

# 基于层次分析法的纺织机械造型设计研究

段金娟, 侯子轩, 石保存

(天津工业大学 机械工程学院, 天津 300387)

**摘要:** **目的** 为了提升纺织机械造型设计的理性化和客观性, 量化设计纺织机械的造型问题, 提出一种基于层次分析法的纺织机械造型设计方法, 并以针织横机的造型设计为例进行分析和验证。**方法** 运用焦点小组法确定针织横机的造型意象, 结合形态分析法构建针织横机形态部件的判断矩阵, 运用层次分析法获得各主要部件对整体形态的造型贡献值, 并通过对代表性样本的形态特点分析, 获取各意象维度的造型设计建议并指导设计实践; 用层次分析法建立评价模型和判断矩阵, 经过评估得到 3 个设计方案, 优选出最佳方案。**结论** 结果表明, 运用层次分析法, 可以帮助设计师有效地量化分析出设计对象主要部件的造型贡献值, 为纺织机械造型设计提供方向和建议, 并同时为评估和优选设计方案提供有效的方法, 使设计过程更加理性和系统化。

**关键词:** 纺织机械; 针织横机; 造型设计; 层次分析法

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)12-0098-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.12.013

## Textile Machinery Modeling Design Based on Analytic Hierarchy Process

DUAN Jin-juan, HOU Zi-xuan, SHI Bao-cun

(Tiangong University, School of Mechanical Engineering, Tianjin 300387, China)

**ABSTRACT:** In order to improve the rationality and objectivity of textile machinery modeling design and quantify the problem of textile machinery modeling design, this paper presents a modeling design method of textile machinery based on analytic hierarchy process (AHP). And take the flat knitting machine shape design as a case study to demonstrate the analysis and the verification. Firstly, focus group method is used to determine the shape image of flat knitting machine, combined with shape analysis method, the judgment matrix of the flat knitting machine shape components is constructed, and the modeling contribution value of the main components to the whole shape is obtained by using the analytic hierarchy process. Through the analysis of the morphological characteristics of the representative samples, we can get the design advice of each image dimension and guide the design practice. The evaluation model and judgment matrix were established by analytic hierarchy process, and the three design schemes were evaluated, and the best scheme was selected. The results show that the analytic hierarchy process can help designers quantitatively analyze the modeling contribution values of the main components of the design object, provide direction and suggestions for textile machinery modeling design, and at the same time provide an effective method for evaluating and optimizing the design scheme. Make the design process more rational and systematic.

**KEY WORDS:** textile machinery; flat knitting machine; modeling design; analytic hierarchy process

随着“中国制造 2025”战略的提出<sup>[1]</sup>以及“十三五”机械装备行业发展的推进, 我国纺织机械产业已

经成为出口型支柱产业<sup>[2]</sup>, 纺织机械设计的相关研究也持续受到学界的关注。目前, 针对纺织机械设计的

收稿日期: 2021-02-09

基金项目: “纺织之光”中国纺织工业联合会高等教育教学改革项目(2017BKJGLX259); 天津市艺术科学规划项目(E16030); 国家留学基金委资助项目(201809345012)

作者简介: 段金娟(1979—), 女, 河南人, 天津工业大学副教授, 主要研究方向为工业设计。

研究主要集中在技术和质量方面<sup>[3-5]</sup>，对纺织机械外观造型设计方法的研究较少，且多集中在设计美学的理论部分。如刘靓静等人<sup>[6]</sup>从机械装备的外观结构的合理性出发，分析造型外观的影响因素之间的关系，并对自动络筒机造型的视觉特征进行了研究；金川等人<sup>[7]</sup>为了提升纺织机械的“品质感”，提出了以 CMF 设计理念对纺织机械装备造型的材质、加工方式和配色进行组合设计的方法。上述研究为纺织机械造型设计提供了较好的方法参考，但其重点关注于造型设计的影响因素及造型设计与材质、色彩等的关系，主要针对设计中造型要素之间的关系展开研究。整体来看，当前研究中对纺织机械造型设计的量化方法研究尚有不足，针对造型设计前端模糊性问题和后端量化评价的研究尚不够充分。层次分析法是一种简洁有效的决策方法，有很强的系统性，通过数量化分析获取影响因子对结果的作用权重值，在一定程度上可以避免设计过程中对设计人员经验的过度依赖及由其所导致的随意性和不科学性<sup>[8]</sup>。目前，层次分析法已被广泛应用于医疗健康<sup>[9-10]</sup>、生态土壤评估<sup>[11-12]</sup>、交通运输<sup>[13]</sup>等领域，较多学者运用层次分析法进行产品造型设计中影响因子权重分析<sup>[14]</sup>、设计方案的评估优选<sup>[15]</sup>等方面的研究。如常瑜等人<sup>[16]</sup>建立层次分析模型及判断矩阵，进行了扫地车的造型设计和评价研究；高秀慧等人<sup>[17]</sup>通过分析影响数控机床设计的合理性因素，即经济、环境、技术指标，用层次分析法建立评价模型，从而得出最佳决策方案。基于上述研究，本文提出基于层次分析法的纺织机械造型设计方法，通过量化手段获取影响造型的因素及其权重，并运用量化评估手段决策出最优方案，使造型设计过程更加理性和系统化。

