成熟度在飞机研制一体化流程的应用

陶 剑 范玉青

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 为满足现代飞机的市场需求和最大限度地规避技术和质量风险,提高飞机设计制造一体化水平是必由之路. 通过借鉴波音和空中客车相关思想,从一体化流程和数字化产品模型来明确成熟度的基本定义并强调成熟度的重要性,提出数字化模型成熟度和里程碑两项关键技术,研究在一体化流程中应用数字化模型成熟度的管理和控制方法,结合模块化的产品结构分解方法和企业的设计、生产和工艺的实际情况,建立起基于模块化的多级成熟度思想,并给出制造工艺流程设计的实例来验证这种方法对保证数字化产品模型完整和一体化流程畅通的有效性.

关 键 词: 飞机; 一体化流程; 成熟度; 多级成熟度; 模块; 里程碑

中图分类号: V 260.5

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)09-1117-04

Application of maturity in development of aircraft integrated process

Tao Jian Fan Yuqing

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: Improving the level of integration of aircraft design and manufacturing has become a necessary to meet the market requirement of modern aircraft and to avoid the maximum risk of technology and quality. The importance of maturity technology was emphasized and the definition of maturity was confirmed based on integrated process and digital product model(DPM) approach. Two key technologies of DPM′s maturity and milestone were proposed referring to Boeing and Airbus ideas. The management and control method of DPM′s maturity and the process of its application in integrated process were studied in detail. Associated with module product structure and the enterprise actual capability of design, manufacturing and process, the idea of multi-level maturity was established. A case of design for manufacturing process flow was given to illustrate the validity of the idea to ensure DPM integrity and to integrate process smoothly.

Key words: aircraft; integrated process; maturity; multilevel maturity; module; milestone

随着全球航空业的迅速发展,各航空制造企业竞相建立飞机设计制造一体化流程的理论体系和技术基础来适应现代飞机设计和生产的动态变化过程,以达到提高研制效率和质量、缩短研制周期和降低成本的目的. 飞机设计制造一体化流程主要包括:以飞机研制过程为主的业务流程、以数据管理和构型控制为主的管理流程和以计算机辅助工程及供应和售后为主的支持流程. 飞机产品复杂程度高、数据量大,造成产品数据在业务流程中何时发放、以及产品数据的成熟度达到何种程度可以发放等一系列的问题,这些都是相关流程是否能顺利执行的关键. 成熟度作为联系业务流程、管理流程和支持流程的关键技术,它在业务流程中对产品的数字模型成熟度(ML)提升的控制基线进行定义,在管理流程中对产品的数字模型成熟度的状态进行管理. 但是如何在流程中使用成熟度,当前国内对此概念并不清晰,也没有有效的管理控制方法. 本文依据波音公司和空中客车

收稿日期: 2005-11-22

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20020006012)

作者简介: 陶 剑(1976-),男,江西南昌人,博士生, Taojian1119@sohu.com.

公司的相关思想,提出多级成熟度的概念,对如何使用数字模型的成熟度和控制机制来保证飞机的一体化流程顺利执行进行了深入研究.

1 成熟度

成熟度是对产品数字模型完成情况和详细程度的描述,并且将达到一定技术状态的数字模型(包括产品结构信息、几何信息、工艺信息、分析结果、技术说明和检测结果等)提前发放给下游用户,以便于下一步流程工作的顺利开展.使用数字模型成熟度的主要目的是:①从总体上把握大型复杂产品的数字模型完成的情况,为控制基线的制定提供依据;②建立成熟度管理和控制规则,确保能够获得数字模型的完整技术描述.

1.1 定义

成熟度的思想随着近年飞机项目中相应软件产品的使用才引入到我国航空制造业中,它对产品数字模型的完整性和详细程度进行描述,并通过制定相应的里程碑来对流程进行控制.里程碑是对研制流程中一定阶段内所要达到的重要事件、目标进行控制,并将研制流程和产品数字模型成熟度结合在一起的一个中间对象[1],它包含前面所述的成熟度控制基线.

成熟度思想可以分2层来理解.

第1层是从宏观的角度来看待一体化研制流程与里程碑的关系,如图1所示.由于在航空产品中定义一个产品数字模型来表示整个产品的信息是不现实的,所以需要在流程中定义一系列的覆盖该流程所有相关产品信息的数字模型.如表1所示是欧洲空中客车公司在"Enhance"计划中定义的几类数字化产品模型[1].可以看出,完整的数字模型定义是和一个或几个流程相关的,这就需要在流程的重要节点设立里程碑来对产品的数字模型成熟度进行控制.

