

基于 AHP-TOPSIS 方法的智能液压设备设计评价研究

李泽宏^{1a}, 张玲玉^{1b}, 胡蝶², 罗怀林^{1b}, 郑乔誉^{1a}, 陈新月^{1a}

(1.四川轻化工大学 a.机械工程学院 b.过程装备与控制工程四川省高校重点实验室,
四川 宜宾 644000; 2.西华大学 美术与设计学院, 成都 610039)

摘要: **目的** 为解决智能液压设备设计方案评价主观片面的问题, 优选最佳设计方案。**方法** 根据问卷调查和专家意见初步构建智能液压设备评价指标, 建立智能液压设备设计方案评价模型。采用 AHP 层次分析法从外部形象、生产成本、人机工程、安全可靠 4 个方面建立 4 个准则层指标, 12 个子准则层指标, 并通过计算得到各级指标的最终权重结果及排序; 再利用 TOPSIS 逼近理想解排序法对 3 款四柱永磁粉末液压设备的设计方案进行评价, 计算得到贴近度优劣排序, 从而确定最优方案。**结论** 通过 AHP-TOPSIS 相结合的定性定量评价方法, 评估出最符合企业需求的四柱永磁粉末液压设备设计方案, 为四柱永磁粉末液压设备及同类智能液压设备的设计实践和评价提供参考。

关键词: 工业设计; 智能液压设备; 四柱永磁粉末液压设备; AHP-TOPSIS; 设计评价
中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)14-0083-08
DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.14.008

Evaluation of Intelligent Hydraulic Equipment Design Based on AHP-TOPSIS Method

LI Ze-hong^{1a}, ZHANG Ling-yu^{1b}, HU Die², LUO Huai-Lin^{1b}, ZHENG Qiao-yu^{1a}, CHEN Xin-yue^{1a}

(1. a. School of Mechanical Engineering b. University Key Laboratory of Process Equipment and Control Engineering of Sichuan Province, Sichuan University of Science & Engineering, Sichuan Yibin 644000, China;
2. School of Fine Arts and Design, Xihua University, Chengdu 610039, China)

ABSTRACT: The work aims to select the optimal design solution to solve the problem of subjective and one-sided evaluation of intelligent hydraulic equipment design solutions. According to the questionnaire research and experts' opinions, evaluation indicators of intelligent hydraulic equipment were initially constructed and the evaluation model of intelligent hydraulic equipment design scheme was established. 4 criterion layer indicators and 12 sub-criterion layer indicators were constructed through Analytic Hierarchy Process (AHP). The final weight result and ranking of different indicators were obtained through calculation. Finally, the design solution of 3 types of four-column permanent magnet powder hydraulic equipment was evaluated through TOPSIS. The ranking of proximity degree was obtained through calculation to determine the optimal solution. The combined qualitative and quantitative evaluation method of AHP-TOPSIS is used to evaluate the four-column permanent magnetic powder hydraulic equipment design solutions that best meet the needs of enterprises, and to provide reference for the design practice and evaluation of four-column permanent magnetic powder hydraulic equipment and similar intelligent hydraulic equipment.

KEY WORDS: industrial design; intelligent hydraulic equipment; four-column permanent magnet powder hydraulic equipment; AHP-TOPSIS; design evaluation

在智能液压设备设计阶段, 研发人员常会基于企业需求产出不同类型的设计方案。由于受到一些客观

因素的限制, 往往仅有一款方案能被实现。在对设计进行评价和决策的过程中, 评价指标通常由决策者根

收稿日期: 2023-02-01

基金项目: 过程装备与控制工程四川省高校重点实验室开放基金项目 (GK201913); 产学研基金项目 (E10204788)

作者简介: 李泽宏 (1997—), 男, 硕士, 主要研究方向为产品创新设计、设计工具。

通信作者: 张玲玉 (1972—), 女, 硕士, 教授, 主要研究方向为用户体验、产品创新设计。

据自身的经验和直觉判定,易受到偏好、年龄、工作职位等影响^[1]。这样粗略的定性分析和评价方式达不到准确客观地分析评价方案的目的。只有合理的设计评价才能准确地反映产品设计的质量,从而有效地从多种设计方案中确定最优方案,并快速投入后期生产制造,进而提高产品市场竞争力。因此如何客观、准确地完成四柱永磁粉末液压设备的设计方案,建立合理的设计评价指标体系,优选出最符合企业需求的设计方案是当前智能液压设备行业面临的主要问题。

