

商用航空发动机构型审核研究

Configuration Audit Study of Commercial Aero Engine

张艳丽 郝朝杰 李琦 陈乃威 / 中国航发商发

我国商用航空发动机研制工作任务重、时间紧、挑战多，新冠疫情更是加剧了内外环境的冲击。如何巩固已经取得的成果，在后续的研制中少走或不走弯路，以尽快实现自主研发的成功，迫切需要建立系统规范的构型审核流程。

构型审核是确保产品的技术状态信息在全生命周期内的一致性、完整性和符合性的一种方式。发动机的构型审核工作应与研制工作协同开展，通过验证产品技术状态以及评价构型管理（CM）工作的结果是否满足要求，来识别产品技术状态在研制过程中的潜在风险，为商用航空发动机的研制工作保驾护航^[1]。构型验证和审核也是预防产品召回、停止昂贵的相容性更改、降低客户不满意度的最后一道防线^[2]。缺少构型审核，构型管理工作就无法形成闭环。所以，建立有效的商用航空发动机构型审核流程，对于发动机的研制和取证工作非常关键且意义重大。

构型审核基本框架

商用航空发动机的构型审核，根据不同的项目、不同的台份、不同的项目节点以及不同的目的等，可以以不同的裁剪形式开展，但是审核的基本框架万变不离其宗。构型审核以状态和构型信息、批准的构型文档、产品和验证结果为输入，严格按照构型管理计划开展工作，坚决依据构型管理程序执行，依托基于构型数据模型的信息化系统开展构型审核工作并整改问题；同时，



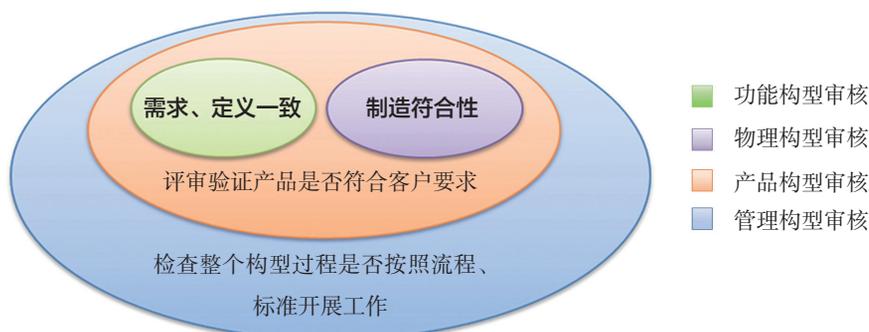
构型审核基本框架

要确保遵循适航规章和合同条款的规定，发现审核问题并提出纠正措施，最终确认审核结论。商用航空发动机构型审核的最终目的在于通过审核的手段明晰问题，并形成闭

环的纠正整改行动，最大限度地发现问题，降低项目开发的风险。

构型审核分类

按照构型审核要求的不同，可以分



商用航空发动机构型审核分类

为产品构型审核和管理构型审核。其中，产品构型审核按照审核对象的不同，分为功能构型审核和物理构型审核。

功能构型审核

在商用航空发动机项目研制的不同阶段会产生不同的构型文件，构型审核是对标每个阶段输入输出的构型文件，按照阶段门的管理方式作为技术状态确认的一种手段，是检查确认产品在研制过程中构型文件的一致性、完整性和符合性，以确保产品构型的可追溯性，及时识别研制技术状态的风险以及为技术评审提供决策的依据。功能构型审核的主要目的是审核产品定义文件、验证结果与设计要求文件的完整性和符合性。通过审查验证结果来说明构型项对标设计要求、接口、图样、软件代码等功能和性能要求的完整性和符合性。功能构型审核是确认“文文相符”。

