

型号设计阶段贯彻持续适航要求

Implementing Continuous Airworthiness Requirements in Aero Engine Design

■ 陈楠 / 中国航发商发

作为民用航空发动机型号合格证持有人，制造商有责任和义务持续保证发动机产品符合型号审定要求，并始终处于安全可用状态。为了实现民用航空发动机在投入运行之后持续保持适航状态，发动机制造商需要在型号设计阶段就贯彻持续适航理念，将相关要求落实到产品研发设计活动中。

适航活动贯穿于民用航空发动机产品的全生命周期。其中，航空发动机产品的设计在取得设计批准（型号合格）之前，制造商作为申请人，应表明其产品符合规章要求，并保持在安全可用状态。在航空发动机投入运行后，应通过持续适航管理，识别出在役发动机产品的不安全状态，通过开展工程调查找出根本原因，制定并发布服务通告甚至适航指令等持续适航文件，及时纠正或消除在役发动机产品的不安全状态，保证产品满足持续适航要求。要想达到上述目的，发动机制造商不能等到产品投入运行时才考虑建设相关能力和建立相关系统，需要提前谋划布局并建立符合民航法规要求的持续适航体系和功能。

持续适航内涵

持续适航是适航全过程活动的一个不可分割的组成部分，与设计批准、制造质量管理和单机检查一起构成了有机的适航整体闭环。

根据国际民航公约附件8及国际民航组织适航工作手册（Doc.9760），持续适航是指涉及所有航空器在使

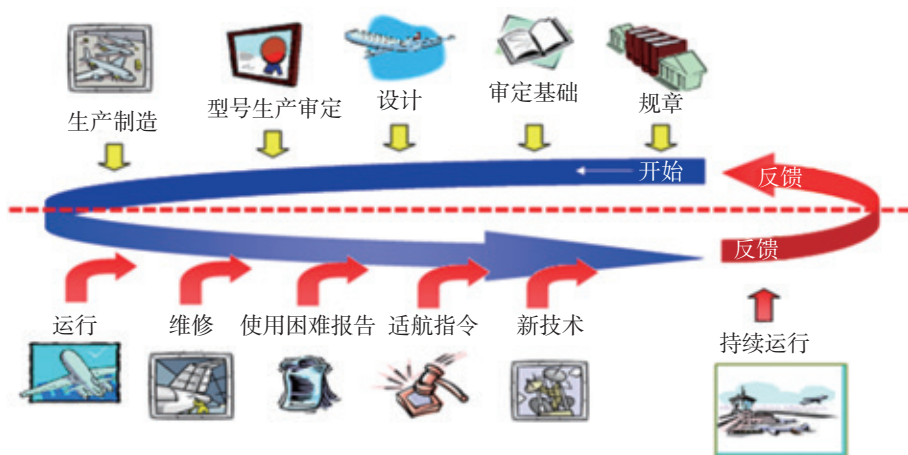


图1 民用航空产品的适航过程

用寿命内的任何时间都符合其型号审定的适航要求，并始终处于安全运行状态的全部过程。因此，持续适航的主要任务包括两项：一是符合，即航空器符合型号审定时技术状态；二是纠正，即特定型号的航空器和产品由于在标准制定或标准符合方面可能存在未探明的变化，同时由于设计缺陷和制造缺陷可能引起不可预计的综合失效，以及可能存在意料之外的运行条件或环境条件等因素，实际的适航安全风险水平可能会高于设定的标准，这时需要制定相应的纠正措施，来保障航空器处于安全运行的状态。

因此，开展持续适航工作时，一方面应编制与修订持续适航文件，另一方面应建立持续适航体系，从而确保在投入运行后可以系统性开展不安全状态的识别、分析及纠正。总体而言，应从产品设计、制造、使用、维修、管理等环节统筹考虑航空发动机持续适航工作，如图1所示。

