

基于成熟度的航空发动机 WBS 技术及工作模式研究^{*}

Research on WBS Technology and Working Mode of Aeroengine Based on Maturity

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 常智勇 金也淘 孙惠斌 杨海成

[摘要] 航空发动机工作分解结构一直是型号研制的重要依据。通过研究国内中小航空发动机压气机组件现行多学科协同设计过程,在对原来的工作分解结构进行分析后,提出基于成熟度的优化工作分解结构。使得航空发动机压气机组件的协同设计过程效率得到了提高,并在 Teamcenter 平台系统中进行了实例验证。

关键词: 多学科系统设计 工作分解结构 设计成熟度

[ABSTRACT] Some researches on the current multi-disciplinary collaborative design process of domestic compressor of aeroengine are done, and the optimized work breakdown structure based on the concept of maturity is put forward after analyzing primary one. The concept of design maturity, the key elements of maturity model as well as work breakdown structure based on maturity are introduced, eventually testification is done on Teamcenter platform.

Keywords: Multi-disciplinary collaborative design Work breakdown structure Design maturity

我国航空发动机行业经过近 50 年的发展,走过了引进专业生产、改进改型、测绘仿真、原型机参考设计、制造等过程,目前正走上自主产品设计研制的发展道路,但同国际上发达国家相比,我国技术自主创新能力、产品的设计开发能力、生产制造水平等依然存在较大的差距,不能满足国防装备和国民经济的发展需求,资源共享及利用率低,现在的管理模式已不适应新形势的需求^[1]。

航空发动机具有几何机构与形状复杂、性能要求高、设计制造信息量大、涉及学科多、制造工艺复杂、研制周期长等特点,使得其研制难度大大增加,在航空发动机产品全生命周期中涉及了气动、结构、强度等多学科专业和领域,需要上述领域的专家相互密切配合,才能实现研制的高效率、高质量、低成本^[2]。

从协同设计制造的角度来看,航空发动机多学科协同设计制造方面的技术水平比较低,目前存在的主要问题有:(1)多专业学科设计过程主要采用串行模式设计,这种产品研制模式使得下游设计工作无法提前开展;(2)设计部门与制造部门之间、制造部门内部缺乏协同工作机制和实现手段,致使信息交流不畅、研发周期过长、工程更改频繁,难以满足航空发动机研制需求;(3)使用 PDM 软件提供的工作流模块无法支持管理复杂的设计流程^[3-4]。

因此,需要建立一套机制,使得设计过程中的下游设计人员能尽早地参与进来,尽早多维度、多粒度地进行设计,减少返工次数,提高设计效率,缩短研制周期。

本文在借鉴国外数字化先进技术和国内发动机研制中数字化技术应用经验的基础上,提出了一种基于成熟度的航空发动机设计过程 WBS 分解方法,以及对设计过程中数据的管理方法。将成熟度的概念融入到 WBS 分解结构中,并结合在协同工作平台下的二次开发,有效地突破了多专业学科协同设计过程中存在的关键技术,解决了设计过程中并行程度不深、数据协同不及时等问题,为更好地实现异地协同设计过程提供参考。

1 设计成熟度

1.1 设计成熟度概念

为了促进并行工程,使下游工作尽早开展,本文在实践基础上提出设计优化的成熟度的概念。规定设计对象在其设计过程进行到一定阶段,其相应设计信息(包括模型、图纸、技术文件)的细化达到一定程度,可供下游工作开展时,由设计人员定义的该设计对象状态标识称为设计成熟度,以下简称成熟度。成熟度在设计流程中表示设计数据的可用性,是提高设计并行程度的重要技术手段^[5]。

优化成熟度概念的提出使得设计过程并行工作的开展有了新的理论基础,设计人员在设计过程中如何与下游工作协同、并行展开,以及对下游工作发放数据的时间和具体内容(包括具体的发放方式)都有了理论依据。表 1 为简化过的轴流叶轮成熟度表单实例。

^{*} 国家自然科学基金项目(50805122)、工信部中国民用航空高级研究计划(20102013)、西北工业大学研究生创业种子基金项目(Z2011082)资助。

成熟度管理模型是对纳入成熟度管理的零组件对象进行成熟度定义和管理所有活动的集合。在航空发动机领域,纳入成熟度管理的零组件通常为长线零组件,即具有设计过程复杂、设计周期长(通常为大于1年)、设计迭代次数多等特点的零组件。纳入成熟度管理的航空发动机典型零部件按结构单元逐层进行划分,见表2。

