基于类型分析的语义驱动汽车造型生成设计

李然[1]，赵江洪[2]
（1. 西南交通大学，成都 610031；2. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室，长沙 410082）

摘要：目的 从汽车的类型分析出发，对汽车造型设计问题进行定性、定量研究，探讨语义驱动的汽车造型设计方法。**方法** 构建汽车类型的原型范畴，通过分析、归纳、推论等方式，将类型成员与原型相似性度、类型成员贡献度、原型权重系数等概念进行形式化表征。**结果** 以SUV车型为例，获得14组侧面轮廓造型的关系拟合模型，运用11组SUV车型核心差异性语义词汇驱动汽车侧面轮廓造型生成设计。**结论** 基于汽车类型的分析，其核心在于对原型范畴的运用，以一种更加贴近设计师认知规律和思维模式的方式，为汽车造型设计提供更加客观、合理、灵活的指导。

关键词： 原型范畴；汽车类型；语义驱动；造型生成
中图分类号： TB472　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1001-3563(2015)06-0071-06

Semantic-driven Car Generating Design Based on Type Analysis

LI Ran[1], *ZHAO Jiang-hong*[2]
(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China)

ABSTRACT: Taking vehicle type analysis as a startpoint, it studies the car styling with both qualitative and quantitative research approach to probe semantic-driven design method. By constructing the vehicle type model of prototype category, by means of analysis, induction, deduction, the relationship between type members and prototype similarity degree, type members contribution, weight coefficients of the prototype category can be formalized. Taking SUV as an example, 14 groups of contour fitting model are obtained, and 11 groups of core differential semantic vocabulary of SUV are used to generate SUV contour. Using prototype category to analyze vehicle type provides more objective, reasonable and flexible guide to car styling, which is a way closer to the cognitive rules and thinking model to car designer.

KEY WORDS: prototype category; vehicle type; semantic-driven; design generating

类型是表征知识的一种极为有效的方式。汽车类型包含了类成员的相关知识，为人们辨识、理解汽车搭建了“认知平台”，从而加快了人们的认知速度，减轻大脑运算负荷，因此，汽车造型问题不仅需要从个体还应当从类型的角度展开研究，才能更加全面地把握整个问题的全貌。

目前，基于规则的分类方式是汽车造型研究的最主要方式之一，其核心思想是逐步通过舍弃非本质特征，保留一个或一系列本质特征[1]。汽车造型研究在这一思路的指导下，以提取出的特征作为规则对汽车造型进行分析和把握[2-4]。在造型特征的研究基础上，研究者已就特征与用户关系的构建作出尝试，并通过语义方式对办公椅外型[5]、电脑显示器[6]和考面包机[7]等小产品，以及汽车车身造型[8-9]的驱动造型生成方面

收稿日期： 2014-10-11
基金项目： 国家973科技计划(2010CB328001)；国家自然科学基金(61402159)
作者简介： 李然(1983—)，男，贵阳人，博士，西南交通大学讲师，主要研究方向为汽车造型设计。

进行了研究并取得了初步的成果。其中，基于汽车类型的分析方法[10-11]为现有相关研究作出了重要补充，具有良好的研究前景和价值。然而，由于基于规则的分类方式对涉及类型个体在类型中相对重要程度等问题的分析能力存在着局限性，因此在判断或描述复杂造型现象时就会出现困难。而另一种典型的分类方式——基于原型范畴的分类方式，则可以通过测量或分析个体与汽车类型的造型原型间差异，对造型进行更加深入的定性或定量分析[12]。相比基于规则的分类方式而言，后者对类型的解释更加充分合理，既肯定了类型的客观存在，又正视了类型成员之间的差异性。

1 汽车类型的造型原型

1.1 基于原型范畴的分类方式

原型是指一类客体的内部表征，即一个类别或范畴的所有个体的概括表征，代表了某类客观世界基本成分的抽象形式[13]，而围绕原型构成的范畴则被称为原型范畴。原型范畴具有以下特点：(1)类型成员是由被称为“家族相似性”的特征组成[14]，家族相似性才是决定事物类型的重要依据；(2)人类建立的范畴被认为多是原型范畴[15]。原型范畴是一个有“核心”和“边缘”的连续体，且边缘具有模糊性。范畴中各典型与非典型成员之间地位不等，具有不同程度的隶属度，并可以以区间[0，1]上取值的模糊集合进行描述。其中，原型被认为是范畴中最好、最典型、最具有代表性的成员[16]。

