

飞机并行协同研制模式 与支撑技术探索

Study on Aircraft Concurrent and Collaborative Design and Support Technology

中航工业第一飞机设计研究院 刘雅星



刘雅星

中航工业第一飞机设计研究院信息系统研究所高级工程师,长期从事PDM工程应用、软件总体设计、软件架构设计开发及软件工程方面的研究工作。

飞机并行协同研制是对飞机产品及其相关过程(包括制造过程和保障支持)进行并行、集成化处理的系统方法和综合技术。它要求飞机设计人员从方案阶段就考虑到飞机全生命周期内各阶段的因素(如功能、制造、装配、作业调度、质量、成本、维护与用户需求等),并强调各专业间

并行协同研制模式是提升飞机研制的必然方向之一。企业应该尽早在认知、组织、技术等方面加以重视和推进。由于并行协同研制模式的实现,最终需要有人具体去判断、规划和实现,所以,主导飞机设计的总设计师系统,除了要思路清晰、理解深刻和有变革的激情,还要有比较宽的知识面和娴熟的管理能力。

的协同工作,使后续可能出现的问题在设计早期阶段就被发现,并得到解决,从而使飞机在设计阶段具有良好的可制造性、可装配性、可维护性等,最大限度地减少设计反复,缩短生产准备和制造时间。

飞机串行研制存在的问题

长期以来,飞机研制生命周期大致遵循一种分阶段的串行模式:产品设计、工艺审查、数据发放、零部件工艺设计、工装设计、零部件制造和装配、试飞和销售支持等。在这种模式下,产品生命周期各个阶段是按时间顺序串行排列的,上一阶段完成后经过严格和正式地确认,交付下一阶段。这种条块分割清楚的串行研制

模式,在飞机研制上引起了很多问题。

(1)设计工程师和制造工程缺乏沟通,设计方案不符合制造工艺或现场环境。制造部门因为赶进度有可能主观地修改设计,降低了产品质量。制造部门也有可能把问题退回给设计部门,然后来回协调,拖延了进度。

(2)设计选用的标准件和材料,没有和制造部门充分沟通。在设计发布后,发现原来设计时选用的标准件和材料有问题,如果更换又很难满足设计要求。于是制造和设计部门会忙于做出更改设计或者寻找供应商之类的紧急处理。

(3)产品设计阶段通常没有专

职的维修工程师参与,主要靠各专业的的设计人员来完成。但是他们往往对维修性设计技术不够了解、熟悉,甚至不够重视。一旦产品在用户手里出了问题,检测故障和维修操作会很麻烦,这就降低了产品的服务水平。

(4) 因为工作的复杂性,每个阶段都有自己“做不完”的事情。各个专业或部门都会尽可能地在时间上为自己争取一些“缓冲”,而且一般都不会主动提前完成,只是确保节点时完成任务,这样飞机的研制周期往往时间漫长,耗费巨大。

(5) 在进行成本控制和改善时,经常发现很多成本因素是设计阶段已经决定了,后面的阶段即使付出很大努力,成本也降低不了多少。

(6) 想在后期阶段纠正或改善前期的设计,越往下游改起来越复杂,代价越大。有种说法很形象:“方案设计阶段如果有一个错误,到详细设计阶段发现要花 5 倍时间才能纠正,到实施阶段要 50 倍时间才能纠正,到运行阶段要花 200 倍时间才能纠正”。

可以看出,能否更好地解决传统飞机产品研制模式中各阶段难以兼顾的问题,直接影响着飞机研制周期、研制质量、研制成本、客户的满意程度以及供应链的构成。1986 年美国国防部防御分析研究所(IDA)发表了著名的 R-338 报告,提出了“并行工程”(Concurrent Engineering)的概念。这种方法要求飞机设计人员在从一开始就考虑整个生命周期中从方案形成到飞机保障的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求,目标是提高质量、降低成本、缩短研制周期。并行工程的具体做法是:在产品开发初期,组织多种集成产品团队(Integrate Product Team, IPT),使有关人员从一开始就获得对新产品需求的要求和信息,积极研究涉及本专业的工作业务,并将研制要求提

供给设计人员,使许多问题在研发早期就得到解决,从而保证了设计的质量,避免了大量的返工浪费。使得产品在设计阶段便具有良好的可制造性、可装配性、可维护性,同时大幅缩短研制时间。

