基于视觉认知的汽车内饰造型效果图评价体系构建

李天添[1]，赵丹华[2]，赵江洪[2]
（1.湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室，长沙 410082；
2.湖南大学 设计艺术学院，长沙 410082）

摘要：目的 基于视觉认知理论，构建普适性的汽车内饰造型效果图评价体系。**方法** 根据视觉特征整合理论，建立造型的视觉认知评价框架，萃取相应的评价指标及其权重赋值，建立内饰造型方案效果图评价体系，并通过实证案例检测评价体系的有效性及可行性。结果汽车内饰造型方案效果图的认知存在递阶的层级关系，评价指标具有基础性指标与增益性指标两种属性。**结论** 汽车内饰造型方案效果图评价体系可以辅助设计师有效处理方案评审和完善过程，同时辅助企业进行相关决策。

关键词：汽车造型内饰；造型效果图；评价指标体系；视觉认知机制；层次分析法
中图分类号：TB472　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2018)06-0165-05
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.06.032

Evaluation System Construction of Automotive Interior Rendering Based on Visual Perception

LI Tian-tian[1], *ZHAO Dan-hua*[2], *ZHAO Jiang-hong*[2]
(1.State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China; 2.School of Design, Hunan University, Changsha 410082, China)

ABSTRACT: In view of the visual cognition theory, it aims to construct a universal evaluation system for automotive interior rendering. In terms of visual cognition and feature integration theory, it proposes a visual cognitive evaluation framework for interior styling. Corresponding evaluation indexes are extracted and the weights of each index assigned. Application is conducted to test the effectiveness and feasibility of the evaluation system. The results show that a hierarchical relationship existed in the cognition of automotive interior rendering, and evaluation indexes can be divided into two attributes: basic index and additive index. The effectiveness and feasibility of the evaluation system is satisfied, which is effective to help designers to improve the scheme rendering specifically, and assist enterprises to make relevant decisions.

KEY WORDS: automotive interior; styling rendering; evaluation system; visual perception; analytic hierarchy process

与汽车外饰造型不同，典型的汽车内饰设计由 7 大模块构成[1]，即内饰是由多个功能性模块构成的组合体。同时，一个内饰模块又具有多个构成元素。内饰的物理集合描述具备复杂性[2]，以至于依部件展开的评价指标显得有些冗杂繁复，这是内饰造型评价研究的难点[3]。汽车内饰造型包括两大部分：一是布置设计；二是造型设计[2]。前者是指造型模块（组件）之间的空间关系；后者是指模块体（部件）的造型。然而，在电动车技术与 HMI 的应用与普及的背景之下，传统的内饰布置及部件的存续面临问题，对内饰造型的方案评价提出了新挑战。

汽车内饰造型的各个认知要素是相互关联的，很难在各自独立的前提下界定，对各造型要素评价的简单累加并不能得到完整而全面的评价结果[4]，因此，直接从部件入手建立评价体系并不可行。本文试图基于视觉认知理论，从内饰视觉特征整合认知的角度建立造型效果图评价体系，并通过实证案例验证。

收稿日期：2017-11-23
基金项目：国家自然科学基金（51605154）；省重点研发计划（2016GK2010）；中央高校基本科研业务费
作者简介：李天添（1988—），男，湖南人，湖南大学博士生，主要研究方向为交通工具设计与情感设计。

1 汽车内饰造型效果图的认知评价框架

1.1 汽车内饰造型的基本认知

汽车内饰造型是由不同模块构成的能够实现既定功能的系统。汽车内饰造型的载体是用户的使用空间，空间性是汽车造型内饰设计的前提，确定了对象的空间范围与尺度；汽车内饰造型的整体氛围表达了内饰空间的基调，关联了用户的心理感受与认知评价，体现了汽车内饰造型的情感表达；在限定空间与相应基调氛围之下，汽车内饰的造型功能与形式有赖于部件的组织实现，从而达到空间、氛围、部件的统一。

1.2 效果图的功能

Shannon 的交流模型将信息传播归纳为由信源、传递者、信道、接受器与信宿组成的流程[5]。在这个过程中，效果图一方面是设计师表达设计意图的工具，另一方面是沟通评审者与设计师的媒介，充当着设计信息的传递者。图解思考的形式化表达为：快速草图、主体草图、比较草图、方案草图和方案效果图[6]。方案效果图是图解思考深入的结果，具备形式化、完整化、明确化的特点。本文针对方案效果图展开研究，研究角度是将汽车造型内饰方案效果图作为设计信息的传递者予以看待。

