

基于集成研发平台的直升机概念设计系统研究

Research on Helicopter Conceptual Design System Based on Integrated Development Platform

金航数码科技有限责任公司 王海鹏 王方鹏
北京索为高科系统技术有限公司 陈科甲

[摘要] 直升机概念设计模式的转变使传统直升机概念设计工具无法满足现代直升机概念设计的业务要求。通过对现有直升机概念设计模式的研究和概念设计工具发展规律的分析,提炼出当今直升机概念设计对设计工具的具体需求。同时,在此基础上,以集成研发平台(SYSWARE-TDE/IDE和EDM)为框架,设计了支持直升机概念阶段的多学科优化设计系统。分析了该系统的应用场景,提出了该系统关键技术的解决途径,给出了后续研究工作的建议。

关键词: 直升机 集成研发 概念设计 多学科优化设计

[ABSTRACT] The changing of helicopter conceptual design makes traditional conceptual design tools can not meet the requirements of modern helicopter. Based on the analysis of developing principle in helicopter conceptual design and its tools, the requirements of conceptual design tools are extracted. On this foundation, a multidisciplinary optimization design system which supports the helicopter conceptual design is designed based on the integrated development platform (SYSWARE-TDE/IDE and EDM). The application scenarios of this system are analyzed, whose technical solutions are presented as well. Finally, the subsequent researches are proposed.

Keywords: Helicopter Integrated development Conceptual design Multidisciplinary optimization design

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.033

随着直升机技术的发展,直升机设计已由传统的单纯追求飞行性能发展至追求系统的综合使用效能^[1]。同时,为了降低直升机研制风险,提升直升机设计方案质量,在直升机的概念设计阶段由传统的外形、气动、重量和性能等少数学科参与发展到飞行力学、结构静力学、隐身性、以及经济性等多学科参与,形成多学科“综合设计”的局面^[2]。

传统直升机概念设计模式的转变对直升机设计工具提出了新的要求,使其由分散化的工具向集成化、

自动化的系统发展^[1]。通过近20年的努力,国外在开展直升机的概念设计时,基本实现了空气动力学、飞行力学、旋翼动力学和静力学4学科的优化设计^[2],同时发展出相应的多学科优化设计工具^[3]。国内在该方面的研究始于20世纪80年代,目前也取得一定成果^[4]。国内现有的直升机多学科优化设计系统往往通过商业优化设计软件集成直升机设计分析工具实现(如ISIGHT)^[4]。由于商业的多学科优化设计软件并不关注产品本身的研发,在工程应用时会存在一些不足。鉴于上述原因,本文以集成研发平台为基础,通过分析设计模式转变对设计工具的影响,设计一款面向工程的支撑直升机概念设计阶段的多学科优化设计系统,同时对该系统的应用场景进行设计,对其中的关键技术提出初步的解决途径。

1 直升机概念设计模式的转变对设计工具的影响分析

1.1 直升机概念设计模式的转变

伴随着直升机技术的发展和计算机技术的进步,直升机概念设计的模式也在逐渐转变,主要体现在以下2个方面^[1]。

1.1.1 综合评价体系的使用

综合评价体系实际上是通过各种定量/定性的指标全面描述直升机方案的特性。传统直升机概念设计往往只追求单一的飞行性能、飞行品质等指标,而忽略其他因素,这通常会带来后期的方案修改和研发超支。同时在直升机的实际使用中也发现,飞行性能和操纵品质并不是衡量直升机优劣的唯一标准。美国在RAH-66的研制中首次提出了作战效能综合评价体系,其大致包括“可用性”、“作战能力”和“风险”3部分,而作为常规评判重点的飞行性能却只占整体评估权重的11%^[5]。国内在开展新机研制时也逐步尝试建立全面的综合评价体系^[6],在概念阶段考虑直升机的经济性、作战效能以及研制风险。总之,概念阶段使用综合评价体系能够及早的辨识并规避研发风险,减少后期设计工作的往复,增强方案的竞争能力。

