

文章编号: 1674-8190(XXXX)XX-001-07

基于 DO-178C 的参数数据项适航审定策略

钟旭旭, 谈云峰, 张洪涛, 李燕琳

(中国民用航空适航审定中心成都机载设备审定分中心, 四川 610001)

摘要: 国内软件制造商在参数数据项进行适航审定时存在审定策略不明确、符合性证据不足等问题。基于国际通用的软件标准 DO-178C, 解析并梳理参数数据项适航的目标要求, 并结合国内适航审定工作中的不足和审定工作实践, 提出参数数据项的适航审定策略: 1) 嵌入式参数数据项作为机载软件的一部分进行适航审定; 2) 独立式参数数据项作为独立的软件构型, 按照本文建议的计划、开发和验证过程进行研制过程保证和适航。实践表明: 本文所建议的参数数据项适航审定策略有效地解决了国内软件制造商参数数据项适航工作中存在的问题, 为参数数据项的适航审定提供了高置信度的符合性证据。

关键词: 机载软件; 参数数据项; 参数数据项文件; 适航审定

中图分类号: V221+.91

文献标识码: A

DOI: 10.16615/j.cnki.1674-8190.XXXX.XX.01

DO-178C-based parameter data item airworthiness certification strategy

ZHONG Xuxu, TAN Yunfeng, ZHANG Hongtao, LI Yanlin

(Chengdu Airborne Equipment Center Airworthiness Certification Center of CAAC, Chengdu 610001, China)

Abstract: In terms of the airworthiness certification of parameter data item, domestic software manufacturers have some problems, such as unclear certification strategy and insufficient evidence of conformity. Based on the international general software standard DO-178C, combined with the shortcomings of domestic airworthiness certification work and certification practice, the airworthiness objectives and requirements of parameter data item are analyzed, and the suggested airworthiness certification strategy of parameter data item is put forward: 1) Embedded parameter data item as a part of the onboard software for airworthiness certification; 2) Independent parameter data item as an independent software configuration, according to the proposed planning, development and verification process for development process assurance and airworthiness. Practice shows that this strategy effectively solves the problems existing in the airworthiness work of parameter data item in domestic software manufacturers, and provides high confidence proof of conformity for the airworthiness certification of parameter data item.

Key words: airborne software; parameter data item; parameter data item file; airworthiness certification

收稿日期: 2024-01-31; 修回日期: 2024-05-16

基金项目: 安全能力建设项目(AADS2023005)

通信作者: 钟旭旭(1987-), 女, 博士, 高级工程师。E-mail: 530921488@qq.com

引用格式: 钟旭旭, 谈云峰, 张洪涛, 等. 基于 DO-178C 的参数数据项适航审定策略[J]. 航空工程进展, XXXX, XX(XX): 1-7.

ZHONG Xuxu, TAN Yunfeng, ZHANG Hongtao, et al. DO-178C-based parameter data item airworthiness certification strategy [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, XXXX, XX(XX): 1-7. (in Chinese)

0 引言

作为航空机载计算机的“大脑”，机载软件对航空安全的影响巨大^[1]。对于民用航空器来说，机载软件通常需要采用 RTCA DO-178^[2]作为符合性方法来表明其满足所需的适航要求。

随着民航适航事业的蓬勃发展和机载软件的日益复杂，参数数据项(Parameter Data Item, 简称 PDI)的研究和应用逐渐增多。Youn 等^[3]总结了 DO-178B 与 DO-178C 在 PDI、软件工具鉴定^[4]、基于模型的开发和验证^[5]、面向对象技术^[6]、形式化方法^[7]等方面的差异以及标准对行业的影响，以帮助理解 DO-178C 的原理；宋青等^[8]将 PDI 文件归类为实体性接口文件的一种，指出其在不同用途下的额外考虑和一种典型的应用；庞存辰^[9]提出利用 DOORS 工具解决复杂 PDI 研制过程中容易出现的数据效率低、数据传递出错等问题，以达到提升 PDI 的研制效率和质量的目的；Keval 等^[10]提出一种基于 PDI 设置航电系统控制器功能的设计方法；金强等^[11]指出 CTOS 操作系统的配置文件应参照 DO-178C 中 PDI 的要求进行开发和验证；Swanson 等^[12]通过 PDI 调整直升机控制系统的参数。

