

复杂组合形态整体认知一致性研究

孙利, 刘扬, 吴俭涛
(燕山大学, 秦皇岛 066004)

摘要: **目的** 研究汽车车身与车轮搭配的形式审美一致性问题。**方法** 提出了一种“审美匹配临界值法”。以 SUV 车型为例, 在处理车型 A 与轮型 B 认知一致性问题时, 通过 k-means 聚类算法对样本 A 进行聚类分析, 找出典型样本所在的簇群。对该簇群的 B 部件进行形态学分析, 找出有影响力的 B 部件造型设计因素的典型特征。采用对应分析, 通过感知实验, 对设计特征进行分析, 找出 AB 匹配范围。**结果** 通过实验, 得到了 6 个有影响力的轮毂设计特征范围。并通过感知实验得到了反映 SUV 车型与轮毂匹配的感知评分范围。在这个范围内, 车型 A 与轮毂 B 在视觉审美上的匹配更加和谐。**结论** 提出的研究形态最佳审美匹配临界值方法, 可以用来研究复杂组合产品之间的匹配关系或者匹配质量, 帮助设计师、企业或个人寻找合适的解决方案。

关键词: 产品设计; 形态匹配; 整体认知; 参与性实验

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)22-0119-9

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.22.020

Overall Cognitive Consistency of Complex Combination Form

SUN Li, LIU Yang, WU Jian-tao
(Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

ABSTRACT: The work aims to study the formal aesthetic consistency of car body and wheel matching. An "aesthetic matching threshold method" was proposed. Taking the SUV model as an example, the clustering analysis of sample A was carried out by k-means clustering algorithm to find out the cluster of typical samples in dealing with the cognitive consistency problem of model A and wheel type B. The morphological analysis of part B of the cluster was carried out to find out the typical characteristics of the influential design factors of part B. Based on the corresponding analysis, through the perceptual experiment, the design features were analyzed to find out the AB matching range. Through the experiment, six influential wheel hub design feature ranges were obtained, and the perceptual score range that reflected the SUV model and the hub matching was obtained by the perceptual experiment. In this range, model A and hub B were more harmonious regarding the visual aesthetics of matching. The proposed best aesthetic matching threshold method can be used to study the matching relationship between complicatedly combined products and their matching quality to help designers, businesses or individuals find suitable solutions.

KEY WORDS: product design; morphological matching; overall cognition; participatory experiments

近年来, 汽车零部件定制成为一种时尚, 轮毂作为车身侧面面积最大的零配件, 对整车审美产生了强烈的冲击, 轮车匹配的审美问题成为了关注的重点^[1]。目前, 汽车和轮毂之间缺乏科学与细致的匹配方式和方法, 导致定制结果与原设想南辕北辙。

伴随多学科交叉融合发展的趋势要求, 各学科方法的综合应用成为提升和完善各自学科体系内涵、推动自身学科发展的重要手段和途径^[2]。通过调研, 影响感知的因素有很多: 陈慧从色彩的角度考虑了服装的感知搭配问题^[3]; 吴瑕让消费者通过视觉感知对保

收稿日期: 2018-07-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51675464); 燕山大学博士基金项目(B1008); 燕山大学博士基金项目(BS17001)

作者简介: 孙利(1973—), 男, 黑龙江人, 博士, 燕山大学教授, 主要研究方向为工程装备智能设计与汽车轮毂个性化定制。

温杯的材质搭配进行感性意象评分实验,探讨各样本的材质搭配与感性意象之间的对应关系,为设计师提供产品材质搭配设计的参考依据^[4];周洪涛从风格的角度考虑了中式家具设计中的感知搭配问题^[5]。在匹配方面的研究:Chien-Cheng Chang 采用分层分组任务和语义差异实验,对数码相机造型设计元素形式和视觉匹配之间的关系进行研究。Shi-Jian Luo 等通过对 60 个饮料瓶造型进行分类任务和 SD 评价,获得受试者对有刺激的感知和匹配的相关分析,创建了每个类别的饮料瓶的设计规则列表。在轮毂造型方面:孙利在研究铝合金轮毂中提出“V 形记忆曲线”的美学结构和造型基因特征,运用感性工学方法,得到了轮毂风格意象与造型要素之间的关系。吴俭涛等通过田口方法获取轮毂造型最佳优化设计因子组合方式^[6]。曹宝对轮毂进行了风格分类,并通过视觉词汇本进行造型设计研究^[7]。

轮毂形态在汽车设计中较为重要,但是目前从形态的角度考虑轮车审美匹配的研究还很少,并且大多数形式匹配认知研究仍处在单一的产品与用户之间的感性意向方面,对于复杂组合形态各部件之间的研究很少,从轮车匹配方面看几乎为零,因此,为了给轮毂定制提供一个合理的建议,这里提出了一种基于用户感知的轮车匹配设计方法。通过运用此方法,对轮车形式匹配的整体认知一致性进行了研究。

1 轮车审美匹配临界值法

《2016 中国汽车产业发展报告》中指出,目前中国汽车消费市场发展趋势为多用户、多用途的 SUV 车型,随着个性化消费时代的到来,消费者对 SUV 车型的定制诉求火热^[8],因此,这里以 SUV 车型为研究对象,通过 3 个步骤,对 SUV 汽车的轮车匹配进行研究。

