

## 基于博弈论组合赋权法的甘肃丝路铜器文创设计

张书涛, 王帆, 王世杰, 刘世锋, 王洪倩  
(兰州理工大学 设计艺术学院, 兰州 730050)

**摘要:** **目的** 为降低设计师主观性偏差, 从用户需求角度解析文创产品设计的影响因素, 建立基于博弈论组合赋权法的文创产品设计指标评价体系, 为文创产品设计提供方法与案例参考。**方法** 首先, 通过田野调查法、文献分析法梳理甘肃丝路文化符号, 构建甘肃丝路文化符号库; 其次, 利用文献分析法、用户访谈法解析用户需求, 结合专家评估构建甘肃丝路文创设计指标体系; 再次, 通过层次分析法与熵权法分别求解设计指标主客观权重, 并利用博弈论组合赋权法求解设计指标综合权重; 最后, 运用上述分析结果进行设计方案创新性表达, 并通过模糊综合评价法对设计方案进行评估。**结果** 基于上述方法, 以铜制餐具为案例开展设计实践, 所得方案在审美需求、功能需求、用户偏好等方面表现较好。**结论** 研究结果表明该方法适用于甘肃丝路文化铜器文创产品设计, 有助于提升文创设计过程的科学性。

**关键词:** 丝路文化; 铜器; 层次分析法; 博弈论组合赋权法; 模糊综合评价法

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)08-0055-11

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.08.008

## Cultural and Creative Design of Gansu Silk Road Bronzes Based on Combination Weighting Method of Game Theory

ZHANG Shu-tao, WANG Fan, WANG Shi-jie, LIU Shi-feng, WANG Hong-qian  
(School of Design Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**ABSTRACT:** In order to reduce the subjective deviation of designers, this paper analyzed the influencing factors of cultural and creative product design from the perspective of user needs, and established a cultural and creative product design index evaluation system based on the combination weighting method of game theory, so as to provide methods and case references for cultural and creative product design. First, the cultural symbols of Gansu silk road are combed through field investigation, literature analysis to construct the cultural symbol library of Gansu silk road. Second, the methods of literature analysis and user interview are used to analyze user needs, combined with expert evaluation to construct the cultural and creative design index system of Gansu silk road. Then, the subjective and objective weights of design indexes are solved by analytic hierarchy process and entropy weight method, and the comprehensive weights of design indexes are solved by combination weighting method of game theory. Finally, the innovative expression of the design scheme is carried out on the basis of the above analysis results, and the design scheme is evaluated by fuzzy comprehensive evaluation. Based on the above methods, bronze tableware is taken as a case to carry out design practice, and the obtained scheme performs well in aesthetic needs, functional needs, and user preferences. The results show that this method is suitable for the cultural and creative product design of Gansu Silk Road bronze, and is helpful to improve the scientificity of the cultural and creative design process.

**KEY WORDS:** silk road culture; bronze; analytic hierarchy process; combination weighting method of game theory; fuzzy comprehensive evaluation

收稿日期: 2021-11-22

基金项目: 教育部产学研合作协同育人项目(201802112092); 国家自然科学基金项目(51705226); 甘肃省自然科学基金(20JR10RA168); 甘肃省优秀研究生“创新之星”项目(2021CXZX-524)

作者简介: 张书涛(1982—), 男, 博士, 副教授, 主要从事感性工学、数字设计理论及方法、设计认知、产品创新设计方面的研究。

文化创意产品设计是以文化内涵为基因,以产品为载体,在契合符号意义、现代审美、文化元素的基础上结合多层次设计准则对固有的文化元素进行再设计,创造出满足消费者精神需求的创意产品<sup>[1]</sup>。近年来,我国的文化创意设计发展迅速,但与欧美文创设计相比仍有差距,同时当代的文创设计不再满足于对文化元素的简单提取和应用,而是以消费者的精神需求为导向,更注重地域文化认同感。甘肃作为丝绸之路的黄金路段和枢纽地带,坐拥丰富的丝路文化资源,其文创设计对传承和发扬丝路文化精神具有重大的历史和文化意义。作为甘肃丝路文化的艺术结晶,铜器的文化历史悠久,源远流长,地域分布广泛,极具研究意义及价值。目前,甘肃铜器相关研究主要聚焦于考古文物研究<sup>[2]</sup>、技术特征分析<sup>[3]</sup>、文化内涵研究<sup>[4]</sup>等方面。但从设计角度来看,甘肃铜器产品设计尚未引入科学系统的设计理论及理念,产品市场适应性较弱,在一定程度上阻碍了非遗文化的传承与创新。

产品决策是在设计中应用设计心理学、统计学、运筹学等相关学科的知识,在综合衡量影响设计方案的各设计指标后,对其重要度进行分析的过程。在产品决策评价领域,传统的研究视角较为单一,因此融合多种方法的综合设计决策模型成为研究热点。杨静等<sup>[5]</sup>基于 KANO-AHP 构建了文旅创意产品设计决策模型。Hu 等<sup>[6]</sup>提出了一种基于用户感知和模糊熵权法的传统文化设计元素提取模型。杨俞玲等<sup>[7]</sup>基于 AHP-熵权法构建导航界面设计决策模型。陈香等<sup>[8]</sup>提出了基于结构熵权双基点法的产品创新设计决策方法,并以便于便携式录音笔为案例验证其可行性。基于以上研究,层次分析法主要依靠决策者的主观评价确定设计指标权重,而熵权法虽基于量化数据的过程,但不能体现出决策者对不同设计指标的关注程度,因此会导致评估结论与现实情况不相符合。而博弈论组合赋权法能够结合层次分析法、熵权法合理地计算优化设计指标评价权重系数,但此方法在产品决策领域应用较少,尚需进一步深入研究。

综上所述,文中提出一种基于博弈论组合赋权法的文创产品设计指标评价体系,为文创设计评价提供参考。首先,通过实地调研与文献查阅整理分析文化资源;其次,运用层次分析法构建设计指标体系,并结合熵权法求解设计指标的主客观权重;再次,运用博弈论组合赋权法求解设计指标综合权重;最后,依据设计指标的排序开展方案设计,并结合模糊综合评价法进行设计评价。

