民用飞机机载软件管理

陈 勇 严林芳 孙景华 主编

航空工业出版社

民用飞机机载软件管理

陈　勇　严林芳　孙景华　主编

航空工业出版社

北　京

内 容 提 要

本书基于我国40多年民用飞机研制经验，结合民用飞机及系统的研制过程，深入研究确定了机载软件全生命周期各阶段主制造商、系统/软件供应商各自的工作内容。本书首先介绍了机载软件管理的背景、意义以及国内外研究现状，接着介绍了几种机载软件管理的组织架构和职责，并对机载软件有关的标准进行了概括说明，重点讲述了飞机及系统研制与软件研制之间的关系、工程审核与适航审查之间的关系，以及每个软件研制阶段的目标和活动。本书最后一章是对民用飞机机载软件管理过程中遇到的诸如软件构型管理、软件最终批准、供应商管理、IMA架构下软件审查等疑难问题的解答，以及民用飞机机载软件管理经验总结。

本书以民用飞机为研究对象，具有很高的推广应用价值，这套管理方法、理论和工作程序也可供军用飞机项目、航天、机械、通信等行业借鉴。

图书在版编目（CIP）数据

民用飞机机载软件管理／陈勇，严林芳，孙景华主编. -- 北京：航空工业出版社，2015.10

ISBN 978-7-5165-0902-9

Ⅰ. ①民… Ⅱ. ①陈… ②严… ③孙… Ⅲ. ①民用飞机—机载计算机—软件—管理 Ⅳ. ①V247.1

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第241235号

民用飞机机载软件管理

Minyong Feiji Jizai Ruanjian Guanli

航空工业出版社出版发行

（北京市朝阳区北苑2号院 100012）

发行部电话：010-84936597 010-84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷 全国各地新华书店经售

2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷

开本：787×1092 1/16 印张：11.75 字数：311千字

印数：1—2500 定价：38.00元

民用飞机机载软件管理
编 委 会

序

民用飞机研制作为一项极其复杂的系统工程，产业带动性强，是一个国家科技实力和综合国力的体现。中国具有世界最大的民用飞机市场，然而我国的民用航空市场仍然被波音、空客等欧美制造商占据。过去有人说“造不如买、买不如租”，习近平总书记在中国商飞考察时指出，“这个逻辑要倒过来，要花更多资金来研发、制造自己的大飞机”。

自 20 世纪 70 年代以来，民用飞机的飞行原理、布局和结构并没有发生太多改变，但飞机上所装载的各类机载系统和设备的功能、性能却发生了翻天覆地的变化。这些变革很大程度上得益于现代电子技术以及机载软件技术突飞猛进的发展。大规模集成电路、电子计算机及软件已经大量应用于民用飞机项目，且呈快速增长趋势。当今的机载系统无一例外地包含机载软件、编程逻辑器件，可以毫不夸张地说机载软件已经成为当代民用飞机的“灵魂”。

随着机载软件对飞机、系统的重要性越来越高，机载软件的安全性也成为关系飞机安全的一个重要方面。然而，机载软件有其特殊性，它无法像钢索、复合材料一样进行检查和试验，也不可能进行穷举测试，所以软件的安全性通常是依靠严格、规范的软件研制流程来保障。为此，美国航空无线电技术委员会（RTCA）相继发布了 DO-178、DO-178A、DO-178B 和 DO-178C，并被美国联邦航空局（FAA）、欧洲航空安全局（EASA）和中国民用航空局（CAAC）作为民用飞机机载软件研制可接受的符合性方法。国外飞机制造商、设备制造商也相继建立了相对完善的机载软件工程管理、适航审查体系。

1958 年，波音 707 飞机获得 FAA 型号合格证并先后交付 1010 架，被誉为商用民航客机的典范，波音公司后续研制出了波音 747、波音 777、波音 787 等多个让波音引以为豪的型号，美国的适航体系和概念也得到了世界上绝大多数国家的认可。欧洲空中客车集团在国际民用飞机市场迅速崛起，该集团研制的 A320、A330、A380 等多个成功机型在国际大型民用飞机市场与波音公司平分秋色。

