

文章编号: 1674-8190(XXXX)XX-001-07

机载电子硬件电路板级审定策略研究

刘闰舟, 朱鸿力, 马丽敏

(中国民用航空适航审定中心成都机载设备审定分中心, 成都 618000)

摘要: 目前国内在机载电子硬件的电路板级适航审定中主要依据《机载电子硬件设计保证指南》(DO-254), 但该文件对电子硬件的设计保证过程及目标在工业实践中存在一定的模糊性。基于此, 通过对比分析关于 DO-254 的国外咨询通告 AC 20-152A 和备忘录 CM-SWCEH-001 中对电路板卡级的相关目标要求, 结合国外适航当局审定理念和目前国内工业水平现状, 提出以咨询通告 AC 20-152A 作为 DO-254 支持材料应用于国内机载电子硬件电路板级审定实践的思路和方法。同时, 对咨询通告 AC 20-152A 中电路板级相关要求开展可行性分析, 基于条款意图对其进行优化以适应国内审定现状, 并通过实际项目审定案例论证该思路和方法的适用性及优越性。结果表明: 该思路和方法可为国内机载电子硬件的电路板卡级适航符合性提供参考和借鉴。

关键词: DO-254; AC 20-152A; CM-SWCEH-001; 机载电子硬件; 电路板; 咨询通告; 符合性方法

中图分类号: V243

文献标识码: A

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

Research on airborne electronic hardware circuit board level certification strategy

LIU Runzhou, ZHU Hongli, MA Limin

(Airworthiness Certification Center of Chengdu Airborne Equipment Center, CAAC, Chengdu 618000, China)

Abstract: This article is to address the ambiguity in the current domestic certification practice based on the DO-254 Airborne Electronic Hardware Development Assurance Guidelines regarding the board level certification strategy and objectives for circuit boards. By comparing and analyzing the relevant objectives for circuit board level in Advisory Circular AC 20-152A and Memorandum CM-SWCEH-001 regarding DO-254, and combining the certification concept of foreign airworthiness authorities and the current domestic industrial circumstance, this paper proposes the idea and method of using Advisory Circular AC 20-152A as a supporting material for DO-254 to be applied in the domestic airborne electronic hardware circuit board level certification practice. A feasibility analysis was conducted on the circuit board level requirements in Advisory Circular AC 20-152A, and based on the intent of the clause, it was optimized to adapt to the current domestic approval status. The applicability and superiority of this approach and method were demonstrated through actual project approval cases. This idea and method can provide reference and inspiration for the circuit board level airworthiness compliance of domestic airborne electronic hardware.

Key words: DO-254; AC 20-152A; CM-SWCEH-001; airborne electronic hardware; circuit board; advisory circular; compliance method

收稿日期: 2023-10-10; 修回日期: 2024-03-20

通信作者: 刘闰舟(1991-), 男, 硕士, 工程师。E-mail: liurunzhou_acc@caac.gov.cn

引用格式: 刘闰舟, 朱鸿力, 马丽敏. 机载电子硬件电路板级审定策略研究[J]. 航空工程进展, XXXX, XX(XX): 1-7.

LIU Runzhou, ZHU Hongli, MA Limin. Research on airborne electronic hardware circuit board level certification strategy[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, XXXX, XX(XX): 1-7. (in Chinese)

0 引言

目前国际航空工业采用航空无线电委员会(RTCA)与欧洲民用航空设备组织(EUROCAE)发布的DO-254/ED-80《机载电子硬件设计保证指南》^[1](以下简称DO-254)来保证机载电子硬件的安全性水平^[2]。在机载电子硬件的电路板级适航审定中,由于DO-254中对于电子硬件的设计保证过程及目标在工业实践中存在一定的模糊性,因此在开发和表明符合性工作过程中缺乏可执行性。

国外适航当局在近年来陆续颁发了一系列关于DO-254的补充性解释说明文件以弥补DO-254中存在的缺点。其中对机载电子硬件电路板卡级的审定实践要求有进一步说明的文件主要来自美国联邦航空管理局(FAA)发布的咨询通告AC 20-152A^[3]和AC 00-72^[4]以及欧洲航空安全局(EASA)发布的备忘录CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01^[5]和咨询通告AMC 20-152A^[6]。目前国外适航审定领域主要依据AC 20-152A和AMC 20-152A对机载电子硬件的电路板卡开展符合性工作。

