

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017060070706

多组分柔丝蛋白纤维面料生产工艺参数优化

张辉, 崔萍

(兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 从设计需求出发, 通过试验确定符合设计要求的多组分柔丝蛋白纤维面料生产工艺方案, 要求设计面料的拉伸、悬垂、抗皱 3 个指标综合性能最佳。根据实际条件选取混纺比、织物组织、经纬密度 3 个试验因素分别进行单因素试验, 试验中断裂强度、动态悬垂系数、折皱回复角分别控制在 700 N/(5 cm)、55%、600°左右。利用多重比较分析选取适合的因素水平进行正交试验, 通过正交试验和模糊物元分析, 最终确定柔丝蛋白纤维面料生产优化工艺参数为: 羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝比例为 60/20/15/5, 织物组织为八枚三飞经面缎纹, 经纬密度分别为 360 根/(10 cm)、310 根/(10 cm)。

关键词: 柔丝蛋白纤维; LSD 分析; 混合水平正交设计; 模糊物元分析

中图分类号: TS 106.81 文献标志码: A

Optimization of production parameters for multi-component soft silk protein fiber fabrics

ZHANG Hui, CUI Ping

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China)

Abstract: To fulfill the integrated performance requirements in three main aspects: tension, drape and crease-resistance, the production process of soft silk protein fiber fabric were determined through a series of experiments. The experimental factors—blending ratio, fabric texture and fabric density were selected for single factor experiment, and the tensile strength is about 700 N/5cm, dynamic drape coefficient is around 55%, and crease-resistance is about 600°. The fuzzy matter element analysis and orthogonal experiment, which was arranged in the appropriate factor level (using multiple comparative analysis), proved the optimized content of the fabric is wool/ polyester/ soft silk protein fiber /silk: 60/20/15/5, the texture of the fabric is eight pieces of three fly satin, warp density and pick density is 360/310 root/(10 cm).

Keywords: soft silk protein fiber; LSD analysis; mixed horizontal orthogonal design; fuzzy matter element analysis

柔丝蛋白纤维^[1]是一种水稻蛋白纤维素纤维, 是我国自主研发的一种新型粘胶纤维。我国关于柔丝蛋白纤维的研究, 涉及了纤维、混纺纱线、混纺织物等的结构与性能, 以及混纺纱、混纺织物的生产工艺和后整理工艺等^[2-3]。在实际生产中, 工艺参数的设置比较依赖工艺员的经验, 主观性强, 不能很好

地利用工艺条件或者设备性能, 容易造成设计效果达不到要求, 对于一些没有具体量值的设计, 如织物组织的选择, 主要依赖开发人员对产品市场动向调研的经验。本文采用多重比较分析和模糊物元分析方法, 将生产经验与数理统计相结合, 达到产品综合性能符合实际设计需求的目的, 为生产企业提供理论依据。

1 试验设计

本文所用试验小样由兰州三毛实业股份有限公

收稿日期: 2017-08-13

第一作者简介: 张辉, 硕士生, 主要研究方向为纺织新产品开发。通信作者: 崔萍, E-mail: cping888@126.com。

司提供,设计原则为:根据服用性能和风格的要求,进行主要工艺参数的选择,其他次要工艺参数根据纺织企业常用羊毛混纺面料生产工艺选择,统一安排在不同试验方案中。

正交试验所需要的因素水平是根据多重比较分析的结果选取,每个因素的水平选择2~4个。本文试验首先选取拉伸断裂强度、动态悬垂系数、折皱回复角作为评价指标,并进行单因素试验。根据试验设计调整因素水平,将试验数据分别调整在拉伸断裂强度为700 N/(5 cm)、动态悬垂系数为55%、抗皱回复角为600°左右,将此时单因素试验的水平范围确定后做单因素方差分析,试验结果显著之后再多重比较分析。在每个因素上选取对各个性能指标影响最大的几个水平,得到适合的正交试验因素水平。根据正交试验的结果,选择各个指标相对应的优方案。将每个测试指标的优化方案统一汇总,进行模糊物元分析^[4]试验。

