基于灰色关联分析法的线切割机床模块化设计评价研究

胡光忠[1,2]，朱龄[1]，乔鸿静[1]，张玲玉[1,2]，许雯娜[1,2]
（1.四川轻化工大学，宜宾 644000；2.过程装备与控制工程四川省高校重点实验室，宜宾 644000）

摘要：目的 为了客观地评价线切割机床外观设计的设计重点，提升实际操作的满意度、操作效率而展开研究。**方法** 采用灰色关联分析法（GRA），通过一系列的设计调研、研究分析线切割机床的设计特点和操作存在的问题，得出机床功能模块区域的评价指标，并对各指标进行灰色关联度的定量计算和排序，从而找出机床外观设计的重点功能区域为人机交互的操控区域，在此基础上对操控区域进行重新规划和设计，同时也对机床的其他功能模块区域进行优化设计。最后利用灰色关联系数求得各评价指标的权重，通过模糊综合评价法（FCE）对最终的设计效果进行满意度评价。**结论** 采用模块化设计评价方法对机床进行设计，优化和重新设计的功能模块区域，可以提高用户体验的整体满意度，能有效解决在实际操作过程中的问题，为线切割机床的外观设计提供客观的数据支撑与参考。

关键词：灰色关联分析法；模糊综合评价；外观设计；线切割机床；模块化设计评价
中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2019)18-0053-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.18.008

Evaluation on Modular Design of Wire Cutting Machine Based on GRA

HU Guang-zhong[1,2], *ZHU Ling*[1], *QIAO Hong-jing*[1], *ZHANG Ling-yu*[1,2], *XU Wen-na*[1,2]
(1.Sichuan University of Science & Engineering, Yibin 644000, China;
2.Key Laboratory of Process Equipment and Control Engineering in Sichuan Universities, Yibin 644000, China)

ABSTRACT: The paper aims to objectively evaluate the key design area of the wire cutting machine in its appearance design, and improve the satisfaction in actual operation and improve the efficiency of use. Through a series of investigation and research, the design characteristics and the using problems of wire cutting machine were analyzed based on Grey Relation Analysis (GRA) to get the evaluation criteria of wire cutting machine in its function modules. The main function area of wire cutting machine in its appearance design was the operation area in man-machine interaction which was calculated by quantitative calculation and the sequencing of grey correlation degree to re-plan and design the operation area and optimize the other function modules of machine. The weight of each evaluation index which was calculated by GRA was used to have satisfaction evaluation on the final design effect. Designing the machine with the modular design evaluation method and optimizing or redesigning function modules can improve the whole satisfaction of man-machine interaction and effectively solve the problems in practical operation. It also provides objective data support and reference method for wire cutting machine in its appearance design.

KEY WORDS: GRA; FCE; appearance design; wire cutting machine; modular design evaluation

线切割机床是对工件材料进行加工的重要生产设备[1]。线切割机床的应用从一开始就处于工业大生产、机械加工的范畴之中，因此其研究重点常常是机床本身的精度和机械加工效率，如王丽珺通过研究机床程序的编制来提高使用效率[2]，王世珠等人对线切割机床的人机接口进行了通用模块化研究[3]。对于线

收稿日期：2019-05-02
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（GK201803）
作者简介：胡光忠（1972—），男，四川人，博士，四川轻化工大学教授，主要研究方向为现代设计理论与方法。
通信作者：朱龄（1997—），女，江苏人，四川轻化工大学硕士生，主攻用户研究与产品设计。

切割机床的外观形象、人机交互、用户体验、实际操作方面的研究存在欠缺，主要表现在工人操作效率较低、外观趋同、结构零件裸露等方面。

在指导方法上，王年文等人利用色彩、意象等感官评价法，对数控机床进行了外观的重新设计，以此提高产品的识别性、用户体验等，但该方法在确定造型风格形式上采用的方式较为主观，缺乏客观数据的支撑[4]。Somvir Singh Nain 等人采用灰色关联法，对切割速度、尺寸偏差等进行了评价与分析[5]。刘亮辉通过灰色关联度分析了机床的精度、可靠性、加工性等指标，并进行了测评，为设计方向提供了可靠的数据支撑[6]。这些依然是基于机床本身的性能进行的研究，未能从操作用户和工业设计的方向进行切入。而且上述研究中，均缺乏对线切割机床的操作情况及对操作人员的实际调研数据。

近些年来，灰色关联分析法涉及到的研究方面有很多。康辉等人使用灰色关联分析法分析最理想的设计方案，以此提高设计师选择方案的准确性、科学性[7]。兰爽提出了将灰色关联法应用到包装设计方案上进行评价，对各备选方案进行了优劣排序，能够思路清晰地进行多方案选择[8]。李珂等人以电吹风为例，建立了多层次关联模型，证明了灰色关联分析法在产品方案选择中的可行性[9]。

