

工程机械协同设计系统结构的研究与构建

刘惠鑫¹, 赵海峰¹, 梁爽²

(1. 沈阳工学院 信息与控制学院, 辽宁 抚顺 113122;

2. 宝山钢铁股份有限公司中央研究院, 上海 201900)

摘要: 工程机械需要各方技术人员协同完成整个产品的设计工作, 设计周期可以从初期方案制定阶段一直延续到产品的交付使用。以减少研制时间、降低研制费用、提高生产效益为目标, 现代制造企业在大型复杂的工程机械装备研制过程中需要实现协同设计的开发与应用。协同设计是在网络信息技术基础上, 协调管理设计、制造、项目等各个独立的知识体系, 从而能够充分利用分散的设计资源和制造资源。在工程机械设计研制中建立的协同设计系统是一种基于网络信息技术的信息资源共享和远程信息交流的集成, 融合了集中工作模式的管理功能, 有效地解决企业“信息孤岛”技术问题, 能够让工程技术人员、设备设计人员以及项目管理人员等多方人员异地协作完成工程机械装备的最终设计工作。

关键词: 工程机械; 协同设计; 知识管理; 网络信息; 设计体系

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2020)08-0206-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2020.08.036

Research and Establishment of Construction Machinery Collaborative Design System Structure

LIU Hui-xin¹, ZHAO Hai-feng¹, LIANG Shuang²

(1. School of Information and Control, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China;

2. Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: Construction machinery requires technical personnel from all sides to cooperate in the design of the whole product. The design cycle can be extended from the initial plan making stage to the delivering and using of product. For the targets of reducing development time, lowering research costs and improving production efficiency, the most of advanced machining factories need to realize the development and application of collaborative design in the development of large and complex engineering machinery and equipment. Collaborative design is an integration of information resource sharing and remote collaborative design based on network information technology, which makes full use of decentralized design and manufacturing resources and coordinates the management of independent knowledge systems. Collaborative design structure system integrates the management function of centralized work mode and effectively solves the technical problem of "Information Island" in enterprises, which makes the product collaborative design of large and complex mechanical equipment possible.

Key words: mechanical equipment; collaborative design; knowledge management; network information; design system

0 引言

随着网络信息技术的高速发展, 对于大型复杂工程机械装备研制企业来说, 必须以更短的时间 (Time)、更优的质量 (Quality)、更低的成本 (Cost)、更好的服务 (Service) 为标准完成产品的研制。传统的工程机械装备是项目施工方的技术人员提供技术要求、具体设备操作人员提供使用要求说明; 根据技术要求, 设备研制厂家具体安排方案设计、详细设计、优化设计、工艺设计, 以及制造、运输等具体技术人员协同

完成整个设备的研制。协同设计是在计算机信息技术基础上的一种先进制造模式^[1]。这种设计制造模式能够充分发挥网络技术快捷性和融合性的优势, 可以实现不同专业背景的技术人员、追求不同指标的管理人员, 在物理位置不同的地域开展设计、制造、安装、使用等不同阶段对技术信息、管理信息、制造资源的共享和分配。与此同时, 协同设计还能够根据不同的设计目标和评价标准确定资源调配的最优方案, 减少矛盾和冲突, 最优化地满足各方对资源的需求和使用。

收稿日期: 2019-07-27

修回日期: 2019-11-27

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目 (2019-ZD-0342)

作者简介: 刘惠鑫 (1971-), 男, 教授, 硕士, 研究方向为网络信息技术、先进制造技术。

1 协同设计理论基础

工程机械装备的协同设计不仅仅是针对新产品开发设计的新模式,而且是一种新型的设计理念。协同设计系统构架是研究产品开发过程的一个框架,其构建过程包括计算机学科、信息学科、制造学科、管理学科等不同领域知识和学科的融合应用。

