



中华人民共和国国家军用标准

FL 0111

GJB 450A-2004

代替 GJB 450-1988

装备可靠性工作通用要求

General requirement for materiel reliability program

2004-03-10 发布

2004-07-01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	2
4.1 可靠性工作的目标	2
4.2 可靠性工作的基本原则	2
4.3 订购方与承制方的职责	3
4.4 可靠性工作与其他相关工作的协调	3
4.5 可靠性信息	3
4.6 可靠性要求	4
4.7 可靠性要求的验证	4
4.8 使用期间的可靠性工作	5
5 可靠性及其工作项目要求的确定(工作项目 100 系列)	5
5.1 确定可靠性要求(工作项目 101)	5
5.2 确定可靠性工作项目要求(工作项目 102)	5
6 可靠性管理(工作项目 200 系列)	6
6.1 制定可靠性计划(工作项目 201)	6
6.2 制定可靠性工作计划(工作项目 202)	6
6.3 对承制方、转承制方和供应方的监督和控制(工作项目 203)	7
6.4 可靠性评审(工作项目 204)	7
6.5 建立故障报告、分析和纠正措施系统(工作项目 205)	8
6.6 建立故障审查组织(工作项目 206)	8
6.7 可靠性增长管理(工作项目 207)	8
7 可靠性设计与分析(工作项目 300 系列)	9
7.1 建立可靠性模型(工作项目 301)	9
7.2 可靠性分配(工作项目 302)	9
7.3 可靠性预计(工作项目 303)	9
7.4 故障模式、影响及危害性分析(工作项目 304)	10
7.5 故障树分析(工作项目 305)	10
7.6 潜在分析(工作项目 306)	11
7.7 电路容差分析(工作项目 307)	11
7.8 制定可靠性设计准则(工作项目 308)	11
7.9 元器件、零部件和原材料选择与控制(工作项目 309)	12
7.10 确定可靠性关键产品(工作项目 310)	12
7.11 确定功能测试、包装、贮存、装卸、运输和维修对产品可靠性的影响(工作项目 311)	13
7.12 有限元分析(工作项目 312)	13
7.13 耐久性分析(工作项目 313)	14

8 可靠性试验与评价(工作项目 400 系列)	14
8.1 环境应力筛选(工作项目 401)	14
8.2 可靠性研制试验(工作项目 402)	14
8.3 可靠性增长试验(工作项目 403)	15
8.4 可靠性鉴定试验(工作项目 404)	15
8.5 可靠性验收试验(工作项目 405)	16
8.6 可靠性分析评价(工作项目 406)	16
8.7 寿命试验(工作项目 407)	16
9 使用可靠性评估与改进(工作项目 500 系列)	17
9.1 使用可靠性信息收集(工作项目 501)	17
9.2 使用可靠性评估(工作项目 502)	17
9.3 使用可靠性改进(工作项目 503)	18
附录 A (资料性附录) 应用指南	19
A.1 概述	19
A.2 可靠性及其工作项目要求的确定	19
A.3 可靠性管理	22
A.4 可靠性设计与分析	25
A.5 可靠性试验与评价	32
A.6 使用可靠性评估与改进	35
附录 B (资料性附录) 潜在电路分析线索表	38
B.1 潜在功能分析检查	38
B.2 设计检查	38

前 言

本标准是 GJB 450—1988《装备研制与生产的可靠性通用大纲》的替代标准,修订后标准仍保持原标准工作项目系列的框架结构,与原标准相比,主要有以下变更:

- a) 修订后标准更名为《装备可靠性工作通用要求》。
- b) 标准的适用阶段由原来的研制与生产扩展为论证、研制、生产和使用。
- c) 标准的行文不再采用“承制方制定可靠性保证大纲”和“订购方提出大纲要求”的说法,而改为订购方提出可靠性要求和可靠性工作项目要求;承制方制定并实施可靠性工作计划。
- d) 新标准增补的要求和工作项目系列及其工作项目主要有:
 - 1) 总则(相当于原标准的一般要求)中增加了可靠性工作的基本原则”、“订购方与承制方的职责”和“使用期间的可靠性工作”等内容。
 - 2) 增补了“可靠性及其工作项目要求的确定”工作项目系列,称之为 100 系列,其中包括“确定可靠性要求”和“确定可靠性工作项目要求”两个工作项目。
 - 3) 将原 100 系列顺推为 200 系列。200 系列增补了“制定可靠性计划”和“可靠性增长管理”工作项目。“制定可靠性计划”,要求订购方对其开展的可靠性工作,通过制定计划,实施有效的管理。
 - 4) 原 200 系列顺推为 300 系列。300 系列增补了“故障树分析”、“制定可靠性设计准则”、“有限元分析”、“耐久性分析”工作项目。
 - 5) 原 300 系列顺推为 400 系列。400 系列增补了“可靠性研制试验”、“可靠性分析评价”、“寿命试验”工作项目。
 - 6) 增补了“使用可靠性评估与改进”工作项目系列,称之为 500 系列,其中包括“使用可靠性信息收集”、“使用可靠性评估”、“使用可靠性改进”三个工作项目。

增补上述内容是为了适应新的装备管理体制,满足军方在装备寿命周期中开展可靠性工作的需要,并适当反映我国开展可靠性工作的经验和国外一些可借鉴的可靠性成果等。

本标准附录 A、附录 B 是资料性附录。

本标准由中国人民解放军总装备部电子信息基础部提出。

本标准由中国人民解放军总装备部电子信息基础部技术基础局归口。

本标准起草单位:总装备部技术基础管理中心、航天科工集团二院二部、中国航空综合技术研究所、海军装备论证研究中心、空军航空技术装备可靠性办公室、炮兵装备技术研究所、第二炮兵第四研究所、工程兵装备论证试验研究所、中国航空工业发展研究中心、空军第二研究所。

本标准主要起草人:宋太亮、朱美娴、祝耀昌、马绍力、韩峰岩、曹 辉、陈雪芳、孙书鸿、曾天翔、刘益新、王江山。

装备可靠性工作通用要求

1 范围

本标准规定了装备寿命周期内开展可靠性工作的一般要求和工作项目,为订购方和承制方开展可靠性工作提供依据和指导。

本标准适用于各类装备(或分系统和设备)。本标准的内容可用于招标、投标和签订合同。

本标准的应用指南参见附录 A。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包括勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GJB 150 军用设备环境试验方法
- GJB 368 装备维修性通用大纲
- GJB 451 可靠性维修性术语
- GJB 813 可靠性模型的建立和可靠性预计
- GJB 841 故障报告、分析和纠正措施系统
- GJB 899 可靠性鉴定与验收试验
- GJB 1032 电子产品环境应力筛选方法
- GJB 1371 装备保障性分析
- GJB 1391 故障模式、影响及危害性分析
- GJB 1407 可靠性增长试验
- GJB 1686 装备质量与可靠性信息管理要求
- GJB 1775 装备质量与可靠性信息分类和编码要求
- GJB 1909 装备可靠性维修性参数选择和指标确定要求
- GJB 3273 研制阶段技术审查
- GJB 3404 电子元器件选用管理要求
- GJB 3837 装备保障性分析记录
- GJB 3872 装备综合保障通用要求
- GJB/Z 23 可靠性维修性工程报告编写一般要求
- GJB/Z 27 电子产品可靠性热设计手册
- GJB/Z 34 电子产品定量环境应力筛选指南
- GJB/Z 35 元器件降额准则
- GJB/Z 72 可靠性维修性评审指南
- GJB/Z 77 可靠性增长管理手册
- GJB/Z 89 电路容差分析指南
- GJB/Z 102 软件可靠性安全性设计准则
- GJB/Z 108 电子产品非工作状态可靠性预计手册
- GJB/Z 299 电子产品可靠性预计手册

3 术语和定义

GJB 451 确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 寿命剖面 life profile

产品从交付到寿命终结或退役这段时间内所经历的全部事件和环境的时序描述。它包括一个或几个任务剖面。

3.2 任务剖面 mission profile

产品在完成规定任务这段时间内所经历的事件和环境的时序描述,其中包括任务成功或致命故障的判断准则。

3.3 基本可靠性 basic reliability

产品在规定的条件下,无故障的持续时间或概率。

基本可靠性反映产品对维修人力的要求。确定基本可靠性参数时应统计产品的所有寿命单位和所有的故障。

3.4 任务可靠性 mission reliability

产品在规定的任务剖面中完成规定功能的能力(概率)。

3.5 使用可靠性 operational reliability

产品在实际使用条件下所表现出的可靠性。它反映了产品设计、制造、安装、使用、维修、环境等因素的综合影响。一般用可靠性使用参数及其量值描述。

3.6 固有可靠性 inherent reliability

通过设计和制造赋予产品的,并在理想的使用和保障条件下所呈现的可靠性。

3.7 可靠性使用参数 operational reliability parameter

直接与战备完好性、任务成功性、维修人力费用和保障资源费用有关的一种可靠性度量。其度量值称为使用值(目标值与门限值)。

3.8 可靠性合同参数 contractual reliability parameter

在合同中表达订购方可靠性要求的,并且是承制方在研制和生产过程中可以控制的参数。其度量值称为合同值(规定值与最低可接受值)。

4 总则

4.1 可靠性工作的目标

开展可靠性工作的目标是确保新研和改型的装备达到规定的可靠性要求,保持和提高现役装备的可靠性水平,以满足系统战备完好性和任务成功性要求、降低对保障资源的要求、减少寿命周期费用。

4.2 可靠性工作的基本原则

4.2.1 可靠性要求源于系统战备完好性、任务成功性并与维修性、保障系统及其资源等要求相协调,确保可靠性要求合理、科学并可实现。

4.2.2 可靠性工作必须遵循预防为主、早期投入的方针,应把预防、发现和纠正设计、制造、元器件及原材料等方面的缺陷和消除单点故障作为可靠性工作的重点。

4.2.3 在研制阶段,可靠性工作必须纳入装备的研制工作,统一规划,协调进行。并行工程是实现综合协调的有效工程途径。

4.2.4 必须遵循采用成熟设计的可靠性设计原则,控制新技术在新研装备中所占的比例,并分析已有类似产品在使用可靠性方面的缺陷,采取有效的改进措施,以提高其可靠性。

4.2.5 软件的开发必须符合软件工程的要求,对关键软件应有可靠性要求并规定其验证方法。

4.2.6 应采用有效的方法和控制程序,以减少制造过程对可靠性带来的不利影响,如利用统计过程控制

(SPC)、故障模式及影响分析(FMEA)和环境应力筛选(ESS)等方法来保持设计的可靠性水平。

4.2.7 尽可能通过规范化的工程途径,利用有关标准或有效的工程经验,开展各项可靠性工作,其实施结果应形成报告。

4.2.8 必须加强对研制和生产过程中可靠性工作的监督与控制,严格进行可靠性评审,为转阶段决策提供依据。

4.2.9 应充分重视使用阶段的可靠性工作,尤其是初始使用期间的使用可靠性评估和使用可靠性改进工作,以尽快达到使用可靠性的目标值。

4.2.10 在选择可靠性工作项目时,应根据产品所处阶段、复杂和关键程度、使用(贮存)环境、新技术含量、费用、进度以及产品数量等因素对工作项目的适用性和有效性进行分析,以选择效费比高的工作项目。

4.3 订购方与承制方的职责

4.3.1 订购方职责

订购方的职责主要有:

- a) 制定并实施可靠性计划,对装备寿命周期的可靠性工作进行有效的管理;
- b) 提出型号的可靠性要求和可靠性工作项目要求,将可靠性使用要求转化为可靠性合同要求,并纳入研制总要求及相关附件;
- c) 与承制方协商有关的可靠性要求和可靠性工作项目要求,并纳入合同或相关文件;
- d) 对承制方的可靠性工作进行监控,主持或参与可靠性评审,对可靠性鉴定和验收试验的结果进行认定;
- e) 按合同规定向承制方提供开展可靠性工作所必须的信息;
- f) 装备部署后,组织进行使用可靠性评估和改进等。

4.3.2 承制方职责

承制方的职责主要有:

- a) 协助订购方对装备的可靠性要求进行可行性分析,确保可靠性要求的合理性和可实现性;
- b) 制定并实施详细的可靠性工作计划,落实合同要求的各项可靠性工作,实现合同规定的可靠性要求;
- c) 对转承制方的可靠性工作进行监控,按转承制或供应合同严格验收转承制产品和外购器材;
- d) 根据合同规定向订购方提供资料及数据;
- e) 对使用中暴露的设计、工艺缺陷负责改进;
- f) 协助订购方通过采取有效的纠正措施实现使用可靠性改进等。

4.4 可靠性工作与其他相关工作的协调

可靠性工作应与其它相关工作相协调,主要包括:

- a) 可靠性工作应与综合保障、维修性、测试性、安全性、质量管理等相关的工作相协调,并尽可能结合进行,减少重复;
- b) 承制方从可靠性工作获得的信息应能满足有关保障性、维修性、安全性等分析工作的输入要求,在其可靠性研制工作计划中应明确这些接口关系,例如与保障性分析计划(见 GJB 1371)中规定的各项分析工作的输入与输出关系等。

4.5 可靠性信息

可靠性信息包括装备论证、研制、生产和使用期间产生的有关可靠性数据、报告及文件等。可靠性信息工作的主要要求有:

- a) 可靠性信息应作为装备质量信息的重要内容按 GJB 1686 的规定实施统一管理;
- b) 应明确装备寿命周期各阶段对可靠性信息的要求,并通过利用或完善现有的信息系统,建立故障报告、分析和纠正措施系统(FRACAS),有效地收集、记录、分析、处理和反馈可靠性信息;

- c) 有关可靠性信息应按 GJB 1775、GJB 3837 等标准的要求,规定信息单元的名称和代码;
- d) 订购方和承制方相互提供的可靠性信息及其要求均应在相应的合同中明确,其中可靠性工作报告的格式应符合 GJB/Z 23 的规定。