1.1.2 多学科优化设计的使用

传统的直升机概念设计模式以串行流程为主,设计模式使用人工迭代,最终虽然能够获得基本满足技术指标要求的概念方案,但是方案各指标的平衡通常由工程人员主观意愿决定,最终输出结果不一定是最优的。伴随着计算机技术的发展,多学科优化设计技术逐渐进入工程应用,该方法旨在依据直升机概念设计的综合评价体系,充分考虑各学科相互作用,在迭代过程中减少人工干预的成分,使用优化算法驱动设计流程自动执行,最终获得综合评价体系下整体最优的方案。其较传统直升机概念设计模式的区别如图1所示。

1.2 直升机概念设计工具的发展历程

1.2.1 传统的直升机概念设计工具

直升机概念设计工具的发展历程在很大程度上受概念设计模式的影响。早期的直升机概念设计工具往往是单一的“总体参数设计-飞行性能分析”工具,利用总体参数选择与飞行性能分析的迭代回路,输出满足飞行性能要求的概念设计方案。如20世纪70年代末波音公司的HESCOMP程序^[7]。

1.2.2 具有优化功能的直升机概念设计工具

20世纪80年代后期,在概念设计阶段逐步加入其他分析工具,同时利用优化算法考虑少量的学科对有限的参数进行优化设计^[8]。如乔治亚理工学院开发的GTPDP直升机总体综合设计软件系统,该软件系统较以往的设计工具加入了机动性分析、经济性分析等工具,具备总体参数优化设计能力^[1]。该阶段的设计工具优化的仅是总体参数,且参与分析的学科较少,可以视作是直升机多学科优化设计系统的雏形。

1.2.3 当今的直升机概念设计工具

随着计算硬件技术的长足发展,计算机的运算能力

逐年增强,当今的直升机设计人员能够在优化中考虑更多自由度,使用更加精确的分析工具。概念设计中关注的焦点也由总体参数外延至气动布局及外形甚至布置方案。如21世纪初美国NASA设计的直升机概念设计环境(Rotorcraft Conceptual Design Environment, RCDE),该系统通过“信息中心”连接气动、性能、结构等多学科分析工具,以总体参数及部分外形数据为优化对象,开展直升机概念阶段的多学科优化设计工作^[3]。

1.3 直升机概念设计工具的发展方向

通过对直升机概念设计阶段模式转变分析和对设计工具发展规律的总结,不难发现,直升机概念设计工具正朝着以下2个方向发展。

1.3.1 由单一少量的工具向集成化的系统发展

传统的直升机概念设计仅处理总体参数与飞行性能之间的矛盾,通常一个程序就能满足需求。伴随着直升机概念设计涵盖内容的扩展,越来越多的内容参与设计,越来越多的学科参与分析,现在完成一个方案的概念设计往往需要多个设计工具和分析工具的共同参与。

多设计工具、分析工具参与带来的直接问题便是数据流动。伴随着技术的发展,概念设计阶段使用的工具会逐步增多,两两开发接口的解决方式不可持续。当今的直升机概念设计系统需要类似“平台”或“信息中心”的工具,能够与各设计分析工具交互数据,从而支撑整个系统的数据流动。实际上这也是美国NASA RCDE系统的解决思路^[3]。

另外,直升机概念设计系统还需要开放自身“平台”或“信息中心”的数据接口供新加入该系统的工具调用,打通新工具加入系统后的数据流动。同时系统还需要具备一定的集成功能,能够对已有的工具或商业工具进