由于国内尚未出台相关的咨询通告或指导性文件,在DO-254的审定实践中主要还是引用国外适航当局发布的补充性文件作为参考。虽然DO-254中明确其适用范围包含电路板卡级,但国内当前大多适航项目中,审查方和申请人通常会将DO-254所适用的电子硬件范围及详细的设计目标定义在客户化编码器件层级^[7],而普遍将电路板卡作为简单电子硬件表明符合性。因此国内目前关于电路板级适航审定以及符合性方法的研究,主要还是基于DO-254中关于简单电子硬件的适航审定要求。这些研究一定程度上能够解决DO-254对确认和验证过程描述缺乏细节和对具体的工程项目指导性不足^[8]的缺点,同时也有文章初步提出了根据国外适航当局发布的支持性文件对国内研发电路板卡采用设计保证等级D级表明符合性^[9]的方式。但总体来说,目前国内对电路板卡层级的适航审定研究及实践还处于初级阶段,缺乏对电路板卡层级系统性、全局性的适航审定方法研究与应用,同时也缺少对国外规章的进一步论证以及适用性分析。

本文旨在通过从规章层面分析目前国外最新

发布的咨询通告AC 20-152A和国内应用相对较多的备忘录CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01,并基于当下国内行业现状,探究适用于当前国内工业现状的电路板卡层级审定策略以解决上述的适航符合性研究的不足之处,从而满足机载电子硬件电路板卡级的合格审定要求。

1 AC 20-152A 中对电路板级的目标分析

FAA咨询通告AC 20-152A发布于2022年10月7日,替换了上一版AC 20-152^[10],是目前业内针对DO-254最新的咨询通告,与此同时发布还有咨询通告AC 00-72作为AC 20-152A的最佳实践进行补充说明。这两份文件与EASA于2020年11月发布的AMC 20-152A行文内容几乎完全相同,只是在相关的部门机构与依据的规章名称上两者有所区别。

AC 20-152A对电路板提出了明确且具体的研制保证要求。其适用范围仅限于驻留有A、B、C级功能相关的复杂用户定制化器件或复杂COTS器件的电路板^[3],其主要依据在于满足对DO-254中简单电子硬件的判定以及审定策略:对于简单电子硬件,仅需开展适当的验证和构型管理活动来保证其实现预期的功能。同时也能够体会到目前欧美适航当局希望申请方能够将设备(系统)级研发和底层器件级研发贯穿起来,以基于瀑布式需求分解的开发策略对整个设备生命周期的研制保证过程形成一套相对完整的、具备追溯性的适航符合性证据,将电路板层级作为整个系统设备研制保证的自顶向下的桥梁。

对适用的电路板,AC 20-152A仅对申请方需要开展的研制保证活动提出了要求,然而并没有强制约定其研制保证活动所产生的生命周期数据的表现形式。从其中对申请方的研制保证活动的要求可以看出,欧美局方对电路板还是采用了需求验证的方法作为适航符合性的思路,并没有对电路板的设计实现活动做出相关审定要求。

由于该目标的适用范围限定在驻留有A、B、C级功能相关的复杂用户定制化器件或复杂COTS器件的电路板,因此在执行相关活动的过程中应当充分考虑DO-254以及该咨询通告中对特定安全性等级功能的附加要求并体现在具体的活动过

程及生命周期数据中。例如,对于 A、B 级功能所适用的电路板,应在需求捕获活动中额外考虑 DO-254 中 2.3.4 章节关于研制保证策略的相关需求^[1],在需求验证的过程中应当额外考虑咨询通告 5.6 章节的鲁棒性^[3]、DO-254 附录 B 中第 2 章节功能失效路径分析、DO-254 附录 B 中第 3 章节对于 A、B 级功能的研制保证方法、DO-254 中 11.4 章节对于 A、B 级功能的工具鉴定等相关内容^[1]。

