织物光泽测试技术研究现状与展望

申　悦，谢莉青*

（青岛大学 纺织服装学院，山东 青岛 266071）

摘　要：综述了织物光泽的理论和评定方法的研究及应用现状，分析了织物光泽测试技术存在的问题，根据计算机视觉和图像分析技术的发展，展望了织物光泽测试技术的发展趋势。

关键词：织物光泽；理论研究；评定方法；测试技术；图像处理

中图分类号：TS101.92　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1673－0356(2017)03－0005－05

织物光泽是织物视觉风格的主要指标之一，也是评价其外观质量的重要依据。无论是服装还是装饰用纺织品，在某种情况下其光泽性能都有可能表现出一种独特的形式美感，对人的审美情趣有较大影响，成为不可或缺的美学因子。因此织物光泽设计和表现对织物视觉效果的改进与成品风格的提升均有重要的意义。同时织物光泽的测试评价技术又是织物表面光泽设计、工艺改进和质量控制的依据。

在 20 世纪 60 年代末已有国外学者开始重视对织物反射机理和织物光泽视觉评价的研究[1－5]，自 80 年代起国内对织物光泽的研究也逐渐增多，如姚穆研究团队持续了 20 多年研究，提出了众多理论、测试方法和分析方法[6－10]；专家学者还研制了许多专用的光泽仪[11－14]，能够从不同方面测定织物的光泽性能。然而目前国内外还没有一种理想的符合人眼视觉原理的客观评价技术。本文对织物光泽的相关理论、评定方法进行了概述，对织物光泽测试技术存在的问题进行了分析，同时根据计算机视觉和图像分析技术的发展，展望了织物光泽测试技术的发展方向。

1　织物光泽理论的研究

织物的光泽是由织物的表面反射光、内部反射光及透射光共同决定的结果[7]，这是物理学的解释。其中方向差异理论的观点认为，织物反射空间不同方向的反射光强度差异越大则其光泽越强；而织物光泽内外差异理论的观点则是织物的反射光中表面反射成分与内部反射成分的相对构成决定其光泽的质与量。从这两个基本理论出发，织物光泽的描述可归纳为光泽量和光泽感问题，国内外学者通过建立各种模拟模型以求能更准确地进行表征和解释。

织物表面反射光包括镜面反射光和漫反射光，是体现织物光泽量的重要因素。例如，织物组织结构模型的引入对镜面反射光和漫反射光的表征更加全面。有国外学者[15－17]在纱线表面面元是完全漫射或纱线表面纤维是镜面反射的简单假设基础上，对光反射进行了计算及分析。由于使用的模型过于简单，其模拟结果十分有限。在此基础上石风俊等[18]结合织物的实际结构状况，假设纱线呈椭圆状弯曲，截面呈椭圆形，在确定参考平面的情况下对纱线进行分析计算得到织物的变角光度曲线，提出了较为全面的光反射模型；从理论上证明了多种因素对镜面反射光的分布均有较大影响，为实测分析变角光度曲线提供了一种理论依据。有文献[15]假定织物面元的漫反射光服从 Lambert 余弦定律，采用规则排列的截面为椭圆形的伸直柱体群作为织物简化模型来对织物的漫反射光分布曲线进行计算。由于所用模型过于简单，计算结果与实际情况明显不符。石风俊等[19]利用较为详细的织物组织结构模型，在织物微面元为余弦漫射和均匀漫射的假设下，对织物的漫反射光分布曲线进行了模拟计算及分析。当织物微面元为余弦漫射时，织物的漫反射光分布曲线也基本符合余弦定律；当微面元为均匀漫射时，漫反射光分布曲线在很大的角度范围内是一条直线，织物和纱线的结构因素及光照条件对织物的漫反射光分布曲线均具有很大影响。

织物光泽质感评定方面也有许多理论和观点，稻垣胜彦等[1－3]根据弗兰纳尔法则对单纤维的偏光反射特性和织物光泽的反射机理进行了模型化。偏光光泽度理论基于织物内部反射光和表面反射光对织物的光

收稿日期：2017-02-10；**修回日期**：2017-02-17

作者简介：申　悦(1992-)，女，硕士研究生在读，主要研究方向为数字化纺织检测技术。

* **通信作者**：谢莉青，女，副教授，E-mail：christ227@126.com。

泽度进行推测，对于透明体如果入射角和反射角 θ 为 $\mathrm{tg}\theta=n$（n 为折射率），则表面反射光为垂直于入射角的偏光；相反如果接受与入射面平行的偏光，则看作是包含从内部发出去的反射光。从表征对象来看，偏光光泽度理论与织物光泽内外差异理论相辅相成。

