

综 述

GEIA-STD-0009《系统设计、研制和制造可靠性大纲标准》分析

王光芦¹, 李维宝², 李大鹏¹

(1. 中国航空综合技术研究所, 北京 100028; 2. 总参谋部陆航部装备发展办公室, 北京 100012)

摘要: 研究了 GEIA-STD-0009《系统设计、研制和制造可靠性大纲标准》的制定背景, 分析了该标准的制定过程, 主要介绍了该标准 4 个可靠性目标及信息流, 简述了每个目标的 6 个组成部分, 详细阐述了 13 项规范性可靠性活动。

关键词: 可靠性目标; 寿命期环境载荷; 失效模式及机理

中图分类号: E920 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)06-0066-05

Analysis of GEIA-STD-0009 Reliability Program Standard for Systems Design, Development and Manufacturing

WANG Guang-lu¹, LI Wei-bao², LI Da-peng³

(1. China Aviation Poly-technology Establishment, Beijing 100028, China;

2. Equipment Development Office of Marine Aviation Department of General Staff, Beijing 100012, China)

Abstract: The development background of GEIA-STD-0009 Reliability program standard for systems design, development and manufacturing was researched. The development schedule was analyzed; four reliability objectives and information flow were introduced. Six components of each objective were briefly expounded; thirteen special reliability actions were detailedly expatiated.

Key words: reliability objective; life-cycle environmental load; failure modes and mechanisms

近年来,美国国防部(DoD)在初始试验与验证过程中发现,约有 47% 的系统的实际可靠性指标 MTBF 没有达到其要求 MTBF 的一半,系统作战效能降低、外场使用和保障费(O&S)不断增加,O&S 约占整个寿命周期费用的 70%。适用性失效率高是由缺乏严格的系统工程过程引起的,包括在系统研制期

间缺少一个稳健的可靠性增长计划。迫切需要一个新的可靠性大纲标准,该标准应包括可靠性增长作为设计和研制的一个有机组成部分,并可以在 DoD 合同中引用。为此,DoD 与工业界、政府电子与信息技术协会(GEIA)及相关机构密切合作,制定了新的标准——GEIA-STD-0009《系统设计、研制和制造可

收稿日期: 2011-03-20

作者简介: 王光芦(1973—),男,湖南娄底人,硕士,高级工程师,主要研究方向为装备环境与可靠性工程。

可靠性大纲标准》^[1]。

1 标准制定过程

高可靠性系统/产品的研制要求急需出台一个新标准,该标准能为可靠性设计、评估、验证以及综合管理和系统工程提供一种科学规范的方法。该标准应定义“做什么”,使可靠性真正设计和固化到产品中,并使系统/产品在实际使用中能维持高可靠性水平。

1998年美国取消了MIL-STD-785B《系统和设备研制和生产可靠性大纲》,到2008年为止,美国政府还没有发布一种替代的政府可靠性标准、能够为可靠性设计、评估和验证以及一体化管理和系统工程提供一种科学方法,供合同文件中使用。尽管随后美国出台了2个工业标准SAE JA1000《可靠性大纲标准》^[2](1998年6月)和IEEE 1332《电子系统和设备研制和生产通用可靠性大纲标准》^[3](1998年10月),这2个标准主要由3个目标构成:1)理解客户/用户需求和约束条件;2)可靠性设计和再设计;3)生产可靠的系统/产品。然而,这2个标准没有包括有关为了完成上述目标必须做什么的内容。

2005年DoD出版了《可靠性可用性和维修性(RAM)指南》,该指南的结构基于IEEE 1332和SAE JA1000的目标,并增加了第4个目标“监控和评估用户的可靠性”。《RAM指南》针对每个目标提供了丰富的指南,但是仍没有明确为实现每个目标应开展的可靠性活动。

