

基于 MBD 的构型管理在飞机研制中研究与应用

Research and Application of Configuration Management Based on MBD in Aircraft Development

中航通飞研究院 田宪伟

[摘要] 结合 MBD 技术的应用,探讨了面向零部件模型的构型管理的实现路径,从构型管理的组织机构、构型标识、构型项划分、构型更改控制等方面开展研究,提出了构型项划分的基本原则,建立了体现构型变化的标识方法,并根据企业的具体情况构建构型更改流程。通过在构型项上设置架次有效性,进行版本的自动传播,有效地解决了构型管理实施过程中的几个关键难题,推进构型管理在型号研制中的应用。

关键词: 基于模型的定义 构型管理 构型标识 构型项 数据管理

[ABSTRACT] In this paper, the technique route of configuration management facing to part model is discussed combining with the application of MBD. Configuration management organization structure and method of configuration identification are researched. The automatic tracing model of version which is updated to reflect the new configuration is established. The principle of product structure division is given. The mean of effective expression is based on configuration item. Configuration change flow is set down according to the enterprise's self condition. The implementation of configuration management on aircraft is promoted through solving these difficult problems.

Keywords: Model based definition Configuration management Configuration identification Configuration item Data management

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S2.007

构型管理是美国军方为了解决新型战机采办中的混乱状况,在满足性能指标的前提下,为降低全寿命费用,缩短研制周期,提高系统的可靠性、维护性,对承包商提出的强制要求,并逐步发展为一种比较科学、完善和严格的管理体系^[1]。但随着市场竞争的日益激烈,为了在最短的时间,以最低的成本满足客户多样化的需求,民用飞机制造公司纷纷自觉将构型管理贯穿于飞机的全生命周期管理中,并取得显著效果。波音公司因成功地实施了飞机构型定义与控制 and 制造资源管

理(DCAC/MRM),将飞机研制周期缩短 50%、问题减少 50%、成本降低 25%,再次重回商用飞机霸主的地位。鉴于构型管理的成功示范,国内以北航为首的高校与几家主要的飞机研制单位,如上飞院、一飞院、中航工业直升院所等在这个领域做了积极、深入的研究,先后在新舟 60、C919、ARJ21 等商用机型及军机上陆续实施构型管理,并取得了丰硕的成果。

随着数字化定义技术的发展,基于模型的定义(Model Based Definition, MBD)的第三代产品定义技术成为各大飞机公司主流的产品定义方法^[2],MBD 涵盖了设计制造一体化、面向制造的设计、面向装配和维护的设计等研发思路,在改变产品的设计方式的同时,促进了构型管理的应用,同时为构型管理的实施带来了改变。面向图纸和文件的构型管理如何向面向零部件模型的构型管理转变,基于各种图纸版本的有效性标识如何向基于构型项的有效性标识转变,各种版本的数据如何进行电子审批、存储、发放和传递,如何建立基于 MBD 模型的单一产品数据源,建立一个面向产品 PLM 协同研制的基于 MBD 模型的构型管理体系,确保飞机研制数据的一致性、有效性、完整性和可追溯性,这是 MBD 模式下构型管理实施过程中必须深入研究的课题。

1 构型管理概念及组织机构

1.1 构型管理概念

飞机构型管理就是在产品寿命周期内,为确立和维护产品的功能特性、物理特性与产品需求、技术文件规定保持一致的管理活动。它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,将各阶段产品数据关联起来并对其进行管理和控制,进而保证产品数据一致性、有效性和可追溯性的数据管理技术。

1.2 构型管理组织机构

构型管理的根本目的是用技术和行政的手段建立起规范化的新产品研发秩序,保证设计目标的如期实现。随着技术的发展,构型管理已发展为技术与管理并重的综合学科,其专业技术涉及面广、交叉性强,不但涉

及数字化产品定义方式、产品全生命周期管理,而且涉及企业的业务流程及产品开发并行工程工作方法,其贯彻和实施不但需要专业技术人才及高水平的数字化管理水平,而且需要从企业组织结构入手,建立专业化的构型管理部门,行使构型管理职责,编制适宜的构型管理计划,建立构型管理顶层规范及工作方针,对具有相应技术能力的人员赋予相匹配的责任,结合企业的数字化构型管理平台进行角色和权限分配。这是稳步推进构型标识、构型控制、构型记实和构型审核等构型管理功能在飞机研制中的应用的组织保障。

