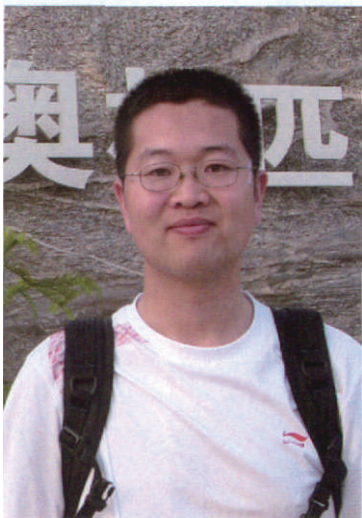


复合材料结构设计 决策支持系统

Decision Support System for Composites Structure Design

北京航空制造工程研究所 隋立江 胡孝才



隋立江

香港理工大学软件科技理学硕士，任职于北京航空制造工程研究所数字化与柔性装配技术研究室，研究方向为CAD/CAPP/CAM 集成制造技术、敏捷方法与传统软件开发技术的融合应用等。

复合材料在飞机结构上的用量和由此带来的减重效果已经成为衡量飞机先进性的重要标志。国外先进复合材料在大型飞机和军用飞机结构上的用量均很大，如波音 787 复合材料用量为 50%，A350 达 52%，B2 达 40% 以上，F-22 达 24%。但是，简单沿用金属结构设计 / 制造观念和方法并不能充分发挥复合材料的效益潜力，必须以与复合材料特殊性相适应的独特观念 / 方法为基础，精

为使缺乏经验的设计人员能更快、更系统地了解 and 掌握复合材料结构设计和制造，同时为经验丰富的设计人员提供一个方便快捷的设计工具，建立基于结构单元库、以典型结构评估为核心的复合材料结构设计决策支持系统是很有必要的。

心设计。为使缺乏经验的设计人员能更快、更系统地了解 and 掌握复合材料结构设计和制造，同时为经验丰富的设计人员提供方便快捷的设计工具，建立基于结构单元库、以典型结构评估为核心的复合材料结构设计决策支持系统是很有必要的。

决策支持系统(Decision Support System, DSS)是以管理学、运筹学、控制论和行为科学为基础，以计算机技术、仿真技术和信息技术为手段，综合利用现有的数据、信息和模型辅助决策解决半结构化或非结构化的决策问题的，具有一定人工智能的人机交互系统^[1]。其主要目的是为决策者提供有价值的信息，使计算机加工信息的能力与决策者的思维、判断能力结合起来，从而提高了解决复杂问题决策的科学性。

针对目前国内航空产品设计制造领域的实际情况，设计一个能够对

复合材料结构设计和制造提供帮助的决策支持系统需要建立有效的知识库。通过对复合材料构件设计相关知识的分析和总结，结合其他系统的构建经验，建立了复合材料结构单元库，并在此基础上设计开发了一个复合材料结构设计决策支持系统。该系统以结构单元性能评估系统为核心，为复合材料结构设计人员提供了一系列灵活的工具，从而在早期设计过程中及时发现问题，优化设计。

系统方案

国内各研究机构关于复合材料结构设计方法的研究各有侧重，从纯理论到能够有效应用的转化程度也各不相同，为了能从不同角度获取知识支持，设计时充分考虑了用于与其他系统集成的接口模块设计(图 1)。

该系统的目标用户是在一线进

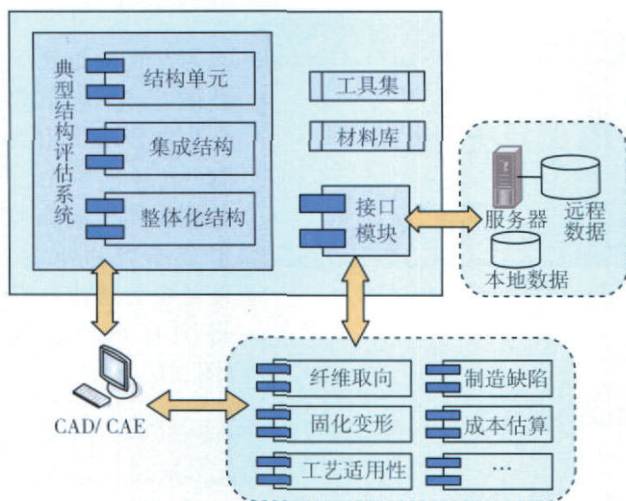


图1 复合材料结构设计决策支持系统

行复合材料结构设计的设计人员。经过调研,该决策支持系统设计定位在 Windows 操作系统下的标准桌面应用程序,充分发挥 Visual C++ 在 Windows 系统上开发桌面应用的强大功能和便利,利用各种丰富的控件和成熟的设计模式,使得该系统拥有很好的用户界面,与各种常见的 Windows 程序保持了一致的操作习惯。