## 1 方法概述

### 1.1 层次分析法

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是由美国运筹学家托马斯·塞蒂提出的一种能将复杂的目标分解成若干准则、若干层次的，定性与定量相结合的系统科学方法。其优点在于分析问题时所需的

定量数据较少，对各层次之间的关系分析的比较透彻，便于理解和运用<sup>[8]</sup>。

### 1.2 基于层次分析法的纺织机械造型设计研究流程

基于层次分析法的纺织机械造型设计研究见图 1，分为 4 个步骤进行。

步骤 1，运用层次分析法分析纺织机械各主要部件对造型意象的贡献值。首先采用焦点小组法建立层次结构模型，其次对纺织机械的重点部件进行形态分析和专家打分，构建判断矩阵。然后计算权重值，对该判断矩阵进行一致性检验，通过一致性检验后，分析所得数据，得出各主要部件对造型意象的贡献值大小，并对结果进行解释说明。

步骤 2，对代表性样本分析并得出设计启示。搜集目前市场上已有的纺织机械，通过问卷调查筛选出每个意象维度上的最优样本，并对其进行造型分析，得出设计启示。

步骤 3，结合前两部分得到的结果进行方案设计。

步骤 4，再次使用层次分析法对设计方案进行评估和优选，得出最终设计方案。

## 2 基于层次分析法的纺织机械造型设计

为了更深入细致地分析层次分析法在纺织机械造型设计中的应用，本文以针织横机的造型设计为例进行设计研究与实践。

### 2.1 针织横机

针织横机通常用于生产羊毛衫等针织产品，其主要部件有导轨、机架、针板、龙头等<sup>[18]</sup>。从外观来看，针织横机主要分为底座、壳体、导纱架、操控面板、视窗以及把手等部件。由于导纱架的形式大致相同，而视窗的形态又由壳体决定，因此本文主要从底座、壳体、操控面板以及把手 4 个主要部件的形态出发，对针织横机的造型进行设计及分析。