构型管理组织结构如图 1 所示。项目控制委员会(PCB) 是最高的决策机构,负责评估潜在的商业利益和对客户的影响,并衡量所作出决策可能的风险。构型控制委员会(CCB) 由 PCB 批准建立,CCB 主席通常由型号总设计师担任,CCB 的成员由各专业的专家组成,包括设计、制造、项目管理、质量、适航、成本管理、风险管理、综合保障、采购、试验试飞等部门代表及供应商代表,负责向 CCB 主席提供建议,保证构型的正确性、合理性。构型管理办公室是核心办事机构,不但要将各方提出的重大构型信息上报 CCB,而且要监控供应商构型变更过程的控制,并负责所有构型信息的管理。在综合设计团队内部层层设置更改委员会(CB),清晰定义更改送交高一层委员会裁决的准则, CB 根据职责和权限处理更改事务。PCB、CCB 只需通过控制重大构型变更即可控制型号的研制风险,保证设计目标的

基本实现。

2 面向零部件模型的构型管理

飞机产品零部件数量巨大、更改频繁。通常飞机的研制采用二维图纸为主、三维模型为辅的管理方式,有效性管理方法比较复杂、低效,通常把图纸作为有效性管理的依据,在各层图纸上标明哪些零部件对应哪一架次飞机有效,存在多个版本的图纸及三维模型,容易出现三维模型和二维图纸不一致的情况,更改控制非常困难。为简化有效性从顶层到最底层的各层图纸的传递,首先要取消二维图纸,实现面向图纸的构型管理向面向零部件模型的构型管理转变,采用 MBD 技术进行产品定义,零件模型作为一个集合信息的表达体,不但包含零件的几何尺寸、公差等几何信息,而且包含材料、加工、装配、热处理等综合信息,零件发生更改,可以直接将更改原因、内容、有效性等信息直接在零件模型中进行定义与表达,如图 2 所示。研制过程中,设计、制造、维护、供应商等以 MBD 模型为唯一数据源,消除 3D 和 2D 图纸间存在不一致的潜在风险,“两张皮”现象得以解决,零件更改控制得以简化,只需要控制三维模型即可。制造端接收的更改指令完全可以从模型中提取,实现数字量的传递,避免更改指令和更改图纸的分离现象。MBD 模式下取消了二维图纸,对于每个零部件只需一个唯一与之确定的零件号进行标识,所有数据都将围绕着零部件模型展开。

