

基于形状文法的现代有轨电车造型谱系化设计研究

陈威, 董石羽, 向泽锐
(西南交通大学, 成都 610031)

摘要: **目的** 研究现代有轨电车造型谱系化设计的流程及方法。**方法** 以产品造型谱系化设计为出发点, 对国内外现代有轨电车造型设计的现状进行分析, 提出基于形状文法的现代有轨电车造型谱系化的设计方法, 并结合中车唐山公司现代有轨电车造型设计的实例展开研究。首先, 从造型线、几何形状、形状组合关系 3 个方面分析车辆造型; 其次, 运用设计形态分析法和形状文法提取典型特征、推演新形状; 最后, 将新形状应用到现代有轨电车的造型设计中, 并对方案的继承性进行验证。**结论** 该方法能够保证在典型特征衍生的同时, 兼顾车辆外观造型设计的创新, 为现代有轨电车造型谱系化设计提供参考依据。

关键词: 形状文法; 现代有轨电车; 造型设计; 谱系化

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)22-0157-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.22.026

Form Pedigree Design of Modern Tram Based on Shape Grammar

CHEN Wei, DONG Shi-yu, XIANG Ze-rui
(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

ABSTRACT: The work aims to research the process and method of form pedigree design of modern tram. Based on the form pedigree design of the product, the current situation of form design of modern tram at home and abroad was analyzed. The method for form pedigree design of modern tram based on shape grammar was put forward. The research was conducted in combination with the example of form design of modern tram in CRRC Tangshan Co., Ltd. First of all, the tram form was analyzed from three aspects including the form line, geometrical shape and form combination relationship. Secondly, the typical characteristics were extracted and the new form was deduced in the method of design form analysis and the shape grammar. Finally, the new form was applied in the shape design of the modern tram, and the scheme inheritance was verified. The proposed method can ensure that the innovation of the modern tram appearance is considered in the meantime of the derivation of tram's typical characteristics, and provide the reference basis for the form pedigree design of the modern tram

KEY WORDS: shape grammar; modern tram; form design; pedigree

我国在高速列车、磁悬浮列车、地铁车、有轨电车、悬挂式单轨车等各种轨道交通工具领域都取得了重大成就^[1]。随着城镇化的快速推进, 国家采取加强基础设施建设来拉动经济增长的方式, 这将带来城市轨道交通产业的蓬勃发展^[2]。轨道交通车辆造型设计有利于彰显地域文化特色, 展现科技美、技术美, 并能够为企业建立良好的产品品牌形象^[3]。笔者针对现

代有轨电车车身的造型设计, 提出了现代有轨电车车身造型设计的基本原则, 以及提出了面向地域文化的现代有轨电车车身造型的设计方法^[4]。我国在“十二五”科学和技术发展规划中明确提出了开展轨道交通车辆谱系化的研究, 基于上述背景, 本文对我国现代有轨电车这一轨道交通车辆的造型谱系化设计进行研究, 提出了基于形状文法的现代有轨电车车辆造型

收稿日期: 2018-09-10

基金项目: 四川省社会科学“十二五”规划 2015 年度项目 (SC15E110); 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (17YJC760102)

作者简介: 陈威 (1983—), 男, 湖北人, 硕士, 西南交通大学讲师, 主要研究方向为工业设计。

通讯作者: 董石羽 (1971—), 男, 四川人, 西南交通大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为产品设计理论和交通工具设计理论。

谱系化的设计方法。

1 产品谱系化设计

系谱学原意指研究家族或种族血统关系及历史的科学，可以帮助人们理解事物的起源及其演变过程^[5]。模拟达尔文的“进化谱系”理论，人类将生命现象中的系谱理论引入设计中，目前谱系化设计被应用到产品概念结构多方案设计、陶瓷艺术创新、广告语言谱系化设计以及谱系化高速动车组系统的集成技术中^[6]。

产品造型谱系化设计可以定义为：企业为适应市场需求，按照合理的产品造型设计策略，使企业产品形态形成具有继承关系的设计方法。合理有效地开展产品造型谱系化设计，有利于企业构建一个完整的产品品牌形象，提高产品的识别度^[7]。

