

国外航电系统完整性标准的新发展及国内适用性分析

朱晓飞, 黄永葵

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

摘要: 本文描述了国外航空电子系统完整性标准的发展历程, 分析了主要标准间技术内容的变更情况。同时针对最新的标准, 从研制阶段和工作包层面, 进行了标准的技术内容分析, 并于国内工程实践进行了简要比对。

关键词: 航空电子系统 完整性 标准

1. 引言

“完整性 (integrity)”本是一个常用词, 但作为反映出设备质量特性的术语是出自美国空军。美国空军先在飞面机结构上应用完整性术语, 提出了飞机结构完整性要求和制定了《飞机结构完整性要求》、《飞机结构完整性大纲》, 并取得了显著成效。以后又不断地把完整性要求与完整性大纲的制定与实施应用于飞机发动机、电子设备、机械设备和软件等其他部分, 同样取得了满意结果。

基于航空电子系统故障机理研究和多次事故的经验总结, 美国从 1980 年起开始提出航空电子设备完整性大纲 (AVIP) 的概念, 并于 1988 年将 AVIP 应用于全球定位系统的数模转换器、先进空中战术侦察系统、短距攻击导弹等多种新型航空电子系统的研制, 同时

在夜间地空导航和红外瞄准吊舱等改进改型项目中也得到应用, 使这些航空电子设备的可靠性水平大幅提升, MTBF 大幅攀升到 2000h 以上。在后续装备研制中, AVIP 不断显现出其优势和作用。美国国防部于 1991 年出版的 DODI 5000.2《国防采办管理政策和程序》中已明确指示, AVIP 应与可靠性大纲并列, 作为电子设备可靠性与耐久性设计的源文件。随后几十年 AVIP 相关标准一直在美军装备研制和使用的全寿命周期内发挥着重要作用。

2. 国外航空电子完整性标准的发展历程

为保证 AVIP 的实施, 美国于 1986 年 7 月发布了 MIL-STD-1796-1986《航空电子系统完整性大纲 (AVIP)》和 MIL-A-87244《航空电子系统 / 设备完整性大纲要求》,

思想, 提升员工队伍的综合素质。

2.3 结合岗位需求, 创新性开展思想政治工作

第一, 紧跟时代潮流, 创新活动形式。通过“干部带班制度、党支部引导、团支部帮扶、工会反馈、一对一帮扶”等途径, 紧抓主题开展多样化的活动, 赋予活动知识性和趣味性。将各种新型的积极元素融入活动中, 传递积极思想, 将活动跟知识完美结合。第二, 完善思想教育载体, 强化服务引导能力。紧密结合实际工作, 着重实施员工培养计划, 把创建“先锋号”作为主要培养青年员工的途径, 再结合各种人才培养的措施, 开展星级员工、班后讲评、文明员工、每日一题、一周一课、每月一考等活动, 使员工在实际工作中受到良好教育。

3. 结语

我们通过创新基层思想政治工作, 员工的综合素质明显提高, 激发了员工在本职岗位上创造、奉献的积极性和主动性, 先后被评为银牌队、连续两届金牌队、连续四次基层队等荣誉称号, 呈现出井队跨越式发展和员工成才的双赢局面。

参考文献:

- [1] 方毅. 发挥劳模示范引领作用 促进职工整体素质提升 [J]. 经营管理者, 2011 (19)
- [2] 吴培清. 引导战士立足岗位成长成才 [J]. 政工学刊, 2008 (4)

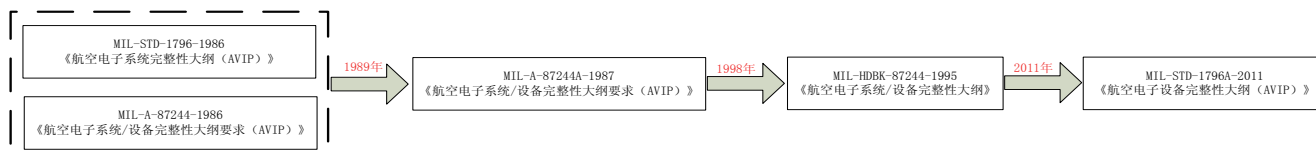


图1 航空电子系统完整性标准更新换代示意图

1987年9月发布了修订版MIL-A-87244A，并于1989年替代MIL-A-87244和MIL-STD-1796-1986。本标准在使用9年后于1995年1月发布MIL-A-87244A作废通知单，规定有关航空电子设备完整性工作依据美国军用手册MIL-HDBK-87244《航空电子系统/设备完整性》实施。直到2011年，发布了新版的AVIP标准，该版本替代了原来要求较少的手册，再次成为了可引用为合同要求的标准。为与上版手册类标准区分，新版标准沿用了最初的MIL-STD-1796标准编号和名称，即目前使用的MIL-STD-1796A-2011《航空电子系统完整性大纲（AVIP）》。

