

基于分层形状文法的蜡染花朵纹创新设计研究

虞杰, 吕健, 潘伟杰
(贵州大学, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 为促进蜡染这一民族传统艺术与现代审美的有机结合, 提升蜡染纹样的文化影响力和传播力, 提出一种基于分层形状文法的计算机辅助传统纹样设计方法, 保留传统蜡染纹样的视觉特性同时满足现代审美, 使传统蜡染焕发出新的生机。**方法** 首先分析贵州传统蜡染纹样中的花朵纹造型特征, 提取造型元素并分层, 然后运用分层形状文法进行纹样推理演变; 依据提出的创新方法生成大量不同形状, 目标形状与结果形状通过规则连接得到整个形状衍生树模型。最后设计师根据自身审美和经验对形状衍生树节点进行人机交互选择, 修剪衍生树, 排除不符合条件的节点, 完成设计方案的决策。**结论** 改进形状文法使其适用于蜡染造型设计, 建立纹样衍生树模型, 并利用传统蜡染花朵纹的创新设计, 验证该方法的可行性和有效性。

关键词: 分层形状文法; 纹样设计; 蜡染; 人机交互选择

中图分类号: J516 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)10-0255-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.10.040

Innovative Design of Batik Flower Patterns Based on Layered Shape Grammars

YU Jie, LYU Jian, PAN Wei-jie
(Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a computer-aided traditional pattern design method based on the layered shape grammar to promote the organic combination of traditional national art and modern aesthetics of the batik and enhance the cultural influence and communication capacity of batik patterns, thus preserving the visual characteristics of traditional batik patterns while satisfying modern aesthetics, so that a new life can be brought to the traditional batik. First, the patterns were extracted and layered by analyzing the flower pattern features of traditional batik patterns in Guizhou. Then, the layered shape grammar was used for reasoning and evolution of the patterns. A large number of different shapes were generated based on the proposed innovation method. The target shapes and resulting shapes were connected to the entire model of shape derivation tree. Finally, the nodes of shape derivation tree were interactively selected by the designers based on their aesthetics and experience, the derivation tree was trimmed and the unqualified nodes were excluded to complete the resolution of design scheme. The shape grammar is improved and applied to the batik design, the pattern derivation tree model is established, and the innovative design of the traditional batik flower patterns is used to verify the feasibility and effectiveness of the proposed method.

KEY WORDS: layered shape grammars; pattern design; batik; interactively selected

传统蜡染色彩素雅、形状优美, 拥有悠久的历史, 是贵州民族文化艺术中的瑰宝, 虽然用料简单, 却用

质朴、天马行空、极富张力的艺术语言构筑了多姿多彩的文化世界^[1]。贵州各民族和不同地区都拥有各自

收稿日期: 2020-01-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(51505094); 贵州省科技项目([2016]7467, [2016]2327, [2017]1046, [2017]2016, [2016]12, [2018]1049)

作者简介: 虞杰(1992—), 男, 浙江人, 贵州大学硕士生, 主攻文化遗产保护与数字媒体艺术。

通信作者: 吕健(1983—), 男, 河北人, 博士, 贵州大学副教授, 主要研究方向为工业设计、智能设计。

的蜡染文化,正因有这样的多样性,贵州蜡染拥有着丰富的文化资源。然而随着工业生产的兴盛,少数民族民众对传统蜡染产品的实用需求逐渐减少,传统蜡染技艺也因民众需求的萎缩日趋衰落^[2]。同时,蜡染纹样受到现代时尚的巨大冲击,在文化软实力较量中逐步失去自身的特点,并且传统的蜡染表现形式和载体难以满足当代人的审美潮流。为了改善这一局面,设计过程要保留蜡染纹样的特征,再结合现代图形学和计算机辅助方法,创新出符合当前需求的蜡染纹样。目前研究集中在蜡染纹样的艺术特征解析、风格特点或形状分析及直接运用上^[3],对蜡染纹样的创新性设计、纹样元素的创造性转化等研究涉及甚少。本文在贵州传统蜡染美学研究的基础上,利用分层形状文法对蜡染纹样进行再设计,提出一种基于分层形状文法的计算机辅助传统纹样设计方法,在保留传统蜡染纹样的视觉特性的同时满足现代审美,使传统蜡染焕发出新的生机。

1 蜡染内涵与艺术特征解析

蜡染是非物质文化的载体,是贵州少数民族不可或缺的传统艺术。民族服饰的纹样具有特定的寓意和内涵,能够增强群体的凝聚力,标志着群体文化,表现着群体的意识。将贵州少数民族的历史文化背景与纹样设计结合分析,有利于探究蜡染纹样深层因素,更准确地识别有效规则和形状,为纹样的创新设计铺路。想要对贵州蜡染纹样进行创新性转化,就要从纹样构型的规律、形式、元素等入手,进而对此类纹样进行归纳、分析,在继承其特点的基础上创新。