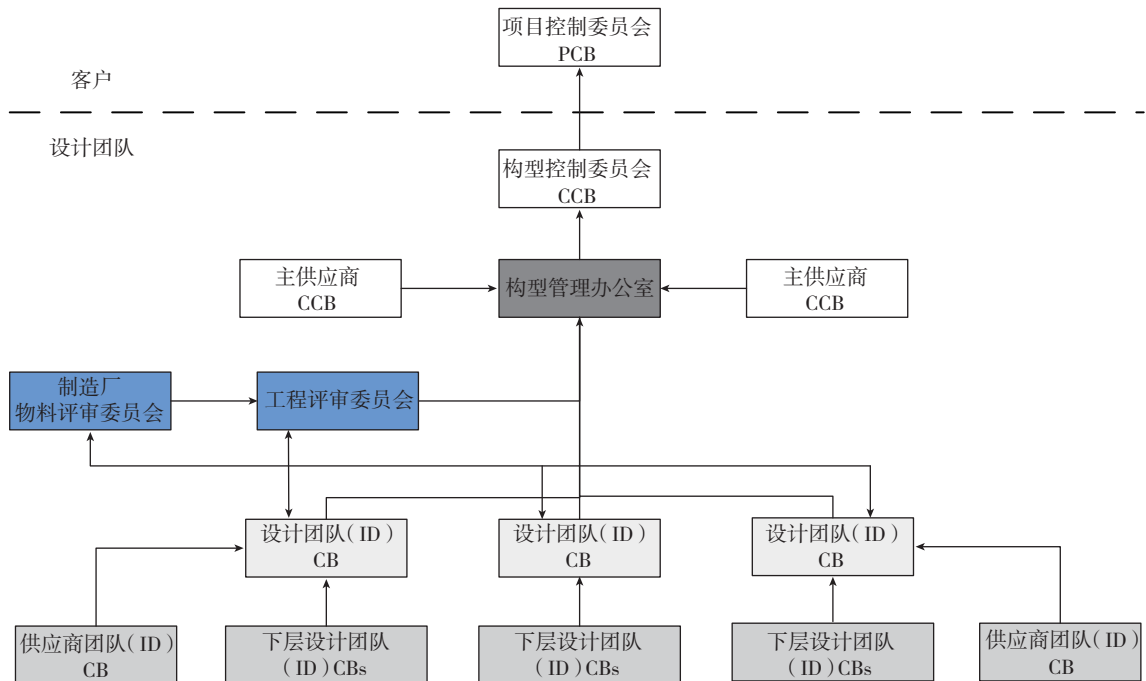


图1 构型管理组织结构

Fig.1 Organization structure of configuration management

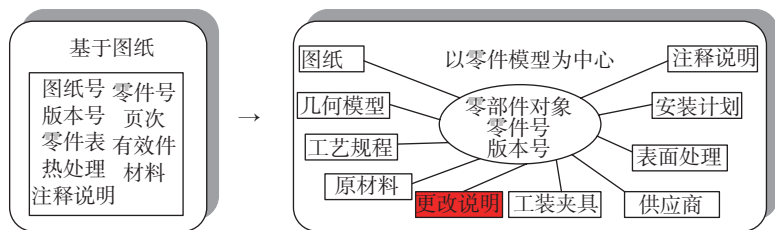


图2 面向零件模型的构型管理

Fig.2 Configuration management facing to part model

3 构型项目的划分与编码

3.1 构型项的划分

构型项(Configuration Item, CI)是构型管理过程的基本单元,是飞机产品数据和信息组织的核心,是产品生命周期管理系统(PLM)实施的依据,也是项目所有信息输出的基础和源头。在产品结构分解之初就必须考虑如何划分构型项,将复杂的飞机结构分解到便于管理的粒度,经分解后构型项大小适中,大型飞机一般可以控制在200个零件左右。通过合理的产品结构分解,将产品复杂而深层次的零组件装配关系演变为构型项间的配置关系,将传统深层的产品结构关系划分为3个层次,包括顶层、构型层和底层,如图3所示,

从而使产品结构实现扁平化,既便于工作分配与数据管理,又提高自身开发效率,解决了产品模块化、系列化和通用化设计问题,同时便于客户选型和客户化定制。

顶层代表一个型号所有架次飞机中保持相对稳定不变的部分,该层次一直划分到ATA段部分,该层的分解由项目管理人员、构型管理人员、设计人员、工艺人员、维修人员以及质量等相关人员组成的团队依据项目的工作分解结构共同决定,保证该工作包不会因为制造和装配地点的不同而影响到飞机的组成。根据图4的编码方法赋予每个工作包一个唯一标识,并将工作包分配给具体的设计团队(根据ID识别)开展工作。

构型层为具有构型配置管理功能的构型项结构关系层,将架次有效性的配置与控制放在构型层,一个有效性配置项(Effectivity Configuration Item, ECI)可包括多个不同版本和编号的有效性配置方案(Variable Configuration Item, VCI),但在某一架特定的飞机中,可能有一个确定编号和版本VCI有效。

