

# 卡纸质量综合评价的建模研究

杨玮炜, 李志健, 孟卿君

(陕西科技大学 轻工与能源学院, 西安 710021)

**摘要** 本研究选取了评价卡纸质量的10个主要性能参数, 利用主成分分析法对其进行简化, 运算后选取3个相互独立的综合指标反映原来多个指标的信息, 并进一步建立了卡纸质量评价的主成分模型和综合模型。实验结果表明: 简化后的3个综合指标能够较好地反映原评价指标的信息, 用主成分分析法得到的综合模型在快速评价卡纸质量方面得到了较好的应用。

**关键词** 卡纸; 主成分分析; 评价模型

中图分类号 TS807; TS77

文献标识码 A

文章编号 1674-5752(2013)05-57-05

## Research on the Quality Comprehensive Evaluation Modeling of Cardboard

YANG Wei-wei, LI Zhi-jian, MENG Qing-jun

(College of Light Industry & Energy, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract** Ten performance parameters which are related to cardboard quality were selected and simplified by using the principal component analysis method. Three independent comprehensive indexes were used to reflect the original information. Furthermore, the principal component model and comprehensive model were established to evaluate cardboard quality. The result showed that three simplified comprehensive indexes well reflect the original evaluation information. The comprehensive model obtained by using principal component analysis method has certain application value in rapid evaluation of cardboard quality.

**Key words** Cardboard; Principal component analysis; Evaluation model

## 0 引言

以纸张为承印材料的印品质量一直是人们关注的重点, 卡纸作为商品包装的常用材料之一, 已被广泛应用于化妆品、医药、食品、烟酒等行业的商品包装中。衡量卡纸性能的指标包括厚度、紧度、平滑度、光泽度等多个参数, 而不同用途的卡纸印品对卡纸的性能要求不尽相同, 因此, 如何根据印刷条件、印刷工艺和印品所要表达和传递的信息快速选择适合印刷的卡纸是目前面临的一个难题。

在统计综合评价中, 主成分分析法是常被使用的统计分析方法。主成分分析法是霍特林于1933年首次提出来的<sup>[1]</sup>, 旨在利用降维的思想, 把原来多个指标划为少数几个综合指标的一种统计分析方法。例如能够利用主成分分析法, 简化影响印品质量的卡纸性能参数, 用几个综合指标评价卡纸质量, 可以帮助快速选择合适的卡纸与印刷工艺。因此, 本研究采用主成分分析法对影响卡纸质量的10个主要性能评价参数进行综合简化, 建立了卡纸质量评价的主成分模型和综合评价模型, 在预测卡纸质量、选择卡纸方面有一定的实用性。

# 1 主成分分析法简介

## 1.1 基本原理

主成分分析法的基本原理是根据原指标(即变量)间的相关性,通过降维的思想,把原来的多个指标重新组合成一组新的互相无关的综合指标来代替原来的指标。具体的做法就是用 $F_1$ (选取的第一个线性组合,即第一个综合指标)的方差来表达,即 $F_1$ 的方差越大,表示 $F_1$ 包含的信息越多。在所有的线性组合中 $F_1$ 应该是方差最大的,故称 $F_1$ 为第一主成分。如果第一主成分不足以代表原来 $p$ 个指标的信息,再考虑选取 $F_2$ 为第二个线性组合。为了有效地反映原来的信息, $F_1$ 中包含的信息就不需要再出现在 $F_2$ 中,用数学语言表达就是要求 $Cov(F_1, F_2) = 0$ ,则称 $F_2$ 为第二主成分,依此类推可以构造出第三、第四、……、第 $p$ 主成分。

