

文章编号:1005-0523(2015)04-0117-07

基于可适应设计的起重机小车平台规划

程贤福,张盛财,王 涛

(华东交通大学机电工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:为了适应当前大规模定制的发展趋势,增强企业对已有设计知识的重用,缩短产品开发周期,在产品平台规划中引入可适应设计理念。以公理设计作为指导框架,在对客户需求及产品功能结构分析的基础上,对起重机小车采用“Z”字形映射方法获得小车FR-DP映射图,构建小车的公理设计矩阵;在分析起重小车设计参数间的关联度基础上,建立小车设计关联矩阵;规划出小车的平台参数、变型参数和定制参数,进而根据设计要求对这3类参数进行调整和配置,最终实现起重机小车可适应平台设计。

关键词:大规模定制;可适应设计;平台规划;起重机小车;设计参数

中图分类号:U653.921;F273

文献标志码:A

大规模定制是一种基于用户选择,根据订单要求设计生产的生产方式,因而可很好地跟踪和满足用户需求,从而提高生产效率,强化用户的满意度^[1]。可适应设计是一种可实现大规模定制要求的重要设计方法之一,通过对产品功能模块可适应重组来实现客户定制需求,强化企业对已有设计经验和资源的重用,对已有产品功能结构的变型来开发新产品^[2]。国内外很多研究人员对可适应设计方法进行了大量的研究,如Xue等^[3]提出了基于整个产品生命周期的可变需求创建可变产品的优化可适应设计。陈永亮等^[4]在分析相似度及聚类的基础上,提出了面向可适应参数化产品平台构建方法。翟荣斌等^[5]基于参数化和模块化的产品设计方法及可适应设计的理论,提出构建参数化、模块化可适应设计平台的方法。肖新华等^[6]将可适应设计方法学运用在模块模型的构建中,提出可适应模块的概念。Zhang等^[7]在对产品操作平台的需求和参数变化的基础上提出稳健性可适应设计方法。Tarek^[8]提出了面向产品平台响应设计方法,并将该设计方法成功应用于家用水壶的开发。该方法运用智能算法对变型产品的通用模块进行快速聚类,缩短构建产品设计平台时间,提高产品设计效率。Liu等^[9]从分析成本预算和客户需求等角度提出了一种针对产品族设计的决策支持系统,并验证了其可行性。

通过对起重机设计的分析,在可适应设计分析的基础上,以起重机小车为对象,提出基于可适应性的起重机小车平台规划方法。

1 起重机设计的可适应性分析

起重机是目前工业生产过程中实现自动化、机械化的必要设备,由于起重机功能结构比较繁杂、专业性强、生产成本低、产品系列化不清晰等特点,企业大多根据客户定制要求进行设计和生产,并且随着近几年来国家经济建设的快速增长及工业化进程不断推进,起重机需求量不断增大,对于中小吨位的起重机,其大规模定制发展形势也趋于明显。由于在起重机传统设计方法中存在重复劳动占用时间长、设计知识

收稿日期:2015-01-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71462007;51165007)

作者简介:程贤福(1975—),男,副教授,博士,研究方向为大规模定制、产品平台规划、稳健优化设计等。

重用率低、设计效率低下等缺陷,已不能适应当前市场发展的需要。根据市场定位及客户需求分析,客户对起重机定制的要求一般在起重量、工作级别及使用工况等方面,且企业在设计开发新产品中往往是在已有机型上进行改进与变型。现代起重机设计既包含了产品的模块化设计,又有产品的参数化设计,如桥式起重机桥架跨度可通过参数化设计方法来调节,而车轮组可作为模块来变更,在一定规格范围内,设计相关资源、经验和知识等都可以重用;此外,桥架类型的起重机小车从功能结构上大致相同,具有共同的拓扑结构。上述分析说明了中小吨位的起重机设计具有模块化和参数化特点,两者可以集成,其规格也较多,设计过程相似。而可适应设计方法作为一种实现客户个性化需求、强化企业应对市场变化能力的设计方法,它结合了模块化和参数化设计优点,在设计过程中,通过对产品功能模块进行有效配置和对产品相关设计参数进行适当调整等方法实现产品快速设计的目的^[10]。因此,综合分析起重机设计特点和可适应设计优势可以发现,可适应设计方法适用于起重机设计。