## 1 理论介绍

### 1.1 层次分析法

层次分析法是一种基于数学与心理学将复杂决策问题转化为多准则系统化的方法,广泛应用于管理决策、企业生产、交通安全评价、用户体验等领域<sup>[9]</sup>。

该方法的特点是通过分解复杂的决策目标进而构建层级体系,其目的在于处理分析多个指标、多个项目的问题时,利用系统化的方式有方向地拆解、打分对比、量化项目方案以缓解思考负担,再分析整合计算所得数据,以获取各指标权重的相对关系<sup>[10]</sup>。

### 1.2 博弈论组合赋权法

博弈论又称为策略论,属于运筹学的一个分支。在产品决策领域,宗威等<sup>[11]</sup>基于博弈论和模糊综合评价法构建公交车装饰设计决策模型。在水资源系统规划领域,崔威等<sup>[12]</sup>针对确定水电站风险等级主问题,提出通过博弈论思想将 FAHP 和 CRITIC 结合构建水电站事故评价模型,并以开都河流域的水电站为案例进行验证。在知识产权评估领域,宋瑞敏等<sup>[13]</sup>基于博弈论组合赋权法与后悔理论,构建知识产权质押融资估值风险评估模型,并引入案例验证其模型的可行性。

### 1.3 模糊综合评价

模糊综合评价方法是由美国加州大学查德教授于 20 世纪 60 年代中期提出的一种基于模糊数学的隶属度理论,也称为模糊多目标结果评判,是一种定性与定量、准确与非准确结合的评价方法<sup>[14]</sup>。其已普遍应用于学习评价、教育改革、资源分析、建筑改造、经济管理、医疗诊断、方案评估及项目风险评价等领域<sup>[15-16]</sup>。模糊综合评价法主要包含 3 个步骤,即确定评分标准、构建模糊评级矩阵、确定权重向量。该方法的特点是在评价过程中将模糊不确定性指标进行定量化处理,可以有效提高评价的准确性与客观性。

## 2 基于博弈论组合赋权法的甘肃丝路文化铜器产品设计指标体系构建

设计决策经常在结论上带有参评者的主观性判断。为提高产品决策的客观性,减少层次分析法求解设计指标的不确定性,文中基于博弈论组合赋权法构建甘肃丝路文化铜器产品设计指标评价体系,研究流程图见图 1。

### 2.1 甘肃丝路文化符号分析

丝路文化是丝绸之路沿线地区及国家在历史发展中繁衍出的璀璨文化,不仅有一枝独秀的文化遗产,也有冷僻未被深入探究的文化遗迹。在庞杂的甘肃丝路文化中,应以丝绸之路内涵文化为中心进行比物连类,归纳、梳理丝路文化符号,构成多主题文化符号体系。因此,本研究结合文献分析法、实地调研法搜集、梳理甘肃丝路文化符号,提出甘肃丝路文化符号五大文化子集,构建甘肃丝路文化符号库,为后续产品创新设计提供素材,见表 1。其中,表层文化指的是自然风光和历史遗迹,中层文化指的是非遗民俗文化,深层文化指的是艺术和宗教相关的精神追求。

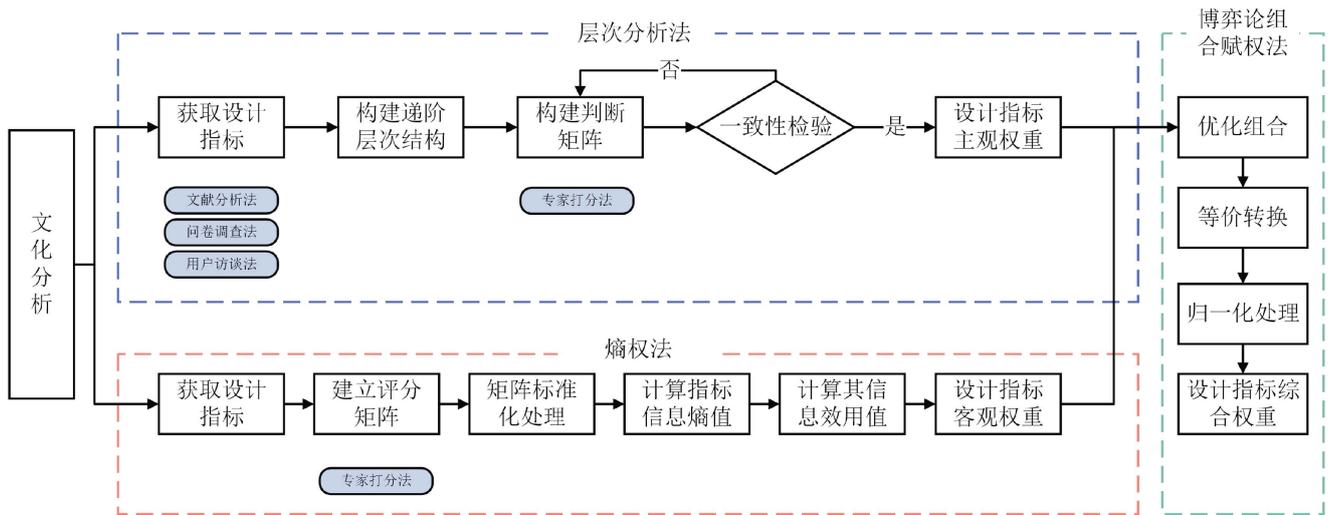


图 1 基于博弈论组合赋权法的产品设计指标体系构建流程

Fig.1 Construction process of product design index system based on combination weighting method of game theory

