

涡轴 16 发动机构型管理适航符合性验证

Airworthiness Compliance Demonstration of WZ16 Configuration Management

■ 陈芝来 郭犇 刘辰 罗海东 / 中国航发动研所

涡轴 16 (WZ16) 发动机是国内首个实施构型管理符合性验证的民用发动机型号, 在缺少构型管理审定基础的情况下, 研制团队围绕构型管理的主要活动, 分析总结了构型管理适航符合性验证的思路和方法, 向适航当局证明了 WZ16 发动机构型管理的有效性。

涡轴 16 (WZ16) 发动机研制团队在适航规章和质量管理程序的基础上, 结合各家参研单位多年的构型管理经验, 根据中国民用航空局 (CAAC) 审定要求, 制订了国内首个航空发动机构型管理审定计划 (CP), 开展了符合性验证工作, 有力地支撑了型号适航取证工作, 并于 2019 年 10 月取得了 CAAC 颁发的型号合格证 (TC), 2021 年 3 月取得了生产许可证 (PC), 成为我国第一型严格按照适航规章完成取证的涡轴发动机。

构型管理要求

构型管理是围绕产品的功能特性和物理特性, 通过文件形式将特性冻结形成不同的基线, 并按照基线开展设计制造, 使最终产品满足客户的需求。构型管理基线主要包括需求基线、功能基线、分配基线和产品基线。构型管理活动主要包括:

- 构型标识, 通过文件形式将产品的功能特性和物理特性标识出来、定义清楚, 主要包括确定构型项、确定构型文件、建立构型基线、给

定标识编号等;

- 构型控制, 对定义的功能特性和物理特性或定义的构型基线进行控制, 使最终产品获得的构型与定义的构型保持一致, 构型控制主要包括更改控制、偏离与让步控制、接口控制等;

- 构型审核, 为确定构型项的制造与其构型文件的一致程度而进行的正式审核, 包括功能特性审核和物理特性审核;

- 构型纪实, 对标识的构型及更改的处理和实施情况进行全过程记录, 必要时进行报告, 一般包括构型基线及基线更改记录、建议和批准更改及实施情况记录、偏离及超差记录、构型审核鉴定及问题处理记录、相关零件号/文件名称及标识号/版本/发放状态等记录。

WZ16 发动机构型管理确保产品构型的物理特性和功能特性能够满足用户的使用需求和 CCAR-33、CCAR-34 等规章, 以及 ISO9001、DO-178B、DO-254 的要求, 对发动机构型状态进行有效控制并保证能够准确地按所批准的构型制造出合格的产品。

适航符合性验证要求

在 WZ16 发动机适航取证过程中, 根据 CCAR-21 《民用航空产品和零部件合格审定规定》和 AP-21-AA-2011-03-R4 《航空器型号合格审定程序》, 中国民用航空适航审定中心 (ACC) 要求针对 CCAR-33R2 《航空发动机适航规定》中相应的条款, 应制订发动机系统级或专业/专题级审定计划, 作为描述 WZ16 发动机型号合格证申请方符合性验证工作的基础性文件。但在《航空发动机适航规定》中并无构型管理的具体条款, 仅对构型控制活动中的更改控制提出了要求, 构型管理审定实际上没有具体的审定基础。考虑到发动机国际合作研制的特殊情况, 持证人如何有效地定义发动机构型并进行构型控制, ACC 最终确定的 30 个 CP 中包括了《构型管理审定计划》, 需要对发动机的构型管理工作进行符合性验证, 确保发动机研制的构型状态受控。经过多轮沟通与协调, 《构型管理审定计划》最终得到了 ACC 的批准。

构型管理适航符合性验证思路

WZ16发动机构型管理适航符合性验证工作，重点围绕构型管理4项主要活动，通过展示相关的构型管理文件，向局方证明在发动机研制过程中有效开展了构型管理，确保发动机构型状态的清晰、受控。WZ16发动机构型管理的符合性验证思路主要包括以下内容。

一是需求基线的确定。通过与用户开展沟通交流，根据《发动机技术规范》《直升机发动机电子接口规范》和《直升机发动机研制声明》等文件，确定了用户对发动机的研制需求；正式签署的《发动机研制、销售和支持合作协议》，作为发动机的需求基线，包含发动机技术规范等附件，明确了发动机的各项研制要求，主要包括用户需求、法律法规要求和发动机研发单位需求3大类。因此，通过展示需求基线文件，证明构型管理的输入是准确的、冻结的。

二是设计基线的确定。设计基线主要包括功能基线和分配基线。根据需求基线确定发动机各项研制要求和接口关系，并按部件编制产品技术规范（IPTs）。发动机技术规范和各部件产品技术规范经过审批冻结后成为设计基线。因此，通过展示设计基线文件，证明功能特性和物理特性得到准确的定义。

三是产品基线的确定。设计人员根据功能基线和分配基线，按照设计保证手册和构型管理的规定开展产品设计，形成全套设计图样，并根据科研阶段每份发动机不同构型状态，编制设计构型定义文件。这些设计文件经过审批冻结后成为

产品基线。制造人员根据设计构型定义文件，按照批准的工艺文件开展发动机制造，最终形成的制造符合性文件等也是正式产品基线。产品基线主要包括设计定义文件（全套图样用于制造）、符合性文件（指制造符合性文件）和设计性能说明（DDP）、符合性文件（指适航符合性文件）、批准的更改、批准的偏离和让步等。因此，通过展示产品基线文件，证明产品能满足功能特性和物理特性，满足需求基线文件的要求。