1.1 协同设计的目标

协同设计是现代先进制造企业必然发展的研究方向和技术目标,也是制造行业在未来发展的一个必然选择。类似工程机械这种综合复杂的技术装备在研制过程中需要确定的设计目标有不同的评价标准。与此同时,设备购买方、施工使用方,及设备研制方在确定设备技术方案以及设备研制过程中,都会根据不同的目标进行调整和修改,不同程度上影响整个研制周期。因此,以往的协同设计模式会造成多目标的混乱,且难以优化,这也是协同设计在大型复杂机械装备研制中难以开展应用的一个根本问题。因此,在确定协同设计理论基础和构建协同设计结构之前,需要确定一个协同设计目标,作为研究工作的指导原则和评价标准。

实际上,现代的信息化、网络化等技术的发展并不能带来额外价值,需要通过减少重复设计带来的额外工作时间和工作成本才能体现出价值。因此,传统的成本、质量、时间三要素的项目管理评价标准同样适用于网络化模式下的协同设计研究^[2]。图 1 所示的评价指标可以明确说明,这三个要素是不可能同时达到最优的,质量、时间与成本三要素之间为互反关系。

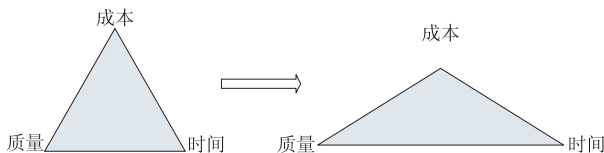


图 1 协同设计目标评价指标示意图

因此,需要根据具体工程机械产品多目标规划建立柔性、可适应的协同设计结构,并且能够根据具体时间、成本、质量的目标要求,对协同设计的结构做出相应调整,从而满足实际协同设计需要。

1.2 多 Agent 系统下的知识管理

协同设计中采用的多 Agent 系统 (multi agent system, MAS) 是非集中式人工智能 (distributed artificial intelligence, DAI) 的一个研究方向,主要是研究各自独立智能体之间的活动和行为如何协调的问题^[3-4]。在工程机械装备研制过程不但包括 2D、3D 的图纸设计,还涉及到产品开发过程管理、供应链管理、工作流系统、电子商务、机器人、车间调度、并行工程、决策支持、企业建模等众多领域。每个涉及到的领域都具备各自独立的知识体系和应用环境。因此,在产品

设计活动中为了满足协同设计对知识的需求,需要将知识管理贯穿于协同设计的整个研制周期内,使知识管理与协同设计同步^[5-6]。与此同时,在产品

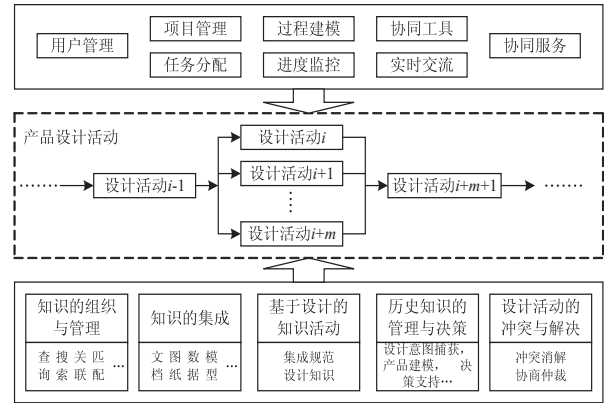


图 2 协同设计环境下的知识管理

1.3 协同设计的典型特征

协同设计的目的是为了加快协作效率,提高产品设计的质量,是以设计对象为主体的一种基于信息网络技术为基础的现代化设计模式。在协同设计过程中,需要实现产品图形等技术资料信息的 Web 发布与浏览,可以让多方技术人员在基于 Web 的技术信息发布基础上,进行多目标优化的协商和资源的合理调配,能够极大地减少沟通时间成本、优化制造资源、改进工艺、实现产品优化分析等^[7-8]。如图 3 所示,协同设计包含了 16 种典型特征。

