

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.08.003

混凝土泵车的产品模块建模方法研究*

刘宏洋¹, 何家波^{2*}, 顾新建², 刘守华³

(1. 三一重工股份有限公司, 湖南 长沙 410100; 2. 浙江大学 机械工程学系, 浙江 杭州 310027;
3. 中国标准化研究院, 北京 100191)

摘要: 针对泵车产品设计成本高和开发周期长的问题,采用模块化建模方法建立了泵车模块化产品开发平台。以泵车销轴为例,通过模块几何形状和结构参数分析,建立了销轴模块的主模型、主文档,生成了不同的销轴工程图实例。对泵车一级模块和二级模块的模块接口进行了类别划分。根据产品数据管理系统(PDM)和产品主结构,构建了订单产品模块化设计需要的模块分类树,划分出了泵车的基本模块、必选模块和可选模块,在此基础上进行了产品结构参数系列化设计和产品结构模块系列化设计。泵车模块建模方法在企业的实践结果表明:该方法减少和优化了约30%的零部件品种规格,缩短了近50%的产品研发时间,在降低生产成本的同时还提升了泵车产品的研发质量和品牌竞争力。

关键词: 泵车; 模块化产品平台; 模块建模; 模块化设计

中图分类号: TH166; TH122; TU646 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)08-0967-07

Research on the product module modeling method of truck-mounted concrete pump

LIU Hong-yang¹, HE Jia-bo², GU Xin-jian², LIU Shou-hua³

(1. Sany Heavy Industry Co., Ltd., Changsha 410100, China;
2. Department of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;
3. China National Institute of Standardization, Beijing 100191, China)

Abstract: Aiming at high design cost and long development cycle of truck-mounted concrete pump, the modular product development platform of truck-mounted concrete pump was established by modular modeling method. The axis pin was taken for instance, the module master model, the master document and different engineering drawings of axis pin were created by means of module geometry and structural parameters analysis. The interfaces of level one and level two modules were divided by category. According to product data management system(PDM) and product master structure, the module classification tree of modular design of order product was constructed and the basic modules, required modules and optional modules were divided, on the basis of this, the parameters serialization design and module serialization design of product structure were studied. The results indicate that the method can reduce and optimize about 30% of the parts of different specifications, cut down product development time by 50%. The method not only can reduce the production costs, but also can improve the quality of truck-mounted concrete pump product, enhance the brand competitiveness.

Key words: truck-mounted concrete pump; modular product platform; module modeling; modular design

0 引言

产品模块化设计是一种基于模块的配置设计或

者变型设计方法,能够低成本、快速满足用户的个性化需求。模块模型的优劣对于配置设计或者变型设计具有重要的意义,因此需要得到一套行之有效的产

收稿日期: 2014-03-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51175463); 国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(2013AA041304)

作者简介: 刘宏洋(1967-),男,湖南汨罗人,高级工程师,主要从事矿用车辆、工程机械、模块化应用研究. E-mail: liuhy@sany.com.cn

通信联系人: 何家波,男,博士研究生. E-mail: jiabohe@zju.edu.cn

品模块建模方法的支持。

产品模块建模方法是建立模块化产品平台的关键技术,产品模块化建模的好坏直接影响产品模块化设计的优劣,间接影响产品的生产成本和使用寿命等。目前对于产品模块建模方法的研究有许多,如孙喜龙^[1]将模块化建模思想引入到汽车碰撞仿真建模中,将整车划分为多个独立的模块,建立多种工况的仿真模型及优化模型,提高了建模效率;李浩等^[2]根据物理结构和网络拓扑映射原理,将集成服务产品结构抽象为社区网络结构,实现了模块化结构宏观建模;肖艳秋等^[3]提出了一种多尺度建模技术,利用结构化超图对零部件和模块的信息进行形式化描述,建立结构化模型;张艳岗等^[4]在分析考虑零件建模过程中结构特征、参数约束及仿真分析特征的基础上,提出了一种零件模块化建模技术的思想;王建正等^[5]提出了构建桥式起重机产品平台的方案,系统地论述了面向产品平台的模块参数化建模方法,并完成了桥式起重机产品平台构建;顾新建等^[6]提出了一种机电产品模块化设计的“Y”模型,并介绍了其在工业汽轮机和装载机中的应用。

