

适航管理融入航空发动机研发流程初探

Consideration on Integrating Airworthiness Management into Aero Engine R&D Process

■ 周淳 龚立锋 郭彬彬 / 中国航发动研所

适航管理是民用航空发动机研发过程中的重要技术类管理活动，将适航管理活动有机地融入航空发动机研发流程是航空发动机研发体系建设的紧迫要求。

航空发动机研发阶段的适航管理

民用航空适航管理是指根据国家的有关规定，对民用航空器的设计、生产、使用和维修，实施以确保飞行安全为目的的技术鉴定和监督。这是一个以政府监管视角给出的定义。适航管理部门（局方）在制定各种最低安全标准（适航规章）的基础上，对航空器的设计、制造、使用和维修等环节进行审定、监督和管理。根据管理内容和实施时间的不同，适航管理又可分为初始适航管理和持续适航管理两个阶段。初始适航管理是在航空产品交付使用前，局方依据适航规章，对民用航空产品的设计和制造进行型号合格审定（TC）和生产许可审定（PC），以确保航空器和航空器零部件的设计、制造符合适用适航规章而进行的管理。持续适航管理是在航空产品满足初始适航标准和规范、满足型号设计要求、符合型号合格审定基础并投入运行服役后，为保证航空产品能够始终处于安全运行状态而进行的管理。

当前，我国航空发动机产品研发体系定义的产品研发阶段是从用户需求识别与分析开始，经过确认

产品达到功能、性能等规范指标，直到满足批量生产要求为止。由此可见，航空发动机研发阶段对应于适航管理的初始适航管理阶段。从研发视角出发，航空发动机研发阶段的适航管理可定义为：为确保通过局方对航空发动机设计和制造的型号合格审定以及生产许可审定而开展的一系列技术和管理活动。这些技术和管理活动应满足航空发动机型号合格审定和生产许可审定等相关适航规章和规范性文件的要求，不仅应确保航空发动机产品本身符合适航要求，还能向局方证明和展示产品及研发过程符合适航要求。

航空发动机研制涉及的适航规章和规范性文件

适航规章和规范性文件根据规定的适用范围分为技术类和管理类两种。

技术类规章规定了航空发动机产品研制需要满足的最低技术要求，航空发动机研制涉及的典型技术类规章有：CCAR-33《航空发动机适航规定》；CCAR-34《涡轮发动机飞机燃油排泄和排气排出物规定》；CCAR-25《运输类飞机适航标准》、CCAR-23《正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航规定》、CCAR-

29《运输类旋翼航空器适航规定》、CCAR-27《正常类旋翼航空器适航规定》；CCAR-36《航空器型号和适航合格审定噪声规定》等。

管理类规章和规范性文件通常是对审定程序、申请人资质和组织管理体系等提出要求，航空发动机研制、生产涉及的典型管理类规章和规范性文件有：CCAR-21《民用航空产品和零部件合格审定规定》；CCAR-183《民用航空器适航委任代表和委任单位代表的规定》；AP-21-AA-2011-03-R4《航空器型号合格审定程序》；AP-21-AA-2019-31《生产批准和监督程序》；AC-21-AA-2013-04-R1《生产批准持有人供应商管理指南》等。

研发体系适航流程建设思路及思考

当前，航空发动机研发体系适航流程的建设思路是以适航规章/规范性文件要求为牵引，识别型号研制中必须开展的适航业务活动，主要包括：基于技术类适航规章，开展产品适航规章识别，针对适用的规章要求进行相关的设计与验证，对各阶段的产品状态进行适航符合性评估等工作；按照管理类适航规章和

规范性文件中规定的局方审定活动，为局方审查提供便利，协调并组织设计团队在对适航要求开展的验证工作中接受局方审查、提供相关符合性证据资料，并及时记录、反馈和归档审查结果，在接受局方审定过程中证明和展示产品及研发过程符合适航要求等工作。

规划型号研制中适航业务活动主要依据AP-21-AA-2011-03-R4《航空器型号合格审定程序》，这个文件将典型的型号合格审定过程分为概念设计、要求确定、符合性计划制订、计划实施以及证后等5个阶段。各阶段局方与申请人的正式协调事件有：型号合格审定过程的宣贯、安全保障合作计划（PSP）签署、潜在审定项目的熟悉、首次型号合格审定委员会（TCB）会议确定审定基础、中间TCB会议审议审定计划或专项合格审定计划、审定飞行试验前的TCB会议以及最终TCB会议，如图1所示。

