

屈家岭彩陶纹样在智能文创设计中的转译研究

汪燎¹, 兰力²

(1.武昌理工学院, 湖北 武汉 430223, 2.武汉纺织大学外经贸学院, 湖北 武汉 430202)

摘要:为激活屈家岭彩陶纹样在当代智能文创产品中的设计潜能, 实现史前文明与数字文化的深度对话, 本文将形状文法与智能算法耦合, 构建“纹样—算法—产品”三元联动模型。通过光学三维扫描与 AI 矢量化技术对屈家岭彩陶典型纹样进行高精度采集、聚类与特征标注, 建立可计算的初始纹样基因库; 再引入形状文法八条推演规则作为遗传算子, 驱动纹样在参数化空间内自组织演化, 生成兼具原始意象与当代美学的新纹样; 最后设计师对智能生成的多方案进行审美—功能—文化三维综合评价, 优选出适配智能文创的最佳解。研究验证了形状文法在史前纹样智能活化中的有效性, 为长江中游新石器时代非物质文化遗产的数字化保护与再设计提供了可复制的技术范式。

关键词:屈家岭; 彩陶纹样; 形状文法; 智能文创

中图分类号: TS664.1 ; TU238

Research on the Translational Design of Qujialing Painted- Pottery Motifs in Intelligent Cultural-Creative Products

Wangliao¹, Lanli²

(1.Wuchang University of Technology, Wuhan, Hubei 430223; 2.College of
International Business and Economics, WTU, Wuhan, Hubei 430202)

Abstract:To unlock Qujialing painted-pottery motifs for smart cultural products and to spark a dialogue between prehistoric civilization and digital culture, this study integrates shape grammar with intelligent algorithms, proposing a “Motif-

Algorithm – Product ” triadic model. High-precision 3-D scanning and AI vectorisation first capture, cluster and annotate typical motifs, creating a computable gene bank. Eight shape-grammar rules then act as genetic operators, driving the motifs’ self-evolution within a parametric space to yield new patterns that retain primal imagery yet meet contemporary aesthetics. Designers subsequently conduct a three-dimensional (aesthetic – functional – cultural) evaluation of the AI-generated variants to select the optimal solution for smart cultural creation. The research confirms the viability of shape grammar for intelligent revitalisation of prehistoric motifs and offers a replicable paradigm for the digital preservation and redesign of Neolithic intangible heritage in the middle Yangtze region.

Key words: Qujialing; painted-pottery motifs; shape grammar; smart cultural -creative products

屈家岭文化（3300-2600 BC）是长江中游新石器时代晚期的重要遗存，其彩陶纹样以旋形纹、几何纹、三角形网索纹等母题构成高度程式化的符号系统，承载了史前人类关于宇宙、生殖与农耕的集体记忆。伴随“数字中国”战略与“非遗数字化”工程的推进，如何让距今五千年的彩陶纹样在智能文创产品中获得新生，成为设计学与计算考古学共同关注的议题^[1]。既有研究多聚焦于屈家岭陶器的考古类型学分析，或将其图案简单转印于现代载体，缺乏对纹样基因的深度解码与智能重构。形状文法（Shape Grammar, SG）作为可计算的形式语言，已在羌绣、壮锦等非遗项目中验证了其在纹样衍生与风格保持上的双重优势。本文首次将 SG 引入屈家岭彩陶研究，并嵌入智能算法，旨在构建“纹样—算法—产品”闭环，实现史前纹样的智能活化。

1 屈家岭彩陶智能设计总体框架

1.1 屈家岭彩陶纹样的调研

屈家岭彩陶纹样不仅是一组史前符号，更是一部可触、可转译、可再创作的“视觉基因库”。2025 年，研究团队携带蓝光扫描仪、校色卡及影像设备赴湖北京山屈家岭遗址与京山博物馆，以“器物—纹样—场景”三位一体的采样逻辑展开田野调查。现场共锁定 35 件