本研究结合国内混凝土泵车(简称泵车)优秀制造企业案例,对泵车产品的模块建模方法进行分析研究。

1 混凝土泵车产品模块建模流程

四轴56 m泵车如图1所示。由于市场竞争激烈,产品更新换代快,客户需求多样化和个性化,泵车系列产品存在多品种、小批量生产的特点。为了降低设计、制造费用和维护成本,加快产品的研发速度,就需要对泵车进行产品模块建模,通过建立模块化产品平台来进行模块化设计。



图1 四轴56 m泵车

泵车产品模块建模流程如图2所示。其方法主要包括:标准模块设计和模块接口定义、模块化产品平台总体构建、产品结构系列化设计。

2 混凝土泵车的产品模块建模方法

本研究按照图2所示的产品模块建模流程,对泵车进行产品模块建模。

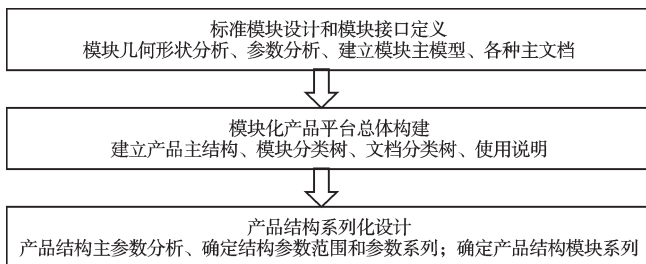


图2 泵车产品模块建模流程

2.1 标准模块设计和模块接口定义

2.1.1 标准模块设计

2.1.1.1 模块几何形状分析

模块几何形状分析的目的是利用几何形状的相似性减少产品内部多样化,减少零部件种类,建立配置设计和变型设计系统,用尽量少的零部件组成尽可能多的产品,达到优化产品成本和提高产品质量的目的。

以泵车销轴为例,按照销轴的工况要求及定位方式不同,有5种不同的典型结构形式,具体如图3所示。

序号	销轴图示
1	
2	
3	
4	
5	

图3 泵车销轴的分类

2.1.1.2 模块结构参数分析

模块结构参数分析的目的是区分变动参数和不变参数,优化参数种类,简化加工过程,为开展零部件的变型设计做好准备工作。

泵车模块结构参数分析过程是:对模块参数的类型分类,如功能参数、工艺参数(如倒角、圆角和拔模斜度等);其次确认该参数是变动参数还是不变参数,并根据设计中的约束限制,如强度约束和稳定性约束等条件,进一步找出变动参数中可以不变的参数集合,归并到不变参数集合中。

以泵车销轴为例,本研究对销轴参数进行分类,如对销轴出油口的倒圆角尺寸及加工工艺进行固化,销轴的典型结构要素如图4所示。各类结构参数在所有销轴中都可以重用,不仅可以提高设计质量,而且固化了加工工艺,降低了制造成本。所有销轴统一采用M8×1的标准油杯,安装油杯的沉头孔也同时固化;所有销轴装配前端导入角采用相同角度;统一规定润滑脂出油口的倒角为 $2 \times 120^\circ$,圆角半径为R2,且规定R2圆角的具体加工工艺(滚压工艺),对该结构要素标准化,可有效防止油口堵塞,同时改善销轴出油口处的应力集中。

