

文章编号:1674-8190(2013)02-219-07

基于模块的飞机产品结构管理

许松林, 龚文秀, 王惠玲

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 飞机研发是一项大型的系统性工程,传统的飞机产品结构由于零组件数据集包含有二维图纸、三维模型、临时更改单等大量文档且更改较频繁,同时制造、维修等部门在工程数据重构中存在工作量大和转换易脱节等特点,导致产品数据管理异常复杂和困难,效率也较低。为了简化飞机产品结构管理方式,在借鉴国际主流飞机制造商经验的基础上,通过结合模块化理论和全三维设计手段。以某一型号的民用飞机为例,重点从产品结构的组织模式、数据集的构成、产品数据的更改规则对该管理方案进行了阐述。从而保证了构型数据管理的便捷性和准确性,也符合未来飞机产品研发全数字化的发展方向。

关键词: 产品结构;模块;构型;零组件

中图分类号: V221

文献标识码: A

Product Structure Management of Aircraft Based on Modularity

Xu Songlin, Gong Wenxiu, Wang Huiling

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: Aircraft development is a huge systematic engineering, Part dataset of traditional aircraft product structure including mass documents such as 2D drawings, 3D models, temporary change sheets, which change frequently. At the same time, it also costs manufacture and maintenance department a lot of work to reconstruct engineering data which is apt to be mistaken, so the management of the product data is very complex, hard, and low efficient. In order to simplify the solution of aircraft product structure management, and referring to the experiences of other international leading aircraft company, a simplified product structure management solution based on module theory and three dimension design method is developed. A certain type of aircraft is taken as an example. The organized mode of product structure, the composition of engineering dataset and the rules for data change are described to make sure that the configuration data is convenient and exact. It conforms to the full digital trend of aircraft product development in the future.

Key words: product structure; module; configuration; parts

0 引言

模块化的核心思想是结合系统工程的概念将复杂产品进行分解,将强耦合关系的产品或数据进行封装,通过接口与其他模块交联,并使模块之间

保持较弱的关联关系^[1-2]。将模块分配给不同部门或人员进行研发、制造,可以非常显著的降低产品复杂性、减少研发成本和提高管理效率,极大的方便产品的配置和维护工作^[3-5]。

航空、航天等产品的研发属于大型的系统性工程,由于内部关系复杂,更改牵涉面广,为了应付庞大的产品数据和复杂构型的管理,世界上主流的飞机制造厂商已经采用了模块化^[3-5]的方式对产品进行设计、制造和维护。

收稿日期:2012-11-17; 修回日期:2012-12-24

通信作者:许松林, xusonglin@comac.cc

本文在 B787 等飞机较先进产品结构管理思想基础上,以某型号民用飞机研发为基础,综合运用模块化思想和全三维设计手段,结合实际案例提出一套符合我国国情且较完整的民用飞机产品结构管理思路。

1 国内外飞机产品结构管理现状

1.1 国外现状

波音、空客、庞巴迪等各主要飞机制造商在 20 世纪 80 年代左右开始将传统的基于图样结构树的产品结构管理方案逐步推广到基于模块的产品结构管理方案^[2-3],通过多构型配置、小批量生产的模式,延伸出各子型号的飞机,丰富产品类型,满足不同用户及更改的要求。

目前波音、空客、庞巴迪等飞机制造商在各自型号中,主要通过设计对设计和制造工作包以及构型管理项的分解实现模块化管理,并通过架次有效性控制设计模块的更改。管理思路类似,但在设计手段、细节控制和操作上有所区别。

资料显示,B787 等最新的机型,在继承早期 B737NG 等模块化设计和制造思想基础上,完全取消二维图样并使用全三维模型表达产品信息,将大量工作从二维图纸中解放出来,使产品结构中零组件件号对应的管理对象更加集中和唯一。迅速降低管理对象复杂度,极大提高工作和产品更改效率,逐步建立了各企业新的产品结构管理标准。

B787 项目在新的模块化产品结构管理中,简化了零组件更改原则,只要影响到制造的实物(功能、配合、外形)都可通过更换零组件构型号方式更改,除非仅修订数模中的表达错误,且在产品库存管理中摒弃了对图样版本的控制。