### 2.2 分析各主要部件对整体形态的造型贡献值

#### 2.2.1 建立层次结构模型

意象词是用来描述人们在接触客观事物以后形

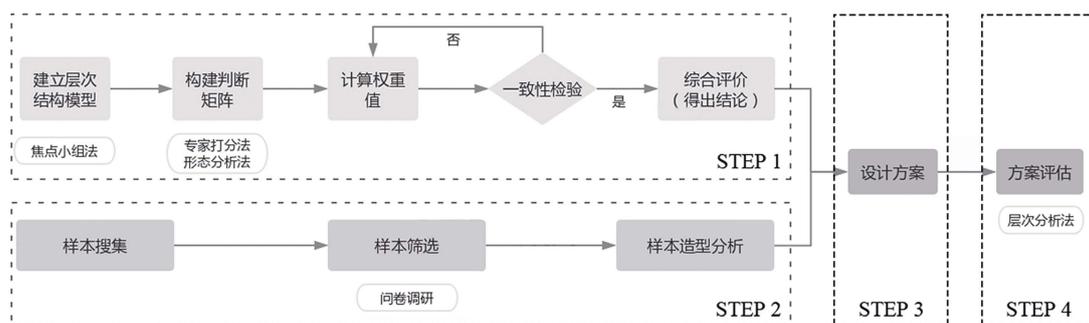


图 1 基于层次分析法的纺织机械造型设计研究

Fig.1 Textile machinery modeling design based on Analytic Hierarchy Process

表1 样本矢量  
Tab.1 Sample vector table

	样本1	样本2	样本3	样本4	样本5	样本6	样本7
整体矢量图							
壳体							
底座							
把手				—			
操作面板							

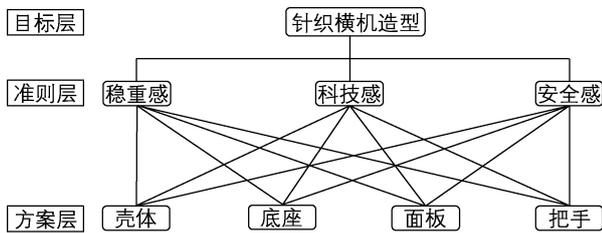


图2 针织横机层次结构模型

Fig.2 Hierarchical structure model of flat knitting machine

成的抽象情感的形容词<sup>[19]</sup>。通过列举意象词汇,运用感性意象分析的方法建立感性意象,可以更好地把握用户对针织横机造型的整体感受。通过焦点小组法,请5位有多年工业设计经验的专家对针织横机的造型意象进行讨论,得到稳重、科技及安全的感性意象。运用层次分析法,将针织横机造型作为目标层,稳重感、科技感和安全感作为准则层,壳体、底座、面板和把手的造型作为方案层,构建针织横机层次结构模型,见图2。

2.2.2 构建判断矩阵

为探求针织横机造型中每个部件对造型意象的贡献值,选取7个典型针织横机样本并对其进行矢量化图形处理,汇总得到样本矢量表,见表1。将各形态部件分离,请之前的焦点小组专家使用1—9标度法对各部件的造型重要性进行打分,给出一致性结果后构建准则层的比较判断矩阵,见表2。准则层中稳重感、科技感、安全感的权重值分别为0.010、0.135、0.777,安全感对针织横机的意象影响最大,其次为科技感和安全感。方案层的比较判断矩阵见表3,稳重感在壳体、底座、面板和把手的权重值分别为0.298、0.542、0.055、0.105,科技感在壳体、底座、面板和把手的权重值分别为0.600、0.171、0.132、0.097,安全感在壳体、底座、面板和把手的权重值分别为0.621、0.157、0.061、0.161。

由表2和表3数据综合可得,针织横机造型的  $w_1$  安全感 >  $w_1$  科技感 >  $w_1$  稳重感,在设计针织横机时,整体造型上要优先考虑安全感;相较于壳体、面板和把手,针

表2 准则层的比较判断矩阵

Tab.2 Comparison judgment matrix of criterion layer

矩阵1	稳重感	科技感	安全感	按列归一化的和	权重值
稳重感	1	1/2	1/7	0.266	0.088
科技感	2	1	1/8	0.404	0.135
安全感	7	8	1	2.330	0.777

表3 方案层的比较判断矩阵

Tab.3 Comparison judgment matrix of scheme layer

准则层	类	壳体	底座	面板	把手	按列归一化的和	权重值
稳重感	壳体	1	1/3	7	4	1.192	0.298
	底座	3	1	6	6	2.166	0.542
	面板	1/7	1/6	1	1/3	0.221	0.055
	把手	1/4	1/6	3	1	0.421	0.105
科技感	壳体	1	6	5	4	2.401	0.600
	底座	1/6	1	2	2	0.685	0.171
	面板	1/5	1/2	1	2	0.053	0.132
	把手	1/4	1/2	1/2	1	0.388	0.097
安全感	壳体	1	4	8	6	2.484	0.621
	底座	1/4	1	4	2	0.630	0.157
	面板	1/8	1/4	1	1/2	0.245	0.061
	把手	1/6	2	2	1	0.642	0.161

织横机的底座对于稳重感的造型贡献值最大,而壳体对科技感和安全感的贡献值较大。因此底座的设计要更强调稳重感,壳体的设计则应多体现安全感和科技感。

2.2.3 计算权重值

根据文献[15]中的公式,以表3中稳重感的判断矩阵为例进行计算,按列归一化的和  $\tilde{w}_1$  的计算式为

$$\tilde{w}_1 = \bar{a}_{11} + \bar{a}_{12} + \bar{a}_{13} + \bar{a}_{14} = \frac{1}{1+3+1/7+1/4} + \frac{1/3}{1/3+1+1/6+1/6} + \frac{7}{7+6+1+3} + \frac{4}{4+6+1/3+1} = 1.192, \text{权重值 } w_1 \text{ 的计算式}$$