1.2 成熟度管理活动模型的关键要素

成熟度管理活动模型中关键要素主要包括以下3点。

(1)成熟度等级,即在朝着实现发动机典型部件及其零件设计成熟度的目标前进过程中组织的、不断进展但又相对稳定的设计过程的一种妥善定义的状态。成熟度等级阶段节点的划分原则为:区分不同学科专业IPT工作、设计过程进展到使得下游工作可提前开展。成熟度状态的改变需要经过审批流程确认,在设计周期内需要长期保留成熟度标识,经历所有成熟度标志后才形成最终设计结果。

(2)成熟度等级的命名规则。用标示符M1、M2、……表示父级的成熟度阶段,相当于设计过程中的顶层研制阶段;标示符M1.1、M1.2、M2.1、M2.1.1……表示可以提升成熟度的设计子阶段;区别于在时间上属于后继关系的设计子阶段,对于在同一成熟度设计阶段不同学科并行开展的设计子阶段,在设计子阶段标示符后加标示符“-A”、“-B”表示,如M2.2-A、M2.2-B表示在

M2.2阶段并行开展的工作,如图1所示。

(3)成熟度提升及下降规则。在航空发动机压气机设计过程中,由于无法准确预知目前的设计会对后续的设计造成何种影响,因此在设计下游会经常出现需要

表2 纳入成熟度管理的发动机典型零部件分类

0 级别	1 级别	2 级别	3 级别	
发动机	风扇	风扇转子		
		风扇静子		
		风扇支撑		
	核心机	压气机		中介机匣
				中央传动系统
				压气机转子
				压气机静子
		燃烧室		火焰筒
				燃烧室机匣
				燃油总管及喷嘴
		高压涡轮		高压涡轮转子
				高压涡轮静子
			高压涡轮支撑	
	加力燃烧室	混合段		
		稳定段		

表1 轴流叶轮设计成熟度(简化)示例

轴流叶轮成熟度定义表单					
单号:			版本:		
项目阶段	分段号	工作内容	发送方		接收方
			发布者	数据发布格式	人员
概念设计(M1)	M1.1	总体设计、气动设计任务书、结构设计任务书编制	总体室设计师	Word 文档	气动设计主管、结构设计主管
		根据气动设计任务书开始气动设计	气动设计主管	Word 文档	气动设计师
		结构设计准备	结构设计师	Word 文档	
初步设计阶段(M2)	M2.1	气动初始设计,一维、二维流道设计	气动设计师	Word 文档	气动设计师
		S1、S2 流面计算	气动设计师	Dwg	气动设计师
	M2.2-A	气动三维流场分析	气动设计师	Word 文档	气动设计师
	M2.2-B	结构初步设计	结构设计主管	Word 文档	结构设计师
		二维结构图	结构设计师	Dwg	
		强度分析	结构设计师	CFX	强度分析师
M2.3	评审			总体设计师、气动设计主管、结构设计主管	
M3		……			

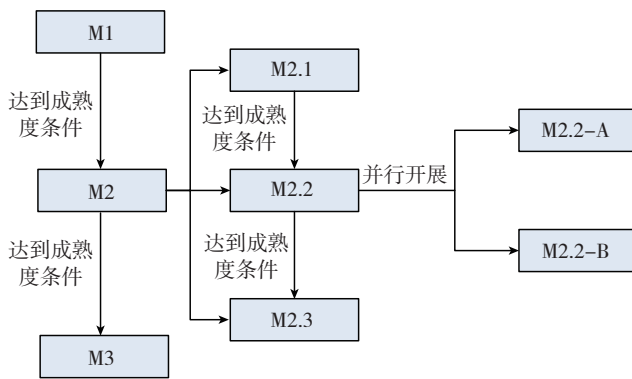


图1 成熟度命名及使用规则
Fig.1 Naming and usage of maturity

设计返工的情况,即设计过程回退到之前的环节重新进行。这种情况下,采用成熟度下降来控制零部件的状态。成熟度升降级的表示规范如下:设计零部件的成熟度采用同一 ITEM 的不同版本来表示,每个版本表示一个成熟度模型,如 M1、M2.1……每个版本到达某个成熟度的要求时,即按照相应的流程进行签署,经过确认后,在此版本的基础上进行升版,产生新的版本。

如:第一个版本可设置为“01.M1”,第二个版本可设置为“01.M2.1”,……,依次类推,最后一个版本可不标识成熟度,直接设置为“01”,作为此次设计的最终结果。若有新的更新,可直接改为“02”版本。

对于特殊情况下成熟度下降的产品设计,按照如下方式管理:成熟度下降的版本标识:成熟度下降后的版本可设置为“01.M1-1”……,后面的成熟度版本随后都要按照此规则进行编号,如“01.M2-1”……

