

# 民用飞机构型控制与更改管理研究

## Research of Configuration Control and Modification Management of Commercial Aircraft

中航沈飞民用飞机有限责任公司 赵书凯 刘艳超 马帅

**[摘要]** 构型控制与更改管理是复杂的飞机设计制造过程中,技术管理工作的最重要部分。文章通过分析波音和空客等航空企业构型定义控制的方式及效果,结合民用飞机发展的现状及实际需求,提出了民用飞机构型管理方面的一些建议和思路。

**关键词:** 构型控制 构型更改 版本管理 有效性管理

**[ABSTRACT]** Configuration control and modification management is the most important part during the aircraft design and manufacture. Based on the development state and the practical requirement, as well as analyzing the configuration management of Boeing and Airbus, several suggestions and thoughts for the configuration management are given.

**Keywords:** Configuration control Configuration modification Version management Effectivity management

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.03.102

当前国际航空市场的形势瞬息万变,要想在激烈的市场竞争中占有一席之地,就必须在设计、生产及制造等各个环节提高自己的核心竞争力,而构型管理作为贯穿研发到生产的重要一环,起着举足轻重的作用,一套先进的构型控制体系不仅对发展优质、准时、低成本的飞机生产,实现飞机项目的客户化交付具有重要的现实意义,同时也能极大地提高公司的信誉和知名度,对公司的前途和未来有着深远的影响。

因此,通过借鉴波音、空客等航空企业先进的构型管理方式,取长补短,完善自身的民用飞机构型管理体系意义重大。

### 1 构型管理的定义

构型控制与更改管理,简称构型管理,传统意义上是指用一套持续的、程序化的、经济的方法对产品的状态进行全过程的控制,从而使制造出来的产品符合定义文件所要求的构型。其目的如下。

(1)为工业过程的每一个阶段确定产品的完整的技术描述。

(2)确保产品与技术描述的一致性。

(3)在工业文件(包括定义文件、制造文件和检验文件)中对产品的技术描述的改进加以控制。

(4)识别和判断产品的制造状态和目标交付状态之间的偏离。

民用飞机构型管理注重借助数字化手段实现产品全生命周期管理(PLM),即从客户对产品的需求(更改要求)到产品的设计、制造、符合性证明、交付和使用的全过程,乃至产品系列的配置、改型和发展延续。架构在数字化平台上的现代构型管理,在实现传统目标的基础上,又有了新的扩展目标。

(1)确保数字化产品数据的唯一性、可控性、可见性、有效性和追溯性。

(2)形成构型项目资源库,提高重用性,实现产品组合化、模块化设计。

(3)在产品生命周期内,对构型项目进行控制和保持,实现产品系列化发展。

(4)基于产品数字化定义及配置,实现多构型、多视图的基线和物料清单(BOM)管理。

从上述目标可以发现,实现民机构型管理首先应合理、有效地定义构型,以便在其基础上进行后续构型控制<sup>[1]</sup>。

因此,构型管理的内容主要分为2个方面:构型定义和构型控制。

#### 1.1 构型定义

构型定义可通过在安装层次上选择组成全机的各个构型的不同选项并构成选项方案来完成。为简化定义和实现重用,对各个构型的选项应进行合理分类,并以模块化的思想进行构建,在飞机型号构型库中反映选项与模块的关系。当一架飞机的选项方案确定之后,以构型表的方式列出各个选项对应的模块,表达全机构型定义的结果<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 确定选项方案

选项是将结构化的产品,按照WBS或产品分解原

则定义成具有相对独立功能的模块化、系列化的部件或子系统,以便构成满足不同用户需求的不同的选择方案。对于选项的定义和分类以及特定飞机选项方案的构成,下面分别对波音和空客公司的做法进行介绍。

### 1.2.1 波音公司构型定义

波音在执行飞机构型定义与控制/制造资源管理 DCAC/MRM (Define and Control Airplane Configuration/Manufacturing Resource Management) 计划时,将选型划分为4类(如图1)。