## 1.2 主成分分析的数学模型

$$F_1 = a_{11}ZX_1 + a_{21}ZX_2 \cdots \cdots + a_{p1}ZX_p$$

$$F_2 = a_{12}ZX_1 + a_{22}ZX_2 \cdots \cdots + a_{p2}ZX_p$$

……

$$F_m = a_{1m}ZX_1 + a_{2m}ZX_2 \cdots \cdots + a_{pm}ZX_p$$

其中 $a_{1i}, a_{2i}, \cdots, a_{pi}(i=1, \cdots, m)$ 为 $X$ 的协方

差阵 $\Sigma$ 的特征值所对应的特征向量, $ZX_1, ZX_2, \cdots, ZX_p$ 是原始变量经过标准化处理的值,因为在实际应用中,指标的量纲往往不同,所以在计算之前须先消除量纲的影响,而将原始数据标准化。本研究采用的数据就存在量纲差异,因此在计算过程中需要进行标准化。

## 1.3 主成分分析步骤

主成分分析主要步骤为:根据研究问题选取指标与数据;判定指标间的相关性;确定主成分个数 $m$ ;确定主成分 $F_i$ 表达式;确定综合模型表达式 $F$ ;指标数据标准化;计算主成分与综合主成分值。

# 2 数据处理与结果分析

## 2.1 指标的选取

实验材料:选取金鸥、太阳、美国、酋长、红塔、光芒、森博、博汇、晨鸣9个厂家生产的涂布白卡纸为研究对象,卡纸定量均为 $300\text{g}/\text{m}^2$ ,分别编号为 $1^\#, 2^\#, 3^\#, \dots, 8^\#, 9^\#$ 。

测试指标包括:厚度、紧度、平滑度、白度、光泽度、横向挺度、耐破度、表面强度、内结合强度、油墨吸收值,共10项内容,实验方法均参照国家标准,结果见表1。

表1  $300\text{g}/\text{m}^2$ 涂布白卡纸质量评价性能参数

Tab.1 Performance parameters of  $300\text{g}/\text{m}^2$  coated cardboard for quality evaluation

样本编号	厚度(mm)	紧度( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	平滑度(s)	白度(%)	光泽度(Gs)	横向挺度( $\text{mN} \cdot \text{m}$ )	耐破度(kPa)	表面强度( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	内结合强度( $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$ )	油墨吸收值(%)
1 <sup>#</sup>	0.425	0.710	547	84.82	58.64	6.79	612	3.20	278	14.22
2 <sup>#</sup>	0.440	0.682	630	88.36	44.08	6.64	741	4.26	361	18.14
3 <sup>#</sup>	0.435	0.690	87	83.92	53.18	7.73	619	2.10	275	25.58
4 <sup>#</sup>	0.420	0.714	223	84.22	52.36	12.76	460	2.02	272	16.54
5 <sup>#</sup>	0.435	0.690	544	87.94	57.16	5.87	737	3.08	365	21.01
6 <sup>#</sup>	0.432	0.694	353	88.06	44.30	6.09	671	1.61	362	21.38
7 <sup>#</sup>	0.417	0.719	81	86.06	58.76	7.45	713	2.19	416	22.98
8 <sup>#</sup>	0.422	0.711	75	87.00	51.84	7.63	749	2.94	354	23.10
9 <sup>#</sup>	0.423	0.710	140	85.84	55.56	7.93	621	2.20	341	24.14

## 2.2 主成分个数的确定

采用SPSS软件对表1所列数据进行主成分分析,便可得到每个主成分的方差(即特征值),见表2。主成分个数的选取原则为以能够反映原来变量80%以上的信息

为依据,即一般取累积贡献率 $\geq 80\%$ 时的主成分个数<sup>[2-3]</sup>。由表2可知,第一、第二、第三主成分的累积贡献率已高达83.54%(大于80%),故只需提取3个主成分,即 $m=3$ 。