2 国内外现代有轨电车造型分析

通过对国内外现代有轨电车的车辆外观进行调查可以发现，由于国内现代有轨电车发展相对较晚，所以谱系化特征并不明显。例如德国西门子现代有轨电车的车身造型谱系化特征明显，从较早的 GT Tram 到现代的 Avenio M，车身造型从直线风格发展到今天的曲线风格，可以从车辆司机室的前窗、侧窗看出这一变化；又例如法国阿尔斯通现代有轨电车 Citadis 系列，其 U 字形的前脸造型成为 Citadis 302 系列的主要特征；再例如波兰 Pesa Twist 系列现代有轨电车，整车以红色作为车身主色，白色作为装饰线条，车头前脸“U”造型特征明显；还有意大利喜瑞（Sirio）现代有轨电车系列，圆形的前脸是每款车型的突出特征，同时又从面罩造型线、车灯组合排列形式出发，进行了区别性设计。国内外现代有轨电车造型现状见表 1。

表 1 国内外现代有轨电车造型现状
Tab.1 Form status of modern tram in the word



基于上述分析，可以得出直接影响现代有轨电车外观造型谱系化设计的要素主要包括前挡风系统（司机室前窗与侧窗）、前立柱、面罩、车灯和车钩罩的造型。

3 基于形状文法的现代有轨电车造型谱系化设计流程

3.1 形状文法

20 世纪 70 年代，乔治·斯蒂尼提出了形状文法，这是一种借助语言文法、计算机技术使符号产生新形状的一种设计方法^[8]。形状文法由 4 个部分构成，用公式表达为 $SG = (S, L, R, I)$ 。其中，S 是企业产品经过一定期限的发展，形成较为稳定的形状要素的有限集合；L 是符号的有限集合，符号是形状上的标记，在形状推演的过程中可以选择是否使用形状标记；R 是 $\alpha \rightarrow \beta$ 的形状推演规则的有限集合， α 是带符号的初始形状， β 是推演后的带符号标记的新形状；I 则是初始形状^[9]。

3.2 形状推演规则

形状文法定义的一个形状集合称为语言，这种语言包含所有应用形状文法生成的带符号的或不带符号的形状。初始形状可以通过生成性规则和修改性规则衍生出新形状，生成性规则包括置换和增删，有利于企业产品在谱系化过程中进行造型的创新；修改性规则包括缩放、旋转、错切、平移、拉伸等。形状推演规则见表 2。

表 2 形状推演规则
Tab.2 Inference rules of shape

| 规则 | 方法 |
|----|--|
| 置换 | 用全新的形状替换企业产品初始形状 |
| 增删 | 包括两个方面，第一，在初始形状的基础上增加全新的形状；第二，删除初始形状的局部形状或全部形状 |
| 缩放 | 单轴或两轴缩小或放大初始形状的部分或全部曲线 |
| 旋转 | 对初始形状进行角度变换 |
| 错切 | 错切变换在继承初始形状特征的同时，通过改变初始形状坐标值的方法衍生新形状 |
| 平移 | 对初始形状的局部结点进行 X、Y 方向的位移 |
| 拉伸 | 沿 x 或者 y 轴，对初始形状进行单方向的比例因子改变 |