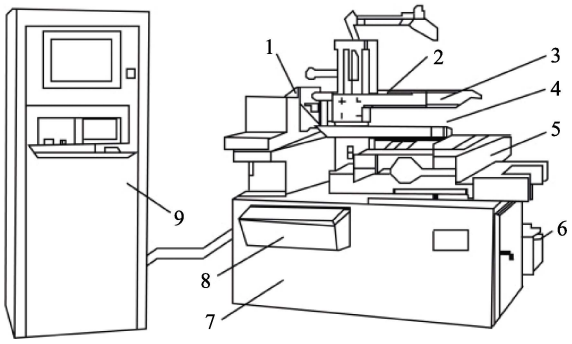
基于灰色关联分析法，从操作用户的角度出发，通过对实际操作人员以及专家人员的调研数据、对线切割机床的功能部件区域进行模块化层次划分等，来确定各功能模块区域在整个机床外观设计中的主次关系，从而确定设计重点并进行设计实践。通过关联度系数求出各评价模块的权重，建立较精确的权重集，从而进行模糊综合评价。

1 线切割机床及其现状

线切割机床主要由机床床身、工作台、走丝机构、供液系统、控制系统、脉冲电源等几大部分组成[10]，见图 1。目前，国外线切割机床发展水平较高的国家主要是日本和瑞士，如阿奇夏米和沙迪克等品牌，无论是性能、外观、使用效率都在国际上达到了较高水平，在一定程度上起到了引领作用[11]。近年来我国的线切割机床的各项性能都有了较大突破，但在外观、人机交互设计上还未能予以足够重视，这一点上相比日本、瑞士等国家较不足。

经调查发现，传统线切割机床的外观设计中，经验成分或感性成分较多。设计中的重点往往是根据操作人员的实际经验或设计师的经验感觉进行，缺乏客观的数据计算来对机床整体的设计重点进行分析和支撑。

在实际操作方面，主要是人机交互、用户体验等问题。表现为操作体验感差、外观设计存在大量结构件裸露、安全感差等问题。随着整体工作环境的逐渐改善，对机床的外观品质和工人操作效率提升的需求日趋明显，各操作区域设计的合理性，直接对工作效率以及体验感受产生影响。譬如在实际操作过程中，操作人员需要在操控台和加工区域之间来回走动，观察和操作，十分不便。因此就这方面而言，机床怎样设计能够让操作人员更加方便舒适，提高操作效率，还需对机床各部分进行客观、深入、有说服力的分析及研究。



注：1.动丝桶；2.线架；3.锥度装置；4.电极丝；5.工作台；6.工作液箱；7.床身；8.操纵台；9.控制柜

图 1 线切割机床机构

Fig.1 Mechanism of wire cutting machine

2 灰色关联分析法及其应用现状

灰色关联分析法是一种对多种因素进行分析的方法，它是将各样本数据作为依据，通过灰色关联序来描述各因素间的关系[12]。样本的关联系数越大，则它对整体影响的关联度也越大。它着重研究如何解决信息不完整或信息不确定的问题，是能够将一些定性或半定量问题转化为定量问题的非常有效的一种方法[13]。

查阅并分析文献后发现，灰色关联分析法在机械装备的工业设计方向上，鲜有研究和应用。大部分文献都仅对机械设备的性能方面进行了灰色关联分析，却很少有应用到机械设备的人机交互的操作模块区域、用户体验上进行分析。将线切割机床进行功能区域模块化划分并采用灰色关联法进行分析，通过定量计算，能够为设计的侧重点提供有力的数据支撑。利用灰色关联模型，通过各功能模块区域的灰色关联序得到其设计重点，进行设计实践。结合模糊综合评价法对设计最终效果进行验证，为设计提供客观合理的设计依据与方法。模糊综合评价法在设计领域的应用较为普遍，如王年文等人将模糊综合评价法运用到动态裸足矫形器的设计评价之上[14]，杨柳等人通过模糊综合评价对智能电饭煲进行了设计评价与应用[15]，赵彩云等人采用模糊综合评价法对健身车人机工学进行了综合评价等[16]。

上文中提到，传统线切割机床的外观设计中，经验成分或感性成分较多。由于设计过程中对各部分的

判断存在着定性的因素，因此采用灰色关联分析法建立线切割机床的指标评价体系，能够全面、客观地评价各指标与之的关联度，以此求出设计重点并进行设计应用实践。

根据分析目的确定指标体系，收集并分析数据，设 n 个数据序列形成以下矩阵：

$$\left(\boldsymbol{X}_1',\boldsymbol{X}_2',\cdots,\boldsymbol{X}_n'\right)=\begin{bmatrix} x_1'(1) & x_2'(1) & \cdots & x_n'(1) \\ x_1'(2) & x_2'(2) & \cdots & x'(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1'(m) & x_2'(m) & \cdots & x'(m) \end{bmatrix} \tag{1}$$