2 起重机小车可适应平台规划

起重机小车一般由起升机构、运行机构和车架构成,并且安装有安全保护设备。以小车车架分析为例,图1所示为小车车架的构成,图1(a)为装配有一套起升机构的小车车架,图1(b)为装配有两套起升机构的小车车架。通过对比图1(a)和图1(b)发现,在原有车架的基础上外加一套副起升机构后,相关的模块或零件需要适当地变型,如横梁的数量增加和横梁结构尺寸的调整。并且通过调整小车的轨距及对桥架的变型可实现小车在不同桥架类的起重机上的应用,因而适合利用可适应设计方法来设计起重机小车,图2所示为对小车参数规划流程图。



图1 小车车架的构成

Fig.1 The structure of trolley's frame

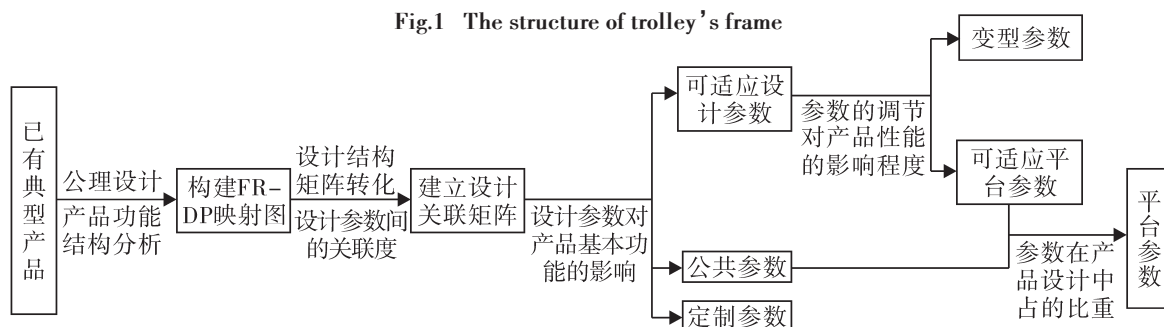


图2 小车参数规划流程图

Fig.2 The flow chart of trolley's parameters planning

2.1 功能要求—设计参数映射图分析

以一台典型的起重载荷为20 t的桥式起重机小车为分析对象,其设计参数如表1所示,基于对用户需求及小车的功能结构的分析,参考文献[11]的方法对小车进行模块化层次分解,并以公理设计的理论作为

设计指导框架,对起重机小车采用“Z”字形映射方法获得如图3所示的小车的FR-DP(functional requirements–design parameters)映射图,图中左半部分的分解图为小车功能要求FR_s分解图,右半部分的分解图为小车相对应的设计参数DP_s分解图。根据查阅相关起重机设计手册,确定各分解层次的FR_s和DP_s之间的关系,建立公理设计矩阵,并通过重排公理设计矩阵获得下三角矩阵,如图4所示。

表1 参考小车设计参数

Tab.1 The design parameters of the referential trolley

起重 量/t	车架结构/ (mm×mm)	轨距/ mm	车轮 直径/ mm	卷筒结构/ (mm×mm)	起升速 度 v_d /(m· min ⁻¹)	运行速 度 v /(m· min ⁻¹)	起升机构			小车运行机构		
							电机功 率/转速 (kW)/ (r·min ⁻¹)	传动 比	制动力 矩/ (N·m)	电机功 率/转速 (kW)/ (r·min ⁻¹)	传动 比	制动力 矩/ (N·m)
20	3 220× 2 580	2 000	Φ350	Φ500× 1 500	11.8	45.6	55.0/725	25.02	2 000	5.5/930	22.4	200

