

基于结构框架的直升机动力虚拟采办原型系统构建

Construction of Virtual Acquisition Prototype System of Helicopter Power Based on Architecture Framework

■ 贺颖 王召广 / 中国航发动研所

虚拟采办原型系统是基于仿真的采办技术的实现载体，虚拟采办原型系统是采办过程的数字化实现，它集成了飞发一体化模型、发动机性能仿真模型、流道尺寸与质量模型、进度仿真模型、目标价格模型、寿命估算模型以及电子样机模型，通过原型系统上的模型运行可虚拟出整个采办过程并得到有效的结论。

涡轴发动机作为直升机的动力，需要在高温、强振、沙尘等严苛环境下持久工作，研制难度大、采办周期长，还要面临费用、进度、战技指标和作战效能等多方面的挑战，迫切需要基于仿真的采办(SBA)技术的支持。虚拟采办原型系统^[1]基于统一的业务流程和规范构建，利用模型数字化定义、模型集成调用、数据集中管理、流程驱动等方式实现跨采办职能部门、跨采办项目阶段、跨采办项目的各种工具和技术的集成。

虚拟采办过程建模思路

针对直升机动力系统的虚拟采办过程的建模采用总一分思路，先建立总体模型，再针对动力系统中的分模型进行建模，将动力系统的研制进度、指标性能、研制阶段费用和配套资源等多维信息映射至统一的工作结构中，建立任务关系模型和属性关联模型，并将性能作为仿真循环和迭代的约束条件，采用任务调度、时间推进和多维并行机制进行仿真，实现采办仿真过程的并行

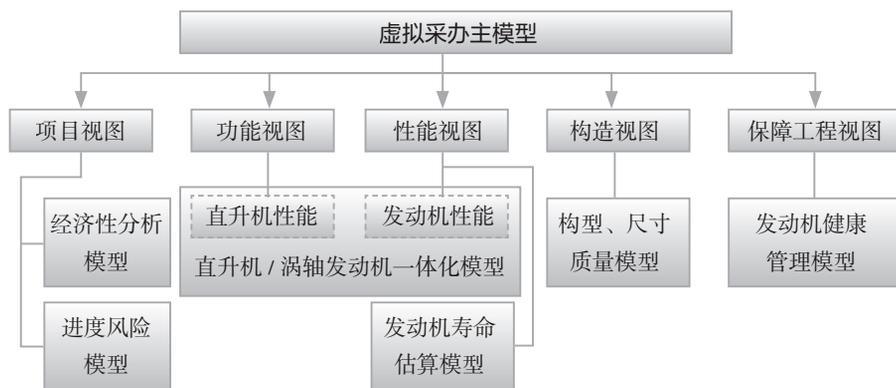


图1 虚拟采办主模型

和演进；同时，在进度、费用、性能等多维约束下分析采办满足预期综合要求的风险，为采办决策提供支持。

虚拟采办原型系统架构

体系结构框架^[2]最早来源于Zachman框架，历经DODAF1.0、DODAF2.0版本，目前最新的集成架构框架(UAF)有11类产品模型，需要关注的内容包含过程、连接性、结构、分类、信息、参数、交互场景、状态、追溯性、路线图、约束等。基于此框架，中国航发动研所构建了虚拟

采办主模型如图1所示。直升机动力系统虚拟采办原型系统主模型包括进度风险模型、经济性分析模型、武装直升机性能模型、涡轴发动机总体性能、结构、尺寸、质量、寿命、发动机数据管理等分系统仿真模型。

在参考武器装备SBA系统通用体系结构^[3]的基础上，结合直升机动力现有的建模与仿真研究实际情况，建立直升机动力虚拟采办原型系统的总体框架，包含应用层、模型工具层、基础支撑层和资源层。在该架构上，实现虚拟采办场景如图2所示。

