

DOI: 10.19398/j.att.202401008



官网下载

知网下载

## 基于网络模型的《朝元图》服饰色彩分析与应用

王晓天, 刘文波, 王雨薇, 刘 锋

(太原理工大学轻纺工程学院, 山西晋中 030600)

**摘要:**为了客观地探究和反映元代壁画《朝元图》服饰的色彩设计思维,以 260 位神仙的服饰为研究对象,对其色彩特征和搭配关系进行量化研究。首先逐一去除每位神仙图像中的非服饰部分,使用中值滤波降噪平滑,建立样本库。再使用 K-means 聚类算法分别对男性和女性服饰进行色彩提取,使用 Apriori 关联规则算法挖掘色彩搭配规则,并以色彩网络模型呈现二元色彩搭配情况。然后基于孟塞尔色彩体系理论,进行色彩属性及色彩调和方式分析,发现《朝元图》男女服饰色彩都分为 6 种色系,色彩分布规律一致,色彩搭配多使用冷暖对比与明暗对比的调和。最后依据所得色彩网络模型,结合孟塞尔色彩理论挑选色彩搭配规则,进行瑜伽服色彩设计。研究结果可为现代服饰色彩的设计应用提供参考。

**关键词:**色彩网络;K-means 聚类算法;《朝元图》服饰;孟塞尔色彩理论

**中图分类号:**TS941.11

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-265X(2024)10-0125-10

中国传统色彩体系具备独特而丰富的审美传统,值得当代纺织品色彩设计的关注与传承<sup>[1]</sup>。《朝元图》是元代道教壁画艺术的典范,以其富丽辉煌的色彩为特点<sup>[2]</sup>,运用了多种水质、矿物质和金属颜料,尤其是石青、石绿、朱砂和黄金等贵重颜料<sup>[3]</sup>。这不仅体现了传统色彩文化的精髓,也展现了其在艺术中的卓越表达。作为古人心目中的神仙服饰,《朝元图》服饰沿袭了中国古代汉民族服饰的传统<sup>[4]</sup>,既为永乐宫文创产品的设计提供参考,也为现代国风时装设计提供创意和灵感。

目前,计算机技术广泛应用于图像色彩提取和色彩搭配关系挖掘,构建色彩网络。色彩网络模型通过网络节点以及节点间的连线展现提取到的色彩及其搭配关系,为传统色彩的量化分析和应用提供基础和思路。杨梅等<sup>[5]</sup>建立了敦煌壁画色彩的主辅色网络模型,并批量生成配色方案;贾静等<sup>[6]</sup>构建了畚族服饰色彩网络,分析了不同地区畚族服饰的色彩构成情况;陈希雅等<sup>[7]</sup>结合八叉树颜色量化及 K-means 聚类算法提取香云纱色彩特征,使用

Apriori 算法得到色彩搭配规则,建立配色网络模型;吴勘等<sup>[8]</sup>提取马王堆帛画特征色彩,生成色彩网络,并应用在文创设计中。在研究色彩特征和配色时,色彩体系可作为统一的度量标准,使色彩标识更规范化。常见的色彩体系包括孟塞尔色彩体系、自然色彩体系(Natural color system, NCS)、日本色研配色体系(Practical color coordinate system, PCCS)等。王忆雯等<sup>[9]</sup>用孟塞尔色立体标定了南北荷包实物色彩;赵海英等<sup>[10]</sup>对提取到的苗族服饰色彩进行了 NCS 编谱分析;赵崧灵等<sup>[11]</sup>采用 PCCS 色彩体系探究民国旗袍代表色彩特征。

《朝元图》采用平涂的“积色体”画法<sup>[12]</sup>,色彩效果饱满厚重,展现出浓烈的中国本土宗教的氛围。目前对于《朝元图》服饰色彩特征的分析主要依赖于文化和艺术层面的考量,倾向于经验认知,存在缺乏系统、科学理论支持的问题。本文旨在对《朝元图》服饰色彩进行可量化、可视化的研究,利用 K-means 聚类算法提取色彩信息并构建色彩网络模型。同时,结合孟塞尔色彩体系进行色彩特征分析,

收稿日期:2024-01-08 网络出版日期:2024-04-19

基金项目:2023 年度山西省艺术科学规划课题项目(23BG056);山西省回国留学人员科研资助项目(2022-090)

作者简介:王晓天(2000—),女,河南信阳人,硕士研究生,主要从事服饰文化研究与创新应用方面的研究。

通信作者:刘锋,E-mail:liufeng@tyut.edu.cn

将色彩网络模型应用于时装设计,为相关设计从业者提供实用的参考。

## 1 样本库的建立

### 1.1 样本搜集与筛选

《朝元图》位于山西省运城市芮城县永乐宫,从山西运城文旅官方处获取到《朝元图》高清图像,图像涵盖了 290 位神仙的形象,且已由官方专业团队修复过。为确保数据集的质量,尽可能选取色彩清晰、均匀的图片作为样本,合格图片实例如图 1 所示。对 4 位因后人修复而与其他神仙形象画风不一致的神仙形象和因壁画严重脱落变色而修复效果不好的 26 位神仙形象作剔除处理,剔除图片实例如图 2 所示。最终共保留 260 位神仙形象建立样本库,其中男性神仙 238 位,女性神仙 22 位。