纵观欧美民用飞机发展历程，可以发现民用飞机型号的发展不仅需要先进的航空工业基础，更重要的是要有国际认可的安全性、适航性保障体系。

当前，在国家政策指引下，中国航空业呈现跨越式发展之势。ARJ21-700 新支线飞机、C919 大型客机、“新舟 600”螺旋桨飞机、运 12F 轻型多用途飞机、“海鸥”300 水陆两栖飞机、直 15 直升机、直 8F 直升机、运 8F-600 飞机等型号的研制工作陆续开展。2009 年，C919 大型客机技术方案通过评审，转入初步设计阶段，目前正在进行首飞准备，发展国产大型客机是党中央、国务院在 21 世纪做出的具有重要战略意义的决策。ARJ21-700 新支线飞机的研制采用了“主制造商 + 供应商”的国际合作模式，并按照国际标准接受 FAA 的型号审查，2014 年底，该飞机已经取得型号合格证，正在进行交付运营的工作准备。40 多年以来，我国尽管在民用飞机适航条款的符合性方面进行了诸多的探索，也取得了一定的成果，但在严格按照国际标准进行民用飞机研制方面经验不足。与国外先进的主制造商相比，我国在航空制造领域按照 RTCA/DO-178B 进行机载软件的研制和条款符合性审查尚存在着一定的差距。

因此，迫切需要引入、借鉴国外优秀的民用飞机机载软件研制、管理及适航审查有关的出版物和数据资料，同时总结、巩固我国 40 多年的实践经验和科研成果，编著系列书籍，这将对于促进我国机载软件领域的技术发展和人才培养具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

最后，衷心感谢航空工业出版社和参与编写、编译、校审的专家们以及热心于民用飞机研制的有识之士做出的各种努力。

由于国内外专家的背景、经历和实践等存在差异，有些观点和认识不尽相同，希望本书的观点在具体的实践过程中得到进一步的检验，也期待读者提出宝贵意见，以备后续完善。

中国商飞有限责任公司总经理助理

上海飞机设计研究院院长

2015 年 9 月 15 日

前　言

现代电子计算机技术在民用飞机中的大规模使用，推动着机载软件和电子技术的迅猛发展，为世人所瞩目。而我国对 DO-178B 的引进和应用，更是受到业内人士的普遍关注。伴随着大规模集成电路和计算机技术的高速发展，机载软件在民用飞机中承担着日益重要的角色。当今的民用飞机机载软件广泛分布在主飞控、高升力、液压、燃油、起落架、环控、动力装置、防火、电源、通信、导航、自动飞行、中央维护、指示记录系统中，几乎全部的航空电子系统均由软件实现一定的系统功能，飞机所安装的机载软件的数量正以惊人的速度增长，它虽然看不见摸不着，但毫无疑问，它就是飞机的“灵魂”。

机载软件不仅存储和处理大量与安全飞行相关的重要数据，还能通过传递告警信息辅助飞行人员进行逻辑判断、引导飞机进入正确的航线乃至控制飞机的飞行。机载软件的质量还直接影响试验、试飞，乃至型号合格取证的进程。对民用飞机研制而言，考虑到型号审定基础 5 年变化一次，比较理想的情况是一个机型研制周期为 5 年，否则将因为审定基础的变化使得研制成本增加。主制造商只有在全球范围内整合资源，借助成熟的系统、设备供应商的力量，才能缩短产品研制周期，提高工作效率，节约成本，从而早日取得市场成功。因此，民用飞机采用“主制造商 + 供应商”的研制模式势在必行。当前的民用飞机项目中，通常总体、结构、强度、系统集成由主制造商负责，系统设计通常由主制造商主导、系统供应商参与研制。由于机载软件属于机载系统所含机载设备的重要组成部分，因此，多由系统供应商研发，在这种背景下，对主制造商而言，机载软件管理将尤其重要，主要体现在以下两个方面。

一方面，要对供应商机载软件研制过程进行监控，确保软件实现了飞机及系统分配的需求，并满足适航要求。

另一方面，主制造商要结合试验、试飞取证的整个过程对机载软件进行管理，包括机载软件现场加载控制、软件问题报告机制、软件成熟度评估、飞行试验机的软件构型控制以及批产、航线运行阶段的软件管理等，确保机载软件研制过程受控。

