

基于 DFA 的 CRH 高速列车外观造型基因提取及应用研究

黄佳智, 董石羽

(西南交通大学 建筑与设计学院, 成都 610031)

摘要: **目的** 研究 CRH 高速列车外观造型基因的提取及应用的方法, 使 CRH 高速列车的优秀外观造型基因得到更好的遗传和发展。**方法** 以产品造型基因理论为出发点, 首先对 CRH 高速列车的显著外观造型特征进行分析, 将主特征线、副特征线、过渡特征线以及附加特征线作为 CRH 高速列车造型基因的关键遗传特征。然后, 运用设计形态分析法 (DFA) 提取出最具代表的 CRH 高速列车外观造型基因。最后将提取的造型基因应用于新概念 CRH 高速列车外观造型设计, 并运用标准差系数的离散程度验证新方案造型的 CRH 高速列车外观造型基因的应用程度。**结论** 通过对 CRH 高速列车外观造型基因的研究, 提出了一种基于设计形态分析法 (DFA) 的 CRH 高速列车外观造型基因的提取及应用方法, 为 CRH 高速列车外观造型设计提供了一定的理论依据。

关键词: 产品造型基因; 高速列车; 设计形态分析法 (DFA); 应用研究

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)14-0249-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.14.032

Application and Extraction of Exterior Appearance Gene of CRH High-speed Train Based on DFA

HUANG Jia-zhi, DONG Shi-yu

(School of Architecture and Design, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

ABSTRACT: This paper aims to study the method of extraction and application of CRH high-speed train appearance genes, so that the excellent CRH high-speed train appearance genes can get better genetic development. Based on the theory of product appearance gene, this paper firstly analyzed the significant appearance features of CRH high-speed train, and took the main feature line, sub feature line, transition feature line and additional feature line as the key genetic features of CRH high-speed train appearance gene. Then, the most representative appearance genes of CRH high-speed train were extracted by DFA (i.e. Design Form Analysis). Finally, it was proposed that the appearance gene was applied to the new concept CRH high-speed train exterior appearance design, and the dispersion degree of standard deviation coefficient was used to verify the application degree of CRH high-speed train appearance gene in phase of the scheme design. Based on the research of CRH high-speed train appearance modeling gene, this paper puts forward a method of extraction and application of CRH high-speed train appearance modeling gene based on DFA, which provides a certain theoretical basis for CRH high-speed train appearance modeling design.

KEY WORDS: product appearance gene; high-speed train; Design Form Analysis (DFA); applied research

近年来,我国高速列车技术已迈入世界前列,开始了“走出去”的发展战略,同时也面临着与德国西门子、法国阿尔斯通、JR 日本国铁和日本川崎重工、

加拿大庞巴迪等铁路装备企业的激烈国际市场竞争^[1-2]。而品牌作为 21 世纪企业最核心的竞争力,铁路相关企业之间的竞争最直接的表现就在于品牌的

收稿日期: 2021-03-09

基金项目: 教育部人文社科基金项目《中国高速列车设计基因研究与创新再设计》(18YJA760011)

作者简介: 黄佳智(1994—),男,贵州人,西南交通大学建筑与设计学院硕士生,主攻工业设计。

通信作者: 董石羽(1971—),男,四川人,硕士,西南交通大学建筑与设计学院副教授,主要研究方向为工业设计。

竞争。造型基因作为一种延续品牌生命力的设计要素,成为了企业关注的重点^[3],被广泛用于汽车^[4]、服装^[5]、工业小产品^[6]等领域中,其目的是提升企业品牌的产品竞争力。目前,国内高速列车外观造型设计研究主要集中在仿生设计^[7-8]、利用造型美学展开设计^[9]、基于空气动力学设计^[10]等,对于如何提取我国现有高速列车的优秀显著造型基因,并应用在新产品中的研究相对欠缺。因此,本文以产品造型基因为理论基础,运用设计形态分析法(Design Form Analysis, DFA)提取出 CRH 高速列车最具代表性的外观造型基因,并将其继承和发扬在新产品开发中,对提升 CRH 高速列车品牌竞争力有着不可估量的作用。

