

基于几何图形学的黎侯虎参数化样板构建

阮玉洁¹, 韩馨月¹, 卢致文^{1,2}, 李小梅³, 刘锋¹

(1. 太原理工大学 轻纺工程学院, 山西 晋中 030600;
2. 安徽天助纺织科技集团股份有限公司, 安徽 阜阳 236000;
3. 黎城黎侯虎民俗文化传播有限公司, 山西 长治 046000)

摘要:目的 为解决黎侯虎制作过程中手工制版繁琐且设计研发困难等问题。方法 基于几何图形学原理, 研究黎侯虎的参数化样板。以立虎为研究对象, 首先对其进行号型矫正和构成划分; 通过对现有4种号型平面样板中各关键控制部位间的相关性分析, 确定了基础参数, 进而总结归纳标注约束关系。然后以虎身样板为重点, 通过曲线拟合建立参数化样板; 为了检验样板的合理性与可靠性, 选取了一个空缺号型, 参考传统制作工艺进行虚拟实验, 针对实验结果进行评价。结果 实验评价表明, 该参数化样板虚拟后的黎侯虎与实物具有较好的相似性, 可用于实际生产制作。结论 该研究思路为黎侯虎创新性的设计研发和创造性传承发展提供必要的技术支撑和理论参考, 助力非遗数字化保护。

关键词: 黎侯虎; 标注约束; 参数化样板; 曲线拟合

中图分类号: TB472 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)24-0406-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.24.041

Construction of Parametric Template of Lihou Tiger Based on Geometric Graphics

RUAN Yujie¹, HAN Xinyue¹, LU Zhiwen^{1,2}, LI Xiaomei³, LIU Feng¹

(1. College of Textile Engineering, Taiyuan University of Technology, Shanxi Jinzhong 030600, China;
2. Anhui Tianzhu Textile Science Technology Co., Ltd, Anhui Fuyang 236000, China;
3. Licheng Li Houhu Folk Culture Communication Co., Ltd., Shanxi Changzhi 046000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problems of cumbersome manual plate making and difficult design and development in the production process of Lihou Tigers. The parametric construction of Lihou Tigers template was studied based on the principle of geometric graphics. With tigers in a standing position as research subjects, the structure division and type correction were carried out first. Based on the correlation analysis of the key control parts in the existing four types of plane samples, basic parameters were determined, and then the label constraint relationship was summarized. Then, taking tiger body template as the focus, parametric template was constructed by curve fitting. In order to test the rationality and reliability of the template, a vacancy size was selected and virtual experiments were carried out with reference to the traditional manufacturing process. According to the evaluation of the experimental results, the results showed that the virtual Lihou Tigers after the parameterized template had a good similarity with the real tiger, and could be used for actual production. This research idea provides necessary technical support and theoretical reference for the innovative design and development as well as creative inheritance and development of Lihou Tigers, and helping the digital protection of intangible cultural heritage.

KEY WORDS: Lihou Tigers; Dimension constraint; parametric template; curve fitting

黎侯虎作为我国非物质文化遗产, 其造型独特, 内涵丰富, 不仅是黎侯古国虎文化的缩影, 更是中国

古代图腾崇拜的体现^[1]。山西复杂的地理环境造就了黎侯虎得天独厚的“地缘”认同感, 使其成为长治地

收稿日期: 2024-07-18

基金项目: 山西省哲学社会科学规划课题(2022YY029, 2023YY051); 山西省回国留学人员科研资助项目(2022-090)

区民俗“望满月”中不可或缺的角色; 1998 年以前, 黎侯虎多为“家传”, 这种因“血缘”关系而传承的情况, 使当时黎侯虎呈现出点状分布的传承特点; 1998 年至今, 黎侯虎传承多为“业缘”, 在当地政府和两代传承人的努力下, 研学宣传和培训推广成为当前主要传承方式, 逐渐呈现出以传承人为中心连接绣娘与学徒的放射分布特点^[2]。时下黎侯虎的传承方式仍为口传心授与言传身教, 一位合格的传承人或绣娘需要经年累月地培养和练习, 直至标准沉淀于经验。但高投入低回报的培养过程和效率低下、精度不高的生产方式造成如今黎侯虎人才短缺和产品创新艰难的困境, 也使得满足精神需要的高阶“趣缘”传承网络难以形成、产品个性化定制需求难以实现。

近年来, 为更好地保护和传承这项非遗技艺, 学术界积极开展了相关研究, 但多集中于对黎侯虎的设计应用层面, 如: 产品转化^[3]、衍生设计^[4]和跨界应用^[5]等, 对其工艺技巧的研究仍停留于浅层次的记录保存^[6]。参数化设计是目前满足产品创新设计和个性化定制需求最常用的技术手段, 因其灵活性和可拓展性常被用于传统技艺的传承保护^[7]。而几何图形学作为表示、创建和处理图形对象的基础学科, 对于参数化样板生成^[8]具有重要意义, 目前通过参数化样板研究以解决黎侯虎实际问题的尚未有突破性进展。

本研究基于几何图形学原理, 应用约束的参数化制图方法, 通过几何约束与数值约束, 实现黎侯虎参数化样板生成, 不仅能够解决经验制版的弊端, 大大提高样板的精准性与可复制性, 还能满足产品的个性化需求和创新研发需要, 帮助解决黎侯虎当前产品研发和人员培训困境, 加快实现乡村振兴。

1 对象选取

黎侯虎按姿态可分为趴虎、卧虎和立虎, 其中立虎(如图 1 所示)占比最多, 且姿态具有昂扬向上、朝气蓬勃之感, 是黎侯虎的代表性形象^[9], 故选其为研究对象。受当前的制作工艺和技术的影响, 黎侯虎成品造型姿态并不稳定, 影响品质。本文通过对黎侯虎的造型解构, 进行样板研究, 以提高其造型特征的稳定性。