TOPSIS 能有效地对多目标、多影响因素的复杂目标进行评价^[2]。该方法能充分利用调研或实验得到的初始数据信息,对多个设计方案进行评价与优选^[3]。其被广泛地运用在管理决策、风险评估、商业决策等领域,近年来在产品设计方案决策中也被广泛利用。为了降低人为主观性,张健等^[4]将灰色关联法和 AHP 方法相结合引入动态权重对 TOPSIS 方法进行计算并建立评价模型,对三种汽车覆盖件进行了由高到低的优选度排名。周凯等^[5]在绿色包装方案决策中运用 TOPSIS 评价法并引入粗糙集理论,最终得到了优越度最高的包装方案。陈香等^[6]则在录音笔设计评估中,构建出一种结构熵权与 TOPSIS 法设计评估模型,并验证了该模型的可行性。上述文献综述表明 TOPSIS 方法在权重计算部分具有一定的主观性,常容易受到人为因素的干扰。如需对方案进行全面综合客观的评价与决策,应搭配其他客观权重定量研究方法。本文采用 TOPSIS 与 AHP 相结合的定性定量研究方法,利用 AHP 方法从外部形象、生产成本、人机工程、安全可靠 4 大影响因素综合考虑,使其评价指标的权重值更为客观和完整。TOPSIS 方法作为优选设计方案的工具,通过计算各方案与理想解的贴近度,最终得到最优选设计方案。

1 AHP-TOPSIS 方法

AHP 是 STAAY 提出的一种多指标的统计方法,能有效地将复杂的定性评价过程量化,通过将高层次的指标层往低层次的指标层逐一分解,归纳形成有序层级分析结构。在处理受到多因素影响的复杂目标时非常便捷高效,且实用性强^[7]。

TOPSIS 是 HWANG 和 YOON 提出的针对多属性问题的评价方法,能有效的对多目标进行决策分析。其原理是依据方案与最正、负理想解的距离并排序来优选出最佳方案^[8]。建立改进后的 AHP-TOPSIS 方法的评价步骤如下。

1.1 判断矩阵的构建与权重确定

建立合理的判断矩阵是 AHP 方法中重要的一环,通过将属于相同层级中的各个指标进行两两比较,构建判断矩阵 A , 见式 (1)。

$$A = (b_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:用 b_{ij} 表示第 i 个指标相对于第 j 个指标的重要程度,则: $b_{ij} = \frac{1}{b_{ji}}$ 。判断矩阵的元素运用 1~9 模糊数值标度法进行确定,其评价尺度,见表 1。

表 1 评价尺度
Tab.1 Evaluation scale

评价尺度	含义(元素 i 相比于元素 j)
1	i 与 j 相比同样重要
3	i 与 j 相比稍微重要
5	i 与 j 相比较重要
7	i 与 j 相比明显重要
9	i 与 j 相比绝对重要
2、4、6、8	取中

1.2 确定各指标的权重

1) 得到各矩阵判断后,采用几何平均法求得矩阵的权重向量值 (W_i)。

2) 计算最大特征根 λ_{\max} 。

3) 一致性检验。

在进行 AHP 法时为保证决策者思维的一致需要对判断矩阵进行一致性检验,见式 (2)。

$$R = \frac{F_1}{R_1} = \frac{\lambda_{\max} - n}{R_1(n-1)} \quad (2)$$

式中: R 是平均一致性指标, n 为阶数, R_1 为平均随机一致性指标, F_1 为一致性检验指标。如果 $R \leq 0.1$ 时,一致性检验通过^[9];反之,则不通过。要重新调研或咨询专家意见,对 A 加以修改,使其满足一致性检验的条件。

1.3 建立标准化决策矩阵、加权标准化决策矩阵

标准化决策矩阵 $B = (X_{ij})_{m \times n}$, 以消除量纲不同带来的影响。

1) 效益型指标,见式 (3)。

$$b'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (3)$$

2) 成本型指标,见式 (4)。

$$y'_{ij} = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (4)$$

将经过标准化处理的矩阵 B 的每一列与指标总排序权重 W_n 对应相乘,得到加权标准化决策矩阵 C 。

1.4 贴近度计算

1) 确定正、负理想解^[10],见式 (5) — (6)。

$$C^+ = \{\max(c_{i1}), \max(c_{i2}), \dots, \max(c_{im})\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$C^- = \{\min(c_{i1}), \min(c_{i2}), \dots, \min(c_{im})\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