根据AP-21-AA-2011-03-R4的要求，从适航业务视角梳理航空发动机型号研发的主要适航工作如图2所示。

对照航空发动机研发流程整体框架，图2左侧的适航相关设计与分析、适航符合性评估以及适航要求验证的整个过程就是产品为满足研制要求进行设计、开发、验证的过程。只要将适航要求作为航空发动机型号研制的顶层需求之一，通过产品需求分析管理流程将适航要求融入型号研制要求，即可实现与型号研制工作的无缝对接。作为型号需求管理的一部分，适航要求识别的主要工作是根据航空发动机型号研制设计方案和结构特点，例如航空发

动机类型是涡桨还是涡扇，是否设计有转子锁定装置，是否有自由涡轮等，识别适用的适航规章条款，明确条款对应的符合性验证项目。

在适航要求的识别活动中是否应包含适航规章解析工作曾存在争议。适航规章解析的工作内容通常是研究国内外航空发动机适航条款的修订历史和符合性验证要求，推导条款的技术含义、对设计的限制

和对验证的要求。这项工作是目前民用航空发动机型号研制急需解决的问题，也是国内几个民机项目适航团队正在攻关的核心任务，然而却并不属于型号研制流程中的一个活动内容。我国航空发动机研制初期由测绘仿制起步，在发动机性能、功能、耐久性等方面的工作开展得较为深入，安全性设计方面的工作则考虑较少，基于以往军机型号研