1.1 建立 SUV 车型数据集

SUV 是运动型多用途汽车,在造型上线条利落,略显方正,介于轿车与越野之间。当前市场为了让汽车更具有卖点,推出跨界车型,使车型分类界限模糊,车型判断出现误差。这里通过 k-means 聚类算法对 212 张车型样本进行聚类分析,从而得到 SUV 车型的簇群,避免人工分类的主观性和误差,以及人工分类的繁琐^[9]。

k-means 聚类算法能够快速对样本进行聚类,验证聚类结果的准确性后,通过最近邻域分类法对典型 SUV 样本进行分类,最终得到经典 SUV 样本分在 SUV 簇群中。

1.2 SUV 车型样本已配轮毂共性特征提取

通过产品形态分析法,对步骤 1 中找到的 SUV 簇群中样本已配轮毂按造型因素从组件特征、空间布局 and 几何特征 3 个方面进行分析^[10],从而识别典型设

计因素的共性特征,这些共性设计特征就是当前市场上 SUV 车型所匹配轮毂的典型形式特征。

产品形态分析法在处理问题时,将研究对象分成一些基本组成部分,然后对某一个基本组成部分单独进行处理^[11]。分别提供各种解决问题的方案,最后形成解决整个问题的总方案。

1.3 SUV 车型适配轮毂典型形式特征范围分析

为了确定 SUV 车型所匹配轮形的审美范围,步骤三将步骤二中已找到的典型 SUV 轮毂形式特征进行对应分析^[12],在其他轮毂典型形式特征不变的情况下,对每一影响轮毂造型的因素进行变化分析,并建立一个 7 级 Likert 量表,通过感知实验,邀请受试者对轮车感知匹配的审美程度进行打分排名,最终获得审美匹配临界值。

审美匹配的判断来源于受试者的感知,即感性知觉。通过用户评分,可以识别正负形式特征,找到 SUV 轮车匹配的审美临界值。

2 实验过程和结果

2.1 图形筛选

在实验开始前,先建立具有典型特征的 SUV 车型样本和轮型样本,分别是:近 3 年销量最高的 SUV 车型 A_1 (哈弗 H6,来源 2016 年搜狐汽车官方发布的数据)和造型评价度最高的 SUV 样本 A_2 (路虎发现神行,来源 2016 年搜狐汽车官方发布的口碑排行榜),以及针对 SUV 车型销量最高的轮型样本 B_1 (AEZ 暗黑游艇轮毂,来源为胎铃汇官方网站提供的 SUV 轮毂改装销量第一名),典型示例配置文件见表 1。然后从各品牌汽车官网中随机提取 200 张不同类型汽车侧面图片作为样本,组成随机车型样本库 A ($A_3, A_4, \dots, A_{202}$)。

车型样本 A_1 、 A_2 确定后,分别找到市场上与之匹配度最高的 3 款轮型,组成样本 A_1B_1 、 A_1B_2 、 A_1B_3 和 A_2B_1 、 A_2B_2 、 A_2B_3 作为典型轮型样本。同样也找到市场上与轮型 B 相匹配的前 3 款车型,组成样本 BA_1 (奥迪 Q7)、 BA_2 (保时捷)、 BA_3 (途锐)。

为了能更加清晰地从形态方面进行研究,这里把获取的 212 张样本通过 photoshop 软件进行一致化处理^[13],删除了与样本研究无关的因素,比如颜色、材质等,只保留了造型因素,从而使计算机和受试者能更直观地进行研究,得到准确的实验结果。

2.2 建立 SUV 车型数据集

试验总共进行了 3 次,分别取底盘高度、车身高度和车型轮廓线作为区分汽车类型的主要特征。结果表明通过车身外轮廓聚类精度达到了 85%。效果相对其他较好,因此,这里将从车身轮廓对车型分类进行研究,并作以下详细介绍。

表 1 典型示例配置文件
Tab.1 A typical example configuration file

样本	描述	具有代表性的汽车	设计样本
A ₁	近三年销量最高的 SUV 车型		
A ₂	造型评价度最高的 SUV 车型		
B ₁	SUV 车型销量最高的轮型		

将 209 张车型样本（其中有 50 张为标记样本，目的是为了检验特征选取的有效性）通过 MATLAB 进行二值化处理，提取车型外轮廓线，计算样本之间的皮尔逊相关系数，得到相似度矩阵，利用 K-means 聚类算法对车型进行聚类。最后，按照最近邻域分类法对典型样本进行分类。通过多次试验，最终把样本分为 4 个簇群，车型分类结果见图 1。

分类结果表明 A₁、A₂、B 在同一簇群内，说明代表 SUV 的车型簇群已经确定，在 MATLAB 中标记为 3。经过整理，SUV 车型汇总见图 2，从汇总结果可以看出：簇群 3 中的车型具有相似性但轮型各不相同。