4.6 可靠性要求

4.6.1 可靠性定性要求

可靠性定性要求是为获得可靠的产品,对产品设计、工艺、软件及其他方面提出的非量化要求,如采用成熟技术、简化、冗余和模块化等设计要求、有关元器件使用、降额和热设计方面的要求等。

4.6.2 可靠性定量要求

4.6.2.1 可靠性定量要求的范围

可靠性定量要求通常应包括任务可靠性要求和基本可靠性要求,可靠性定量要求还包括贮存可靠性和耐久性方面的要求。

任务可靠性和基本可靠性要求又可分为反映使用要求的可靠性使用要求和用于产品设计和质量监控的可靠性合同要求。

4.6.2.2 可靠性参数

可靠性参数可分为以下四类:

- a) 基本可靠性参数,如反映使用要求的平均维修间隔时间(MTBM)、用于设计的平均故障间隔时

间(MTBF)等;

贮存可靠性参数,如贮存可靠性等;

因素;

- b) 在选择可靠性参数时,应全面考虑装备的任务使命、类型特点、复杂程度及参数是否能且便于度量等因素;
- c) 在满足系统战备完好性和任务成功性要求的前提下,选择的可靠性参数数量应尽可能最少且参数之间相互协调;
- d) 基本可靠性要求应由系统战备完好性要求导出,按 GJB 3872 和 GJB 1909 的规定,协调权衡确定可靠性、维修性和保障系统及其资源等要求,以满足系统战备完好性要求;
- e) 任务可靠性要求应由装备的任务成功性要求导出;
- f) 在确定可靠性要求的过程中,应充分权衡基本可靠性和任务可靠性要求,以最终满足系统战备完好性和任务成功性要求;
- g) 在确定可靠性要求时,必须同时明确故障判据和验证方法;
- h) 订购方可以单独提出关键分系统和设备的可靠性要求,对于订购方没有明确规定的较低层次产品的可靠性要求,由承制方通过可靠性分配的方法确定。

4.7 可靠性要求的验证

4.7.1 可靠性合同要求验证

在研制或生产合同中,对于规定的可靠性要求必须同时明确验证的方法和接收、拒收判别准则,在确定验证方法时应注意以下问题:

- a) 可靠性鉴定和验收试验,应尽可能在较高的产品层次上进行;
- b) 可靠性鉴定和验收试验应以统计方法为基础,可根据 GJB 899 或其他有关标准,选择适合的统计试验方案和确定环境条件;

- c) 当不能或不适宜用试验方法验证产品可靠性时,允许利用不同层次产品的可靠性数据(特别是试验结果)通过建模与仿真或其他分析、综合的方法,评估产品的可靠性水平是否符合规定的要求。

4.7.2 使用可靠性评估

订购方应通过有计划地收集、分析实际使用和维修数据,评估装备的使用可靠性水平。

使用可靠性评估包括初始使用评估和后续使用评估。使用可靠性评估应与装备的战备完好性评估同时进行。

4.8 使用期间的可靠性工作

装备部署后,订购方应有计划地安排并组织可靠性信息的收集分析、使用可靠性评估、使用可靠性改进等工作,以保持并不断提高装备的可靠性水平。

5 可靠性及其工作项目要求的确定(工作项目 100 系列)

5.1 确定可靠性要求(工作项目 101)

5.1.1 目的

协调确定可靠性定量定性要求,以满足系统战备完好性和任务成功性要求。

5.1.2 工作项目要点

5.1.2.1 订购方应根据装备的任务需求和使用要求提出装备的可靠性要求,包括定量要求和定性要求。

5.1.2.2 装备的可靠性要求应与维修性、保障系统及其资源等要求协调确定,以合理的费用满足系统战备完好性和任务成功性要求。

5.1.2.3 在可靠性要求论证过程中应遵循 4.6 规定的要求和原则。

5.1.2.4 可靠性要求论证工作应按 GJB 1909 规定的要求和程序进行。

5.1.2.5 在论证过程中,应对可靠性要求进行中间和最终评审。可靠性要求的评审应有装备论证、设计、试验、使用和保障等各方面的代表参加。可靠性要求评审尽可能与系统要求审查和相关特性的要求评审结合进行。

5.1.2.6 可靠性要求论证的结果应纳入装备研制总要求、研制合同或相关文件。

5.1.3 注意事项

主要包括:

- a) 可靠性要求论证工作的安排应纳入可靠性计划;
- b) 要求承制方参与或承担的论证工作应用合同明确。

5.2 确定可靠性工作项目要求(工作项目 102)

5.2.1 目的

选择并确定可靠性工作项目,以可接受的寿命周期费用,实现规定的可靠性要求。

5.2.2 工作项目要点

5.2.2.1 订购方应优先选择经济有效的可靠性工作项目。

5.2.2.2 可靠性工作项目的选择取决于具体产品的情况,考虑的主要因素有:

- a) 产品要求的可靠性水平;
- b) 产品的类型和特点;
- c) 产品的复杂程度和关键性;
- d) 产品新技术含量;
- e) 费用、进度及所处阶段等。

5.2.2.3 可靠性工作项目应与相关工程的工作项目相协调,综合安排,相互利用信息,以减少重复的工作。

5.2.2.4 应明确对可靠性工作项目要求的细节,以确保可靠性工作项目的实施效果。

5.2.2.5 应对选择的可靠性工作项目进行评审,尽可能选择最少的可靠性工作项目,以实现规定的可靠性要求。

5.2.3 注意事项

主要包括:

- a) 可靠性工作项目选择确定工作应纳入可靠性计划;
- b) 对承制方的可靠性工作项目要求应纳入合同或相关文件。

6 可靠性管理(工作项目 200 系列)

6.1 制定可靠性计划(工作项目 201)

6.1.1 目的

全面规划装备寿命周期的可靠性工作,制订并实施可靠性计划,以保证可靠性工作顺利进行。

6.1.2 工作项目要点

6.1.2.1 订购方应在装备立项综合论证开始时制定可靠性计划,其主要内容包括:

- a) 装备可靠性工作的总体要求和安排;
- b) 可靠性工作的管理和实施机构及其职责;
- c) 可靠性及其工作项目要求论证工作的安排;
- d) 可靠性信息工作的要求与安排;
- e) 对承制方监督与控制工作的安排;
- f) 可靠性评审工作的要求与安排;
- g) 使用可靠性评估与改进工作的要求与安排;
- h) 工作进度等。

6.1.2.2 随着可靠性工作的进展,订购方应不断完善可靠性计划。

6.1.2.3 可靠性计划应通过评审。

6.1.3 注意事项

主要包括:

- a) 要求承制方承担的工作应在合同中明确;
- b) 可靠性计划应与其他计划如综合保障计划等相协调。

6.2 制定可靠性工作计划(工作项目 202)

6.2.1 目的

制定并实施可靠性工作计划,以确保产品满足合同规定的可靠性要求。

6.2.2 工作项目要点

6.2.2.1 承制方应根据合同要求制定可靠性工作计划,其主要内容包括:

- a) 产品的可靠性要求和可靠性工作项目的要求,计划中至少应包含合同规定的全部可靠性工作项目;
- b) 各项可靠性工作项目的实施细则,如工作项目的目的、内容、范围、实施的程序、完成形式和对完成结果检查评价的方式;
- c) 可靠性工作的管理和实施机构及其职责,以及保证计划得以实施所需的组织、人员和经费等资源的配备;
- d) 可靠性工作与产品研制计划中其他工作协调的说明;
- e) 实施计划所需数据资料的获取途径或传递方式与程序;
- f) 可靠性评审安排;
- g) 关键问题及它对实现要求的影响,解决这些问题的方法或途径;
- h) 工作进度等。

6.2.2.2 可靠性工作计划随着研制的进展不断完善。当订购方的要求变更时,计划应做相应的更改。

6.2.2.3 可靠性工作计划应经评审和订购方认可。

6.2.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 可靠性工作项目要求;
- b) 可靠性评审的要求;
- c) 需提交的资料项目。

其中“a)”是必须明确的。

6.3 对承制方、转承制方和供应方的监督和控制(工作项目 203)

6.3.1 目的

订购方对承制方、承制方对转承制方和供应方的可靠性工作应进行监督与控制,必要时采取相应的措施,以确保承制方、转承制方和供应方交付的产品符合规定的可靠性要求。

6.3.2 工作项目要点

6.3.2.1 订购方应对承制方的可靠性工作实施有效的监督与控制,督促承制方全面落实可靠性工作计划,以实现合同规定的各项要求。

6.3.2.2 承制方应明确对转承制产品和供应品的可靠性要求,并与装备的可靠性要求协调一致。

6.3.2.3 承制方应明确对转承制方和供应方的可靠性工作要求和监控方式。

6.3.2.4 承制方对转承制方和供应方的要求均应纳入有关合同,主要包括以下内容:

- a) 可靠性定量与定性要求及验证方法;
- b) 对转承制方可靠性工作项目的要求;
- c) 对转承制方可靠性工作实施监督和检查的安排;
- d) 转承制方执行 FRACAS 的要求;
- e) 承制方参加转承制方产品设计评审、可靠性试验的规定;
- f) 转承制方或供应方提供产品规范、图样、可靠性数据资料和其他技术文件等要求。

6.3.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 对承制方的监督与控制要求及内容;
- b) 对参加转承制方或供应方可靠性评审的要求;
- c) 转承制产品或供应品是否进行可靠性鉴定和验收试验,以及试验与监督的负责单位。

6.4 可靠性评审(工作项目 204)

6.4.1 目的

要求按计划进行可靠性要求和可靠性工作评审,以实现规定的可靠性要求。

6.4.2 工作项目要点

6.4.2.1 订购方应安排并进行可靠性要求和可靠性工作项目要求的评审,并主持或参与合同要求的可靠性评审。

6.4.2.2 承制方制定的可靠性评审计划需经订购方认可。计划内容主要包括评审点设置、评审内容、评审类型、评审方式及评审要求等。

6.4.2.3 应提前通知参加评审的各方代表,并提供有关评审的文件和资料。

6.4.2.4 可靠性评审尽可能与作战性能、安全性、维修性、综合保障等评审结合进行,必要时也可单独进行。

6.4.2.5 可靠性评审的结果应形成文件,主要包括评审的结论、存在的问题、解决措施及完成日期。

6.4.2.6 可靠性评审应按 GJB/Z 72 和 GJB 3273 的有关内容进行。

6.4.3 注意事项

6.4.3.1 订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 对承制方可靠性评审的要求;
- b) 需提交的资料项目。

6.4.3.2 订购方安排的可靠性评审及其要求应纳入可靠性计划。

6.5 建立故障报告、分析和纠正措施系统(工作项目 205)

6.5.1 目的

建立故障报告、分析和纠正措施系统(FRACAS),确立并执行故障记录、分析和纠正程序,防止故障的重复出现,从而使产品的可靠性得到增长。

6.5.2 工作项目要点

6.5.2.1 应按 GJB 841 建立 FRACAS 并保证其贯彻实施。

6.5.2.2 FRACAS 的工作程序包括故障报告、故障原因分析、纠正措施的确定和验证,以及反馈到设计、生产中的程序。

6.5.2.3 故障纠正的基本要求是定位准确、机理清楚、能够复现、措施有效。

6.5.2.4 应将故障报告和分析的记录、纠正措施的实施效果及故障审查组织的审查结论立案归档,使其具有可追溯性。

6.5.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 承制方 FRACAS 和订购方信息系统协调的内容和范围;
 - b) 承制方向订购方报告故障的产品层次及提交与 FRACAS 有关的资料的要求。
- 其中“b)”是必须确定的事项。

6.6 建立故障审查组织(工作项目 206)

6.6.1 目的

设立故障审查组织,负责审查重大故障、故障发展趋势、纠正措施的执行情况和有效性。

6.6.2 工作项目要点

6.6.2.1 可成立专门的故障审查组织,或指定现有的某个机构负责故障审查工作。故障审查组织至少应包括设计、制造和使用单位等各方面的代表。该组织的主要职责是:

- a) 审查故障原因分析的正确性;
- b) 审查纠正措施的执行情况和有效性;
- c) 批准故障处理结案。

6.6.2.2 故障审查组织需定期召开会议,遇到重大故障时,应及时进行审查。

6.6.2.3 故障审查组织的全部活动和资料均应立案归档。

6.6.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 故障审查组织的职责范围和权限;
- b) 订购方在故障审查组织中的权限;
- c) 需提交的资料项目。

其中“a)”、“b)”是必须确定的。

6.7 可靠性增长管理(工作项目 207)

6.7.1 目的

应在研制早期制定并实施可靠性增长管理计划,以实现可靠性按计划增长。

6.7.2 工作项目要点

6.7.2.1 承制方应从研制早期开始对关键的分系统或设备实施可靠性增长管理。

6.7.2.2 应按 GJB/Z 77 的规定确定可靠性增长目标,制定可靠性增长计划。

6.7.2.3 应将产品研制的各项有关试验纳入到试验、分析与改进(TAAF)的可靠性增长管理轨道。

6.7.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确：

- a) 可靠性增长目标及时限；
- b) 需提交的资料项目。

7 可靠性设计与分析(工作项目 300 系列)

7.1 建立可靠性模型(工作项目 301)

7.1.1 目的

建立产品的可靠性模型,用于定量分配、预计和评价产品的可靠性。

7.1.2 工作项目要点

7.1.2.1 可采用 GJB 813 规定的程序和方法建立以产品功能为基础的可靠性模型,可靠性模型应包括可靠性框图和相应的数学模型。可靠性框图应以产品功能框图、原理图、工程图为依据且相互协调。

7.1.2.2 可靠性模型应随着可靠性和其他相关试验获得的信息,以及产品结构、使用要求和约束条件等方面的更改而修改。

7.1.2.3 应根据需要分别建立产品的基本可靠性模型和任务可靠性模型。

7.1.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确：

- a) 确认供选择的建模方法；
- b) 可靠性参数和约束条件(包括故障判据等)；
- c) 保障性分析所需的信息；
- d) 需提交的资料项目。

其中“b)”是必须确定的事项。

7.2 可靠性分配(工作项目 302)