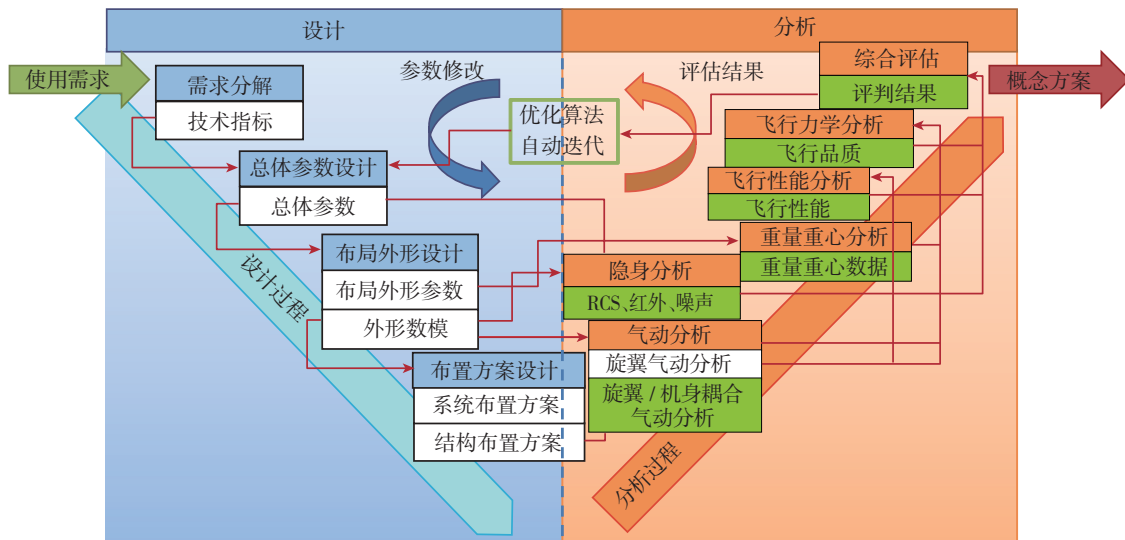


图1 多学科优化的直升机概念设计模式

Fig.1 Multidisciplinary optimization design model of helicopter conceptual design

行集成,实现其数据与系统的交互。

1.3.2 由人工选参向自动化设计发展

传统的直升机概念设计工具在迭代过程中需要人为干预,多学科优化设计模式的引入使系统能够在优化算法的控制下自动寻求最优解。这就要求系统必须能够“告诉”其内部的工具何时启动,从何处取得输入数据,输出数据又存放在哪里。简而言之,系统需要具备“流程”执行的功能。另外,在实际的工作中,对于不同机型有不同的侧重点,不同的阶段使用不同的设计分析工具,这就要求系统的流程必须是柔性的,可定制的。

2 基于集成研发平台的系统设计方案

1 系统建设的目标

国内对直升机的多学科优化设计研究起步较早,也取得了一些成果。但从公开发表的文献来看,还没有一套体系完整,且满足当前新设计模式的直升机概念设计系统。立足于上述缺口,本文设计了一种基于集成研发平台(SYSWARE TDE-IDE 和 EDM)的用于直升机概念阶段的多学科优化设计系统,要求该系统面向工程,具有一定扩展性和适应性。

2.2 系统设计原则

2.2.1 面向工程

本文设计的直升机概念设计系统是面向工程使用的多学科优化设计系统。不同于其他学术研究性质的多学科优化设计系统,其关注点在于取得技术突破。本文设计的直升机概念设计系统目标是工程应用。上述特征决定了该系统需要在先进技术的运用和设计分析工具的精度上进行平衡以满足工程需求。

2.2.2 最大程度利用已有资源

新的直升机概念设计系统根本上还是使用以往的设计、分析工具。对于一个直升机设计单位而言,其设计分析工具往往承载着该单位宝贵的工程经验。最大程度利用已有资源,一方面可减少项目实施的风险和成本,另一方面是对已有工程经验和方法的继承和发展。最大程度利用现有资源并不意味着对现有工具“原封不动”地使用,必要的改造以适应当前的设计模式的变更是不可避免的。

2.3 系统设计

2.3.1 系统架构

基于集成研发平台的直升机概念设计系统 IT 架构如图 2 所示,整个系统分为门户层、应用层和基础框架层。

底层以中航工业统一的基于工程中间件的集成研发平台为基础框架;中间的应用层由基于集成设计环境的集成的设计、分析和优化工具组成;门户层提系统统一入口,并对概念设计方案的相关信息展示。

