

Research on Concurrent Industrial Design Process of Rail Transit Passenger Transport Equipment

Yuntao Li Na Qi*

School of Art and Design, Xihua University, Chengdu, Sichuan, 610039, China

Abstract

Rail transit represents a country's technological strength and innovation capability, involving numerous departments and a long development cycle. In order to improve the research and development efficiency of rail transit passenger transport equipment and meet development needs, this paper analyzes multiple domestic and foreign rail transit passenger transport equipment manufacturing enterprises, sorts out their industrial design processes, adopts a hierarchical development model, divides design tasks, and focuses on the design content of the four core modules of the head, body, driver's cab, and passenger compartment. On this basis, this paper proposes an industrial design process for rail transit passenger transportation equipment under concurrent engineering. This process not only significantly improves design efficiency and strengthens the collaborative ability of the design team, but also presents new challenges and requirements for enterprise collaborative management.

Keywords

rail transit passenger transportation equipment; concurrent engineering; industrial design process

轨道交通客运装备并行工业设计流程研究

李昀韬 祁娜*

西华大学美术与设计学院, 中国·四川成都 610039

摘要

轨道交通代表着一个国家的技术实力与创新能力, 涉及部门众多且开发周期漫长。为提高轨道交通客运装备研发效率, 满足发展需求, 论文分析了国内外多家轨道交通客运装备制造企业, 梳理其工业设计流程, 采用分级开发模式, 划分设计任务, 聚焦于头型、车身、司机室、客室四大核心模块的设计内容。在此基础上, 论文提出了并行工程下的轨道交通客运装备工业设计流程。这一流程不仅显著提升了设计效率, 强化了设计团队的协作能力, 同时对企业协同管理等方面提出了新挑战与新要求。

关键词

轨道交通客运装备; 并行工程; 工业设计流程

1 引言

轨道交通是现代城市交通运输体系中不可或缺的一部分, 具有高效、便捷的特点和巨大的经济效益和社会效益^[1,2]。

《“十四五”新型城镇化实施方案》中强调提高都市圈交通运输连通性便利性, 统筹利用既有线与新线因地制宜发展城际铁路和市域(郊)铁路, 有序发展城市轨道交通^[3]。

轨道交通客运装备设计是一项复杂而关键的任务, 需要充分考虑用户需求、技术要求和市场竞争等因素。在这个过程中, 工业设计流程的引入起到了至关重要的作用, 通过

深入了解用户需求、提供创新的设计方案、评估工程化和制造可行性, 以及确保设计规范和标准的实施, 从而推动轨道交通客运装备的创新和发展, 提升产品的市场竞争力和用户满意度。

然而, 在客运装备研发制造过程中, 设计部门多、需求资源量大, 导致现阶段中车轨道交通产品在工业设计(头型、客室部分)方面的开发周期、设计评估周期漫长, 严重影响项目进度。因此, 从工业设计流程的角度对客运装备研发制造进行统一规划和协调管理变得尤为重要。对轨道交通客运装备工业设计流程进行优化, 旨在通过提升设计效率、缩短设计周期、强化团队协作与沟通, 以及确保设计质量与市场需求的精准对接, 从而推动客运装备设计的创新与发展。优化流程不仅有助于提升产品的市场竞争力, 更能满足用户日益增长的需求, 为轨道交通行业的持续发展注入新动力。

【作者简介】李昀韬(2000-), 男, 中国江苏常州人, 在读硕士, 从事工业设计研究。

【通讯作者】祁娜(1981-), 女, 中国河南周口人, 博士, 副教授, 从事工业设计研究。

2 现有轨道交通客运装备工业设计流程

轨道交通客运装备研发流程复杂,从建立到投入使用涉及多门学科的交叉,而工业设计在其中的应用主要包括外观设计和室内设计两大部分,具体涵盖轨道交通客运装备的概念设计、外观造型、内部装饰、司机室设计及动画制作、虚拟现实展示、人机工程分析、表面处理等内容^[4]。