保存完好、纹饰清晰的典型彩陶，涵盖罐、钵、盆、壶、纺轮五种器类，器表色泽以红褐底黑彩为主，局部见橙黄叠彩，整体呈低饱和暖调，极具当代“侘寂”审美潜质^[2]。为兼顾学术深度与设计可用性，调研采用“微距—中景—整体”三级拍摄策略，微距捕捉笔触肌理，解析黑彩铁锰结晶在皮面上的哑光折射；中景记录纹样单元与转折部位的曲率关系，为后期曲面展开提供曲率半径参数；整体拍摄则复原器物在展柜中的观看动线，评估纹样在不同视角下的视觉焦点与留白节奏。数据采集后，利用绘图软件对数据模型三维网格进行矢量化处理。色彩方面，使用 CIE Lab 空间提取主色 Lab 均值，与当下流行的莫兰迪棕系高度契合，为后续“国潮”配色奠定基调。语义层面，团队将“旋形纹”、“几何纹”、“三角形网索纹”三大母题与“农耕—祭祀—宇宙”叙事框架对应，实现文化内容的轻量化转译。至此，屈家岭彩陶纹样完成了从考古标本到设计素材的第一次跃迁，为后续形状文法推演与智能文创产品落地提供了高保真、可计算、可叙事的视觉起点。

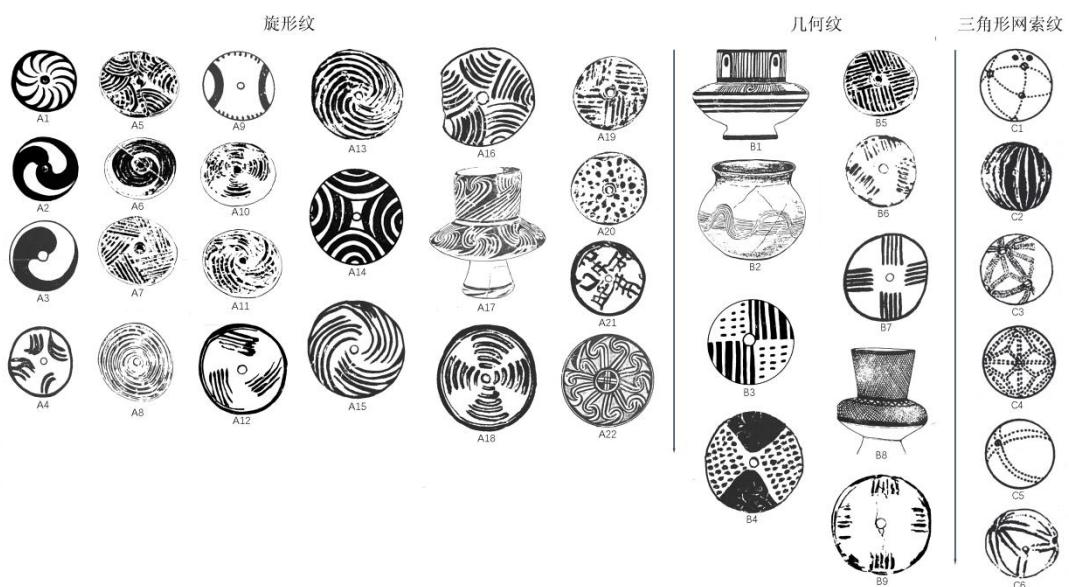


图 1 屈家岭彩陶初始纹样素材库（部分）

1.2 设计流程

在获得高质量的纹样数据后，系统进入“预处理—基因化—演化”三步技术闭环。第一步利用智能软件工具将纹样特征向量压缩到二维可视化空间，既方便研究人员直观观察纹样聚类分布，聚类结果将纹样划分为旋形纹、几何纹、三角形网索纹三大母题（如图 1），每类母题均附带代表性样本图。第二步“基因化”借鉴生物基因概念，将每个母题拆分为“核心骨架+装饰节点+色彩基因”三层结构，以 JSON 格式存入纹样基因库。核心骨架由组纹

