

# 飞机构型管理及其控制技术 研究与应用

## Study and Application of Aircraft Configuration Management and Control Technology

中航飞机西安飞机分公司 齐鹏斌 拜明星 张尚安



齐鹏斌

中航飞机西安飞机分公司制造工程部工艺处工程师。目前,主要从事飞机数字化装配协调技术、构型管理技术等方面的研究。

随着市场环境、客户需求,用户对飞机产品需求的多样化,需要对飞机不断的改进和改型,推动产品系列化发展。技术进步、多厂所异地协同制造的研制模式创新,都对飞机构型控制的准确性、实时性提出了更高的要求。

为了实现对飞机产品各类数据

在飞机研制中借鉴国外先进飞机构型管理的理念,结合国内飞机构型管理实际情况,通过对构型管理研究和应用,实施流程、版本管理,保证了飞机产品数据的完整性、一致性、有效性和可跟踪性。

实施全生命周期的完整、准确、系统管理,飞机构型管理是一种行之有效的解决方法。建立一套与飞机产品数字化和 PDM 实施应用相配套的飞机产品构型管理机制,健全飞机构型管理基础工作,有效管理和控制飞机在其全生命周期中的设计、生产过程是飞机构型管理中极为重要的内容。

### 飞机构型管理概念

构型管理是一种面向产品立项、设计、生产到综合保障整个产品生命周期的,以产品结构为组织方式,集成和协调与产品构造过程相关的一切活动和产品数据,并对其进行管理和控制,从而保证产品数据一致性、完整性、有效性和可追溯性的管理技术。构型管理的主要目的是从宏观上把握并建立产品整体结构;利用

最少的零件,产生最多的产品类型,满足客户多样化的需求,增强零件的重用性;维护产品数据的全部有效版本,确保在各个阶段能够获得产品完整、准确、有效的技术描述。构型管理的最终目的是对产品研制进行全过程管理,实现产品研制的预期目标。构型管理也称为配置管理和技术状态管理。

现阶段对构型的定义和理解有两种不同的类型:一是在产品寿命周期内,为确保产品的功能特性、物理特性与产品的要求、技术状态保持一致的管理活动。其主要内容包括技术状态标识、技术状态控制、技术状态记实、技术状态审核。二是存在于同一个产品数据模型中的不同的产品结构组织形式是产品在整个生命周期中不断演变的动态结构,体

现了同一产品数据模型在产品生命周期中的不同的产品结构视图,比如在设计阶段,体现的是产品的 EBOM (Engineering Bill Of Material),通常被称为设计构型;工艺阶段为 PBOM (Process Bill Of Material),称为工艺构型;制造阶段为制造构型 MBOM (Manufacturing Bill Of Material)。在此其只是产品某特定构型在产品生命周期中不断演变的动态过程,并以不同的视图展现出来,不管是 EBOM, PBOM 还是 MBOM,它们均是同一产品构型的不同的视图表示形式<sup>[1]</sup>。

## 传统飞机构型管理方法存在的问题

### 1 传统基于图纸的技术状态管理过程

国内老旧型号每架飞机的构型定义主要还是靠图纸所属关系和图纸零件表来完成的,图纸管理体系是以一份图纸定义一种构型,按设计制度对用户需求的更改采用下列更改方法:

(1)以新图代替旧图(相对旧图变化在 25%以上)。

(2)发补加工图(相对旧图变化在 25%以下)。

(3)发图纸修正单借用。

(4)以技术单等限定批架次的临时文件描述更改变化等。

通过以上几个方面的图样更改,另加一份完整的图纸目录(一般为供参考用),构成了特定用户(或改型机)的产品定义。图纸下发后由工艺计划人员从图纸零件表上择取对应的零组件管理信息。形成分工表,然后依此进行有关工艺、工装、生产、采购等准备工作。

### 2 传统的图纸构型管理特点

(1)各类人员的重复工作量极大。除全新发图外,全部的借用图纸要加上与客户批架次一致的图纸呼应号;以新图代替旧图要求对原有一致部分重新绘制,即使相同的无

图零件也要进行换号处理,造成重复进行工艺准备,工装改号等不必要的浪费。

(2)图纸相互套用,容易产生不协调。飞机的改型一般是基于原型机,后续的机型是以此为基准来完成的,这就产生了图纸的相互套用。分工表的相互套用等,如某系列飞机最终装机零组件很难统计清楚。

(3)系统应变能力差,不适应同一流水线下小批量多品种生产。由于各部门要做很多重复性工作,加上现有生产计划的粗放管理,最终形成由装配厂提缺件,以缺件反催促零件制造和生产过程中问题的处理等。