2) 计算设计方案与正、负理想解的距离^[11], 见式(7) — (8)。

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^+)^2} \quad (7)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_j^-)^2} \quad (8)$$

式中: c_j^+ 、 c_j^- 分别为 C^+ 、 C^- 中对应的元素。

3) 确定设计方案与正理想解的贴近度, 见式(9)。

$$E_i^+ = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (9)$$

根据所得的 E_i^+ 值进行排序, E_i^+ 值越大说明越符合用户心理预期, 方案优选度则越高; 反之则表明方

案优选度越小。

2 基于 AHP-TOPSIS 方法的评价

2.1 智能液压设备设计方案评价流程

智能液压设备设计受多种因素影响, 在基础功能和形态结构满足此类产品相关要求的前提下, 利用美学设计原则, 从外观造型、CMF、人机要素等方面对设备进行创新设计, 以达到美观、经济、舒适、安全的目的。通过对 AHP 和 TOPSIS 有关文献的分析研究, 构建如图 1 的设计评价流程。首先, 进行问卷调查和咨询行业专家意见, 运用 AHP 对影响因素筛选归纳, 建立智能液压设备指标体系层级分析评价模型, 并构建判断矩阵。其次, 利用 TOPSIS 法计算各方案与正、负理想解的距离, 并根据方案集排序得到最优设计解决方案。

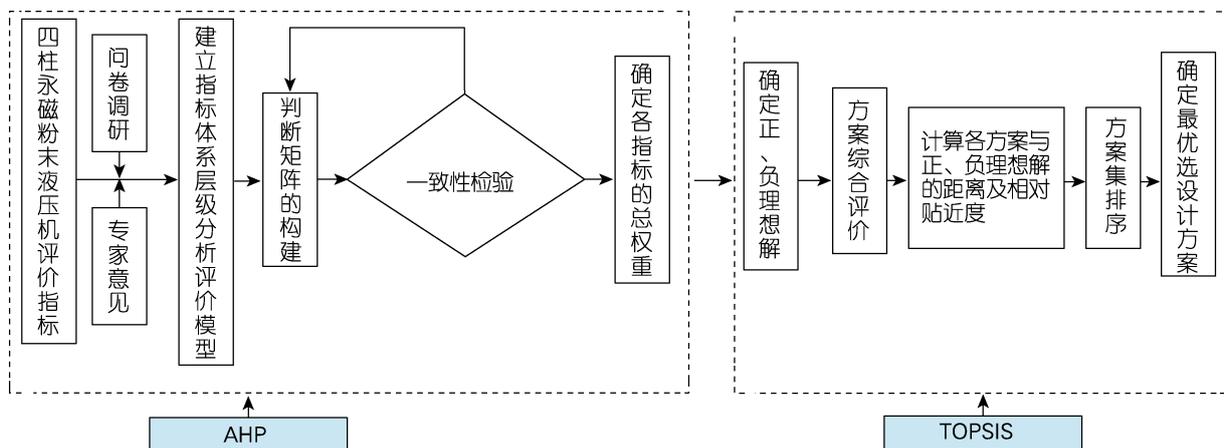


图 1 智能液压设备设计方案评价流程

Fig.1 Evaluation process of intelligent hydraulic equipment design solution

2.2 智能液压设备多层次评价模型构建

2.2.1 评价指标确立

智能液压设备设计涉及到人机工程学、结构设计、美学等方面, 由此造成智能液压设备方案呈现出多样化的结果。而要优选出最佳设计方案, 则必须构建多层次评价模型, 对各个方案进行客观评价^[12], 从而提高产品的市场竞争力。由于智能液压设备使用场景的专业性和复杂性, 市场上各产品功能外观各不相同, 对设计方案的决策造成很大阻力。通过对影响产品的各类指标进行筛选整理, 能更准确客观地建立评价指标体系^[13]。本研究的前期调研邀请了 60 位专家 (包括液压设备制造行业专家、相关企业高级管理人员、相关企业高级工程师、工业设计专业教授等) 进行问卷调查, 调研最终回收有效问卷 57 份。在此基础上, 对智能液压设备有重要影响的评价指标进行合理性评估, 见式(10)。

$$H = G/57 \quad (10)$$

式中: H 为公信度值, G 为该指标选择人数。移除 $H < 0.5$ 的指标, 并根据指标在评价目标下的含义判断其指标类型, 筛选后的智能液压设备评价指标, 见表 2。