2007年10月,DoD与GEIA、工业部门、学术界、研究所、军方及其他政府开始了GEIA-STD-0009的编制工作。2008年5月28日,GEIA-STD-0009草稿公布。2008年12月13日,GEIA-STD-0009正式发布。2009年8月20日,GEIA-STD-0009被DoD正式采用,DoD规定国防活动过程中如对该标准有更改,必须给DoD采办机构提供书面报告。

2 标准概述

GEIA-STD-0009的主要目标是使可靠性管理、设计、试验及方法(这些方法为获得可靠产品提供了最大的价值和最小的风险)优化成为一体。它主要

包含以下4个可靠性目标:1)理解客户/用户需求和约束条件;2)可靠性设计和再设计;3)生产可靠的系统/产品;4)监控和评估用户可靠性。

每个目标由6部分组成:1)引言,对该目标作简要介绍;2)任务和目标,提供便于对该目标有清晰理解所需的补充说明;3)人员和组织,将可靠性设计到产品中去时,必须解决的人员和组织问题;4)支持信息(规范性的),包括“输入信息”和“开发信息”;5)活动、方法和工具,包括规范性(强制性的)的活动和信息性(仅提供指南信息的)的方法和工具;6)输出和文件(规范性的),列出了最终将提供给标准中其他目标的“开发信息”。GEIA-STD-0009可靠性目标间的信息流如图1所示。

GEIA-STD-0009标准的核心是一个与系统工程完全综合在一起的可靠性工程和增长过程。新标准不像MIL-STD-785B等以前的许多可靠性标准那样提供一种供人们选择的可靠性工作项目菜单。剪裁GEIA-STD-0009的基本机制是通过选择方法、工具和最佳惯例来实施每项可靠性活动。标准中的附录A给出了实施这些可靠性活动必要的方法和工具。有关方法和工具的更详细信息可参见DoD RAM指南和SAE JA1000-1(1999年3月)可靠性工作标准实施指南。AMSAA和DoD可靠性改进工作组所开发的可靠性记分卡可用于指导可靠性方法、工具和最佳惯例的选取。GEIA-STD-0009要求研制人员从一开始就起草一份可靠性工作计划,作为系统工程计划的一部分,以便从项目的开始就能理解可靠性工作的人员和进度安排,并编入预算。根据以往的经验教训,如果研制人员没有在合同签署之前为可靠性工作做出适当的预算和计划,则后来就很难把它包括进去。

GEIA-STD-0009包含了一种将可靠性设计进去的系统化过程,该过程包括3个要素:1)渐进理解系统级使用载荷和环境载荷;2)渐进识别整个系统载荷和应力诱发的失效模式和机理;3)积极减少暴露出的失效模式。

