

城市轨道交通车辆配色与装饰设计的快速表达技术

赵赢男, 刘肖健

(浙江工业大学, 杭州 310012)

摘要: **目的** 对城市轨道交通车辆的外观造型进行归纳和总结, 开发智能参数化设计技术软件, 帮助设计师进行快速装饰、配色设计及方案效果预览。**方法** 基于城轨车头曲线的几何特征, 将其总结归类为 5 种基本造型, 使用二次开发技术建立城轨外观装饰设计模版, 同时引入交互式遗传算法配色技术, 以实现城轨的快速自动配色。**结果** 基于图形设计软件 CorelDraw 开发了一系列参数化城轨模版, 在二维平面中实现了参数化设计, 并实现了批量生成城轨外形及配色设计方案。**结论** 在设计城轨装饰及配色过程中, 利用智能化设计技术能够更高效地呈现方案, 并批量对比多种方案, 有利于提高设计师的设计和决策效率, 避免了装饰和配色设计中反复、机械化的操作步骤, 提高了设计师的设计效率。

关键词: 城市轨道交通车辆; 外观装饰设计; 智能化配色设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)08-0203-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.08.026

Rapid Expression Technology for Color Matching and Decoration Design of Urban Rail Vehicles

ZHAO Ying-nan, LIU Xiao-jian

(Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310012, China)

ABSTRACT: This paper aims to summarize the appearance of urban rail transit vehicles, develop intelligent parametric design technology software, and help designers carry out rapid decoration and color matching design and preview the effect of the scheme. Based on the geometric characteristics of the front curve of urban rail vehicles, it was summarized and classified into five basic shapes. The secondary development technology was used to establish the exterior decoration design template of urban rail vehicles. At the same time, the interactive genetic algorithm color matching technology was used to realize rapid and automatic urban rail vehicles Color matching. Based on the graphic design software CorelDraw, a series of parametric urban rail vehicle templates were developed, which realized the parametric design in the two-dimensional plane, and realized the design scheme of the shape and color matching of the locomotives in batches. In the process of designing the decoration and color matching of urban rail vehicles, the use of intelligent design technology can more efficiently realize the presentation of schemes and the batch comparison of multiple schemes, which is conducive to improving the designer's design and decision-making efficiency, and avoids repeated decoration and color matching design. The mechanized operation steps improve the designer's design efficiency.

KEY WORDS: urban rail vehicles; exterior decoration design; intelligent color matching design

随着我国高速铁路基础建设的不断完善, 其外观造型也与时俱进, 对城市轨道交通车辆(以下简称“城轨”)的设计需求将在未来几年内迎来高峰^[1-2]。多样

化的用户需求对城市轨道交通车辆高效、快速的设计方法提出了更高的要求, 特别是在概念设计阶段, 概念方案的快速表达工具将为各方交流与沟通提供极大的

收稿日期: 2021-12-03

作者简介: 赵赢男(1995—), 女, 硕士生, 主攻设计学。

通信作者: 刘肖健(1972—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为工业设计。

便利。

1 概述

此次研究来自国内某电力城轨制造公司的合作项目,主要针对城轨外观概念设计阶段,为设计师的原始创意提供一种快速表达方法,以供评估和交流。由于后期的详细设计需要在另外的软件中进行,所以对生成方案的细节要求不高,重点解决方案生成的快速性和多样化问题。城轨设计专用的技术辅助工具很少,因此参考了一些有关概念方案快速生成的文献,以汲取其技术思想。