第2层是从微观的角度来看待研制流程中里程碑与具体产品(如零部件)数字模型成熟度的关系,如图2所示.图中产品数字化模型成熟度分为10级.流程从可行性研究阶段M0开始,数字模型的成熟度为ML0;当数字模型分别处于流程的不同阶段时,只要符合相应里程碑的要求,数字模型的成熟度就可从ML0提升到ML9;当流程到M7时,产品数字模型成熟度就达到100%,即处于发放后,供制造使用的只读状态.

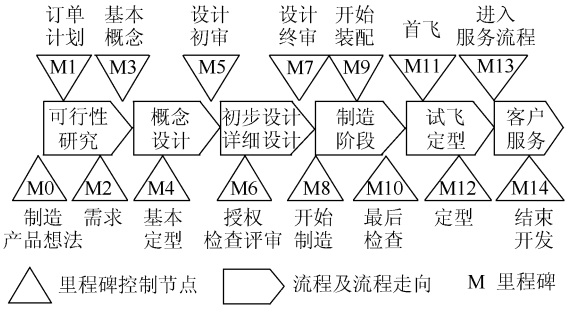


图1 一体化流程与里程碑的关系

表1 空中客车公司数字化产品模型的划分

所属类	数字化产品模型(DPM)	说明
产品结构类	构型概念 设计原理 系统结构	这类DPM和研发流程中可行性和概念设计阶段相关
几何图形类	主几何图形 空间分配 定义主模型	这类DPM和几何定义有关,涉及用数学方式完整表述全过程.
制造类	生产计划 制造定义	这类DPM包含和制造有关所有信息

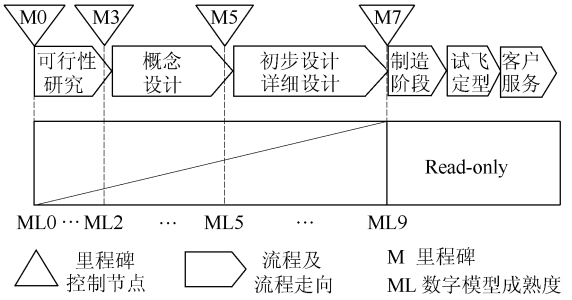


图2 里程碑与数字模型成熟度的关系

里程碑将流程与产品数字模型成熟度紧密结合在一起.在设计阶段中,里程碑主要对数字模型的评审要求和并行设计进行控制,其本质就是以数字模型成熟度为依据,将工装、工艺设计等传统在设计下游完成的工作提前到设计流程来进行协同开发,以提高设计的质量.所以数字模型成熟度是并行工程[2]真正得以实现的重要保证.

对成熟度的管理和对研制流程中里程碑的划分和制定还必须与企业实际情况相结合,否则就不能真正服务于生产实际.总之,成熟度具有如下特点:①面向的是一体化流程;②存在于每一个子流程中;③全程控制各个流程的数据,保证数字模型的有效性、延拓性和完整性;④是实现并行设计的必要保证;⑤可视化的控制过程.

1.2 管理和控制

里程碑和成熟度的管理是依附于一体化研制流程,用来保证产品数字模型的有效性、延拓性、完整性和研制流程畅通的技术.在使用成熟度之前必须依据企业的设计和生产的实际能力对产品数字模型成熟度进行合理地分级.如表2所示,为依据波音公司思想并结合某企业的实例而制定的设计阶段产品数字模型成熟度的分级标准,再辅助以设计流程中设定的里程碑,就成为成熟度管

理和里程碑在设计流程中的运用. 如图 3 所示,流程中的里程碑分为主里程碑 M5,M6,M7 和辅里程碑(图 3 中的审查、仿真和预装配流程),当不符合里程碑的要求,就不能提升产品数字模型的成熟度或进入下一个阶段. 例如,在初步设计阶段结束、经过里程碑 M6 的审核后,如果同时也符合辅里程碑的要求,则数字模型的成熟度上升到 40%,否则数字模型的成熟度不能得到提升,流程也不能进入详细设计阶段.

表 2　成熟度分级表

成熟度	流程状态	说　明
第 1 级	未进入流程	产品初期设计阶段
第 2 级	设计状态	开始进行设计,并进入流程
第 3 级	校对状态	正在进行校对工作
第 4 级	审核状态	正在进行审核工作
第 5 级	审定状态	正在进行审定状态
第 6 级	会签状态	正在进行强度或工艺会签状态
第 7 级	标审状态	正处于标审状态
第 8 级	批准状态	主管总师已经批准
第 9 级	发放状态	数据处于发放状态
第 10 级	设计结束	将进入生产状态

