

文章编号: 1673-2812(2009)05-0671-04

复合材料结构面向成本的设计方法(DFC)

张 铨, 张博明, 叶金蕊, 岳广全

(哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

【摘 要】 在 DFC 概念模型的基础上, 将面向成本的设计引入复合材料结构设计当中, 建立复合材料结构的面向成本设计的理论框架; 在对成本估算模型分类的基础上, 针对复合材料面向成本设计过程中各个阶段的特点, 选择其相应的成本估算方法。

【关键词】 复合材料; 结构设计; DFC 面向成本设计; 成本估算

中图分类号: T B332

文献标识码: A

DFC (Design for Cost) in the Structure Design of Composite Materials

ZHANG Cheng, ZHANG Bo-ming, YE Jin-rui, YUE Guang-quan

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

【Abstract】 With the foundation of DFC (design for cost) conceptual model, we introduced DFC into the structure design for advanced composite materials and consequently developed a composite structural DFC theoretical frame. Based on the classified cost estimation models, corresponding cost estimation method was selected according to the respective properties of each phase in the DFC process of composites.

【Key words】 composite; structure design; DFC (Design For Cost); cost estimation

1 引 言

复合材料由于其轻质高强、耐腐蚀及材料可设计性等诸多方面显著的优点, 已成为航空材料的重要组成部分。由于最近几年复合材料在先进飞机上并喷式的大量应用, 其在结构中所占的比重甚至成为了衡量飞行器是否先进的一个重要指标。随着我国大飞机项目的上马, 复合材料界的产业化进程势必加快步伐。而降低、控制成本也成为了其必须解决的问题。众多资料表明, 产品在设计过程中的成本只占总成本的不到 5%, 却决定了产品成本的 60%-70%^[1]。因此, 在设计阶段考虑成本因素, 对于降低复合材料产品的成本具有显著的作用。基于以上的问题与认识, 本文以并行工程中面向成本设计的理念, 阐述其在复合材料结构设计上的研究思路。

2 DFC 概念模型^[2,3]

面向成本的设计 (Design For Cost, DFC), 最早出现于二十世纪九十年代初期, 是指在满足用户需求的前提下, 尽可能地降低成本, 通过分析和研究产品制造过程及其相关

的销售、使用、维修、回收、报废等产品全生命周期中的各个部分的成本组成情况, 并进行评价后, 对原设计中影响产品成本的过高费用部分进行修改, 以达到降低成本的设计方法。DFC 将全生命周期成本作为设计的一个关键参数, 并为设计者提供分析、评价成本的支持工具, 其本质是在产品性能和成本的基础上确定一个折中的满意解, 目的是提高产品的性价比。

图 1 所示为 DFC 的概念模型, 工作流程为: 用户需求通过质量功能配置 (QFD) 方法进行明确化, 然后进行设计工作。在进行并行设计时应用多种设计工具, 协同工作, DFC 作为其中的重要工具参与设计决策和评价。根据不同的设计工具提供的设计特征信息, 通过特征映射将设计特征变为成本特征, 利用成本估算方法库提供估算方法方面的支持, 由数据库、知识库、专家系统提供数据和知识, 共同完成成本的估算工作。最后由决策支持模块综合众多因素辅助设计人员作出最佳的设计决策, 得到设计结果。

实现 DFC 需要如下的模块支持:

(1) 需求分析模块 成功的设计方案, 首先需要定义明确的符合功能需求的产品特征。但实际上, 用户所提出来的功能需求一般比较抽象模糊且多种多样。设计师应全面理解用户的需求并反映到设计中。需求分析模块主要作

收稿日期: 2009-02-18; 修订日期: 2009-04-13

作者简介: 张 铨(1983-), 男, 博士研究生, 主要从事先进复合材料结构设计及先进复合材料可制造性研究方面的工作。E-mail: growland@163.com。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

