

【视觉传达设计】

## 敦煌传统壁画色彩网络模型构建与应用设计

杨梅, 李劲松, 王怡妍  
(山东科技大学, 青岛 266590)

**摘要:** **目的** 针对设计师在对敦煌壁画艺术色彩为题材进行设计时, 往往只通过个人经验感性地提取色彩及配色, 很难真正意义上还原其色彩意象等问题, 提出一种敦煌壁画色彩网络模型构建及其在产品中的应用方法, 辅助设计师进行色彩文化解码设计活动。**方法** 建立敦煌壁画图像库, 提取图像特征色, 基于图论原理, 利用特征色间的共现关系, 建立色彩网络模型和主辅色网络模型。运用 VBA 语言, 基于 CorelDRAW 平台, 开发色彩提取系统和自动配色种群生成引擎, 结合色彩网络模型, 辅助设计师批量生成能体现色彩意象的平面设计方案和产品开发。**结论** 对敦煌藻井图案创新配色及其在产品中的应用进行了测试, 结果表明该方法可高度还原敦煌壁画的色彩意象, 可作为敦煌壁画色彩创新应用的新思路。

**关键词:** 敦煌壁画; 色彩设计; 聚类; 网络; 图案设计

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)18-0222-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.18.028

## Construction and Application of Color Network Model of Dunhuang Traditional Fresco

YANG Mei, LI Jin-song, WANG Yi-yan  
(Shandong University of Science & Technology, Qingdao 266590, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose a method construct and apply Dunhuang frescoes color network model in product design to assist designers in carrying out color culture decoding design activities in view of that the designer only carries out color extraction and color matching through personal experience during design and cannot truly restore the color image. A large data image library of Dunhuang frescoes was established to extract the image color. Based on the principle of graph theory, the co-occurrence relationship between feature colors was utilized to establish the color network model. Based on CorelDRAW platform, VBA language was used to develop the color extraction system and automatic color matching population generation engine, and combined with the color network model, the designer could be assisted in generating the plane design schemes and product development reflecting the color image in batch. The color matching of Dunhuang caisson pattern and its application in product design have been tested. The results show that this method can highly restore the color images in Dunhuang frescoes and provide a new idea for the innovative application of Dunhuang frescoes.

**KEY WORDS:** Dunhuang frescoes; color design; clustering; network; graphic design

敦煌艺术因其壁画而更加辉煌, 色彩统一和谐, 有着明确的色彩倾向。同时补色的对比, 令色彩富有律动感, 研究价值极高, 时常被设计工作者作为配色的参考源。目前, 国内有关敦煌色彩的研究侧重于绘

画、艺术风格及装饰性语言的探讨上, 对敦煌壁画的独特风貌及其色彩调和关系多为概括式文字概述。通常沿用“形式美感法则”、“六法论”<sup>[1]</sup>或“装饰性色彩结构”法<sup>[2]</sup>对色彩分布规律进行主观描述, 按照装

收稿日期: 2020-04-22

基金项目: 2018年山东省社科规划项目(18CWYJ21)

作者简介: 杨梅(1973—), 女, 山东人, 硕士, 山东科技大学教授, 主要研究方向为工业设计。

通信作者: 李劲松(1995—), 男, 山东人, 山东科技大学硕士生, 主攻产品设计和创新设计。

饰色彩的秩序感性地组合、搭配色调。以经验认知为主，缺乏“色彩学”与“图像学”的系统研究，仅仅是对先辈们的简单模仿和重复，不足以作为设计师文化表述<sup>[3]</sup>的科学依据。色彩网络模型的构建能协助设计师理性地挖掘敦煌壁画色彩特征及关系，客观地还原敦煌壁画的色彩意象。

## 1 复杂网络及色彩网络概述

### 1.1 复杂网络模型

基于复杂系统及其网络结构提出的复杂网络理论、复杂网络模型，对产品文化表述设计具有启发意义。通过研究复杂网络间节点的结构和联系，了解研究对象的潜在联系，为设计师提供所需服务<sup>[4]</sup>。

