

文章编号: 1673-3851 (2012) 01-0023-05

亚麻纱线 USTER 测试结果的主成分分析

郭 金¹, 董锁拽², 周文龙¹

(1. 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;
2. 杭州出入境检验检疫局丝类检测中心, 杭州 310012)

摘 要: 亚麻纱的条干均匀度 USTER 检验比黑板检验更加全面和客观, 但亚麻纱线 USTER 测定数据的离散性大, 规律性远不如棉纱 USTER 的检测结果。对数据特性进行研究, 建立相应的数据分析模型, 是 USTER 检测亚麻纱线质量的关键。尝试利用主成分分析法, 对亚麻纱线用 USTER 测试方法的可行性进行探讨。研究表明 USTER 测定包含了匀度和棉结两个主因子, 因而比黑板分析在指标上包含的信息更多, 也更加全面。

关键词: 亚麻纱; USTER 测试; 黑板检验; 主成分分析; 条干均匀度

中图分类号: TS121.9 **文献标识码:** A

0 引 言

纱线的均匀度是纱线品质的重要指标, 其优劣直接影响成纱的内在和外观质量^[1-2]。目前一般采用黑板检验法和乌斯特(USTER)条干均匀度仪进行检验。前者是感官测定纱线条干不匀的一种方法, 被列为国家标准的检验项目之一。后者是利用电容检测原理, 测试纱条的条干不匀, 在棉纱检测中其测定的 CV 值已经被列入国家标准^[2], 用来评价纱线的质量。

目前, 根据纺织行业标准, 亚麻纱的条干均匀度仍以黑板检验法来检测^[3], 黑板检验成绩是麻纱短片段匀度和细节的综合反映, 检验的主观性强, 而 USTER 检验比黑板检验更加全面和客观, 早在 1993 年黑龙江省纺织产品检测中心就探讨过亚麻纱的 USTER 条干检验, 提出推广普及亚麻纱的 USTER 条干检验是必要、可行的^[4]。前期研究发现, USTER 检测各个指标数值与传统的黑板检测分值之间具有普遍的二次相关关系, 特别是 USTER 检测的匀度值(CV_m)与黑板分值之间具有

很好的相关性。这些研究结果表明, USTER 进行亚麻纱线质量检测是完全可能的。

本文尝试用主成分分析法对亚麻纱线的均匀度检测数据进行研究。主成分分析法(principal component analysis)是一种利用统计学原理建立的描述系统低维模型的方法。综合指标(主成分)不仅保留了原始指标的主要信息, 彼此又完全不相关, 同时比原始指标具有某些更优越性质, 是一种科学、客观的综合评价方法^[5]。本文的尝试可为 USTER 检测亚麻纱线体系的建立提供基础。

1 试验方法

收集不同来源和质量水平的亚麻纱线, 分别做 USTER 测试。将 USTER 测试的结果进行主成分分析, 分析 USTER 检测指标的数据特性, 为亚麻纱线 USTER 测定指标的应用提供参考。

2 数据采集

2.1 取样方法

考虑到纱线的匀度可能会随着纱线的长度片断

收稿日期: 2011-06-27

基金项目: 国家质检总局科技项目(2007IK122)

作者简介: 郭金(1983-), 女, 浙江杭州人, 硕士, 主要从事纺织品测试技术的研究。

通讯作者: 周文龙, 电子邮箱: wzhou@zstu.edu.cn

而异,对每个试样做 10 次,后期处理数据采用 USTER 各项指标 10 次的平均值。所有样品放置于温度(20±2)℃、相对湿度(65±2)%的环境中至少平衡 24 h,然后进行检测。选择检验的亚麻纱规格见表 1。

2.2 试验数据

乌斯特测试采用全自动 USTER TESTER4-S 测试仪,测试速度 200 m/min,测定时间 2 min,测试结果见表 2。表 2 中, U 表示条干不匀平均差系数; $CV_{1\text{ cm}}$, $CV_{3\text{ m}}$, $CV_{10\text{ m}}$ 分别表示为测定片段长度为 1 cm、3、10 m 的变异系数。纱线截面超过预先设定的灵敏度水平门限时则仪器进行计数,−40%、−50%、+35%、+50%、+200%、+280% 均为 USTER TESTER4-S 测试仪的几档灵敏度。