所有试样测试前均放置在恒温(20±2)℃、恒湿(相对湿度65%±2%)间平衡24 h。

1.1 原料选择

本文选用原材料均为直接购进的羊毛、柔丝蛋白纤维、涤纶、桑蚕丝,成品条子,原料的混合从前道工序的混条工序开始,纱线线密度为12.5 tex,原料规格及性能见表1。

表1 原料规格及性能

原料	细度/ μm	长度/mm	断裂强度/ ($\text{cN}\cdot\text{dtex}^{-1}$)
羊毛	18.50	99	1.82
柔丝蛋白纤维	2.44	76	1.61
涤纶	2.00	76	-
桑蚕丝	12.50	76	-

1.2 试验指标

选择试验指标为拉伸断裂强度,动态悬垂系数,织物在经向和纬向上缓急弹回复角的总和。

1.3 试验因素的选取

织物密度对断裂强度的影响主要体现在经纱上机张力的变化、经纬纱线间摩擦作用的变化、纱线屈曲程度的变化。经纬密度越大,经纬纱交织点就越多,则经纬纱间切向滑动阻力就越大,经纬纱相对移动的可能性就越小,织物的动态悬垂系数越高。随着织物经纬密度的增加,织物折皱回复性有下降趋势^[5]。

在其他条件相同时,拉伸断裂强度平纹织物>斜纹织物>缎纹织物。平纹织物较硬挺,缎纹织物较柔软,斜纹织物介于二者之间。抗皱性一般为缎

纹织物>斜纹织物>平纹织物。

由于羊毛纤维和柔丝蛋白纤维的拉伸断裂强度较低,可以选择加入涤纶作为增强纤维,但涤纶的刚性较差,而桑蚕丝是极其轻柔的天然纤维,均匀柔和,因此加入少量桑蚕丝纤维,可以改善织物悬垂性能和抗皱性能。此外,平纹织物综合性能的可调节性相较于斜纹组织织物和缎纹组织差,所以选用平纹小提花组织。

本文试验选取混纺比、经纬密度、织物组织3个试验因素,开发拉伸性、悬垂性、抗皱性3个指标综合性能最佳的柔丝蛋白纤维混纺面料。

2 生产工艺流程

2.1 纺 纱

条染复精梳毛条:复洗→混条→复精梳,采用FBG412混条机,经过4道针梳并条工序,梳理好的毛条继续进行前纺梳理。

前纺:FBG412(混条)→B423(头针)→B432(二针)→FB441(一道)→FB441(二道)。

后纺:IDEA细纱机→VTS络筒机→FDS高速并线机→倍捻→蒸纱。

2.2 织 造

整经→穿经→穿综→穿筘→织造。

3 试验结果与分析

3.1 单因素方差分析以及多重比较分析

因素水平见表2。

表2 因素水平表

水平	混纺比例/%	织物组织	密度/ ($\text{根}\cdot(10\text{ cm})^{-1}$)	
			经向	纬向
1	羊毛/柔丝蛋白纤维 70/30	1上2下纬面右 斜纹	350	300
2	羊毛/柔丝蛋白纤维 80/20	2上2下纬面右 斜纹	360	310
3	羊毛/涤纶/柔丝蛋白 纤维60/20/20	八枚三飞经面缎纹	370	320
4	羊毛/涤纶/柔丝蛋白 纤维60/30/10	八枚五飞纬面缎纹	380	330
5	羊毛/涤纶/柔丝蛋白 纤维/桑蚕丝60/20/ 10/10	平纹地经浮线小提 花组织(经线浮长 为4)	390	340
6	羊毛/涤纶/柔丝蛋白 纤维/桑蚕丝60/20/ 15/5	平纹地纬浮线小提 花组织(纬线浮长 为4)	400	350

利用SPSS软件进行方差分析^[6],验证各因素对试验结果具有显著性之后,再进行多重比较分析,方差分析结果见表3。

表3 方差 F 比值

因素	试验指标		
	拉伸断裂强度	动态悬垂系数	折皱回复角
混纺比例	52.3	4.5	32.7
织物组织	17.5	11.6	4.3
经纬密度	7.3	3.8	17.2

经查表得出单因素试验选定的3个因素对各个试验指标均有显著性影响。再做多重比较分析^[7-8],即两两水平之间进行比较,多重比较分析见表4。两两水平的对比数据小于0.05,说明2个水平之间对试验结果影响显著。