庞巴迪、空客等飞机制造商在产品结构管理中针对零件的管理,也采用与波音公司类似的全三维表达方式。但考虑到目前各类工厂在生产装配和安装、以及制造检验管理中全面实施全三维管理存在的困难^[3],保留了安装和装配的二维图样,保证从传统的模块化产品结构管理向全三维模块化管理的平滑过渡。

1.2 国内现状

国内民用飞机项目中,ARJ21-700 等飞机的产

品结构仍采用传统的基于结构树的管理方式,并以图样版次表达不同零组件的构型,由于该产品结构的图样层次嵌套较深,很难将较稳定的产品数据进行分离并优先安排生产。同时,二维与三维并行在产品结构中,导致部分图样更改信息可能不存在不完全同步等困难。单架次飞机的构型状态,也必须通过图样编号和版次层层进行过滤和筛选,不利于小批量、多构型的配置型生产和更改,以及项目进度安排和经费管理。

国内 20 世纪 90 年代中后期在接受波音、空客公司等转包生产中,接触到了模块化的思想和操作实践,并在中欧合作研发的某小型直升机项目中逐步采用了传统的模块化管理手段。无论是在并行设计工程、还是工厂的制造和装配中均取得了较好的实践效果,一定程度上提高了研发效率,降低了制造成本。

目前,国内针对全三维零组件设计趋势已进行了一些学术研究和应用^[3,6-7],也转包了部分 B787 项目的小型工作包。但基于模块化的全三维产品结构管理在国内飞机领域,作为一种成熟、实用的工业化方法,尚未形成一套完整、可行的理论和实践标准。

2 模块化产品结构的组织

按照国际主要飞机制造商的经验,模块化产品结构分解应能够反映工作包和工作分解结构,且符合制造与装配工艺路线。满足维修性分析和维护工作,同时也能够为项目进度安排和成本分析提供较好的分解对象。

2.1 组织形式

以某一民用喷气式飞机(型号 U01-8)为例,提出一种符合以上要求的产品结构组织形式,如图 1 所示。

产品结构管理的两类节点分别是:设计构型项(Design Configuration Item,简称 DCI)和设计模块(Design Module,简称 DM)。