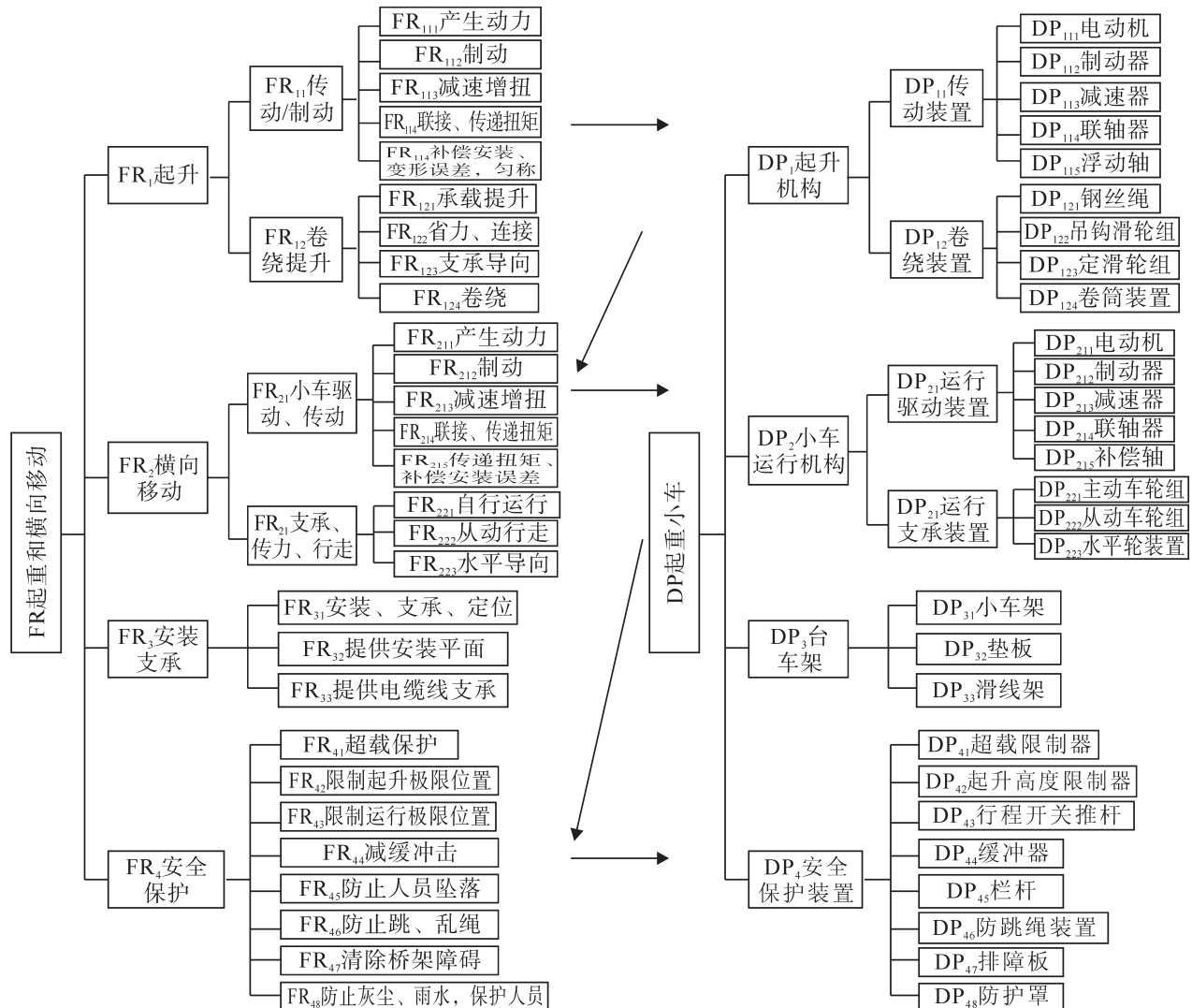


图3 小车的FR-DP映射图

Fig.3 The decomposition between FR-DP of the trolley

2.3 设计参数的规划

为了更好地将可适应设计方法运用于小车开发,需要对小车的设计参数进行必要的规划,寻找出参数间关系及其对设计的影响。首先根据功能分解图及设计者的经验,将功能设计参数 DP_{111} , DP_{211} , DP_{221} , DP_{333} 视为公共参数,这类参数能实现产品的基本功能要求且具有比较固定的拓扑结构。通过进一步分析设计关联矩阵发现,设计参数 DP_{121} , DP_{31} , DP_{222} 列总和值较大并且行总和值较小,表明这些参数的改变不仅会较大地影响其它相关设计参数,并且受其它相关设计参数影响很小,所以 DP_{121} , DP_{31} , DP_{222} 也可作为公共参数。

在对小车变型产品差异性分析的基础上,根据定制参数具有不影响产品基本功能的特点,小车的定制参数有 DP_{223} , DP_{46} , DP_{47} , DP_{48} 等设计参数,因为此类设计参数不会对小车的基本功能产生影响,通过调整这些设计参数来实现客户的个性化需求,从而提升产品的附加值。