(4)手工作业体系难于阐述清楚图纸关系,图纸信息不便于其他部门使用。一般来说,按图纸现有的管理办法各部门不可能进行并行工作,各部门依次要从图纸中摘取与本单位有关的信息。另外,在是否发新图上设计和其他部门的矛盾也比较大,造成许多不应有的矛盾。

(5)不利于信息化利用和管理。二维图为中心,三维模型为辅及技术单的管理方式,信息利用率低。

## 国外先进飞机构型管理和控制过程

面对复杂航空系统工程项目研制,波音公司从 20 世纪 70 年代起就引入了构型管理技术,多年的实践证明,在工程项目研制过程中实施构型管理是确保产品研制达到合同和任务书规定的要求,保证产品质量,降低消耗,缩短周期的有效手段。构型管理技术由构型识别、构型审核、构型控制和构型记录 4 个环节组成。飞机构型实现了基于 PDM 基础之上全面的产品数据构型管理。构型控制技术主要体现在以下 4 方面:

(1)模块化组织产品结构。

(2)将基于图纸的管理改成基于零部件的管理。

(3)简化有效性,以模块有效性

替代图纸有效性。

(4)强化版本管理,建立版本控制规则,保证版本的可跟踪性。

### 1 精简作业流,产品结构模块化

精简作业流是把整个公司的产品部(组)件、工作过程、人员分配和工艺装备等分成三大作业流。

作业流 1:为主要的零组件作业流,如飞机的机体、机翼等主要部件,称它为主要模型。

作业流 2:由飞机上的某些部件,如发动机、通讯设备、起落架、轮子和刹车系统等是由客户选择而定的,这些对整架飞机来说所占成分较小,所以称作飞机的次要模型(Minor Model)。

作业流 3:是顾客对自己所订购飞机的一些特殊要求,如厨房、机内装饰和座位安排等需要设计部门按顾客要求重新设计,并影响到制造工艺、生产安排等后续一系列环节,为顾客驱动、新设计型。

按这类组件构成的作业流,一方面很好地解决了大部分零组件直接重复使用,这里的重复使用不仅指零组件本身,而且包括人员、工艺计划和生产设备等;另一方面也取消了很多无用的和非增值的各种工程环节,这样极大地提高了效率和降低了成本。

产品结构实现模块化,产品结构是进行构型管理的基础,产品结构构建的好坏将直接影响到飞机构型控制的形式和过程。模块是客户进行选型的依据,是实现可重用设计的基础。一架飞机构型由基本构型和特定选型组成,它形成了客户选型,这样做的好处是很容易就生成了一架飞机的特定构型,其中只是对新选型所对应的模块和零部件进行了重新设计,其他的都采用原来的设计,从而大大解决了重复性设计的过程。

### 2 基于零部件的简化构型管理

改变了过去按产品图纸进行有效性管理的办法,用零组件号控制,

在模块层上控制飞机的有效性,通过飞机制造顺序号和零件号来控制飞机构型。

基于零部件的管理方式,对于每个零部件都有一个唯一与之确定的零件号进行标识,不管是对称件还是无图件,均有其唯一的零件号标识,这样所生成的产品结构表达式完整可用、管理科学。

用基于零部件的版本管理替代基于图纸的版本管理,图纸号只是零件的一个属性,除此之外,零部件还有技术文档、原材料、工艺规范等属性,这些属性也分别具有版本概念,这些属性版本的组合构成了某一个版本的零部件的完整定义。

因此,采用基于零部件的版本管理可以简化构型的管理与控制。

### 3 版本控制

版本是设计对象在其生命周期内的特定时间的一个特定的设计结果。版本控制是对产品单元不同版本进行标识和跟踪的过程,是全面实行构型管理的基础,通过版本控制可以保证产品最终构型状态的一致性。在进行版本控制时,需要从版本升级和版本向上追溯性两方面进行考虑。版本的产生是更改的结果之一,当单元(part)发生更改时,其更改的结果可以有两种,一种是变号,一种是升版,单元的变号和版本的变化都影响着产品的构型状态,因此单元的变号和升版要充分体现简化构型的思想,针对飞机项目的复杂性建立相适应的变号升版规则,以确保飞机产品数据的完整性、一致性、有效性和可跟踪性,使得飞机研制人员能够在并行的工作方式下及时获得最新的有效数据。