1.3 视觉认知机制下的内饰造型效果图认知层次

特征整合理论[7]认为，视觉处理是一个以自下而上的加工为主要特征的、具有局部交互作用的过程[8]。视觉处理过程为，各种特征以结合在一起的状态被输入，随后客体分化为两条通路并行完成各个特征的加工编码，在视觉注意之后整合在一起。生物视觉系统中用于视觉处理的两条通路即 what 通路和 where 通路。what 通路完成目标的感知与识别，where 通路对动作和空间信息等进行感知信息处理[8]。特征提取过程在多个处理通道中并行完成，输出的各种简单图像特征（颜色、纹理、形状和空间[9]）之间相互独立[10]。各个特征的神经加工通路不同，加工速度和加工方式存在差异，不同特征在图像信息处理中的功能也不尽相同[10]，体现出视觉特征处理过程中具备多样性与层次性的特点。

本文将汽车内饰效果图的认知客体分解为 3 个层面的信息，即空间信息、氛围信息和部件信息，同视觉认知中的简单图像特征形成对应。空间信息对应空间关系，主要经由 where 通路进行编码加工。氛围信息对应颜色、纹理，主要经由 what 通路进行编码加工。部件信息对应形状，经由 what 通路进行编码加工。在视觉认知的前注意阶段，3 层信息独立并存，最后，3 层信息整合在一起，实现对汽车内饰造型方案效果图客体的整体认知。汽车内饰造型方案效果图的视觉认知流程见图 1。

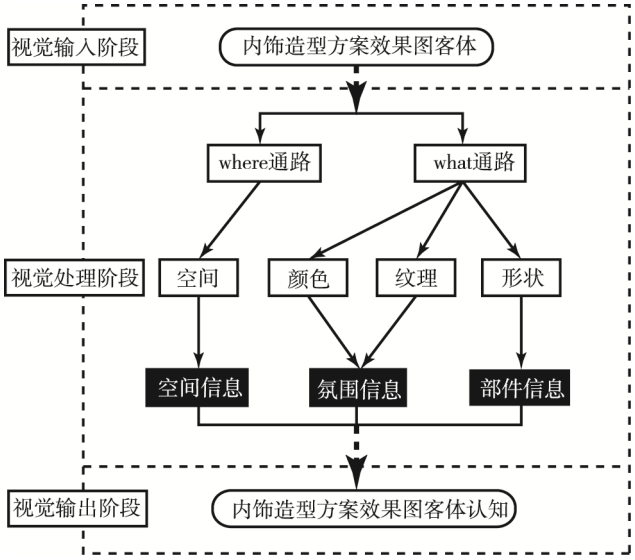

图 1 汽车内饰造型方案效果图的视觉认知流程

Fig.1 Process of visual perception on automotive interior scheme rendering

1.4 内饰造型效果图的认知评价框架

为构建汽车内饰造型效果图的认知评价框架，以指标类别、指标定义、指标变量为结构，对空间信息，氛围信息以及部件信息进行了初步定义，并提取了相关的评价要素。空间信息的初步定义为，承载氛围与部件且确定内饰造型范围尺度的信息。氛围信息的初步定义为，依托空间尺度且能反映于部件上的环境基调及感染力。部件信息的初步定义为，空间和氛围尺度下的部件造型与配置。结合定义初步提取评价指标变量 13 条，用于后续的权重赋值及萃取。认知框架相关内容详见表 1。

表 1 汽车内饰造型方案效果图的认知评价框架

Tab.1 The cognition evaluation framework of automotive interior scheme rendering

指标类别	指标定义	指标变量
空间信息	承载氛围与部件且确定内饰造型边界尺度的信息	透视准确(C_1) 空间进深明确(C_2) 构图合理(C_3)
氛围信息	依托空间尺度且能反映于部件上的环境基调及感染力	色调和谐(C_4) 光影主次明确(C_5) 纹理信息表达(C_6) 画面整体对比度(C_7) 有冷暖对比(C_8)
部件信息	空间和氛围尺度下的部件造型与配置	部件结构清晰(C_9) 细节有深入(C_{10}) 画面区域刻画有侧重点(C_{11}) 线型质量好(C_{12}) 比例尺寸正确(C_{13})

