

# 并行工程在商用飞机研发项目 中的益处及其实施方法

## The Benefits and Its Implementation of Concurrent Engineering in Commercial Aircraft Development Program

于海燕 / Yu Haiyan

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘要:

使用较少经费和较短时间研发出质量优越的商用飞机是各飞机研发团队共同的目标。阐述了通过使用科学的方法和管理技术,例如并行工程,是商用飞机研发项目达成上述目标的途径之一,介绍了一种具备可操作性的实施并行工程的方法。

**关键词:**并行工程;商用飞机研发;益处;实施

**中图分类号:**F273.2

**文献标识码:**A

[Abstract] It is the ultimate goal for commercial aircraft design team to develop a commercial aircraft with outstanding quality while spending less and completing in a shorter time. This paper describes how to achieve such goals via scientific methods and management techniques like concurrent engineering in commercial aircraft development programs. In the end, a feasible approach to implement concurrent engineering is also briefly introduced.

[Key words] concurrent engineering; commercial aircraft development; benefit; implementation

## 0 引言

商用飞机研发项目规模大、周期长、成本高,并且对产品质量和安全性要求尤其严格,是一项复杂的系统工程。在竞争激烈的商用飞机市场,使用更低的研发成本并比竞争对手更早投入市场会为新机市场占有率的提高提供很多有益的帮助。所以,通过使用科学的方法和管理技术实现使用更少经费和更短时间研发出质量优越的商用飞机就成为各飞机研发团队共同的目标。这样的需求催生出很多种理论和方法,并行工程就是其中一个相对简洁并有效的方法。

### 1 并行工程的定义

按照《NASA 系统工程手册》2007 年版的定义,并行工程是集成产品开发的系统方法,它强调对利

益相关者期望的响应,以及团队合作、信任和共享价值的体现。并行工程的目标是通过活动 and 流程的良好集成缩短产品开发周期。而美国防务分析研究院的定义则为:“并行工程是集成、并行地设计产品及其相关过程的系统化方法,包括制造过程和支持过程。这种方法要求研制人员从设计一开始就考虑产品全寿命周期中从概念设计到报废回收的所有要素,包括质量、费用、进度和用户需求。”

基于以上定义笔者认为,并行工程的基本理念就是把研发项目整个生命周期中涉及到的相关专业、学科和资源在研发之初就纳入全盘考虑,并在条件允许时尽早地、平行地开展工作的。

### 2 商用飞机研发项目特点和流程

商用飞机研发是一项复杂的系统工程,以设计为例,其相关工作就涉及数以十计、甚至数以百计

的专业领域,完成一个简单的系统支架的设计,也需要结构、强度、适航、重量管理、系统设计、线缆布置、制造工程、维修工程等多个专业的参与,其他复杂结构或系统设计的牵涉面就更广了。图1是商用飞机研发的典型流程,其工作除传统意义上的设计制造部分外,还涉及到适航审定、安全性和试飞等多项工作。

为了分析并行工程在商用飞机研发中的作用,本文仅以某商用飞机部件从设计需求提出到交付总装阶段为例进行阐述,其他工作可以依此类推。图2展示了在现有管理体系和流程框架下,设计生产并验收这一机械部件的流程。该流程主要走向

为串行,即前一个步骤是后一个步骤的输入,而后一个步骤需要等待前一个步骤完成才可以进行。图2为典型流程,针对具体的部件还会有所区别,譬如某产品是选择某一项试验为制造符合性检查推荐项,图2中的流程则会做出相应改动。对于该流程中会签的顺序和会签部门,不同单位也会有不同的规定。从图1和图2中可以看出商用飞机设计工作流程涉及到的专业非常多:重量、适航、试验、试飞、采购、维修性、安全性、可靠性、强度、总体布置、工艺制造、装配、客服等,传统的方法是采用串行的方式,即一项工作完成后再开展下一项工作,完成研发的周期则是以上每个步骤所需时间的总和。