其中：m 指的是指标的个数，n 是评价对象的个数。

2）对数据进行无量纲化处理，确定参考序列为 $x_0=\left[x_0(k)(k=1,2,\cdots,m)\right]$（参考数据列是理想的比较标准，以各个指标的最优、最劣、评价目的选择参照值），比较序列为：

$$x_i=\left[x_i(k)(k=1,2,\cdots,m)\right],(i=1,2,\cdots,n) \tag{2}$$

3）进行关联系数计算，公式为：

$$\xi\left(x_0(k),x_i(k)\right)=\frac{\min\limits_i\min\limits_k\left|x_0(k)-x_i(k)\right|+\rho\max\limits_i\max\limits_k\left|x_0(k)-x_i(k)\right|}{\left|x_0(k)-x_i(k)\right|+\rho\max\limits_i\max\limits_k\left|x_0(k)-x_i(k)\right|} \tag{3}$$

其中：ρ 为分辨系数，$\rho\in[0,1]$，其中 ρ 值越小，则关联系数差异越大，区分能力越强，通常取 $\rho=0.5$。

4）对各关联系数求平均值，以此反映各个因素的关联关系，其公式如下：

$$r_{0i}=\frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m}w_k\times\xi_i(k),(k=1,2,\cdots,m) \tag{4}$$

5）依据各观察对象的关联序，得出分析结果。

3　线切割机床的模块化设计评价方法及流程

运用灰色关联分析法对线切割机床的各个主要功能模块进行定量计算，求出各功能模块的关联度，并进行排序，以此判断各功能模块在线切割机床中的主次关系，从而确定机床整体中的设计重点，并在此基础上进行优化或重新设计，最后对设计结果进行模糊综合评价。模块化设计评价流程见图 2。

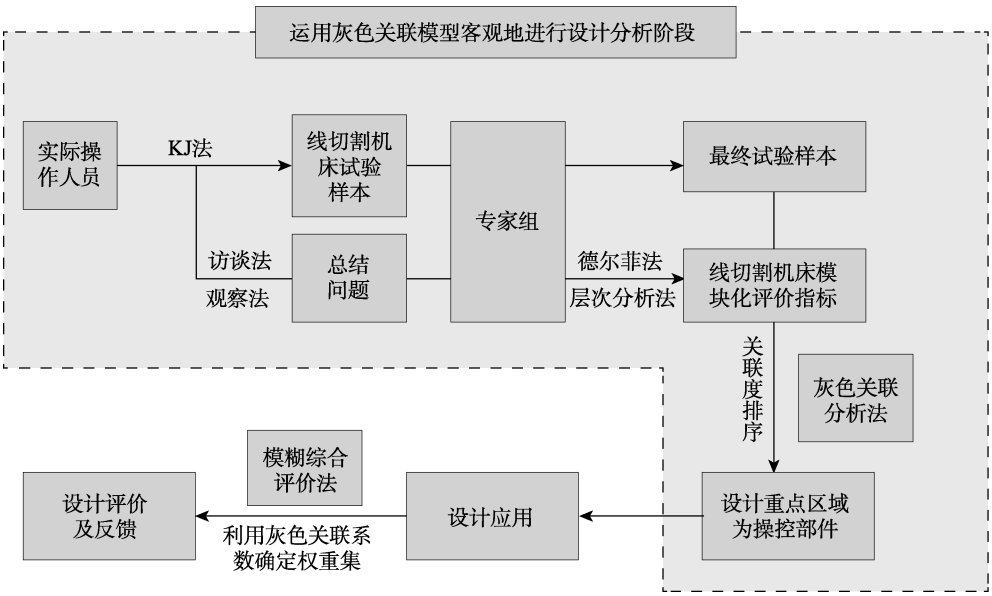


图 2　模块化设计评价流程

Fig.2　Evaluation method process of modular design

3.1　线切割机床的模块化分析方法

整个模块化设计评价的流程分为设计调研、数据收集与处理、结果分析三个阶段。设计调研阶段包括调研对象选择、线切割机床的研究样本筛选以及模块化评价指标的构建。数据收集与处理是通过调研阶段所得的样本和各项评估指标进行评估，并建立矩阵关系，对各项评估指标进行灰色关联度的计算。结果分析阶段是通过所得的关联度大小，确定各区域模块在机床中的关联度数及主次关系，从而判断在线切割机床的设计中哪个模块区域应该给予更多关注。

3.1.1　设计调研

1）调研对象的选择。调研对象包括线切割机床行业的专家和实际操作人员。实际操作人员的任务是对实验样本进行初步筛选，对线切割机床在实际操作中出现的问题进行表述，以及对线切割机床的样本和最终的改良设计方案进行满意度评估；专家的任务则是确定最终样本，并对确定模块化评价指标给出意见。总共确定三十名调研对象，性别均为男性。其中实际操作人员二十名，并且都具备三年及以上的机床操控经验。专家人员十名，且具备六年及以上的行业

及专业设计研究经验。

2）研究样本筛选。首先，对目前国内外市场上各个品牌的线切割机床图片进行收集。国内品牌主要有北京阿齐、迪蒙卡特、苏州宝玛、苏州三光等，国外品牌有三菱、沙迪克、夏米尔等。采用亲和图法，让二十名实际操作人员就实际操作的可行性和满意度进行筛选并分类，同时对不同种类的机床的各功能区进行初步评价分析与总结，为模块化设计评价指标的构建提供思想基础。接着由十名专家人员从结构、功能、外观等专业角度进行最终筛选，得出三十个具有代表性的样本，见图 3。