2. 汽车内饰造型效果图认知评价框架的指标赋值与萃取

2.1 指标赋值

2.1.1 认知评价框架的层次结构模型及判断矩阵的建立

本文采用层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）获取指标权重。开展权重获取实验之前，依照层次分析法对效果图认知评价框架建立了层次结构模型。在 AHP 法中，目标层指的是问题的预定目标，在本文中是指汽车造型内饰效果图的图面质量完善总要求（A）；准则层指的是目标实现的准则，在本文中是指空间信息(B_1)、氛围信息(B_2)与部件信息(B_3)的 3 个指标类别；措施层是指促使目标实现的措施，即指标类别下对应的指标变量。然后，对 3 大类 13 个指标构造了 4 个判断矩阵：$\boldsymbol{A}$-$\boldsymbol{B}$，$\boldsymbol{B}_1$-($\boldsymbol{C}_1$-$\boldsymbol{C}_3$)，$\boldsymbol{B}_2$-($\boldsymbol{C}_4$-$\boldsymbol{C}_8$)，$\boldsymbol{B}_3$-($\boldsymbol{C}_9$-$\boldsymbol{C}_{13}$)。在层次结构模型的基础上，通过比较判断矩阵同一层次的各指标的相对重要性就能够综合计算指标的权重系数。

2.1.2 问卷数据获取

为了确保权重的信度，以专家赋值的方式开展权重获取实验。参与问卷的被试为 13 位汽车造型方向的设计专家及业内人士（以湖南大学交通工具方向在读博士研究生为主，以国内各大主机厂驻厂设计师为辅），以不设中间值的九分位的比例标度（1-3-5-7-9）作为评判取值标准，要求各位被试以逐层逐项两两比较的方式，分别对 4 个判断矩阵的指标变量进行评判取值，从而获取了相应的问卷数据。

2.1.3 问卷数据一致性检测

为了对问卷数据能否接受进行鉴别，应对判断矩阵执行一致性检测。执行检测时，有 $C.I.=\dfrac{\lambda\max-n}{n-1}$，$C.R.=\dfrac{C.I.}{R.I.}$，当 $C.R.<0.10$ 时，表明判断矩阵有较满意的一致性[11]。对于不一致的判断矩阵可通过 Yaahp 软件进行自动修正。本文中，如果判断矩阵利用最小改变算法或最大改进方向算法（改变一个要素）修正后，能够达到一致性要求的（$C.R.$<0.10），则认定为修正结果可以接受，问卷有效。如果判断矩阵利用最大改进方向算法修正时，所需修正数据占总输入数据项的 20%及以上的，则判为不合格，废弃整个问卷。在 13 份专家问卷中，满足一致性检测与自动修正设置条件的合格问卷有 10 份。不合格的问卷不计入群决策计算结果。

2.1.4 问卷数据权重计算结果

将合格问卷分别输入层次分析法软件 Yaahp 中，以幂法为计算方法，分别计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 及对应的最大特征向量 W。然后，以各专家排序向量加权算数平均作为专家数据集结方法，获取了汽车内饰造型方案效果图评价指标权重，见表 2。

表 2　汽车内饰造型方案效果图评价指标权重表

Tab.2 Weight table of evaluation index on automotive interior scheme rendering

目标层	权重	准则层	权重	指标层	权重
内饰方案效果图图面质量完善要求（A）	1.0000	空间信息(B_1)	0.4519	透视准确(C_1)	0.1877
				空间进深明确(C_2)	0.1391
				构图合理(C_3)	0.1250
		氛围信息(B_2)	0.2868	色调和谐(C_4)	0.0479
				光影主次明确(C_5)	0.1001
				纹理信息表达(C_6)	0.0395
				画面整体对比度(C_7)	0.0607
				有冷暖对比(C_8)	0.0386
		部件信息(B_3)	0.2612	部件结构清晰(C_9)	0.1258
				细节有深入(C_{10})	0.0441
				画面区域刻画有侧重点(C_{11})	0.0689
				线型质量好(C_{12})	0.0267
				比例尺寸正确(C_{13})	0.0587

2.2 指标萃取

本文依据各指标变量的权重排序，剔除了末位次的 3 个指标，将最终的指标变量空间控制为 10 个（累积贡献率 90.14%，见表 3），从而完成了指标变量的筛选萃取。排名后 3 位的指标是“纹理信息表达(C_6)”、“有冷暖对比(C_8)”以及“线型质量好(C_{12})”。通过对汽车内饰效果图认知评价框架的评价指标进行赋值与萃取等各项步骤，实现了汽车内饰造型效果图评价体系的构建工作。

表 3 汽车内饰造型方案效果图评价指标的权重及贡献率排序

Tab.3 Weights order and contribution rates order of automotive interior scheme rendering

