

航空发动机工作分解结构(WBS)构建方法

于海顺,赵娜,史妍妍,姜永强
(中国航发沈阳发动机研究所,沈阳 110015)

摘要:针对航空发动机研发项目技术高、周期长、投入大的特点,提出了 1 种面向全生命周期产品研制的航空发动机工作分解结构构建方法。该方法依据系统工程的理念,充分考虑了航空发动机研究所的管理模式特点,给出了航空发动机工作分解结构的构建原则、架构、工作类型和单元说明等相关内容。通过在实际发动机研制项目中的应用,证明该方法合理、有效,提高了工作分解的完整性、合理性,增强了计划管理的可执行性,能够为项目管理提供相应的信息支撑。

关键词: 工作分解结构;系统工程;航空发动机;研制流程

中图分类号: V37

文献标识码: A

doi: 10.13477/j.cnki.aeroengine.2018.03.017

Research on Aeroengine Work Breakdown Structure

YU Hai-shun, ZHAO Na, SHI Yan-yan, JIANG Yong-qiang

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: Aiming at the trait of high technology, long cycle and large investment in aeroengine research and development projects, a method for engine work breakdown structure for product development in the whole life cycle is proposed. Based on the concept of systems engineering, this method fully considers the characteristic of the management mode of the engine research institute, and the design principle, work breakdown structure frame, work breakdown structure type and statement of element, etc was presented. The application situation of actual engine development project indicates that the methods is reasonable and efficient, which improves the integrality, rationality of the work breakdown structure, enhances the executability of plan management, and can provide corresponding information support for project management.

Key words: Work Breakdown Structure; systems engineering; aeroengine; development process

0 引言

航空发动机研制是 1 项复杂的系统工程,具有技术高、周期长、投入大的特点,如何清晰界定项目的工作范围,并在研发团队内合理分解工作任务,是航空发动机项目成功的重要基础。WBS 是项目管理全过程中确定研制范围的重要依据,也是研制项目制定计划、预估周期和成本的基础。

WBS 以可交付成果为对象,是由项目团队为实现项目目标并创造必要的可交付成果而执行的工作分解之后得到的 1 种层次结构^[1]。其概念最初是在 20 世纪 60 年代初由美国国防部(DoD)和航天局(NASA)

提出的。从提出到 1964 年美国出版政府版的 PERT 实施手册、1968 年 DoD 的 MIL-STD-881 文件、1998 年 DoD 的 MIL-HDBK-881 文件、PMBOK、ISO1006,一步步记录了 WBS 的重要性和其不断发展与完善。GJB 2116A《武器装备研制项目工作分解结构》是中国武器装备项目 WBS 编制的顶层要求,在其基础上融入全生命期的系统工程过程,是航空发动机项目 WBS 编制的依据^[2-5]。

本文依据 GJB 2116A 的相关要求,综合分析了航空发动机研究所的研发模式^[4],提出了 1 种完整、颗粒度适宜的航空发动机 WBS 编制方法,并以高压压气机转子轮盘设计为例,展示了该方法的应用效果。

收稿日期:2017-11-16 基金项目:航空动力基础研究项目资助

作者简介:于海顺(1981),男,工程师,主要从事系统工程、研发体系工作;E-mail:sdyuhaishun@163.com。

引用格式:于海顺,赵娜,史妍妍,等.航空发动机工作分解结构(WBS)构建方法[J].航空发动机,2018,44(3):97-102. YU Haishun, ZHAO Na, SHI Yanyan, et al. Research on aeroengine work breakdown structure[J]. Aeroengine, 2018, 44(3): 97-102.