研究发现，自然界中存在大量可通过网络加以描述的复杂系统，对应的复杂网络在结构上也极具相似性。结构决定功能，研究并揭示复杂网络功能和结构之间的内在联系在设计领域内可以辅助设计师精确地控制感性意象<sup>[4-6]</sup>。

### 1.2 色彩网络

色彩是图像的主特征之一，提取方法已相对成熟，能够从图像中准确地提取出特征色数量、色值和各色占比。然而在色彩设计中，色彩网络模型的应用目标是通过其网络结构寻求提取色彩之间的搭配关

系，研究提取色彩的组合使用方式，辅助设计师解读色彩构成元素的复杂性与多元性<sup>[7-8]</sup>，进而对传统文化进行创新应用。

基本思路如下：首先通过色彩提取技术提取出图像中的特征色，然后用色彩网络表达色彩提取的产物，即用节点表示提取特征色，特征色节点之间的连线则表示两种特征色之间存在共现频次超过一定阈值的搭配关系，连接的两个节点表明两者间的密切关系，在配色时可以考虑两者的搭配，这为设计师进行配色创意活动提供了客观参考。

## 2 敦煌壁画色彩提取及网络构建与应用流程

进行敦煌壁画色彩网络构建与应用时，聚类为色彩提取提供主要技术支持。应用到的色彩即是基于聚类所生成的多个特征色区，这些色区是色彩信息相近的色彩对象的集合，从色区中提取并应用最具色区代表性的色彩，计算提取色占比权重大小，寻找关键节点，确定主色，再运用图论原理和复杂网络理论确定强关系组，建立主辅色关系网络。了解敦煌壁画色彩构成的内在逻辑，深度解读敦煌壁画风貌的形式构成因素，为设计师提供色彩库和色彩关系参考，结合智能配色生成插件和配色种群方案，辅助设计师进行创意活动。敦煌壁画色彩提取及网络构建与应用流程图 1。