(1)基本不变的部分可定为标准类,作为构型的基本类——主模型,例如波音 737、747、757、767 和 777。

(2)根据不同用途可选装不同系统的类型,作为不同方案类——次模型,如波音 747-400 客机。

(3)为特定用户定制设计或用户选装模块,作为选装类。

(4)在基本型上进行的更改设计,作为更改类。一架特定飞机的构型可通过上述4种类型选型的分层结构来表示。选型时仅采用“只加操作”,如主模型波音 747、次模型波音 747-400 客机、三联风挡等。对这些选型可不作任何修改,仅增加客户专门需要的少量新设计。

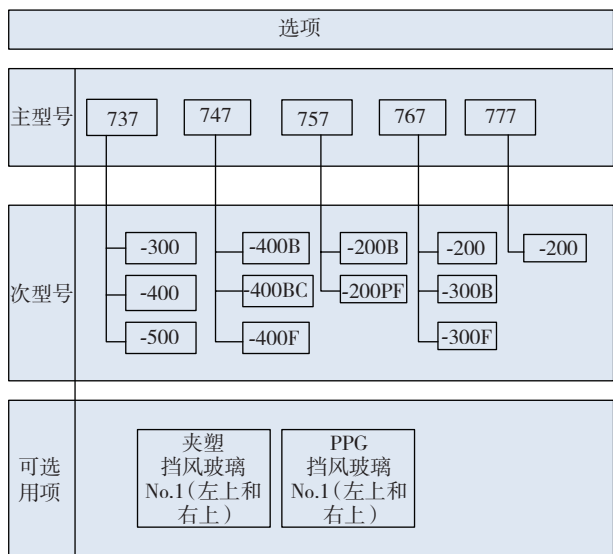


图1 波音飞机构型选项表

Fig.1 Option table for Boeing aircraft configuration

### 1.2.2 空客公司构型定义

空客在进行构型定义时,则采用的是“可加、可减”的方式,一架飞机的构型由基本构型和特定选型组成,即形成了客户选型。客户在选型、生成飞机构型时,首先根据客户需求从飞机构型库中挑选所提供的飞机产品选项,生成客户基本选型;然后客户根据自己的特殊需求对选中的基本构型提出意见和建议,进行增加、修

改、删除等工作。但对于构型库中没有的选型,即客户特定的选型或者新设计的选型,需要新建一个选型存入选型库中,对与之相应的模块和零部件进行重新设计,并将最终结果加入构型库中,进而使构型库中的内容不断丰富。依照此方法能够方便、快速地生成一架飞机的特定构型,只需对新选型所对应的模块和零部件进行重新设计,从而大大减少重复设计,具体如图2所示。

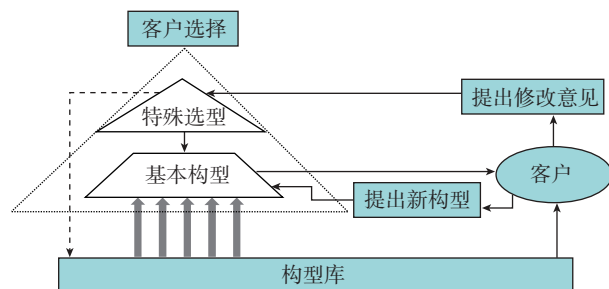


图2 空客飞机构型选项表

Fig.2 Option table for Airbus aircraft configuration

### 1.3 模块化设计

目前国际上通用的产品结构分解都是围绕着设计模块进行的,从设计和制造的角度将飞机划分成合适的单元进行管理和设计生产。单元即为管理的对象,包含了一种装配关系的划分或者一种工艺方法和其他属性。