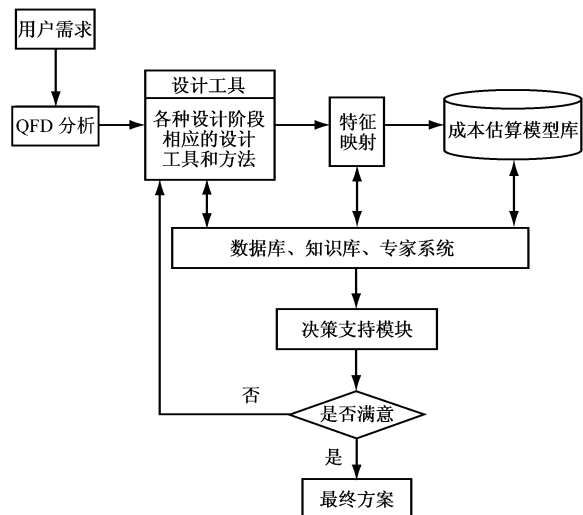


图1 DFC 概念模型

Fig. 1 Conceptual model of DFC

用是将产品的功能要求转化为对产品工程特征的限定上,给设计工程人员提供设计的边界条件。

DFC 一般通过质量功能展开 (QFD) 来实现这个模块。QFD 法是将用户的要求转换为质量特性,通过系统地展开这些需求和特性之间的关系确保产品的设计质量。这一过程从展开每一功能的质量开始,扩展到各部件的质量和工序质量,整个产品的质量通过相互关系的网络来实现。

(2) 设计工具 它是提供给设计人员的设计工具,是人机交互的窗口,是一个集成的开发环境,不同的工具面向不同的应用,其中主要应该包括支持不同设计阶段的 CAX 工具。

(3) 特征库 设计过程中对各种特征参数的管理,并提供设计特征、工艺特征与成本特征的转化。

(4) 成本估算模型库 在 DFC 的概念模型中,成本是设计中的重要参数,建立精确适用的成本模型是构建 DFC 的重要组成部分。成本估算模型库提供 DFC 所必需的成本模型。

(5) 数据库 存储管理设计过程中需要的资料信息,并能够进行不断更新,具备查询功能。

(6) 知识库 存储以规则形式存在的设计知识和成本估算要点,为设计和估算中的推理功能提供领域知识。

(7) 专家系统 利用领域专家的知识,在设计中为设计人员提供合理的再设计建议。

(8) 决策支持模块 用于完成对设计工作的综合评价和决策,为设计决策工作提供全面支持,并记录决策过程中的数据,以备将来查询之用。通过综合比较多种参数作出最佳决策,选出众多方案中的最佳设计方案。

就目前 DFC 研究现状来看,为实现上述内容,需要综合运用特征建模技术、拟实技术、人工智能、成组技术、工业工程和信息集成等技术。

3 复合材料结构面向成本设计理论框架

复合材料结构由于其材料性能的可设计性和材料、结构同时加工成形,以及对使用环境因素敏感等特点,促使复合材料结构设计比金属结构更加强调材料、结构和制造工艺三个主要方面的综合协调。因此,复合材料结构设计应包括结构以及材料本身的设计,且与制造工艺设计并行完成^[4]。

图2显示了复合材料结构面向成本设计的理论框架。复合材料结构的设计过程,一般要经历概念设计、初步设计和详细设计三个阶段。在概念设计阶段,通过质量功能展开(QFD)法,由所提出的功能要求对结构进行初步选型,此时诸如结构尺寸等设计特征大都处在一个大概的值域范围之内,制造工艺也不存在较为清晰的具体过程,在概念设计的选定阶段,通过成本库提供的概念设计方案的成本数据,对各种方案进行综合评估,选择最佳方案;在结构的初步设计阶段,由于复合材料本身的特点,需考虑利用DFM (Design For Manufacturing)、DFA (Design For Assembly) 等并行设计方法进行设计,初步设计方案应确定结构特征值、结构组成及其连接装配,并提供可行的制造工艺方案,同样在选定阶段,通过成本库所提供的数据综合评定最终方案;详细设计阶段时,需进行部件及细节设计与分析并最终确定制造工艺方案。由于在整个设计过程中,概念设计与初步设计阶段的结构及工艺方案的确定对成本的影响很大,而在详细设计阶段,由于各个方案的差别对成本因素的影响相对较少,使得成本在方案评价中的重要性大大减少。因此,复合材料面向成本设计的理论框架主要集中在概念设计阶段和初步设计阶段。