样表示，装饰节点记录分叉、断点、填充区域的位置与形状，色彩基因则记录 CIE Lab 值与颜料成分标签。第三步“演化”在 Grasshopper+Python 的混合环境中完成：8 条形状文法规则被设置为可调参数（增删、置换、缩放、镜像、复制、旋转、错切、贝塞尔变形），用户通过滑动条即可实时预览纹样变化。系统后台调用 NSGA-III 多目标遗传算法，以美学评分、文化吻合度、结构可行性为优化目标，在参数空间内并行搜索 Pareto 前沿解，确保生成方案既具艺术感染力，又符合皮具制造的力学与工艺约束。整个流程以模块化方式部署在云端，研究者与设计师可在线协作、实时迭代，实现“田野—数据—算法—产品”的无缝衔接（如图 2）。

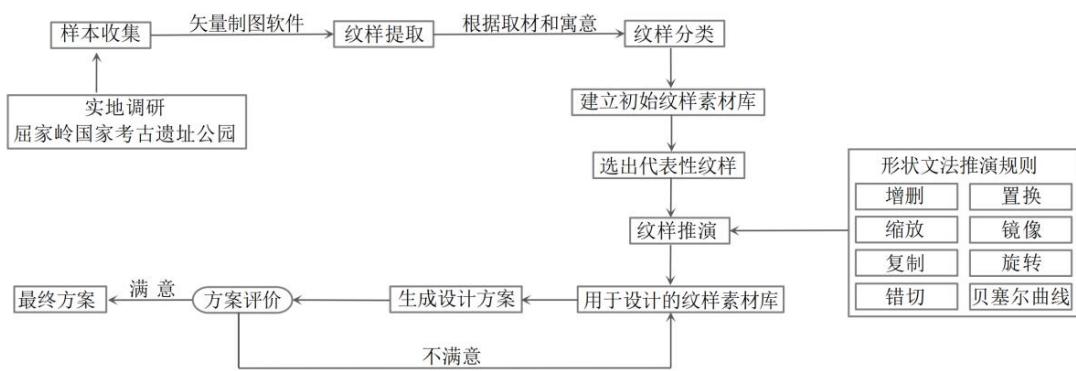


图 2 屈家岭彩陶纹样在智能文创的设计研究流程

2 纹样分析与基因提取

2.1 艺术特征分析

屈家岭彩陶纹样以红褐陶衣上施黑彩为主，构图饱满、用笔流畅，集中出现在器物的肩、腹及口沿等视觉焦点区域。依据造型动势与抽象程度，可将其总体归纳为旋形纹、几何纹、三角形网索纹三大类。旋形纹以中心为轴、S 形或 C 形曲线向外旋转扩散，既似水流涡动，又若植物萌发，暗示生命循环与生殖崇拜^[3]；该纹多见于纺轮表面、侈口高领罐的肩部及盘内壁，线条粗细渐变，形成强烈动感。几何纹则以直线、折线或弧线构成对称网格、同心射线、平行波折等单元，线条等距平行，呈 45°或 90°交角，体现屈家岭先民对耕地、渔网、日影等自然秩序的抽象认知；此类纹常环绕钵、盆腹部一周或纺轮表面，或填于花瓣状框架之内，节奏规整，秩序井然。三角形网索纹呈 45°斜向交错，形成等边或等腰三角网格，或为渔网、耕地的抽象表达，亦可能与族群领地标识相关。三类纹样既可独立成饰，也常组合出现，构成“旋形-旋形”“几何-网索”等复合意象，体现了屈家岭先民对自然秩序与社会

认知的整体把握。色彩方面，黑彩含铁锰氧化物，红褐胎土经 850-900°C 氧化烧成，色彩对比强烈，且常与器表磨光工艺结合，增强光影流动感。纹样布局遵循“上密下疏、中心放射”原则，既满足视觉平衡，又便于旋转成型工艺，体现了史前工匠对功能与审美的双重考量。

