

# 现代包装产品的质量评价方法

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2021.03.008

王 强 刘红利

杭州电子科技大学  
人文艺术与数字媒体学院  
浙江 杭州 310018

**摘 要:**在现代包装产业链中,对包装产品质量评价是包装个性化与智能化发展中亟待解决的关键问题。在系统研究包装产品质量特征及其相互作用的基础上,从印刷、结构、交互体验、应用安全和可循环利用5个维度,构建了现代包装产品质量评价的指标体系及其17个关键技术指标,提出了3种包装质量评价方法及其算法模型,即主观评价方法、客观评价方法、综合评价方法。这种主客观相结合的评价体系能够较为科学地评价现代包装产品质量。

**关键词:**包装产品;质量;主观评价方法;客观评价方法;综合评价方法

**中图分类号:** TB488

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2021)03-0051-06

**引文格式:** 王 强,刘红利.现代包装产品的质量评价方法[J].包装学报,2021,13(3):51-56.

## 0 引言

目前,中国社会正处于从高速发展转向高质量发展的进程中。包装产品是一种创造美好生活的重要媒介。新材料、新技术和新工艺的应用,实现了包装产品的技术集成与智能应用;信息化技术的融合,实现了包装产品从传统单一的“辨识判读”向多元的“功能构建”的创新;新理念、新方法的应用,实现了包装产品质量评价方法的变革<sup>[1]</sup>。从现代包装产业链的视角来看,包装产品质量涵盖了包装产品从需求创造、产品设计、包装印刷、包装功能拓展、包装安全、可循环利用以及交互体验等各个环节的质量。适合现代包装产业需求的数字化包装产品质量评价方法,已经成为包装制造转型升级的关键问题和研究热点。

本文在研究国内外学者和研发机构对包装产品质量评价方法的基础上,面向未来包装产品智能制造和数字化评价的需求,从理论、技术及应用3个层面,

解析包装产业链所集成的技术领域和制造环节中包装产品质量的属性及特征;从不同技术和应用视角,探讨包装产品质量的评价指标,并提出一种适合现代包装产品质量评价的新思路和新方法。

## 1 现代包装产品质量评价指标体系构建

现代包装产品是利用增材制造技术和数字信息技术,来实现对产品的保护、美化、识别和交互体验的物质形态。现代包装产品涉及包装结构设计技术、包装印刷技术、包装信息交互技术、包装材料循环利用技术和包装安全技术等多个领域<sup>[2]</sup>。从包装技术视角来看,现代包装产品质量可以分为印刷质量、结构质量、交互体验质量、应用安全质量以及可循环利用质量5个一级指标和17个包装产品质量评价二级指标。其中,属性指标按照包装产品关键质量属性及其

收稿日期:2021-03-21

基金项目:国家科技支撑计划基金资助项目(2012BAH91F00)

作者简介:王 强(1964-),男,湖北荆门人,杭州电子科技大学特聘教授,博士,博士生导师,主要从事色彩复制与色彩管理以及数字印前技术研究, E-mail: profwq@hdu.edu.cn