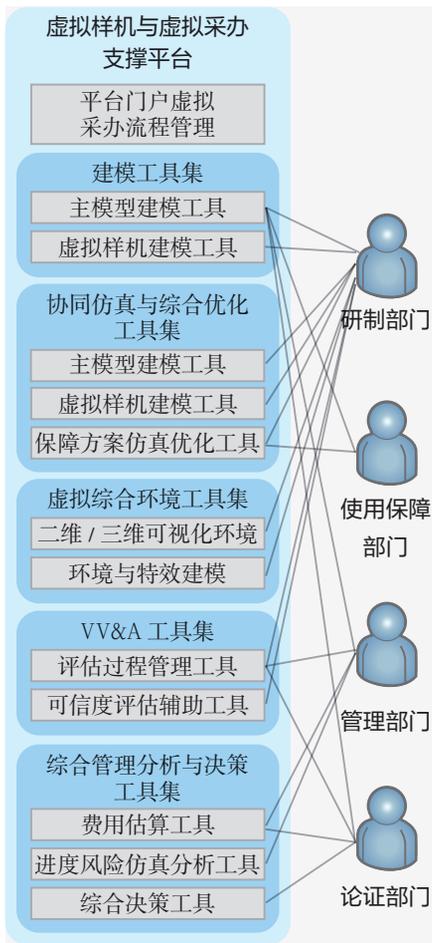


图2 虚拟采办原型系统交互场景

虚拟采办原型系统支撑流程

依据UAF的定义，其中的业务视图（也被称为作战视图）是系统顶层设计的最重要部分，业务视图包含关系图、活动图、节点连接描述等，据此，构建出虚拟采办流程如图3所示。

虚拟采办原型系统模型定义及实现

虚拟采办原型系统模型包括1个涡轴发动机主模型和飞发一体化模型、发动机性能仿真模型、流道尺寸与质量模型、进度仿真模型、目标价格模型、寿命估算模型以及电子样机分模型，下面简要介绍飞发一体主模型、经济性分析模型、进度仿

真模型的建立。

飞发一体化性能模型和发动机性能模型

直升机飞行性能模型的主要功能是通过给定飞行高度、飞行速度与发动机状态（中间）限制参数计

算获得其能够提供给旋翼的功率。通过对直升机飞行性能模型的分析，确定其输入输出参数，使用XML文件对参数进行定义，用PYTHON算法调用计算求解过程，嵌入图形绘制控制，得到对应的直升机飞行性

