

浅析基于门禁管理实施并行工程 民机研制过程模式和模型

袁 冲*

(中国商用飞机有限责任公司, 上海 200126)

摘 要: 当前国内商用飞机研制和制造技术快速发展,在探索实施分阶段管控的背景下,国内商用飞机研制程序有待进一步细化和统一认识。制造技术、信息技术和管理的全面发展改变了原有的商用飞机研制模式,归纳梳理了商用飞机研制原则,分析了国际主流商用飞机制造商的研制阶段划分原则和先进方法在商用飞机研制中的应用情况,首次对商用飞机研制分阶段管控进行了定义,并结合现有型号研制经验和实际需求,初步提出了基于门禁管控实施并行工程的商用飞机研制过程模式和模型,对需求确认、方案设计、生产制造、集成验证、运行支持等研制活动的实施时机进行了初步研究,分析了门禁评审和研制过程的逻辑关系,希望对商用飞机研制程序细化和实际工作安排提供参考。

关键词: 商用飞机;分阶段管控;研制程序;研制过程模式和模型

中图分类号: F273.2

文献标识码: A

OSID:



0 引言

商用飞机是典型的高端复杂产品系统,研制规模大、周期长、投资强度大、见效慢,且随着市场对运营安全性、经济性、环保性等要求的提高,其承受的技术风险、商业风险不断增加,对商用飞机研制管理工作提出了更高要求。一直以来,国际主流商用飞机主制造商通过不断使用系统工程、并行工程等科学方法和先进管理技术,不断缩短研制周期、降低研制成本,提升产品竞争力。

我国商用飞机研制仍处于起步阶段,主制造商以及各系统产品供应商更多关注研制技术的提升和研制过程的全面性,对研制周期、研制成本、技术成熟度的管控标准和方法尚未达到国际一流水平。为更好地管控技术成熟度、研制周期和研制成本,提升产品质量和竞争力,国内商用飞机项目正在探索实施分阶段管控模式。中国商飞公司在 C919、CRJ929 等项目的研制阶段划分和各阶段工作要求等方面进

行了初步定义和实践。2017 年,《民机研制程序》(HB8525-2017)(以下简称 HB8525)就民机研制过程的阶段划分进行顶层规定,明确了各阶段的基本工作要求。但是在分阶段管控要求下,商用飞机研制过程中各专业、各条线工作如何具体实施尚没有细化标准和统一认识,比如需求捕获、方案设计、生产制造、关键技术攻关等工作何时启动和结束。

本文梳理归纳了商用飞机研制的基本原则,结合现有型号研制经验以及系统工程、并行工程的实际应用情况,就分阶段管控模式下如何实施商用飞机研制过程进行了分析和探讨,初步提出了分阶段管控要求下的商用飞机研制过程模式和过程模型。

1 商用飞机研制基本原则

结合国内外商用飞机研制和运营经验,商用飞机研制应遵循以下基本原则。

* 通信作者: E-mail: yuanchong@comac.cc

引用格式: 袁冲. 浅析基于门禁管理实施并行工程民机研制过程模式和模型[J]. 民用飞机设计与研究, 2022(2):144-150.
YUAN C. Analysis of development process mode and model of civil aircraft based on access control management[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2022(2):144-150(in Chinese).

1) 市场导向原则:以市场和客户需求为导向,加强客户调研和客户参与度,持续提升产品竞争能力,提高市场和客户满意度,获得市场竞争性优势。2) 安全性原则:按照国际运输类飞机适航标准研制,以保证符合适航要求,切实向适航当局和公众表明和验证适航条款符合性,保证飞机产品及其运行的适航性和安全性。3) 系统工程原则:按照民用飞机系统工程方法开展全生命周期的研制活动,通过产品集成、过程集成和并行工程,实现全局最优,以提供满足客户需求的高质量、有竞争力的产品。4) 继承性原则:全方位总结和继承已有型号研制经验,全面提升型号研制能力,缩短研制周期,提高产品质量,实现项目成功。尽量采用经过验证的成熟技术,传承已有型号设计优点,凝练设计理念,形成系列化产品特色。5) 门禁控制原则:采用门禁控制,制定准入准出准则,严格控制技术状态。在每个研制阶段,依据门禁准入准则判断当前阶段工作是否完成并达到相应的技术成熟度;研制工作成果应符合门禁准出准则,并通过评审后方可转入下一阶段。