应用需求的原则来设定；评价参数指标按照包装产品质量主流评价方法中主客观评价参数频度的原则来

选择。常用包装产品的质量评价层级指标体系如图 1 所示。

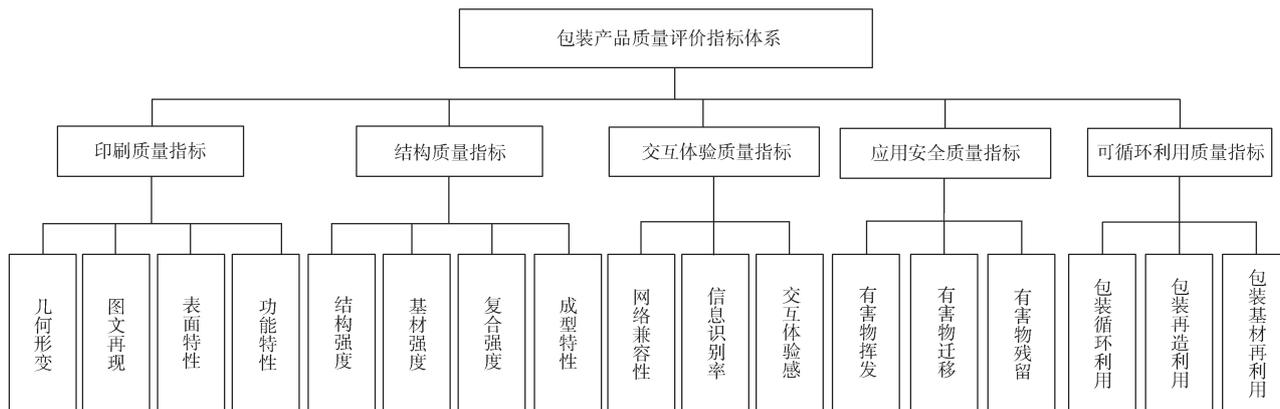


图 1 包装产品质量评价指标体系

Fig. 1 The evaluation indicator system of packaging product quality

### 1.1 包装印刷的质量评价指标

包装外观是用户对包装产品及其质量最直观的判断和评价。包装外观包括印刷外观和形态外观。印刷外观是包装产品视觉美感、品牌价值和消费购买欲的驱动源；形态外观是结构设计与印刷技术工艺的综合表达<sup>[3]</sup>。因此，印刷质量是决定包装产品价值的核心要素，印刷质量的评价要素是包装产品质量评价的核心内容。

包装印刷质量是指在专门设计的三维空间结构上，利用胶印、凹印、凸印/柔印、网印、数字印刷等印刷技术以及印刷技术组合，通过技术、工艺、材料以及增材制造方式，定制、批量化复制或制造产品的综合质量要素表达。包装印刷质量包括以信息识别或内容阅读为目标的“内容表达”质量和以特定功能（防伪、交互）为目标的“功能实现”质量<sup>[4]</sup>。“内容表达”更关注以信息辨识与创意传播为中心的精神感知层面；“功能实现”是通过二维码、隐藏信息、复合 RFID 标签或嵌入芯片等多种方式，拓展包装与各信息系统进行识别、数据交换以及交互体验的功能，更关注以产品制造与应用体验为中心的物质应用层面<sup>[5]</sup>。包装印刷的质量指标主要有几何形变、图文再现、表面特性和功能特性。

### 1.2 包装结构的质量评价指标

产品在展示、运输和营销过程中，需要通过专门设计的包装结构来实现使产品免受损害、减少损耗、增加用户体验的包装功能。从包装技术视角来看，包装结构的实现需要利用互联网技术、数字设计技

术以及信息通讯交换技术。根据产品保护功能的包装需求，在产品外观质量要求的约束下，数字化地定义产品包装的材料属性、结构属性、印刷属性、表面整饰属性及成型加工属性，采用真实实验测试与虚拟仿真测试相结合的方式，对包装与产品的结构适配特性进行设计，得到最小物料消耗和最低材料成本下的高可靠包装结构。包装结构的质量指标主要有结构强度、基材强度、复合强度和成型特性。

### 1.3 包装交互体验的质量评价指标

随着 5G 的普及，以及云计算、大数据、移动互联网和人工智能在社会各个领域应用的深入，万物互联与交互体验正成为产品价值创造的核心要素。包装作为产品全生命周期管理各个环节中的关键信息载体，与产品制造、仓储、物流、营销和增值等各个环节的信息交换、产品管理和用户体验密切相关。包装对产品品牌价值的提升、用户喜好度的增强以及用户产品体验黏性的增加，起着十分重要的作用。交互体验质量决定了产品的市场竞争力和可持续发展空间，决定了包装产品与用户之间信息交换的方式和用户虚拟体验的满足度。交互体验的质量指标主要有网络兼容性、信息识别率和交互体验感。