表 1 亚麻纱试样规格

编号	规格/tex(Nm)	供应商
1	41. 67(24)长纤维	哈尔滨检验检疫局
2	27. 78(36)长纤维	哈尔滨检验检疫局
3	41. 67(24)长纤维	舟山金鹰公司
4	38. 46(26)长纤维	舟山金鹰公司
5	27. 78(36)长纤维	哈尔滨检验检疫局
6	27. 78(36)长纤维	哈尔滨检验检疫局
7	27. 78(36)长纤维	哈尔滨检验检疫局
8	27. 78(36)长纤维	舟山金鹰公司
9	27. 78(36)长纤维	舟山金鹰公司
10	41. 67(24)长纤维	舟山金鹰公司
11	41. 67(24)长纤维	舟山金鹰公司
12	41. 67(24)长纤维	千岛湖商络公司
13	41. 67(24)长纤维	千岛湖商络公司

注:表中的长纤维指纤维长度相对较长^[6]。

表 2 USTER 测试数据

编号	$U/\%$	$CV_{1\text{ cm}}/\%$	$CV_{3\text{ m}}/\%$	$CV_{10\text{ m}}/\%$	细节 _{−40%} /(个/km)	细节 _{−50%} /(个/km)	粗节 _{+35%} /(个/km)	粗节 _{+50%} /(个/km)	棉结 _{+200%} /(个/km)	棉结 _{+280%} /(个/km)
1	23. 92	30. 76	9. 98	6. 58	7 339	3 279	3 353	1 825	3 823	1 532
2	26. 34	33. 78	10. 66	7. 09	9 301	4 819	3 855	2 277	5 547	2 415
3	20. 63	26. 89	7. 92	5. 12	5 614	1 686	2 477	1 090	3 817	1 309
4	21. 84	28. 2	8. 81	5. 74	6 297	2 233	2 762	1 318	3 702	1 368
5	23. 82	30. 86	9. 6	6. 27	8 188	3 574	3 456	1 760	5 502	2 262
6	26. 04	33. 69	10. 74	7. 21	9 208	4 659	3 828	2 263	4 722	2 175
7	26. 31	34. 26	11. 13	7. 42	9 259	4 709	3 822	2 251	4 707	2 239
8	24. 3	31. 48	9. 73	6. 27	8 979	4 086	3 609	1 910	6 006	2 449
9	24. 18	30. 9	9. 96	6. 47	8 869	4 001	3 651	1 952	5 859	2 505
10	21	26. 83	8. 57	5. 57	6 207	2 070	2 545	1 146	3 659	1 242
11	20. 9	26. 91	8. 11	5. 05	5 960	1 853	2 592	1 169	4 069	1 401
12	21. 52	28. 2	8. 58	5. 69	6 287	1 900	3 020	1 558	5 326	2 294
13	21. 07	27. 53	8. 63	5. 57	5 908	1 797	2 692	1 248	4 857	1 797

3 主成分分析

3.1 主成分分析的理论

主成分分析法是一种利用统计学原理建立的描述系统低维模型的方法。其主要思想是通过对原始指标(本文为 USTER 测试的 10 个指标)相关矩阵内部结构关系的研究,找出几个综合指标(主成分),使它们尽可能多地保留原始指标的信息,但不完全舍弃某些原始指标,使得综合指标为原始指标的线性组合。综合指标不仅保留了原始指标的主要信息,彼此又完全不相关,同时比原始指标具有某些更优越性质。^[5]

3.2 主成分分析的基本步骤

主成分分析基本步骤是:a)确定分析变量,收集数据,对原始数据进行标准化处理,消除量纲不同的

影响;b)由标准化的数据求出协方差矩阵;c)求特征根、特征向量和主成分分析的方差贡献率;d)提取主成分^[7-12]。

3.3 主成分分析

表 2 中,记指标 U 为 X_1 ; $CV_{1\text{ cm}}$ 为 X_2 ; $CV_{3\text{ m}}$ 为 X_3 ; $CV_{10\text{ m}}$ 为 X_4 ; 细节_{−40%} 为 X_5 ; 细节_{−50%} 为 X_6 ; 粗节_{+35%} 为 X_7 ; 粗节_{+50%} 为 X_8 ; 棉结_{+200%} 为 X_9 ; 棉结_{+280%} 为 X_{10} 。