表 1 甘肃丝路文化集  
Tab.1 Gansu Silk Road culture collection

文化集	子集	主题	符号元素
	自然文化	山水文化	祁连山、卦台山、秦岭文化、鸣沙山、马牙雪山、崆峒山、丹霞地貌、黄河、月牙泉、渭河、洮河等
		草原文化	桑科草原、甘南草原等
表层文化	历史文化	遗址文化	大地湾文化遗址、毛家坪遗址、玉门关、马家塬遗址、敦煌海沧城、阳关故址、甘南夏河八角城、锁阳城、青铜文化、马家窑遗址、悬臂长城、嘉峪关古长城、齐家文化遗址、仰韶文化遗址、灵台遗址、漳县汪氏元墓群等
		建筑文化	嘉峪关城楼、张掖大佛寺、木塔寺、贡唐宝塔、米拉日巴佛楼阁、兰州中山桥、战国长城、陇西威远楼等
		石窟文化	凉州石窟、天水麦积山、敦煌石窟、临夏炳灵寺、泾川石窟、肃南石窟等
		红色文化	会宁会师、岷州会议旧址、静宁红军长征纪念馆、榜罗镇会址、兰州战役纪念馆等
中层文化	民俗文化	饮食文化	兰州牛肉面、手抓羊肉、牛奶鸡蛋醪糟、盖碗茶、土豆、羊肉泡馍、荞麦鱼鱼、静宁烧鸡、中医康养文化等
		服饰文化	裕固族服饰、蒙古族服饰等
		习俗节庆文化	乞巧节、永昌县卅字灯俗、秦安女娲祭奠、西王母祭典等
		杂技文化	耍社火、皋兰铁芯子、高跷、兰州太平鼓、道台狮子、万人扯绳赛、太符灯舞、崆峒派武术等
深层文化	艺术文化	文学文化	伏羲文化、《读者》、简牍、《四库全书》《格萨尔》、河西宝卷等
		手工艺文化	手工铜器、刻葫芦、香包技艺、临夏砖雕、木雕、石雕、黄河水车制作技艺、天水雕漆、藤编、洮绣、泥塑、点灯背猴、窑洞营造、藏刀锻制技艺、夜光杯、水烟技艺、竹雕、寺台造纸术、裕固族皮雕技艺等
		戏剧曲艺文化	皮影、崇信弦子腔、华亭曲子戏、灵台灯盏头戏、兰州秦腔、秦安小曲、河州贤孝、武都高山戏、南梁说唱、甘州小调、藏戏、道情戏等
		音乐文化	《黄河谣》、临夏花儿、敦煌艺术、唢呐、傩舞等
		绘画文化	甘南藏族唐卡、纸织画、庆阳剪纸等
		宗教文化	佛教文化 夏河拉卜楞寺、天水麦积山、泾川大云寺王母宫等 道教文化 兰州白云观、玉泉观等 伊斯兰教文化 临夏大拱北建筑群、兰州清真大寺等

## 2.2 基于层次分析法的主客观权重求解

### 2.2.1 指标体系构建

文中以面向甘肃丝路文化符号的铜器餐具设计为例进行设计研究。由于其设计因素复杂,各设计指标对丝路文化铜器餐具设计的影响无法得到准确量化。运用博弈论思想结合层次分析法和熵权法可以有效解决这一问题,系统地构建甘肃丝路文化铜器餐具设计指标评价体系。

为了尽可能保证设计指标的系统性,经查阅餐具设计相关资料及总结梳理文创产品设计专家意见,从文创产品设计的形态、结构、体验出发,将丝路餐具设计准则层划分为审美需求、功能需求、用户偏好,并采用文献分析法、问卷调查法和用户访谈法获取甘肃丝路文化铜器餐具设计指标。通过文献分析获取29个设计指标,通过问卷调查获得19个设计指标,

通过用户访谈获得35个设计指标,共计83个设计指标。通过3个方法获取的设计指标存在一定的重复性,需要对相近、相同词意的设计指标进行整合,如“产品背后的文化故事”“是否体现丝路文化内涵及特色”和“地域特色”表达的意思相近,因此可将三者合并为“丝路符号装饰”指标。其他指标也进行类似合并,最终得到16个设计指标。为了便于比较,将各设计指标进行简要说明,见表2。通过分析表2的指标含义,发现各设计指标间存在一定的关联,因此甘肃丝路文化铜器餐具设计指标体系是一种灰色系统。

根据上述分析构建甘肃丝路文化铜器餐具设计指标体系。运用专家评分法对上述设计指标进行赋值,即利用李克特5级量表设计问卷,邀请专家对设计指标进行打分,见表2。通过专家评分与建议,剔除品牌标志、价格、包装3项指标,完成甘肃丝路文化铜器餐具设计指标体系构建,见图2。

表2 设计指标归纳  
Tab.2 Induction of design indexes

一级指标	设计指标	专家打分
审美需求	色彩: 色彩契合现代审美趋势, 符合产品风格定位	4.53
	造型: 造型简约, 突出审美性与创新性	4.76
	材质: 选料考究, 搭配合理	4.00
	工艺: 铜器表面采用化学抛光处理工艺, 提高其抗氧化性	3.76
	丝路符号装饰: 体现丝路文化特色和内涵, 符合设计主题	4.18
功能需求	使用功能: 满足用户用餐需求的同时, 展现丝路文化的魅力	4.00
	使用方式: 结构简捷, 使用简单	4.18
	互动性: 将丝路纹样应用于餐具表面装饰设计, 并提高防滑、隔热性能	3.94
	趣味性: 造型、色彩的独特性, 纹样的地域性带给用户别具一格的审美体验	3.82
	整体性: 合理的尺寸比例、统一的色彩风格、系统地考虑用户需求以呈现整体的造型风格	4.06
	品牌标志: 符合企业要求	3.71
用户偏好	价格: 价格合理	4.12
	环保: 材料对人体无害且生产制造过程绿色无污染	4.29
	产品质量: 满足现代产品执行标准和用户潜在需求	4.47
	包装: 包装精美, 符合现代审美	4.24
	创新性: 突出设计主题, 符合消费者喜好	4.53