指标变量	权重	个体贡献率/%	累积贡献率/%	排序
透视准确(C_1)	0.1877	17.66	17.66	1
空间进深明确(C_2)	0.1391	13.09	30.75	2
部件结构清晰(C_9)	0.1258	11.84	42.59	3
构图合理(C_3)	0.1250	11.76	54.35	4
光影主次明确(C_5)	0.1001	9.42	63.77	5
画面区域刻画有侧重点(C_{11})	0.0689	6.48	70.25	6
画面整体对比度(C_7)	0.0607	5.71	75.96	7
比例尺寸正确(C_{13})	0.0587	5.52	81.48	8
色调和谐(C_4)	0.0479	4.51	85.99	9
细节有深入(C_{10})	0.0441	4.15	90.14	10
纹理信息表达(C_6)	0.0395	3.72	93.86	11
有冷暖对比(C_8)	0.0386	3.63	97.49	12
线型质量好(C_{12})	0.0267	2.51	100	13

3 指标权重获取实验结果分析

3.1 指标类别权重

权重获取实验结果显示，空间信息重要程度大于氛围信息，氛围信息大于部件信息。这与指标类别的初步定义一致，说明汽车内饰造型效果图的指标类别存在递阶关系。同时，空间信息的权重明显大于氛围信息与部件信息，氛围信息的权重与部件信息接近，说明氛围信息和部件信息的对图面质量完善的重要程度较为一致。

3.2 指标变量权重的属性

依据权重排位的结果发现，指标变量具备基础性指标与增益性指标两种属性。排位靠前的指标主要为基础性指标，排位靠后的指标主要为基础性指标的增益性指标。基础性指标表达的是图面最为基础且不可或缺的需求（如透视、空间、构图、部件结构、对比度等）。增益性指标或对图面整体质量有增益性效果，如指标“线型质量好(C_{12})”体现的增益效果；或对排名位次靠前的基础性指标有增益性效果。例如，指标“有冷暖对比(C_8)”营造了固有色与光源色彩的对比氛围，能够更进一步表达面的走势，更好地区分空间远近[12]，即对指标“部件结构清晰(C_9)”、指标“空间进深明确(C_2)”有增益效果。指标“纹理信息表达(C_6)”一方面建构在亮度与对比度营造的整体氛围基调之上，另一方面又携带了颜色、表面处理等特征。纹理信息的完善主要体现在 CMF 部门的后续工作之上，这可能是现阶段指标“纹理信息表达(C_6)”权重较低的另一个原因。

可以认为，一副方案效果图若能满足萃取的 10 个指标的要求，就能称为是一副中规中矩，质量稳定可靠的方案效果图。然而，为了进一步提升效果图的质量，将权重排位靠后的增益性指标纳入评价体系也未尝不可。这取决于具体公司或部门对效果图质量的倾向性意见或具体诉求。

4 汽车内饰造型效果图评价体系的案例应用

对构建的汽车内饰造型评价体系进行案例评价应用，其流程如下：以湖南大学汽车车身先进设计与制造国家重点实验室设计团队，为国内某主机厂提供的 6 套汽车内饰造型方案效果图为评价对象，见图 2，邀请 25 名交通工具方向在读学生，对萃取的 10 个评价指标进行打分。评分标准划分为 5 个连续等级（10-8-6-4-2），分别代表很好、较好、一般、较差、很差。每项指标的得分与对应指标权重的乘积即为该指标的加权得分。具体计分结果请见表 4。从表 4 可以看出，6 个方案分值在 5.7～6.9 分。方案 1 总分 6.9184，位列第一。方案 4 总分 6.7717，位列第二。方案 1 获得了 4 个单项第一（单项最高分以粗体标注于表 4 内），分别是“透视准确(C_1)”、“构图合理(C_3)”、“色调和谐(C_4)”、“比例尺寸正确(C_{13})”；方案 4 获得了 5 个单项第一，即“指标空间进深明确(C_2)”、“光影主次明确(C_5)”、“画面整体对比度(C_7)”、“细节有深入(C_{10})”、“画面区域刻画有侧重点(C_{11})”。方案评价总得分及单项得分与图面观感一致，证实了内饰造型效果图评价体系的有效性及可行性。