自从我国具有自主知识产权的 ARJ21-700 飞机立项并引进 RTCA/DO-178B 作为机载软件适航符合性标准以来，国内外各类专家陆续为国内研制单位的广大机载软件技术人员、审查人员开展了大量的标准培训，但我国仍然处于对标准内容的解读和理解阶段。目前虽然也有一些科研单位在进行 DO-178B 的实践活动，但迄今为止，国内按照 DO-178B 设计的 A 级别机载软件，并通过适航当局审查并批准的成功案例仍然较少。究其原因，因为 DO-178B 标准主要是基于欧美等发达国家的机载软件研制实践经验编写，与我国航空工业的实际情况存在较大差异。并且，DO-178B 标准提出的要求看上去太过笼统或者距离实际运用仍然相去甚远。如何实施 DO-178B 标准，如何进行适航举证以及如何满足主制造商的工程监控要求，这些问题长期困扰着我国航空工业诸多研制单位。

目前，国内已经有一些民用飞机机载软件相关的书籍公开出版，大体上分成两类：一类是

从适航审查的角度对标准进行解读，另一类是从具体实施的角度对标准应用进行提炼和总结。然而，结合民用飞机研制过程，将标准应用、软件研制、适航审查与飞机及系统研制阶段进行有机结合进行描述的书籍却非常少，使得读者很难得到如何从飞机主制造商顶层的角度去考虑软件问题的指导。

本书基于我国几十年来民用飞机研制历程，吸取了我国 ARJ21-700 新支线飞机和 C919 大型客机研制、机载软件管理、适航符合性验证的经验，结合作者多年来在国内外民用飞机研制、机载软件研发、工程审核、适航审查以及供应商管理的工程实践，根据民用飞机系统、软件研制阶段的划分，具体讲述了在每个阶段主制造商和供应商各自的机载软件工作内容。希望通过本书的描述让读者了解机载软件在民用飞机研制过程中的实际工作内容、方法、可能遇到的问题以及解决方案。全书力求结构清晰简洁，内容深入浅出，将复杂问题简单化，以有利于我国航空业的借鉴和运用。

本书共分为 12 章，对主制造商而言，可以从本书中获得作为主制造商需要编制哪些机载软件顶层文件、要在合同中对供应商进行哪些软件有关的约定、在每个阶段该做哪些软件监控、如何进行软件审核、如何开展设计评审、如何进行软件成熟度评估、如何进行软件构型管理和适航联络、预投产和批产阶段如何进行机载软件管理等方面的指导。对系统 / 软件开发商而言，除了从本书中了解到主制造商的软件管理要求外，还可以掌握 DO-178B 软件研制所遵循的过程、每个阶段的目标和活动、如何接受工程审核和适航审查等方面的技术。

本书由陈勇、严林芳、孙景华主编，郭博智、唐建华、赵春玲主审，严林芳、孙景华、刘建方、李林奇、陈一可、赵晨、周烨斐、居慧、童岳威、程金陵等共同编写。刘建方执笔本书第 2 章部分章节，第 10 章，第 12 章的 12.5 节、12.6 节和 12.8 节，并对第 8 章及第 9 章内容进行了修改完善；李林奇执笔本书第 8 章的 8.3.5 节、第 9 章部分章节以及第 12 章的 12.9 节；陈一可参与本书第 3 章部分章节、第 12 章的 12.7 节以及工程评审有关章节内容的编写；赵晨执笔本书第 9 章部分章节和第 7 章的 7.3.3.3 节；周烨斐参与本书第 7 章的 7.3 节和第 8 章的 8.2 节的编写；居慧参与本书第 8 章部分内容的编写及修改完善；童岳威编制了本书的缩略语和部分图表；程金陵参与本书第 4 章的 4.1 节和 4.2 节的编写。严林芳负责本书的总体思路和架构，孙景华编写了剩余章节的内容，并负责全书的多轮修改和统稿工作。

本书在编写过程中得到中国商用飞机有限责任公司多位领导的大力支持，在此感谢中国商飞的沈波、李玲、周贵荣、赵春玲、田剑波、常红、尹娟、郝莲、王学峰等多位领导的鼎力支持！

感谢中国商飞美国公司的叶伟，中国商飞上海航空工业（集团）有限责任公司的王文捷、刘文宏在机载软件起步阶段给予的大力支持和指导！

感谢中国民用航空局中南局的王敏、中国民航大学的王鹏和阎芳，在过去的将近 10 年里，无数次地与编者一起探讨机载软件管理和适航审查有关的问题，这些艰难探索的日子，对本书的观点形成具有不可磨灭的贡献！

