

# 因子分析在羊绒针织纱线质量评定中的应用

天津工业大学学报

纱线的质量控制是纺织生产当中的重要环节, 纱线的质量好坏直接影响后序生产工序的进行及最终产品的质量. 近年来, 业内学者在针对

纱线的质量控制是纺织生产当中的重要环节, 纱线的质量好坏直接影响后序生产工序的进行及最终产品的质量. 近年来, 业内学者在针对纱线质量的评价理论方面取得了一定进展, 如对纱线强度、断裂伸长率、条干不匀、捻度不匀、强度不匀、粗节、细节等众多量化评定指标, 采用多元统计理论中主成分分析法、层次聚类分析法等方法进行评价, 结果往往只停留在对某个单一指标或提取的单一同类指标进行分析, 而对多指标的综合分析较少[1-2]. 在实际问题中有的公因子值越小说明结果越好, 有的公因子值越大反映结果越好, 这就使得由公因子得到的综合统计量结果不易解释问题. 为了有效处理综合统计量, 本文提出负指标的概念, 结合 SPSS13.0 统计分析软件, 建立了纱线质量综合评价模型.

## 1 因子分析原理及计算步骤

### 1.1 因子分析原理

因子分析法主要利用降维思想, 在保障信息损失很少的前提下设法将具有一定相关性的指标用一个因子来表示, 使得评价结果易操作且更为客观, 避免指标间的重复信息.

### 1.2 因子分析计算步骤

利用因子分析法解决实际问题时, 常采取以下 3 个步骤:

(1) 对采集到的原始数据进行标准化变换, 目的是消除量纲的影响及指标数量级上的差别. 设  $n$  个样本  $p$  个指标的观测值为  $X = \{x_{ij}\}_{n \times p}$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1,$

$2, \dots, p$ ), 则标准化后指标矩阵为  $Z = \{z_{ij}\}_{n \times p}$ ,  $z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j}{S_j}$ , ( $i=1, 2, \dots,$

$n; j=1, 2, \dots, p$ ). (2) 求相关矩阵  $R$  的特征值与特征向量, 确定因

子数及各指标对每一因子的贡献权重. 引入相关矩阵  $R = (r_{jk})_{p \times p} = 1/n \cdot ZZ^T$ ,

显然,  $R$  是对称矩阵且主对角线上的元素都为 1, 相关矩阵  $R$  的特征根从大到小

依次为  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ , 与其对应的特征向量  $u_1, u_2, \dots, u_p$  组成向量矩阵  $U: U = (u_1, u_2, \dots, u_p)_{p \times p}$ , 称  $A = (\lambda_1 u_1, \lambda_2 u_2, \dots, \lambda_p u_p)$  为因子载荷矩阵.

(3) 求出公因子以确定综合统计量, 计算综合得分. 根据 Thomson 回归估计法可知第  $i$  个公因子的表达式为  $F_i = \beta_{i1}z_1 + \beta_{i2}z_2 + \dots + \beta_{ip}z_p, (i=1, 2, \dots, k)$  式中:  $(\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{ip})$  是矩阵  $A^{-1}$  的第  $i$  行元素, 则综合统计量

$$F = \sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} F_i.$$

其中,  $k$  为  $\lambda_i > 1$  的特征根的个数.

## 2 数据采集与处理

### 2.1 实验方法

影响纱线质量的常用指标有平均伸长率、最低伸长率、强度、条干 CV 值、粗节、细节和棉结, 因此本文分别用 YG136 条干均匀度仪、Y331 捻度机、YG029F 台式全自动强力仪等设备对随机抽取的 50 批不同批次的 38.46 tex 羊绒针织纱进行了上述指标的测试, 数据如表 1 所示.

### 2.2 数据处理及分析

为了找出纱线质量的好坏与各个变量之间的关系以便进行综合评分, 采用 SPSS[3] 进行数据分析, 结果如表 2~表 6 所示. 从表 2 可以看出, KMO 统计量为 0.617, 小于 0.7, 说明各个变量间信息重叠程度可能不是特别高, 有可能做出的因子分析模型不是很完善; 但 Bartlett 球形检验的显著性水平小于 0.05, 则拒绝各变量独立的假设, 即认为变量间具有较高的相关性, 因此, 此方法值得尝试