2.3.2 系统组成

门户是本系统的入口,通过门户,用户可快速浏览该系统下管理的所有概念设计方案,能够根据用户权限进入集成设计环境开展设计、分析或工具开发集成工作。

集成设计环境(SYSWARE TDE-IDE)是本系统的工具集成和应用环境,通过该环境可方便对工具进行集成封装形成模板。它还可柔性地搭建模板的运行流程,规划模板间的数据流动,建立模板和集成设计平台的数据连接,是工具的运行平台。

工程数据管理系统(SYSWARE EDM)是本系统的数据中心,通过动态建模技术用户可对设计机型的概念方案进行定制化的描述,并与集成设计环境配合记录方案数据的充盈、变更过程。同时该数据中心还用于存储集成设计环境搭建的模板流程,形成流程库以便设计分析工作的重用。

系统应用层中重点建设的设计、分析和多学科优化设计工具如下。

(1)设计工具。根据定义,在概念设计阶段需要分解使用需求形成技术指标,确定设计机型的总体参数,完成机型的气动布局与初步外形设计,完成主要机载系统的布置方案以及主传力结构的布置方案。上述工作在本文的系统中由“需求分解”、“总体参数设计”、“气动布局设计”、“总体布置设计”4个工具完成。上述工具被集成设计环境集成,形成设计模板,其输出数据可在系统的数据中心统一管理。

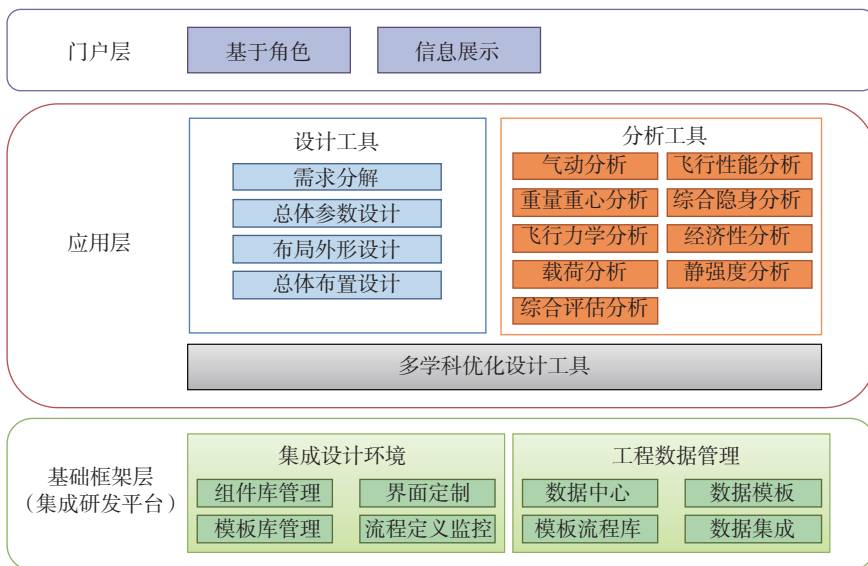


图2 直升机概念设计系统IT架构

Fig.2 IT architecture of helicopter conceptual design system

(2)分析工具。为了结合综合评价体系,全面地评价设计机型的优劣,参与直升机概念设计阶段的学科有气动、重量、隐身、性能、飞行力学、载荷、静力学以及经济学等。上述学科分别对应本文设计系统中的气动分析工具、重量重心分析工具、综合隐身分析工具、飞行性能分析工具、飞行力学分析工具、飞行载荷分析工具、静强度分析工具、经济性分析工具等。上述工具同样被集成设计环境集成,形成分析模板,输出数据可在系统的数据中心统一管理。

(3)多学科优化设计工具。得益于集成设计环境,在直升机概念设计系统中,多学科优化设计工具可以集成用户自研的优化程序,也可以集成已有的多学科优化设计商业软件。其核心是根据最终的优化目标(综合评估结果),更改设计变量,驱动直升机概念设计系统下设计工具与分析工具按流程迭代执行,最终获得最优的设计方案。

