航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
Sep. 15 2018 Vol. 29 No.09 48-52

军用航空发动机成附件研制程序研究

刘海年*，栾旭，李昌红，贾淑芝，谷俊
中国航发沈阳发动机研究所，辽宁 沈阳 110015

摘　要：针对国内武器装备研制程序要求不适用成附件、成附件研制阶段工作内容不统一、成附件技术管理要求不完整的现状，开展军用航空发动机成附件研制程序研究。本文首先阐述了国内外供应商产品研制程序的现状，对比分析了国内外供应商产品研制程序的差异；其次结合产品研制程序和相关标准要求，从技术审查、技术状态管理、技术成熟度等方面补充了相关技术管理要求；最后提出了军用航空发动机成附件研制程序的建议，明确了成附件研制阶段的工作目标、工作内容和典型交付物；为规范成附件各阶段研制活动、保障产品研制工作的有序进行、实现产品研制目标提供指导。

关键词：航空发动机；成附件；研制程序；工作内容

中图分类号：V233　　**文献标识码**：A　　DOI：10.19452/j.issn1007-5453.2018.09.048

航空发动机配套成附件是发动机的重要组成部分，其本身具有使用周期长、技术难度大、风险高的特点。根据国内外发动机配套产品的研制与使用经验，如果产品研制程序不合理，阶段内涵定义含糊，技术管理活动不全面，常常会出现研制时间不同步、活动不一致、结果不协调、风险管控无效等问题，最终导致研制反复大、需求无法满足、进度无法保证、经费超支等问题，严重影响产品研发的效率与成功率。

针对国内武器装备研制程序要求不适用成附件、成附件研制阶段工作内容不统一、成附件技术管理要求不完整的现状，开展军用航空发动机成附件研制程序研究，本文首先阐述了国内外供应商产品研制程序的现状，对比分析了国内外供应商产品研制程序的差异；其次结合产品研制程序和相关标准要求，从技术审查、技术状态管理、技术成熟度等方面补充了相关技术管理要求；最后提出了军用航空发动机成附件研制程序的建议，明确了成附件研制阶段的工作目标、工作内容和典型交付物，为规范成附件各阶段研制活动、保障产品研制工作的有序进行、实现产品研制目标提供指导。

1 国内外现状分析

1.1 国外现状分析

为了规范产品的研制活动，欧美供应商在产品开发程序中明确的规定了产品研制阶段、各阶段的工作目标、工作内容和典型交付物。如美国霍尼韦尔公司（Honeywell）的新产品导入流程（NPI）[1]将产品开发分为7个阶段，规定产品不同阶段需要完成的主要工作和典型交付物，并在NPI的关键节点处设置多个技术评审点；英国美捷特公司（Meggitt）参照DO-254《硬件产品设计保证指南》[2]的要求，将产品开发分为联合定义、初步设计、详细设计、生产交付和集成验证5个阶段，明确不同阶段的主要工作内容；同时，不同阶段也明确了计划流程、审定联系、验证和确认流程、技术状态管理流程和过程保证等支持过程，并设置系统需求评审（SRR）、初步设计评审（PDR）、关键设计评审（CDR）等评审点。虽然各公司在产品开发程序的阶段划分和工作内容上各有差异，但均明确不同研制阶段的技术活动要求（需求分析、设计、生产和试验等）和技术管理活动要求（研制策划、技术评审、技术状态管理、技术成熟度等），明确不同研制阶段的典型交付物等。

1.2 国内现状分析

国内飞机机载设备和发动机配套成附件产品的研制均是按照GJB 2993《武器装备研制项目管理》[3]和GJB 1362A《军工产品定型程序和要求》[4]的规定进行阶段划分，一般分为论证、方案、工程研制（初样和试样）、设计定型和生产定型5个阶段，对于改进产品可适当裁剪。查阅飞机对机载设备的技术协议要求，研制阶段的主要工作内容见

收稿日期：2018-07-26；　退修日期：2018-08-13；　录用日期：2018-08-20
* 通信作者 . Tel.：024-24283008　E-mail：283506493@qq.com
引用格式：Liu Hainian, Luan Xu, Li Changhong, et al. Research on the development procedures for military aero-engine accessories[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29(09): 48-52. 刘海年，栾旭，李昌红，等 . 军用航空发动机成附件研制程序研究 [J]. 航空科学技术，2018，29(09)：48-52.