从上述研究可以看出，国内外研究者们主要关注 PDI 在 DO-178 不同版本之间的差异及其设计、使用等，基于 DO-178 的 PDI 软件生命周期过程的适航研究较少。为此，本文首先概述 DO-178 系列中 PDI 的发展和定义，归纳总结出两种不同形式的 PDI 文件，并对 178C 零散的 PDI 内容进行整合梳理，提出 PDI 适航审定策略，并结合一个审定项目实例对该策略进行验证说明。

1 DO-178 中参数数据项的发展

距第一次提出以来，DO-178 系列距今已有 40 多年的发展历史，如图 1 所示。

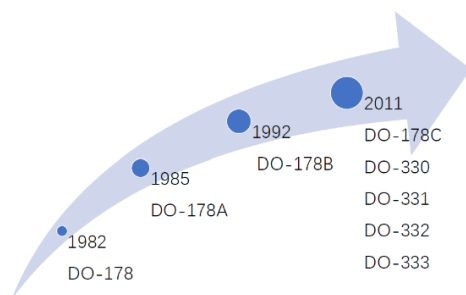


图1 DO-178的发展时间线

Fig. 1 Development timeline of DO-178

早期的 DO-178 仅为机载软件的研制提供了非常基本的信息，DO-178A 则是在其基础上融入了软件工程原理。从 DO-178B 开始，出现了 PDI 的显性描述。DO-178C 则在 178B 的基础上增加了对 PDI 的指导。

参数数据项(PDI)是 178C 较 B 版变化较大的内容项之一。与 178B 相比，178C 中新增了 PDI 说明以及示例，并补充了其在计划、开发、验证等方面的指南，并提出了 PDI 文件需要的目标(A5-8 和 A5-9)^[13]。相比而言，178C 中对 PDI 目标和活动的描述，远不如机载软件的全生命周期过程角度的详尽，在我国国内工业当前机载适航水平不足和经验欠缺的背景下，软件制造商涉及到 PDI 的研制和适航审定工作都远不如机载软件的充分。一方面，DO-178 系列是基于机载软件(主要指可执行代码软件)的研制脉络提出的软件生命周期要求，178B 对 PDI 甚少提及，而 178C 只只是零散地在各个章节简要地指出 PDI 在计划、开发、验证等方面的活动要求，具体对生命周期数据的要求并不明确，具有一定的模糊性；另一方面，由于我国国内工业界的机载软件产品的适航取证经验不足，工业方暂不能完全解读和理解 178C 中关于 PDI 的概述性要求，使得在实际机载软件产品涉及 PDI 时，申请人提供的关于 PDI 的符合性证据不能满足 178C 的置信度水平，阻碍了取证工作的进展。此外，DO-178C 的 PDI 是以独立的构型管理前提的，对非独立管控的 PDI 如何开发和验证并未进行明确说明，软件制造商对于该类 PDI 如何表明符合性还存在疑惑。

2 PDI 和 PDI 文件

机载软件可由一个或多个可执行目标码和/或一个或多个 PDI 文件组成，PDI 文件是 PDI 的实例化形式^[14]。DO-178C 中对 PDI 和 PDI 文件的定义如下：

1) PDI: 在不修改可执行目标码(Executable Object Code, 简称 EOC)的前提下影响软件行为的一组数据，以文件的形式作为独立的构型项进行管理，例如数据库和配置表。

2) PDI 文件: PDI 的表现形式，由目标机的处理单元直接使用。PDI 文件是 PDI 的实例化，包含了数据元素及其对应的值。

从以上描述不难看出,178C 所描述的 PDI/PDI 文件需要具备两个条件:1)影响软件行为而不修改可执行目标码;2)独立的构型管控。然而,在实际项目中,出于 PDI 文件单一化目的和简化管理等原因,机载软件制造商存在将 EOC 软件和 PDI 文件共同进行管理的情况,即将两者的组合作为一个构型项进行管控,这就不满足条件 2)的独立管控要求,但从功能性角度来说,该文件能影响软件行为而不修改 EOC,即满足条件 1)的描述。对此,欧洲航空安全局(European Aviation Safety Agency,简称 EASA)备忘录 CM-SWCEH-002^[15]中提出,与 EOC 软件共用件号的嵌入式配置文件(该文档称 PDI 文件为配置文件)将作为 EOC 软件的组成部分参与 178 的适航认证。在后续章节,为了完整的对这两种管控方式的 PDI 文件的适航策略进行阐述,本文区分这两种类型如下:

1) 嵌入式 PDI 文件:作为可 EOC 软件的组成部分,与 EOC 软件共用一个构型标识(件号)。

2) 独立式 PDI 文件:具有单独的构型标识,与 EOC 软件分开进行构型管控。

典型的涉及嵌入式文件(项目 P1)和独立式 PDI 文件(项目 P2)的项目的软件构型清单示例如表 1 所示。

表 1 含 PDI 文件的软件构型清单示例
Table 1 Example of a software configuration list containing PDI files

项目	PDI 文件类型	构型件号	构型项名称	备注
P1	独立式	PART.NUM.1	EOC 软件	
		PART.NUM.2	PDI 文件	
P2	嵌入式	PART.NUM.1	EOC 软件	含 PDI 文件

3 DO-178C 中关于 PDI 的要求

正如前文所提,DO-178C 较 B 版的重大变化之一是对独立式 PDI 的内容进行了补充完善,涵盖了计划、需求、集成、验证、构型管理等过程,具体总结如表 2 所示。

178C 的 2.5.1 章节给出了独立式 PDI 文件的定义(见本文章节 1)和示例,典型的 PDI 文件的用途有激活或去激活软件功能/组件、内存分析、为软件组件提供初始值等。值得注意的是,不改变软件的执行路径但是用作软件计算的数据也是

PDI 文件的一种,其实质也是影响了软件行为。4.2.j 提出在计划过程应明确 PDI 的使用方式、软件级别,规划 PDI 的开发、验证、修改、可能涉及的工具鉴定工作及其加载控制和兼容性问题。5.1.2 指出高层需求中应明确 PDI 的结构、元素属性和取值。5.4 中明确 PDI 文件为集成过程的输出物。6.6 指出需要对独立式 PDI 文件的结构、元素进行验证,以确保其满足高层需求的规定。7 则指出在构型管理过程中,需要针对 PDI 进行构型项标识和构架加载活动。8.3 软件符合性评审时需要再次确保 PDI 文件能从存档的数据中重新生成。9.4.d 则明确 PDI 属于型号设计的数据。

表 2 DO-178C 中新增的 PDI 内容
Table 2 PDI content added in DO-178C

章节号	过程域	主要内容
2.5.1	—	新增 PDI 的定义及示例
4.2.j	计划过程	新增计划活动中 PDI 的要求
5.1.2	需求过程	新增高层需求中 PDI 的要求
5.4	集成过程	集成过程输出物新增 PDI 文件
6.6	验证过程	新增 PDI 的验证指导
7	构型管理过程	新增 PDI 文件的构型管控要求
8.3	质量保证过程	符合性评审对 PDI 文件的要求
9.4.d	审定联络过程	明确 PDI 为型号设计数据

综合以上分析,178C 中对独立式 PDI 在各个过程域的要求并不具体,在软件生命周期数据中仅指出需要在软件合格审定计划(Plan for Software Aspects of Certification,简称 PSAC)中增加关于 PDI 的附加考虑、软件构型索引中增加 PDI 文件及其构建说明,这些信息不足以指导国内软件制造商对 PDI 的研制,以至于在适航审定时提供的证据难以表明对 178C 要求的符合性。对于嵌入式 PDI,178C 没有过多的说明,但是从其定义我们可以看出,嵌入式软件与 EOC 软件共用一个件号,也就是说,可以将嵌入式 PDI 视为 EOC 软件的“外挂子模块”,使用 178C 对机载软件的要求和指导开展研制和适航审定工作^[14]。

4 PDI 目标分析

DO-178C 中有 3 个目标明确涉及独立式 PDI 文件,如表 3 所示。

表3 DO-178C中PDI的目标
Table 3 Goal of PDI in DO-178C

目标	描述
A2-7	EOC和PDI(如适用)加载到目标机中
A5-8	PDI文件是正确和完整的
A5-9	PDI文件完成验证

不同于另外两个目标,A2-7的适用对象是EOC和PDI,也就是说,在这个目标上PDI的要求和EOC的是一致的,都需要能正确加载到目标机上。为了保证该目标的实现,在集成过程,软件制造商需要确认EOC、PDI与目标机的兼容性,并提供相关的加载程序以及加载步骤确保能复现PDI文件的集成。