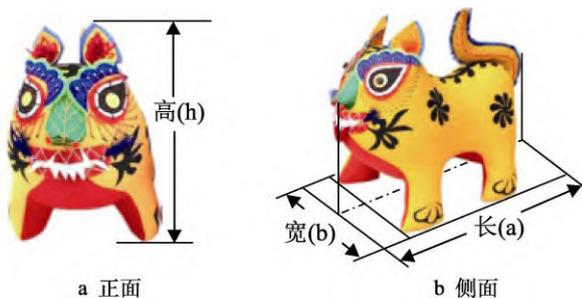


图 1 立虎实物图

Fig.1 Physical diagram of tiger in standing position

1.1 信息采集

经过市场调研发现, 当前在售的黎侯虎主要来源于山西长治地区, 在造型特征、颜色搭配和使用原料方面呈现一定共性: 造型特征基本维持高秋英经典造型版本; 配色以黄红两色为主, 少部分搭配花色; 填充以蓬松棉为主, 少部分采用锯末作为填料。但在规格尺寸方面存在少量差异, 选取电商平台中目前销售量排名前十家的黎侯虎尺寸规格进行统计对比, 因黎侯虎的长经常作为商家衡量尺寸标准且长、宽、高之间存在一定关系, 故以虎长作为号型规格代表进行统计, 其号型分布图 2 所示。

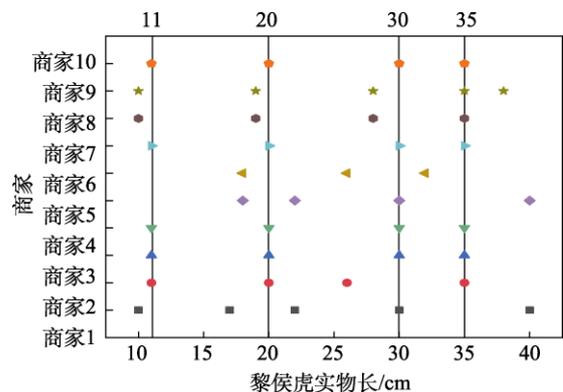


图 2 黎侯虎号型分布图

Fig.2 Model distribution of Lihou Tigers

由图 2 可知目前市场上在售的黎侯虎尺寸差异较大, 总体以竖线标出的 4 种号型分布最多, 也与传承人李小梅所设定的号型相符, 因此将其作为研究数据来源, 探索不同号型之间的样板规律。

1.2 号型确定

黎侯虎作为手工艺品, 受生产原料、生产工艺与制作者等多方面因素限制, 实物尺寸与表述尺寸存在一定误差, 经过对李小梅所设定的 4 种号型产品分别测量得到数据, 借助均值法减小随机误差, 确定各号型的规格数据见表 1。

表 1 黎侯虎实物系列号型规格

Tab.1 Physical series model specification of Lihou Tigers'

号型	长/cm	高/cm	宽/cm
大号	35	28	18
中号	30	24	17
小号	20	16	12
小小号	11	8.8	8

分析表格中数据, 得出各号型黎侯虎实物长高比遵循 5 : 4 的比例关系且较为稳定。各号型规格之间, 虎长差值为 5 cm, 虎高差值为 4 cm, 档差存在 5-4 规律。基于几何图形学原理, 探索黎侯虎样板中的原理和规律, 使其具有科学性和合理性。

2 样板参数的确立

当前黎侯虎的样板设计还停留在手工制作模板的方式,需要调整产品规格时,只能通过对模板的人工修改来逐一试错,不仅耗费时间,还极大限制了相关从业者的创造力和生产效率。基于几何图形学的参数化制版,根据样板中各关键点的数量关系和几何关系,通过定义参数和函数关系式进而实现各关键点间尺寸约束和位置约束,实现样板生成^[10],在减少手工制图依赖性的同时,还能与数字化生产工具相集成,以满足不断变化的定制化和自动化产业需求。

2.1 原型选取

通过统计分析发现,黎侯虎的立体成品尺寸与平面样板尺寸存在一定比例关系。受制作原料和填充工艺的影响,黎侯虎的立体宽度可变性较大,不作参考,故选用黎侯虎虎身长、虎身高作为样板的基准参数。其中,样板长(a_0)和实物长(a)、样板高(h_0)与实物高(h)之间的关系见表2。

表2 黎侯虎尺寸比例
Tab.2 Dimensional proportion of Lihou Tigers

部位名称	长/cm	高/cm
样板尺寸	$a_0=11/10 a$	$h_0=17/16 h$

2.2 构成划分

黎侯虎造型独特,色彩明艳,制作工艺集刺绣、布艺、剪纸和书画于一身,融各家之所长,根据其现有制作工艺特征对黎侯虎进行从整体到部分的拆解,其对应的裁片如图3所示。为了进一步研究黎侯虎样板,将各部件划分为平面部件和立体部件,由平面裁片至三维实物构成过程中发生明显形态变化的称为立体部件,包括虎身、鼻子和耳朵;未发生明显形态变化的称为平面部件,包括眉眼、嘴巴、尾巴和纹饰等。立体部件作为黎侯虎主体,且样板复杂,是本文数字化样板的研究重点。



图3 黎侯虎构成图

Fig.3 Composition diagram of Lihou Tigers

2.3 虎身样板基本参数的设定

虎身样板由两侧对称的主身样板和下腹样板构成,在传统工艺中,下腹样板为主身样板的局部,所以只需要研究主身样板。根据黎侯虎立体形态特点,对主身样板存在的明显凹凸拐点进行初步判别与标注,如图4a中A系列控制点。为了方便分析描述和提高复杂曲线拟合的精准度,在现有关键控制点基础上,按照制作工艺进行关键控制点的选取和补充,见图4b中B系列控制点。通过对传承人李小梅提供的主身样板进行数理分析,以0.5 cm为单位建立坐标,使样板顶点尽可能与坐标点重合,完成主身样板进行标准化制图^[11]如图4b所示,探索主身样板的内在规律。