中车集团、庞巴迪—阿尔斯通、西门子、IDA 设计集团、IDIS 工业设计室是目前国内外具有完备的工业设计流程的企业。中车集团、庞巴迪—阿尔斯通、西门子的工业设计流程如图 1 所示。三者相同之处在于开始阶段的设计定位,需要对客户的需求进行详细分析和理解,包括乘客的出行需求、运输能力要求等;效果图输出,以供后续方案评审或制造;仿真评估分析,对设计内容进行工程分析防止错误;工程化实施,将设计内容与制造工艺相结合,保证产品在生产过程中的质量控制和检测。差异在于中车集团完全采用串

行设计路线,前一部门需要等待后续部门完全通过后进行新的设计任务。庞巴迪—阿尔斯通采用内饰与外观同时并行设计,使内部各部门之间同时进行设计任务,统一输出效果图再进行建模,而此时专项设计部门能够进行其他工作。而西门子进行工业设计时采取完全并行的方法,由总部向各地分部门派发任务,分公司方案上交通后再由总公司进行仿真分析,各地生产零件后运输到项目当地进行组装下线。

IDA 设计集团和 IDIS 工业设计室是分别位于悉尼和芬兰的专项设计公司,商业化程度更高,工业设计流程如图 2 所示。两者在进行轨道交通客运装备设计时首先进行需求分析,往往是与甲方进行沟通,包括乘客的出行需求、运输能力要求等。两家公司均在设计阶段采用并行设计路线,以获得更高效^[5,6]。IDIS 将内外部造型设计进一步划分为装饰设计、机械设计和 UI (人机交互) 设计,使核心业务能力进一步凸显,各部门之间任务划分更加明确。