并行协同研制模式的特点

并行协同研制技术一般包括:并行工程管理与过程控制技术、并行设计技术和快速制造技术。主要特点表现在以下几个方面。

(1) 并行交叉。

它强调产品设计与工艺设计、生产准备、采购、生产等种种活动并行交叉进行。并行交叉有 2 种形式:一是按部件并行交叉,即将一个产品分成若干个部件,使各部件能并行交叉进行设计;二是对每个部件,可以使其设计、工艺设计、生产准备、采购、生产等各种活动尽最大可能并行交叉进行。需要注意的是,各种活动并行交叉,并不是违反产品开发过程必要的逻辑顺序和规律,不能取消或越过任何一个必经的阶段,而是在充分细分各种活动的基础上,找出各子活动之间的逻辑关系,将可以并行交叉的尽量并行交叉进行。

(2) 尽早开始工作。

正因为强调各活动之间的并行交叉,所以要在信息不完备情况下就开始工作。根据传统观点,只有等到所有产品设计图纸全部审签完成后,才能进行工艺设计工作、生产技术准备、采购和生产。正因为强调将各有关活动细化后进行并行交叉,因此很多工作要在信息不完备的情况下尽早开始工作。

(3) 面向过程和面向对象。

一个新产品从方案设计到生产交付是一个完整的过程。传统的串行工程方法是基于 200 多年前英国政治经济学家亚当·斯密的劳动分工理论。该理论认为分工越细,工作效率越高。因此串行方法是把整个产

品开发全过程细分为很多步骤,每个部门和个人都只做其中的一部分工作,而且是相对独立进行的,工作做完以后把结果交给下一部门。西方把这种方式称为“抛过墙法”(throw over the wall)。他们的工作是以职能和分工任务为中心的,不一定存在完整的、统一的产品概念。而并行协同研制强调要面向整个过程或产品对象,它特别强调在设计时要考虑这种设计的工艺性、可制造性、可生产性、可维修性等,工艺部门也要同样考虑其他过程,设计某个部件时要考虑与其他部件之间的配合。所以整个开发工作都是要着眼于整个过程和产品目标。

(4) 系统集成与整体优化。

在传统串行模式下,对各部门工作的评价往往是看交给它的工作任务完成是否出色。就设计而言,主要是看设计工作是否新颖,是否有创造性,产品是否有优良的性能。而并行协同模式则强调系统集成与整体优化,它并不完全追求单个部门、局部过程和单个部件的最优,而是追求全局优化,追求产品整体的竞争能力。因此对整个工作的评价是根据整体优化结果来评价的。

飞机并行协同研制模式

1 国外的应用发展

并行协同研制从理论向实用化方向发展并取得了明显的成效,越来越多的航空、航天、汽车、电子、机械等领域的国际知名企业,通过实施并行工程取得了显著效益,如美国洛克希德(Lockheed)导弹与空间公司(LMSC)于 1992 年 10 月接受了美国国防部用于“战区高空领域防御”的新型号导弹开发任务,该公司的导弹研发一般需要 5 年时间,而采用并行工程方法后,最终将产品开发周期缩短 60%。其具体的实施如下:

(1) 改进产品开发流程。

在项目工作的前期,LMSC 花费

了大量的精力对产品开发中的各个过程进行分析,并优化这些过程和开发过程支持系统,采用集成化的并行设计方法。

(2) 实现信息集成与共享。

在设计和试验阶段,一些设计、工程变更、试验等所有相关数据都要进入数据库。各应用系统之间必须达到有效的信息集成与共享。

(3) 利用产品数据管理系统辅助并行设计。

LMSC 采用了一个成熟的工程数据管理系统辅助并行化产品开发。通过支持设计和工程信息及其使用的 7 个基本过程(数据获取、存储、查询、分配、检查和标记、 workflow 管理及产品配置管理)来有效地管理它的工程数据。

2 国内飞机研制应用

我国在飞机研制中逐步实施并行协同研制,如 Y7-200A 内装饰设计制造并行工程和波音 737-700 垂直尾翼转包生产项目。在已有软件系统的基础上,开发支持飞机内装饰并行工程的系统工具,包括适用于飞机内装饰的 CAID 系统、DEA 系统和模具的 CAD/CAE/CAM 系统。

在某重点型号产品并行数字化定义上, IPT 组织由全机 IPT、6 个部件 IPT 和 1 个数字化技术支持 IPT 构成,全机按工艺分离面划分为 6 个大部件:前机身、中央翼、后机身、翼面、起落装置和前翼。各部件 IPT 负责具体完成各部件产品数字化定义和数字样机组建工作。通过 IPT 团队的组织,冲破了部门壁垒,加强了沟通,使工艺、工装设计与产品设计并行开展,共同为整个产品定义及功能性能负责。避免更改或返工,大量系统间协调问题、制造工艺问题、装配问题、甚至使用维护问题都在产品设计阶段提前发现、提前解决。为提高设计质量、缩短研制周期提供组织保证。

