

文章编号:1674-8190(2021)06-127-07

基于EBOM的航空发动机设计构型单台管理方法研究

罗海东,陈芝来,肖金彪

(中国航发湖南动力机械研究所 基础技术研究部, 株洲 412002)

摘要: 航空发动机产品结构复杂、工程更改频繁,采用传统的产品结构分解和目录管理模式,或者简单地以EBOM代替目录,很难实现设计构型的实时准确定义。本文系统地总结WZ16发动机和EC175传动系统的构型管理对外合作经验,研究Teamcenter系统的有效性配置功能;从便于型号系列化发展和构型管理的角度,提出基于EBOM的设计构型单台管理方法,并对某型民用涡轴发动机构型管理进行初步验证。结果表明:采用该方法能有效提高设计构型的管控效率和准确性。

关键词: WZ16发动机;EC175传动系统;EBOM;有效性配置;单台管理

中图分类号: V23

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.2021.06.15

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the Single Management Method of Aero-engine Design Configuration based on Engineering Bills of Material

LUO Haidong, CHEN Zhilai, XIAO Jinbiao

(Fundamental Technology Research Department, AECC Hunan Aviation Powerplant Research Institution, Zhuzhou 412002, China)

Abstract: The product structure of aero-engine is very complex, and its engineering change is frequent, so it is difficult to realize the real-time and accurate definition of design configuration by using the traditional parts list management mode or simply replacing the parts list with engineering bills of material (EBOM). In this paper, the configuration management experience of WZ16 engine and EC175 transmission systems is summarized, and the effectiveness configuration function of Teamcenter system is studied. From the perspective of facilitating model serialization development and configuration management, a single management method of aero-engine design configuration based on EBOM is proposed, and the configuration management of a certain civil turboshaft engine is performed with preliminary verification. The results show that the method can effectively improve the control efficiency and accuracy of the design configuration.

Key words: WZ16 engine; EC175 transmission system; engineering bills of material; effectiveness configuration; single engine management

收稿日期: 2021-02-03; 修回日期: 2021-04-28

基金项目: 工信部航空发动机自主研发体系基础与应用研究(2017-I-0010-0011)

通信作者: 罗海东, 79495250@qq.com。

引用格式: 罗海东, 陈芝来, 肖金彪. 基于EBOM的航空发动机设计构型单台管理方法研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(6): 127-133.

LUO Haidong, CHEN Zhilai, XIAO Jinbiao. Study on the single management method of aero-engine design configuration based on engineering bills of material[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(6): 127-133. (in Chinese)

0 引言

航空发动机研制过程中,需要完成多份技术验证机、工程验证机和原型机的设计与试制。不仅零部件数量多,涉及整机、部件、组件、零件等不同层次,而且在研制过程中工程更改频繁。目前国内航空发动机行业中各个主机研究所通常采用传统的目录管理模式^[1],即通过“自底向上管理”的方式进行产品结构定义,再采用“目录明细表”对设计构型进行管理,一个型号发放一套零件目录、部组件目录和部组件明细表,作为工厂组织生产和装配的依据;当部分零件的构型发生更改时,需要逐级追溯至组件、部件甚至整机,再采用更改单或技术通知单的形式,明确对不同状态、不同批次零件的处理。近年来,随着产品数据管理(PDM)系统的普遍应用,部分航空发动机研究所已在信息化试点型号研制中取消目录明细表,实现了全工程物料清单(Engineering Bills of Material,简称EBOM)发放与管理,即一个型号建立一个整机EBOM。但是,对于零件构型变化的更改,或存在不同构型方案时,大多没有应用PDM系统的有效性配置功能生成不同构型发动机的单台份EBOM进行管理,仍然无法实现设计构型的实时准确定义,且管理效率低下。