底层为数据层,表示零组件装配结构层次,规模较小,便于独立进行管理。MBD模式下,由零件三维模型、安装关系模型、接口关系模型、装配要求模型及设计文

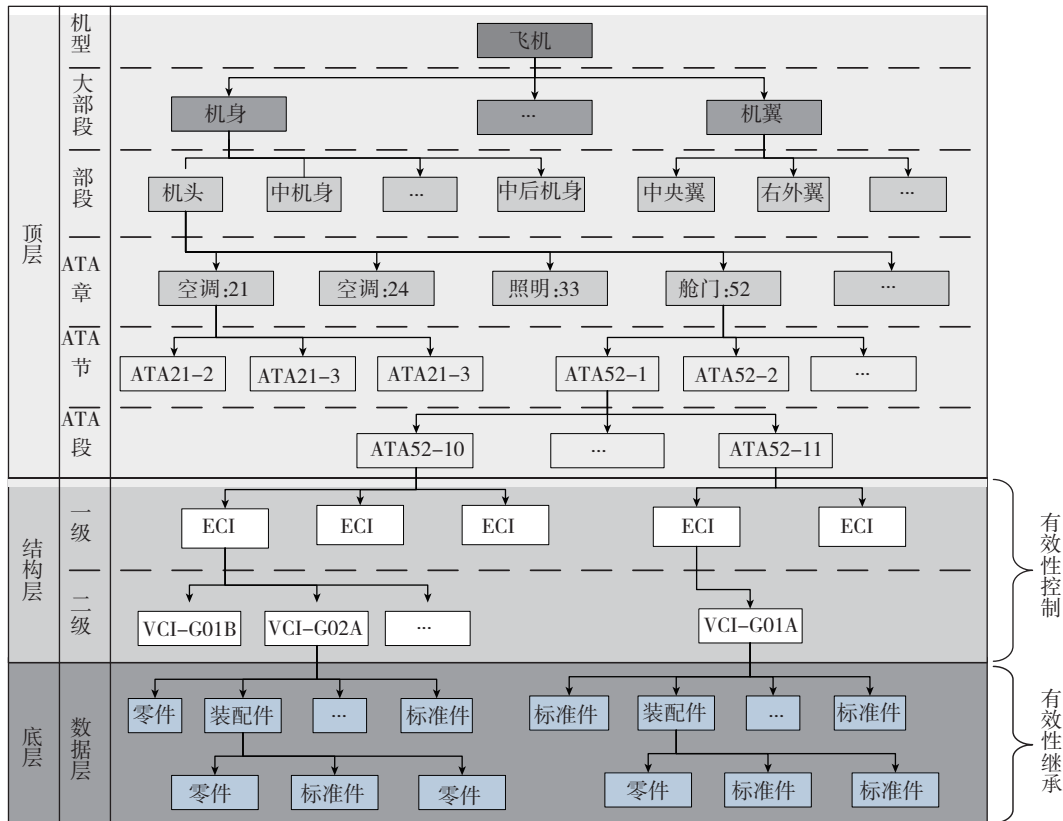


图3 飞机构型项(CI)划分示意图

Fig.3 Division of aircraft configuration item

件等组成。该层数据仅用于表述指导生产信息,不进行标识架次信息。

构型划分的几个基本原则如下:

(1)保持工作分解结构与组织结构对等的原则,便于工作分配与管理;

(2)满足制造工艺、装配要求,体现面向装配的设计,部件/组件能进行独立设计、生产与交付;

(3)满足零组件、系统的互换性要求,便于综合保障与维护;

(4)根据零部件的关重特性分类划分构型项,便于管理与维护;

(5)便于试验的开展与更改的自动化传播。

3.2 构型编码

构型标识是飞机构型管理的基础,构型标识最终形成满足客户需求和规范要求的飞机产品特定构型,它是构型控制、构型纪实和构型审核等活动的依据。各类零组件和构型编码是构型标识活动中的重要一环,也是体现数字化程度高低的标志。构型编码是给每个构型项及其相关数据指定的唯一标识号,这个编号能够识别产品的实际构型和设计构型之间的区别,能够保证构型更改过程的追溯。如果构型项没有适当的编码,就不可能控制构型项的构型更改状态,也不能建立精确的记录和报告,或者不可能对构型审核进行确认。不精确的和错误的构型编码可能引起产品的缺陷、计划的延误,以及交付后的高维护成本。采用 MBD 技术后,取消了二位图纸,需要对现有的基于图样、明细表的标识规范进行改进,建立基于零部件的标识体系,直接采用零件号标识 MBD 数据集,对于每个零部件都有一个唯一与