### 1.4 包装应用安全的质量评价指标

随着社会经济的高速发展和人们生活水平的不断提高，包装应用安全成为产品质量的关键要素，特别是在与大众生活关系紧密的食品、药品、日化用品和儿童用品方面。包装应用安全质量涉及的材料有：包装基材、印刷与整饰的增材、多基材复合的黏合材

料等。基材与包装物的成分迁移, 对人体与环境安全具有一定的应用约束和使用限定。包装应用安全的质量评价指标主要包括有害物挥发、有害物迁移和有害物残留。

### 1.5 包装可循环利用的质量评价指标

近年来, 国家将构建绿色低碳循环经济体系、提高资源综合利用效率作为社会可持续发展的关键环节。践行低碳绿色的工作与生活方式正成为社会发展的潮流。有关资料表明, 全国的快递包裹每年约为400亿件, 其中包装箱和包装袋高达100亿件以上。提高废弃包装物的再利用, 建立循环经济体系迫在眉睫。包装产品的可循环利用, 主要有以包装产品循环利用与包装材料可循环为特征的包装可循环利用, 以及通过优化包装设计, 将包装产品废弃物改造再用的包装再利用等两条途径。可循环利用的质量评价指标主要有包装循环利用、包装再造利用和包装基材再利用。

## 2 包装产品质量评价方法及算法模型

在包装智能工厂和包装企业智能化的转型推动下, 包装产业链从设计、印制、应用到市场的质量评价数字化, 开始颠覆与变革包装制造的技术、工艺、生产流程及其运行管理。从图1中包装产品的质量评价指标可知, 针对包装印刷产品中可定性感知类的主观评价指标和可定量测量类的客观评价指标, 建立定性和定量相结合的包装产品质量评价模型, 是包装产品质量评价方法优化的关键。根据包装产品质量评价的需求和包装产品质量指标的特征, 特别是包装印刷智能制造的发展趋势, 本文提出如下3种质量评价方法及算法模型。

### 2.1 包装产品质量主观评价方法及算法模型

针对包装产品是一种基于设计创意来美化、保护和服务产品的物质载体的本质, 以人的感知为中心, 在约束包装产品特性、评价者特性和观察条件的前提下, 采用合理与客观结合的“专家经验+视觉效果+多尺度分析”的包装产品质量主观评价方法, 筛选5级质量尺度评分或5级妨碍尺度的尺度评分法, 根据视觉感知直接确定包装质量的好坏, 并按照绝对“全优度尺度”或相对“群优度尺度”来建立主观评价的算法模型。

在包装产品质量评价中, 对于包装产品中难以分辨的特征纹理、像质退化和斑点、折痕、裂痕、污

渍等成像损伤<sup>[6]</sup>, 采用基于多维标度技术, 通过两个样本元素之间可感觉差量的几何距离的算法模型(如公式1), 合理反映样本之间的质量关联及其质量水平。确定模型参数后, 通过标准偏差来判定评判者意见的一致性 or 合理性。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_m (x_{im} - x_{jm})^2}, \quad (1)$$

式中:  $d_{ij}$  为样本  $i$  和  $j$  之间差异的几何距离;

$x_{im}$ 、 $x_{jm}$  分别为样本  $i$ 、 $j$  沿第  $m$  维坐标轴的坐标。

### 2.2 包装产品质量客观评价方法及算法模型

在保持与人的主观感受一致的前提下, 针对包装产品质量评价指标体系中, 诸多全面、客观的存在, 可测量及可重复的客观评价指标<sup>[7]</sup>, 采用一个或多个度量指标或参数来建立包装质量评价方法及其算法模型, 通过自动计算的结果来评价包装质量的优劣。这种方法具有与人和环境因素无关, 结果稳定、一致的客观评价优势, 但是也存在无法完全反映人的主观认知特性的不足。在进行包装产品质量评价时, 包装产品质量图文再现指标中的保真度可以采用式(2)所示的均方根误差(root mean square error, RMSE)和式(3)所示的信噪比(signal to noise ratio, SNR)来准确表达。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}, \quad (2)$$

$$SNR = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f^2(x, y)}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\hat{f}(x, y) - f(x, y)]^2}. \quad (3)$$