为  $w_1 = \frac{\tilde{w}_1}{n} = \frac{\tilde{w}_1}{4} = \frac{1.192}{4} = 0.298$ ，最大特征值  $\lambda_{\max 2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 \frac{(Aw)_i}{w_i} = 4.2271$ ，同理可得  $\lambda_{\max 1} = 3.0764$ ， $\lambda_{\max 3} = 4.2097$ ， $\lambda_{\max 4} = 4.2427$ 。

2.2.4 一致性检验

根据文献[15]中的公式，以表 2 准则层的判断矩阵为例进行计算， $CI_1 = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{\lambda_{\max 1} - 3}{2} = 0.0382$ ， $CR_1 = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0382}{0.58} = 0.0659$ ，同理可得  $CR_2 = 0.0851$ ， $CR_3 = 0.0785$ ， $CR_4 = 0.0909$ ，一致性检验结果见表 4。以上  $CR < 0.1$  均成立，因此上述矩阵通过一致性检验，构建出的判断矩阵较为合理<sup>[15]</sup>，表 2 和表 3 中数据合理、可用，所得设计分析具有客观性和参考价值。

表 4 一致性检验结果  
Tab.4 Consistency test result

	1	2	3	4
$\lambda_{\max}$	3.076 4	4.227 1	4.209 7	4.242 7
CI	0.038 2	0.075 7	0.069 9	0.080 9
CR	0.065 9	0.085 1	0.078 5	0.090 9

2.3 代表性样本分析

对市面上销售的部分针织横机进行搜集、筛选和形态分析，得出设计启示并运用到方案设计中。

2.3.1 样本搜集

从针织横机生产厂家相关网站、销售网站、宣传册等渠道，搜集了国内外品牌针织横机的外观造型图片作为样本图片。选取相同或相似角度的图片，去除造型相似的样本，共筛选出 25 个具有代表性的样本。为了避免颜色对整体造型的干扰，对上述样本进行去色化处理，针织横机样本见图 3。

2.3.2 样本筛选

为了筛选出每个意象维度上的最优样本，将 25 个样本结合上述 3 个意象词，运用李克特 1—7 级量表设计调研问卷，以 32 名工业设计教育背景人士为对象进行问卷调查。共发放问卷 32 份，收回 32 份，其中有效问卷数量为 32 份，各样本的意象评价均值见表 5。根据问卷调研结果，将问卷中的 25 个样本，按照层次模型中的意象词和问卷得分进行筛选，得到在 3 个意象维度上表现较好的 4 个典型样本，筛选后的样本见图 4。其中样本 4 和样本 14 在科技感和安全感维度上分数最高，样本 5 和样本 10 在稳重感维度上分数最高。