1.2 原型范畴表征及认知意义

汽车类型原型范畴表现出一种具有类似辐射性的状态，见图1，汽车类型隶属度由内至外辐射逐渐减弱，高典型性类型成员聚集于范畴核心位置，典型性低的类型成员位于边缘位置。不同典型性的类型成员构成了汽车类型，并对汽车类型的构成产生了不同的贡献度，两者成正比关系。另外，原型范畴中的类型成员个数越多，汽车类型的稳定性越好，个别成员的缺失或特异将不会对汽车类型认知产生太大影响。

依据原型的特点，原型是对一类事物理想化的心理表征，人们将原型作为认知参照点，原型应当是位于原型范畴中心位置的虚拟成员(如图1中五星)。此时，原型与类型成员的相似性等同于类型成员的类型隶属度，因此，可以通过相似性测量获得各类型成员的隶属度。综合隶属度、典型性、贡献度间的关系可知，与原型相似性越高的类型成员，对汽车类型的构成将起到越大的贡献。

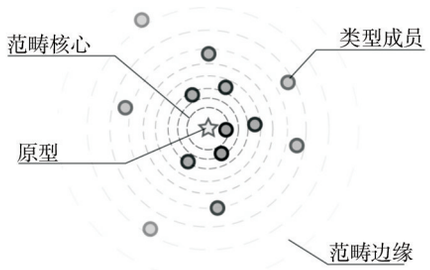

图1 汽车类型的原型范畴

Fig.1 Prototype category of vehicle type

1.3 原型权重系数模型

贡献度体现了不同类型成员对汽车类型原型表征的相对重要程度，即位于原型范畴内的每个类型成员都对应不同的权重，而权重系数由贡献度决定。因为权重系数根本上是由原型范畴的特点决定的，这里将其称为原型权重系数。原型权重系数的计算公式推导如下。

第j个类型成员与原型的相似性程度为s_j，那么，成员对应的贡献度c_j可以表示为：

$$c_j = \alpha \cdot s_j \quad (\alpha\text{为常数项}) \tag{1}$$

第j个类型成员的贡献度为c_j，则拥有n个成员的类型总贡献度C为：

$$c = \sum_{k-1}^{n} c_k \tag{2}$$

第j个类型成员做出的贡献在类型总贡献中所占比例w_j，即原型权重系数，用公式可表示为：

$$w_j = c_j / C \tag{3}$$

代入公式(1)和公式(2)，得到：

$$w_j = s_j / = \sum_{k-1}^{n} s_k \tag{4}$$

经过以上推导可知，想要求得原型权重系数w_j，必须首先获取每个类型成员与原型的相似性s_j。

2 SUV车型的原型权重系数获取及语义原型化

汽车类型的造型原型作为汽车类型的心理表征，是与汽车造型视觉信息进行原型匹配的重要参照物，两者相似性表现了前者在类型中的典型程度。而且，对于类型成员较多的汽车类型，人们所产生的造型原型差异性较小，因此，基于汽车类型造型原型与汽车造型视觉感知的相似程度测量，具有可操作性、一致