构型管理的核心就是维护产品数据在整个生命周期不断演变的动态结构。一个产品最初被设计出来时,在PDM系统中只有一个产品结构。随着设计改进或者客户需求变化,会派生出含有多个型别的型号系列,产品结构相应地扩展为一棵“产品结构类”树^[2-4],即“超级EBOM”^[5],它包含了产品各型别的所有零部件组成,然后通过PDM系统的有效性配置功能将产品各种构型和版本的设计数据进行关联及管控^[6]。国内外飞机行业,为了便于构型管理实施和更改控制,采用了基于模块化设计思想,从设计和制造角度将产品划分成合适的单元(即构型项),将产品结构进行扁平化,然后基于构型项对不同构型进行有效性定义,从而实现每一台份产品设计构型的准确和清晰定义^[7-11]。飞机行业基于EBOM的有效性配置管理思想可以为航空发动机实施构型管理提供借鉴,但由于采用的PDM系统具体类型存在差异,具体做法不能完全适用。

本文通过分析传统的产品结构定义及管理模

式存在的弊端,总结WZ16发动机和EC175传动系统对外合作取得的构型管理相关工作成果,结合Teamcenter系统(航空发动机行业内常用的PDM软件)的数据模型和产品结构管理功能,提出实现航空发动机单台EBOM管理的方法,包括“CI-DS-Part”产品结构定义方式、构型项划分及EBOM构建、更改及有效性配置,以及单台份构型定义等具体内容,并对某型民用涡轴发动机构型管理进行初步验证。

1 传统产品结构定义及管理模式

航空行业传统的产品结构定义及管理模式是:将零件、组件、部件/系统自底向上地进行装配,形成整机数字样机,再编制发布整机、部件/系统的“三大目录”(零件目录、部组件目录和部组件明细表)对发动机的产品结构组成进行管理。产品结构定义模式如图1所示。

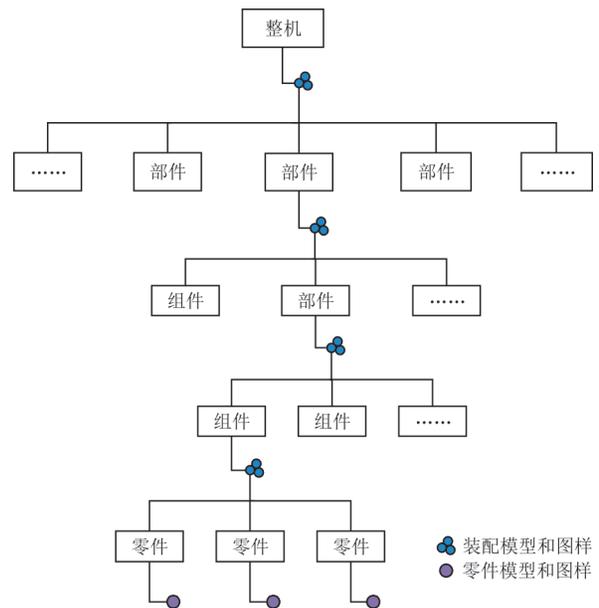


图1 传统产品结构定义架构

Fig. 1 Architecture of the traditional product structure definition

在这种设计模式中,下级零组件之间的装配关系直接在直属上级部组件的三维模型和二维图样中表达,各部件和整机的数据模型版本(含三维模型及二维装配图)都需要冻结发布。当各部件总成下属的组件换号更改时,需要逐级往上追溯,并“同步”更改“三大目录”。因此,往往存在一个零件换号导致部件/系统、甚至整机数据模型换号

的情况,“三大目录”也很难做到及时同步更新,更改频繁。

2 WZ16发动机管理模式

WZ16发动机按照透博梅卡公司的方法^[8],基于“模块化”的思想划分了构型项,构型项采用“构型号”进行标识,构型项的设计图样采用“设计图号”进行标识,即“构型号”和“设计图号”分离,然后通过构型定义文件(相当于构型清单)明确每一台份发动机的构型(即各构型项的“构型号”所对应的“设计图号”)。主要特点有如下四点。

(1)“设计图号”是设计构型和制造实物的唯一标识,即件号;“构型号”只相当于产品分解结构编码,当发动机的构型项确定(结构方案确定)后不再改变,即构型更改通过设计图号更改进行体现。

(2)构型项划分为4层,并逐级采用“构型号”进行标识,其中0级为发动机(包括发动机本体和标牌)、1级为发动机本体、2级为单元体/系统、3级为各单元体/系统下属的不可拆分零组件。