设计过程中方案的推敲与调整是设计流程的一个技术刚需。对于方案反复调整等低效问题,唐路明等^[3]基于 Rhinoceros 开发了设计师与智能算法协作的交互式优化技术,实现了造型方案的快速生成和优化。吴永芳等^[4]基于 Rhinoceros 开发了轨道车辆轮廓线的智能辅助设计技术,可批量生成参数化轮廓线并进行迭代优化^[4]。王立宏^[5]针对汽车造型,运用 Grasshopper 参数化设计工具快速完成了前格栅 CAS 模型,可以通过调整参数快速衍生出多个备选方案。罗仕鉴等^[6]通过提取汽车外形基因,构建了消费者偏好与汽车外形基因之间的映射模型,开发了汽车外形的概念设计系统,实现了概念方案的快速生成。王兴晨^[7]以电动汽车造型为研究对象,运用 Visual Basic 对 CATIA 进行了二次开发,以特征点、特征曲线为依据,生成了截面特征样条曲线,实现了对电动汽车车身造型的参数化设计,为电动汽车造型的快速建模与创新设计提供了一种新方法。呼和^[8]针对客车车身结构概念设计特点,创建了参数化客车车身结构概念模型,可通过修改车身尺寸参数快速创建批量客车车身结构概念模型。杜子学等^[9]以某跨座式单轨车辆为对象,使用“分析驱动设计”理念建立了隐式全参数化车体模型,通过试验得到了输入变量与性能指标的关系,建立了多学科性能要求的前期全参数化车体模型。瞿晓彬等^[10]为解决汽车新车型设计前期需要大量反复建模、耗费大量人力和时间等问题,对某车型前部车身进行了隐式参数化建模,证明了隐式参数化建模方法开发的可行性,实现了汽车概念设计前期批量方案的建立。刘宝越等^[11]针对汽车车身设计后期反复修改等问题,开发了车身结构概念设计系统的多目标优化模块,为概念设计阶段实现车身轻量化提供了依据,节约了时间和成本。姚拴宝等^[12]针对磁悬浮城轨头型的几何特点,以优化气动阻力和尾车气动升力为目标,采用 VMF 参数化方法和曲面离散方法,进行了高速磁浮城轨头型多目标气动参数化设计,实现了不同城轨头的快速预览。

平面效果图是城轨装饰和色彩设计在创意初期进行方案表达的主要方法。上述研究主要针对城轨造型,对城轨装饰和色彩设计的辅助技术涉及较少,但

依然对其他产品设计具有借鉴价值。王晨等^[13]基于平面软件 CorelDraw 实现了吊灯纹样的快速设计及效果图的快速生成,提高了吊顶设计生产力。傅艺扬^[14]针对丝绸的特点,进行了丝绸的色彩提取、配色规则提取和样稿自动上色,最终实现了批量的配色方案设计。刘洋飞等^[15]基于纺织智能化设计,开发了一种图案智能排布算法,通过设置单元图案密度可以达到多种图案排布效果。黄薇等^[16]开发了亚克力饰品的快速配色技术,实现了配色方案的批量生成和色彩的快速调整。燕耀等^[17]以安塞民间绘画的色彩设计为基础,进行了数字化网络模型构建工作的研究,实现了色彩网络的优化和色彩模型的构建。姚晓林^[18]基于智能 CAD 软件,从提花图案制作的角度开发了智能针织 CAD 操作方法,给出了提花图案制作过程的简易处理方式。李华等^[19]基于 CATIA 参数化建模及 CAA 二次开发技术,开发了单节距花纹和整周拼接模版,实现了轮胎花纹快速拼接设计,缩短了轮胎开发周期,提高了设计自动化水平。

由此可见,目前对城轨装饰与色彩设计的专业化工具的研发需求非常迫切。鉴于相关技术已成熟,在其他产品领域已有较多成功的应用案例,下面将对城轨装饰与色彩概念方案表达的具体需求进行相关技术研究。

2 设计流程分析与功能架构

2.1 设计流程与痛点分析

根据某城轨制造公司的设计流程,城轨配色与装饰的概念设计一般基于 CorelDraw、AI、PS 等平面软件进行处理,其一般流程见图 1^[20]。

城轨设计流程包括以下 4 个部分:

- 1) 绘制车辆外观侧面线稿,并在此基础上进行配色与装饰设计。城轨有多种规格,但相对较规范,车头的造型细节主要考虑纵剖面的轮廓线形态。为形成真实的视觉效果,需要对车型的剖面轮廓以及门窗、转向架、顶部各结构、阴影、背景等细节进行刻画。该过程需要一定的工作量。