3）模块化评价指标的构建。针对二十名实际操作人员，运用访谈法得出目前线切割机床在实际使用中存在哪些方面的问题，接着通过观察法对实际操作人员的作业过程进行观察，对机床的模块化区域进行初步小结，最后采用多轮德尔菲法，由十名专家人员对各个功能区域进行分析，并结合层次分析法，最终确定模块化评价指标，即机床床身、走丝机构、观察区、操控部件、供液系统、坐标工作台六个主要模块，见图 4。

图 3 随机放置的三十个线切割机床样本

Fig.3 30 randomly placed wire cutting machine samples

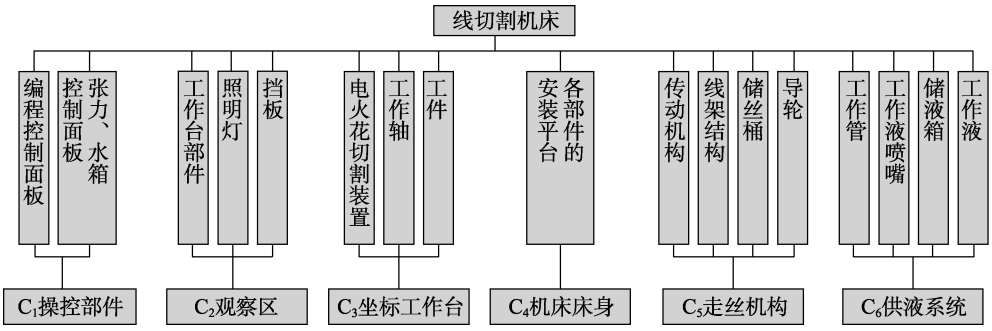


图 4 线切割机的模块化设计评价指标体系

Fig.4 Index evaluation system of modular design of wire cutting machine

3.1.2 数据收集与处理

1）数据收集。依据上文设计调研阶段所得的三十个线切割机的实验样本、六个主要模块化评价指标，采用李克特 7 级量表，让三十名调研对象对各线切割机床的各功能模块进行满意度评估。三十个样本各模块的三十份得分总和，见表 1，其中 A 表示样本，C 表示各模块的评价指标，构成数据序列矩阵。为接下来的灰色关联度的计算提供基础数据，如表 1。

2）各功能模块的关联度计算。第一步确定参考数据列。根据各打分分值的实际情况，将三十个样本

的评价指标 C_1~C_6 的参照分数值，记作 7 分，7 分，7 分，7 分，7 分，7 分，分别乘以 30，表示为 {210，210，210，210，210，210}。接着对指标数据进行无量纲化，并逐个计算每个评价对象指标与参考序列之间的绝对差值，见表 2，求得 $\min_i \min_k \left|x_0(k)-x_i(k)\right|=9, \max_i \max_k \left|x_0(k)-x_i(k)\right|=167$。根据所得数据代入关系式

$$\xi\left(x_0(k),x_i(k)\right)=\frac{\min_i \min_k \left|x_0(k)-x_i(k)\right|+\rho \max_i \max_k \left|x_0(k)-x_i(k)\right|}{\left|x_0(k)-x_i(k)\right|+\rho \max_i \max_k \left|x_0(k)-x_i(k)\right|}$$

中，求得各样本中各模块指标的关联系数，见表 3。最后，通过公式 $r_{0i}=\frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m} w_k \times \xi_i(k)$ 对各评价指标分别计算关联系数的均值，最终得：r_1=0.6092，r_2=0.6066，r_3=0.6002，r_4=0.6009，r_5=0.6031，r_6= 0.5681。

3.1.3　结果分析

根据以上结果，六个被评价指标的关联度序为：$r_1 > r_2 > r_5 > r_4 > r_3 > r_6$。$C_1$ 操控部件的关联度最大，其他区域依次是 C_2 观察区、C_5 走丝机构、C_4 机床床身、C_3 坐标工作台、C_6 供液系统。依据各模块指标的关联度排序，得出 C_1 操控部件的关联度对整体操作效果的影响最大，因此，操控部件是整个线切割机床的设计重点。在接下来的设计实践应用中，将对操控部分给予更多关注与思考。

3.2　设计实践

以此方法对某品牌的一款线切割机床进行改良设计。未改良前的线切割机床见图 5，存在操作效率低、体验感差、结构部件裸露与半裸露、整体风格不统一等问题。针对这一现状，在满足机床加工功能的基础上，对机床的床身、走丝机构、观察区、操控部件、供液系统、坐标工作台等功能模块，进行整合和重新规划布局。设计后的线切割机床效果见图 6，整体布局采用对称设计，视觉效果均衡稳定，并对色彩、材质、装饰等要素进行了协调优化设计。通过改进机床的外观来增加机床的整体感、现代感和科技感，提升用户对机床视觉形象的体验愉悦度。