2 分阶段管控定义

在商用飞机研制的阶段性关键节点,一般通过决策点来对上一阶段工作进行回顾,以评估是否满足转出并进入下一阶段的要求。主要评估是否完成本阶段的主要目标和重要工作,及其工作成果的正确性、完整性和成熟度,并判断是否满足作为下一阶段工作前置输入的要求。通常某一阶段的关键工作成果将作为决策点的通条件或准入准出准则,并采用评审的方式评估是否满足一定准则的条件,来判断是否可以开展后续工作,此类决策点的评审活动便形成分阶段管控的概念。

国际上各主流商用飞机主制造商就决策点的表述形式各有特点,波音公司采用门禁(Gate),空客公

司采用里程碑(Milestone)或者里程碑门禁(Milestone Gate),庞巴迪公司采用阶段(Development),HB8525 采用门禁(Gate),但其内涵基本一致。为便于表述,本文统一采用门禁(Gate)的表述形式。

门禁 Gate(G) 是项目研制过程的各阶段转入/转出决策点,用于项目负责人和相关干系人判断当前阶段工作是否完成,以及是否在管理和技术层面做好进入下一阶段工作的准备。

门禁控制(Gate Control)是指项目研制过程的各阶段转入/转出的正式决策活动,项目负责人和相关干系人根据门禁准入准则判断当前阶段工作是否完成,并根据门禁准出准则决策是否满足进入下一阶段研制的要求。

通常,研制阶段可以是一个门禁,也可以包含多个门禁。

3 研制阶段划分

国际主流商用飞机主制造商基于各自的研制基础和产品开发战略,对商用飞机研制阶段的划分存在一定差异,甚至同一公司的不同型号由于研制特点不同而导致研制阶段划分也存在差异。主要表现在项目研制前期的工作范围和侧重点不同,以及研制过程中相关工作安排顺序略有差异。

波音公司商用飞机研制基础和配套资源最为完善和先进,更加注重构型管控和工程实施,研制阶段划分如图 1 所示。空客公司研制程序更为重视前期论证、市场分析和准备工作,这也是空客公司多款产品迅速占领市场的关键因素,研制阶段划分如图 2 所示。庞巴迪公司配套资源相对欠缺,研制早期更加注重与供应商的联合概念定义工作,研制阶段划分如图 3 所示。HB8525 按照系统工程全生命周期、全过程的原则,就民机研制划定了 11 个门禁控制点和 5 个研制阶段,研制阶段划分如图 4 所示。



图 1 波音研制阶段划分案例



图 2 空客研制阶段划分案例

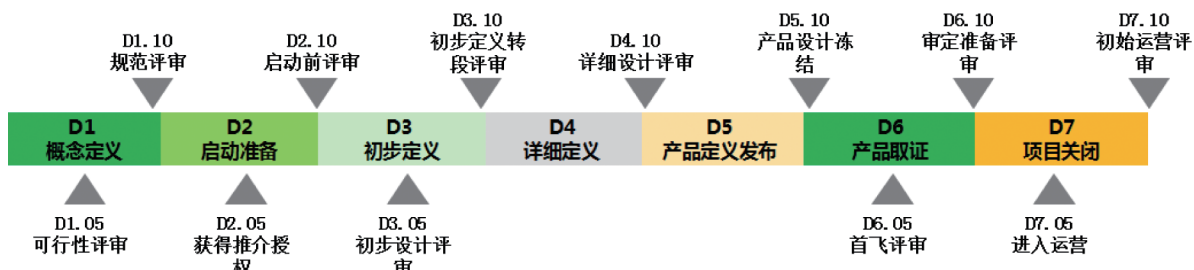


图 3 庞巴迪研制阶段划分案例

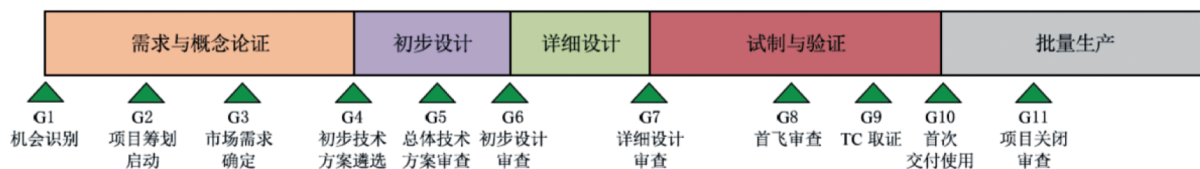


图 4 HB8525 研制阶段划分^[1]