编 号	平均伸 长率/%	最低伸 长率/%	强度 $f(\text{eN} \cdot \text{dtex}^{-1})$	条干 CV 值/%	粗节 $f(\text{个} \cdot \text{cm}^{-1})$	细节 $f(\text{个} \cdot \text{cm}^{-1})$	棉结 $f(\text{个} \cdot \text{cm}^{-1})$
1	8.00	5.00	5.69	9.52	200.00	0	62.00
2	7.90	5.30	6.12	9.46	220.00	0	95.00
3	13.00	9.40	6.45	9.02	115.00	0	87.00
4	17.00	4.90	10.08	10.06	307.00	15.00	182.00
5	16.80	9.10	8.02	10.06	350.00	20.00	200.00
6	9.70	6.20	5.91	9.29	147.00	5.00	60.00
7	12.80	9.30	8.86	9.14	162.00	0	85.00
8	11.60	9.00	7.57	9.27	155.00	0	87.00
9	10.40	6.10	9.21	10.18	390.00	0	162.00
10	13.70	9.90	6.55	9.54	177.00	0	85.00
11	14.30	10.70	6.82	9.62	317.00	7.00	95.00
12	15.60	8.80	5.12	9.33	160.00	0	95.00
13	10.70	3.60	8.35	9.56	195.00	0	100.00
14	15.80	10.50	5.19	9.59	292.00	2.00	147.00
15	10.50	6.90	4.60	8.95	127.00	0	47.00
16	12.40	8.20	3.84	8.56	42.00	0	102.00
17	14.90	10.40	6.57	9.38	232.00	5.00	130.00
18	10.70	8.40	9.86	9.27	202.00	2.00	0.00
19	12.70	8.40	4.41	10.03	407.00	32.00	137.00
20	15.60	11.20	5.96	8.86	120.00	12.00	32.00
21	11.80	7.90	6.39	9.57	277.00	0	102.00
22	9.50	7.30	6.56	9.41	117.00	52.00	87.00
23	11.80	7.30	6.61	10.36	435.00	0	455.00
24	13.10	8.50	7.03	9.53	120.00	7.00	72.00
25	14.30	6.40	5.75	8.89	120.00	5.00	70.00
26	14.50	10.00	5.35	9.65	190.00	0	110.00
27	13.30	5.40	6.75	8.76	115.00	2.00	57.00
28	15.90	8.60	5.15	9.22	145.00	2.00	120.00
29	14.40	6.60	7.10	9.79	275.00	0	177.00
30	11.00	6.30	6.52	10.83	435.00	5.00	85.00
31	12.90	9.90	5.73	8.88	107.00	5.00	70.00
32	11.30	7.10	5.66	9.22	140.00	0	145.00
33	11.70	9.10	4.63	9.30	177.00	0	110.00
34	13.70	9.60	3.81	9.71	270.00	0	75.00
35	11.70	8.20	6.12	9.07	177.00	0	62.00
36	10.50	10.80	5.16	8.39	47.00	5.00	20.00
37	13.20	6.90	5.16	8.91	87.00	5.00	45.00
38	12.50	7.40	8.45	9.94	292.00	0	37.00
39	17.30	10.10	7.68	8.15	20.00	2.00	40.00
40	17.50	12.80	3.39	8.78	135.00	2.00	92.00
41	15.30	6.10	5.75	8.92	115.00	2.00	65.00
42	17.50	12.80	3.39	9.23	197.00	7.00	47.00
43	13.10	9.60	3.53	9.40	200.00	0	70.00
44	12.70	9.90	3.78	9.77	225.00	7.00	77.00
45	10.60	8.30	3.22	8.43	65.00	0	42.00
46	11.50	9.10	4.07	9.83	477.00	0	152.00

47	9.90	7.20	5.19	8.95	190.00	12.00	100.00
48	18.20	12.20	4.97	9.05	130.00	7.00	117.00
49	19.30	17.00	5.64	9.06	85.00	37.00	77.00
50	16.10	10.70	5.26	9.51	245.00	0	165.00

表 1 羊绒针织纱指标值

表 2 KMO 和 Bartlett 球形检验

Tab.2 KMO and Bartlett's test

KMO 统计量		0.617
	近似 $\chi^2$ 值	166.490
Bartlett 球形检验	自由度	21
	显著性水平	0.000

表 3 变量共同度

Worldcashmere.cn

指标	初始值	提取度
平均伸长率	1.000	0.777
最低伸长率	1.000	0.783
强力	1.000	0.828
负条干 CV 值	1.000	0.870
负粗节	1.000	0.881
负细节	1.000	0.971
负棉结	1.000	0.656

中国飞羽绒行业协会

表 4 方差累计贡献率

Tab.4 Total variance explained

因子	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	2.707	38.674	38.674
2	2.013	28.762	67.436
3	1.046	14.948	82.384
4	0.520	7.430	89.814
5	0.337	4.820	94.633
6	0.282	4.027	98.661
7	0.094	1.339	100.000

表 5 worldcashmere.cn 旋转后的因子载荷矩阵

Tab.5 Rotated component matrix

指标	因子 1	因子 2	因子 3
平均伸长率		0.875	
最低伸长率	0.613	0.840	-0.223
强力		0.889	0.188
负条干 CV 值	0.912	0.169	0.100
负粗节	0.930	0.124	
负细节			0.982
负棉结	0.802		