**表 2 方差分解主成分提取分析表**  
**Tab.2 Principl component analysis with variance decomposition**

成分	初始特征值			提取特征值		
	合计	方差 (%)	累积 (%)	合计	方差 (%)	累积 (%)
1	4.498	44.980	44.980	4.498	44.980	44.980
2	2.392	23.917	68.896	2.392	23.917	68.896
3	1.464	14.644	83.541	1.464	14.644	83.541
4	0.896	8.964	92.505			
5	0.451	4.505	97.011			
6	0.206	2.059	99.070			
7	0.063	0.633	99.703			
8	0.030	0.297	100.000			
9	0.000	0.000	100.000			
10	0.000	0.000	100.000			

**2.3 综合模型的建立**

SPSS 软件分析得到的因子载荷矩阵见表 3，结合表 2 可以看出，第一主成分的贡献率为 44.98%，表现为白度、厚度、耐破度在第一主成分上载荷较大，即与第一主成分呈较强的正相关，而紧度、横向挺度在第一主成分上具有较高的负载荷，即呈现较强的负相关，说明第一主成分基本反映了这些指标信息，且这些指标对卡纸质量影响明显。白度较高的卡纸，其印品色彩还原性较好；厚度、耐破度高的卡纸，具有良好的强度性能，有利于印刷工艺的顺利进行，故此指标与第一主成分正相关。紧度、横向挺度高，导致油墨吸收性降低，最终会影响印品质量，故为负相关。

第二主成分的方差贡献率约为 23.92%，油墨吸收值、内结合强度和平滑度在第二主成分上载荷较大，相关程度较高，说明第二主成分基本反映了这 3 个指标信

息，这 3 种指标对卡纸质量影响较明显。平滑度、油墨吸收性影响印品色彩还原效果，而内结合强度影响印刷工艺能否在卡纸上顺利进行。

第三主成分的方差贡献率约为 14.64%，光泽度、油墨吸收值与其相关程度较高，能够反映卡纸在印刷色彩呈现方面的特征，说明第三主成分基本反映了这些指标信息。所提取的 3 个主成分基本上可以反映全部指标信息，通过主成分分析，将原来的 10 个指标综合成 3 个相互独立的综合指标，能够较完整、较准确地反映原来多个指标的信息。

**表 3 初始因子载荷矩阵表**  
**Tab.3 Load Matrix of initial factors**

	主成分		
	1	2	3
厚度	0.793	-0.352	-0.430
紧度	-0.791	0.302	0.482
平滑度	0.663	-0.618	0.333
白度	0.852	0.264	0.121
光泽度	-0.500	0.209	0.536
横向挺度	-0.777	-0.323	-0.113
耐破度	0.776	0.541	0.206
表面强度	0.629	-0.348	0.465
内结合强度	0.475	0.743	0.269
油墨吸收值	0.003	0.782	-0.539

采用表 3 矩阵中的每一列数据除以相应主成分的特征值开平方根得到主成分的特征向量<sup>[4]</sup>，将得到的特征向量与标准化后的数据相乘，便可得到如式(1)所示主成分表达式，进而得到如式(2)所示主成分的综合评价模型<sup>[5]</sup>。

$$\left. \begin{aligned}
 F_1 &= 0.374ZX_1 - 0.373ZX_2 + 0.313ZX_3 + 0.402ZX_4 - 0.236ZX_5 - 0.366ZX_6 \\
 &+ 0.366ZX_7 + 0.297ZX_8 + 0.224ZX_9 + 0.001ZX_{10} \\
 F_2 &= -0.228ZX_1 + 0.195ZX_2 - 0.400ZX_3 + 0.171ZX_4 + 0.135ZX_5 - 0.209ZX_6 \\
 &+ 0.350ZX_7 - 0.225ZX_8 + 0.480ZX_9 + 0.506ZX_{10} \\
 F_3 &= -0.355ZX_1 + 0.398ZX_2 + 0.275ZX_3 + 0.100ZX_4 + 0.443ZX_5 - 0.093ZX_6 \\
 &+ 0.170ZX_7 + 0.384ZX_8 + 0.222ZX_9 - 0.445ZX_{10}
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 F &= 0.074ZX_1 - 0.075ZX_2 + 0.102ZX_3 + 0.283ZX_4 - 0.011ZX_5 - 0.273ZX_6 \\
 &+ 0.327ZX_7 + 0.163ZX_8 + 0.297ZX_9 + 0.067ZX_{10}
 \end{aligned} \quad (2)$$