总体来看,各商用飞机主制造商研制阶段的划分均遵循从“需求-方案-设计-试制-验证-取证-交付-批产”的研制规律和基本原则,可简单划分为需求确认、概念定义、初步设计、详细设计、试制、试飞取证和批产运营等阶段。

4 先进方法应用分析

4.1 系统工程方法提升方案成熟度

系统工程是一种公认的解决复杂产品系统的方法和手段,可有效加速商用飞机的技术迭代过程。波音公司在波音 777 项目研制过程中引入了系统工程方法,空客公司自 90 年代起开始在其内部大力推行系统工程^[2]。目前国际上普遍采用 SAE ARP4754A 推荐的结构化的系统工程过程保证方法^[5],其特点是研制早期通过各种方法进行需求确认,确保需求的正确性和完整性,最后通过集成验证保证产品满足客户需求。基于模型的系统工程方案 (Model-Based Systems Engineering, 简称 MBSE) 是对传统系统工程方法的一大突破,能加速复杂系统开发过程,减少研制错误。国外的飞机研制也陆续引入 MBSE

的方法,特点是在研制早期通过基于模型的功能分析进行需求确认,通过基于模型的数字化集成进行产品验证,提前发现问题。

当前,我国商用飞机研制过程中系统工程的应用和国际先进系统工程水平尚存在一定差距,仍处于系统工程方法全面应用的初期阶段。在 CR929 飞机研制过程中,采用基于模型的功能分析与系统集成技术,注重运营场景模型下的需求捕获与验证,用于飞机各个环节的设计需求开发,在研制早期进行必要的系统需求集成测试与数字仿真验证,以确保飞机功能的完整性和匹配性、系统架构的合理性;同时强调实施面向 X 的设计 (Design For X, 简称 DFX),将面向制造的设计和面向装配的设计进一步扩展到产品全生命周期的多个领域专业,并逐渐形成一个技术族,力图在设计过程中充分考虑产品的好制造、好维修、好运营等特性。

4.2 并行工程方法加快了研制进度

并行工程是一种系统工程方法^[6],但其作用的发挥对制造技术、信息技术和管理科学等要求非常高。早在 20 多年前就有人提出了这种方法,但由于

多种条件限制不能发挥其应有的作用。近年来,随着数字化设计、数字化制造等相关信息学科的快速发展,并行工程才得以应用和发挥作用。有资料显示,美国洛克希德导弹与空间公司研制“战区高空领域防御”的新型导弹,通过采用并行工程,产品开发周期缩短了 60%,从原计划 5 年缩短为 2 年完成。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,减少了 50% 以上的工程更改,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^[2]。在商用飞机研制方面,并行工程注重的是把产品从概念、设计、试制、运营到维修等串行过程进行优化,部分研制环节在前置条件允许的情况下缩短为并行工程,以实现设计、制造、验证、维修等专业的直接融合。

自 C919 飞机研制以来,我国商用飞机主制造商更加注重并行工程的应用,组织模式上采用 IPT 工作模式和组织架构,打破传统专业壁垒,使得设计、制造、验证、运营、维修各要素相互融合,以提高研制效率。结合 ARJ21-700 飞机批产、运营、维修过程的宝贵经验,进一步提出了“四同时”的概念,强调 DBMOT(设计、制造、维修、运营、验证)协同工作,同时制定工程技术方案、适航取证方案、工艺实施方案、维修工程及客服支持方案。目前,在 CR929 项目研制过程中,并行工程的应用更加全面、更加系统,提出了 DBMOCT 的概念,增加了对研制成本的管控。