吕明哲等[8]根据光反射物理学、色彩学、神经生理学和感觉判断心理学的研究成果，建立了织物光泽感产生的理论模型。从物理学光泽感的光学空间域、生理学光泽感的刺激空间域和心理学光泽感的知觉空间域提出了 9 个特征指标，并建立了其间相互转换的隶属度函数式。对 53 种不同织物的仪器测试和主观估计吻合得比较好，基本上符合韦伯·费希纳定律。

蔡乃琛等[11]认为实际上人眼在观察织物时，取得织物一定面积上的反射光积分，这种积分是由织物各微面元反射光对人眼视觉细胞刺激之后积分所形成的。如果离开了各个微面元的反射光刺激，那么这种积分信号只是反映了反射光的总体强弱，不能描述微面元反射光的空间起伏，也就难以反映出人的视感觉。以往的研究只接受样品的大面积反射光，掩盖了织物纤维微面元反射光的空间起伏差别，这种差别就是产生主观光泽感的一个主要因素。

从检索到的文献来看，织物光泽理论的研究成果主要集中在 1969－2005 年之间，以建立模拟织物的光学物理模型为方向，为织物光学物理量的客观量化提供了理论依据。

2 织物光泽评定方法

织物光泽的评价模式有光泽和光泽感之分，即在评价织物光泽时并非抽象或孤立地仅考虑光泽量大小，而应结合光泽质感这一与心理因素有很大关系的概念。如涤纶的仿真丝感可接近于同类真丝织物[11]，毛织物追求的类似肥壮骡马毛背的光泽感（即膘光）等[20]，表明织物光泽的评价是一个复杂问题。目前常用的评定方法可分为感官评定法和仪器测试法。

2.1 感官评定法

感官评定法是凭人的视知觉对织物的光泽感作出的相对优劣主观评定。通常对不同织物的光泽进行比较时广泛采用秩位法，即对需要评定的织物在一定规则下，由几个检验人员分别按各自的判断对光泽排定优劣秩位，然后根据每种织物的总秩位数来评定这几种织物的优劣；或者由一个检验人员对几个织物的光泽作反复评定，排定每次评定的优劣秩位，再求总秩位。排秩位只能相对地比较出织物光泽感的优劣，不能得出定量数值。例如有文献[9]采用 10 分制主观打分的方法对 50 种不同类型的织物进行光泽评定，得到了反光亮度和各向亮度差异率的人工评分，从分数线上只能看出试样之间光泽感的差异。

2008 年 M Gundola 等[21]通过采用大容量试样实验研究方法制定出用于织物光泽评分的量化表，并通过实验证实了依据该表的主观评定与光泽计测试值 ΔY 之间高度相关，统一了感官评定的量化标准，提高了准确度。织物光泽的感观评定法具有简便、快速的优点，但它只能有效地计量织物整体的光泽，无法区分光泽的构成不能充分描述光泽的状态。而且主观评价的性质决定了它始终无法克服人为因素的影响。

2.2 仪器测试法

受织物光泽理论的影响，织物光泽仪器测量的物理量主要取自以下几个方面：①织物表面反射光光强；②织物表面反射光的分布及方向；③织物表面反射光中各种不同类型反射光组分及结构比例。实践中较有代表性的测试方法主要包括镜面光泽度测试、对比光泽度测试、偏光光泽度测试及其他测试等。

2.2.1 镜面光泽度测试

镜面光泽度主要针对织物的反光光亮度，其测试方法是应用物体正反射光的强度、反射率等来评价织物的光泽。对于材质均匀、光滑的表面，一般只存在定向反射成分，这一指标多用于纸、涂料、搪瓷等的光泽测定。织物光泽的定向测试有采用这一指标的，如对不同色调染色的丝织物，光线沿织物经向入射，入射角为 60°及 45°时测试结果与视觉评价有较好的相关性。对于光泽较强的平板试样，宜采用镜面光泽度，但对表面凹凸不平的织物有偏差。

2.2.2 对比光泽度测试

对比光泽度测试以两种不同条件的反射光束的比来表示，根据条件可选择对比度光泽度、二维对比光泽度、三维对比光泽度、NF 对比光泽度、杰弗里斯对比光泽度等。

对比光泽度法是现行纺织行业标准《FZ/T 01097－2006 织物光泽测试方法》采用的方法，纺织品的光泽度多用对比光泽度来度量。即通过测试织物的正反射光光强度及织物的漫反射光光强度，经过光电转换后应用(1)式计算出两者的比值得到织物的光泽度 G_c