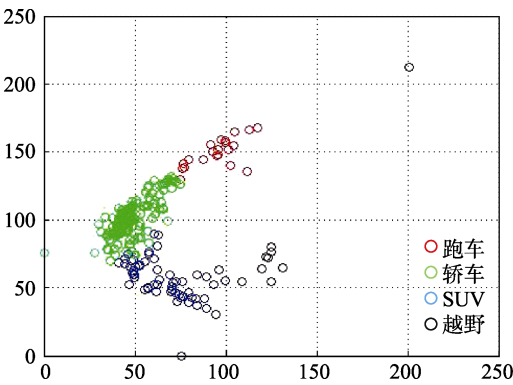


图 1 车型分类结果
Fig.1 Model classification results

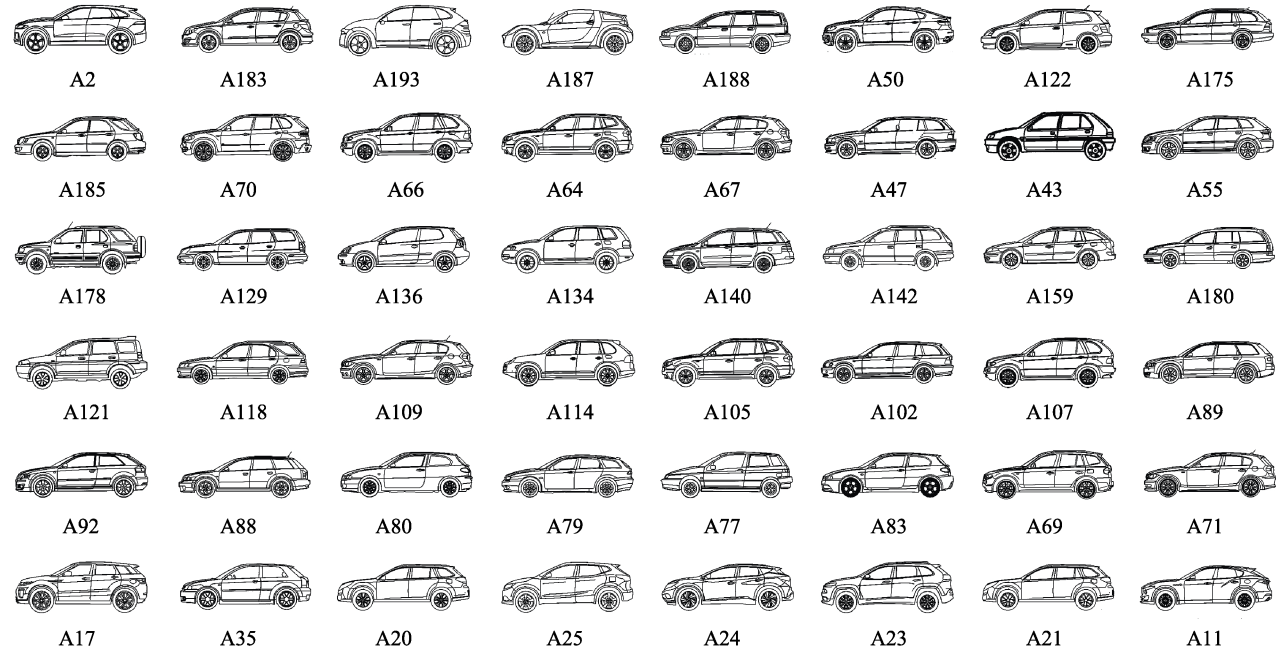


图 2 SUV 车型汇总
Fig.2 SUV model summary

2.3 SUV 车型样本已配轮毂共性特征提取

本次实验先将样本簇群的轮型进行汇总，SUV 轮型汇总见图 3。然后运用产品形态分析法对轮型进行分析，轮型分析见图 4。在进行分析时，5 位来自

当地的轮毂高级设计师被邀请为专家，通过专家小组细致地分析，每一个样本轮型的典型形式特征都被识别了，为了后续更加直观便捷，总结为 SUV 簇群轮毂典型特征识别见表 2。