表4 多重比较分析表

水平比较	断裂强度			悬垂系数			折皱回复角			
	混纺比例	织物组织	密度	混纺比例	织物组织	密度	混纺比例	织物组织	密度	
1 与	2	0.91	0.06	0.01	0.05	0.20	0.37	0.06	0.21	0.04
	3	0	0	0	0.09	0	0.07	0.87	0.11	0.02
	4	0	0	0	0.44	0	0.04	0.04	0.65	0
	5	0	0.01	0.35	0.72	0	0.03	0	0.21	0
	6	0	0	0.03	0.10	0.03	0.28	0	0.04	0
2 与	1	0.91	0.06	0.01	0.05	0.20	0.37	0.06	0.21	0.04
	3	0	0	0.06	0	0.04	0.01	0.05	0.01	0.58
	4	0	0	0.46	0.01	0	0.01	0.76	0.10	0
	5	0	0.22	0.06	0.02	0.01	0.01	0	0.10	0.01
	6	0	0.11	0.55	0	0.26	0.06	0	0.34	0
3 与	1	0	0	0	0.09	0	0.07	0.87	0.11	0.02
	2	0	0	0.06	0	0.04	0.01	0.05	0.01	0.58
	4	0.80	0.13	0.20	0.31	0.01	0.74	0.03	0.23	0.01
	5	0	0.01	0	0.16	0.47	0.62	0	0.01	0.03
	6	0	0.02	0.02	0.95	0.27	0.43	0	0	0
4 与	1	0	0	0	0.44	0	0.04	0.04	0.65	0
	2	0	0	0.46	0.01	0	0.01	0.76	0.10	0
	3	0.80	0.13	0.20	0.31	0.01	0.74	0.03	0.23	0.01
	5	0	0	0.01	0.68	0.04	0.87	0	0.10	0.31
	6	0	0	0.18	0.34	0	0.27	0	0.02	0.11
5 与	1	0	0.01	0.35	0.72	0	0.03	0	0.21	0
	2	0	0.22	0.06	0.02	0.01	0.01	0	0.10	0.01
	3	0	0.01	0	0.16	0.47	0.62	0	0.01	0.03
	4	0	0	0.01	0.68	0.04	0.87	0.04	0.10	0.31
	6	0.98	0.68	0.16	0.18	0.08	0.21	—	0.34	0.02
6 与	1	0	0	0.03	0.10	0.03	0.28	0	0.04	0
	2	0	0.11	0.52	0	0.26	0.06	0	0.34	0
	3	0	0.02	0.02	0.95	0.27	0.43	0	0	0
	4	0	0	0.18	0.34	0	0.27	0.04	0.02	0.11
	5	0.98	0.68	0.16	0.18	0.08	0.21	—	0.34	0.02

3.2 正交试验

通过方差分析以及多重比较分析可以确定各个指标下每个因素的水平,根据每个因素水平,设计正交试验^[9]。

3.2.1 拉伸试验

参照 GB/T 3923.1—1997《纺织品 织物拉伸性能 第1部分:断裂强力 and 断裂伸长率的测定 条样法》,选用 YG(B) 026H-250 型电子织物强力仪进行织物强力测试,夹距 200 mm,起始拉力为 20 N,预加张力为 3 N,量程为 2 500 N,拉伸速度

为 150 mm/min,拉伸试验因素水平见表 5,拉伸试验结果见表 6。

表5 拉伸试验因素水平表

水平	混纺比例/ %	织物组织	密度/(根·(10 cm) ⁻¹)	
			经向	纬向
1	羊毛/柔丝蛋白纤维 80/20	1 上 2 下 纬面右斜纹	350	300
2	羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维 60/20/20	八枚三飞经面缎纹	370	320
3	羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝 60/20/15/5	平纹地经浮线小提花组织(经线浮长为 4)	400	350

表6 拉伸试验结果

试验号	混纺比例	织物组织	密度	拉伸断裂强度/ (N·(5 cm) ⁻¹)
1	1	1	1	634.92
2	1	2	2	678.90
3	1	3	3	717.98
4	2	1	2	666.20
5	2	2	3	690.38
6	2	3	1	645.29
7	3	1	3	719.82
8	3	2	1	669.52
9	3	3	2	680.93
<i>k</i> ₁	677.27	673.65	649.91	
<i>k</i> ₂	667.30	679.60	675.34	
<i>k</i> ₃	690.10	681.40	709.39	

