

飞机研制过程中仿真生命周期管理的研究

Research on Simulation Lifecycle Based on System Engineering Management of Aircraft Development Process

中航工业信息技术中心 许鸿杰 沈波
金航数码科技有限责任公司



许鸿杰

西北工业大学飞行器设计专业博士,长期从事多物理耦合仿真分析、多学科优化设计及仿真生命周期管理的研究及相关工作。

飞机研制是一个涉及多专业、多学科的复杂系统工程,为了满足其苛刻的性能要求,需在较短的研发周期内严格控制成本及协调众多参研单位,采用系统工程已经成为确保飞机研制成功的有效方法^[1]。随着气动、结构、控制等多个专业的仿真技术应用越来越广泛和深入,仿真已成为了贯穿整个研制过程、验证飞机性能、

通过分析在飞机研制过程中的系统工程模型,以面向多专业耦合协同仿真及设计、仿真、验证一体化,实现飞机研制的多学科优化设计为目标,研究系统工程方法对研制过程中仿真生命周期的有效管理。并在该理论基础上,实施构建基于系统工程的仿真生命周期管理系统,从而确保研制过程中仿真的可靠性、可控性及协同性,以达到缩短研制周期、控制研制成本及保证研制质量的目的。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.18.092

提升品质的重要手段^[2]。由于研制过程使用的仿真软件多样、产生的数据异构、协同的部门众多、跨越阶段较长,如何对研制过程中的仿真进行有效的管理,是确保研制顺利进行的基础^[3]。

仿真数据管理是仿真管理的基础,但是仅对仿真的数据进行版本、权限、存储及检索等基本的管理不能满足飞机研究过程中复杂的仿真管理要求,因而,如何进行仿真生命周期管理(Simulation Lifecycle Management, SLM)成为飞机研制过程中仿真管理的重要问题^[4]。仿真

生命周期管理是指仿真部门内部以及协作部门及企业之间,支持仿真全生命周期信息的创建、管理、分发和应用等一系列应用的解决方案,它需要集成与仿真相关的人力资源、流程、应用系统和信息,主要包括基础技术和标准(如仿真的可视化、仿真协同、仿真工具集成等)、仿真分析的工具(如Abaqus、Ansys、Nastran、Matlab等)、核心功能(例如仿真数据管理、仿真流程管理及仿真任务管理等)。

本文通过分析在飞机研制过程中的系统工程模型,以面向多专业耦

合协同仿真及设计、仿真、验证一体化,实现飞机研制的多学科优化设计为目标,研究系统工程方法对研制过程中仿真生命周期的有效管理。并在该理论基础上,实施构建基于系统工程的仿真生命周期管理系统,从而确保研制过程中仿真的可靠性、可控性及协同性,以达到缩短研制周期、控制研制成本及保证研制质量的目的^[5]。

飞机研制过程中仿真生命周期管理的核心问题

在研制阶段综合运用数字化设计、仿真分析和试验技术进行多学科设计与评估是研制过程中系统工程的总体要求。但是,由于飞机系统的复杂性及仿真的学科性等特点,仿真在研制过程中仍然存在着众多问题。在协同研制过程中,仿真生命周期管理的核心问题及其相互关系如图1所示。

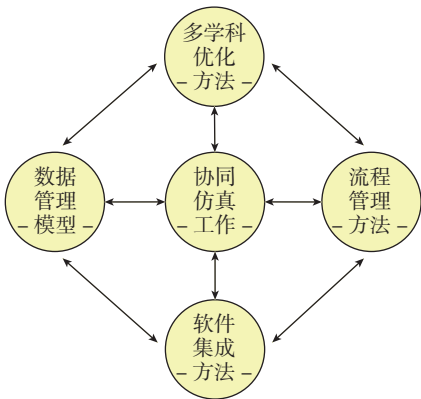


图1 飞机研制过程中仿真的核心问题

(1) 多学科耦合及优化设计问题。飞机研制包含了总体气动、结构强度、飞控、航电、液压、环控、燃油、电气等众多专业,涵盖了流体力学、结构力学以及热力学、声学、光学、电磁学等学科。这些学科之间的耦合关系非常复杂。在进行系统仿真时,需考虑各系统、各学科之间相互联系,相互制约的关系,以提高多学科耦合仿真及优化设计技术的综合运用能力。