5 分阶段管控要求下研制过程分析

5.1 研制过程模式分析

分阶段管控是进行阶段性成熟度管控、降低项目重大风险的必要手段。门禁评审就是对当前研制阶段关键任务的成熟度进行评估,确保项目研制未有重大问题或风险,以便持续开展项目门禁的通关条件或者转段的准入准出条件,是对当前研制进展的基本要求或者关键要求。通常项目研制的实际进展和工作内容应多于门禁要求,项目研制进度应快于门禁要求。

并行工程是高端复杂产品缩短研制周期、降低研制成本的有效手段,其并行重叠的特点与传统的分阶段研制概念存在不协调性,但近 20 多年来信息技术的发展彻底改变了飞机设计、制造和项目管理

的方式。高端复杂产品研制涉及专业领域较多,而且市场竞争愈加激烈,新技术应用不断升级,较短周期内推出具有先进技术和高竞争力的产品是各商用飞机主制造商一直追求的目标,这些企业均已实施并行工程,因此在实际研制过程中各研制阶段是互有叠加的。

基于门禁管控实施并行工程是国际主流的商用飞机研制过程模式。目前,各飞机主制造商的飞机研制过程是按照门禁(Gate)管理要求下的并行工程(concurrent engineering)的研发方式。一方面确保了项目按照研制演进成熟度要求,开展阶段性管控,降低风险。另一方面实现了各要素协同工作,减少流水线的简单工作方式,在满足成熟度要求的前提下提前开展后续工序,缩短研制周期。同时并行工程可提前进行迭代,提升方案成熟度,降低后期技术反复风险,降低研制周期的总成本。在具体的研制过程中,表现为前后工序的全面并行实施的特点”,即开展飞机方案设计工作时,同步开始系统方案设计;主制造商开展设计工作时,供应商同步开展工作,如联合概念定义(JDCP)、联合定义(JDP);飞机专业开展设计工作时,试验、制造、客服、运营、维修等同步开展策划。同步开展后续工序可支撑前序工作的合理性、完整性和可行性,提前开展后续工作可确保前后工序的协调,这样可以缩短研制周期、减少迭代轮次。

5.2 研制过程模型分析

研制阶段划分应灵活实施。HB8525 规定可根据项目实际需求增加或简化合并控制点,也可扩充和细化相关程序内容,具体项目研制的起止点可根据项目研制特点从 11 个控制点中具体选取^[1]。概括来说,每个具体项目的研制阶段划分和阶段工作内容可根据实际情况进行优化。如 CR929 项目根据中俄双方企业商用飞机研制习惯和研制程序,制定了 8 个门禁,分别为 G1:产品市场定位与市场需求确认;G2:产品性能和方案评估;G3:确定产品方案;G4:项目初步评审;G5:项目详细评审;G6:首飞;G7:首架交付;G8:首批运营支持评估。

分阶段管控不等于分阶段研制。门禁管理是一个串行的管理过程,但项目研制是一个并行过程,否则项目研制周期和成本无法控制。不同专业间存在输入输出关系(上下游关系),但是高端复杂产品的技术方案或者制造工艺方案存在一个上下游迭代完

善的过程,而且下游专业或者后续工序的新技术应用可能影响上游专业的方案冻结。比如,项目实际研制过程中,不可能在总体技术方案完全冻结后再开展结构、系统的设计,而且结构、系统的技术方案是完善总体技术方案的必要反馈。

门禁内不同专业间的研制进度不同。项目研制门禁(阶段)与各专业门禁的进度不完全一样,各专业门禁间的进度也不完全一样。通常,商用飞机研制遵循总体先行、动力先行的规律。总体方案和动力方案是其他专业方案的输入,总体方案的确定时间早于结构方案,结构方案早于系统方案,设计方案早于制造方案。比如在初步设计评审(PDR)阶段中期,总体方案的成熟度已基本满足 PDR 要求,其他专业的方案成熟度会在 PDR 后期才能满足 PDR 要求。