2.2.2 层级分析评价模型构建

将智能液压设备的设计问题分为四个层次的结构模型。分别是目标层 (E)、准则层 (U)、子准则层 (u)、方案 (D)。并通过 KJ 亲和图法归纳相同类型的评价指标, 将智能液压设备设计问题的准则层划分为外部形象、生产成本、人机工程、安全可靠共 4 个准则指标, 再依据 4 个准则层指标划分得到外观造型、品牌涂装、材质工艺、加工损耗、配件互换、物料成本、人机尺度、操作协调、作业舒适度、承受力、报警提示、保护机制共 12 个子准则层指标。确定准则层指标及子准则层指标后, 最终构造智能液压设备评价指标体系, 见图 2。并对各评价含义进行了指标描述, 见表 3。

表2 智能液压设备评价指标
Tab.2 Evaluation indicator of intelligent hydraulic equipment

评价指标	指标类型		评价指标	指标类型	
	成本型 (负指标)	效益型 (正指标)		成本型 (负指标)	效益型 (正指标)
外观造型 u_1		√	人机尺度 u_7		√
品牌涂装 u_2		√	操作协调 u_8		√
材质工艺 u_3		√	作业舒适度 u_9		√
加工损耗 u_4	√		承受力 u_{10}		√
配件互换 u_5		√	报警提示 u_{11}		√
物料成本 u_6	√		保护机制 u_{12}		√

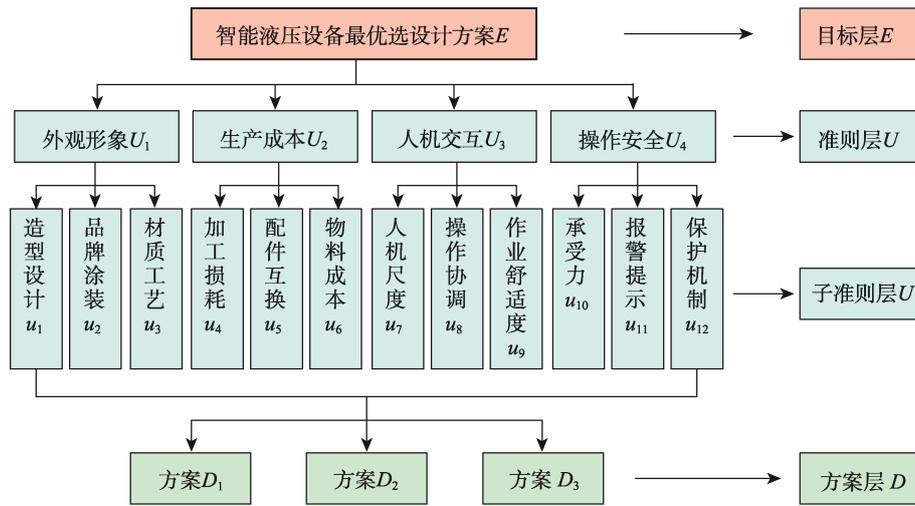


图2 智能液压设备评价指标体系
Fig.2 Evaluation indicator system of intelligent hydraulic equipment

表3 评价指标含义说明
Tab.3 Description of evaluation indicators

指标类型	评价指标	指标描述	
效益型 (正指标)	外观造型 u_1	形态比例合理, 塑造优美造型	
	品牌涂装 u_2	遵循企业文化, 打造品牌特色	
	材质工艺 u_3	使用材料合适, 工艺合理, 防水耐腐, 不易刮花褪色	
	配件互换 u_5	配件具有互换性, 装配、维护方便	
	人机尺度 u_7	布局符合视觉操控惯性, 造型符合人体动态作业需求	
	操作协调 u_8	机器各功能的操作逻辑合理	
	作业舒适度 u_9	操作空间满足用户生理心理需求	
	承受力 u_{10}	功能部件承力符合力学要求	
	报警提示 u_{11}	信号提示清晰, 位置合理	
	保护机制 u_{12}	保护机制设置合理	
	成本型 (负指标)	加工损耗 u_4	满足加工工艺要求, 耗用控制越低越好
		物料成本 u_6	原材料预算越低越好