成熟度下降的流程:按照编码规则创建新版本,在新版本下创建更改单(暂定以更改单形式管理),更改前版本为发现问题的版本,改后版本为新版本。按照已经签署的最后一级成熟度的签署流程进行签署。

2 基于成熟度的 WBS 搭建

2.1 发动机 WBS 分解工作模式

工作分解结构(Work Breakdown Structure)是对项目过程中的工作以可交付的产品和服务为导向,按照一定的逻辑关系自上而下逐级分解为工作单元,工作单元分解为工作包,工作包分解为工作作业所形成的一个层次结构体系,可以详细定义项目范围。它是以产品为中心,由产品、

服务和资料共同组成,能够反映工作单元、工作包、工作作业相互之间以及与最终产品之间的关系^[6-7]。

WBS 的特征是把一个比较复杂的项目逐步分解为比较简单的过程,使得原来不可控的一些事情变得清晰可控。工作分解结构单元为构成工作分解结构的每一独立部分,简称工作单元,它由工作包构成。工作包是工作分解结构的最底层工作单元,它由一组作业组成。利用工作包可以方便地进行成本预算及成本费用汇总统计^[8]。

航空发动机 WBS 的树形结构框架就是将一个总的任务按照时间、层次、粒度,逐级分解,将整个项目细化到可以明确提交成果物(如文档、设计图纸等)的任务包的层次化任务分解结构。树形结构由上到下对应任务的总分关系,将几个大阶段的任务逐级分解;整个树形结构横向是时间轴,同级叶子之间是以是否能使同级后续叶子任务展开为依据划分的^[9-10]。

传统的航空发动机 WBS 工作分解结构是按照研制阶段分解的,而研制阶段的确定主要是以某一个专业的设计过程结束为标志的,这样的分解方式着重于对整个设计过程的描述,更倾向于对每个工作包任务内容的描述,但在并行设计的方式、协同设计的数据流向以及格式方面略显不足,而且在研制时间方面,也因为没有充分考虑到并行工程,导致设计周期过长。图 2 为传统的航空发动机 WBS 分解结构。

2.2 基于成熟度的 WBS 分解工作模式

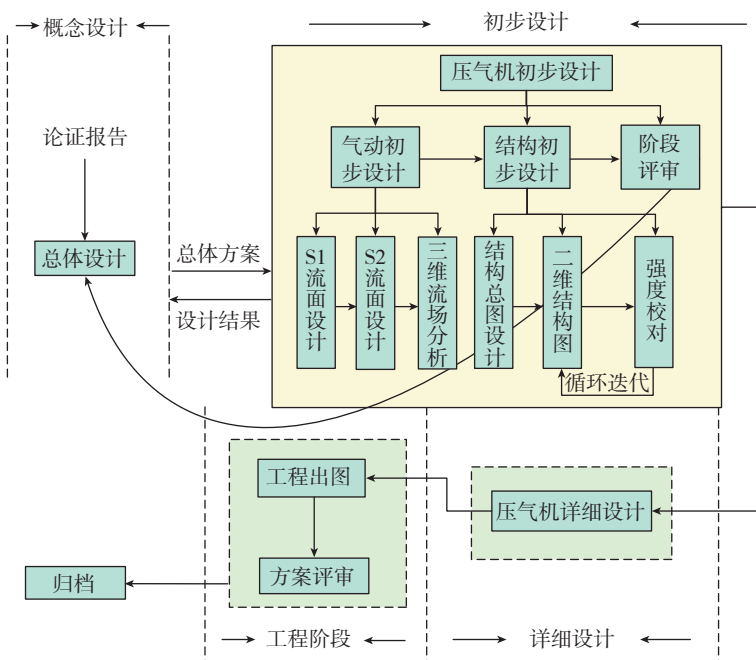


图2 传统的航空发动机WBS分解结构
Fig.2 Traditional WBS of aeroengine

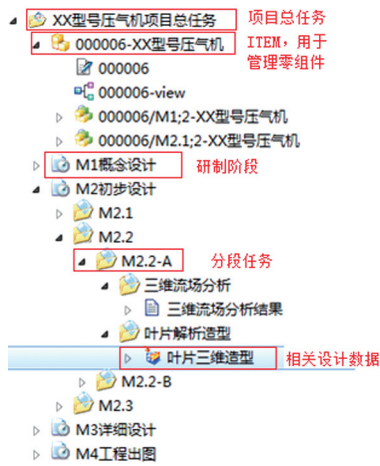


图4 系统中搭建的WBS

Fig.4 WBS deployed on Teamcenter

4 结束语

本文通过对航空发动机压气机设计过程的WBS加入了成熟度概念,对压气机设计过程进行了优化,使得压气机设计过程更能体现并行工程的特点,减少了反复迭代、评审等对设计过程的影响,有效地缩短了设计周期,以中小航空发动机压气机设计过程为例,在TeamCenter中进行二次开发后实施验证,有效地提升了航空发动机的研制能力。