生成性规则
修改性规则

3.3 基于形状文法的形态谱系化过程

企业中历史产品的典型特征构成了谱系设计中的初始形状 S，通过执行不同的形状文法规则，会产生多种新形状，将新的形状融入设计中，则会产生多

种新的方案。初始形状依照推理规则反复迭代，产品形态谱系即可形成，进而形成企业产品造型的谱系。基于形状文法的形态谱系化过程见图 1。

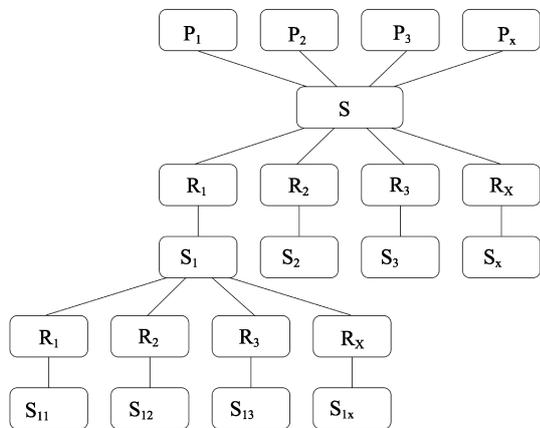


图 1 基于形状文法的形态谱系化过程

Fig.1 Process of form pedigree based on the shape grammar

3.4 基于形状文法的现代有轨电车造型的设计流程

首先，确定企业车辆造型需要继承的初始形状；其次，将形状文法规则推演的新形态融入到产品方案设计中；最后，验证方法的合理性。具体包括以下环节：第一步，选定某轨道交通车辆品牌作为研究对象，并对具有代表性的车辆形态进行整理、分类；第二步，分析车辆造型特征，提取具有代表性的造型因子，利用设计形态分析法提取外观形态和组合形态典型特征^[10]；第三步，确立外部约束，现代有轨电车造型设计的外部约束包括美学要求和车辆硬点要求，美学要求包括形态、比例、空间关系，车辆硬点要求包括尺寸、结构、制造工艺、人机工程学；第四步，选择推演规则，执行形状文法，产生新的形状；第五步，将推演出的形状应用到车辆造型设计中；第六步，方案评价。基于形状文法的现代有轨电车造型的设计流程见图 2。

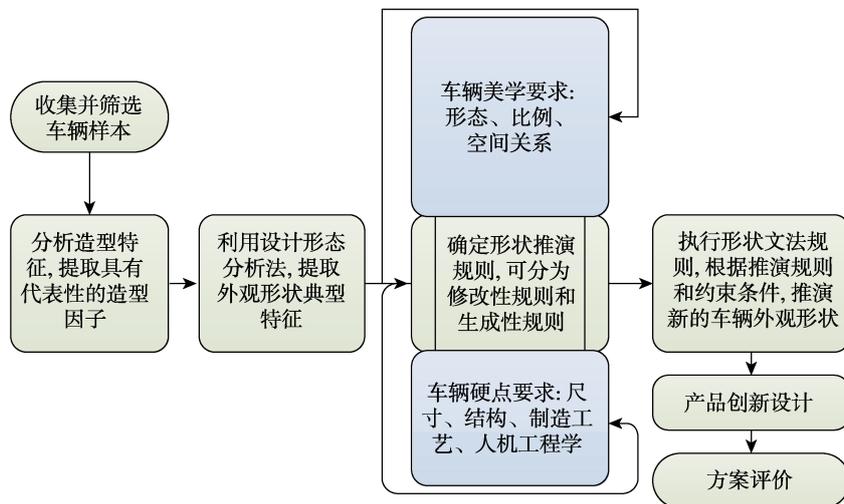


图 2 基于形状文法的现代有轨电车造型的设计流程

Fig.2 Process of form design for modern tram based on shape grammar

4 设计实例

本文以中车唐山公司现代有轨电车车辆的造型设计为例，展开谱系化设计研究。通过造型谱系化设计建立强有力的品牌形象，有助于使中车唐山公司成为具有较强市场竞争力的轨道交通装备企业。

4.1 中车唐山公司轨道车辆样本收集

搜集中车唐山公司轨道的车辆图片，并将其进行分类整理，得到对本次研究有价值的车辆样本。获得了地铁车 4 款、现代有轨电车 2 款、市域城际动车 4 款、城际动车 1 款、轻轨车 1 款、磁浮列车 2 款、米轨动车 2 款、高速综合检查车 1 款，共 8 个类别，17 款车型，中车唐山公司研制的主要轨道车辆见图 3。

4.2 中车唐山公司轨道车辆的典型特征提取

首先，运用计算机辅助设计软件 CorelDraw 进行

车辆造型因子分析，具体步骤如下：第一步，将图片导入 CorelDraw 软件中；第二步，为确保顺利执行形状文法推衍规则，选择贝塞尔曲线进行车辆形态描绘；第三步，将描绘出的形态进行解析整理。车辆造型形态解析见图 4。其次，对形态进行归纳整理，删除相似度高的形态，邀请相关专家进行讨论、评价，挑选出具有代表性的造型形态。最后，按照该方法，分析 17 款车型的造型形态，获得车辆局部造型线、几何形状、形状组合因子 22 个，中车唐山公司车辆的造型因子见表 3。