1 航空发动机 WBS 构建原则

目前航空发动机研制普遍采用“专业分工、厂所分离”的研发模式,其优势在于便于划分研制过程中设计域和制造域的界面,研究所以专业为依托构建的研制组织架构有利于加强专业研究的深度,提升专业设计能力。

航空发动机在上述研发模式下的研制还需要综合考虑气动、结构、强度、材料、工艺等不同学科/领域的需求和限制,这就要求在管理方面做到计划完整、责任明确、配置合理、便于考核,因此 WBS 的构建需要综合考虑以上研制特点和 GJB 2116A 的要求,遵循以下构建原则^[6]。

1.1 完整性原则

完整性原则也称为 100% 原则,即 WBS 应包含发动机全生命周期不同阶段、不同类型的所有研发工作,应根据需要包含策划、设计、制造、装配、验证、验收(确认)等系统工程过程的活动,WBS 中包含的信息应能够满足不同业务部门的管理需求^[7]。

1.2 颗粒度适宜原则

不同 WBS 单元分解出的工作包颗粒度应基本一致,WBS 工作包分解出的技术活动颗粒度应基本一致,如某项 WBS 由明确的责任科室或科室内某一班组承接。

1.3 成果导向原则

每个 WBS 工作包和技术活动都要有相应的交付成果,其类型可分为硬件、软件以及文档等,如部件设计 WBS 输出部件设计报告或结构图纸,试验 WBS 输出试验结果分析报告,装配 WBS 输出装配完毕的发动机或部件实物等,管理部门可通过交付物对该 WBS 或技术活动的工作量进行考核。

1.4 可管理性原则

每个 WBS 工作包和技术活动都应有明确的责任人、输入、输出、工作内容、资源要求和分配,从而使复杂的研制产品和过程相对直观和简化,利于各项工作的职责分配以及开展管理和评价工作。

1.5 动态更新原则

每个阶段的 WBS 应根据项目的进展需要(如转段)和研制过程中遇到的问题进行调整与更新,如在研制过程中某部件需要打孔,可能引起结构强度的变化,需补充强度分析和结构强度试验验证,则在本阶段 WBS 中补充相关的技术活动。

2 航空发动机 WBS 的分解模型

航空发动机工作分解是 1 项多专业/部门联合、工程应用性强的工作,针对研制特点和不同视角的需求,需要综合运用类比法、自上而下法、融合法以及自下而上法相结合的分解方法。

2.1 构建方法

(1)类比法。通过对相似对象(如飞机研制项目) WBS 的类比分析,推理出航空发动机研制项目 WBS 的基本架构。由于类比法是对个例的完整映射,与研制单位/公司的组织机构有关,具有一定的片面性,因此主要用于 WBS 整体框架的全局规划。

(2)自上而下法。按照一定的逻辑关系通过不断向下增加级数来细化工作任务,是构建 WBS 最常见的 1 种方法。便于确定工作单元之间的包含与邻接关系。

(3)融合法。当 WBS 分解到一定的程度,将与航空发动机研发体系的技术流程相融合,可以保证型号研制 WBS 和研发体系建设工作的高度耦合,避免出现型号研制、体系建设“2 层皮”。

(4)自下而上法。航空发动机 WBS 构建过程中不同部门关注和负责的发动机产品层级不同,应由负责发动机不同结构研制的部门主责构建 WBS,然后自底向上实现不同层级 WBS 的聚合,形成项目完整的 WBS,最终由管理部门组织评审。

2.2 构建步骤

根据航空发动机研制特点制定了 WBS 构建的流程,如图 1 所示。

2.2.1 确定研制阶段

在 GJB 8113《武器装备研制系统工程通用要求》中,将研制阶段分为论证、方案、工程研制、设计定型、生产定型、批量生产和使用保障 7 个阶段,航空发动机的研制遵循该国军标的要求,在每个阶段分别进行 WBS 的构建^[8-9]。