3 标准规定的可靠性活动

GEIA-STD-0009中围绕满足4项可靠性目标规定了13项规范性可靠性活动,这些可靠性活动是强

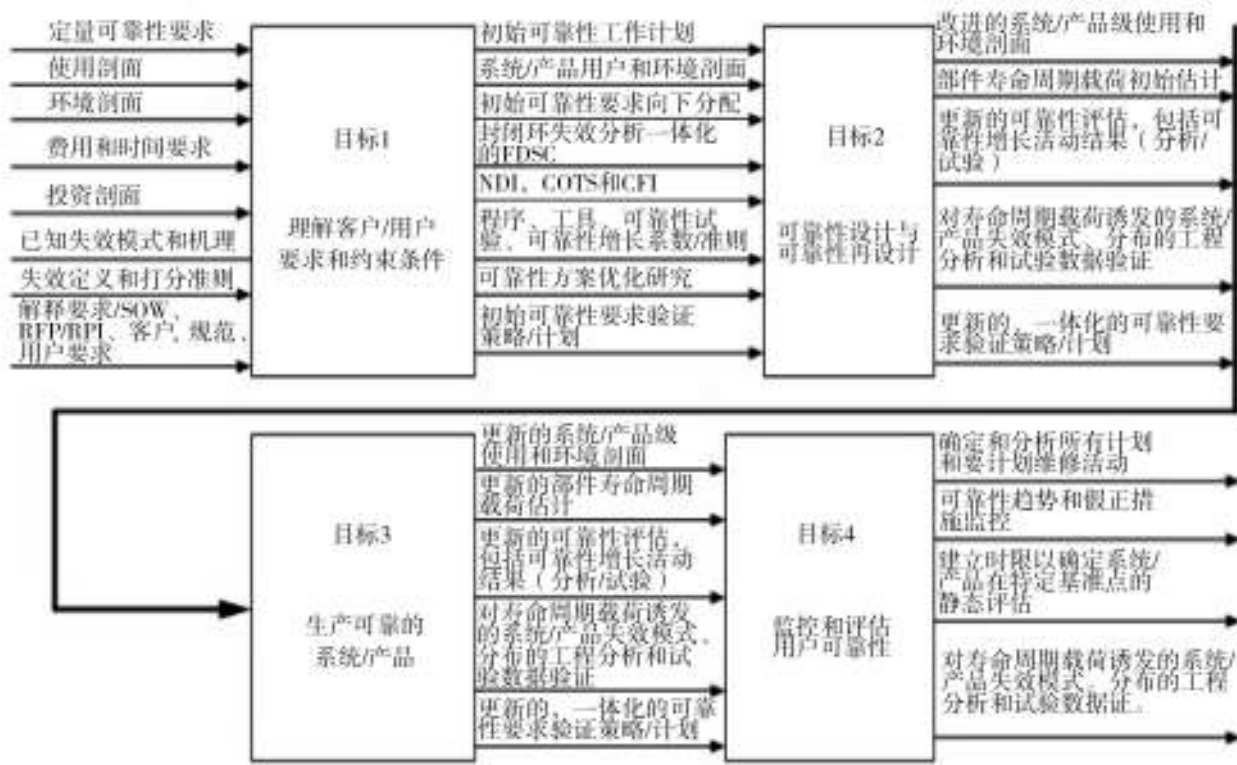


图1 GEIA-STD-0009 可靠性目标间的信息流

Fig. 1 Information flow between reliability objectives of GEIA-STD-0009

制性的,只规定了“做什么”。

3.1 可靠性项目计划

为设计、研制可靠的系统和产品,研制者要编制一个可靠性大纲计划(RPP)。对每个系统/产品而言,RPP是可以剪裁的。RPP要包括4个目标中的所有规范性的可靠性活动,并写明可靠性资金投入、进度安排、输出结果和人员安排。RPP应在开始就编制,以响应招标书的需要,并定期与客户进行协调,进行更新。

3.2 系统/产品可靠性模型

研制者要为系统/产品建立一种可靠性模型。系统可靠性模型至少用于如下目标:1)把系统可靠性分配到子系统可靠性;2)根据较低层次可靠性估计值计算出系统级可靠性;3)识别单点失效;4)确定那些为满足可靠性要求需要增加设计或试验活动的可靠性关键件和区域。在整个寿命周期中,每当识别了新的失效模式、更新了失效的定义、修正了使用载荷和环境载荷估计值或设计和制造工艺发生变化

后,都要对系统可靠性模型加以更新。在适当时要纳入详细的部件应力和损伤模型。

3.3 工程活动

系统工程活动是把客户/用户的需求和要求转变为适用的系统/产品的过程,在该过程中将有效均衡性能、风险、成本及进度。研制者应进行如下工作:1)把可靠性活动作为一种强制的、记录在案的系统工程过程和计划的一个有机组成部分;2)向相应的工程组织提交可靠性活动中确定的潜在的可靠性改进;3)监督和评价系统/产品设计或制造变更对可靠性的影响;4)管理和控制可靠性关键件;5)确保遵守可靠性设计准则,包括降额、电气、机械、温度和其他方面的设计指南。