图 1 合格图片实例示意图

Fig. 1 Schematic representation of an example of qualified images



图 2 剔除图片实例示意图

Fig. 2 Schematic representation of an example of excluded images

### 1.2 图像预处理

首先,为排除图像背景及人体肤色对服饰色彩

提取的影响,使用 Adobe Photoshop 去除背景、人体皮肤和器具等非服饰部分。其中,神仙手持的笏板属于重要的服装配饰,同时对《朝元图》的服饰色彩搭配有关键的调和作用,因此予以保留。其次,将样本图像分割为 260 张服饰图像后,为降低相机拍摄时光照不均匀对图像亮度的影响,调整部分较暗的图像的明度,以尽可能还原真实的壁画的色彩。最后,把背景换成纯白色 (Red: 0, Green: 0, Blue: 0),以便于后续对背景色彩单独聚类并剔除。

壁画会因颜料层剥离脱落<sup>[13]</sup>而形成不均匀色块和噪点,尽管《朝元图》壁画图像已被专人修复过,但仍存在这种问题。为降低其对色彩提取结果的影响,对于大面积的脱落,使用 Adobe Photoshop 将相应部分去除,对于小面积的脱落,采用中值滤波算法<sup>[14]</sup>对图像进行平滑降噪处理。中值滤波算法的原理是用一个奇数点的移动窗口,将窗口中心点的值用窗口内各点的中值代替,计算方法如式(1)所示:

$$y[n] = \text{median}(x[n-k], \dots, x[n], \dots, x[n+k]) \quad (1)$$

式中: $x$  是原始信号, $y$  是滤波后的信号, $n$  是当前位置, $k$  是窗口大小, $\text{median}$  表示中值运算。

滤波窗口的大小与平滑去噪的强度呈正相关,但是窗口过大会导致过多细节丢失。经过实验,当滤波窗口为  $5 \times 5$  时,平滑降噪效果最佳。

## 2 色彩网络模型构建

### 2.1 色彩节点建立

K-means 算法作为一种高效准确的聚类算法,已经被广泛应用于色彩提取。基于 K-means 算法对样本进行色彩提取,分为对单幅图像的一次聚类和对由单幅图像构建的色卡的二次聚类。二次聚类后得到的各色 RGB 值即为色彩节点的 RGB 值,各色占比对应色彩节点半径数值。

#### 2.1.1 K-means 聚类算法

使用 K-means 聚类算法<sup>[15]</sup>对《朝元图》服饰色彩进行提取,具体步骤如下:

a) 根据提取色彩的需求确定聚类中心数量  $k$ 。

b) 逐一计算每个像素点的色彩值到各个聚类中心的欧式距离,并将该像素点分配至最近的聚类中心。欧式距离计算公式如式(2)所示:

$$D = \sqrt{(r - r_i)^2 + (g - g_i)^2 + (b - b_i)^2} \quad (2)$$

式中: $D$  为本次色彩聚类中心与上次色彩聚类中心

的最大距离值,  $r$ 、 $g$ 、 $b$  分别为本次聚类中心的 R、G、B 值,  $r_i$ 、 $g_i$ 、 $b_i$  分别为其他像素的 R、G、B 值。

c) 计算该聚类中所有像素点的 RGB 值的均值, 并不断迭代直到标准测度函数开始收敛。标准测度函数采用均方差, 均方差  $\vartheta$  计算公式如式(3)所示:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^v (x_i - u)^2} \quad (3)$$

式中:  $n$  为聚类中像素点的个数;  $v$  为该聚类中某个数据对象的维度;  $x_i$  为聚类中某一个像素点;  $u$  是该聚类中所有像素点的算术平均值。当收敛效果达到前后两次迭代计算出的数值相差小于 1 时, 聚类结束。

为使提取的色彩更好地还原图像本身, 在选择初始聚类中心时, 要遵循“各聚类本身尽可能紧凑, 各聚类之间尽可能分开”<sup>[16]</sup> 的原则。初始聚类中心的选择采用随机选择图像上的任意一点的方式, 然后通过计算距离的方式选取余下的聚类中心, 确保各聚类之间保持最大距离。对于《朝元图》而言, 由于色彩丰富且主题色彩明确, 选用 RGB 模式进行色彩提取。RGB 模式适用于色相较少、色彩渐变丰富的图像类型, 可提取出差别较小的系列色, 得到与指定色彩数相同的色彩数<sup>[17]</sup>。为确保提取的色彩符合需求, 在选择初始聚类中心时, 遵循以上原则进行操作。