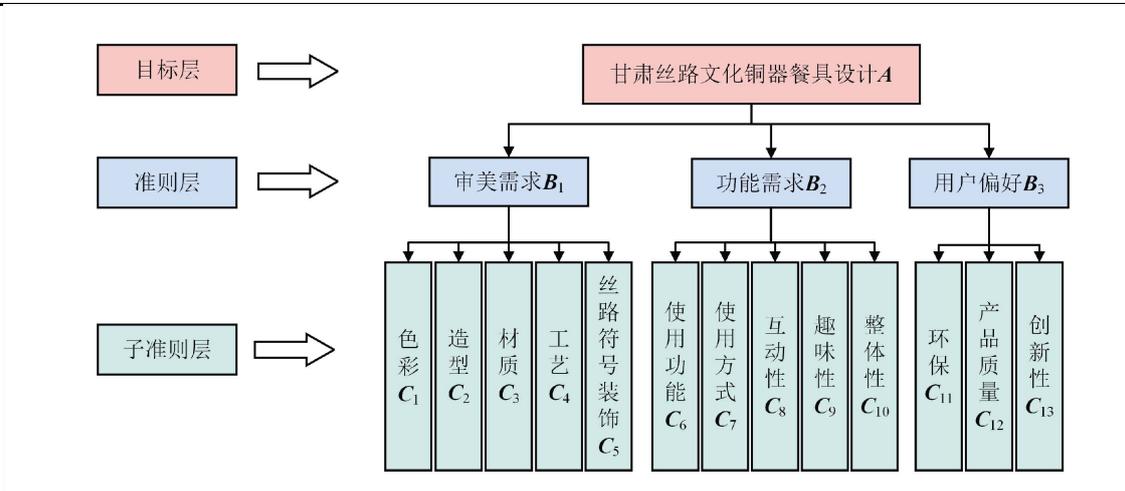


图2 甘肃丝路文化铜器餐具设计指标体系

Fig.2 Design index system of bronze tableware of Gansu Silk Road culture

2.2.2 判断矩阵构建与权重计算

通过相对重要度打分的方式构建判断矩阵, 见表 3。根据二元对比法对同层级相关设计指标进行比较时, 产品设计师依据表 4 的判断矩阵标度对 2 个指标的比值进行打分, 数值代表的具体重要程度见表 4。

针对甘肃丝路文化铜器餐具设计准则层的 3 大类指标和子准则层 13 个设计指标, 邀请 10 位产品设计师对各层级指标进行对比评分, 从而确定准则层和子准则层各指标间的相对重要度关系, 并得出相应的判断矩阵。

利用特征向量法计算各设计指标的相对权重。将判断矩阵的权重向量  $\omega$  右乘权重比矩阵  $A^{[17]}$ 。

$$A\omega = \lambda_{\max}\omega \tag{1}$$

然后将最大特征值的特征向量进行归一化, 得到判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  及与其对应的特征向量  $\omega_a$ , 并获得各设计指标的权重。以其中一位设计师为例, 构建判断矩阵, 见表 5—8。

表 3 判断矩阵构建方式  
Tab.3 Construction method of judgment matrix

$A$	$B_1$	$B_2$	...	$B_n$
$B_1$	$B_{11}$	$B_{12}$	...	$B_{1n}$
$B_2$	$B_{21}$	$B_{22}$	...	$B_{2n}$
...	...	...	...	...
$B_n$	$B_{n1}$	$B_{n2}$	...	$B_{nn}$

表 4 判断矩阵标度  
Tab.4 Scaling of judgment matrix

标度值	重要程度	含义
1	同等重要	两指标同等重要
3	稍微重要	前一个指标比后一个指标稍微重要
5	明显重要	前一个指标比后一个指标明显重要
7	强烈重要	前一个指标比后一个指标强烈重要
9	极端重要	前一个指标比后一个指标绝对重要
2, 4, 6, 8	中间值	上述相邻判断的中值
1, 1/2, ..., 1/9	倒数	相同程度下, 后者与前者比较的重要性

表 5 目标层判断矩阵及权重  
Tab.5 Judgment matrix and weight of target layer

$A$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	权重
$B_1$	1	1/3	1	0.200 0
$B_2$	3	1	3	0.600 0
$B_3$	1	1/3	1	0.200 0

表 8 用户偏好判断矩阵及权重  
Tab.8 Judgment matrix and weight of user preference

$B_3$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	权重
$C_{11}$	1	7	1	0.486 9
$C_{12}$	1/7	1	1/5	0.077 8
$C_{13}$	1	5	1	0.435 3

表 6 审美需求判断矩阵及权重

Tab.6 Judgment matrix and weight of aesthetic requirement

$B_1$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	权重
$C_1$	1	1	5	3	1/3	0.229 5
$C_2$	1	1	3	9	1	0.290 8
$C_3$	1/5	1/3	1	3	1/3	0.091 3
$C_4$	1/3	1/9	1/3	1	1/5	0.047 5
$C_5$	3	1	3	5	1	0.341 0

表 7 功能需求判断矩阵及权重

Tab.7 Judgment matrix and weight of functional requirement

$B_2$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	权重
$C_6$	1	1/3	1/5	1/3	1/7	0.054 3
$C_7$	3	1	1/3	1/5	1	0.113 1
$C_8$	5	3	1	1	3	0.324 7
$C_9$	3	5	1	1	3	0.346 3
$C_{10}$	7	1	1/3	1/3	1	0.161 5

由于判断矩阵受到试验对象认知差异的影响, 难免产生误差<sup>[18]</sup>。因此, 需根据以下公式检查判断矩阵的一致性。

$$M_{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

式中,  $\lambda_{\max}$  是最大特征值;  $n$  是判断矩阵阶数。计算随机一致性比率  $M_{CR}$ :

$$M_{CR} = \frac{M_{CI}}{M_{RI}} \tag{3}$$

式中,  $M_{CI}$  是判断矩阵一致性指标;  $M_{RI}$  是一致性指数。

平均随机一致性指数  $M_{RI}$  值见表 9。

当  $M_{CR} < 0.1$  时, 通过一致性检验, 说明权重布局合理。反之, 若一致性检验不通过, 则需要调整判断矩阵, 直至一致性检验通过。

根据式(1)—(3)计算一致性比率  $M_{CR}$ , 以上述 4

个判断矩阵为例进行一致性检验，结果见表 10。 $M_{CR}$  值均小于 0.1，则判断矩阵表 5~8 均通过一致性检验。依据上述流程对 10 位行业产品设计师构建的判断矩阵进行一致性检验，其结果均符合一致性要求。

表 9 平均随机一致性指数  
Tab.9 Average random consistency index

矩阵阶数	$M_{RI}$	矩阵阶数	$M_{RI}$
1	0	5	1.12
2	0	6	1.26
3	0.52	7	1.36
4	0.89	8	1.41

表 10 一致性检验  
Tab.10 Consistency test

参数	$A$	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$\lambda_{max}$	3.000 0	5.371 0	5.439 5	3.012 6
$M_{CI}$	0.000 0	0.092 7	0.109 9	0.006 3
$M_{RI}$	0.52	1.12	1.12	0.52
$M_{CR}$	0.000 0	0.082 8	0.098 1	0.012 1

结合上述产品设计师的打分数据，通过算术平均数的方式整合 10 位行业产品设计师的意见，见表 11，运用层次分析法对甘肃丝路文化铜器餐具设计指标进行分析，得到面向甘肃丝路文化铜器餐具设计指标主观权重向量集  $\omega_1$ ，见表 12。

