

现代飞机机体结构模块化设计技术研究*

Study on Modern Aircraft Fuselage Structure Module Design

王哲 / 第一飞机设计研究院

摘要: 基于飞机结构数字量尺寸协调体系, 以设计和工艺分离面将机体分为若干部分, 每个部分进行模块化设计、制造和装配, 减少交叉作业, 模块之间简化连接和工装, 并采用工艺补偿便于飞机总装和部件更换。

关键词: 现代飞机结构; 模块化设计; 典型接口

Keywords: modern aircraft structure; module design; typical interface

0 引言

飞机结构模块化设计, 可满足用户不同的需求, 既能占有市场又能缩短产品开发周期, 降低生产成本, 提高产品竞争力。

美国和欧洲一些航空发达国家十分注重模块化设计研究, 并在军、民机型号上得到了应用。波音、空客公司为适应不同地区、航线及市场需求, 在基本机型基础上衍生出众多的型号, 所采用的就是模块化设计, 相同的机头、机翼、机尾、尾翼等, 不同的机身插入段。以飞机结构为平台, 其中燃油、液压、操纵、航电、环控、电气等系统也采用标准接口, 方便组合与更新。对于新的模块, 可集中力量进行技术创新与试验验证, 确保水平与质量。

波音777将模块化设计思想应用于客舱设计, 为用户提供多种灵活多变的客舱布置, 可以按用户要求设置不同等级的座舱, 布置多种不同数量的座椅、厨房和盥洗室等, 而所有这些要求均可在飞机交付前72小时内灵活变更。空客A400M运输机可以迅速改变为步兵运送、混合(货物和人员)运送、货盘式货物运输、医疗救护、非货盘装备运送、空

降伞兵等构型。

我国飞机模块化结构设计还处于起步阶段, 如民用飞机模块化客舱、货舱的设计要求、实施方案、典型结构形式, 以及评价方式等正在研究中。近年来, 国内飞机结构数字化设计平台建设取得较大进展, 采用模块化设计已有较好基础, 各飞机研制单位已开始重视模块化设计思想, ARJ21-700飞机装配、C919飞机机头样机制造等均贯彻模块化思想。

1 飞机结构模块化设计概念

针对现代飞机结构寿命长、可靠性高、维修成本低、重量轻等特点, 贯彻飞机结构模块化先进的设计理念, 研究结构模块化设计特征、设计流程, 以达到结构标准化、通用化和系列化的目的。结构模块化设计所依赖的是模块的组合, 即结合面, 又称为接口。

机体不同结构可以根据制造、装配以及使用要求做成不同的模块, 通过基本模块与可选模块之间的标准接口实现对接, 因此模块间的对接是实现模块化的关键。机体结构间的对接主要包括机体壁板、桁梁、框段以及机体与起落

架、机翼、尾翼等大部件对接, 这些结构均可以模块的形式独立制造和装配。

模块化是用一定的分类方法将某一产品划分并设计制造出一系列不同的、利于产品设计、制造和装配, 具有良好的可重用性, 通过相应的模块组合构成预期的产品。如按分离面划分模块, 使层次扁平化, 可减少下层更改引起顶层的更改。

通过模块化应用, 达到飞机结构、成品设备尽量满足标准化、通用化、系列化要求; 各种机载成品的外部接口, 如管口、插口、螺口等都应是符合标准的; 安装力求简单、可靠, 并采用标准的紧固件、连接件和插件; 通过对称件、通用件等设计方法, 提高设计、生产效率与规模; 采用先进计算机软件进行设计和生产, 成品单位也应保证提供的模型能被读取, 利用计算机建立数字样机, 以便协调和并行工程, 产品数据系统管理, 协同工作。使模块生产的各方从事自己所擅长的工作, 缩短开发时间, 快速响应市场需求。

2 飞机结构模块化设计准则

一个复杂的产品要实现模块化的功能基本上要涉及模块化分解和集中。

* 航空科学基金资助项目(2007ZA03002)

分解应以减少模块间的耦合和使系统间信息联系最小化为基本原则,以设计规则处理模块间的耦合联系,制定相关模块的接口标准和规则定义。结构模块化设计:首先是制定设计准则,即通过多方案论证、科学优化、听取用户意见,对以前型号设计过程中得到的宝贵经验进行总结和升华,并结合先进的设计理念,采用典型的设计方法,确定飞机结构模块的系列标准尺寸、结构、强度、材料、安装形式、系统接口和检验手段,以及相关系统的接口要求,并作为约束各系统供应商的设计和制造的指导文件。同时,对相关的结构、强度、制造工艺、联调手段、界面等进行同步研究,制定相应的设计和工艺标准,作为设计和制造的顶层文件。采用模块化定义规范开展设计和模块化管理,可提高设计效率,保证设计质量,为今后各个型号的研制打下基础,消除由于人为因素造成的低级错误。