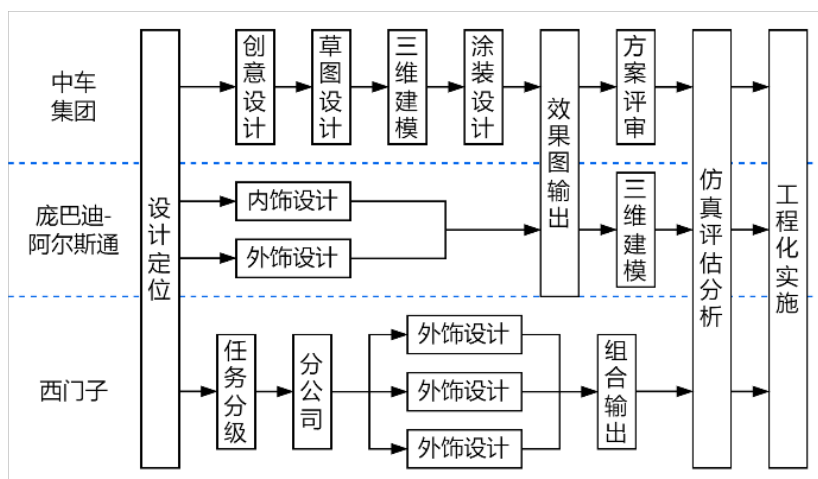


图 1 中车、庞巴迪—阿尔斯通、西门子的工业设计流程

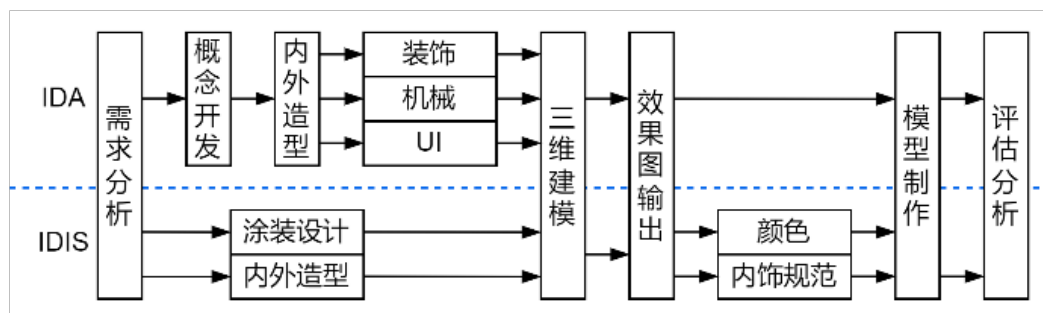


图 2 IDA、IDIS 的工业设计流程

通过对上述五家企业的工业设计流程进行分析,尽管这些企业在设计流程上存在差异,但他们都强调了设计定位的重要性,即深入理解和分析客户需求,包括乘客的出行需求和运输能力要求等。在流程的执行上,中车集团坚持传统的串行设计路线,虽稳定但设计周期长;庞巴迪—阿尔斯通则在内饰与外观设计上并行推进,提高了设计效率;西门子则采用了完全并行的设计模式,实现了高效的全球协同设

计。IDA 设计集团和 IDIS 工业设计室作为专项设计公司,同样采用了并行设计路线,并在设计过程中进一步细化了任务划分,使设计更为精准高效,获得了更大的商业价值。

3 轨道交通客运装备分级开发模式

确定分级开发模式是进行并行工程的前提和框架,分级开发模式能够将复杂的设计任务分解为多个相对独立且

相互关联的层级,每个层级都有其特定的目标和功能,从而确保设计的整体性和协调性。参照轨道交通客运装备各部分工业设计的特点、工况特点以及开发设计难度、成本等相关因素,将轨道交通客运装备的设计开发分为S1、S2、S3、S4四个级别,开发设计内容、难度由S1级逐渐递增,到达S4级时开发设计内容最多、改动最大的全新开发设计。将分级开发模式运用于轨道交通客运装备的工业设计中,就可以得到初步的轨道交通客运装备分级设计开发的工业设计

流程,如图3所示。

通过将轨道交通客运装备的设计进行分级别管理分类,在之后的轨道交通客运装备的设计研发中就可以在明确设计任务后,依照开发级别深度进行相应开发内容的快速设计更新,这样也便于具体的设计工作任务的展开,更加具有针对性,可以达到轨道交通客运装备研发更新的规范化设计管理的目的,提升设计管理效率。

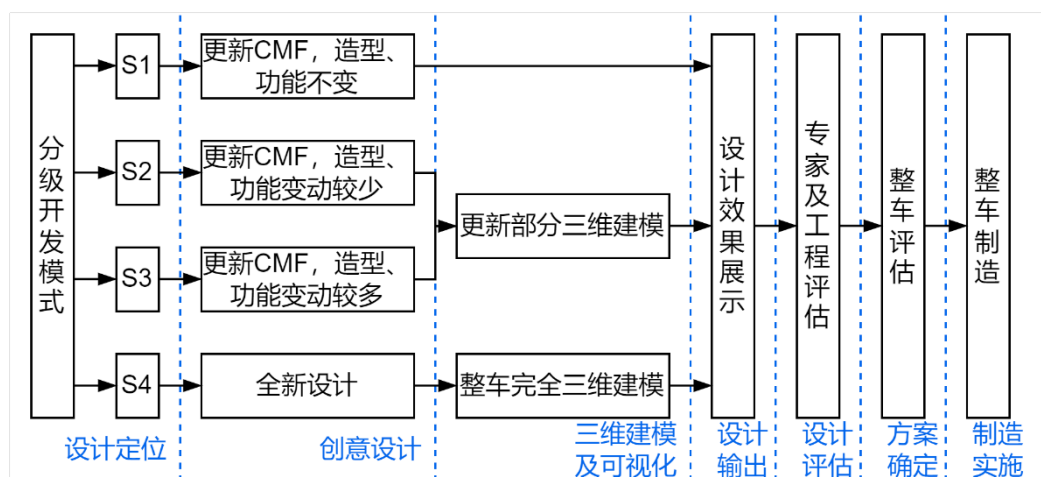


图3 轨道交通客运装备分级设计开发工业设计流程（作者自绘）

4 并行工程

并行工程是适应现代市场竞争日益激烈、动态多边特性而出现的新的设计手段^[7]。并行设计开发模式强调产品开发的各个功能环节之间实现最大限度地交叉、并行及协调^[8]。所谓并行设计,并不意味着同时进行,而是逐步交替实现设计、工艺规划和管理等活动。在设计阶段的每个步骤中,并行设计尽可能考虑到与之相关的约束条件,并在初期就协调解决,如可制造性、可装配性和制造资源等。这种方法对于创新产品的开发设计具有实用价值,可以缩短开发周期、降低生产成本,并降低错误产生数量以及修改错误所占用的时间^[9]。