1 产品造型基因概述

产品造型基因是根据生物基因工程领域相关知识提出的一种产品设计理论,是指产品造型中最基本、标准化、通用性和相似性的可被遗传和表达的造型特征,具有继承、借鉴的意义和价值,考虑到造型特征与产品环境和设计情境的相互作用,可进化成适合市场环境的新产品^[11]。

点、线、面等基本元素作为造型表现的最基本语言和单位,是造型信息表达和传递的重要载体,其能够构成产品造型基因可遗传的最基本造型特征^[12]。然而,点的简单特性会导致描述造型特征较为困难,面的复杂特性会导致描述造型特征不够准确,两者分别处于简单与复杂的极端特性位置,因此在产品造型设计中,线成为理解并把握产品造型基因遗传的关键造型特征。此外,在构成产品造型的众多条线中,往往只有部分线的形态与空间组合关系才能决定产品的造型走向以及影响人们的感受,故能够表达产品造型的意向形态的线才是产品造型基因中具有继承、借鉴意义和价值的遗传特征,有研究者^[13]将这类线称为造型特征线或者造型基因特征线。

2 CRH 高速列车外观造型基因分析

高速列车作为一类复杂工业装备产品,其外观造型本质上是由无数的点、线、面通过不同的组合与变化构成的,能被遗传和表达的高速列车外观造型设计基因理所当然地也属于造型基因特征线研究。通过对

CRH 高速列车的外观造型调研以及文献^[14]的分析发现,影响 CRH 高速列车外观造型特征的主要设计因素是整体造型设计和关键设计细节(如车窗、车灯、车门、图案、图形等)。而整体造型设计中,车身是以“节”的形式阵列排布设计,造型特征变化不明显。因此,列车车头造型及设计细节构成了每列 CRH 高速列车的外观造型基因。以 CRH2G 高速列车为例,运用贝塞尔曲线^[15]对列车主要外观造型特征进行描绘,CRH2G 高速列车造型基因分析见图 1。

通过对图 1 的分析可以发现,轮廓线 1、9 把控着车辆造型尺寸大小,其中轮廓线 9 斜度较为平缓,体现了列车很好的气动性,带给人们一种俯冲、快速以及蓄势待发的感觉。分形线 2、3、4 构成 CRH2G 头部造型细节,其所构成的形体传达给人们简洁大气的视觉感受;分形线 10、14 构成的形体较为尖锐,与整体风格的节奏感不谋而合。司机室侧窗的上沿线 5、司机室侧窗的下沿线 6 分别是车头造型面与车身造型面、司机室造型面与客室造型面过渡的造型线,线条走向锋利明确,硬朗的造型线使整体造型更加遒劲有力,强调了 CRH2G 高速列车外观造型的力量感与动感。车体涂装线 7、11、12、13、14 是添加在车身造型上的图形,体现了 CRH2G 高速列车的速度感、科技感的品牌特色,是区别于其他 CRH2 系列高速列车车型的特征之一。

基于此,将以上 CRH 高速列车的外观造型基因特征线主要划分为 4 类:(1)能决定车身比例、控制车身外观造型风格趋势、传达列车意向感受的正侧轮廓线;(2)能决定列车外观造型细节、影响视觉心理的造型细节分形线;(3)能强化列车造型风格特征、丰富造型语言的主造型面之间过渡形成的线;(4)能凸显品牌识别性、提升消费者认知度的局部造型区域附加的图形线。结合文献^[16],本文将这 4 类特征线依次称为主造型基因特征线、副造型基因特征线、过渡造型基因特征线和附加造型基因特征线。

3 设计形态分析法(DFA)的研究

3.1 DFA 设计形态分析法概述

设计形态分析法(DFA)是 21 世纪初由荷兰学者 Warell 提出的一种分类定性的分析方法^[17],其原



图 1 CRH2G 高速列车造型基因分析

Fig.1 Appearance gene analysis of CRH2G high-speed train

是通过对企业产品的造型和形态特征进行相似性比较分析，发现产品中半定量的造型和形态特征数据，找到企业隐含在产品中的基因特征，从而推进企业构建产品品牌形象。设计形态分析法的应用研究思路主要包含两个方面：一是可以通过分析得到企业既有产品中最具代表性的风格特征，并将其用于新产品中，保持品牌生命力的延续性；二是能寻找到企业中最具风格特征的产品，从而对产品设计提供更多的创新指导。