7.2.1 目的

将产品的可靠性定量要求分配到规定的产品层次。

7.2.2 工作项目要点

应将可靠性定量要求分配到规定的产品层次(包括软件),作为可靠性设计和提出外协、外购产品可靠性定量要求的依据。具体的可靠性分配值应列入相应的技术规范。所有可靠性分配值应与可靠性模型相一致。

7.2.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确：

- a) 要求分配的产品层次；
- b) 保障性分析所需的信息；
- c) 订购方指定的产品,应提供其可靠性水平和相关的使用与环境信息；
- d) 需提交的资料项目。

其中“a)”、“c)”是必须确定的事项。

7.3 可靠性预计(工作项目 303)

7.3.1 目的

预计产品的基本可靠性和任务可靠性,评价所提出的设计方案是否能满足规定的可靠性定量要求。

7.3.2 工作项目要点

7.3.2.1 应对装备、分系统和设备进行可靠性预计。必要时,应分别考虑每一种工作模式。可靠性预计应包括：

- a) 基本可靠性,以便为寿命周期费用分析和保障性分析提供依据;
- b) 任务可靠性,以便估计产品在执行任务过程中完成其规定功能的能力。

7.3.2.2 应按 GJB 813、GJB/Z 299 中提供的方法,或订购方认可的其他方法进行预计。

7.3.2.3 对机械、电气和机电产品的预计可采用相似产品数据和其他适合的方法进行,但需经订购方认可。

7.3.2.4 预计时应利用工作项目 301 所建立的可靠性模型,采用 GJB/Z 299、GJB/Z 108 或其他数据,所采用的模型和数据均需订购方认可。

7.3.2.5 当有充分依据(例如通过 FMEA)确认某产品的故障不影响规定的任务可靠性时,可不进行该产品的任务可靠性预计,但需经订购方认可。

7.3.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 寿命剖面和任务剖面;
- b) 确认的预计方法;
- c) 失效率数据的来源;
- d) 保障性分析所需的信息;
- e) 由订购方指定的产品,应提供其可靠性水平和相关的使用与环境信息;
- f) 需提交的资料项目。

其中“a)”、“e)”是必须确定的事项。

7.4 故障模式、影响及危害性分析(工作项目 304)

7.4.1 目的

通过系统地分析,确定元器件、零部件、设备、软件在设计 and 制造过程中所有可能的故障模式,以及每一故障模式的原因及影响,以便找出潜在的薄弱环节,并提出改进措施。

7.4.2 工作项目要点

7.4.2.1 应在规定的产品层次上进行 FMEA 或故障模式、影响及危害性分析(FMECA)。应考虑在规定的产品层次上所有可能的故障模式,并确定其影响。

7.4.2.2 FMEA 或 FMECA 应全面考虑寿命剖面和任务剖面内的故障模式,分析对安全性、战备完好性、任务成功性以及维修和保障资源要求的影响。

7.4.2.3 FMEA 或 FMECA 工作应与设计和制造工作协调进行,使设计和工艺能反映 FMEA(FMECA)工作的结果和建议,例如关键件、重要件的确立应与分析结果相吻合。分析结果也可为设计的综合权衡、保障性分析、安全性、维修性、测试性等有关工作提供信息。

7.4.2.4 可参照 GJB 1391 提供的程序和方法在不同阶段采用功能法、硬件法和工艺法进行分析。

7.4.2.5 软件的 FMEA 可参考功能法和工艺法进行。

7.4.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 进行 FMEA 还是 FMECA 及分析的产品层次;
- b) 寿命剖面和任务剖面;
- c) 保障性分析所需的信息;
- d) 需提交的资料项目。

其中“a)”、“b)”是必须确定的事项。

7.5 故障树分析(工作项目 305)

7.5.1 目的

运用演绎法逐级分析,寻找导致某种故障事件(顶事件)的各种可能原因,直到最基本的原因,并通过逻辑关系的分析确定潜在的硬件、软件的设计缺陷,以便采取改进措施。

7.5.2 工作项目要点

7.5.2.1 应在普遍进行 FMEA 的基础上,以灾难的或致命的故障事件作为顶事件,进行故障树分析(FTA)。

7.5.2.2 FTA 工作应参照 GJB/Z 768 进行。

7.5.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 顶事件的约定;
- b) 需提交的资料项目。

其中“a)”是必须确定的事项。

7.6 潜在分析(工作项目 306)

7.6.1 目的

在假定所有元件、器件均正常工作的前提下,分析确认能引起非期望的功能或抑制所期望的功能的潜在状态。

7.6.2 工作项目要点

7.6.2.1 根据所分析的对象,潜在分析可分为:针对电路的潜在电路分析(SCA)、针对软件的潜在分析和针对液、气管路的潜在通路分析。

7.6.2.2 对任务和安全关键的产品应进行潜在分析。

7.6.2.3 应在设计的不同阶段,利用已有的设计和制造资料(包括原理图、流程图、结构框图、设计说明、工程图样和生产文件等)及早开展潜在分析,并应随着设计的逐步细化,及时进行更新分析。

7.6.2.4 进行 SCA 时应利用线索表(参见附录 B),或其他合适的方法,通过分析,识别潜在路径、潜在时序、潜在指示和潜在标记,并根据其危害程度采取更改措施。

7.6.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 潜在分析对象的选择准则;
- b) 需提交的资料项目。

其中“a)”是必须确定的事项。

7.7 电路容差分析(工作项目 307)

7.7.1 目的

分析电路的组成部分在规定的温度范围内其参数偏差和寄生参数对电路性能容差的影响,并根据分析结果提出相应的改进措施。

7.7.2 工作项目要点

7.7.2.1 应对受温度和退化影响的关键电路的元器件特性进行分析。

7.7.2.2 可参照 GJB/Z 89 提供的方法和程序进行电路容差分析。

7.7.2.3 对安全和任务关键的电路应进行最坏情况分析。

7.7.2.4 应在初步设计评审时提出需进行分析的电路清单。

7.7.2.5 容差分析的结果应形成文件并采取相应的措施。

7.7.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 选择待分析电路的准则或应分析的关键电路;
- b) 设备的使用温度范围;
- c) 需提交的资料项目。

其中“a)”、“b)”是必须确定的事项。

7.8 制定可靠性设计准则(工作项目 308)

7.8.1 目的

制定并贯彻可靠性设计准则,以指导设计人员进行产品的可靠性设计。

7.8.2 工作项目要点

7.8.2.1 承制方应根据合同规定的可靠性要求,参照相关的标准和手册,并在认真总结工程经验的基础上制定专用的可靠性设计准则(包括硬件和软件),供设计人员在设计中贯彻实施。

7.8.2.2 设计准则主要包括以下方面:

- a) 采用成熟的技术和工艺;
- b) 简化设计;
- c) 合理选择、正确使用元器件、零部件和原材料;
- d) 降额设计准则,元器件降额准则,应参照 GJB/Z 35 制定;
- e) 容错、冗余和防差错设计;
- f) 电路容差设计;
- g) 防瞬态过应力设计;
- h) 热设计准则,电子产品应参照 GJB/Z 27 制定;
- i) 环境保护设计(包括工作与非工作状态);
- j) 与人的因素有关的设计;
- k) 软件可靠性设计准则,参照 GJB/Z 102 制定。

7.8.2.3 设计准则符合性报告应作为设计评审的内容,以保证设计与准则相符。

7.8.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确需提交的设计准则符合性报告。

7.9 元器件、零部件和原材料选择与控制(工作项目 309)

7.9.1 目的

控制元器件、零部件以及原材料的选择与使用。

7.9.2 工作项目要点

7.9.2.1 承制方应根据研制产品的特点制定元器件、零部件及原材料的选择和使用控制要求并形成控制文件。

7.9.2.2 承制方应根据 GJB 3404 对元器件的选择、采购、监制、验收、筛选、保管、使用(含电装)、故障分析、及相关信息等进行全面管理。必要时,应进行破坏性物理分析。

7.9.2.3 承制方应制定型号的元器件、零部件及原材料的优选目录,并经订购方认可。

7.9.2.4 承制方应制定相应的元器件、零部件和原材料的选用指南。

7.9.2.5 承制方应对元器件、零部件淘汰问题,提出相应的对策和建议。

7.9.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 优选目录的确认程序;
- b) 选用优选目录外元器件、零部件和原材料的确认程序;
- c) 禁用元器件、零部件及原材料的规定;
- d) 评审要求;
- e) 元器件质量等级和筛选要求。

其中“a)”、“b)”、“c)”是必须确定的事项。

7.10 确定可靠性关键产品(工作项目 310)

7.10.1 目的

确定和控制其故障对安全性、战备完好性、任务成功性和保障要求有重大影响的产品,以及复杂性高、新技术含量高或费用昂贵的产品。

7.10.2 工作项目要点

7.10.2.1 应通过 FMECA、FTA 或其他分析方法来确定可靠性关键产品,列出清单并对其实施重点控制。还应专门提出可靠性关键产品的控制方法和试验要求。

7.10.2.2 应通过评审确定是否需要关键产品清单及控制计划和方法加以增删,并评价关键产品控制和试验的有效性。

7.10.2.3 应确定可靠性关键产品的所有故障的根源,并实施有效的控制措施。

7.10.2.4 可靠性关键产品应包括硬件和软件。

7.10.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 可靠性关键产品的判别准则;
- b) 保障性分析所需的信息;
- c) 需提交的资料项目。

其中“a)”是必须确定的事项。

7.11 确定功能测试、包装、贮存、装卸、运输和维修对产品可靠性的影响(工作项目 311)

7.11.1 目的

通过测试与分析确定功能测试、包装、贮存、装卸、运输、维修对产品可靠性的影响。

7.11.2 工作项目要点

7.11.2.1 承制方应制定并实施测试和分析程序,评价或估计功能测试、包装、贮存、装卸、运输、维修对产品可靠性的影响,由此可获得以下结果:

- a) 受包装、贮存、装卸和运输过程影响的产品和对产品主要特性的影响程度;
- b) 定期现场检查 and 测试的程序、贮存可靠性评价的方法和步骤,包括测试产品的数量和可接受的性能水平;
- c) 具体的修复方法和步骤;

利用上述工作的结果,可以确定允许测试的次数,确定包装、贮存、装卸、运输要求和修复计划,还可用于预计产品的故障率 and 设计权衡等。

7.11.2.2 对长期贮存(尤其是一次性使用)的产品,应尽早进行贮存分析,确定贮存时间、环境条件变化对产品性能及可靠性的影响,以便采取有效措施,保证产品的贮存可靠性。

7.11.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 功能测试、包装、贮存、装卸、运输、维修的条件;
- b) 保障性分析所需的信息;
- c) 需提交的资料项目。

其中“a)”是必须确定的事项。

7.12 有限元分析(工作项目 312)

7.12.1 目的

在设计过程中对产品的机械强度和热特性等进行分析和评价,尽早发现承载结构和材料的薄弱环节及产品的过热部分,以便及时采取设计改进措施。

7.12.2 工作项目要点

7.12.2.1 在产品研制进展到设计和材料基本确定时应进行有限元分析(FEA)。

7.12.2.2 进行 FEA 的关键是要正确建立产品结构和材料对负载或环境响应的模型。

7.12.2.3 对安全和任务关键的机械结构件和产品应尽量实施 FEA。

7.12.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 确认进行 FEA 产品的原则;
- b) 需提交的技术资料。

7.13 耐久性分析(工作项目 313)

7.13.1 目的

发现可能过早发生耗损故障的零部件,确定故障的根本原因和可能采取的纠正措施。

7.13.2 工作项目要点

7.13.2.1 应尽早对关键零部件或已知的耐久性问题进行耐久性分析。

7.13.2.2 应通过评价产品寿命周期的载荷与应力、产品结构、材料特性和失效机理等进行耐久性分析。

7.13.2.3 随着产品设计过程的进展,耐久性分析应迭代进行。

7.13.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确需提交的资料项目。

8 可靠性试验与评价(工作项目 400 系列)

8.1 环境应力筛选(工作项目 401)

8.1.1 目的

为研制和生产的 product 建立并实施环境应力筛选(ESS)程序,以便发现和排除不良元器件、制造工艺和其他原因引入的缺陷造成的早期故障。

8.1.2 工作项目要点

8.1.2.1 ESS 主要适用于电子产品,也适用于电气、机电、光电和电化学产品。

8.1.2.2 承制方应对电子产品的电路板、组件和设备层次尽可能 100% 地进行 ESS。对备件也应实施相应层次的 ESS。承制方一般还按规定和有关要求对进厂的元器件进行二次筛选。

8.1.2.3 对设备应按 GJB 1032 进行 ESS,有条件时,也可按 GJB/Z 34 进行定量 ESS;对电路板和组件应按有关标准或 GJB 1032 进行 ESS;除纯机械产品以外的非电产品可参考 GJB 1032 进行 ESS。

8.1.2.4 承制方应在产品出厂前对其进行 ESS。

8.1.2.5 在研制和生产过程中,承制方应制定并实施 ESS 方案,方案中应包括实施筛选的产品层次及各层次的产品清单、筛选方法、筛选应力类型和水平、筛选过程中监测的性能参数、实施和监督部门及其职责等。生产阶段的 ESS 方案应经订购方认可。

8.1.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 对 ESS 方案、程序的要求;
- b) ESS 应遵循的标准;
- c) 需提交的资料项目。

其中“b)”是必须确定的项目。

8.2 可靠性研制试验(工作项目 402)

8.2.1 目的

通过对产品施加适当的环境应力、工作载荷,寻找产品中的设计缺陷,以改进设计,提高产品的固有可靠性水平。

8.2.2 工作项目要点

8.2.2.1 承制方在研制阶段应尽早开展可靠性研制试验,通过试验、分析、改进(TAAF)过程来提高产品的可靠性。

8.2.2.2 可靠性研制试验是产品研制试验的组成部分,应尽可能与产品的研制试验结合进行。

8.2.2.3 承制方应制定可靠性研制试验方案,并对可靠性关键产品,尤其是新技术含量较高的产品实施可靠性研制试验。必要时,可靠性研制试验方案应经订购方认可。

8.2.2.4 可靠性研制试验可采用加速应力进行,以识别薄弱环节并诱发故障或验证设计余量。

8.2.2.5 对试验中发生的故障均应纳入 FRACAS,并对试验后产品的可靠性状况作出说明。

8.2.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 建议进行可靠性研制试验的产品;
- b) 需提交的资料项目。