### 构型管理技术在国产飞机上的探索应用

国产飞机研制构型管理基于Windchill协同研制平台(即PDM系统),在PDM系统中,通过以产

品结构配置为核心,以同一产品数据模型在产品生命周期中的不同的产品结构视图对制造数据进行完整的构型管理,按照BOM的

据源的飞机产品全生命周期管理,根据上述思路构建数字化环境下的飞机产品数据构型管理体系如图1所示。

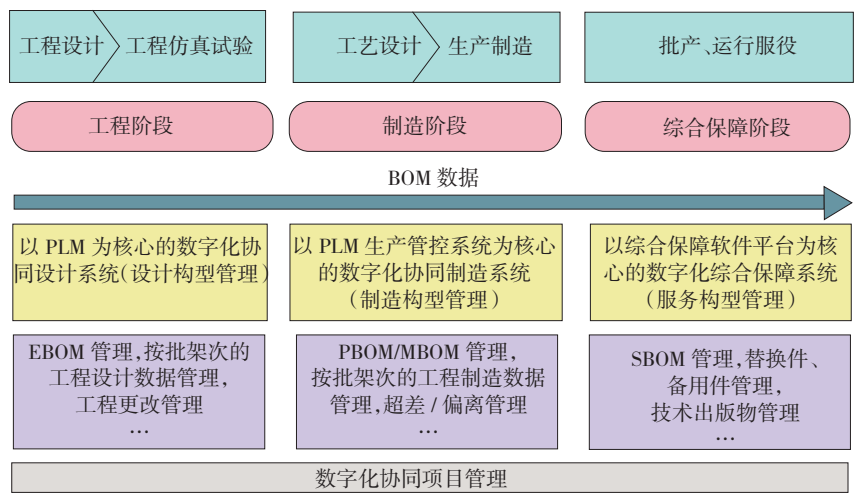


图1 数字化环境下飞机产品数据构型管理体系

构成与用途,在产品工程设计、工艺规划和生产制造等主要研制阶段,定义3类基本的BOM类型,分别为EBOM、PBOM和MBOM。从EBOM→PBOM→MBOM的转换和相关数据的管理和控制,涵盖从工艺构型标识、工艺构型控制、工艺构型纪实和工艺构型审核的完整过程。远期依照实际需要,可定义客户BOM、成本BOM、质量BOM等其他BOM数据类型,并进行规范化管理。

工程化实施应用过程中,设计方提供的EBOM数据按照总的制造方案被完整转化为了以PBOM、MBOM为核心的产品制造数据,这些数据是后面ERP、MES系统的输入和源头。在工程阶段,进行以EBOM为基础的工程设计数据和工程更改的管理;在制造阶段,进行基于PBOM和MBOM的工程制造数据以及质量信息的管理,在远期的综合保障阶段,可定义进行基于SBOM(售后服务物料清单)的各种备件以及技术出版物的管理,通过BOM数据在飞机研制各阶段的流动将飞机全生命周期的各种数据、文档和更改记录有效的串接和管理起来,实现基于单一数

### 1 实施飞机构型控制的关键技术

#### 1.1 模块化组织飞机产品结构,实现基于模块的飞机构型管理

飞机研制中进行了飞机产品结构模块化的划分,一个有效性构型项(Effectivity Configuration Item, ECI)可包括多个不同版本和编号的有效性配置方案(Effectivity Configuration Solution, ECS),但在某一架特定的飞机中,只可能有一个确定编号和版本的有效性配置方案。

建立了从上往下、直到最底层的产品分解结构,通过分解构型项(Configuration Item, CI)将复杂的飞机分解为相对独立的、便于管理的小单元,从而实现模块化设计及管理。顶层称为“基本不变层”,代表飞机产品结构中基本稳定的部分,产品顶层划分是构型层规划的基础。构型层也称为“配置层”,构型层是产品结构用于构型管理的核心层,构型项是构型管理的基本单位,指产品结构分解过程中可独立进行构型管理的单元。每个构型项能满足管理单元的最终使用功能,并通过设计模块实现此功能,即以构型项为单元对设计出的模块进行管理。底层又称为“设

计层”,即组成模块的产品结构层次,底层产品结构是对构型层模块的细化与分解,由各专业的实际详细设计数据组成,以构型层中的设计模块作为顶级装配件。

1.2 简化有效性定义,将基于图纸技术管理改为基于零部件的构型管理

传统的技术管理采用基于图纸的构型管理模式,即把图纸作为有效性管理的依据,在各层图纸(相应的物料表中)上标明哪些零部件对应哪一架次飞机有效,飞机的有效性渗透到从顶到底的各层图纸中,其有效性控制十分复杂。由于不能有效的表示左右件和无图件,往往一张图纸表达多个无图零件,或多张图纸表达一个零件,造成了产品结构表达不完整,管理混乱等问题。