(2) 软件集成及异构数据的管理。目前各类分析仿真软件分散使用,各专业之间独立分析,它们之间的数据传递、模型转换依靠人工进行,不但效率低,而且易出错。同时,由于研制过程中不同专业领域采用的仿真软件也不同,从而导致了仿真数据的异构性。如何整理异构数据,是实现多学科耦合及优化的前提条件。

(3) 仿真标准化及流程管理。仿真分析流程因为工具应用和个人分析的差异,导致了分析结果的多样性,制约了产品性能的顺利验证。如何在研制过程中建立仿真规范和统一的仿真分析流程,是保证验证结果的可信度与统一性的途径。

(4) 仿真数据的有效管理。仿真所采用的工具及产生的数据分散在每个工程师的自身工作空间,没有进行统一的规划与管理,形成了数据的孤岛,这对飞机性能数据的追溯、查询以及随后的适航认证均产生了较大的障碍,不符合飞机研制的系统工程的要求。

研制过程中仿真生命周期管理的系统工程模型

1 仿真的五维系统工程模型

根据系统工程的要求,在飞机研制过程中仿真工作需要实现系统化、综合化、程序化、最优化及标准化^[6]。依据霍尔三维系统工程模型可以把

飞机研制中的仿真分为时间维、逻辑维及知识维^[7]。时间维是指研制过程中仿真经历的阶段;逻辑维是指仿真在研制过程中主要思路和方法;知识维指飞机研制过程中涉及到的专业学科和基础理论^[8]。

然而,在飞机实际研制过程中,霍尔三维系统工程模型难以完整地描述仿真生命周期管理的各个方面。因而在霍尔三维模型的基础上,结合飞机研制过程中仿真的特点,建立五维仿真分析的系统工程模型,如图2所示。

(1) 时间维。飞机在研制过程中仿真的时间跨度,一般包括性能需求阶段、方案设计阶段、初步设计阶段、详细设计阶段、试验设计阶段。在仿真生命周期管理过程中,时间维主要表现为在研制过程中仿真贯穿的阶段及仿真生命周期管理的成熟度(例如仿真活动的创建、使用及废弃)。

(2) 知识维。飞机在研制过程中仿真涉及到的气动、结构强度、飞控、航电、液压、环控、燃油、电气、成本等专业学科。在仿真生命周期管理过程中,知识维主要表现为集成各类仿真软件。

(3) 尺度维。飞机在研制过程中涉及到的仿真对象的尺度,可分为零件仿真、子系统仿真、系统仿真、整机仿真。在仿真生命周期管理过程中,尺度维主要表现为仿真人员、仿

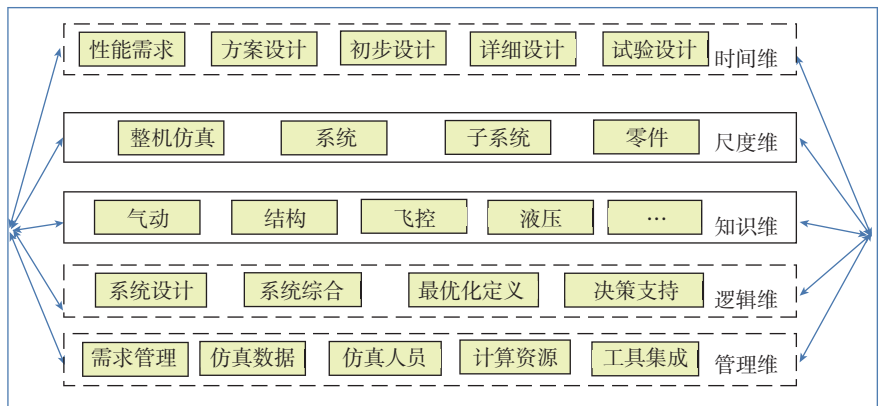


图2 飞机研制过程中五维系统工程模型

真部门及部门外部之间的协同关系。

(4)逻辑维。飞机研制过程中仿真的系统设计目标、系统综合方案、仿真模型、最优化、决策支持等理论方法。在仿真生命周期管理过程中,逻辑维主要表现为多学科之间的耦合问题及多学科优化设计的策略问题。