式(2)~(3)中:  $x$ 、 $y$  为不同维度的度量指标或参数;

$M$ 、 $N$  分别为指标  $x$ 、 $y$  的样本容量;

$\hat{f}(x, y)$  为根据  $x$ 、 $y$  指标计算的算法预测结果值;

$f(x, y)$  为根据  $x$ 、 $y$  指标得到的实际测量结果值。

图文再现的清晰度可根据包装产品图文特征, 分别采用点锐度图像清晰度计算公式(式(4))、信息熵(式(5))及高阶信息熵<sup>[8]</sup>(式(6))来准确表达。

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{m \times n} \sum_{a=1}^8 \left| \frac{df}{dx} \right|}{m \times n}, \quad (4)$$

式中:  $P$  为图像清晰度的计算结果;

$m$ 、 $n$  分别为图像像素的行数和列数；  
 $df$  为灰度变化幅值；  
 $dx$  为像素元间的距离增量；  
 $\frac{df}{dx}$  为按像素 8 邻域计算像素元间的灰度变化率。

$$H = -\sum_{i=0}^{L-1} p_i \log_2(p_i), \quad (5)$$

式中： $H$  为信息熵的结果；  
 $L$  为图像灰度级的最大值；  
 $p_i$  为图像中灰度级为  $i$  的像素的概率。

$$H_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^M p(B_i^N) \log_2\left(\frac{1}{B_i^N}\right), \quad (6)$$

式中： $H_N$  为每个符号的  $N-1$  阶信息熵；  
 $N$  为相继符号的个数；  
 $M$  为新符号的个数；  
 $B_i^N$  为第  $i$  个由  $N$  个相继符号的关联性而构成  $M$  个新符号组成的序列；  
 $p(B_i^N)$  为  $B_i^N$  出现的概率。

### 2.3 包装产品质量综合评价方法及算法模型

包装产品质量综合评价是以客观评价手段为基础，对照主观评价的各种因素，共同构建质量综合评价的标准和方法。综合评价的目标是通过适当评测模式将主观心理感知与客观数据分析相结合，使主客观评价结果更切合实际应用，保持人与机器结果之间的效果一致，从而形成更科学、更标准的评价方法<sup>[9]</sup>。

包装产品质量综合评价方法的重点是在包装产品制造原理的基础上，以印刷复制理论、包装结构设计、交互体验为主线，满足面向包装产品未来发展应用安全需求和可循环利用需求。通过对包装产品及其质量的解构，从定性分析来宏观评价包装产品质量属性，从定量分析来微观解析包装产品质量的各种质量特性，使得主客观评价的计算数据和行业权威专家意见一致，形成基于数据的质量确认与综合评价，为未来基于人眼视觉的包装产品质量评价满足实际工业应用要求奠定基础。