### 2.1.2 色彩聚类

道家崇尚五行学说, 因此在神仙服饰上使用“五色”<sup>[18]</sup>。传统的“五色”为青、赤、白、黑、黄, 《朝元图》服饰在沿袭五色观的基础上, 增加了绿、褐等间色加以搭配调和。首先对单图进行色彩聚类, 获得每幅图的色卡。考虑到存在色彩渐变和小面积的配饰装饰色, 还有背景色的影响, 将一次聚类时的  $k$  值设为 9, 剔除背景色后共提取到 8 种颜色。部分服饰提取色彩构成的比例色卡如图 3 所示, 对样本中的 260 张服饰图像进行聚类可得到 260 张色卡。

二次聚类的对象是以上 260 张色卡。分别对由 238 张男性服饰图像得到的色卡和 22 张女性服饰图像得到的色卡进行二次聚类, 得到《朝元图》男、女服饰色彩色值和占比。考虑到样本数量多, 二次聚类时将  $k$  值设置为一次聚类时的 2 倍, 即 16。二次聚类可得到男、女服饰色彩各 16 种, 及各色占总体像素点的百分比, 由此构建的色彩网络模型的节点大小反映的是各色的占比。



图 3 服饰比例色卡示意图

Fig. 3 Schematic representation of clothing proportional color cards

## 2.2 色彩节点关联性确立

Apriori 算法<sup>[19]</sup>作为一种经典的关联规则挖掘算法, 在色彩搭配关系的挖掘上的有效性也已经获得了广泛的验证。使用 Apriori 关联规则算法, 根据不同颜色同时出现的概率自动提取色彩搭配规则。该算法在生成最终规则时以支持度 (Support) 和置信度 (Confidence) 作为衡量标准。对于关联规则  $A \rightarrow B$ , 其支持度表示数据集  $D$  中包含项集  $A$  又包含项集  $B$  的概率, 置信度则表示在数据集  $D$  中包含项集  $A$  的同时包含项集  $B$  的概率。min\_Support 表示最小支持度阈值, min\_Confidence 表示最小置信度阈值, 当  $\text{Support}(A \rightarrow B) > \text{min\_Support}$  且当  $\text{Confidence}(A \rightarrow B) > \text{min\_Confidence}$  时, 称  $A \rightarrow B$  为强关联规则。假设存在两种颜色  $c_A, c_B, c_A$  和  $c_B$  的色彩关联规则  $c_A \rightarrow c_B$  或  $c_B \rightarrow c_A$  即为二者共现, 称为二元规则, 依此类推, 可得到三元规则、四元规则等。

由于一次聚类提取色彩数量为 8, 最多可得到八元色彩搭配规则。在色彩搭配规则提取中, 将最小支持度设置为 0.3, 最小置信度设置为 0.7, 可得到男性服饰色彩搭配二元规则 76 条, 三元规则 221 条, 四元规则 314 条, 五元规则 166 条, 六元规则 12 条; 女性服饰色彩搭配二元规则 65 条, 三元规则 314 条, 四元规则 524 条, 五元规则 312 条, 六元规则 62 条。

基于提取到的色彩和色彩搭配的二元规则构建色彩网络模型,将提取到的各色占比作为色彩节点的半径参数,二元关联规则的支持度作为两色彩节点之间连线粗细的参数。在最小支持度为 0.3 和最小置信度为 0.7 的情况下,男女服饰色彩网络模型如图 4 所示。色彩节点的大小体现了该颜色的占比,色彩节点连线的粗细体现了色彩搭配关联程度的强弱。

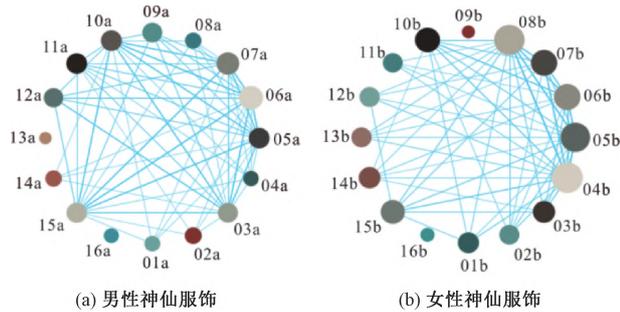


图 4 男女服饰色彩网络模型示意图

Fig. 4 Schematic representation of a color network model for male and female clothing

### 3 色彩特征分析

#### 3.1 色彩属性分析

孟塞尔色彩体系实现了色相、明度、饱和度的三维标准,是一个成熟完备的色彩系统。色相基于 R (红)、Y (黄)、G (绿)、B (蓝)、P (紫) 5 个主要颜色,并加入了 YR (黄红)、GY (黄绿)、BG (蓝绿)、PB (蓝紫)、RP (红紫) 5 种间色,共 10 种色相<sup>[20]</sup>。常见的孟塞尔色环将这 10 种色相每种制成 2.5、5.0、7.5、10 数值的色卡,共 40 个色相<sup>[21]</sup>。明度分为 9 级,1~3 级为低亮度,4~6 级为中等亮度,7~9 级为高亮度。