设计构型项(DCI)标识为同一型号产品结构中不变的管理节点,具体分为两类。

(1) WP_DCI(Work Package_DCI):该构型项可作为单独交付的工作包(该编号与飞机架次结合可标识为一特定的交付部件)。

(2) WB_DCI(Work Breakdown_DCI):工作分解构型项,一般标识为产品结构中的装配、工艺分解或产品维护层次。

设计模块(DM)产品设计构型和架次有效性信息,具体分为三类。

(1) DM:一般的、通用的、小型的组件或装配

模块。

(2) Link_DM:模块与模块,大部件或重要组件之间对接的连接模块。

(3) Install_DM:单独交付部件或设备的安装模块。

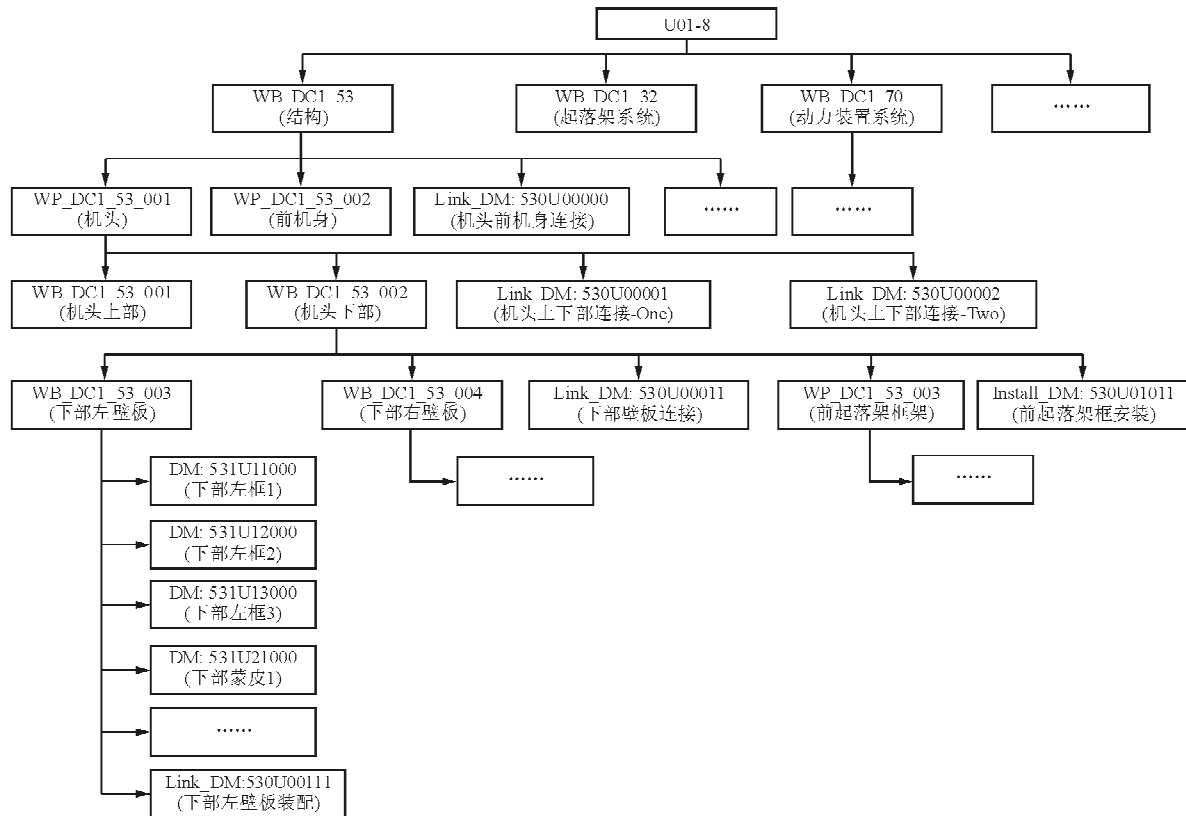


图 1 模块化产品结构组织形式

Fig. 1 Organized mode of modular product structure

2.2 分解原则

根据飞机研制的实践经验,建议模块分解遵循以下通用原则:

(1) 从飞机各工作包(Work Package)中进行模块分解,确保模块对工作包的可追溯性,以及和工作分解结构的一致性。

(2) 结合各工作包对全机性设备、导管、线束或线缆安装等进行模块分解。

(3) 需要重点控制的重要组件,与其他项目或设备具有复杂的接口关系,或具有高风险特征的项目(如新技术),及替代该项目的备份项目中进行模块分解。

(4) 飞机各大系统应按产品特点及功能关系

对产品数据进行分包并封装,以提高模块分解效率及与机体结构模块匹配性。

(5) 选项安装时,被替换或更改的项目也需分解出与选项匹配的模块。

(6) 飞机结构件模块分解还应结合设计和工艺分离面划分,使模块的分解便于工艺及制造使用、重构和维修的分析及实施。

此外,飞机模块的划分还需要考虑到模块功能独立性、大小适中性、数据完整性等模块化通用思想^[1-5]和要求。

3 模块图样数据集组成

从简化构型管理控制对象的角度出发,本文提

出图样数据集应该尽量减少需要管理的文档,以方便零组件及图样数据集更改控制的实施。

以 U01-8 飞机下某结构模块为例,其工程数据集包含内容如图 2 所示。

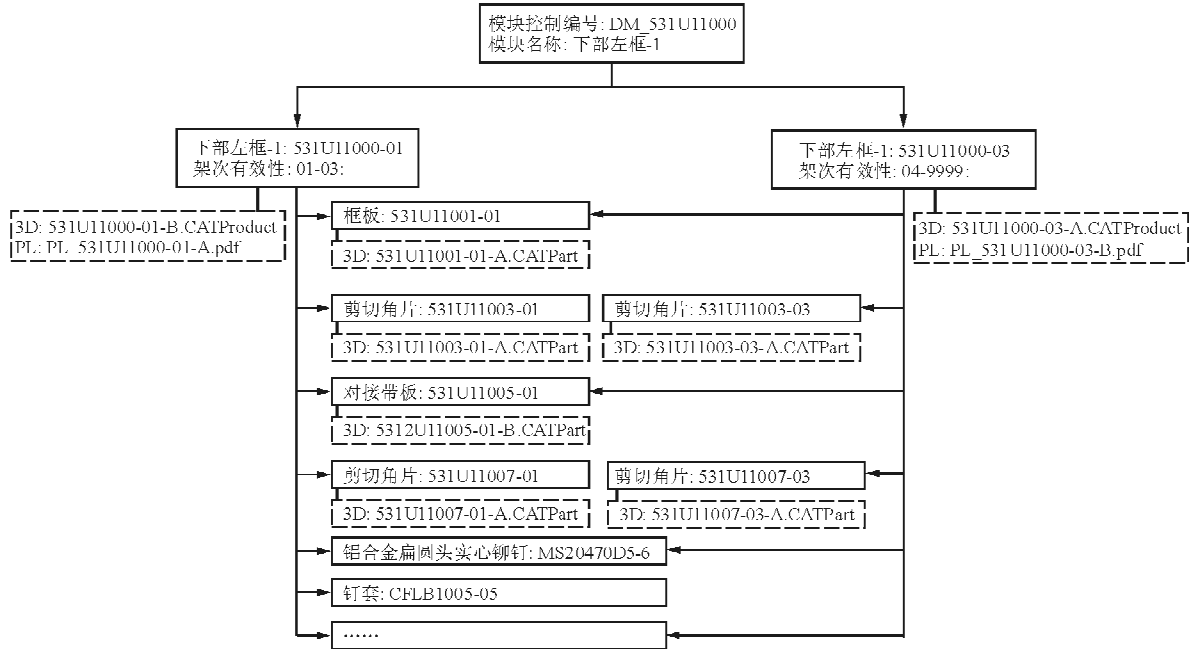


图 2 模块的组织结构形式

Fig. 2 Organized mode of the module

(1) 模块控制编号:模块的基础编号(主图样编号)。

(2) 模块的构型号:模块主图样编号加上单独构型号,以表达确定的构型。

(3) 模块架次信息:各构型的模块必须具有相应的架次信息,用于指导各生产部门或厂商确定该模块下零组件及图样数据集的适用性。

(4) 图样数据集:详细的工程设计信息,不再记录架次有效性等配置信息。

图 2 中图样数据集信息组成有五条要求:

(1) 目前全三维数模^[3,6-7]已可完全表达一个零组件的工程设计和制造信息,这也是航空产品设计手段的发展趋势。因此,针对零件仅管理对应三维模型,每个构型的零件对应一个三维模型。

(2) 模块采用三维数模结合零组件清单(PL表)进行表达,其中三维数模在数字化平台中表达该模块的装配关系,PL表表达该构型模块下装机的零组件件号及其他三维无法清晰表达的构型信息。

(3) 模块内部实现全扁平化管理,所有模块层次应控制在两层结构,即模块下直接关联零件,严格控制零件的更改追溯。

(4) 从目前装配与安装角度出发,全三维模型仍无法完全取代二维图样。因此,为了便于工厂大部件的装配和安装,针对 Link_DM、Install_DM 对应的顶层连接和安装模块允许使用二维图样辅助表达,其他模块不允许使用。

(5) 架次有效性信息仅记录在模块配置表中,该配置表作为工程发放指令的一部分,用于描述不同构型模块的装机信息。

各构型模块对应一份 PL 表,其格式可用示例模板表达,如图 3 所示。

公司版权签署等 其他相关信息	机型 U01-8	页码 1 of 2	零组件列表 531U11000-03	版次 A
	标题: 下部左框1			
零组件清单				
零组件/标准件编号	名称	数量	应用规范	
531U11001-01	框板	2	
531U11003-03	剪切角片	1	
531U11005-01	对接带板	1	
531U11007-03	剪切角片	1	
MS20470D5-6	铝合金扁圆头实心铆钉	14	
CFLB1005-05	钉套	20	
.....	其他关于本模块的装配/安装等信息			
.....				

图 3 模块 PL 表模板示例图

Fig. 3 Illustration of PL sheet template for module

与传统的产数据数据集相比而言,本方案可以极大的减少研制过程中的数据控制和管理对象。

4 图样数据集的更改控制

由于飞机在研制和批产阶段,图样数据集面临大量的更改和配置需求^[4-5,8-13],提出一种既有利于设计数模的更改,又有利于工厂制造以及库存状态管理的更改控制算法,具体分为零件和模块(装配件)及对应数据集的更改。

4.1 零件及图样集的更改要求

零件因无二维图样,信息全部由三维数模进行表达,三维数模编号的组成信息如图 4 所示。

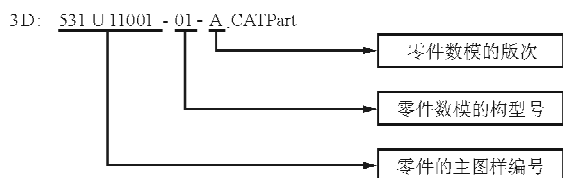


图 4 零件数模的编号规则

Fig. 4 Numbering rule for detail part model

零件更改有四条要求:

- (1) 无已制品(含在制品),零件更改不必换件号,三维数模升版(如版次从 A 版升为 B 版)。
- (2) 存在已制品(含在制品)且更改前后构型保持一致(非外形、配合、功能的更改),零件更改不必换构型号,三维数模更改直接升版。
- (3) 存在已制品(含在制品)且允许装机,如更改前后构型不一致,零件必须换号,同时生成新构型的三维数模。
- (4) 零件对应的图样,最新版本有效,即新版本发布旧版作废。

零件的构型用“主图样编号+构型号”表达,其对应三维数模的版次不作为区分构型的依据,仅表达该构型零件所对应图样的更改次数。

4.2 模块及图样集的更改要求

模块数据集包含三维图样、PL 表、二维图样(仅针对连接和安装模块),主要组成形式如图 5 所示。

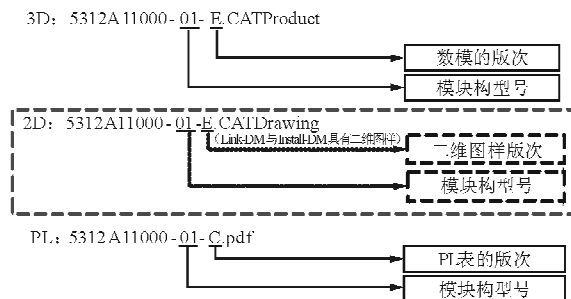


图 5 图样数据集的编号和更改规则

Fig. 5 Numbering and change rule for drawing dataset

设计模块一般更改有五点要求:

- (1) 如模块下零件换版更改不影响装配,模块的三维模型及 PL 表不必更改。
- (2) 如模块下零件换版更改影响装配,三维模型和对应的 PL 表根据需要各自独立升版更改(因 PL 表与三维数模表达的信息不完全一致)。
- (3) 模块下零件换号,增加或删除零件和标准件,如模块存在已装机构型(或已制构型并允许装机)则必须换号,即对应生成新构型的三维数模、二维图样、PL 表。
- (4) 模块下零件换号,增加或删除零件和标准件,如无任何装机和已制构型,则组件的三维模型、二维图样、PL 表必须同时换版。
- (5) 具有二维图样的 Link_DM 和 Install_DM,二维图样作为三维图样描述的辅助表达,更改必须与三维图样保持一致版本。

因采用了以零组件件号为中心的管理方法^[2],则零组件构型号及对应图样集的更改判断规则,可采用的更改判断算法,如图 6 所示。

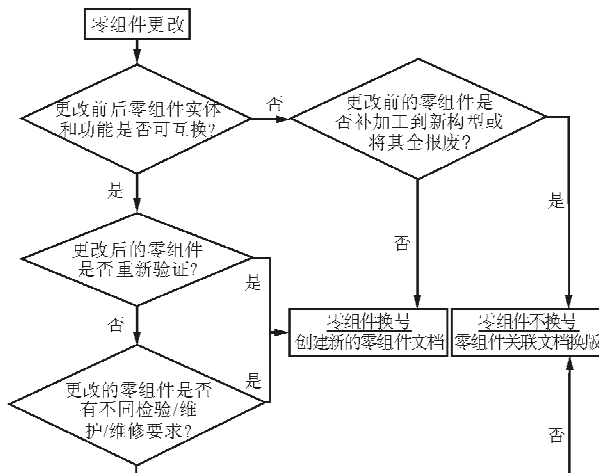


图 6 工程更改引起的零组件更改规则

Fig. 6 Parts change rule inducing by engineering change

通过对 U01-8 飞机某部件发图和更改的模拟验证,表明所提出的产品数据更改方式具有较好的可操作性和可控制性,并可极大的提高更改控制的效率。

5 图样数据集的指令发放

图样数据集作为产品结构更改控制对象,其中任何构型信息发生更改,均应通过工程指令(Engineering Order,简称 EO)对更改内容进行发布。

模块及零件图样或其他任何构型信息的更改,均应通过三维模型、二维图样(按需)、PL 表更改实现,更改信息应以模块控制编号为单元对各构型模块的更改、签署进行统一的发放管理。