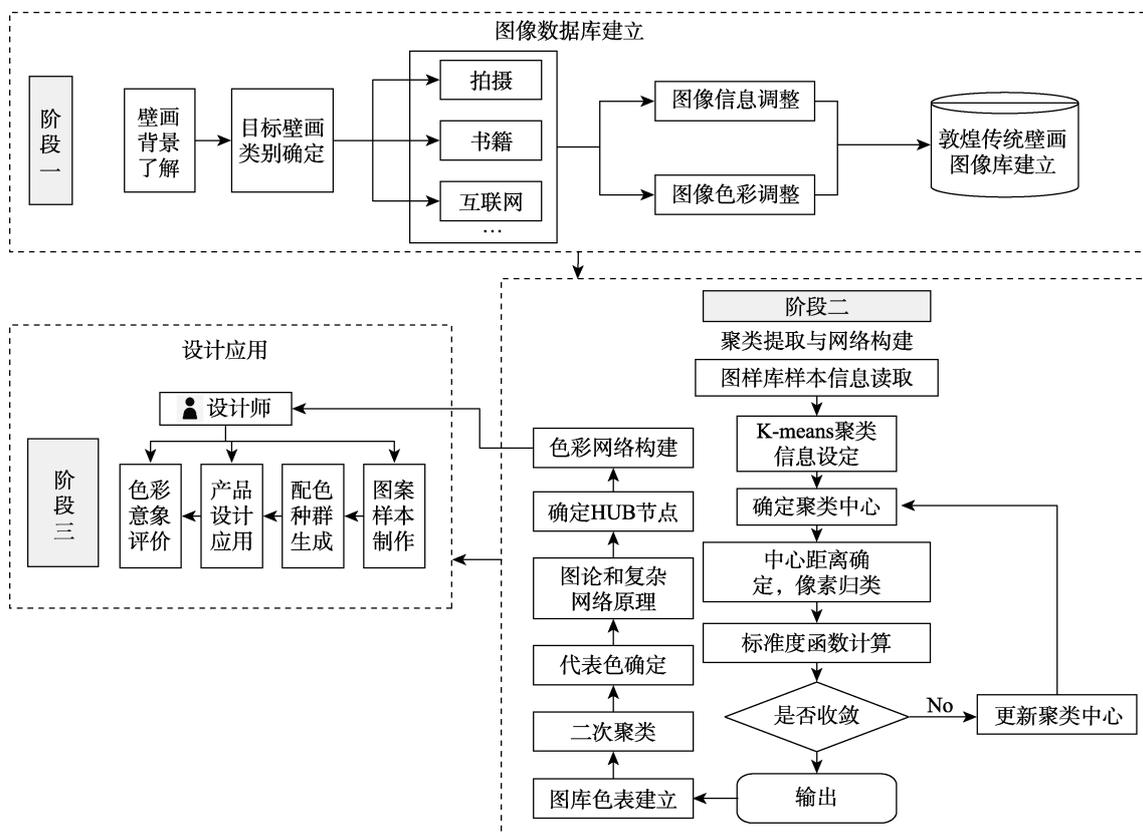


图 1 敦煌壁画色彩网络构建与应用流程

Fig.1 Construction and application flow of Dunhuang frescoes color network

### 3 敦煌壁画色彩提取及色彩网络模型构建

#### 3.1 敦煌壁画图像库建立

敦煌壁画的数目繁多,仅是莫高窟中的壁画数量就达到了巨大的数目。因此首先阅读文献和书籍,了解敦煌壁画;并以此为基础通过网络图像下载、书籍配图扫描、实地拍摄等手段获取具有代表性的敦煌壁画作品三百七十四幅,基于对数据质量的要求,筛选过程中图像光线与亮度变化大、存在透视(色彩出现明度变化)、后期调整明显等图像不予入库;调整入库图像,去除部分带有水印的图像中的水印,保证色彩提取的准确性;调整部分图像明度,还原壁画原有色彩,保证数据的真实性和准确性。敦煌壁画图像库图像(部分)见图2。

#### 3.2 敦煌壁画特征色提取

##### 3.2.1 单图色彩提取

单图色彩提取是运用 K-means 聚类技术对任一壁画图像色彩进行聚类提取的方法,提取出目标所需

数量的色彩。K-means 聚类中 K 代表提取色的个数,当确定了合适的 K 值,电脑便会依据设定的判断函数,确定合适的聚类中心,从而输出提取色,基于 K-means 方法的聚类过程,见图3。虽然敦煌壁画色彩组成较为丰富,图像主题色明确,但是色彩元素并不单一,因此在敦煌壁画图像的色彩提取中选用 RGB 色灰度模式进行提取,模式设定提取色为十二色,即 K=12;设定以色相模式,沿色相环等距、等角度选取特征色作为初始聚类中心。单幅壁画色彩提取见图4。

##### 3.2.2 图库色彩提取

图库色彩提取是基于单图色彩提取结果集合的再次提取,以图像库(敦煌壁画图像库)中的大量样本为基础,提取出能够代表此类图像集中色彩意象的系列特征色。单幅图像提取的输出结果为由十二个不同比例特征色组成的矩形,可以视为一幅新的图像,将三百七十四幅提取色图像拼合,形成壁画图像的色彩聚类提取色库(部分),见图5。

对融合色库进行 K-means 聚类,模式设置为主色优先模式,在提取融合色库色彩时,着重考虑最终提



图2 敦煌壁画图库图像(部分)  
Fig.2 Dunhuang frescoes library image (partial)