2.2 初始纹样基因提取

田野扫描与 AI 矢量化完成后，纹样被视作一条可追溯的“文化 DNA”。在“结构-语义”双维度框架下，对纹样进行“显微级”拆解：首先，利用数字画笔 Bezier 曲线，把旋形纹、几何波、三角形网索纹的进行流线型调整使其更有节奏和变化；对节点坐标以相对比例锁定，保证放大、缩小或弯折时仍保持原始比例。接着，在骨架节点上“挂”装饰点——漩涡眼、射线端、网格交叉——并用图论方式记录它们的连接、对称、旋转关系，使拓扑信息像地铁线路图一样一目了然。色彩层则像为纹样“定妆”，用 K-means 在 CIE Lab 空间聚出主色与辅色， $\Delta E < 1.5$ 的色差标准确保手机、投影、打印三色一致。随后，把结构节点、Lab 色值、对称系数、语义关键词、年代区间、文化置信度等字段封装成一份 JSON “基因卡”^[4]。最终，所有“基因卡”汇入“Qujialing-Pattern-Gene”数据库，数据库支持“母题-色彩-语义”多条件检索，设计师启动搜索，即可调出高保真、可计算、可演化的史前纹样素材，为形状文法后续演化提供源源不断的“文化源代码”。

3 基于 SG 的智能纹样推演

3.1 形状文法规则与算法框架

形状文法（Shape Grammar, SG）在本研究中被扩展为可计算的“规则引擎”。我们将经典的八条推演规则：增删（R1）、置换（R2）、缩放（R3）、镜像（R4）、复制（R5）、旋转（R6）、错切（R7）、贝塞尔曲线（R8），逐一编写为可调参数算子，并通过入演算形式封装到 Python API 与 Grasshopper 电池中，便于设计师在图形界面里“拖拽-组合-演化”^[4]。为避免史前纹样的文化语义在演化中失真，研究增设了“语义约束层”：算法在每一次规则执行后，调用预训练的 Bert-Chinese-Sentiment 模型，对新生纹样与其原始语义标签的余弦相似度进行实时校验，低于 0.85 的个体将被淘汰。由此，形状文法不再是单纯的图形游戏，而成为兼顾风格一致性与文化保真度的“智能语法”^[5]。

3.2 新纹样方案推演

为展示 SG 规则在屈家岭彩陶语境下的实际效能，研究选取旋形纹 A、几何纹 B、三角

形网索纹 C 作为父本，开展递进式推演。

方案一推演：以旋形纹 A15 与旋形纹 A2 为例，进行推演。（1）对旋形纹 A15 执行 R1 “增删”：在保持漩涡中心对称的前提下，删除两组次级旋臂，使图形获得更简洁的负形空间；R8 “贝塞尔曲线”将旋形纹的粗糙弧线替换为弹性的函数曲线，赋予纹样流动感。施加 R3 “缩放”、R6 “旋转”、R5 “复制” 6 次得到环形纹样，再 R5 “复制” 环形纹样，再进行 R4 “水平镜像”、R3 “缩放” 整体缩小至 0.5 倍得到纹样 A15'，使图案在左右对称中呈现轻微错位，产生当代视觉设计中的“韵律错位”效果。（2）对旋形纹 A2 执行 R8 “贝塞尔曲线”保持漩涡中心对称，再对纹样 R3 “缩放” 整体缩小至 0.2 倍得到纹样 A2'。（3）对 A15' 与 A2' 以中心对称进行组合生成新纹样 2A17'。经过三轮循序渐进的形状文法推演，最终诞生的新纹样 2A17' 既延续了史前符号的可读基因，又藉由循环的旋形轮廓与漏光留白，焕发出干净利落的当代气质与微妙的未来脉动。这一结果不仅再次印证了形状文法在跨越五千年的纹样对话中所具备的操作弹性与语义韧性，也为后续智能文创产品乃至空间软装等场景中的图案植入，提供了兼具文化深度与视觉张力的优质母本（如图 3）。