持续适航需求

开展持续适航工作前，应先理解持续适航的工作需求，这些需求主要来自于民航规章要求以及客户要求。其中，民用航空规章及管理要求明确规定了发动机制造商在保障产品

持续适航方面应该履行的责任和义务，按来源划分，主要有以下几类持续适航需求。

审定类持续适航需求

审定类持续适航需求在中国民用航空规章（CCAR）的以下几部分有所体现。

一是《民用航空产品和零部件合格审定规定》（CCAR-21）。例如，21.5条规定了故障、失效和缺陷的报告要求；第13章规定了修理要求；21.441条规定了持续适航文件要求；第15章规定了运行符合性评审。

二是《航空发动机审定规定》（CCAR-33）。例如，33.4条规定了持续适航文件要求；33.90条规定了初始维修检查要求；附件A详细给出了发动机维护手册、发动机翻修手册等持续适航文件的格式、内容及适航限制条款相关要求。

三是《运输类飞机适航标准》（CCAR-25）。例如，25.1529条规定了持续适航文件要求，附件A则给出详细要求。

四是《运输类飞机持续适航和安全改进规定》（CCAR-26）。本规章为设计更改和持续适航文件修订而制定的标准。

运行类持续适航需求

运行类持续适航需求主要见于中国民航规章的以下几部分。

一是《一般运行和飞行规则》（CCAR-91）。其中，第G章规定了航空器维修的要求，同时，该规章下的相关咨询通告也规定了持续适航需求，如《航空器的持续适航文件》（AC-91-11）、《航空器计划维修要求的编制》（AC-91-26）等。

二是《大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则》（CCAR-

121）。其中，第L章规定了飞机维修的要求，同时，该规章下的相关咨询通告也规定了持续适航需求，例如，《民用航空器维修方案》（AC-121/135-53）、《维修审查委员会和维修审查委员会报告》（AC-121/135-67）、《合格的航材》（AC-121-58）等。

三是《民用航空器适航指令规定》（CCAR-39）。该规章规定了适航指令（AD）的要求、责任和颁发等内容，同时，该规章下的相关咨询通告也规定了持续适航需求，例如，AC39-8规定了运输类飞机动力装置的持续适航评估要求。

四是管理文件《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》（MD-FS-AEG006）。例如，第6.2节规定了制造厂家的设计、制造、客户服务等部门在运行支持方面的职责；在附录1中给出了维修大纲编制、持续适航文件编制和航材供应等具体工作流程。

维修类持续适航需求

维修类持续适航需求主要包括《民用航空器维修单位合格审定规则》（CCAR-145）和《民用航空器维修培训机构合格审定规则》（CCAR-147），前者规定了维修许可证的颁发和管理，后者规定了维修培训机构合格证的颁发和管理。

飞机制造商要求

飞机制造商通过供应商管理要求或技术规范，从产品研制及运行的全生命周期对发动机制造商提出了相关持续适航要求，包括可靠性、维修性和测试性要求，维修工程，改进/改型，服务通告（SB）/AD，技术出版物，培训，航材和运行监控等。

运营人要求

航空公司作为发动机产品的运营人，以客户需求的对发动机

制造商提出相关持续适航要求，包括：维修大纲、工程技术支持、机队管理及状态监控、在翼支援和维修/大修资源服务等。

持续适航贯彻

对于制造商，除了需要提供满足型号合格审定要求的持续适航文件（ICA），还需要建立持续适航体系所需的各项功能。因此，在发动机的型号设计阶段就需要充分捕获持续适航需求，预留足够的开发和验证时间周期。同时，持续适航管理对于发动机制造商持续改进完善型号产品具有重要意义，相关数据收集、管理和分析能力，以及工程问题处置能力需要在型号设计时就做好充分准备。航空发动机遵循正向研发逻辑，其中，持续适航要求贯穿于发动机的产品需求定义、概念设计、初步设计、详细设计、验证、交付及服务型号设计全生命周期的各阶段，也即是经历了需求、分析、验证、运行和反馈的系统工程全过程，如图2所示。