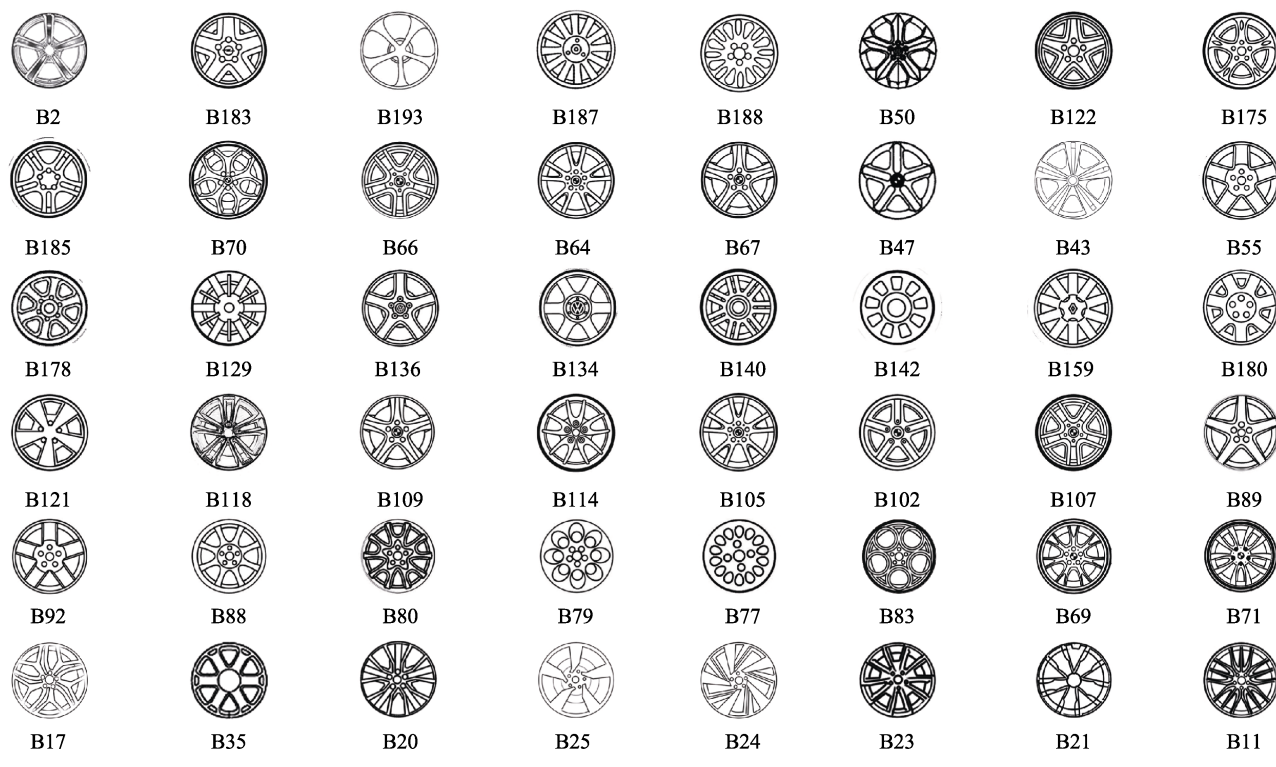


图 3 SUV 轮型汇总
Fig.3 SUV wheel type summary



图 4 轮型分析
Fig.4 Wheel analysis

2.3.1 轮毂形态分析

重要组件特征是轮辐数目；空间布局构成方式包括常规类、旋转类、枝杈类、叠拼类、孔洞类；中心偏距包括正偏距、零偏距、负偏距；轮辐轮缘连接方式有搭接和内接；几何特征辐条样式有三角形、方形、

圆形；辐条连接方式有尖角式、弧角式和直线式。

通过对簇群 3 中的样本轮型进行形态学分析，总结了当前市场上基于 SUV 车型的典型轮型设计形态特征和大致匹配临界值范围。研究初步认为：基于 SUV 车型的轮毂形态设计需要满足轮辐数量在 5 辐至 8 辐、构成方式为常规类/枝杈类、中心轂面为平面/内凹、轮辐轮缘连接方式为搭接/内嵌、辐条样式为方形/三角形、辐条连接方式为尖角式/弧角式的共性特征。相反，轮辐数量在 5 辐以下 9 辐以上，构成方式为旋转类或孔洞类这样相反特征的，我们认为这与 SUV 车型可能不搭。为了验证 2.3 实验结果的准确性及找到最终审美临界值的准确范围，还需对此进行进一步分析。

2.4 SUV 车型适配轮毂典型形式特征范围分析

根据 2.3 的共性特征提取任务，基于 SUV 车型的典型轮型设计特征可以被识别，此节目的就是根据已找到的典型设计特征，通过对应分析及感知实验来获取形态匹配临界值^[14]。

本次试验提供了近三年国内最受欢迎的 SUV 车型样本 A2；典型轮型设计样本（在其他典型设计变

表 2 SUV 族群轮毂典型特征识别
Tab.2 Typical feature recognition of SUV cluster hub

造型要素	48 个轮毂形态特征识别			
典型轮辐数目（LFS）	LFS(5)=34 LFS(9)=1	LFS(6)= 4 LFS(10)=1	LFS(7)=3 LFS(12)=1	LFS(8)=3 LFS(14)=1
典型构成方式（GCF）	GCFS（常规）=14（单辐 7，双辐 7） GCFS（孔洞）= 7（单辐 5，网状 2）		GCFS（枝杈）=9（三辐 1，双辐 7） GCFS（叠拼）=7（单辐 5） GCFS（旋转）= 2	
典型中心辍面（ZXW）	ZXWM（正偏距）=1 ZXWM（零偏距）=21 ZXWM（负偏距）=21			
辐条连接方式（FTL）	FTL（弧角）=21	FTL（尖角）=16	FTL（直线）=4	FTL（圆盘）=4
典型辐条样式（FTY）	FTY（方形）=24 FTY（三角）=18（正三角 2，倒三角 16） FTY（三叉）= 1 FTY（不规则无边）=2 FTY(圆形)=3			
辐缘连接方式（FYL）	FYL（搭接）=35	FYL（内接）=13		

量都不变的情况下，对需要研究的设计变量进行改变)；受试者，20 位拥有 SUV 汽车的用户（男性 14 位，女性 6 位，平均年龄 35 岁），他们根据以下特点选择：（1）至少有 3 年的驾龄；（2）白领阶层，这些特点最能代表典型的中国年轻司机。