在孟塞尔色彩系统中,任何颜色都可用色相、明度和彩度 3 项坐标标定,标号用色相、明度/彩度表示。例如标号 5BG6/4 表示明度值为 6,纯度值为 4 的 5 号蓝绿色。对于中性色,使用 N 表示,后标明度值 V,不写彩度,例如标号 N5/表示明度值为 5 的灰色。通过孟塞尔色彩系统将提取到的男女服饰色彩共 32 种色彩分别进行标号和占比统计,见表 1。

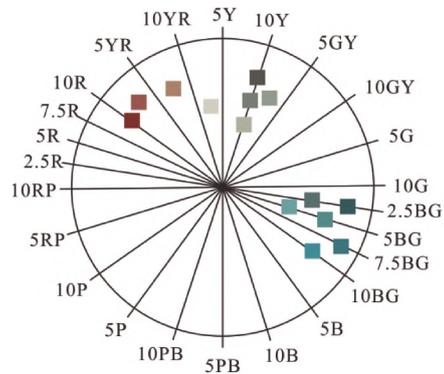
根据上表中的孟塞尔标号对男女服饰中提取的色彩分别进行孟塞尔色谱标注,图 5 为男性服饰孟塞尔色谱,其中图 5(a)为孟塞尔色相环,可以体现提取到的色彩在 40 种色相上的分布情况。图 5(b)为孟塞尔色度图,可以体现提取到的色彩的明度和

彩度的分布情况。图 6 为女性服饰孟塞尔色谱。

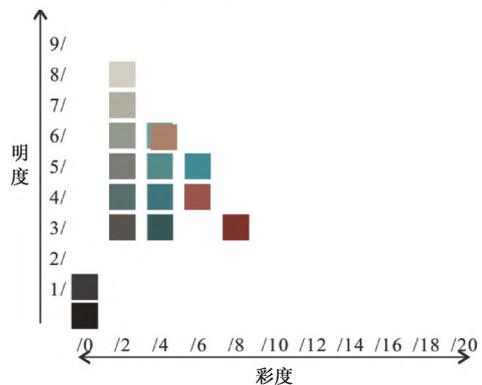
表 1 孟塞尔色彩标号及占比统计结果

Tab. 1 Statistical results of Munsell color labeling and proportion

男性服饰色彩			女性服饰色彩		
序号	标号	占比/%	序号	标号	占比/%
01a	5BG6/4	4.30	01b	2.5BG3/4	5.04
02a	10R3/8	4.97	02b	5BG5/4	4.46
03a	2.5GY6/2	7.05	03b	7.5YR2/2	5.63
04a	2.5BG3/4	4.13	04b	2.5Y8/2	11.28
05a	N1.2/	7.78	05b	5GY4/2	10.22
06a	2.5Y8/2	10.34	06b	2.5Y6/2	8.04
07a	10Y5/2	9.20	07b	2.5Y3/2	7.96
08a	7.5BG4/4	4.58	08b	2.5Y7/2	10.86
09a	5BG5/4	7.04	09b	7.5R3/8	1.79
10a	10Y3/2	7.83	10b	N0.2/	7.17
11a	N0.2/	7.65	11b	7.5BG5/4	4.31
12a	2.5BG4/2	6.73	12b	5BG6/2	4.59
13a	7.5YR6/4	2.53	13b	2.5YR5/4	4.56
14a	2.5YR4/6	4.70	14b	2.5YR4/4	5.33
15a	10Y7/2	7.37	15b	5GY5/2	6.65
16a	10BG5/6	3.81	16b	7.5BG5/6	2.11



