探析模块化设计方法在机械设计中的应用

王红梅 丁永胜 张新

(歌尔股份有限公司 山东 潍坊 262206)

摘要: 模块化设计方法可在一定程度上优化机械结构内部的机构性能,使其更具整体性,有利于节省机械零部件设计的预留空间,提升一些特殊机械结构的防水、防尘性能。因此,本文以机械产品模块化设计为切入点,重点分析模块化设计在机械设计过程中的设计要点,旨在提高机械产品研制速度,降低设计风险与提高机械产品可靠性,切实满足制造企业的自主设计需求。

关键词: 模块化; 设计方法; 机械设计

0 引言

模块化设计作为全新的现代设计方法,在机械设计领域中得到广泛应用,通过组合配置专用模块,从而在短时间内完成机械产品设计工作,并对产品质量与使用可靠性提供有力保证。由于传统的设计方法无法有效地提升机械设计的效率和质量,因此关于模块化设计方法的研究逐渐成为热门课题。

1 模块化设计概述

1.1 模块化设计概念

模块化设计是单独设计若干具备独立运行属性与稳定运行状况的标准单元硬件及软件产品,根据产品使用要求,将若干模块相互组合,通过预留接口使各模块保持互联互通状态,从而组成完整机械产品的全新设计方法。在机械设计期间,要求选用的模块同时满足具备独立功能、模块间可互换、连接要素标准化等条件,并将模块分为功能模块、结构模块和单元模块三类。其中,功能模块是具备独立使用功能和等效功能的部件,结构模块是保持特定安装尺寸与较高通用性的部件,单元模块则是结构部件与功能部件二者结合体^[1]。具体来讲,传统机械设计方法是设计人员根据产品研制与使用要求,从无到有地设计产品结构,并添加参数信息,存在产品设计周期长、研制成本与最终成果质量缺乏可控性等局限。而模块化设计则是设计人员根据实际需要来调用现有产品模块,将若干模块进行组合处理,仅需对少数模块信息进行适度修改,解决模块间兼容问题,即可完成设计工作,有效突破了传统设计模式的局限性。

1.2 模块化设计优势

在机械设计领域,模块化设计方法具有满足多元化与个性化需求、降低设计复杂程度、缩短产品研制周期、

便于产品升级改造和用户参与五项优势。

第一,满足多元化与个性化需求。制造企业根据用户自身需求来定制机械产品,调整模块组成形式、模块种类与数量即可,由于模块化设计流程简单、工作量小,可在短时间内完成定制产品的研制工作,产品研制成本与时间在用户和制造企业可接受范围内。

第二,降低设计复杂程度。正常情况下,设计人员仅需按照产品研制要求来选择若干标准组件,将组件模块进行组合处理,后续开展多项功能性试验即可,设计流程简单、难度较低。

第三,缩短产品研制周期。在制造企业研制系列化机械产品时,除首款产品在设计期间需要重新搭建若干模块库外,后续产品设计期间可以直接调用已有的通用模块或专用模块,无需重新设计,可在较短时间内完成机械产品研制工作。

第四,便于产品升级改造。模块化方法所设计的机械产品本质上属于若干独立模块和标准化接口的结合体,模块间保持独立运行状态,当机械产品使用功能不满足实际需求时,可以直接更换模块组成结构,增减模块种类与数量,即可拓展产品使用功能,并强化使用性能。

第五,用户参与。在机械产品研制期间,用户可通过模块化软件来了解设计进程与情况,判断设计成品是否符合预期要求,不断向设计人员提出具体要求与修改意见,直至配置出用户所需机械产品^[2]。

1.3 模块化产品设计方法

在面向不同类型机械产品时,模块化设计方法与流程存在明显差异,具体分为全新产品、已有产品和变型产品三种。

第一,对于全新机械产品,设计人员从头设计,根据用户所提要求分析机械产品使用功能,按照功能要求来划分模块种类,随后完成模块整体设计与方案初

步评价工作,评价通过后对模块进行详细设计,并对方案进行详细评价,最终完成设计工作,如果评价结果不满意则退回前置步骤,重新开展模块整体设计或详细设计工作。

第二,对于已有机械产品,以完善产品结构和优化配置为目标,设计人员提前了解机械产品功能要求,依次对现有产品的结构合理性与方案可行性进行分析评价,随后制定改进方案,方案得到用户认可后,即可将已有模块进行改进设计,设计方案通过详细评价后完成设计工作。

第三,对于变型机械产品,要求设计人员根据产品功能定位来挑选相似产品,根据功能定位对部分现有模块进行改进设计,保留剩余模块,方案初评通过后进入模块详细设计与方案详细评价步骤,一切无误后即可完成设计工作。