图样数据集发放和更改指令的实现如图 7 所示。

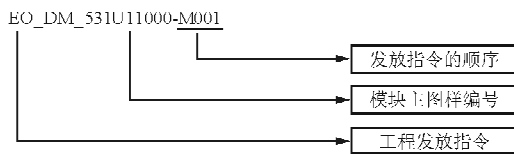


图 7 图样数据集发放和更改指令编号格式

Fig.7 Numbering format of release and change order for drawing dataset

图样数据集的主要更改内容应在更改发放 EO 中描述,主要更改有三条要素。

(1) 更改控制编号:描述该更改的输入源,比如更改控制委员会(CCB)的会议纪要,工程更改输入编号等。

(2) 更改主要描述:描述每个模块下零组件件号及图样版本更改前后状态,主要更改内容,模块架次有效性变化信息等。

(3) 更改发放要求:因模块之下的零组件不再单独记录有效性信息,更改发放必须以模块为单元进行描述。

6 模块化产品结构管理的特点

U01-8 飞机各构型模块可由设计优化或选项选配产生,因已将有效性直接配置在模块层级,可大大减少设计员的工作量并提高单架次构型配置的效率,使设计员更好的专注于设计工作,提高产品研发质量。

由于大幅减少二维图样信息,使数据源更加唯一,避免了潜在的二维图样和三维信息的不一致,

更加方便更改控制和实施。

模块对应的 PL 表结合架次有效性,可以非常简单直观的输出各构型模块的装机状态,及所对应的图样集。由于其规则简单,便于数字化系统平台的开发和推广。

本方案从整个产品研发和项目的角度来看,能提高企业整体的研发和管理效率,为产品迅速推向市场和满足客户需求提供有力保证。

7 结论

结合模块化思想和全三维设计手段,分析了一种基于工作分解结构,满足设计、制造、维修等需求并以零部件号为中心的产品结构管理方案,重点从结构分解形式、数据集组成、更改控制方式方面进行了分析和研究。

所述方案的有效实施还有赖于全三维设计规范的跟进、PDM 管理系统的实现,是未来数字化产品数据管理的一种发展方向和趋势,有望为我国民用飞机或其他大型复杂产品的研发提供技术参考。

参考文献

- [1] 唐涛,刘志峰,刘光复,等.绿色模块化设计方法研究[J].机械工程学报,2003,39(11):149-154.
Tang Tao, Liu Zhifeng, Liu Guangfu, et al. Research on the methodology of green modular design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2003, 39(11): 149-154. (in Chinese)
- [2] 侯亮,唐任仲,徐燕申.产品模块化设计理论、技术与应用研究进展[J].机械工程学报,2004,40(1):56-61.
Hou Liang, Tang Renzhong, Xu Yanshen. Review of theory, Key technologies and its application of modular product design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(1): 56-71. (in Chinese)
- [3] 范玉青,梅中义.大型飞机数字化制造工程[M].北京:航空工业出版社,2011:281-310,575-590.
Fan Yuqing, Mei Zhongyi. Big airplane digital manufacturing engineering [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2011: 281-310, 575-590. (in Chinese)
- [4] 范林,王哲.模块化技术在飞机研制中的应用[J].航空科学技术,2010(3):19-21.
Fan Lin, Wang Zhe. Application of modularization technology at each development stage of aircraft[J]. Aeronautical Science and Technology, 2010(3): 19-21. (in Chinese)
- [5] 王庆林,余国华,王睿.构型管理[M].上海:上海科学技术出版社,2010:169-194,240-254.
Wang Qinglin, Yu Guohua, Wang Rui. Configuration management[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2010: 136-139, 240-254. (in Chinese)