3.4 系统/产品级寿命周期使用载荷和环境载荷

可靠性设计需要一个详细、完整的使用剖面,该剖面包括战时和非战时的使用比率、使用环境、非工作(包括贮存)持续时间和条件以及使用约束(由于

系统维护和供给产生),总的寿命周期环境应包括贮存、运输、搬运、安装和维修,研制者应估计使用和环境载荷(例如,机械冲击、振动、温度/湿度循环以及太阳辐射等),在整个寿命周期,系统/产品将遇到这些载荷。寿命周期载荷估计将定期更新,最后要通过测量或合适的数据来验证,并经过用户审批。如果用户认为实际使用环境载荷不够精确,研制者有权申请使用用户资源(例如与系统/产品相关的检测设备或工具),用户应提供这些资源。

3.5 组件、分组件和部件上的寿命周期载荷

研制者应根据系统/产品环境载荷估计值,给出系统/产品的组件、分组件、部件,货架产品(COTS)、非研制产品(NDI)和客户设备(CFI)初始的寿命周期环境载荷,并把这些载荷估计值提供给组件、分组件和部件研制者,同时也要提供给货架产品、非研制产品和客户设备的生产者。当系统/产品载荷更新时,这些载荷估计值也应更新。当用于可靠性验证时,使用和环境载荷的估计应符合实际使用情况。

3.6 确定失效模式和机理

研制之始就识别失效模式和机理。把组件、分组件和部件寿命周期估计载荷输入到工程和物理模型来识别潜在的故障机理以及相应的故障模式。系统的组件、分组件和零部件研制团队通过分析、试验或加速试验来识别和确定这些组件、分组件和部件承受寿命周期使用载荷和环境载荷时所产生潜在的失效模式和分布。负责选择和集成不是专门为此系统研制的产品(可能包括COTS, NDI和GFE以及其他组件、分组件和部件)的团队也要识别和确定这些产品承受寿命周期载荷时所产生的失效模式和分布。当设计更改或寿命周期使用和环境载荷更新时,应该对失效模式和分布进行更新。在系统/产品现场服役后,还应继续更新失效模式和分布。不管是在试验还是在现场发生的失效,都应对它们进行分析,并找出导致失效的根本原因,确定失效机理是确保可靠性改进的必要手段,并最终满足可靠性要求是必需的。

由制造偏差或误差引起的失效模式和分布也应在设计期间确定,而不要在生产阶段确定。越早发现失效模式,减弱它们就越容易、所需费用越低。确

定和理解失效模式和机理的过程随着设计和制造过程的进展而持续下去。

3.7 失效模式闭环减弱过程

为采取有效纠正措施,研制者应该建立一个团队(包括组件、分组件、部件的供应商,COTS, NDI, CFI集成者)分析来自模型、试验中的所有失效模式。

应按照如下2个方面对失效模式进行分类:1)失效模式影响安全、可靠性和性能的危险程度;2)失效模式对系统/产品寿命周期总费用的影响。采用下列方法减弱失效模式:1)消除失效模式;2)降低其发生概率或频率;3)引入冗余;4)减轻失效影响(如失效恢复、工作模式降级、提供失效的预先警告)。研制者应积极减少失效模式,以确保在生产期间或在外场成功验证可靠性要求,并确保可靠性要求不降级。

在系统/产品寿命周期发生所有失效模式应包含在系统/产品的可靠性模型中,研制者要设置一个机构来系统监督和交流如下信息:1)试验和现场失效类型;2)失效模式分析和故障机理根本原因分析;3)设计状态/纠正过程和风险降低决策。用户有权访问该机构。

所有产品(包括COTS, NDI, CFI)的可靠性很大程度上取决于其经受的使用和环境载荷。通过有效地配置这些载荷(例如通过有效的热、动力隔离技术来降低这些载荷)可以大大降低COTS, NDI, CFI故障模式的发生概率和频率。

3.8 可靠性评估

该标准确立了可靠性评估的7项一般要求:

1) 研制者在系统的整个寿命周期内,根据OMS/MP产生的寿命周期使用载荷和环境载荷估计值以及客户提供的失效定义与记分准则(FDSC),利用系统/产品可靠性模型对系统的可靠性定期进行评估;