该系统在最核心的力学性能评估模块的基础上,相继增加了来自不同学校和研究机构的铺层纤维取向分析及铺覆性评估、制造缺陷成因分析、固化变形评估、整体化结构工艺适用性评估、制造成本估算等模块和层合板设计、温度场显示等若干实用工具,在很大程度上提高了决策支持系统的功能,丰富了相关人员的设计方法和手段。

技术手段

该系统与众多专用模块和工具进行集成,这些模块和工具分别与 CATIA (设计工具)、ABAQUS (CAE 工具)、GID (建模工具)等商业系统进行了交互,使用了包括 VB、C/C++/VC、Delphi、Fortran、Python 在内的多种开发语言。为了确保多种技术手段的协调运转,在系统设计和开发的过程中遵循成熟的软件工程思想,采

用了一些先进技术和软件工具,确保软件顺利开发。

1 敏捷开发方法

该系统的开发过程与各子模块同步进行,其核心模块复合材料典型结构评估系统的功能也在逐步扩充。在最初系统设计时,无法像传统的瀑布式开发那样提前确定比较完整的功能需求,而且各模块的具体功能范围也常发生变动,因此,该系统采用敏捷开发方法作为过程指导思想。敏捷方法(Agile Method)是一系列以快捷、轻便的思维方式面对各种变化的新的软件工程思想的统称,包括极限编程、Scrum、水晶方法(Crystal Methodologies)等。其中,极限编程(eXtreme Programming, XP)是众多敏捷方法中最具代表性、最为流行的一种。极限编程是一种轻量、高效、低风险、柔性、可预测、科学而充满乐趣的软件开发方式^[2],很适合小型团队在面临很多不确定因素的情况下进行软件开发^[3],其中 12 个最佳实践(best practices)是前人经验的经典总结。该系统在开发过程中分别使用了现场客户(On-site Customer)、编码规范(Coding Standard)、共同拥有代码(Collective Code Ownership)、重构(Refactoring)、隐喻(Metaphor)、小版本发布(Small Release)等几个最佳实践,取得了不错的效果。

版本管理是软件配置管理的基础,是任何一种包含迭代过程的软件工程过程模型都十分重视的工作。Subversion 是一个自由/开源版本管理系统。程序文件存放在中心版本库,Subversion 记录每次文件和目录

2 版本管理

的修改,使用户可以取得各种以前的版本,检查所作的更改。版本库可以通过网络访问允许多个开发者协同工作。TortoiseSVN 是 Subversion 版本管理系统的一个免费开源客户端,其 Windows 版本与资源管理器无缝集成,每个版本化的文件和目录的状态采用小的覆盖图标表示,直观高效(图 2)。该系统的开发过程在 Subversion 的管理下有效地保证了多名开发人员的高效协作。

面向对象技术

针对大型复杂系统的认知过程与设计过程不一致而提出来的面向对象技术(Object-Oriented, OO)是把问题领域与设计实现领域有机结合,结合技术与管理的理念从认知论和方法论上进行系统分析、设计。面向对象技术强调从客观世界固有的事物出发来构造系统,用人类习惯的思维方式来认识世界、理解和描述客观事物,强调最终建立的软件系统能够映射问题域,对象及对象之间的关系能够如实反映问题域中事物及其关系。面向对象技术维护简单、代码复用程度高、具有较好的可扩展性。

统一建模语言(Unified Modeling Language, UML)是一种用于对软件密集型系统进行可视化、详述、构造和文档化的建模语言^[4]。UML 最主要的特点是表达能力丰富,从 OO 方法中吸取了大量概念。