3 AHP-TOPSIS 评价法在四柱永磁粉末液压设备设计评价中的应用

3.1 四柱永磁粉末液压设备概述

四柱永磁粉末液压设备是用于制造磁性材料的重要设备, 主要构成部分为油泵、输油管、液压装置、

控制台、机身等^[14], 如图3所示。中间部分为永磁液压机活动工作部分, 通过上油缸压迫模具型腔向下浮动, 下模固定不动, 生成磁性材料。顶部为油泵, 需要定期清理维修。目前, 国外四柱永磁粉末液压设备如日本小松、德国力士乐在性能、外观、品牌知名度上都达到了较高国际水准。近年来, 我国智能液压设

备制造企业飞速发展,但是在产品外观、人机工程、安全可靠等方面还未引起足够重视,对比发达国家同款装备还有较大差距。

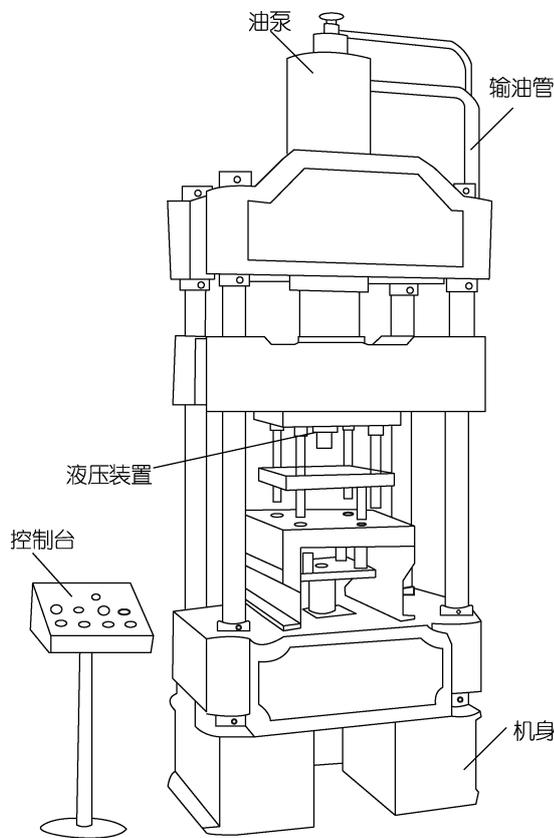


图 3 四柱永磁粉末液压设备
Fig.3 Four-column permanent magnet powder hydraulic equipment

3.2 AHP 确定各指标权重

根据图 2 的四柱永磁粉末液压设备评价指标体系,组织 20 位专家(包括行业专家 7 人、相关企业高层管理 4 人、相关企业高级工程师 3 人、潜在设备购买方 3 人、工业设计教授 3 人)组成方案评估专家团队,采用标度法对四柱永磁粉末液压设备依次在 4 个准则层、12 个子准则层进行相互比较,并构建出判断矩阵,见表 4—8。

完成一致性检验后,得到各指标总权重及排序,见表 9。根据表 9 可知,用户对于四柱永磁粉末液压设备的安全可靠最为重视,其次是人机工程、生产成

表 4 目标层 E 的判断矩阵
Tab.4 Judgment matrix of target layer E

E	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	归一化权重	一致性检验
U ₁	1	1/2	1/3	1/5	0.0904	$\lambda_{\max}=4.034$
U ₂	2	1	1/2	1/3	0.1602	$F_1=0.0113$
U ₃	3	2	1	1	0.3324	$R=0.0127$
U ₄	5	3	1	1	0.4170	

表 5 外部形象下的子准则判断矩阵
Tab.5 Sub-criterion judgment matrix under external image

U ₁	u ₁	u ₂	u ₃	归一化权重	一致性检验
u ₁	1	3	2	0.539 6	$\lambda_{\max}=3.009 2$
u ₂	1/3	1	1/2	0.163 4	$F_1=0.004 6$
u ₃	1/2	2	1	0.297 0	$R=0.008 8$

表 6 生产成本下的子准则判断矩阵
Tab.6 Sub-criterion judgment matrix under production cost

U ₂	u ₄	u ₅	u ₆	归一化权重	一致性检验
u ₄	1	3	1/3	0.258 3	$\lambda_{\max}=3.038 5$
u ₅	1/3	1	1/5	0.104 7	$F_1=0.019 3$
u ₆	3	5	1	0.637 0	$R=0.037 0$

表 7 人机工程下的子准则判断矩阵
Tab.7 Sub-criterion judgment matrix in ergonomics

U ₃	u ₇	u ₈	u ₉	归一化权重	一致性检验
u ₇	1	2	4	0.571 4	$\lambda_{\max}=3.000 0$
u ₈	1/2	1	2	0.285 7	$F_1=0.000 0$
u ₉	1/4	1/2	1	0.142 9	$R=0.000 0$