表 11 设计师意见  
Tab.11 Designer comments

指标	设计师编号										主观权重
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$B_1$	0.200 0	0.142 9	0.435 3	0.200 0	0.770 9	0.279 0	0.111 1	0.626 7	0.071 9	0.156 2	0.299 4
$B_2$	0.600 0	0.428 6	0.486 9	0.600 0	0.172 2	0.649 1	0.111 1	0.093 6	0.279 0	0.185 2	0.360 6
$B_3$	0.200 0	0.428 6	0.077 8	0.200 0	0.057 0	0.071 9	0.777 8	0.279 7	0.649 1	0.658 6	0.340 0
$C_1$	0.013 5	0.009 2	0.016 4	0.045 9	0.392 9	0.067 2	0.019 4	0.047 8	0.008 6	0.031 2	0.065 2
$C_2$	0.084 1	0.034 1	0.208 4	0.058 2	0.232 0	0.057 4	0.046 6	0.217 7	0.025 8	0.018 9	0.098 3
$C_3$	0.065 2	0.015 8	0.113 7	0.018 3	0.073 4	0.035 7	0.028 4	0.072 7	0.010 3	0.017 1	0.045 1
$C_4$	0.030 1	0.016 8	0.027 1	0.009 5	0.037 6	0.012 9	0.004 0	0.070 8	0.013 6	0.010 2	0.023 3
$C_5$	0.007 1	0.067 0	0.069 6	0.068 2	0.034 9	0.105 8	0.012 7	0.217 7	0.013 6	0.078 8	0.067 5
$C_6$	0.244 0	0.040 0	0.158 1	0.032 6	0.079 3	0.091 3	0.031 0	0.017 7	0.124 2	0.040 7	0.085 8
$C_7$	0.096 7	0.113 5	0.090 5	0.067 8	0.036 2	0.075 3	0.014 8	0.007 7	0.028 5	0.029 9	0.056 1
$C_8$	0.128 1	0.139 0	0.021 7	0.194 8	0.006 1	0.161 3	0.053 4	0.032 1	0.041 3	0.016 7	0.079 5
$C_9$	0.102 8	0.069 0	0.042 4	0.207 8	0.013 6	0.037 2	0.007 5	0.029 7	0.063 0	0.025 5	0.059 9
$C_{10}$	0.027 9	0.067 1	0.174 1	0.096 9	0.036 9	0.284 1	0.004 4	0.006 4	0.021 9	0.072 4	0.079 2
$C_{11}$	0.081 1	0.183 7	0.006 0	0.097 4	0.013 8	0.024 0	0.055 9	0.055 9	0.282 5	0.083 3	0.088 3
$C_{12}$	0.096 1	0.183 7	0.012 1	0.015 6	0.038 1	0.024 0	0.504 9	0.055 9	0.316 1	0.506 8	0.175 3
$C_{13}$	0.022 8	0.061 2	0.059 7	0.087 1	0.005 0	0.024 0	0.218 7	0.167 8	0.050 5	0.068 5	0.076 5

表 12 设计指标主观权重  
Tab.12 Subjective weight of design index

指标	审美需求 $B_1$	功能需求 $B_2$	用户偏好 $B_3$	主观权重
餐具设计 $A$	0.299 4	0.360 6	0.340 0	
色彩 $C_1$	0.217 8			0.065 2
造型 $C_2$	0.328 3			0.098 3
材质 $C_3$	0.150 6			0.045 1
工艺 $C_4$	0.077 8			0.023 3
丝路符号装饰 $C_5$	0.225 5			0.067 5
使用功能 $C_6$		0.238 2		0.085 8
使用方式 $C_7$		0.155 6		0.056 1
互动性 $C_8$		0.220 5		0.079 5
趣味性 $C_9$		0.166 1		0.059 9
整体性 $C_{10}$		0.219 6		0.079 2
环保 $C_{11}$			0.260 0	0.088 3
产品质量 $C_{12}$			0.515 0	0.175 3
创新性 $C_{13}$			0.225 0	0.076 5

### 2.3 基于熵权法的客观权重求解

“熵”这一概念最早应用于热力学领域，其代表物质体系微观状态的离散程度。熵权法通常作为求解客观权重的一种方法，即根据方案中的多指标数值间的差异程度来确定客观权重。

运用熵权法计算客观权重，具体步骤如下。

邀请  $m$  个专家对  $n$  个设计指标评价打分，评价分值为 1~10，分值越大，说明该指标越重要。

构建评价矩阵  $B$ ：

$$B = (b_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

对矩阵进行标准化处理：

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (5)$$

各设计指标的信息熵值:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m x'_{ij} \ln x'_{ij} \quad (6)$$

各设计指标的信息效用值:

$$d_j = 1 - e_j \quad (7)$$

得到各设计指标的客观权重:

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (8)$$

邀请 7 位产品设计行业专家对准则层及子准则层指标进行评分, 评分结果见表 13。根据评分结果构建评价矩阵, 结合式(5)~(8)计算得到各设计指标的客观权重向量集  $\omega_2$ , 见表 14。

表 13 专家评分结果  
Tab.13 Expert scoring results

专家	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>
1	9	8	8	7	8	9	9	8	9	9	7	9	9
2	8	9	6	8	9	9	8	4	2	6	8	9	8
3	7	7	5	7	9	4	7	6	7	7	7	6	7
4	8	9	8	6	9	8	8	8	7	9	5	8	6
5	7	8	6	5	9	9	8	8	8	7	5	7	9
6	9	9	7	8	8	9	8	7	8	9	6	8	9
7	9	7	7	8	8	7	6	8	6	4	7	9	8

表 14 设计指标客观权重  
Tab.14 Objective weight of design index

指标	审美需求 B <sub>1</sub>	功能需求 B <sub>2</sub>	用户偏好 B <sub>3</sub>	客观权重
餐具设计 A	0.510 7	0.420 9	0.068 4	
色彩 C <sub>1</sub>	0.312 5			0.098 7
造型 C <sub>2</sub>	0.235 9			0.094 4
材质 C <sub>3</sub>	0.044 2			0.049 2
工艺 C <sub>4</sub>	0.101 0			0.049 8
丝路符号装饰 C <sub>5</sub>	0.306 5			0.107 9
使用功能 C <sub>6</sub>		0.272 6		0.088 8
使用方式 C <sub>7</sub>		0.231 1		0.086 2
互动性 C <sub>8</sub>		0.142 8		0.064 3
趣味性 C <sub>9</sub>		0.142 7		0.067 0
整体性 C <sub>10</sub>		0.210 9		0.079 1
环保 C <sub>11</sub>			0.003 8	0.028 8
产品质量 C <sub>12</sub>			0.587 0	0.089 9
创新性 C <sub>13</sub>			0.409 3	0.095 9