物理构型审核

物理构型审核的对象主要是针对发动机实物状态信息，审核选定范围内的实物状态信息与定义文件（相关要求、图样、表单等）之间的

完整性和一致性。针对产品的实物信息、工艺规程（制造/试验）、工艺记录（制造/试验）审查，通过审查实物状态信息、工艺和记录来说明对标设计定义信息（接口、图样/模型等）的完整性和一致性。另外，还有针对工装/设备（专用）的审查，通过实物状态信息的审查，来说明设计定义信息的完整性和一致性。物理构型审核是确认“文实相符”。对实物全生命周期内的重要里程碑进行物理构型审核，及时识别构型风险作为技术评审的依据。目前，商用航空发动机开展物理构型审核的阶段（不限于）分别集中在实物集件验收前（或总装评审前）、总装后（或装配后）试验前和试验后分解前。

管理构型审核

管理构型审核是确认构型管理相关业务活动的开展是否符合构型管理体系文件的要求，以便评价构型管理体系文件在项目上的适宜性和识别出优化改进的方向。

构型审核时机

按照审核时机的不同，可以分为常

规审核和专项审核。

常规审核是指在构型审核年度策划中的例行审核，可以理解为定期审核。根据商用航空发动机的研制路线，常规审核设置在技术评审前及评审后的维护过程中进行，主要审核构型信息文件对标上一阶段的设计要求是否一致、完整和符合，以便及时识别存在的风险，为下游工作提供一致、完整的技术状态。

专项审核，一般由构型控制办公室（CCO）根据需要，组织安排专项的物理构型审核或者功能构型审核，为不定期的审核。专项审核时机的选择原则包含但不限于工程更改比较频繁时，试验件质量有重大异常发生时，当顾客有要求或构型有需求时，试验件转产或复产的装配前和装配后、试验前和试验后。

构型审核流程

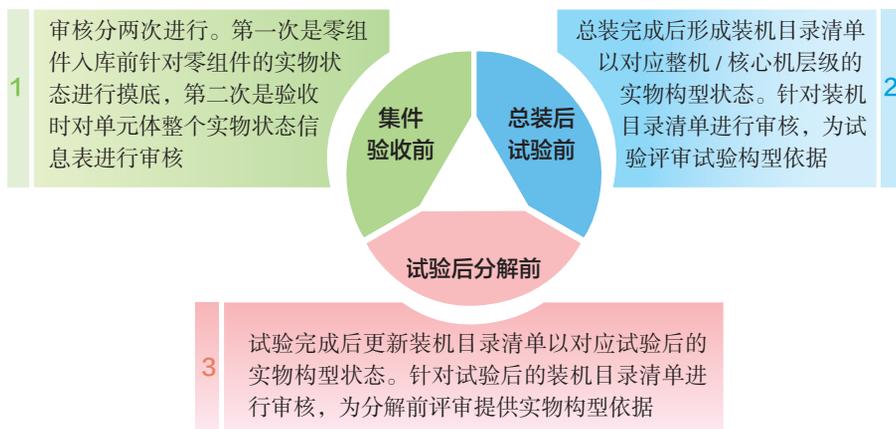
商用航空发动机的单次构型审核是依据构型审核年度策划或者专项审核需求组织开展的，单次构型审核的过程包括构型审核策划、编制构型审核计划、实施构型审核、问题整改及编制审核报告等。