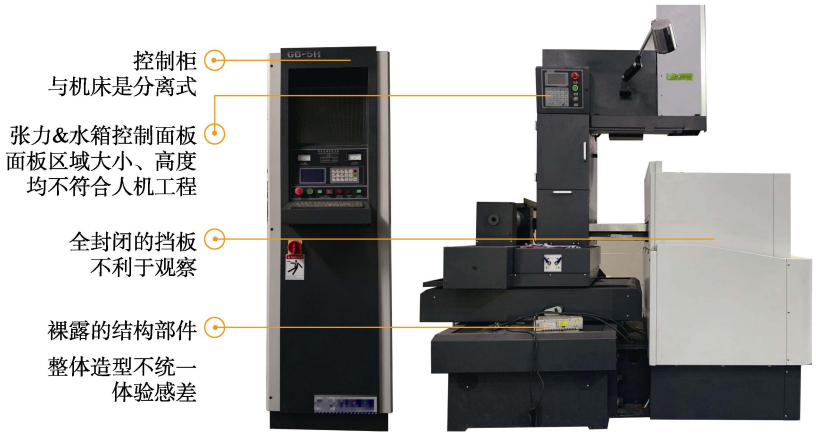


图 5　未改良前的线切割机床
Fig.5　Wire cutting machine before improvement

图 6　重新设计后的线切割机床
Fig.6　Re-designed wire cutting machine

对线切割机床的操控部件进行重点设计。未改良前的线切割机床的控制柜是分体设计，新的设计方案将操控部件整合到机床上，进行一体化设计，两个不同功能的操控区域对称布置在机床两侧，使操作员能够在同一方位、范围较小的空间进行作业。同时利用人机工程学原则和方法，对水箱及张力操纵控制面板和工件加工操控控制面板的具体显示，以及操作元件进行全新规划和详细设计，如工件加工操控面板，具体分为显示屏幕、高频控制区、仪表显示区和键盘操作区等。对可视视野范围、最佳视野范围、手臂作业范围进行调整优化设计。重新设计的水箱及张力操控面板见图 7，工件加工操控面板见图 8，人体尺寸评估见图 9。

表 1　各样本各模块的总分情况

Tab.1　Total score of each module in every sample

总得分	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{19}	A_{20}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{25}	A_{26}	A_{27}	A_{28}	A_{29}	A_{30}
C_1	161	87	135	140	169	87	69	173	192	117	110	169	132	116	100	56	186	134	102	141	118	173	152	201	139	148	103	129	165	84
C_2	143	128	146	175	102	121	181	143	169	135	131	164	140	177	80	165	172	169	159	130	197	109	177	168	91	136	76	62	86	142
C_3	114	169	97	168	148	68	175	162	103	163	172	171	71	85	136	143	147	148	139	125	147	139	172	137	159	171	87	107	93	133
C_4	135	131	87	179	137	107	163	115	151	174	165	140	116	96	161	114	153	175	167	174	129	116	99	132	144	162	108	133	126	160
C_5	172	57	71	103	154	123	67	91	147	145	190	136	51	142	46	82	163	201	84	182	58	145	106	165	97	49	174	103	144	123
C_6	76	183	116	174	129	95	189	86	132	190	85	83	103	111	89	197	109	99	121	69	98	105	189	156	77	127	126	58	87	175

表 2　每个被评价对象指标序列与参考序列对应的绝对差值

Tab.2　Absolute difference of object evaluation index and reference sequence

绝对差值	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{19}	A_{20}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{25}	A_{26}	A_{27}	A_{28}	A_{29}	A_{30}
C_1	49	123	75	70	41	123	141	37	18	97	100	41	78	94	110	154	24	76	102	69	92	37	58	9	71	62	107	81	45	126
C_2	67	82	64	35	108	89	29	67	41	75	79	46	70	133	130	45	38	41	159	80	13	101	33	42	119	74	134	148	124	68
C_3	96	41	113	42	62	142	35	48	107	47	38	39	139	125	74	67	63	62	139	85	63	71	38	73	51	39	123	103	117	77
C_4	75	79	123	31	73	103	47	95	59	36	45	70	94	114	49	96	57	35	167	36	81	94	111	78	66	48	102	77	84	50
C_5	38	153	139	107	56	87	143	119	63	65	20	74	159	68	164	128	47	9	126	28	152	65	104	45	113	161	36	107	66	87
C_6	134	27	94	36	81	115	21	124	78	20	125	127	107	99	121	13	101	111	121	141	112	105	21	54	133	83	84	152	123	35

