描述纱线规格的相关指标排在比较靠前的位置,表明主成分 Z_2 主要反映纱线规格

(主要集中在纱线粗细程度上),因此可以将 Z_2 称为纱线规格因子。

主成分 Z_3 在各变量上的载荷排序为 $x_5 > x_4 > x_6 > x_7 > x_9 > x_8 > x_{10} > x_2 > x_{12} > x_{11} > x_3 > x_1$ 。决定 Z_3 大小的主要是 x_5, x_4, x_6, x_7 四个指标,其相当于 1.9 个原始指标的作用,可以反映全部信息量的 15.598%。从中可以看出,反映纱线在织物中交织状态的相关指标排在靠前的位置,表明该主成分主要反映经纬交织结构相的状态,因此可以将 Z_3 称为结构相因子。

主成分 Z_4 在各变量上的载荷排序为 $x_3 > x_2 > x_5 > x_{11} > x_4 > x_7 > x_9 > x_8 > x_6 > x_{12} > x_1 > x_{10}$ 。决定 Z_4 大小的主要是 x_3, x_2, x_5 三个指标,其相当于 1.5 个原始指标的作用,可以反映全部信息量的 12.885%。从中可以看出,反映织物厚重情况、纱线在织物中交织状态及纱线规格的相关指标排在靠前的位置,表明该主成分反映织物本身的厚重情况,因此可以将 Z_4 称为厚重程度因子。

以上四个主成分的方差累计贡献率为 87.71%,基本代表了 12 个原始指标的绝大部分信息。从各主成分反映内容来看,基本涵盖了织物构成的四个方面:经纬纱交织状态,经纬纱规格、织物紧密程度和厚重。

2.2 透气性与主成分多元回归方程的构建

用透气量做因变量,主成分 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 作自变量进行多元回归分析,所得到的线性回归方程如下:

$$Q = 208.544 + 0.119Z_1 - 0.036Z_2 - 0.145Z_3 - 0.331Z_4$$

3 多元回归方程有效性检验

3.1 模型假设检验

利用求得的多元回归方程及样本数据可求得相应的预测值及残差,结果如表3所示。

表3 预测值及残差

样本序号	预测 Q	残 差	样本序号	预测 Q	残 差
1	120.60	0.00	11	117.37	-3.67
2	118.87	3.53	12	135.81	-11.41
3	139.10	-7.40	13	87.16	9.94
4	126.89	1.81	14	110.87	3.43
5	113.18	5.72	15	88.31	-17.01
6	98.45	-11.75	16	116.91	6.69
7	96.99	-0.59	17	84.73	-1.03
8	112.15	0.65	18	99.46	4.94
9	130.40	-1.60	19	113.05	-6.55
10	128.51	-2.01	20	119.00	26.30

对残差进行单总体的 t 检验,检验结果如表4所示,可知从总体上来说残差均值为0,即 $E(\epsilon) = 0$ 。

表4 残差单总体检验

t	df	Sig. (双侧)	均值差值	差分的 95% 置信区间	
				下 限	上 限
0.00	19	1.00	0.00	-3.02	3.02

利用正态概率图对残差的正态分布假设进行检验,正态概率图如图1所示。从图1可看出,观测量的残差值均匀分布在对角线(对角线位正态分布线)两侧,没有明显的分布规律,因此可以认为残差符合正态分布^[4-5]。

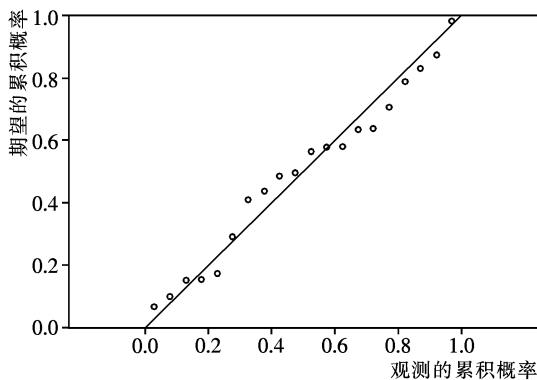


图1 残差正态概率图

综上所述,模型假设得到满足,它是多元回归关系显著性检验的基础。

3.2 回归方程及系数的显著性检验

从表5可看出,回归方程 $F = 11.35$, $\text{Sig } F = 0.000193 < 0.01$,表明方程非常显著,回归方程的建立是有意义的。

从表6可看出, Z_1 的回归系数检验 $t = 3.994$, P

$= 0.001 < 0.01$; Z_4 的回归系数检验 $t = -5.337$, $P = 0.000 < 0.01$,表明 Z_1 、 Z_4 的回归系数检验达到非常显著水平,即织物构成紧密程度及厚重对透气性影响非常显著。 Z_2 的回归系数检验 $t = -0.664$, $P = 0.517 > 0.01$; Z_3 的回归系数检验 $t = -0.953$, $P = 0.356 > 0.01$,表明 Z_2 、 Z_3 的回归系数检验不显著,即织物构成中纱线因素及结构相因素对透气性影响不显著。

表5 线性回归方程的方差分析表

项 目	df	SS	MS	F	Significance F
回归分析	4	4 833.13	1 208.28	11.35	0.000193
残 差	15	1 597.11	106.47		
总 计	19	6 430.24			

