

DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2021.04.058

# 基于参数化设计的自卸车快速设计系统开发

陈韬<sup>1,2</sup>, 伍丽娜<sup>1,2</sup>, 张凯<sup>1,2</sup>, 王维<sup>1,2</sup>

(1. 中汽研汽车检验中心(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430056;

2. 中国汽车技术研究中心有限公司, 天津 300300)

**摘要:**以模块化设计方法为理论指导,在对自卸车结构特征及个性化需求进行深入研究的基础上,采用多种软件交互的方式,搭建自卸车产品设计平台,实现系统中相关三维模型、零部件快速设计、准确选型以及调用功能。研究表明:该系统从根本上解决了快速响应用户个性化需求而产生的设计变更问题,提升了企业在大规模定制化需求环境下的竞争力。

**关键词:**自卸车;大规模定制;模块化设计;参数化设计

**中图分类号:** TB472    **文献标志码:** B    **文章编号:** 1671-5276(2021)04-0219-04

## Development of Rapid Design System for Dump Truck Based on Parametric Design

CHEN Tao<sup>1,2</sup>, WU Lina<sup>1,2</sup>, ZHANG Kai<sup>1,2</sup>, WANG Wei<sup>1,2</sup>

(1. CATARC Automotive Test Center (Wuhan) Co., Ltd., Wuhan 430056, China;

2. China Automotive Technology and Research Center Co., Ltd., Tianjin 300300, China)

**Abstract:** By theoretical guidance of modular design method and based on in-depth research on the structural characteristics and individual requirements of dump trucks, a variety of software interaction methods are used to build a dump truck product design platform to realize relevant 3D models, quick design of spare parts, accurate selection and call function. The research results show that the system fundamentally solves the design change problem caused by quick response to the individual needs of users, and improves the competitiveness of enterprises in the environment of mass customization needs.

**Keywords:** dump truck; mass customization; modular design; parametric design

## 0 引言

近年来,国家基础设施建设投入力度不断增大,适用于城市建设的自卸车、渣土车的市场需求日益增多。据统计,2019年自卸车年销量在11万辆左右。产品更新换代周期缩短,制造企业面临着大规模定制化的产品需求以及客户需求的动态多变性<sup>[1]</sup>,需要尽量缩短产品的设计与制造周期,降低产品研发成本的同时对客户个性化和多样化的需求进行快速响应,为客户提供质优价廉的自卸车产品。但国内自卸车生产企业规模普遍较小,技术力量薄弱,无法形成标准化的基础配置车型,产品开发设计停留在初级开发层面,设计效率低下,产品开发周期长,创新性不足,无法满足大规模定制化产品需求,严重制约了自卸车行业的发展<sup>[2]</sup>。

目前,国内的研究学者针对大规模定制化的参数化设计方法进行了诸多研究,如龚京忠等<sup>[3]</sup>基于FPBS的机械系统模块化设计方法与应用研究,提出行为相容性的建模方法及产品模块识别方法;陈旭等<sup>[4]</sup>进行汽车底盘模块划分及产品结构模型建立,对汽车底盘结构模块化体系进行研究;曹建平<sup>[5]</sup>基于FPBS的产品平台构建研究,对面向产品族设计的核心内容进行研究。

自卸车上装具有相同或者相似的外形特征,总体上可

划分为矩形厢体和U型厢体两大特征,根据整车总质量不同,上装特征外形尺寸有所差异,其生产、研发设计适用于模块化、参数化设计理念。为了解决面向大规模定制化需求下自卸车上装的设计问题,本文基于产品配置设计研究基础,在产品开发阶段对客户个性化需求、产品特征需求进行分析,以三维软件二次开发为设计手段,采用自顶向下的建模方式,借助尺寸方程式建模方法,通过三维模型与程序控制交互控制的方式,实现设计变化过程中三维模型的快速生成。搭建以客户个性化需求为导向,具备完善的变型机制自卸车快速设计平台。将产品定制的生产转化为批量化生产<sup>[6]</sup>。

## 1 模块化产品配置设计

### 1.1 系统功能模块划分

产品模块化设计,是实现面向大规模定制设计的重要方法,它把产品分解成相互高度独立或相互依赖性很小的部件,部件间可通过标准接口建立一个柔性的产品体系结构<sup>[7]</sup>(图1)。自卸车产品模块划分是基于对产品需求分析,对自卸车产品进行结构拆解,各结构模块分类聚合,提炼出不同产品的基本功能模块(图2),其中包括1)一级基本模块:车厢总成模块、副车架总成模块;2)二级基本模块:侧板总成、底板总成、前板总成、后门总成;纵梁总