A5-8和A5-9是针对独立式PDI的专设目标,前者的目的是为了确保PDI文件中的每一个元素都满足需求,后者的目的是为确保PDI文件的每一个元素均经过验证。为了满足A5-8目标,软件制造商应对PDI文件进行基于需求的测试,确保所有的PDI都是基于需求驱动的。为了说明对A5-9目标的符合性,确保PDI文件的每一个元素都经过了验证且不存在非预期的数据,通常需要通过分析的手段证实。

178C没有专门的对嵌入PDI文件的目标说明。嵌入式文件作为一种独特的软件,与所属的EOC软件一起,适用178C目标表中的机载软件目标。不同之处在于,对于简单的PDI文件通常不存在软件底层需求、源代码等,因此部分目标对其而言并不适用,A3-A7表中源码目标码、控制耦合、数据耦合、覆盖分析等目标。

5 PDI适航审定策略建议

不论何种类型的PDI,其适航审定工作同普通的机载软件一样,依据软件的研制进展,分成四个SOI(Stage of Involvement,简称SOI)阶段进行评审^[16],如图2所示。其中,SOI#4是对整个软件研制工作的总结和符合性的再次确认,因此,在接下来的部分,主要结合SOI#1~3阶段的审查工作,对独立式PDI研制的计划过程、开发过程和验证过程提出建议的适航审定策略及验证说明,质量保证^[17]和构型管理过程^[18]则与机载软件一致,即按照178C A8-A9的要求进行适航。

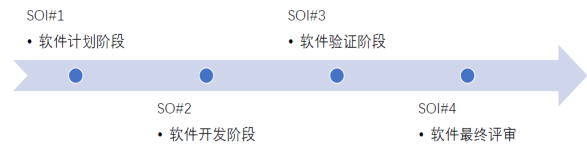


图2 机载软件的适航审定工作流程
Fig. 2 Airworthiness certification workflow for onboard software

5.1 嵌入式PDI的适航审定

嵌入式PDI作为非独立管控的构型项,与所属的EOC软件一同参与适航审定,整个过程依据DO-178C对机载软件的要求进行研制和提供符合性证据。作为EOC软件的“外挂子模块”,软件制造商在面向局方进行适航审定时应注意结合EOC软件等级,梳理全部目标表A1-A10中各个目标对嵌入式PDI的适用性,且适用目标的相关证据是作为EOC软件目标证据的组成部分呈现,表明EOC软件(含嵌入式PDI文件)满足DO-178C所规定的软件生命周期过程的要求。

5.2 独立式PDI的适航审定

对于独立式PDI,本节提出了建议的独立式PDI软件计划、开发和验证过程的适航策略,并结合国内某单位的飞行数据记录器项目(后文称为“项目A”)的适航审定实例进行了说明。

5.2.1 软件计划过程

软件计划过程的主要活动是完成五大计划的编制:软件合格审定计划PSAC、软件开发计划(Software Development Plan,简称SDP)、软件验证计划(Software Verification Plan,简称SVP)、软件构型管理计划(Software Configuration Management Plan,简称SCMP)和软件质量保证计划(Software Quality Assurance Plan,简称SQAP)。尽管是独立的构型管控,但并不强制独立式PDI有自己的软件计划。也就是说,独立式PDI可以和EOC软件共用五大计划(项目A即采取了PDI和EOC软件共用一套软件计划的形式)。不论是何种形式,在相应的软件计划中需要明确PDI的以下内容。

1) 软件合格审定计划PSAC

①明确软件级别。PDI文件的软件级别通常与使用它的EOC软件的最高等级相同。但是如果通过功能危害评估和初步系统安全分析评估PDI

文件的数据错误或丢失而导致的故障对应的失效状态类别低于或高于对应的软件级别的,可根据安全分析结果为 PDI 文件分配软件级别。也就是说,优先使用安全分析评估分配的等级作为 PDI 文件的软件级别。

在项目 A 中,EOC 软件和 PDI 文件在空间上分开存储,为两个独立的软件构型项。由于 EOC 软件的软件级别为 D,而 PDI 文件仅被 EOC 软件使用,因此,该 PDI 文件的软件级别也为 D。在本项目中,PDI 文件的 DAL 和 EOC 软件的级别一致,并未通过安全分析文件对 PDI 的软件级别进行降级处理。

②明确使用方式。EOC 软件对 PDI 文件的使用方式不同,涉及的适航策略会存在差异。例如,如果 PDI 文件的使用是为用户修改提供便利,则对应的 EOC 软件还应考虑软件标准 178 对用户可修改软件的要求和指导。