表 3　样本中的各模块指标的关联系数

Tab.3　Connection coefficient of each module in each sample

关联度系数	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{19}	A_{20}	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	A_{25}	A_{26}	A_{27}	A_{28}	A_{29}	A_{30}
C_1	0.698	0.448	0.584	0.603	0.743	0.448	0.412	0.768	0.911	0.512	0.504	0.743	0.573	0.521	0.478	0.389	0.860	0.580	0.499	0.607	0.527	0.768	0.654	1.000	0.599	0.636	0.486	0.562	0.720	0.442
C_2	0.615	0.559	0.627	0.781	0.483	0.536	0.822	0.615	0.743	0.584	0.569	0.714	0.603	0.427	0.433	0.720	0.761	0.743	0.381	0.566	0.595	0.501	0.794	0.737	0.457	0.587	0.425	0.400	0.446	0.611
C_3	0.515	0.743	0.471	0.737	0.636	0.410	0.781	0.703	0.486	0.709	0.761	0.755	0.416	0.444	0.587	0.615	0.631	0.636	0.416	0.549	0.631	0.599	0.761	0.591	0.688	0.755	0.448	0.496	0.461	0.576
C_4	0.584	0.569	0.448	0.808	0.591	0.496	0.709	0.518	0.649	0.774	0.720	0.603	0.521	0.468	0.698	0.515	0.658	0.781	0.369	0.774	0.562	0.521	0.476	0.573	0.619	0.703	0.499	0.576	0.552	0.693
C_5	0.761	0.391	0.416	0.486	0.663	0.543	0.408	0.457	0.631	0.623	0.894	0.587	0.381	0.611	0.374	0.437	0.709	1.000	0.845	0.830	0.939	0.623	0.493	0.720	0.471	0.378	0.774	0.486	0.619	0.543
C_6	0.425	0.837	0.521	0.774	0.562	0.466	0.885	0.446	0.573	0.894	0.444	0.439	0.486	0.507	0.452	0.959	0.501	0.476	0.306	0.412	0.473	0.491	0.885	0.673	0.427	0.556	0.552	0.393	0.448	0.781

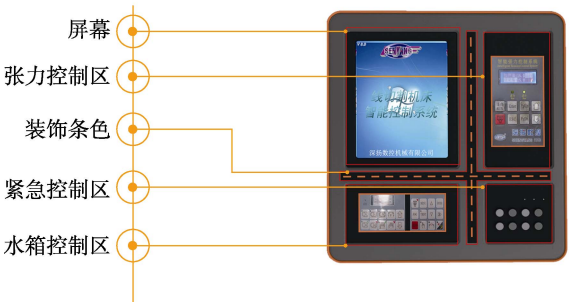


图 7　水箱及张力操控面板
Fig.7　Water tank and tension control panel

图 8　工件加工操控面板
Fig.8　Workpiece-control panel

3.3　模糊综合评价结果

对改良后的机床进行满意度评价。运用综合模糊评价法，将改良后的各个角度进行全面展示。采用李克特 5 级量表，邀请三十名调研人员对该线切割机床进行总体满意度评价并建立模糊关系矩阵。通过上文中所得各模块指标的关联度系数来确定各指标的权重，进行矩阵运算，数值最大的评语作为结果。具体步骤及计算如下：

图 9　人体尺寸评估
Fig.9　Body size assessment picture

取因数集 U={ C_1（操控部件），C_2（观察区），C_3（坐标工作台），C_4（机床床身），C_5（走丝机构），C_6（供液系统）}，取评语集 V={很满意，满意，一般，不满意，很不满意}，构成模糊综合判断矩阵 $\boldsymbol{R}$：

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix} 15/30 & 12/30 & 2/30 & 1/30 & 0 \\ 10/30 & 13/30 & 6/30 & 1/30 & 0 \\ 8/30 & 12/30 & 5/30 & 4/30 & 1/30 \\ 14/30 & 10/30 & 5/30 & 1/30 & 0 \\ 7/30 & 12/30 & 8/30 & 2/30 & 1/30 \\ 10/30 & 13/30 & 5/30 & 3/30 & 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

根据上文计算得出的各功能模块的灰色关联数 r_1=0.6092，r_2=0.6066，r_3=0.6002，r_4=0.6009，r_5=0.6031，r_6=0.5681，确定每个因素的权重集 A={0.16978，0.16906，0.16728，0.16747，0.16808，0.15833}。

进行模糊综合评判，首先根据以上数据进行矩阵合成运算：

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{R}=(0.16978,0.16906,0.16728,0.16747,0.16808,0.15833)\cdot\begin{bmatrix} 15/30 & 12/30 & 2/30 & 1/30 & 0 \\ 10/30 & 13/30 & 6/30 & 1/30 & 0 \\ 8/30 & 12/30 & 5/30 & 4/30 & 1/30 \\ 14/30 & 10/30 & 5/30 & 1/30 & 0 \\ 7/30 & 12/30 & 8/30 & 2/30 & 1/30 \\ 10/30 & 13/30 & 5/30 & 3/30 & 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

接着进行隶属度归一化，得到结果（0.3560，0.3997，0.1721，0.0609，0.0112）。可得，五个评语集中“满意”的所得值最高，最终的综合评价结果为满意。针对五个评语（很满意，满意，一般，不满意，很不满意），分别赋值 90，75，60，45 和 30 分，计算出的综合得分值为 75.42。综合得分介于“很满意”和“满意”之间。

由此结果可得，对操控部件进行重点分析和设计、对其他功能模块区域进行优化设计，新的设计方案整体效果达到了满意（75 分）的程度。重新设计的操控部件能有效解决在目前实际操作过程中的问题，提高操作效率和舒适度。