1.1 蜡染纹样的寓意与内涵

贵州蜡染主题常常选择象征美好事物的形象,如神话、传说、史歌等,通过不同动植物纹样隐喻创作者的情感思想,具有鲜明的浪漫主义情怀,图案表达了积极的愿景,例如龙的图案寓意家族安泰,鱼虾图案寓示年年有余,青蛙和蟾蜍表意五谷丰登等等。就像欧洲古典绘画的题材也往来源于宗教神话一样,这些动人的纹样和神话图案寓意使得苗族蜡染的文化内涵更为丰富多彩^[4]。同时,蜡染又在人们的信仰、生产、生活等各个方面有着不可撼动的地位,与各民族风俗习惯密不可分,人们的衣食住行、庆典活动、婚丧嫁娶、交往礼节都会出现蜡染的身影,这些自己制作的蜡染,在生活中以各类民俗形式出现。

1.2 花朵纹样作用及形态

花朵纹在蜡染中出现的频率颇高,经常被用作主要纹样和辅助纹样,是蜡染纹样中的代表,贵州蜡染中的花朵纹见图1。贵州蜡染中的花朵纹样的取材较有民族特色,不同于其他民间艺术的花朵纹,不是选择象征吉祥如意的桃花、长寿的石榴、富贵的牡丹、



图1 贵州蜡染中的花朵纹

Fig.1 Flower patterns in Guizhou batik

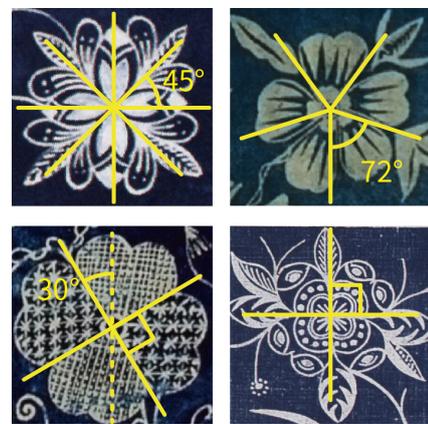


图2 蜡染纹样组合骨架

Fig.2 Batik pattern combination skeleton

平安的莲花等,而是使用贵州当地更为常见的却不那么起眼的花草——梨花、蕨花、杏花、梅花、棉花、荞花等^[4]。这并非表明他们更享受和珍视生活中的那份平静,而是体现出少数民族性格中的纯真和朴实。蜡染制作过程中的工作者多为妇女,她们将这种生活态度深深地寄托在了蜡染中。

由于贵州蜡染“适形造型”的特点^[5],花朵纹不仅能够被放置于作品中心作为主要纹样,而且常作为辅助纹样被用于点缀画面的空白部分,甚至与藤蔓纹穿插,嫁接其他图案成为画面中纹样之间沟通的桥梁。许多蜡染纹样的基本形便是一朵花的纹样,再以平面构成中重复、旋转、对称等构成手法来表现形成面的纹样。蜡染花朵纹一般由等量或不等量的图形以轴线或中心点的方式排列,形成对称和平衡的和谐美。纹样的构图骨架一般遵循一定规律,比如十字骨骼、大字骨骼、米字骨骼等。纹样沿着骨骼排布,以中心点或骨骼为基准对称、旋转分布,花朵纹的几种常见组合骨架,见图2。

2 基于分层形状文法的纹样生成

形状文法是一种常用的图案设计方法^[6-7],是通

过替换规则推理形状的生成系统。该方法可以按照一定的方式生成保留形状延续性的图案^[8]，能够继承同类形状的视觉风格和符号象征。事实上许多从业人员已经指出形状文法是一种视觉设计框架下的优势方法^[9-12]。使用形状文法能够在保留传统蜡染的寓意和因子的情况下创作符合现代审美的创新蜡染纹样。

2.1 形状文法的基本定义

根据形状文法的定义，将形状文法表示为具有四个分量的函数^[13]，记作 $SG = \langle S, L, R, I \rangle$ 。其中 S 是一组有限的形状集合； L 是一组有限的标记集合；标记形状集 $\langle S, L \rangle^+$ 为非空的标号、形状集，标记形状集 $\langle S, L \rangle^*$ 为所有的标号、形状集； R 是一组有限的规则 $\alpha \rightarrow \beta$ 的集合，其中 α 是形状推理的左形状， $\alpha \in \langle S, L \rangle^+$ ， β 是形状推理的右形状， $\beta \in \langle S, L \rangle^*$ ； I 是一个非空的分层形状有限集合， $I \in \langle S, L \rangle^+$ ，被称为初始形状集合。