3.2 DFA 的实施方法

DFA 的具体使用方法和规则，设计形态分析法的 DFA 坐标见图 2。(1) 首先将该产品客观的、可见的一系列形态特征 (用 F_i 表示) 列举出来。(2) 然后将产品样本 (用 P_j 表示) 与形态特征一一对应，选择相关人员 (用 n 表示) 按照“强”“弱”“无”的标准进行打分 (程度最强，记为 2 分；程度较弱，记为 1 分；根本不符合，记为 0 分)，每项分值记为

$$\bar{X}_{ijk} = \frac{\sum_{k=1}^n X_{ijk}}{n} \quad (i, j, n \geq 1 \text{ 且为整数})$$

(3) 最后分别计算每行和每列的总分值，每行总分值记为 $G_i = \sum_{j=1}^m \bar{X}_{ijk}$ ，每列总分值记为 $G_j = \sum_{i=1}^m \bar{X}_{ijk}$ (其中， $i, j, m \geq 1$ 且为整数)，总分值最高的行说明该项风格特征最具代表性，总分值最高的列则是具备最多的产品风格特征，反之亦然。

4 实例研究

4.1 研究思路

基于 DFA 的 CRH 高速列车外观造型基因提取及应用的研究思路见图 3，具体步骤包括：(1) 从 CRH 高速列车系列产品中筛选出具有代表性的产品样本，运用贝塞尔曲线描绘出产品外观造型的主造型基因特征线、副造型基因特征线、过渡造型基因特征线和附加造型基因特征线，并将其作为 DFA 中的形态特征；(2) 建立 DFA 坐标，选择合适的被试人员，展

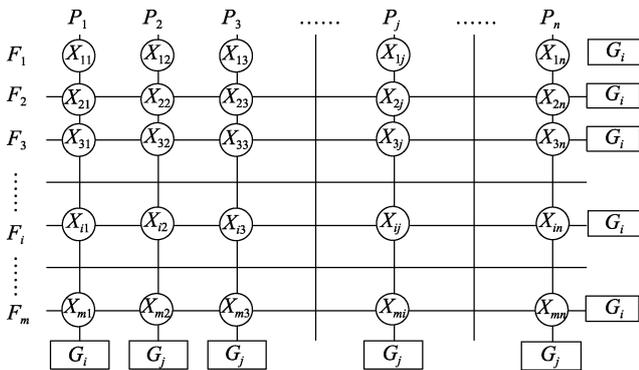


图 2 设计形态分析法的 DFA 坐标

Fig.2 DFA coordinates of Design Form Analysis

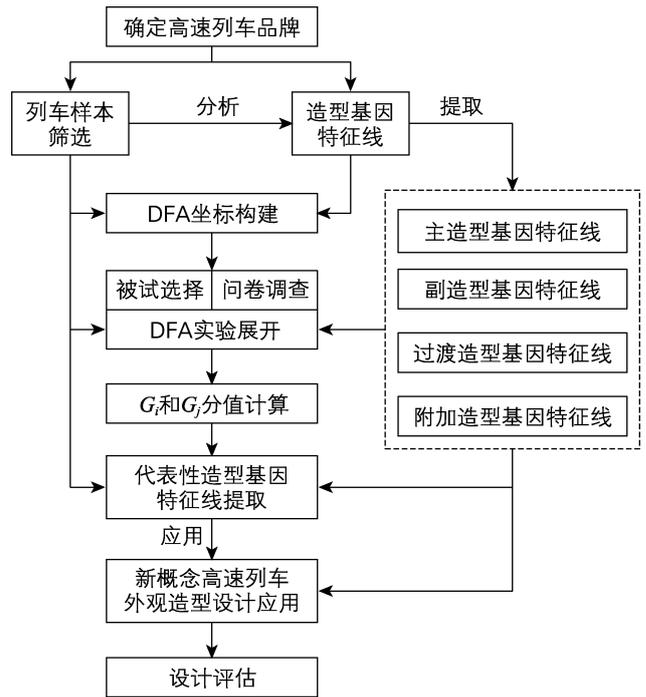


图 3 基于 DFA 的 CRH 高速列车外观造型基因提取及应用的研究思路

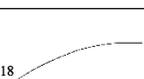
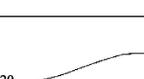
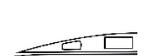
Fig.3 DFA-Based appearance gene extraction and application of CRH high-speed train