并行工程在航空、航天等领域的设计制造过程中应用广泛。李伦未等整合了航空发动机的并行协同研制流程,实现了设计和制造的同步开展,经数学模型分析后能够缩短试制周期约2~3个月^[10]。陈宇以新一代运载火箭为案例,从组织模式、协同环境、研发流程和数字化技术升级四个方面分析了运用并行协同模式进行设计到制造全流程的应用实践^[11]。

4.1 基于并行工程的轨道交通客运装备工业设计流程

轨道交通客运装备工业设计按照设计内容可划分为头型设计、车身设计、司机室设计和客室设计。

头型是关乎列车识别性的重要因素之一,其设计是客运装备工业设计流程的重点。除了满足空气动力性能的要求之外,头型设计还需考虑车体结构、内部空间、人机工程 etc 要求以及制造工艺的便捷和造型的美观。头型造型在这些具

体约束条件下可选择采用流线型、仿生型、几何型这几种形式,以降低气动阻力、节约能耗、提高运行的稳定性,同时通过不同的造型手法,使得轨道车辆头型造型变化多样富有灵性。

车身设计内容包括造型设计、涂装设计两个方面,在具体的设计流程中需要综合考虑美学价值、文化价值、功能价值和商业价值。车身造型设计在造型截面确定后就能根据尺寸约束条件确定车身的整体造型,然后再进行车窗车门等功能模块的造型设计。

司机室设计是车辆头型外观设计确定后的关键任务,包括内部的相关要求及标准、司机室操纵台设计、司机室附属设施设计(如空调、照明等设施)、司机室座椅设计和司机室车窗车门设计。设计内容涵盖了从内部设施设计到人机匹配仿真的全过程,确保司机室既美观又符合人机工程学原理,最终与工程管理部门对接,实现设计制造。

客室设计主要集中在以下四部分:客室各部件造型设计、客室门窗系统设计、客室照明系统设计、信息系统设计。虽然各部分的具体设计内容不同,但是各部分之间并不存在前后条件约束,均为不同任务模块。

将设计内容进行模块划分,各模块之间的设计相互协同,这样多模块任务并行设计有助于缩短轨道交通客运装备设计研发周期。结合分级设计模式中的不同阶段和任务,并行设计流程可以进一步细化为横向并行设计和纵向并行设计,如图4所示。