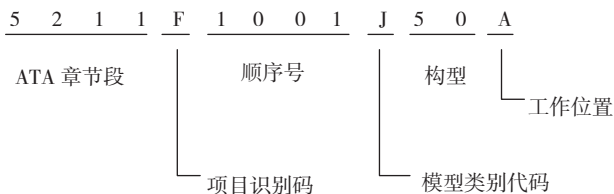


图4 构型标识方法

Fig.4 Configuration identification method

之确定的零件号进行标识,如图4所示。

该编码体系采用字母与数字段式组合方式自动化编码,不但能够体现零件的对称属性、零件加工工艺类型如机加件、铸件、锻件、焊接件、橡胶件等,而且通过赋予模型类别代号,兼顾了采用 MBD 技术进行产品定义时,主尺寸表面模型、接口控制图、安装图、装配图等的表达。纳入国际标准 ATA 编码体系,对图4,可以清晰地判断零部件所在的飞机部段及系统中的位置。“序号”利于计算机自动编码,末位表示对称关系,奇数表示

零件的左件,偶数表示零件的右件;如无对称件则偶数位保留不用,其他位由设计员按实际情况自行设定,应体现装配关系。引入两位阿拉伯数字的构型号,构型发生更改时,可以通过末位的数字变化自动实现构型号的自动升位,如 01 变为 02。如果发生较大的构型变化也可通过顺序号的改变体现构型变化,进而实现在产品数据管理系统的构型更改的自动追溯。

4 构型更改控制

飞机构型控制可以从两个角度考虑:一是从控制的流程角度来看,CCB 通过构型管理办公室来监督和控制所有的更改活动,包括更改请求、更改建议、评估协调、数据更改、更改数据发放、更改贯彻执行与归零,是一个闭环的流程;二是从数据的管理角度出发,基于 PLM 系统能够完成构型项的审签、发放并自动有效记录、跟踪和控制数据版本变化及数据之间的关联关系,能够基于构型项配置有效性,根据有效性自动提取设计 BOM、制造 BOM 等。因此构型控制的核心就是将资源(客户、CCB、构型管理、设计、制造、试验、维修等人员)、各种数据及文件、流程及数字化工具有机结合形成一个系统。

4.1 更改流程

产品通过详细设计评审后,设计部门即可在 PLM 系统中发起三维模型的审签,为保证后续更改的控制,所有构型项应经构型管理部门会签,经过批准的数据在 PLM 系统内冻结,任何人不再有修改模型的权利,发送给制造单位,进入试制阶段。但由于企业体制上的原因或设计方法的落后,发放的模型成熟度不高,隐含着很多设计错误,产品频繁更改,此种设计更改应和构型更改严格区别开来,它们属于“更改问题模型”不属于“构型更改”。不同的更改应采用不同的控制流程,如图5所示。通常可以按更改的复杂程度和影响面的大小把更改分为3级。

(1) I 级更改:更改复杂,影响面大;(2) II 级更改:复杂程度一般,影响面一般;(3) III 级更改:不复杂,影响小。

设计更改通常只涉及零件本身,对其他零件基本无影响,属于 III 级更改,更改活动在设计团队内部完成,采用简单、快速的更改流程(如流程1)。对于 I、II 级更改因更改影响面较大,则要填写工程更改建议,按流程进行更改。评审委员会认为更改对进度、成本影响较小的情况下可按流程2实施更改,不需要要通过 CCB 批准。对 I 级更改则必须经过 CCB 审批,按流程3进行更改。流程4不仅需要 CCB 批准,而且必须上报 PCB 批准后才能实施。