(3)在0级、1级和2级构型项的装配图样中,采用“构型号”标识下属的装配零组件,示例如图2所示;3级构型项中的装配图样中,采用“设计图号”标识下属的装配零组件。

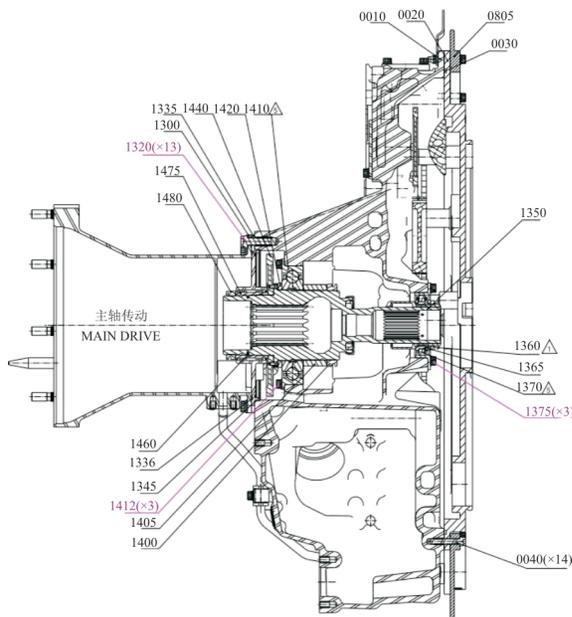


图2 2级构型项图样示例

Fig. 2 Example of the 2 level configuration item drawing

(4)在不同台份发动机的构型定义文件中,明确“构型号”与“图号”及其版本、数量等之间的关系,3级构型项以下的零组件不在构型定义文件中体现。

采用这种模式的主要优点有以下两项。

(1)能有效降低构型项装配图样的更改频率。当2级及以下构型项的“3FI”发生改变,导致对应的设计图样发生换号更改时,由于构型号不变,从而上一级构型项的装配图样不需要同步更改。

(2)便于实施单台份管理。构型号不变,通过在每一台份发动机构型定义文件中明确构型号所对应的具体设计图号及版次,便于实施设计构型的单台份管理。

但是,由于WZ16发动机没有在PDM系统中采用EBOM管理,每一台份发动机的构型不是通过有效性配置实现,而是通过“人工”进行状态清理和定义,管理效率偏低,无法满足目前的信息化要求。

3 EC175传动系统管理模式

EC175传动系统按照空客公司的方法^[7],应用PDM系统进行产品结构定义与管理,如图3所示,产品结构分为构型层和设计层。构型层由构型项组成,构型项分为ICI(不可变构型项)、VCI(可变构型项)和LINK CI(连接构型项),其中ICI为构成产品基本结构的固有组成,下面不挂设计数据;VCI是进行有效性配置和控制的对象;LINK CI用于表达各同级CI之间的装配关系并管理连接件和小零件,也属于VCI。设计层由VCI和LINK CI对应的“D节点”(设计节点),以及构型项的设计模型/图样组成。“D节点”的作用主要是实现构型层和设计层的权限分离,即“D节点”及设计模型/图样由设计人员管理,构型项由构型人员管理^[12]。最初的EC175采用VPM系统管理时,并没有“D节点”,而是将VCI分为“构型管理VCI”和“设计VCI”。本文借鉴EC175模式采用Teamcenter管理时,采用了“D节点”。

这种模式的主要优势有以下三项。

(1)由于ICI研制阶段不发布冻结,当VCI的构型发生变化或者产生新构型时,可以直接在EBOM中将原VCI换号更改或者创建新的VCI,并对同级的LINK CI进行同步更改,而不需要再对上

一级 ICI 进行修订更改。

(2) 简化了有效性管理的粒度。将 VCI 作为有效性管理与配置对象, 相比于传统的以零件级作为管理对象, 极大地简化了有效性管理的粒度。

(3) 便于实施单台份管理。VCI 的构型更改时, 换号、产生新构型项, 通过在 EBOM 中定义不同 VCI 对不同台份发动机的有效性, 能实现发动

机单台份管理。

EC175 合作项目中, 整机的产品数据及单架次构型配置主要由空客公司负责。而且, 由于没有采取“构型号”和“设计图号”分离的方式(即 VCI 没有单独的“构型号”, 其编号就是设计图号), VCI 发生换号更改时, 其上级 LINK CI 的装配图样也需同步更改。