(5)管理维。飞机在研制过程中仿真产生的需求管理、数据管理、工具集成管理、仿真流程管理、计算资源分配管理、项目管理等,为仿真生命周期管理过程的核心功能。

因而采用系统工程方法对研制中的仿真进行管理,可以仿真需求管理为出发点,以仿真数据管理为支撑,以仿真流程管理为根本,通过与其他专业分析工具的集成实现多学科优化设计的目标,达到对仿真过程中人员、计算资源以及各个专业之间的协同管理。

2 基于系统工程建设仿真生命周期管理系统的思路

通过分析仿真生命周期管理的核心问题,提出了五维系统工程模型。构建研制过程中的仿真生命周期管理系统,需要从管理维出发,考虑如何实现研制过程中仿真的需求管理、数据管理、仿真工具管理、仿真流程管理、计算资源分配管理及仿真项目管理功能,以满足知识维和逻辑维的考量目标,考虑如何实现各仿真软件的工具集成、多学科之间的耦合及多学科优化设计。仿真管理在时间维上需贯穿整个研发阶段,并实现仿真成熟度的管理,实现仿真人员及部门的协同工作(尺度维)。基于上述系统工程方法的仿真生命周期管理系统的框架如图3所示。

仿真生命周期管理系统需是一个开放式的平台架构,才能实现系统之间的无缝集成,达到在项目管理驱动下实现设计、仿真、试验的统一管理。仿真系统集成高性能计算机环境可管理整个计算资源的作业,平衡

调度计算资源,能确保在项目控制的时间节点完成相应的仿真工作。

仿真生命周期管理的工程应用案例分析

1 实施 SLM 仿真生命周期管理平台

某单位在某型号研制过程中需要进行总体气动、结构强度、飞控、液压、环控等专业的仿真工作。在仿真中需考虑各系统之间的相互作用及

各人员之间协同工作,达到在多学科耦合仿真分析情况下,实现型号优化设计的目标。通过实施建立了基于系统工程的仿真生命周期管理 SLM 平台,其构架如图4所示。

通过实施 SLM 平台,以系统工程仿真需求为出发点,对研制过程中的仿真进行项目管理,实现仿真人员的集成及资源合理分配;以多专业协同仿真及多学科优化设计为建设目标,通过整合仿真流程及仿真数