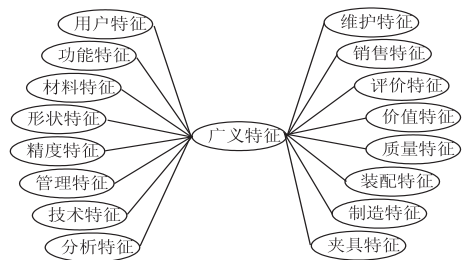


图 3 协同设计典型特征

2 构建协同设计结构

协同设计需要深入了解群体内成员间的协作模式,建立可行的协同工作技术和方法,用以提高协同成员间的协调配合和协同工作水平。恩格斯托姆的活动理论认为,人们参与的活动是人们生活和事物发展的基本单位^[1]。将这一理论应用到协同设计系统构建过程中,在相关规则的活动约束下通过团体协作,最后得出所需要的结果。构建协同设计结构需要具备四种基本元素:活动、执行者、资源和工具。活动理论模型主要关注于活动的动机以及活动的过程,面向对象活动

支持模型则强调的是活动元素在活动中所起到的作用;协调理论模型是研究多学科间互相依赖的关系,基于任务的协作模型则是具体的依据任务的管理流程为基础实现协作活动^[9]。可以看出以上四种基本模型各有侧重,它们也从不同的角度反映了协同设计对协作的要求。基于以上观点构建一种适用于网络信息技术的协同设计模型,如图 4 所示。

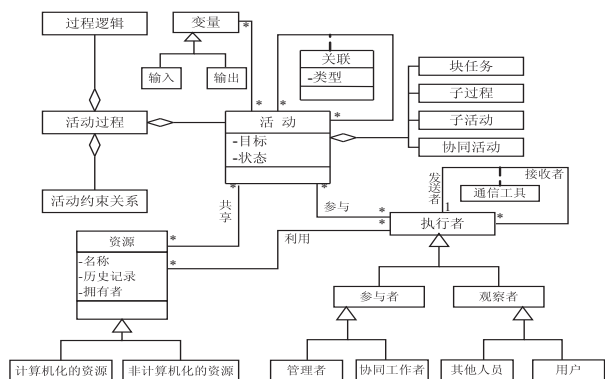


图 4 基于网络信息技术的协同设计结构

协同设计模型将目标产品多领域协同设计过程抽象为一系列基本活动,同时这些活动之间存在着多种约束关系,通过多目标优化及局部优化为原则将约束关系作为基本因素进行联系。协同设计系统中活动之间的关系有包含关系、串联关系、并联关系等多种联系形式。系统中的活动之间的约束条件确保了各种活动之间的执行时间排序以及彼此之间的逻辑关联性。

在结构中执行者是负责完成活动的实体,执行者分为参与者和观察者两类。参与者拥有较高的访问权限,不仅可以参与协作活动,同时还能够对协同设计系统中的不同活动的权限进行修改以及提出意见;观察者仅仅具备查看相关信息的权限。参与者能够根据授予的权限范围完成相应的活动,据此分为责任人和不同的协同工作者。而观察者包括除参与者之外的其他可以参与协同活动的人员,如用户等。执行者在协作完成活动的过程中,通过通信工具交换各自的意见,实现信息交流的方法包括电子邮件、基于 Web 的远程语音或视频会议,以及现场办公会议等方式^[10-11]。在协同完成设计目标过程中,执行者会根据目标优化的程度及最终结果进行调整;发送者指的是分发相关调整内容的活动参与者,接受者则是那些收到调整内容并进行相应活动的参与者。此外,在协作活动和执行者间建立一种称为协调关联类,该类的属性主要包括角色和一系列的协调规则。“资源”表示协同设计系统内定义为支持执行活动所需的物质化或者非物质化的各种数据、文档、技术规范等内容。它们通过并发控制机制来处理多个活动同时访问同一信息的情况。

协同设计是跨地区的多领域技术人员共同参与产

品设计,此类产品的设计周期始终贯穿整个产品的研制周期内。制造企业的设计环境是十分复杂的,要真正实现数据信息的传递与共享,需要保证协同过程的可靠与可行,以及从系统结构和信息流动上的灵活性和动态可重构性。建立协同设计结构是在一个多层次、分布式的开放结构体系中构建的,在同一层次中的各个节点(或子系统)之间是一种松散耦合的关系^[12]。协同设计系统作为各个分支系统的顶层结构,是一种基于 Internet/Intranet 的信息资源共享和远程协同设计的集成,是将各个企业或企业内部的相关部门联系成一个动态的整体,围绕一个设计任务开展协同工作。因此,协同设计系统的其他子系统存在着关联关系,图 5 为协同设计系统与各个分支系统的关系结构^[13]。