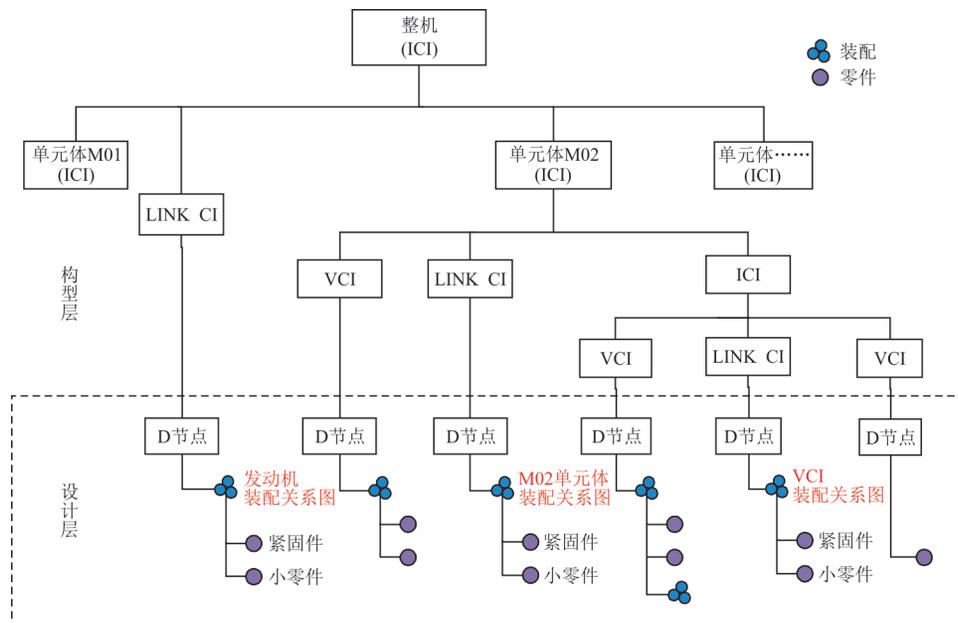


图3 EC175产品结构定义架构

Fig. 3 Product structure definition architecture of EC175

4 基于EBOM的发动机单台管理方法

EC175传动系统的管理模式能够实现飞机单架次管理, 但无法直接适用于Teamcenter系统。因此, 需要结合Teamcenter的数据模型(Item)和产品结构管理功能, 对EC175传动系统的产品结构定义方式进行改进, 并融合WZ16发动机管理模式的优点, 形成一种适用于航空发动机的EBOM单台管理方法。

4.1 “CI-DS-Part”产品结构定义方式

根据Teamcenter的Item类型, 参考“CI-LR-DP”方式^[11]和“CI-LO-DS”体系^[12], 将适用于发动机的产品结构定义方式命名为“CI-DS-Part”。其中, “CI”是构型项, 主要通过产品功能和结构分解进行确定, 相当于功能意义上的产品“组成”, 不是物理实体; “DS”即“Design Solution”的简称, 是

“CI”的设计方案, 当一个CI存在多种构型方案时, 相应地对应多个DS; “Part”是构型项每种设计方案的物理实现, 即“CI”某个“DS”的设计模型/图样。其主要特点有如下三项。

(1) 产品结构定义的架构与EC175传动系统基本类似, 分为顶层、配置层和设计层。

(2) 顶层CI构成产品结构的顶层, 其装配关系在下一级的连接CI中表达; 底层CI及其DS构成配置层, 顶层和配置层构成发动机的构型树。CI和DS在PDM系统中的数据模型都是虚节点, 没有设计图样信息, CI主要用于创建型号(或系列化型号)的构型树, DS用于CI不同构型的有效性配置。

(3) Part构成产品结构的设计层, 在PDM系统中的数据模型为物理节点, 用于管理CI某个DS的设计模型/图样, 以及构型项下属零组件的设计模型/图样。

例如, 某型民用涡轴发动机在不同台份的工

程验证机研制中,采用了单油路喷嘴和双油路喷嘴两种不同的构型,分别是不同的底层 CI,在 Teamcenter 系统中应创建两个“ECI”;而在单油路喷嘴中,又存在多种不同的设计方案,分别是底层 CI 的不同 DS,在单油路喷嘴 ECI 下创建两个“EDS”。顶层 CI 在 Teamcenter 中的 Item 类型为“ETOP”,底层 CI 和连接 CI 为“ECI”,DS 为“EDS”,Part 为“零组件”。