构型审核策划

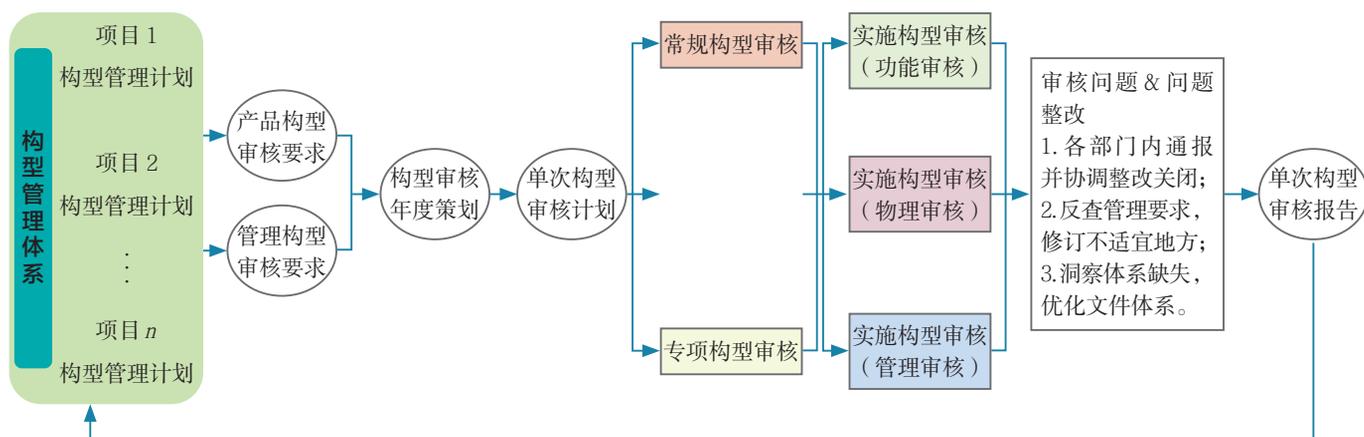
构型审核年度策划是指导构型控制办公室和构型控制小组（CCT）在相应年度开展单次构型审核的依据，并由构型控制委员会（CCB）或其授权组织在每年年初开展策划，按照构型审核年度策划或者对标项目计划，在相应的时间节点由构型控制办公室组织协调开展单次构型审核，按照审核范围明确构型审核的时机、审核对象、审核组织等。

构型审核计划

构型控制办公室和构型控制小



商用航空发动机研制阶段的物理构型审核



单次构型审核流程

组分别按照发动机年度构型审核策划，在对应的节点制订单次审核计划，确定审核的检查单，并开展相应的构型审核。单次构型审核计划须由构型控制办公室主任或其授权代表签署发布。另外，若需要进行年度审核策划以外的构型审核（包含但不限于专项构型审核），则应发起构型审核申请，经构型控制办公室会签和构型控制小组主任批准后开始进行单次构型审核，并制订相应的构型审核计划。

构型审核实施

构型审核活动按照构型计划分两步实施。第一步，由构型控制小组组织设计相关人员对技术状态进行全面评估，并完成输出技术状态评估报告。第二步，构型控制办公室在构型控制小组全面评估的基础上进行抽查审核，完成并输出构型审核报告，为技术评审及技术状态识别提供决策依据。如需要使用之前的相应构型项的技术状态评估报告支撑时，应说明之前进行技术状态评估的构型与当前构型之间的差异，进行差异性技术论证以说明是否影响验证结果。

构型审核问题与整改

构型审核中发现的问题，需要及时准确地被记录，以此建立后续纠正和改进的台账。同时，为避免后续出现相同或相似问题提供前车之鉴。对商用航空发动机审核发现的问题进行汇总、分类并记录，反查管理要求，修订不适宜地方，洞察体系缺失，优化构型管理机制和文件体系。

构型审核报告

构型审核任务完成后应以审核报告的形式重申构型审核的目的及范围，记录本次构型审核的执行组织，明确被审核专业或部件范围等对象，描述构型审核的内容，梳理并详细记录审核中发现的问题，最终从完整性、符合性、一致性等方面明确构型审核结论，并依据审核发现的问题综合评估对下游工作可能产生的影响。

结束语

成功的商用航空发动机研制是靠审核来保障的。在遵循严谨完备的开发流程的同时，也需要有效的验证和审核手段。构型审核就像发动机

研制项目中的“警察”，在不同的阶段和不同的维度，从不同的视角审视研制和适航工作的一致性、完整性和符合性。审核中及时发现隐患和问题，为后续工作少走弯路打下了基础；审核中对不同属性问题的归纳分类，为识别典型突出问题指引了方向；审核中涉及的发动机部件系统，为加强管理和控制提供了参考。我国商用航空发动机正处在产品的详细设计和验证阶段，试验构型的多样性和多变性给研制增加了难度和复杂性，这更需要一套适合企业自身发展特色的规范化、清晰化的构型审核体系，以此保障研制工作的成功。

航空动力

（张艳丽，中国航发商发，工程师，主要从事商用航空发动机的构型管理工作）

参考文献

- [1] 张艳丽,孙振宇,李琦,等. 基于数字孪生的商用航空发动机构型管理[J]. 航空动力, 2022(3):50-52.
- [2] 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: 322-323.