为了建立参数化样板,需要对主身样板进行几何约束和标注约束^[12],借助标准化制图运用参数与其数理比例运算的方法,对黎侯虎现有号型的主身样板的结构尺寸关系进行相关性回归分析和标注约束,因主身样板的几何约束多为与其他样板位置关系的约束,故不在此详细分析。就现有4种号型的平面样板中关键控制部位进行对比研究和回归分析,得出样板内的主要参数均与样板长(a_0)和样板高(h_0)的相关性,选取二者为基本参数,主身样板中关键控制部位与基本参数间的标注约束关系见表3。

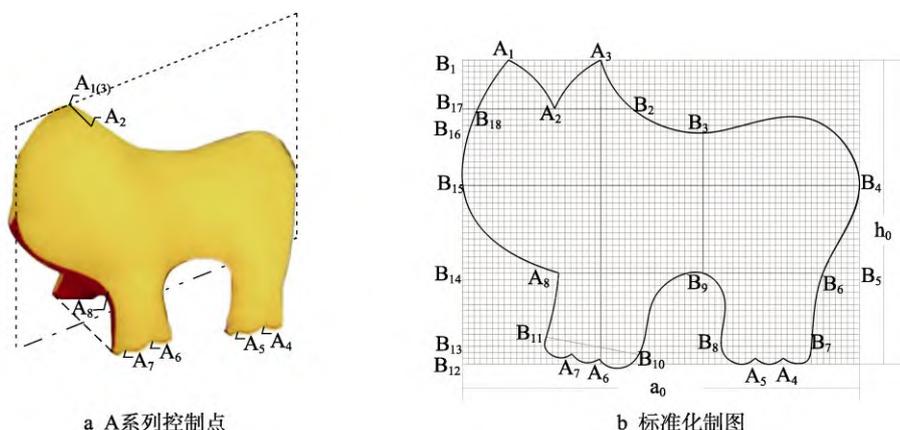


图4 主身样板的标准化制图

Fig.4 Standardized drafting of main body template

表 3 主身样板标注约束
Tab.3 Dimension constraint of main body template

约束对象	参数名称义	表达式
B_1B_{12}	虎身样板高	h_0
B_1B_{15}	虎头高	$2h_0/5$
$B_{15}B_{12}$	虎嘴高	$c=3h_0/5$
$B_{17}B_{12}$	虎耳高	$c+6h_0/25$
$B_{14}B_{12}$	虎腿高	$c/2$
$B_{13}B_{12}$	虎蹄高	$1h_0/17$
$B_{15}B_4$	虎身样板长	a_0
$B_{14}A_8$	虎脖宽	$(a_0-1)/4$
B_1A_3	虎脸宽	$d=a_0/3+0.5$
B_1A_1	额中心	$d/3$
$B_{18}A_2 (A_2B_2)$	前(后)额宽	$5d/9$
B_5B_6	虎臀宽	$a_0/11$
$B_{10}B_{11} (B_7B_8)$	蹄宽	$4B_6A_8/11$

3 样板曲线拟合

黎侯虎的主身样板轮廓主要由直线与曲线构成, 直线由关键点连接而成, 确定两个关键控制点即可画出; 曲线较为复杂, 根据走势和曲率划分为 C 形曲线和 S 形曲线^[13], 大部分 S 曲线也可划分两段 C 形曲线, 再选用常见的方法进行逼近拟合, 如圆弧样条法、三点拟合法和 Bezier 曲线拟合法等。

3.1 曲线分割

主身样板中的 C 形曲线可根据控制点的个数和曲线的形状划分为单圆弧、双圆弧和三圆弧, 不同圆弧应采用不同的拟合方式。因此, 对样板曲线进行拟合逼近前, 对黎侯虎主身样板进行合理的曲线分割是曲线拟合的关键^[14]。

为操作方便和拟合简单, 依据曲线趋势和特性, 在保持曲线连续性和光滑性的基础上, 依据减小误差原则和数量最少原则, 将主身样板曲线进行逐级分割。首先, 根据关键控制点, 将较为明显的 C 形曲线

A_1A_2 、曲线 A_2A_3 、曲线 A_1A_8 等单圆弧进行分割; 其次, 因曲线 B_7B_8 、曲线 $B_{10}B_{11}$ 是黎侯虎虎爪部分, 近似三等分圆弧, 故选取 B_7 、 B_8 、 B_{10} 、 B_{11} 为分割点, 将曲线 A_3A_8 划分为曲线 A_3B_7 、曲线 B_7B_8 、曲线 B_8B_{10} 、曲线 $B_{10}B_{11}$ 和单圆弧曲线 $B_{11}A_8$, 最后根据虎爪尖点 A_4 、 A_5 、 A_6 、 A_7 将 B_7B_8 和 $B_{10}B_{11}$ 各划分为三段圆弧曲线。

3.2 圆弧曲线拟合方法

单圆弧曲线拟合较为简单, 只需要确定圆心、半径和两端点即可, 本文重点讨论黎侯虎样板中双圆弧和三圆弧曲线的拟合方式。样板中双圆弧的两切线夹角一般为直角和钝角, 对于此类连接点相切并具有 G1 连续性的双圆弧采用使曲线更为稳定的内心法^[15]进行绘制, 如图 5a 所示; 对于两切线夹角锐角且未与相邻圆弧存在重合、垂直、平行、相切等约束条件的双圆弧^[16], 为保障圆弧曲线的准确性与 G1 连续性, 采用增加控制点方法, 借助样板中控制点之间的相关性进行约束绘制, 如图 5b 所示。