表 1；同时，要求产品开发过程中开展研制策划、工作分解结构、经济可承受性管理、技术状态管理、需求管理、风险管理、软件工程化管理、技术评审（包括 6 个技术评审点和 5 个转阶段审查点）等技术管理工作。

表 1　机载设备研制阶段工作内容

Table 1　Equipments development stage work contents

研制阶段	论证	方案		工程研制					设计定型		生产定型	
主要工作内容	技术指标论证	方案设计	原理样机试制/试验	初样机设计	初样机试制/试验	试样机设计	试样机试制/试验	首飞准备转入科研试飞	转入鉴定/定型试飞	设计鉴定/定型	小批量生产	生产定型
评审点		SRR		PDR 和 CDR				飞行准备评审（FRR）	功能技术状态审核（FCA）		物理技术状态审核（PCA）	
审查点		F 转 C 审查		C 转 S 审查		S 转 D 审查			设计定型审查		生产定型审查	

国内发动机成附件技术协议一般从方案阶段开始，基于型号的研制经验，明确了方案、工程研制、设计定型阶段的主要工作内容和典型的交付物；协议中虽然明确了需求管理、技术状态管理、风险管理、技术成熟度、技术评审、经济可承受性等相关技术管理工作要求，但缺少指导开展工作的具体指南性文件和明确的技术管理交付物。

1.3 国内外成附件研制程序差异性对比

通过对比分析国内外供应商产品研制程序差异，我们可以看出：

（1）从研制阶段上看，国外发动机供应商产品研制程序定义不同阶段的主要工作和交付物（包括了相关的技术文件和技术管理文件）；与国内成附件研制程序相比，国内目前暂无针对成附件产品的研制程序和要求，现行成附件不同研制阶段的工作内容和主要交付物尚未形成统一标准；从交付物的要求来看，注重对技术文件的管控，对技术管理相关文件的交付要求和管控力度有待加强。

（2）从技术评审上来看，国外供应商建立了全生命周期的技术评审点和审查点，同时制定了可操作的技术评审要素，保证技术评审体系的有效运行。国内飞机研制单位已经制定了相应的技术评审检查单和技术评审流程，并明确了机载设备的技术评审点和转阶段审查点设置和评审要求。发动机研制单位初步建立了成附件转阶段审查点和技术评审点，但尚未形成明确的技术评审要求和技术评审流程，对评审问题的落实情况的跟踪管理有待加强。

（3）从技术管理上来看，技术协议中虽然明确了相关技术管理要求，但尚未形成技术管理方法可执行的标准或指南性文件，对成附件承研单位各阶段需要提供的技术管理交付物也不明确，如技术状态管理计划、风险管理计划等。

2 发动机成附件研制程序研究

依据国内相关标准和产品研制条例，结合发动机成附件研制的现状，本文首先明确了成附件研制阶段及工作目标，其次从技术评审、技术状态管理、技术成熟度等方面开展研究，完善并明确成附件研制各阶段技术管理要求。

2.1 成附件产品研制阶段及工作目标研究

依据 GJB 1405A《装备质量管理术语》[5] 和 GJB 2993《武器装备研制项目管理》，将成附件研制阶段划分为论证（L）、方案（F）、工程研制［初样（C）和正样（S）］、设计定型（D）和生产定型（P）5 个阶段，基于成附件研制的经验和相关资料[6]，明确成附件各阶段的主要工作目标如下：（1）论证阶段（L）：承研单位根据用户的需求，配合主机单位完成技术指标论证，形成方案论证报告，并通过评审。（2）方案阶段（F）：承研单位完成产品技术方案、原理样机的设计或验证工作，并通过 F 转 C 审查。（3）工程研制阶段：细分为初样（C）和正样阶段（S）。初样阶段工作完成地面试验并通过 C 转 S 审查；正样阶段完成首飞前规定试验和科研试飞，并通过 S 转 D 审查。（4）设计鉴定 / 定型阶段（D）：完成成附件定型或鉴定试验，并通过设计定型或鉴定审查。（5）生产定型阶段（P）：完成工艺和生产条件考核，并通过生产定型审查。

2.2 成附件技术评审点设置研究

根据成附件各阶段的工作内容，借鉴并参考航空发动机阶段控制技术评审点设置，在成附件研制各阶段设置了 11 个技术评审点和 5 个转阶段审查点，成附件供应商技术评审点和转阶段审查点设置如图 1 所示。