8.3 可靠性增长试验(工作项目 403)

8.3.1 目的

通过对产品施加模拟实际使用环境的综合环境应力暴露产品中的潜在缺陷并采取纠正措施,使产品的可靠性达到规定的要求。

8.3.2 工作项目要点

8.3.2.1 可靠性增长试验应有明确的增长目标和增长模型,重点是进行故障分析和采取有效的设计更改措施。

8.3.2.2 为了提高任务可靠性,应把纠正措施集中在对任务有影响的故障模式上;为了提高基本可靠性,应把纠正措施的重点放在频繁出现的故障模式上。为了达到任务可靠性和基本可靠性预期的增长要求,应该权衡这两方面的工作。

8.3.2.3 承制方应按 GJB 1407 的要求对产品进行可靠性增长试验。

8.3.2.4 可靠性增长试验应在环境鉴定试验和 ESS 完成后,可靠性鉴定试验前进行。

8.3.2.6 可靠性增长试验前和试验后必须进行评审,需要时,还应安排试验过程中评审。

8.3.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 寿命剖面和任务剖面;
- b) 进行可靠性增长试验的样品的技术状态及其数量;
- c) 需提交的资料项目。

其中“a)”是必须确定的事项。

8.4 可靠性鉴定试验(工作项目 404)

8.4.1 目的

验证产品的设计是否达到了规定的可靠性要求。

8.4.2 工作项目要点

8.4.2.1 有可靠性指标要求的产品,特别是任务关键的或新技术含量较高的产品应进行可靠性鉴定试验。可靠性鉴定试验一般应在第三方进行。

8.4.2.2 可靠性鉴定试验应尽可能在较高层次的产品上进行,以充分考核接口的情况,提高试验的真实性;可靠性鉴定试验可结合产品的定型试验或寿命试验进行。

8.4.2.3 鉴定试验的受试产品应代表定型产品的技术状态,并经订购方认定。

8.4.2.4 应按 GJB 899 或其他有关标准规定的要求和方法进行可靠性鉴定试验。可靠性鉴定试验方案需通过评审并经订购方认可。

8.4.2.5 可靠性鉴定试验应在环境鉴定试验和 ESS 完成后进行。

8.4.2.6 可靠性鉴定试验前和试验后必须进行评审。

8.4.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 用于可靠性鉴定试验的样本量;
- b) 可靠性鉴定试验应采用的统计试验方案;

- c) 寿命剖面 and 任务剖面;
- d) 故障判别准则;
- e) 保障性分析所需的信息;
- f) 需提交的资料项目。

其中“a)”、“b)”、“c)”、“d)”是必须确定的事项。

8.5 可靠性验收试验(工作项目 405)

8.5.1 目的

验证批生产产品的可靠性是否保持在规定的水平。

8.5.2 工作项目要点

- 8.5.2.1 可靠性验收试验的受试产品应从批生产产品中随机抽取,受试产品及数量由订购方确定。
- 8.5.2.2 应按 GJB 899 或其他有关标准规定的要求和方法进行可靠性验收试验。
- 8.5.2.3 产品可靠性验收试验方案需经订购方认可。
- 8.5.2.4 可靠性验收试验应在 ESS 完成后进行。
- 8.5.2.5 可靠性验收试验前和试验后必须进行评审。

8.5.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 用于可靠性验收试验的样本量及所属批次;
- b) 可靠性验收试验应采用的统计试验方案;
- c) 寿命剖面 and 任务剖面;
- d) 故障判别准则;
- e) 保障性分析所需的信息;
- f) 需提交的资料项目。

其中“a)”、“b)”、“c)”、“d)”是必须确定的事项。

8.6 可靠性分析评价(工作项目 406)

8.6.1 目的

通过综合利用与产品有关的各种信息,评价产品是否满足规定的可靠性要求。

8.6.2 工作项目要点

- 8.6.2.1 可靠性分析评价一般适用于样本量少的复杂产品。可靠性分析评价应在设计定型阶段完成。
- 8.6.2.2 可靠性分析评价应当充分利用相似产品和产品组成部分的各种试验数据和实际使用数据。
- 8.6.2.3 承制方应尽早制定可靠性分析评价方案,详细说明所利用的各种数据,采用的分析方法(包括仿真方法)和置信水平等。该方案应经订购方认可。
- 8.6.2.4 应对可靠性分析评价的方案和结果进行评审。

8.6.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 可靠性分析评价的产品;
- b) 对可靠性分析评价所采用的数据和方法的要求;
- c) 保障性分析所需的信息;
- d) 需提交的资料项目。

其中“a)”和“b)”是必须确定的事项。

8.7 寿命试验(工作项目 407)

8.7.1 目的

验证产品在规定条件下的使用寿命、贮存寿命。

8.7.2 工作项目要点

- 8.7.2.1 对有寿命要求的产品应进行寿命试验。
- 8.7.2.2 为缩短试验时间,在不改变失效机理的条件下可采用加速寿命试验方法。
- 8.7.2.3 可以利用同类产品的贮存数据和低层次产品贮存寿命试验数据来评价产品的贮存寿命。
- 8.7.2.4 承制方应当尽早制定寿命试验方案,说明受试样品的品种和数量、应力水平、测试周期等。该方案应经订购方认可。
- 8.7.2.5 寿命试验前和试验后必须进行评审。

8.7.3 注意事项

订购方在合同工作说明中应明确:

- a) 寿命试验的方法和程序要求;
- b) 保障性分析所需的信息;
- c) 需要提交的资料项目。

其中“a)”是必须确定的事项。

9 使用可靠性评估与改进(工作项目 500 系列)

9.1 使用可靠性信息收集(工作项目 501)

9.1.1 目的

应通过有计划地收集装备使用期间的各项有关数据,为装备的使用可靠性评估与改进、完善与改进使用与维修工作以及新研装备的论证与研制等提供信息。

9.1.2 工作项目要点

9.1.2.1 使用可靠性信息包括装备在使用、维修、贮存和运输等过程中产生的信息,主要有工作小时数、故障和维修信息、监测数据、使用环境信息等。

9.1.2.2 订购方应组织制定使用可靠性信息收集计划,计划中应规定的主要内容包括:

- a) 信息收集和分析的部门、单位及人员的职责;
- b) 信息收集工作的管理与监督要求;
- c) 信息收集的范围、方法和程序;
- d) 信息分析、处理、传递的要求和方法;
- e) 信息分类与故障判别准则;
- f) 定期进行信息审核、汇总的安排等。

9.1.2.3 使用单位应按规定的要求和程序完整、准确地收集使用可靠性信息。按规定的方法、方式、内容和时限,分析、传递和贮存使用可靠性信息。对装备的重大故障或隐患应及时报告。

9.1.2.4 使用可靠性信息应按照 GJB 1775 及有关标准进行分类和编码。

9.1.2.5 使用可靠性信息应纳入部队现有的装备信息系统。

9.1.3 注意事项

主要包括:

- a) 使用可靠性信息收集工作应规范化;
- b) 各级使用可靠性信息收集单位及人员的职责必须明确等。

9.2 使用可靠性评估(工作项目 502)

9.2.1 目的

评估装备在实际使用条件下达到的可靠性水平,验证装备是否满足规定的使用可靠性要求。

9.2.2 工作项目要点

9.2.2.1 使用可靠性评估包括初始使用可靠性评估和后续使用可靠性评估。使用可靠性评估应以部队实际的使用条件下收集的各种数据为基础,必要时也可组织专门的试验,以获得所需的信息。

9.2.2.2 订购方应组织制定使用可靠性评估计划,计划中应规定评估的对象,评估的参数和模型、评估

准则、样本量、统计的时间长度、置信水平以及所需的资源等。

9.2.2.3 使用可靠性评估一般在装备部署后,人员经过培训,保障资源按要求配备到位的条件下进行。

9.2.2.4 使用可靠性评估应综合利用部队使用期间的各种信息。

9.2.2.5 应编制使用可靠性评估报告。

9.2.3 注意事项

主要包括:

- a) 使用可靠性评估应与系统战备完好性评估同时进行;
- b) 要求承制方参与的事项应用合同明确。

9.3 使用可靠性改进(工作项目 503)

9.3.1 目的

对装备使用中暴露的可靠性问题采用改进措施,以提高装备的使用可靠性水平。

9.3.2 工作项目要点

9.3.2.1 根据装备在使用中发现的问题和技术的发展,通过必要的权衡分析或试验,确定需要采取改进的项目。

9.3.2.2 订购方应组织制定使用可靠性改进计划,主要包括:

- a) 改进的项目、改进方案、达到的目标;
- b) 负责改进的单位、人员及职责;
- c) 经费和进度安排;
- d) 验证要求和方法等。

9.3.2.3 改进装备使用可靠性的途径主要包括:

- a) 设计更改;
- b) 制造工艺的更改;
- c) 使用与维修方法的改进;
- d) 保障系统及保障资源的改进等。

9.3.2.4 全面跟踪、评价改进措施的有效性。

9.3.3 注意事项

承制方参加使用可靠性改进的要求应通过合同予以明确。

附 录 A
(资料性附录)
应用指南

A.1 概述

A.1.1 内容

本附录提供了有关“确定可靠性要求”等 32 项可靠性工作项目的详细指南。

A.1.2 目的

本附录为选择和实施本标准给出的可靠性工作项目(100 系列、200 系列、300 系列、400 系列、500 系列共 32 个工作项目)提供指导与参考。

A.2 可靠性及其工作项目要求的确定

A.2.1 一般考虑

A.2.1.1 确定可靠性要求的目的是为了获得可靠的且易保障的装备,以实现规定的系统战备完好性和任务成功性的要求。

A.2.1.2 确定可靠性工作项目要求的目的是为了通过实施最少且最有效的工作项目,实现规定的可靠性要求。

A.2.1.3 确定可靠性及其工作项目要求是订购方主导的两项重要的可靠性工作,是其他各项可靠性工作的前提,这两项工作的结果决定了装备的可靠性水平和可靠性工作项目的费用效益。

A.2.2 100 系列工作项目

A.2.2.1 确定可靠性要求(工作项目 101)

A.2.2.1.1 提出和确定可靠性定量定性要求是获得可靠装备的第一步,只有提出和确定了可靠性要求才有可能获得可靠的装备,才有可能实现将可靠性与作战性能、费用同等对待。因此,订购方经协调确定的可靠性要求必须纳入新研或改型装备的研制总要求,在研制合同中必须有明确的可靠性定量定性要求。

A.2.2.1.2 订购方应以最清晰的表述和最恰当的术语规定可靠性定量定性要求,而不能模糊不清或易使人误解,或自相矛盾,承制方必须正确理解合同中规定的可靠性定量定性要求。为此,应加强订购方和承制方之间的沟通。

A.2.2.1.3 可靠性要求的确定要经历从初定到确定,由使用要求转化为合同要求的过程。一般过程是:

- a) 在装备立项综合论证过程中,应提出初步的可靠性使用要求;
- b) 在研制总要求的综合论证过程中,应权衡、协调和调整可靠性、维修性和保障系统及其资源要求,以合理的寿命周期费用满足系统战备完好性和任务成功性要求;
- c) 在方案阶段结束前,应确定可靠性使用要求的目标值和门限值,并将其转换为合同中的规定值和最低可接收值。

A.2.2.1.4 可靠性定量要求包括任务可靠性要求和基本可靠性要求。任务可靠性要求由影响任务成功性的可信度(D)导出,任务可靠性与可信度的关系如下:

$$D = R_M + (1 - R_M)M_0 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

R_M ——给定任务剖面下的任务可靠度;

M_0 ——给定任务剖面下的修复概率。

当任务期间不能维修时, $D = R_M$, 可信度等于任务可靠度。一般情况下可根据任务需求直接提出任务可靠性要求, 任务可靠性要求应与任务剖面相适应。

A.2.2.1.5 装备的基本可靠性要求由系统战备完好性要求导出, 首先应根据作战任务需求确定系统战备完好性要求, 例如使用可用度(A_0)、能执行任务率(MCR)、出动架次率(SGR)等, 然后导出装备的基本可靠性、维修性和保障系统及其资源的要求。

在工程实践中, 由系统战备完好性要求准确导出装备的基本可靠性要求是很困难的, 因为影响战备完好性的因素很多, 它不但受到诸多与保障有关的设计因素, 如可靠性、维修性、测试性等影响, 还受到由于各保障资源引起的以及管理造成的延误的影响, 因此确定基本可靠性要求就需要一个反复分析和迭代的过程。

工程中的一般作法是: 根据类似装备的可靠性、维修性水平, 考虑新装备由于采用新技术产生的影响, 估计其可能达到的新水平, 并同时估计保障系统及其保障资源造成的延误, 通过建立仿真模型, 分析实现系统战备完好性要求的可能性, 经过反复的分析、调整和协调, 才能确定装备的基本可靠性。装备的基本可靠性应与装备的寿命剖面相适应。

A.2.2.1.6 由系统战备完好性要求和任务成功性要求导出的是使用可靠性要求, 使用可靠性要求用可靠性使用参数和使用值描述, 如平均维修间隔时间(MTBM)、平均致命性故障间隔时间(MTBCF)等。使用可靠性要求需要转换为承制方在研制过程中可以控制的合同要求, 合同要求用可靠性合同参数和合同值描述, 可靠性合同参数一般采用可靠性设计参数, 如平均故障间隔时间(MTBF)、任务可靠度 $R(t)$ 、故障率(λ)等。常用的可靠性使用参数示例如表 A.1 所示, 常用的可靠性设计参数示例如表 A.2 所示, 在选择参数时, 应结合装备的使用特点和物理特征等慎重地选择适用的参数。