通常，包装产品质量综合评价方法的具体流程如图 2 所示。综合评价可分为 3 个步骤：

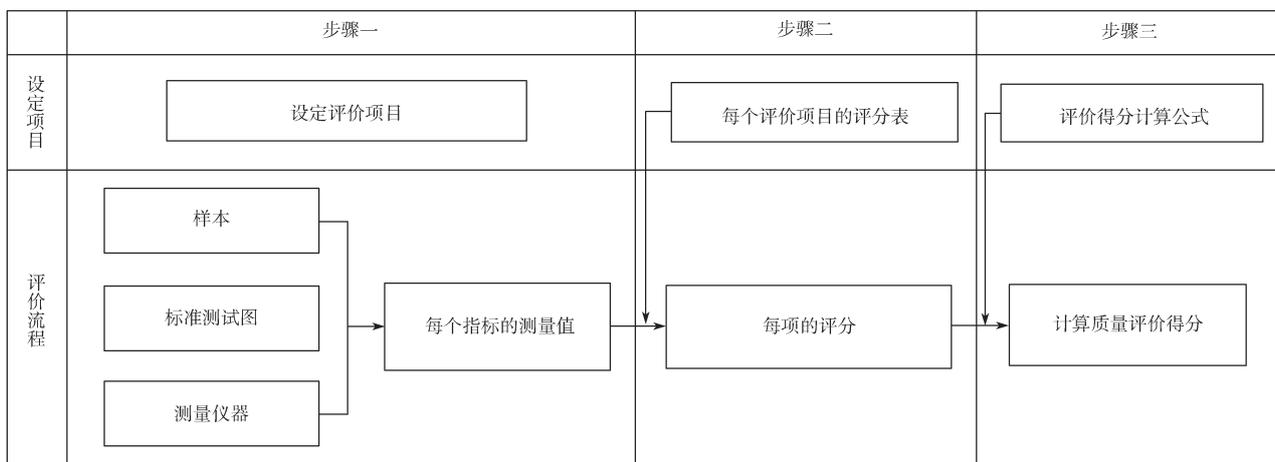


图 2 综合评价的流程框图

Fig. 2 Comprehensive evaluation flow-chart

第一步是参数检测与计算，即针对 17 个质量评价指标，分别采用相关测试仪器和主观评分尺度，将质量指标的各种参数转换为数据，求得综合质量评价所需的各评价项目的值，例如图文再现中的色差<sup>[10]</sup>和网点形状系数，几何形变中的尺寸偏差以及位置偏差，结构强度中的空间利用率和物料利用率等。

第二步是建立评分权重机制和评分表，将第一步所得各评价指标的测量值进行归一化处理，形成

0~10 范围内的评价分。根据各个质量评价指标的评分和包装产品质量特征，筛选合适的办法计算出各指标的权重。

第三步是根据第二步获得的各个评价指标的权重和归一化后的评分数据，然后按照公式 (7) 计算包装产品质量的评价得分，依此对包装产品质量进行综合评价。本研究设定的包装产品质量指标评定如表 1 所示。

表 1 包装产品质量指标评定表

Table 1 The assessment table of packaging product quality specification

一级指标	二级指标	指标重要性排序	指标权重	归一后指标评分	指标值计算结果
印刷质量指标 P	几何形变	$k_{p1}$	$w_{p1}$	$x_{p1}$	$y_{p1}$
	图文再现	$k_{p2}$	$w_{p2}$	$x_{p2}$	$y_{p2}$
	表面特性	$k_{p3}$	$w_{p3}$	$x_{p3}$	$y_{p3}$
	功能特性	$k_{p4}$	$w_{p4}$	$x_{p4}$	$y_{p4}$
结构质量指标 T	结构强度	$k_{t1}$	$w_{t1}$	$x_{t1}$	$y_{t1}$
	基材强度	$k_{t2}$	$w_{t2}$	$x_{t2}$	$y_{t2}$
	复合强度	$k_{t3}$	$w_{t3}$	$x_{t3}$	$y_{t3}$
	成型特性	$k_{t4}$	$w_{t4}$	$x_{t4}$	$y_{t4}$
交互体验质量指标 I	网络兼容性	$k_{i1}$	$w_{i1}$	$x_{i1}$	$y_{i1}$
	信息识别率	$k_{i2}$	$w_{i2}$	$x_{i2}$	$y_{i2}$
	交互体验感	$k_{i3}$	$w_{i3}$	$x_{i3}$	$y_{i3}$
应用安全质量指标 S	有害物质挥发	$k_{s1}$	$w_{s1}$	$x_{s1}$	$y_{s1}$
	有害物质迁移	$k_{s2}$	$w_{s2}$	$x_{s2}$	$y_{s2}$
	有害物质残留	$k_{s3}$	$w_{s3}$	$x_{s3}$	$y_{s3}$
可循环利用质量指标 R	包装循环利用	$k_{r1}$	$w_{r1}$	$x_{r1}$	$y_{r1}$
	包装再造利用	$k_{r2}$	$w_{r2}$	$x_{r2}$	$y_{r2}$
	包装基材再利用	$k_{r3}$	$w_{r3}$	$x_{r3}$	$y_{r3}$