表6 回归方程系数的显著性检验

	Coefficients	标准误差	t Stat	P-value
Intercept	208.544	30.334	6.875	0.000
Z_1	0.119	0.030	3.994	0.001
Z_2	-0.036	0.055	-0.664	0.517
Z_3	-0.145	0.152	-0.953	0.356
Z_4	-0.331	0.061	-5.377	7.7E-05

3.3 拟合程度衡量

提取的四个主成分对透气性的决定系数达到 $R^2 = 0.752$,表明建立的模型中所包含的四个变量能够解释建立模型 75.2% 的因变量变化,拟合方程在预测透气性时具有较好的参考价值,属于拟合度较好方程。从图2也可看出两条折线比较吻合。

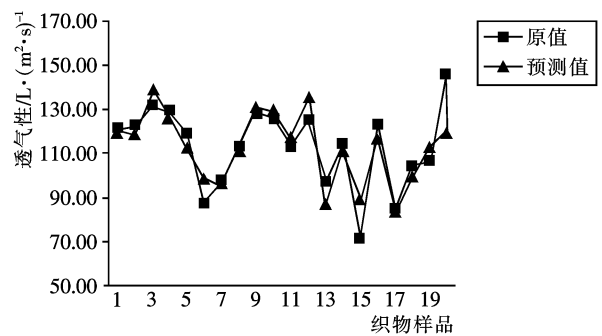


图2 透气性预测值与原值对比

4 结论

选取与精纺毛织物透气性能密切相关的12项织物基本参数作为影响因素,对其进行主成分分析,提取出了四个主成分,通过回归分析建立起透气性预测模型。

对该多元回归模型假设的检验,回归方程及系数的显著性检验和拟合度衡量可认为,采用主成分回归模型对精纺毛织物透气性进行预测,不仅可以提高预

测的精度,简化模型自变量数目,而且有效避免了自变量之间的多重共线性。

参考文献:

- [1] 荆妙蕾. 轻薄型精纺毛织物的结构参数对其服用性能的影响[J]. 毛纺科技, 2006, (5): 48—51.
[2] 姜为青, 樊理山. 薄型精纺毛织物透气性与织物结构参数

的关系[J]. 毛纺科技, 2007, (10): 45—47.

- [3] 徐广标, 邱茂伟, 王府梅. 精纺毛织物的孔隙与结构及透气性的关系[J]. 毛纺科技, 2005, (4): 14—17.
[4] 邬形, 周涛, 袁淑君. 数据统计分析: SPSS 原理及其应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001. 173—174.
[5] 张宜华. 精通 SPSS[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001. 256—257.

Study on the Regression Model of Prediction on Air Permeability of Worsted Fabrics

ZUO Tong-lin¹, WANG Li-zhi², WANG Zi-he¹

(1. Institute of Light Industry and Textile, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China;

2. Fiber Inspection Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010051, China)

Abstract: The relation model between the fabric air permeability and extracted principal components was built by principal component regression method using the worsted fabric as research objects. Through the hypothesis testing on multiple regression models, significant test on regression equation and coefficient and measure on the fitting effect, the validity test on the regression equation was finished. The results showed that the equation met multiple regression model assumptions. The multiple regression relationship was very significant and the degree of fitting was high.

Key words: worsted fabric; principal component analysis; prediction of the air permeability; regression model

(上接第 35 页)

3 结论

(1) FR-C 阻燃剂对苧麻织物的最佳阻燃工艺为: 阻燃剂用量 140 g/L, 焙烘温度 160 °C, 焙烘时间 4 min。

(2) 阻燃整理对苧麻织物的断裂强力有较小的损伤, 透湿性略有下降。阻燃整理后的苧麻织物具有较好的耐洗性, 可提高苧麻织物的抗皱性。

参考文献:

- [1] 刘凤媛. 织物阻燃整理技术[J]. 消防技术与产品信息,

2014, (6): 38.

- [2] 李红, 郑来久. 亚麻织物阻燃整理的技术探讨[J]. 印染助剂, 2004, 21(1): 50—51.
[3] 郑来久, 张宁. 基于亚麻黄麻织物阻燃整理的研究[J]. 纺织学报, 2003, 24(6): 77—78.
[4] 周燕. 涤纶织物的 DP-150 耐久阻燃整理[J]. 印染, 2010, (11): 32—33.
[5] 刘东发, 李晓增. 环保阻燃剂对棉织物阻燃性能的研究[J]. 化纤与纺织技术, 2012, 41(3): 5—7.
[6] 李红, 郑来久. 麻织物的无甲醛阻燃整理[J]. 印染助剂, 2010, 27(1): 39—40.

The Flame-retardant Finishing Process of Ramie Fabric

XU Chao-wu

(Suzhou Institute of Trade and Commerce, Suzhou 215009, China)

Abstract: The flame-retardant finishing process of ramie fabric was studied. The process parameters of flame-retardant finishing of ramie fabric were analyzed, and the influences of the finishing process on the ramie fabric properties were discussed. The result indicated that when the concentration of flame-retardant FR-C was 140 g/L and cured at 160 °C for 4 min, the finished ramie fabric exhibited the best flame-retardancy, good durable-washing properties and little damage to breaking strength. The moisture permeability of the finished ramie fabric was decreased slightly, and the wrinkle resistance was increased obviously after flame-retardant finishing.

Key words: ramie fabric; flame-retardant finishing; durable-washing properties; moisture permeability; wrinkle recovery angle