参考文献

- [1] 张定华,李山.航空发动机数字化协同平台关键技术研究.现代设计与先进制造技术,2009,38(9):35-39.
- [2] 桂元坤.航空发动机产品开发过程集成的关键技术研究[D].西安:西北工业大学,2006.
- [3] 聂亚军.工作分解结构(WBS)在发动机型号研制中的应用.航空发动机,2006,33(1):51-54.
- [4] 熊光楞.并行工程的理论与实践.北京:清华大学出版社,2001.
- [5] 张友良,汪惠芬.异地协同设计制造关键技术及系统实现.工程设计,2002,9(2):53-59.
- [6] 皮亚风.航天型号项目工作分解结构(WBS)编制研究.华北航天工业学院学报,2006,16(3):1-3.
- [7] 甘焕.基于WBS的大型工程项目管理信息系统研究[D].西安:西北工业大学,2007.
- [8] 吴志东.基于WBS的工程项目管理信息系统研究[D].西安:西北工业大学,2004.
- [9] 于乃江,李山.航空发动机设计制造协同流程及关键技术研究.中国制造业信息化,2009,38(21):16-23.
- [10] Butterfield J,McEwan W.A system lifecycle approach to maintenance planning in aerospace using digital manufacturing. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, 2010.

(责编 良辰)

(上接第74页)

境条件下的某些老化因素,加速老化进程,较快获得试验结果。

5 结束语

本文对复合材料缠绕制品力学性能、耐燃烧性、吸水性、老化性能的测试进行了论述,并给出了相应的试验装置、试样尺寸和计算公式。

复合材料制品性能测试试验在复合材料的开发与应用中发挥着重要作用。通过试验不仅可以评价验证制品的各项性能,而且可以为制品性能数据库的建立和研究制品的可靠性提供实验依据。因此,缠绕制品性能测试研究具有很强的工程应用价值。

参考文献

- [1] 鲁博,张林文,曾竟成,等.天然纤维复合材料.北京:化学工业出版社,2005.
- [2] Hodgkinson J M.先进纤维增强复合材料性能测试.北京:化学工业出版社,2005.
- [3] 全国纤维增强塑料标准化技术委员会秘书处.纤维增强塑料(玻璃钢)标准汇编.北京:中国标准出版社,2008.
- [4] Spottswood S M, Palazotto AN. Progressive failure analysis of a composite shell, Composite Structures, 2001, 53: 117-131.
- [5] 魏宏艳,杨胜春,沈真.复合材料压缩试验方法的对比分析与研究.//第十五届全国复合材料学术会议论文集.北京:中国力学学会,2008,790-794.
- [6] 贺崇武,蔡昕锁.复合材料压缩性能试验研究.//第十二届全国复合材料学术会议论文集.北京:中国复合材料学会,2002,724-727.
- [7] 沃丁柱.复合材料大全.北京:化学工业出版社,2000.
- [8] HUANG Zheng-Ming, K. FUJIHARA, S. RAMAKRISHNA. Flexural failure behavior of laminated composites reinforced with braided fabrics. AIAA Journal, 2002, 40(7): 1415-1420.
- [9] P.A. Sreekumar, Kuruvilla Joseph, G. Unnikrishnanect. A comparative study on mechanical properties of sisal-leaf fiber-reinforced polyester composites prepared by resin transfer and compression molding techniques. Composites Science and Technology, 2007, 67(3-4): 453-461.
- [10] 陈先忠,邹传平.低温下环氧玻璃管材力学性能实验研究.低温与超导,2010,38(5):15-18.
- [11] 郑锡涛,李光亮,郑晓霞,等.液体成形复合材料力学性能测试方法研究进展.航空工程进展,2010,1(1):62-70.
- [12] 黄涛.缝绉泡沫夹层复合材料结构力学性能研究[D].西安:西北工业大学,2004.
- [13] 于志成.复合材料II型层间断裂韧性试验方法研究.航空材料学报,1997,1(14):54-61.
- [14] 尹昌平,李建伟,刘钧.缝合/RTM复合材料层压板的力学性能研究.材料导报,2007,21(11):136-138.

(责编 晓立)