接下来分析可适应设计参数,根据参考文献[13],可适应设计参数分为可适应平台参数及变型参数,前者指的是在一系列相似产品中取值不变或在允许的小范围内变更,对产品性能差别性影响不大甚至可忽略的设计参数;后者指的是能够在允许较大的范围内调节,不会较大地影响产品性能的差别性,且对变型产品的功能没有影响的设计参数,这类参数主要针对一系列相似产品中的变型产品。通过对功能分解图及市场分析, DP_{112} , DP_{113} , DP_{114} , DP_{122} , DP_{123} , DP_{124} 等设计参数为可适应平台参数,首先这些设计参数对小车实现正常运转起到决定性的作用,但这些设计参数受其它部分设计参数的影响,且在设计过程中适当调节这些设计参数不致较大地影响产品性能的差别性。如 DP_{112} (起升机构制动器)对起升速度控制和起升悬停起到决定性作用,但在设计过程中可根据需要进行适当配置。 DP_{115} , DP_{215} , DP_{32} , DP_{42} , DP_{43} , DP_{44} , DP_{45} 等设计参数为变型参数,因为这些设计参数在设计过程中可以有很大的变动且对产品基本功能影响不大。如 DP_{215} (补偿轴)对小车运行影响不大,但在有补偿轴的情况下小车安装和运行性能会有较大的改善。

在对小车可适应规划过程中,为了更好地实现设计参数的可适应性,根据设计参数在设计过程中的比重和用户需求分析,可将公共参数和可适应平台参数归类为平台参数,最终规划获得平台参数、定制参数和变型参数这3类参数。3类参数之间影响如下:首先,平台参数是构建产品基本功能的框架,在设计规划中基本不受其它设计参数的影响。其次,变型参数是产品设计中重要的参数,当平台参数在配置和安装过程中发生改变时,一般须进行相应的调整以适应平台参数的变化。如小车运行机构的减速器由靠一侧车轮的方案调整为中间布置的方案,则需要对浮动轴这一变型参数进行调整。其三,定制参数是根据产品的工作环境及客户要求所添加的附加参数,因此在设计过程中主要在小车平台上进行添加和更换调整。如用户需要吊装影像显示,则可在起升机构中加装。当然随着产品更新换代步伐不断加快,产品性能也在不断变化,产品设计参数的分类也会发生变化,如 DP_{46} 在由定制参数升级为变型参数时, DP_{44} 可由变型参数转变为公共参数。

2.4 小车平台的可适应性

起重量是起重小车设计过程中最为重要的参数之一,也是客户定制要求中最重要参数之一,假设设计过程中起重量改变不是很大,那么起重机小车的相关机构所承受的载荷变化也不大,这也为起重机的变型提供参考。对于不影响起重小车基本功能的定制参数,如缓冲器、行程开关推杆、栏杆等安全装置,可引入相应的装置来实现。在上述平台中,如果客户需要增设一副起升,则可以在平台的基础上增加一副起升机构,此时主起升机构保持不变,小车运行机构因小车自重会有一定的增加而产生相应的改变,但变化较小,且轨距可以不变;小车架横梁需加1根,如图1(b)所示,横向结构不变,纵向增长。由此可见,平台规划的可适应性很容易就能实现。

进一步假设客户定制需求有所改变,如表2所示,设计过程中仍以表1中的20 t起重小车为平台。

表2 起重小车的定制要求

Tab.2 The customization requirements of the trolley

起重量/t	车架结构/(mm×mm)	轨距/mm	车轮直径/mm	起升速度 v_q /(m·min ⁻¹)	小车运行速度 v /(m·min ⁻¹)	卷筒结构 /(mm×mm)
32	4 100×3 030	2 500	Φ500	9.4	35.7	650×2 000

对比分析表1和表2的设计参数,由于设计中的起重载荷变化不是很大,因此小车的基本结构框架变化也不大。表2中车架的结构尺寸、轨距和车轮直径较表1中的均有所增大,可根据上述可适应平台规划方法调整小车车架的结构尺寸、车轨距和车轮直径来实现;如将对原有车架的长宽及板厚进行调整并在适当位置增加横梁来增大车架的强度,及增大小车的轨距。然后根据客户要求对起升和小车运行机构电机进行调整;接着分析卷筒的结构,由于起重量增大了且车架的结构也有所增大,所以通过增大卷筒的轴向和径向的尺寸来实现,当然考虑到起重载荷的增大势必增大卷筒的载荷,因此设计过程中需要对卷筒进行结构和材料等参数进行调整从而提高卷筒的强度,结合市场上的减速器和制动器系列进行选择配置,从而获得要定制的32 t小车的设计参数,如表3所示。在确定平台参数后,为了进一步提高产品性能,可对平台中的变型参数做适当调整,且根据客户的个性化需求添加相应的定制参数提高产品的附加值,增强客户的满意度。