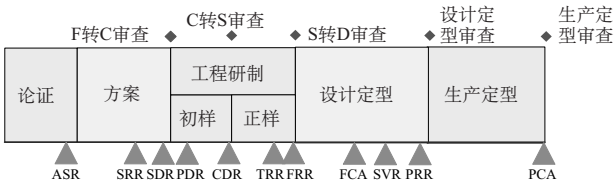

图 1　成附件技术评审点和转阶段审查点设置

Fig.1　Accessories technical review points and milestone decision points setting

各技术评审点的主要评审时机和评审内容参见《航空发动机成附件供应商技术评审体系建设方法》[7]，技术评审的评审点和评审内容不是一成不变的，应根据产品的复杂程度和用户的要求、技术评审体系的完善程度进行适应性改进、调整。

成附件转阶段审查由用户组织实施，确认本阶段工作完成情况以及后续工作计划等，判断是否可以转入下一阶段。根据成附件各阶段的工作内容和型号的研制经验，确定成附件转阶段审查的要求如下：(1) F 转 C 主要审查技术方案（功能、性能、外形尺寸、接口等）以及产品实现策划文档是否满足技术协议和用户要求。(2) C 转 S 主要审查产品指标满足技术要求的情况，试验或计算分析的充分性、主要技术文档的完成情况等。(3) S 转 D 主要审查整机试车和试飞试验暴露问题的解决情况、产品规范规定的试验、可靠性和寿命试验等完成情况。(4) 设计定型审查主要审查鉴定或定型试验完成情况以及设计或鉴定定型资料的完整性。(5) 生产定型审查主要审查产品工艺、质量的稳定性，是否具备批量生产的能力。

2.3 成附件技术状态管理研究

GJB 9001《质量管理体系要求》[8] 要求在产品研制中开展技术状态管理，同时 GJB 3206A《技术状态管理》[9] 进一步明确了在产品研制不同阶段开展技术状态标识、控制、纪实和审核工作，并在产品不同研制阶段建立功能基线、分配基线和产品基线，通过对基线的控制来保证产品技术状态与用户需求的一致性。在成附件研制过程中基线形成和研制阶段的关系如图 2 所示，承研单位根据产品的复杂程度，可按需建立功能基线、分配基线。各个基线建立的时机和文件组成如下：

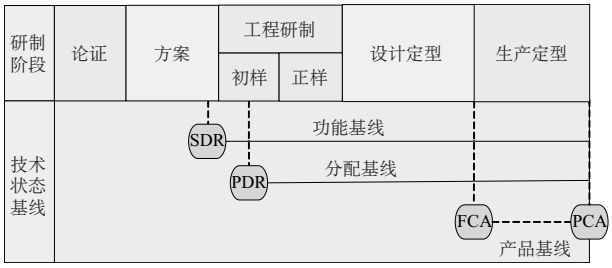

图 2 技术状态基线和研制阶段的关系

Fig.2 The relationship between configuration management baselines and development stage

(1) 功能基线在方案阶段结束前，通过系统设计评审（SDR）后，确认功能技术状态文件，建立功能基线；此类基线文件主要包括发动机对成附件提出的技术要求（技术协议及协议内容更改要求）等。

(2) 分配基线在工程研制阶段初样机试制前，通过初步设计（PDR）后，确认分配技术状态文件，建立分配基线；此类基线文件主要包括成附件的研制规范、六性和适航设计要求、接口要求等。

(3) 产品基线一般在设计定型阶段的功能技术状态审核（FCA）后初步建立，在生产定型阶段的物理技术状态审核（PCA）后最终建立。此类基线文件主要包括产品图样、配套产品目录、装配和使用要求、工艺和材料规范等。

2.4 技术成熟度等级设置研究

在成附件产品研制各阶段，应针对存在的关键技术单元开展技术成熟度管理工作，对于未完成技术成熟度评估或评估结果不能达到相应阶段技术成熟度等级要求的产品，不得开展转阶段工作。根据成附件各阶段的工作内容，依据 GJB 7688《装备技术成熟度等级划分及定义》[10] 中技术成熟度等级的定义，研究确定成附件研制阶段的技术成熟度等级要求如下：

(1) 成附件在方案阶段完成产品总体技术方案设计和原理样机的验证，根据技术成熟度等级（TRL）5 级的定义“完成模型样品或部件的相关演示验证”，确定成附件在转入工程研制前的技术成熟度等级为 5 级。

(2) 成附件在初样阶段完成产品真实环境的地面验证，根据技术成熟度等级（TRL）6 级的定义“完成系统或分系统原型的演示验证”，确定成附件产品在转入正样研制前的技术成熟度等级为 6 级。

(3) 成附件在正样阶段完成正样机的环境验证和试飞验证，根据技术成熟度等级（TRL）7 级的定义“完成系统原型的典型环境使用验证”，确定成附件产品在转入设计鉴定或定型前的技术成熟度等级为 7 级。