2.3.3 系统应用场景的转变

(1)传统的直升机概念设计场景。

本文设计的直升机概念设计系统支持传统的直升机概念设计,也支持多学科优化设计的模式(图3)。在开展传统的直升机概念设计工作时,首先应基于集成研发平台的工程数据管理系统,利用动态建模技术,搭建与该设计对象对应的概念设计方案数据模型,并以此形成方案的数据中心,具体数据内容根据设计目标和参与分析的学科共同决定。同时用户还需要在集成设计环境中选择需要使用的设计和分析工具模板,搭建设计流程,设置并定义每个工具模板执行的先后顺序,定义各工具模板数据流。在设计流程的执行过程中,每一个设计或分析工具模板首先通过集成设计环境的接口从数

据中心获取相应的输入数据,完成设计或分析工作后,再通过接口将输出数据通过集成设计环境保存在数据中心中的相应位置。根据预先设定的流程,系统在逐次完成各项设计和分析工作的同时,也对数据中心的概念方案数据进行了填充。在最终满足技术指标要求后,设计流程完成迭代,输出最终的概念设计方案。

(2)多学科优化的直升机概念设计场景。

在使用文本设计系统进行多学科优化设计时,其应用场景较传统的设计过程复杂,主要体现在数据的使用上。在传统直升机概念设计过程中,为了追溯数据的演变过程,数据源头是系统数据中心中的概念方案数据,无论是上传还是下载,数据传递过程都比较复杂,不利于多学科优化设计对数据频繁更改的需求。况且,在多学科设计过程中,记录设计数据的频繁修改没有必要。鉴于上述原因,本文设计系统在开展多学科优化设计时,首先利用系统数据中心的概念设计方案数据模型重构多学科优化设计模板的参数表,该参数表用于存储多学科优化设计过程中的“方案数据”。在给定上参数表初始数据后,多学科优化设计工具模板运用集成设计环境的流程驱动功能,驱动用户设定的设计流程;各工具模板利用集成设计环境提供的数据流功能,根据用户设定的数据流向,从多学科优化设计工具模板参数表获取输入数据并返回设计和分析结果数据。依此模式,在进行多轮迭代后,整个系统获得收敛的设计方案,最后再通过集成设计环境的接口,将优化后的方案发布至系统的数据中心。