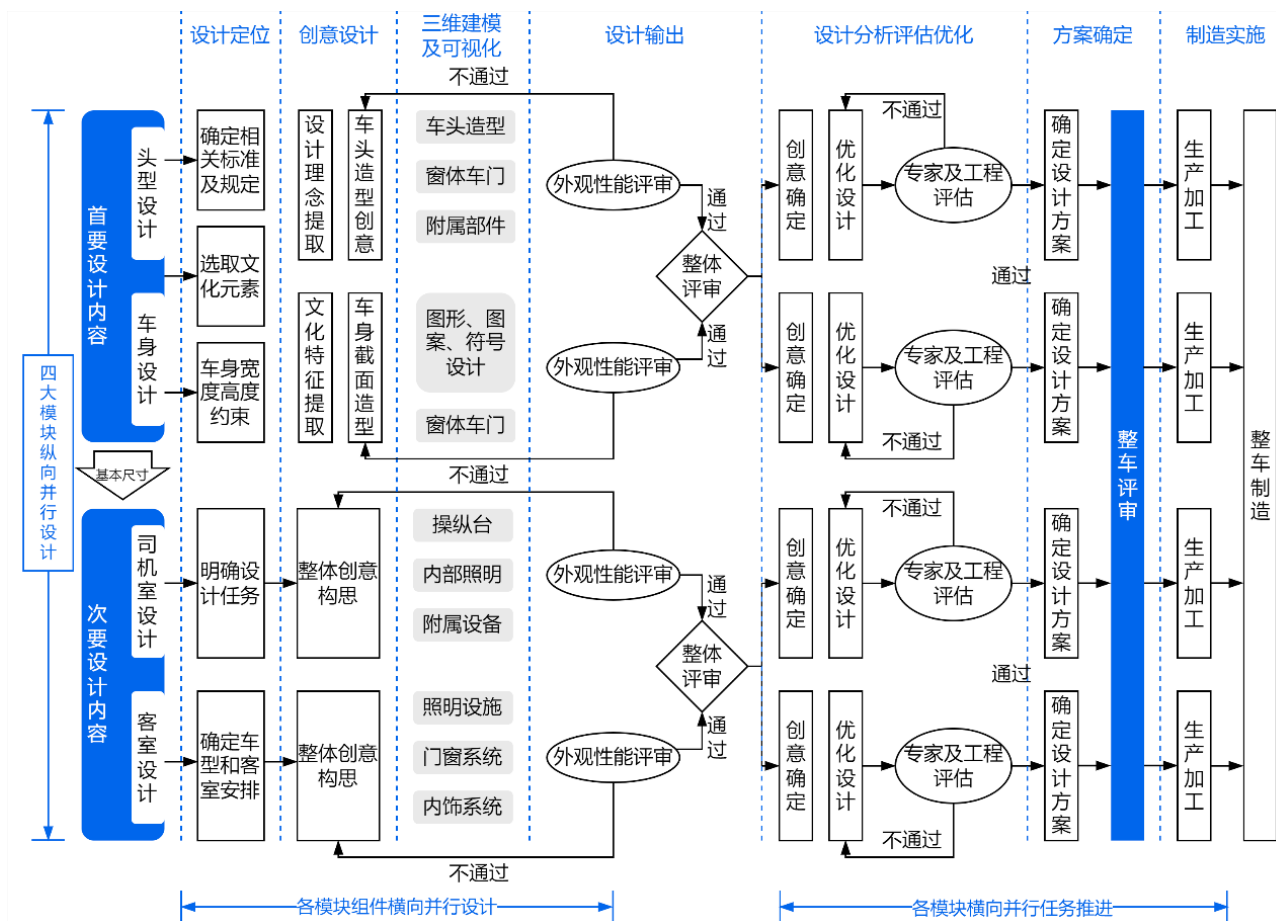


图4 轨道交通客运装备并行工业设计流程（作者自绘）

该流程中，纵向并行设计将整体设计内容细化为一级模块，包括头型设计模块、车身设计模块、司机室设计模块和客室设计模块。每个模块都有其独特的设计标准和设计内容，因此都有与之相对应的分级设计流程，针对划分的不同模块进行标准化设计准备，首先明确设计任务，接着设计进行阶段是构思与方案制作，方案完成后依据评估结果进行迭代优化，最后方案确定进入加工制造阶段。而横向并行设计使得构成各个模块的子部件可以根据需求再次进行同时段并行设计。这种设计方式可以充分利用设计资源，提高设计效率。完成设计后，所有部件统一进行评审，确保整体设计的协调性和一致性。

4.2 轨道交通客运装备并行工业设计流程的优点与难点

轨道交通客运装备并行工业设计流程展现出了显著的优点：

①提高整车任务设计效率。将复杂的轨道交通客运装备设计任务划分为多个相对独立的模块，如头型设计模块、车身设计模块、司机室设计模块和客室设计模块等。每个模块都有专业的设计团队负责，他们可以在同一时间段内并行开展工作。这种任务分解的方式避免了传统串行设计中各个阶段之间的等待和依赖，使得设计过程更加高效。

②并行设计促进了不同模块之间的信息共享和协同工作。设计团队之间可以在协同工作的过程中共享资源和信息。这种协同工作的方式有助于及时发现和解决设计中存在的问题，减少了后期修改和迭代的次数。同时，在制定统一的标准和规范下进行设计的前提下，可以实现设计元素的快速复用和组合，减少设计过程中的重复劳动和不必要的修改。这种标准化的设计方法有助于提高设计的一致性和可靠性。