表3 设计得到的小车设计参数

Tab.3 The designed parameters of the trolley

起重量/t	卷筒结构 /(mm×mm)	车轮直 径/mm	轨距/mm	起升机构			小车运行机构		
				电机功率/转 速(kW)/(r· min ⁻¹)	传动比	制动力矩/ (N·m)	电机功率/转 速(kW)/(r· min ⁻¹)	传动比	制动力矩/ (N·m)
32	Φ650×2 000	Φ500	2 500	75.0/727	40.17	2500	7.5/940	37.9	320

3 结束语

针对起重机设计的特点,引入了可适应设计方法,融合了模块化与参数化平台优势,提出了起重机小车产品平台规划方法。在对起重机设计的可适应性分析的基础上,对小车的功能和结构进行分解,建立设计关联矩阵,对设计参数进行规划并获得小车的平台参数、定制参数和变型参数,最终构建出小车可适应产品平台。设计过程中根据客户要求,通过在产品平台上配置和修改相关设计参数,实现快速设计出客户要求的产品,从而缩短产品设计周期,降低企业开发成本,增强企业响应市场变化的能力。

参考文献:

- [1] 朱晓妹,林井萍.电子商务时代供应链管理的思考[J]. 华东交通大学学报,2002,19(4):101-104.
- [2] GU P, HASHEMIAN M, NEE A Y C. Adaptable design [J]. CIRP Annals Manufacturing Technology, 2004,53(2):539-557.
- [3] XUE D, HUA G, MEHRAS V, et al. Optimal adaptable design for creating the changeable product based on changeable requirements considering the whole product life-cycle [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2012,31(1):59-68.
- [4] 陈永亮,褚巍丽,徐燕申.面向可适应性的参数化产品平台设计[J].计算机集成制造系统, 2007,13(5):877-884.
- [5] 翟荣斌,王宗彦,吴淑芳,等. 基于参数化模块化的卷筒组可适应设计平台开发[J].矿山机械,2012,40(6):49-52.
- [6] 肖新华,史明华,肖放,等.可适应模块及其在粗纱机方案设计中的应用[J].纺织学报,2005,26(6):79-81.
- [7] ZHANG J, XUE D, GU P. Robust adaptable design considering changes of requirements and parameters during product operation

- stage[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014, 72(1/4):387–401.
- [8] TAREK ALGEDDAWY, HODA ELMARAGHY. Reactive design methodology for product family platforms, modularity and parts integration [J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2013, 6(1):34–43.
- [9] LIU E, HSIAO S W. A decision support system for product family design[J]. Information Sciences, 2014, 281:113–127.
- [10] GU P, XUE D, NEE A Y C. Adaptable design: concepts, methods, and applications[J]. Journal of Engineering Manufacture, 2009, 223(5):1367–1387.
- [11] 王浩伦. 模块化产品族中模块和零部件通用性分析方法[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(2):78–84.
- [12] 肖人彬, 程贤福, 陈诚, 等. 基于公理设计和设计关联矩阵的产品平台设计新方法[J]. 机械工程学报, 2012, 48(11):93–103.
- [13] 程贤福. 面向可适应性的产品平台设计参数规划方法[J]. 工程设计学报, 2014, 21(2):140–146.

Trolley Platform Planning Based on Adaptable Design

Cheng Xianfu, Zhang Shengcai, Wang Tao

(School of Mechatronical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The adaptable design is introduced in product platform planning in order to adapt to the present development requirements of mass customization, strengthen the reuse of existing design knowledge and to shorten the product design cycle. On the basis of user needs, market position, functional structure of product, by applying the axiomatic design theory as guidance framework, this study establishes the axiomatic design matrix for the trolley based on zigzagging mapping between functional requirements and design parameters. Then the design incidence matrix is obtained according to the sensitivity analysis of the design parameters' relationship. Finally, an example of the trolley is adopted to demonstrate the feasibility and practical value of the proposed method.

Key words: mass customization; adaptable design; platform planning; trolley; design parameter

(责任编辑 刘棉玲)