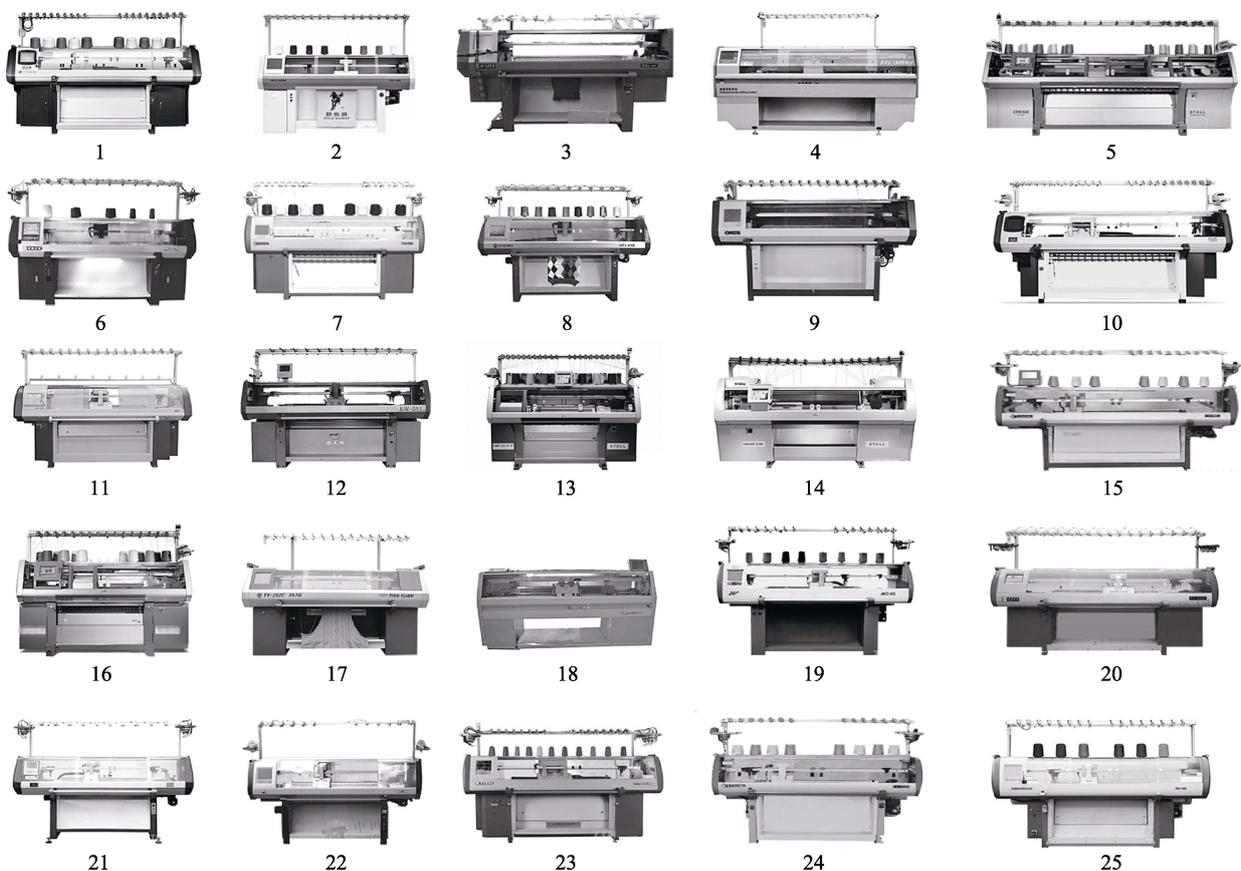


图 3 针织横机样本

Fig.3 Samples of flat knitting machine

表5 各样本的意象评价均值  
Tab.5 The image evaluation mean value of each sample

样本	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
稳重感	5.00	3.47	3.22	4.97	5.25	4.25	4.53	2.91	3.81	5.16	4.22	4.81	4.94
科技感	3.53	3.38	2.31	4.22	3.78	2.59	3.56	2.75	3.47	4.06	3.69	2.50	3.25
安全感	4.50	3.63	2.91	5.16	4.13	3.81	4.44	3.09	3.88	4.00	4.13	3.34	3.53
样本	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
稳重感	4.50	3.38	4.81	4.41	4.59	3.13	4.19	3.53	3.25	4.31	3.69	3.81	
科技感	5.19	3.09	3.09	3.16	3.44	2.53	3.50	3.28	3.09	2.94	3.19	3.06	
安全感	4.53	3.31	3.63	3.16	4.28	3.25	3.81	3.41	3.41	3.66	3.41	3.84	

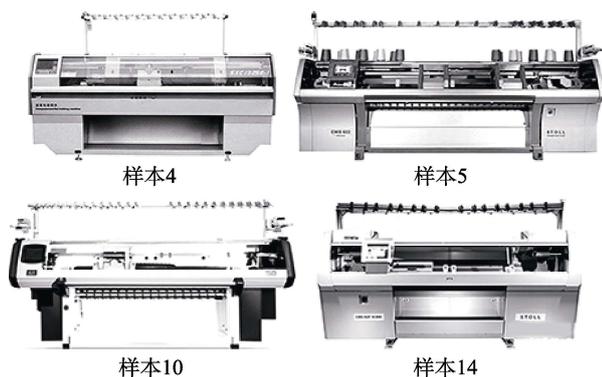


图4 筛选后的样本  
Fig.4 Selected samples

### 2.3.3 造型分析

对图4中筛选后的样本进行造型要素分析。样本4正视图中横向线条排布有序, 视窗面积较大, 体现出较强的科技感, 底座下方的切角设计强化了现代性和科技感, 但一定程度上削弱了其稳定感, 整体性和密闭性良好, 体现出一定的安全感; 样本5的壳体和底座设计元素之间联系强, 且宽度一致, 下方视线整体一致, 稳重感好; 样本10整体形态呈对称分布, 壳体部分简洁通透, 底座沉稳、有分量, 对稳重感的贡献较大; 样本14的材质对比和小圆角设计增强了科技感, 同时圆角也淡化了机械的冰冷感觉, 增添了操作者的安全感。