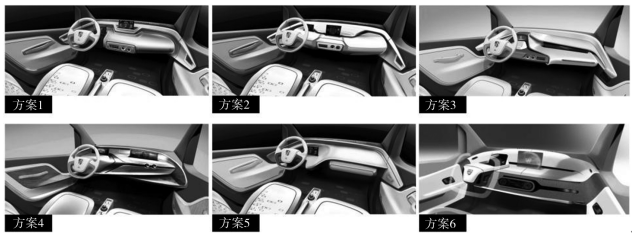

图 2 待评方案效果

Fig.2 Automobile interior scheme renderings as testing samples

表 4　方案计分结果
Tab.4 Results of testing samples

样本	空间信息			氛围信息			部件信息				总分	位次
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_7	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{13}		
方案1	1.531	0.934	0.990	0.360	0.660	0.412	0.895	0.299	0.391	0.441	6.918	1
方案2	1.291	0.879	0.820	0.310	0.608	0.412	0.885	0.292	0.440	0.375	6.317	4
方案3	1.291	0.923	0.935	0.344	0.656	0.364	0.915	0.317	0.474	0.422	6.645	3
方案4	1.336	0.990	0.930	0.329	0.704	0.446	0.835	0.303	0.496	0.399	6.771	2
方案5	1.246	0.879	0.860	0.287	0.616	0.369	0.613	0.208	0.347	0.385	5.812	5
方案6	1.366	0.823	0.780	0.252	0.560	0.310	0.654	0.227	0.380	0.366	5.722	6

5　结语

本文根据视觉认知理论，提出了内饰造型的基本认知评价框架，提取了内饰造型方案效果图的评价指标，完成了评价指标的权重赋值与萃取，构建了内饰造型方案效果图的评价体系。结果显示，内饰造型方案效果图的认知存在递阶的层级关系，评价指标具有基础性指标与增益性指标两种属性。案例评价应用结果表明，内饰造型方案效果图评价体系具备有效性及可行性。评价体系的作用表现为，能对方案的完善提出具体而有针对性的意见，也能对企业的决策生成提供参考并给予支撑。

参考文献：

[1] STUART M. H-Point, the Fundamentals of Car Design and Packaging[M]. Southern California: Design Studio Press, 2013.

[2] 周廷美，肖植雄，王仲范，等. 汽车内饰造型的多级模糊评价方法[J]. 武汉汽车工业大学学报，1999, 21(1): 27—30.
ZHOU Ting-mei, XIAO Zhi-xiong, WANG Zhong-fan, et al. The Multi-level Fuzzy Evaluation on Vehicle Interior Styling[J]. Journal of Wuhan Automotive Industry University, 1999, 21(1): 27—30.

[3] TOMIO J, KIYOMI H. Application Studies to Car Interior of Kansei Engineering[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 1997(19): 105—114.

[4] 卢兆麟，李升波，徐少兵，等. 基于眼动跟踪特征的汽车造型评价方法[J]. 清华大学学报，2015, 55(7): 775—781.
LU Zhao-lin, LI Sheng-bo, XU Shao-bin, et al. Automobile Style Evaluation Based on Eye Tracking[J]. Journal of Tsinghua University, 2015, 55(7): 775—781.

[5] NATHAN C, DAVID G, DEREK M. Design as Communication: Exploring the Validity and Utility of Relating Intention to Interpretation[J]. Design Studies, 2008, 29: 425—457.

[6] 赵丹华. 观物取象，感物道情——汽车造型的设计意图和认知解释[M]. 北京：中国青年出版社, 2014.
ZHAO Dan-hua. A Car Styling-based Study, the Design Intention and Interpretation[M]. Beijing: China Youth Press, 2014.

[7] TREISMAN A, GELADE G. A Feature Integration Theory of Attention[J]. Cognitive Psychology, 1980 (12): 97—136.

[8] 黄凯奇，谭铁牛. 视觉认知计算模型综述[J]. 模式识别与人工智能, 2013, 23(10): 951—958.
HUANG Kai-qi, TAN Tie-niu. Review on Computational Model for Vision[J]. PR & AI, 2013, 23(10): 951—958.

[9] 戴金波. 基于视觉信息的图像特征提取算法研究[D]. 长春：吉林大学, 2013.
DAI Jin-bo. Algorithms of Image Feature Exaction Based on Visual Information[D]. Changchun: Jilin University, 2013.

[10] 陈嘉威. 视觉注意计算模型的研究及其应用[D]. 厦门：厦门大学, 2009.
CHEN Jia-wei. Research and Application on Computational Model of Visual Attention[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009.

[11] 李月恩. 感性工程学[M]. 青岛：海洋出版社, 2009.
LI Yue-en. Kansei Engineering[M]. Qingdao: China Ocean Press, 2009.

[12] 曾宪义. 基于认知差异的汽车设计效果图评价方法研究[D]. 长沙：湖南大学, 2016.
ZENG Xian-yi. Evaluation Method for Car Styling Rendering Based on Cognitive Differences[D]. Changsha: Hunan University, 2016.