为了更好地拟合样板中的三圆弧, 将双圆弧拟合样板曲线拓展到三圆弧的拟合方法, 通过两条控制边确定两个公切点, 进而实现三圆弧绘制拟合^[17], 拟合方法如图 6 所示。

3.3 虎身样板复杂圆弧曲线拟合

对于复杂虎腰曲线 B_8B_{10} , 根据其现有切点 B_9 , 将其划分为两段 S 形曲线 B_8B_9 和曲线 B_9B_{10} , 然后根据曲线法线的方向将其分割为 4 段 C 形曲线如图 7 所示, 再利用内心点法分别拟合双圆弧和三圆弧^[18], 即可实现虎腰曲线拟合。

曲线 A_3B_7 是虎身样板中虎脊曲线和虎臀曲线的交汇, 涉及控制点较多, 如何在保证数量较少的原则下, 实现曲线的精确拟合, 分割是其中关键。因虎臀曲线光滑连续, 曲率复杂难辨, 并未有明显尖点、交点和切点, 为此采用数学模型法进行曲线的逼近拟合。高斯函数拟合是一种用于解决科学和工程领域中的数据拟合问题的数学方法, 常用于拟合钟形曲线,

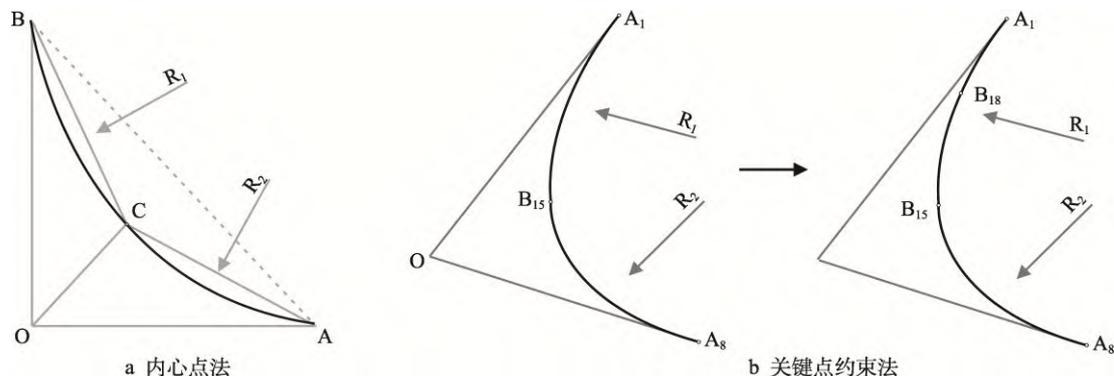


图 5 双圆弧拟合方法
Fig.5 Double circular arc fitting method

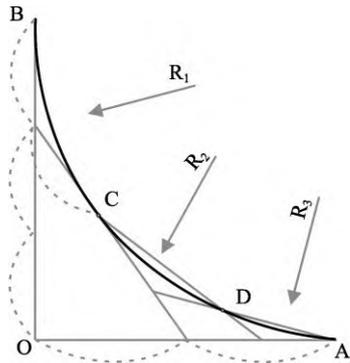


图6 三圆弧拟合方法
Fig.6 Three circular arc fitting method

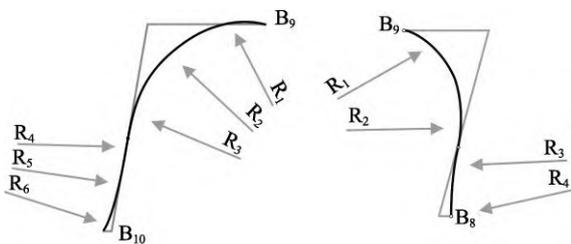


图7 虎腰曲线分割示意图
Fig.7 Schematic diagram of tiger waist curve segmentation

因其具有灵活性、高拟合精度和参数解释性的优点，广泛用于图像处理、信号处理、拟合数据和概率计算等方面^[19]。借助 Origin 软件进行拟合模拟，设计 3 种分割方案进行对比实验，见表 4。

表4 曲线 A₃B₇ 分割方案
Tab.4 Curve A₃B₇ segmentation scheme

曲线 A ₃ B ₇ 分割方案	分割点选取	曲线划分	示意图	数学模型拟合结果
方案 1	B ₄ 、B ₆	A ₃ B ₄ (类 S 形曲线) B ₄ B ₆ (S 形曲线) B ₆ B ₇ (C 形曲线)		拟合未收敛
方案 2	B ₃ 、B ₆	A ₃ B ₃ (C 形曲线) B ₃ B ₆ (类钟形曲线) B ₆ B ₇ (C 形曲线)		拟合未收敛
方案 3	B ₁₉ 、B ₄	A ₃ B ₁₉ (C 形曲线) B ₁₉ B ₄ (类钟形曲线) B ₄ B ₇ (S 形曲线)		GaussAmp 函数拟合收敛

方案 1 和方案 2 数学模型拟合未收敛，即拟合曲线不匹配不存在最优解，证明这两种分割方案不可行；方案 3 通过连接 A₃B₄ 交曲线于 B₁₉，对 B₁₉B₄ 进行多次 GaussAmp 函数模型拟合均为收敛，曲线拟合成功，分割方案成立，其单峰 GaussAmp 函数表达式^[20]为：

$$Y = y_0 + A \times e^{-0.5 \times ((x-xc)/w)^2} \quad (1)$$

为了验证此函数模型的拟合效果，通过对传承人提供的 4 种号型黎侯虎主身样板中的 B₁₉B₄ 曲线分别测量拟合模拟 3 次后求均值，剔除异常值出现频率较高的小号号型数据后，进行多元线性回归分析^[21]，函数中未知参数与已知参数 a₀、a、h₀、h 之间关系见表 5。其中，主要参数相关系数 R 均在 0.99~1，说明拟合效果较好。