综合分析上述标准的使用情况，其中MIL-STD-1796-1986和MIL-A-87244-1986从发布到废止仅一年时间，技术内容和操作性都不成熟，可以看作是航空电子完整性的“萌芽”标准。而后面陆续发布的MIL-A-87244A-1987、MIL-HDBK-87244和MIL-STD-1796A标准可以看作是航空电子完整性“发展和成熟”的标准。特别是，MIL-A-87244A和MIL-HDBK-87244《航空电子系统/设备完整性》两份标准支撑了美国航电系统完整性设计20年，可以比较完整的反映AVIP标准技术内容的发展情况。下面将重点对近期的两次更新换代内容进行分析，了解国外航电完整性技术的发展脉络。

2.1 MIL-A-87244A到MIL-HDBK-87244，技术的跃升

与MIL-A-87244A相比，MIL-HDBK-87244更注重了AVIP伴随装备研制和使用的全寿命周期要求，技术内容更加系统和完善。同时补充了大量指导工业部门贯彻完整性要求的技术内容，大大提升了标准的可操作性。具体内容变化主要体现在以下四个方面。

a) MIL-HDBK-87244增加了三个附录，增强了标准的操作性

1) 附录A“航空电子/电子设备完整性工作指南”，给出了航空电子/电子设备完整性工作的剪裁原则。该过程任务作为合同的一部分而提出，目的在于指导工业部门贯彻机载电子设备及地面电子设备研制中的完整性要求。

2) 附录B“用户保障性要求的转换”给出了将典型用户保障性要求转换为完整性要求的方法。

3) 附录C“航空电子/电子设备规范的样本”给出

了航空电子/电子设备完整性过程性能要求的样本。该要求将被剪裁，并作为合同的一部分而提出，目的在于实施机载电子设备及地面电子设备的完整性要求。

b) MIL-HDBK-87244对完整性指标进行了调整，体现了完整性要求是在保证质量管理的前提下折中优化的设计思想

1) MIL-HDBK-87244的主要设计参数：经济寿命、关键的无故障工作时间（CFPOP）；MIL-A-87244的主要设计参数：经济寿命、无故障工作时间（FFOP）。MIL-HDBK-87244中将FFOP改为CFPOP，还增加了累计维修时间（CMB）和维修事件概率参数。该项要求旨在强调系统/设备在规定的时间内执行任务和（或）满足安全性要求的能力。

2) MIL-HDBK-87244的完整性要求包括“耐久性/经济寿命、用法要求、环境要求、保障性（含可靠性，维修性，诊断和测试性，元件、组件、设备对静电放电的敏感性，寿命期管理）”；MIL-A-87244A的完整性要求包括“使用寿命、设计用法、环境、材料、设计准则（包括边界和降额）、强度、耐久性和经济寿命、损伤容限、寿命期管理（包括维修、检查、测试和质量控制）”。MIL-HDBK-87244提出了保障性要求，取消了损伤容限要求，进一步体现了AVIP是全面质量管理的系统工程过程。

c) MIL-HDBK-87244将完整性扩展到装备全寿命周期，融入了系统工程的设计思想

MIL-HDBK-87244规定的AVIP贯穿于整个寿命周期，附录A有各阶段工作重点，是系统工程的组成部分；MIL-A-87244规定的AVIP主要适用于工程研制阶段。

2.2 MIL-HDBK-87244到MIL-STD-1796A-2011，理念的转变

MIL-HDBK-87244作为一类填空式的指导性手册，是上世纪九十年代美军标改革的产物，当时美军标编制了一批系统级填空式规范（含有大量工程经验总结），旨在指导下级规范的编制和技术人员设计。而进入二十一世纪，美军标政策突出了“抓两头，放中间”思想，即控制产品性能和验证，提高产品研制过程的自由度。在此背景下，MIL-STD-1796A-2011替代MIL-HDBK-87244，成为航电完整性要求的主要标准。与MIL-HDBK-87244相比，MIL-STD-1796A-2011更多的是站在用户采办角度，

提出了贯彻完整性要求的工作管理规定，而对于工业部门在设计中如何贯彻完整性要求并没有给出具体的指导。下面章节将对 MIL-STD-1796A-2011 的主要技术内容进行简要介绍。