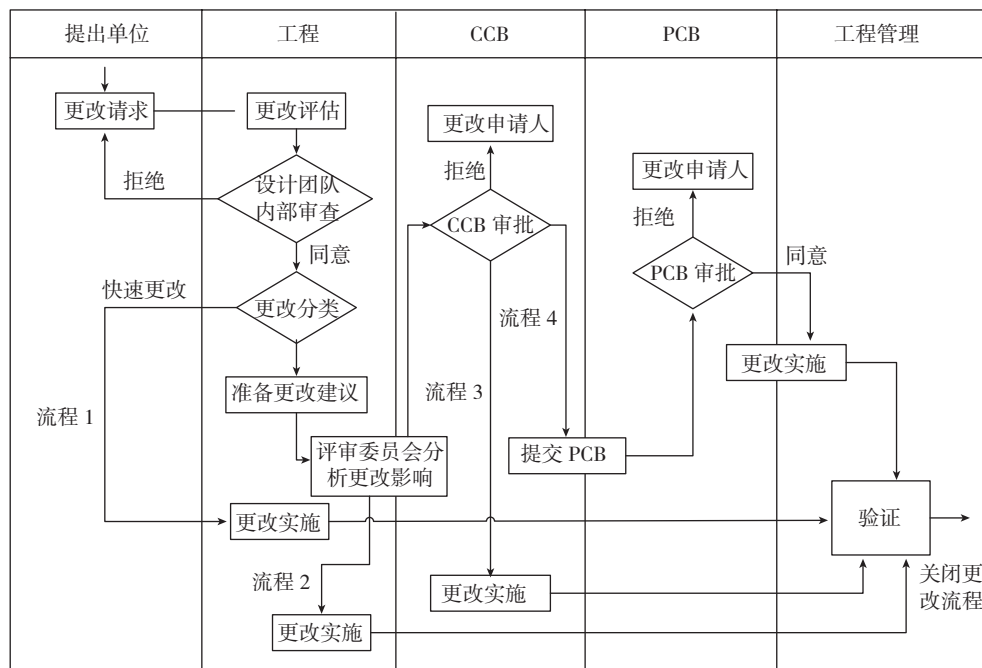


图5 构型更改流程

Fig.5 Configuration change flow

4.2 版本升级控制

当零部件发生更改时,必须对版本的变化进行标识和跟踪,这是对构型记实管理的基础。过去以图纸为对象进行版本控制,存在多个版本的数据,有效性标识在每个版本的图纸上,数据状态难以理清。通过采用MBD技术进行产品定义,将版本控制放在三维模型上,基于构型项进行版本的追踪及有效性标识,适合在基于PLM系统进行版本的自动传播,版本自动追溯模型如图6所示。当零件发生I级、II级更改,为表示更改后的构型项和原构型项的追溯性并有所区别,采取构型号升号方式。如果更改属于III级,并且有效实施架次不改变,则只进行版本的升级并向上追溯到CI级。

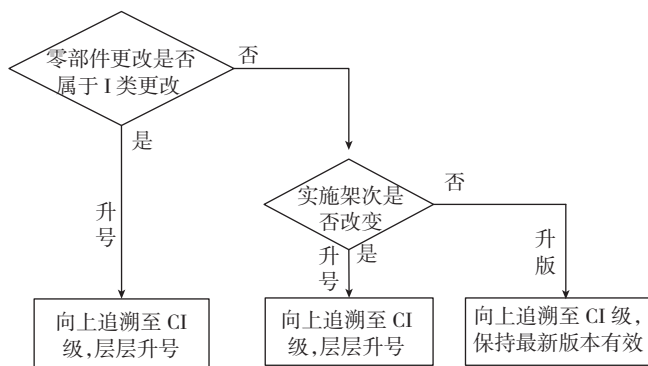


图6 版本控制流程图

Fig.6 Version control flow chart

5 结束语

通过在飞机研制中使用MBD技术进行产品的数字

化定义,可以让构型管理由繁变简,由面向图纸的管理向面向零部件的构型管理转变。本文通过对构型管理组织结构、体现构型变化的标识方法、构型项划分原则及构型更改流程的研究,并结合MBD技术的应用,有效地推进了数字化构型管理在型号研制中的应用。但构型管理的实施是一个伴随型号研制到飞机交付及使用的漫长、复杂的过程,不可能一蹴而就,实施过程不但涉及企业流程的再造、组织机构变革及设计模式的转变,而且和企业的数字化能力及产品生命周期的管理息息相关,企业必须借助关键技术的攻关和强大行政的力量才能顺利推进构型管理的应用,使之成为企业产品研发的基石。

参考文献

- [1] 于勇,卢鹤,范玉青,等.飞机构型控制技术研究与应.航空制造技术,2009(23):78-82.
- [2] 王咏梅,田宪伟.飞机全三维数字化建模技术综述.航空制造技术,2013(21):26-29.

(责编 叶枫)

(上接第6页)

2005,33(9):1120-1126.

- [47] SCHULTE-FISCHEDICK J, ZERN A, MAYER J, et al. The morphology of silicon carbide in C/C-SiC composites. Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 2002,332(1/2):146-152.

(责编 李丹)