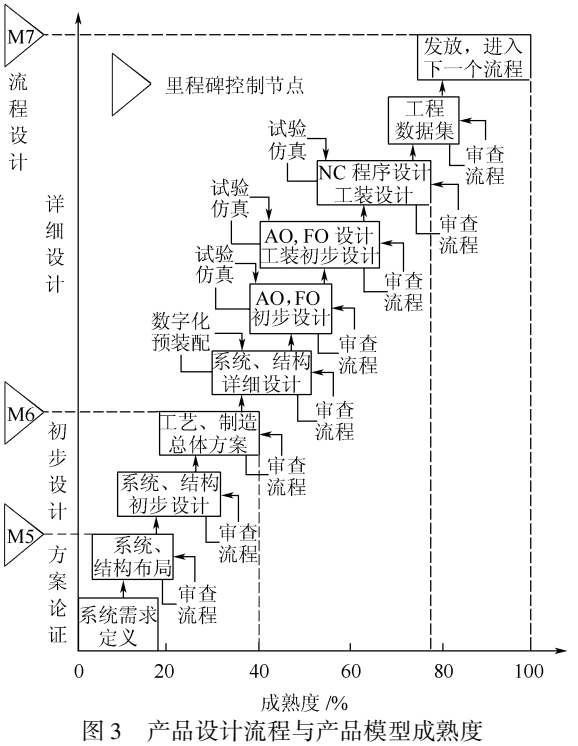


图 3　产品设计流程与产品模型成熟度

2　基于模块化的多级成熟度

成熟度作为定义产品数字模型完整性和详细程度的标准,需要充分考虑到产品结构并结合企业实际的设计、生产和工艺水平,从而设计出符合生产实际的数字模型.

2.1　模块化定义

结构设计是飞机设计的重要部分,飞机结构分解即产品设计分离面、工艺分离面的设置好坏将直接影响到飞机制造和装配的难易程度,为了便于飞机的构型管理(或技术状态管理)[3] 和企业组织生产,在产品结构的组织形式上引入了模块的概念. 所谓模块就是将零部件的设计、工艺计划、工艺装备和支持文档等及其相关的满足工艺、工装制造的所有要素的逻辑集合[4]. 模块的产品结构形式如图 4 所示. 采用模块化来组织产品结构时,应注意以下几点:①模块具有唯一性;②模块不能嵌套使用;③模块是一组零部件相关的设计、工艺、制造和检测等数据的逻辑组合. 模块是实现可重用设计的基础. 飞机产品的上层部分一经确定就很少有改动,但是下层部分的结构分解和关键特性[2] 会随工艺水平和制造能力的提高而不断变化,是影响产品可制造性的主要因素.

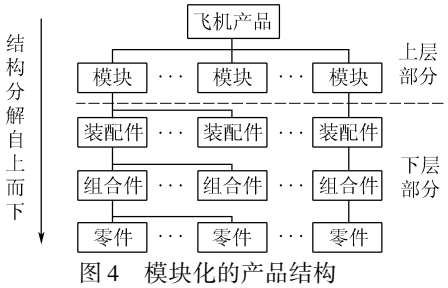


图 4　模块化的产品结构

2.2　多级成熟度的概念

根据模块化的要求将产品划分为多级结构模式,从而引出多级数字模型成熟度的概念. 而在模块化结构设计中与企业生产实际密切相关的是零部件,通过确定合理的零部件关键特性和加工顺序来制定成熟度和研制流程中里程碑标准,并对各层结构的成熟度关系进行系统管理和控制. 如图 5 所示,它反映了在不同流程中不同结构层次之间的成熟度相互关系,并由流程中的里程碑来检查其是否符合数字模型的成熟度提升标准.

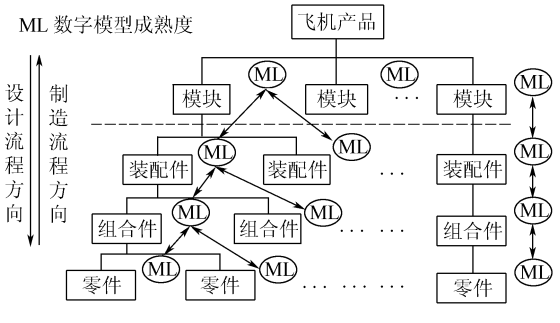


图 5　成熟度、流程和模块化结构

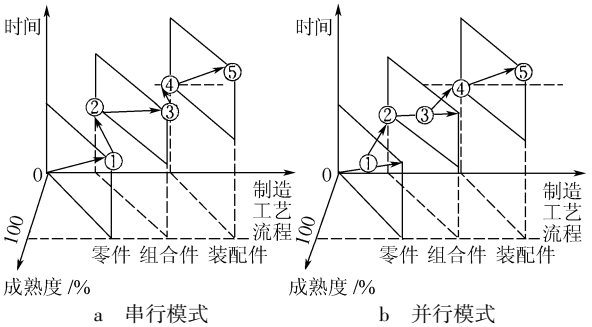
2.3　多级成熟度的管理和控制

在模块化分解结构中,每一层结构都有其相应的成熟度管理和里程碑标准,本文以制造工艺

流程设计[2]中的零部件为对象进行说明,零部件的多级成熟度管理和控制是在综合考虑各结构单元的制造分工、互换协调、工装选择等原则的基础上,通过设定合理的成熟度管理和里程碑控制标准找出一个科学有效控制制造流程的方法.