感谢中国民用航空局华东局适航审定中心的蔡喁对本书提出的宝贵意见！

感谢中国商飞特聘专家费衡甫对本书的总体架构和文字描述提出的宝贵建议！

感谢美国 Certification Services，Inc.（CSI）公司的资深专家、FAA 咨询 DER Frank McCormick、Michael Bryan 对本书的热情支持，同时感谢 CSI 公司过去 10 年里对我们机载软

件能力建设方面提供的技术指导！

感谢 FAA 首席科学家 Mchael DeWalt 先生对我们机载软件管理、适航审定工作的支持与启迪，他高度敬业的精神以及对航空事业的热情，对本书的编制有着深远的影响！

最后，感谢所有关心机载软件工作并一起推进该工作的领导、同事以及同行们！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和问题，欢迎广大读者提出宝贵意见。

编者

目　录

第 1 章　机载软件管理概述

随着航空技术的发展，传统的机电式仪表仪器被大量的计算机、电子化设备所替代，而这些电子设备所承担的功能主要是由机载软件与复杂电子硬件所实现的[1]。民用飞机（简称民机）要进入航线运营，首先要取得所在国的适航证，而机载软件是飞机适航取证过程中的一个重要组成部分。目前民用飞机研制大都采用“主制造商 + 供应商”的管理模式，民用飞机的绝大部分机载软件由国内外供应商研发，在多级供应商参研的情况下，机载软件管理对主制造商而言至关重要。

1.1　机载软件管理背景

随着我国新支线飞机、大型客机以及其他民用飞机项目的研制，国内对基于 DO-178B 的机载软件研究、应用正在全面开展，但在具体的实施应用中，无论主制造商还是供应商，都面临着诸多的困惑。对主制造商而言，他们的困惑来自如下两个方面：

第一，由于缺少严格按照 CCAR 25 部、基于 DO-178B 国际标准进行机载软件符合性验证的经验，不知道需要开展哪些工作能够满足适航审查的需要。

第二，由于大量的国外供应商介入，导致设计研发工作和军用飞机（简称军机）的模式完全不同。军机大都是国内的供应商，国外供应商该如何控制、对软件研制过程该如何监控、交付的软件该如何管理等成了让人头疼的问题。

对供应商，尤其是国内的供应商而言，他们也在民用飞机领域跃跃欲试，希望通过民品的研制全面提高技术水平，进行产业升级。但是，在进行产品研制的过程中，由于受制于多年的军品研制模式和思维，在民用飞机机载软件研制方面存在如下三个方面的困惑：

第一，对 DO-178B 标准进行了很长时间的研读，也聘请国内专家进行了标准培训，但仍然发现只知其然，不知其所以然，很难制定切实可行的、满足标准要求的机载软件研制的规范、体系。

第二，聘请国外专家制订的软件计划文件很难被真正执行，对一些软件相关问题（如工具是否要鉴定、函数库该如何验证、软件验证结果的呈现形式等）不知道该如何处理才能满足适航局方和主制造商的要求，大量的内部讨论和外部咨询耗费大量资源。

第三，作为系统、设备供应商，虽然熟悉飞机研制过程，但对飞机研制的不同阶段软件方面要完成的工作内容不太清楚，担心研制的软件产品无法满足飞机及系统试验、试飞及取证要求。

机载软件是看不见、摸不着的，不像硬件那样，可以通过一系列的测试或检查来验证其设计是否符合需求。软件实现着飞机的众多关键功能，是飞机设计的重要组成部分，且无法通过穷举测试来保证其所有的预期行为，因此有人将其比喻成“飞机的灵魂”。

机载软件管理对主制造商工程监控而言至关重要，主要体现在如下两个方面：

一方面是对机载软件研制过程进行监控，确保软件全生命周期过程符合主制造商的工程要求以及适航审查要求，主要侧重对软件开发过程的控制，以受控的过程保证软件产品的质量。

另一方面，供应商要将中间构型的机载软件交付到主制造商进行试验、试飞，主制造商要确保机载软件能够正确、完整地实现系统分配的需求，这一管理活动主要体现在机载软件的构型控制、构型评估和成熟度评估等方面。