在将形状文法应用于图案设计的过程中，将初始形状为目标图案的代表性图元或图元组合，对部分或全部形状进行推理演化。

两种形状规则 Rule1 和 Rule2，初始形状 I ，其中梅花形和五星形代表标记，不同规则顺序下产生的标记形状见图 3。如果单次使用形状文法，不同的形状规则会分别产生不同的标记形状。在此基础上再对初始形状 I 进行两组试验，这两组试验均使用规则 Rule1 和 Rule2，但使用顺序不同，两者结果如图 3 所示，通过对比得知：相同初始形状、规则下，规则的使用顺序不同会衍生出不同的标记形状。

将规则应用的情况进一步推导：一组规则的连续应用能够衍生大量不同的形状，这些形状生成的树状分布，见图 4，将这个树状图称为形状衍生树。可以看到，随着推导次数的增加，形状方案的节点数量会呈现指数级的增加。倘若民族纹样中所有的形状元素都基于此方法生成，便会出现庞大的形状衍生树，这对计算机的性能有一定要求，同时也不利于后续的设计师交互选择。为了避免此方法对计算机和设计师造成过大负荷，就需要引入分层的概念改进现有形状文法。

2.2 分层形状文法的定义

图层是计算机辅助设计工具中常见的结构化功能。结合该功能可以减轻形状文法在计算机图案生成过程中的复杂性。具体来说，在对单图层中的复杂图形分析后，将其分解成多个不同图层中的简单图形，借此降低子形状生成的时间要求，同时也能大幅度减少形状衍生树的推导层数。

形式上，在形状文法原有的基础上，定义一个分层形状文法为具有五个分量的函数^[14]，记作： $LSG = \langle S, L, R, I, La \rangle$ 。其中 S, L, R, I 与传统形状文法 SG 中的

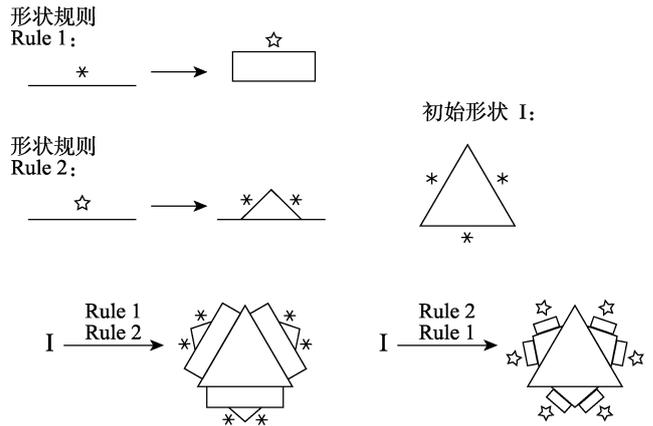


图 3 不同规则顺序下产生的标记形状
Fig.3 Marker shapes generated under different rules

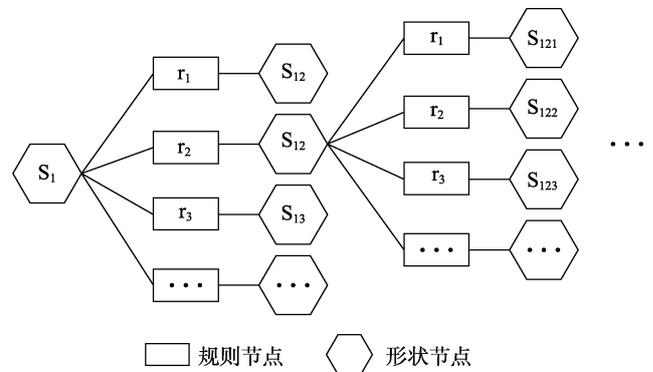


图 4 形状生成的树状分布
Fig.4 Tree distribution of shape generation

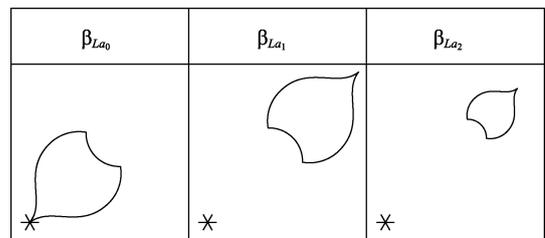


图 5 分层形状
Fig.5 Layered shape

定义相同；而 La 是 n 个图层的有限集合。

分层形状是一组 n 个的标记形状 $(\delta_{La_0}, \delta_{La_1}, \dots, \delta_{La_{(n-1)}})$ ，即每个图层都有一个带标记的形状。分层形状见图 5，其中左下角的梅花形代表规则应用的标记。