2.4 系统关键技术解决途径

无论是基于何种工具建立的多学科优化设计系统,始终面临着以下3方面问题:(1)如何灵活完整地描述直升机概念设计方案;(2)如何贯通工具之间的流程,

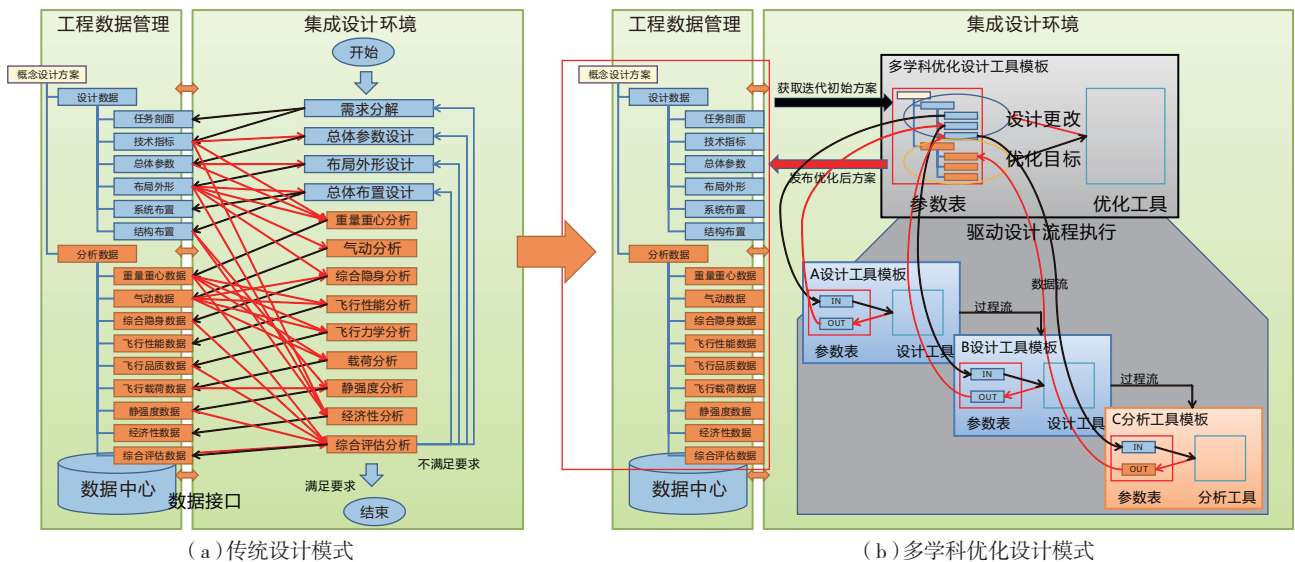


图3 系统应用场景

Fig.3 Scenarios of system application

使其自动化运行；(3)如何解决多学科优化设计与计算资源的冲突。针对以上问题,下面介绍设计系统拟采用的措施。

2.4.1 模块化的方案表达

直升机概念设计方案的内容包括布局外形以及各工程学科的分析结果。当今直升机布局形式多种多样,不可能采用一种描述方法描述所有的直升机构型;同时对于不同设计深度的方案描述也不一样。另外,概念方案中包含的各学科分析结果,取决于直升机的综合评价体系,不同类型的直升机、不同的设计深度,方案中包含的分析结果也截然不同。上述不确定性使直升机概念设计方案很难通过统一的模型进行表达。为了解决上述问题,本文采用模块化的思想来构建直升机概念设计方案的模型。将直升机的概念设计方案按照数据属性进行分类,根据每一类数据的内在组成,将其拆分为更小的“数据模块”,最终的直升机概念设计方案即可通过“搭积木”的形式,使用基础的“数据模块”进行组合形成。实际上,早期的直升机概念设计系统已使用类似的思路描述全机外形,以处理气动布局的不确定性^[7]。

根据本文设计的直升机概念设计系统,其概念方案数据主要由设计数据和分析数据2类构成。设计数据又根据设计工作的类型分为任务剖面数据、技术指标数据、总体参数数据、布局外形设计数据、系统布置方案数据以及结构布置方案数据6小类;分析数据根据本系统规划的分析学科,分为气动分析数据、重量重心分析数据、飞行性能分析数据、飞行品质分析数据、经济性分析数据、综合隐身分析数据、静强度分析数据以及综合评估分析数据。

继续对上述子类进行分析,可整理归纳出各类型数据的基础数据模块。如布局外形数据,可拆分为武装直升机机体外形、运输直升机机身外形、短翼外形、减速器和发动机整流罩外形、垂尾外形、旋翼外形以及整流罩外形等数据模型单元。每个外形单元包含描述该外形的几何数据,并与唯一的外形风格进行对应。如对短翼描述通过安装位置、翼型列表、后掠角列表、上反角列表、安装角列表、弦长列表、展长列表等参数实现。选择不同外形元素,并有规律地进行布置,就能描述多种直升机布局和外形。

采用同样的思路,可对概念方案中全部数据分类进行拆分,由于篇幅有限,本文不再展开叙述。

2.4.2 工具与工具之间的流程贯通

在开展多学科优化设计过程中,需要设计与分析工具在集成设计环境中自动执行,但很多分析工具的输入数据需要对设计数据进行一定形式的处理,主要体现在气动分析、隐身分析和静强度分析3个方向。如在使用

基于流体力学的气动分析工具时,需要对全机外形和空间域划分网格;在使用有限元方法对方案进行静力学分析时,需要对结构模型划分有限元网格。在网格划分的过程,由于几何外形的不确定性,很难自动生成,上述因素使设计流程无法自动运行,也就失去了该分析工具参与多学科优化设计的可能。