门禁交付物可以跨门禁提前开展。当前研制阶段(或门禁)的工作内容,需包含前一个门禁的遗留任务或待完善的任务,以及下一个阶段工作的部分任务(提前准备或启动的任务)。总体专业必须在 PDR 中期开展详细设计评审(CDR)的工作,否则 PDR 门禁后,各专业会因缺少输入而无法正常工作,导致下一阶段 CDR 的研制周期无法控制,项目研制总周期、总成本会增加。同样,存在输入输出关系的各个研制工序均需同步开展,以缩短研制周期。特别是国内商用飞机研制基础相对薄弱,应该提前识别关键技术,并开展关键技术储备工作,以满足型号研制进度要求。

综上,结合已有型号研制经验和当前 CR929 项目研制实施过程,初步提出了基于 HB8525 的商用飞机研制过程模型,如图 5 所示。

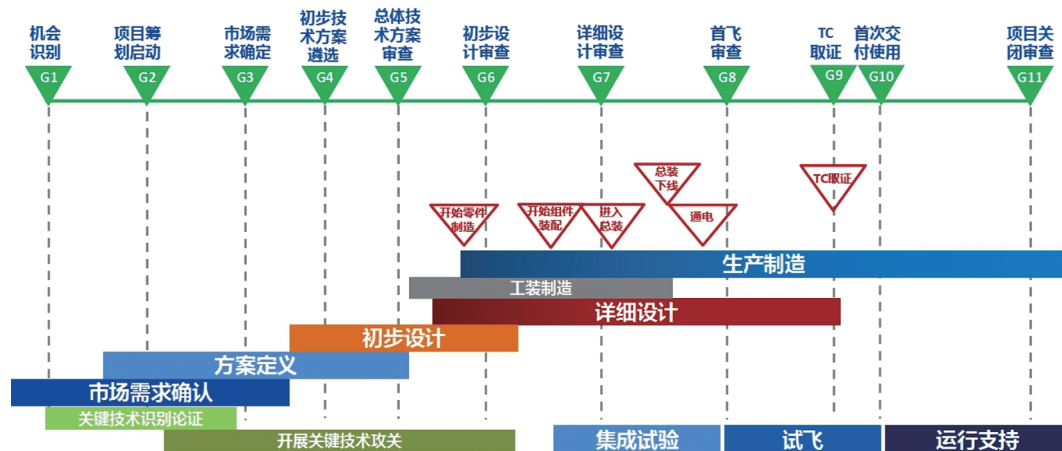


图 5 商用飞机研制过程模型

5.3 主要研制过程输入输出分析

基于上述模式和模型,商用飞机研制主要包括市场需求确认、方案定义、初步设计、详细设计、生产制造、集成试验、试飞和运行支持,以及关键技术攻关等过程,下面就其输入输出关系进行分析。

1) 市场需求确认

新的商用飞机项目研制的启动来源于市场需求,市场需求是各项研制过程的总输入。市场需求确认是广义的,主要是根据国家战略、公司发展规划、产业发展态势等,进行未来潜在市场分析和预测、市场机会选定、产品竞争力分析、合作伙伴态势等方面的研究,提出市场要求与目标,明确市场定位。

2) 方案定义

根据市场需求和市场定位,提出满足需求的多个概念方案,进行权衡论证,确定优选的概念方案(不限一个),识别关键技术,论证方案可行性。在此基础上,联合供应商开展权衡细化,进行概念深化和方案设计,建立飞机级功能和需求基线,最终确定唯一最优的飞机总体技术方案,并制定制造总方案、试验试飞总方案、客户服务总方案、适航取证总方案,以此开展市场推荐许可,获得客户订单。通常,方案定义开始于首轮市场需求提出后,并在 PDR 阶段首轮 JDP 后完成方案冻结。

3) 初步设计、详细设计

基于最优的飞机总体技术方案,冻结飞机外形,确定飞机性能,完成结构和机载系统的方案设计,获

得供应商性能担保,确定主要系统机械与电气接口。并完成结构零部件和系统设备的详细设计,冻结飞机设计基线,完成工装、模具设计,发放生产数据。通常,初步设计期间需完成关键技术攻关,以支持最终的设计基线冻结。从项目经费投入的角度,初步设计期间需启动项目生产条件的建设,比如工装、厂房、生产线等。从需求捕获、确认、验证的角度,详细设计期间将完成飞机需求的设计验证,并启动需求产品验证。