- 2) 装饰设计,具体包括装饰带、装饰图案等。装饰设计初期表现为独立的设计任务,即不考虑城轨的载体,先设计完整的装饰方案,然后与车辆进行组合,根据具体效果再进行修改和调整。

- 3) 配色设计。对包括装饰方案在内的待配色区域进行绘制,并对其进行分层或分组,以方便后期修改和调整。在此期间,设计师需要反复对比多种配色方案,因此配色过程是一个不断尝试、迭代、择优的过程。

- 4) 综合方案的修改和调整。修改和调整占据了配色和装饰设计的大部分工作量,包括返回修改的装饰设计方案。独立的装饰方案在车辆载体上呈现的效果可能有较大的变化,一般取决于各细节的影响,如



图 1 城轨外观装饰概念设计流程
Fig.1 Concept design process of urban rail vehicle exterior decoration

门窗、阴影等因素,因此甲方一般要求提供多款方案供综合比较评价,这也是造成工作量增加的一个关键原因。

从设计师的工作量和工作效率角度来看,城轨设计主要有以下 3 个痛点和需求。

1) 车辆线稿的绘制过程比较耗时,因为很多细节是有标准的,不能随意设计,在 CorelDraw、AI 等平面设计软件中对形态和尺寸进行精确设计是个烦琐的任务,但参数化的工程设计软件又不适合表达平面效果。在 2 个软件之间来回切换也很麻烦,毕竟概念方案的细节还没有复杂到工程设计的程度。如果能在平面设计软件中针对城轨的关键特征增加简单的参数化功能,将对提高设计师的工作效率有很大的帮助。

2) 在配色阶段,设计师需要评估多款配色方案,在对比与择优的循环中形成最佳设计,在这个过程中手动配色的效率很低,且方案对比评价非常耗时。设计师需要利用一种快捷方式生成批量方案来供对比,以提高设计效率。

3) 在平面设计稿与城轨载体相结合进行呈现的过程中,需要考虑若干细节因素,如对平面设计稿进行的平移、旋转、缩放等操作。单独呈现的平面设计稿与其在车体上的效果会有很大的差异,且经常需要甲方参与优化过程,并需要实时看到修改结果。

2.2 辅助设计技术的定位

城轨外观装饰和色彩设计的创意自由度较大,因此辅助技术的定位是围绕设计师的概念进行多样化拓展的,以提高效率为主,主要面向程式化流程的自动化处理环节,创意性和决策性的工作仍由设计师完成,形成了人机协作的工作模式。

1) 城轨外观设计载体的自动生成。由于有较为清晰的设计规范和设计标准,所以可通过用户输入的城轨尺寸参数来快速生成各类城轨的外观轮廓,包括城轨车身外形、门窗、阴影效果,其中也包含城轨标准件的插入,如车顶部构件和城轨底部的转向架、车轮等。

2) 配色方案的批量化生成。围绕设计师选定的色彩和配色对象,快速组合出多种配色方案,以供设计师对比、选择和优化。

3) 装饰设计方案与城轨载体的快速匹配。通过分离平面设计过程与城轨载体,以免设计师的创意受到干扰。平面设计稿完成后与城轨载体进行匹配,以实现多方案生成和快速预览,并进行细节调整。