在本文设计的直升机概念设计系统中,拟采用以下途径解决上述问题。

以通用的几何文件传递外形设计数据:在本文设计的直升机概念设计系统中,布局外形和结构布置方案虽然是通过模块化的数据模型进行描述,但通过设计工具能够生成确定的CATIA外形。将CATIA的数模转化为通用的几何文件,如IGS或STEP格式,再传递至下游开展网格划分等工作。

分析工具支持非结构化的网格:常见的网格划分工具能够支撑四面体空间网格和三角形面网格的自动划分。通过对网格工具的二次开发,使其能够读入上游的外形文件,根据用户设定的网格尺度等数据,自动划分网格,用于下游的气动分析及静力学分析等工具。

2.4.3 多学科优化设计与计算资源的冲突

计算资源的不足是限制多学科优化设计走向工程的主要难题,本文设计的直升机概念设计系统除了计划在多学科优化算法中使用响应面模型外,还计划从以下3方面解决上述矛盾。

(1)多层级的分析工具:直升机设计本身是一个多轮迭代,逐步逼近的过程,在此基础上衍生的分析工具往往根据算法的精确度、对输入数据的要求分为多个层级。如文中所述气动分析工具的模块划分应符合多层级的要求。

理论上越简单的算法消耗计算资源越少,所需输入数据越少,但往往给出的分析结果较为粗陋。在实际工程运用中,必须平衡精度与效率,况且在工程上,相对值有时候比绝对值更为重要。多层级的分析工具可以提供给用户灵活的选择空间,在不重要的环节使用相对简单的分析工具往往能带来计算量的大幅降低。

(2)分布式的分析工具:对于高精度的分析工具,如基于流体力学的气动分析工具需要其支持分布式的计算能力。分布式计算功能可实现多主机或多个CPU并行处理,该方法能大大提高计算速度。减少分析时间。

(3)多学科优化设计与传统设计流程的结合:在实际工程中,要灵活地使用多学科优化设计,用户应该根据自身的计算资源灵活设定多学科优化的范围及使用分析工具的复杂程度。若计算资源较为紧张,推荐的设计方法是先进行小范围的或使用简单分析工具进行多学科优化设计,得到的设计方案以精度高的分析工具进

行验证,获得满足要求的概念设计方案,如图4所示。

2.5 使用集成研发平台的优势

集成研发平台和“ISIGHT”等商业的多学科优化设计软件并非竞争关系,只是对于实现多学科优化设计而言,“ISIGHT”等软件业也具备工具集成、流程驱动等功能。这里有必要将文本所述直升机概念阶段的多学科优化设计系统与使用“ISIGHT”等软件搭建的多学科优化设计系统进行对比,分析说明本方案的优势。

2.5.1 完整的配套工具

首先集成研发平台的定位与商业的多学科优化设计工具不同,集成研发平台面向复杂工程产品的研发,核心是管理研发流程、工具集成、数据的贯通和统一管理、知识的沉淀和积累。上述定位使得集成研发平台较普通的商业多学科优化设计工具拥有更多的配套功能,如设计方案的管理、设计流程的管理、协同设计模式的支持等。使用集成研发平台搭建的多学科优化设计系统更贴近实际工程运用。

2.5.2 设计分析工具的开发能力

伴随着直升机技术的发展,直升机概念阶段考虑的因素会越来越多,使用的工具也将随之增加,直升机

概念设计系统必须能够适应上述变化带来的影响。集成设计环境内建多款商业软件的集成组件,支持多种形式的执行程序^[4]封装集成,在集成工具数量上,集成研发平台同 ISIGHT 等商业软件也许并无本质区别,但由于集成设计环境自身还具备较强的工具开发能力,在一定程度上简化了自研工具的集成工作。从上述因素分析,使用集成研发平台无疑使系统拥有更强的生命力。

3 结束语

本文提出的直升机概念设计系统运用模块化的方式对设计方案进行描述,该技术通过前期的项目工作取得了一定成果,但对部分分析数据如何建模还有待进一步完善。另外,通过对国内概念设计工具的调研,发现目前部分学科的分析工具还存在欠缺,部分设计工具也有待开发,后期需要根据该概念设计系统的原则和要求,有针对性地进行补充和完善。