性高的特点，是一种非常简单且合理的测量方法。

综上所述，这里将以SUV车型造型作为研究对象，获取其原型权重系数，整个过程包括样本原型权重系数获取、SUV核心差异性语义获取及原型化两个阶段，研究框架见图2。

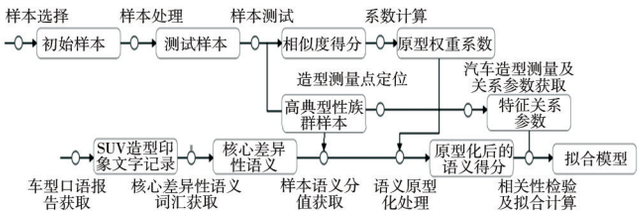

图2　研究框架

Fig.2　The frame of research

2.1　原型权重系数获取

本阶段包括4个步骤，主要目的是获取原型权重系数以及筛选得到下一阶段语义测试样本。

步骤一，样本选择。选择具有“2 BOXES”基本形态样式的汽车36辆（包括官方定义的SUV汽车22辆和非SUV汽车14辆）。使用基本形态样式可以缩小测试样本量，同时保证样本广度，提高测试的效率。步骤二，样本处理。汽车造型中对车型描述意义最大的是包含了汽车前引擎盖顶端线、车厢顶线等主造型特征的汽车侧轮廓造型，因此在测试中将采用样本侧面轮廓剪影图。步骤三，样本测试。被试者（包括有汽车造型设计背景的8位博士生和15位硕士生，以及汽车用户7位）被要求对样本与他/她本人认为“最典型的SUV（即原型）”相似度打分。测试问卷量表采用10分制，分值越高表示相似性越高。测试结果经过统计软件SPSS系统聚类分析，得到两组汽车族群。鉴于低典型性族群中样本得分较低，相应贡献值可忽略不计，仅保留高典型性族群中的样本（23个），在计算原型权重系数和下一阶段语义测试时使用。步骤四，系数计算。根据样本相似度s_j以及公式（4），可求得每个样本关于SUV车型的原型权重系数w_j，见表1。

2.2　核心差异性语义获取及原型化

本阶段包括4个步骤，主要目的是：（1）获取用于描述类型内各成员差异性的核心语义（核心差异性语义）；（2）将其原型化，语义原型化体现了样本在汽车造型类型评价中的相对重要程度，是基于类型分析的语义驱动汽车造型生成设计的前提。

步骤一，车型口语报告获取。被访谈者要求对SUV汽车造型印象进行描述，并以文字形式提供记录。描述内容不作严格限制，可以涉及外型、内饰、价格、功能等内容，可以是自然句或短语、词汇等描述形式，字数建议在100字以上。共回收30份记录，其中有效记录28份，无效记录2份。

表1　样本的原型权重系数

Tab.1　The prototype weight coefficients of sample

	权重系数		权重系数
w_1	0.0402000	w_7	0.0461018
w_2	0.0411246	w_8	0.0392041
w_3	0.0423807	w_9	0.0428783
w_4	0.0479981	w_{10}	0.0502978
w_5	0.0295812	w_{11}	0.0474057
w_6	0.0370477	w_{12}	0.0383273
	权重系数		权重系数
w_{13}	0.0405558	w_{19}	0.0566737
w_{14}	0.0419544	w_{20}	0.0478320
w_{15}	0.0471683	w_{21}	0.0468846
w_{16}	0.0403897	w_{22}	0.0460548
w_{17}	0.0365737	w_{23}	0.0406028
w_{18}	0.0527629		

步骤二，核心差异性语义词汇获取。组织6名专家（有3年以上汽车造型设计及研究经验的博士生）对记录进行词流离散化，得到初级语义词汇450个。根据产品造型核心语义层和解释语义层的关系[17]，选取拥有10个以上初级语义词汇的语义词类作为SUV汽车的核心语义词汇，共计20组。

基于词汇间存在的6种关联性[18]，将核心语义词汇分为大、中等、小、一致4个级别的语义跨度。其中，一致级别的语义词汇有9组，说明被访谈者在这些方面具有较为一致的车型意象认同感，类型成员间无明显强度差别。这一类核心语义对描述类型内各成员差异性的意义不大，因此，将其舍去而只保留其他3类核心语义共11组（5组形容词对及6组形容词），见表2，命名为“SUV车型核心差异性语义词汇”。

步骤三，样本语义分值获取。要求20名具有一定汽车常识的被试者对照11组“SUV车型核心差异性语义词汇”，对23个高典型性族群样本进行打分。前5组词汇打分取值范围为-5~5，后6组词汇打分取值范围为0~5，结果采用z-score标准化处理，得到矩阵$\boldsymbol{M_{ij}}'$。

步骤四，语义原型化处理。由原型权重系数w_j可将SUV车型核心差异性语义词汇得分矩阵$\boldsymbol{M_{ij}}'$原型化。原型化后的得分矩阵$\boldsymbol{M_{ij}}^*$，转换过程如下：

表2 SUV车型核心差异性语义词汇

Tab.2 The core differential semantic vocabulary of SUV

序号	语义	序号	语义
1	越野型的—城市型的	2	男性化的—女性化的
3	硬朗的—圆润的	4	粗犷的—精致的
5	高傲的—亲和的	6	豪华的
7	休闲的	8	霸气的
9	全路况能力的	10	高大的
11	强劲的		

$$\boldsymbol{M}_{ij}^{*}=\begin{bmatrix} a_{11}^{*} & \cdots & a_{1j}^{*} \\ & \cdots & \\ a_{i1}^{*} & \cdots & a_{ij}^{*} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} w_1 a_{11}' & \cdots & w_j a_{1j}' \\ & \cdots & \\ w_1 a_{i1}' & \cdots & w_j a^{ij} \end{bmatrix}(i=1,2,\cdots,11;j=1,2,\cdots,23) \quad (5)$$