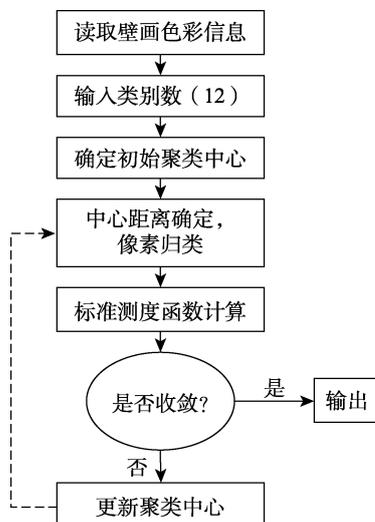


图3 色彩聚类过程  
Fig.3 Color clustering process



图4 单幅壁画色彩提取  
Fig.4 Single fresco color extraction

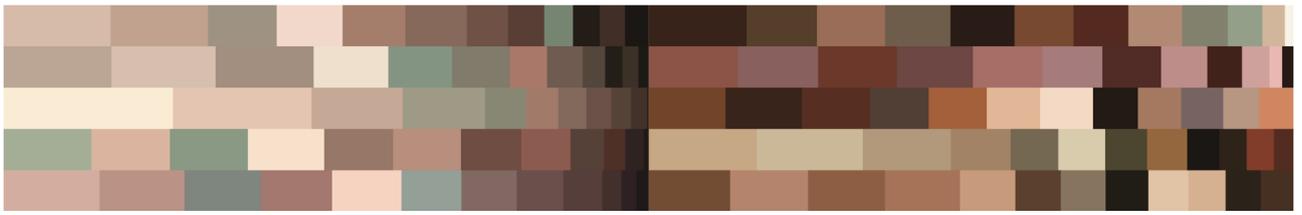


图 5 壁画图像的色彩聚类提取色库（部分）  
Fig.5 Color clustering extraction library of fresco image (partial)

表 1 二十个代表性聚类色信息  
Tab.1 20 representative cluster color information

编号	色块	RGB 值	比率/%	编号	色块	RGB 值	比率/%	饼状图
01		R: 236 G: 229 B: 219	12.6	11		R: 57 G: 50 B: 44	3.8	<p>提取色比例饼状图</p>
02		R: 194 G: 183 B: 169	10.7	12		R: 95 G: 65 B: 47	2.7	
03		R: 167 G: 159 B: 148	9.1	13		R: 67 G: 113 B: 150	3.3	
04		R: 219 G: 209 B: 198	7.8	14		R: 132 G: 148 B: 137	2.7	
05		R: 183 G: 150 B: 114	7.2	15		R: 215 G: 118 B: 165	3.4	
06		R: 122 G: 84 B: 62	5.3	16		R: 70 G: 54 B: 51	2.5	
07		R: 114 G: 107 B: 87	6.8	17		R: 61 G: 81 B: 82	2.8	
08		R: 150 G: 125 B: 102	4.6	18		R: 213 G: 177 B: 121	2.5	
09		R: 92 G: 82 B: 72	5.0	19		R: 38 G: 37 B: 36	2.4	
10		R: 155 G: 105 B: 70	4.0	20		R: 138 G: 192 B: 203	0.8	

取色的占比。考虑到庞大的图像数量和后续设计，因此设定  $K=20$ ，提取出最终二十个特征色。二十个代表性聚类色信息见表 1。通过调研，初步验证输出的系列特征色基本可以表现敦煌壁画色彩特征。

### 3.3 色彩网络模型构建

通过建立色库提取壁画特征色，可为设计师提供色彩选择，获取特征色出现的频率和比例，但是无法让设计师了解特征色之间的联系；配色不只是遵循色彩规律的混搭，为还原敦煌壁画色彩的意象美，还需要寻找特征色间的联系，因此引入复杂网络概念，表现提取色间的关系，以此为基础辅助设计师的色彩创意活动。配色过程中需要确定设计方案的主题色，即

主色，奠定方案的整体风格意象基础，再搭配几种或多种辅色，单纯而不单调，显现出敦煌色彩独特的绚丽。因此在进行架构色彩网络时，首先需要架构特征色之间的关系复杂网络；再以关系网络为基础，确定主色，并架构主色和其辅色间的主辅色关系网络。色彩关系网络构建见图 6。

图 6 架构的色彩关系网络中，二十个节点代表着由聚类所提取出的二十个特征色，节点大小，即圆形色块大小，表示每个特征色的权重（主色模式下的色彩权重）；节点间的连接线表示两个特征色融合色库图以一定频率共现，事先设定共现频率阈值，超过阈值时实现共现，经过多次测试，发现阈值为 0.4 的网络构建最为稳定，因此将阈值设置为 0.4。主色的确