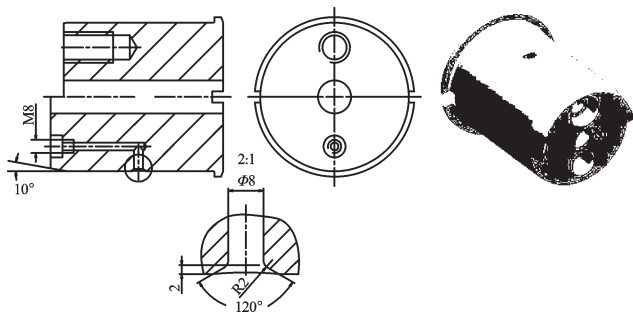


图4 销轴的典型结构要素

2.1.1.3 模块主模型的建立

本研究通过以上对零部件的几何形状分析和结构参数分析,可建立零部件主模型。零部件主模型主要由模块的几何模型与相应的事物特性表组成。笔者采用模块几何主模型及哑元尺寸描述模块族中各模块的统一特性,采用事物特性表描述模块族中模块的具体尺寸及其他特性。只需要在主模型中输入一组数值,就可以自动派生出模块的一个变型^[7]。

泵车销轴的主模型如图5所示,该模型由销轴的几何主模型与相应的事物特性表组成。图5的下半部分分别表示了识别码为0001、0002和0003的3个不同尺寸的销轴模型。

2.1.1.4 模块主文档的建立

在模块化产品建模设计技术中,所谓的主文档是各种模板的总称。在零部件主模型的基础上可以建立不同的模板,利用不同的模板可以派生出不同类型的文档。模块主文档主要有主图、模块族事物特性表、主工艺过程规划、主数控(NC)程序。

(1) 主图。主图是模块族的工程图模板,用于派生模块族中的某个模块的工程图。如泵车销轴模块化设计时,笔者通过主模型,可建立销轴模块族的主图,通过销轴模块主图和事物特性表,可生成不同的销轴工程图实例,示意图如图6所示。

(2) 模块族事物特性表。事物特性表是指表征产品对象的功能、几何、制造等事物特性,并以固定格式表的形式反映出来的信息集合。模块化设计中广泛采用了事物特性表技术,模块族事物特性表规定了模块族中各模块的变型参数,笔者结合模块主图,可以获得实例模块的具体参数^[8]。某工程机械企业泵车模块化设计时应用了模块族事物特性表技术,如销轴模

