

基于模块的民机全面构型管理 研究及应用

Research and Application of Comprehensive Configuration Management Based on Module for Civil Aircraft

中航工业第一飞机设计研究院 吕潇超



吕潇超

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、构型管理等方面的研究工作。

构型管理起源于美国的军事工业。美国空军为了解决新型战机研制和采购中的混乱状况,提出了构型管理的概念,降低了研制成本和周期,提高了客户满意度^[1]。鉴于此,美国军方认为,必须依靠构型管理建立一个规范、可靠、科学的体系来控制产品研制。随着在美国军方的应

用,构型管理得到了普遍的认可。波音公司从1996年起开始构建基于构型控制的数字化制造信息管理系统(DCAC/MRM)^[2]。实施DCAC/MRM系统为波音公司带来了巨大的经济利益和社会效益。在波音公司推出该计划后,空中客车公司和洛克希德·马丁公司也提出了类似的计划。在国外飞机项目的研制过程中,构型管理通过引入信息化技术和数字化手段,不断发展和创新,已形成了具有约束力和指导意义的标准体系。国际上颇具代表性的构型管理标准有MIL-STD973、ANSI/EIA-649、

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.18.098

EIA-836和CMII等。

我国在民机转包生产中将构型管理的概念引入飞机项目,其目的是为了控制复杂飞机产品的开发和维修,使飞机制造商和开发商能够灵活地应对各种需求变化。随后,我国陆续制定了GJB-3206、HB-7807、HB-7805等构型管理相关的标准,明确提出了构型(军机中称“技术状态”)的概念——“在技术文件中规定的并且在产品中达到的功能特性和物理特性”,规定了构型管理的流程和要求等内容^[3]。近年来,构型管理已经在我国的军机、民机项目中得到了

广泛的应用,主要代表有 ARJ21 的 ECMS 系统和 C919 的 IDEAL 平台。

现代民机研制不仅是设计一个产品就能满足市场的需求,而且是要创建一个模块化产品架构,通过变型,加速新产品的开发,实现产品的系列化和多样化。现代民机系列化研制过程中,面向零部件的设计已经不能满足产品研制的需要,模块化设计得到快速发展,并在型号研制中大规模应用。伴随着设计手段的变革,构型管理也发展到了基于模块的构型管理阶段,构建面向全寿命周期、全要素、全方位、全特性的模块化构型管理体系在现代民机研制中显得尤为重要。

构型与构型管理

构型^[4]是根据相关的配置规则将全生命周期各个阶段所产生的各种形式和各种版本的数据、文档、工作流程等进行配置的结果。构型体现了同一产品数据模型在产品生命周期中不同的产品结构视图^[5],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)。产品某特定构型在产品生命周期中不断演变,并以不同的视图展现出来,

不管 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。

构型管理是一种面向产品全生命周期的,将各阶段产品数据关联起来并对其进行管理和控制,从而保证产品数据一致性和有效性的管理技术^[6]。随着产品数据管理技术的不断发展,构型管理的功能和内涵已经上升到 CMII 的层次,并着重强调构型管理是面向产品全寿命周期的产品数据管理技术^[7]。

构型管理方法的演化主要经历了 2 个阶段:基于图纸的构型管理和基于模块的构型管理,如图 1 所示。

(1) 基于图纸的构型管理。基于图纸的构型管理,即在图纸上标明该零部件对哪些架次飞机有效。一张图纸往往对应很多架次飞机有效性。当图纸发生更改时,经常会造成对已发布图纸的追溯。这种追溯一般有 2 种方式:

- 重新标记原有图纸的有效性;
- 通过对原有图纸添加技术单的方式,避免修改已发布图纸的有效性^[8]。

(2) 基于模块的构型管理。模块是指由若干零件组成的部件组成的子系统。模块化是指使用模块的概念对产品进行规划和组织,将系统分解为模块,并进行模块组合的过程。基于模块化的构型管理,将飞机

产品结构分解成许多模块,一个模块往往对应多个构型状态,每个构型状态包含了模块下所有的零部件生效版本;特定架次飞机的构型通过飞机特定构型表来维护,表中记录了所有该架飞机由哪些模块的哪些状态组成。与基于图纸的构型管理不同,基于模块的构型管理主要包含以下关键特征:

- 不再以图纸作为构型管理的单元,而是将由若干零件组成的模块作为构型管理的单元;
- 模块的构型状态只代表模块内所有零件版本组合形成的一种稳定的设计状态,并不直接反映飞机的架次有效性;
- 特定架次飞机的构型必须通过对所有模块的选择和配置形成。