2.4 基于博弈论组合赋权法的综合权重求解

运用博弈论组合赋权法确定综合权重的步骤如下:

建立基本权重向量集  $W_q = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$  ( $q = 1, 2, \dots, p$ ), 其中,  $\omega$  为第  $P$  种赋权法确定的权重集合,  $n$  为设计指标的数量,  $p$  为求取权重方法的数量。由于本研究主要结合层次分析法与熵权法求解设计指标综

合权重, 因此  $p = 2$ 。设  $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2\}$  为线性组合系数, 则 2 个权重向量的线性组合为:

$$W = \alpha_1 \omega_1^T + \alpha_2 \omega_2^T \quad (9)$$

式中,  $\omega_1$  为设计指标主观权重向量集;  $\omega_2$  为设计指标客观权重向量集。

基于博弈集结模型的思想, 以离差极小化为目标优化两个线性组合系数, 以获得  $W$  中最满意的权重, 建立目标函数为:

$$\min \left\| \sum_{p=1}^n \alpha_p \omega_p^T - \omega_p \right\|_2 \quad (10)$$

根据矩阵微分性质将式(10)等价变换为最优化一阶导数条件的线性方程组:

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \omega_1^T & \omega_1 \omega_2^T \\ \omega_2 \omega_1^T & \omega_2 \omega_2^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_1 \omega_1^T \\ \omega_2 \omega_2^T \end{bmatrix} \quad (11)$$

根据式(10)计算得到优化组合系数  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ , 并进行归一化处理:

$$\begin{cases} \alpha_1^* = \alpha_1 / (\alpha_1 + \alpha_2) \\ \alpha_2^* = \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2) \end{cases} \quad (12)$$

最后得到设计指标的综合权重:

$$W = \alpha_1^* \omega_1^T + \alpha_2^* \omega_2^T \quad (13)$$

结合上述数据与式(9)~(13), 得到基于博弈组合赋权的产品设计指标综合权重, 进一步计算准则层指标综合权重, 以此构建评价设计方案的参考标准, 见表 15 所示。

表 15 设计指标综合权重  
Tab.15 Comprehensive weight of design index

指标	审美需求 $B_1$	功能需求 $B_2$	用户偏好 $B_3$	综合权重	排序
餐具设计 $A$	0.326 8	0.368 4	0.304 8	/	/
色彩 $C_1$	0.296 3			0.087 8	5
造型 $C_2$	0.251 7			0.095 7	2
材质 $C_3$	0.062 4			0.047 9	12
工艺 $C_4$	0.097 0			0.041 2	13
丝路符号装饰 $C_5$	0.292 6			0.094 8	3
使用功能 $C_6$		0.264 8		0.087 8	5
使用方式 $C_7$		0.214 0		0.076 4	8
互动性 $C_8$		0.160 4		0.069 3	9
趣味性 $C_9$		0.148 0		0.064 7	10
整体性 $C_{10}$		0.212 9		0.079 1	7
环保 $C_{11}$			0.034 6	0.048 2	11
产品质量 $C_{12}$			0.578 3	0.117 7	1
创新性 $C_{13}$			0.387 1	0.089 6	4

### 3 实例研究

#### 3.1 方案设计

结合上述数据分析结果,提取设计元素进行设计实践。在甘肃丝路文化铜器餐具设计中依次考虑产品质量、造型、丝路符号装饰、创新性、使用功能、色彩、整体性、使用方式等设计指标进行方案设计。

1) 在产品质量方面,满足现代产品执行标准和用户潜在需求,采用铜、陶、木材等材质保证餐具的使用安全性。

2) 在造型设计方面,依托甘肃丝路文化符号库的青铜文化,针对甘肃礼县出土的青铜器皿<sup>[19]</sup>运用 Adobe Illustrator 软件提取器物轮廓线,见表 16。餐具造型来源于天水家马鼎,方碟造型来源于蟠虺瓦楞纹盃,茶杯造型来源于乳钉纹青铜簋,酒杯造型来源于豆,筷子支架造型来源于垂鳞纹青铜鼎,将提取的器物轮廓线变形处理并结合设计师审美认知进行创新性表达。

3) 在丝路符号装饰方面,通过需求分析和专家访谈,从灵台遗址出土文物团花纹铜鼎和西周青铜大圆鼎中提取装饰符号团花纹与兽面纹,结合当代审美理念和设计美学思想进行变形处理,赋予餐具团圆、健康、平安等寓意,设计过程见图 3。

4) 在创新性方面,以用户需求为中心,突出丝路文化内涵。

5) 在使用功能方面,餐具包括餐盘、汤盆、方碟、茶杯、酒杯、筷子、筷子支架及勺子,满足用户的功能需求。

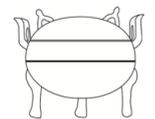
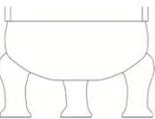
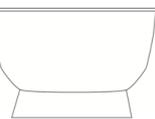
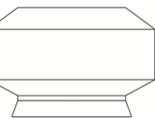
6) 在色彩方面,提取马家窑彩陶色彩<sup>[20-21]</sup>。