由表6可以得到最优方案为:羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝60/20/15/5,平纹地经浮线小提花组织,经密400根/(10 cm)、纬密350根/(10 cm)。

3.2.2 悬垂试验

参照 FZ/T 01045—1996《织物悬垂性试验方法》、BS5058 等相关标准,选用 YG(B) 811E 型全自动织物悬垂性能测试仪进行织物悬垂性能测试,夹持盘直径 120 mm,试样直径 240 mm,夹持盘转速 60 r/min,每组试样测试 3 次,悬垂试验因素水平表见表 7^[10],悬垂试验结果表见表 8。

表7 悬垂试验因素水平表

水平	织物组织	混纺比例/%	密度/ (根·(10 cm) ⁻¹)	
			经向	纬向
1	1上2下纬面右斜纹	羊毛/柔丝蛋白纤维80/20	360	310
2	八枚三飞经面缎纹	羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝60/20/15/5	390	340
3	八枚五飞纬面缎纹	-	-	-

表8 悬垂试验结果

试验号	织物组织	混纺比例	密度	动态悬垂系数/%
1	1	1	1	53.8
2	1	1	1	54.4
3	1	2	2	53.3
4	1	2	2	54.1
5	2	1	2	53.1
6	2	1	2	53.4
7	2	2	1	52.3
8	2	2	1	51.7
9	3	1	2	54.7
10	3	1	1	53.6
11	3	2	1	52.3
12	3	2	2	52.9
<i>k</i> ₁	53.90	53.83	53.02	
<i>k</i> ₂	52.63	52.77	53.58	
<i>k</i> ₃	53.38	—	—	

由于悬垂系数越小越好,所以由表8得到的最优方案为:八枚三飞经面缎纹,羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝60/20/15/5,经密360根/(10 cm)、纬密310根/(10 cm)。

3.2.3 抗折皱试验

参照 GB/T 3819—1997《纺织品 织物折痕回复性的测定 回复角法》、ISO 2313、AATCC66 等标准,选用 YG(B) 541E 型智能织物折皱弹性仪进行测试,急弹测试时间为(15±1) s,缓弹测试时间为 5 min±5 s,压力负荷为(10±0.05) N,受压时间为 5 min±5 s,测试工位为 10 位,每组试样测试 1 次,抗折皱试验采用拟水平法^[11-12]确定方案,抗折皱试验因素水平表见表 9,抗折皱试验结果见表 10。

表9 抗折皱试验因素水平表

水平	混纺比例/ %	密度/ (根·(10 cm) ⁻¹)		织物组织
		经向	纬向	
1	羊毛/柔丝蛋白纤维80/20	350	300	八枚三飞经面缎纹
2	羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维60/20/20	370	320	平纹地经浮线小提花组织(经线浮长为4)
3	羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝60/20/15/5	400	350	-

表10 抗折皱试验结果

试验号	混纺比例	密度	织物组织	折皱回复角/(°)
1	1	1	1	639.81
2	1	2	2	579.85
3	1	3	1	532.09
4	2	1	2	642.54
5	2	2	1	568.46
6	2	3	1	532.38
7	3	1	1	658.62
8	3	2	1	619.58
9	3	3	2	550.62
<i>k</i> ₁	583.92	646.99	591.82	
<i>k</i> ₂	581.13	589.30	591.00	
<i>k</i> ₃	609.61	538.36	—	

由表10得到最优方案为:羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝60/20/15/5,经密350根/(10 cm)、纬密300根/(10 cm),八枚三飞经面缎纹。

3.3 综合分析

以上3组正交试验最优方案统计表见表11。

表 11 最优方案统计表

性能试验	混纺比例/%	织物组织	密度/ (根·(10 cm) ⁻¹)	
			经向	纬向
拉伸	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	平纹地经浮线小 提花	400	350
悬垂	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	八枚三飞经面 缎纹	360	310
抗折皱	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	八枚三飞经面 缎纹	350	300