(也称为对比光泽度)。许多学者通过测量这一指标来研究不同织物(棉、毛及其混纺织物等)的光泽特征。

$$G_C = \frac{G_S}{\sqrt{G_S - G_R}} \tag{1}$$

式中,G_C 为织物光泽度(%);G_S 为织物正反射光光强度(%);G_R 为织物漫反射光光强度(%)。

二维对比光泽度法可以选择合适的正反射角度进行光泽度测试,以获得与目测结果较为一致的效果。该方法以二维变角方法应用最为广泛,其最大的特点是入射角及接受角均可独立改变,结果以二维变角光度曲线的形式呈现。变角光度曲线的形状、高低及峰的个数不同,反映出织物光泽性质上的差异[22]。一些文献中所提到的不同型号的日本变角光度仪、M524 型织物光度测试仪及某些高校研制的变角光度仪[6-10]都具备此功能。

三维对比光泽度反映了与入射面垂直方向的光强分布,它与二维对比光泽度基本一致,适用于描述纤维制品的光泽度。其指标半高宽光泽度能很好地表示物体的平滑度,适用于测试织物光泽的量感。杰弗里斯对比光泽度法是目前我国比较成熟的织物光泽测试方法,它适用于波纹绸、缎子等弱捻织物及一些经纬方向性比较明显的织物[23],例如杰弗里斯光泽曲线可形象地表示出不同截面形状系数织物的光泽度[24],还可用于分析织物组织结构、紧度、粗糙度及染色等因素对织物光泽的影响[25]。

由西北纺院研制和不断改进的多维变角光泽度仪具有多种光源配置,用计算机采样和分析数据,从二维变角曲线上提取的对比光泽度、峰值反射率、赤道带反射率、漫反射率及峰宽率等 7 种参数,与主观评价回归分析相关性好;一定程度上不仅可反映光泽度的“量”,而且能反映光泽度的“质”,有可能成为一种较通用的评价方法[9],但未见有后续深入研究的文献报道。

2.2.3　偏光光泽度测试

偏光光泽度测试是通过在变角光度仪的光源和受光器前加放偏光镜来测试织物的漫反射曲线,从而测得反映织物不同方向的内部反射光、表面反射光强度的物理指标,多用于区分内部和外部反射光。将反射光分为表面反射光 I_S,内部反射光 I_P,透射光 I_T,可表征的织物光泽指标有:

$$\text{量的光泽度 } G_{P1} = I_S + I_T + I_P \tag{2}$$

$$\text{质的光泽度 } G_{P2} = \frac{(I_T + I_P)}{I_S} \tag{3}$$

这里量的光泽度与二维对比光泽度有很好的相关性,内部反射与光的质感有关。质的光泽度特别适合棉与丝的光泽差异,其中二维漫反射曲线下的漫射光泽度不仅可以扩大以往对比光泽度难以区分织物光泽的差异,也能对总反射光量进行推测。

2.2.4　其他测试方法

(1)显微光泽计法　显微测试是光源以一定角度将平行光线投射在试样面上,通过显微镜作出被照试样面的放大实像,然后用带有狭缝光栅的受光器在影像上进行测量,求得试样微区反射曲线。例如,用显微光泽计测定丝织物的辉度分布,在辉度分布曲线上峰值之间的距离、峰值与谷值之比、峰的尖锐程度、平均值、规律性等能够表现光泽的不同[23]。显微光泽度较适合反映织纹对光泽的影响,适用于判别合成纤维与丝的光泽差异。

(2)图像结构分析法　A 安顿等[26]曾把地毯表面的透明照相底片,在一个指状的微量密度计上扫描输入到计算机中,由地毯表面的反射光形成的图象正确地描述了地毯的外观。该法利用图象结构分析来鉴定图像中地毯的反光点所呈现的黑色斑点数量、强度和面积,定性定量地分析出地毯镜面反射和总体光泽状态。图象结构分析还证实了早期织物光泽的鉴定方法,以主观上的等级板来评定镜面反射成分强度的合理性。

3　存在问题

仪器测试法是对织物光泽的客观评价,基于不同的织物光泽理论国内外研制的多种纺织专用光泽仪测试的指标有所不同。虽然测试指标很多,然而来自于不同的理论适用于不同的测试方法。由于各法的优劣在业内存在争议,有的仪器适用范围的规定却与评判顺序颠倒,其测试结果的可靠性也受到质疑[9]。目前存在于理论和应用领域的主要问题是:

(1)织物光泽的构成十分复杂,对织物光泽有较大影响的因素包括纤维的表面形态、截面形状、内部结构,纱线的成纱形式、集合方式,织物结构的浮点密度、浮点形态,后整理方法等。由于现有织物光泽的理论和观点阐述光泽的变化规律是建立在分离、单独的模式下,忽略了织物光泽组成的整体性、多重性、复杂性特征,因此对织物光泽的完整认知与表征是有欠缺的。