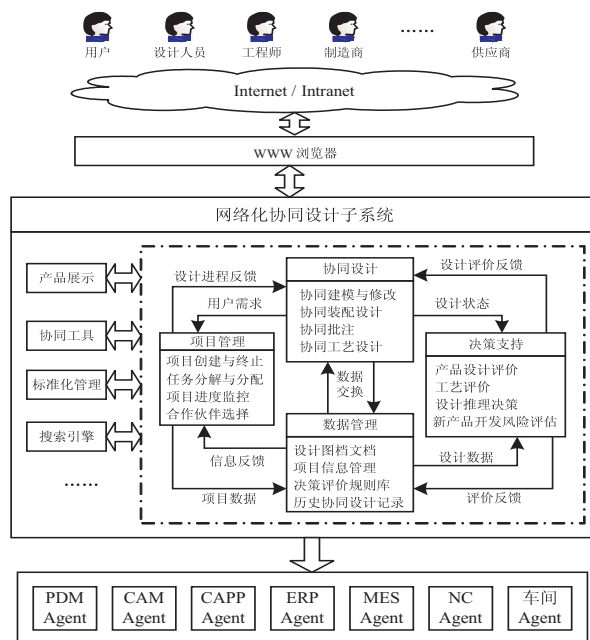


图 5 协同设计系统各个分支平台系统关系

3 协同设计结构可行性分析

3.1 综合评价体系

对于构建的协同设计结构的评价是多目标的综合指标,最终判断就是是否满足成本、时间和质量的最优化。在多指标评价中,由于各个评价指标的单位不同、量纲不同和数量级不同,如果不确定统一标准的评价标准,就会造成决策结果的偏差、甚至得出相反的结论。因此,需要对各个评价指标进行统一规范的标准量化处理,根据具体优化或者评估指标对决策矩阵 E 中的评估值转化为无量纲、无数量级差标准分,根据评估原则及目标进行计算后得到所需决策标准^[13]。

根据评判种类、具体方法的特征,以及决策者所具备的权限范围来确定判断标准,具体可分为效益型指标,如利润、产值、功能、效率等,它的指标值都是越大越好;成本型指标,如成本、能耗、工时、融资等内容,这

些量化指标值越低越好;区间型指标指的是那些在一定范围内取值的技术指标;固定型指标指的是选择固定数值的技术指标。

3.2 评价指标

对构建的协同设计结构评价指标确定为成本、时间和质量三个标准^[14-15]。

对成本型评价指标,定义为:

$$\mu_{ij} = [(f_{i\max} - f_{i\min}) / (f_{ij})]^{p_i}, (i \in O^2) \quad (1)$$

对质量这种固定型评价指标,定义为:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1, (f_{ij} = f_i^*) \\ 1 - (|f_{ij} - f_i^*| / \sigma_i)^{p_i}, (f_{ij} \neq f_i^*) (i \in O^3) \end{cases} \quad (2)$$

其中, f_i^* 为决策者给定第 i 个目标 $f_i (i \in O^3)$ 的最佳值,且

$$\sigma_i = \max_{1 \leq j \leq n} \{ |f_{ij} - f_i^*| \}, (i \in O^3) \quad (3)$$

对于时间则按照区间型评价指标,定义为:

$$\mu_{ij} = \begin{cases} 1 - [(f_i^{\#} - f_{ij}) / \eta_i]^{p_i}, (f_{ij} < f_i^{\#}) \\ 1, (f_{ij} \in [f_i^{\#}, f_i^{\#\#}]) \\ 1 - [(f_{ij} - f_i^{\#\#}) / \eta_i]^{p_i}, (f_{ij} > f_i^{\#\#}) (i \in O^4) \end{cases} \quad (4)$$

其中,闭区间 $[f_i^{\#}, f_i^{\#\#}]$ 为实际生产需要的给定第 i 个目标 $f_i (i \in O^4)$ 的最佳区间值,且

$$\eta_i = \max \{ f_i^{\#} - f_{i\min}, f_{i\max} - f_i^{\#\#} \}, (i \in O^4) \quad (5)$$

