

基于需求驱动的轨道交通车辆设计方法

张功彬 彭清畅 王 川 张士存

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266111, 青岛)

摘 要 [目的] 针对不同的产品设计多样化需求, 为了基于客户需求快速设计、制造出满足要求的高速列车, 有必要对基于需求驱动的轨道交通车辆设计方法进行研究。[方法] 通过收集、归类和总结轨道交通车辆的各种需求, 并对需求进行梳理、匹配、参数化等操作, 建立了需求数据库。针对轨道交通车辆的个性化特征, 将个性化需求逐渐分解到轨道交通车辆各层级及组件中, 形成需求模型。采用直接映射、函数映射、知识映射等规则构建需求与指标之间的映射规则。[结果及结论] 本文所提基于需求驱动的轨道交通车辆设计方法, 能够将所收集到的轨道交通车辆需求进行结构化、规范化、属性化的定义和归类, 形成不同层级、不同属性及不同车型的需求数据, 基于客户指定需求提出相应的轨道交通车辆设计需求, 再映射到轨道交通车辆技术指标, 最终获得一组轨道交通车辆快速设计数据。

关键词 轨道交通车辆; 需求驱动; 映射规则

中图分类号 U270.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.044

Demand-driven Design Method for Rail Transit Vehicles

ZHANG Gongbin, PENG Qingchang, WANG Chuan, ZHANG Shicun

(CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266111, Qingdao, China)

Abstract [Objective] To address the diverse design needs of different products and meet customer requirements for quick design and manufacture of high-speed trains, it is necessary to study demand-driven design methods for rail transit vehicles.

[Method] By collecting, classifying, and summarizing various demands for rail transit vehicles, and performing operations such as sorting, matching, and parameterizing these demands, a demand database is established. For the personalized characteristics of rail transit vehicles, personalized demands are gradually decomposed into various levels and components of the vehicles, forming a demand model. Mapping rules between demands and indicators are constructed using direct mapping, function mapping, and knowledge mapping. [Result & Conclusion] The proposed demand-driven design method for rail transit vehicles can define and classify the collected demands

for rail transit vehicles structurally, normatively, and attributively, forming demand data of different levels, attributes, and vehicle models. Based on customer-specified demands, corresponding rail transit vehicle demands are proposed, which are then mapped to technical indicators of the rail transit vehicles, ultimately obtaining a set of rapid design data for rail transit vehicles.

Key words rail transit vehicle; demand-driven; mapping rule

随着我国高速铁路的快速发展, 世界各国掀起了新一轮高速铁路建设热潮。针对各国不同的地域环境、路网规划及不同客户的多样化需求, 如何基于客户需求快速设计、制造出满足需求的高速列车, 是轨道交通装备企业抢占市场的必要条件^[1-4]。

鉴于此, 本文基于主体需求、关键需求和旅客需求进行技术研究, 总结轨道交通车辆的各种需求, 建立复杂的需求数据库, 并对需求进行归类、梳理、匹配、参数化处理。此外, 本文还对不同车型进行预分类, 针对不同的客户需求快速响应, 设计出符合客户需求的产品。本文所提的基于需求驱动的轨道交通车辆设计方法, 能够有助于提高新车型的研发设计能力, 提高生产效率, 降低生产成本, 达到节省资源和降低能耗的目的。

1 总体研究路线

需求驱动的轨道交通车辆设计方法总体思路为, 以客户的轨道交通车辆需求为产品设计源, 通过需求模型、映射规则、产品模型、指标管理和结构树管理等一系列流程, 最终获得能够支撑轨道交通车辆快速设计的一组设计数据。主要流程为:

- 1) 通过现有车型的技术指标及产品结构, 归纳并定义轨道交通车辆技术指标体系和产品结构树;
- 2) 将所收集到的需求进行结构化、规范化、属性化定义与归类, 形成不同层级、不同属性及不同车型的需求数据;

3) 根据模型定义,基于需求数据构建模型,形成可视化的需求模型,分析并建立其与轨道交通车辆技术指标的对应关系;

4) 分析现有的车型产品数据,根据模型定义、产品结构树,对产品数据进行建模,形成可视化的产品模型,同时根据轨道交通车辆技术指标分析,将轨道交通车辆模型与轨道交通车辆技术指标对应起来;

5) 基于现有轨道交通车辆设计经验、设计知识、仿真数据及试验数据等参数,构建需求模型、轨

道交通车辆技术指标与产品模型之间的映射规则,并实现三者之间的映射转化;