(a) 孟塞尔色相环



(b) 孟塞尔色度图

图 5 男性服饰孟塞尔色谱示意图

Fig. 5 Schematic representation of Munsell chromatogram of male clothing

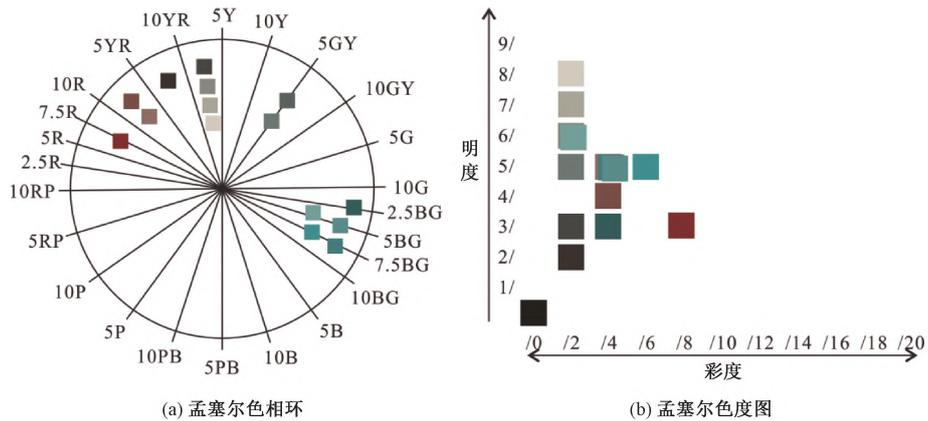


图 6 女性服饰孟塞尔色谱示意图

Fig. 6 Schematic representation of Munsell chromatogram of female clothing

由图 5 可知,《朝元图》男性服饰的色彩从色相上来看,包括红色系、黄红色系、黄色系、黄绿色系、蓝绿色系和无彩色系。对于彩色系,在明度上,色彩分布在 3~8 之间;在彩度上,分布在 2~8 之间。由图 6 可知,《朝元图》女性服饰的色彩从色相上来看,包括红色系、黄红色系、黄色系、黄绿色系、蓝绿色系和无彩色系。对于彩色系,在明度上,色彩分布在 2~8 之间;在彩度上,分布在 2~8 之间。而《朝元图》男女服饰中的无彩色系,都是明度小于 2 的深灰色。

综上所述,《朝元图》男女服饰的色彩属性基本一致,都分为红色系、黄红色系、黄色系、黄绿色系、蓝绿色系和无彩色系。色彩明度从低到高都有所体现,色彩饱和度处于低饱和度和中饱和度之间,不存在饱和度较高的颜色。红色系和蓝绿色系整体分布在中饱和度、中明度范围内,而黄红色系、黄色系和黄绿色系,都分布于低饱和度,且明度跨度大。两者

的孟塞尔色度图整体上都呈直角位于左下角的直角三角形,表示在《朝元图》服饰用色中,当彩度上升时明度有所下降,因此整体的色调比较沉稳,此种用色规律为神仙的朝元场面营造出一种庄严宁静的氛围。

### 3.2 色彩调和方式分析

由图 4 可知当最小支持度为 0.3 时,色彩 13a、16a、09b 和 16b 均没有相应的二元搭配规则,而在前期的调研中发现这 4 种颜色在《朝元图》的色彩调和中具有重要的作用。因此,在《朝元图》男女服饰的色彩规则搭配提取中,将最小支持度调为 0.1,以尽可能获得更为丰富的色彩搭配规则。孟塞尔色彩调和理论中色彩有 7 种调和方式:垂直调和、径向调和、圆周调和、斜内面调和、斜横内面调和、螺旋调和和椭圆调和<sup>[22]</sup>。列出色彩搭配规则部分结果及对应孟塞尔调和理论,见表 2。

表 2 色彩搭配规则部分结果及对应理论

Tab. 2 Partial results and corresponding theories of color matching rules

编号	色彩规则	对应色彩	支持度	置信度	对应理论	色相对比	明度对比	彩度对比
R1	07a→15a		0.690	0.851	垂直调和	相同	不同	相同
R2	11a→6a		0.565	0.841	无	不同	不同	不同
R3	11b→13b		0.500	0.818	圆周调和	不同	相同	相同
R4	13a→01a		0.185	0.755	圆周调和	不同	相同	相同
R5	09b→01b		0.167	1.000	径向调和	互补	相同	不同
R6	02b→09b		0.122	0.722	斜内面调和	互补	不同	不同

在表 2 中,R1 和 R2 均为色相接近中性色的色彩之间的明暗对比调和,且支持度都较高;R3 和 R4

都为黄色和蓝绿色之间的色相对比调和,且没有明度彩度变化;R5 和 R6 都为红色和蓝绿色之间的色相对比调和,且在明度或彩度上有小的变化。

综合大量色彩搭配规则进行色彩调和方式的分析可得出以下结论:《朝元图》服饰色彩搭配具有鲜明的秩序性,主要分为红黄色系与蓝绿色系之间的冷暖色相对比调和,和带有黄色或绿色色相的、接近中性色的色彩之间的明度对比调和,使得画面庄严肃穆但不沉闷。

## 4 设计应用

### 4.1 款式设计

为验证《朝元图》服饰色彩在现代时装设计中的可行性,设计了 3 套款式相对简约的国风系列时尚瑜伽服,每套瑜伽服的款式包括背心、紧身裤、外套和短裤/遮挡裙,使用虚拟试衣软件 Style3D 呈现款式设计,结果如图 7 所示。

### 4.2 色彩应用方案

由上文分析可知《朝元图》男女服饰色彩特征



图 7 国风系列瑜伽服款式设计图

Fig. 7 Design diagram of Chinese style yoga suit series

一致,而男性服饰色彩网络模型中的色彩较为鲜亮,更符合瑜伽服青春活力的特质,故从中选择色彩搭配规则运用在该系列设计中。同时,蓝绿色系在《朝元图》服饰色彩中占据重要地位,而 09a 是男性服饰蓝绿色系中占比最多的颜色,因此选择与 09a 相关的 3 条多元搭配规则用于设计。在 Style3D 中呈现最终的设计效果,色彩应用方案见表 3。

表 3 色彩应用方案

Tab. 3 Color application schemes

系列款式	色彩规则	色彩规则网络图	初始方案	最终设计效果
款式一	09a→03a,08a			
款式二	09a→03a,06a,07a,14a			
款式三	09a→02a,04a,11a			