2) 可靠性评估基于分析、建模与仿真、试验和外场数据,应将其作为时间的函数进行跟踪,并与可靠性分配值和客户的可靠性要求进行比较;

3) 对于复杂系统,或者当客户要求时,评估策略包括研制期间的各个不同点上取得的可靠性数值;

4) 研制人员监督和评价系统的设计或制造变

更对可靠性的影响;

5) 对纠正措施的落实应加以验证,其有效性应加以跟踪;

6) 为了计划、跟踪和预计可靠性改进,在适当的地方(如当利用一种适合于复杂组件的试验-分析-改进过程发现并处理了失效模式时)应使用正规的可靠性增长方法;

7) 应将预计的失效模式和机理与试验和外场获得的进行比较。

美国陆军对上述第3项要求尤其感兴趣,因为美国陆军的新政策:陆军条例70-1“陆军采办政策”要求在所选择系统的招标书中至少包括一个中间的可靠性增长值。该中间值将便于早期确定偏离满足其可靠性要求的系统,从而允许有时间对项目做出调整,并强化可靠性工程和增长过程。获得这个中间值的一个方法是利用可靠性增长规划模型。客户可以根据项目进度、试验资源和有关可靠性增长工作强度方面的一些假设,预先制定一个可靠性增长计划。

3.9 计划和开展可靠性验证

“可靠性验证”表示正式验证可靠性要求是否已被满足。该标准确立了4项可靠性验证一般要求:

1) 研制者要计划和开展活动以确保在设计期间对可靠性要求的满足情况进行验证;

2) 研制者制定和定期改进一种可靠性要求验证策略/计划,该策略/计划是系统工程验证的一个有机组成部分,在所有阶段都要对其加以调整和综合,策略/计划的目的是进一步确保生产或外场使用中可靠性不降级,用户可对验证策略/计划进行审批;

3) 验证可以基于分析、建模与仿真、试验或组合方法,可靠性验证应为整个系统/产品验收的一个组成部分,用户可以规定一些特定的试验要求(例如,可靠性鉴定试验,采用用户的设施进行试验,用户计分试验等);

4) 要使用验证过的系统级寿命周期使用和环境载荷以及失效定义和记分FDSC(即可靠性记分卡)。

3.10 失效定义和记分

研制者要理解系统/产品失效定义(用户采用这些失效定义,并用于操作和维修系统)和记分

(FDSC),并研制满足其可靠性要求的系统/产品。研制者要确定和减弱实际用户使用和维修系统/产品时可能出现的人为差错(那些因故意、明显、粗暴使用导致的差错除外)。对于特定的用户(例如美国DoD,其对失效定义和打分有具体规范),如果客户没有,则研制者和客户需一起编制失效定义和打分准则并达成一致意见。

3.11 技术评审

为了审核可靠性活动的状态和比较各状态的结果,尤其是为了识别、分析、分类和减弱失效模式,研制人员要与客户/用户进行技术交流。研制者要开展正式可靠性评审,促进对系统未来运行的用户环境的理解,并确信在满足可靠性要求方面的进展。这些正式评审的次数应根据产品/系统的复杂性、技术成熟性、行业竞争性等来确定。除非用户对技术交流和评审有具体规定,研制者应提供一个评审时间表。作为最低要求,在每个“主要”项目的里程碑之前应进行评审。可靠性评审应在系统/产品研制过程的早期开始,并在产品生产和部署过程中继续开展。

3.12 方法和工具

研制者要利用适当的可靠性设计和研制方法与工具实施每项可靠性活动。各种可靠性方法和工具方面的信息可参考DoD《RAM指南》和SAE JA1000-1《可靠性工作标准实施指南》。研制人员应选择适当的方法,并在可靠性工作计划中对这些方法加以描述。客户可对研制人员所选择的方法进行审查、提出意见以及与研制者协商。研制者要确定和采用一组设计-可靠性最佳方案。研制者要利用客户批准的可靠性大纲计划中所描述的途径、方法和工具开展全部可靠性活动。