四是需求基线到产品基线的路径。需求基线正式确定后，作为顶层依据性文件开展发动机的研制工作。设计人员根据需求基线编制形成发动机技术规范和各部件的产品技术规范，经过审批冻结形成设计基线（功能基线和分配基线），然后根据功能基线和分配基线，开展设计工作，绘制全套设计图样、编制设计文件，并根据构型状态编制构型定义文件，作为制造的依据。制造人员根据设计定义文件，按照批准的工艺文件开展发动机制造，最

终形成的制造符合性文件等也是正式产品基线。因此，通过展示发动机设计过程中采用的各类标准、规范以及接口控制文件等，证明构型基线得到有效传递（见图1）。

五是构型标识、构型控制、构型审核和构型纪实在基线传递过程中的功能。向局方展示构型基线文件的有效性控制情况，包括基线文件的编制、编号、审批、更改均符合相关标准、文件的要求，证明构型基线得到有效标识和控制。

六是基础构型审核。形成发动机基础构型定义文件并提交审查组，明确发动机所有零件的构型状态，标识图样的版本。

七是构型标识。展示WZ16发动机项目的图样和文件的编号、版本记录、编写要求均符合构型标识控制文件。

八是构型控制。对冻结的构型文件进行更改时，按照更改程序提交审批流程，经过构型管理委员会批准后，才能进行相应更改。因此，通过展示构型更改文件的审批、控制和实施，证明符合构型控制的要求。

九是构型纪实。WZ16发动机在产品数据管理（PDM）系统中开展构型纪实，纪实内容主要包括构型项标识，设计单位，版本修订情况，构型项发放状态，以及构型项有效性范围、更改类型、更改标识、更改影响等。

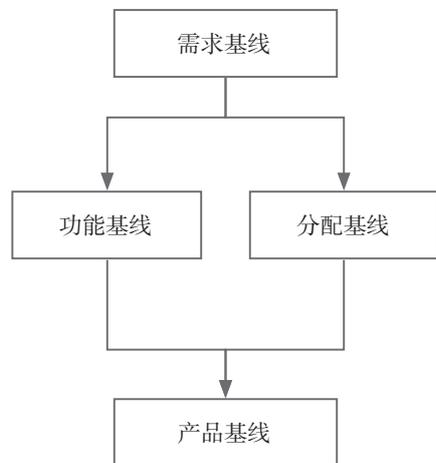


图1 基线传递路径

构型管理适航符合性验证方法

符合性方法参照AP-21-AA-2011-03-R4《航空器型号合格审定程序》附录H，符合性方法的代码、名称



图2 WZ16发动机构型管理现场审查活动

和使用说明如表1所示。

WZ16发动机构型管理审定计划符合性验证方法包括以下两种方式：MC0符合性声明在发动机适航符合性检查清单/符合性记录文件中，会对构型状态、构型标识、构型控制等进行直接说明；MC1说明性文件

对符合性验证思路中涉及的各类基线文件进行梳理，以展示文件的形式，证明构型管理工作的有效开展。

WZ16发动机构型管理适航符合性验证工作，共向局方展示了77类技术文件、图样等，并开展了5次现场审查活动（见图2），最终完成了

所有符合性验证工作，证明了WZ16发动机构型管理工作的符合性，顺利取得了型号合格证。

结束语

WZ16发动机构型管理适航符合性审查实际上是对构型管控过程和构型管控结果的审查。因此，建议将对构型管理的符合性审查工作一分为二：一方面，将对构型管理程序文件的审查合并至设计保证系统中一同审查，说明程序的完整性和合理性；另一方面，对构型管控结果的审查与发动机整机、各部件/系统取证构型和试验构型的审查相结合，说明构型控制的有效性。当两部分的审定工作完成后，自然表明型号构型管理工作的有效性与符合性。由于构型管理审定计划明显不同于针对整机、部件、系统级的审定计划，缺少明确的审定基础，其符合性验证工作与其他CP的审定存在紧密的联系，因此不建议单独对构型管理开展审定。

航空动力

（陈芝来，中国航发研研所，高级工程师，主要从事航空发动机基础技术研究和管理工作）

表1 符合性方法的代码、名称和使用说明

代码	名称	使用说明
MC0	符合性声明	在符合性检查清单/符合性记录文件中直接给出
MC1	说明性文件	如技术说明、安装图样、计算方法、证明方案、飞机手册
MC2	分析/计算	如载荷、静强度、疲劳强度、性能、统计数据分析与以往型号的相似性
MC3	安全评估	如功能危害性评估（FHA）、系统安全性分析（SSA）等用于规定安全目标和演示已经达到这些目标的文件
MC4	实验室试验	如静力和疲劳试验，环境试验，试验可能在零部件、分组件和完整组件上进行
MC5	地面试验	如发动机部件和整机的耐久性试验，环境、温度等试验
MC6	试飞	规章明确要求时，或用其他方法无法完全演示符合性时采用
MC7	航空器检查	如系统的检查隔离，检查和维修的规定
MC8	模拟器试验	如评估潜在危险的失效情况
MC9	设备合格性	如对预期功能的适合性，在临界环境中的性能，可能被记录于设计和性能声明中