当存在变换规则 τ 时的分层形状 γ ，使得对于每层 La_i ， $\tau(\alpha_{La_i})$ 都是 γ_{La_i} 的子形状，即 $\tau(\alpha_{La_i}) \leq \gamma_{La_i}$ 。应用的变换规则 τ 必须在每个图层中相同。标记形状的其余算法会以类似的方式扩展成分层标记形状，并将运算方式并行应用于每个图层的形状中。分层形状文法规则见图 6，每个图层的内容单独显示。文法由三个规则组成，分到三个图层中。

	α_{La_0}	α_{La_1}	α_{La_2}		β_{La_0}	β_{La_1}	β_{La_2}
Rule 1		*	*	→			
Rule 2	*		*	→			
Rule 3	*	*		→			

图6 分层形状文法规则
Fig.6 Rules of layered shape grammar

3 设计师对方案的交互选择

目标图案的方案优劣与用户情感认知密切相关，此外还会受到图案的轮廓、构成、形态和尺寸等因素的综合影响。即使相近的元素或排列在不同详细情况中也能让人产生大相径庭的心理感受，这样的情况在日常生活中也经常出现。由于这是一个受到多方面因素影响的综合判断，寻找一个可以应用于计算机语言的数据化的评价指标存在诸多困难^[15]。采用交互式选择来筛选纹样的方案是目前较为理想的方法。

交互式选择下的分层形状文法，不仅利用了形状文法短时间内大量形成可能性方案的广度优势，还避免了软件自动筛选方案与制定评价标准的困难，因此可以用人机交互选择替换基于计算机程序的筛选系统。

设计师参与形状文法图案生成过程，需要一套合理的操作过程，进而提高设计师选择的准确度，保证整个过程的有效性。结合交互选择的纹样设计过程见图7。

该流程分为两个阶段。阶段1：从实际设计的样本中选取初始形状；输入初始纹样后，系统根据数据库导入形状文法的形状和规则，应用规则生成形状节点；展示生成的目标节点；设计师根据约束条件和自身经验判断并选择符合的图形；系统保留这些图形节点并进行进一步推导，未通过标准的节点则被剔除，该过程与节点生成同步进行，绘制出形状衍生树。阶段2：在完成形状衍生树后，将保留下来的有效节点形状展示给设计师；在这些可供选择的形状中，设计师再结合设计要求和审美选取其中的优秀图形，输出矢量文件；若令人满意的形状数量未能达到需求，系统会将剩余节点形状进一步推导，提供给设计师再次选择。

4 实例验证

在排除形状、线条粗细、色彩等因素，仅分析线框形状排布的前提下，根据分层形状文法进行一次传统蜡染花瓣纹设计应用。

首先从苗族蜡染的资源库中选取苗族蜡染的花

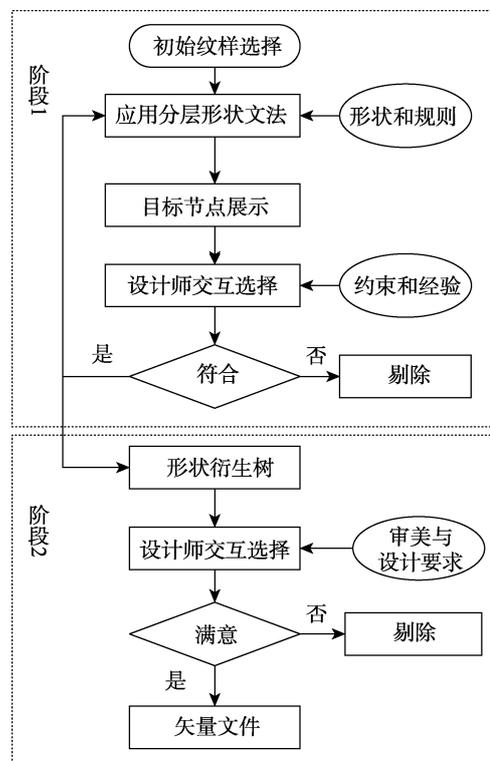


图7 结合交互选择的纹样设计过程
Fig.7 Patterns design process combined with interactive selection