本文设计的直升机概念设计系统是一款基于集成设计平台的面向工程的多学科优化设计系统。该系统能够最大程度地利用现有的工具和信息化系统,灵活配置

设计和分析工具,根据设计机型的需求,便捷且有针对性给出优化后的概念设计方案,同时该系统具有良好的扩展性和适用性。该系统的建成和运用能够有效地提升直升机概念设计的效率及设计方案的质量。

参考文献

- [1] 张呈林,彭名华.直升机总体设计技术的新进展.航空制造技术,2010(13):56-60.
- [2] 吕春雷,洪永军.直升机总体设计现状与发展.直升机技术,2006(4):58-63.
- [3] Johnson W. Rotor Conceptual Design Environment. The 2nd International Forum on Rotorcraft Multidisciplinary Technology, 2009.
- [4] 彭明华.直升机总体多学科设计优化研究[D].南京:南京航空航天大学,2009.
- [5] 文裕武,温清澄.现代直升机应用及发展.北京:航空工业出版社,2000.
- [6] 刘大伟.武装直升机总体方案评估方法研究[D].南京:南京航空航天大学,2010.
- [7] Davis J.S. User's manual for HESCOMP (the helicopter sizing and performance computer program). NASA/CR-152018.
- [8] Miura H. Applications of numerical optimization methods to helicopter design problem: a survey. NASA TM 86010.

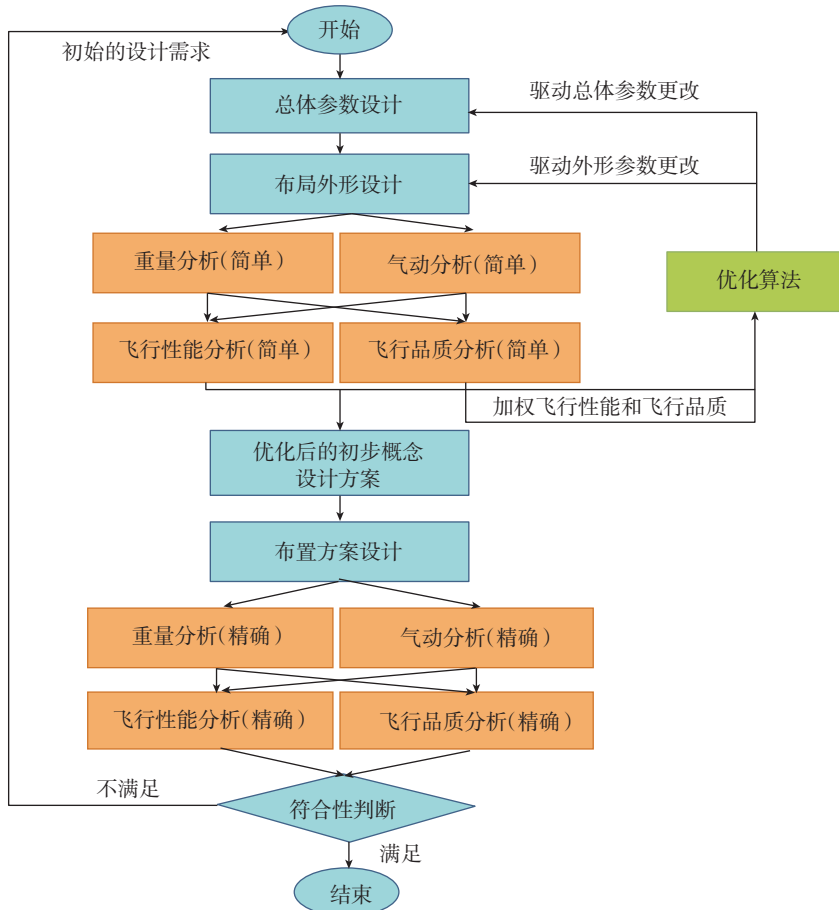


图4 小范围的多学科优化设计能够加速设计进程

Fig.4 Small-ranged multidisciplinary optimization design can accelerate design process

(责编 叶枫)