再次安排试验,通过模糊物元分析法^[13],得到一个综合性最佳的方案。根据表 11 制定 6 种试验方案,试验方案表见表 12,试验结果表见表 13。

表 12 模糊物元试验方案

试验号	混纺比例/%	织物组织	密度/(根·(10 cm) ⁻¹)	
			经向	纬向
M ₁	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	平纹地经浮线小 提花	400	350
M ₂	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	平纹地经浮线小 提花	360	310
M ₃	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	平纹地经浮线小 提花	350	300
M ₄	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	八枚三飞经面 缎纹	400	350
M ₅	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	八枚三飞经面 缎纹	360	310
M ₆	羊毛/涤纶/柔 蛋白纤维/桑蚕 丝 60/20/15/5	八枚三飞经面 缎纹	350	300

表 13 模糊物元试验结果

试验号	拉伸强度/ (N·(5 cm) ⁻¹)	动态悬垂 系数/%	折皱回复角/ (°)
M ₁	698.16	54.1	576.81
M ₂	642.53	52.9	592.83
M ₃	620.87	52.4	611.97
M ₄	672.87	53.7	580.71
M ₅	631.60	51.8	643.53
M ₆	628.54	52.0	638.96

3.3.1 复合物元矩阵

将表 13 的数据用复合物元矩阵表示为:

$$\begin{pmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ 698.16 & 642.53 & 620.87 & 672.87 & 631.60 & 628.54 \\ 54.1 & 52.9 & 52.4 & 53.7 & 51.8 & 52.0 \\ 576.81 & 592.83 & 611.97 & 580.71 & 643.53 & 638.96 \end{pmatrix} \quad (1)$$

3.3.2 复合物元矩阵无量纲化处理

将复合物元矩阵中的数据无量纲化处理,建立从优隶属度模糊物元矩阵。从优隶属度转换公式见式(2)(3),当测试指标为正指标(指标数值越大,方案越优)时,用式(2)转换,当测试指标为逆指标(指标数值越小,方案越优)时,用式(3)转换:

$$\mu_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

$$\mu_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

$$(i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, 6)$$

式中: $\min x_{ij}$ 为每个指标中最小值; $\max x_{ij}$ 为每个指标中最大值; μ_{ij} 为每个数值的从优隶属度。

拉伸强度和折皱回复角选用式(2)转换,悬垂系数选用式(3)转换,转换结果为:

$$\begin{pmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ 1 & 0.280 & 0 & 0.673 & 0.139 & 0.099 \\ 0 & 0.522 & 0.739 & 0.174 & 1 & 0.913 \\ 0 & 0.240 & 0.377 & 0.055 & 1 & 0.932 \end{pmatrix} \quad (4)$$

3.3.3 标准模糊物元矩阵和差平方复合模糊矩阵

标准模糊物元由每个指标中最优值所对应的优隶属度确定,本文的标准模糊物元矩阵为: $(1, 1, 1)^T$ 。差平方复合模糊物元矩阵由标注模糊物元与从优隶属度矩阵各项差的平方构成,用 Δ_{ij} 表示,计算后的差平方复合矩阵为:

$$\Delta_{ij} = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ 0 & 0.518 & 1 & 0.107 & 0.741 & 0.812 \\ 1 & 0.228 & 0.068 & 0.682 & 0 & 0.008 \\ 1 & 0.578 & 0.388 & 0.893 & 0 & 0.005 \end{pmatrix} \quad (5)$$

3.3.4 欧氏贴近度评价

欧氏贴近度表示被评价样本与标准样本二者互相贴近的程度,是衡量二者接近程度的一个尺度,量化结果是同一事物多个特征共同作用的综合得分,其值越大表示二者越接近,其指标性能越好,反之则指标性能较差,考虑到本文的具体评价意义,采用欧氏贴近度 ρH_j 作为评价标准^[14]。贴近度复合模糊物元公式为:

$$\rho H_j = 1 - \sqrt{\sum_{i=1}^3 \omega_i \Delta_{ij}} \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, 6) \quad (6)$$

式中 ω 为各个指标所占的权重。

3.3.5 变异系数法确定权重系数

将每个指标测试结果的标准差(S_j)与测试结果的平均值相除得到变异系数 V_j ,对变异系数进行归一化处理,得到各指标的权重。变异系数计算式为:

$$V_j = \frac{S_j}{\bar{x}_j} \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (7)$$

归一化公式:

$$\omega_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^6 V_j} \quad (8)$$