2.4.1 SUV 车型轮辐数目审美临界值确定

在其他轮毂典型设计特征不变的情况下，把轮辐数目从 1-15 进行变化，组成样本 W1-W15，轮型特征对应分析见图 5。将 15 个样本与车型 A2 一一对应进行组合，建立一个 7 级 Likert 量表(-3.-2.-1.0.1.2.3)，邀请受试者来参加，通过用户对轮车感知匹配的审美程度进行打分排名^[15]。

通过受试者的感知实验，得到了对具有不同轮辐数目的轮毂匹配质量的评分，将 20 位受试者的评分进行平均后，按照满意程度从高到低对轮毂匹配质量进行排名，不同轮辐数目的匹配质量排名见表 3，正数的排名组合表明轮车匹配形象更和谐。基于这个序列，可以识别针对 SUV 车型匹配最好和最差的轮毂轮辐数目。

实验结果表明：轮辐数目为 8 时最受用户喜爱，轮辐数目为 1 时匹配质量最差。满足用户心理契合度的轮辐数目匹配临界值应为 5-11 辐，其中 8 辐为审美中心点，然后依次往两边递减。记最佳的轮毂数为 W，则满足用户心理契合度的轮辐数目审美匹配临界值应为： $\max(W)=11$ 和 $\min(W)=5$ 。

通过结果可以发现：表 3 得到的匹配序列（8 辐审美评价最高，5 辐轮毂排名第 2）与下面得出的典型轮辐数目 5 辐有出入，经专家小组的细致分析，在共性特征提取中的 34 个 5 辐轮毂中，有 18 个双 5 辐轮毂，双 5 辐轮毂在视觉上为多辐轮毂，这和本小节中的研究结果相符合，这表明中国新一代年轻人的审美发生了一些变化，相较于典型的 5 辐轮毂而言，更多一些的轮辐数目成为了 SUV 轮毂发展的新趋势。

2.4.2 构成方式审美临界值研究

同上面的研究方法一样，对构成方式的审美临界值研究，组成了 10 个不同构成方式的轮型样本。

实验结果表明：在 20 位受试者的认知中，单辐的构成方式与 SUV 车型匹配整体认知一致性更高，叠拼类的用户感知匹配质量相对较差，不同构成方式的匹配质量排名见表 4。

通过对表 4 中匹配平均值进行分析，我们发现对于构成方式的变化，受试者的匹配评分比较集中。这说明对于轮毂造型设计而言，构成方式这一特征影响比重不大，单辐（孔洞、常规）、双辐（常规、枝杈、旋转、孔洞：再辐条上做一些镂空设计）这样的构成方式与 SUV 车型相协调，这与任务二中识别的典型特征结果相吻合，因此，通过感知实验，我们发现对于 SUV 车型来说，只要不出现单辐（旋转）和叠拼类的构成方式，就可以满足形态匹配的审美质量。

2.4.3 适合 SUV 车型的中心辍面选择

对于中心辍面的研究，同样基于感知匹配的参与性实验来完成，不同中心辍面的匹配质量排名见表 5，在对于中心辍面的匹配质量评分中，被邀的受试者有 80 % 的人认为零偏距的中心辍面造型更加好看，匹配评分为 1.8。70 % 左右的人认为负偏距的中心辍面更加适合 SUV，匹配评分为 1.35。只有 15 % 的人认为正偏距的中心辍面造型与 SUV 车型整体匹配和谐。评分为-0.6，因此，这里认为适合 SUV 车型的中心辍面应为零偏距与负偏距。

2.4.4 适合 SUV 车型的轮辐轮缘连接方式选择

不同轮辐轮缘连接方式质量匹配排名见表 6，从匹配排名可以看出：两种方式的评分都在 1 以上，说明轮辐轮缘连接方式作为影响轮毂造型设计的一个因素，所占权重不大，对轮毂造型设计影响较小，因此，这里认为对这一特征审美质量的分析应结合其他特征而定，这两种方式都可以进行尝试。

2.4.5 不同轮辐样式审美临界值研究

轮辐样式作为影响轮毂设计的重要因素，在轮车匹配中起着至关重要的作用。不同的轮辐样式带给人不同的感知认识，辐板式轮辐给人稳重坚实的感觉，辐条式轮辐给人轻便快速的认知。通过 2.3 中的轮毂

 A2	不同轮辐数目	 W1	 W2	 W3	 W4	 W5
		 W6	 W7	 W8	 W9	 W10
		 W11	 W12	 W13	 W14	 W15
	不同构成方式	 单辐常规	 单辐旋转	 单辐孔洞	 双辐枝杈	 叠拼类
		 双辐常规	 双辐旋转	 双辐孔洞	 多辐枝杈	 孔洞类
	中心钢面	 零偏距				
	轮辐轮缘连接方式	 搭接				
	不同轮辐样式	 单辐三角形	 双辐三角形	 外凸曲线三角形	 内凹曲线三角形	
		 单辐倒三角	 双辐倒三角	 外凸曲线倒三角	 内凹曲线倒三角	
		 单辐方形	 双辐方形	 外凸方形	 内凹方形	 原型
	轮辐连接方式	 零偏距				