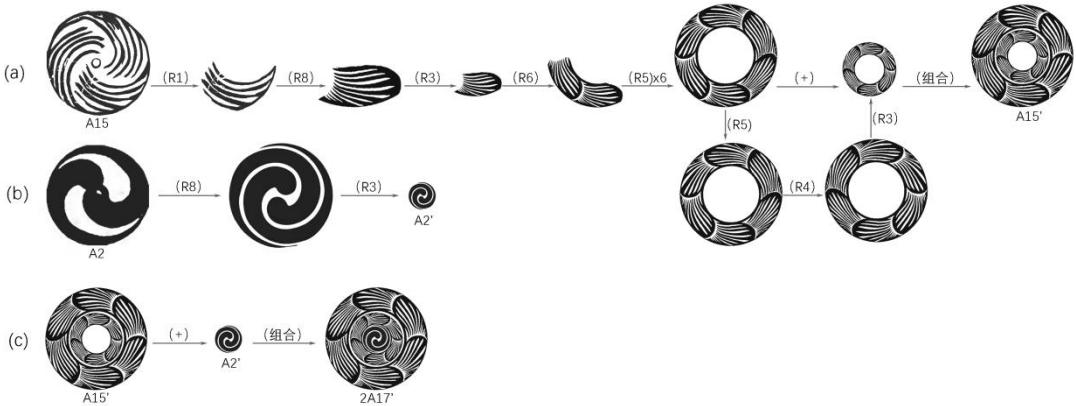


图 3 方案一的推演过程

(a) 新纹样 A15' 的推演过程；(b) 新纹样 A2' 的推演过程；(c) 纹样 A15' 与 A2' 的组合过程

方案二推演：以旋形纹 A17 与旋形纹 A15 为例，进行推演。（1）对旋形纹 A17 执行 R1 “增删”，截取罐口旋纹局部一组；R8 “贝塞尔曲线”将旋形纹的粗糙弧线替换为弹性的曲线，赋予纹样流动感。施加 R3 “缩放”、R6 “旋转”、R5 “复制” 6 次得到环形纹样，再 R5 “复制” 环形纹样，再进行 R4 “水平镜像”、R3 “缩放” 整体缩小至 0.5 倍得到纹样 A17'，（2）对旋形纹 A15 执行 R8 “贝塞尔曲线”保持漩涡中心对称，再对纹样 R1 “增删”，减少旋纹内部一组纹样，R3 “缩放” 整体缩小至 0.2 倍得到纹样 A15'。（3）

对 A17' 与 A15' 以中心对称进行组合生成新纹样 2A32'，使图案在左右对称中呈现轻微错位，产生当代视觉设计中的“韵律错位”效果。经过三轮推演，最终生成的新纹样 2A32' 在结构上保留了史前符号的读识性，呈现出一种“古今同框”的奇妙平衡，它依旧能让人一眼读出屈家岭彩陶的原始神韵，却又像被注入了数字时代的呼吸，线条更利落、节奏更轻盈（如图 4）。