机载软件有关的研制要求对供应商而言同样重要，供应商可以掌握在民用飞机研制的不同阶段需要完成的机载软件工作内容、需要提交的软件资料情况以及如何与主制造商一起接受适航局方的软件审查。

本书是为了解决主制造商及供应商在软件研制、管理过程中存在的诸多技术问题、管理的疑惑而进行研究、编制的，希望对我国民用飞机机载软件研制及管理领域技术进步起到积极推动的作用。

1.2 术语定义和缩写词

机载软件有关的术语定义见 RTCA/DO-178B 附录 B，部分术语的中文释义以及缩写词可参考本书的附录 1。

1.3 国内外研究现状及发展趋势

1.3.1 国内研究现状及发展趋势

1.3.1.1 国内机载软件工作发展现状

1）国内机载软件适航符合性验证技术发展现状

从机载软件的适航符合性验证来看，现今机载软件合格审定有关的 DO-178B 标准已经在中国蓬勃发展，早在 1996 年 DO-178B 已等同转化为我国航空行业标准 HB 295—1996《机载系统和设备合格审定中的软件考虑》，并在我国航空工业建设中发挥了重要作用。2000 年 1 月，中国民用航空（简称中国民航）总局（CAAC）通过咨询通告 AC21-02 确认 DO-178B 为中国民航适航规章的符合性方法，并逐步形成过程规范，指导民用飞机软件研制工作的开展，作为民用飞机系统适航审定工作中的重要依据。ARJ21-700 飞机、C919 大型客机等民用

飞机型号的研制都极大地推动了 DO-178B 在中国的普及。ARJ21-700 新支线飞机的研制采用了“主制造商 + 供应商”的国际合作模式，并按照国际标准接受美国联邦航空局（FAA）的型号审查。目前，该飞机已经取得 CAAC 型号合格证，正在准备交付运营。C919 大型客机正在进行首飞准备。与国外先进的系统供应商相比，国内的供应商在航空制造领域严格按照 RTCA/DO-178B 进行机载软件的研制、符合性验证方面尚存在着一定的差距，对最新的 DO-178C 标准仍在研究、学习阶段。

自从 2002 年我国具有自主知识产权的 ARJ21-700 飞机立项并引进 RTCA/DO-178B 作为机载软件适航符合性方法以来，国内外各类专家陆续为国内研制单位的广大机载软件技术人员、审查人员开展了大量的标准培训，也已经有一些科研单位在进行 DO-178B 的实践活动，但迄今为止，国内按照 DO-178B 设计的民用飞机机载软件，通过适航当局审查并批准的成功案例仍然较少。原因是 DO-178B 标准的编写主要基于欧美等发达国家的机载软件研制实践经验，与我国航空工业的实际情况存在较大差异。并且，DO-178B 标准的有些要求看上去太过笼统或者距离实际运用要求相去甚远。加上国外对知识产权、出口许可的限制，国内很少有研制单位有机会全面评审或学习国外高安全等级、关键系统的机载软件研制流程和设计数据，大都是基于军机的体系进行的流程再造，对是否符合国际标准以及如何表明符合性存在太多的疑惑。这些问题都将长期困扰着我国航空工业的发展。

2）国内机载软件工程监控技术发展现状

从主制造商对各级供应商实施机载软件工程监控来看，我国正在进行的 ARJ21 新支线飞机以及 C919 大型客机采用了“主制造商 + 供应商”的研制模式。在两大型号的研制过程中，涉及到几十家供应商、子供应商和转包商的机载软件研制过程的工程监控，结合飞机的研制阶段，建立了与民用飞机研制阶段紧密结合的机载软件管理规范、体系，相关的研究成果已经在两大型号实施应用，推动了项目研制进程。本书的研究内容大都是基于型号研制进行的经验总结。但国内还有一些飞机主制造商由于缺少民用飞机项目管理的经验，对机载软件的组织结构、职责划分、工作内容、供应商监控、软件适航审查以及最终批准等感到非常迷茫，即使聘请了咨询专家或者进行同行业交流，往往发现设备供应商的工作经验并不能解决上游主制造商所面临的问题，因此国内的民用飞机主制造商强烈需要针对主制造商的机载软件管理工作开展的指导文件或书籍、专著。 然而，我国在机载软件工程管理方面的参考资料、公开发表的论文十分缺少。