3.4 黎侯虎其他部分样板的建立

参照上述方法，对下腹样板、部件样板与纹饰样板进行分析构建，其几何约束和标注约束汇总表 6。

4 实验与评价

为了验证参数化样板的准确性和实用性，遵循现有号型规律，选取当前空缺号型进行验证。

4.1 结构制图

设定空缺号型制图规格见表 7。

表 5 数学模型拟合表
Tab.5 Fitting of mathematical model

号型	未知参数				函数表达式
	Y_0	A	xc	w	$Y = y_0 + A \times e^{-0.5 \times ((x-xc)/w)^2}$
大号	-34.519	38.031	6.433	14.092	$Y = (0.481 - a) + (a_0 - 0.469) \times e^{-0.5 \times ((x - \frac{a_0}{6} - 0.016) / (\frac{h}{2} + 0.092))^2}$
中号	-29.658	32.674	5.538	12.343	$Y = (0.342 - a) + (a_0 - 0.326) \times e^{-0.5 \times ((x - \frac{a_0}{6} - 0.038) / (\frac{h}{2} + 0.343))^2}$
小小号	-10.549	11.715	2.104	4.532	$Y = (0.451 - a) + (a_0 - 0.385) \times e^{-0.5 \times ((x - \frac{a_0}{6} - 0.087) / (\frac{h}{2} + 0.127))^2}$
回归分析	$0.5 - a$	$a_0 - 0.5$	$a_0 / 6$	$h / 2$	$Y = (0.5 - a) + (a_0 - 0.5) \times e^{-0.5 \times ((x - \frac{a_0}{6}) / \frac{h}{2})^2}$

表 6 黎侯虎其他样板约束
Tab.6 Other template constraints of Lihou Tigers

参数类型	含义(符号)	表达式	约束条件
标注约束	侧腹宽 (B_9B_{21})	$2B_3B_9/5$	与 B_3B_9 共线
几何约束	虎耳宽	$9A_1A_2/10$	与 A_1A_2 共线
	虎耳高	$h_0/7$	与 A_1A_2 垂直
	虎眼高	$A_1B_{15}/2$	与 A_3B_{15} 平行
	虎眼宽	$a_0/10$	与 A_3B_{15} 垂直
	虎鼻长	$A_1B_{15}/2$	与 A_1B_{15} 共线
	虎鼻高	$a_0/15$	与 A_1B_{15} 垂直
	虎嘴高	$a_0/10$	与 $B_{15}A_8$ 共线
	虎嘴宽	$2B_1A_3/3$	与 $B_{15}A_8$ 垂直
	虎尾长	B_3B_4	与 B_3B_{19} 共线
	虎尾高	$9h_0/25$	与 B_3B_{19} 垂直
	虎脊纹	A_3B_4	与 A_3B_4 共线
	虎头纹	$h_0/10$	与 A_1A_2 平行
	虎身纹	$3B_3B_9/5$	与 $B_{15}B_4$ 平行

表 7 空缺号型制图规格
Tab.7 Specification for vacancy model drawing

号型	部位名称	长/cm	高/cm
空缺组	样板尺寸	27.5	21.25
	成品尺寸	25	20

根据号型尺寸变化对上文中的几何约束和标注约束进行调整, 得到主身样板的基础结构如图 8(a), 计算出主身样板臀部曲线 $B_{19}B_4$ 的长度, 得出空缺号型回归函数表达式中自变量的取值范围为 $0 \sim 8.876$, 将自变量代入化简后的回归函数表达式中得到公式(2), 使用 Python^[22]中 Matplotlib 库完成曲线生成如图 8b。在补全主身样板基础上完成黎侯虎全套样板如图 9。

$$Y = -24.5 + 27 \times e^{-0.5 \times ((x - 4.583) / 10)^2} \quad (2)$$

4.2 三维虚拟实验

参考黎侯虎实物制作流程与工艺技巧, 将绘制完成的黎侯虎空缺号型样板导入 Style3D 软件^[23]中, 依次进行虚拟缝合和填充, 并参照面料材质属性与经典色彩搭配, 进行三维虚拟实验, 其效果如图 10 所示。

4.3 虚拟效果评价

选取正面和侧面两个视角, 将空缺号型黎侯虎虚拟效果和现有的中号实物效果进行对比, 如图 11 所示, 据此验证黎侯虎参数化样板研究的可行性和科学性。

采用模糊层次分析法 (FAHP) 对虚拟还原的黎侯虎进行综合评价^[24]。黎侯虎作为特色民间工艺美术品, 专家学者对其审美特征常从造型特征、制作工艺和色彩纹样等方面进行评价^[25], 综合考虑三方面影响

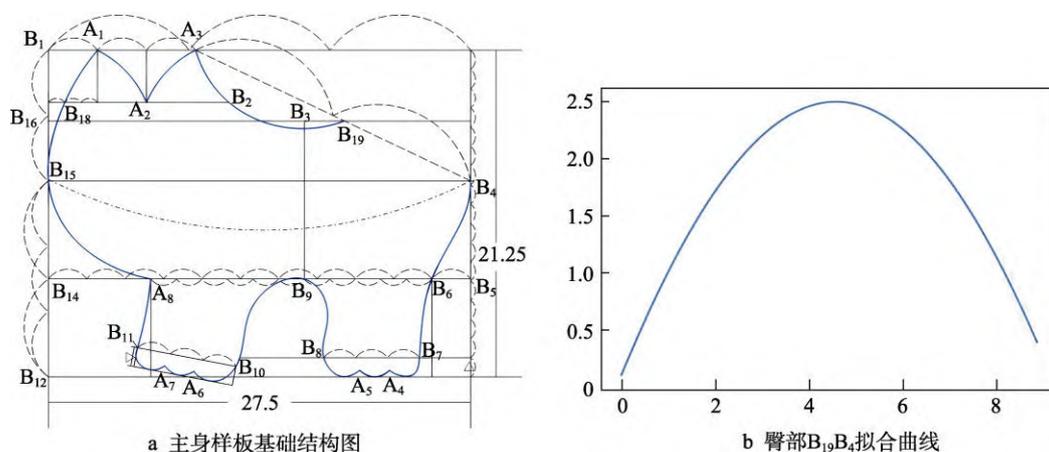


图 8 黎侯虎空缺号型主身样板结构
Fig.8 Structure diagram for vacant model main body template of Lihou Tigers