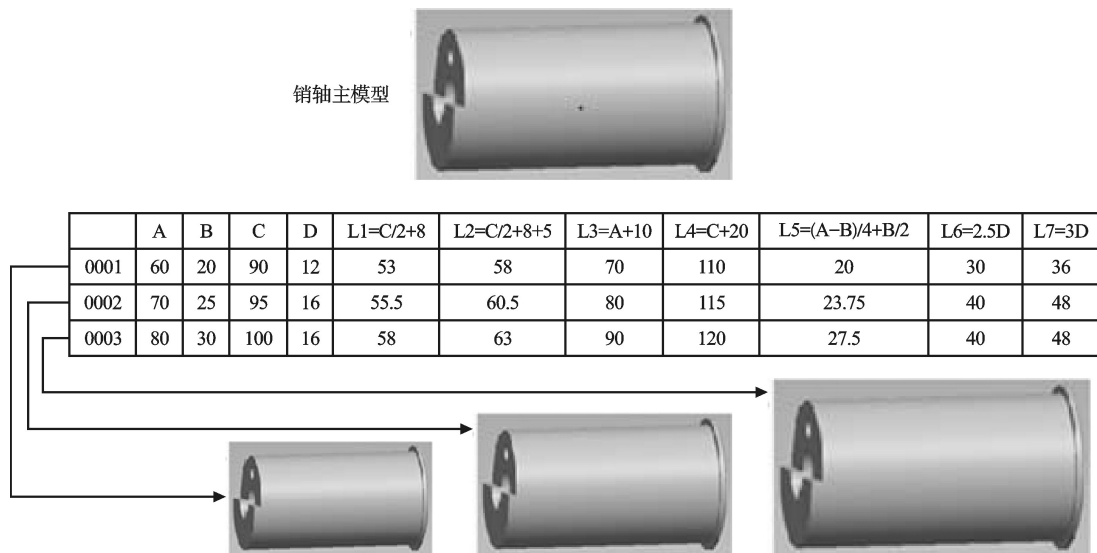


图5 泵车销轴的主模型

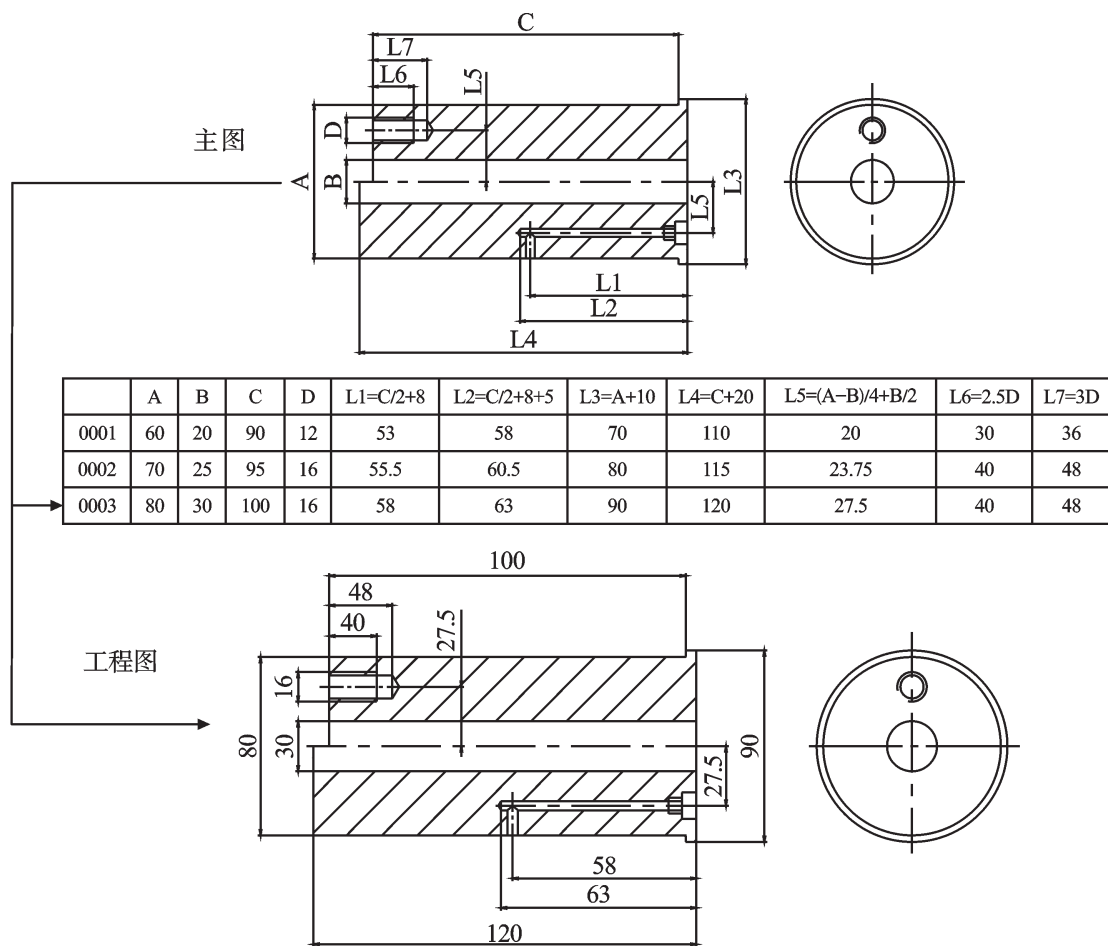


图6 泵车销轴的主图和事物特性表

块族事物特性表,如图6所示。其中的A、B、C、D为销轴的事物特性(哑元尺寸),而L1、L2、L3、L4、L5、L6、L7则分别是A、B、C、D中导出的算法特性,例如: $L1=(C/2+8)$, $L2=(C/2+8+5)$, $L3=A+10$, $L4=C+20$, $L5=(A-B)/4+B/2$, $L6=2.5D$, $L7=3D$ 。当A、B、C、D被赋予不同的数值时,就可以产生不同尺寸的销轴模型。