7) 在整体性方面,采用合理的尺寸比例、统一的色彩风格,系统地考虑用户需求以呈现整体的造型风格。

8) 在使用方式方面,餐具设计结构便捷,使用操作简单。

9) 在互动性方面,将丝路纹样应用于餐具表面以提高防滑、隔热性能。

表 16 青铜文化符号提取  
Tab.16 Extraction of bronze cultural symbols

器物名称	天水家马鼎	垂鳞纹青铜鼎	乳钉纹青铜簋	蟠虺瓦楞纹盃	豆
图片					
轮廓线					

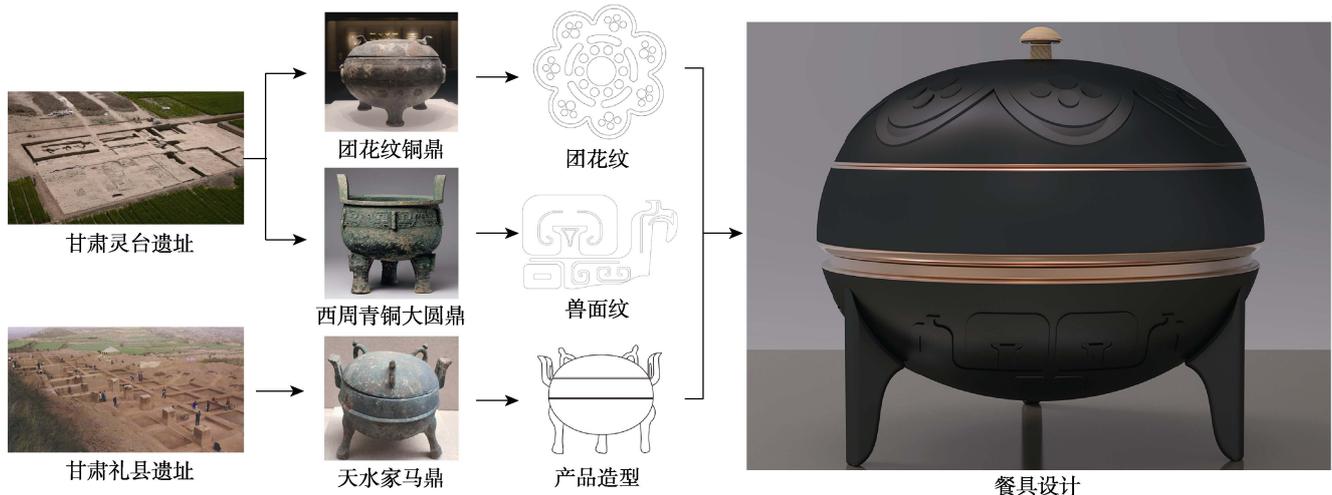


图 3 装饰符号提取过程

Fig.3 Extraction process of decorative symbols

10) 在趣味性方面, 造型、色彩的独特性, 以及纹样的地域性带给用户别具一格的审美体验。

11) 在环保方面, 采用铜、陶、木材等对人体健康无害的材质, 力求生产制造过程绿色无污染。

12) 在材质方面, 使用铜、陶、木材等材质增强餐具表现力。

13) 在工艺方面, 采用现代制陶工艺与非遗制铜工艺, 促进传统手工艺发展, 设计方案见图 4。

3) 构建子准则层对设计方案的模糊综合评价矩阵。邀请 10 位行业专家对评价方案进行打分, 并根据相关评语的频数, 计算该评价指标相关评语的隶属度,  $N_1$  为准则层审美需求相对应的子准则层设计指标对方案的模糊综合评价矩阵;  $N_2$  为准则层功能需求相对应的子准则层设计指标对方案的模糊综合评价矩阵;  $N_3$  为准则层用户偏好相对应的子准则层设计指标对方案的模糊综合评价矩阵。



图 4 餐具设计

Fig.4 Tableware design

### 3.2 设计评价

为了提高设计方案评价的客观性, 本研究基于博弈论思想结合层次分析法与熵权法构建甘肃丝路文化铜器餐具设计评价体系。评价过程如下。

1) 确定甘肃丝路文化铜器餐具设计方案的评语集  $V = \{ \text{非常满意, 满意, 一般, 不满意, 很不满意} \}$ , 并为其赋值  $V = \{ 100, 80, 60, 40, 20 \}$ 。

2) 确定不同层级指标的综合权重向量<sup>[22]</sup>。根据表 15 可知, 准则层综合权重向量为  $W_A = (0.326\ 8, 0.368\ 4, 0.304\ 8)$ ,  $W_{B1} = (0.296\ 3, 0.251\ 4, 0.062\ 4, 0.097\ 0, 0.292\ 6)$ ,  $W_{B2} = (0.264\ 8, 0.214\ 0, 0.160\ 4, 0.148\ 0, 0.212\ 9)$ ,  $W_{B3} = (0.034\ 6, 0.578\ 3, 0.387\ 1)$ 。

$$N_1 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.7 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$N_2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$N_3 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

4) 根据子准则层评价结果计算准则层对设计方案的权重向量:

$$n_1 = W_{B1} N_1 = (0.182\ 0.584\ 0.204\ 0.030\ 0) \quad (17)$$

$$n_2 = W_{B2} N_2 = (0.286\ 0.365\ 0.317\ 0.032\ 0) \quad (18)$$

$$n_3 = W_{B3} N_3 = (0.412\ 0.574\ 0.014\ 0\ 0) \quad (19)$$

然后, 构建准则层评价矩阵:

$$n = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.182 & 0.584 & 0.204 & 0.030 & 0 \\ 0.286 & 0.365 & 0.317 & 0.032 & 0 \\ 0.412 & 0.574 & 0.014 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

5) 设计方案综合评价。

综合评价权重向量为:

$$H = W_A n = (0.2904 \quad 0.5003 \quad 0.1877 \quad 0.0216 \quad 0) \quad (21)$$

基于此, 计算设计方案总得分:

$$P = HV = 81.19 \quad (22)$$

综上所述, 根据满意评价结果可知, 甘肃丝路文化铜器餐具设计方案的满意度得分为 81.19, 表明该方案在审美需求、功能需求、用户偏好等方面综合表现较好。

## 4 结语

此研究以用户需求为中心, 基于博弈论组合赋权法构建文创产品设计指标评价体系, 利用量化方法弥补设计师感性设计的缺陷, 使文创设计更具科学性。以甘肃丝路文化餐具设计为例进行方案设计, 将丝路文化符号以艺术的形式融合于铜器餐具设计中。首先, 建立甘肃丝路文化餐具设计指标体系; 其次, 运用博弈论思想结合层次分析法、熵权法求解设计指标综合权重并进行排序; 再次, 结合设计师的审美认知, 对设计方案进行创意表达; 最后, 运用模糊综合评价法对设计方案进行评估。在铜器餐具设计开发中融入甘肃丝路文化符号, 使铜器餐具设计更具甘肃丝路文化特色, 提高市场竞争力, 同时对促进甘肃丝路文化的传播和铜器产品的创新设计具有重要意义。

同时, 由于受到研究视角与环境条件的限制, 本研究尚存在一些不足之处。在构建甘肃丝路文化符号库方面, 丝路文化体系庞杂, 部分丝路文化尚需进一步挖掘与探究。由于被测试对象的认知差异, 打分结果受其情感因素的影响, 会在一定程度上影响了层次分析法的判断结果。上述问题将在下一步研究中继续探索与完善。