2.3 功能架构

城轨外观装饰和配色设计软件的功能架构分为 4 个模块,见图 2。

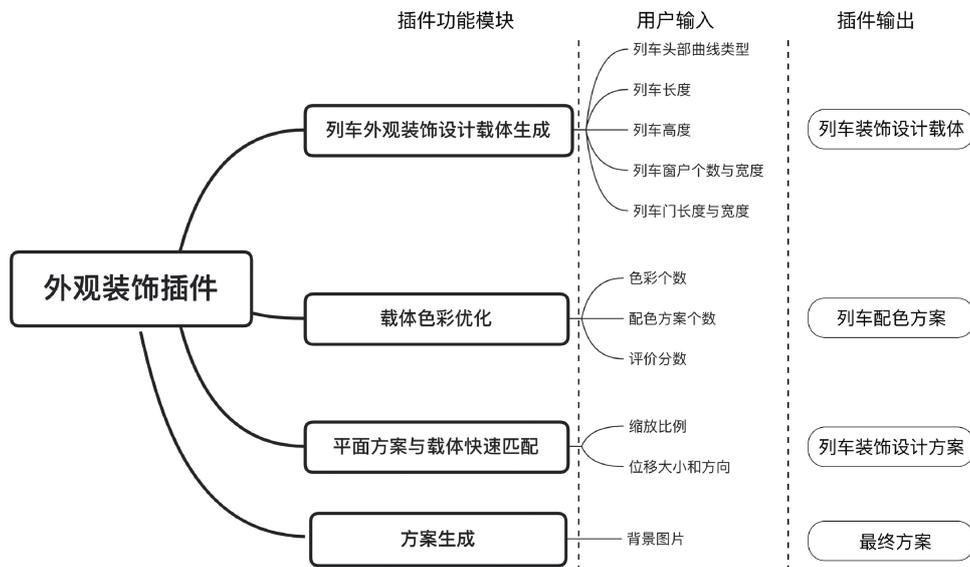


图 2 软件功能架构
Fig.2 Software functional architecture

城轨载体生成模块基于用户输入数据生成规范的城轨侧面视图,通过定义装饰与配色区域,生成光影效果及背景图。装饰模块是对设计师已完成的装饰图案与城轨载体进行匹配和快速调整的一个重要模块。色彩优化模块是对设计方案进行快速配色设计,形成批量化配色方案,以供设计师评价和调整。方案的生成模块可以把完成的设计方案放入各种背景中,从而有助于人们观察城轨整体的设计效果。

3 功能实现

3.1 软件用户界面

选择平面软件 CorelDraw 作为开发平台,软件运行界面见图 3。

3.2 载体生成模块

基于对国内外城轨的侧面轮廓曲线造型特征的分析总结,最终得到 5 类城轨侧轮廓曲线,见图 4。

软件内部用同一个参数化模板来统一表达 5 种车型的侧面轮廓曲线,曲线的 7 个控制点加上每个控制点处的切矢可以组合出全部 5 种类型的城轨侧面轮廓线,见图 5。这种参数化表达的好处如下:如果用户所需的轮廓曲线不在 5 种之内,可以让用户根据实际需求选择一个最接近的,生成曲线之后再通过对控制点进行手动小幅调整来得到满意的曲线形态。如此,设计师的工作量被控制在可接受的范围之内,比手工绘制一条完整的轮廓曲线要高效得多。侧轮廓曲线以外的其他细节比较简单,可以通过横向和纵向的尺寸参数和位置参数进行控制。城轨载体的生成过程见图 6。