2.2.2 确定工作分解结构层级

WBS 的工作涉及到不同类型、不同层级的工作,不同部门对 WBS 不同层级的关注也不同,如型号研制的决策层关注不同阶段发动机整机的研制任务,管理层

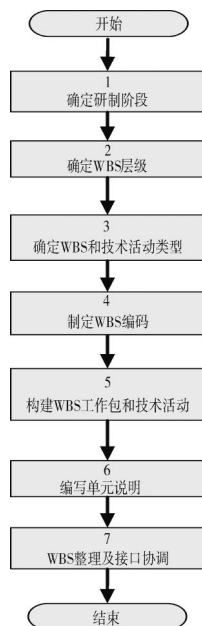


图 1 WBS 构建流程

关注发动机不同结构的研制任务,部件设计部门关注分解到本部门的具体设计任务。除了设计、试验等工作外,发动机研制还需要开展其他工作如保障、培训、管理等,因而将 WBS 分为 2 部分确定层级:

一部分以发动机产品分解结构(PBS)为基础,与发动机产品分解结构的层级一致(如图 2 所示)。可根据不同研制阶段的具体要求确定 PBS 的具体层级,如论证阶段更多的工作集中于论证分析,具体的发动机结构细节无法给出,PBS 可以只保留到部件/系统层,WBS 不会深入到零组件层。

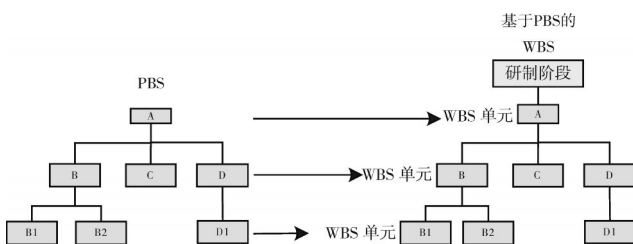


图2 基于PBS的WBS层级

另一部分为国军标要求的通用WBS单元(指武器装备研制项目普遍适用的单元,主要包括:系统工程类、项目管理类、综合保障类和综合试验类),根据研制的需要按照不同类型制定,其层级可以根据项目需求确定,允许与产品分解结构的层级不一致。

2.2.3 确定工作分解结构和技术活动类型

航空发动机的研制需要开展不同类型的研制活动,为了标识不同类型的工作,将WBS以及分解出的技术活动分为11类^[8-10]。并配以类型码(如图3所示)。

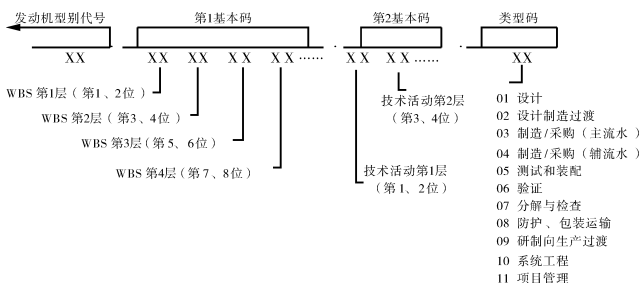


图3 WBS/技术活动编码

2.2.4 制定WBS编码

根据航空发动机研制管理的需求,WBS编码需要满足以下要求:

- (1)能够体现不同型号的特点;
- (2)需要体现发动机产品结构和技术活动的层级

和类型。

按照以上要求制定航空发动机WBS的编码规则(如图3所示)。其中第1基本码表征WBS的层级,第2基本码表征技术活动的层级。

2.2.5 构建WBS工作包和技术活动

在确定好WBS层级之后,WBS单元也随之确定,下一步需要在不同WBS单元上分解出不同类型的工作包,根据颗粒度一致原则,在研究所现行组织模式下,每个工作包内的工作还需要不同专业部门承接,有必要按照航空发动机研发体系技术流程的要求,分解出每个工作包中所包含的具体技术活动。同时补充通用WBS单元按需分解出的相应技术活动(如图4所示)。