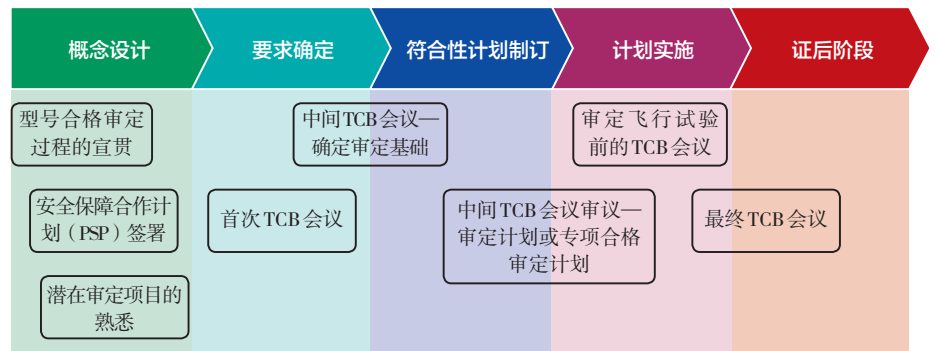


图1 航空发动机型号合格审定过程中局方与申请人的正式协调事件

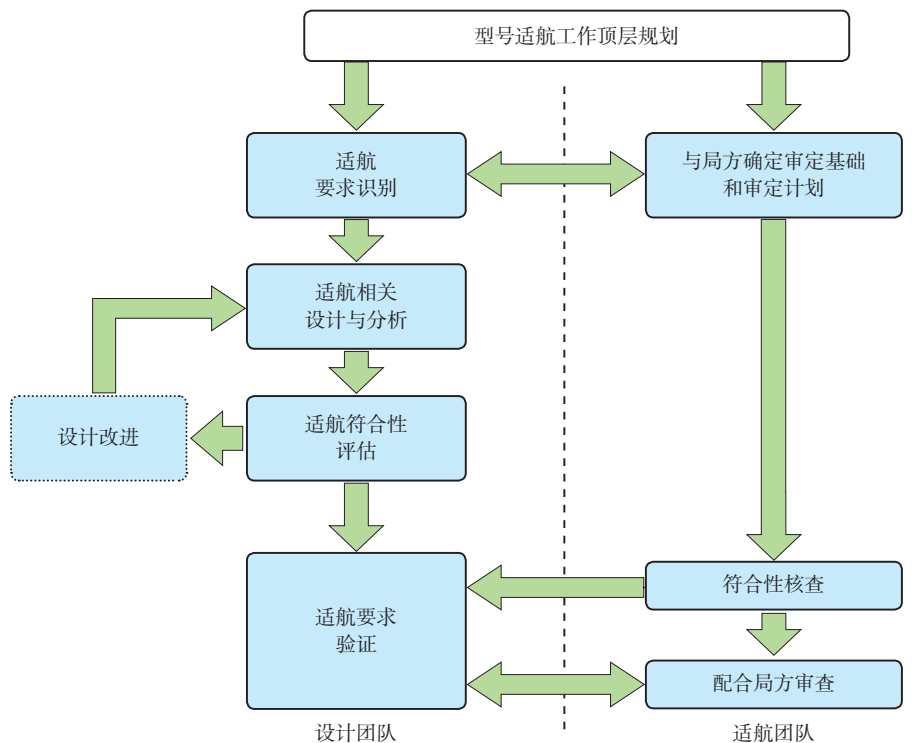


图2 航空发动机型号研发的主要适航工作

制经验建立的研发体系在安全性设计规范方面有所欠缺，首次进行民机项目研发时，存在现有的企业规范和标准不能完全覆盖适航规章要求的情况，因此需要开展适航规章解析，对比分析并完善现有设计、验证规范，这属于航空发动机研发体系建设必要的基础研究工作。当适航要求完全融入发动机各部件、系统的设计规范，研发体系具有足够成熟度之后，未来型号研制中将不再需要额外规划适航规章解析工作。适航规章在欧美各国最初的诞生，就是源于各航空工业巨头自身产品遵循的企业规范和行业标准。作为最低安全标准，在产品进行需求分析时，识别出的适航条款要求被企业自身规范要求替代是常见现象。例如，在CCAR-33R2第33.94条“叶片包容性和转子不平衡试验”中，要求发动机能包容“最危险的压气机或风扇的一个叶片失效”，而一些发动机企业的企业标准要求至少能包容两个叶片失效，在这种情况下，无须再对如何满足“一个叶片失效”的适航要求进行进一步分解。

在产品研发体系建设中，存在困扰最多的是如何将局方参与或由审定程序规定的活动有机地融入体系。例如，一些观点认为这些活动主要是对外沟通，游离于型号研制的主要流程，符合性核查活动不应属于型号研制的一部分；型号合格审定阶段的划分与产品研制阶段划分不一致，虽然可以定义相关的活动，却往往难以判断活动发生的具体时间段等。以上困惑也是当前型号适航工作没有很好融入研发流程的体现，一方面与局方确定型号合格审定基础和审定计划的时机与型号确定研制需求和研制计

划的节点不匹配，另一方面由于适航要求解析不全面，验证阶段需要组织研发团队补充开展额外的设计和验证工作等，使得证明和展示产品符合适航要求的过程看上去与整个研发过程脱节。

从正向设计的角度出发，适航法规中规定的各项审定活动同样属于型号研制工作的顶层需求，它们虽然不会直接影响航空发动机产品设计方案，但如果不能顺利开展也会导致产品研制进度延迟、成本增加，进而降低产品的市场竞争力。因此，需要分析这些审定活动对产品研发的实质影响，与其他研发活动一起进行统筹规划。以符合性核查活动为例，CCAR-21-R4《民用航空产品和零部件合格审定规定》第21.473（二）条要求申请人必须建立设计保证系统，“该设计保证系统应当具有确保设计机构向局方提交符合性声明和相关文件之前，独立地核查符合性声明的有效性和文件的符合性的功能。”在中国民用航空局2017年公布的《设计保证系统》咨询通告草案中，建议通过设置符合性核查工程师岗位来履行该项职能。这是一个典型的由适航法规牵引出的适航活动，从适航审查方的角度进行符合性核查是为了通过研制单位的自审，在一定程度上减少局方的工作量。而从型号研制内部来看，符合性核查的实质含义是在原有质量管控程序的基础上再增加一次内部审查，通过审查制度设计加强适航要求的设计权重，确保最低安全要求的贯彻落实不会被产品进度和/或成本限制等因素削弱或减少。因此，符合性核查不仅仅是配合审查需要，也是民机研发体系中的一个

不可或缺的环节。

适航团队活动与体系融合的建设思路是从产品研发的视角提出的，一方面根据审定活动对产品研制的影响归类或重组定义一些适航活动，例如，针对AP-21-AA-2011-03-R4《航空器型号合格审定程序》中列出的主要协调事件“中间TCB会—确定审定基础”和“中间TCB会—确定审定计划或专项合格审定计划”，基于对产品研制的影响，将这两个活动与适航要求识别活动相对应，将符合性核查活动作为质量控制的一部分，制订相关的适航符合性核查流程，从增设文件审签环节的角度探索与产品研发相融合的方法；另一方面，根据法规规定各主要审定活动中工业方需要提交的资料，对比型号研制阶段输出物要求，结合以往的型号实践经验，综合判断各个活动开展时机，例如将组织召开最终TCB会议对应于型号研制的小批量生产阶段。

结束语

综上所述，以适航法规规定的审定活动为策划型号研制适航工作的主线，根据产品研发各阶段确定的研制目标，确定适航各项业务活动的开展时间，使各项审定活动与产品研发进度相匹配；同时通过开展适航规章解析等基础研究，将适航技术要求融入各部件、系统的设计规范，将不断推进适航管理与研发体系的融合深度。在融合过程中，还需要经过多个型号实践的历练，通过与研发体系其他各专业更多的碰撞交流来逐步成长和完善。

（周淳，中国航发动研所，高级工程师，主要从事适航技术研究）