与金属结构不同,复合材料由于其材料本身的可设计性及其材料结构同时成形的特点,使得其在结构设计上具有独特的优势。结构较为复杂时,金属结构一般只能通过装配规划设计将复杂结构分解成较为简单的零部件,在零部件完成的基础上,再通过各种连接方式制成最终结构件。复合材料结构设计经历了等代设计与整体设计两个阶段。在等代设计阶段,将常规的金属结构按等强度、等刚度进行复合材料设计,结构部件由单独固化成型的零件经过各种装配连接组装而成,过程类似金属结构设计;整体化设计阶段则充分发挥了复合材料与结构的可设计性,不考虑机械连接,将结构进行整体设计,并通过整体成形制造技术一次完成。虽然等代设计对于复合材料的性能有所浪费,但由于其设计的可靠性、并存在大量的应用数据支持,目前应用仍然较为广泛。整体化设计是复合材料特有的先进设计方法,目前已初步达到应用阶段,未来也将成为复合材料设计的重要发展方向。

目前在复合材料行业,由于国内的自动化制造程度较低,大部分的复合材料工艺仍靠手工劳动,针对于复合材料的CAM (Computer Aided Manufacturing)、CAPP (Computer Aided Process Planning) 技术及应用很少。而由于工艺的复

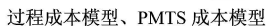


Fig. 2 Theoretical framework of composite structural DFC

4 成本估算方法的分类及选择

(1) 参数成本估算 参数成本估算法是一种侧重于处理分析建模的方法。应用这种估算方法,需要掌握所发生过程前后与之相关的大量原始数据。通过对数据整理和分析,应用数学统计或算法等手段,建立过程前据之间的关联模型。这种建模方法可以无需知晓真实便能建立模型,其重点在于数据的收集、处理以及成本因素的确定,模型本身较难体现成本与影响因素之间实规律,属于暗箱建模的方式。模型的准确性依赖于始数据库的不断扩充以及新数据对模型的不断调整。参数成本估算法的包括:数理统计成本估算、神经网络估算^[6]等。

(3) PMTS (Predetermined Motion Time Studies) 成本估算 以上两类估算法,均是在建模之前,发生过模型所直接对应的真实过程,通过对所对应真实过程的认识或者相关数据建立模型的方法。然而,当我们所要估算的成本对应的真实过程没有发生过,不存在与之相关的信息,以上两类方法就较难建立估算模型。PMTS 成本估算法是基于对以往类似过程的详细划分(往往将过程划分到最简单的步骤),建立丰富的过程模型库,当对未发生的过程建立相应模型时,通过假设和想象,利用过程模型库中的所对应的步骤,构建起未发生过程的场景,并由模型库中的模型整合得到假定过程的估算模型。过程模型库中的模型则通过预先所做的简单步骤试验得到。属于 PMTS 类成本模型的有:一阶反应动力学模型^[7]。

以上三种成本估算方法的分类,主要针对成本库中的原始成本模型的建立。除此之外,库中已存在模型可以通

过类比法等一些针对于已有模型建立新模型的方法衍生出其它的成本模型。此种模型建立方法在此不作过多讨论。

在复合材料 DFC 理论框架中,概念设计在其相应的阶段没有较为具体的成本发生过程,建立估算概念设计方案的成本模型,只有依靠以往原始数据的积累,建立参数成本估算的成本模型。而在初步设计阶段,由于与结构相应的工艺过程已经确定,可以利用过程成本法或者 PMTS 成本法建立成本估算模型。