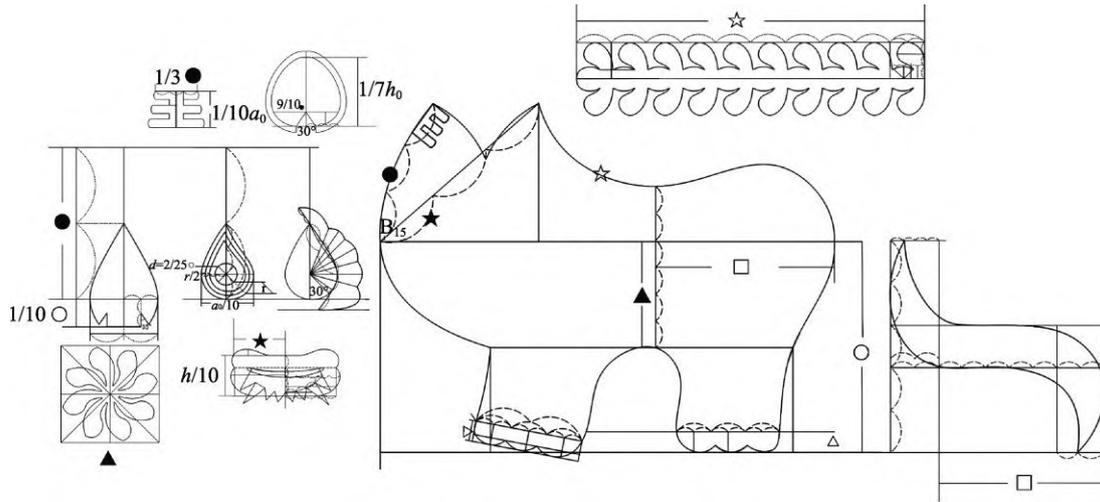


图9 黎侯虎空缺号型全套样板
Fig.9 Lihou Tigers' complete set of sample templates for vacant models

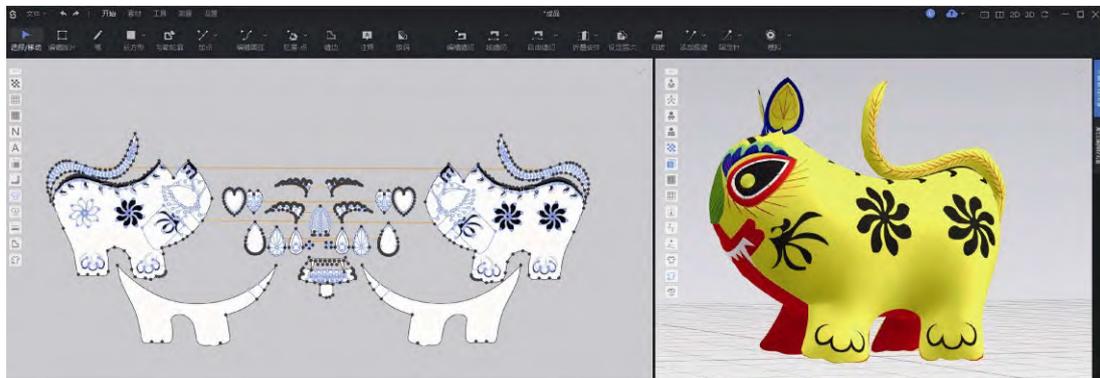


图10 空缺号型黎侯虎虚拟效果
Fig.10 Virtual presentation of vacant model Lihou Tigers



图11 黎侯虎虚拟效果对比
Fig.11 Virtual effect comparison chart of Lihou Tigers

因素,采用层次分析法将评价指标体系划分为标准层和指标层,建立评价体系,如图12所示。

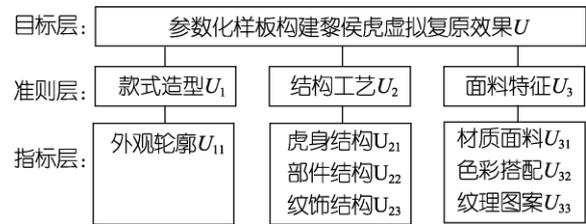


图12 虚拟还原效果评价系统
Fig.12 Virtual restoration effect evaluation system

然后,采用五分量表法, $V=(v_1、v_2、v_3、v_4、v_5)=(优秀、好、一般、差、非常差)$ 确定虚拟还原效果的评价集。因不同的指标对虚拟还原效果评价的影响不同,故采用层次分析法求各项指标权重,共邀请传承人在内的五位行业专家对各指标进行评价,应用9分标度法,求平均值,构建判断矩阵,其主要指标的判断矩阵 G 如下:

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 5 \\ 2 & 1 & 7 \\ 1/5 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

借用 SPSS 软件, 采用特征向量法计算权重, 计算矩阵 G 的最大特征根 $\lambda_{\max}=3.014$, 将特征向量归一化处理, 代入公式 (4):

$$I_C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

计算得 $I_C=0.007$, 已知 $I_R=0.520$, 则一致性比例 $R_C=I_C/I_R=0.014<0.1$, 通过一致性检验, 因此一级指标权重系数款式造型为 0.333 8, 结构工艺为 0.590 7, 面料特征为 0.075 5。用同样的方法可得到二级指标权重系数, 并计算各指标的综合权重系数, 见表 8。