文中虽然没有提及 DO-254 的过程保证活动(QA 活动),但过程保证作为 DO-254 中定义的全生命周期活动的支持性活动,应当同样适用于该目标要求贯穿于目标的实现过程中。

此外,AC 20-152A 针对该目标也提出了申请方在一定条件下可以采用的替代方法。关于替代方法,其总体思路还是围绕 ED79A/ARP-4754A 进行的整体管控。

2 CM-SWCEH-001 Issue 01 中对电路板级的目标分析

EASA 备忘录 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 发布于 2012 年 9 月^[5],该备忘录作为一份 DO-254 的补充性材料,较为详细地对 DO-254 进行了进一步解释说明。CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 对 DO-254 的适用范围在审定实践中扩展到了整个电子设备层级以及电路板层级,同时明确要求了所有 A、B、C、D 级功能的电子硬件设备和电路板,其研制保证目标应当满足 DO-254 中对 D 级功能的要求^[5]。虽然备忘录也向申请方提供了相应的替代方法,但其替代方法的前提条件仅限于 D 级功能范围^[5]。设计保证等级 D 级对开发过程并没有额外的要求,但是对正向研发中涉及到的从计划过程到需求分解、构型管理和验证过程提出了目标要求^[9]。

CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 中对机载电子硬件设备和电路板在研制保证过程中的要求表明 EASA 局方希望通过该备忘录对原本 DO-254 在审定实践中没有涉及到的电子硬件设备级和电路板级进行统一约束,从而填补 DO-254 在设备级和板卡级上的审定实践要求的空缺。但由于该要求是面向整个电路板层级,所以对于许多诸如电源板卡模块、射频板卡模块等此类不包含复杂用户定制化器件的电路板组件来说,采用

该要求并不具备十足的必要性,其根本原因在于这类电路板组件在当前行业实践中可作为简单电子硬件表明符合性。因此,目前国内的审定实践也并没有将 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 中对电路板的要求进行广泛的应用。

3 规章对比分析

长期以来,EASA 机载电子硬件的管理范畴涵盖现场可更换单元、电路板组件、专用集成电路、可编程逻辑器件、微处理器、微控制器、集成电路等。FAA 则认为从飞机和系统到电路板组件级别的设计保证过程可遵循 ARP 4754A 或其它经批准的方法,而机载电子硬件的管理范畴是低于电路板级别的硬件^[11]。但随着 AC 20-152A 和 AMC 20-152A 的发布,FAA 和 EASA 在当前行业环境下对 DO-254 的审定实践已经达成了一致意见。

3.1 规章对比

CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 中对机载电子硬件设备和电路板在研制保证过程中的要求表明 EASA 局方希望通过该备忘录对原本 DO-254 在审定实践中没有涉及到的电子硬件设备级和电路板级进行统一约束,从而填补 DO-254 在设备级和板卡级上的审定实践要求的空缺。同时该要求也反映出局方在此阶段对于 DO-254 适用范围,针对不同层级采用与其相对应的研制保证策略,而并没有强调将整个设备的研发作为一个有机整体进行管控。AC 20-152A 从其对电路板所提出的要求体现了局方扩大在相对高等级功能上对机载电子硬件的管控覆盖面,同时加强了 DO-254 与 APR-4754A 的关联性和侧重于对系统整体研发管控的要求。

通过上述对比分析可以得出咨询通告 AC 20-152A 在适航审定方面的应用优先级要高于 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01,因此当 AC 20-152A 在审定实践过程中与 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 发生冲突时应优先考虑将 AC 20-152A 作为审定依据。AC 20-152A 中的要求并没有涉及到电子硬件设备层级,同时也没有涉及到整个板卡层级,这也说明了现阶段欧美适航当局仅希望在审定实践中将管控范围在复杂芯片层级的基础上进行适当的延伸。