并行工业设计流程在实际应用时也存在以下难点：

①设计任务划分与协同难度大。并行设计流程要求将整体设计任务划分为多个并行进行的模块，每个模块之间既相互独立又需紧密协同。设计任务划分时，如何确保各模块之间的接口一致、信息流通，以及如何在模块间实现有效的协同工作，是并行设计流程面临的重要挑战。这不仅需要设计师具备跨领域的专业知识和技能，还需要具备高度的团队协作精神和沟通能力。

②轨道交通客运装备设计任务本身具有高度的复杂性。由于并行设计涉及多个设计团队或部门同时工作，如何确保各团队之间的有效沟通和协作成为一个挑战。不同团队可能拥有不同的设计理念和方法，需要在设计过程中进行充分的交流和讨论，以确保设计的协调性和一致性。此外，还需要

建立有效的协同工作机制和工具,支持团队之间的信息共享和实时反馈,提高协同效率。

③设计冲突与迭代的处理。并行设计流程中,不同模块的设计团队可能会提出不同的设计方案,这些方案之间可能存在冲突或不一致的情况。如何有效处理这些设计冲突,确保设计的整体性和协调性,是并行设计流程需要解决的另一个难点。此外,由于设计过程中的迭代和修改是不可避免的,如何在并行设计流程中高效处理迭代问题,避免设计反复和延误,也是一项具有挑战性的任务。

5 结语

随着轨道交通技术的快速进步,设计理念、设计工具、设计水平不断提高。企业对产品性能、研制周期以及研制成本等要求也越来越高。传统的串行设计制造模式已无法满足市场和行业的需求。通过对多家轨道交通制造企业的设计流程进行梳理,通过分级设计模式拆解复杂设计任务,提出了以并行工程将头型、车身、司机室、客室四大设计内容同时进行的工业设计流程。通过该流程,能够大大提高轨道交通设计效率,同时增强设计团队信息共享与协同工作能力。不置可否,并行工业设计流程同样对企业提出了协同管理等新要求,企业需要建立完善的协同管理机制,确保各设计团队之间的有效沟通与协作。综上,轨道交通客运装备并行工业设计流程具有显著的优越性和广阔的应用前景,通过不断优化和完善并行设计流程,期待能够进一步推动轨道交通客运装备工业设计水平的提升,为轨道交通行业的持续发展做出

更大的贡献。

参考文献

- [1] 丁景贤,左建勇,任利惠.基于等效故障注入试验的列车风源系统故障影响规律与分析[J].仪器仪表学报,2023,44(5):44-52.
- [2] 张依婧,谢龙,汪涛,等.环状轨道交通廊道网络效能与枢纽体系解析——以东京山手线为例[J].上海城市规划,2023(1):128-133.
- [3] 2022年中国城市轨道交通行业十件大事[J].城市轨道交通,2023(1):12-15.
- [4] 杨令.基于BP神经网络的有轨电车形态设计研究[D].成都:西南交通大学,2022.
- [5] IDA. Transport Design Service[EB/OL]. [2023.10.10]. <https://www.id-alliance.com.au/cap-transport-home/>.
- [6] IDIS. Tampere Tram[EB/OL]. [2023.10.10]. <https://www.idisdesign.fi/works/tampere-tramway/>.
- [7] 赵广涛,吴洪才.舰载雷达适装性研究[J].雷达与对抗,2010,30(1):44-46+56.
- [8] 张东.面向订单生产客车企业敏捷制造应用及关键技术研究[D].吉林:吉林大学,2013.
- [9] 张涂,张光明.基于时间Petri网的船舶并行设计过程建模及评价[J].科学技术与工程,2011,11(35):8810-8814.
- [10] 李伦未,邓迪,王晶,等.航空发动机设计制造并行协同方案研究[J].航空制造技术,2019,62(7):62-67+73.
- [11] 陈宇.我国运载火箭并行协同设计制造的理论与实践[J].工业工程与管理,2019,24(6):201-209.