在确定评价指标权重后, 采用问卷法调研法将虚拟黎侯虎效果图与实物黎侯虎进行对比调研, 调查问卷的受访对象包含传承人、绣娘、普通消费者和相关领域专家学者。调研结束后对二级指标的评价数据进

行汇总和统计, 共收集问卷 421 份, 其中有效问卷 402 份, 有效率为 95.49%。调查统计结果见表 9。

表 8 虚拟还原效果指标权重系数
Tab.8 Weighting coefficients of virtual restoration effect indicators

一级指标	权重	二级指标	权重	综合权重
款式造型 U_1	0.333 8	外观轮廓 U_{11}	0.333 8	0.333 8
结构工艺 U_2	0.590 7	虎身结构 U_{21}	0.633 3	0.374 1
		部件结构 U_{22}	0.260 5	0.153 9
		纹饰结构 U_{23}	0.106 2	0.062 7
面料特征 U_3	0.075 5	材质面料 U_{31}	0.109 6	0.008 3
		色彩搭配 U_{32}	0.309 2	0.023 3
		纹理图案 U_{33}	0.581 2	0.043 9

表 9 调查问卷结果统计表
Tab.9 Summary of survey questionnaire results

准则层	指标层	优秀	好	一般	差	非常差
款式造型 U_1	外观轮廓 U_{11}	0.150 9	0.579 3	0.253 1	0.016 7	0
	虎身结构 U_{21}	0.231 3	0.519 9	0.181 2	0.067 6	0
结构工艺 U_2	部件结构 U_{22}	0.236 3	0.412 9	0.293 5	0.057 3	0
	纹饰结构 U_{23}	0.149 3	0.544 7	0.189 1	0.116 9	0
	材质面料 U_{31}	0.278 6	0.333 3	0.221 4	0.166 7	0
面料特征 U_3	色彩搭配 U_{32}	0.221 4	0.390 5	0.338 3	0.049 8	0
	纹理图案 U_{33}	0.318 4	0.383 1	0.236 3	0.062 2	0

根据统计结果, 可以得到二级单因素模糊综合评价矩阵 R 。结合各指标的权重和模糊综合评价原则, 代入公式 (5):

$$B=W R \quad (5)$$

式中: W 为权重系数, 通过计算出虚拟恢复效果的综合评价值 $B=(0.204 3, 0.514 2, 0.229 3, 0.052 2, 0)$, 按照最大隶属度原则, 黎侯虎参数样板虚拟还原效果为好。

5 结语

通过对黎侯虎中的立虎进行参数化研究, 以虎高、虎长为初始变量, 研究平面样板中关键控制部位与已知参数间的相关性; 借助函数模型拟合总结出复杂曲线的拟合公式; 基于几何约束与标注约束控制样板间的关联性, 归纳总结黎侯虎参数化样板的约束条件集合, 并据此生成所需号型的样板。通过模糊层次分析法对三维虚拟实验结果进行分析评价, 评价结果证明样板研究的可行性与实用性。本研究能够为今后黎侯虎样板的自动化生成提供理论支撑和技术参考, 进一步加快黎侯虎大规模定制和个性化定制的实现。

参考文献:

[1] 刘子阳. 区域文化视角下黎侯虎的艺术特征及美学思

考[J]. 西部皮革, 2020, 42(15): 54-55.

LIU Z Y. Artistic Characteristics and Aesthetic Thinking of Li Houhu from the Perspective of Regional Culture[J]. West Leather, 2020, 42(15): 54-55.

[2] 胡玥. 浅谈山西民间美术黎侯虎的发展与传承[J]. 大众文艺, 2019(16): 45-46.

HU Y. On the Development and Inheritance of Shanxi Folk Art Li Houhu[J]. Popular literature and art, 2019(16): 45-46.

[3] 赵楠. 民俗玩具“黎侯虎”在吉祥物设计中的应用与实现[J]. 现代装饰(理论), 2016(6): 9-10.

ZHAO N. Application and Realization of Folk Toy "Li Houhu" in Mascot Design[J]. Modern Decoration (Theory), 2016(6): 9-10.

[4] 穆佳雪, 张新沂. 虎虎生威——非遗黎侯虎的创意转化的配饰衍生设计[J]. 上海纺织科技, 2022, 50(9): 97.

MU J X, ZHANG X Y. A Tiger Gives Birth to Power—The Accessory Derivative Design of Li Houhu's Creative Transformation[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2022, 50(9): 97.

[5] 任港政贤, 管雪松. “黎侯虎”在陈设设计中的应用[J]. 家具, 2022, 43(1): 76-79.

REN G Z X, GUAN X S. The Application of "Lihou Cloth Tiger" in Interior Design[J]. Furniture, 2022, 43(1): 76-79.