SPSS 软件是一款数据分析的软件,可以方便地用来做各种数据分析,主成分分析也是其一。

运用 SPSS 软件因子分析功能的主成分法,对数据进行分析^[13-14]。打开 SPSS 软件,将表 2 数据导入。选择菜单项 Analyze-Date Reduction-Factor, 打开 Factor Analysis(因子分析)对话框,将原始变量 $X_1 \sim X_{10}$ 移入 Variables 列表中,得到相关数据报表。

表 3 和表 4 给出了原始变量之间的相关性检验结果。表 3 的上半部分是原始变量的相关系数矩阵。可以看出,矩阵中存在许多比较高的相关系数。

表 3 的下半部分是相关系数显著性检验的 p 值,其中存在大量小于 0.05 的值,这些都说明原始变量之间存在着较强的相关性,具有进行因子分析的必要性。

表 3 相关系数矩阵及相关显著性检验

		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
相关系数	X_1	1.000	0.996	0.983	0.975	0.963	0.987	0.971	0.983	0.499	0.707
	X_2	0.996	1.000	0.979	0.974	0.954	0.977	0.970	0.984	0.511	0.723
	X_3	0.983	0.979	1.000	0.995	0.934	0.962	0.950	0.967	0.440	0.666
	X_4	0.975	0.974	0.995	1.000	0.911	0.944	0.938	0.964	0.413	0.655
	X_5	0.963	0.954	0.934	0.911	1.000	0.990	0.975	0.956	0.647	0.798
	X_6	0.987	0.977	0.962	0.944	0.990	1.000	0.970	0.965	0.552	0.728
	X_7	0.971	0.970	0.950	0.938	0.975	0.970	1.000	0.990	0.658	0.834
	X_8	0.983	0.984	0.967	0.964	0.956	0.965	0.990	1.000	0.585	0.790
	X_9	0.499	0.511	0.440	0.413	0.647	0.552	0.658	0.585	1.000	0.944
	X_{10}	0.707	0.723	0.666	0.655	0.798	0.728	0.834	0.790	0.944	1.000
P	X_1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.003
	X_2	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.003
	X_3	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.066	0.007
	X_4	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.008
	X_5	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.008	0.001
	X_6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.025	0.002
	X_7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.007	0.000
	X_8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.018	0.001
	X_9	0.041	0.037	0.066	0.080	0.008	0.025	0.007	0.018		0.000
	X_{10}	0.003	0.003	0.007	0.008	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	

软件还给出 KMO 检验统计量为 0.760, Bartlett 球形检验的 χ^2 值为 314.213。当 KMO 统计量的取值在 0 和 1 之间,KMO 值越接近 0 表明原始变量相关性越弱,越接近 1 表明原始变量相关性越强。如果 KMO 值小于 0.5 时,较不宜进行因子分析。此处 KMO 统计量等于 0.760,表示可以进行因子分析。Bartlett 球形检验的 χ^2 值为 314.213(自由度为 45), p 值为 0.000,可以进行因子分析。

表 4 给出了 10 个原始变量的变量共同度。变量共同度反映每个变量对提取出的所有公共因子的依赖程度。从表 4 看,几乎所有的变量共同度都在 95%甚至 98%以上,说明提取的因子已经包含了原始变量的大部分信息,因子提取的效果比较理想。

表 5 给出了因子分析各个阶段的特征根与方差贡献率。

其中,“初始的样本相关系数矩阵的特征根”栏

目,有 2 个因子对应的特征根大于 1,因此应提取相应的 2 个公因子;方差贡献率,即特征值除以因子数,如第一个特征值的解释变异量为 $8.753 \div 10 = 87.53\%$;其第三列为各因子的累积方差贡献率。

表 4 变量共同度

	原始变量	变量共同度
X_1	1.000	0.995
X_2	1.000	0.989
X_3	1.000	0.986
X_4	1.000	0.976
X_5	1.000	0.964
X_6	1.000	0.974
X_7	1.000	0.991
X_8	1.000	0.985
X_9	1.000	0.994
X_{10}	1.000	0.984