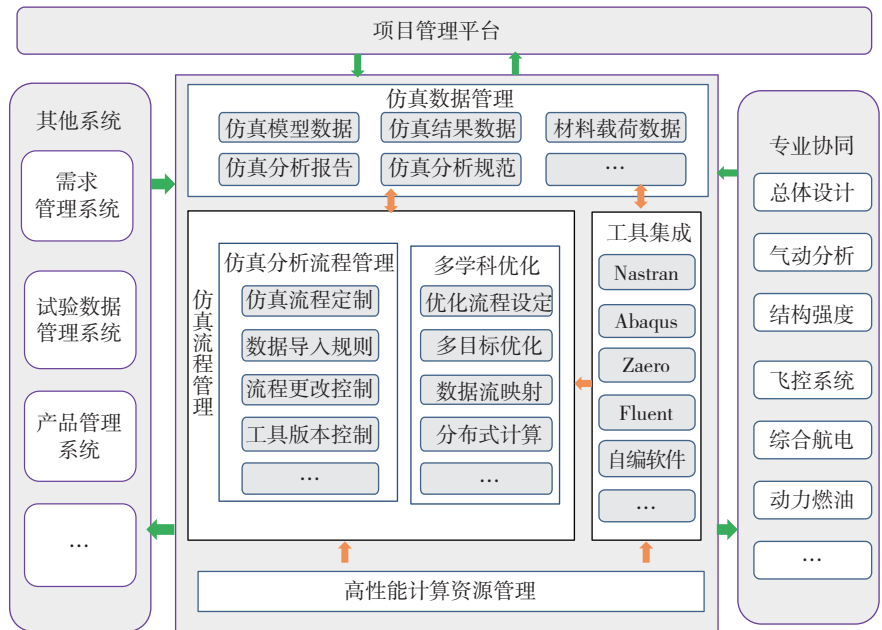


图3 飞机研制过程中仿真生命周期管理系统的构架

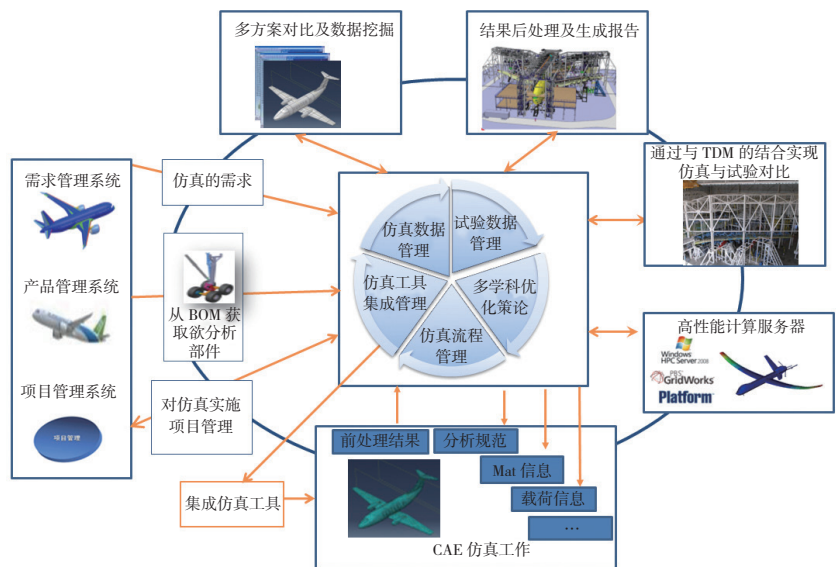


图4 实施SLM仿真生命周期管理平台的构架

据、规范仿真的技术手段,建立相应的数据接口,实现与工具软件、高性能计算机以及其他系统之间的数据集成与交互,全面形成仿真生命周期管理的有效系统框架。

在实施 SLM 平台中,首先通过总结和梳理项目研制中的仿真流程,确定仿真活动之间的数据传递关系及影响关系,统一仿真分析的工具,确定共享仿真流程所产生的数据,将仿真流程标准化、规划化,进行有效的推广利用。

通过管理仿真流程,消除了由人为因素导致的产品性能验证方法的差异,形成可靠统一的仿真操作,积累了宝贵的仿真经验,提高了仿真效率。SLM 平台在仿真流程管理中通过对仿真工具、仿真流程、仿真活动、仿真文档等创建、发布、应用、完成、废弃等成熟度管理,实现对仿真全生命周期管理。

SLM 平台上的仿真流程管理,通过集成仿真工具来关联仿真活动,启动仿真活动就可以进行相应的仿真工作。完成分析后产生的相关数据可以按规则自动进入系统进行管理,从而保证了不同的专业及学科之间可以进行协同仿真。

在 SLM 平台上,将多学科优化分析的参数输入及结果输出在平台中进行有效管理与协同,使多各学科仿真可以采用相对独立但又互相关联协同的方式进行。通过 SLM 全面引入多学科优化策略扩大了设计的探索空间,平衡各专业之间设计需求,获得相对优化的设计,保证了多学科优化与整个系统仿真流程管理及仿真数据管理功能之间的集成与交互,实现了仿真部门与设计部门的协同。