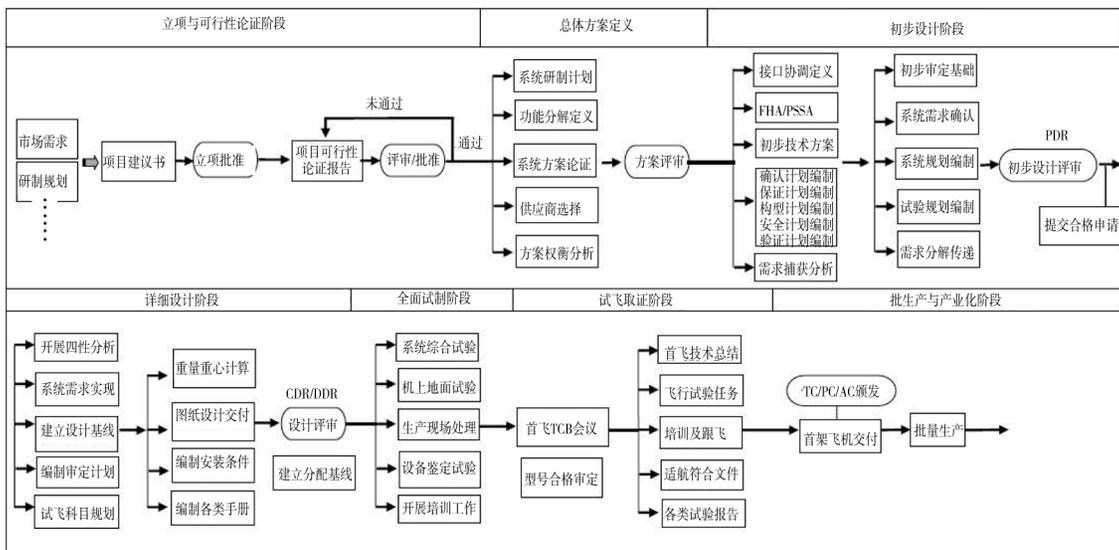


图1 商用飞机研发流程

### 3 商用飞机部件设计现状

一架现代商用飞机由许多不同的系统和部段组成,各系统不仅本身非常复杂,而且它们必须相互共同存在于(与大多数其他产品相比)相对狭窄的空间内。各个系统都需要进行非常完善的安装设计,在安装设计期间,安装设计师必须认真对待各个系统专家提出的要求,这极大地增加了复杂性。在飞机上一些拥挤的区域有很多不同系统的部件共处一个空间,每一个部件都有其特殊要求,安装设计非常困难。所以某个部件的设计通常会影响到很多其他部件的设计,如果没有通过会签就发布数模,也许会存在干涉,而发出去的数模也需要修改,不能使用。对于商用飞机这样复杂的产品,涉及到的零件在百万量级,任何地方干涉导致设计更改都会发生连锁反应,2个零件的设计更改

可能导致几十个相关零部件的设计更改,返工造成的进度拖延和人工成本都是非常巨大的。所以设计好数模后还需要与该部件有接口或潜在干涉的所有相关专业和总体布置等专业会签,如果以上专业不同意该数模,则设计人员还需要花时间修改设计,有时候为了满足多方要求需要协调很久才能找到解决方案。同时该数模还需要强度、重量、标审和工艺人员审核,强度、重量、标审和工艺人员每天的工作量也很大,不可能保证每个数模都能在收到后的下一分钟就可以审核,通常会规定其在一定的工作日内完成审核。仍以图2的设计制造流程为例,假设审核期限是4个工作日,那么一个数模的发布周期在考虑4个相关专业会签的基础上会最多增加16个工作日;如果任何一个环节审核不通过,数模都要返回设计人员处修改,修改后重新走流程。正常情况下,图纸会签环节需要16个工作日,如果

在工艺处被驳回,就又可能增加 16 个工作日。如此,仅仅一个设计数模在一次迭代的情况下就可能需要 32 个工作日,就更不用提试验试飞后发现需要重大构型更改时所需的工作时间了;不难推断,因设计更改造成的后续骨牌效应对于最终研发周期的拖延将更严重。