成、横梁总成、后支座总成。

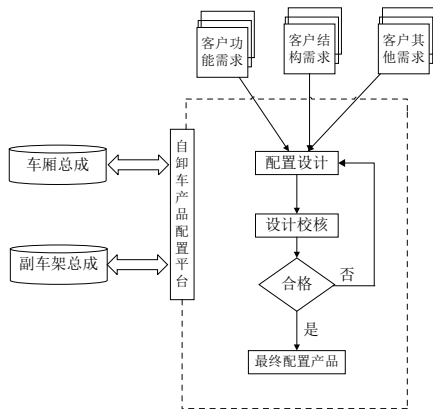


图1 自卸车快速设计系统流程图

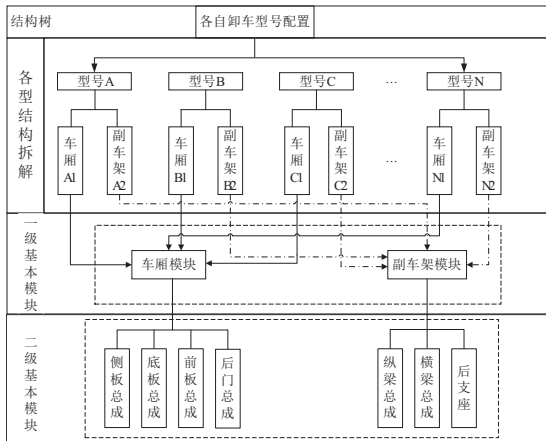


图2 自卸车系统功能模块划分

## 1.2 特征参数确定

### 1) 产品特征参数确定

产品特征参数可定位目标产品族或产品系列,而产品性能能够确定目标产品族或产品系列中具体产品型号<sup>[8]</sup>。因此,在配置设计阶段,可通过提取历史配置产品的配置参数和性能指标信息<sup>[9-11]</sup>,快速准确地预知配置产品的关键性能参数。

自卸车上装基本模块相关因素和系统特征之间存在通用关联特性,其映射关系如图3、图4所示,车厢模块可用4个特征参数类型进行表征,分别是:车厢长、车厢宽、车厢高以及底板厚度;副车架模块可用4个特征参数类型进行表征,分别是:纵梁长、大梁宽、纵梁厚及横梁厚。

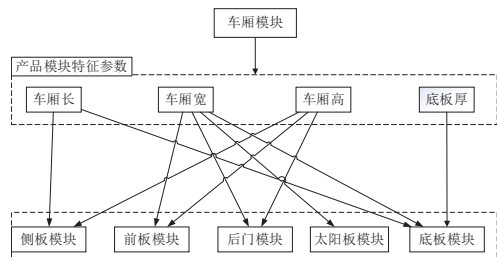


图3 车厢模块映射关系

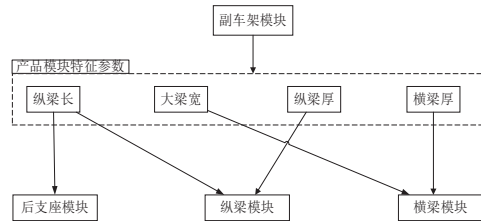


图4 副车架模块映射关系

### 2) 模块特征参数确定

在产品进行配置设计过程中,利用产品特征参数的映射、聚类和匹配分析,从模块化产品族中有效地提取公共平台要素<sup>[1]</sup>。自卸车二级基本模块具有典型的模块化架构,组成模块之间的耦合度较低,从产品模块几何相关性和物理相关性入手,基于产品与模块特征之间的结构相关性,由产品特征参数映射出各功能模块特征参数。

产品模块的特征参数值可映射为子模块的特征参数值。即对  $\forall P_i \Leftrightarrow [q_{1i}, q_{2i}, \dots, q_{ni}]^T \in S_{PF}, S_{PF}$  为产品系列组。 $n_1$  表示产品系列包含的产品个数,  $p_i (i \in [1, n_1])$  表示产品系列组中的某个产品。可用一组的特征参数类型表征同一细分组中的所有产品,即  $S_{PF}: \{t_1, t_2, \dots, t_{n_2}\}$ , 其中  $t_i (i \in [1, n_2])$  表示产品系列组中产品的第  $i$  个特征参数类型,  $n_2$  表示产品特征参数类型的个数<sup>[1]</sup>。