开 DFA 的相关实验；(3) 分别提取出总分值 G_i 最高的主、副、过渡、附加造型基因特征线；(4) 将提取出来的造型基因特征线应用于具体设计案例中；(5) 通过被试反馈，验证 CRH 高速列车外观造型基因在新概念设计方案中的应用程度。

4.2 样本筛选

通过调研发现，目前我国在运营的高速列车主要有 CRH1、CRH2、CRH3、CRH5 以及 CRH380 等 5 种车型。根据这 5 种车型的谱系关系，广泛搜集 CRH 高速列车车头外观的实景拍摄图片 (文件格式为 .jpg)，同时结合团队以往的研究成果，汇总后获得有效、清晰、不同视角的图片对象 65 个，为了尽可能多地展现高速列车车头外观特征和包含 CRH 主要车型的谱系关系，以“正面朝左 30°~60°的车头视角”进行样本筛选，经团队专家辅助确认，实验最终获得 CRH1 车型 3 款、CRH2 车型 2 款、CRH3 车型 2 款、CRH5 车型 2 款、CRH380 车型 1 款，共 10 款典型车辆样本。为了进一步降低图片背景等相关干扰因素对被试判断的影响，对获得的 10 款典型车辆样本作灰度处理。运用贝塞尔曲线描绘产品样本外观的造型基因特征线，获得主造型基因特征线 2 组 (包括列车正轮廓、列车侧轮廓)，副造型基因特征线 2 组 (包括列车正头部细节、列车侧面细节)，过渡造型基因特征线 1 组，附加造型基因特征线 1 组。CHR 高速列车样本及外观造型基因特征线见表 1。

表1 CHR高速列车样本及外观造型基因特征线
Tab.1 CHR high-speed train sample and appearance gene characteristic line

产品样本	主造型基因特征线		副造型基因特征线	过渡造型基因特征线	附加造型基因特征线	
P ₁ 	F ₁ 	F ₁₁ 	F ₂₁ 	F ₃₁ 	F ₄₁ 	F ₅₁ 
P ₂ 	F ₂ 	F ₁₂ 	F ₂₂ 	F ₃₂ 	F ₄₂ 	F ₅₂ 
P ₃ 	F ₃ 	F ₁₃ 	F ₂₃ 	F ₃₃ 	F ₄₃ 	F ₅₃ 
P ₄ 	F ₄ 	F ₁₄ 	F ₂₄ 	F ₃₄ 	F ₄₄ 	F ₅₄ 
P ₅ 	F ₅ 	F ₁₅ 	F ₂₅ 	F ₃₅ 	F ₄₅ 	F ₅₅ 
P ₆ 	F ₆ 	F ₁₆ 	F ₂₆ 	F ₃₆ 	F ₄₆ 	F ₅₆ 
P ₇ 	F ₇ 	F ₁₇ 	F ₂₇ 	F ₃₇ 	F ₄₇ 	F ₅₇ 
P ₈ 	F ₈ 	F ₁₈ 	F ₂₈ 	F ₃₈ 	F ₄₈ 	F ₅₈ 
P ₉ 	F ₉ 	F ₁₉ 	F ₂₉ 	F ₃₉ 	F ₄₉ 	F ₅₉ 
P ₁₀ 	F ₁₀ 	F ₂₀ 	F ₃₀ 	F ₄₀ 	F ₅₀ 	F ₆₀ 

4.3 基于 DFA 的 CRH 高速列车外观造型基因提取实验

选择被试共 37 人, 男性 20 人, 女性 17 人, 年龄在 20~56 岁, 其中轨道车辆造型研究专家 3 人, 专业造型设计师 4 人, 工业设计专业研究生 14 人, 工业设计专业博士生 5 人, 高速列车工作人员 6 人, 乘客 5 人, 所有人对高速列车都有一定的了解。