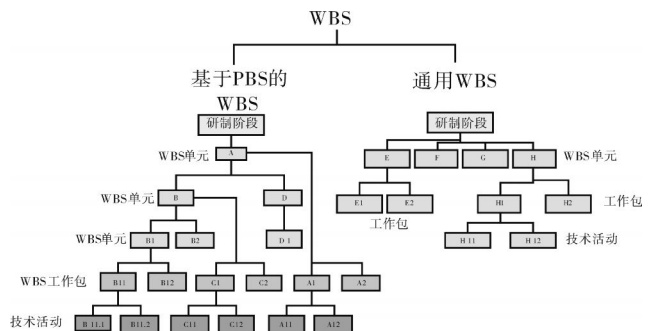


图4 WBS工作包和技术活动

2.2.6 编写单元说明

在航空发动机研制科研管理中,根据可管理性原则,需要安排发动机研制所需的各类工作,包括人、财、物的安排,进度的制定和资源的配置等工作,GJB 2116A中也赋予每个WBS工作包和技术活动相关属性的说明,称为单元说明^[6-11]。

本文结合GJB 2116A的要求并根据航空发动机型号研制管理的需求提出了单元说明应包含的基本属性。

(1)根据成果导向原则,每项WBS/技术活动应有开展该项工作的输入和输出(交付物),且应与研发体系流程建设的输入、输出相符。输出(交付物)可以作为管理部门对WBS/技术活动的考核依据;

(2)每项WBS/技术活动都应有主责单位。可以明确该项WBS/技术活动的责任主体,有利于工作的分配和测量;

(3)每项WBS/技术活动都应有明确的工作量,为科研管理制定进度计划提供支持;

(4) 每项 WBS/ 技术活动应根据需要列出需要的各类资源, 如特定的试验设备、工具、车辆或其他物品 / 设备等。可以为研究所每年科研任务尤其是试验台的安排提供基础信息;

(5) 每项 WBS/ 技术活动应有体现前后工作关系的连接信息, 如某项工作必须完成之后才能启动该项工作或该项工作是另一项工作的必需起始;

(6) 每项 WBS/ 技术活动可能存在配合部门, 应给出配合部门需要投入的工作量和 WBS/ 技术活动输出;

(7) 每项 WBS/ 技术活动都应有对应该项工作的唯一的编码, 可以通过编码方便地找到该项工作的层级和类型。

2.2.7 WBS 整理及接口协调

在发动机 WBS 构建完成后, 还需要整理, 确保分解出的 WBS 工作包和技术活动不混淆, 同时对单元说明中的输入输出接口进行协调。通过整理和接口的协调, 实现 WBS 的层级一致, 加强不同部门承接技术活动之间的逻辑性, 有利于安排研制进度计划。

2.3 航空发动机 WBS 的表达

按照构建步骤分解 WBS 后, 得到航空发动机 WBS 的基本框架 (如图 5 所示), 该架构基于产品分解结构 (PBS), 包含了航空发动机不同研制阶段、不同产品层级的各类型工作任务, 同时包含武器装备研制的通用类任务, 与 GJB 2116A 的要求一致^[7,13-15]。

航空发动机 WBS 一般分为 3~4 级 (不同研制阶段、不同工作类型 WBS 有所区别), 由 2 部分组成: 基于产品分解结构 (PBS) 的 WBS 和包含综合试验、综合保障、系统工程及项目管理的通用 WBS。

顶层代表发动机研制的阶段; 第 1 级为基于产品分解结构 (PBS) 的整机层 WBS 单元, 还包括综合试验、综合保障、系统工程及项目管理等通用 WBS 单元; 第 2 级为基于产品分解结构 (PBS) 的部件 / 系统层 WBS 单元和通用 WBS 分解的下一级单元; 第 3 级为基于产品分解结构 (PBS) 的零组件级 WBS 单元; 第 4 级为按照产品分解结构 (PBS) 前 3 级分解出的不同活动类型的 WBS 工作包^[16], 以及 3 级通用 WBS 分解 (按需) 出的不同类型的 WBS 工作包, 所有的研制活动都在工作包中体现。4 级 WBS 工作包由技术流程分解出的技术活动组成。根据不同类型发动机研制的需要, 可将发动机 PBS 进一步向下分解, 则 WBS 第 4 级变为发动机 PBS 的第 4 级, WBS 工作包变为第 5 级, WBS 工作包分解的技术活动按照不同专业 / 领域的技术流程也分层级。