3.13 输出和文件

在实施上述活动中,将产生许多状态和输出,研制者要为客户提供持续了解这些可靠性活动的状态和输出。应按照可靠性案例的形式,对可靠性工作计划中4个目标的渐进取得情况进行记录和定期更新。研制者要按照标准中可靠性活动章节的规定提

(下转第75页)

了对试验报告的要求,并在各试验项目的第8节针对试验项目的结果分析进行了补充。这些规定都是GJB 150所没有的,不仅保证了试验结果的说服力,更大大提高了对试验参与方在试件和检测设备的专业领域了解程度的要求。

4 结语

GJB 150A顺应了技术发展的需求,充实、扩展了专业领域覆盖范围,作为剪裁标准的灵活性可以更

为精准地满足试验需要,但剪裁也对参与方的专业素质提出了更高的要求,增加了执行难度。另一方面,提供了丰富的试验方法指南,重视收集信息、中断处理和结果分析,对某些实际问题有更明确的处理办法。

参考文献:

- [1] GJB 150A,军用装备实验室环境试验方法[S].
- [2] 祝耀昌,GJB 150A 和环境试验技术 [R].2010.1(余不详)
- [3] MIL-STD-810F, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Test, Department of Defence [S].

(上接第65页)

变空气流道、增加排气风扇的功率或采取其他通风降温措施,以改善工作室内部环境的舒适性。

5 结论

采用数学模型对某车载雷达工作室内的三维气流场和温度场进行了数值模拟计算,获得了工作室内部热流场分布,得到了合理结果。工作环境恶化严重时会导致乘员植物神经失调,判断与控制机能迟钝,不仅会使乘员失去战斗能力,对人身安全也极为不利。因此,必须改进该工作室内的通风状况。

对工作室工作环境的改进应从以下2个方面进行:1)提高工作室靠近电子机柜的空气流动以及及时带走设备工作产生的热量;2)通过调整进气口和排气口的位置、改变空气流道、增加排气风扇的功率,

改善工作室内部的空气流动以改善工作室内部环境的舒适性。

参考文献:

- [1] BERRY Jr Crain, VINCENT D Iacono. Development of a Microclimate Cooling System for Combat Vehicles[J]. System Sciences, 1982(1):7—28.
- [2] ANNE E Allan, STEPHEN R Muza. Microclimate Cooling for Combat Vehicles Crewmen[J]. System Sciences, 1982(1):1—14.
- [3] 陶文铨. 数值传热学[M]. 第2版. 西安:西安交通大学出版社,2001.
- [4] 陶文铨. 计算传热学的近代发展[M]. 北京:科学技术出版社,2000.
- [5] 刘西侠,毕小平,赵以贤. 装甲输送车乘员舱内三维空气流动与传热的数值计算[J]. 兵工学报,2003,24(1):26—30.

(上接第70页)

交文件供客户进行审查和批准。

4 结语

DoD最新防务采办政策DoD5000.2指出“所有项目的项目主任都应制定一个切实可行的可靠性、可用性与可维修性(RAM)策略,其中应包括一个可靠性增长计划,把它作为系统设计和开发的不可或缺的组成部分。”GEIA-STD-0009包含一个健壮的、强制性的可靠性增长计划,在DoD采办中使用该标准

将确保该要求的实现。为了促进该标准在DoD采办合同中的使用,DoD成立了可靠性改进工作组(RIWG),该组将为了提高DoD武器系统的可靠性、可用性和维修性(RAM)提供技术支持。

参考文献:

- [1] GEIA-STD-0009, Reliability Program Standard for Systems Design, Development, and Manufacturing [S].
- [2] SAE JA-1000, Reliability Program Standard[S].
- [3] IEEE1332, Standard Reliability Program for the Development and Production of Electronic Systems and Equipment [S].