表 A.1 可靠性使用参数示例

使用特性		与使用特性或要求相关的可靠性参数
战备完好性	A_0 (平时)	平均不能工作事件间隔时间(MTBDE)
	SGR(战时)	
任务成功性		平均致命性故障间隔时间(MTBCF)
维修人力和保障资源费用		平均维修间隔时间(MTBM) 平均拆卸间隔时间(MTBR)

表 A.2 可靠性设计参数示例

产品层次	装备使用特征		
	连续或间歇工作 (可修复)	连续或间歇工作 (不可修复)	一次性使用
装备	$R(t)$ 或 MTBF	$R(t)$ 或 MTTF	$P(S)$ 或 $P(F)$
分系统 设备	$R(t)$ 或 MTBF	$R(t)$ 或 λ	$P(S)$ 或 $P(F)$
组件 零件	λ	λ	$P(F)$
注: $R(t)$: 可靠度 $P(S)$: 成功概率 $P(F)$: 故障概率 λ : 故障率 MTBF: 平均故障间隔时间 MTTF: 平均故障前时间			

A.2.2.1.7 应将合同中要求的任务可靠性、基本可靠性的规定值分配到较低的产品层次, 作为产品的可

可靠性设计的初始依据。完成初步的可靠性分配后,应利用低层次产品的可靠性数据,通过可靠性预计,初步预计能够达到的可靠性水平,并与要求值进行比较。在方案和工程研制的早期,由于不具备设计的细节,尽管不能获得准确的预计值,但对于方案比较和确定合理的分配模型是有意义的。应重复进行上述的分配和预计,直到获得合理的分配值为止。

A.2.2.1.8 可靠性定性要求是为获得可靠的产品,对产品设计、工艺、软件等方面提出的非量化要求。采用成熟技术、简化设计、模块化、规范化等要求是通用的可靠性定性要求。可靠性定性要求的具体内容往往与产品的使用特点和结构特征密切相关,例如:对飞机飞行操纵系统采用并行冗余和备用冗余的具体要求和说明;对航天航空产品采用元器件的质量等级和降额等级的要求;坦克发动机必须具备的启动方式(电启动、空气启动和应急牵引);车辆的操纵杆应动作准确、力度适当、手感好等)。

A.2.2.2 确定可靠性工作项目要求(工作项目 102)

A.2.2.2.1 实施可靠性工作的目的是为了实现规定的可靠性要求。可靠性工作项目的选取将取决于产品要求的可靠性水平、产品的复杂程度和关键性、产品的新技术含量、产品类型和特点、所处阶段以及费用、进度等因素。对一个具体的装备,必须根据上述因素选择若干适用的可靠性工作项目。订购方应将要求的工作项目纳入合同文件,并在合同“工作说明”中明确对每个工作项目要求的细节。

A.2.2.2.2 可靠性工作项目的选取取决于装备的可靠性要求,在确保实现规定的可靠性要求的前提下,应尽可能选择最少且有效的工作项目,即通过实施尽可能少的工作项目实现规定的可靠性要求。

A.2.2.2.3 工作项目的费用效益是选择工作项目的基本依据,一般应该选择那些经济而有效的工作项目。为了选择适用的工作项目,应对工作项目的适用性进行分析,可采用如表 A.3 所示的“工作项目重要性系数分析矩阵”的方法,得出各工作项目的重要性系数,重要性系数相对高的工作项目就是可选择的适用的项目。

表 A.3 中需要考虑的因素可根据具体情况确定,如产品的复杂程度、关键性、新技术含量、费用、进度等。每一因素的加权系数通过打分确定(取值为 1~5),一般,对复杂的产品,大多数可靠性工作项目的加权系数取值为 4~5,不太复杂的产品可取 1~3。例如航天航空的关键产品,FRACAS、FMECA、SCA、元器件零部件原材料选择与控制、ESS、可靠性鉴定试验等工作项目加权系数一般取 5;对机械类的关键产品,FRACAS、FMECA、FEA、耐久性分析等工作项目加权系数一般取 5。确定了考虑因素并选取了加权值后,将每一个工作项目的加权值连乘,然后按表中的方法计算每一工作项目的重要性系数。

考虑的因素和加权系数的取值,与参与打分的专家水平和经验有关。虽然,得到的重要性系数带有一定的人为性,但表示了一种相对的,且经过权衡的结果。利用表 A.3 得到的工作项目重要性系数为订购方提出工作项目要求提供了依据。

表 A.3 工作项目重要性系数分析矩阵

工作项目	加权系数(1~5)							乘积 ^a	重要性系数 ^b
	复杂程度	关键性	产品类型及特点	新技术含量	使用环境	所处阶段		
101									
102									
⋮									

^a 乘积 = 各因素加权系数的连乘
^b 重要性系数:假设乘积值最大的工作项目重要性系数为 10(或 20、30),
其他工作项目的重要性系数 = $\frac{\text{该工作项目乘积}}{\text{最大乘积}} \times 10(\text{或 } 20、30)$

A.2.2.2.4 最大限度地减少重复性的工作,并为相关的工作提供必须的数据。例如工作项目 304“故障模式、影响及危害性分析”与 GJB 368 规定的维修性工作项目 204“故障模式及影响分析-维修性信息”,应协调要求,综合安排,避免重复。又如在工作项目 304 应明确的事项中,需要说明该项目应为“保障性分析”提供的信息。

A.2.2.2.5 表 A.4“可靠性工作项目在各阶段的应用矩阵表”说明了各工作项目的适用阶段,为初步选择工作项目提供了一般性的指导。

表 A.4 参考了常规武器装备的研制阶段,战略武器装备和军用卫星可按相应研制程序划分。

A.3 可靠性管理

A.3.1 一般考虑

A.3.1.1 可靠性工作涉及装备寿命周期各阶段和装备各层次,包括要求确定、监督与控制、设计与分析、试验与评价以及使用阶段的评估与改进等各项可靠性活动。可靠性管理是从系统的观点出发,对装备寿命周期中各项可靠性活动进行规划、组织、协调与监督,以全面贯彻可靠性工作的基本原则,实现既定的可靠性目标。

A.3.1.2 订购方应在立项论证阶段制定可靠性计划,对装备寿命周期的可靠性工作作出全面安排,规定各阶段应做好的工作,明确工作要求。对承制方工作的要求应纳入合同。承制方根据合同和可靠性计划制定详细的可靠性工作计划,作为开展可靠性工作的依据。可靠性工作计划应经订购方认可,并随着研制工作的进展不断补充完善。

表 A.4 可靠性工作项目应用矩阵表

本标准条款编号	工作项目编号	工作项目名称	论证阶段	方案阶段	工程研制与定型阶段	生产与使用阶段
5.1	101	确定可靠性要求	√	√	×	×
5.2	102	确定可靠性工作项目要求	√	√	×	×
6.1	201	制定可靠性计划	√	√	√	√
6.2	202	制定可靠性工作计划	△	√	√	√
6.3	203	对承制方、转承制方和供应方的监督和控制	△	√	√	√
6.4	204	可靠性评审	√	√	√	√
6.5	205	建立故障报告、分析和纠正措施系统	×	△	√	√
6.6	206	建立故障审查组织	×	△	√	√
6.7	207	可靠性增长管理	×	√	√	○
7.1	301	建立可靠性模型	△	√	√	○
7.2	302	可靠性分配	△	√	√	○
7.3	303	可靠性预计	△	√	√	○
7.4	304	故障模式、影响及危害性分析	△	√	√	△
7.5	305	故障树分析	×	△	√	△
7.6	306	潜在通路分析	×	×	√	○
7.7	307	电路容差分析	×	×	√	○
7.8	308	制定可靠性设计准则	△	√	√	○

表 A.4(续)

本标准条款编号	工作项目编号	工作项目名称	论证阶段	方案阶段	工程研制与定型阶段	生产与使用阶段
7.9	309	元器件、零部件和原材料的选择与控制	×	△	√	√
7.10	310	确定可靠性关键产品	×	△	√	○
7.11	311	确定功能测试、包装、贮存、装卸、运输和维修对产品可靠性的影响	×	△	√	○
7.12	312	有限元分析	×	△	√	○
7.13	313	耐久性分析	×	△	√	○
8.1	401	环境应力筛选	×	△	√	√
8.2	402	可靠性研制试验	×	△	√	○
8.3	403	可靠性增长试验	×	△	√	○
8.4	404	可靠性鉴定试验	×	×	√	○
8.5	405	可靠性验收试验	×	×	△	√
8.6	406	可靠性分析评价	×	×	√	√
8.7	407	寿命试验	×	×	√	△
9.1	501	使用可靠性信息收集	×	×	×	√
9.2	502	使用可靠性评估	×	×	×	√
9.3	503	使用可靠性改进	×	×	×	√
符号说明 √.....适用 △.....可适用 ○.....仅设计更改时适用 ×.....不适用						

A.3.1.3 开展可靠性工作需要相应的职能部门及明确的职责,确定职能部门及其职责是落实各项可靠性工作,实施有效可靠性管理的重要环节。对可靠性工作进行监督与控制、实施可靠性评审、建立 FRACAS 和故障审查组织等是实施有效管理,确保实现规定可靠性要求的重要手段。这些管理项目所需的人力、经费和资源最少,一般应选用。

A.3.1.4 可靠性增长管理(工作项目 207)是一项复杂的技术管理工作。可靠性研制试验(工作项目 402)、可靠性增长试验(工作项目 403)和可靠性增长管理的目的都是为使产品的可靠性得到增长,并最终达到规定的可靠性要求,因此必须根据实际情况,权衡上述三项工作的效益和费用,以选择最有效的途径实现可靠性增长。

A.3.2 200 系列工作项目

A.3.2.1 制定可靠性计划(工作项目 201)

A.3.2.1.1 可靠性计划是订购方进行可靠性工作的基本文件。该计划除包括可靠性要求的论证工作和可靠性工作项目要求的论证工作外,还包括可靠性信息收集、对承制方的监督与控制、使用可靠性评估与改进等一系列工作的安排与要求。制定可靠性计划是订购方必须做的工作,通过该计划的实施来组织、指挥、协调、控制与监督装备寿命周期中全部可靠性工作。随着可靠性工作的开展,应不断补充、完善可靠性计划。

A.3.2.1.2 在可靠性计划中,应明确订购方完成的工作项目及其要求、主要工作内容、进度安排以及实施单位等。要求承制方做的工作,应纳入合同文件。

A.3.2.1.3 可靠性计划的作用是:

- a) 对可靠性工作提出总要求、做出总体安排;
- b) 对订购方应完成的工作做出安排;
- c) 明确对承制方可靠性工作的要求;
- d) 协调可靠性工作中订购方和承制方以及订购方内部的关系。

A.3.2.2 制定可靠性工作计划(工作项目 202)

A.3.2.2.1 可靠性工作计划是承制方开展可靠性工作的基本文件。承制方应按计划来组织、指挥、协调、检查和控制全部可靠性工作,以实现合同中规定的可靠性要求。

A.3.2.2.2 可靠性工作计划需明确为实现可靠性目标应完成的工作项目(做什么),每项工作进度安排(何时做),哪个单位或部门来完成(谁去做)以及实施的方法与要求(如何做)。

A.3.2.2.2.1 可靠性工作计划的作用是:

- a) 有利于从组织、人员与经费等资源,以及进度安排等方面保证可靠性要求的落实和管理;
- b) 反映承制方对可靠性要求的保证能力和对可靠性工作的重视程度;
- c) 便于评价承制方实施和控制可靠性工作的组织、资源分配、进度安排和程序是否合适。

A.3.2.3 对承制方、转承制方和供应方的监督与控制(工作项目 203)

A.3.2.3.1 对承制方的可靠性工作实施监督与控制是订购方重要的管理工作。在装备的研制与生产过程中,订购方应通过评审等手段监控承制方可靠性工作计划进展情况和各项可靠性工作项目的实施效果,以便尽早发现问题并采取必要的措施。

A.3.2.3.2 为保证转承制产品和供应品的可靠性符合装备或分系统的要求,承制方在签订转承制和供应合同时应根据产品可靠性定性、定量要求的高低、产品的复杂程度等提出对转承制方和供应方监控的措施。

A.3.2.3.3 承制方在拟定对转承制方的监控要求时应考虑对转承制方研制过程的持续跟踪和监督,以便在需要时及时采取适当的控制措施。在合同中应有承制方参与转承制方的重要活动(如设计评审、可靠性试验等)的条款,参与这些活动能为承制方提供重要信息,为采取必要的监控措施提供决策依据。

A.3.2.3.4 在转承制合同中提出有关转承制方参加承制方 FRACAS 的条款是承制方保持对转承制产品研制过程监控的重要手段。承制方及时了解转承制产品研制及生产过程出现严重故障的原因分析是否准确、纠正措施是否有效,才能对转承制产品最终是否能保证符合可靠性要求做到心中有数,并在必要时采取适当措施。

A.3.2.3.5 订购方对转承制产品和供应品的直接监控要求应在相关的合同中明确,例如订购方要参加的转承制产品的评审等。

A.3.2.4 可靠性评审(工作项目 204)

A.3.2.4.1 可靠性评审主要包括订购方内部的可靠性评审和按合同要求对承制方、转承制方进行的可靠性评审,另外还应包括承制方和转承制方进行的内部可靠性评审。

A.3.2.4.2 可靠性定量、定性要求和可靠性工作项目要求是订购方内部可靠性评审的重要内容。可靠性定量、定性要求评审应与相关特性的要求评审结合进行,并尽可能与系统要求审查(见 GJB 3273)结合进行。评审可采用专家(包括邀请承制方专家)评审的方式进行。

A.3.2.4.3 承制方应对合同要求的可靠性评审和内部进行的可靠性评审做出安排,制定详细的评审计划。计划应包括评审点的设置、评审内容、评审类型、评审方式及评审要求等。该计划应经订购方认可。

A.3.2.4.4 无论是订购方进行的可靠性评审,还是承制方安排的可靠性评审,或是转承制方进行的可靠性评审,均应将评审的结果形成文件,以备查阅。

A.3.2.4.5 应尽早做出可靠性评审的日程安排并提前通知参加评审的各方代表,并提供评审材料,以保证所有的评审组成员能有准备地参加会议。在会议前除看到评审材料外,还能查阅有关的设计资料,以提高评审的有效性。