4 结 论

本文利用面向成本设计(DFC)方法的概念模型,将之引入复合材料结构设计当中,建立了适用于复合材料设计思路的面向成本设计理论框架。运用这种设计思路,可指导复合材料结构在设计阶段考虑成本问题,有助于降低复合材料的成本,提高复合材料结构产品的性价比。通过对现有成本估算方法特点的分类研究,确定了适用于复合材料

结构面向成本设计中相应阶段成本模型的建模方法。

参 考 文 献

- [1] Krame. F, 刁元康. 核心因素质量, 时间和成本对产品开发成功所具有的重要意义[J]. 工程设计学报, 1994, 1.
- [2] 陈晓川. 并行工程中面向成本的设计的理论与方法研究[M]. 大连: 大连理工大学, 2000.
- [3] 裴建新, 王晰巍. 面向成本的并行设计方法[J]. 中国机械工程, 2003, 14.
- [4] 杨乃宾, 章怡宁. 复合材料飞机结构设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.
- [5] 张振明, 黄乃康, 恒永兴, 等. CAPP 应用若干问题探讨[J]. 计算机辅助设计与制造, 1998, (8): 17~ 19.
- [6] 单汨源, 於永和. 大规模定制产品多级神经网络成本估算方法研究[J]. 中国机械工程, 2004, 15.
- [7] T. G. Gutowski. Advanced Composite Manufacturing[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997, 51~ 59.

来 函 照 登

关于《工业纯钛室温 ECAP 变形的组织和性能》一文的更正声明

该文刊登在 2009 年 6 月出版的《材料科学与工程学报》第 3 期(第 27 卷总第 119 期)第 476~479 页上。由于我们作者的原因,文中图 3 和部分数据有误。为避免误导读者,现更正如下:

1. 更正后的图 3 为:

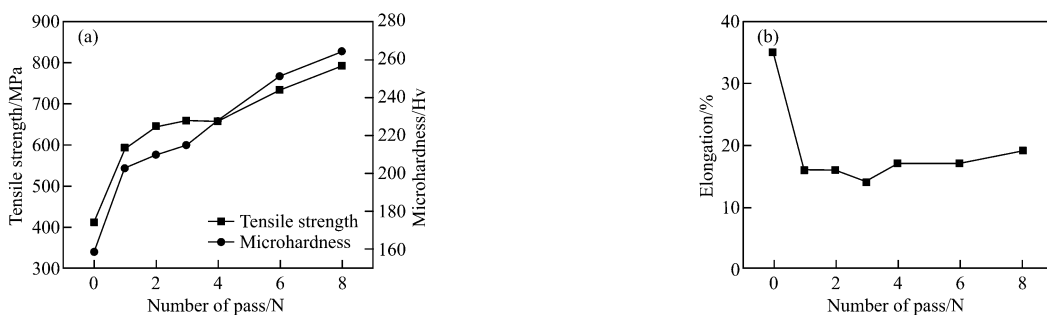


图 3 不同挤压道次对工业纯钛力学性能的影响

Fig. 3 Mechanical properties of CP Ti after different passes: (a) Microhardness and Tensile strength; (b) Elongation

2. 试验材料的原始晶粒尺寸约为 $23\mu\text{m}$, 抗拉强度为 407 MPa, 延伸率为 35%; 室温 8 道次 ECAP 变形试样的晶粒尺寸约为 200 nm, 抗拉强度为 791 MPa, 延伸率为 19%。文中其他与图 3 的相关数据均以更正后的图 3 为准。

王 成 赵西成 杨西荣 王幸运

2009 年 8 月

◆ 编 后 记 ◆

我们赞赏作者的这种有错必纠的科学态度。当然我们更希望作者在发表你的学术论文前, 认真、严谨、实事求是地考证你的每一句表达和每一个数据, 能做到防患于未然则更好。

《材料科学与工程学报》编辑部