(4) 成附件在设计定型阶段完成产品的鉴定试验和定型试飞，根据技术成熟度等级（TRL）8 级的定义“完成实际系统的使用环境验证”，确定成附件产品在转入生产定型前的技术成熟度等级为 8 级。

同时，考虑成附件和发动机主机的研制关系，成附件研制各阶段的技术成熟度水平不应低于发动机主机各研制阶段的技术成熟度等级要求，最终确定成附件产品各阶段技术成熟度等级设置最低要求如图 3 所示。

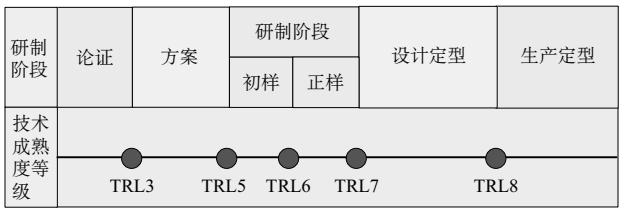

图 3 成附件研制阶段技术成熟度等级设置

Fig.3 Accessories development stage technology readiness levels setting

3 成附件研制程序研究的建议

基于发动机成附件产品研制经验，总结上述研究成果，完善相关技术和技术管理要求，提出发动机成附件研制各阶段的

工作目标、工作内容和典型交付物的建议，具体成附件产品研制根据型号研制特点可进行剪裁或在技术协议中进行明确。

3.1 论证阶段

论证阶段的工作目标是完成技术指标论证，提出初步总体技术方案，编制方案论证报告并通过评审。主要工作内容是完成技术指标论证；技术可行性论证（明确技术基础和能力、识别关键技术，提出研制保障条件）；初步总体技术方案可行性论证（含研制计划、试验计划、风险分析等）；研制周期及经费分析；技术评审等。主要交付物包括产品需求分析报告、方案论证报告和技术评审结论等。

3.2 方案阶段

方案阶段的工作目标是完成方案设计并通过 F 转 C 审查。主要工作内容是完成方案阶段需求分析；开展原理样机的设计；视情开展试制和试验；修订研制计划。主要交付物包括需求分析报告、方案设计报告、电子协调样机、研制计划、风险管理计划、技术状态管理计划、技术成熟度评估报告、接口控制文件、研制经费概算报告、产品研制总结和 F 转 C 审查结论等。

3.3 工程研制阶段

3.3.1 初样阶段

初样阶段的工作目标是根据总体技术方案，开展产品初步设计，优化总体技术方案，完成初步设计评审和 C 转 S 审查。主要工作内容是完成关键技术攻关、初样机的初步设计和详细设计；完成功能、性能及环境试验；通过 C 转 S 审查。主要的交付物包括：更新的产品需求分析报告、初步的产品规范、接口图册、强度分析报告、功能、性能、初始的可靠性和寿命试验报告、产品质量报告、研制计划、技术成熟度评估报告、研制经费概算报告、风险分析报告、技术状态管理报告、产品研制总结报告和 C 转 S 审查结论等。

3.3.2 正样阶段

正样阶段的工作目标是完成正样机首飞前规定试验和科研试飞，并通过 S 转 D 审查。主要工作内容是完成正样机设计、制造和装配；首飞前规定试验；配装发动机科研试飞；完成 S 转 D 审查。主要的交付物包括：产品需求分析报告、更新的产品规范、验收试验规范和验收试验程序、首飞前规定试验报告、技术说明书、使用维护说明书、接口图册、产品质量报告；研制计划、技术成熟度评估报告、研制经费概算报告、风险分析报告、技术状态管理报告、产品研制总结报告和 S 转 D 审查结论等。

3.4 设计定型阶段

设计定型阶段的工作目标是通过设计鉴定或定型审查。主要工作内容是完成技术鉴定或设计定型试验；完成技术鉴定或设计定型文件编制；随发动机主机完成定型试飞；申请设计鉴定或定型。主要的交付物包括：需求验证和追溯性矩阵、产品规范、设计鉴定 / 定型文件、技术成熟度评估报告、研制经费报告、风险分析报告、技术状态管理报告、产品研制总结报告和鉴定或定型审查结论等。

3.5 生产定型阶段

生产定型阶段的工作目标是完成产品的生产定型。主要工作内容是完成小批量试生产；准备工艺和生产条件考核的相关材料；部队试用、生产定型试验；通过生产定型审查。主要的交付物包括：最终的产品规范、工艺规范、材料规范、技术说明书、使用维护说明书、各种配套表、明细表、汇总表和目录、六性评估报告、工艺和生产条件考核报告、生产定型试验报告、产品质量报告、技术成熟度评估报告、研制经费报告、风险分析报告、技术状态管理报告、产品研制总结报告和生产定型的审查结论等。