将 22 个造型因子和 17 款车辆分别放在设计形态分析表的 X 和 Y 方向上。选择 10 人作为被测试者，其中行业设计师 3 人、在校的工业设计专业学生 4 人、非工业设计专业学生 3 人。按照设计形态分析法，对造型特征进行计分，相似度高的用黑点标识并计 2 分，相似度低的用空心圆标识并计 1 分。最后将数据

进行统计，运用 SPSS 计算每个车辆样本对应的各个造型因子的平均值，得到的最终数据见图 5。根据数据统计结果，筛选出了前五个造型因子，并将其作为

中车唐山公司轨道车辆典型特征，其中包括 1 个组合因子和 4 个造型因子，中车唐山公司车辆造型的典型特征见表 4。



图 3 中车唐山公司研制的主要轨道车辆
Fig.3 CRRC Tangshan Co., Ltd developed the main railway vehicles

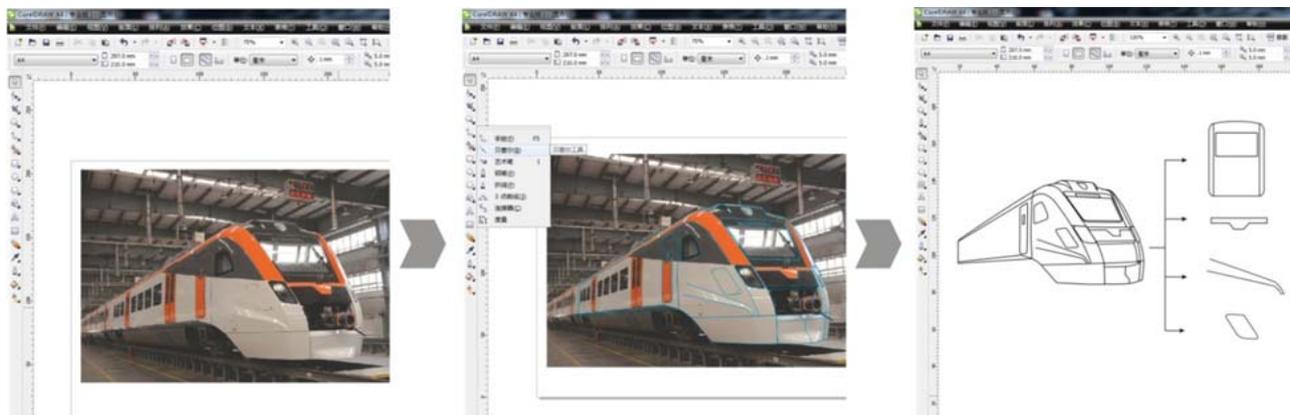


图 4 车辆造型形态解析
Fig.4 Rail vehicle's Form parsing

表 3 中车唐山公司车辆的造型因子
Tab.3 Vehicle's form factor of CRRC Tangshan Co., Ltd

| | |
|--------|--|