(2)现有的测试方法是依据现有理论框架开发的,

理论体系的系统性不完善导致测试方法的不足，没有一种测试方法能将同一织物中各种对光泽的影响要素组合起来测量；对于表达和解释织物各因素对光泽性能的影响存在局限性和偏差，测试结果难以指导织物表面的光泽设计、工艺改进和质量控制。

(3)现有理论和测试方法对织物的光泽(光泽感)虽有研究，但没有上升到人类视觉的延伸－仿真测试评价。只有仿真测试评价才能做到与目光基本一致，与主观评价相吻合。

(4)计算机对织物外观形态模拟是虚拟现实技术在网络上真实地展现产品的基础，现有的测试技术从理论和实践上都无法对织物光泽的特征化和再现理论提供支持。

(5)目前还缺少对织物光泽效果的统一评价标准，需要建立统一、规范的评价标准体系。

4 展望

从 20 世纪 80 年代初发展到现在，计算机图像处理分析技术在纺织检测领域理论和实践的许多方面已经比较成熟。在利用数字图像分析取代人工分析上，曾经比较困难的测试项目也不断有所突破。例如，北京大学信息科学中心视觉与听觉信息处理国家重点实验室提出了对羊毛绒图像的全自动识别方案，可以快速且准确地鉴别羊绒与羊毛纤维；F H She 等人也结合图像处理和神经网络技术开发出了可自动辨别美利奴羊毛和马海毛纤维的智能系统，对纱线外观不但能够客观评定纱线的等级，还能够准确模拟出纱线最终的布面情况。利用光照特性突出织物的外观效应，用图像记录织物的真实外观，通过计算机图像分析在织物外观与结构分析及颜色模拟、色差计算、色牢度评价、颜色与色卡比对等方面的研究成果不断[26－30]，成为有望突破传统检测的发展方向。

作为人类视觉的延伸织物颜色的图像分析对图像的真实性要求较高，否则分析出来的颜色会失真。通过计算机视觉具备定量描述可视化表面性能的优势，依靠具有很强的非线性映射能力的智能化算法，使得颜色的特征化和仿真再现得以成功。与织物颜色相类似织物光泽是环境光在织物表面形成的光谱刺激，织物图像数据与织物的光谱属性有关。既然计算机能够成功地数字化表征织物的颜色，也应能数字化表征织物的光泽。因此对织物表面图像的光泽要素进行认知、判别、理解等，依靠图像算法的变化来寻求问题的解决有可能得到满意的结果。

鉴于上述背景，可认为极有可能从特定的织物表面图像上利用计算机区分光泽的构成，描述光泽的状态，评定光泽的大小，期望把光泽形成的视觉风格(如暗哑的，无光泽的，散光的，闪亮的，光亮的)的试样转化为图像数据库，以特征指标、数字化地表征出来；通过建立智能化模型描述数据库中量化特征与视觉风格的关系，代替人眼评定的不确定性及现有仪器测量的不足。从目前的发展需求来看，寻求织物光泽性能影响因素的预测及其仿真评价技术应是未来需要解决的问题。基于计算机视觉的评价是符合人眼视觉原理的客观评价技术，是建立全新的对织物中纤维光泽、纱线光泽和织物结构光泽综合辨识及评价机制的研究方向。因此探讨从织物图像进行光泽特征的建模分析，形成光泽特征化和再现理论，对于织物光泽的数字化评价方法的形成，解决目前织物光泽测试技术存在的问题具有深远的意义。

参考文献：

[1] 稻垣胜彦，赤川直亮.单纤维的偏光反射特性模型的考察[J].纤维机械学会志[日]，1969，25：207.

[2] 稻垣胜彦，赤川直亮.织物光泽的视觉评价和物理表示方法的关系[J].纤维机械学会志[日]，1969，25：215.

[3] 稻垣胜彦，赤川直亮.织物反射机理的模型化[J].纤维学会志[日]，1971，29：217.

[4] 中里博明，目黑正宽.织物光泽的视觉检查和反射特性[J].纤维机械学会志[日]，1969，25：241.

[5] 水　谷.光泽测定的原理和织物光泽[J].染色工业[日]，1984，12：697.

[6] 吕明哲.织物光泽与测试[D].西安：西北纺织工学院纺织工程系，1990.

[7] 姚　穆，吕明哲，蒋素婵.纺织品光泽评定的研究[J].西北纺织工学院学报，1991，(2)：84－90.