瓣纹，见图8，提取组成它的形状及形状规则以进行后续的设计。经分解，可以将该图像的构成理解为：

- (1) 中央圆环；(2) 心状花瓣；(3) 类蝴蝶翅膀形；
- (4) 鸢尾形；(5) 花朵；(6) 内部子形状；(7) 装饰点；
- (8) 装饰线。通过分析这些元素之间的嵌套、从属和交替关系，可以将这个图拆解并分层，见图9。其中 La_0 为图形中心环形所在图层； La_1 为环绕中心进行变换的花瓣形等主要构成形体所在图层； La_2 为主要构成的内部子形状所在图层； La_3 为装饰点所在图层； La_4 为装饰线所在图层。

纹样完成分层后，分析成果的应用情景并参照纹样构成的形状和规则，制定针对本次纹样设计的分层



图 8 苗族蜡染
Fig.8 Miao batik

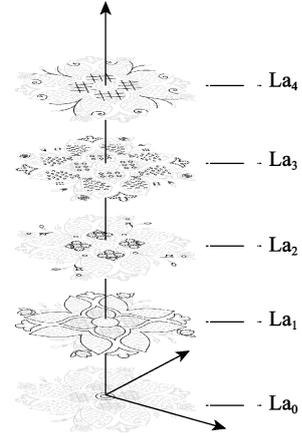


图 9 蜡染纹样分层情况
Fig.9 Layering of batik patterns

表 1 蜡染纹样的分层形状文法
Tab.1 Layered shape grammar of batik patterns

	α_{La_0}	α_{La_1}	Rest of layers		β_{La_1}	β_{La_2}	β_{La_3}	β_{La_4}	Rest of layers
Rule 1		+	+	→					+
Rule 2		+	+	→		+		+	+
Rule 3		+	+	→					+
Rule 4	*		*	→		*		*	*
Rule 5	*		*	→					*
Rule 6	*		*	→					*
Rule 7	*		*	→		*		*	*
Rule 8	*		*	→					*
Rule 9	*		*	→					*
Rule 10	*		*	→					*
Rule 11	*		*	→		*		*	*
Rule 12	*		*	→					*