其中：a_{ij}'为第j个样本的第i个语义均值的标准化数值；a_{ij}^*为a_{ij}'经过原型化处理后的数值。经过原型化的语义词汇得分表现出原型范畴的特质，即典型性更高的汽车造型语义评价更为具有类型代表性，因此对应了更高的权重系数。

3 汽车侧轮廓造型生成设计算例

设计算例包括汽车特征关系参数获取、拟合模型获取和造型生成3个阶段。其目的是测量23个高典型性族群样本的造型特征关系参数，并通过相关计算获取拟合模型。

3.1 汽车特征关系参数获取

本阶段包括2个步骤，主要目的是：(1)规范汽车轮廓特征测量点，为汽车侧面轮廓造型测量打下基础；(2)样本侧面轮廓造型特征关系参数获取。

步骤一，造型测量点的定位。首先，在特征过渡区截取一段单曲率轮廓线，确保边界点被包含在内即可；其次，从视觉角度，这里设定过渡区域轮廓线曲率半径最小值位置是两部件间的转折点。打开曲线曲率，找到曲率半径最小值位置，即为造型测量点。引擎盖与前脸过渡区间曲率半径最小处标注见图3。

步骤二，汽车造型测量及关系参数获取。基于汽车侧面轮廓造型各特征数据(如车长、车高、轴距等)，计算得到特征关系参数[19]13组，各特征关系见表3。其中包括8组空间距离关系参数(如车高与车长之比)和5组空间角度参数(如前风挡倾角)。此外，有6个特征难以或不能进行定量测量，采用定性分析处理(如悬角、轮拱造型等)。

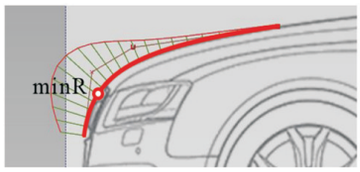

图3 引擎盖与前脸过渡区间曲率半径最小处标注

Fig.3 The mark of minimum curvature radius between transition interval of the hood and front face

表3 各特征关系

Tab.3 Features relationships

序号	特征关系	序号	特征关系	序号	特征关系
A	车高与车长之比	B	前悬与车长之比	C	后悬长度与车长之比
D	车头长度与前悬长度之比	E	离地间隙与车高之比	F	车颈高度与车高之比
G_1	前保险杠厚度与前悬长度之比	G_2	后保险杠厚度与后悬长度之比	H	前风挡倾角
				K	车身倾角
I	风窗角度	J	后风窗角		
L	车顶倾角				

3.2 语义驱动造型的拟合模型获取

拟合计算之前，需要对特征关系参数与语义分值两组数据进行相关分析，以检验数据之间是否存在拟合可能。为简化整个相关分析，这里通过提取语义主成分方式，将11组语义分值缩减为2组主成分分值，这样起到了降维和萃取共同因素的作用，2组主成分与语义分值的关系可表示为：

$$\begin{cases} X_1^* = 0.120x_1^* + 0.113x_2^* + \cdots - 0.088x_{10}^* - 0.108x_{11}^* \\ X_1^* = 0.186x_1^* + 0.034x_2^* + \cdots + 0.210x_{10}^* - 0.024x_{11}^* \end{cases} \quad (6)$$

$x_1^*, x_2^*, \cdots, x_{11}$为经过标准化和原型化的11组语义分值；$X_1^*$，$X_2^*$为11组语义分值的主成分分值。由此，原有相关分析转变为特征关系参数与语义主成分分值两组数据的相关分析。经相关性分析可知，所有特征关系与语义主成分显著相关，可以进行拟合计算。

经计算得到SUV侧面轮廓造型关系参数的拟合模型共计13组。拟合模型以回归方程形式表述，例如，“车高与车长之比”的拟合模型表示为：$A=0.39-0.024X_1^*-0.22X_2^*$。“前悬长度与车长之比”的拟合模型表示为：$B=0.184-0.02X_1^*$。基于拟合模型，输入核心差异性语义词汇分值，可输出13组侧面轮廓造型的关系数据，从而达到语义驱动汽车造型生成设计