在项目 A 中,EOC 软件的主要功能是实现数据记录,PDI 的作用是定义存储容量的大小,EOC 软件对 PDI 的使用是在软件启动时从存储器读取 PDI 文件中的容量配置信息以实现记录数据的存储容量分配,所有操作在交付用户前完成,不涉及用户修改。

2) 软件开发计划 SDP

PDI 文件通常不涉及编码活动。因此,在软件开发计划中,需要规划 PDI 文件的需求、设计和集成过程的活动。需求和设计过程的主要活动是完成 PDI 的需求编制和设计说明。对于简单的 PDI 而言,也可能不存在设计过程,而是将 PDI 的设计说明直接整合在需求文档中。集成过程的输出除了 EOC 软件相关产出,还应该包括 PDI 文件及其加载构建的说明。

对项目 A 而言,PDI 文件的内容和作用较为简单,在开发计划中明确其需求编制活动以及其作为集成过程的输出物和加载构建说明。

3) 软件验证计划 SVP

在验证计划中,需要明确 PDI 文件的验证策略,主要包含两方面的验证活动。一方面是基于 PDI 高层需求的验证,另一方面是 PDI 更改后的重验证活动。对于前者,需要考虑 PDI 文件自身的需求以及被 EOC 软件使用的需求,因此该验证活动包括 PDI 文件的独立验证和与 EOC 软件的联合验证。对于后者,涉及到 PDI 文件的更改,需要对影响域进行分析,即更改是否影响 EOC 软件的使用,

如果是,则重验证的范围应该为 PDI 文件和 EOC 软件,否则仅需对 PDI 文件重新验证即可。

项目 A 中 PDI 高层需求的验证规划,在 SVP 中一分为二:首先是独立验证 PDI 文件的需求,确保其包含的每个元素满足所定义的软件高层需求;其次是将 PDI 文件联合 EOC 软件进行联合测试,验证 EOC 软件对 PDI 文件的使用需求。重验证方面,项目 A 采取了严苛的验证方式:即使 PDI 文件的更改不会影响 EOC 软件的使用,重验证的范围都会包含 PDI 文件和 EOC 软件。这种方式虽然会增加部分验证工作,但免去了更改是否会影响 EOC 软件的判断,从而减轻了部分影响域分析的工作。

4) 软件构型管理计划 SCMP 和软件质量保证计划 SQAP

PDI 的构型管理和质量保证计划与 EOC 软件类似,通常无需额外的活动。但是值得注意的是,如果构型管理计划和质量保证计划中规划的活动涉及到具体的对象时,还应该将 PDI 纳入考虑。例如,构型管理计划的基线内容、质量保证计划中的软件符合性评审等。

项目 A 的构型管理活动是按照数据的控制类别(Control Category,简称 CC)来进行规划的,因此,在 SCMP 中,需明确本项目的 PDI 文件为 CC2 类数据,为某一基线所包含的对象之一。SQAP 中对 PDI 的考虑则是需要检查集成过程的输出物是否包含 PDI 以及软件符合性评审时关注 PDI 的构建和加载。

独立式 PDI 软件计划过程的适航审定策略总结如图 3 所示。

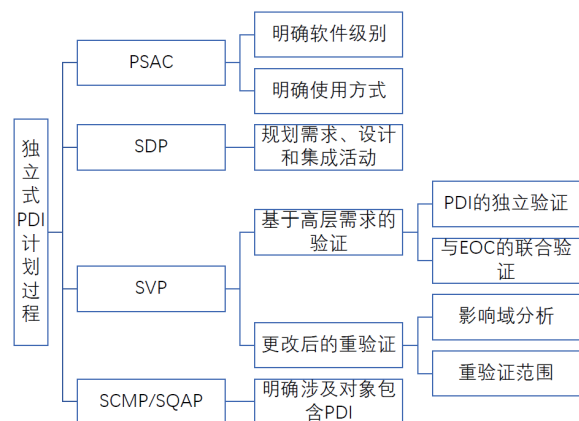


图 3 独立式 PDI 计划过程的适航审定策略

Fig. 3 Airworthiness approval strategy for independent PDI program process

5.2.2 软件开发过程

EOC 软件的开发包括了需求、设计、编码和集成四方面的活动。PDI 文件通常不涉及源代码,因此,无需编码活动。

1) 需求方面

独立式 PDI 文件的需求分为两部分,一部分是 EOC 软件对 PDI 文件的使用功能,另一部分则是 PDI 文件的结构,包含每个数据元素的名称、类型、单位、取值范围等信息。对独立式 PDI 而言,第一部分需求的操作主体是 EOC 软件,因此该部分通常归属于 EOC 软件的需求;而后者是对 PDI 文件的自身要求,属于独立式 PDI 文件的需求。对嵌入式 PDI 文件而言,因为 PDI 文件本身是作为 EOC 软件的组成部分,不存在独立构型,因此,这两部分需求往往都归属为 EOC 软件的需求。

