

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.07.068

基于模型的机电系统多物理域仿真技术应用研究

聂同攀*

航空工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘 要: 针对新一代飞机机电系统功能高度集成、系统架构和接口设计复杂等特点, 基于 LMS Imagine.Lab 仿真平台, 开展了基于模型的机电系统多物理域仿真技术应用研究。采用系统建模软件 AMESim 构建了某型飞机机电系统不同层次(架构层、功能层、性能层)的系统仿真模型, 实现了多物理域仿真模型联合仿真与调试的关键技术过程, 应用结果证明该方法可以为机电系统的综合权衡提供一种有效的实施途径。

关键词: 机电系统; 系统工程; MBSE; AMESim

中图分类号: V19 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2017) 07-0068-05

飞机机电系统主要包括供电、液压、燃油、环控、起落装置、防护救生、防/除冰等系统, 是飞机上规模最大、涉及专业最广的复杂系统。随着军事需求的变化和科学技术的发展, 飞机机电系统目前正在向综合化、多电化和智能化方向发展^[1], 多学科交叉耦合问题日益突出, 传统的设计与分析的方法已经难以适应先进飞机机电系统设计的发展需要。

国内外先进飞机发展历程表明, 先进机电系统对整机性能的贡献度越来越大, 地位作用日益凸显。美国空军研究实验室(AFRL)已经开展了综合飞行器能源管理技术(Invent)和自适应通用发动机技术(Advent)等针对下一代飞机能源技术的发展计划, 并提出能量优化飞机(EOA)概念^[2]。目前, 机电系统面向多目标优化设计的需求下, 在完成各系统从独立到综合的验证过程中, 除了各专业领域的单学科仿真支持外, 还需具备解决不同专业领域联合仿真的技术手段, 以解决系统能量综合仿真验证和评估的问题, 从而为机电系统综合优化设计提供验证手段。

基于模型的系统工程(Model-Based System Engineering, MBSE)是设计复杂系统的有效方法。采用该方法对飞机机

电系统进行多学科、多领域、多级建模和能量综合仿真, 构建能量综合飞机, 充分考虑各系统间的交联耦合作用, 可以实现对方案、设计的快速迭代验证、优化, 尽早发现设计缺陷, 提高设计质量, 优化飞机系统配置, 能源系统结构合理, 减轻系统重量, 综合利用能源, 从而有效地提升飞机机电系统的综合效能和飞机整体性能。

本文结合目前主流的MBSE设计流程和方法, 重点探讨MBSE技术在某型飞机机电系统多物理域建模与仿真技术的应用过程, 最后给出相关的研究结论与建议。

1 LMS Imagine.Lab Amesim 机电综合仿真平台

国外基于模型的系统工程技术发展很快, 并提出了多种不同的技术思路, 在解决多领域物理系统交联仿真方面主要有两种方法:(1)通过异构软件/模型的联合仿真进行虚拟集成, 如基于 Siemens (LMS) 公司的 LMS Imagine.Lab Amesim 软件平台来设计实现;(2)基于统一的多领域物理系统建模接口标准和工具进行虚拟集成, 如通过达索公司的 SEE (Dymola) 软件和函数模型接口 (Function Mockup

收稿日期: 2017-05-05; 退修日期: 2017-05-15; 录用日期: 2017-05-25

* 通讯作者: Tel.: 029-86832265 E-mail: nietp60315@sina.com

引用格式: NIE Tongpan. The simulation technology application research of model-based electromechanical systems multi-physical domain[J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (07): 68-72. 聂同攀. 基于模型的机电系统多物理域仿真技术应用研究[J].

航空科学技术, 2017, 28 (07): 68-72.