[8] 吕明哲，姚　穆.织物的光泽与光泽感[J].西北纺织工学院学报，2001，15(2)：77－81.

[9] 姚　穆，潘雄琦，吕明哲.织物光泽客观测试的研究[J].西北纺织工学院学报，1993，7(3)：172－175.

[10] 吕明哲，姚　穆，蒋素婵.织物光泽评定的研究[J].纺织学报，1991，12(9)：406－408.

[11] 蔡乃琛，范维薇，楼福芝.ZSG-94 型织物光泽仪及其研究[J].丝绸，1996，(2)：47－51.

[12] 徐士欣.织物光泽及织物光泽仪的研究[J].纺织学报，

1988,9(9):196－199.

[13] 石风俊,严灏景.织物光泽仪器的研制[J].郑州纺织工学院学报,1995,6(3):6－10.

[14] 褚以清,王广济,姚金波,等.毛织物光泽的研究[J].纺织学报,1992,13(12):550－552.

[15] Nihira K,Tsuneyo T,Gunjr T. Goniophotometric curves of woven fabrics[J].J Text Mach Soc,1980,26:15－20.

[16] Muto N,Arm T,Nihira K, *et al*. Computer simulation of goniophotometric curves for fabrics,part 1:fabric model eomprising of elliptic columns covered with fine ellipic cylinders[J].J Text Mach Soc,1985,31:85－89.

[17] Muto N,Nihira K,Tsuboi T, *et al*. Computer simulation of goniophotometric curves for fabrics,part 3:effects of refractive index of filaments on goniophotometric curves [J].J Text Mach Soc,1988,34:31－38.

[18] 石风俊,徐照升.织物镜面反射光分布曲线的模拟计算[J].纺织高校基础科学学报,2001,14(1):18－22.

[19] 石风俊.织物漫反射光分布曲线的模拟计算[J].西北纺织工学院学报,2001,15(4):65－69.

[20] 聂建斌,李俊华.毛织物的光泽设计[J].毛纺科技,2008,(5):44－47.

[21] Gundola M,Kistamah N.Development of a fabric lustre scale[J].UoM Research Journal,2008,13A:155－162.

[22] 郭维婵,杨　斌.毛织物光泽的研究[J],毛纺科技,1996,(5):8－12.

[23] 李汝勤,宋钧才.纤维和纺织品测试技术[M].上海:东华大学出版社,2009:7.

[24] 刘　晨,刘帅男,田　伟,等.Morphotex 纤维织物光泽性能研究[J].上海纺织科技,2011,39(2):49－51.

[25] 纤维性能评价研究委员会(日).纺织测试手册[M].张亮恭,译.北京:纺织工业出版社,1991.

[26] A 安顿,K A 约翰生,P A 乔松.通过图像分析来鉴定织物光泽[J].李茂松,译.丝绸译丛,1979,(2):11－21.

[27] Pan R,Gao W,Liu J, *et al*. Automatic detection of the layout of color yarns for yam-dyed fabric via a FCM algorithm[J].Textile Research Journal,2010,80(12):1 222－1 231.

[28] Kuo C J,Jian B L,Wu H C.Automatic machine embroidery image color analysis system,part 1:using gustafson-kessel clustering algorithm in embroidery fabric color separation[J].Textile Research Journal,2012,82(6): 571－583.

[29] 张庆红,刘建立,高卫东.基于图像处理的织物耐洗涤色牢度等级评定[J].纺织学报,2013,34(11):100－105.

[30] 陈孝之,谢莉青.织物颜色配准到标准色卡的计算机识别与仿真[J].纺织学报,2016,37(5):150－154.

Research Status and Prospect of the Testing Technology of Fabric Luster

SHEN Yue, XIE Li-qing*

(School of Textile and Clothing, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract:The theory and application status of evaluation method of fabric luster were reviewed, existing problems in fabric luster testing technology were analyzed. According to the development of analysis technology of computer vision and image, the development trends of fabric luster testing technology were expected.

Key words:fabric luster; theory research; evaluation method; testing technique; image processing

(上接第 4 页)

Research Progress of Smart Clothing

ZHOU Mi[1], ZHAO Guo-yu[2], YAO Wei-jing[2], ZHU Pu-xin[1,*]

(1.Textile Institute of Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Guangdong Anzhiban Limited Corporation, Shantou 515144, China)

Abstract:The research status of the smart clothing was investigated. A variety of smart clothing developed at present and the implementation method were introduced. The problems existing in the research process of smart clothing were analyzed and the solutions were briefly brought up.

Key words:smart clothing; smart materials; bio-inspired design; implementation method