型号设计的需求阶段

按照正向研发思路，在型号设计之初，将运行维修等持续适航需求以需求捕获的方式，作为输入之一纳入产品研制需求。例如，按《航空器的持续适航文件》《航空器计划维修要求的编制》等持续适航需求，应在设计之初确立产品维修策略，从而为后续的维修性分析及评估、维修工程分析和持续适航文件编制等工作提供基础，如图3所示。

型号设计的分析阶段

结合系统工程和航空发动机型号设计的特点，在型号设计阶段主要进行以下几种分析活动。

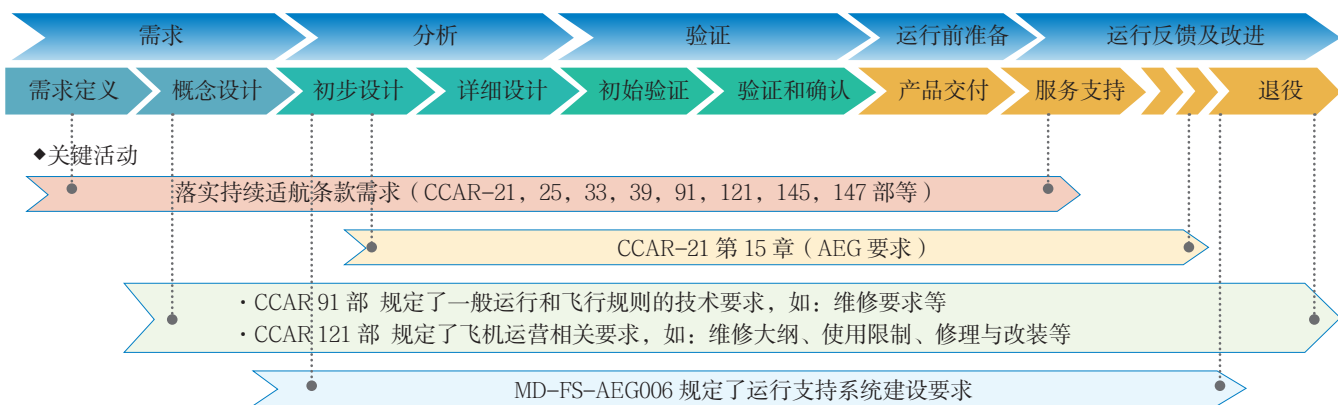


图2 发动机持续适航要求贯彻的全过程

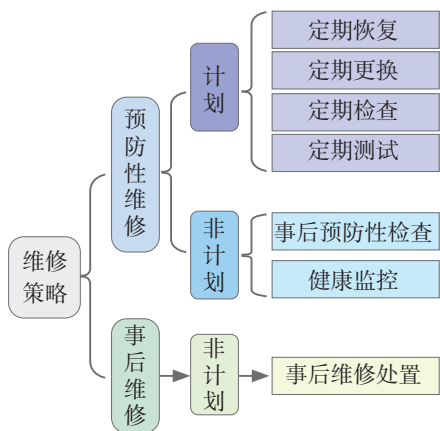


图3 发动机维修策略相关持续适航需求

一是维修工程分析。在产品型号设计阶段，首先定义发动机持续适航需求，随后开展故障模式及影响分析（FMEA）、维修性分析、维修工程分析（MEA），输出计划维修、排故和修理操作程序等，形成初始维修方案，为后续的发动机持续适航文件编制、客户培训、航材和运行支持等工作提供技术输入。

二是修理工艺分析。在与维修相关的持续适航需求分析过程中，会根据维修策略、维修能力、商务需求等因素完成修理工艺开发，通过修后性能试验加以验证获得适航批准或认可，制订零部件、单元体或整机修理方案，也为持续适航文

件和未来维护、修理和大修（MRO）企业运营提供输入，如图4所示。因此，型号设计时，对所采用的新材料、新工艺和新技术，应预留足够的时间周期开展修理方案的技术开发。

三是维修保障工具分析。在上述维修工程分析中，根据《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》等运行及维修保障需求，识别出发动机运维所需的地面保障工具设备（GSE）资源需求，针对专用GSE，应开发专用GSE方案，在通过试验验证后最终形成为客户提供GSE产品。