1.3.1.2　国内民用飞机机载软件技术研究现状

随着我国民用飞机研制项目工作的进展，国内各大科研院所和高校从不同角度对 DO-178B 及有关的机载软件适航符合性验证技术进行了初步的研究和探索，以下列举了部分科研院校机载软件有关的研究方向及成果：

a）南京航空航天大学计算机学院使用系统建模语言块图建立带有安全特征的系统静态结构模型，将其转换为块依赖图以便进行精确描述。在此基础上，检验系统静态结构模型与适航认证标准目标之间的一致性。

b）北京大学的梅宏教授对标准建模语言（Unified Modeling Language，UML）类图进行扩展研究，通过 UML 类图的元模型支撑软件非功能属性的建模，并建立元模型与 DO-178B 目标之间的一致性映射关系，从而对所建立的模型进行适航符合性验证。

c）国内近些年来也开发出 GJB 900A《装备安全性工作通用要求》、GJB/Z 142《军用软件安全性分析指南》、GJB/Z 102A《军用软件安全性设计指南》等一系列标准，支撑机载软件安全性活动的开展。

d）在 DO-178B 的符合性以及主制造商机载软件管理技术研究方面，国内出版了一些论文及专著，如《新型客机项目中 RFC 签发前软件工程资料批准方案研究》《浅析机载软件工具鉴定要求》《基于主机厂 - 供应商模式下的民用飞机机载软件更改影响分析研究》《ARJ21-700 飞机研制项目的机载软件构型管理方案研究及应用》《民用飞机项目基于 IMA 架构的机载软件现场审核方案研究及应用》《民用飞机机载软件 SOI 评审初探》《机载软件研制流程的最佳实践》等。

总体而言，上述研究成果均是针对软件研制过程中某个阶段中的某项活动或产品与相应标准要求之间的符合性进行研究，或是对主制造商机载软件管理的一个小的方面提出解决方案，并未全面考虑到软件全生命周期不同阶段、不同活动、软件不同类型等方面与适航要求及主制造商工程监控要求之间的符合性，仅凭现有的研究成果，对供应商而言，难以确保最终软件产品顺利通过适航审定及主制造商的验收检查工作，对主制造商而言难以指导他们对各级国内外供应商、子供应商、转包商实施有效的机载软件工程监控。

1.3.2 国外机载软件研究现状和发展趋势

1.3.2.1 国外机载软件对 DO-178 标准的研究、应用现状和趋势分析

欧美民机主制造商（主要代表是空客、波音、庞巴迪等公司）整体研制技术实力雄厚，其飞机适航符合性工作已经非常成熟，建立了完整的机载系统 / 设备 / 软件适航性设计和验证技术体系。在飞机研制过程中将适航性要求充分分解到相应产品（包括系统 / 设备 / 软件等）的研制各阶段（包括需求分析、设计、生产、验证等），并通过系统工程的方法，依据相关技术标准（如 DO-178B/C）对民用飞机适航符合性要求进行确认和验证。公司标准不仅对适航性要求构成全面支撑，且大都高于适航要求。新型航空技术和软件工程技术的不断发展与应用，极大地推动了民用飞机机载软件研制及适航审查要求的发展，主要表现在：

a）国外以工业实践为基础，先进的工业实践促进了适航标准的持续修订和完善。国外先进民用飞机主制造商、供应商等相关单位的技术专家或授权的 DER 对 DO-178B/C 标准进行分析，并结合实际工程项目开展机载软件有关的适航符合性技术难点、技术方法等方面的研究工作，确保民用飞机机载软件研制过程符合 DO-178B/C 标准的要求。美国航空无线电技术委员会也根据这些研究和应用成果对标准的内容进行修订与完善。

b）国外注重正向软件研制过程及符合性举证数据的生成。欧美的供应商在进行机载软件研制时大都基于过程、目标进行正向的软件设计，项目开始时会注重对软件开发、软件验证、软件构型管理、软件质量保证、软件合格审定工作的策划，编制可执行的计划文件及要遵守的软件需求、设计、编码标准。大多供应商还会有更详细的操作程序、工作说明文件作为支撑，使得制订的软件计划和标准具有很强的可实施性。供应商对机载软件的研制过程会严格按照发布的计划和标准执行，质量保证人员会根据计划文件定义的阶段转换准则，监控软件工程设计人员进行的转阶段活动，并按照软件质量保证计划执行软件研制过程的评审、审核、检查等活动，按照软件验证计划进行有关的评审、测试及分析，生成用于适航举证的软件验证结果。这