(其中  $ZX_j$  为标准化后的数据,  $j=1,2, \dots, 9,10$ )

## 2.4 质量评价

由于各项指标参数量纲不同,为了排除不同量纲对主成分提取的影响,选用 $Z$ 标准化方法,对原始数据进行标准化处理<sup>[6-7]</sup>,即每一变量值与其平均值之差除以该变量的标准差。将标准化后的数据分别代入主成分表

达式(1)和综合模型表达式(2),便可得到各主成分分值及综合评价值,该综合评价值能够较完整的描述卡纸的印刷特性,能够快速分辨纸张性能的优劣及差异大小,并预测出该纸张印刷品的质量等级。评价结果见表4。

表4 主成分及综合主成分值

Tab.4 Principal component and comprehensive value

样本编号	第一主成分 $F_1$	排名	第二主成分 $F_2$	排名	第三主成分 $F_3$	排名	综合主成分 $F$	排名
2 <sup>#</sup>	3.70	1	-1.39	7	0.06	5	1.60	1
5 <sup>#</sup>	2.18	2	0.11	5	0.59	2	1.31	2
6 <sup>#</sup>	1.39	3	0.45	4	-1.29	8	0.65	3
8 <sup>#</sup>	-0.04	4	1.48	2	0.33	4	0.46	4
7 <sup>#</sup>	-0.41	5	2.04	1	0.51	3	0.45	5
1 <sup>#</sup>	-0.66	6	-1.94	8	1.78	1	-0.60	7
3 <sup>#</sup>	-0.80	7	-0.19	6	-2.22	9	-0.88	8
9 <sup>#</sup>	-1.19	8	1.00	3	-0.21	6	-0.39	6
4 <sup>#</sup>	-3.45	9	-1.98	9	-0.21	7	-2.46	9

根据表4数据可知,2<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>卡纸在第一主成分上的得分较高,反映出卡纸具有较高的厚度、白度、耐破度值,但紧度、挺度值较小。7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>卡纸在第二主成分上的分值较高,表现为该卡纸具有较高的内结合强度和油墨吸收值,在印刷机上的印刷适性较好,印刷过程中不易分层,油墨吸收性较好,适合对纸张吸墨性有一定要求的平版胶印和凸版印刷,但这几种卡纸的平滑度较低,这也可以解释它的油墨吸收性;1<sup>#</sup>卡纸在第三主成分上分值较高,表现为该卡纸具有较好的光泽度、紧度和表面强度,但油墨吸收性则较弱,大多采用凹版印刷<sup>[8-9]</sup>。纸张性能优劣的综合评价结果基本上与主成分评价结果是一致的,综合评价能够较好的体现各主成分,利用主成分分析得到的综合模型在快速评价卡纸质量方面具有一定的方便性。

## 3 结论

为了快速评价卡纸质量,本研究选取能够较全面反映卡纸性能的10个卡纸性能指标参数进行研究,利用主成分分析法对其指标参数进行了简化综合,用3个相互独立的综合指标对卡纸质量进行评价,结果表明这3个综合指标反映了原指标信息的83.54%,能够较好地反

映卡纸质量,达到快速评价卡纸质量的目标。通过主成分分析,得出了3个主成分表达式,进而得出了用于卡纸质量的综合评价模型,在预测卡纸质量方面有一定的实际意义。

## 参考文献

- [1] 白慧强. 主成分分析法在SPSS中的应用——以文峪河河岸带林下草本群落为例[J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(9): 173-176.  
BAI Hui-qiang. The Application of the Principle Components Analysis in SPSS: Taking the Herbage Community under Forest in the Riparian Zone of Wenyuhe River as the Example [J]. Sci-tech Information Development & Economy, 2009, 19(9): 173-176.
- [2] 银建华, 苗杰. 主成分分析和因子分析在评价体系中的应用[J]. 昌吉学院学报, 2009, (2): 103-107.  
YIN Jian-hua, MIAO Jie. The Application of Principal Component Analysis and Factor Analysis in Evaluation System [J]. Journal of Changji University, 2009, (2): 103-107.
- [3] 张鹏. 基于主成分分析的综合评价研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2004.  
ZHANG Peng. Research on the Comprehensive Evalua-