的目标。

3.3　造型生成

造型生成过程首先由输入语义词汇分值开始。给予3组语义词汇分值，经过拟合模型计算，并综合考虑定性分析部分的特征，绘制出外轮廓曲线后，可得到各组分值对应的SUV侧面轮廓造型，见图4。

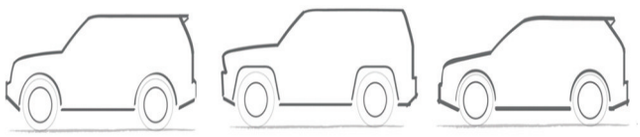

图4　SUV侧面轮廓造型

Fig.4　Contour design of SUV(below)

3.4　造型验证

SUV侧面轮廓造型生成必须至少实现两个基本要求：第一，由不同语义分值生成的SUV轮廓造型应当有较为明显的差异性；第二，由预设语义分值生成的SUV轮廓造型与后期评价分值具有一致性。

由图4可看到，给予的语义分值不同，生成的侧面轮廓造型间存在明显差异性，满足由不同语义分值生成的SUV轮廓造型有较为明显的差异性的基本要求。之后，邀请多名测试者对生成的3辆SUV侧面轮廓造型进行评价。取评分均值与输入分值进行T检验，结果表现为差异不显著，两组数据具有一致性。

综上所述，通过该造型生成方法获取的3个案例均满足造型差异性和一致性两个基本要求。初步证明，基于这一方法生成的汽车侧面轮廓造型，具有可行性和实用性。

4　结语

基于类型分析方法对汽车造型进行研究，通过分析汽车类型原型范畴特点，总结归纳了原型与典型性、相似性、贡献度等概念之间的意义和关系，并推导出原型权重系数的计算公式。借助原型权重系数，在样本实验数据基础上，成功获取了SUV汽车侧面轮廓造型的特征关系拟合模型，实现了“基于语义驱动的汽车造型生成设计”的目标，这为非设计人员内心期望或诉求的视觉化并参与到汽车造型设计，评价和决策中提供了一套可行的方法。

纵观汽车发展，一切真正具有创新意义的汽车造型设计其实就是汽车类型的创新，因此，基于汽车类型的汽车造型研究方法，不仅是一种理论层面的研究，而且也是一项非常具有现实意义的造型设计研究。而造型原型及其范畴的研究作为这一方法的核心思想，也将是对现有设计研究的一种很好补充和完善。

参考文献：

[1] 邵志芳.认知心理学——理论、实践和应用[M]. 上海：上海教育出版社，2013.
SHAO Zhi-fang.Cognitive Psychology: Theory, Practice and Application[M].Shanghai: Shanghai Educational Publishing House,2013.

[2] ZHAO D，ZHAO J，TAN H.A Feature-line-based Descriptive Model of Automobile Styling and Application in Auto-design [J].Transfer，2009(11)：12.

[3] RANSCOMBE C，HICKS B，MULLINEUX G，et al.Visually Decomposing Vehicle Images：Exploring the Influence of Different Aesthetic Features on Consumer Perception of Brand[J]. Design Studies，2012，33(4)：319—341.

[4] JINDO T，HIRASAGO K，NAGAMACHI M.Development of a Design Support System for Office Chairs Using 3D Graphics[J]. International Journal of Industrial Ergonomics，1995，15(1)：49—62.

[5] HSIAO S W，CHEN C H.A Semantic and Shape Grammar Based Approach for Product Design[J].Design Studies，1997，18(3)：275—296.

[6] HSIAO S W，LIU M C.A Morphing Method for Shape Generation and Image Prediction in Product Design[J].Design Studies，2002，23(6)：533—556.

[7] GIANNINI F，MONTI M，PODEHL G.Styling Properties and Features in Computer Aided Industrial Design[J].Computer-Aided Design & Applications，2004(5)：321—330.

[8] HSIAO S W，WANG H P.Applying the Semantic Transformation Method to Product Form Design[J].Design Studies，1998，19(3)：309—330.

[9] LAI H H，CHANG Y M，CHANG H C. A Robust Design Approach for Enhancing the Feeling Quality of a Product：a Car Profile Case Study[J].International Journal of Industrial Ergonomics，2005，35(5)：445—460.

[10] 傅业涛.偏好驱动的SUV产品族外形基因设计[D].杭州：浙江大学，2012.
FU Ye-tao.Shape Gene Design for SUV Product Family Driven by Preference[D].Hangzhou：Zhejiang University，2012.