在款式一的色彩规则中,03a 与 09a 色相相近、明度不同、彩度相同,满足垂直调和理论,可使得色彩效果温和稳定。首先将中心色 09a 作为主色并应用在套装的视觉中心,将 03a 作为辅色,08a 作为点缀色,再适当添加深灰色 06a 和接近中性色的 11a,得到初始方案。初始方案比较单调,为了丰富效果,调整部分用色为中性色,适当使用渐变和水墨纹理,得到最终效果。

在款式二和款式三的色彩规则中,14a 和 02a 分别与 09a 色相互补、明度彩度均有小的变化,满足斜内面调和理论,使得色彩效果生动。款式二和款式三在色彩设计中采用与款式一相同的设计思路。该系列款式虽为现代时装款式,但由于应用了《朝元图》服饰的传统色彩和水墨纹理,而体现出一定的国风韵味。

### 4.3 效果评价

为从多角度验证色彩应用方案的有效性,采用模糊综合评价方法<sup>[23]</sup>对色彩应用方案进行评价。根据文献[24]确定评价指标  $U = (u_1, u_2, u_3) = (\text{色彩丰富度}, \text{色彩协调度}, \text{色彩意象还原度})$ 。采用五分量表法,  $V = (v_1, v_2, v_3, v_4, v_5) = (\text{优秀}, \text{良好}, \text{一般}, \text{差}, \text{非常差})$  确定色彩应用方案的评价集。

邀请一位专家对每个指标的权重进行打分,确定权重系数为  $A = (0.3, 0.3, 0.4)$ , 由于评价指标  $u_3$  色彩意象还原度能反映出色彩与《朝元图》的关联性,因此将这项指标赋予最高的权重,作为核心指标进行分析。

以 100 名艺术设计类专业的大学生为调查对象,通过问卷的形式获得了各指标的评价数据,调查结果统计见表 4。

表 4 调查结果统计

Tab. 4 Survey results statistics

评价指标 $U$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$
$u_1$	0.22	0.55	0.20	0.03	0
$u_2$	0.20	0.68	0.12	0	0
$u_3$	0.15	0.57	0.26	0.02	0

由表 4 可获得模糊综合评价矩阵  $R$ 。采用以下公式计算出色彩应用方案的综合评价价值  $B$ :

$$B = AR \quad (4)$$

式中: $A$  是权重系数, $R$  是模糊综合评价矩阵。代入数值计算出  $B = (0.186, 0.597, 0.2, 0.017, 0)$ 。综合评价结果显示,“优秀”的隶属度为 0.186,“良

好”为 0.597,“一般”为 0.2,“差”为 0.017,“非常差”为 0。根据最大隶属度原则,该色彩应用方案为“良好”。

## 5 结语

本文对《朝元图》男女服饰的色彩特征分别进行客观性分析,在对图像进行预处理之后,用 K-means 算法提取色彩,再用 Apriori 算法获得二元和多元色彩搭配规则,构建色彩网络模型以呈现二元色彩搭配情况。将提取到的色彩用孟塞尔色谱表示,通过分析孟塞尔色相环和孟塞尔色度图中色彩分布情况,总结出男女服饰色彩的共性。研究结果表明:《朝元图》男女服饰均分为红色系、黄红色系、黄色系、黄绿色系、蓝绿色系和无彩色系,其中红色系和蓝绿色系整体分布在中饱和度、中明度范围内,而黄红色系、黄色系和黄绿色系都分布于低饱和度,且明度跨度大;在色彩调和方式上以冷暖对比、明暗对比为主。以此为基础的瑜伽服系列设计能够体现《朝元图》服饰色彩意象,反映出中国传统审美情趣。

### 参考文献:

- [1] 贺显伟. 色彩经济时代纺织品创新设计中的色彩策略[J]. 现代纺织技术, 2022, 30(2): 113-117.  
HE Xianwei. Strategies for textile color innovative design in the era of color economy [J]. Advanced Textile Technology, 2022, 30(2): 113-117.
- [2] 高兵. 永乐宫《朝元图》的艺术特征[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2015, 18(4): 144-149.  
GAO Bing. Artistic features of *Chaoyuan Painting* in Yongle Palace[J]. Journal of Hunan University of Science and (Social Science Edition), 2015, 18(4): 144-149.
- [3] 史宏云,陈思思. 永乐宫《朝元图》女性图像艺术特征探究[J]. 山西档案, 2013(3): 15-19.  
SHI Hongyun, CHEN Sisi. Research on the artistic characteristics of female images in *Chao Yun Triptych* of the Yongle Palace murals[J]. Shanxi Archives, 2013(3): 15-19.
- [4] 郭珍梅. 元代永乐宫壁画《朝元图》中神仙服饰研究[D]. 天津: 天津师范大学, 2015: 27-30.  
GUO Zhenmei. A Study of Immortal Costumes in the Yuan Dynasty Yongle Palace Mural *Chao Yuan Tu*[D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2015: 27-30.
- [5] 杨梅,李劲松,王怡妍. 敦煌传统壁画色彩网络模型构