- tion of Principal Component Analysis [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004.
- [4] 智川, 梁巧萍, 陆赵情, 等. 主成分分析法在涂布纸质量综合评价中的应用[J]. 中华纸业, 2010, 31(22): 53-55. ZHI Chuan, LIANG Qiao-ping, LU Zhao-qing, et al. Application of Principal Component Analytical Method in the Evaluation of Coated Paper Performance [J]. China Pulp & Paper Industry, 2010, 31(22): 53-55.
- [5] 万阳. 基于模糊层次-主成分分析法的供应链质量综合评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007. WAN Yang. Comprehensively Evaluating the Quality of Supply Chain Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process-Principal Component Analysis [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007.
- [6] 张迎冬, 何桢. 改进的主成分分析法在多响应优化中的应用[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2012, (11): 97-100. ZHANG Ying-dong, HE Zhen. Application of Improved Principal Component Analysis Method to the Multi-Response Optimization [J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2012, (11): 97-100.
- [7] 吴新生, 谢益民. 主成分分析法在纸或纸板质量综合评价中的应用[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 72-74. WU Xin-sheng, XIE Yi-min. Quality Assessment of Paper and Cardboard with Principal Component Analysis [J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 72-74.
- [8] 赵晨飞. 包装印刷用纸的吸墨性对印品质量的影响[J]. 包装工程, 2008, 29(9): 47-49. ZHAO Chen-fei. Analysis of the Effect of Paper's Ink Receptivity on the Quality of Printed Products [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 47-49.
- [9] 李春艳, 褚夫强. 纸张性能对喷墨印刷品光泽度的影响[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(5): 50-55. LI Chun-yan, CHU Fu-qiang. Effect of Paper Properties on Ink-Jet Printing Gloss [J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(5): 50-55.

### 主要作者



杨玮炜 (1987 年 -), 硕士研究生; 主要研究方向为包装卡纸印刷适性评价体系构建与方法研究。

YANG Wei-wei, born in 1987. She is a post-graduate student and her main research interests include model establishment and method research of printing eligibility evaluation system for packaging paperboard.

E-mail: weiwei20070304@163.com



李志健 (1964 年 -), 教授、博士生导师; 主要研究方向为制浆造纸新技术、轻工业污染控制与节能减排新技术、纸基材料印刷适性。

Professor LI Zhi-jian, born in 1964. He is a Ph. D. supervisor. His main research interests include new technology of pulp and paper making, new technology of light industry pollution control and energy conservation and pollution reduction, paper printability.

E-mail: lizj@sust.edu.cn

(上接第 48 页)

- [11] GABRIELE Moser, SEBASTIANO B S. Generalized Minimum-Error Thresholding for Unsupervised Change Detection from SAR Amplitude Imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(10): 2972-2982.
- [12] 魏立飞, 曹丽琴, 吉媛婷. 基于数学形态学模型的图像缺陷改善研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2013, 5(1): 28-32. WEI Li-fei, CAO Li-qin, JI Yuan-ting. Research of Image Defects Improvement Based on Mathematical Morphology Model [J]. China Printing and Packaging Study, 2013, 5(1): 28-32.

### 主要作者



魏立飞 (1984 年 -), 博士, 讲师; 主要研究方向为图像处理和模式识别。

WEI Li-fei, born in 1984. He got the doctor degree and now is a lecturer. His research interests include image processing and pattern recognition.

E-mail: weilifei2508@whu.edu.cn