4 结束语

通过本文的研究，提出了成附件研制程序的建议，获得以下结论：

（1）明确了成附件各研制阶段的工作目标、工作内容和典型交付物，保证产品研制工作的有序开展。

（2）明确了成附件各研制阶段技术评审点和转阶段审查点设置和审查要求，保证评审的完整性和合理性。

（3）建立了技术状态基线与研制阶段的关系，明确了成附件不同技术状态基线的文件构成，有利于管控产品技术状态。

（4）明确了不同研制阶段成熟度等级的要求，为开展技术成熟度评价、降低研制风险提供指导。

参考文献

[1] 郭逢刚 . Honeywell 跨国公司的研发管理研究 [D]. 武汉：华中科技大学，2013.
Guo Fenggang. Study of international corporation honeywell’s R & D management[D].Wuhan：Huazhong University of Science & Technology，2013.（in Chinese）

[2] DO-254 Design assurance guidance for airborne electronic hardware [S]. USA：RTCA，2000.

[3] GJB 2993—1997 武器装备研制项目管理 [S]. 国防科学技术工业委员会，1997.
GJB 2993—1997 Management for developmental programs of weapon equipment[S]. Commission of Science，Technology and

Industry for National Defence, 1997. (in Chinese)

[4] GJB 1362A—2007 军工产品定型程序和要求 [S]. 中国人民解放军总装备部, 2007.
GJB 1362A—2007 Procedure and requirements for finalization of military products[S]. The General Reserve Department of PLA, 2007. (in Chinese)

[5] GJB 1405A—2006 装备质量管理术语 [S]. 中国人民解放军总装备部, 2006.
GJB 1405A—2006 Terms for equipments quality management[S]. The General Reserve Department of PLA, 2006. (in Chinese)

[6] 殷世龙 . 武器装备研制工程管理与监督 [M]. 北京：国防工业出版社, 2012.
Yin Shilong.Weapons and equipment development engineering management and supervision[M]. Beijing：National Defence Industry Press, 2012. (in Chinese)

[7] 刘海年,栾旭,李昌红,等 . 航空发动机成附件供应商技术审查体系建设方法 [J]. 航空科学技术, 2018, 29 (3)：30-34.
Liu Hainian, Luan Xu, Li Changhong, et al. Research on the methods for aero-engine accessories supplier' s technical review system[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29 (3)：30-34. (in Chinese)

[8] GJB 9001C—2017 质量管理体系要求 [S]. 中国人民解放军总装备部, 2017.
GJB 9001C—2017 Quality management systems requirements [S]. The General Reserve Department of PLA, 2017. (in Chinese)

[9] GJB 3206A—2010 技术状态管理 [S]. 中国人民解放军总装备部, 2010.
GJB 3206A—2010 Configuration management[S]. The General Reserve Department of PLA, 2010. (in Chinese)

[10] GJB 7688—2012 装备技术成熟度等级划分及定义 [S]. 中国人民解放军总装备部, 2012.
GJB 7688—2012 Classification and definition of the technology readiness levels for materiel[S]. The General Reserve Department of PLA, 2012. (in Chinese)

作者简介

刘海年（1984- ）男,硕士,高级工程师。主要研究方向：航空发动机研发体系建设。

Tel：024-24283008

E-mail：283506493@qq.com

Research on the Development Procedures for Military Aero-engine Accessories

Liu Hainian*, Luan Xu, Li Changhong, Jia Shuzhi, Gu Jun

AECC Shenyang Engine Research Institution, Shenyang 110015, China

Abstract: According to the status that the weapon and equipment development procedures were not applicable to the aero-engine accessories, the working contents were not uniform and the technical management requirements were not integrity. In this paper, firstly, it illuminated the situation and analyzed the differences between overseas and domestic supplier production in development procedures. Secondly, it added the technical management requirements to the development procedures from the aspects of technical review, configuration management, technical maturity according to the development procedures and the standards. Lastly, it proposed the suggestions of aero-engine accessories in development procedures, established the development goals, the focus working contents and deliveries, provided guidance for standardizing the development activities, ensuring orderly development activities and achieving production development goals.

Key Words: aero-engine; accessories; development procedures; working contents

Received: 2018-07-26; **Revised:** 2018-08-13; **Accepted:** 2018-08-20

***Corresponding author.Tel.:** 024-24283008 **E-mail:** 283506493@qq.com