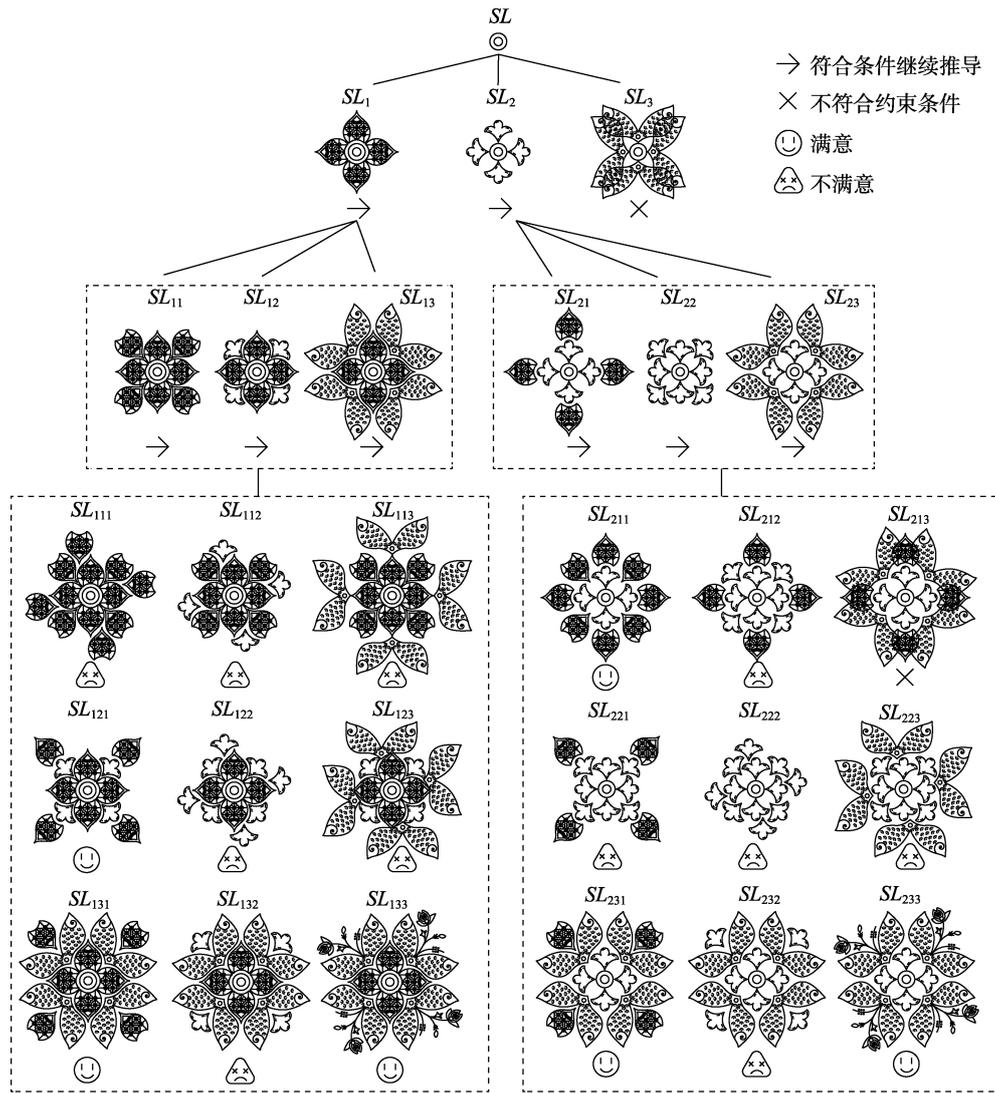


图 10 根据文法推导的形状衍生树

Fig.10 Shape derivative trees derived from grammar

形状文法、约束条件和目标。该纹样的构成以十字骨架为基准对称、旋转分布，蜡染纹样的分层形状文法见表 1，规定了九条在五个图层上的形状规则，满足本次形状生成过程中的需求。此外根据设计要求还制定了三个约束条件和两个设计要求。约束条件 1： La_i 上的形状不得互相重叠。约束条件 2：形状的外形尺寸的长宽不得超过 20cm。约束 3：形状至多进行三次推导。设计要求 1：形状至少进行两次文法推导。设计要求 2：形状内包含五十个以上的线条封闭图形。

一旦形状根据分层形状文法开始推导，一定数量的规则足以让备选结果呈现指数式上升。根据文法推导的形状衍生树见图 10，展示了以 SLa 为初始形状，根据文法经过三次推到生成图形，并经过修剪后得出符合三条约束的形状衍生树。图中向右箭头表示符合约束条件能够继续推导，叉号表示不符合约束条件。在形状衍生树中可以看到不符合要求的形状节点在修剪后不再进行继续推导，由此省略了大量无意义的形状推导。

形状衍生树约束修剪后，提取出全部目标节点并

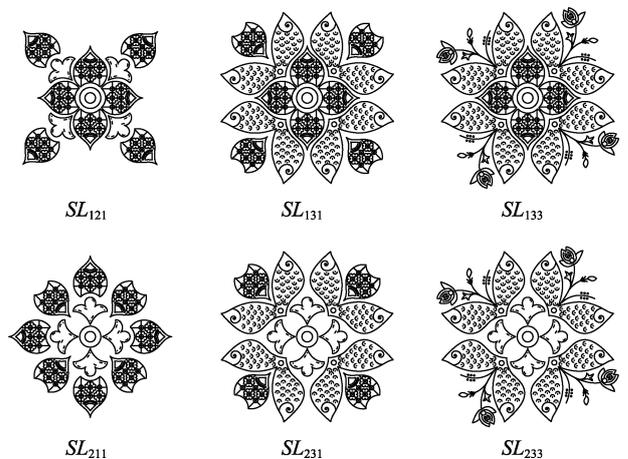


图 11 最终纹样呈现

Fig.11 The presentation of final patterns

集合起来，请专业的设计师对这些形状进行评价，选出其中的满意选项，本次设计符合需求的形状纹样，见图 11。为保证蜡染纹样特有的视觉魅力，选取其

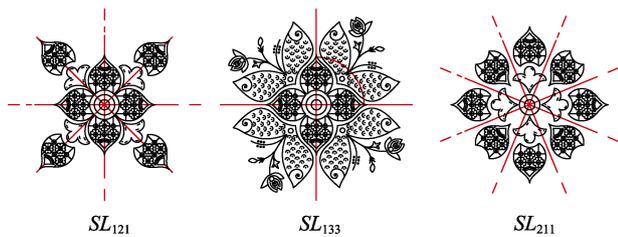


图 12 最终纹样分析
Fig.12 Analysis of final patterns



结合文创产品设计进行应用
图 13 蜡染创新设计案例
Fig.13 Innovative design case of batik

中三枚纹样 SL_{121} 、 SL_{133} 、 SL_{211} 进行构图骨架分析，最终纹样分析见图 12，可知 SL_{121} 、 SL_{211} 均为米字骨骼对称分布，而 SL_{133} 则为十字骨骼旋转分布。