| 前脸造型 | |
| 车灯造型 | |
| 形态组合关系 | |
| 侧窗造型 | |
| 前脸局部造型 | |

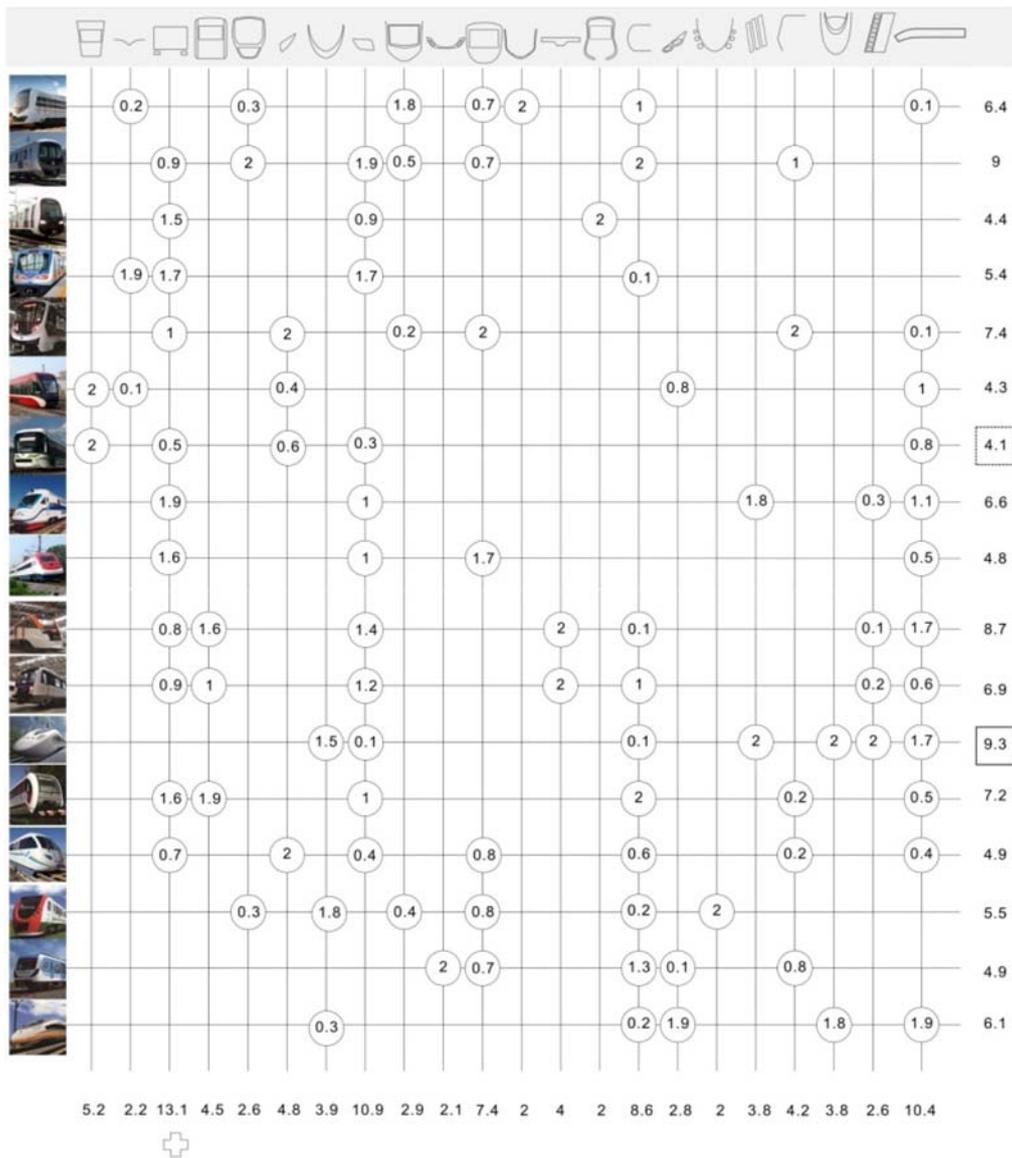


图 5 设计形态分析法所得的最终数据
Fig.5 The final data of Design Form Analysis

表 4 中车唐山公司车辆造型的典型特征
Tab.4 Vehicles typical form characteristic of CRRC Tangshan Co., Ltd

| | | | | | |
|------|---------|----|------|----|------|
| 典型特征 | | | | | |
| | 车灯与车窗组合 | 车灯 | 侧窗 1 | 前脸 | 侧窗 2 |

4.3 现代有轨电车造型设计外部约束

对现代有轨电车车身的造型而言，不仅要遵循造型的美学原则，还要根据人机工学、车辆构造、车身尺寸等展开设计。本文选择 100%低地板浮车型结构车辆进行造型设计，车型结构主要包括两段带有司机室的车体、浮车车体、带转向架车体。在人机工学方面，车头的设计主要为前窗和侧窗，前立柱的设计必须保证驾驶员的操作视野。在车头前脸设计中还应考