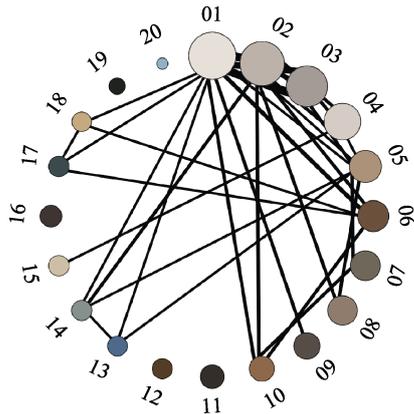


图6 色彩关系网络构建

Fig.6 Color relationship network construction

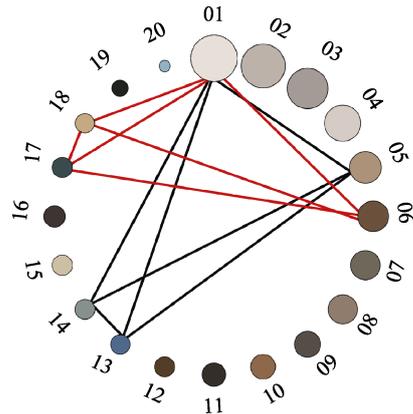


图7 主辅特征色选择网络

Fig.7 Primary and secondary feature color selection network

定需要考虑色彩关系和特征色的权重，因此组成专家团队对权重最大的 01、02、03、04 四个特征色进行筛选，经过讨论后，因为 01 特征色明度较其他三个特征色更高，更能突出设计，同时权重最大，最符合壁画意象，因此以 01 特征色为主色并对其进行辅色选择。

主色确定后，为选出合适的配色组合，所选的辅色应与主色有较强的连接关系。根据图论闭包原理中强弱关系组的定义，节点之间如果两两相连，就会形成强关系组，嵌入性愈强则信任关系愈大，即色彩关系愈密切；因此主色和辅色多个特征色节点间需要达到两两相连，如未达到需求，就要降低节点连接关系阈值并重建网络；根据最后设计需求，确定辅色个数，一般不少于两个辅色，本文选择三个辅色；以 01 特征色为主色选择三种辅色，有 (05,13,14) 和 (06,17,18) 两套方案，分别用黑、红色连接线区别，主辅特征色选择网络见图 7。

### 4 设计实践

#### 4.1 网络模型辅助配色设计

藻井图案纹饰繁富却繁而不乱、井然有序，蕴藏

独特造型规律<sup>[9]</sup>，层次分明，形式统一。基于敦煌壁画藻井图案和壁画造型进行图案线稿设计<sup>[10-13]</sup>，并依据主辅特征色彩选择网络中第一套方案进行初步配色，图案配色方案图见表 2；配色方案中色彩搭配基于主辅色选择网络构建，又于其余特征色中选取了八种色彩丰富画面，并利用 CorelDRAW 软件填色，将相同色区域图案群组，形成十二个对象组，利用重构批量生成插件，对十二种特征色区域位置进行打乱重构，批量生成配色方案；批量生成方案需要尽可能体现敦煌壁画意象，保证色彩网络中四种特征色的关系和 01 特征色主色的权重，因此勾选最大区域色彩；因为需要尽可能多的设计方案，所以设置生成行数、列数均为十，合计一百款的配色方案，重构批量生成插件应用见图 8。

重构批量生成十行十列共计一百个自动配色种群方案图，基本符合敦煌壁画色彩意象，对设计师创意活动起到了辅助作用；设计师和客户从中挑选了十二幅符合其需求的配色方案，并由设计师进行调整，最终输出十二款配色方案图。自动生成配色种群方案见图 9。