- [6] 冯潼能, 王铮阳, 宋娅. MBD技术在协同设计制造中的应用[J]. 航空制造技术, 2010(18): 64-67.
Feng Tongneng, Wang Zhengyang, Song Ya. Application of MBD in Collaborative Design and Manufacturing [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(18): 64-67. (in Chinese)
- [7] 周秋忠, 查浩宇. 基于三维标注技术的数字化产品定义方法[J]. 机械设计, 2011(1): 33-36
Zhou Qiuzhong, Zha Haoyu. Digital product definition method based on 3D annotation technology[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(1): 33-36. (in Chinese)
- [8] 于勇, 范玉青. 飞机构型管理研究与应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(3): 278-283.
Yu Yong, Fan Yuqing. Study and application of aircraft configuration management[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005, 31(3): 278-283. (in Chinese)
- [9] 范丽华, 伍剑刚, 刘永红. 飞机构型管理研究与应用[J]. 洪都科技, 2008(1): 50-54.
Fan Lihua, Wu Jiangan, Liu Yonghong. Development and application on A/C configuration management[J]. Hongdu Science and Technology, 2008(1): 50-54. (in Chinese)
- [10] 卢鹤, 范玉青. 飞机简化构型管理关键技术研究[J]. 航空维修与工程, 2007(3): 45-48.
Lu Heli, Fan Yuqing. Embedded research of airplane simplified configuration management [J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2007(3): 45-48. (in Chinese)
- [11] EIA649-A National Consensus Standard for Configuration Management [S]. USA; Electronic Industries Alliance, 2004.
- [12] ARP4754-A Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems[S]. USA; SAE International, 2010.
- [13] 郝莲. 民机转包生产中的构型控制[J]. 航空制造技术, 2001(5): 39-42.
Hao Lian. Configuration control in the subcontract production for commercial aircraft[J]. Aeronautics Manufacturing Technology, 2001(5): 39-42. (in Chinese)

作者简介:

许松林(1981—),男,工程师。主要研究方向:构型管理、产品数据管理。

龚文秀(1982—),女,高级工程师。主要研究方向:构型管理、项目管理。

王惠玲(1964—),女,研究员。主要研究方向:飞机环控、安全救生、构型管理。

(编辑:张杰)

(上接第149页)

- [20] 吕文林. 航空发动机强度计算[M]. 北京:国防工业出版社, 1988: 111.
Li Wenlin. Strength calculation of aero engine[M]. Beijing: Nation Defense Industrial Press, 1988: 111. (in Chinese)
- [21] 王耀先. 复合材料结构设计[M]. 北京:化学工业出版社, 2001: 145-148.
Wang Yaoxian. Design of composite structure[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001: 145-148. (in Chinese)
- [22] 孙庆伟. 航空发动机复合材料主轴优化设计方法[D]. 西安:西北工业大学动力与能源学院, 2013.
Sun Qingwei. Design and optimization method for composite main shaft of aircraft engine[D]. Xi'an; School of Power and Energy, Northwestern Polytechnical University, 2013. (in Chinese)
- [23] 陆山, 陈倩, 陈军. 航空发动机主轴疲劳寿命预测方法[J]. 航空动力学报, 2010(1): 148-151.
Lu Shan, Chen Qian, Chen Jun. Method of predicted fatigue life of aeroengine's principal shaft[J]. Journal of Aerospace Power, 2010(1): 148-151. (in Chinese)
- [24] 王震鸣. 复合材料力学和复合材料结构力学[M]. 北京:机械工业出版社, 1991: 7-9.
Wang Zhenming. Composite material mechanics and composite structure mechanics [M]. Beijing: China Machine Press, 1991: 7-9. (in Chinese)
- [25] 赵稼祥. 碳化硅纤维及其复合材料的进展[J]. 飞航导弹, 2001(1): 60-63.
Zhao Jiayang. Development of SiC fiber and the composite material with it[J]. Winged Missiles Journal, 2001(1): 60-63. (in Chinese)
- [26] 刘小利. 连续纤维增强整体叶环结构优化设计方法研究[D]. 西安:西北工业大学动力与能源学院, 2012.
Liu Xiaoli. Research on structure optimum design method of continuous fiber reinforced bling[D]. Xi'an; School of Power and Energy, Northwestern Polytechnical University, 2012. (in Chinese)
- [27] 闻荻江. 复合材料原理[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 1998: 100-110.
Wen Dijiang. Composite material theory[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 1998: 100-110. (in Chinese)
- [28] 沃丁柱. 复合材料大全[M]. 北京:化学工业出版社, 2000: 496-499.
Wo Dingzhu. Composite material encyclopedia [M]. Beijing; Chemical Industry Press, 2000: 496-499. (in Chinese)

作者简介:

陆山(1955—),男,教授,博导。主要研究方向:航空发动机结构,强度、疲劳和可靠性分析。

孙庆伟(1987—),男,硕士研究生。主要研究方向:航空发动机复合材料结构设计及强度分析。

(编辑:张杰)