在制造工艺流程设计中多级成熟度分为串行、并行和混合型 3 种模式.

串行的多级成熟度要求必须在下一层的成熟度提升到 100% 后,上一层结构的成熟度才能开始提升,流程才能继续执行. 它适用于结构简单的情况,如图 6a 所示. 并行的多级成熟度要求上一层的成熟度不必等到下一层的成熟度达到 100% 就可以开始提升,它适用于结构比较复杂的情况,如图 6b 所示.



a 串行模式 b 并行模式

图 6 多级成熟度的串行、并行模式

混合型多级成熟度适用于零部件数量大、层次间结构关系十分复杂的情况,它一般同时具有串行、并行 2 种模式的特征、如图 7 所示,装配件 A 是由组合件 C1,C2 和零件 D1,D2,D3,D4 组成的,在D3上还定义了关键特性. 如图8a所示,C1

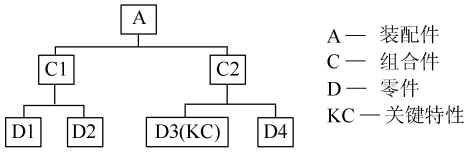
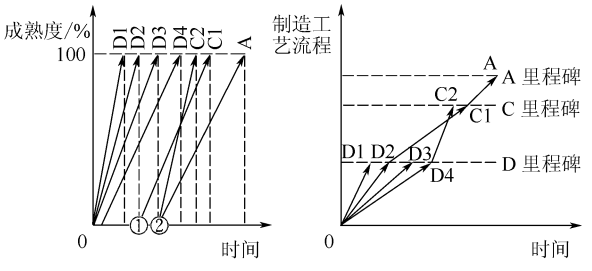


图 7 装配件 A 的结构图

的成熟度的提升是串行的,它在 D1 和 D2 的成熟度都达到 100%,并符合流程中里程碑控制标准后再从①开始提升成熟度. C2 的成熟度提升则是并行的,它是在 D3(含关键特性)成熟度达到



a 成熟度与时间的关系 b 里程碑和流程的关系

图 8 多极成熟度的混合模式

100%后的②处就开始提升,所以它的成熟度和 D4 在一段时间内并行提升. 关键特性的延续性,也造成 A 的成熟度与 C1,C2 同时并行. 但是由于流程中里程碑的限制,所以在制造工艺流程设计上保证必须是先零件级,再组合件级,最后才是装配件级. 如图 8b 所示,C2 的装配就是 D1 和 D2 在都达到 D 里程碑的要求后开始的.

综上所述,成熟度的管理和控制不仅涉及到飞机结构划分、流程的并发控制等技术问题,而且还与企业组织结构以及设计、制造能力密切相关. 所以要制定出适合企业实际的成熟度管理和控制规范,必须要建立符合一体化研制流程要求的现代企业组织和制度.

3 结 束 语

设计手段、生产条件和客户需求的不断变化,使得飞机设计和生产活动处于动态过程之中,这也对成熟度管理和里程碑制定的实时性、准确性提出了更高的要求. 现在 PLM 及其软件技术的发展,为实现成熟度管理和里程碑的控制提供了一种很好的解决途径,但在实际应用中仍然存在许多问题. 因此,还需要对成熟度管理和里程碑控制技术进行深入研究,最终建立起我国的飞机数字化设计制造一体化研制流程体系.

参考文献 (References)

[1] Airbus Compary. Product engineering [EB/OL]. 2002. http://www. enhanceproject. com

[2] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001
Fan Yuqing. Manufacturing technology of modern aircraft[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press,2001(in Chinese)

[3] 杨玺, 范玉青. 飞机构型技术初探[J]. 北京航空航天大学学报,2000,26(3):357-360
Yang Xi,Fan Yuqing. Pilot study of aircraft configurations control [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2000,26(3):357-360(in Chinese)

[4] 于勇. 基于模块的飞机构型管理技术研究与应用[D]. 北京:北京航空航天大学机械工程及自动化学院,2005
Yu Yong. Research and application of module based airplane configuration management technology [D]. Beijing: School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics,2005(in Chinese)

(责任编辑:文丽芳)