[6] 李超. 新时期以来长治黎侯虎的制作工艺及其传承

- [J]. 淮北职业技术学院学报, 2016, 15 (03): 63-67.
LI C. The Production Technology and Inheritance of Li Houhu in Changzhi Since the New Period[J]. Journal of Huaibei Vocational and Technical College, 2016, 15 (3): 63-67.
- [7] 傅桂涛, 江晓斌. 传统竹编结构的参数化重构与设计应用[J]. 包装工程, 2023, 44 (8): 438.
FU G T, JIANG X B. Parametric Reconstruction and Design Application of Traditional Bamboo Woven Structure[J]. Packaging Engineering, 2023, 44 (8): 438.
- [8] 彭贝. 基于约束图的服装参数化制版技术[D]. 北京服装学院, 2012: 5-7.
PENG B. The Technology of Garment Parameterization Based on Constraint Graph[D]. Beijing: Beijing Institute of Fashion Technology, 2012: 5-7.
- [9] 袁慧敏. 淮阳和黎城“布老虎”造型特征比较研究[J]. 西部皮革, 2022, 44(22): 43-45.
YUAN H M. Comparative Study on the Modeling Characteristics Of "Cloth Tiger" in Huaiyang and Licheng[J]. West Leather, 2022, 44(22): 43-45.
- [10] 张伶俐, 张皋鹏. 应用 MatLab 的服装纸样参数化平面制版[J]. 纺织学报, 2019, 40(1): 130-135.
ZHANG L L, ZHANG G P. Parametric Flat Pattern Design for Clothing Based on MatLab[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(1): 130-135.
- [11] 向静雯. 魏晋南北朝时期忍冬纹艺术符号研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2019.
XIANG J W. A Study of Honeysuckle Pattern's Artistic Symbols in Wei, Jin, Southern and Northern Dynasties [D]. Zhuzhou: Hunan University of Technology, 2019.
- [12] 娄少红. 基于 AutoCAD 参数化功能的 A 型裙样板自动化生成[J]. 纺织学报, 2020, 41(1): 131-138.
LOU S H. Automatic Generation of A-Type Skirt Model Based on AutoCAD Parametric Function[J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(1): 131-138.
- [13] 叶勤文, 张皋鹏. 基于 AutoCAD 参数化的个性化服装纸样生成[J]. 纺织学报, 2019, 40(4): 103-110.
YE Q W, ZHANG G P. Generation of Personalized Garment Pattern Based on AutoCAD Parameterization [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(4): 103-110.
- [14] 周艳红, 江红霞, 陈玲. 基于 AutoCAD 参数化中式嫁衣样板的自动生成[J]. 纺织学报, 2022, 43(9): 175-181.
ZHOU Y H, JIANG H X, CHEN L. Automatic Pattern-Making of Chinese Wedding Dress Based on AutoCAD Parameterization[J]. Journal of Textile Research, 2022, 43(9): 175-181.
- [15] 叶勤文, 陈咪, 张皋鹏. 双圆弧拟合曲线在参数化服装制版中的应用[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2019, 45(6): 851-857.
YE Q W, CHEN M, ZHANG G P. Application of Double Arc Fitting Curve in Parametric Garment Plate Making[J]. Journal of Donghua University (Natural Science), 2019, 45(6): 851-857.
- [16] 李玉贤, 巫晓雯, 吴光军, 等. 针织毛衫版片的参数化设计模型与实现[J]. 纺织学报, 2023, 44(9): 168-174.
LI Y X, WU X W, WU G J, et al. Parametric Design Modeling and Implementation of Patterns for Knit Sweaters[J]. Journal of Textile Research, 2023, 44(9): 168-174.
- [17] 叶勤文, 王维杰, 陈咪, 等. 基于 AutoCAD 以及圆弧拟合曲线的参数化服装制版[J]. 毛纺科技, 2019, 47(9): 57-65.
YE Q W, WANG W J, CHEN M, et al. Parametric Apparel Pattern-Making Based on AutoCAD and Curve Fitting with Arc[J]. Wool Textile Journal, 2019, 47(9): 57-65.
- [18] 程明, 赵燕辉, 余卫华, 等. 面向实际工程应用的参数化旗袍样板构建[J]. 丝绸, 2022, 59(3): 7-19.
CHENG M, ZHAO Y H, YU W H, et al. Construction of Parameterized Cheongsam Pattern for Practical Engineering Application[J]. Journal of Silk, 2022, 59(3): 7-19.
- [19] 程月月, 陈荣, 孙济庆. 基于多种函数拟合的技术预见模型[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(4): 185-188.
CHENG Y Y, CHEN R. Technical Foresight Model Based on Multiple Function Fitting[J]. Information Studies (Theory & Application), 2021, 44(4): 185-188.
- [20] 李婷, 刘君泰. Origin 软件的高斯多峰拟合方法在物理化学实验中的应用[J]. 化工设计通讯, 2016, 42(5): 157.
LI T, LIU J T. Origin Software Multimodal Gaussian Fitting Method Applied in Physical Chemistry Experiment[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2016, 42(5): 157.
- [21] 王成佐, 肖爱民, 李慎玲, 等. 区域性合体男西服个性化样板研究[J]. 毛纺科技, 2023, 51(2): 49-55.
WANG C Z, XIAO A M, LI S L, et al. Personalized Plate Making of Regional Men's Suit[J]. Wool Textile Journal, 2023, 51(2): 49-55.
- [22] 赵卫强. 基于 Python 语言的 TEM 电压衰减曲线图批量绘制方法[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(15): 64-66.
ZHAO W Q. Batch Drawing Method of TEM Voltage Attenuation Curve Based on Python Language[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2023(15): 64-66.
- [23] 张灵霞. 基于 Style 3D 虚拟仿真技术的袖子样板设计[J]. 天津纺织科技, 2023(5): 25-28.
ZHANG L X. Sleeve Pattern Design Based on Style 3D Virtual Simulation Technology[J]. Tianjin Textile Science & Technology, 2023(5): 25-28.
- [24] 张辉, 信晓瑜, 马嘉琪, 等. 基于层次分析法的新疆尼雅出土服饰虚拟复原效果评价[J]. 毛纺科技, 2022, 50(4): 66-72.
ZHANG H, XIN X Y, MA J Q, et al. Evaluation of Virtual Restoration Effect of Niya Unearthed Clothing in Xinjiang Based on AHP[J]. Wool Textile Journal, 2022, 50(4): 66-72.
- [25] 刘岩妍. “黎侯虎”的审美特征及文化意蕴研究[J]. 现代装饰(理论), 2012(10): 156.
LIU Y Y. Study on the Aesthetic Characteristics and Cultural Implication of "Li Houhu" [J]. Modern Decoration (Theory), 2012(10): 156.