注: 1)  $k_{p1}$ 、 $k_{p2}$ 、 $k_{p3}$ 、 $k_{p4}$ 、 $k_{t1}$ 、 $k_{t2}$ 、 $k_{t3}$ 、 $k_{t4}$  分别按 4:3:2:1 的比例降序取值, 且  $k_{p1}+k_{p2}+k_{p3}+k_{p4}=1$ ,  $k_{t1}+k_{t2}+k_{t3}+k_{t4}=1$ ;  $k_{i1}$ 、 $k_{i2}$ 、 $k_{i3}$ 、 $k_{s1}$ 、 $k_{s2}$ 、 $k_{s3}$ 、 $k_{r1}$ 、 $k_{r2}$ 、 $k_{r3}$  分别按 5:3:2 的比例降序, 且  $k_{i1}+k_{i2}+k_{i3}=1$ ,  $k_{s1}+k_{s2}+k_{s3}=1$ ,  $k_{r1}+k_{r2}+k_{r3}=1$ ; 2) 权重  $w$  的取值与指标重要性排序  $k$  的取值规则相同。

$$\begin{aligned}
 y &= y_{p1} + y_{p2} + y_{p3} + y_{p4} + y_{t1} + y_{t2} + y_{t3} + y_{t4} + \\
 & y_{i1} + y_{i2} + y_{i3} + y_{s1} + y_{s2} + y_{s3} + y_{r1} + y_{r2} + y_{r3} = \\
 & w_{p1}x_{p1} + w_{p2}x_{p2} + w_{p3}x_{p3} + w_{p4}x_{p4} + w_{t1}x_{t1} + w_{t2}x_{t2} + \\
 & w_{t3}x_{t3} + w_{t4}x_{t4} + w_{i1}x_{i1} + w_{i2}x_{i2} + w_{i3}x_{i3} + w_{s1}x_{s1} + \\
 & w_{s2}x_{s2} + w_{s3}x_{s3} + w_{r1}x_{r1} + w_{r2}x_{r2} + w_{r3}x_{r3} \quad (7)
 \end{aligned}$$

### 2.4 3 种包装产品质量评价方法比较

对上述 3 种包装产品质量评价方法的比较可知, 主观评价方法对评价者的专业素质要求很高, 评价结果的一致性易受评价场景因素的影响; 该方法适合具体的小场景评价和多专家团队的大场景评价。客观评价方法对测量仪器的精度以及数据采集的准确性要求较高; 该方法适合以定量指标为主体的包装质量评价, 例如产品的色差等。综合评价方法是将人眼视觉的主观评价和定量数据采集的客观评价相结合的方法, 是一种以标准主导下的新型评价方法。该评价方法是在国际国内相关标准的约束下进行, 能使主客观评价结果保持一致。

## 3 结语

现代包装产品质量评价是一个复杂的心理物理学过程, 涉及包装产品的印刷质量、结构质量、交互体验质量、应用安全质量和可循环利用质量等 5 个一

级指标和 17 个二级指标。本文通过理论分析和实验研究, 系统解构了现代包装产品的质量评价指标及参数, 提出了主观质量评价、客观质量评价和综合质量评价 3 种质量评价方法, 建立了典型指标的质量评价算法模型。这既为包装产品质量评价提供了方法, 又为包装产品质量优化与工艺改善提供了参考方向。