表1 对照表
Table 1 Comparison table

序号	项目	FAA AC 20-152A	EASA CM-SW-CEH-001 Issue 01 Revision 01
1	规章效力	高	低
2	适用范围	驻留有 A,B,C 级功能复杂用户定制化器件和复杂 COTS 器件的板卡	A,B,C,D 级功能的电子硬件设备和板卡(通常审定实践中只针对驻留有复杂用户定制化器件的板卡)
3	目标要求	需求捕获,需求确认,需求验证,构型管理	DO-254 中 D 级功能的所有相关活动
4	符合性证据	并没有强制要求生命周期数据的体现形式	以 DO-254 附录 A 中 D 级功能的生命周期数据文档要求表明符合性
5	符合性思路	对适用范围内的板卡采取需求验证的总体思路	对适用范围内的设备和板卡采取需求测试的总体思路
6	附加考虑	对于 A,B 级功能,其适用的电路板也应同样应考虑 DO-254 中附录 B 以及 AC 20-152A 中适用的对 A,B 级功能的附加考虑要求(包括工具鉴定,验证策略,架构缓和设计等)。	无额外要求
7	管控方式	整体管理	分类管理

由于电路板的复杂程度相较于芯片来说相对简单,因此局方对芯片的管控思路是基于以需求验证的方式表明符合性。AC 20-152A 中并没有对设计表征活动以及相关的生命周期数据提出要求,然而 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 中对于电路板层级则需要提供相应的符合性材料(顶层设计、原理图、安装控制手册以及软硬件接口数据)。此外 AC 20-152A 还引入了在电路板的设计保证活动中对不同安全等级功能的附加考虑,体现出局方希望电路板在需求验证表明其研制保证活动的符合性过程中还需注意不同安全等级的考虑。值得注意的是,相较于 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 在设计保证策略上采取分类管控的方式,局方通过 AC 20-152A 将管控方式调整为整体管控,强调板卡层级研制保证过程的桥梁作用。这一调整也更加契合基于瀑布式开发

的研制过程,从而能够更好的与高层标准(例如 ARP-4754A/APR-4761)相关联。

3.2 对比分析总结

虽然 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 在很长一段时间都作为国内审定项目中对 DO-254 较为有效的补充性材料予以参考应用,但在电路板层级方面并没有按其要求执行,其中一个重要原因在于它所涉及的范围过于宽泛而导致审定过程中各方需要投入较多的审定资源,但并不能对等地有效提升设备安全性。较于 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01, AC 20-152A 将电路板级的管控要求进行了更精确的限制和完善,从而在不浪费审定资源的前提下有效地提升设备安全性。AC 20-152A 形成了以“用整体把控取代分类管理;采用基于需求验证的符合性方法;加强安全等级观念”为主要理念的电路板级审定思路,体现了欧美适航当局目前对电路板级更为成熟的管控方式。因此,AC 20-152A 相较于 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 在欧美适航当局的审定实践中更具有参考性,同时在某种程度上对国内相关的适航审定也更具有参考学习价值。

通过上述文章的分析可以看出,目前 AC 20-152A 提出的针对电路板级的审定思路相较于 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 有以下优点:

- 1) 充分契合机载设备研发体系,能够更好的与高层标准(ARP-4754A/APR-4761)相关联。
- 2) 仅对驻留有复杂用户定制化器件或复杂 COTS 器件的电路板级的研制过程进行管控并不会对工业方造成过多的审查负担,同时能更好的提升安全性。
- 3) 采用需求验证的基本审定思路有效地契合了目前行业普遍的电路板级研发复杂程度,对关键的研制保证活动实行有效的管控。
- 4) 在需求验证的过程中引入安全等级的概念可以更有目的性地将安全性要求体现电路板地研制保证过程活动中。

4 国内审定实践思考与建议

AC 20-152A 的发布标志着欧美适航当局对

现阶段 DO-254 的审定实践达成了共识,且通过上述分析能够看出 AC 20-152A 在电路板级具备更成熟的审定理念。因此,本文对 AC 20-152A 的电路板卡审定要求开展适用性分析,并在此基础上提出了基于 AC 20-152A 的国内电路板卡审定方法建议。