表 2 图案配色方案  
Tab.2 Pattern color scheme

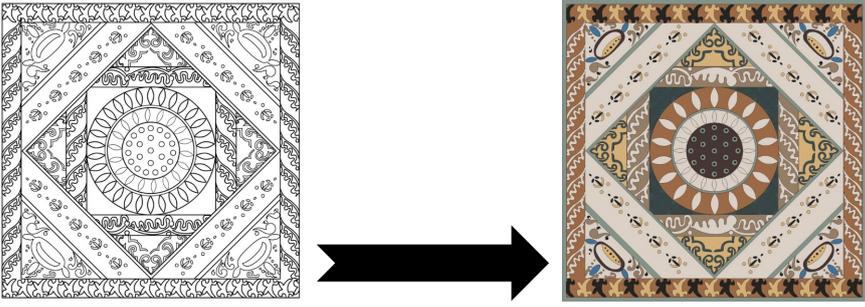
层次及纹样	内层 中心方井莲花纹	第一层 带状纹	第二层 火焰纹	第三层 忍冬纹	第四层 祥禽瑞兽纹	外层 带状纹/几何纹
图示						
线条						
主色	R:236 G:229 B:219	R:150 G:125 B:102	R:213 G:177 B:121	R:236 G:229 B:219	R:236 G:229 B:219	R:155 G:105 B:70

续表 2

层次及纹样	内层 中心方井莲花纹	第一层 带状纹	第二层 火焰纹	第三层 忍冬纹	第四层 祥禽瑞兽纹	外层 带状纹/几何纹
副色	R:70 G:54 B:51	R:236 G:229 B:219	R:61 G:81 B:82	R:38 G:37 B:36	R:150 G:125 B:102	R:213 G:177 B:121
平衡色	R:155 G:105 B:70	/	/	R:132 G:148 B:137	R:70 G:54 B:51	R:38 G:37 B:36
透气色	R:132 G:148 B:137	/	/	R:213 G:177 B:121	R:67 G:113 B:150 R:213 G:177 B:121	R:236 G:229 B:219

初步配色效果展示



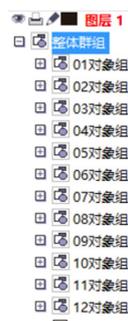


图 8 重构批量生成插件应用

Fig.8 Reconstruction of the batch plugin APP

图 9 自动生成配色种群方案

Fig.9 Automatic generation of color matching population scheme



图 10 艺术挂件效果

Fig.10 Art pendant renderings



图 11 艺术墙设计效果

Fig.11 Art wall design renderings

#### 4.2 图案设计应用实践

自动配色种群方案图可以应用到许多系列化产品上，如办公用品、茶具等，内容统一且富有变化，同时蕴含敦煌壁画韵味，具有民俗地域风情，有利于地域文化推广；结合敦煌地区传统伞盖文化元素与当代伞文化，应用输出图案，将木材质作为点缀，设计出蕴含敦煌地方文化特色的艺术挂件产品，艺术挂件

效果见图 10。将多幅图案运用到产品上，可使文化产品形成系列，统一而不单调，将产品精心排布并悬挂到敦煌特色的艺术墙上，结合敦煌地貌，配合棕褐色胡桃木设计制成的古朴“山脉”，搭配具有现代特色的金属吊件，展现一种继承传统、推陈出新的精神，体现敦煌新丝绸之路的新风貌。艺术墙设计效果图 11。

## 5 结语

敦煌壁画色彩作为传统色彩文化的瑰宝,极具研究和再设计价值。通过建立敦煌壁画图像库,对其色彩进行特征色提取和色彩网络构建,以科学的方法发现色彩配比关系,通过理性的思维方式展现敦煌色彩独特面貌特征,从而辅助设计师设计,有效提高设计师配色工作效率,准确体现敦煌色彩文化意象;将再设计的图案应用到产品设计上,是对敦煌传统壁画文化的继承和发展,使敦煌色彩之美能够有效地活跃于现代生活中,有效推广敦煌传统壁画文化与现代文明的和谐共荣,为敦煌传统壁画文化开发提供了一种新的思路。

本文的研究还存在一些不足,首先对敦煌壁画了解存在局限,缺少敦煌壁画研究专家,可能会导致壁画库中样本代表性不强;此外,聚类阈值作为专家评价设置,存在一定误差,会对色彩网络构建的稳定性和真实性存在一定影响。因此在下一步的研究过程中需要加入敦煌壁画研究专家,同时对阈值的设定进行测试实验,设计出具有普适性的阈值设定方法,使壁画色彩网络模型的构建更具科学性。