3. MIL-STD-1796A-2011 标准简介

MIL-STD-1796A-2011 核心内容是将航电系统 / 设备完整性大纲设计的整个过程划分为五个阶段（设计信息阶段、初步规划与设计阶段、设计与制造开发阶段、验证与生产阶段、部队管理阶段），各阶段按八个工作包（规划与协调、确立设计标准、明确环境特点、明确材料和构件特点、确认与跟踪关键设备 / 功能、分析、测试与验证、寿命管理）提出贯彻完整性要求的过程控制和管理工作。MIL-STD-1796A-2011 划分的五阶段工作主要内容为：

a) 第 1 阶段——设计信息阶段

按 MIL-STD-1796A《航空电子设备完整性大纲》的规定，“第 1 阶段——设计信息阶段”主要进行的工作包括明确基本设计信息的工作。这些设计信息包括作战要求、维护构想、任务情况、任务环境、设计寿命和使用限制。第 1 阶段规定了在启动正式开发合同前必须提供的数据。这些情况可能是材料解决方案分析、构想 / 技术开发计划、用户要求开发、建议要求开发、提供者的建议开发或合同谈判的结果。以上“材料解决方案分析、构想 / 技术开发计划、用户要求开发、建议要求开发”等工作内容对应于国内《立项论证报告》的研制过程，通过上述工作内容对应分析可以看出，第 1 阶段——设计信息阶段主要对应与国内的立项论证阶段。

b) 第 2 阶段——初步规划与设计阶段

按 MIL-STD-1796A《航空电子设备完整性大纲》的规定，“第 2 阶段——初步规划与设计阶段”主要进行的工作包括合同发包和初期设计审查（或同等项目活动 / 里程碑）之间出现的所有任务，具体包括明确完整性要求并分解到二级承包商，确定设备的环境级别，对技术风险较高的产品开展开发测试，开展“故障模式、效果和关键性级别（FMECA）”分析。通过上述工作内容可以看出，第 2 阶段基本与国内装备研制中方案设计阶段的“初步设计阶段”一致，但“故障模式、效果和关键性级别（FMECA）”分析工作项在国内是工程研制阶段的“详细设计阶段”开展，该项工作的时间安排在国内应用时应予以关注。

c) 第 3 阶段——设计与制造开发阶段

按 MIL-STD-1796A《航空电子设备完整性大纲》的

规定，“第 3 阶段——设计与制造开发阶段”主要进行的工作包括“初步设计审查（PDR）”和“关键设计审查（CDR）”之间出现的任何工作，包括详细设计、制造方法开发、最终专业研究、分析和原型机测试。经分析该处所指的原型机主要对应国内的原理样机和 C 型件。该阶段的主要任务是结合设计和测试产生的实际数据，对完整性要求进行修改并分配给二级承包商。通过上述工作内容可以看出，第 3 阶段基本与国内装备研制中方案设计阶段的“详细初步设计阶段”和工程研制阶段的“详细设计阶段”一致。

d) 第 4 阶段——验证与生产阶段

按 MIL-STD-1796A《航空电子设备完整性大纲》的规定，“第 4 阶段——验证与生产阶段”主要进行的工作包括测试、检查、分析，以确认被许可的航电设计达到了完整性要求，上述工作与制造和质量完整性大纲的工作联合实施，以便确保生产质量。该阶段主要完成的测试工作为环境和电磁兼容性试验、耐久性验证、实验室系统综合试验、机上地面测试和飞行测试，以便验证完整性要求——包括故障影响测试。根据以上测试内容可以推断出该阶段主要对于国内的工程研制阶段的“样机试制和地面试验”、“首飞和调整试飞”和设计定型阶段的“试验基地试飞”等工作阶段。

e) 第 5 阶段——部队管理（作战）阶段

按 MIL-STD-1796A《航空电子设备完整性大纲》的规定，“第 5 阶段——部队管理（作战）阶段”主要进行的工作包括保存支持战场系统所必须的数据和程序。上述工作的责任主体已从主开发承包商转移到主管的空军后勤中心或其他支持承包商来完成。就航电设备而言，它包括跟踪寿命受限的设备和关键部件或功能的维护标准及程序。同时视具体情况，可能还涉及航电设备的重新设计或更换工作。分析上述工作内容国内对应的研制阶段基本为设计定型阶段的“部队试验（试飞）”、生产定型阶段以及装备交付后的部队使用期。

另外，按 MIL-STD-1796A 的规定，五阶段中八个工作包的主要工作内容如下表所示。

通过对上表可以看出，各阶段工作包内容主要规定确定顶层要求、开展相关分析、试验等工作安排，国内武器装备研制中基本涵盖了上述工作。但在“明确材料和构件特点”工作包中涉及到的无铅电子设备的风险评估和缓解工作在国内还未开战前相关工作。国内武器装备中部分处理芯片、板卡等电子产品仍采用国外采购的方式，对于外购的无铅电子产品的评估