设定产品  $P_i$ , 其特征参数为  $[q_{1i}, q_{2i}, \dots, q_{n_2i}]^T$  通过映射得到功能模块特征参数  $F_{M_j}, F_{M_j} \Leftrightarrow [x'_{1j}, x'_{2j}, \dots, x'_{k_jj}]$ , 其中, 产品  $P_i$  的特征参数映射到功能模块  $F_{M_j}$  的第  $k$  个特征参数类型用  $x'_{ik} (i \in [1, n_1], j \in [1, n_3], k \in [1, k_j])$  表示,  $F_{M_j}$  的特征参数类型的个数用  $K_j$  表示,  $n_3$  表示各功能模块集合中模块的个数<sup>[12]</sup>。

用映射矩阵  $A$  表示从产品特征参数到各功能模块特征参数的映射分解过程。记为  $F_{M_j}$  对应的映射矩阵用  $A^j$  表示, 其中,  $A^j = [a'_{ki}]_{k_j \times n_2}, A = [A^1, \dots, A^j, \dots, A^{n_3}]^T$ , 根据  $A^j$  的不同, 存在多种映射类型, 包括直接映射、空映射和一般映射。1) 直接映射表示该产品的特征参数与一个功能模块特征参数一一相关,  $A^j$  的对角矩阵; 2) 空映射表示该产品特征与各个功能模块特征均无法建立映射关系, 此时  $A^j$  为对角矩阵为空矩阵; 3) 一般映射包括聚合映射 ( $N:1$  的映射关系)、分散映射 (即  $1:N$  的映射关系)、共轭映射以及间接映射 ( $M:N$  的映射关系),  $A^j$  表现为一般形式<sup>[13]</sup>。

从自卸车整车的特征参数到子模块的特征映射过程存在3种映射类型的复合形式。车厢模块可用4个特征参数类型进行表征, 分别是: 车厢长  $q_1$ 、车厢宽  $q_2$ 、车厢高  $q_3$  以及底板厚度  $q_4$ ; 车厢特征参数的类型两种: 几何尺寸  $t_1$ 、特征尺寸  $t_2$ 。车厢模块包括5个子模块, 即侧板模块  $F_{M_1}$ 、底板模块  $F_{M_2}$ 、前板模块  $F_{M_3}$ 、后门模块  $F_{M_4}$ 、太阳板模块  $F_{M_5}$ ; 某一自卸车产品的特征参数映射到其功能模块  $F_{M_j}$  的第  $k$  个特征参数类型的取值  $x'_{ik} (i=1, j \in [1, 5], k \in [1, k_j])$ , 产品模块与功能子模块特征参数映射矩阵如图5所示。

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 \\ a_{21}^1 & a_{22}^1 \\ \vdots & \vdots \\ a_{k1}^5 & a_{k2}^5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 t_1^1 \\ x_2^1 t_2^1 \\ \vdots \\ x_{k1}^1 t_{k1}^1 \\ \vdots \\ x_1^2 t_1^2 \\ x_2^2 t_2^2 \\ \vdots \\ x_{k2}^2 t_{k2}^2 \\ \vdots \\ x_1^5 t_1^5 \\ x_2^5 t_2^5 \\ \vdots \\ x_{k5}^5 t_{k5}^5 \end{bmatrix}$$

图5 车厢模块映射矩阵

副车架模块可用3个特征参数类型进行表征,分别是:纵梁长 $q_{11}$ 、大梁宽 $q_{12}$ 、纵梁厚 $q_{13}$ 。副车架模块特征参数的类型两种:几何尺寸 $t_1$ 、特征尺寸 $t_2$ 。车厢模块包括3个子模块,即后支座模块 $F_{M_1}$ 、纵梁模块 $F_{M_2}$ 、副梁模块 $F_{M_3}$ ;某一自卸车产品的特征参数映射到其功能模块 $F_{M_j}$ 的第 $K$ 个特征参数类型的取值 $x_{ik}^j (i=1, j \in [1, 3], k \in [1, k_j])$ ,产品模块与功能子模块特征参数映射矩阵如图6所示。

$$\begin{bmatrix} q_{11} \\ q_{12} \\ q_{13} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{11}^1 & a_{12}^1 \\ a_{21}^1 & a_{22}^1 \\ \vdots & \vdots \\ a_{k1}^3 & a_{k2}^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 t_1^1 \\ x_2^1 t_2^1 \\ \vdots \\ x_{k1}^1 t_{k1}^1 \\ \vdots \\ x_1^2 t_1^2 \\ x_2^2 t_2^2 \\ \vdots \\ x_{k2}^2 t_{k2}^2 \\ \vdots \\ x_1^3 t_1^3 \\ x_2^3 t_2^3 \\ \vdots \\ x_{k3}^3 t_{k3}^3 \end{bmatrix}$$