ARJ21 飞机从全面启动到首飞

上天也仅用了 6 年时间,并行协同研制模式的应用,实现了型号的异地多厂所研制,彻底改变了过去一厂一所的研制模式,实现了集全国乃至全球优势进行飞机研制的模式。虚拟现实、关联设计及三维 CAD 造型、快速原型制造等先进技术的采用,缩短了与国外先进水平的差距^[1]。

总之,我国飞机研制初步实现了面向制造、专业完整的产品数字化定义,机加、钣金、管路、电缆敷设等全部采用面向制造、面向装配数字化设计方法和建模规范。工艺、工装在并行设计中,进行工艺性分析,提出工艺要求和建议,并贯彻于产品设计。数字化定义可直接为生产所用。实现以数字量协调为基础的数字化制造技术,零件和工装数控化率得以大幅度提高,大幅度减少工装数量。以单源数据管理为核心的数字化管理技术,实现了产品并行定义阶段的单一产品数据源,建立基于构型管理数字样机,实现基于零件驱动的多批架次、多构型的飞机技术状态管理。支持并行设计过程控制,实现了装配协调、运动机构仿真等检查分析和重量的有效控制。工艺、工装和生产准备节点大幅度提前,初步形成基于数字化技术的研制体系。组织了综合的 IPT 工作团队,建立了并行协同的研制工作流程,采用了数字化的研制技术和手段,建立了基于数字化的研制规范。

并行协同研制支撑技术

有关并行协同研制的各种技术很多,还需要不断研究和完善。相对成熟的支撑技术包括以下几个方面。

1 集成的数据平台

产品生命周期各个阶段有不同的软件应用系统,如 CAD(计算机辅助设计)、CAPP(计算机辅助工艺过程设计)、CAM(计算机辅助制造)、ERP(企业资源计划)、SCM(供应链管理)、MES(制造执行系统)、CRM

(客户关系管理)等。在施行并行工程模式时,要对它们进行一定程度的集成,才能保证设计和其他阶段的信息沟通。PDM(产品数据管理)或者 PLM(产品生命周期管理)系统可以担负这个公共平台的角色。PDM/PLM 首先可以实现的是各种流程的电子化和对大量数据的存储、分发、控制等管理。通过把 PDM/PLM 和其他应用系统集成,实现各阶段设计数据的集成。常见的 2 个集成效果是:各种辅助设计系统(CAX)的设计结果集中在 PDM/PLM 中,PDM/PLM 向 ERP 和 MES 提供统一的工程 BOM、工艺 BOM、制造 BOM 等设计信息;在设计阶段同时开发供应商,由 PDM/PLM 向 SCM 和 ERP 系统提供合格供应商信息。

2 PDM 技术的新方向

传统的 PDM 以管理产品数据为核心,随着企业信息化的不断深入和企业业务流程再造的逐步深化,PDM 系统必须将重点转移到管理产品开发过程上来。随着开发过程从传统的串行方式到并行方式的逐步过渡,PDM 必须提供并行工程所需的高效率的数据管理、流程管理、知识共享、同步设计等功能,以满足并行研制的要求。同时能支持协同研制,参研单位之间能随时查阅产品零件和装配模型,进行干涉检查,模拟运动仿真,实现远程评审,交流设计思想等。这将有利于减少工程变更、削减成本及缩短研制周期。同样,PDM 系统也必须实现从企业内部向整个价值链的扩展,一个建立在分布式架构基础之上的、基于 Internet 环境的、能实现本地和异地设计协同的 PDM 系统才能真正满足要求。

3 数据成熟度定义技术

飞机产品电子数据成熟度定义技术,用于标识飞机产品数字模型在设计过程中的完善状态和详细程度,可作为并行设计过程中数据使用的判定依据。用于成熟度标识的数据

类型包括总体外形布置模型(包括外形、布置信息及交点图、全机开口图等)、结构骨架模型、结构零组件和系统零组件等。飞机模型成熟度可分为不同的状态来标识,同时,信息标准部门要给出数据成熟度的标识方法,定义成熟度数据的使用规范和完善程度。如在某飞机型号研制中用 MA1-MA7 标识数据成熟度,总体外形数模 MA2 成熟度表示确定了飞机外形曲面信息,基本确定带有框站位、框轴线、长桁站位等的布置信息,初步确定交点图、全机开口图。基于成熟度定义的数模,可支持下游专业并行开展相应的工作。如上例所示,当总体外形数模提升至 MA2 成熟度后,可与结构、系统、强度、气动等专业继续协调,完善总体数据;可根据飞行包线和初步载荷要求协调接收承力构件尺寸;可进行重量指标的详细分解;结构专业可开始设计骨架模型;系统专业配合总体对总体布置信息进行协调;工艺可启动工艺总方案,参与大部件对接方案讨论等。