表 1 MIL-STD-1796A-2011 各阶段工作包要求汇总

	第 1 阶段设计信息	第 2 阶段 初步规划与设计	第 3 阶段 设计与制造开发	第 4 阶段 验证与生产	第 5 阶段部队管理(作战)
规划与协调	提出“航电设备完整性总计划 (AIMP)”评估用户要求。	“航电设备完整性总计划 (AIMP)”规定系统、子系统和构件完整性要求。更新要求。完整性要求向下一环节传递。	更新“航电设备完整性总计划 (AIMP)”	更新“航电设备完整性总计划 (AIMP)”验证结果记录在案。确立寿命有限设备的跟踪计划。	
确立设计标准	确立设计寿命要求 (系统级别)。确立可靠性要求。	确立寿命和可靠性设计标准。次级要求向下一环节传递。	更新设计标准。更新内容向下一环节传递并被跟踪。		
明确环境特点	为系统确立飞机环境标准。	更新飞机环境标准。确立子系统环境标准。	根据测试,更新飞机环境标准。根据测试,更新子系统环境标准。		
明确材料和构件特点	提出任何新材料或构件的检测方法。制定跟踪和管理无铅电子设备 (LFE) 的计划。制定解决部件完整性的计划,	确定构件和材料标准。确定部件淘汰问题。确认初期无铅电子设备风险与缓解。确定部件完整性要求及过程。	解决部件淘汰问题。解决无铅电子设备项目及问题。实施预防部件完整性风险的措施并确认初期风险。	确认所有已使用的无铅电子设备,确认风险及缓解已起作用。通过批准的程序验证部件完整性。识别部件完整性风险及缓解已起作用。	为无法继续使用的构件确定合适替换件。实施无铅电子设备风险缓解。替换件需达到原件完整性的水准。
确认与跟踪关键设备和/功能	提出关键功能的确认、跟踪和设计安排。	定义各子系统或功能法人关键性级别。	更新关键性级别。分析关键安全功能。	跟踪航电设备所执行的关键安全功能。	维护航电设备所执行的关键安全功能的数据包。
分析	确立分析依据和分析方法。	对关键航电设备进行“故障模式、效果和关键性分析 (FMECA)”。分析热、振动、打击等对设备的影响。	完成各产品(例如电路板)对环境反应的分析。分析设计是否达到可靠性、维护和诊断的要求。分析航电设备对“故障模式、效果和关键性分析 (FMECA)”的影响。	更新可靠性、维护及诊断分析。更新持久性分析以反映最终设计和测试结果。	
测试与验证	确立环境(质量)验证要求。	完成新的或高风险产品的构件开发试验。完成开发试验以便体现基本设计的特点。	完成环境和持久性开发试验和分析。完成降低风险测试。定义环境与验收测试。	完成环境及耐久性验证。完成与完整性(例如“故障模式和效果测试”)有关的系统综合实验室试验。进行验收测试/验证之前已验证的诊断测试。	
寿命管理	确立可维护性与诊断要求。提出解决构件淘汰和构件性能改进的策略。	定义支持构想。修改维护与诊断要求。	确定防篡改方法对完整性的影响。	确定修理来源的充足性和修理水平。确立并验证战场系统的通过/不通过标准。解决“技术规程”里的完整性问题。确定防篡改的特别维护。	跟踪寿命有限的产品。实施缺陷跟踪系统。控制修理过程。实施“坏角色(bad actor)程序”。

测试工作应列入产品研制的工作项中,以满足完整性的要求。

4. 结束语

本论文介绍了完整性的基本概念,描述了国外航空电子系统完整性标准的发展历程,分析了主要标准间技术内容的变更情况。同时针对最新的标准,从研制阶段和工作包层面,进行了标准的技术内容分析,并于国内

工程实践进行了简要比对。

通过本文的分析,我们可以看出,国外在武器装备研制中推行航空电子完整性要求可在产品的可靠性、维修性、成本控制等方面取得明显成效,在国内推行航空电子完整性标准具有非常广阔的应用前景。同时最新的 MIL-STD-1796A《航空电子设备完整性大纲》标准,与我国的装备研制具有较高的契合度,在后续国内相关标准编制和工程研制中具有重要的参考价值。

国外航电系统完整性标准的新发展及国内适用性分析

作者: [朱晓飞](#), [黄永葵](#)
作者单位: [中国航空综合技术研究所, 北京, 100028](#)
刊名: [管理观察](#)
英文刊名: [Management Observer](#)
年, 卷(期): 2014(17)

引用本文格式: [朱晓飞](#), [黄永葵](#) [国外航电系统完整性标准的新发展及国内适用性分析](#) [期刊论文] - [管理观察](#) 2014(17)