在以上各式中, p_i 是由决策者确定的参数,且

$$\begin{cases} f_{i\max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{ f_{ij} \} \\ f_{i\min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{ f_{ij} \} \end{cases}, (i \in O) \quad (6)$$

通过对上述指标的计算,可以得出结论:在单件、简单的工程机械项目中,传统的设计方式能够在相同质量的条件下使用较少的时间和成本。但是,在大型复杂机械设备的研制过程中,传统设计方式难以完全满足项目的成本、时间和质量要求,只有通过协同设计才能够明显地提高生产效率、降低成本、满足项目工期要求,使得各种评价指标达到多目标优化的结果。

4 结束语

协同设计是现代制造企业在大型复杂工程机械装备研制过程中需要发展的一个重要方向,是提高企业竞争能力的有效手段。文中在分析工程机械装备研制需求的基础上,结合网络信息技术,开展协同设计体系的研究和结构建立。

(1) 基于网络信息技术的机械产品的协同设计系统,能够将涉及到的各个知识领域内各自独立的知识体系融合在一起实现知识管理。

(2) 在一个多层次、分布式的开放结构体系中构

建协同设计结构,作为各个分支系统的顶层结构,是一种基于 Internet/Intranet 信息资源共享和远程协同设计的集成。通过建立标准和协议,协同设计系统结构体系融合了集中式工作模式的管理功能,有效地解决了企业“信息孤岛”技术问题,从而实现整个产品研制周期内各方人员协同完成工程机械产品的设计和制造。

参考文献:

- [1] 何宏璧,高鹏,张志霞.并行协同设计中的工业产品数据管理技术研究[J].现代电子技术,2014,37(12):84-86.
- [2] 郑伟连.基于“互联网+”的航空发动机协同设计制造[J].航空动力,2018(5):69-73.
- [3] 向永茂,张庆军,杨容,等.协同设计平台中的技术状态管理[J].中国标准化,2018(20):238-240.
- [4] 殷学梅,周军华,朱耀琴.复杂产品协同设计中数据建模与驱动方法[J].计算机应用,2018,38(10):3017-3024.
- [5] 邵秀丽,李慧超,王景军,等.基于Web产品协同设计系统关键技术的解决[J].智能计算机与应用,2018,8(4):10-16.
- [6] 朱康.基于微服务架构的订单业务协同系统的设计与实现[D].成都:电子科技大学,2018.
- [7] 施元超,韩纬杰.一种企业域间协同组件设计与实现[J].计算机系统应用,2017,26(3):75-80.
- [8] 杨亢亢,巫世晶,刘羽劼,等.基于约束的协同设计冲突检测模型[J].计算机应用,2015,35(8):2215-2220.
- [9] 黄永军,陈燕.跨单位数字化协同设计在电厂设计制造行业的应用与研究[J].机械设计与制造工程,2018,47(5):82-85.
- [10] 陈友玲,杜萱萱,倪文成,等.基于知识的协同设计任务分配双向选择模型[J].计算机应用研究,2016,33(7):1974-1977.
- [11] CAMPBELL C, ROTH W, JORNET A. Collaborative design decision-making as social process[J]. European Journal of Engineering Education, 2018, 44(3):294-311.
- [12] GENT I, ROCCA G L. Formulation and integration of MD-AO systems for collaborative design: a graph-based methodological approach[J]. Aerospace Science and Technology, 2019, 90:410-433.
- [13] HAN Fengyi, LIN Shufan. Research on multi-major collaborative design theory and practice innovation of BIM in architecture majors in universities [C]. Sanya: Atlantis Press, 2019:242-247.
- [14] WIN S K H, WIN L S T, SOH G S, et al. Design, modeling and control of collaborative samara autorotating wings (SAW) [J]. International Journal of Intelligent Robotics and Applications, 2019, 3(2):144-157.
- [15] DANIEL N, KEIDEL J. A problem design and constraint modeling approach for collaborative assembly line planning [J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 2019, 55:199-207.