该方法的优势在于:能够将复杂的飞机/系统分解后,变成多个独立又相关的单元,并作为构型管理的对象——功能项,即在扁平化的产品结构下实施管理工作,见图3。

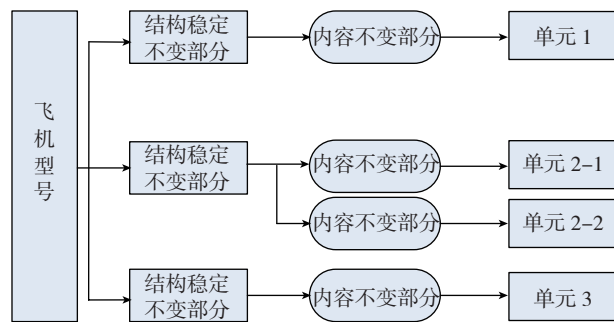


图3 典型模块化设计结构树

Fig.3 Typical configuration tree for module design

### 1.4 飞机构型表

国际上一般都按飞机型号系列分别建立飞机构型库(Airplane Configuration Library),它是标识所有选型与选型、选型与模块、模块与零组件之间关系的数据库,在飞机构型库中应包含该系列型号的所有选项和模块。特定飞机构型表是构成某一特定飞机的所有模块的一份报表,用以代替传统的飞机图样树。每架飞机应有一份特定构型表,并用飞机标识号或架次号标识。当用

户特定飞机的选项方案确定之后,应从飞机构型库中选取所有与这些选项相关的模块,加入到特定飞机构型表中,与之相关的零件也加入到相应模块中,形成特定飞机的构型。

每一特定飞机构型表确定了该架飞机的全部定义元素,如零部件、安装图、工艺规范、计划、工装、出版物及合格证书等。

### 1.5 分析和小结

在波音公司的构型定义中,将大部分基本和稳定的零部件及与其相关的工艺过程、工艺装备等有机地统一在一起,无需工程设计人员做任何工作就可投入生产线;而对于飞机的次模型,是根据客户的选型确定的,也无需做设计更改,可直接投入生产线。由此,一架飞机的大部分零部件可直接从主模型和次模型中找到,很好地解决了大部分零部件重复设计的问题,另一方面也消除了很多无用、非增值的各种工程环节。

而通过模块化设计和飞机构型表,可以将更改控制在单元范围内,避免更改范围的无限扩散;可以建立客户选项与产品结构之间的对应关系;可以将飞机固定的、基本不变的部分提取出来,降低了提前投产的风险。这些都为构型管理奠定强有力的基础。

## 2 构型控制

波音公司和空客公司对构型的管理主要是通过有效性控制和图纸或数据集版本管理来完成的,把产品设计图纸作为有效性依据,即图纸上标注所参照的对象数据类的构型状态,来获得所需要的产品数据,这一过程称为产品构型控制。构型控制主要分为版本控制、有效性管理、构型更改管理 3 个方面。

### 2.1 版本控制

版本是设计对象在其生命周期内的、特定时间的、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。为快速满足客户的需求,民机产品通常是在设计了一个基本型以后,进行大量改进和改型,从而生成系列化的产品。在系列产品的发展过程中,由于客户的具体要求不同以及技术进步所带来的设计和工艺方面的改进都会引起民机研制过程中构型的不断变化,所有这些变化需要通过版本管理来进行严格地跟踪和控制,从而保证产品数据的完整性和一致性,并能记录和报告更改的进展情况,检查更改落实的全过程。版本控制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的一致性。

规范版本控制,需要从简化构型管理的角度出发,规定有效的版本管理方式、版本的升级原则以及版本变化的追溯方式等。

#### 2.1.1 版本管理方式

传统的构型管理采用面向图纸的构型方法,构建的产品结构是一棵具有层次关系的图纸树。由于不能有效表示左右件和无图件,造成了产品结构表达不完整、管理混乱等问题。而面向零部件的管理方式有如下优势。

(1)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、管理科学。

(2)图纸号只是零部件的一个属性,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,进而简化了构型的管理与控制,如图 4 所示。

#### 2.1.2 版本升级原则

零件变号和版本变化是体现零件发生更改的 2 种方式。变号和升版都将影响产品的构型,为达到简化构型的目的,需要规范 2 种方式的使用原则。按照更改的重要程度,通常将更改分为:重要更改,即在经重新设计或更改后,零件的形状、配合、功能和互换性(3F)等发生了改变;次要更改,即在经重新设计或更改后,零件的形状、配合、功能和互换性等未发生改变。当发生重要