A.3.2.5 建立故障报告、分析和纠正措施系统(工作项目 205)

A.3.2.5.1 尽早排除故障原因,对可靠性增长并达到规定的可靠性要求有重要的作用,故障原因发现得越早就越容易采取有效的纠正措施。因此,要求尽早建立 FRACAS 是非常重要的。FRACAS 的运行应尽可能利用现有的信息系统。

A.3.2.5.2 FRACAS 的效果取决于准确的输入信息(即记录的故障以及故障的原因分析),因此,要求进行故障核实,必要时,要故障复现。输入信息应包括与故障有关的所有信息,以便正确的确定故障的原因,故障原因分析可采用试验、分解、实验室失效分析等方法进行。FRACAS 确定的故障原因还可证明 FMECA 的正确性。

A.3.2.5.3 应按 GJB 841 的要求,做好有关故障报告、故障分析及纠正措施的记录,并按产品的类别加以归纳,经归纳的信息可为类似产品的故障原因分析和纠正措施提供可供借鉴的信息。

A.3.2.5.4 从最低层次的元件以及以上各层次,直至最终产品(含硬件和软件),在试验、测试、检验、调试及使用过程中出现的硬件故障、异常和软件失效、缺陷等均应纳入 FRACAS 闭环管理。采取的纠正措施应能证明其有效并防止类似故障重复出现。对所有的故障件应作明显标记以便于识别和控制,确保按要求进行处置。

A.3.2.5.5 订购方在合同中应规定对承制方 FRACAS 的要求,同时还应明确承制方提供信息的内容、格式及时机等。

A.3.2.6 建立故障审查组织(工作项目 206)

A.3.2.6.1 对于大型、复杂的新研和改型装备,必须建立或指定负责故障审查的组织,以便对重大故障、故障发展趋势和改进措施进行严格有效的管理,并将其纳入 FRACAS。

A.3.2.6.2 该组织的组成和工作应与质量保证的相关组织和工作协调或结合,以免不必要的重复。

A.3.2.6.3 订购方应派代表参加故障审查组织,并应在合同中明确在故障审查组织中的权限。

A.3.2.6.4 承制方应参加故障审查组织,组织应包括设计、可靠性、维修性、综合保障、安全性、质量管理、二期

A.3.2.7 可靠性增长管理(工作项目 207)

A.3.2.7.1 可靠性增长管理应尽可能利用产品研制过程中各项试验的资源与信息,把有关试验与可靠

A.3.2.7.2 拟定可靠性增长目标、增长模型和增长计划是可靠性增长管理的基本内容。可靠性增长目标、模型和计划应根据工程需要与现实可能性,经过对产品的可靠性预计值与同类产品可靠性状况的分析比较,产品计划进行的可靠性试验与其他试验对可靠性增长的影响(贡献)做分析后加以确定。

A.3.2.7.3 对可靠性增长过程进行跟踪与控制是保证产品可靠性按计划增长的重要手段。为了对增长过程实现有效控制,必须强调及时掌握产品的故障信息和严格实施 FRACAS,保证故障原因分析准确、纠正措施有效,并绘制出可靠性增长的跟踪曲线。

A.4 可靠性设计与分析

A.4.1 一般考虑

A.4.1.1 产品可靠的唯一办法就是将产品设计得可靠,所以产品的可靠性首先是设计出来的。可靠性设计是由一系列可靠性设计与分析工作项目来支持的,可靠性设计与分析的目的是将成熟的可靠性设计与分析技术应用到产品的研制过程,选择一组对产品设计有效的可靠性工作项目,通过设计满足订购方对产品提出的可靠性要求,并通过分析尽早发现产品的薄弱环节或设计缺陷,采取有效的设计措施加以改进,以提高产品的可靠性。

A.4.1.2 早期的设计决策对产品的寿命周期费用产生重要影响,为此,应强调提前进行有效的可靠性设计与分析,尽可能早地在产品研制中开展可靠性设计与分析工作,有效地影响产品的设计,以满足和提高产品的可靠性水平。

A.4.1.3 每个产品都有其特定的要求,应通过剪裁可靠性工作项目来适应这些要求,例如:

- a) 对新的或重新设计的产品(尤其是装备),建立可靠性模型、可靠性分配、可靠性预计、FMEA、制定可靠性设计准则(如:降额设计、热设计等)、元器件、零部件和原材料选择与控制、确定可靠性关键产品等可能是最基本的可靠性工作项目;
- b) 对有可靠性要求的机械类关键产品,有限元分析,耐久性分析等可能是需要考虑的可靠性工作项目;
- c) 对任务和安全关键的航天、航空产品,潜在通路分析,电路容差分析(最坏情况分析)可能是需要考虑的可靠性工作项目。

A.4.2 300 系列工作项目

A.4.2.1 建立可靠性模型(工作项目 301)

A.4.2.1.1 为了进行可靠性分配、预计和评价,应建立装备、分系统或设备的可靠性模型。当选择了工作项目 202 或 203 时,必须选择本工作项目。可靠性模型包括可靠性框图和相应的数学模型,建立可靠性模型的基本信息来自功能框图。功能框图表示产品各单元之间的功能关系,可靠性框图表示产品各单元的故障如何导致产品故障的逻辑关系。

A.4.2.1.2 一个复杂的产品往往有多种功能,但其基本可靠性模型是唯一的,即由产品的所有单元(包括冗余单元)组成的串联模型。任务可靠性模型则因任务不同而不同,既可以建立包括所有功能的任务可靠性模型,也可以根据不同的任务剖面(包括任务成功或致命故障的判断准则)建立相应的模型,任务可靠性模型一般是较复杂的串-并联或其它模型。

A.4.2.1.3 应尽早建立可靠性模型,即使没有可用的数据,通过建模也能提供需采取管理措施的信息。例如,可以指出某些能引起任务中断或单点故障的部位。随着研制工作的进展,应不断修改完善可靠性模型。

A.4.2.2 可靠性分配(工作项目 302)

A.4.2.2.1 可靠性分配就是将产品(装备)的可靠性指标逐级分解为较低层次产品(分系统、设备等)的可靠性指标,是一个由整体到局部、由上到下的分解过程。

A.4.2.2.2 在研制阶段早期就应着手进行可靠性分配,一旦确定了装备的任务可靠性和基本可靠性要求,就要把这些定量要求分配到规定的产品层次,以便:

- a) 使各层次产品的设计人员尽早明确所研制产品的可靠性要求,为各层次产品的可靠性设计和元器件、原材料的选择提供依据;
- b) 为转包产品、供应品提出可靠性定量要求提供依据;
- c) 根据所分配的可靠性定量要求估算所需人力、时间和资源等信息。

A.4.2.2.3 可靠性分配应结合可靠性预计逐步细化、反复迭代地进行。随着设计工作的不断深入,可靠性模型逐步细化,可靠性分配也将随之反复进行。应将分配结果与经验数据及可靠性预计结果相比较,来确定分配的合理性。如果分配给某一层级产品的可靠性指标在现有技术水平下无法达到或代价太高,则应重新进行分配。

A.4.2.2.4 应按规定值进行可靠性分配。分配时应适当留有余量,以便在产品增加新的单元或局部改进设计时,不必重新进行分配。

A.4.2.2.5 利用可靠性分配结果可以为其他专业工程如维修性、安全性、综合保障等提供信息。

A.4.2.3 可靠性预计(工作项目 303)

A.4.2.3.1 可靠性预计是为了估计产品在规定工作条件下的可靠性而进行的工作。可靠性预计通过综合较低层次产品的可靠性数据依次计算出较高层次产品(设备、分系统、装备)的可靠性,是一个由局部到整体,由下到上的反复迭代过程。

A.4.2.3.2 可靠性预计作为一种设计工具主要用于选择最佳的设计方案,在选择了某一设计方案后,通过可靠性预计可以发现设计中的薄弱环节,以便及时采取改进措施。此外,通过可靠性预计和分配的相

互配合,可以把规定的可靠性指标合理地分配给产品的各组成部分。通过可靠性预计可以推测产品能否达到规定的可靠性要求,但是不能把预计值作为达到可靠性要求的依据。

A.4.2.3.3 产品的复杂程度、研制费用及进度要求等直接影响着可靠性预计的详细程度,产品不同及所处研制阶段不同,可靠性预计的详细程度及方法也不同。根据可利用信息的多少和产品研制的需要,可靠性预计可以在不同的产品层次上进行。约定层次越低,预计的工作量越大。约定层次的确定必须考虑产品的研制费用、进度要求和可靠性要求,并应与进行 FMECA 的最低产品层次一致。

A.4.2.3.4 为了有效地利用有限的资源,应尽早地利用可靠性预计的结果。可靠性预计可为转阶段决策提供信息,所以进行可靠性预计的时机非常重要,应在合同及有关文件中予以规定。

A.4.2.3.5 在方案阶段,可采用相似法进行预计,粗略估计产品可能达到的可靠性水平,评价总体方案的可靠性。在工程研制阶段早期,已进行了初步设计,但尚缺乏应力数据,可采用元器件计数法进行预计,发现设计中的薄弱环节并加以改进。在工程研制阶段的中、后期,已进行了详细设计,获得了产品各组成单元的工作环境和应力信息,应采用元器件应力分析法进行预计,可为进一步改进设计提供依据。应按 GJB 813 和 GJB/Z 299 或订购方认可的其他方法进行预计。

A.4.2.3.6 基本可靠性预计应全面考虑从产品接收至退役期间的可靠性,即应是全寿命期的可靠性预计。产品在整个寿命期内除处于工作状态外,还处于不工作(如待命、待机)、贮存等非工作状态。在确定了工作与非工作时间后,应分别计算各状态下的故障率,然后加以综合,预计出产品(装备)的可靠性值。任务可靠性预计应考虑每一任务剖面及工作时间所占的比例,预计结果应表明产品是否满足每一任务剖面下的可靠性要求。

A.4.2.3.7 通过预计,若基本可靠性不足,可以通过简化设计、采用高质量等级的元器件和零部件、改善局部环境及降额等措施来弥补。若任务可靠性不足,可以通过适当的冗余设计、改善应力条件、采用高质量等级的元器件和零部件、调整性能容差等措施来弥补。但是,采用冗余技术会增加产品的复杂程度,降低基本可靠性。必要时,应重新进行可靠性分配。

A.4.2.3.8 可靠性预计值必须大于规定值。可靠性预计结果不仅用于指导设计,还可以为可靠性试验、制定维修计划、保障性分析、安全性分析、生存性评价等提供信息。

A.4.2.4 故障模式、影响及危害性分析(工作项目 304)

A.4.2.4.1 FMECA 应在规定的产品层次上进行。通过分析发现潜在的薄弱环节,即可能出现的故障模式,每种故障模式可能产生的影响(对寿命剖面和任务剖面的各个阶段可能是不同的);以及每一种影响对安全性、战备完好性、任务成功性、维修及保障资源要求等方面带来的危害。对每种故障模式,通常用故障影响的严重程度以及发生的概率来估计其危害程度,并根据危害程度确定采取纠正措施的优先顺序。

A.4.2.4.2 FMECA 应与产品设计工作同步并尽早开展,当设计、生产制造、工艺规程等进行更改,对更改部分应重新进行 FMECA。

A.4.2.4.3 FMECA 的对象包括电子、电气、机电、机械、液压、气动、光学、结构等硬件和软件,并应深入到任务关键产品的元器件或零件级。应重视各种接口(硬件之间、软件之间及硬件软件之间)的 FMECA,进行硬件与软件相互作用分析,以识别软件对硬件故障的响应。

A.4.2.4.4 应进行从设计到制造的 FMECA,应对工艺文件、图样(诸如电路板布局、线缆布线、连接器锁定)、硬件制造工艺等进行分析,以确定产品从设计到制造过程中是否引入了新的故障模式,应以设计图样的 FMECA 为基础,结合现有工艺图样和规程进行分析。

A.4.2.4.5 除另有规定外,承制方应按下列任一原则,确定进行 FMECA 的最低产品层次:

- a) 与实施保障性分析的产品层次一致,以保证为保障性分析提供完整输入;
- b) 可能引起灾难和致命性故障的产品;
- c) 可能发生一般性故障但需要立即维修的产品。

A.4.2.4.6 FMECA 的有效性取决于可利用的信息、分析者的技术水平和能力及分析结论等。

A.4.2.4.7 FMECA 的结果可用于以下方面:

- a) 设计人员可以采用冗余技术来提高任务可靠性,并确保对基本可靠性不至于产生难以接受的影响;
- b) 提出是否进行一些其他分析(如电路容差分析等);
- c) 考虑采取其他的防护措施(如环境保护等);
- d) 为评价机内测试的有效性提供信息;
- e) 确定产品可靠性模型的正确性;
- f) 确定可靠性关键产品;
- g) 维修工作分析。

A.4.2.4.8 FMECA 应为转阶段决策提供信息,在有关文件(如合同、FMECA 计划等)中规定进行 FMECA 的时机和数据要求。

A.4.2.5 故障树分析(工作项目 305)

A.4.2.5.1 FTA 是通过对可能造成产品故障的硬件、软件、环境和人为因素等进行分析,画出故障树,从而确定产品故障原因的各种可能组合方式和(或)其发生概率的一种分析技术。它是一种从上向下逐级分解的分析过程。首先选出最终产品最不希望发生的故障事件作为分析的对象(称为顶事件),分析造成顶事件的各种可能因素,然后严格按层次自上向下进行故障因果树状逻辑分析,用逻辑门连接所有事件,构成故障树。通过简化故障树、建立故障树数学模型和求最小割集的方法进行故障树的定性分析,通过计算顶事件的概率,重要度分析和灵敏度分析进行故障树定量分析,在分析的基础上识别设计上的薄弱环节,采取相应措施,提高产品的可靠性。