图 5 轮型特征对应分析
Fig.5 Corresponding analysis of wheel type characteristic

表 3 不同轮辐数目的匹配质量排名
Tab.3 Matching quality ranking of different spokes

轮辐数目	匹配评分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
W8	2.17	2	2	1	2	3	3	2	2	3	3	1	3	2	1	2	3	3	2	3	1
W5	2.15	2	2	3	3	2	3	2	3	1	2	0	2	3	2	1	2	3	3	2	0
W6	1.91	3	3	1	1	2	2	3	2	2	2	2	3	2	1	1	2	3	2	-1	2
W9	1.26	2	1	2	-1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	-1	2	1	1	3	2
W7	1.09	3	2	-1	1	1	2	2	1	0	1	0	2	2	-1	1	1	2	2	1	0
W10	0.83	2	0	1	0	1	-1	1	2	3	0	-1	2	0	1	0	1	-1	1	2	3
W11	0.09	2	-1	2	2	0	-1	-1	-1	1	-1	-2	1	-1	2	2	0	-1	-1	2	0
W3	-0.04	-1	2	-2	0	1	-1	-2	0	0	3	-1	1	-2	0	1	1	-1	-2	0	-2
W4	-0.48	0	1	-2	-1	-2	-2	3	-2	-1	0	-2	-1	-2	-1	1	-2	-2	3	-2	0
W12	-0.70	2	-1	3	0	-1	-2	-2	-1	0	-1	-3	1	-1	-1	-2	-2	-1	0	-1	3
W13	-1.04	3	-2	-2	-1	-2	-2	-3	1	1	-2	-3	0	-2	-1	-2	-3	1	1	3	-2
W2	-1.22	-3	-1	-3	2	-1	-2	2	-3	-3	-3	3	-3	-2	3	2	-1	-3	-3	-3	-3
W14	-1.26	3	-2	2	-1	-3	-3	-3	0	-1	-3	-3	-1	-2	2	-1	-3	-3	-3	-1	-3
W15	-1.91	1	-3	-3	1	-3	-3	-3	-3	-1	-3	-3	0	-3	-3	1	-3	-3	-3	-3	-1
W1	-2.00	-2	-2	-3	-2	1	-2	-2	-3	-3	-3	0	-2	-3	-3	-2	1	-2	-3	-3	-3

表 4 不同构成方式的匹配质量排名
Tab.4 Matching quality ranking of the different configurations

构成方式	匹配评分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
单辐孔洞	1.85	2	3	0	0	2	3	2	1	1	1	2	3	2	2	3	1	1	2	3	2
单辐常规	1.55	2	1	0	-2	1	3	3	1	-1	3	3	3	2	2	1	3	2	2	1	3
双辐枝杈	1.15	2	1	3	0	3	2	-1	0	2	1	2	1	3	-2	0	1	1	-1	2	3
双辐常规	0.95	2	1	-1	0	1	2	2	-1	-1	3	1	-1	0	0	3	2	1	1	2	2
双辐旋转	0.65	0	0	0	1	2	-2	-2	2	2	2	2	3	-2	2	0	3	2	2	-2	-2
双辐孔洞	0.60	1	2	0	0	1	-1	1	0	1	1	1	2	1	-2	1	1	1	1	-1	1
孔洞类	0.40	-1	1	1	-3	0	-1	3	-1	-1	-1	3	1	-1	3	1	1	1	0	-1	3
多辐枝杈	0.35	2	-3	1	1	1	3	-3	1	0	0	2	-2	2	0	1	0	0	1	3	-3
单辐旋转	-0.35	1	-3	1	3	-1	-3	-3	-1	2	1	1	1	1	1	2	-1	-2	-1	-3	-3
叠拼类	-0.45	1	1	-2	2	1	3	-3	3	-3	-3	-2	-3	-3	-1	1	-1	-1	1	3	-3

表 5 不同中心辋面的匹配质量排名
Tab.5 Matching quality ranking of different central rims

构成方式	匹配评分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
零偏距	1.80	1	2	1	2	3	2	2	1	3	2	1	3	1	2	1	2	3	2	1	1
负偏距	1.35	2	1	3	2	1	3	2	2	1	0	1	0	3	2	1	3	0	-1	1	0
正偏距	-0.6	0	2	2	-2	-1	-1	0	0	-1	-2	0	-1	-2	-1	1	0	-1	-1	-2	-2

表 6 不同轮辐轮缘连接方式质量匹配排名
Tab.6 Quality matching ranking of different spoke and flange connections

连接方式	匹配评分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
搭接	1.3	2	1	2	-1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	-1	2	1	1	3	2
内接	1.55	2	1	0	-2	1	3	3	1	-1	3	3	3	2	2	1	3	2	2	1	3

形态学分析结果，在本次试验中，将轮辐从 3 个形态类别进行分析：三角形、圆形、方形，共建了 13 个轮型样本，研究不同轮辐样式的匹配质量排名。

实验结果表明，通过对 20 位受试者的匹配评分

进行分析，发现在研究轮辐样式这一形态特征时，匹配质量出现了并列的排名。不同轮辐样式的匹配质量排名见表 7，单辐方形与内凹曲线倒三角形排名并列第二，评分都为 1.37。单辐正三角形与内凹曲线方形