与软件计划的处理方式类似,由于项目 A 的 PDI 内容较为简单,PDI 的需求合并到 EOC 软件的需求文档中一并阐述,主要包含了以下两方面的内容:1) EOC 软件对 PDI 文件的加载及校验,EOC 读取 PDI 文件信息进行各数据类型的记录空间分配;2) PDI 文件的文件名称、数据类型、数据大小、存储记录起始位置、存储容量等。

2) 设计方面

PDI 的设计是根据需求的进一步细化,并补充必要的要求,例如数据元素标识 ID、空间分配、操作权限等^[9]。值得注意的是,在需求文档中已经详细说明了 PDI 文件要求的情况下,可能不存在 PDI 的设计活动。

在项目 A 中,PDI 文件并未基于需求进行进一步的设计,不涉及设计过程的目标要求。

3) 集成方面

按照编制的构建加载程序,将 PDI 文件和 EOC 软件按照预期的配置加载到目标机中。

项目 A 的集成环节中,在生成 EOC 和 PDI 文件的基础上,对其构建日志、加载程序分别进行检查和记录,确保其在构建过程中不存在错误的编译、链接等,确保能根据记录的加载程序将 EOC 软件和 PDI 正确加载至目标机环境中。

独立式 PDI 软件开发过程的适航审定策略总结如图 4 所示。

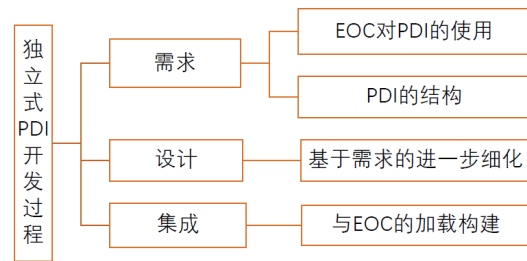


图4 独立式PDI开发过程的适航审定策略

Fig. 4 Airworthiness approval strategy for independent PDI development process

5.2.3 软件验证过程

独立式 PDI 的验证过程与目标 A5-8 和 A5-9 直接相关。为了满足 A5-8 要求的 PDI 文件是完整和正确的目标,通常是采用测试方式提供符合性证据。评审适用于简单的 PDI 文件,而复杂的 PDI 文件需要通过仿真分析,以达到验证目标。A5-9 完成验证的需求,旨在确认 PDI 文件可追溯到并符合相对应的需求,确保所有的元素都经过验证而不存在非预期的元素。

为满足 A5-8 和 A5-9 的目标,项目 A 对 PDI 文件进行了基于需求的测试用例和规程、测试用例与需求的追踪数据、测试用例与测试规程的追踪数据的开发(与需求的处理相同,这些内容合并到 EOC 软件的对应数据中),同时呈现了同行评审记录和关于 PDI 中的元素均有测试用例覆盖的分析报告,以表明本项目 PDI 文件对目标的符合性。