3 航空发动机 WBS 构建关键点

(1) 构建时间。在发动机不同研制阶段之初编制本阶段 WBS, 每一阶段的 WBS 可以在前一阶段 WBS 基础上根据研制工作的需要进行修改、补充或完善。

(2) 责任主体明确。航空发动机的研制涉及到不同的学科和专业, 往往由专业的设计、试验和装配部门承接具体工作, 不同责任部门负责不同层级 WBS 的编制。如项目管理人员负责基于产品结构的 WBS 前 3 级以及通用 WBS 中项目管理类 WBS 的制定; 专业科室和相关职能部门负责基于产品结构的 WBS 工作包和技术活动 (按需) 以及通用 WBS 中相关 WBS 的制定。

在 WBS 编制中, 负责整机 / 部件 / 系统研制的技

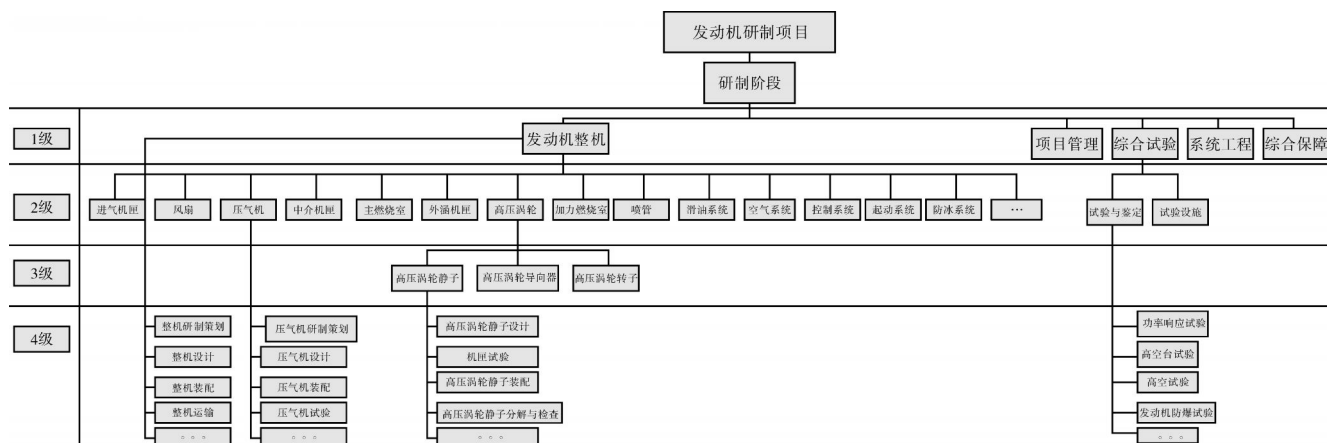


图 5 航空发动机 WBS 框架

术科室应联合其他相关技术科室,共同编制 WBS,同时协调输入输出接口,必要时可组织相关科室研讨确定 WBS。

(3)编制前准备。编制人员应阅读并了解本阶段研制的顶层输入,如立项论证报告、研制需求、进度要求或总体部门的论证报告等材料,明确本阶段的研制要求。编制人员应对发动机产品结构、单位内部专业分工有清晰地认识,可以根据前一研制阶段的总结报告、工作说明以及本阶段的研制要求等输入,明确项目研制涉及的产品结构及主要专业 / 部门。

(4)编制灵活性。为了保证适应航空发动机研制工作类型多、不同工作差异大的特点,基于不同产品分解结构的 WBS 的层级可以不同,不同研制阶段的产品分解结构可以不同,分解出的不同类型的 WBS 及技术活动层级也可以不同。

4 应用实例

为了验证该 WBS 构建方法的工程适用性,在某型号某阶段高压压气机转子轮盘研制中进行了初步试用。

首先对压气机进行产品分解,为确保 WBS 包含压气机所有的研制工作,将压气机分为 3 级(见表 1)。

表 1 压气机产品分解结构			
第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级
发动机整机	高压压气机	转子	
		可调机构	
		转子	转子叶片
			螺栓和螺母等连接件
			轮盘