并列第三，评分为 1.21。按照满意程度从高到低对轮毂匹配质量进行识别，可以找到匹配质量最差的三组，分别为：外凸方形、内凹曲线正三角形和圆形。除这三种轮辐样式外，其他的轮辐样式与 SUV 车型的匹配评分都在 0 以上，这说明符合用户心理契合度的轮辐样式形态匹配临界值是除了这三种以外的其

他方式，总结为：倒三角形（单辐直线、内凹曲线、双辐直线、外凸曲线），方形（单辐直线、内凹曲线、双辐直线），正三角形（单辐直线、双辐直线、外凸曲线），其中，倒三角形和方形为 SUV 轮辐样式审美最高点，直线和内凹曲线为最受欢迎的辐条形式。

表 7 不同轮辐样式的匹配质量排名
Tab.7 Matching quality ranking of different spoke styles

轮辐样式	匹配评分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
单辐倒三角	1.79	3	3	1	3	2	0	0	2	0	2	2	2	3	3	1	2	2	3	1	-1
单辐方形	1.37	3	2	2	1	-1	1	0	1	0	2	0	2	2	1	1	2	3	3	0	1
内凹曲线倒三角	1.37	2	2	2	2	3	2	3	0	2	0	1	0	1	2	1	1	2	-1	2	-1
单辐正三角	1.21	2	1	2	0	1	0	-1	1	2	3	2	2	1	1	2	3	1	1	-1	0
内凹曲线方形	1.21	-2	2	1	2	-3	1	1	0	1	2	2	2	2	0	2	1	3	2	2	2
双辐倒三角	1.00	2	0	-2	3	0	3	1	1	2	1	1	1	0	0	-2	0	1	3	1	3
双辐正三角	0.95	1	2	1	1	0	-1	-1	-1	1	1	1	1	0	2	1	3	2	2	2	0
双辐方形	0.79	-1	0	0	2	-1	-2	1	1	2	1	3	1	1	0	-1	1	1	3	1	2
外凸曲线倒三角	0.16	-1	1	3	-2	-1	-1	-1	1	-3	2	3	0	3	0	2	-2	2	-3	2	-2
外凸曲线正三角	0.11	0	1	1	1	-2	0	1	0	-2	0	1	1	-2	1	1	-1	2	-2	0	1
外凸方形	-0.32	-2	0	0	0	-1	-3	2	1	0	-1	1	0	-1	0	0	-1	1	-2	1	-1
内凹曲线正三角	-0.53	-3	-1	0	2	-2	-2	-2	-1	-1	0	0	-3	0	-1	0	0	3	-2	1	2
圆形	-1.79	-3	-3	-1	-3	-3	-3	-3	-2	0	-1	0	3	-3	-2	-3	0	1	-3	-2	-3

2.4.6 适合 SUV 车型的辐条连接方式识别

不同连接方式的匹配质量排名见表 8，从表中可以看出匹配平均值过于接近，经过专家小组的细致分析，认为辐条连接方式这一特征对轮毂造型设计影响较小，单独对辐条连接方式进行研究没有意义，应在其他设计特征的形式变化下进行分析，因此，我们通过对 2.4 中基于用户感知匹配评价度高的轮型为样本，总结在不同形态特征下的轮辐连接变化结果：（1）在轮辐数目特征下的轮辐连方式变化，通过对样本进行研究，发现当轮辐数目较多时，尖角式的形态匹配使轮毂整体看上去更加和谐，当数目较少时，弧角式

的设计可以使轮型看起来更美观；（2）在构成方式特征下的轮辐连方式变化，通过对构成方式研究样本中匹配评分高的样本进行分析，认为常规类的轮毂构成方式匹配弧角式的轮辐连接方式更为和谐，枝杈类和旋转类的轮毂构成方式匹配尖角式的更为和谐；（3）在辐条样式特征下的轮辐连方式变化，通过对辐条样式特征中的优秀样本进行分析，发现直线的辐条样式对不同轮辐连方式的匹配质量都很好，但是曲线的辐条样式只适合弧角形的构成方式，因此，对于适合 SUV 车型的辐条连接方式可以总结为多辐尖角式、常规弧角式、枝杈尖角式和曲线弧角式。

表 8 不同连接方式的匹配质量排名
Tab.8 Matching quality ranking of different connections

轮辐样式	匹配评分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
弧角式	1.30	2	1	1	2	2	1	0	1	0	2	2	1	1	2	2	1	0	1	2	2
直线式	1.05	-1	2	1	1	2	2	1	0	1	0	2	2	1	1	2	2	1	0	1	0
尖角式	1.10	2	-1	2	0	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	0	2	1	1	1	0

2.5 结果

随着对典型设计特征的对应分析，顺利找到了基于 SUV 车型的轮毂形态特征匹配临界值。通过分析，发现在影响轮毂造型设计的特征中，轮辐数目与辐条方式所占比例较大，基于 SUV 车型的轮辐数目审美匹配临界值应在 5 辐到 11 辐之间，轮辐样式以三角