独立式 PDI 软件验证过程的适航审定策略总结如图 5 所示。

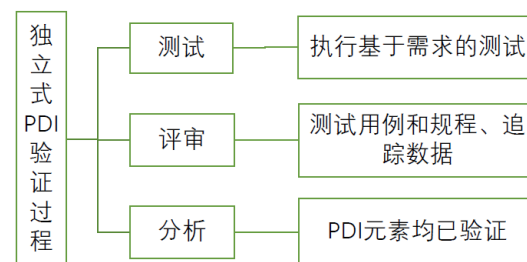


图5 独立式PDI验证过程的适航审定策略

Fig. 5 Airworthiness approval strategy for independent PDI verification process

6 结 论

1) 嵌入式 PDI 作为机载软件的组成部件一起参与满足 178C 对机载软件的各个目标要求。

2) 独立式 PDI 按照本文第 5 章提出的软件计

划过程、软件开发过程和软件验证过程的适航审定策略实施 PDI 的研制和适航取证工作。

参考文献

- [1] 郑征, 蔡喆, 申岳. 机载软件适航标准教程[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2022.
ZHENG Zheng, CAI Wu, SHEN Yue. Airborne software airworthiness standard course[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2022. (in Chinese)
- [2] RTCA. Software considerations in airborne systems and equipment certification: DO-178C[S]. Washington D. C. : RTCA Inc. , 2011.
- [3] YOUN W K, HONG S B, OH K R, et al. Software certification of safety-critical avionic systems: DO-178C and its impacts [J]. Aerospace & Electronic Systems, 2015, 30(4): 4-13.
- [4] RTCA. Software tool qualification considerations: DO-330 [S]. Washington D. C. : RTCA Inc. , 2011.
- [5] RTCA. Model based development and verification supplement to DO-178C and DO-278A: DO-331[S]. Washington D. C. : RTCA Inc. , 2011.
- [6] RTCA. Object oriented technology and related techniques supplement to DO-178C and DO-278A: DO-332 [S]. Washington D. C. : RTCA Inc. , 2011.
- [7] RTCA. Formal methods supplement to DO-178C and DO-278A: DO-333 [S]. Washington D. C. : RTCA Inc. , 2011.
- [8] 宋青, 曹晓威, 金强. 基于满足 DO-178C 的接口文件适航符合性策略研究[J]. 航空标准化与质量, 2023(5): 23-27.
SONG Qing, CAO Xiaowei, JIN Qiang. Research on compliance strategy of interface file based on DO-178C[J]. Aviation Standardization and Quality, 2023(5): 23-27. (in Chinese)
- [9] 庞存辰. 基于 DOORS 的嵌入式软件参数数据项设计方法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021, 21(7): 3.
PANG Cunchen. Design method of parameter data item in embedded software based on DOORS[J]. SCM and Embedded System Applications, 2021, 21(7): 3. (in Chinese)
- [10] KEVAL M, MARK S, NEIL E, et al. Method and process of creating qualifiable parameter data item (PDI) to define the function of a power system controller: EP20208627.8 [P]. 2021-05-26.
- [11] 金强, 裴宇鑫, 黄帆. 机载系统采用 COTS 操作系统的适航符合性实现方法[J]. 航空电子技术, 2023, 54(3): 68-74.
JIN Qiang, PEI Yuxin, HUANG Fan. Airworthiness compliance realization method of airborne system using COTS operating system[J]. Avionics Technology, 2023, 54(3): 68-74. (in Chinese)
- [12] SWANSON D, BLACK P, GIRONDIN V, et al. Active vibration control using circular force generators [C]// 41st European Rotorcraft Forum 2015. Germany: [s. n.], 2015: 627-637.
- [13] 胡宁. 从 DO-178C 的新变化透视软件适航关注点[J]. 航空计算技术, 2014, 44(4): 94-98.
HU Ning. Airworthiness concerns from DO-178C's new change perspective software [J]. Aeronautical Computing Technology, 2014, 44(4): 94-98. (in Chinese)
- [14] RTCA. Support information for DO-178C and DO-278A: DO-248C[S]. Washington D. C. : RTCA Inc. , 2011.
- [15] EASA. Certification memorandum software aspects of certification: CM-SWCEH-002 Issue 01 Revision 01[S]. Cologne, Germany: EASA, 2012.
- [16] 陈一可. 民用客机机载软件 SOI 评审初探[J]. 航空科学技术, 2012(5): 2.
CHEN YiKe. Preliminary study on SOI evaluation of civil aircraft airborne software [J]. Aeronautical Science and Technology, 2012(5): 2. (in Chinese)
- [17] 周培. 基于 DO-178C 的机载软件质量保证与管理[J]. 航空工程进展, 2021, 12(6): 161-166.
ZHOU Pei. Airborne Software Quality Assurance and Management Based on DO-178C[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(6): 161-166. (in Chinese)
- [18] 刘莉, 马晓军, 张娟, 等. 民用飞机刹车控制系统软件构型管理研究[J]. 航空工程进展, 2023: 1-9.
LIU Li, MA Xiaojun, ZHANG Juan, et al. Research on configuration management of civil aircraft brake control system software[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2023: 1-9. (in Chinese)

(编辑:马文静)