传统贵州蜡染因人工绘制，有着“适形造型”的特点，为了让最终结果能够不丢失蜡染特有的灵性，需要设计师对结果进行适当的人工微调。例如， SL_{211} 纹样的中心圆周围的元素较为稀疏，需要再填入符合骨架和构型规则的小形状。后续设计师可以将形状输出矢量文件，利用 Adobe Illustrator 等矢量软件对纹样进行修改和附色，绘制出既符合现代审美又不丢失传统元素的新蜡染纹样，最终应用于现代文化产品、服装和工艺品等的设计领域中。蜡染创新设计案例见图 13。

5 结语

在已有民族纹样资源库的前提下，提出一种基于分层形状文法的蜡染花瓣纹设计方法，结合设计师人机交互选择，在保留传统蜡染纹样视觉特性同时，实现一种具有创新性，符合现代审美的纹样设计方法，通过蜡染花瓣纹创新设计实例可以看出此方法的可行性。这为更复杂的图形，如蜡染中的龙纹、蝴蝶纹的创新设计提供了基础和可能性，也为蜡染文化走出贵州，在世界范围内传播提供了方法，有助于这一古老的非物质文化遗产焕发出新的生机。

不过该方法仍有待进一步研究，主要有以下提升空间：（1）现阶段仅考虑线框形状排布的设计过程，

希望后续能够综合线条风格、色彩搭配等因素展开研究；（2）当形状、规则和图层数量达到一定规模后，目标节点展示环节的 shape 数量就会庞大到无法逐一挑选，需要有一套高效的形状归类方法。

参考文献：

- [1] 黄亚琴, 项镇. 贵州蜡染风格特点及其文化内涵解析[J]. 纺织导报, 2014(6): 149-152.
HUANG Ya-qin, XIANG Zhen. The Analysis on Guizhou Batik Style Characteristics and Its Cultural Connotation[J]. China Textile Leader, 2014(6): 149-152.
- [2] 王滢. 贵州民族原生态蜡染文化产业发展研究[J]. 贵州民族研究, 2016(3): 88-91.
WANG Ying. Development of the Original Ecological Industry of Guizhou Ethnic Batik Culture[J]. Guizhou Ethnic Studies, 2016(3): 88-91.
- [3] 张欢. 贵州蜡染艺术在室内设计中的应用[J]. 印染助剂, 2018(3): 37-40.
ZHANG Huan. Application of Guizhou Batik Art in Interior Design, Textile Auxiliaries[J]. China Textile Leader, 2018(3): 37-40.
- [4] 龙惠敏. 贵州民间蜡染艺术特征解析[J]. 大舞台, 2014(4): 225-226.
LONG Hui-min. Analysis of the Characteristics of Guizhou Folk Batik Dyeing Art[J]. Big Stage, 2014(4): 225-226.
- [5] 王绿竹. 贵州蜡染艺术浅论[J]. 贵州文史丛刊, 2008(4): 74-76.
WANG Lv-zhu. On the Batik Art in Guizhou Art department[J]. Guizhou Culture And History, 2008(4): 74-76.
- [6] 张欣蔚, 王进, 陆国栋, 等. 基于本体和形状文法的图案构形提取与重用[J]. 浙江大学学报(工学版), 2018, 51(3): 461-472.
ZHANG Xin-wei, WANG Jin, LU Guo-dong, et al. Extraction and Reuse of Pattern Configuration Based on Ontology and Shape Grammar[J]. Journal of Zhejiang University(Engineering Science), 2018, 51(3): 461-472.
- [7] 杨晓燕, 李雪芹, 彭晓红. 诗经文化元素视觉化提取与衍生设计[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 76-81.
YANG Xiao-yan, LI Xue-qin, PENG Xiao-hong. Analysis and Derivation of the Visual Features of "Book of Songs" Cultural Element[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 76-81.
- [8] 崔嘉, 唐明晰, 刘弘. 形状动态表示在产品概念设计中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2014, 26(10): 1879-1885.
CUI Jia, TANG Ming-xi, LIU Hong. Dynamic Shape Representation for Product Modeling in Conceptual Design[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2014, 26(10): 1879-1885.
- [9] 卢兆麟, 汤文成, 薛澄岐. 简论形状文法及其在工业设计中的应用[J]. 装饰, 2010, 202(2): 102-103.