(3) 主工艺过程规划。根据上述模块的主图和事物特性表,本研究采用计算机辅助工艺规划(CAPP)系统编制工艺过程规划,并建立模块族的工艺过程规划模板,泵车主工艺过程规划模板库如图7所示。工艺过程规划模板用于派生模块族中的某个模块的工艺过程规划,并集成到企业资源计划(ERP)系统中。

- ☑ 模板-挤压钢管
- ☑ 模板-钢管(锯)
- ☑ 模板-钢管(锯+划线+钻孔)
- ☑ 模板-钢管(锯+弯)
- ☑ 模板-油管-(焊接+磷化+底漆)
- ☑ 模板-油管-(焊接+试压5mpa+磷化+底漆)
- ☑ 模板-油管-(焊接+试压18mpa+磷化+底漆)
- ☑ 模板-油管-(焊接+试压25mpa+磷化+底漆)
- ☑ 模板-油管-(焊接+试压40mpa+磷化+底漆)
- ☑ 模板-销轴

图7 泵车主工艺过程规划模板库

(4) 主NC程序。本研究通过上述模块族的工艺过程规划模板,建立模块族的NC程序模板,用于派生模块族中的某个模块的NC程序。

2.1.2 模块接口定义

模块接口指的是有着相互结合关系的模块在结合部位存在的具有一定几何形状、尺寸和精度的边界结合表面,产品的模块化程度、模块的快速组合都取决于模块接口,故模块的接口设计是模块化设计的重要内容之一。只有模块接口的合理协调,使得模块具有独立性,才能形成一个功能协调的整机产品。

泵车模块接口设计时,由产品总体设计师和分系统总体设计师进行讨论并整理出一级接口、二级接口的详细设计信息和整车、分系统的主参数表,包括:泵车一级接口参数表、臂架系统二级接口参数表、转塔系统二级接口参数表、泵送系统二级接口参数表等。

接口根据不同类型、不同用处主要分为4类:A—直接连接类,如模块之间直接的装配信息,如连接法兰、销轴等;S—空间占位类,如模型占位、空间干涉检查、检修空间等;T—参数传递类,如尺寸参数、性能参数、力矩传递等;C—通信注释类,如设计参考、注意点

等。泵车一级模块接口参数、臂架系统二级模块接口参数分别如图8、图9所示。

一级模块接口表	泵车总体	臂架系统	转塔系统	泵送系统	泵车底架	泵车底盘
泵车总体						
臂架系统	T		S	S	S	
转塔系统	T	A		S	S	S
泵送系统	T					S
泵车底架						
泵车底盘						

图8 泵车一级模块接口参数

臂架系统二级模块接口表	臂架系统总体	转台	臂架1	臂架2	臂架3	臂架4	臂架5
臂架系统总体							
转台	T		S			S	
臂架1	T	A					
臂架2	T		A				
臂架3	T			A			
臂架4	T				A		
臂架5	T					A	
臂架6	T						A
连杆1	T						
连杆2	T						
连杆3	T						
连杆4	T						
连杆5	T						
连杆6	T						
连杆7	T						
连杆8	T						
油缸1	T	A					
油缸2	T						
油缸3	T						
油缸4	T						
油缸5	T						
油缸6	T						

图9 臂架系统二级模块接口参数

2.2 模块化平台总体构建

泵车的模块化平台是建立在产品数据管理系统(PDM)中的,本研究通过在PDM系统建立模块库,再根据泵车产品主结构及各模块的选择关系,以方便建立新产品和订单产品模块化设计的结构树。模块化产品平台构建过程包括:建立产品主结构、模块分类树、文档分类树和使用说明等,形成模块化产品总体结构信息描述体系^[9]。

模块化产品平台的核心是产品主结构。泵车某系列产品的主体结构如图10所示。在订单产品设计时,设计者通过产品主结构选择所需要的模块,主要包括:基本模块、必选模块、可选模块。