具体实验过程主要包括: (1) 首先将高速列车的 4 类造型基因特征线分别与 10 款车辆样本一一对应, 建立 6 个 DFA 坐标问卷调查表; (2) 开始测试前, 先向被试人详细介绍设计形态分析法 (DFA) 的实施规则, 然后将 DFA 坐标问卷调查表分发给 37 名被试人员, 要求每个被试人独立填写表中的每项分值, 在实验过程中, 主试者只提供必要的操作说明和技术

帮助, 不干涉和引导被试人的思维; (3) 收集获得有效问卷 35 份, 统计每个 DFA 坐标问卷调查表中每种特征 G_i 分值, DFA 坐标问卷调查表分值统计结果 (部分) 见图 4。

根据数据统计结果, 筛选获得各表中总分值最高的造型基因特征线, 其中主造型基因特征线 F_6 (7.18) 和 F_{18} (9.00)、副造型基因特征线 F_{25} (7.01) 和 F_{37} (8.64)、过渡造型基因特征线 F_{49} (8.65)、附加造型基因特征线 F_{51} (11.65) 是最具 CRH 高速列车的外观造型基因的造型基因特征, CRH 高速列车最具代表性的外观造型基因见表 2。因此, 在 CRH 高速列车外观造型的新概念设计中, 应适当强化结合最具代表性的造型基因特征, 来延续 CRH 高速列车品牌基因的传承。

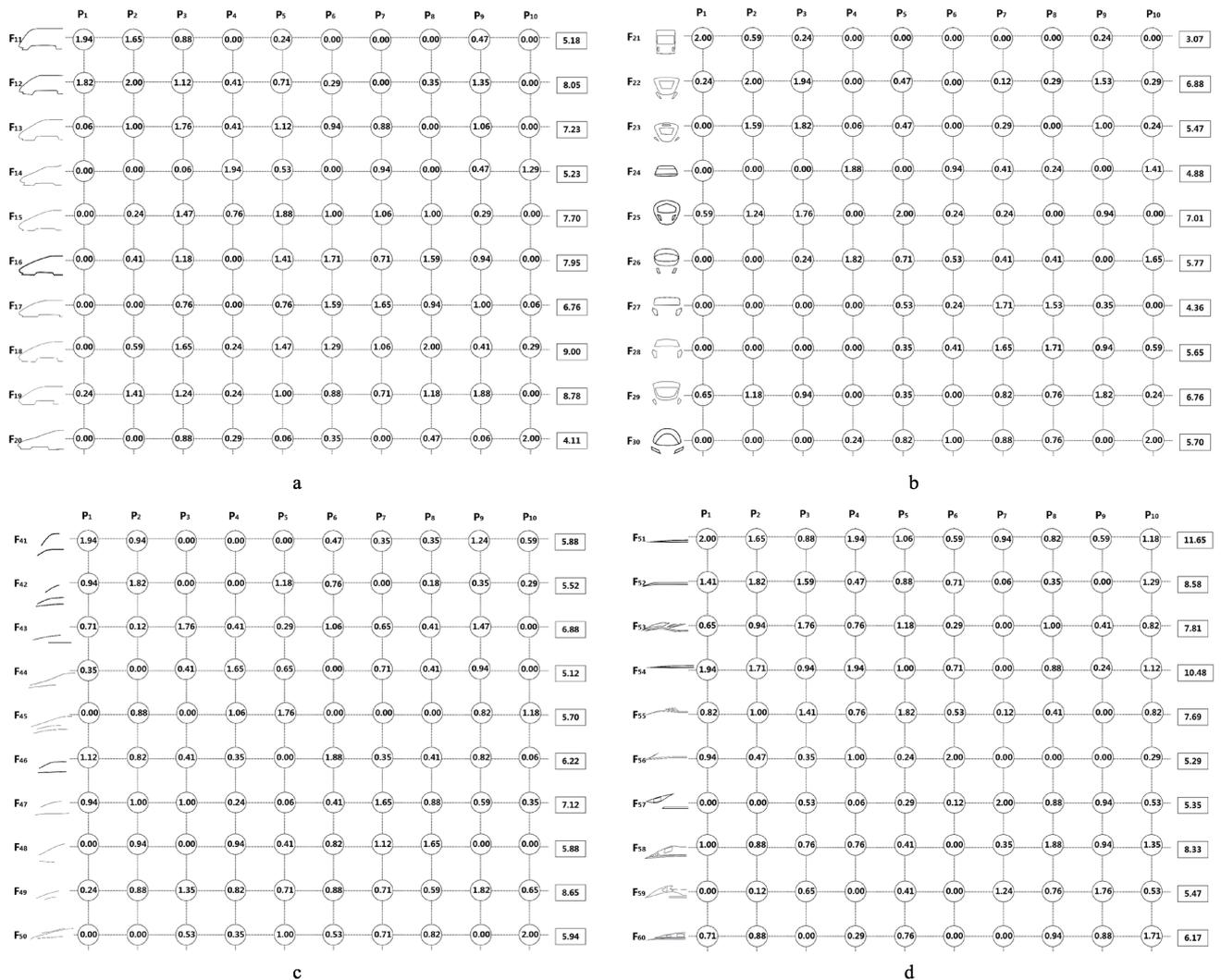
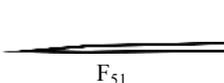