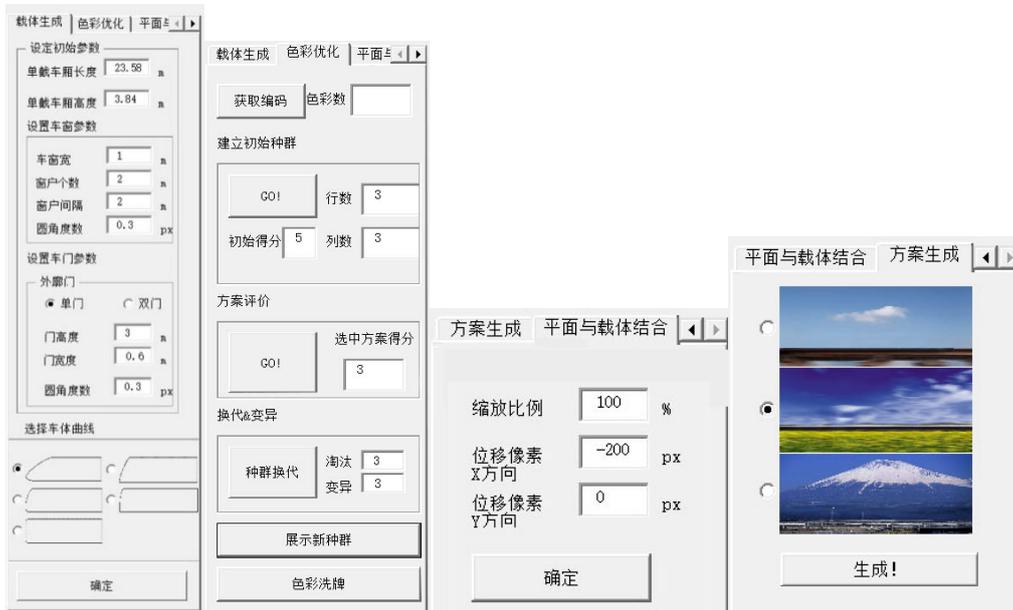


图 3 软件运行界面
Fig.3 Software operation interface

列车类型名称	列车图片	列车车头曲线
直立后倾型		
子弹头型		
半部后倾型		
面部平板型		
全部后倾型		

图 4 城轨侧面轮廓曲线类别
Fig.4 Classification diagram of urban rail profile curve

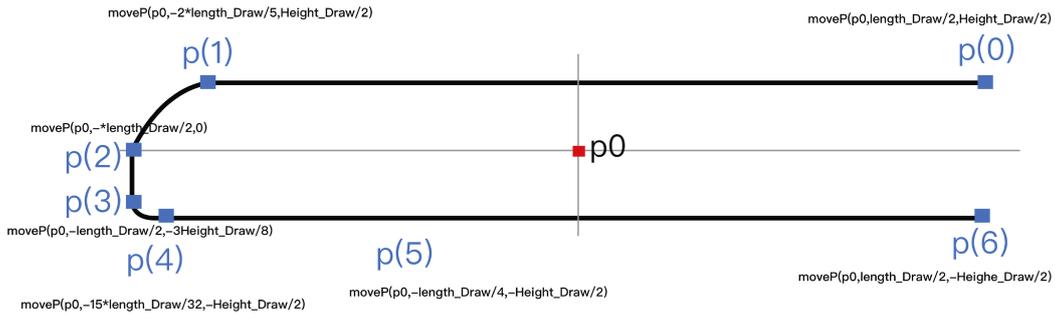


图 5 城轨侧面轮廓曲线模板
Fig.5 Urban rail profile curve template

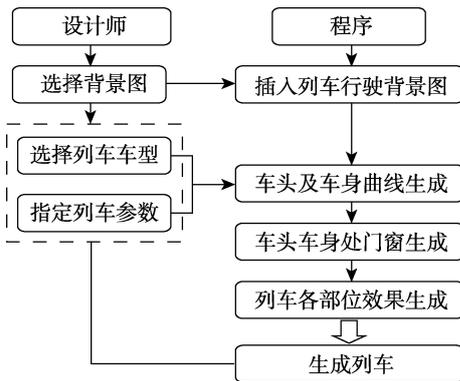


图 6 软件开发流程与设计师交互流程
Fig.6 Software development process and designer interaction process

首先生成城轨的侧面轮廓曲线, 包括车头及部分车身。用户从 2 种车体曲线中选择所需的曲线类型, 并进行手动调整。程序根据用户输入的车头长度和高度、车窗和车门的长宽尺寸等参数画出图 5 所示的贝塞尔曲线。由于 CorelDraw 无法为开环曲线上色, 所以对曲线右端进行封闭处理, 使之形成可填充的区域。然后, 基于布尔运算生成头部的车窗。车门和车身的车窗根据用户自定义参数生成, 用户可以通过调整参数来改变车门款式和数量, 见图 7。

侧视图生成后, 将城轨行驶背景图导入页面以增加真实感, 这一步通过调用本地图片来完成。背景图导入后调整尺寸和位置 (需要配合手动操作), 并将

其设置为最底层。基于同样的方法插入转向架、顶部空调、受电弓等细节。这些细节为固定形态的标准部件, 不需要变化, 因此可以事先手绘完成并保存在图形库中供随时调用。

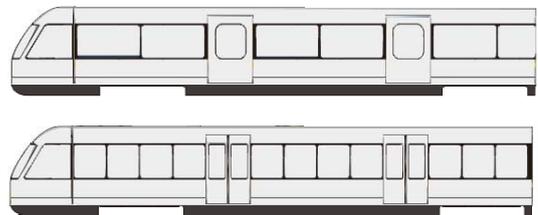


图 7 通过参数变化得到的 2 种车门和车窗
Fig.7 Two kinds of doors and windows obtained through parameter changes