### 参考文献:

- [1] 王荔. 未尽的敦煌壁画色彩研究[J]. 新美术, 2016, 37(5): 39-46.  
WANG Li. The Color of Unfinished Dunhuang Murals[J]. New Arts, 2016, 37(5): 39-46.
- [2] 周大正. 敦煌壁画色彩结构分析[J]. 读者欣赏(理论版), 1990(3): 95-100.  
ZHOU Da-zheng. Analysis of the Color Structure of Dunhuang Murals[J]. Reader's Taste(Theory), 1990(3): 95-100.
- [3] 景楠, 刘仲青, 苏建宁. 基于文化表述的旅游纪念品情感设计[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 23-27.  
JING Nan, LIU Zhong-qing, SU Jian-ning, et al. Tourism Souvenirs Emotional Design based on Cultural Expression[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 23-27.
- [4] 刘涛, 陈忠, 陈晓荣. 复杂网络理论及其应用研究概述[J]. 系统工程, 2005(6): 1-7.  
LIU Tao, CHEN Zhong, CHEN Xiao-rong. A Brief Review of Complex Networks and Its Application[J]. Systems Engineering, 2005(6): 1-7.
- [5] 周涛, 柏文洁, 汪秉宏, 等. 复杂网络研究概述[J]. 物理, 2005(1): 31-36.  
ZHOU Tao, BAI Wen-jie, WANG Bing-hong, et al. A Brief Review of Complex Networks[J]. Physics, 2005(1): 31-36.
- [6] 杨博, 刘大有, 金弟, 等. 复杂网络聚类方法[J]. 软件学报, 2009, 20(1): 54-66.  
YANG Bo, LIU Da-you, JIN Di, et al. Complex Network Clustering Algorithms[J]. Journal of Software, 2009, 20(1): 54-66.
- [7] 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 Xiao-jian, CAO Yu-jing, Zhao Lu-xi. Color Networks of Traditional Cultural Patterns and Color Design Aiding Technology[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2016, 22(4): 899-907.
- [8] 刘肖健, 曹愉静. 基于移动终端的色彩信息交互式即时提取技术[J]. 包装工程, 2015, 36(12): 33-36.  
LIU Xiao-jian, CAO Yu-jing. Interactive Instant Extraction Technology of Color Information Based on Mobile Terminal[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(12): 33-36.
- [9] 陈熊俊, 梁昭华. 纷繁中的简化——解析敦煌藻井图案[J]. 西安工程科技学院学报, 2004(1): 44-47.  
CHEN Xiong-jun, LIANG Zhao-hua. Simplification among Complication: Analysis on Dunhuang Caisson Pattern[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2004(1): 44-47.
- [10] 贺雪梅, 吕娇莉, 曹廷蕾. 基于样本的马勺脸谱造型因子提取[J]. 包装工程, 2017, 38(8): 182-187.  
HE Xue-mei, LYU Jiao-li, CAO Yan-lei. Extraction of Mashao Facial Form Factors Based on the Samples[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(8): 182-187.
- [11] 詹秦川, 朱亚楠. 陕西社火脸谱传统造型因子提取与设计应用[J]. 包装工程, 2018, 39(20): 1-7.  
ZHAN Qin-chuan, ZHU Ya-nan. Extraction and Design Application of Traditional Modeling Factors of Shaanxi Social Fire Facial Mask[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(20): 1-7.
- [12] 张斌. 敦煌藻井图案教学的传承与创新[J]. 装饰, 2014(1): 108-109.  
ZHANG Bin. The Inheritance and Innovation of the Dunhuang Caisson Pattern's Teaching[J]. Art & Design, 2014(1): 108-109.
- [13] 张毅. 中国传统图案在现代设计中的应用[J]. 包装工程, 2009, 30(4): 179-180.  
ZHANG Yi. Application of Chinese Traditional Patterns in Modern Design[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4): 179-180.