6) 基于客户指定车型需求构建相应的车型需求模型,再映射出车型的技术指标体系与车型产品模型,形成轨道交通车辆产品根据需求进行定制和配置的快速设计方法。

基于以上思路和机制,构建出面向需求驱动的轨道交通车辆快速设计方法结构示意图,如图 1 所示。

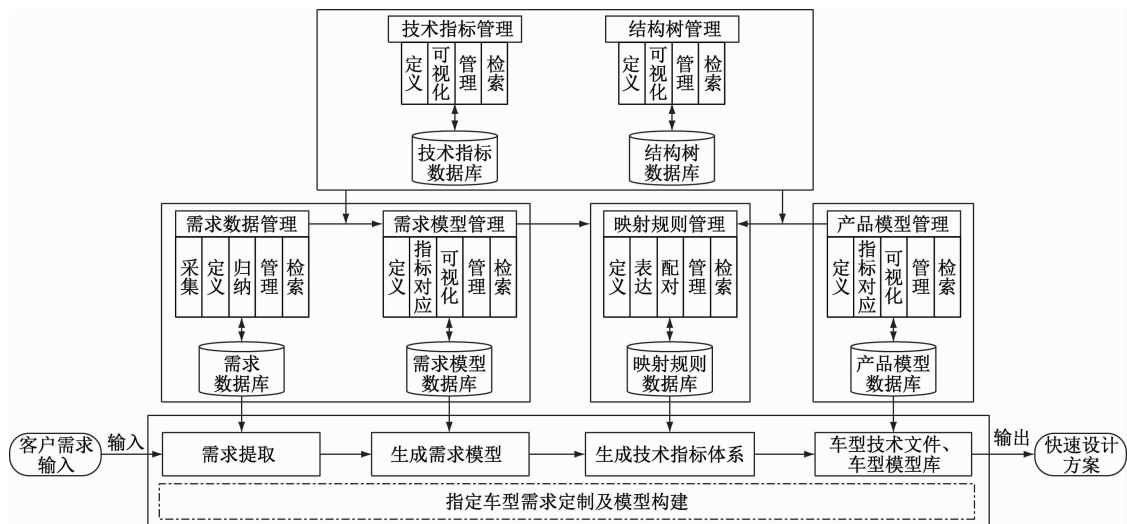


图 1 面向需求驱动的轨道交通车辆设计方法结构示意图

Fig. 1 Diagram of demand-driven rail transit vehicle design method structure

2 关键技术研究

2.1 需求数据管理和需求模型管理

需求数据是收集客户针对产品提出具体要求的集合,收集来源主要有:轨道交通车辆的运营环境、运行线路,以及客户提出的关键性要求和功能性要求。需求数据管理主要包括了需求名称、需求值类型、需求值范围、需求备注。在需求定义中,将所填写的需求进行结构化处理,即将单个需求数据与结构树中相关的结构进行一一关联。将主体需求(环境需求、路网需求)、关键需求(结构需求、性能需求)、旅客需求(功能需求),按照分类属性构建需求数据模板,并存入需求数据库,通过需求动态管理对填写好的需求数据模板进行修改、删除等操作。将构建好的需求数据模板按照列表或利用分类属性树等可视化形式进行展示,并提供浏览、检索功能,同时可以按照一定的文档格式将需求数据

输出生成报表和文档。

需求模型是由需求对象 < Object >、需求属性 < Property >、关系定义 < Association > 组成的,可以表示为:需求模型 = { < Object > < Property > < Association > }。

1) 需求对象参数集合。需求对象参数集合是轨道交通车辆在列车及车辆层次的设计对象,包括了列车层、车辆层、组份层,即列车、车辆产品结构不同层级的最大集合,可以表示为: < Object > = < 列车 > | < 车辆 > | < 组份 >。

2) 需求属性参数集合。需求属性参数集合包含与需求对象所对应的列车层、车辆层、组份相关的所有需求属性,主要包括了相对应的主体需求属性(路网属性、环境属性)、关键需求属性(结构属性、性能属性)、旅客需求属性,可以表示为: < Property > = < 主体属性 > | < 关键属性 > | < 旅客属性 >。

3) 关系信息参数集合。关系信息参数集合主要包括各设计对象之间、各属性之间的关系,以及设计对象与属性之间的隶属或者包含关系,可以表示为: < Association > = < 隶属关系 > | < 包含关系 >。