4 协同设计技术

飞机研制已逐步打破了过去一厂一所的模式,设计协同的范围广,组织和管理非常复杂,涉及技术方面的应用模式也不尽相同。概括起来,设计协同主要包括以下几种层次。

(1) CAD 平台下的实时协同设计。

最具应用价值的设计协同方式是支持 CAD 环境下的实时协同。但 CAD 平台未能提供在设计过程中的消息传递和同步更新功能,不同设计者在 CAD 环境下设计时并不能实现真正的同步,数据必须保存入库后重新打开才能实现更新。要避免设计更改的滞后, CAD 系统必须提供在 CAD 环境下动态捕捉设计变更能力,把变更消息通知到相关设计者,并能在 CAD 环境下同步更新零部件的功能,即 CAD 环境下的实时设计协同^[2]。

(2) 关联设计环境下的协同设

计。

关联设计技术在型号中应用,通过定义骨架模型和交点数模,实现总体专业与结构专业、结构专业内部、结构专业与系统专业之间的设计关联和信息共享,加快了协调和更改的速度。设计上游的更改,能及时反映到相关设计专业,保持设计数据的一致性,提高了设计质量。为三维设计方式提供了定义设计输入的方法^[3]。

(3) 成熟度数据的预发放。

成熟度规范和管理是并行协同的技术基础。设计单位内部结构、系统、强度、气动等相关人员,要根据产品设计的成熟度状态,决定可以提前开展哪些工作。对于设计单位内部各设计专业的并行,依据成熟度规范和管理要求,在数字化设计环境支持下,可开展飞机并行设计工作。

在新的跨企业、跨地域的飞机研制模式下,成熟度数据的预发放,可实现产品设计,工艺、工装设计及生产准备并行协同。依据预发放的数据,制造单位可提前完成零件工艺分工和材料定额,提前编制出了各类工艺技术文件,部分长周期零部件提前开工投产。

5 模拟和仿真技术

虽然按照并行协同研制的理念,在设计阶段已经包括了产品生命周期中后期阶段的专业人员。但设计会产生什么效果,如何验证,如果没有一个有效的工具,仍然是很难凭空想象的。一般产品设计过程中都会建造一些实体的样品和模型。但如果需要频繁试验和验证,建造这样的实体模型将会耗资巨大而且周期漫长。在这方面,数字模拟和仿真技术是非常有力的工具。

模拟仿真就是在计算机中建立系统的模型,模拟现实中的实体,然后在模型上进行实验和研究。对于产品开发来说,除了模拟产品本身的结构,还可以用来模拟制造过程、产品在特定环境的表现、物料流动和拆

卸维修等。有了模拟和仿真,就可以在真实活动发生之前,很大程度地预测产品的功能以及可制造性、可维修性等方面的潜在问题。

在计算机内构造虚拟的生产系统模型,进行实际生产过程的模拟,也被称为虚拟制造(Virtual Manufacture)。这也是一项引起高度重视、不断发展的技术。

结束语

并行协同研制模式涉及面非常广,触及企业的深层次管理,长期来看和企业文化建设都存在一定的互动。很多前沿的管理理念,如业务流程再造(BPR)、全面质量管理(TQC)、供应链管理(SCM)、学习型组织、精益生产、敏捷制造等都可以与之互相参照和渗透。近年随着供应链管理的发展,又有了产品协同商务(CPC)等系统或概念,把设计延伸到跨企业的协同设计。

总体来看,并行协同研制模式是提升飞机研制的必然方向之一。企业应该尽早在认知、组织、技术等方面加以重视和推进。由于并行协同研制模式的实现,最终需要有人具体去判断、规划和实现,所以,主导飞机设计的总设计师系统,除了要思路清晰、理解深刻和有变革的激情,还要有比较宽的知识面和娴熟的管理能力。同时在组织制度上要有配套措施,赋予项目团队强烈的权威感和荣誉感,保证飞机产品设计的统一管理和创新。

参考文献

[1] 叶伟,吴介琴. ARJ21 新支线飞机研制数字化应用与研究. 铸剑—2007 国防科技工业虚拟制造技术高层论坛论文集, 2007.

[2] 莫蓉. 航空复杂产品协同设计的几个基本问题. 航空制造技术, 2009(11): 51-55.

[3] 刘俊堂,刘看旺. 关联设计技术在飞机研制中的应用. 航空制造技术, 2008(14): 45-47. (责编 岩石)