## 参考文献:

- [1] YANG J F, ČERNEVIČIŪTĒ J. Cultural and Creative Industries (CCI) and Sustainable Development: China's Cultural Industries Clusters[J]. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2017, 5(2): 231-242.
- [2] 郎剑锋. 青铜“灶鼎”研究[J]. *考古*, 2018(10): 85-100. LANG Jian-feng. Research on Bronze Zaoding-Vessel[J]. *Archaeology*, 2018(10): 85-100.
- [3] 王璐, 梅建军, 陈坤龙, 等. 甘肃岷县占旗遗址出土寺洼文化铜器的初步科学分析[J]. *西域研究*, 2016(4): 90-100. WANG Lu, MEI Jian-jun, CHEN Kun-long, et al. A Preliminary Scientific Analysis of Copper and Bronze Artifacts from the Zhanqi Site, Minxian County, Gansu[J]. *The Western Regions Studies*, 2016(4): 90-100.
- [4] 员雅丽. 甘肃考古新发现所见中西方文化交流——以三角形锯齿纹为例[J]. *首都师范大学学报(社会科学版)*, 2017(2): 23-30.
- [5] YUAN Ya-li. Cultural Exchanges between China and the West as Seen from New Archaeological Discoveries in Gansu: Take the Triangular Zigzag Pattern as an Example[J]. *Journal of Capital Normal University (Social Sciences Edition)*, 2017(2): 23-30.
- [6] 杨静. 基于 KANO-AHP 模型的陕西汉唐旅游纪念品需求指标评价[J]. *包装工程*, 2017, 38(4): 239-247. YANG Jing. Evaluation on Demand Indexes of Tourist Souvenirs at Shaanxi Han Tang Scenic Spot Based on KANO-AHP Model[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(4): 239-247.
- [7] HU Y, YU S, QIN S, et al. How to Extract Traditional Cultural Design Elements from a set of Images of Cultural Relics Based on F-AHP and Entropy[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2021, 80(4): 1-24.
- [8] 杨俞玲, 张丙辰, 李寻, 等. 基于 AHP-熵权法的 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价研究[J]. *包装工程*, 2022, 35(3):4. YANG Yu-ling, ZHANG Bing-chen, LI Xun, et al. Evaluation of Navigation Interface Design of ASD Children Intervention App Based on AHP-Entropy Weight Method[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 35(3):4.
- [9] 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.
- [10] SAATY T L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures[J]. *Journal of Mathematical Psychology*, 1977, 15(3): 234-281.
- [11] 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]. *Journal of Machine Design*, 2019, 36(4): 129-133.
- [12] 宗威, 李涵, 郑湘晶, 等. 基于博弈论的公交车外观装饰研究[J]. *包装工程*, 2021, 42(14): 357-361. ZONG Wei, LI Han, ZHENG Xiang-jing, et al. Bus Appearance Decoration Based on Game Theory[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(14): 357-361.
- [13] 崔威, 李晓英, 郭宜薇. 基于博弈论组合赋权的水电站事故风险评价[J/OL]. *南水北调与水利科技(中英文)*: 1-10[2021-11-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20210918.1105.002.html>.
- [14] CUI Wei, LI Xiao-ying, GUO Yi-wei. Risk Evaluation

- of Hydropower Station Accidents Based on Combination Weighting of Game Theory[J/OL]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology: 1-10 [2021-11-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20210918.1105.002.html>.
- [13] 宋瑞敏, 董璐, 周楚. 基于博弈论组合赋权法-后悔理论的知识产权质押融资估值风险评估[J]. 模糊系统与数学, 2021, 35(4): 162-174.  
SONG Rui-min, DONG Lu, ZHOU Chu. Evaluation Risk Evaluation of Intellectual Property Pledge Financing Based on Game Theory Combination Weighting Method-Regret Theory[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2021, 35(4): 162-174.
- [14] 李永锋, 朱丽萍. 基于模糊层次分析法的产品可用性评价方法[J]. 机械工程学报, 2012, 48(14): 183-191.  
LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Product Usability Evaluation Method Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(14): 183-191.
- [15] HYUN K C, MIN S, CHOI H, et al. Risk Analysis Using Fault-Tree Analysis (FTA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) Applicable to Shield TBM Tunnels[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2015, 49: 121-129.
- [16] LI L Y, LIU Z, DU X L. Improvement of Analytic Hierarchy Process Based on Grey Correlation Model and Its Engineering Application[J]. ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering, 2021, 7(2).
- [17] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100.  
DENG Xue, LI Jia-ming, ZENG Hao-jian, et al. Research on Computation Methods of AHP Wight Vector and Its Applications[J]. Journal of Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7): 93-100.
- [18] 王智远, 李国栋, 王勇华. 基于 AHP-TOPSIS 的桥梁设计方案优选决策模型[J]. 吉林大学学报(工学版), 2017, 47(2): 478-482.  
WANG Zhi-yuan, LI Guo-dong, WANG Yong-hua. Optimization Desion Model for Bridge Desion on AHP-TOPSIS[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2017, 47(2): 478-482.
- [19] 赵化成, 王辉. 甘肃礼县大堡子山早期秦文化遗址[J]. 考古, 2007(7): 38-46.  
ZHAO Hua-cheng, WANG Hui. Early Qin Cultural Site in Dapuzi Mountain, Li County, Gansu[J]. Archaeology, 2007(7): 38-46.
- [20] 段小强. 甘肃彩陶与史前彩陶之路[J]. 西北民族大学学报(哲学社会科学版), 2019(6): 6-13.  
DUAN Xiao-qiang. Study on Painted Pottery of Gansu and the Development of Prehistoric Painted Pottery[J]. Journal of Northwest Minzu University(Philosophy and Social Sciences), 2019(6): 6-13.
- [21] 张强禄. 马家窑文化与仰韶文化的关系[J]. 考古, 2002(1): 47-60.  
ZHANG Qiang-lu. Relationship between the Majiayao and Yangshao Cultures[J]. Archaeology, 2002(1): 47-60.
- [22] 贾驰千, 冯冬芹. 基于模糊层次分析法的工控系统安全评估[J]. 浙江大学学报(工学版), 2016, 50(4): 759-765.  
JIA Chi-qian, FENG Dong-qin. Security Assessment for Industrial Control Systems Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2016, 50(4): 759-765.

责任编辑: 陈作