图 4 DFA 坐标问卷调查分值统计结果 (部分)
Fig.4 Statistical scores results of DFA coordinate questionnaire (part)

表 2 CRH 高速列车最具代表性的外观造型基因
Tab.2 The most representative appearance gene of CRH high-speed train

主造型基因特征线	副造型基因特征线	过渡造型基因特征线	附加造型基因特征线
 F ₆	 F ₁₈	 F ₂₅	 F ₅₁
 F ₃₇		 F ₄₉	

4.4 CRH 高速列车外观造型基因的设计应用

CRH 高速列车外观造型基因的设计应用主要经历 6 个步骤：(1) 比例尺度确定，通过主造型基因特征线 F₆ 确定车头的前视图的比例尺度，运用主造型基因特征线 F₁₈ 确定列车侧视图的比例尺度；(2) 细节完善，对于列车的驾驶室前窗、驾驶室侧窗与客室车窗的细节设计，分别运用副造型基因特征线 F₂₅、F₃₇ 加以确定；(3) 丰富造型语言，通过调整过渡造型基因特征线 F₄₉ 在 CRH 高速列车侧面的位置，力求能够凸显列车造型运动感的风格特征；(4) 涂装设计，

将附加造型基因特征线 F₅₁ 确定在列车侧面的客室车窗下沿，凸显 CRH 高速列车品牌的识别度；(5) 对以上的造型基因特征进行整合，通过草图进行初步的设计表达，草图设计见图 5；(6) 将草图方案导入 Rhino3D NURBS 进行建模，然后运用 Photoshop CC 2019 软件制作效果图。最终的设计方案效果以正视图、侧视图和透视图呈现，方案效果见图 6。

4.5 设计评估

为了进一步验证新概念设计方案在 CRH 高速列车外观造型基因研究的应用程度，本文选择从事工业

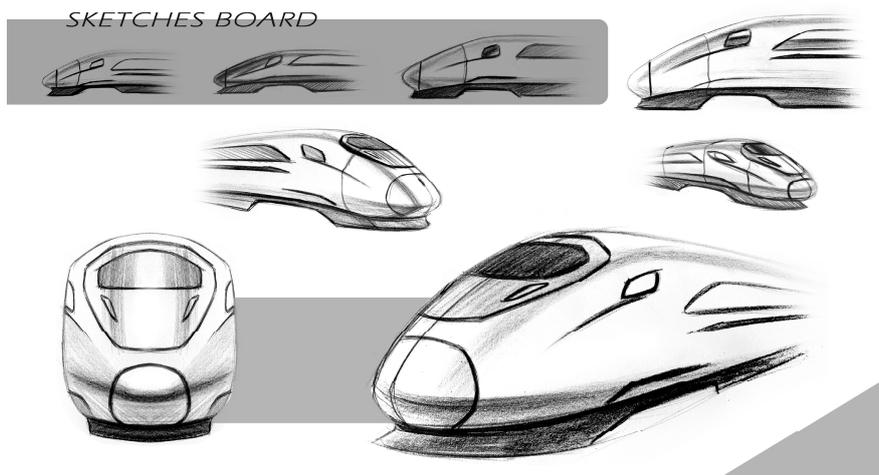
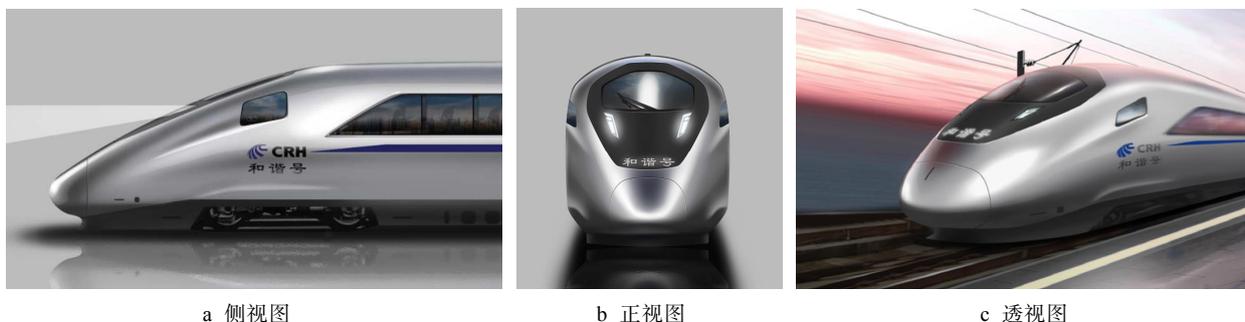