全面的民机构型管理

引入构型管理的思想之前,我国民机研制中存在很多问题难以解决,主要表现在以下几个方面:

- (1) 飞机状态不能够清晰记录,设计状态和实物状态往往存在差异;
- (2) 图纸的更改控制缺乏统一的流程控制;
- (3) 图纸的可重用性差,同一图纸在不同型号的重用难于管理;
- (4) 产品设计过程对后期的运行维护考虑较少,导致产品的可维修性差。

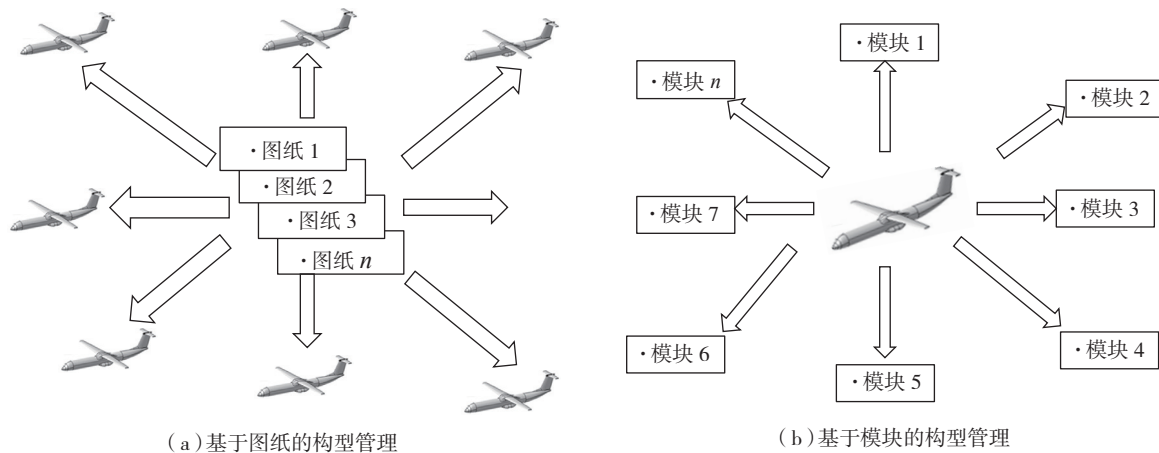


图1 构型管理方法的演化

后来,我国民机研制中借鉴了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,构建了构型管理体系,实现了基于模块的产品结构划分,基于工作流的工程更改流程控制、版本管理、有效性定义、设计与制造的构型数据协同等工作。但是,构型管理体系还不够完善,比如,构型管理仅涵盖了设计和制造过程,对于需求、试飞、客户服务、保障等过程的构型尚未纳入构型管理范畴,缺乏对机载软件等特殊产品的管理。

因此,必须对现有的构型管理体系不断完善,形成全面的民机构型管理体系,保证飞机产品数据的完整性、有效性和一致性。

全面的构型管理强调从标识、控制、审核和记实 4 个方面实现全寿命周期、全要素、全方位和全特性的构型管理。

(1) 全寿命周期指对产品全生命周期的全覆盖。构型管理应该贯彻于市场需求分析、设计、制造、试飞、适航取证、客户服务等各个阶段;

(2) 全要素指产品设计、工艺、工装、质量/适航、仿真、试验等环节产生的相关数据,实现数据元素的全覆盖;

(3) 全方位是指参研单位的全覆盖,包括:设计、制造、客户服务、供应商等;

(4) 全特性包括虚拟产品的功能特性和实物产品的物理特性。

面向民机研制的模块化构型管理

1 面向民机系列化发展的模块定义

传统的飞机研制模式和构型管理存在“事后”系列化等问题,即在单种飞机研制后才考虑其作为基本性,在此基础上进行系列衍生性的设计工作,往往在飞机的后期才开始考虑客户选配。由于缺乏早期的规划,常常使得系列化和客户选配的设计工作和构型管理工作变得异常复杂,在有些情况下甚至不得不用单独的产品结构和构型库管理后续的系列型产品数据。因此,在民机研制的初期就应该按照系列化发展的要求分级定义模块,建立包含平台模块、系列模块和型号模块的完整模块库,如图 2 所示。飞机的系列化发展是一个循序渐进的过程,模块的定义也是如此。根据研制要求,型号模块可以提升为系列模块或平台模块,以提高模块的重用性。