2 基于模块化方法的机械设计流程及要点

2.1 前期准备

在机械产品正式设计前,为把控总体设计方向,确保所研制机械产品完美契合用户使用需求,设计人员需要做好产品调查、用户需求获取和系列型谱拟定三方面的前期准备工作,具体如下:

(1) 产品调查。设计人员调查研制产品在市场上流通的同类产品,调查内容包括技术参数、产品规格尺寸、性能参数与功能实现方式,借鉴同类产品的优点,在其基础上明确机械产品设计思路。例如,在研制农用机械产品时,借鉴同类产品设计方案来优选农用机械的动力源、运行流程与机构协调关系,确保农用机械可以在复杂环境中顺利完成生产任务,不会出现动力不足、机械部分老化磨损速度加快、故障频发等问题。

(2) 用户需求获取。设计人员与用户进行沟通交流,采取问卷调查与市场调研等方法,深入了解用户在机械产品的性能参数、使用功能、采购价格、结构组成、整机尺寸、行走速度、操作方法等方面提出的具体要求。随后,设计人员主动了解机械产品的使用用途、应用环境,判断用户所提要求是否合理,将设计难题与产品使用问题反馈给用户,相互探讨各项问题,直至二者意见达成一致。最后,根据用户合理要求来选择模块种类,制定初步设计方案。

(3) 系列型谱拟定。制造企业为最大程度满足用户使用需求、解决单一型号机械产品应用场景有限的问题,选择研制系列机型,用户根据自身需求来采购单款或者多款机械产品。但从机械设计角度来看,如果机械种类盲目增加,会大幅提高设计难度,而机械种类偏少时,虽然可以降低设计难度,但所研制机械产品无法涵盖特定方向中的全部应用场景,进而影响到用户

需求满意度。因此,制造企业应根据自身情况来把控同系列机械产品的种类和数量,明确各款产品的市场定位,并保证同系列各款机械产品的专用模块具备通用性,从而降低设计难度、减轻设计负担。一般情况下,制造企业可选择研制低配、中配与高配型号的机械产品,仅对各款产品的外形尺寸、动力配置进行调整,无需设计过多的专用模块^[3]。

2.2 模块化分解

模块化分解是将机械产品分解为若干单元模块,也可将独立模块视为一种简单的子系统,明确各个模块的使用要求、功能定位与内在逻辑关系,后续制定模块单体设计方案,再将单体方案进行汇总整理后组成机械产品的整体设计方案。在模块化分解环节,设计人员必须明确分解原则,掌握功能建模方法和模块划分方法,设计要点如下:

(1) 模块分解原则。设计人员应遵循保持独立、标准连接、模块相关、规模把控四项基本原则。其中,保持独立原则是要求所分解各个模块单元具备独立使用功能,任意模块出现故障问题时,不会对机械产品总体使用状态造成明显影响。标准连接原则是在模块间预留通用接口,并选用具备通用性的典型要素,对非典型要素加以标准处理,保证各个模块处于协作状态。模块相关原则是单个模块内部组成部分保持紧密衔接状态,各个模块保持一定的相关属性。规模把控原则是根据机械产品系统复杂程度与用户需求来把控模块分解数量与层次,分解数量越多,机械产品使用功能越完善,但也会提高设计难度,并延长产品研制周期。

(2) 功能建模方法。功能建模是使用功能元来实现机械产品功能与准确描述产品结构关系,这也是模块化分解的重要基础。目前来看,具体可采取功能分析和质量屋矩阵建模两种方法进行功能建模。以功能分析法为例,设计人员采取从上到下的建模顺序,率先将机械产品总功能分解为若干子功能,再把各项子功能分解为更多的基础功能元,由总功能、子功能与末级功能元共同组成功能树。

(3) 模块划分方法。在功能流模型中,各项功能不仅保持上下层属关系,同时还作为物料、能量等要素的传递载体。因此,设计人员需要明确机械产品的模块划分规则,在模型中充分体现各项功能的输入输出关系。一般情况下,设计人员应遵循主流规则、支流规则和转化输送规则。其中,主流规则适用于串联模式模型,将主功能所流经的全部分功能整体视为单个功能模块,以功能终止点为接口边界,模型功能流形式不会发生变化。支流规则适用于并联模式模型,模型由若干分支功能组成,各项功能相互间保持并行状态,把流经

分支的若干分功能作为单个功能模块,以分支流和主流交汇节点作为接口边界^[4]。转化输送规则适用于混联模式模型,当流经分功能时,把功能流转换为其他形式,如从电能转换为机械能,转换后继续在模型中按规定线路传递,将所流经分功能整体视为单个功能模块。