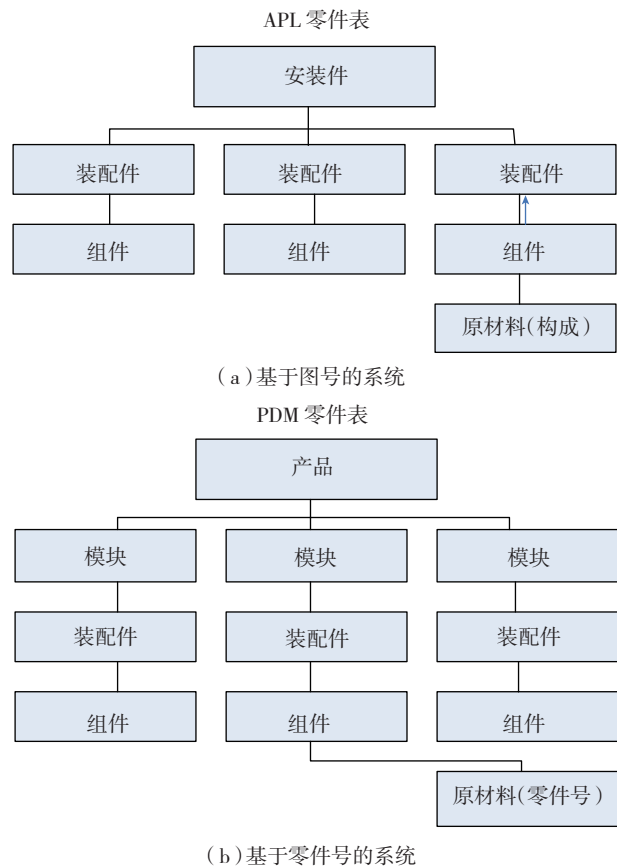


图4 构型控制方式  
Fig.4 Type of configuration control

更改时,需要给零件重新指定编号;当发生次要更改时,则只需对零件版本进行升级。

### 2.1.3 版本追溯方式

产品结构是产品单元根据其上下级隶属关系而构建的。每个设计对象都可以用单元来表示,可以是部件、组件、零件以及各类技术、管理类文件,也可以代表整个产品型号。产品单元的更改会引起大范围内零部件的更改,也就是说当某单元版本升级或者变号时,与其相关联的上一级单元也要发生相应的改动,即版本应具有向上追溯性。

## 2.2 有效性管理

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。当一个飞机型号最初设计出来时,往往只有一个产品结构,即所谓的原型飞机。随着设计的改进或者客户的需求会派生出许多新的型别,产品结构也就扩展成为一棵产品结构类树,它包含了所有飞机型别系列所有组成(零部件、可选件)在内的完整的物料清单,需要通过有效性的配置才能生成某构型的确定的产品结构。为简化有效性控制及管理活动,需规范有效性的定义方式及管理方式。

### 2.2.1 有效性定义方式

有效性包括选型、时间、范围和版本有效性。具体含义为:

(1) 选型:每个模块都对应有个选型,当客户选择某些选型时,可以将其视为变量,按照变量取不同的值来确定飞机具体产品结构的配置。选型之间的关系是一组逻辑表达式,通过规则来实现。

(2) 时间:通过判断模块在某时间段的有效性进行配置。

(3) 范围:通过判断模块在某架次的有效范围进行配置。

(4) 版本:通过判断版本的值和状态进行配置。采用简化有效性管理思想进行飞机构型管理时,模块不通过版本有效性进行配置,所有版本模块均有效,但模块中的零部件则通过版本有效性进行配置。

### 2.2.2 有效性管理方式

模块应准确描述和定义所包含的零组件的装配逻辑关系,完整地反映与安装有关的产品信息以及与其相关的生产与服务信息。为简化构型管理,须将有效性管理从传统的基于零件的管理提升为基于模块的管理。

飞机结构的最上层是各系统的集成件,而每一系统是功能的集成件,每一功能有多个安装件组成,安装件又由装配件组成,装配件又由多个零组件构成。随着零组件的复杂性不同,也有不同层次之分。对具体一架飞

机的有效性渗透,要到从顶层到最低层的各个层次,因此有效性控制十分复杂。由于模块是定义在安装件级的数据包,因此在采用基于模块的有效性管理方式后,仅需对特定构型表中的模块进行有效性控制,而对模块以下的安装件、装配件和零组件无需再作有效性标识,极大缩减了有效性控制的对象数量,简化了有效性控制。