模块化构型管理的首要任务就是对产品结构进行重新规划形成模块。模块划分的是否合理直接影响到构型管理的成败。模块划分不仅要考虑民机系列化发展中的模块的通用性和重用性等问题,还要考虑以下内容:

(1) 模块的粒度要大小适中。模块太小,构型管理的复杂度会提高;模块太大,工程更改难以高效实施。

(2) 模块划分需要对全寿命周

期进行综合考虑,不仅要考虑设计分离面,也要考虑制造分工、制造的组装工序等问题,还要考虑飞机运营后的维修性、综合保障及客户服务的要求。

(3) 模块划分应该充分考虑适航审定的要求。

2 构型管理与工程研制环节的解耦

近年来,国内航空工业各主机所均已在型号研制过程采用了基于模块化的构型管理,实现了产品结构的模块化划分,形成了“顶层-构型层-模块设计层”3 层结构,完成了基于模块的有效性标注等工作。通过基于模块化的构型管理的普遍实施与应用,研制团队对于模块化的构型管理的认识不断提升,但仍未摆脱传统的构型管理思想的约束,主要表现为:基于图纸的有效性标注方法被借用,差别仅在于有效性是标识在图纸上还是在模块上,这明显是与模块化的构型管理思想相违背的。

模块化构型管理的思想认为模块属于工程研制数据,不需要将飞机架次与模块形成强关联,飞机是通过模块配置出来的。基于图纸的构型管理方法发展到基于模块的构型管理方法的最显著的特征就是构型管理与工程研制环节的解耦,即基于模块的构型管理方法打破了原有的设计数据和构型信息紧密关联的局面,实现了构型管理和工程研制高度解耦,形成了基于模块的设计和基于模块的构型配置 2 个独立的业务过程,极大降低了设计和更改过程中的复杂度,使得设计师更加专注于设计业务过程,构型师更加专注于构型管理业务过程,如图 3 所示。

3 构型配置

采用基于模块的构型管理思想后,每一架飞机都应该都是通过构型配置产生的。构型配置过程通常包含 2 种,即基于模块的构型配置和基于选项的构型配置。

(1) 基于模块的构型配置是以

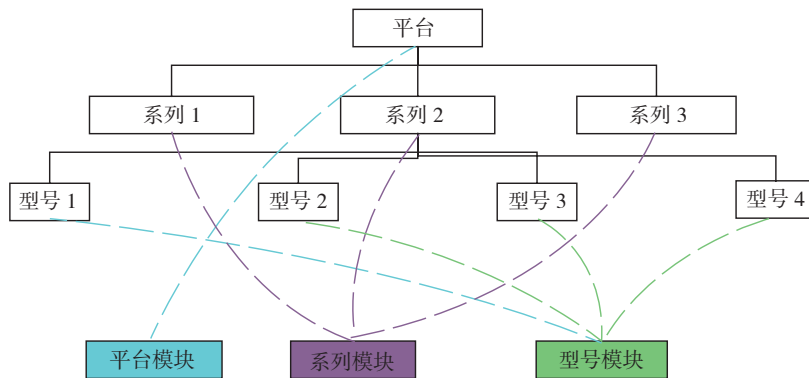


图2 面向民机系列化发展的模块定义

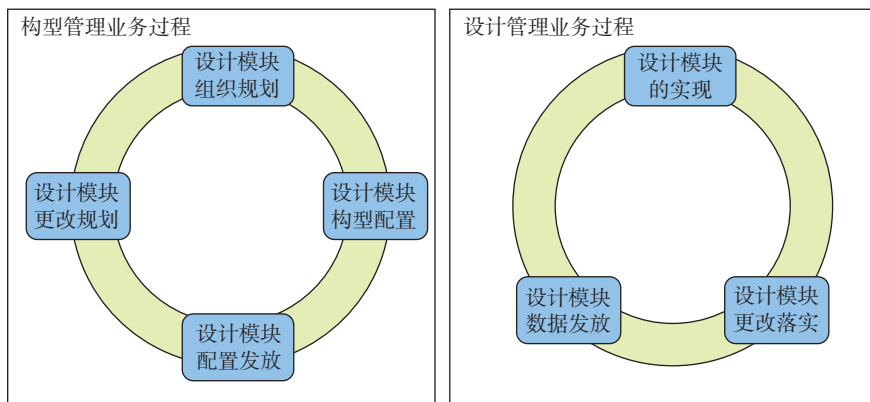


图3 构型管理与工程研制环节的解耦后的业务过程

模块作为构型配置的基本单元,由构型管理团队共同完成,适用于民机的研制过程。按照飞机模块配置的性质,可以将模块分为基本模块和可选模块,大部分模块为基本模块,只有少数模块被定义为可选模块。基于模块的构型配置应遵循“一架一配”的原则,配置过程通常包含3个步骤:确定飞机的平台、系列和型号,一旦这些信息确定,基本模块就会确定;对于可选模块进行选择 and 配置,该过程会被分解到多个专业,由多个专业的构型管理团队协同完成;当所有模块确定后形成单架机构型配置表,并通过审签流程确认。