4.1 条款适用性分析

AC 20-152A 对于电路板级的审定要求主要体现在对研制保证活动上的管控,这些要求是将 DO-254 中的过程目标进行裁剪,仅采用与需求验证相关的活动,并没有额外产生新的审定活动或生命周期数据。目前国内相关的型号合格取证以及 CTSOA 取证都将 DO-254 作为复杂电子硬件的符合性方法指南,因此 AC 20-152A 对于电路板级的审定要求并不会对国内申请人带来超出 DO-254 相关活动范围的适航取证挑战。

然而,由于 AC 20-152A 对电路板级仅提出了相关活动目标要求,并没有对活动所产生的生命周期数据的表现形式做出相应的规定,且这些活动可以与系统层级活动相结合。目前国内工业界对基于 ARP-4754A 的机载设备取证经验较少,但是 AC 20-152A 中又给出了基于 ARP-4754A 和设备层级的 DO-254 考虑因素,这就导致了在许多项目审查过程中申请人在落实 AC 20-152A 的要求上出现困难。尤其是对于 CTSO/TSO 取证工作,ARP-4754A 以及设备层级的 DO-254 并不是一个强制要求。所以并不能将 AC 20-152A 中关于电路板级的审定要求完全照搬过来,需要对其中研制保证活动开展方式做一定等效优化同时在审定实践过程中对生命周期数据的表现形式进行提前沟通明确。

4.2 国内审定实践建议

通过上述分析,能够看出 AC 20-152A 中对电路板卡的审定要求能够基本满足国内目前的工业现状,可作为国内电路板卡级审定实践的参考目标。从系统层级到芯片层级的研制保证过程活动关系如图 1 所示。

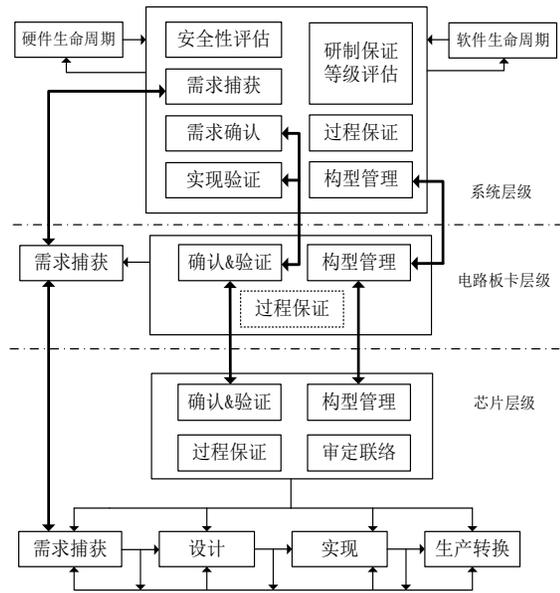


图 1 审定活动层级关系

Fig. 1 Approval activity hierarchy

图 1 中,从系统层级到芯片层级的审定活动是围绕需求的传递开展的,而 5.1 章节中提到的条款适用性挑战则主要体现在图 1 中从系统层级到电路板卡层级的过程活动上。因此本文结合图 1 对 AC 20-152A 无法在国内审定实践中应用或不明确的部分提出如下建议。

4.2.1 建议的电路板级研制保证活动开展方式

正如 AC 20-152A 中描述的一样,对电路板的研制保证过程是作为系统/设备层级与芯片层级的桥梁,其主要目的是为了保证系统/设备层级的需求能够更好的向下传递同时也能够更好保证硬件研发的整体一致性。因此结合目前国内的工业现状,本文提出以下两条建议:

1) 申请人在取证过程中可将 ARP-4754A 作为设备/系统层级的审定基础进行研制保证活动。

2) 申请人在取证过程中对于电路板层级需求可按照 AC 20-152A 中的相关要求结合在低层级一同表明符合性,但需要建立与系统/设备层级需求的追溯关系形成自顶向下的完整需求树结构并将整个需求树纳入构型管理活动中。

4.2.2 建议的电路板级生命周期数据形式

对于 AC 20-152A 中要求的相关活动所产生的生命周期数据,申请人可以结合在高或低层级一同表明符合性,而不用对电路板提供一整套独立的包括计划文档、需求捕获文档、需求验证文