表 6 因子得分函数系数矩阵

Tab.6 Component score coefficient matrix

指标	因子 1	因子 2	因子 3
平均伸长率	-0.069	0.386	-0.032
最低伸长率	0.029	0.348	-0.157
强力	-0.043	0.406	0.237
负条干 CV 值	0.380	0.020	0.078
负粗节	0.394	-0.008	-0.012
负细节	-0.014	0.033	0.920
负棉结	0.355	-0.100	-0.090

由表 3 可知,几乎所有变量中所含原始信息能被提取的公因子所表示的程度都在 80%以上,因此提取出的公因子对各变量的解释能力是较强的。

SPSS 只提取了前 3 个公因子,而前 3 个因子贡献率达到 82.384%,足以描述纱线质量的好坏由表 5 可知:第 1 个公因子从条干 CV 值棉节方面反映纱线质量的好坏,因此命名子;第 2 个公因子从平均伸长率、最低伸长方面反映纱线质

量的好坏，因此命名为强度因个公因子从细节方面反映纱线质量的好坏，为细节因子. 由表 6 可知各公因子的表达式为：

$F_1 = -0.069$  平均伸长率 +  $0.02$  最低伸

$0.043$  强度 +  $0.38$  负条干 CV 值 +

$0.394$  负粗节 -  $0.014$  负细节 +

$0.355$  负棉结

$F_2 = 0.386$  平均伸长率 +  $0.348$  最低伸

$0.406$  强度 +  $0.02$  负条干 CV 值 -

$0.008$  负粗节 +  $0.033$  负细节 -  $0.1$  负

$F_3 = 0.032$  平均伸长率 -  $0.157$  最低伸

$0.237$  强度 +  $0.078$  负条干 CV 值 -

$0.012$  负粗节 +  $0.92$  负细节 -  $0.09$  负

将各公因子对应的方差贡献率做为权数，合统计量

$$F = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} F_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} F_2 + \frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} F_3 = 0.469476F_1 + 0.349116F_2 + 0.181408F_3$$

可知综合统计量 F 与各个指标之间的关系为：

$$F = \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}, \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}, \frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \right) \times$$

(因子得分系数矩阵) T × (平均伸长率，最低伸长率，强度，负条干 CV 值，负粗节，负细节，负棉结) T =  $0.172898$  平均伸长率 +  $0.140746$  最低伸长率 +  $0.118692$  强度 +  $0.185378$  负条干 CV 值 +  $0.193443$  负粗节 +  $0.148798$  负细节 +  $0.185511$  负棉结 =  $0.172898$  平均伸长率 +  $0.140746$  最低伸长率 +

0.118 692 强度-0.185 378 条干 CV 值-

0.193 443 粗节-0.148 798 细节-

0.185 511 棉结

将表 1 数据代入上式, 可得 39 号样品  $F=1.19$ , 值最大, 说明质量最好; 而 23 号样品  $F=-1.73$ , 值最小, 相比该样品为次品。

验每个工艺参数随机产生 1 万个随机数, 随机数的范围如下: 温度 220~300℃、DCD 5~30 cm, 定量 0~500 g/m<sup>2</sup>. 关于过滤效率和透气量模拟结果的部分最优工艺条件见表 4 (限于篇幅, 最多只保留了 2 位小数。

表 4 计算机模拟的部分最优工艺参数及对应性能的预测值

**Tab.4 Optimum technological parameters and forecasted values by computer simulation**

温度 /°C	DCD /cm	定量 /(g·m <sup>-2</sup> )	过滤效率 预测值/%	温度 /°C	DCD /cm	定量 /(g·m <sup>-2</sup> )	透气量预测值 /(L·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )
270.43	19.29	99.31	95.40	289.46	21.97	161.31	1 084.05
270.9	18.86	99.41	95.39	289.1	21.80	160.03	1 063.53
271.3	18.08	98.43	95.39	289.1	21.80	160.03	1 058.73
269.9	15.95	99.51	95.39	291.05	15.86	179.42	996.04
268.7	18.17	99.37	95.37	288.66	22.16	161.75	992.44
270.4	18.39	97.4	95.35	289.49	18.729 0	163.40	973.84
271.0	16.52	99.14	95.34	270.26	26.27	33.497	971.99
270.5	16.87	100.22	95.33	290.61	16.34	179.59	970.30

本文用临近支持向量回归机的方法建立了熔喷非织造布中工艺参数与性能的预测模型, 并得到了满意的结果, 在此基础上用计算机模拟实验条件并预测对应条件的性能, 从中找出最优工艺条件: 过滤效率最优工艺条件为温度 270℃、DCD 15~19 cm、定量 100g/m<sup>2</sup> 附近, 而透气量最优工艺条件为温度 270~300℃、DCD 20 cm、定量 160 g/m<sup>2</sup> 附近. 该参数对以后的实验将具有参考价值。