由以上分析得出: (1) 底座与地面的接触面积以及壳体和底座在垂直方向的比例决定了机械的稳重感强度, 在设计针织横机造型时, 要注意适当增加底座体积感, 并且关注壳体和底座的比例均衡; (2) 针

织横机的科技感和安全感主要是由壳体体现的, 设计形态时要更注重壳体的形态设计表达, 同时要使之与底座有相似的设计要素, 形成呼应; (3) 壳体部分的轻巧通透可以更好地衬托出底座的稳定, 强化整体的稳重感; (4) 在设计针织横机的造型时, 要使机械左右两端大致对称, 达到视觉上安定、均匀的感觉, 从而增强机械的稳重感和安全感。

## 3 方案设计、评估与优选

### 3.1 方案设计

以稳重感、科技感、安全感为设计意象, 基于上述调研数据及统计分析, 展开针织横机的造型设计实践, 得到3款造型方案。为了避免其他不重要的形态部件对设计评价产生干扰, 除壳体、底座、面板及把手部分有差异外, 其他部件做统一化设计, 如散热孔、龙头、导纱架等, 而且在设计时不考虑生产难度。去色化后针织横机造型设计方案见图5。

### 3.2 方案评估与优选

为客观理性地评估和优选设计方案, 通过层次分析法, 建立设计方案的评价模型和判断矩阵, 计算并比较3个设计方案的综合权重值, 从而得到最佳造型设计方案。

#### 3.2.1 建立评价模型

通过对针织横机的市场调研以及相关文献查阅, 选取社会性、经济性、安全性和美观性4个方面<sup>[16-17]</sup>作为设计评价的准则层, 3个设计方案为方案层, 建立设计方案评价层次分析模型, 见图6。



图5 针织横机造型设计方案  
Fig.5 Design schemes of flat knitting machine

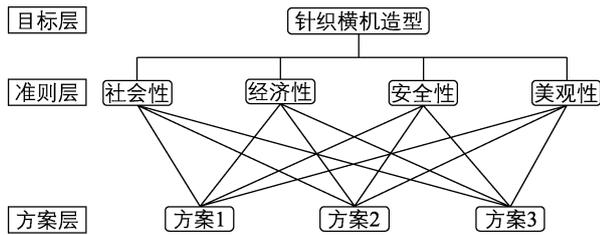


图 6 设计方案层次分析评价模型

Fig.6 AHP evaluation model of design schemes

表 6 评价模型准则层的判断矩阵

Tab.6 The judgment matrix of the evaluation model's criterion layer

	社会性	经济性	安全性	美观性	按列归一化的和	权重值
社会性	1	1/2	1/5	1/3	0.323 6	0.080 9
经济性	2	1	1/6	2	0.720 7	0.180 1
安全性	5	6	1	3	2.266 5	0.566 7
美观性	3	1/2	1/3	1	0.689 2	0.172 3

表 7 评价模型方案层的判断矩阵

Tab.7 The judgment matrix of the evaluation model's scheme layer

准则层	类	方案 1	方案 2	方案 3	按列归一化的和	权重值
社会性	方案 1	1	1/2	4	1.001 8	0.333 9
	方案 2	2	1	5	1.703 6	0.567 9
	方案 3	1/4	1/5	1	0.294 6	0.098 2
经济性	方案 1	1	4	1/3	0.794 4	0.264 8
	方案 2	1/4	1	1/7	0.238 9	0.079 6
	方案 3	3	7	1	1.966 7	0.655 6
安全性	方案 1	1	1/5	2	0.522 4	0.174 1
	方案 2	5	1	6	2.167 6	0.722 5
	方案 3	1/2	1/6	1	0.310 0	0.103 4
美观性	方案 1	1	1/3	3	0.709 4	0.235 6
	方案 2	3	1	8	2.044 7	0.681 6
	方案 3	1/3	1/8	1	0.245 9	0.082 0

3.2.2 建立判断矩阵

根据上述建立的评价模型，请之前的 5 位专家针对 3 个设计方案的准则层和方案层进行评价并给出一致性意见，统计评价结果并建立相应判断矩阵。准则层中各项指标的权重值分别为 0.0809、0.1801、0.5667、0.1723，评价模型准则层的判断矩阵见表 6。可以直观地看出，在评价针织横机外观时，安全性最为重要，且占 1/2 以上的比例，其余依次是经济性、美观性和社会性，其中经济性和美观性权重相似。评价模型方案层的判断矩阵见表 7，方案 2 在社会性、安全性、经济性 3 个方面表现最佳，方案 3 在经济性方面表现最佳，方案 1 在 4 个评价指标中均排第 2 位。