- 建与应用设计[J]. 包装工程, 2020, 41(18): 222-228.  
 YANG Mei, LI Jinsong, WANG Yiyan. Construction and application of color network model of Dunhuang traditional fresco [J]. Packaging Engineering, 2020, 41 ( 18 ): 222-228.
- [6] 贾静, 曹竞文, 徐平华, 等. 基于网络关系模型的畲族服饰色彩构成分析[J]. 丝绸, 2022, 59(11): 100-107.  
 JIA Jing, CAO Jingwen, XU Pinghua, et al. The color composition analysis of She costumes based on the nexus network model [J]. Journal of Silk, 2022, 59 ( 11 ): 100-107.
- [7] 陈希雅, 赵崧灵, 顾冰菲. 基于色彩网络的数码喷绘印花香云纱旗袍色彩分析[J]. 现代纺织技术, 2022, 30(6): 176-185.  
 CHEN Xiya, ZHAO Songling, GU Bingfei. Color analysis of digitally spray-printed gambiered Canton gauze cheongsam based on color network [J]. Advanced Textile Technology, 2022, 30(6): 176-185.
- [8] 吴勘, 杨能惠. 基于 K-means 聚类的马王堆帛画色彩特征分析与应用[J]. 包装工程, 2023, 44(16): 305-314.  
 WU Kan, YANG Nenghui. Analysis and application of color characteristics of Mawangdui silk paintings based on K-means clustering[J]. Packaging Engineering, 2023, 44 ( 16 ): 305-314.
- [9] 王忆雯, 梁惠娥, 崔荣荣. 传统荷包南北地域色彩差异化比较[J]. 纺织学报, 2017, 38(1): 121-125.  
 WANG Yiwen, LIANG Hui'e, CUI Rongrong. Comparative research on traditional pouch difference between North and South regions[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38 ( 1 ): 121-125.
- [10] 赵海英, 银宇堃. 苗族服饰色彩体系构建研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2020, 47(6): 660-668.  
 ZHAO Haiying, YIN Yukun. Study on the construction of the Miao's costume color system[J]. Journal of Zhejiang University(Science Edition), 2020, 47(6): 660-668.
- [11] 赵崧灵, 章玲玲, 顾冰菲. 基于聚类算法和 PCCS 体系的民国旗袍色彩提取及分析[J]. 丝绸, 2022, 59(11): 64-73.  
 ZHAO Songling, ZHANG Lingling, GU Bingfei. Color extraction and analysis of cheongsams in the Republic of China based on clustering algorithm and PCCS system [J]. Journal of Silk, 2022, 59(11): 64-73.
- [12] 李朝霞. 敦煌唐绘与元人永乐宫壁画[J]. 山西档案, 2016(4): 186-188.  
 LI Zhaoxia. Dunhuang Tang painting and Yongle Palace mural in Yuan Dynasty[J]. Shanxi Archives, 2016(4): 186-188.
- [13] 吕书强, 王诗涵, 侯妙乐, 等. 基于改进 U-Net 的壁画颜料层脱落病害区域提取[J]. 地理信息世界, 2022, 29(1): 69-74.  
 LÜ Shuqiang, WANG Shihan, HOU Miaole, et al. Extraction of mural paint loss diseases based on improved U-net[J]. Geomatics World, 2022, 29(1): 69-74.
- [14] XING L, ZHANG J, LIANG H E, et al. Intelligent recognition of dominant colors for Chinese traditional costumes based on a mean shift clustering method [J]. The Journal of the Textile Institute, 2018, 109 ( 10 ): 1304-1314.
- [15] 孙红艳. 用遗传算法优化初始聚类中心的 K-means 算法研究[J]. 电声技术, 2019, 43(11): 32-33.  
 Sun Hongyan. K-means algorithm for optimizing initial clustering centers by genetic algorithm [J]. Audio Engineering, 2019, 43(11): 32-33.
- [16] 赵维一, 尚玉平, 康晓静, 等. 基于聚类算法的纺织品文物色彩提取与纹样数字化探索: 以新疆巴里坤 M12 出土清代纺织品纹样为例[J]. 丝绸, 2023, 60(5): 8-18.  
 ZHAO Weiyi, SHANG Yuping, KANG Xiaojing, et al. Exploring colour extraction and pattern digitization of textile artifacts based on clustering algorithms: A case study of the patterns of the Qing Dynasty textiles unearthed from Balikun M12, Xinjiang[J]. Journal of Silk, 2023, 60(5): 8-18.
- [17] 刘肖健, 曹愉静, 赵露晞. 传统纹样的色彩网络模型及配色设计辅助技术[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(4): 899-907.  
 LIU Xiaojian, CAO Yujing, ZHAO Luxi. Color networks of traditional cultural patterns and color design aiding technology [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2016, 22(4): 899-907.
- [18] 杜艺华. 永乐宫《朝元图》元代壁画服饰研究[J]. 艺术百家, 2016, 32(S1): 201-202.  
 DU Yihua. Yuan fresco costume in Yongle Taoist Temple Chao Yuan Painting[J]. Hundred Schools in Arts, 2016, 32(S1): 201-202.
- [19] 曹竞文, 贾静, 徐平华, 等. 畲族传统服装设色关联规则分析[J]. 丝绸, 2023, 60(4): 100-106.  
 CAO Jingwen, JIA Jing, XU Pinghua, et al. Coloration association rules parsing of She nationality costumes [J].