(2) 基于选项的构型配置是以选项为构型配置的基本单元^[9],适用于民航销售过程,由销售团队协助客户完成。按照选配的性质,选项可以分为必选项、可选项和客户特定选项。必选项是通过飞机的平台、系列和型号而确定的;可选项是飞机研制单位预先定义的选项;客户特定选项是客户提出的,且超出选项目录范围的,需要飞机研制单位根据客户需求重新定制的选项。选项通常是由一组模块组合构成。基于选项的构型配置过程主要包含以下2个关键步骤:客户确定平台、系列和型号,并按照选项目录完成选项配置;客户完成选项结果并不能直接驱动生产,需要实现构型映射,即将基于选项的构型配置转化为基于模块的

构型配置。

4 基于设计制造协同的数据发放

我国的航空产业采用“厂所分离”的组织架构模式。在型号研制过程中,设计单位和制造单位分别各自的产品数据管理平台,并通过集成接口实现设计与制造的协同。设计与制造之间的协同最主要的是数据协同,即设计数据和构型配置的发放协同。

基于模块的构型管理要求将构型管理的相关信息从设计数据上剥离,这就要求设计数据与飞机构型配置分别发放。

设计数据发放与构型配置的发放需要考虑以下几个方面:

(1) 发放的时机和相互关系。设计模块的发放时机是,设计模块及其所属的设计数据通过成熟度演进过程已经达到可以发放的成熟度状态,通过正式发放审签流程完成设计模块的发放。设计模块成熟一个,发放一个。飞机构型配置的发放时,当某架次飞机的构型需求明确,且已经由构型配置人员完成了全机配置,经过配置的审核流程批准通过,最终发放给制造单位。设计模块发放不必等待配置完成,配置的发放也不必等待设计模块的完成,二者之间没有强约束关系。

(2) 发放的数据内容。设计数据必须以模块为单位,完整发放给制造单位。飞机构型信息必须通过飞

机特定构型表的形式发往制造单位。制造单位在接到设计数据后,可以开展工艺设计工装设计工作;制造单位只有接到配置信息后才能开展生产准备和备料工作。

结束语

将基于模块的构型管理方法应用到民机研制过程之中,在型号研制初期综合考虑需求、设计、制造、客户服务、保障、试飞和适航等各方面的要求,按照模块化思想并规划模块和产品结构,提高了模块的可重用性;通过飞机特定构型表记录构型配置信息,实现工程研制和构型管理的分离,建立面向设计与制造协同的构型管理体系,简化了民机研制中的构型管理,清晰、准确地记录了飞机的构型状态,确保了设计与制造的一致性,通过更改申请、更改建议和更改实施的一体化流程实现了对工程更改的有效控制。

参考文献

- [1] 王庆林. 飞机构型管理. 上海: 上海科学技术出版社, 2012.
- [2] 刘雅星, 郑晶晶. 飞机产品数据模块化构型管理. 航空制造技术, 2010(3):49-52.
- [3] 中国人民解放军总装备部. GJB3206A-2010 中华人民共和国国家军用标准-技术状态管理. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2010.
- [4] TPT Technologies, Inc. What is configuration management[EB/OL]. 2005[2015-07-01]. <http://www.cmstat.com/downloads.cfm>.
- [5] 杨玺, 范玉清. 飞机构型控制技术初探. 北京航空航天大学学报, 2000, 26(3):357-360.
- [6] 陶剑, 范玉清. 基于构型项的飞机研制建模技术. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(10):1241-1245.
- [7] 于勇, 范玉清. 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.
- [8] 卢鹤, 范玉清. 飞机简化构型管理关键技术研究. 航空维修与工程, 2007(3):45-48.
- [9] 骆晶妍, 胡秦赣. 民机构型管理标准化初探. 中国国防工业标准化论坛, 北京, 2007.

(责编 早春)