表 8 评价模型的一致性检验结果

Tab.8 The consistency test results of the evaluation model

	社会性	经济性	安全性	美观性
$\lambda_{max}$	3.024 6	3.032 4	3.029 1	3.001 5
CI	0.012 3	0.016 2	0.014 6	0.000 8
CR	0.021 2	0.027 9	0.025 2	0.001 4

表 9 综合权重值及方案排序

Tab.9 Comprehensive weight value and scheme ranking

	社会性	经济性	安全性	美观性	综合权重	排序
方案 1	0.333 9	0.264 8	0.174 1	0.235 6	0.214 1	2
方案 2	0.567 9	0.079 6	0.722 5	0.681 6	0.587 2	1
方案 3	0.098 2	0.655 6	0.103 3	0.082 0	0.198 7	3

3.2.3 一致性检验及评估

对以上矩阵进行一致性检验，评价模型的一致性检验结果见表 8，各准则层的 CI 值分别为 0.0123、0.0162、0.0146、0.0008，各指标的检验结果均为  $CR < 0.1$ ，依据层次分析法的一致性检验指标，以上矩阵均较为合理<sup>[15]</sup>。

结合在社会性、经济性、安全性和美观性的权重值分别计算方案 1、方案 2、方案 3 的综合权重，得到各个方案的综合权重值分别为 0.2141、0.5872、0.1987，即各方案的优劣排序依次为：方案 2>方案 1>方案 3，综合权重值及方案排序见表 9。因此，选定方案 2 为 3 个方案中的最优方案。

4 结语

本文提出了基于层次分析法的纺织机械造型设计方法，并以针织横机为例，深入分析并验证了该方法的可行性。首先，通过焦点小组法、形态分析法、层次分析法等方法，确定了针织横机的设计意象，构建形态贡献值的判断矩阵，并获取各主要部件的造型贡献值。然后，对现有代表性产品样本进行造型分析，获得各意象维度的设计启示，并将其运用到之后的针织横机的造型设计实践中。最后，运用层次分析法对设计方案进行评价和优选，得出最优造型方案。

结果显示，基于层次分析法进行纺织机械造型设计，可以帮助设计师通过定量化的方法从设计中的众多影响因素中快速定位主要造型影响因素及各主要形态部件的造型贡献值，获得针对设计意象的代表性样本，从而分析并得到造型设计的主要信息和方向，为造型方案设计提供更精准的设计方向建议和量化的数据依据。该方法不仅能有效解决设计前端的依赖经验化问题，还可以在方案评价和决策方面提供理性的数据化参照，较好地提升了纺织机械造型设计的理性化和客观化，为纺织机械的设计提供了新思路，并

在设计决策中为设计人员提供了科学的参考。但为了有效控制研究中的不确定因素,本文在分析针织横机的代表性样本时仅考虑了形态问题,未能考虑色彩、材质对造型的影响。因此,接下来的工作要将色彩、材质等因素纳入设计研究范围,并验证其有效性和可靠性。