表 8 安全可靠下的子准则判断矩阵
Tab.8 Sub-criterion judgment matrix under safety and reliability

U ₄	u ₁₀	u ₁₁	u ₁₂	归一化权重	一致性检验
u ₁₀	1	3	3	0.593 6	$\lambda_{\max}=3.053 6$
u ₁₁	1/3	1	2	0.249 3	$F_1=0.026 8$
u ₁₂	1/3	1/2	1	0.157 1	$R=0.051 6$

本,外部形象。在安全可靠方面承受力的比重最大,人机工程方面对人机尺寸最为看重,生产成本方面物料成本的占比最大,而外部形象方面则是外观造型最重要。

综上所述,用户所希望的四柱永磁粉末液压设备设计应具有更高的安全可靠,应合理设置报警提示和保护机制从而保证用户操作安全,避免产生安全事故;在人机工程方面,用户希望在控制面板、储物箱与把手设计、控制面板按钮布局等部位要符合使用逻辑并充分考虑人体尺寸、最佳观察范围、作业区域、高度人手操作范围;在生产成本方面,应避免造型过于复杂,增加生产成本,影响后期生产制造。

3.3 四柱永磁粉末液压设备设计方案实践

某智能液压设备制造企业对其现有的四柱永磁粉末液压设备进行了迭代升级。提取四柱永磁粉末液压设备产品基础元素特征,运用转折、倒角等形态设计方法,并结合上述各级指标权重分析结果进行方案设计,使四柱永磁粉末液压设备的设计在保证基本产品功能属性的前提下提高了产品竞争力。使用 Rhino

表9 各级子指标最终权重结果及排序
Tab.9 Final weight results and ranking of sub-indicators at all levels

	外部形象 U_1 (0.090 4)	生产成本 U_2 (0.160 2)	人机工程 U_3 (0.332 4)	安全可靠 U_4 (0.417 0)	总权重	排序
外观造型 u_1	0.539 6				0.048 8	7
品牌涂装 u_2	0.163 4				0.014 8	12
材质工艺 u_3	0.29 7				0.026 8	10
加工损耗 u_4		0.258 3			0.041 4	9
配件互换 u_5		0.104 7			0.016 8	11
物料成本 u_6		0.630 7			0.102 0	4
人机尺度 u_7			0.571 4		0.189 9	2
操作协调 u_8			0.285 7		0.095 0	5
作业舒适度 u_9			0.142 9		0.047 5	8
承受力 u_{10}				0.593 6	0.247 5	1
报警提示 u_{11}				0.249 3	0.104 0	3
保护机制 u_{12}				0.157 1	0.065 5	6

三维设计软件及 Keyshot 软件进行效果图制作, 最后得到备选方案 D_1 、方案 D_2 、方案 D_3 , 组成方案层(D), 方案整体符合机械装备设计的属性和要求^[15], 见图 4。

1) 方案 D_1 整体以长方体为造型基础形态, 多斜切转折, 彰显直线条的设计语言。整体风格方正硬朗, 简洁有力。配色上采用浅灰色的主机身搭配少量的黑色。整体造型采用传统的三段式分割。操作面板呈垂直设计, 未进行按键功能分区。活动作业区域设置有警示标志。

2) 方案 D_2 整体以直面、斜角、微圆角为设计元素。整体风格板正统一, 塑造一种硬朗中略带圆润的设计风格。顶部采用围栏设计。工作活动部位设置警示条, 显眼部位增加警示灯光。涂装上采用简洁的白色搭配品牌标准色蓝色线型涂装。操作面板具有一定的倾斜角度, 对按钮进行功能分区, 将常用按钮放大并放置在显眼区域。

3) 方案 D_3 整体以大圆角、包裹性切割为设计元

素, 塑造了一种现代简洁的设计风格。顶部油泵部分被整体包裹。配色上主色为黑、白色, 蓝色线型涂装作为装饰线条。操作面板有一定倾斜角度, 操作按钮进行颜色分区。在活动作业部分未设置提示标志。