些活动的执行完全是遵照计划自上向下推进的，直至生成软件产品，所需要的符合性证据在软件研制过程中同步生成。适航局方审查人员或者授权的委任工程代表（DER）进行机载软件适航符合性审查可以结合软件研制阶段同步进行，可以减少不必要的返工，节约成本。国外还具有先进的项目管理经验和能力，在软件研制过程中，能够根据主制造商飞机及系统研制进度要求、试验要求合理安排人力资源及任务优先级。

c）国外具有 30 多年 DO-178 机载软件研制的工程实践，形成了相对成熟的民用飞机机载软件研制过程和技术。经过 30 多年的技术研究和工程实践，国外航空航天等工业部门已形成成熟的软件符合适航要求的工程解决方案，并在软件研制过程加以分解和落实，在许多飞机项目上得到适航审定部门的认可。例如，DO-178B/C 已经在空客 A340、A380、A350 和波音 777、波音 787 等欧美大型民用运输机项目以及欧洲 EC135 和 EC155 系列直升机机载软件研制过程中得到广泛应用。欧美一些军机项目也在应用 DO-178 标准，其典型应用如美国洛马公司的 F-35 系列综合航电机载软件，洛马公司依据 MIL-STD-882E 和 DO-178B 标准，在 F-35 飞机软件研制全生命周期过程中，开展了软件失效模式分析、基于安全性分析的测试验证等一系列标准化、系统化的软件工作，有力地保障了系统的安全性水平。

d）国外对 DO-178 标准的技术研究深入，学术交流活跃。美国和欧洲对 DO-178 标准的策划是从 1980 年开始的，标准的修订完善一直由欧美工业界主导，直至今天的 C 版，可见该标准在国外的研究、应用已经超过了 30 年。欧美在 30 年工业实践的基础上，研究出了大量标准以应对实施过程中遇到的技术专题、新技术和新方法，如 IMA 架构下机载软件的研制、符合性验证、软件分区和保护、实时操作系统、多核微处理器技术等。美国、欧洲定期会举办全球软件与电子硬件国际会议，但参会人员大都是欧美工业界的主制造商、参研单位、工业界各种协会、咨询公司的专家、FAA 委任工程代表，他们根据各自的经验对技术难题、前沿技术、发展趋势进行研讨。

因此，在标准的实施应用、有关专题的技术研究、前沿技术研究、新技术和新方法的应用等方面，欧美仍然处于国际领先地位。

1.3.2.2　国外机载软件有关的学术研究现状及趋势

国外的政府机构以及诸多著名高校对机载软件研制、符合性验证等方面的技术进行了深入的学术研究，形成了大量的学术研究报告。为支撑软件研制活动规范且有效地满足 DO-178B/C 标准的要求，国外适航领域的研究学者从不同角度针对机载软件适航符合性设计技术与验证基础技术分别进行了大量研究，以下列举了部分科研机构和学者在这一领域的研究方向和进展。

a）加拿大卡尔顿大学的 Zoughbi 教授对 DO-178B 中各阶段研制工作的适航目标进行分析，借助于 UML 语言，将软件设计架构与 DO-178B 背景下的研制目标结合起来，建立支撑设计目标符合性验证的概念元模型，从而在开发过程与适航认证之间提供了无偏差的理解方式与手段，针对系统静态架构的软件构建安全依赖的合法性采用表格形式进行说明。

b）挪威奥斯陆国立仿真研究实验室 Panesar 教授在 IEC 61508 与 DO-178B 标准的基础上建立了一个需求概念模型，软件研制过程中可以根据该概念模型进行证据收集，为软件需求的适航符合性验证提供证据。

c）意大利都灵大学的 Bernardi 教授针对不同应用领域，结合 UML 语言对系统安全性属性进行建模，以方便对需求安全性进行分析，为软件需求、安全性活动与标准之间的符合性验