2.3 结构模块设计

结构模块设计是设计人员在模块分解结果的基础上,制定各个结构模块的单体设计方案,需要根据机械产品用途、种类来确定模块设计方法。例如,在研制收获机等农用机械产品时,产品结构由拨土模块、碎土模块、输送模块、清洗模块等部分组成。对于拨土模块,设计挖掘铲结构,在铲体上方加装具备防堵功能的弹指拨送轮,通过拨送轮把设备挖土、拨土期间产生的崛起物持续推送到输送链部分,再由链轮带动拨送轮持续旋转,实现拨土功能。对于碎土模块,设计橡胶拨齿结构或是钉齿滚压轮结构,前者是通过齿轮来破碎土块、拔出农作物,后者通过滚轮反复滚压根土混合物来分离土体与农作物,具体根据机械设备使用环境的地质条件来选择结构形式。对于输送模块,可采取栅条输送、链杆输送或是滚筒输送结构。以栅条输送结构为例,由栅条组件、L形支撑板、侧挡板等部件组成,栅条模块和地面的角度保持在 30° 左右,使用角钢焊接制成栅条组件,根据所采摘农作物的外形大小来确定栅条间隙值与中心间距值等参数,必要时可额外设置加密栅条组件。对于清洗模块,主要采取水流清洗或气流清洗方式,如在选用气流冲洗时,在模块内设置多组螺旋、滚筒等部件,控制所采摘农作物在模块内持续翻滚,擦除表面泥土^[5]。

而在研制机械臂等工业机器人时,设计人员需要依次设计标准结构、扩展结构等模块。其中,对于标准结构模块,将关节、连杆、手腕等部件作为工业机器人的标准结构。以关节模块为例,模块由旋转关节、移动关节等部分组成,保持旋转关节轴线共面垂直或异面垂直状态,由移动关节带动机器人实现移动动作。对于扩展结构模块,根据工艺条件、产品使用需求来设计多款不同尺寸和形状模块,如参考人体工程学,准确计算小臂、大臂、偏置杆等部件的接口尺寸最佳比例与关节变量范围。

2.4 模块组合

在模块组合环节,设计人员将模块单体方案进行汇总整理,各个模块相互拼装为整体机械产品,检查模块拼装效果是否达到预期要求,如果模块单体方案相互冲突,则对方案内容进行优化调整,如调整零部件

相对位置、间隙值等设计参数。同时,设计人员应按照产品结构与功能情况来选择模块组合形式,具体分为跨产品模块共享组合、基型模块组合、混合模块组合、相同模块重复组合、个别模块定制组合等。例如,跨产品模块共享组合是把多种机械产品的功能模块进行组合处理,虽然模块总体种类偏少,但这类机械产品有着通用性强、易于维修的优势。基型模块组合是将相同机械产品的不同模块进行组合处理,可研制产品数量远超过模块数量。此外,在模块组合完毕后,设计人员还需要开展仿真模拟实验,根据实验结果来判断所研制机械产品在假定条件下的运行工况、使用性能是否达到预期要求,从中发现设计缺陷并着手改进。例如,依托机械产品模型来开展运行实验,重点观察曲柄轴、连杆、L形臂、摇臂等部件是否按照特定方向、角度与速度转动,同步记录振动频率、振动偏角等运行参数,对比记录数值与设计标准值是否一致。

3 结语

综上所述,机械设计中,应用技术不断更新发展,模块化设计理念运用领域越来越广泛。模块化设计理念对传统机械设计模式造成剧烈冲击,在显著提升设计水平的同时,也在设计体系融合过程中遇到更多的挑战。制造企业与设计人员要提高对模块化设计的重视,依托模块化方法探索全新的机械产品设计方向,全面掌握前期准备、模块化分解、结构模块设计、模块组合等关键环节的设计要点,为模块化设计方法的推广普及奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 蔡燕华. 分析模块化设计方法及其在机械设计中的应用[J]. 科技传播, 2014, 6(04): 160+154.
- [2] 殷彦强. 基于模块化设计的马铃薯收获机设计研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- [3] 肖超, 周玉林, 盛海泳, 等. 工业机器人机械本体模块化设计[J]. 中国机械工程, 2016, 27(08): 1018-1025.
- [4] 董春兰, 赵娜. 基于产品平台的机械产品模块化设计方法[J]. 机械设计, 2012, 29(06): 1-6.
- [5] 张宽. 模块化设计方法在机械设计中的应用探讨[J]. 世界有色金属, 2019(15): 213-214.

作者简介: 王红梅(1982.06-),女,汉族,甘肃武威人,本科,高级工程师,研究方向:机械设计。