2.2 映射规则管理

映射规则是实现由轨道交通车辆产品需求到产品技术指标的基础。在设计过程中,通过映射规则将需求实例一一映射为技术指标实例。同时,由于轨道交通车辆需求及技术指标的分层特点,轨道交通车辆的需求映射规则是基于轨道交通车辆产品结构树层次逐层进行映射的。根据轨道交通车辆设计知识特点,轨道交通车辆映射规则主要可以分为直接映射、函数映射、知识映射。3 种映射规则示意图如图 2 所示。

1) 直接映射。在轨道交通车辆的需求项中,部分需求项具有双重特性,既属于需求内容又属于技术指标内容,因此可以将需求项及需求值直接进行映射,即将需求值直接赋给技术指标项。

2) 函数映射。在轨道交通车辆设计过程中,部分需求项与技术指标存在某些函数关系,可通过数学运算符号、关系运算符号,以及某些规则函数组合成函数关系式。

3) 知识映射。当某些需求映射到技术指标时,一般是通过设计师的经验知识、试验知识、仿真知识实现的,需求与技术指标之间并不存在明显的直接关系或函数关系,需要通过其他外部知识进行映射,这部分映射规则属于隐形规则,而非直接映射关系。

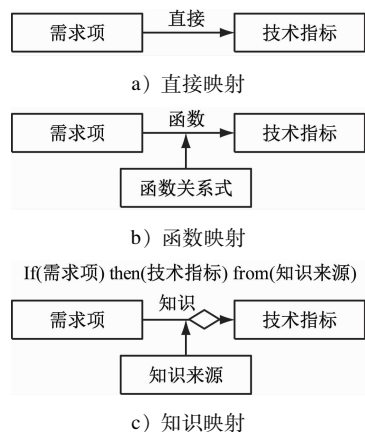


图 2 3 种映射规则示意图

Fig. 2 Diagram of three mapping rules

基于通用的映射规则描述格式,结合轨道交通

车辆需求及技术指标的共同特点(① 两者都具有层级;② 两者都以产品结构树为分层基础),轨道交通车辆的需求映射描述格式应当包含对象数据、输入数据、输出数据、规则及规则属性。描述格式示例如表 1 所示。

表 1 描述格式示例

Tab. 1 Description format example

对象数据	输入数据	输出数据	规则	规则属性
列车、车辆	限界	列车断面	If(限界) then(列车断面) from(限界标准)	知识映射
列车、车辆	供电制式	供电方式	If(供电制式) then(供电方式) from(制式参数)	知识映射

2.3 产品模型管理

产品模型由设计对象 < Object >、对象属性 < Attribute >、对象之间关系 < Relationship > 定义,可以表示为: 产品模型 = { < Object > < Attribute > < Relationship > }。

1) 设计对象参数集合。设计对象参数集合表示产品设计对象,包括了产品、部件、零件,可以表示为: < Object > = < 产品 > | < 部件 > | < 零件 >。

2) 对象属性参数集合。对象属性参数集合应包含相关的接口属性参数(内部接口参数、外部接口参数)、结构属性参数、性能属性参数、材料属性参数等,可以表示为: < Attribute > = < 外部接口参数 > | < 内部接口参数 > | < 结构参数 > | < 材料参数 > | < 性能参数 >。

3) 关系信息参数集合。关系信息参数集合是设计对象之间的各种关系信息集合,主要包括各设计对象之间的结构层次关系、设计语义信息、模型组件之间的关系。

2.4 技术指标管理

指标管理是适应各种需求需要达到的设计条件或要求,来自旅客、运营商、环境条件、设计师、供应商等各种要求而形成对产品设计的多维设计约束,在该约束下定义轨道交通车辆应达到的技术指标体系。在该技术指标体系中,主要考虑总体指标,以及各组份层级含承载、走行、动力及其他指标体系,并逐层级下分到各细化指标体系。以走行部技术指标为例,其指标示意图如图 3 所示。