- Journal of Silk, 2023, 60(4): 100-106.
- [20] 黄茜,陈飞虎. 四大色彩体系对比分析研究[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 266-272.  
HUANG Qian, CHEN Feihu. Comparative analysis of four major color systems[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 266-272.
- [21] YUM M. Digital image color analysis method to extract fashion color semantics from artworks [J]. Multimedia Tools and Applications, 2023, 82(11): 17115-17133.
- [22] 王红,段雨婕,方雷. 基于 Munsell 色彩调和理论的地面状要素配色方法[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(23): 231-237.  
WANG Hong, DUAN Yujie, FANG Lei. Research of the color grading of thematic map's area-pattern based on munsell color-harmony [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(23): 231-237.
- [23] 王维杰,刘毅,肖露,等. 基于改进生成式对抗网络与矢量绘制技术的古蜀锦纹样数字化研究[J]. 丝绸,2023, 60(11):18-27.  
WANG Weijie, LIU Yi, XIAO Lu, et al. Research on digitalization of ancient Shu brocade patterns based on improved generative adversal network and vector rendering technology[J]. Journal of Silk, 2023, 60(11): 18-27.
- [24] 江浩波, 卢珊, 肖扬. 基于街景技术的上海历史文化风貌区城市色彩评价方法[J]. 城市规划学刊, 2022(3): 111-118.  
JIANG Haobo, LU Shan, XIAO Yang. Method of urban color evaluation for historic and cultural areas in Shanghai based on street view technology [J]. Urban Planning Forum, 2022(3): 111-118.

## Color analysis and application of costumes in *Chaoyuan Painting* based on the network model

WANG Xiaotian, LIU Wenbo, WANG Yuwei, LIU Feng

(College of Textile Engineering, Taiyuan University of Technology, Jinzhong 030600, China)

**Abstract:** *Chaoyuan Painting* is a pinnacle of Taoist murals from the Yuan Dynasty, showcasing the beauty of traditional Chinese colors through its vivid and magnificent color usage. The unique and stylish colors of its costumes can provide rich inspiration for national fashion design. However, the current research on the color of costumes in *Chaoyuan Painting* lacks support from scientific theory. This study focuses on the costumes of 260 immortals in *Chaoyuan Painting*. Firstly, a sample library was established to extract color and matching rules, based on which a color network model was created. The Munsell color system was then used to analyze color features. Finally, the color network model was applied to the design process of yoga clothes by using virtual fitting software to present the design effects.

To obtain the node values and color proportions of the color network, a costume sample library of *Chaoyuan Painting* was established for color extraction. 260 high-quality images were selected from the 290 images of immortals in *Chaoyuan Painting*, of which the non-clothing parts were removed and noise elimination and texture smoothing were performed. Each costume image was clustered for the first time to obtain corresponding 8-color color board. Then the secondary clustering was applied to male and female costume images, and 16 colors for each gender and the color proportion information were acquired. To establish color network node connections, the Apriori algorithm was used to extract color-matching rules. Binary and multiple matching rules were extracted with a minimum support of 0.3 and a minimum confidence of 0.7. Finally, separate color network models for male and female costumes of *Chaoyuan Painting* were established based on the above results.

Based on the color network, the Munsell system was employed to analyze the color features of costumes in *Chaoyuan Painting*. Munsell labels were used to notate the extracted colors to objectively describe their color attributes. Male and female costume colors were then represented by Munsell color spectra, including Munsell hue and Munsell chroma. The results showed that the costumes of male and female immortals in *Chaoyuan Painting* were divided into red, yellow-red, yellow, yellow-green, blue-green, and achromatic color series. The red series and blue-green series were generally distributed in the medium saturation and medium lightness range, while the yellow-red, yellow, and yellow-green series were distributed in low saturation with a large lightness span. Finally, the costume color combination in *Chaoyuan Painting* was analyzed according to the Munsell's theory of color harmony, revealing a predominance of cool-warm and light-dark contrasts.

The color network model for male clothing was applied to the design of yoga clothes, and was presented by the virtual fitting software Style3D. Following the Munsell's theory of color harmony, three color-matching rules were chosen from the blue-green color with largest proportion. Colors were assigned to various designs to create preliminary plans, followed by adjustments in color area and texture to achieve final effects. At last, the fuzzy comprehensive evaluation method was used to evaluate the color application scheme which showed good results. This study provides theoretical support and case references for the objective analysis of costume colors in *Chaoyuan Painting* and their application in fashion design.

**Keywords:** color network; K-means clustering algorithm; costumes in *Chaoyuan Painting*; Munsell color theory