4.2 构型项划分方法

构型项作为构型管理的基本单元与有效性定义对象,是进行产品结构定义和实现单台份配置的关键,其划分需考虑模块化设计^[13-14]、系列化发展、更改控制,并综合项目管理、综合保障以及用户需求等因素。构型项应具有较稳定的接口特性,下属零组件的更改一般不会导致其互换性受影响。对于更改比较频繁,或者需要进行单独更

改控制的零组件,一般单独划分为构型项。航空发动机研制中,一般将以下项目作为构型项:外场可更换单元;用户在发动机研制合同、产品需求文档中有明确要求的项目;单独采购和交付的成附件;研制风险比较大,或者对发动机的寿命、安全等有重要影响的零组件;对发动机寿命、可靠性等有重要影响的小零件,如转子间的连接、锁紧螺栓螺母等。

构型项按层级分为整机、单元体、部件和零组件级,其中最底层的零组件级构型项所对应的物理实体一般是具有独立功能、需检验入库的零组件,对应于产品结构定义中的“底层 CI”。除此之外的上级构型项,对应于“顶层 CI”。

某型民用涡轴发动机目前已完成整机构型项划分及设计,并按产品结构定义方式在 PDM 系统中构建整机的 EBOM(即“超级 EBOM”),如图 4 所示。

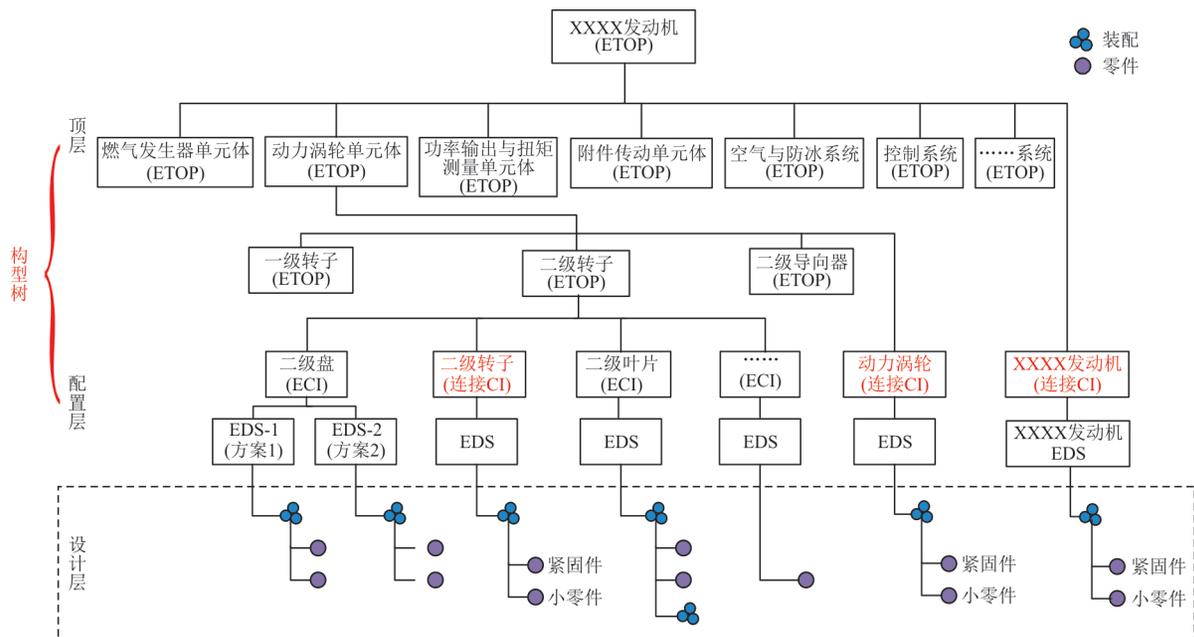


图 4 某型民用涡轴发动机产品结构定义架构

Fig. 4 Product structure definition architecture of one turboshaft engine

4.3 更改及有效性配置方法

在 Teamcenter 中按照“CI-DS-Part”产品结构定义方式完成航空发动机的整机 EBOM 构建后,其相应的更改及有效性配置方法如下:

(1) 设计层的 Part 发生换版更改时,直属父级组件可不同步更改,默认最新版有效;发生换号更改或新增零组件时,应根据对父级节点的互换性

影响,逐级向上追溯采取相应的更改形式,直到底层 CI 所对应的 Part^[15]。

(2) 底层 CI 对应的 Part,构型发生更改时,其设计图样及 DS 应换号,同层级的连接 CI 只需同步更新模型即可,装配图样可不更改。

(3) 底层 CI 如果更改前的构型不再使用,则将 DS 从产品结构中移除;如果需继续使用,则应

用“事例有效性”配置方法,分别配置更改前后 DS 对不同发动机台份的有效性。例如,根据某型民用涡轴发动机不同台份产品的研制目的,针对单油路喷嘴底层 CI 下不同的设计方案,在各个 DS 上配置有效性适用范围。

(4)当发动机的结构进行比较大的调整,需要产生新的 CI 时,创建顶层 CI 和/或底层 CI 及其 DS,在“产品结构管理器”中建立相应的装配层级关系,然后应用“事例有效性”配置新增底层 CI 的有效性。例如,针对某型民用涡轴发动机验证单油路喷嘴和双油路喷嘴两种构型的不同台份产品,配置两个底层 CI 的有效性适用范围。

(5)完成配置后,在 EBOM 中设置整机顶层 CI 的单元编号,过滤生成单台份发动机的 EBOM,然后编制单台份发动机的构型清单并发布冻结,作为单台份发动机装机和管理依据。

4.4 单台份构型定义

按图 4 所示的产品结构定义方式在 PDM 中创建的 EBOM 为“超级 EBOM”,包含发动机(或同系列发动机)不同台份研制过程中的所有构型数据。根据不同构型数据的适用范围完成有效性配置后,过滤生成每一台份发动机的 EBOM,从而实现每台份发动机的构型定义,并可以根据制造单位需要编制单台份构型清单。

例如,某型民用涡轴发动机的第 1~3 台发动机装单油路喷嘴方案一,第 4~8 台发动机装单油路喷嘴方案二。在单油路喷嘴 CI 对应的两种 DS 上采用“事例有效性”配置方法分别设置有效性适用范围为“1~3”和“4~8”,然后设置发动机的具体台份后,可以快速地生成对应台份的单台 EBOM。第 6 台发动机的单油路喷嘴设计构型如图 5 所示,为方案二。

零件 ID	零件名称	ae8_drawingNo	事例有效性
1316080033581	单油路喷嘴 (方案二)	KT10001.10.001A	4-8 (1316080033582)

图 5 单台份 EBOM 示例

Fig. 5 Example of single EBOM

某型民用涡轴发动机目前处于工程验证机研制阶段,按照每年度构型管理工作计划安排,从构型项划分、PDM 系统中整机 EBOM 建立、底层 CI 或 DS 更改有效性配置,到单台份发动机的设计构

型定义等,对基于 EBOM 的单台管理方法进行了全方位的初步验证,并已在部分台份产品加工试制中实现了单台份设计构型数据发放。初步取得的成效表明,应用该方法能有效提高设计构型的管控效率和准确性。

5 结 论

(1) 本文系统地总结了 WZ16 发动机和 EC175 传动系统的构型管理对外合作经验,研究了 Teamcenter 系统的有效性配置功能,融合 EC175 传动系统产品结构定义方法,以及 WZ16 发动机构型项装配图样表达和单台份构型定义方法,提出了一种基于 EBOM 的单台管理方法,并在某型民用涡轴发动机构型管理工作中进行了初步的验证。

(2) 一个型号建立一个“超级 EBOM”,再通过应用配置功能定义构型项不同方案的有效性,过滤生成每一台份发动机的 EBOM 及构型清单,能有效提高构型定义的“清晰度”、降低更改频次和控制难度。