表5 特征根与方差贡献率

因子	初始样本相关系数矩阵特征根			提取的因子方差贡献率			提取的因子经旋转后的方差贡献率		
	特征根	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征根	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征根	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	8.753	87.530	87.530	8.753	87.530	87.530	7.042	70.416	70.416
2	1.085	10.846	98.376	1.085	10.846	98.376	2.796	27.960	98.376
3	0.099	0.989	99.365						
4	0.030	0.302	99.667						
5	0.017	0.169	99.836						
6	0.010	0.098	99.934						
7	0.004	0.037	99.971						
8	0.002	0.020	99.991						
9	0.001	0.007	99.999						
10	0.000	0.002	100.000						

从“提取的因子方差贡献率”可以看出,前2个因子已经可以解释原始变量98.376%的方差,已经包含了大部分的信息。

从“提取的因子经过旋转后的方差贡献率”可以看出,由于经过了旋转,2个因子的方差贡献已经发生了变化,但是2个因子总的累积方差贡献率并没有改变,仍然是98.376%。

图1给出了因子的碎石图。碎石图其实就是样本协差阵的特征根按大小顺序排列的折线图,可以用来帮助确定提取多少个因子。典型的碎石图会有一个明显的拐点,拐点之前是较大特征根连接形成的陡峭折线,拐点之后是较小特征根连接形成的平缓折线,一般选择拐点之前的特征根数目为提取因子的数目。从图1可以看到,第2个因子以前的特征根普遍较高,连接成了陡峭的折线,而第2个因子之后的特征根普遍较低,连接成了平缓的折线,这进一步说明提取2个因子是比较适当的。

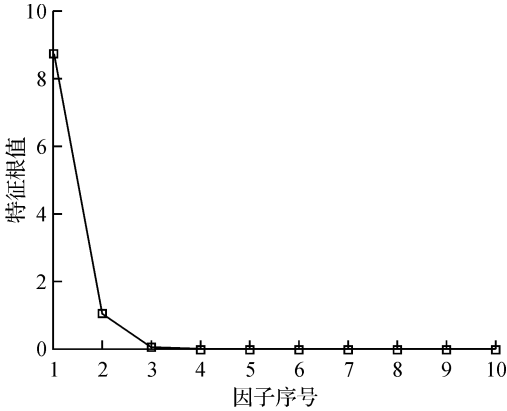


图1 因子碎石图

表6给出旋转前的因子载荷阵,根据表达式可以写出每个原始变量的因子表达式:

$$X_1=0.982F_1-0.178F_2$$

$$X_2=0.982F_1-0.159F_2$$

$$X_3=0.963F_1-0.241F_2$$

.....

从表6可以看出,每个因子在不同原始变量上的载荷没有明显的差别。为了便于对因子进行命名,还需要对因子载荷阵进行旋转。

表7给出旋转后的因子载荷阵。从表7可以看出,经过旋转后的载荷系数较明显地出现两极分化。第一个公共因子在指标 X_4 、 X_3 、 X_1 、 X_2 、 X_6 、 X_8 、 X_7 、 X_5 上有较大载荷,说明与这8个指标有较强的

表6 旋转前的因子载荷阵

	因子1	因子2
X_7	0.995	0.026
X_8	0.990	-0.063
X_5	0.982	0.013
X_1	0.982	-0.178
X_2	0.982	-0.159
X_6	0.981	-0.112
X_3	0.963	-0.241
X_4	0.953	-0.261
X_{10}	0.824	0.552
X_9	0.644	0.761

表7 旋转后的因子载荷阵

	因子1	因子2
X_4	0.963	0.220
X_3	0.963	0.243
X_1	0.949	0.307
X_2	0.940	0.324
X_6	0.917	0.364
X_8	0.902	0.413
X_7	0.865	0.493
X_5	0.859	0.475
X_9	0.209	0.975
X_{10}	0.465	0.876