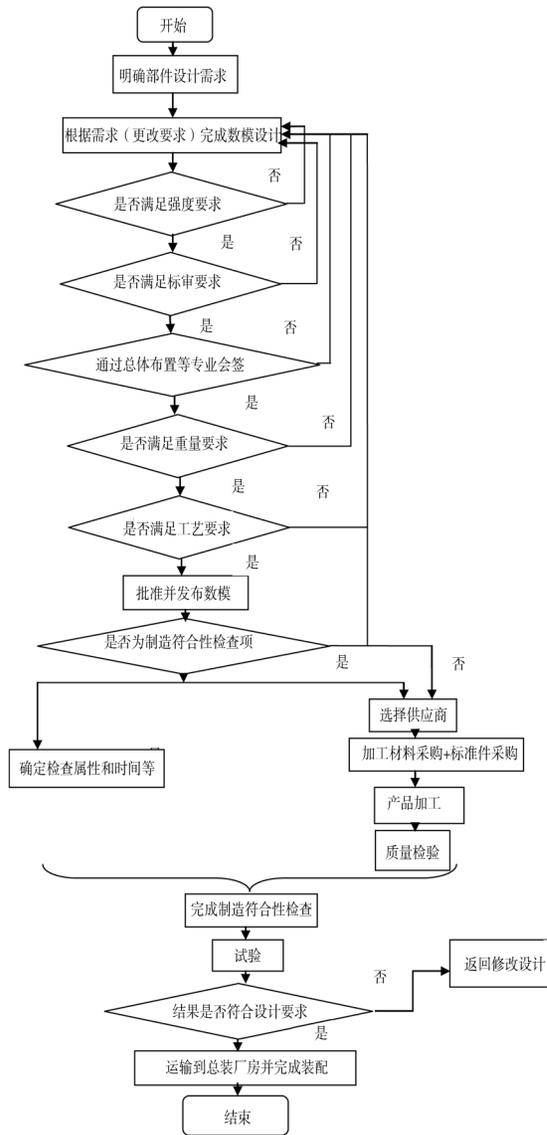


图 2 某部件数模发布和制造流程

#### 4 使用并行工程的益处及波音公司的实例

图 2 所展示的流程如果采用并行工程的方法,在设计团队里包括与该部件存在接口或潜在干涉的所有专业人员,比如动力、燃油、电气、环控专业人员以及强度、重量、标审、工艺、适航、试验等,在设计时就充分考虑相关各方面的因素,与相关专业

人员充分协调;这样,数模的设计便得以保证与现有接口的配合成熟度并且将潜在的干涉降到最低。流程审签时,相关部门基本上可以一次性通过会签,因此就避免了无谓的设计返工。则仅设计并发布数模这一环节就可以节省大量的时间。

在三维设计软件普及前,飞机设计人员只能用二维绘图软件设计零部件并模拟装配,精度无法达到要求,只有在产品制造出来后才能准确验证是否存在装配干涉。随着现代计算机辅助设计技术和软件能力水平的高速发展,目前在设计时就可以通过三维造型来准确地检查是否有干涉,从而大大降低了设计返工的机率。

有资料表明:美国波音公司在波音 777 大型民用客机的研制中,运用并行工程的方法,在波音公司内部由 200 个研制小组形成了群组协同工作,产品全部进行数字定义,减少了 50% 以上的工程更改,建立了电子样机,除起落架舱外,成为世界上第一架无原型样机而一次性成功飞上蓝天的喷气式客机,也是航空发展史上首次最高水平的“无图样”研制的飞机。与波音 767 飞机相比,研制周期缩短了 13 个月,实现了 5 年内从设计到试飞的一次性成功。波音 777 也是目前波音喷气客机系列中销量最好,安全可靠性能最高的机型。从这个实例中可以看出,使用并行工程可以大大缩短商用飞机研制项目的研制周期,所以国内外商用飞机研制企业都在积极把该理念落实到型号的研制中。

#### 5 并行工程在中国商用飞机行业的现状和实施建议

并行工程理念虽然对缩短项目进度、降低项目成本、提高项目质量有很大帮助,但是并不是任何企业直接运用就一定收到预想的效果。由于中国的航空企业,尤其是商用航空企业起步晚,起点低,很多都是采用军工系统传统的职能型组织结构进行管理。从现代项目管理的角度出发,职能型组织结构管理模式主要是通过职能部门经理协调,协调效率比较低,其本身与并行工程的理念存在固有的矛盾,对实施并行工程有一定的阻碍。