由式(6)(7)(8)得到3种指标的结果为:

变异系数(V_j): 0.046 0.018 0.048

归一化处理(ω_j): 0.411 0.161 0.428

欧式贴近度(ρH_j):

$$\begin{pmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 & M_6 \\ 0.233 & 0.295 & 0.233 & 0.268 & 0.449 & 0.419 \end{pmatrix}$$

综合以上分析,得到方案贴近度排序为: $M_5 >$

$M_6 > M_2 > M_4 > M_1 = M_3$ 。

本文确定的最终优化方案为:羊毛/涤纶/柔丝蛋白纤维/桑蚕丝 60/20/15/5,八枚三飞经面缎纹,经、纬密度分别为 360、310 根/(10 cm)。该最终方案的贴近度未达到最佳,也即依照此方案试织面料的综合性能不是最优,这可能与本文选用的影响因素较少有关,该问题有待在今后的研究中解决。纺织企业在产品设计与开发时,可以参考本文研究方法或结论,根据产品性能需求,制定最适合的生产工艺。

4 结 论

本文运用 SPSS 软件对试验数据做方差显著性检验,在验证试验因素对试验指标影响显著后,对试验数据做多重比较分析。通过多重比较分析得出对试验指标影响最大的试验因素水平,作为该指标正交试验的因素水平。汇总各个指标正交试验得出的优方案所包含的因素水平,将每个因素所包含的水平与其他因素所包含的水平进行组合,并进行筛选,得到模糊物元分析试验方案。通过模糊物元分析得到最优方案,最终验证通过该最优方案试纺出的试样。

用于预测、评估的多重比较分析已经在很多学科领域使用,但是在纺织领域的运用比较少。考虑到多重比较分析的创新性、实用性、简单易懂,本文

将其用于比较分析对于试验因素水平的选取,可以从具有显著性的试验因素水平中找出最具有代表性的几个水平,利用多重比较分析预测得出的最优方案具有实际性,经对比分析检验,可满足试验的设计要求。

参考文献:

- [1] 刘玉磊. 柔丝蛋白纤维的结构与性能[J]. 毛纺科技, 2011, 39(3): 32-35.
- [2] 赵博. 柔丝蛋白纤维的性能特点及产品开发[J]. 上海毛麻科技, 2012(4): 27-28.
- [3] 孟金凤, 孟家光, 张琳玫, 等. 柔丝蛋白纤维混纺纱及其针织物的性能测试[J]. 西安工程大学学报, 2014, 28(6): 663-667.
- [4] 李雪峰. 基于欧式贴近度的模糊物元分析理论在桥梁健康等级评估中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2011(5): 66-69.
- [5] 于伟东. 纺织材料学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006: 293-294, 302, 319.
- [6] 朱红兵, 席凯强. SPSS17.0 中的正交试验设计与数据分析[J]. 首都体育学院学报, 2013, 25(3): 283-288.
- [7] 祁海萍, 申希平. Kruskal-Wallis H 检验平均秩多重比较在 SPSS 软件中的实现[J]. 兰州工业学院学报, 2015, 22(2): 77-78.
- [8] 符民, 文尚胜, 陈浩伟, 等. 基于 LSD 分析 LED 多重光质配比对芦荟生长的影响[J]. 发光学报, 2016, 37(3): 367-371.
- [9] 何为, 薛卫东, 唐斌. 优化试验设计方法及数据分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014: 70-78.
- [10] 王文萍. 四因素混合水平正交试验设计[J]. 科技信息, 2010(23): 653.
- [11] 周敏, 罗列, 黄勤钰. 镍渣粉制备彩色混凝土的正交试验研究[J]. 新型建筑材料, 2016(7): 35-37.
- [12] 杨棚铄, 赵立强, 罗志锋. 通道压裂裂缝铺砂影响因素实验评价[J]. 断块油气田, 2017, 24(2): 294-296.
- [13] 孙凯, 鞠晓峰, 李煜华. 基于变异系数法的企业孵化器运行绩效评价[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 12(3): 166-167.
- [14] 于凤娟, 阎玉秀. 竹炭针织内衣面料服用性能综合评价: 基于熵模糊物元分析[J]. 浙江理工大学学报, 2013, 30(6): 855-858.