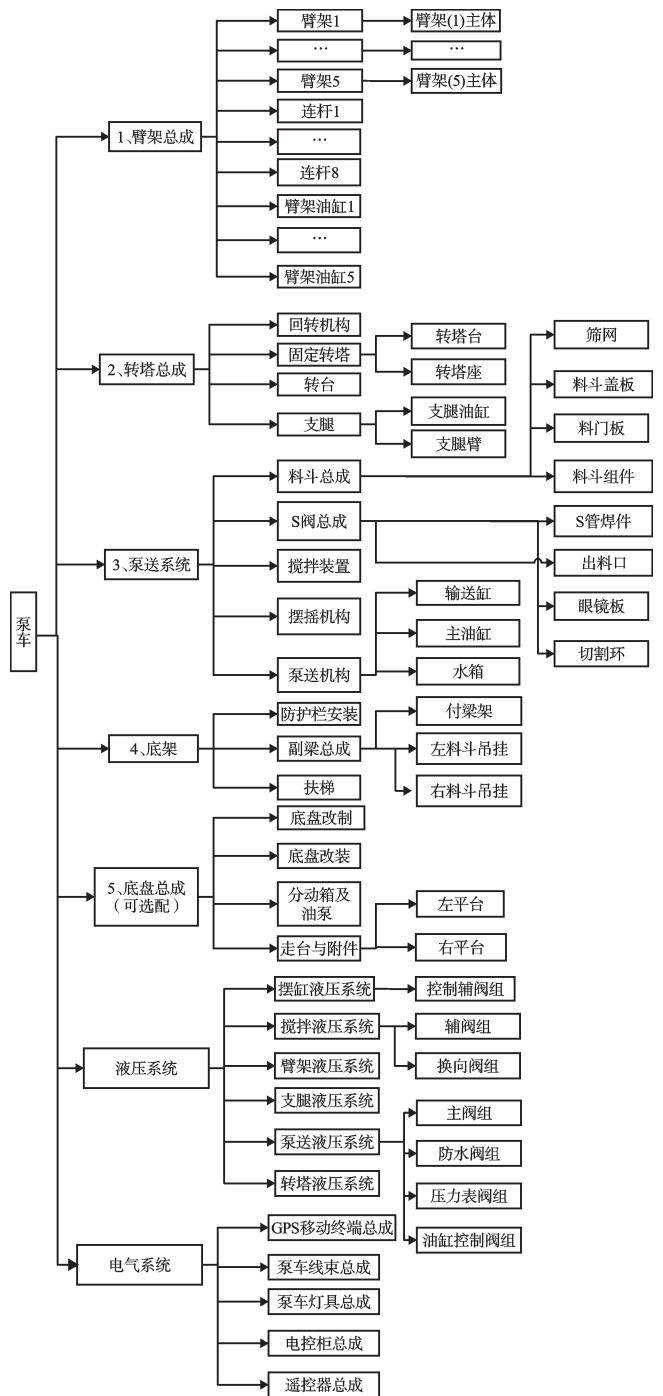


图10 某系列泵车产品主结构

2.2.1 基本模块

基本模块是组成一个产品时必须包括的模块,也是被产品族中几乎所有产品都采用的模块,其尺寸、形状或特性在系列产品中是完全一样的。泵车全系列产品的基本模块主要为液压辅阀组和电气操作盒,如换向阀组、压力表阀组、维修操作盒、支腿操作盒等。

2.2.2 必选模块

必选模块是必须按照一定的规则从产品主结构中指定的模块族中选择合适的模块组合到定制产品中。泵车产品的模块大部分都是必选模块(基本模块是必选模块的特例)。

2.2.3 可选模块

可选模块是可按照一定的规则从产品主结构中指定的模块族中选择合适的模块组合到定制产品中。泵车产品只有少量的可选模块,如臂架防高压电装置模块、臂架减震系统模块、GPS移动终端等。