根据城轨外观装饰设计的常用需求, 程序里设置了添加城轨装饰带的模块, 可为后续在该装饰带区域单独进行设计提供便利。

最后自动添加城轨细节和阴影效果。在模版生成过程中分别为各部位车窗及车门增加光影效果, 外观顶部和底部增加亮度渐变和高光效果, 从而营造出圆弧过渡的立体感。光影细节为叠加在设计稿上的透明或半透明图形, 基于已生成的车体、门窗等图形要素进行实时构建, 使两者可以保持吻合, 不受参数变化的影响, 同时也不干扰平面设计稿。最终生成的 5 种城轨效果见图 8。



图 8 城轨参数化模板生成效果
Fig.8 Renderings of parameterized urban rail template generation

3.3 平面装饰与载体的结合

装饰部分采用设计师和程序分工合作的方式,将设计师的平面装饰设计稿与城轨参数化模版结合起来,通过调整装饰设计稿的缩放、位移等细节来实现装饰效果的快速预览。

平面装饰设计稿与车体结合之前可以进行缩放、

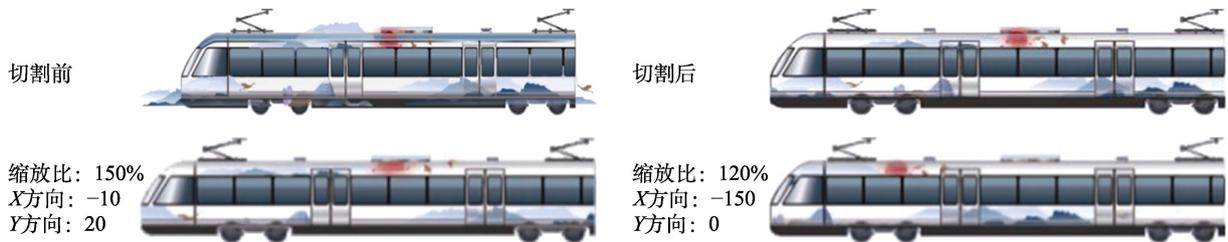


图9 设计稿位置调整与切割

Fig.9 Position adjustment and cutting of design draft

3.4 色彩优化

文中所开发的软件的配色方法运用的是课题组的前期研究成果——交互式遗传算法辅助配色设计技术^[21]。该技术以设计师提供的色彩图片为配色参考源,将生成的一系列随机搭配的组合作为初始种群。设计师对种群中的方案进行打分,得分高于给定阈值的方案将进入下一轮,其余淘汰。最后基于“洗牌”操作,即通过相互交换不同配色区域的色彩来优化设计方案,让设计师根据需求调整个体方案的配色,以得到满意的结果。规范化的配色对象需要有固定的格式要求,这里使用的是本课题组的前期研究成果——基于色彩邻接网络模型的产品配色^[22]。配色工具可以在上述带有背景和光影效果的群组对象上进行工作,程序会自动识别出可赋色的对象。

4 设计应用案例

根据以上研究结论,在实际案例中对技术开发成果进行了应用测试,见图10。图10a为色带的概念

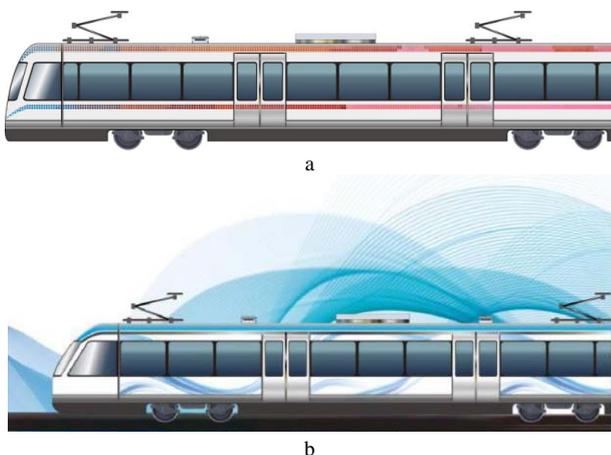


图10 应用案例

Fig.10 Application cases

平移等操作,形成多种设计方案,为设计师呈现同一平面设计稿在车体上的多种具体应用方式,并进行对比调整。通过修改平面稿的缩放比例和坐标位置可以实现细节上的对比选择,最后用载体外形轮廓对平面设计稿进行布尔运算来完成结合,见图9。