3.4 TOPSIS 方案评价结果的计算

为了保证优选方案的准确性, 邀请 10 位行业专家(包括相关企业高层管理 3 人、工业设计专业教授 3 人、潜在购买方 2 人、相关企业高级工程师 2 人)对 3 个设计方案的 12 项子指标采用 1~10 标度法进行评分(其中效益型指标 1~3 分表示为很不合格、3~5 分表示不合格、5~6 分表示为良好、6~8 分表示为优秀、8~10 表示为非常优秀。成本型指标 1~3 分表示为非常优秀、3~5 分表示为优秀、5~6 分表示为良好、6~8 分表示为不合格、8~10 分表示为很不合格)将打分结果计算出的算术平均数作为最终方案综合评价表, 见表 10。



图4 四柱永磁粉末液压设备设计方案层 D

Fig.4 Layer D of four-column permanent magnet powder hydraulic equipment design scheme

表 10 各子指标专家方案综合评价表
Tab.10 Comprehensive evaluation form of each sub-indicator expert solution

准则层	子准则层	方案 D ₁	方案 D ₂	方案 D ₃
外部形象	外观造型	3	10	7
	品牌涂装	6	7.8	7
	材质工艺	6.8	7.8	9
生产成本	加工损耗	5	3	6
	配件互换	8	7	6
	物料成本	6	4	7
人机工程	人机尺度	6	8	5
	操作协调	6	8.8	7
	作业舒适度	7	9	8
安全可靠	承受力	8.5	9.5	7.5
	报警提示	6	7	3
	保护机制	4	8	7

1) 根据上表构建判断矩阵并标准化后得

$$A' = \begin{bmatrix} 0.0000 & 1.0000 & 0.5714 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.5556 \\ 0.0000 & 0.4545 & 1.0000 \\ 0.3333 & 1.0000 & 0.0000 \\ 1.0000 & 0.5000 & 0.0000 \\ 0.3333 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.3333 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.3571 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.5000 \\ 0.5000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.7500 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.7500 \end{bmatrix}$$

2) 计算加权标准化决策矩阵

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0.0488 & 0.0279 \\ 0 & 0.0148 & 0.0082 \\ 0 & 0.0122 & 0.0268 \\ 0.0138 & 0.0414 & 0 \\ 0.0168 & 0.0084 & 0 \\ 0.0340 & 0.1020 & 0 \\ 0.0633 & 0.1899 & 0 \\ 0 & 0.0950 & 0.0339 \\ 0 & 0.0475 & 0.0238 \\ 0.1238 & 0.2475 & 0 \\ 0.0780 & 0.1040 & 0 \\ 0 & 0.0655 & 0.0491 \end{bmatrix}$$

3) 方案排序

由于评价指标中既有效益型指标又有成本型指标, 所以先确定指标的属性, 然后通过式(5)一(6)计算得到所有指标的理想解。

$$C^+ = \{0.0488, 0.0148, 0.0268, 0.0414, 0.0168, 0.1020, 0.1899, 0.0950, 0.0475, 0.2475, 0.1040, 0.0655\}$$

$$C^- = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

最终各方案标准化后的得分, 见表 11。

表 11 方案综合得分
Tab.11 Comprehensive score of solutions

类型	方案 D ₁	方案 D ₂	方案 D ₃
d_i^+	0.2373	0.0169	0.3544
d_i^-	0.1644	0.3723	0.0754
E_i^+	0.4093	0.9567	0.1755
标准化后得分	0.2655	0.6206	0.1139
排序	2	1	3

由表 11 可知, 最终方案排序为 $D_2 > D_1 > D_3$ 。因此可以确定方案 D_2 为四柱永磁粉末液压设备最优设计方案。

4 结论

本次研究首先通过问卷调查、行业专家意见指导建立了智能液压设备设计评价指标体系, 提出了基于 AHP-TOPSIS 方法的设计方案评价流程。通过实际案例的应用可知, 两种定性定量的研究方法能有效降低了四柱永磁粉末液压设备设计评价中要素复杂、要素关系难以判断、难以量化分析带来的不利影响, 降低了方案选择过程中人为的主观性影响, 提高了智能液压设备设计评价的客观性和有效性。文中在确定各指标权重过程中, 以及人为主观性问题上的研究仍然不足, 在后续的研究中还需扩大样本数量, 在四柱永磁粉末液压设备实际转化应用中, 展开进一步的优化与研究。

参考文献:

[1] 李芳, 何思俊, 支锦亦, 等. 基于 AHP-熵权法的高速列车乘客车厢设计满意度评价[J]. 机械设计, 2020, 37(2): 121-125.
LI Fang, HE Si-jun, ZHI Jin-yi, et al. Evaluation of High Speed Train Passenger Compartment Design Satisfaction Based on AHP Entropy Weight Method[J]. Mechanical Design, 2020, 37(2):121-125.