相关性,可归为一类,由于这些指标均与纱线的粗细均匀度有关,因而命名为“匀度因子”;第二个公共因子在指标 X_9 、 X_{10} 上有较大载荷,可归为一类,这两个指标同属于棉结指标,因此可以命名为“棉结因子”。这两个因子即为主成分。于是,主成分可表示为:(zx_i 是 x_i 的标准化数据)

$$y_1 = 0.332zx_1 + 0.332zx_2 + 0.325zx_3 + 0.322zx_4 + 0.332zx_5 + 0.332zx_6 + 0.336zx_7 + 0.335zx_8 + 0.218zx_9 + 0.279zx_{10}$$

$$y_2 = -0.171zx_1 - 0.153zx_2 - 0.231zx_3 - 0.251zx_4 + 0.012zx_5 - 0.108zx_6 + 0.025zx_7 - 0.060zx_8 + 0.731zx_9 + 0.530zx_{10}$$

4 结 论

在传统的亚麻纱线检验中,黑板分值从原理上只与纱线的匀度相关(因为纱线的粗节和麻粒都要采用另外的方法进行评定),而 USTER 测定包含了匀度和棉结两个主因子,因而比黑板分析在指标上包含的信息更多,也更加全面。如何将 USTER 测定的数据通过合理的方式,充分利用主成分分析方法,建立相应的数据分析模型,是 USTER 检测亚麻纱线质量的关键,也是今后努力的方向。

参考文献:

- [1] GB/T398—1993 棉本色纱线[S].
- [2] GB/T3292—1997 纺织品纱条条干不匀试验方法:电容法[S].

- [3] FZ/T32001—1998 亚麻纱[S].
- [4] 梅曼雪. 亚麻纱 USTER 条干检验的初探[J]. 黑龙江纺织, 1993(1): 54-54.
- [5] 朱建平, 殷瑞飞. SPSS 在统计分析中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 132-135.
- [6] 顾伯明. 亚麻纺纱[M]. 北京: 纺织工业出版社, 1987: 12-22.
- [7] 王良举. 中国省际旅游业经济效益综合评价[J]. 商业研究, 2007 (2): 190-193.
- [8] Zhao Quanlin, Li Xiaogang, Gao Jin, et al. Degradation evaluation of ethylene-propylene-diene monomer (EPDM) rubber in artificial weathering environment by principal component analysis [J]. Materials Letters, 2009 (63): 116-117.
- [9] Andrade J M, Fresco P, Muniategui S, et al. Comparison of oil spillages using mid-IR indexes and 3-way procrustes rotation, matrix-augmented principal components analysis and parallel factor analysis[J]. Talanta, 2008 (77): 863-869.
- [10] 吕 红. 我国上市公司 MBO 的绩效研究: 基于主成分分析法[J]. 商场现代化, 2008(9): 53-56.
- [11] 胡玉柱, 许 敏, 张巧华. 基于主成分分析的高新技术企业业绩评价研究[J]. 财会通讯, 2008 (7): 62-65.
- [12] 刘 贵, 于伟东. 主成分分析的 BP 神经网络在精毛纺粗纱工序中的应用[J]. 纺织学报, 2008 (9): 34-37.
- [13] 苏金明. 统计软件 spss12.0 for windows 应用及开发指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 317.
- [14] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 430.

On the Principal Component Analysis of the USTER Test Data of Linen Yarns

GUO Jin¹, DONG Suo-zhuai², ZHOU Wen-long¹

(1. The Key Laboratory of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology (Zhejiang Sci-Tech University) Ministry of Education, Hangzhou 310018, China; 2. Hangzhou Entry Exit Inspection & Quarantine Bureau of the P. R. China, Hangzhou 310012, China)

Abstract: At present, linen yarn is mainly tested by seriplane. USTER test of linen yarn is more objective, but its result is bigger in deviation and less disciplinary than the cotton yarns. Therefore, it's important to build a mathematical model to analyze the data of USTER test of linen yarn better. In this paper, the principal component analysis is used to analyze the data. The study indicates that the test of USTER contains two factors, the evenness and the nep indicating more information containing in USTER data than that of seriplane. So it is very hopeful for the use of analysis and quality control of the USTER test of line yarn.

Key words: linen yarn; USTER test; seriplane test; principal component analysis; evenness

(责任编辑: 张祖尧)