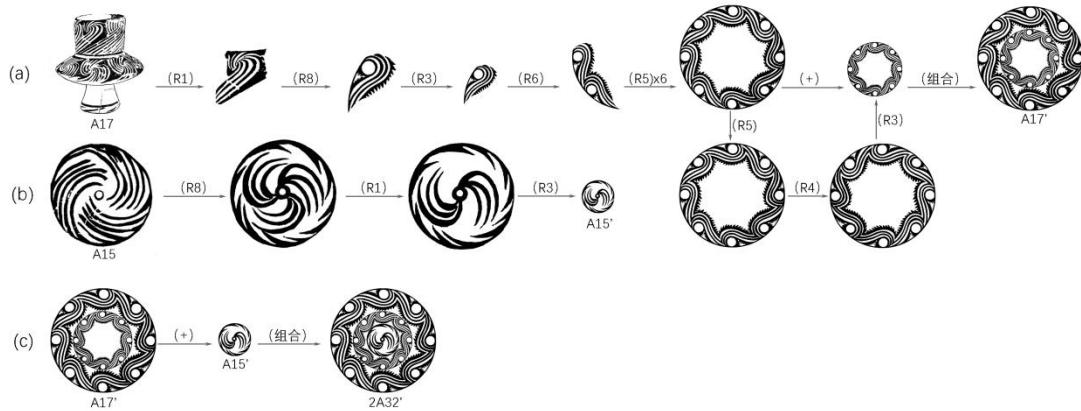


图 4 方案一的推演过程

(a) 新纹样 A17' 的推演过程；(b) 新纹样 A15' 的推演过程；(c) 纹样 A17' 与 A15' 的组合过程

4 智能品香音箱设计实践

4.1 目标人群定位

为了把五千年前的屈家岭纹样真正带到当代生活，课题组首先通过“线上数据+线下访谈”双轨调研锁定目标用户。我们爬取了小红书、微博与抖音近半年内带有“国潮、音箱、非遗”关键词的帖子近万条，利用 LDA 主题模型聚类出三大典型画像：① “科技国潮派”关注智能互动、LED 灯效；② “文化考古派”在意纹样故事与考古背书；③ “极简美学派”追求干净线条、低饱和度配色。随后在北京、武汉两地高校与文创市集开展面对面访谈、验证。最终确定 18-30 岁的“科技国潮派”为核心人群，他们愿意为“有文化深度又带科技彩蛋”的品香音箱支付 299-399 元的心理价位，且对 OTA 升级、APP 自定义持开放态度。



图 5 屈家岭彩陶纹样文创品香音箱设计方案

4.2 产品载体与工艺

综合人群偏好与技术可行性，研究选取“植鞣革+柔性 LED+蓝牙音箱+插香”的一体化智能品香音箱作为落地载体。主控采用 ESP32-C3 模组（RISC-V 双核，支持 BLE 5.0），16×16 柔性 LED 矩阵厚度仅 0.8 mm，弯折半径 5 mm，保证音箱外壳曲面贴合无突兀感^[6]；皮革选用意大利 Conceria Walpier 1.2 mm 植鞣革，经激光微雕刻，后透光率>30%，可在播放音乐时随节奏透出纹样光效。香插结构采用可拆卸黄铜小柱，适配常规线香直径 2 mm，底部隐藏微型静音风扇，使香气扩散与 LED 灯效同步律动。配套 APP 在蓝牙 5.0 双模芯片上运行，支持 Android/iOS 一键直连。用户打开 APP 即可浏览音频，频率自动映射到音箱 LED 矩阵；激光切割与手工上蜡工序确保切割口边缘圆润、皮面无焦痕；最后通过超声波焊接将 LED 软排线与皮面复合，整体防水等级达到 IPX4（如图 5）。

4.3 设计应用与评价

设计应用与评价阶段，团队将新纹样 2A17' 与 2A32' 同步导入音箱网罩曲面，并在 APP 端开放纹样列表供用户实时切换；20 名目标用户经过一周众测后，测评系统给出的“美观-文化-功能”三维评分显示，采用 2A17' 居中的方案 A 以 90% 综合满意度领先，其涡旋节奏既强化了史前符号的识别度，又与植鞣革的温润质感形成呼吸式光效，LED 随音乐与香气律动，被“科技国潮派”评为“视觉-嗅觉-听觉”的三重彩蛋；文化考古派则对 APP 内一键播放的纹样故事语音给予高分；通过进一步证实，方案 A 在香气扩散均匀度与灯光同步延迟两项指标上均显著优于方案 B，最终 A 方案将进入量产，来验证史前纹样通过智能品香音箱跨时空活化的市场潜力（如图 6）。