泵车的一级模块如图11所示。其中:底盘为泵车的行驶和泵送施工提供动力;转塔为臂架提供支撑底座和回转功能;泵送系统将混凝土由料斗经输送管输送到浇注现场;臂架系统用于混凝土布料作业和固定输送管。根据上面基本模块、必选模块和可选模块的定义,可以得出泵车的一级模块都是属于必选模块。

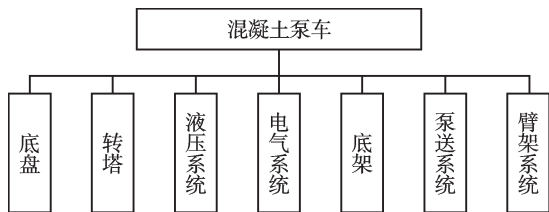


图11 泵车的一级模块

本研究以泵车的第一级模块为基础,结合零部件的结构和功能等方面的因素进行第二级模块划分。泵车的部分二级模块图如图12所示,同样泵车二级模块也都属于必选模块。

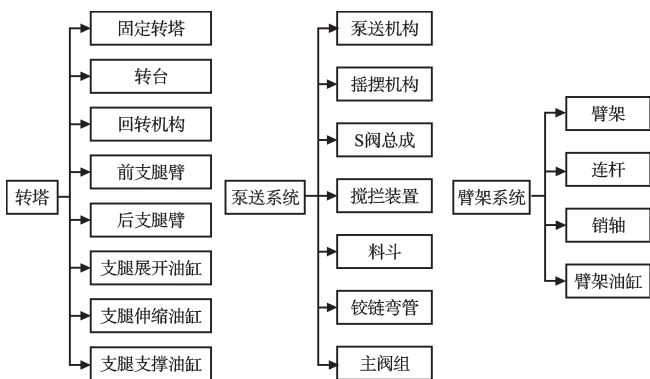


图12 泵车的部分二级模块

2.3 产品结构系列化设计

产品结构系列化设计可以分为产品结构参数系列化设计和产品结构模块系列化设计。

2.3.1 产品结构参数系列化设计

本研究在产品功能系列化规划和模块设计的基础上,进行产品结构参数系列化设计。泵车结构主参数是臂架最大布料高度,其中两个产品族系列如表1所示,分为40 m、43 m、46 m、50 m、52 m、56 m。

2.3.2 产品结构模块系列化设计

泵车结构模块系列化设计中将40 m、43 m、46 m泵车分为一个产品族,46 m泵车为基型产品。同样,50 m、52 m、56 m泵车分为一个产品族,56 m泵车为基型产品。通过在基型产品上进行变型设计,从而实现了产品结构模块系列化设计的目标:以尽可能少的模块变型和组合变化,满足客户需求。

泵车模块系列型谱表如表2所示,共划分一级、二级、三级模块300余种,并在PDM系统建立泵车模块

表1 泵车结构系列化设计

结构参数系列化	结构模块系列化
40 m、43 m、46 m 泵车	以46 m 泵车为基型产品,只有臂架、转台等5个模块不同,其余模块通用。
50 m、52 m、56 m 泵车	以56 m 泵车为基型产品,只有臂架、转台等5个模块不同,其余模块通用。

表2 泵车模块系列型谱表(部分)

模块库	二级模块	三级模块	模块编码	模块标记	模块编号
臂架库 MBCA12584520	单节臂架 12584587	臂架(1) 12584506	12585941	臂架(1)-X01-MBCA1240	MBCA1240
			12585946	臂架(1)-X02-MBCA1260	MBCA1260
			12586938	臂架(1)-X03-MBCA1220	MBCA1220
			12586936	臂架(1)-X04-MBCA1280	MBCA1280
					
			12587557	连杆(1)-X01-MBCA2260	MBCA2260
			12587563	连杆(1)-X02-MBCA2280	MBCA2280
			12587569	连杆(1)-X03-MBCA2220	MBCA2220
			12587575	连杆(1)-X04-MBCA2230	MBCA2230
					