将压气机转子轮盘的设计类 WBS 工作包进行分解,并结合压气机技术流程进一步分解,同时考虑系统工程技术管理过程,分解后的压气机转子轮盘 WBS 见表 2。

传统的工作分解方式是将设计任务分解到专业科室,由各科室按照研制经验或专业技术流程分解下一步工作,完全站在专业的角度而不是产品的角度分解工作,如果研制流程不完善或各专业的接口没有事先确定,这种分解方式将无法保证产品研制过程和研制内容的完整性,也无法保证 WBS 执行时其他专业配合的及时性。

表 2 某研制阶段压气机转子轮盘 WBS(设计类)						
第 1 级	第 2 级	第 3 级	第 4 级	WBS 工作包	第 1 级 技术活动	第 2 级 技术活动
整机	高压压气机	转子	轮盘	轮盘设计	轮盘方案 设计	轮盘气动 方案设计
						轮盘结构 方案设计
						轮盘空气 系统计算 分析
						轮盘热分 析
						轮盘强度 初步评估
						轮盘可生 产性评估
						轮盘材料 工艺选用
						轮盘材料 工艺评估 研究
						轮盘材料 应用研究
						试验能力 评估
						轮盘方案 设计评审

通过在某型号压气机转子轮盘研制的初步试用,与传统 WBS 分解方式相比,该方法具有以下优势:

(1)综合考虑了压气机转子轮盘研制中设计、加工、装配和验证等多个领域的工作需求,涵盖了压气机转子轮盘研制不同层级和不同类型、不同专业的工作,保证了压气机转子轮盘研制活动的全面和完整;

(2)构建的压气机转子轮盘 WBS 包和技术活动实现了型号研制和研发体系建设的融合,明确了不同部门的界面,强化了科研任务的可执行性和可测量性;

(3)通过后续的专业接口协调工作可以明确各科室的输入输出接口关系,保证 WBS 的顺利执行。

5 总结

(1)提出了 1 种面向产品的航空发动机 WBS 构建方法,建立了航空发动机 WBS 基本架构,100%涵盖了不同研制阶段、不同层级、不同类型的研制工作,清晰界定了发动机研发项目的工作范围。

(2)该方法以航空发动机产品分解结构为基础,明确了各层级 WBS 编制的构建流程和责任分工,保

证了计划管理的可执行性。

(3)压气机转子轮盘的应用实例表明,该方法合理、有效,可以为项目科研计划制定 WBS 提供有效的支持。

参考文献:

- [1] 聂亚军. 工作分解结构(WBS)在航空发动机型号研制中的应用[J]. 航空发动机, 2007, 33(1): 51-52.
NIE Yajun. Application of work breakdown structure (WBS) in engine model development[J]. Aeroengine, 2007, 33(1): 51-52. (in Chinese)
- [2] 肖君. MA700 飞机工作分解结构方法研究[J]. 西安航空学院学报, 2014, 32(1): 16-18.
XIAO Jun. Research on MA700 aircraft work breakdown structure method [J]. Journal of Xi'an Aeronautical University, 2014, 32(1): 16-18. (in Chinese)
- [3] 卢新来. 航空产品研制项目 WBS 分解研究 [J]. 航空科学技术, 2014, 25(2): 69-72.
LU Xinlai. Breakdown research of WBS in aero-nautic product development project[J]. Aero-nautical Science & Technology, 2014, 25(2): 69-72. (in Chinese)
- [4] 李伦元, 王小瑞, 蔡祥, 等. 航空涡喷涡扇发动机研制通用 WBS 构建和应用[J]. 航空标准化与质量, 2015(2): 16-17.
LI Lunwei, WANG Xiaorui, CAI Xiang, et al. Research and application of general WBS on turbojet and turbofan engine [J]. Aeronautic Standardization & Quality, 2015(2): 16-17. (in Chinese)
- [5] 庞兴元, 王震声. WBS 方法在单件小批产品制造管理中的应用[J]. 徐州工程学院学报, 2006, 21(10): 23-25.
PANG Xingyuan, WANG Zhensheng. The application of WBS method in the manufacture management of make-to-order and discrete steel structure [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006, 21(10): 23-25. (in Chinese)
- [6] 中国人民解放军总装备部. GJB 8113-2013 武器装备研制系统工程通用要求[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2013: 7-8.
PLA General Armament Department. GJB. 8113-2013 general requirements of systems engineering for weapon and equipment development [S]. Beijing: Military Standard Publication and Distribution Section of General Armament Department, 2013: 7-8. (in Chinese)
- [7] 美国项目管理协会. 工作分解结构(WBS)实施标准(第 2 版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015: 3-8, 27-32.
Project Management Institute. Practice standard for Work Breakdown Structures(2nd ed) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015: 3-8, 27-32.
- [8] 国防科学技术工业委员会. GJB 2993-97 武器装备研制项目管理[S]. 北京: 科工委科技部综合局, 1997: 5-6.
State Commission on Science, Technology and Industry for National Defense. GJB. 2993-97 management for developmental programs of weapon equipment[S]. Beijing: General Bureau of the Ministry of science and technology of the science and Technology Commission, 1997: 5-6. (in Chinese)
- [9] 中国人民解放军总装备部. GJB 2116A-2015 武器装备研制项目工作分解结构[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2015: 1-4.
PLA General Armament Department. GJB. 2116A-2015 Work Breakdown Structures for weapon and equipment development program [S]. Beijing: Military Standard Publication and Distribution Section of General Armament Department, 2015: 1-4. (in Chinese)
- [10] 郭斌. 飞机型号项目工作分解结构编制方法探讨 [J]. 民用飞机设计与研究, 2012: 191-194.
WU Bin. Development method research of work breakdown structure for the aircraft design program [J]. Civil Aircraft Design & Research, 2012: 191-194. (in Chinese)
- [11] 美国项目管理协会. 项目管理知识体系指南(PMBOK 指南)[M]. 5 版. 北京: 电子工业出版社, 2013: 125-131.
Project Management Institute. A guide to the Project Management Body Of Knowledge (PMBOK Guide) [M]. 5th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: 125-131.
- [12] 王强, 姚宋冰. 浅谈民用航空发动机研制工作分解结构[J]. 航空制造技术, 2014(18): 77-78.
WANG Qiang, YAO Songbing. Brief analysis of Work Break Structure (WBS) on civil aircraft engine development[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014(18): 77-78. (in Chinese)
- [13] 皮亚凤. 航天型号研制工作分解结构(WBS)编制研究[J]. 华北航天工业学院学报, 2006, 16(3): 2-3.
PI Yafeng. Research on the Work Breakdown Structure (WBS) in aerospace model development [J]. Journal of North China Institute of Astronautic Engineering, 2006, 16(3): 2-3. (in Chinese)
- [14] 肖力塘. 航空装备研制项目工作分解结构(WBS)构建方式研究[J]. 制造业自动化, 2014, 36(6): 107-108.
XIAO Liyong. Research on the different manners of WBS for the aircraft development program [J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(6): 107-108. (in Chinese)
- [15] 何苗, 杨海成, 敬石开. 基于产品分解结构的复杂产品工作分解技术研究[J]. 中国机械工程, 2011, 22(16): 1961-1963.
HE Miao, YANG Haicheng, JING Shikai. Decomposition method of WBS based on PBS for complex products [J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(6): 107-108. (in Chinese)
- [16] 吴晓光, 顾元杰, 黄泽民. 工作分解结构应用研究[J]. 西北工业大学学报(自然科学版), 1999, 29(4): 377-381.
WU Xiaoguang, GU Yuanjie, HUANG Zemin. Development method research of Work Breakdown Structure for the aircraft design program[J]. Journal of Northwest University (natural Science Edition), 1999, 29(4): 377-381. (in Chinese)

(编辑: 张宝玲)