图6 副车架模块量映射矩阵

## 2 参数化建模系统设计

### 2.1 参数化建模方法

目前,参数化建模通常有两种方法:一是程序驱动。所谓程序驱动,就是完全依靠代码来驱动三维建模软件实现参数化建模;二是尺寸驱动。尺寸驱动有两种形式,一种是指利用程序代码连接尺寸数据库,通过逻辑外置的方

式,改变主参数驱动三维建模软件实现参数化建模;另一种尺寸驱动方式是指借助三维建模软件中方程式功能,建立模型全局变量参数,自顶而下建立三维模型,通过程序代码修改模型中方程式,实现参数化建模<sup>[14]</sup>。

程序驱动方法对代码编辑能力要求较高,并且结构特征复杂的模型需要较高的逻辑运用能力。因此国内诸多学者在研究参数化建模时,大多采用的是尺寸驱动的第一种方式,通过分析发现,这种借助外部数据库的建模方式较为繁琐,不仅需要模型重建,还需将建模特征树导入外部数据库中,再用程序代码进行驱动。该种方式适用于产品配置较多、模型特征较少的标准零部件参数化设计,而自卸车上装部件产品配置相对较少、模型特征复杂且各模块特征参数之间存在明显的关联性。因此,该种方式并不适用于专用车类产品的参数化建模。

本文采用自顶而下的方式建立自卸车各模块三维模型模板文件,根据产品特征参数与子模块特征之间的映射关系,搭建各尺寸方程式并将关联参数设置成全局变量,通过程序驱动方程式的方式建立各模块参数化模型。

### 2.2 开发与运行环境选择

在Windows7系统下,考虑三维建模软件二次开发API接口配置的语言函数库,API接口是1个多层次的树形网络结构,可以使用VB、VB.NET、C#等高级汇编语言与三维建模软件链接,基于三维建模软件中的API函数,调用基于OLE(对象的嵌入与链接)和COM(组件对象技术)各类对象的方法和属性,建立合适的专用功能模块。本文采用Visual Studio2012作为开发平台,基于VB.NET编程语言进行编程实现,以Access2013组织外部驱动参数及结构树管理数据,自卸车上装功能模块模板模型创建基于三维建模软件实现<sup>[15]</sup>。系统开发工具选择如表1所示,二次开发方案工作流程如图7所示。

表1 系统开发工具选择

| 工具选择              | 工具用途                     |
|-------------------|--------------------------|
| 三维CAD软件           | 通用三维建模工具                 |
| Access2013        | 参数存储                     |
| Visual studio2012 | 界面开发、数据库读取、相关API接口应用程序开发 |

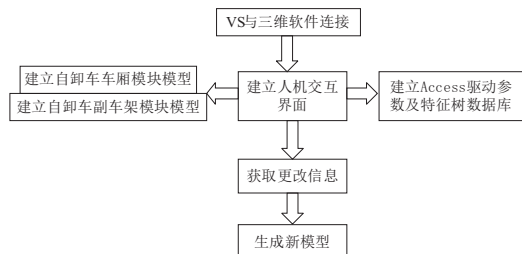


图7 二次开发方案工作流程图

### 2.3 参数化模型建立

在三维建模软件中,利用自顶向下的建模方式,设定车厢模块中的车厢长、车厢宽、车厢高、底板厚作为系统全局变量。通过计算,设置底板模块、侧板模块、前板模块、后门模块中各特征尺寸与全局变量之间约束条件,推导出

相应的关系方程式建立基于全局变量参数的底板模块模型、侧板模块模型、前板模块模型、后门模块模型;同理,建立自卸车副车架模块模板文件,最终建立自卸车整车模型如图 8 所示。

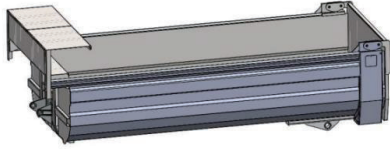


图 8 自卸车车厢方程式模型

### 2.4 系统运行

通过系统可以查看非标部件的三维预览图、系统组成结构树以及其他关键参数信息,根据用户需要,选择非标部件及标准件的驱动尺寸参数,自动生成三维参数化模型。系统实现的功能包括:

- 1) 查看自卸车关键零部件信息及生产厂家(图 9);
- 2) 上装非标结构部件可根据用户指定的关键参数自动生成三维模型(图 10);
- 3) 通过自动选型,基于特定配置规则,自动生成自卸车装配三维模型(图 11)。

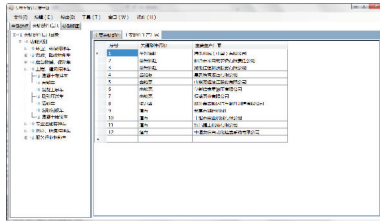


图 9 自卸车关键部件信息库

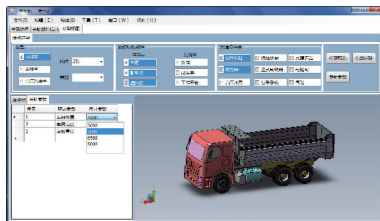


图 10 自卸车参数化设计系统界面一

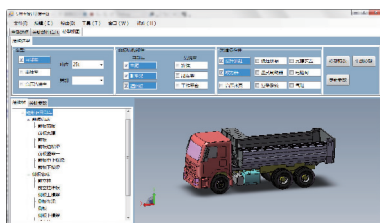


图 11 自卸车参数化设计系统界面二

### 3 结语

到目前为止,在文献有关的报道中,大多是采用逻辑外置的尺寸驱动形式,有部分采用的是程序驱动方式,通过对自卸车上装结构的拆解分析,这两种通用的参数化设计方式均无法适用于自卸车上装结构的特殊性。本文针对自卸车上装设计过程中,重复设计、开发周期长、设计效率低等问题,提出一种全新的参数化设计方式,搭建自卸车快速设计系统。该平台基于大规模定制化产品需求,利用自卸车上装结构参数化、模块化设计概念和基本设计方法,并采用自顶向下的设计方式,借助方程式设计理念自动化、智能化建立参数化模型。实际运行结果表明:面向大规模定制的自卸车上装参数化设计在理论上是可行的,在系统设计实践中解决了自卸车制造企业应对用户个性化需求而产生的设计变更问题,在一定程度上大大提升了企业在大规模定制化需求环境下的竞争力。

#### 参考文献:

- [1] 朱启航. 基于模块化设计的桥式起重机产品平台配置研究[J]. 南方农机,2018,49(2):72-73.
- [2] 李悦怡. 基于模块化的车厢可卸式垃圾车快速设计系统的开发[D]. 天津:河北工业大学,2017.
- [3] 龚京忠. 基于 FPBS 的机械系统模块化设计方法与应用研究[D]. 西安:国防科学技术大学,2008.
- [4] 陈旭,兰孟飞,刘庆,等. 汽车底盘模块划分及产品结构模型的建立[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版),2015,29(10):19-23.
- [5] 曹建平,杜宇,龚京忠,等. 基于 FPBS 的产品平台构建研究[J]. 机械制造,2010,48(9):70-73.
- [6] 周明春. 后压缩垃圾车标准件系统研究与开发[J]. 盐城工学院学报(自然科学版),2011,24(3):48-51.
- [7] 李小华. 面向大规模定制的专用车设计中的产品配置研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2007.
- [8] 李小华,马力,满开美,等. 面向大规模定制的自卸车举升机构产品配置优化设计[J]. 机电工程技术,2006,35(3):94-96.
- [9] 满开美. 面向大规模定制的专用车参数化设计系统研究与开发[D]. 武汉:武汉理工大学,2005.
- [10] 满开美,马力,邓亚东,等. 面向大规模定制的专用车参数化设计系统开发[J]. 机电工程技术,2004,33(3):27-28,38.
- [11] 张萌. 基于产品族的机械产品模块化配置设计关键技术研究[D]. 西安:国防科学技术大学,2013.
- [12] 杨馥霖,王喜洋,谢世聪,等. VB 及 SolidWorks 二次开发在柱塞泵建模中的应用[J]. 液压气动与密封,2018,38(7):9-12.
- [13] 欧长劲,苏之晓,李燕. 基于 SolidWorks API 的参数化设计及智能装配研究[J]. 轻工机械,2012,30(5):69-72.

收稿日期:2020-08-17