为达到轨道交通车辆的设计要求,首先应满足整体指标集,然后逐渐细化到各部件、子部件和零件,形成细化的指标集。这些细化的指标集,按照

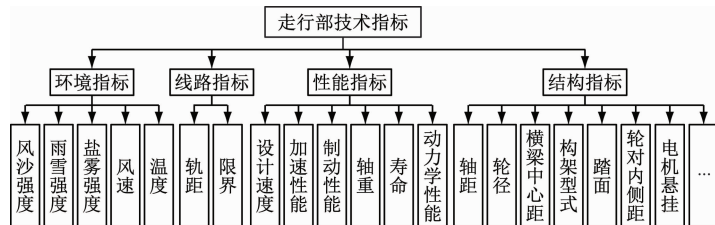


图3 走行部技术指标示意图

Fig. 3 Diagram of train running gear technical indicators

系统的相互关联性,形成对整个总指标集的贡献。因此,轨道交通车辆的设计过程,实际上是将这些指标逐步实现的过程,所有指标达到了,整个设计过程就完成了。

2.5 结构树管理

产品结构树是需求模型、产品模型、技术指标及权限等数据的组成基础,同时其也是分层的依据

及管理的基础。所有数据均基于产品结构树进行操作管理。产品结构树主要包括了两类数据:第1类为层级数据,即列车结构的层级信息;第2类是列车结构的拓扑数据,即结构数据间的相互关系信息。层级数据提供了拓扑数据的层级归属及分类,并为其构成树状形式提供了依据。产品结构树示意图如图4所示。

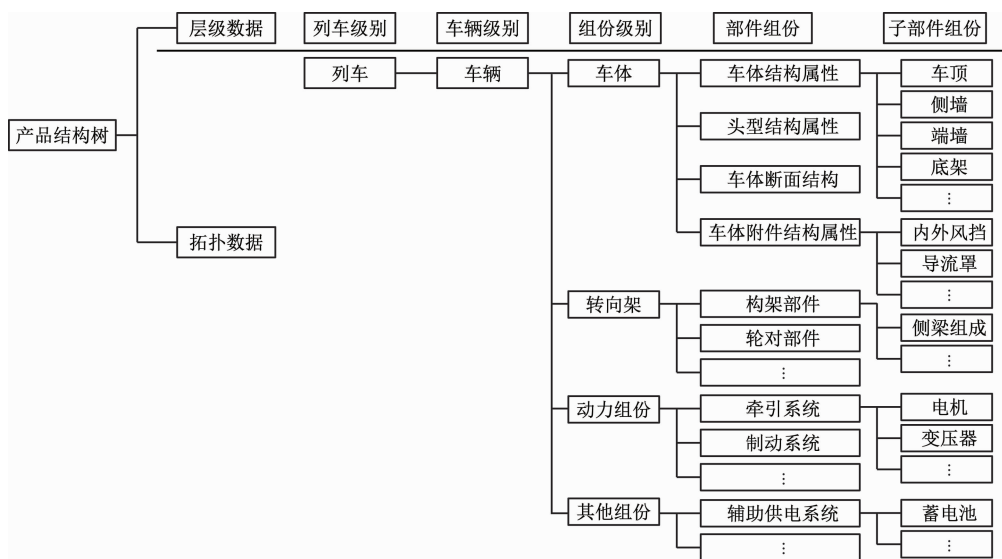


图4 产品结构树示意图

Fig. 4 Diagram of product structure tree

设计师根据结构树定义创建结构树层级数据和拓扑数据,形成相应的结构树数据。根据一定的编码规则,结构树数据信息对信息进行编码后存贮于结构树数据库,便于后续调用。设计师还可以对已生成的结构树数据进行添加、修改、删除和可视化查看等操作,并根据相应的报表及文档格式输出结构树数据。

3 结语

轨道交通车辆的设计过程是不断满足设计需求和技术指标的过程,将需求数据、需求模型、映射

规则、技术指标、产品模型、产品结构树等静态数据串联起来,形成一个动态的数据流和设计过程,完成轨道交通车辆设计的各个步骤。设计师通过调用各数据库中的数据进行流程化设计,数据库包括了需求数据库、需求模型库、映射规则库、技术指标库、产品模型库、结构树数据库。基于上述数据库接收外部的客户定制需求数据,完成定制车型从需求实例到产品模型的实例转化,实现了轨道交通车辆设计流程的规范化表达和设计过程的柔性化表达,本文所提的基于需求驱动的轨道交通车辆设计

(下转第 277 页)

约42.9%。

2) 混杂纤维掺量越多,越能有效阻止混凝土管片接头处的裂缝发展,进而提高管片的整体性能。当掺量为2.4%时,混凝土管片接头处的裂缝改善情况最为明显。相比于掺量为0.6%时的情况,掺量为2.4%的混凝土管片在抗压变形方面提升约49.2%,在极限抗弯性能方面提升约42.7%,在承受最大抗拔轴力方面提升约41.3%。