[2] 王媚雪, 翟洪磊. 基于 AHP 与 TOPSIS 法的自闭症儿童康复训练产品设计评价方法及应用[J]. 图学学报, 2020, 41(3): 453-460.
WANG Mei-xue, ZHAI Hong-lei. Evaluation Method and Application of Rehabilitation Training Products for Autistic Children Based on AHP and TOPSIS[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(3): 453-460.

[3] 李娜, 李小东, 唐东芳. 基于 AHP-TOPSIS 的可持续包装设计最优方案的筛选[J]. 包装工程, 2020, 41(23):

- 242-248.
LI Na, LI Xiao-dong, TANG Dong-fang. Selection of the Best Sustainable Packaging Design Scheme Based on AHP-TOPSIS[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(23): 242-248.
- [4] 张健, 贾浩林, 王丽萍, 等. 基于TOPSIS的汽车零部件设计方案评价[J]. 机械设计, 2020, 37(S1): 107-111. 你好,
ZHANG Jian, JIA Hao-lin, WANG Li-ping, et al. Evaluation of Automobile Parts Design Scheme Based on TOPSIS[J]. Machine Design, 2020, 37(S1): 107-111.
- [5] 周凯, 孙宏悦, 姜辉, 等. 基于粗糙集理论和TOPSIS的绿色包装评价方法[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 142-146.
ZHOU Kai, SUN Hong-yue, JIANG Hui, et al. The Evaluation Method of Green Packaging Based on Rough Set Theory and TOPSIS[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 142-146.
- [6] 陈香, 卫华. 基于结构熵权TOPSIS法的产品设计方案评估研究[J]. 图学学报, 2020, 41(3): 446-452.
CHEN Xiang, WEI Hua. Research on Product Design Scheme Evaluation Based on TOPSIS Method of Structure Entropy Weight[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(3): 446-452.
- [7] 陈明, 郭立新. 基于AHP-熵权-TOPSIS的电动汽车动力性经济性综合评价方法[J]. 机械设计, 2013, 30(4): 15-19.
CHEN Ming, GUO Li-xin. Comprehensive Evaluation of Power Performance and Energy Consumption Economy of Battery Electric Vehicle Based on AHP-Entropy-TOPSIS[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(4): 15-19.
- [8] 吕欣, 刘玉云. 基于AHP-TOPSIS方法的儿童安全座椅设计方案评价研究[J]. 包装工程, 2019, 40(14): 150-155.
LYU Xin, LIU Yu-yun. Evaluation of Design Alternatives for Child Safety Seat Based on AHP-TOPSIS[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(14): 150-155.
- [9] 吕跃进. 指数标度判断矩阵的一致性检验方法[J]. 统计与决策, 2006(18): 31-32.
LYU Yue-jin. Consistency Test Method of Exponential Scale Judgment Matrix[J]. Statistics and Decision, 2006(18): 31-32.
- [10] WANG Xin-min. Mining Method Choice Based on AHP and Fuzzy Mathematics[J]. Science and Technology, 2008, 39(5): 875-880.
- [11] JOVANA. AHP-based Group Decision Making Approach to Supplier Selection of Irrigation Equipment[J]. Water Resources, 2014, 41(6): 782-791.
- [12] 徐骁琪, 程永胜, 陈国强. 基于AHP法的房车造型评价方法及应用研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 140-144.
XU Xiao-qi, CHENG Yong-sheng, CHEN Guo-qiang. Evaluation Method and Application of RV Modeling Based on AHP Method[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(6): 140-144.
- [13] 彭鹏, 胡昌格, 柴敏. 基于模糊综合评价法的除雪机设计评价应用[J]. 包装工程, 2022, 43(14): 59-65.
PENG Peng, HU Chang-ge, CHAI Min. Application of Snow Thrower Design Evaluation Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(14): 59-65.
- [14] 贾铭新. 液压传动与控制[M]. 第4版. 北京: 电子工业出版社, 2017.
JIA Ming-xin. Hydraulic Transmission and Control[M]. 4th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2017.
- [15] 吴俭涛, 孙利, 郑艳艳, 等. 一体化新型液压机造型设计[J]. 机械设计, 2021, 38(5): 434-441.
WU Jian-tao, SUN Li, ZHENG Yan-yan, et al. 一体化新型液压机造型设计[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(5): 434-441.

责任编辑: 蓝英侨