### 参考文献:

- [1] 王 强. 现代色彩复制理论与技术发展综述 [J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 1(4): 1-7.  
WANG Qiang. The Theory and Technology Development of Contemporary Color Reproduction[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 1(4): 1-7.
- [2] 蒲嘉陵. 从技术发展和演变角度论印刷学科属性和技术架构 [J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 1(1): 32-46.  
PU Jialing. A Study on the Disciplinary Framework of Printing at the Standpoint of Technology Evolution[J]. China Printing and Packaging Study, 2009, 1(1): 32-46.
- [3] SIGG F. A New Tool for Quantitative Comparison of Color Differences[EB/OL]. [2021-03-12]. [https://www.researchgate.net/publication/265203636\\_A\\_New\\_Tool\\_for\\_Quantitative\\_Comparison\\_of\\_Color\\_Differences](https://www.researchgate.net/publication/265203636_A_New_Tool_for_Quantitative_Comparison_of_Color_Differences).
- [4] COSTA B T. Color Reproduction Using Hexachrome and

- CMYK[EB/OL]. [2021-03-12]. [https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=984d79b3c59b3a24502b829bd0853a03&site=xueshu\\_se&hitarticle=1](https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=984d79b3c59b3a24502b829bd0853a03&site=xueshu_se&hitarticle=1).
- [5] ZOLAN G. Analysis of Proofing Using the Ugra/FOGRA Media Wedge and Stepped Granger Rainbow[EB/OL]. [2021-03-12]. [https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=dcef7c8ceb4fa771635afd1f92c61a63&site=xueshu\\_se&hitarticle=1](https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=dcef7c8ceb4fa771635afd1f92c61a63&site=xueshu_se&hitarticle=1).
- [6] 李治江. 彩色影像色调重建的理论与实践 [D]. 武汉: 武汉大学, 2005.  
LI Zhijiang. Theory and Practice on Tone Reproduction of Color Photos. Wuhan: Wuhan University, 2005.
- [7] 王鸿南, 钟文, 汪静, 等. 图像清晰度评价方法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 828-831.  
WANG Hongnan, ZHONG Wen, WANG Jing, et al. Research of Measurement for Digital Image Definition[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(7): 828-831.
- [8] 金杨. 印前流程中图像的信息量和信息熵分析 [J]. 北京印刷学院学报, 2000, 8(1): 3-9, 16.  
JIN Yang. Analysis of Information Capacity and Entropy of Image in the Prepress Workflow[J]. Journal of Beijing Institute of Printing, 2000, 8(1): 3-9, 16.
- [9] 高新波, 路文. 视觉信息质量评价方法 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2011: 185-187.  
GAO Xinbo, LU Wen. Quality Assessment Methods for Visual Information[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2011: 185-187.
- [10] 王强, 汤学黎, 范锦文, 等. 数字原稿色域的定量分析与比较 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(9): 806-808.  
WANG Qiang, TANG Xueli, FAN Jinwen, et al. Quantitative Analysis and Comparison in Digital Manuscript Gamut[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(9): 806-808.

(责任编辑: 邓光辉)

## The Quality Evaluation Methods for Modern Packaging Products

WANG Qiang, LIU Hongli

(School of Media and Design, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In modern packaging industrial chain, the quality evaluation of packaging products has become a key issue in the development of packaging individualization and intelligence. Based on the systematical studies of the quality characteristics of packaging products and their interactions, the modern packaging product quality evaluation index system and 17 key technical indicators were constructed from 5 dimensions, including printing, structure, interactive experience, application safety and recyclability, and three packaging quality evaluation methods and their algorithm models were proposed, including subjective evaluation method, objective evaluation method, and comprehensive evaluation method. This evaluation system combining subjective and objective method could efficiently evaluate the quality of modern packaging products.

**Keywords:** packaging product; quality; subjective evaluation method; objective evaluation method; comprehensive evaluation method