Interface, FMI) 标准进行模型层面的虚拟综合仿真验证。

LMS Imagine.LabAmesim 航空虚拟集成飞机 (VIA) 解决方案依赖于 Amesim 的多领域仿真平台能够解决航空系统的多物理领域仿真问题^[3]。该平台为工程师提供了一个从功能需求到物理建模、仿真的开放开发流程,如图 1 所示,包括系统架构模型构建、各子系统建模、架构配置和模型虚拟集成、虚拟综合仿真和后处理等,支持对 MatLab/Simulink、Motion 等不同软件模型的集成,并通过统一的数据管理工具进行仿真参数、模型等数据的统一管理。

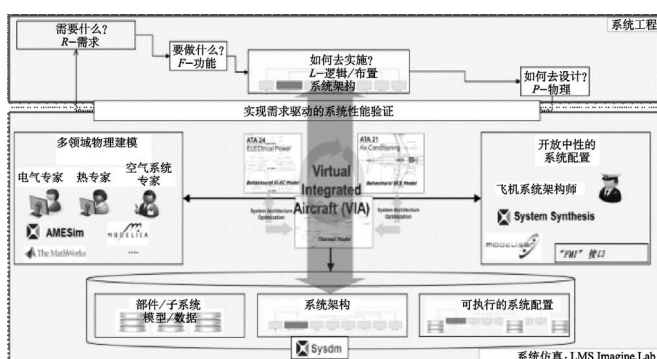


图 1 LMS Imagine.LabAmesim 航空 VIA 解决方案

Fig.1 VIA solution for aerospace of LMS Imagine.LabAmesim

2 机电系统多物理域仿真技术应用

本文以某型飞机机电系统能量综合仿真为例,说明 MBSE 方法在机电系统多物理域仿真方面的技术应用。

2.1 概述

机电系统多物理域建模与仿真技术是运用基于模型的 MBSE 的思想,将原先分散的仿真分析过程综合到一个统一的仿真分析平台,通过构建“虚拟飞机”进行机电系统基于 MBSE 的综合分析、评估的过程,如图 2 所示。通过该技术的应用,可以使设计人员快速了解设计方案变更对相关系统和飞机性能的影响,进而减少设计中的错误和不必要的反复,实现机电系统不同研发阶段的多目标优化分析和综合权衡。

2.2 能量综合飞机仿真架构

根据飞机的总体配置和系统组成,明确机电系统能量综合仿真的系统仿真架构,在 AMESim 中将飞机从顶层划分为飞机系统、动力装置、飞行动力学和热集成 4 个模块及相互之间的接口(包括机械、电气、液压、气、热、控制 6 类接口),并定义开展综合仿真的飞行任务剖面,如图 3 所示。

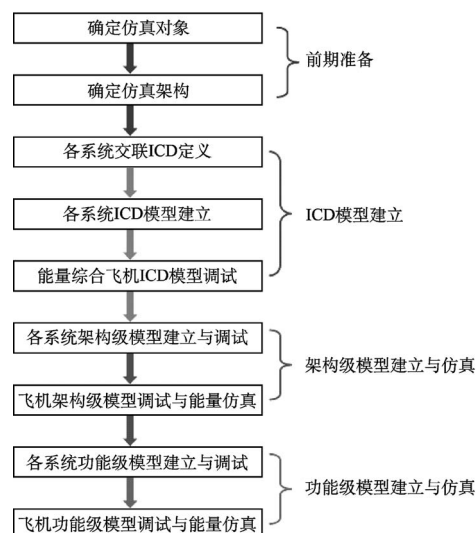


图 2 综合仿真流程

Fig.2 Integrated simulation design flow

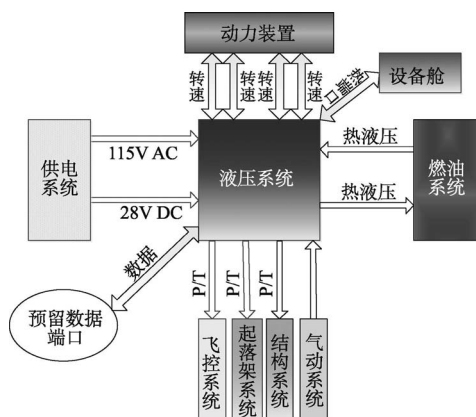


图 3 液压系统 ICD 框图

Fig.3 Functional diagram of hydraulic system ICD

飞机系统由液压系统、飞控系统、起落架系统、环控系统、防除冰系统、电气系统、燃油系统、航电系统等组成,是能量综合仿真的核心部分,其包含了飞机上的二次能源提供系统和用户系统。动力装置部分用于提供飞机系统和动力装置系统的接口,可反映机电系统功率提取的大小。飞行动力学模块反映飞机在不同飞行剖面阶段中的飞行动力学特性,用于给飞控系统负载提供载荷输入。热集成模块按照舱室进行划分(设备发热通过舱室及空气热传递实现),用于进行机电系统的热能集成分析。