形和方形为主，直线和内凹曲线的辐条形式最受欢迎。具体为：倒三角形（单辐直线、内凹曲线、双辐直线、外凸曲线），正三角形（单辐直线、双辐直线、外凸曲线），方形（单辐直线、内凹曲线、双辐直线），对于其他影响轮毂造型因素的特征，在这里均已详细分析，在进行轮车匹配时，应充分考虑到这些有影响

力的设计特征,并结合自身情况进行轮车匹配。

2.6 基于 SUV 车型的轮毂造型设计检验

基于上述研究方法,这里以近 3 年销量最高的哈弗 H6 为例,设计了两款相反的轮毂造型,匹配临界值内的 SUV 轮毂造型设计见图 6,与之相反的研究方案匹配临界值外的 SUV 轮毂造型设计见图 7。通过对两种方案进行评价分析,受试者认为图 6 比图 7 更适合 SUV 车型,评分结果分别为 1.8 与 0.6,这表示,这里的轮车匹配研究方法有一定的参考价值。



图 6 匹配临界值内的 SUV 轮毂造型设计
Fig.6 SUV hub modeling design within the matching threshold



图 7 匹配临界值外的 SUV 轮毂造型设计
Fig.7 SUV hub modeling design beyond the matching threshold

3 结语

这里将艺术学、计算机机器学习、统计学等不同领域的相关知识进行结合,针对目前轮车市场缺乏科学与细致匹配规则的问题,提出了一种审美匹配临界值法,用于进行复杂组合形态整体认知一致性研究。研究以 SUV 车型为例,但同样适用于其他车型的轮车审美匹配研究,设计师或轮毂厂商可以根据需求,适当的针对新的车型来设计轮毂,来提高产品质量、满足用户需求。研究内容重点从艺术审美的角度对轮毂进行了相关的设计研究,实际上还应考虑生产成本、消费人群的消费观念和消费水平。在进一步的研究中,将会从更加综合的角度对产品形态匹配进行研究,更好地服务于轮毂造型设计。

参考文献:

[1] 吴俭涛. 基于象元的形态设计方法及其应用研究[D].

秦皇岛: 燕山大学, 2016.

WU Jian-tao. Based on the Pixel Shape Design Method and Its Application Research[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2016.

- [2] 杜卫, 陈恒. 学科交叉: 应用型本科院校学科建设的战略选择[J]. 高等工程教育研究, 2012(1): 127—131.
DU Wei, CHEN Heng. Interdisciplinary Study: The Strategic Selection of the Discipline Construction in Application-oriented Institutions[J]. Higher Engineering Education Research, 2012(1): 127—131.
- [3] 陈慧. 服装色彩搭配研究[J]. 染整技术, 2016(11): 6—20.
CHEN Hui. Clothing Color Matching Research[J]. Dyeing and Finishing Technology, 2016(11): 6—20.
- [4] 吴瑕. 基于消费者视觉感性意向的产品材质搭配设计研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
WU Xia. Research on Collocation Design of Product Based on Perceptual Intention of Consumers[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [5] 周洪涛. 中式概念家具创新设计研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2005.
ZHOU Hong-tao. Research on Innovative Design of Chinese Concept Furniture[D]. Haerbin: Dongbeilinye University, 2005.
- [6] CHIEN C. Factors Influencing Visual Comfort Appreciation of the Product Form of Digital Cameras[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2008(38): 1007—1016.
- [7] LUO Shi-jian. Perceptual Matching of Shape Design Style between Wheel Hub and Car Type[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2012(42): 90—102.
- [8] 孙利. 铝合金轮毂设计的技术美学基础及应用研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2014.
SUN Li. Technical Aesthetic Foundation and Application of Aluminum Alloy Wheel Design[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2014.
- [9] 吴俭涛, 陈永亮. 基于田口方法的铝合金轮毂造型最佳化设计研究[J]. 燕山大学学报, 2015(6): 531—534.
WU Jian-tao, CHEN Yong-liang. Study on Optimization Design of Aluminum Alloy Wheel Shape Based on Taguchi Method[J]. Journal of Yanshan University, 2015(6): 531—534.
- [10] 曹宝. 基于风格描述的轮毂造型设计方法研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2013.
CAO Bao. Based on the Style Description of the Wheel Design Method[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2013.
- [11] 付于武. 2016 中国汽车产业发展报告[R]. 北京: 中国汽车工程学会, 2016.
FU Yu-wu. 2016 China Automotive Industry Development Report[R]. Beijing: China Society of Automotive Engineers, 2016.
- [12] 蒋艳凰, 赵强利. 机器学习方法[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
JIANG Yan-huang, ZHAO Qiang-li. Machine Learning Method[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2009.
- [13] 陈永亮. 轮毂智能形态修正系统设计与研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2015.
CHEN Yong-liang. Wheel Intelligent Form Correction System Design and Research[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2015.
- [14] 吴俭涛, 占园. 正交试验判定在健身车外观设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(24): 54—58.
WU Jian-tao, ZHAN Yuan. Application of Orthogonal Experiment in the Exterior Design of Exercise Bike[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(24): 54—58.
- [15] LUO Shi-Jian. A Preliminary Study of Perceptual Matching for the Evaluation of Beverage Bottle Design[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2012(42): 219—232.