A.4.2.5.2 FTA 应随研制阶段的展开不断完善和反复迭代。设计更改时,应对 FTA 进行相应的修改。FTA 作为 FMECA 的补充,主要是针对影响安全和任务的灾难性和致命性的故障模式。FTA 可按 GJB/Z 768 进行。

A.4.2.6 潜在分析(工作项目 306)

A.4.2.6.1 潜在分析的目的是在假设所有部件功能均处于正常工作状态下,确定造成能引起非期望的功能或抑制所期望的功能的潜在状态。大多数潜在状态必须在某种特定条件下才会出现,因此在多数情况下很难通过试验来发现。潜在分析是一种有用的工程方法,它以设计和制造资料为依据,可用于识别潜在状态、图样差错以及与设计有关的问题。通常不考虑环境变化的影响,也不去识别由于硬件故障、工作异常或对环境敏感而引起的潜在状态。

A.4.2.6.2 应该用系统化的方法进行潜在分析,以确保所有功能只有在需要时完成,并识别出潜在状态。SCA 可参照潜在电路分析线索表(参见附录 B)来识别有关的潜在状态。SCA 通常在设计阶段的后期设计文件完成之后进行。潜在分析难度大,也很费钱。因此,通常只考虑对任务和安全关键的产品进行分析。

A.4.2.7 电路容差分析(工作项目 307)

A.4.2.7.1 符合规范要求的元器件容差的累积会使电路、组件或产品的输出超差,在这种情况下,故障隔离无法指出某个元器件是否故障或输入是否正常。为消除这种现象,应进行元器件和电路的容差分析。这种分析是在电路节点和输入、输出点上,在规定的使用温度范围内,检测元器件和电路的电参数容差和寄生参数的影响。这种分析可以确定产品性能和可靠性问题,以便在投入生产前得到经济有效的解决。

A.4.2.7.2 电路容差分析应考虑由于制造的离散性、温度和退化等因素引起的元器件参数值变化。应检测和研究某些特性如继电器触点动作时间、晶体管增益、集成电路参数、电阻器、电感器、电容器和组件的寄生参数等。也应考虑输入信号如电源电压、频率、带宽、阻抗、相位等参数的最大变化(偏差、容差)、信号以及负载的阻抗特性。应分析诸如电压、电流、相位和波形等参数对电路的影响。还应考虑在最坏情况下的电路元件的上升时间、时序同步、电路功耗以及负载阻抗匹配等。

A.4.2.7.3 电路最坏情况分析(WCCA)是电路容差分析的一种方法,它是一种极端情况分析,即在特别严酷的环境条件下,或在元器件偏差最严重的状态下,对电路性能进行详细分析和评价。进行WCCA常用的技术有极值分析、平方根分析和蒙特卡罗分析等。

A.4.2.7.4 电路容差分析费时费钱,且需要一定的技术水平,所以一般仅在关键电路上应用。功率电路(如电源和伺服装置)通常是关键的,较低的功率电路(如中频放大级)一般也是关键的。由于难以精确地

A.4.2.8.1 产品的固有可靠性自先设计出来的,提高产品可靠性要从设计做起。制定并贯彻头项的可靠性设计准则是提高固有可靠性,进而提高产品设计质量的最有效的方法之一。

A.4.2.8.2 承制方应根据产品的可靠性要求、特点和类似产品的经验,制定专用的可靠性设计准则。在产品设计过程中,设计人员应贯彻实施可靠性设计准则,并在执行过程中修改完善这些设计准则。为使可靠性设计准则能切实贯彻,应要求承制方提供设计准则符合性报告。在进行设计评审时,应将这些准则作为检查清单进行审查。

A.4.2.8.3 简化设计是可靠性设计应遵循的基本原则,尽可能以最少的元器件、零部件来满足产品的功能要求。简化设计的范畴还包括:优先选用标准件,提高互换性和通用化程度;采用模块化设计;最大限度地压缩和控制原材料、元器件、零、组、部件的种类、牌号和数量等。

A.4.2.8.4 优先选用经过考验、验证,技术成熟的设计方案(包括硬件和软件)和零、部、组件,充分考虑产品设计的继承性。

A.4.2.8.5 应遵循降额设计准则。对于电子、电气和机电元器件根据GJB/Z 35对不同类别的元器件按不同的应用情况进行降额。机械和结构部件降额设计的概念是指设计的机械和结构部件所能承受的负载(称强度)要大于其实际工作时所承受的负载(称应力)。对于机械和结构部件,应重视应力-强度分析,并根据具体情况,采用提高强度均值、降低应力均值、降低应力和强度方差等基本方法,找出应力与强度的最佳匹配,提高设计的可靠性。

A.4.2.8.6 应进行电路的容差设计。设计电路,尤其是关键的电路,应设法使由于器件退化而性能变化时,仍能在允许的公差范围之内,满足所需的最低性能要求。可以采用反馈技术,以补偿由于各种原因引起的元器件参数的变化,实现电路性能的稳定。

A.4.2.8.7 防瞬态过应力设计也是确保电路稳定、可靠的一种重要方法。必须重视相应的保护设计,例如:在受保护的电线和吸收高频的地线之间加装电容器;为防止电压超过额定值(钳位值),采用二极管或稳压管保护;采用串联电阻以限制电流值等。

A.4.2.8.8 在产品设计中应避免因任何单点故障导致任务中断和人员损伤,如果不能通过设计来消除这种影响任务或安全的单点故障模式,就必须设法使设计对故障的原因不敏感(即健壮设计)或采用容错设计技术。冗余设计是最常用的容错技术,但采用冗余设计必须综合权衡,并使由冗余所获得的可靠性不要被由于构成冗余布局所需的转换器件、误差检测器和其他外部器件所增加的故障率所抵消。

A.4.2.8.9 产品出现故障常与所处的环境有关,正确的环境防护设计包括:温度防护设计;防潮湿、防盐雾和防霉的三防设计;冲击和振动的防护设计以及防风沙、防污染、防电磁干扰以及静电防护等。此外,要特别注意综合环境防护设计问题,例如采用整体密封结构,不仅能起到三防作用,也能起到对电磁环境的防护作用。

A.4.2.8.10 为了使设计的产品性能和可靠性不被不合适的热特性所破坏,必须对热敏感的产品实施热分析。通过分析来核实并确保不会有元器件会暴露在超过线路应力分析和最坏情况分析所确定的温度环境中。电子产品的可靠性热设计可参照GJB/Z 27进行。

A.4.2.8.11 除了设备本身发生故障以外,人的错误动作也会造成系统故障。人的因素设计就是应用人类工程学于可靠性设计,从而减少人为因素造成设备或系统的故障。

A.4.2.8.12 除硬件产品外,对于软件产品也应根据软件设计的特点制定相应的可靠性设计准则。具体的设计准则可参照 GJB/Z 102。

A.4.2.9 元器件、零部件和原材料的选择与控制(工作项目 309)

A.4.2.9.1 通过元器件、零部件和原材料的选择与控制,尽可能地减少元器件、零部件、原材料的品种,保持和提高产品的固有可靠性,降低保障费用和寿命周期费用。

A.4.2.9.2 元器件和零部件是构成组件的基础产品,各种组件还要组合形成最终产品,这里所谓最终产品可能是一台电子设备,一颗卫星或一艘核潜艇。如果在研制阶段的早期就开始对元器件的选择、应用和控制给以重视,并贯穿于产品寿命周期,就能大大提高产品的优化程度。

A.4.2.9.3 在制定控制文件时,应该考虑以下因素:任务的关键性、元器件和零部件的重要性(就成功地完成任务和减少维修次数来说)、维修方案、生产数量、元器件、零部件和原材料的质量、新的元器件所占百分比以及供应和标准状况等。

A.4.2.9.4 订购方应在合同中明确元器件、零部件、原材料质量等级的优先顺序以及禁止使用的种类,承制方应该根据订购方的要求尽早提出控制文件。一个全面的控制文件应包括以下内容:

- a) 控制要求;
- b) 标准化要求;
- c) 优选目录;
- d) 禁止和限制使用的种类和范围;
- e) 应用指南,包括降额准则或安全系数;
- f) 试验和筛选的要求与方法;
- g) 参加信息交换网的要求等。

A.4.2.9.5 应编制和修订元器件、零部件和原材料优选目录,对于超出优选目录的,应规定批准控制程序。必须首先考虑采用标准件,当标准件不能满足要求时,才可考虑采用非标准件。当采用新研元器件和原材料时,必须经过试验验证,并严格履行审批手续。

A.4.2.9.6 承制方应制定相应的应用指南作为设计人员必须遵循的设计指南,包括元器件的降额准则和零部件的安全系数、关键材料的选取准则等。例如随着应力的增加,元器件的故障率会显著增高(即可靠性下降),所以必须严格遵守这些准则,只有在估计了元器件的实际应力条件、设计方案以及这种偏离对产品可靠性影响是可以接受的前提下,才允许这种偏离。

A.4.2.9.7 必须重视元器件的淘汰问题。在设计时就要考虑元器件的淘汰、供货和替代问题,以避免影响使用、保障及导致费用的增加。

A.4.2.9.8 可靠性、安全性、质量控制、维修性及耐久性等有关分析将从不同的角度对元器件、零部件、原材料提出不同的要求,应权衡这些要求,制定恰当的选择和控制准则。

A.4.2.10 确定可靠性关键产品(工作项目 310)

A.4.2.10.1 可靠性关键产品是指该产品一旦故障会严重影响安全性、可用性、任务成功及寿命周期费用的产品。对寿命周期费用来说,价格昂贵的产品都属于可靠性关键产品。

A.4.2.10.2 可靠性关键产品是进行可靠性设计分析、可靠性增长试验、可靠性鉴定试验的主要对象,必须认真做好可靠性关键产品的确定和控制工作。

A.4.2.10.3 应根据如下判别准则来确定可靠性关键产品:

- a) 其故障会严重影响安全、不能完成规定任务、及维修费用高的产品,价格昂贵的产品本身就是可靠性关键产品;
- b) 故障后得不到用于评价系统安全、可用性、任务成功性或维修所需的必要数据的产品;
- c) 具有严格性能要求的新技术含量较高的产品;
- d) 其故障引起装备故障的产品;
- e) 应力超出规定的降额准则的产品;

- f) 具有已知使用寿命、贮存寿命或经受诸如振动、热、冲击和加速度环境的产品或受某种使用限制需要在规定条件下对其加以控制的产品；
- g) 要求采取专门装卸、运输、贮存或测试等预防措施的产品；
- h) 难以采购或由于技术新难以制造的产品；
- i) 历来使用中可靠性差的产品；
- j) 使用时间不长,没有足够证据证明是否可靠的产品；
- k) 对其过去的历史、性质、功能或处理情况缺乏整体可追溯性的产品；
- l) 大量使用的产品。

A.4.2.10.4 应把识别出的可靠性关键产品列出清单,对其实施重点控制。要专门提出可靠性关键产品的控制方法和试验要求,如过应力试验、工艺过程控制、特殊检测程序等,确保一切有关人员(如设计、采购、制造、检验和试验人员)都能了解这些产品的重要性和关键性。

A.4.2.10.5 应确定每一个可靠性关键产品故障的根源,确定并实施适当的控制措施,这些措施包括:

- a) 应对所有可靠性关键的功能、产品和程序的设计、制造和试验文件作出标记以便识别,保证文件的可追溯性；
- b) 与可靠性关键产品有关的职能机构(如器材审理小组、故障审查组织、技术状态管理部门、试验评审小组等)应有可靠性职能代表参加；
- c) 应跟踪所有可靠性关键产品的鉴定情况；
- d) 要监视可靠性关键产品的试验、装配、维修及使用问题。

A.4.2.10.6 可靠性关键产品的确定和控制应是一个动态过程,应通过定期评审来评定可靠性关键产品控制和试验的有效性,并对可靠性关键产品清单及其控制计划和方法进行增减。

A.4.2.11 确定功能测试、包装、贮存、装卸、运输和维修对产品可靠性的影响(工作项目 311)

A.4.2.11.1 贮存和使用寿命是产品需要着重考虑的因素。为了保证这些产品能经受可预见到的使用和贮存影响,可以进行分析、试验或评估,以确定包装、运输、贮存、反复的功能测试等对它们的影响。从这些分析和试验得到的信息,有助于通过综合权衡来调整设计准则。

A.4.2.11.2 对于功能测试、包装、贮存、装卸、运输和维修,如果考虑不周,都会对产品的可靠性产生不利影响。例如,包装方式和包装材料不符合规定要求,会大大降低产品的贮存可靠性;某些不合适的包装材料在长期存放状态下,本身就可能与被包装产品发生化学反应并引起分解;产品的包装与运输方式不匹配会显著增加产品的故障率;不适当的装卸,同样会降低产品的可靠性;产品经过长期贮存,由于内部特性的变化(如老化、腐蚀、生锈等)和外部因素(如温度、湿度、太阳辐射、生物侵袭及电磁场等)的作用,都可能导致产品可靠性的降低。

A.4.2.11.3 对产品定期进行检查、功能测试和维护可以监控产品可靠性的变化,但过多地进行功能测试,对某些产品来说(尤其是长期贮存一次使用的产品)可能会影响其可靠性。

A.4.2.11.4 对长期贮存一次使用的产品应进行贮存设计(选择合适的材料和零部件、采用防腐的措施等)、控制贮存环境、改善封存条件等减少贮存环境下的故障,以确保产品处于良好的待用状态。

A.4.2.12 有限元分析(工作项目 312)

A.4.2.12.1 FEA 是将产品结构划分成许多易于用应力和位移等特征描述的理想结构单元,如梁、杆、壳和实体等,单元之间通过一系列矩阵方程联结,一般要用计算机求解。分析的难点是根据结构对负载响应的特点建立合理的模型,然后编制或选用合适的有限元软件进行计算。热特性分析也类似。

A.4.2.12.2 FEA 是机械结构件进行产品设计的重要工作,也是可靠性分析的重要方法。通过有限元分析可识别薄弱的部位,FEA 的结果可对备选设计方案迅速作出权衡,以便指导设计改进,提供可靠性。