图5 草图设计
Fig.5 Sketching design



a 侧视图

b 正视图

c 透视图

图6 方案效果
Fig.6 Scheme effect

表3 方案评价结果
Tab.3 Scheme evaluation results

数值/造型基因样本						
平均值	4.7	4.4	5.0	4.0	4.6	5.0
标准差系数	9.7%	18.1%	0.00%	18.1%	10.6%	0.00%

造型设计研究的10名被试人员,分别对CRH高速列车新概念设计方案的4种外观造型基因特征线的应用程度进行打分(5分制),计算得出每种外观造型基因特征线的总分数,并运用标准差系数 $V\sigma = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\%$ (其中, $V\sigma$ 为标准差系数, σ 为标准差, \bar{X} 为均值) 请作者用公式编辑器进行编辑(插入一公式)分析分数的离散程度。最终的方案评价结果见表3,可以看出,每种外观造型基因特征线的评价分数均值普遍较高,都超过了3分(以3分作为较为显著的基准),且每项标准差系数都较小,证明被试人员对每项的打分较为稳定均匀。因此,该方案中的CRH高速列车外观造型基因的应用程度具有显著性。

5 结语

设计形态分析法(DFA)作为一种产品造型基因提取方法,能够高效和便捷地辅助设计师提取工业产品外观的造型基因,有助于挖掘品牌产品的造型特征。文中基于设计形态分析法(DFA)和问卷调查法,提取了CRH高速列车外观造型基因的4种造型特征线,并将其应用到新概念设计方案中。新概念设计方案的造型基因的应用程度具有显著性,这证实了基于DFA的CRH高速列车外观造型基因的提取及应用研究思路、方法具有可行性。后续将围绕CRH高速列车最具代表性的外观造型基因特征,通过与现代设计方法的整合,对CRH高速列车外观造型概念设计方案进行深入设计、评价和迭代。

参考文献:

- [1] 谢久明, 赵凤娇, 李相泉, 等. 先进轨道交通产业发展现状研究[J]. 机械设计, 2018, 35(1): 119-121.
XIE Jiu-ming, ZHAO Feng-jiao, LI Xiang-quan, et al. Research on the Development of Advanced Rail Transportation Industry[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(1): 119-121.
- [2] 张建平, 吕祥. 我国高速列车外观设计进展与趋势研究[J]. 机械设计, 2019, 36(3): 127-132.
ZHANG Jian-ping, LYU Xiang. Research on Development and Trend of High-speed Train Exterior Design of China[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(3): 127-132.
- [3] 张文泉, 赵江洪. 奥迪品牌造型基因研究[J]. 包装工程, 2007, 28(4): 84-86.
ZHANG Wen-quan, ZHAO Jiang-hong. Study on Audi Brand Form Gene[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(4): 84-86.
- [4] 郭磊, 吉晓民, 白晓波. 福特汽车前脸造型的品牌基因研究[J]. 装饰, 2013(237): 100-102.
GUO Lei, JI Xiao-min, BAI Xiao-bo. Brand Genetics of Ford's Front Face[J]. Zhuangshi, 2013(237): 100-102.
- [5] 郑晶. 基于品牌风格基因的服装系列设计方法[J]. 装饰, 2017(295): 128-129.
ZHENG Jing. Clothing Series Design Method Based on Brand Style Gene: Taking Dior as an Example[J]. Zhuangshi, 2017(295): 128-129.
- [6] 柳祿, 傅秀清, 康敏. 面向品牌识别的中小企业产品造型DNA设计研究[J]. 机械设计, 2014, 31(9): 105-108.
LIU Lu, FU Xiu-qing, KANG Min. Research on DNA Design of Small and Medium-sized Enterprise Product Modeling for Brand Recognition[J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(9): 105-108.
- [7] 陆冀宁, 徐伯初, 丁磊. 3种不同的高速列车头车造型仿生设计[J]. 包装工程, 2017, 38(2): 26-30.
LU Ji-ning, XU Bo-chu, DING Lei. Three Different Kinds of Bio-inspired Design of High Speed Train Head[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(2): 26-30.
- [8] 陆冀宁, 徐伯初, 支锦亦, 等. 高速列车头型的意象仿生设计[J]. 机械设计, 2017, 24(9): 106-110.
LU Ji-ning, XU Bo-chu, ZHI Jin-yi, et al. Image Bionic Design of High Speed Train Head Modeling[J]. Journal of Machine Design, 2017, 24(9): 106-110.
- [9] 李芳, 康洪军, 董石羽, 等. 高速列车头型设计方法研究[J]. 机械设计, 2016, 33(8): 121-124.
LI Fang, KANG Hong-jun, DONG Shi-yu, et al. Design Method on Head Modeling of High Speed Train[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(8): 121-124.
- [10] 闫永蚕, 汤洲, 高楠, 等. 基于空气动力学的高速列车造型设计研究进展[J]. 机械设计, 2017, 34(6): 105-112.
YAN Yong-can, TANG Zhou, GAO Nan, et al. Research Progress on Modeling Design of High-speed Train Based on Aerodynamics[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(6): 105-112.
- [11] 杨金勇, 黄克正, 尚勇, 等. 产品基因研究综述[J]. 机械设计, 2007, 24(4): 1-4.
YANG Jin-yong, HUANG Ke-zheng, SHANG Yong, et al. Review of Product Gene Research[J]. Journal of Machine Design, 2007, 24(4): 1-4.
- [12] 侯冠华. 产品造型基因意向模型的建立及其应用[J]. 机械设计, 2014, 31(3): 105-108.
HOU Guan-hua. Establishment and Application of Product Modeling Gene Intention Model [J]. Journal of Machine Design, 2014, 31(3): 105-108.
- [13] 王波, 杨景全. 车顶“四特征线”的造型设计与分析方法[J]. 装饰, 2019(318): 108-111.
WANG Bo, YANG Jing-quan. Modeling and Analysis Method of “Four Characteristic Lines” at the Car's GreenHouse[J]. Zhuangshi, 2019(318): 108-111.
- [14] 张榆, 李洋, 李娟, 等. 从特征线到高速列车的造型设计[J]. 机械设计与研究, 2013, 29(4): 68-71.
ZHANG Yu, LI Yang, LI Juan, et al. From Characteristic Lines to the Shape Design of High-speed Train[J]. Machine Design and Research, 2013, 29(4): 68-71.
- [15] 付鹏飞. 贝塞尔曲线在汽车设计中的运用[J]. 企业技术开发, 2012, 31(26): 46-47.
FU Peng-fei. Application of Bezier Curve in Automobile Design[J]. Technological Development of Enterprise, 2012, 31(26): 46-47.
- [16] 邓亚林, 刘宝乾, 尹欢. 基于形态特征线的电动汽车造型设计[J]. 包装工程, 2018, 39(10): 199-203.
DENG Ya-lin, LIU Bao-qian, YIN Huan. Design for the Modeling Design of Electric Vehicles Based on the Feature Line[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(10): 199-203.
- [17] Oscar Person, Jan Schoormans, Dirk Snelders, et al. Should New Products Look Similar or Different? The Influence of the Market Environment on Strategic Product Styling[J]. Design Studies, 2008, 29(1): 30-48.