4) 生产制造、集成试验、试飞和运行支持

开展工艺工装准备、零部件加工、部件装配、系统件采购、完成飞机总装及地面试验等工作。完成所有地面试验、飞行试验以及适航符合性验证工作,通过 AEG 评审,并获得型号合格证(TC);建立符合适航要求的生产质量保证体系,完成生产许可证(PC)的申请;并完成飞机交付准备。获得生产许可证(PC),达到稳定批产状态,根据合同要求持续提供客户服务。从生产制造的角度,前期的更多的设计迭代和后期更少的设计反复,可以减少生产成本、缩短制造周期。从试飞取证的角度,前期更多的试验室试验、模拟试验、地面试验,可有效减少试飞工作量和试飞周期。

6 结论

商用飞机研制应该遵循市场导向、安全性、系统工程、门禁控制和继承性的原则,不断提升产品竞争力,实现商业成功。商用飞机研制过程需严格实施分阶段管控(门禁管控),确保项目实际进展满足门禁成熟度要求,确保方案不发生颠覆性风险。分阶段管控不等于分阶段研制,各阶段交付物需根据实际情况提前启动,并跨阶段完成不同成熟度要求的工作。本文提出的基于门禁管控实施并行工程的商用飞机研制过程模式和模型,为当前双通道商用飞

机研制过程管理提供了一种参考方案。后续,还将对基于门禁管控实施并行工程的商用飞机研制过程模型进行细化研究,从不同专业的角度细化制定各阶段准入准出准则。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国工业和信息化部. 民用飞机研制程序: HB8525-2017[S]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2017.
- [2] 李海涛. 并行工程在商用飞机研制中的应用[J]. 民用飞机设计与研究, 2017(1): 99-105.
- [3] 李勇. 民用飞机研制阶段划分若干问题探析[J]. 航空标准化与质量, 2008(3): 8-13.
- [4] 吴兴世. 民用飞机研制生产并行工程刍议[J]. 民用飞机设计与研究, 1998(4): 1-5.
- [5] 贺东风, 赵越让, 钱仲焱. 中国商用飞机有限责任公司系统工程手册[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2017.
- [6] 梁思礼. 并行工程的实践——对波音 777 和 737-X 研制过程的考察(摘要)[J]. 质量与可靠性, 2003(1): 1-7.
- [7] [德] 汉斯—亨利奇·阿尔特菲尔德. 商用飞机项目—复杂高端产品的研发管理[M]. 唐长红, 译. 北京: 航空工业出版社, 2013.
- [8] 林益明, 袁俊刚. 系统工程内涵、过程及框架探讨[J]. 航天器工程, 2009, 18(1): 8-12.
- [9] 刘鸿雁. 系统工程方法在民用航空产品研制中的应用思考[J]. 民用飞机设计与研究, 2018(4): 71-74.
- [10] ASHFORD D M, 王向阳. 宇航运输机研制程序[J]. 国外导弹与航天运输器, 1990(10): 1-12.

作者简介

袁冲 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 商用飞机项目管理。E-mail: yuanchong@comac.cc

Analysis of development process mode and model of civil aircraft based on access control management

YUAN Chong *

(Commercial Aircraft Corporation of China, Shanghai 200126, China)

Abstract: With the rapid development of domestic commercial aircraft development and manufacturing technology, and in the context of exploring the implementation of phased control, the domestic commercial aircraft development procedures need to be further refined and unified. The comprehensive development of manufacturing technology, information technology and management has changed the original model of commercial aircraft development. This paper summarizes the principle of commercial aircraft development, analyzes the development stage division principle of international mainstream commercial aircraft manufacturers and the application of advanced methods in commercial aircraft development, and defines the commercial aircraft development phases control for the first time. Combined with the existing program development experience and the actual demand, this paper preliminarily puts forward the development process mode and model of commercial aircraft based on access control and control implementation of concurrent engineering, and makes a preliminary study on the implementation timing of development activities such as demand confirmation, scheme design, manufacturing, integration verification and operation support, and analyzes the logical relationship between access control review and development process, so as to provide reference for the elaboration of commercial aircraft development procedure and practical work arrangement.

Keywords: commercial aircraft; gate control; development procedure; development process mode and model

* Corresponding author. E-mail: yuanchong@comac.cc