档、需求确认文档、构型管理文档等在内的文档包,除非其它层级无法作为电路板级生命周期数据的有效载体。电路板级的审定重点在于能够在向局方提交的资料中表明板卡层级与其它层级的追溯性以及相应的研制保证活动的一致性。

由于 AC 20-152A 中没有对板卡的设计活动提出要求,因此并没有强制要求申请人在审查过程中向局方提供顶层图纸,安装控制图,软硬件接口数据等属于 DO-254 中对 D 级功能在设计表达阶段需要向局方提交的符合性材料(DO-254 附录 A)以及生命周期数据,然而这并不代表申请人就不需要对这些生命周期数据进行有效的管理。

电路板层级可以采用需求验证的总体思路来表明符合性,但是其验证的思路也应符合对应安全等级的附加安全性考虑要求。因此在生命周期数据中,也应对这些附加考虑要求有所体现。

4.2.3 建议的 D 级功能电路板级审定策略

AC 20-152A 的适用范围仅限于 A、B、C 级功能,仅在 AC00-72 最佳实践中对 D 级功能有相应的描述。虽然在 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 中,对于 D 级功能电路板仍有相应要求,但由于目前国内工业水平已能够在电路板卡层级或系统设备层级达到 D 级功能的适航安全性要求,因此,本文认为 D 级功能仍可按之前的审定实践执行,即 DO-254 适用范围仍仅限于芯片层级,对 D 级功能的电路板可不作要求。

4.3 审定实践案例

本节通过某单位已取证的北斗机载设备 CT-SOA 项目审定实践,对本文提出的基于 AC 20-152A 电路板级审定要求的建议,对项目研制保证过程中的相关活动进行分析,论证了在没有对 DO-254 的国内有效支持文件的情况下,基于本文的审定实践建议能够很好的帮助审查方与申请人在电路板卡层级开展相应的适航工作,从而有效地提升设备的适航符合性。

4.3.1 电路板卡级审定基础

由于国内还未发布 DO-254 相关的咨询通告作为支持性文件指导审查工作,因此项目中审查组与申请人以问题纪要的方式对 DO-254 的适用范围及相关活动进行了明确。对项目中的电路板

卡,要求申请人开展 AC 20-152A 中明确的需求捕获、需求确认、需求验证以及构型管理四项活动。

4.3.2 计划阶段

申请人按照 DO-254 相关活动要求,在硬件合格审定计划(PHAC)中对电路板卡需要开展的需求捕获、需求确认、需求验证活动进行了详细的定义,其中包括活动的准入条件、输入数据、活动内容、输出数据以及退出条件。同时由于增加了电路板卡层级的相关内容,使得 PHAC 中对整体硬件架构和功能的分解更加清晰,包含的符合性证据资料以及审定考虑更加充分明确。

对于电路板级的构型管理活动,申请人将芯片层级的构型管理活动延申至电路板卡层级。在构型管理计划中,将电路板卡一并纳入管理范围。

4.3.3 设计阶段

在审定过程中,申请人按照局方要求对原有的需求树进行了重新整合。通过将电路板层级需求进行充分有效识别后加入需求树文档,有效的提升了顶层需求(系统设备层)与底层需求(芯片层)的逻辑关联性,使得整个项目硬件层面的需求能够从顶层(系统设备层)清晰明确地分配下来。例如:通过添加电路板层级的看门狗电路需求,将系统设备层级的自检功能需求与芯片层级中 FP-GA 的心跳监控需求进行逻辑链接使其需求分配更为合理。

虽然项目并没有对电路板卡做出概要设计、详细设计的活动要求。但申请人在研制保证活动中,由于对需求活动的完整定义,使其自然地将电路板卡相关的概要设计以及详细设计数据同芯片层级数据一同纳入了项目级管理范围。

4.3.4 确认与验证阶段

由于在需求捕获过程中,项目完善了系统设备功能自顶向下的分解。因此在对需求的确认过程中,一些关键的功能性能指标能够更准确地进行确认。例如:电路中时钟频率、延迟、时序、串并信号转换以及信号的透传等。