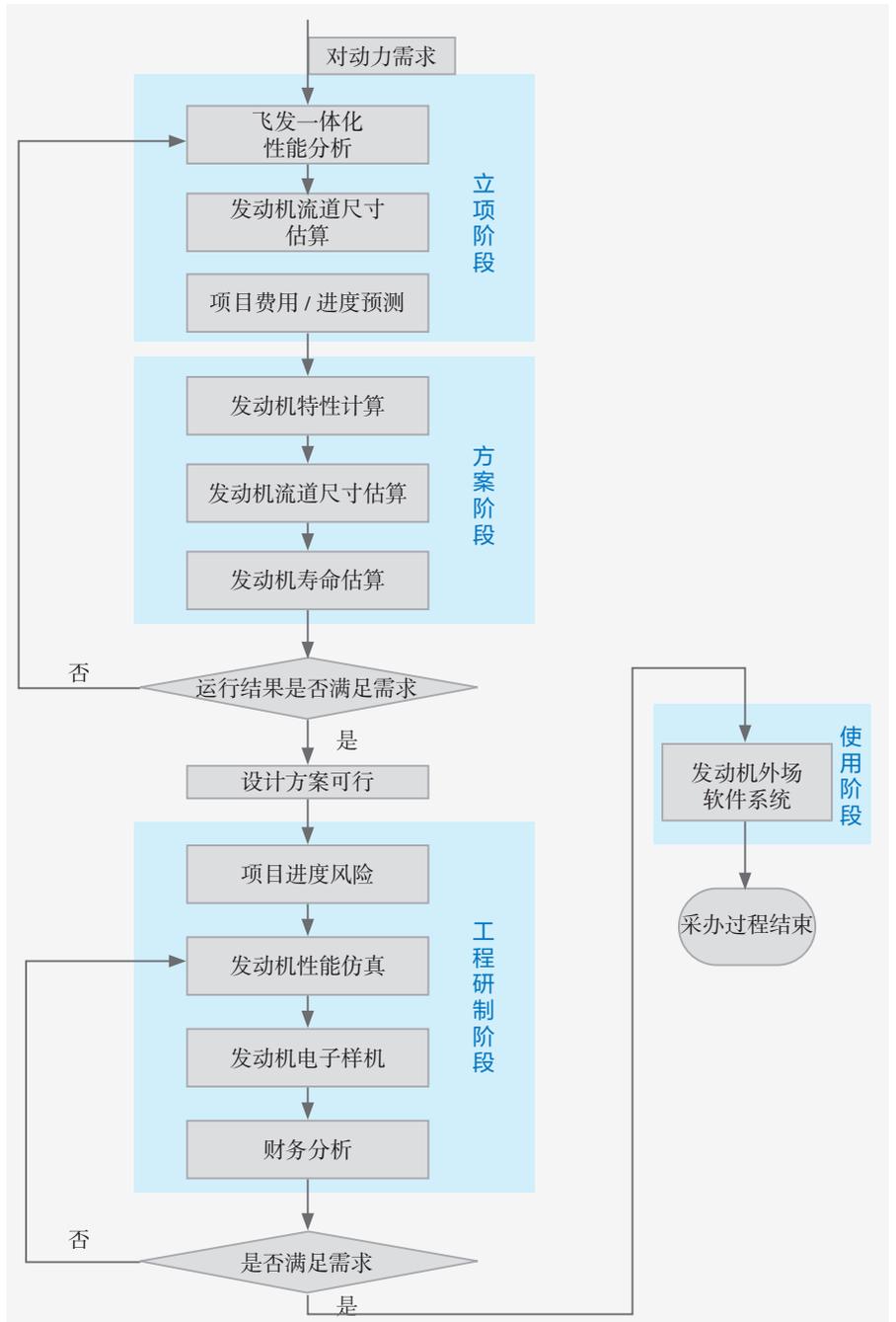


图3 涡轴发动机虚拟采办流程

能模型在原型系统中的定义,如图4、图5所示。

经济性分析模型

经济性分析模型主要用于涡轴发动机经济可承受性分析,其目的是给决策者提供有关发动机经济性方面的信息,使决策者根据效能与费用分析的结果及其他需要考虑的因素进行决策,以提高发动机的经济可承受性。涡轴发动机经济可承受性分析在全生命周期不同阶段的工作内容不同。据此,确定影响函数模型,其输入一般是起飞功率、起飞耗油率、质量、压比、涡轮前温度、功率质量比、喘振裕度,输出的是费用。

出的是费用。

进度仿真模型

进度仿真模型构建过程中,采用基于蒙特卡罗法对每一个任务活动,应定义输入工期仿真值;采用基于网络计划图,应对每一个任务活动,给出其最快开始时间、最慢开始时间、最快结束时间、最慢结束时间的数学计算模型。

在虚拟采办过程中,各项采办活动的进度都呈现出不确定性。虚拟采办的进度预测就是要通过研究不确定因素的变化对装备采办的影响,做出概率描述。为此,引入随机数来描述各项活动的不确定性。

在确定虚拟采办各项活动的分布概率后,利用蒙特卡罗仿真方法对虚拟采办进度进行仿真分析。

航空发动机的研制过程一般可分为设计、试制、核心机试验和发动机试验4个阶段,虚拟采办进度预测技术基本涵盖了发动机研制的整个过程。首先建立设计阶段任务网络图,再对设计过程中的各项活动的进度分布概率进行分析,给出每项活动的进度概率分布,最后利用蒙特卡罗仿真方法得到设计过程的时间进度分布直方图。采用同样方法对试制、核心机试验和发动机试验等阶段进行网络图建模及仿真,获得涡轴发动机采办计划进度,使用进度仿真模型得到工期预测。

结束语

通过建立各分模型间的多维度任务关系以及属性关联,该原型系统实现了基本的采办过程的虚拟仿真,能提供一定程度上的采办决策支持,后续仍需补充其他更为丰富的分模型,并在智能决策与分析方面进行深入研究,形成相应的集成研讨环境。

航空动力
(贺颖,中国航发研研所,高级工程师,主要从事流程与数字化技术研究)

参考文献

- [1] 梁彩云,李宏新,隋岩峰,等.航空发动机虚拟采办的构建和发展设想[J].系统仿真学报,2020,32(12):71-75.
- [2] 曲慧杨,朱耀琴,蒲睿英,等.复杂装备虚拟采办平台技术研究[J].系统仿真学报,2018,12(8):65-67.
- [3] 白勇军,陈阳,赵勇.基于WBS的虚拟采办系统分析与协同建模研究[J].系统仿真学报,2011,12(8):46-50.

参数组和参数别名	添加顶级参数组	数据类型	维度
功率质量比		实数	0(单一值)
载弹量		实数	0(单一值)
发动机台数		整数	0(单一值)

图4 模型输入参数

发动机设计点参数			
TT	涡轮前温度	实数	0(单一值)
SFC	耗油率	实数	0(单一值)
EXT(kW)	起飞功率	实数	0(单一值)
WFB	燃油流量	实数	0(单一值)
直升机及发动机设计参数			
旋翼半径	旋翼半径	实数	0(单一值)
所需总功率	所需总功率	实数	0(单一值)
起飞质量	起飞质量	实数	0(单一值)
尾桨半径	尾桨半径	实数	0(单一值)
主尾桨间距	主尾桨间距	实数	0(单一值)
单台发动机流量	单台发动机流量	实数	0(单一值)
最优解决方案			
WTO_S	WTO_S	实数	0(单一值)
TSL_WTO	TSL_WTO	实数	0(单一值)
PROFIL 参数			
TIME	时间	实数	1(一维)
ALT	高度	实数	1(一维)
V	速度	实数	1(一维)
RNG	距离	实数	1(一维)

图5 模型输出参数