设计,经过像素化处理的色带被直接附在载体模板上。色带图案由设计师手工完成(借助另外的插件工具),调整并形成一款完整的城轨概念方案用时5~10 min,工作效率比以往有了显著提高。图10b的背景是设计师设计的抽象曲线图案,通过将其缩放调整来找到合适的位置,并用载体模板进行截取后附在车体上形成概念方案。其中,背景图需要保留,以便评价者理解原始概念并提出修改建议。

5 结语

文中的研究是面向概念阶段创意辅助技术开发的一种尝试,所开发的技术对概念设计这一传统上高度依赖设计师个人能力的工作任务进行了分工,让数字化工具合理介入,促成了人机协作的实现,提高了工作效率和设计产出。软件的输出成果主要用于帮助设计师对创意概念进行快速的可视化表达,并提供一种“预览”方案,把以前只在设计师大脑中的概念进行了外化,使不同角色(如工程师、甲方)之间的沟通交流具备了形式化的载体,显著提高了沟通效率。这种对概念设计阶段进行人机分工和技术介入的模式,不仅提高了设计师的工作效率,也降低了对辅助工具的技术需求,是一种可行的CAD开发思路。

产品概念表达常用的CorelDraw、PS、AI等平面设计软件均不带参数化功能,但文中的实践表明:利用软件自身的二次开发工具可以实现部分参数化,对于特定的产品,适当的参数化可以显著提高设计师的工作效率,且开发周期和开发成本能够控制在可接受的范围之内。

今后,有2个方面需要进一步完善:一是同时考虑形态、色彩等多种设计要素的概念方案批量化生成,以供比较,目前只实现了配色方案的批量生成,但实际上需求更多的是图案与色彩融合的参数化变化;二是给出3/4视角的效果图,使用户可以观察机

车正面和侧面的组合效果(有些色带是正面与侧面连贯的)及透视效果, 基于更逼真的视觉观感来实现准确的评价。

参考文献:

- [1] 王喜文. 中国制造 2025:从工业大国到工业强国[J]. 物联网技术, 2015, 5(5): 3-4.
WANG Xi-wen. Made in China 2025: From an Industrial Power to an Industrial Power[J]. Internet of Things Technology, 2015, 5(5): 3-4.
- [2] 张建平, 吕祥. 探讨美学规律在轨道车辆外观设计中的应用[C]//张建平. 动车、客车学术交流会议论文集(动车分册). 济南: 中国铁道学会车辆委员会, 2012.
ZHANG Jian-ping, LYU Xiang. Discussion on the Application of Aesthetic Rules in The Appearance Design of Railway Vehicles[C]// ZHANG Jian-ping. Proceedings of The Academic Exchange Conference on High-Speed Cars and Passenger Cars. Jinan: Vehicle Committee of China Railway Society, 2012.
- [3] 唐路明, 刘肖健, 胡丰. 基于交互式遗传算法的轨道城轨造型优化设计研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 123-128.
TANG Lu-ming, LIU Xiao-jian, HU Feng. Research on Optimal Design of Rail Train Shape Based on Interactive Genetic Algorithm[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(6): 123-128.
- [4] 吴永芳, 刘肖健. 高速城轨车头纵剖面最大轮廓线辅助快速设计[J]. 包装工程, 2020, 41(12): 197-201.
WU Yong-fang, LIU Xiao-jian. Aided Fast Design of Maximum Longitudinal Profile of High-Speed Train Locomotive[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(12): 197-201.
- [5] 王立宏. 基于 Grasshopper 的汽车格栅 CAS 模型参数化设计[J]. 汽车零部件, 2020(2): 37-43.
WANG Li-hong. Parametric Design of Automobile Grille CAS Model Based on Grasshopper[J]. Automotive Parts, 2020(2): 37-43.
- [6] 罗仕鉴, 李文杰, 傅业焘. 消费者偏好驱动的 SUV 产品族侧面外形基因设计[J]. 机械工程学报, 2016, 52(2): 173-181.
LUO Shi-jian, LI Wen-jie, FU Ye-tao. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(2): 173-181.
- [7] 王兴晨. 电动汽车造型数字化设计与研究[D]. 唐山: 华北理工大学, 2017.
WANG Xing-chen. Digital Design and Research of Electric Vehicle Modeling[D]. Tangshan: North China University of Science and Technology, 2017.
- [8] 呼和. 客车车身结构概念设计系统的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2012.
HU He. Research on Conceptual Design System of Bus Body Structure[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012.
- [9] 杜子学, 杨进. 基于隐式参数化模型的跨坐式单轨车辆车体多学科轻量化优化[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(12): 85-88.
DU Zi-xue, YANG Jin. Multidisciplinary Lightweight Optimization of Straddle-Type Monorail Vehicle Body Based on Implicit Parameterized Model[J]. Urban Rail Transit Research, 2019, 22(12): 85-88.
- [10] 瞿晓彬, 戴轶. 基于隐式参数化的白车身建模方法[J]. 计算机辅助工程, 2012, 21(2): 42-45.
QU Xiao-bin, DAI Yi. Modeling Method of Body-in-White Based on Implicit Parameterization[J]. Computer Aided Engineering, 2012, 21(2): 42-45.
- [11] 刘宝越, 侯文彬, 张红哲. 车身结构概念设计系统多目标优化模块设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 17-21.
LIU Bao-yue, HOU Wen-bin, ZHANG Hong-zhe. Design of Multi-Objective Optimization Module for Car Body Structure Conceptual Design System[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 17-21.
- [12] 姚拴宝, 陈大伟, 丁叁叁. 高速磁浮列车头型多目标气动优化设计[J]. 中国铁道科学, 2021, 42(2): 98-106.
YAO Shuan-bao, CHEN Da-wei, DING San-san. Multi-Objective Aerodynamic Optimization Design of High Speed Maglev Train[J]. China Railway Science, 2021, 42(2): 98-106.
- [13] 王晨, 刘肖健, 唐路明. 现代家居吊顶智能化设计与效果图快速生成与展示研究[J]. 建筑与文化, 2020(11): 196-197.
WANG Chen, LIU Xiao-jian, TANG Lu-ming. Research on Intelligent Design of Modern Home Ceiling and Rapid Generation and Display of Renderings[J]. Architecture and Culture, 2020(11): 196-197.
- [14] 傅艺扬. 基于丝绸文物的配色方案创意设计方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.
FU Yi-yang. Research on Creative Design Method of Color Scheme Based on Silk Cultural Relics[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [15] 刘洋飞, 郭晓云. 纺织 CAD 中图案智能排布算法的实现[J]. 现代纺织技术, 2014, 22(5): 31-34.
LIU Yang-fei, GUO Xiao-yun. Realization of Pattern Intelligent Layout Algorithm in Textile CAD[J]. Modern Textile Technology, 2014, 22(5): 31-34.
- [16] 黄薇, 凌筱, 刘肖健. 基于感性工学的饰品色彩设计研究[J]. 大众文艺, 2011(24): 110-111.
HUANG Wei, LING Xiao, LIU Xiao-jian. Research on Jewelry Color Design Based on Kansei Engineering[J]. Popular Art, 2011(24): 110-111.
- [17] 燕耀, 蒋超, 雷桐, 等. 安塞民间绘画色彩网络模型构建研究[J]. 丝绸, 2020(11): 120-125.
YAN Yao, JIANG Chao, LEI Tong, et al. Research on the Construction of Color Network Model of Ansai Folk Painting[J]. Silk, 2020(11): 120-125.