以某型号商用飞机研发项目中的吊挂设计为例,要完成吊挂设计,涉及到的专业包括总体气动、总体布置、结构、动力燃油、电气、环控、计划、采购、质量、财务、适航、制造、客服、试飞等;分属设计研

发中心、总装制造中心、客户服务中心和试飞中心等企业下属单位。其中各个中心都有计划、采购、质量、财务、适航人员,但是在以设计为主导的情况下通常会选设计研发中心的计划、采购、质量、财务、适航人员,并根据情况增加其他中心的相应人员。由于各单位的体制不尽相同,管理架构和流程也不统一,比如设计研发中心是事业编制,总装制

造中心、客户服务中心是企业编制,各大中心又往往是独立的单位法人,所以虽然同属于一家商用飞机公司,完成吊挂设计却涉及事实上的跨单位协调,(见图3),不但周期长而且流程极易受到现有职能型管理架构的掣肘,极大地影响了研制进度。图3只列出部分公司和部分部门,橘色图框表示协调关系。

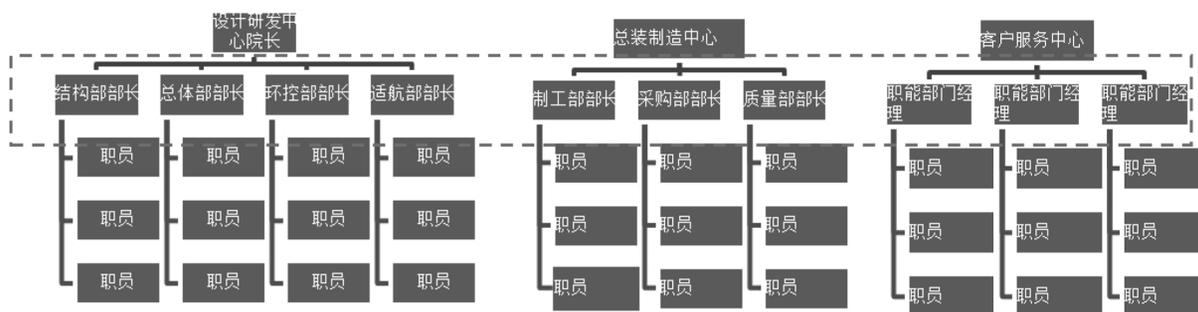


图3 职能型组织架构协调关系

由于吊挂是结构件,所以通常设计职责是由设计研发中心结构部门承担,但是要完成吊挂的设计,需要其他十多个部门的人互相配合完成对应的工作。燃油、液压、环控、电缆、防火等管路都从吊挂上整流罩通过,这些系统的部件要在空间非常狭窄的吊挂里完成布置(各部件之间还有间隙的要求),所以协调难度很高。在职能型组织结构中,吊挂设计团队中每个成员行政层级几乎平等,牵头的结构设计人员没有作为实质上吊挂设计项目负责人应有的职责和权利,来自于不同部门或者单位的人员的绩效考核也没有落实到团队,成员的积极性无法有效调动;遇到资源困难时,还是需要通过对口职能部门领导协调,沟通效率非常低。

为了让并行工程理念更好地服务于项目,可以在项目中任命一位项目经理并组建项目团队,明确各成员的职责和权利,建立明确的考核机制,使团队成员在该项目中的工作表现体现在绩效中,也就是对现有的组织结构做出相应调整,才能使由跨单位、跨部门人员组成的团队在共同执行工作任务时高效合作。

同时企业可以参考NASA“并行工程增长能力”(CACE)的模式创建一个更适宜使用并行工程的环境。CACE由四个基本组件组成:人员、流程、工具和平台。典型CACE环境包括与利益相关者团队共同工作的现场领导小组和多学科核心工程技术团队,该项工作遵循良好定义的流程,使用专用于协

同和并行工程的具备特殊工具的平台。综上,具体的实施建议可以分成以下两个步骤。

### 5.1 组建工作团队

在设计伊始就把产品整个生命周期所涉及的人员集中起来,建立一个与产品生命周期有关的跨部门、多学科的工作团队,团队成员一起并行协同工作,确定产品性能,对产品设计、工艺、制造、装配和试验等上下游各方面进行综合考虑和并行交叉设计,对产品设计方案进行全面评估,集中众人的智慧,得到一个优化的结果。力求使设计出的产品符合所有环节的要求,在很大程度上避免设计缺陷造成的产品返工和由于设计反复修改引起的人、财、物的浪费,实现进度和质量、经费以及用户需求的统一。