4 结语

基于灰色关联分析法对线切割机床进行了模块化分析，得出了设计重点，在此结果基础上进行了设计实践，结合模糊综合评价法进行了满意度评价，得出了以下结论：通过灰色关联法对线切割机床的各个功能模块进行分析研究，得出了线切割机床外观设计的设计重点在操控部件区域；在此基础上对线切割机床进行了改良设计实践，重点重新设计了操控部件，优化改良设计了其他功能部件区域，并通过模糊综合评价法进行了综合评价，设计方案的整体效果达到了满意的程度；重新设计后的线切割机床达到了满意（75 分）的程度，但与总分十分满意（90 分）还存在一定的差距，说明在其他模块上的设计还有提升空间，因此在接下来的实际应用中，还需同时对机床床身、走丝机构、观察区、供液系统、坐标工作台五个模块区域进行进一步的改进和优化；在调研及后期满意度评价阶段均采用图片演示，因资源、成本等问题，未能通过实际操作进行，因此具有一定的局限性，该问题将在以后的实际生产与实践中，进一步改进与研究。

参考文献：

[1] 杨可平. 数控切割机的操作经验及问题应对[J]. 山东工业设计, 2017(23): 236.
YANG Ke-ping. Operating Experience and Problems of CNC Cutting Machine[J]. Shandong Industrial Design, 2017(23): 236.

[2] 王丽珺. 提高数控切割机的使用效率[J]. 机械管理开发, 2011(5): 65-66.
WANG Li-jun. Improve Efficiency in the Use of CNC Cutting Machine[J]. Development of Machinery Management, 2011(5): 65-66.

[3] 王世珠, 刘扬, 费继友, 等. 数控切割机人机接口硬件模块化设计[J]. 数字技术与应用, 2017(1): 150-151.
WANG Shi-zhu, LIU Yang, FEI Ji-you, et al. Modular Design of Human-Machine Interface Hardware for NC Cutting Machine[J]. Digital Technology and Application, 2017(1): 150-151.

[4] 王年文, 徐丽. 基于感官评价方法的多线切割机造型设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(5): 116-120.
WANG Nian-wen, XU Li. Research on Modeling Design of Multi-wire Cutting Machine Based on Sensory Evaluation Method[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(5): 116-120.

[5] SOMVIR S N, DIXIT G, SANJEEV K. Evaluation and Analysis of Cutting Speed, Wire Wear Ratio, and Dimensional Deviation of Wire Electric Discharge Machining of Super Alloy Udimet-L605 Using Support Vector Machine and Grey Relational Analysis[J]. Advances in Manufacturing, 2018, 6(2): 225-246.

[6] 刘亮辉, 汪永超, 白飞先, 等. 基于灰色关联度分析的数控机床性能模糊综合评判[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2018(2): 109-115.
LIU Liang-hui, WANG Yong-chao, BAI Fei-xian, et al. Fuzzy Comprehensive Evaluation of NC Machine Tools Based on Grey Relational Grade Analysis[J]. Modular Machine Tool and Automatic Machining Technology, 2018(2): 109-115.

[7] 康辉, 王勇. 基于灰色关联分析法的新古典家具产品设计评价模型[J]. 包装工程, 2017, 38(14): 127-130.
KANG Hui, WANG Yong. New Classic Furniture Product Design Evaluation Model Based on Grey Correlation Analysis Methods[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(14): 127-130.

[8] 兰爽 .灰关联分析在包装产品设计方案优选中的应用[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 52-54.
LAN Shuang. Application of Grey Relational Analysis in Optimization of Design Alternatives for Packaging Products[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(11): 52-54.

[9] 李珂, 王海娜, 张伟社. 基于层次分析和灰色理论的产品方案选择[J]. 包装工程, 2014, 35(8): 61-65.
LI Ke, WANG Hai-na, ZHANG Wei-she. Product Program Selection Based on AHP and Degree of Gray Incidence[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(8): 61-65.

[10] 冯炜龙. 高速走丝电火花线切割加工控制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
FENG Wei-long. Research on High Speed Wire-Electric Discharge Machining Control[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.

[11] 李蕊, 张继晓. 基于情感化设计的数控机床面板设计方法研究[J]. 包装工程, 2017, 38(6): 92-95.
LI Rui, ZHANG Ji-xiao. Design Methods of Panel for NC Machine Tools Based on Emotional Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(6): 92-95.

[12] 李涛, 王盛煜. 基于灰色关联度和模糊综合评价法的我国电力市场交易评价体系研究[J].工业技术经济, 2018, 37(9): 130-137.
LI Tao, WANG Sheng-yu. Research on Evaluation System of Electricity Market Transaction in China Based on Gray Relational Grade Analysis and Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2018, 37(9): 130-137.

[13] 高琦, 陈佳男, 张建超, 等. 基于灰色关联分析法综合评价不同干燥方式对山药脆片品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 6-12.
GAO Qi, CHEN Jia-nan, ZHANG Jian-chao, et al. Comprehensive Evaluation of the Effects of Different Drying Methods on the Quality of Chinese Yam Chips Based on Gray Relational Analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 6-12.