3) 从裂缝发育特征上看,普通混凝土管片在接头处的裂缝发育较为丰富,且主要以纵向发育为主,零星存在横向裂缝,同时贯通性裂缝发育较多,其力学性能较差。随着混杂纤维的加入,几乎无贯通性裂缝发育,同时在接头处的裂缝发育区域面积也大大降低。纤维掺量越多时,这种改善裂纹发育的表现越明显。

参考文献

- [1] JAMSHIDI AVANAKI M, HOSEINI A, VAHDANI S, et al. Seismic fragility curves for vulnerability assessment of steel fiber reinforced concrete segmental tunnel linings[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018, 78: 259.
- [2] CHEN B, GUO L P, SUN W, et al. Bending tests of full-scale steel fiber-reinforced concrete segments of shield tunnel[J]. Key Engineering Materials, 2018, 768: 326.
- [3] 徐振, 李德明, 王彬, 等. 硬岩隧道纯钢纤维混凝土管片应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2020, 50(5): 44.
XU Zhen, LI Deming, WANG Bin, et al. Application of pure steel fiber concrete segment in hard rock tunnel[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2020, 50(5): 44.
- [4] 齐明山, 柳献. 纤维混凝土盾构管片力学性能试验研究[J].

(上接第270页)

方法,能够快速定制出产品整体设计方案,缩短产品设计周期。

参考文献

- [1] 王艳秋, 郑宇飞, 王雷, 等. 轨道交通车辆转向架模块化配置设计方法[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(4): 9.
WANG Yanqiu, ZHENG Yufei, WANG Lei, et al. Modular configuration design for rail transit vehicle bogie[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(4): 9.
- [2] 张海柱. 面向产品谱系的高速列车转向架定制设计方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
ZHANG Haizhu. Research on customized design method of high-speed train bogie oriented to product pedigree[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [3] 谢喜佳. 面向需求的转向架配置设计系统研制[D]. 成都: 西

地下空间与工程学报, 2019, 15(增刊1): 55.

- QI Mingshan, LIU Xian. A full-scale experimental study on bearing capacity of fiber reinforced concrete segments[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S1): 55.
 - [5] 陈峰宾, 许斌, 焦华喆, 等. 玄武岩纤维混凝土纤维分布及孔隙结构表征[J]. 中国矿业大学学报, 2021, 50(2): 273.
CHEN Fengbin, XU Bin, JIAO Huazhe, et al. Fiber distribution and pore structure characterization of basalt fiber reinforced concrete[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2021, 50(2): 273.
 - [6] 席居宇, 陈翠翠. 混凝土纤维增韧原理及计算模型[J]. 江苏建材, 2021(5): 21.
XI Juyu, CHEN Cuicui. Reinforcing principle and calculation model of fiber in concrete[J]. Jiangsu Building Materials, 2021(5): 21.
 - [7] 曹玉新. 钢纤维类型对钢纤维混凝土性能影响的试验研究[J]. 兰州交通大学学报, 2019, 38(6): 1.
CAO Yuxin. The experimental study on the effect of different steel fiber types on concrete performance[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2019, 38(6): 1.
 - [8] 吕磊, 卫振海. 钢纤维类型对混凝土动态力学性能影响试验研究[J]. 新型建筑材料, 2018, 45(4): 47.
LYU Lei, WEI Zhenhai. Experiment study on effect of types of steel fiber on dynamic mechanics properties of concrete[J]. New Building Materials, 2018, 45(4): 47.
- 收稿日期:2022-11-01 修回日期:2023-02-01 出版日期:2024-12-10
Received:2022-11-01 Revised:2023-02-01 Published:2024-12-10
• 第一作者:周春煦,副教授,a467388112@163.com
通信作者:赵立财,正高级工程师,zhaolical1314@foxmail.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

南交通大学, 2015.

- XIE Xijia. Development of demand-oriented bogie configuration design system [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
 - [4] 邱红铭. 高速列车转向架快速设计关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
QIU Hongming. Research on key technologies of rapid design of high-speed train bogies[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- 收稿日期:2024-01-02 修回日期:2024-05-07 出版日期:2024-12-10
Received:2024-01-02 Revised:2024-05-07 Published:2024-12-10
• 通信作者:张功彬,高级工程师,279528189@qq.com
• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license