模块中的零件及其他数据的更改只反映自身版本的升级,而是否具有对某一架飞机的有效性,则取决于该零件所在的模块是否被选进该飞机的选项。因此,用模块组织起来的零件及其相关信息不需标注有效性,而应在模块一级标出,即当模块进入构型表后,则应在该模块上确定它的有效性。

### 2.3 构型更改管理

随着技术的进步和客户的多样性需求,通常需要对飞机进行不断构型更改或改型。借鉴空客公司构型更改技术的经验,飞机改型过程大体分为改型提出、改型调查、设计更改和改型实施4个阶段<sup>[2]</sup>。

构型更改流程及各阶段主要内容如下。

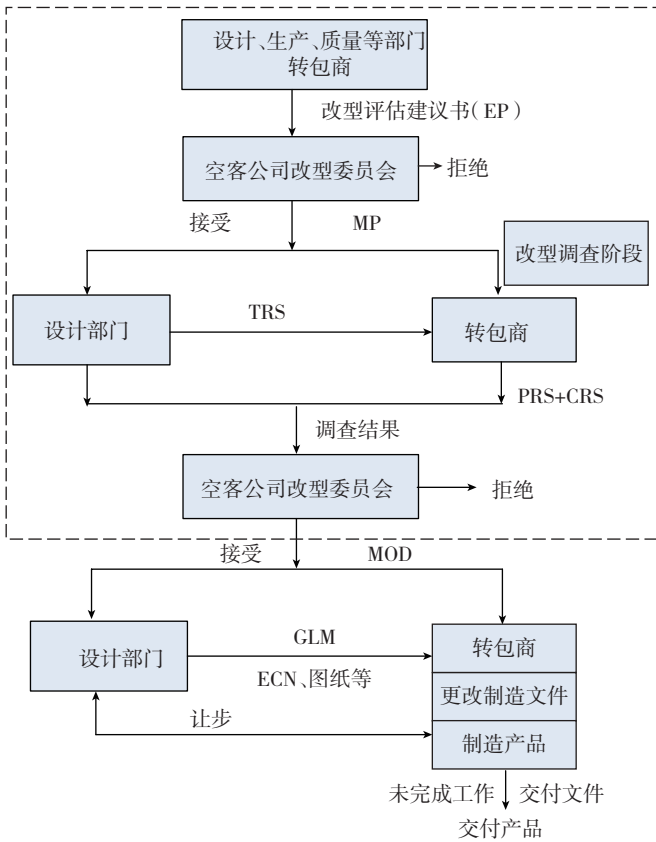
(1) 供应商或客户根据生产和使用的需要提出改型。

(2) 当公司接到制造商或客户提出的改型后:a. 相关部门对技术合理性、制造可行性、设备、试飞、成本等方面进行预研,之后向公司构型委员会提交改型评估建议书。b. 构型委员会根据预研的结果决定接受或拒绝建议。若接受,则向设计部门和供应商发出改型建议书。若拒绝,则结束。c. 设计部门编制技术返回单,并发放到有关部门(包括供应商),以便详细研究改型的结果和实施的条件。制造商则要编写工业文件,评估改型对生产计划等方面的影响,填写生产返回单,同时计算生产费用的影响情况,并填写成本返回单,然后将生产返回单和成本返回单返回公司。d. 公司构型委员会在收到相关返回单后,决定改型建议的接受或拒绝。若接受,公司构型委员会对改型编号,公布改型通知单,改型随即确定。若拒绝,则结束。

(3) 设计部门对改型进行分析,以明确相应的技术方案,并更新定义汇总表。随后,设计部门更改相应的定义文件,包括图纸、细目表、工程更改通知、改型清单等,同时进行改型取证所要求的全部工作,并随时跟踪改型的进展情况。

(4) 当制造部门或供应商在收到工程更改通知单、新图、关闭状态和改型清单后,将改型反映到制造文件中,并按照改型规定的生效架次进行具体的改型工作。至此,整个构型更改流程结束。