在基于模块的产品数据简化有效性定义中,通过在 ECS 上定义有效性,就可以在给定一个具体架次号时,过滤出该架次飞机上使用的各个构型的 ECS。ECS 以下的产品结构是实际各子系统的产品结构。各个零部件(Part)的有效性将通过其对应 ECS 顶层件各个构型的有效性计算获得。除了进行上述有效性定义简化以外,和零部件密切相关的数据(3D 模型、EO 等)也不直接定义有效性信息,这些数据的有效性和所关联 Part 的有效性相同。

采取基于零部件的构型管理方式后,不管是对称件还是无图件,均有唯一的零件号标识,生成的产品结构表达式完整可用;图纸号只作为零部件的一个属性,除此之外,零部件还有技术文档、原材料、工艺规范等其他属性,这些属性也分别具有版本概念,这些属性版本的组合构成了某一个版本的零部件的完整定义,从而简化了构型的管理和控制。

1.3 零部件版本控制、多版本有效,实现更改可追溯性

对构型的管理主要是通过控制数据版本管理来完成的,确定产品基

线后,在系统中建立产品结构组织树,从系统中自动生成所需架次产品 EBOM 表和配套目录单以及其他相关文件,为制造提供依据。产品数据需要更改时。如果更改后对装配有影响,应重新建立新的产品,编号不能重复。产品更改如不影响装配,零件修订后升版。如影响装配,除本身零件升版外,上级装配关系的零件都应升版。零件版次管理非常有利于更改的自动化管理,真正实现了更改的可追溯性,彻底改变了以往的更改混乱状态。

版本控制是对产品单元(装配单元、组件、零件)不同版本进行标识和跟踪的过程,是全面实行产品数据管理的基础,通过版本控制可以保证产品与最终构型状态的一致性。版本控制包括版本升级和版本向上追溯性。

当产品单元发生更改时,其表现形式有两种:一种是变号,一种是升版。飞机研制中,最初的方案中采用的也是升版和换号的方式,在多次的讨论和协调中发现,换号会给设计和制造造成不小的浪费,型号更改频繁,尤其是一些小的改动或改进,会使换号难度增大,换号后的向上追溯也会给设计员增加很多的工作,尤其是对制造部门,因为零件的频繁换号,会使工装和夹具数量增加,增大工艺和检验人员制作工艺规程和检验规程的数量等等问题。由于发放的产品数据以三维数模为主,换版更改成为数据更改的主要方式,为了适应型号全三维设计与制造的需要,也为了解决以前型号中存在的更改不方便追溯,型号状态不容易跟踪等问题,因此在多次修改更改和版次管理的方案后,最终确定采用多版本有效、并行版次方案,以适应飞机研制需要。采用并行版次,就会不可避免地存在对历史批架次零组件更改的系列更改,同一个零件或组件针对不同批架次的版次,同时有效,见图 2。

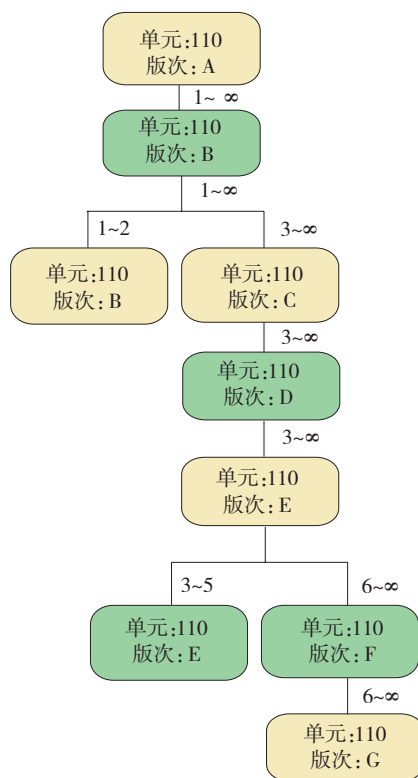


图2 同一个零件或组件针对不同批架次的版次同时有效

## 结论

在飞机研制中借鉴国外先进飞机构型管理的理念,结合国内飞机构型管理实际情况,通过对构型管理研究和应用,实施流程、版本管理,保证了飞机产品数据的完整性、一致性、有效性和可跟踪性。建立了与飞机产品数字化和 PDM 实施应用相配套的飞机产品构型管理机制,健全了飞机构型管理基础工作,有效地管理和控制飞机产品在其全生命周期中的设计生产更改过程。经国产飞机工程化应用验证,实现了我国飞机的研制过程基于 PDM 软件的全面构型管理。为型号研制工作的顺利开展发挥了不可替代的作用。

## 参考文献

- [1] 于勇,范玉青.飞机构型管理研究与应用.北京航空航天大学学报,2005,31(3): 278-283.

(责编 小城)