(下转第 273 页)

- [13] 曹愉静. 基于大数据技术的中国传统色彩特征的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2015.
CAO Yu-jing. The Study of Chinese Traditional Color Characteristics Based on Big Data Technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2015.
- [14] 孟磊, 梁惠娥, 律睿懋, 等. 云肩色彩特征分析及其在图案设计中的应用[J]. 丝绸, 2015, 52(5): 42-46.
MENG Lei, LIANG Hui-e, LYU Rui-min, et al. Analysis on Color Feature of Cloud Shoulder and Its Application in Pattern Design[J]. Journal of Silk, 2015, 52(5): 42-46.
- [15] 魏然. 地域农产品包装设计的艺术化态势探析[J]. 美与时代(上), 2017(3): 100-102.
WEI Ran. Analysis on the Artistic Situation of Regional Agricultural Product Packaging Design[J]. Beauty & Times, 2017(3): 100-102.
- [16] 梁惠娥, 沈天琦. 地域性服饰色彩的研究现状与发展趋势[J]. 服装学报, 2016, 1(1): 90-93.
LIANG Hui-e, SHEN Tian-qi. Current Situation and Future Development Trend of Regional Clothing Color[J]. Journal of Clothing Research, 2016, 1(1): 90-93.

(上接第 241 页)

- [3] 白银锋. 城市文化品牌的营销模式探究[J]. 统计与决策, 2014(20): 58-60.
BAI Yin-feng. Marketing Model of Urban Cultural Brand[J]. Statistics & Decision, 2014(20): 58-60.
- [4] 凯文·林奇. 城市意象[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
LYNCH K. The Image of the City[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1990.
- [5] 杨万柱. 城市文化: 城市化进程中不可忽视的问题[J]. 湖南社会科学, 2002(6): 98-101.
YANG Wan-zhu. Urban Culture: Issues that Cannot Be Ignored in the Process of Urbanization[J]. Social Sciences in Hunan, 2002(6): 98-101.
- [6] 卢国英. 关于提升区域中心城市视觉形象特征的研究[D]. 上海: 同济大学, 2013.
LU Guo-ying. The Study on Promoting Visual Identity of Regional Cities[D]. Shanghai: Tongji University, 2013.
- [7] 唐·E·舒尔茨. 整合营销传播[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 2005.
SCHULTZ E D. Integrated Marketing Communications [M]. BeiJing: Chinese financial & Economic Publishing House. 2005.
- [8] 邓成连. 触动服务接触点[J]. 装饰, 2010(6): 13-17.
DENG Cheng-lian. Touch the Service Touchpoints[J]. Zhuangshi, 2010(6): 13-17.
- [9] 尹世昌, 田锋. 中关村的雕塑之光——《生命》[J]. 中关村, 2017(3): 108-109.
YIN Shi-chang, TIAN feng. Zhongguancun Light of Sculpture "Life"[J]. Zhongguancun, 2017(3): 108-109.
- [10] 高颖, 许晓峰. 服务设计: 当代设计的新理念[J]. 文艺研究, 2014(6): 140-147.
GAO Ying, XU Xiao-feng. Service Design: New Ideas of Contemporary Design[J]. Literature&Art Studies, 2014(6): 140-147.

(上接第 261 页)

- LU Zhao-lin, TANG Wen-cheng, XUE Cheng-qi. Discussion on Shape Grammar and Its Application in Industrial Design[J]. Zhuangshi, 2010, 202(2): 102-103.
- [10] 王伟伟, 杨延璞, 杨晓燕, 等. 基于形状文法的产品形态创新设计研究与实践[J]. 图学学报, 2014, 35(1): 68-73.
WANG Wei-wei, YANG Yan-pu, YANG Xiao-yan, et al. Method of Product Form Design Based on Shape Grammar[J]. Journal of Graphics, 2014, 35(1): 68-73.
- [11] CHASE S C. A Model for User Interaction in Grammar-Based Design Systems[J]. Automation in Construction, 2002, 11(2): 161-172.
- [12] 杨延璞, 陈登凯, 余隋怀, 等. 基于形状文法的泛族群产品形态设计[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(9): 2107-2115.
YANG Yan-pu, CHEN Deng-kai, YU Sui-huai, et al. Pan-ethnic-group Product Form Design Based on Shape Grammar[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(9): 2107-2115.
- [13] 孙家广. 形状语法和形状规则[J]. 计算机学报, 1986(6): 416-424.
SUN Jia-guang. Shape Grammars and Shape Rules[J]. Chinese Journal of Computers, 1986(6): 416-424.
- [14] RUIZ-MONTIEL M, BELMONTE M, BONED J, et al. Layered Shape Grammars[J]. Computer-Aided Design, 2014, 56(11): 104-119.
- [15] 刘肖健, 李桂琴, 孙守迁. 基于交互式遗传算法的产品配色设计[J]. 机械工程学报, 2009, 45(10): 222-227.
LIU Xiao-jian, LI Gui-qin, SUN Shou-qian. Color Mapping Design from Image to 3D Product Model[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(10): 222-227.