2.3 系统交联 ICD 定义

在能量综合飞机仿真架构的基础上,对各个模块进行接口协议定义(ICD),理清每个系统或者部件的所有可能的输入和输出。系统交联 ICD 的定义工作,主要关注本系统

与其他系统之间的能量交联接口。为此,以液压系统 ICD 定义为例进行详细说明,液压系统与舱室、动力装置、燃油、飞控、起落装置、供电等系统的能量交联接口框图如图 3 所示,系统的设备、交联关系接口和布置位置等信息如表 1 所示。

表 1 液压系统交联关系
Table 1 The crosslinking relation of hydraulic system

交联	交联的部件	端口类型	交联变量	布置位置
动力装置	发动机驱动泵	机械端口	转速、转矩	发动机舱
舱室热系统	高压油滤	热端口	换热量	设备舱
	液压油箱	热端口	换热量	设备舱
	液压导管	热端口	换热量	设备舱
供电系统	交流电动泵	电端口	电压	
	吸油通断阀等	电端口	电压	
燃油系统	燃油-液压油散热器	热端口	温度、流量	后机身
气动	空气-液压油散热器	冲压空气		前机身
飞控		P/T		
起落装置		P/T		
结构		P/T		
数据接口		复合信号端口	输入输出信号	

2.4 构建飞机系统顶层架构模型

在系统交联 ICD 定义基础上,基于能量综合飞机仿真架构,逐层展开进行各子系统架构模型的定义,基于 AMESim 软件提供的各类专业模型库(机械库、电气库、液压库、热液压库)进行各子系统功能模型构建,最终建立整个飞机系统的仿真模型。

2.5 构建各子系统模型

在各子系统 ICD 接口约束下,开展各子系统方案设计和建模。以液压系统为例,液压系统功能级模型按照系统方案设置了两套液压系统,并且反映了液压系统液压泵与动力装置的机械交联、与供电系统的电能交联等关系,如图 4 所示。

2.6 虚拟综合仿真分析

按上述步骤完成各子系统模型的搭建,不同的设计方案、仿真层级和精度要求对应不同结构、尺度和精度的仿真模型,这些仿真模型通过统一的、可选配的仿真模型库进行管理和版本控制。基于参考架构,按照不同的设计构型、仿真目的、仿真层级(架构级、功能级和性能级)对仿真模型库中的模型进行选配,定义相关全局工况参数,通过虚拟集成最终生成整个机电系统综合仿真模型,可以开展以下的虚拟综合仿真分析:

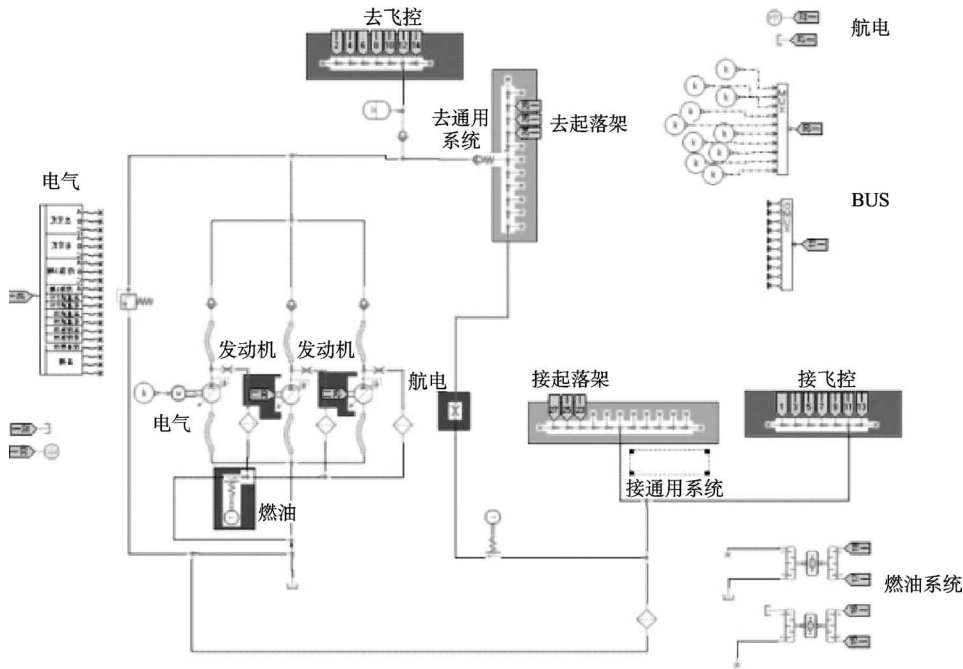


图 4 液压系统建模
Fig. 4 Modulation of hydraulic system

(1) 进行飞机机电系统的能量评估。通过仿真,可以呈现飞机机电系统电能、液压能、气能、热能等能量的交联与综合,直接反映机电系统从动力装置提取的功率大小,液压系统的能量变化如图 5 所示,并可通过系统不同方案的配置优化机电系统的整体能量分配方案,降低从动力装置提取的功率,降低飞机燃油消耗。

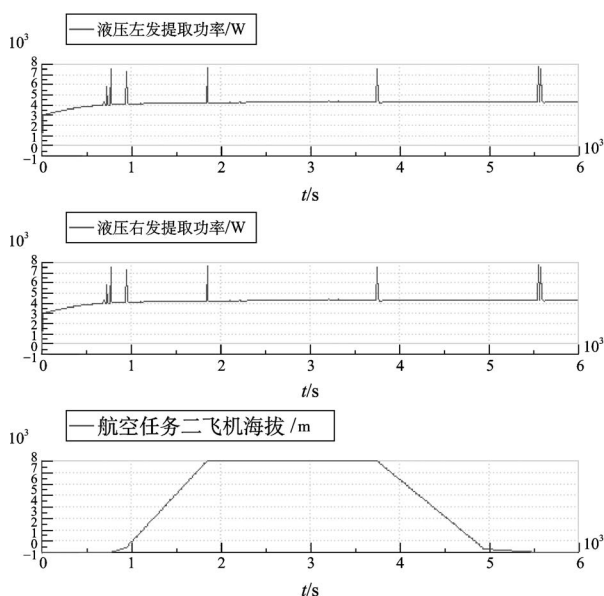


图 5 液压系统的能量变化

Fig.5 Energy variation of hydraulic system

(2) 实现飞机热集成优化分析。可以评估不同环控技术方案(如电、引气等)对能耗的影响,进行燃油系统热集成分析(考虑燃油本身以及与环控、电气及液压系统的换热),以及电气设备布置及环控系统散热的联合优化分析。

(3) 通过能量综合飞机 ICD 模型,可以根据飞机的整体性能需求,在方案论证阶段评估机电系统的架构设计与方案配置,为子系统方案的设计提供合理的边界。

(4) 能量综合飞机 ICD 模型可清晰地反映机电各个系统的相互交联关系,使各个系统之间的接口模型化,还可通过仿真分析各个系统之间的相互影响,使各个系统之间的接口和相互影响更清晰直观。

(5) 通过在方案设计阶段、详细设计阶段对机电系统进行能量综合仿真验证,可以提高机电系统设计的成熟度,完善研制流程,尽早发现设计缺陷,提高设计质量和成功率,减少研制后期的反复更改,缩短研制周期。

型的机电系统能量综合仿真技术应用研究,运用基于模型的 MBSE 的思想将原先分散的设计过程和仿真分析综合到一个统一的平台,建立了机、电、液、热、气等多领域联合仿真模型,实现了多物理域仿真模型联合仿真与调试,可以为机电系统的综合权衡提供一种新的设计理念和技术框架。

通过工程实践表明,LMS AMEsim 仿真平台能对多领域智能系统进行建模和分析,并预测其多学科专业的耦合性能^[4]。但同时应该指出该平台有其一定的局限性,后续在此方向上仍有诸多工作需要深入研究,主要包括:

(1) 多层次、多尺度仿真建模技术

不同的设计方案、仿真层级和精度要求对应不同结构、尺度和精度的仿真模型,因此,需要对仿真过程中各种模型的具体要求进行分析,确定各机电子系统不同层级模型应具备的特征要素,并在建模过程中采取适当的建模方法或标准将这些特性要素在模型中体现,进而形成相应的建模规范。

(2) 复杂系统模型的置信度评估

目前,还缺少仿真模型可信度评价机制,无法采用规范化的校核、验证和确认评价准则确定仿真模型和仿真结果的正确与否。因此,后续还应加强对仿真模型可信度评价机制的研究,同时,还需通过大量物理试验的数据积累,不断对各系统的仿真模型进行标定,以提高仿真结果的准确性。

(3) 多物理域仿真模型联合仿真与调试技术

机电系统仿真涉及到机、电、液、气、热等各领域多专业,其接口交联关系非常复杂,联合仿真实现的技术难度主要在其仿真的准确性、实时性和复杂度等方面。

从应用过程看,联合仿真过程中各系统参数的调试无通用方法可借鉴,由于仿真变量太多,出现仿真周期长、模型调试难度大、仿真结果不稳定等现象,因此,还应该加强对模型的轻量化,合理定义模型的参数,以及联合仿真与调试技术等方面的研究。

(4) 异构软件模型的集成仿真计算求解技术

通过异构软件/模型的虚拟集成来进行机电系统多学科跨专业协同联合仿真,各专业使用的模型接口种类繁多,由于知识产权及不同领域建模的特点等原因,在短期内实现模型描述及求解的统一并开放是不现实的,因此,还应加强对通用模型接口标准 FMI 的研究,统一建模语言和标准,增加模型的重用率,提高仿真人员的开发效率。

3 结论

本文以 LMS AMEsim 仿真平台为基础,开展了基于模

参考文献

[1] 林明,蔡增杰,朱武峰.飞机机电系统发展趋向与启示[J].机

- 械研究与应用, 2011 (6): 153-156.
- LIN Ming, CAI Zengjie, ZHU Wufeng. Development trend and illumination of the aircraft mechanical and electrical system[J]. Mechanical Research & Application, 2011 (6): 153-156. (in Chinese)
- [2] 王大勇, 郑勇峰, 张桥梁. 飞机总体设计中的能源管理 [J]. 航空科学技术, 2013 (5): 34-38.
- WANG Dayong, ZHENG Yongfeng, ZHANG Qiaoliang. Energy management in aircraft design [J]. Aeronautical Science & Technology, 2013 (5): 34-38. (in Chinese)
- [3] Siemens PLM Software. Siemens PLM Software LMS Imagine. Lab 航空 VIA 解决方案在工程实践中的应用 [J]. 航空制造技术, 2015 (10): 102-103.
- Siemens PLM Software. Application of VIA solution of Siemens PLM Software LMS Imagine. Lab in engineering practice[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015 (10): 102-103. (in Chinese)
- [4] 李庆. 飞机开发技术的全新突破: 基于模型的系统工程 [J]. 航空制造技术, 2013 (5): 48-53.
- LI Qing. Model-based system engineering for aircraft development [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013 (5): 48-53. (in Chinese)

作者简介

聂同攀 (1978-) 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 机电系统设计、系统工程仿真。

Tel: 029-86832265

E-mail: nietp60315@sina.com

The Simulation Technology Application Research of Model-based Electromechanical Systems Multi-physical Domain

NIE Tongpan*

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: Focus on the characters of system highly integrated, complexity of system architecture and interface of brand new aircraft electromechanical systems, the simulation technology application research was developed based on model electromechanical and LMS Imagine.Lab platform. The system simulation model of the electromechanical system AMESim was built, which can be divided into architectural level, functional level and behavioral level. Afterwards, the key technology process was performed on multi-physical domain model simulating and debug. The results prove that the method can be a solution of trade-off for the electromechanical system design.

Key Words: electromechanical system; system engineering; MBSE; AMESim

Received: 2017-05-05; Revised: 2017-05-15; Accepted: 2017-05-25

*Corresponding author. Tel.: 029-86832265 E-mail: nietp60315@sina.com