四是持续适航文件编制。产品型号研制过程中，基于上述分析结果，按照《基于公共源数据库的技术出版物国际规范》（S1000D），加上从设计等获取的各类源数据，编制持续适航文件，包括维修、排故、安装、图解零件目录等各类手册与

技术资料，最终形成便于客户使用的交互式电子技术出版物（IETP）。

型号设计的验证阶段

按系统工程理念，在发动机产品型号设计开展验证的同时，持续适航需求也实施验证，从整机到部件、零部件，从整体维修方案到具体维修任务，验证内容包括维修间隔和维修程序的操作性、有效性和完整性等，如图5所示。

投入运行前准备

在对维修等持续适航需求的验证时，为了使发动机交付客户后能够实现安全高效运行，在型号设计阶段需要考虑建立服务保障能力，为持续适航进行充足准备。梳理运行场景，如图6所示，识别运行阶段需求，结合《航空器制造厂家运行支持体系建设规范》等持续适航体系需求，开展客户培训、航

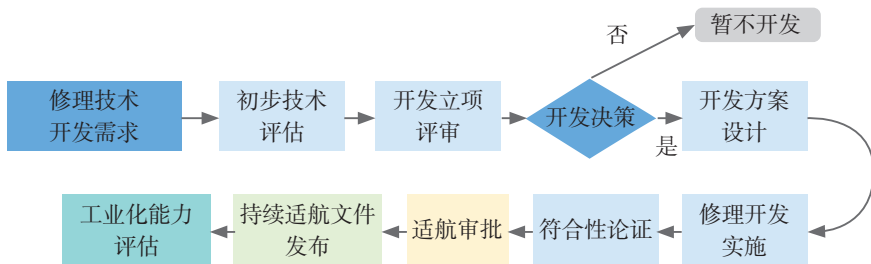


图4 发动机修理技术开发流程和标准

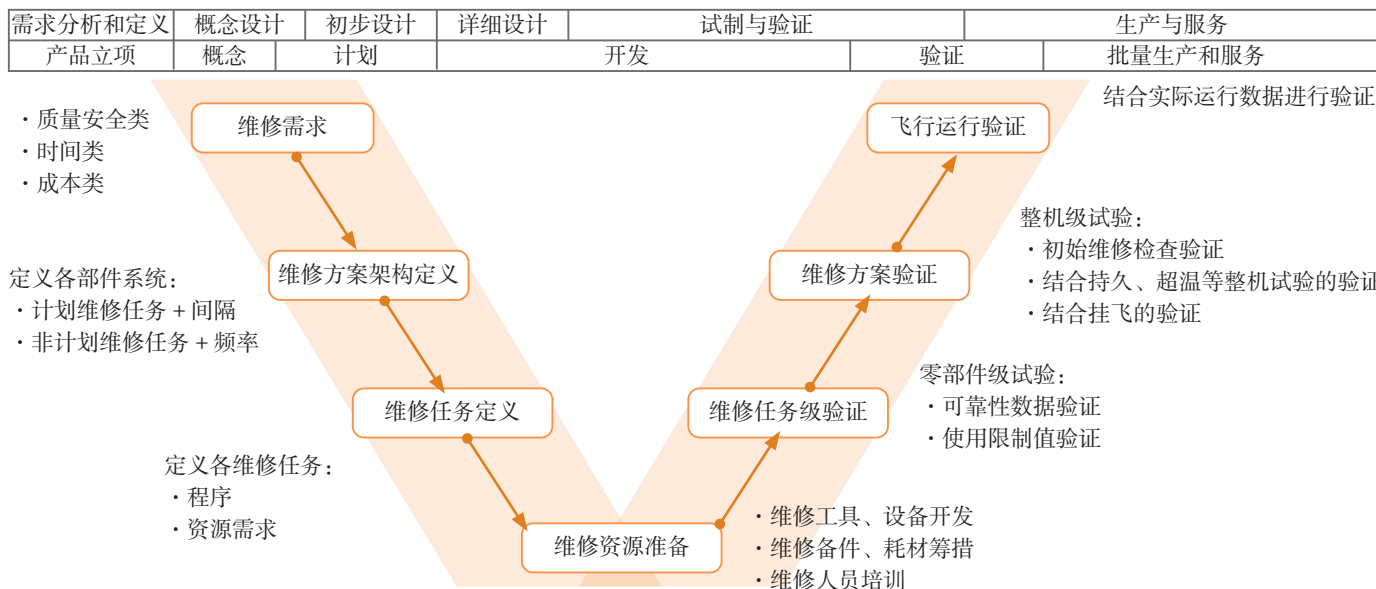


图5 发动机维修需求的设计与验证

材、工程技术服务和运行监控等前期准备，并建立数字化系统，以保证发动机运行数据传输、存储、分析、研判和预警的准确、完整、可靠、有效，保障不安全状态得到识别和及时纠正。