在需求的验证过程中,对于一些需要结合电路板卡一同验证的需求,例如:芯片接口需求、芯片供电需求、掉电重启需求、芯片重置需求等,项目将这些原本无法在芯片层级验证的需求通过在电路板卡层级得到验证。

4.3.5 生命周期数据

在整个项目取证过程中,由于构型管理活动将电路板层级相关的生命周期数据与芯片层级的生命周期数据一并纳入管理范围,同时顶层需求与下层级需求捕获过程中也通过需求树的方式一并结合起来开展构型管理活动。因此使得整个生命周期数据更加完整,基线的定义更加清晰,问题报告与更改控制过程所产生的数据能够覆盖更广的范围,有效地提升了研制保证过程符合性证据的充分性。

5 结 论

本文从规章层面通过对比 AC 20-152A 与 CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01 在电路板层级的审定要求上的差异,在条款意图、审定思路及策略、研制保证活动和相关附加考虑等方面总结了基于 AC 20-152A 的国内电路板卡级审定方法,同时结合国内目前工业水平和审定实践案例对该方法的实践可行性进行了论证。该方法有效地提高了审定项目的适航符合性置信度及公司的研发管理水平,为电路板卡表明符合性提供了系统、完整的审定实践思路,可供工业方和审查局方参考实践。

参 考 文 献

- [1] RTCA. Design assurance guidance for airborne electronic hardware: DO-254[S]. USA: RTCA, 2000.
- [2] 王鹏, 田毅. DO-254 标准在机载电子硬件审定中的应用[J]. 中国民航大学学报, 2010, 28(5): 17-20, 24.
WANG Peng, TIAN Yi. Application of DO-254 in airborne electronic hardware certification[J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2010, 28(5): 17-20, 24. (in Chinese)
- [3] FAA. Development assurance for airborne electronic hardware: AC 20-152A[S]. USA: FAA, 2022.
- [4] FAA. Best practices for airborne electronic hardware design assurance using EUROCAE ED-80 and RTCA DO-254[S]. USA: FAA, 2022.
- [5] EASA. Certification memorandum development assurance of airborne electronic hardware: CM-SWCEH-001 Issue 01 Revision 01[S]. Germany: EASA, 2012.
- [6] EASA. European development assurance for airborne electronic hardware (AEH): AMC 20-152A[S]. Germany: EASA, 2020.
- [7] 刘文, 高瑞坤, 刘媛. 机载简单电子硬件的适航考虑[J]. 航空计算技术, 2021, 51(4): 127.
LIU Wen, GAO Ruikun, LIU Yuan. Consideration on airborne simple electronic hardware certification[J]. Aeronautics Computing Technique, 2021, 51(4): 127. (in Chinese)
- [8] 马宪, 陈岚, 覃勇为, 等. 面向适航的机载电子板级硬件确认与验证[C]// 第十届中国航空学会青年科技论坛论文集. 南昌: 中国航空学会, 2022: 1020-1025.
MA Xian, CHEN Lan, TAN Yongwei, et al. Airworthiness oriented airborne electronic board-level hardware validation and verification[C]// Proceedings of the 10th Youth Science and Technology Forum of the Chinese Aeronautical Society. Nanchang: CSAA, 2022: 1020-1025. (in Chinese)
- [9] 侯小宇. 航空发动机控制系统电子硬件设计和符合性验证方法[J]. 民航学报, 2018, 2(5): 58-59.
HOU Xiaoyu. Research on aero-engine control system electronic hardware design and compliance verification methods[J]. Journal of Civil Aviation, 2018, 2(5): 58-59. (in Chinese)
- [10] RTCA. Design assurance guidance for airborne electronic hardware: AC 20-152[S]. USA: FAA, 2005.
- [11] 田毅, 史春蕾. 欧美机载电子硬件适航审定研究[J]. 民航学报, 2019, 3(4): 50-53.
TIAN Yi, SHI Chunlei. Research on airborne electronic hardware airworthiness certification in Europe and America[J]. Journal of Civil Aviation, 2019, 3(4): 50-53. (in Chinese)

(编辑:马文静)