（下转第 84 页）

品牌的理念深深植入消费者的生活中。

4 结语

当下可见生活方式品牌在国内的家居领域蓬勃发展。无论对于企业还是设计师，了解传统家居品牌模式的局限性，以及学习国外成功的经验都是十分必要的。消费者自身的生活方式决定了其对品牌的认可度。因此，关注品牌整体特征的塑造、关注设计与生活场景的关联、关注产品以外的与生活息息相关的信息，才能全方位地展现品牌的生活方式理念。基于对美国成熟的家居零售市场的考察，对其较为成功的生活方式家居品牌特征的探索分析，可以成为即将到来的中国生活方式家居时代十分有意义的参考。

参考文献：

[1] AARON Ahuvia, 阳翼. “生活方式”研究综述：一个消费者行为学的视角[J]. 商业经济与管理，2005(8): 32-38.
AARON Ahuvia, YANG Yi. A Literature Review of Lifestyle from Consumer Behavior Perspective[J]. Business Economics and Administration, 2005(8): 32-38.

[2] 张昆，余庆，董淑芳. 基于产品体验的品牌设计特征分析[J]. 包装工程, 2012, 33(24): 54-56.
ZHANG Kun, YU Qing, DONG Shu-fang. Analysis of Brand Design Features Based on Product Experience[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(24): 54-56.

[3] 陈可，王媛，江明华. 从品牌选择看品牌个性与生活方式的关系[J]. 山西财经大学学报, 2008(12): 48-52.
CHEN Ke, WANG Yuan, JIANG Ming-hua. Relationship between Brand Personality and Life Style based on Brand Choice[J]. Journal of Shanxi Finance and Economics University, 2008(12): 48-52.

[4] 陈文沛. 生活方式、消费者创新性与新产品购买行为的关系[J]. 经济管理, 2011(2): 94-101.
CHEN Wen-pei. An Empirical Study on the Relationship among Consumer Lifestyle, Consumer Innovativeness and New Product Buying Behavior[J]. Business Management Journal, 2011(2): 94-101.

[5] 陈信康，董晓舟. 生活方式、产品态度与产品购买行为的关系——基于六个城市样本数据的结构方程建模[J]. 经济管理, 2014(1): 142-153.
CHEN Xin-kang, DONG Xiao-zhou. An Empirical on the Relationship among Lifestyle, Product Attitude and Product Buying Behavior[J]. Business Management Journal, 2014(1): 142-153.

[6] 李有生. 当代企业形象设计与品牌整合设计探析[J]. 包装工程, 2011(24): 133-135.
LI You-sheng. Analysis of Contemporary Corporate Image Design and Brand Integration Design[J]. Packaging Engineering, 2011(24): 133-135.

[7] 潘志国，王兰美，郭业民. 面向生活方式的设计理论研究[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 127-130.
PAN Zhi-guo, WANG Lan-mei, GUO Ye-min. Research of Lifestyle-oriented Design Theory[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 127-130.

[8] 郑伯森，杨为渝，易晓蜜. 内容消费时代下产品设计特征研究[J]. 南京艺术学院学报, 2013(4): 159-160.
ZHENG Bo-sen. YANG Wei-yu. YI Xiao-mi. Product Design Features in the Context of Content Consumption Era[J]. Journal of Nanjing Arts Institute, 2013(4): 159-160.

[9] 吴水龙，刘长琳，卢泰宏. 品牌体验对品牌忠诚的影响：品牌社区的中介作用[J]. 商业经济与管理，2009(7): 80-90.
WU Shui-long, LIU Chang-lin, LU Tai-hong. The Impact of Brand Experience on Brand Loyalty: The Mediating Role of Brand Community[J]. Business Economics and Administration, 2009(7): 80-90.

[10] 范秀成. 基于顾客的品牌权益测评：品牌联想结构分析法[J]. 南开管理评论, 2000, 3(6): 9-13.
FAN Xiu-cheng. Measurement of Customer-Based Brand Equity: a Brand Association Structure Approach[J]. Nankai Business Review, 2000, 3(6): 9-13.

（上接第 60 页）

[14] 王年文，王剑. 基于模糊综合评价的动态踝足矫形器设计评价研究[J]. 机械设计, 2019, 36(5): 139-144.
WANG Nian-wen, WANG Jian. Design and Evaluation of Dynamic Ankle-foot Orthosis Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(5): 139-144.

[15] 杨柳，汪天雄，张润梅，等. 基于模糊层次分析法的智能电饭煲设计评价与应用[J]. 机械设计，2019, 36(4): 129-133.
YANG Liu, WANG Tian-xiong, ZHANG Run-mei, et al. Evaluation and Application of Intelligent Rice Cooker Design Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. China Sciencepaper, 2019, 36(4): 129-133.

[16] 赵彩云，李娟莉，任家骏，等. 基于 CATIA 的直立程控健身车人机工程仿真与评价[J]. 机械设计，2019, 36(4): 140-144.
ZHAO Cai-yun, LI Juan-li, REN Jia-jun, et al. Ergonomics Simulation and Evaluation of Vertical Programmed Exercise Bike Based on CATIA[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(4): 140-144.