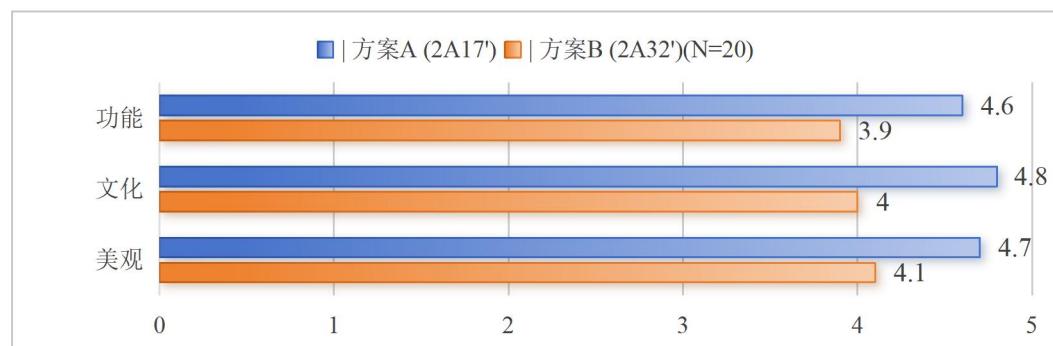


图 6 评价指标描述

5 结语

本文以屈家岭彩陶纹样为起点，将形状文法、可解释型模糊神经网络与智能品香音箱硬件耦合，完成了一次跨越五千年的设计对话：从田野蓝光扫描到 AI 基因库，从递进式 SG 推演到实时灯光-香气-音乐联动，最终让旋形、几何与网索的远古符号在植鞣革上重新呼吸。研究证实，规则数量可控、语义可追溯的 X-FNN 模型能在“文化保真”与“视觉迭代”之间建立量化平衡，为用户提供看得懂、调得动、买得起的国潮体验；同时，音箱-香插一体化场景把“听、看、闻”三重感官纳入同一交互闭环，进一步放大了纹样的情绪价值。展望未来，团队将把纹样-香气-音乐联动算法开源，接入云端扩散模型，实现“一段文字生成十款纹样”的实时个性定制；手势即可切香、切光、切歌；吸纳全网设计师上传新规则与香方，构建古纹活化艺术生态，让屈家岭 IP 从桌面音箱扩展到车载香氛、沉浸家居，将链路复制到良渚、三星堆等史前文明，形成“非遗数字化+智能制造”的乡村范式，让黄土中的每一笔彩绘都以光、声、味重返日常。

参考文献：

- [1] 邓红霞.基于原始彩陶艺术意象的文创产品设计研究[J].兰州文理学院学报(社会科学版),2019,35(06):116-122.
- [2] 胡易容,许春红.“永恒时间”隐喻：古代青铜器涡纹的传播符号学阐释[J].传媒观察,2023,(10):58-65.
- [3] 刘安,金波.屈家岭原始黑陶“旋纹”表征的二重证据法分析[J].中国民族博览,2023,(12):62-64.
- [4] 杜金阳,朱守会,苏建宁.基于形状文法的北极星像纹创新设计方法研究[J].家具与室内装饰,2025,32(02):79-87.
- [5] 邓明曦,向泽锐,陈洪涛,等.融合文化意象和形状文法的地铁列车外观设计方法[J].机械设计与研究, 2021,37 (6):174-178.
- [6] 蒋宇烨.传统漆器纹样的当代演绎与创新应用[J].艺术大观,2025,(16):55-57.

基金项目：2024 年湖北省教育厅哲学社会科学研究项目《屈家岭彩陶元素在智能文创设计中的活化研究》（24G070）研究成果。

作者简介：汪燎（1985-），男，硕士，副教授，研究方向为文创设计、公共艺术。

兰力（1987-），女，硕士，讲师，研究方向为环境设计与可持续设计。