运行、维修及反馈

在航空发动机交付客户投入运

行后，发动机制造商将按上述持续适航文件和前期运行准备，综合考虑零部件、单元体和发动机备件资源及周期与成本，为客户提供最佳服务保障。在运行维修过程中，一方面，收集运行数据，对发动机单机及机队进行运行状态监控，对于运行过程中出现的故障和不安全事

件及时提供处置措施和服务，确保持续运行安全和适航；另一方面，将重复性、多发性故障深入分析研究，会同设计研发部门，为产品持续改进完善提供解决方案，不断提高产品运行安全性、可靠性，延长在翼运行时间和维修间隔。

结束语

持续适航与初始适航都是以保障航空发动机安全运行为基本要务，是航空发动机制造商需要满足的基本要求。展望未来，数字化、网络化、智能化是持续适航领域发展的必然趋势，航空发动机制造商唯有建立准确、可靠、强大的持续适航管理系统，具备为客户提供客户化、智能化、高效低成本的运行支持服务能力，才能在日趋激烈的民用航空发动机市场竞争中占据一席之地。

航空动力

（陈楠，中国航发商发副总师，高级工程师，主要从事航空发动机适航、市场、运行与服务相关技术研究）

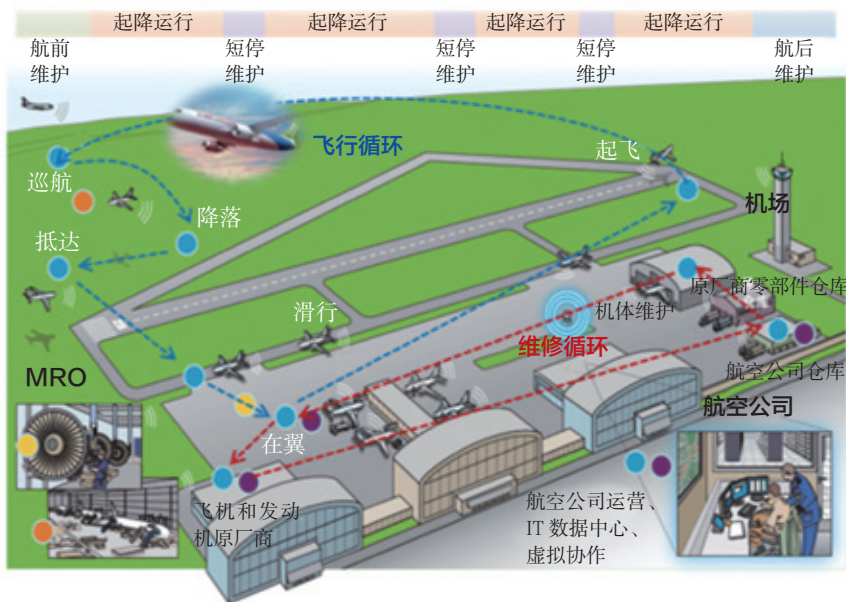


图6 发动机运行与持续适航场景