虑车钩罩的设计。车身尺寸主要包括车体外轮廓和局部尺寸，车体外轮廓尺寸是指车辆外部的长、宽、高尺寸；车体局部尺寸主要包括驾驶室前窗、侧窗、车门，车身车窗和车门的外形尺寸及这些部件的安装位置尺寸。现代有轨电车尺寸见图 6。

4.4 执行形状文法及方案设计

借助计算机辅助设计软件 CorelDraw14 执行形状文法的推演。依据形状文法的基本原理，选择两个典型特征并将其表示为 I_1, I_2 ，并用 3 次方贝塞尔曲线分别表达，由节点控制其形状，贝塞尔曲线表示的典型特征见图 7。推演规则表示为： R_1 =拉伸， R_2 =平移， R_3 =旋转， R_4 =增删。执行形状文法，将 I_2 的 C_5 和 C_9 结点向两侧平移，整体拉伸 I_2 ，向上平移 C_1 和 C_3 ，将 I_1 执行旋转命令并水平拉伸，根据车身构造要求执行增删规则，最终获得新形状，前脸形状推演过

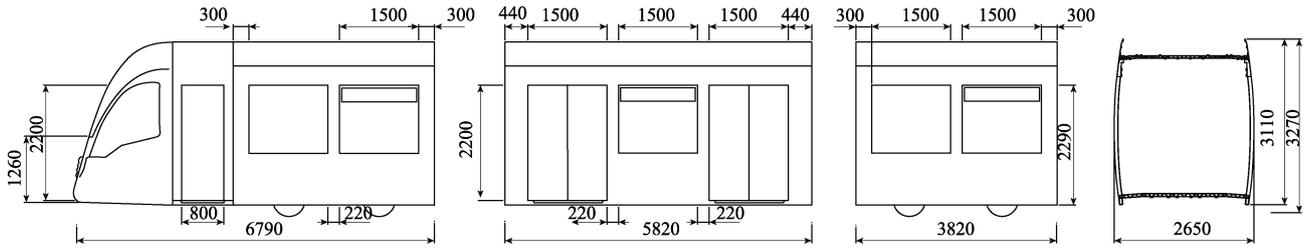


图6 现代有轨电车尺寸
Fig.6 The size chart of modern tram

程见图8。最后把推演出的新形状导入Rhino5.0软件中进行建模,并运用VSR Realtime Renderer 4.0渲染插件制作效果图,方案效果见图9。

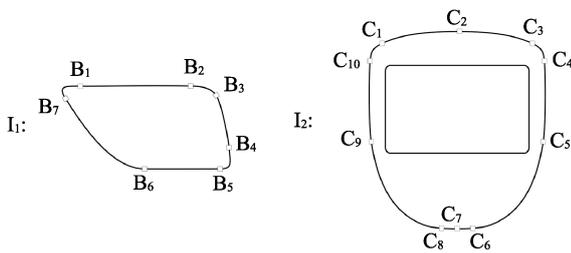


图7 贝塞尔曲线表示的典型特征
Fig.7 Typical form characteristic of the Bezier embryo

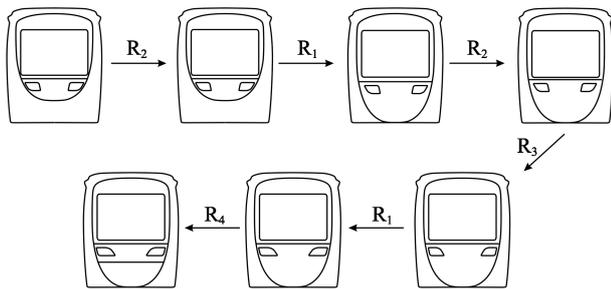


图8 前脸形状推演过程
Fig.8 Deductive process of before the face form



图9 方案效果
Fig.9 The 3D rendering

4.5 方案评价

评价目的:本次方案评价的主要目的是验证方案造型设计是否具有延续性。(2)招募参与者:本实验共招募了30位参与者,其中从事设计专业的设计师8名,工业设计专业大二学生12名,其他非设计专业人员10名。(3)实验准备:在CorelDraw软件中