在 SLM 平台实现了各个专业在共有数据上的协同仿真,所有的基础数据进行统一的版本、权限管理,进行数据的统一更改与维护,实现了基础数据的协同。数据库以管理整

个仿真分析产生和需要的相关数据为主,其管理的数据包含仿真基本信息、模型信息、项目信息以及 IT 信息等。仿真生命周期管理平台不但具有仿真数据检入检出、查询与对比、权限控制、数据追溯、基线控制等仿真数据管理的基本功能,还实现了仿真与试验数据库之间的协同与共享,能对两种结果数据进行比较分析。

2 实施 SLM 仿真生命周期管理平台的优点

该单位通过采用 SLM 系统对飞机研制过程中的仿真进行管理,以多专业协同仿真及多学科优化设计建设为目标,在型号研制的不同阶段对各系统级对象进行气动、结构强度等专业的仿真,从而实现了对仿真需求、仿真数据、工具集成、仿真流程、计算资源分配以及仿真项目的统一管理。

通过采用 SLM 平台对研制过程中仿真进行管理,实现了仿真在研制阶段的需求、功能、逻辑、产品、仿真、试验等的完整追溯,为研制过程中仿真数据协同提供坚实基础,确保仿真数据的一致性、可靠性、准确性。在集成环境下基于统一关联的需求模型进行系统设计、系统性能仿真、验证、确认、权衡分析等工作,实现设计方案的快速仿真评估。其优点主要表现在以下方面:

(1) 基于统一的仿真生命周期管理协同平台,集成各类专业仿真软件,整合异制异构数据,为协同研制提供坚实基础,确保数据的一致性、可靠性、准确性。

(2) 对仿真过程中需求的性能指标分析、模型定义、任务分解、任务分配、仿真实现及试验验证等全过程进行追踪追溯,对仿真进行了充分论证,避免设计返工导致研制周期延误。

(3) 提供协同仿真优化设计环境,使得多专业的设计仿真工具能够有效的衔接、整合,发挥工具之间的协同效应。

(4) 将分散在研制部门之间的仿真设计进行集成,通过快速有效的检索手段,达到知识共享的目的,使得仿真知识能够在研发过程或不同型号之间知识进行积累和重用。

(5) 建立统一协同的工作环境,通过该环境建立不同角色人员对系统的统一认识,消除不同人员对系统的理解产生的仿真偏差,在不同专业之间实现高效、顺畅的协同工作和数据共享。

结束语

通过实施 SLM 平台,建立以多专业协同仿真及多学科优化设计为目标的仿真生命周期管理系统,可实现多专业协同分析,较方便集成项目管理、需求管理系统、试验数据管理系统、产品管理系统以及高性能计算机环境。在系统工程思想的要求下进行设计、仿真、试验工作,实现仿真中软件、硬件、项目、数据的有效管理,达到产品最优化设计目标,从而提高仿真的可靠性和可控性,缩短研制周期,保证研制质量。

参考文献

- [1] 范文慧,葛正宇,何山.产品数据管理系统实施方法学.系统工程理论与实践,2003,3(3):81-86.
- [2] 陆海燕.航空工业仿真数据管理解决方案.航空工程进展,2012,3(4):511-514.
- [3] 丁鼎.基于模型的系统工程在民航领域的应用.沈阳航空航天大学学报,2012,29(8):47-51.
- [4] 季建琴.民用飞机需求管理技术研究与应用.科教视界,2012,25(9):54-58.
- [5] 余修端,孙秀霞,秦硕.全数字通用飞行仿真平台的设计与实现.计算机工程,2008,34(17):263-265.
- [6] 刘菊红,袁红艳.飞机飞行控制系统仿真平台建设.测控技术,2013,32(3):193-196.
- [7] 汪应洛.系统工程.北京:机械工业出版社,1986:30-44.
- [8] 李为吉.飞机总体设计.西安:西北工业大学出版社,2005:21-60.

(责编 叶枫)