参考文献

- [1] 季江宁. 浅析航空发动机小零件目录的分类管理[J]. 航空标准化与质量, 2007(2): 37-40.
JI Jiangning. Brief analysis of the classification management of the catalogue of small parts of aeroengine[J]. Aeronautical Standardization & Quality, 2007(2): 37-40. (in Chinese)
- [2] 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)
- [3] 林娅. 制造 BOM 的数据存储和查询优化技术研究及软件开发[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
LIN Ya. Data storage and query optimization technology research and software R&D of manufacturing BOM [D]. Chongqing: Chongqing University, 2007. (in Chinese)
- [4] 骆晶妍, 胡秦赣. 民机构型管理标准化初探[J]. 航空标准化与质量, 2008(5): 12-16.
LUO Jingyan, HU Qingan. Preliminary study on standardization of civil aircraft configuration management[J]. Aeronautical Standardization & Quality, 2008(5): 12-16. (in Chinese)
- [5] 赵铭岩, 杨勇, 周至明, 等. 基于模块化设计的 Teamcen-

- ter PLM 配置管理应用[J]. 工程机械, 2012(3): 13-16.
- ZHAO Mingyan, YANG Yong, ZHOU Zhiming, et al. Configuration management and application of Teamcenter PLM based on modular design[J]. Construction Machinery and Equipment, 2012(3): 13-16. (in Chinese)
- [6] 舒婷, 聂磊, 何遗非, 等. 基于PDM系统的构型管理的研究[J]. 科技创新导报, 2013(36): 153-155.
- SHU Ting, NIE Lei, HE Yifei, et al. Research and application of configuration management based on the cooperative design[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013(36): 153-155. (in Chinese)
- [7] 邹冀华, 范玉青, 蒋建军. 欧洲空客飞机构型控制与更改技术[J]. 航空制造技术, 2006(8): 62-67.
- ZOU Jihua, FAN Yuqing, JIANG Jianjun. Configuration control and change technology of European Airbus aircraft [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006(8): 62-67. (in Chinese)
- [8] 刘雅星, 郑晶晶. 飞机产品数据模块化构型管理[J]. 航空制造技术, 2010(3): 57-60.
- LIU Yaxing, ZHENG Jingjing. Module configuration management of aircraft data [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2010(3): 57-60. (in Chinese)
- [9] 贺璐, 许松林, 杨道文. 飞机构型管理中的产品结构分解研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(3): 34-41.
- HE Lu, XU Songlin, YANG Daowen. Study of product structure breakdown of aircraft configuration management [J]. Civil Aircraft Design and Research, 2010(3): 34-41. (in Chinese)
- [10] 许松林, 龚文秀, 王惠玲. 基于模块的飞机产品结构管理[J]. 航空工程进展, 2013, 4(2): 219-225.
- XU Songlin, GONG Wenxiu, WANG Huiling. Product structure management of aircraft based on modularity [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2013, 4(2): 219-225. (in Chinese)
- [11] 温文才. 民用飞机产品结构分解及管理技术研究[J]. 航空工程进展, 2017, 8(1): 115-118.
- WEN Wencai. Research on the product breakdown structure and management technology of civil aircraft [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2017, 8(1): 115-118. (in Chinese)
- [12] 黄传跃. AC352/EC175 直升机国际合作研制之鉴[M]. 北京: 航空工业出版社, 2013.
- HUANG Chuanyue. A mirror to progress: thoughts on the international cooperative development of AC352/EC175 [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2013. (in Chinese)
- [13] 王庆林. 基于系统工程的飞机构型管理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2017.
- WANG Qinglin. Configuration management of aircraft based on system engineering [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2007. (in Chinese)
- [14] ANSI. Configuration management standard: ANSI/EIA-649B[S]. US: ANSI, 2011.
- [15] 徐敏, 王鸿鑫, 张建波, 等. 民用飞机构型管理及更改控制研究[J]. 项目管理技术, 2016, 14(2): 99-103.
- XU Min, WANG Hongxin, ZHANG Jianbo, et al. Study on configuration management and change control of civil aircraft [J]. Project Management Technology, 2016, 14(2): 99-103. (in Chinese)

作者简介:

罗海东(1988—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:航空发动机构型管理,AEOS标准体系建设,航空发动机标准化。

陈芝来(1983—),男,硕士,高级工程师。主要研究方向:航空发动机构型管理,航空发动机标准化。

肖金彪(1989—),男,学士,工程师。主要研究方向:航空发动机构型管理,航空发动机标准化。

(编辑:丛艳娟)