#### 参考文献:

- [1] 隆学武, 邓继跃, 管清友. 2016—2017 装备工业蓝皮书[M]. 北京: 北京联合出版公司, 2017.  
LONG Xue-wu, DENG Ji-yue, GUAN Qing-you. 2016-2017 Equipment Industry Blue Book[M]. Beijing: Beijing United Publishing Company, 2017.
- [2] 袁春妹, 墨影, 徐盼盼. 中国纺织机械协会副会长顾平: 托举中国制造[J]. 纺织机械, 2017(8): 19-21.  
YUAN Chun-mei, MO Ying, XU Pan-pan. Vice President of China Textile Machinery Association Gu Ping: Lift Made in China[J]. Textile Machinery, 2017(8): 19-21.
- [3] 冯丽娟, 赵洪, 翟秀清, 等. 特细号色纺纱浆纱工艺研究[J]. 棉纺织技术, 2020, 48(1): 9-11.  
FENG Li-juan, ZHAO Hong, ZHAI Xiu-qing, et al. Research on Super Fine Color Spun Yarn Sizing Process[J]. Cotton Textile Technology, 2020, 48(1): 9-11.
- [4] 李留涛, 丁少华, 李扬. 精梳机分离罗拉传动机构的动力学分析与结构优化[J]. 机械工程师, 2019(12): 89-91.  
LI Liu-tao, DING Shao-hua, LI Yang. Dynamic Analysis and Structural Optimization of the Separating Roller Transmission Mechanism of the Comber[J]. Mechanical Engineers, 2019(12): 89-91.
- [5] 汪健东, 夏凤林, 李亚林, 等. 经编机梳栉电子横移伺服的最优滑模控制[J]. 纺织学报, 2020, 41(2): 143-148.  
WANG Jian-dong, XIA Feng-lin, LI Ya-lin, et al. Optimal Sliding Mode Control of the Electronic Traverse Servo of Warp Knitting Machine[J]. Journal of Textiles, 2020, 41(2): 143-148.
- [6] 刘靓静, 马彧. 机械设备造型设计的结构性分析[J]. 包装工程, 2018, 39(12): 203-207.  
LIU Liang-jing, MA Yu. Structural Analysis of Mechanical Equipment Modeling Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(12): 203-207.
- [7] 金川, 马彧. CMF 设计在纺织装备工业设计的应用研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2018, 8(13): 36-37.  
JIN Chuan, MA Yu. Research on the Application of CMF Design in Textile Equipment Industry Design[J]. Modern Industrial Economy and Informatization, 2018, 8(13): 36-37.
- [8] SAATY T. L. Analytic Hierarchy Process[J]. Mathematical Models for Decision Support, 2013(4): 109-121.
- [9] MANINDRA R, KRISHNENDU S. Evaluation and Selection of Mobile Health (M Health) Application Using AHP and Fuzzy TOPSIS[J]. Technology in Society, 2019(1): 59.
- [10] CAI T, WU H Z, QIN J L, et al. In Vitro Evaluation by PCA and AHP of Potential Antidiabetic Properties of Lactic Acid Bacteria Isolated from Traditional Fermented Food[J]. LWT, 2019(1): 115.
- [11] JAVAD S, FEREDDOON S, ALI A J, et al.. Development of a Model Using Matter Element, AHP and GIS Techniques to Assess the Suitability of Land for Agriculture[J]. Geoderma, 2019(352): 80-95.
- [12] XU S B, XU D S, LIU D S. Construction of Regional Informatization Ecological Environment Based on the Entropy Weight Modified AHP Hierarchy Model[J]. Sustainable Computing: Informatics and Systems, 2019(22): 26-31.
- [13] ANNA E W, WOJCIECH K. Multi-criterial Analysis of Oversize Cargo Transport Through the City, Using the AHP Method[J]. Transportation Research Procedia, 2019(39): 614-623.
- [14] 侍伟伟, 李永锋. 基于层次分析法的老年人 APP 设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(8): 126-131.  
SHI Wei-wei, LI Yong-feng. Research on Product Design of the Elder APP Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(8): 126-131.
- [15] 邓卫斌, 祝红星. 基于层次分析法的儿童智能手表设计评价研究[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 121-125.  
DENG Wei-bin, ZHU Hong-xing. Research on Design and Evaluation of Children's Smartwatch Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 121-125.
- [16] 常瑜, 刘宝顺, 田园. 基于层次分析法的扫地车造型模糊综合评价方法及应用[J]. 机械设计, 2017, 34(3): 121-125.  
CHANG Yu, LIU Bao-shun, TIAN Yuan. Fuzzy Comprehensive Evaluation Method and Application of Sweeping Vehicle Modeling Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Machine Design, 2017, 34(3): 121-125.
- [17] 高秀慧, 杨庆东. 基于层次分析法的数控机床设计评价[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2018, 33(2): 45-48.  
GAO Xiu-hui, YANG Qing-dong. Design Evaluation of NC Machine Rool Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Beijing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition), 2018, 33(2): 45-48.
- [18] 宋广礼. 电脑横机实用手册[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2010.  
SONG Guang-li. Practical Manual of Computer Flat Knitting Machine[M]. Beijing: China Textile Publishing House, 2010.
- [19] 王雪洁, 肖旺群. 基于感性意象的工业机器人造型设计研究[J]. 机械设计, 2016, 33(8): 117-120.  
WANG Xue-jie, XIAO Wang-qun. Research on Modeling Design of Industrial Robot Based on Perceptual Image[J]. Machine Design, 2016, 33(8): 117-120.