### 5.2 搭建技术平台

实施并行工程,必须有相应的技术支持,搭建技术平台可完成基于计算机网络的并行工程。搭建技术平台包括三个方面的内容:一是完整的公共数据库,它必须集成并行设计所需要的诸方面的知识、信息和数据,并且以统一的形式加以表达。二是支持各方面人员并行工作,甚至异地工作的计算机网络系统,它可以实时、在线地在各个设计人员之间沟通信息,发现并调节冲突。三是切合实际的计算机仿真模型和软件,可以由一个设计方案预测、推断产品的制造及使用过程,发现隐藏的阻碍并行工程实施的问题。

## 6 结论

并行工程在商用飞机研发项目中实施需要做的工作还有很多,本文只是从一个侧面把并行工程的理念和实施方法做了顶层建议。使用并行工程的企业由于组织架构、工作习惯和产品特点等的不同在具体实施时都会遇到不同的问题,而很多企业仅仅在原有组织架构基础上再增加新的体系以期实现并行工程的应用。虽然短期上看,可以从形式上体现新的理念,但要注意避免项目团队同时遵守两种体系的规定时无形中增加的工作量,以及相应造成的效率低下的情形。并行工程方法的使用可以缩短商用飞机研制项目的研制周期并降低研制经费。虽然无论在哪种组织结构中都可以使用并行工程,但要使并行工程理念更好地服务于商用

(上接第 53 页)



图 6 全机反推力风洞试验



图 7 安装总温传感器的带动力发房

全机风洞试验中的另一个关注点是反推气流对全机气动特性的影响。由于从格栅出来的反推气流挡住了来流,在其后形成一个动压很低的低能区域,处于该区域内的机体部件的阻力和控制面,如扰流板和方向舵的效率将有明显降低。这些不利影响可能部分抵消反推系统的制动效果,有时甚至导致格栅设计方案的更改。因此全机反推力风洞试验为从发动机/飞机气动干扰的角度评估反推力格栅设计创造了条件。风洞试验中为获得反推气流对机体特性的影

飞机设计项目,在企业原有的组织模式和成功经验的基础上量身定做,兼容并蓄的改革方案才能走得更稳,走得更远、更有成效。

### 参考文献:

- [1] (美)项目管理协会著,王勇,张斌译. 项目管理知识体系指南[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [2] 耿汝光. 大型复杂航空产品项目管理[M]. 北京:航空工业出版社,2012.
- [3] 朱一凡,李群等译. NASA 系统工程手册[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [4] (德)汉斯-亨利奇·阿尔特菲尔德著. 商用飞机项目——复杂高端产品的研发管理[M]. 北京:航空工业出版社,2013.

响量,需在实测数据中扣除反推力,因此在正式开始前,会选择一个较小的风洞中对正反推构型的带动力发房的推力进行校准。

## 4 结论

反推力格栅出流模式设计实质上是定义各块格栅上气流的轴向折流角 $\beta$ 和周向折流角 $\alpha$ ,折流角的选择需要同时考虑反推效率、重吸入特性以及有效面积方面的要求,还要兼顾反推气流对飞机气动特性的影响。这些设计要求对格栅出流模式的要求通常互相矛盾,需要综合考虑。为降低研发风险,完成格栅出流模式设计后,需要进行验证性试验,包括单独反推系统的静态试验和全机反推力风洞试验。单独反推系统试验主要从动力装置运行特性的角度考察格栅设计方案是否满足设计要求,例如反推效率和有效面积方面的要求,而全机风洞试验则为研究安装后的发动机重吸入特性和发动机/飞机的气动干扰提供了条件。

### 参考文献:

- [1] Burgsmuller W, Castan C, Hoheisel H, Kooi J W. Preparation and use of TPS-Technique for low speed investigations on transport aircraft[R]. International Forum on Turbine Powered Simulation, 1995.
- [2] OBERT E. Aerodynamic design of transport aircraft[M]. Publish by IOS Press under the imprint Delft University Press.