制作量表图,将方案效果图和量表放在A4的纸面上,写明调查意图,填表方法。准备电脑一台,参与者可以借助电脑更清晰地观察设计方案。(4)实验过程:向参与者讲明测试意图,讲解量表填写方法。借助电脑进行图像展示,将方案放在窗口最前端。(5)实验结果:将问卷上的数据录入SPSS数据分析软件中,输入的数据作为变量,运用分析菜单下描述统计中的频率和描述工具计算百分比和平均分,方案评价数据见表5。从评价数据可以看出,方案具有一定的继承性。

表5 方案评价数据
Tab.4 The data of evaluation

| 得分 |  |  |  |
|-----|---|---|---|
| -2 | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| -1 | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| 0 | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| 1 | 16 (46.7%) | 10 (33.3%) | 13 (43.3%) |
| 2 | 14 (53.3%) | 20 (66.7%) | 17 (56.7%) |
| 平均分 | 1.53 | 1.67 | 1.57 |

5 结论

本文提出了一种基于形状文法的现代有轨电车外观造型谱系化的设计方法,并以中车唐山公司轨道交通车辆为例,在筛选出该企业轨道交通车辆造型的典型特征的基础上,运用形状文法规则推演新的形态,并将其应用到100%低地板现代有轨电车的造型设计中。通过研究可以得出:现代有轨电车谱系化的形态特征主要反映在车辆的车头造型,中间车体的形态特征体现度较弱。在车辆造型设计过程中,若要获得整体造型设计的优秀方案,还需要借助有经验的工业设计师将要素进行整合,从而生成可实施的工程方案。笔者今后将继续对车辆造型的风格特征、色彩涂装等内容展开研究,以便更全面地为具有谱系特征的现代有轨电车造型设计提供理论依据。

参考文献:

[1] 翟婉明,赵春发.现代轨道交通工程科技前沿与挑战

- [J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(2): 209—210.
ZHAI Wan-ming, ZHAO Chun-fa. Frontiers and Challenges of Sciences and Technologies in Modern Railway Engineering[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2016, 51(2): 209—210.
- [2] 施仲衡. 抓住机遇, 再创“十三五”城市轨道交通新辉煌[J]. 都市快轨交通, 2016, 29(1).
SHI Zhong-heng. Seize the Opportunity, to Create New Glory for Urban Rail Transit During the 13th Five-Year Plan Period[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2016, 29(1).
- [3] 徐伯初. 轨道交通车辆造型设计[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
XU Bo-Chu. Form Design of Rail Transit Vehicle[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [4] 李静静, 支锦亦, 向泽锐, 等. 地域文化符号在现代有轨电车设计中的应用[J]. 包装工程, 2015, 36(2): 110—113.
LI Jing-jing, ZHI Jin-yi, XIANG Ze-rui, et al. Application of Regional Culture Symbol in Modern Tram's Design[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(2): 110—113.
- [5] 殷杰. 系谱学与社会科学[J]. 山西大学学报哲学社会科学版, 2008, 31(1): 6—10.
YIN Jie. Genealogy and Social Science[J]. Journal of Shanxi University Philosophy and Social Science, 2008, 31(1): 6—10.
- [6] 都青华, 邢海英, 李瑞淳, 等. 高速动车组谱系化技术研究平台初探[J]. 兰州交通大学学报, 2014, 33(6): 141—144.
DU Qing-hua, XING Hai-ying, LI Rui-chun, et al. The Research Platform of Pedigree Technology for High Speed EMU[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2014, 33(6): 141—144.
- [7] 刘霁虹. 基于认知识别的谱系化产品设计研究[J]. 装饰, 2016(2): 142—143.
LIU Ji-hong. Study on Product Pedigree Design Based on Pattern Recognition[J]. Zhuangshi, 2016(2): 142—143.
- [8] CHASE S C. Shapes and Shape Grammars: From Mathematical Model to Computer Implementation[J]. Environment & Planning B Planning & Design, 1989, 16(2): 215—242.
- [9] SADLER G, JARVIS O N, VAN BELLE P, et al. Introduction to Shape and Shape Grammars[J]. Environment & Planning B Planning & Design, 1980, 7(3): 343—351.
- [10] ERSON O, SCHOORMANS J, SNELDERS D, 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.