3 飞机结构模块划分

综合传力、制造、运输等因素,对飞机机体结构与各主要系统的功能结构进行合理分解,将全机结构划分成多个整体结构功能模块,确定产品的分工界面和所采用的标准规范。通过产品的模块化分解,降低了整体研发和制造的复杂程度,提高了创新的效率。模块化的思路就是将复杂问题简单化,只有对产品的结构层次进行有序地合理分解,才能做到流程和结果的可控和规范。

4 飞机结构模块化设计典型图册

模块化具有独立的功能,标准的接口和界面等特征。飞机结构模块化设计重在接口设计,研究国内外成熟飞机结构特点,形成飞机结构典型设计图册作参考,能够在短时间内获取所需要的大量数据与信息,尽快了解飞机结构典型

对接设计历史的演变情况,掌握多型号结构典型对接设计的优、缺点,在继承前人的基础上实现创新。典型图册所包含的内容有:结构布局,如壁板、加强框、梁、桁条、接头等典型结构。大部件对接,如机体机翼、机体尾翼、机体或机翼与起落架、机体各段对接、中央翼外翼、短舱与机翼等。通过成熟机种采用结构型式,优缺点分析,推荐型号使用。典型结构的连接,如机体壁板、机体框、梁连接、门框、舱门、观察窗、地板等,在改型或新研型号可采纳,减少设计反复和提高设计质量。

5 容差分配及无余量对接

确定好结构模块化接口,通过合理容差分配和无余量装配,提高装配精度。无需或尽可能采用简单的夹具来确定部件的相互位置并能满足公差要求,部件之间的过渡面无需或便于修正和协调加工。对合面的连接应给出足够的设计补偿和工艺补偿,以及维修的可能性。部件对合的工作面应开敞,有足够的装配和施工通路。对合接头布置时应使一个部件只与另一个部件对合,避免同时和两个以上的部件对合。机体舱段间的连接一般采用凸缘式对接,两缘条对接可采用凸台补偿、垫片补偿以及利用结构易于变形的特征进行尺寸补偿。部件对接时应避免插接现象,部件的对接应尽量能使机体组合成整段对接,尽可能少的采用散件对接。对于平面多孔对接,孔与螺栓之间应给以较大的补偿间隙,达到精确设计与数字化对接。

结构模块化无余量对接是指零件、组件、部件及整机装配时不再进行任何修合性加工,就能满足装配要求,且所装配的组件、部件及整机完全满足飞机完整性要求。分配好容差可提高飞机零件、组件、部件的装配协调性及制造互换性,有利于提高装配效率、抗疲劳性

能、防腐蚀能力,也可防止结构表面层的破坏,提高飞机寿命。

无余量装配是产品设计与制造过程所追求的一种目标,为了解决零部件在飞机装配中由于零件制造误差、装配定位误差而累积形成的误差,满足飞机装配准确度的要求,达到组件或部件的协调互换要求,保证外形准确度、装配准确度、尺寸精度和互换协调等要求,通过充分协调零件之间关系和合理分配容差来实现装配前零部件不留余量或少留余量的装配方法。

在装配过程中考虑误差累积,合理设计装配协调路线和装配容差及零件容差,实现装配单元的无余量装配,最终实现飞机产品的无余量装配。飞机装配中实现无余量装配有两种途径:一是通过预修配达到无余量装配,二是通过零件无余量制造达到无余量装配。

6 结束语

将模块化思想融入飞机设计、制造和管理中,每个模块的设计和进步都会独立于其他模块的设计和进步,通过模块化可以实现同一产品、产品过程的各子模块的并行设计与生产制造。既减少设计工作量,又减少重复出现的技术过错,也增大功能部件的互换性、维修性和生产性。另外,模块化技术减少了零部件品种,提高了零部件的通用化水平,使工艺和生产管理简化、方便,达到提高结构快速设计能力,保证产品质量。

AST

参考文献

[1] 贾延林. 模块化设计[M]. 北京:机械工业出版社.

作者简介:

王哲,研究员,主要从事飞机结构、机构设计与研究工作。