	连杆 12584594	连杆(1) 12584693			
					

库。设计时设计人员应尽量选择已有模块或在此基础上变型设计,对应每个模块都有唯一的编码(流水码),方便区分和使用所需模块。

3 混凝土泵车模块化平台应用结果

通过产品模块建模方法,本研究建立了泵车模块化平台,在此基础上开展模块化设计,取得了如下成果。

3.1 产品成本降低

泵车系列产品的模块化零部件为300多个,减少和优化零部件品种规格约30%,降低了研发和制造成本,取得良好的经济效益。

3.2 产品研发周期缩短

基于模块化平台,通过协同设计技术,开展变型设计和配置设计,可引领客户需求,不断推出新产品,淘汰老产品,泵车变型产品研发时间缩短了近50%。

以3轴46 m系列泵车为例,本研究在此基础上开发3轴40 m和43 m泵车,只有臂架、转台等5个模块不同,其余模块通用。臂架、转台可基于Pro/E的参数化设计实现快速变型,然后通过产品族主结构进行配置设计,这样可以快速开发出40 m~46 m整个产品族的所有产品。

3.3 产品研发质量提升

新产品开发采用基于自顶向下的模块化三维设计,开发人员在方案设计阶段即可对新结构和关键件等进行数字化样机分析,从而使设计的产品更可靠。本研究通过模块化创建了很多通用模块和标准模块,这些模块一般历经了长时间的试验测试和实践验证,并反复修改优化,是集体智慧的结晶,因而具有很高的质量和可靠性。

3.4 品牌竞争力提升

本研究基于模块化平台,并通过模块化的商务、制造平台,使生产制造的泵车产品品质不断提升,提升了品牌竞争力。

5 结束语

本研究介绍了泵车产品模块建模方法及企业的实际案例。研究表明:

(1) 通过泵车产品模块建模实践,验证和完善了顾新建等人提出的产品模块建模方法。

(2) 泵车模块化平台确实能降低产品成本、缩短产品研发周期、提升产品研发质量、提升品牌竞争力。泵车产品模块建模方法的研究和实践丰富完善了机电产品模块化平台开发方法,为人们今后开展其他机电产品模块建模方法研究提供了一定的参考。

(3) 泵车模块化平台也有其特殊性。例如:产品结构系列化中并没有选择优先数系列,而是根据市场的实际需求,在基型产品的基础上,在产品族范围内拓展若干产品,适应客户需求的多样化和个性化。

参考文献(References):

- [1] 孙喜龙. 汽车被动安全性的模块化建模方法与多目标优化研究[D]. 吉林大学生物与农业工程学院,2013.
- [2] 李 浩,乔东平. 一种复杂集成服务型机械产品的模块化结构建模方法[J]. 河北科技大学学报,2013,34(3):182-187.
- [3] 肖艳秋,赵 和,乔东平,等. 面向模块化变型设计的多尺度模型研究[J]. 制造业自动化,2013,35(3):120-133.
- [4] 张艳岗,苏铁熊,王连宏,等. 零件模块化建模技术研究及程序实现[J]. 制造业自动化,2013,35(4):113-127.
- [5] 王建正,魏双庆,张 崇,等. 桥式起重机产品平台构建技术研究[J]. 机械设计与制造,2013(1):126-129.
- [6] 顾新建,杨青海,纪杨建,等. 机电产品模块化设计方法和案例[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [7] 李响烁. PLM开发实施进程与集成产品元模型研究[D]. 浙江大学机械工程学系,2007.
- [8] 谈宏志,仲梁维. 基于事物特性表的参数化产品变型设计研究[J]. 现代制造工程,2012(8):76-79.
- [9] 樊蓓蓓. 基于网络分析法的模块化产品平台关键技术研究[D]. 浙江大学机械工程学系,2011.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

刘宏洋,何家波,顾新建,等. 混凝土泵车的产品模块建模方法研究[J]. 机电工程,2014,31(8):967-973.

LIU Hong-yang, HE Jia-bo, GU Xin-jian, et al. Research on the product module modeling method of truck-mounted concrete pump[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(8):967-973.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>