该系统根据面向对象思想对系统进行了有效地架构设计和模块划

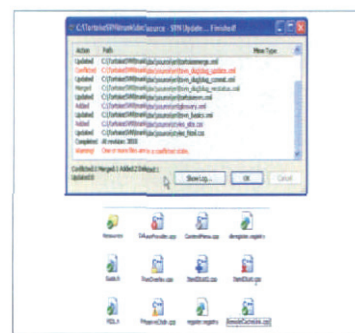


图2 Subversion与TortoiseSVN的工作模式



图3 评估力学性能

尺寸、形状、分布状态对结构的拉脱承载能力和剪切承载能力的影响作用数据,该系统将相关数据按照不同分类形成图表和曲线,使得各种规律可以得到直观的表现(图5)。

分,用UML进行了直观的描述,确保了开发过程的顺畅,降低了系统进行变更时的复杂程度。

典型应用

该决策支持系统采用迭代方式进行开发,在开发过程中不断向用户提交可应用版本。在这一过程中,用户使用该系统完成了相当数量的结构设计和知识整理工作并及时反馈。开发人员在新的迭代周期里根据用户使用中遇到的问题对系统进行调整。这种开发模式大大提高了该系统的实用性和易用性。

1 评估力学性能

评估某类结构在载荷条件下的承载能力和参数对承载能力的影响并给出此范围较佳的设计方案是该决策支持系统的核心功能,通过计算机模拟,尽可能在设计初期发现问题,减少返工时间,提高质量,降低成本。具体使用方法如下。

(1)进入“单元构建”模块,输入具体几何参数,设计铺层信息,形成几何模型。

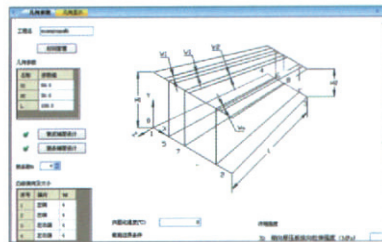
(2)然后在“结构评估”模块输入评估相关参数,设置评估条件,进行评估计算,形成最终的评估意见(图3)。

2 评估纤维取向的制约影响作用

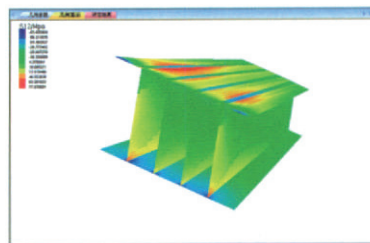
对于绝大多数复杂的复合材料结构而言,其铺层的纤维取向对结构的性能有着很大影响。该系统可以根据用户自定义的参数来评估特殊结构的承载能力、安全裕度以及纤维取向在所评估结构中的分布情况。具体使用方法如下:

在界面中输入参数:材料、几何参数、蒙皮铺层设计、筋条铺层设计、筋条数、凸缘偏向及大小、墙定位坐标、载荷边界条件、共固化温度和许用强度,形成几何模型,进行评估(图4)。

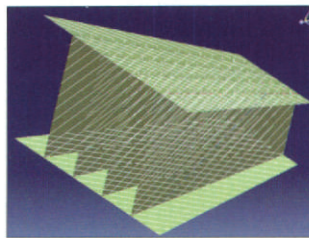
3 分析缺陷对结构性能影响作用
以新型结构具有代表性质的结构为对象,通过大量试验,得到缺陷



(a) 定义结构参数



(b) 显示有限元分析结果



(c) 显示已经完成的评估结论

图4 纤维取向的制约影响作用评估流程

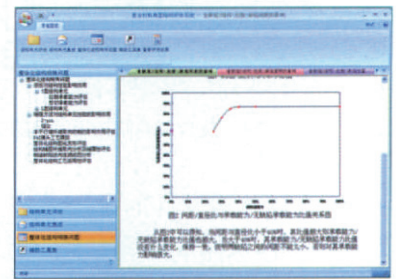


图5 缺陷对结构性能影响作用查看界面

结束语

基于结构单元库的以典型结构评估为核心的复合材料结构设计决策支持系统采用了一系列成熟的软件开发技术和手段,克服了开发过程中需求频繁变更带来的困难,科学地将已有的复合材料相关知识和数据进行梳理、组合,并为新知识的积累提供了有效手段,实现了复合材料结构关键能力的分析模型和评估模型自动化,集成了与复合材料结构设计相关的多种软件模块和工具,能够有效地为复合材料结构设计人员提供决策支持。

参考文献

- [1] 高洪深. 决策支持系统(DSS): 理论·方法·案例. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [2] Kent Beck. Extreme Programming Explained: Embrace Change. 2nd ed. Addison-Wesley Professional, 2004.
- [3] Stephen R Schach. 面向对象与传统软件工程(原书第六版). 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [4] Grady Booch, James Rumbaugh, Ivar Jacobson. UML 用户指南. 北京: 机械工业出版社, 2001.

(责编 良辰)