图5为空客飞机构型更改的总体流程图。



注：MP为改型建议书；TRS为技术返回单；PRS为生产返回单；CRS为费用返回单；MOD为改型通知单。

图5 空客飞机构型更改流程<sup>[2]</sup>

Fig.5 Modification process for Airbus aircraft configuration

### 3 总结

参考上述波音、空客等航空公司的构型管理流程，结合当前民机行业的发展趋势，在应用方法和手段上，先进的构型控制应符合如下要求：构型管理的层次性、以零件为中心、以模块为核心定义有效性、面向客户的构型、单一产品数据源以及数据传递信息化系统集成。

随着企业信息化技术飞速发展，构型管理的先进性成为衡量一个航空企业综合能力的关键性指标之一，而一个先进的构型管理体系，不仅需要解决其技术性问题，建立标准化文件体系和规范流程，更要重视构型管理系统在大型客机全生命周期构型管理中的实际应用，同时，构型管理系统也应纳入公司的整个信息化解决方案中，与企业的各类应用系统集成。

#### 参考文献

[1] 骆晶妍, 胡秦赣. 民机构型管理标准化初探. 航空标准化与质量, 2008(5):12-16,34.  
 [2] 邹冀华, 范玉青, 蒋建军. 欧洲空客飞机构型控制与更改技术. 航空制造技术, 2006(8):62-67.

(责编 亿霖)

(上接第 101 页)

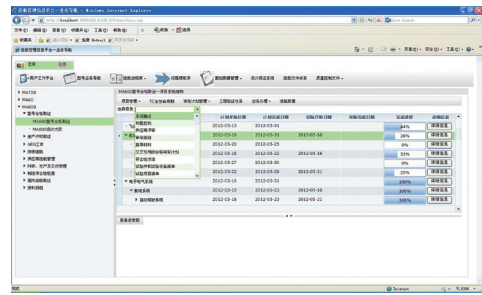


图8 审定计划管理

Fig.8 Certification plan management module

证思路。

(2) 适航审定流程管理：利用 5 种流程循环体和各类控制元素描述了“型号合格审定基础及验证方法的确定”流程。

(3) 审定计划管理：是工作人员对所有工程验证类业务进行组织的窗口。

### 4 结束语

型号合格取证是当前困扰我国民机研制事业发展的难点。本文分析了型号合格取证工作中的诸多问题，将型号合格取证业务分解为适航知识要素，并对其分类详细研究，建立了基于适航知识要素的 TC 取证业务模型。在该模型的指导下，本文进一步构建民机型号合格取证管理系统，在信息化的环境下实现了理论模型的初步应用并取得了良好效果。基于适航知识要素的 TC 取证业务模型在一定程度上改变了适航取证的传统工作模式，使得适航验证工作更具针对性，从而显著提高适航取证的工作效率，并推动适航管理工作向着标准化、规范化和数字化的方向发展。

#### 参考文献

[1] 浦传彬, 浦一飞. 思考空客公司研制的民用客机. 民用飞机设计与研究, 2009(1):39-45.  
 [2] 黄强, 杨乃定, 王良. 美国民用航空产业发展战略分析及其启示. 航空制造技术, 2006(2):62-66.  
 [3] 路瑞芳. 民用飞机适航审定管理信息系统研究与开发. 民用飞机设计与研究, 2010(4):51-54.  
 [4] 杨永刚, 祝世兴, 闫京源, 等. 改装设计 / 适航审定管理系统设计与开发. 航空维修与工程, 2010(6):78-79.  
 [5] 王芳, 蒋建军, 王俊彪. 基于本体的适航管理知识建模的研究. 科学技术与工程, 2012(11):2642-2648.  
 [6] 王芳, 蒋建军, 王俊彪, 等. 浅谈民机适航管理信息化体系建设. 中国制造业信息化, 2012(15):1-4.  
 [7] Lai L F. A knowledge engineering approach to knowledge management. Information Sciences, 2007, 177(19): 4072-4094.  
 [8] 郑作棣. 运输类飞机适航标准技术咨询手册. 北京: 航空工业出版社, 1995.

(责编 亿霖)