[11] 游万来，林俊明.产品风格的量化描述研究——以轿车形态为例[J].设计学报，1997，2(2)：89—107.
YOU Wan-lai，LIN Jun-ming.Study on the Quantitative Description of Product Styles-with Sedans as a Case Study[J]. Journal of Design，1997，2(2)：89—107.

[12] 李然，赵江洪，谭浩.SUV汽车造型原型获取与表征[J].包装

工程,2013,34(14):26—29.
LI Ran, ZHAO Jiang-hong, TAN Hao.SUV Styling Prototype Acquisition and Representation[J].Packaging Engineering, 2011,34(14):26—29.

[13] SOLSO R L, MACKLIN K M, MACLIN O H.Cognitive Psychology[M].Beijing:Peking University Press,2005.

[14] 王苏,汪安圣.认知心理学[M].北京:北京大学出版社,1992.
WANG Su, WANG An-sheng.Cognitive Psychology[M].Beijing:Beijing University Press,1992.

[15] ROSCH E.Principles of Categorization[J].Concepts:Core Readings,1999(2):189—206.

[16] 徐佳.英语语言性别歧视的认知解读[J].东华大学学报(社会科学版),2009(2):109—114.
XU Jia.The Cognitive Interpretation of English Language Sexism[J].Journal of Donghua University(Social Science Edition), 2009(2):109—114.

[17] 赵丹华,何人可,谭浩,等.汽车品牌造型风格的语义获取与表达[J].包装工程,2012 ,33(10):27—30.
ZHAO Dan-hua, HE Ren-ke, TAN Hao, et al.Research on Semantic Acquisition and Expression of Car Brand Styling[J]. Packaging Engineering,2012 ,33(10):27—30.

[18] 石毓智.同义词和反义词的区别和联系[J].汉语学习,1992(1): 28—34.
SHI Yu-zhi.The Difference and Contact between Synonyms and Antonyms[J].Chinese Language Learning,1992(1): 28—34.

[19] LAI H H, CHANG Y M, CHANG H C.A Robust Design Approach for Enhancing the Feeling Quality of a Product: a Car Profile Case Study[J].International Journal of Industrial Ergonomics,2005,35(5):445—460.

(上接第70页)

[2] 刘志坚,喻晓.以用户研究为主导的设计思维——目标物为媒介的用户知识提取方法[J].科协论坛,2007(8):122—123.
LIU Zhi-jian, YU Xiao.User-oriented Design Thinking Research[J].Science & Technology Association Forum,2007(8): 122—123.

[3] MULDER S, YAAR Z. The User is Always Right: a Practical Guide to Create and Use Personals for the Web[M].New Riders Publishing,2006.

[4] 余以胜,张玉峰.数据挖掘技术与用户知识获取[J].情报理论与实践,2003(1):65—74.
YU Yi-sheng,ZHANG Yu-feng.Data Mining and User Knowledge Acquisition[J].Information Studies: Theory & Application,2003(1):65—74.

[5] 杨洁.协同产品创新中客户知识集成模式及其关键技术研究[D].重庆:重庆大学,2009.
YANG Jie.Study on Model of Customer Knowledge Integration in Collaborative Product Innovation and Its Key Technology [D].Chongqing:Chongqing University,2009.

[6] 谭浩,赵江洪.汽车造型特征定量模型构建与应用[J].湖南大学学报(自然科学版),2009,36(11):27—31.
TAN Hao,ZHAO Jiang-hong.Construction and Application of the Quantitative Model of Automobile Form Features[J].Journal of Hunan University(Natural Sciences), 2009, 36(11): 27—31.

[7] 姚湘,曹小琴.强化产品设计之前期概念阶段的用户生活形态研究[J].包装工程,2010,31(8):12—14.
YAO Xiang, CAO Xiao-qin.Research on User s Lifestyle before Strengthening the Preconcept Stage of Product Design[J]. Packaging Engineering, 2010,31(8):12—14.

[8] 姚湘,胡鸿雁,李江泳.基于感性工学的车身侧面造型设计研究[J].包装工程,2014,35(4):40—43.
YAO Xiang, HU Hong-yan, LI Jiang-yong.Automotive Bodyside Styling Design Based on Kansei Engineering[J].Packaging Engineering,2014,35(4):40—43.