A.4.2.12.3 FEA 是检查结构设计和热设计的一种计算机仿真方法,应在产品研制进展到结构和材料设计特性清晰明确时进行,一般在初始设计方案之后,产品详细设计完成之前进行。

A.4.2.12.4 实施 FEA 工作需耗费一定的费用和时间,主要考虑对一些必需的和影响安全的关键部件

进行分析,如:

- a) 新材料和新技术的应用;
- b) 严酷的环境负载条件;
- c) 苛刻的热或机械载荷等。

A.4.2.13 耐久性分析(工作项目 313)

A.4.2.13.1 耐久性通常用耗损故障前的时间来度量,而可靠性常用平均寿命和故障率来度量。耐久性分析传统上适用于机械产品,也可用于机电和电子产品。耐久性分析的重点是尽早识别和解决与过早出现耗损故障有关的设计问题。它通过分析产品的耗损特性还可以估算产品的寿命,确定产品在超过规定寿命后继续使用的可能性,为制订维修策略和产品改进计划提供有效的依据。

A.4.2.13.2 估计产品寿命必须以所确定的产品耗损特性为依据。如果可能,最好的办法是进行寿命试验来评估,也可以通过使用中的耗损故障数据来评估。目前威布尔分析法是常用的一种寿命估算方法,它利用图解分析来确定产品故障概率(百分数)与工作时间、行驶里程和循环次数的关系。

A.4.2.13.3 耐久性分析的基本步骤如下:

- a) 确定工作与非工作寿命要求;
- b) 确定寿命剖面,包括温度、湿度、振动和其他环境因素,从而可量化载荷和环境应力,确定运行比;
- c) 识别材料特性,通常采用手册中的一般材料特性;若考虑采用特殊材料,则需进行专门试验;
- d) 确定可能发生的故障部位;
- e) 确定在所预期的时间(或周期)内是否发生故障;
- f) 计算零部件或产品的寿命。

A.5 可靠性试验与评价

A.5.1 一般考虑

A.5.1.1 可靠性试验的目的依次是:

- a) 发现产品在设计、材料和工艺方面的缺陷;
- b) 确认是否符合可靠性定量要求;
- c) 为评估产品的战备完好性、任务成功性、维修人力费用和保障资源费用提供信息。

可靠性试验的费用及计划安排应符合上述目的的先后顺序,应强调对环境应力筛选、可靠性研制和增长试验的早期投资,以保证可靠性工作的效果和充分性,以免影响进度和追加费用。

A.5.1.2 综合安排可靠性试验时应考虑:

- a) 产品的可靠性试验应综合考虑能为评价和改进产品可靠性提供信息的所有试验,尽可能利用这些试验的可用信息或与这些试验结合进行,如性能试验、环境试验和耐久性试验等,以充分利用资源、减少重复费用,提高试验效率,并保证不会漏掉在单独试验中经常忽视的缺陷;
- b) 机电产品的可靠性试验可与产品的耐久性试验结合进行,环境应力和工作应力的种类和量值应模拟预期使用的环境条件和工作条件。对在试验过程中发生的故障应进行分类,判明偶然性故障还是耗损性故障。

A.5.1.3 确定可靠性试验条件时应注意:

- a) 进行可靠性研制试验时,首先要考虑尽快激发出产品中存在的设计、材料和工艺等方面的缺陷。因此,一般尽可能采用加速应力,但施加的加速应力不能引出实际使用中不会发生的故障,因此,需要了解应力与故障发生率剖面中所能遇到的应力与其生效机理的关系

试验的真实性,准确模拟产品的实际使用环境,使它们经受在使用中将要经历的确切的应力类型、水平和持续时间。选用的应力既能充分暴露实际使用中出现的故障,又不会诱发出实际使

用中不会出现的故障,从而使试验估计的结果真实,避免造成时间和资源的浪费。这些试验中应采用综合环境应力,综合环境应力的设计按 GJB 899 的规定。

- c) 进行环境应力筛选时,首先要考虑的是尽快激发出产品制造过程引入的潜在缺陷,但不能损坏产品中原来完好的部分。因此,采用加速应力,应力的的大小不能超过产品的耐环境设计极限,施加应力的持续时间不能在产品中累积起不允许的疲劳损伤。一般采用快速温度循环和随机振动这两个最有效的应力组合进行。也可采用对受筛选产品特别敏感的其它应力。筛选应力的的大小和持续时间应根据产品特性,在 GJB 1032 等标准的基础上剪裁确定。

A.5.1.4 对于每一项可靠性试验,都应制定试验计划和方案,主要包括试验目的、受试产品的描述、试验设备、试验的环境条件、性能监测、故障判据以及数据处理等方面的要求。对每一项可靠性试验还应制定试验程序及质量保证措施等文件,试验完成后,对每一项试验应提出相应的试验报告。

A.5.2 400 系列工作项目

A.5.2.1 环境应力筛选(工作项目 401)

A.5.2.1.1 GJB 1032 提供的方法主要适用于电子产品,也可用于电气、机电、光电和电化学产品,不适用于机械产品。电子产品的 ESS 可以 GJB 1032 和 GJB/Z 34 规定的方法为基础,进行适当剪裁后进行。非电子产品 ESS,尚没有相应的标准,其筛选应力种类和量值只能借鉴 GJB 1032 并结合产品结构特点确定。对于已知脆弱、经受不住筛选应力的硬件,可以降低应力或不参与筛选,不参与筛选的硬件必须在适当的文件中说明。

A.5.2.1.2 ESS 的主要目的是剔除制造过程使用的不良元器件和引入的工艺缺陷,以便提高产品的使用可靠性,ESS 应尽量在每一组装层次上都进行,例如电子产品,应在元器件、组件和设备等各组装层次上进行,以剔除低层次产品组装成高层次产品过程中引入的缺陷和接口方面的缺陷。

A.5.2.1.3 ESS 所使用的环境条件和应力施加程序应着重于能发现引起早期故障的缺陷,而不需对寿命剖面进行准确模拟。环境应力一般是依次施加,并且环境应力的种类和量值在不同装配层次上可以调整,应以最佳费用效益加以剪裁。

A.5.2.1.4 ESS 可用于装备的研制和生产阶段及大修过程。在研制阶段,ESS 可作为可靠性增长试验和可靠性鉴定试验的预处理手段,用以剔除产品的早期故障以提高这些试验的效率和结果的准确性,生产阶段和大修过程可作为出厂前的常规检验手段,用以剔除产品的早期故障。

A.5.2.1.5 承制方应制定 ESS 方案并应得到订购方的认可,方案中应确定每个产品的最短 ESS 时间、无故障工作时间,以及每个产品的最长 ESS 时间。

A.5.2.1.6 由于产品从研制阶段转向批生产阶段的过程中,制造工艺、组装技术和操作熟练程度在不断的改进和完善,制造过程引入的缺陷会随这种变化而改变,这种改变包括引入缺陷类型和缺陷数量的变化。因此,承制方应根据这些变化对 ESS 方法(包括应力的类型、水平及施加的顺序等)作出改变。研制阶段制定的 ESS 方案可能由于对产品结构和应力响应特性了解不充分,以及掌握的元器件和制造工艺方面有关信息不确切,致使最初设计的 ESS 方案不理想。因此承制方应根据筛选效果对 ESS 方法不断调整。对研制阶段的 ESS 结果应进一步深入分析,作为制定生产中用的 ESS 方案的基础。对生产阶段 ESS 的结果及试验室试验和使用信息也应定期进行对比分析,以及时调整 ESS 方案,始终保持进行最有效的筛选。

A.5.2.2 可靠性研制试验(工作项目 402)

A.5.2.2.1 可靠性研制试验通过向受试产品施加应力将产品中存在的材料、元器件、设计和工艺缺陷激发成为故障,进行故障分析定位后,采取纠正措施加以排除,这实际也是一个试验、分析、改进的过程(Test Analysis and Fix),即 TAAF 过程。

A.5.2.2.2 可靠性研制试验的最终目的是使产品尽快达到规定的可靠性要求,但直接的目的在研制阶段的前后有所不同,研制阶段的前期,试验的目的侧重于充分地暴露缺陷,通过采取纠正措施,以提高可靠性。因此,大多采用加速的环境应力,以激发故障。而研制的后期,试验的目的侧重于了解产品可靠性

与规定要求的接近程度,并对发现的问题,通过采取纠正措施,进一步提高产品的可靠性,因此,试验条件应尽可能模拟实际使用条件,大多采用综合环境条件。GJB 1407 规定的可靠性增长试验,可视为一种特定的可靠性研制试验。

A.5.2.2.3 可靠性研制试验应根据试验的直接目的和所处阶段选择并确定适宜的试验条件。目前国外开展的是可靠性强化试验(RET)或高加速寿命试验(HALT)。这类试验基本目的是使产品设计得更为健壮,基本方法是通过施加步进应力,不断发现设计缺陷,并进行改进和验证,使产品耐环境能力达到最高,直到现有材料、工艺、技术和费用支撑能力无法作进一步改进为止,因此可视为在研制阶段前期进行的一种可靠性研制试验。

目前在国内一些研制单位,为了了解产品的可靠性与规定要求的差距所进行的“可靠性增长摸底试验”(或可靠性摸底试验)也属于可靠性研制试验的范畴。

A.5.2.2.4 承制方应尽早制定可靠性研制试验方案,并对可靠性关键产品实施可靠性研制试验。可靠性研制试验方案一般包括以下内容:

- a) 受试产品及其说明;
- b) 试验目的和要求;
- c) 试验时间安排;
- d) 试验环境应力的类型、水平及施加方法;
- e) 数据的收集和记录要求;
- f) 故障判据;
- g) 纠正措施效果的验证等。

A.5.2.3 可靠性增长试验(工作项目 403)

A.5.2.3.1 可靠性增长试验是一种有计划的试验、分析和改进的过程。在这一试验过程中,产品处于真实的或模拟的环境下,以暴露设计中的缺陷,对暴露出的问题采取纠正措施,从而达到预期的可靠性增长目标。

A.5.2.3.2 由于可靠性增长试验不仅要找出产品中的设计缺陷和采取有效的纠正措施,而且还要达到预期的可靠性增长目标,因此,可靠性增长试验必须在受控的条件下进行。为了达到既定的增长目标,并对最终可靠性水平作出合理的评估,要求试验前评估出产品的初始可靠性水平,确定合理的增长率,选用恰当的增长模型并进行过程跟踪,对试验中所使用的环境条件严格控制,对试验前准备工作情况及试验结果进行评审,必要时还应进行试验过程中评审。

A.5.2.3.3 可靠性增长试验的受试样品的技术状态应能代表产品可靠性鉴定试验时的技术状态,产品的可靠性增长试验应在产品的可靠性鉴定试验之前进行,在可靠性增长试验开始前,应按 GJB 150、GJB 1032及有关标准完成产品的环境试验和 ESS。

A.5.2.3.4 由于可靠性增长试验要求采用综合环境条件,需要综合试验设备,试验时间较长,需要投入较大的资源,因此,一般只对那些有定量可靠性要求、任务或安全关键的、新技术含量高且增长试验所需的时间和经费可以接受的电子设备进行可靠性增长试验。

A.5.2.3.5 可靠性增长试验必须纠正那些对完成任务有关键影响和对使用维修费用有关键影响的故障。一般做法是通过纠正影响任务可靠性的故障来提高任务可靠性,纠正出现频率很高的故障来降低维修费用。

A.5.2.3.6 对有两台以上的产品试验时,当一个产品发生故障进行纠正时,另一产品可以继续试验。

A.5.2.4 可靠性鉴定试验(工作项目 404)

A.5.2.4.1 可靠性鉴定试验的目的是向订购方提供合格证明,即产品在批准投产之前已经符合合同规定的可靠性要求。可靠性鉴定试验必须对要求验证的可靠性参数值进行估计,并做出合格与否的判定。必须事先规定统计试验方案的合格判据,而统计试验方案应根据试验费用和进度权衡确定。可靠性鉴定试验是工程研制阶段结束时的试验,应按计划要求及时完成。以便为设计定型提供决策信息。

A.5.2.4.2 订购方对可靠性鉴定试验的要求应纳入合同。对新设计的产品、经过重大改进的产品,一般应进行可靠性鉴定试验,必要时,还包括新系统选用的现成产品(关键的)。

A.5.2.4.3 鉴定试验之前应具备下列文件:经批准的试验大纲、详细的鉴定试验程序、产品的可靠性预计报告、功能试验报告、环境合格试验报告、环境应力筛选报告等。

A.5.2.4.4 可靠性鉴定试验是统计试验,用于验证研制产品的可靠性水平。要求试验条件要尽量真实,因此要采用能够提供综合环境应力的试验设备进行试验,或者在真实的使用条件下进行试验。试验时间主要取决于要验证的可靠性水平和选用的统计试验方案,统计试验方案的选择取决于选定的风险和鉴别比,风险和鉴别比的选择取决于可提供的经费和时间等资源。但在选择风险时,应尽可能使订购方和承制方的风险相同。

A.5.2.4.5 可靠性鉴定试验应当在订购方确定的产品层次上进行,用于鉴定试验的产品的技术状态应能代表设计定型的技术状态。为了提高效费比,可靠性鉴定试验可与产品的鉴定试验(产品定型试验)结合在一起进行。

A.5.2.5 可靠性验收试验(工作项目 405)

A.5.2.5.1 可靠性验收试验的目的是验证交付的批生产产品是否满足规定的可靠性要求。这种试验必须反映实际使用情况,并提供要求验证的可靠性参数的估计值。必须事先规定统计试验方案的合格判据。统计试验方案应根据费用和效益加以权衡确定。可靠性验收试验方案应经订购方认可。

A.5.2.5.2 可靠性验收试验一般抽样进行。在建立了完善的生产管理制度后可以减少抽样的频度,但为保证产品的质量,不能放弃可靠性验收试验。

A.5.2.6 可靠性分析评价(工作项目 406)

A.5.2.6.1 可靠性分析评价主要适应于可靠性要求高的复杂装备,尤其是像导弹、军用卫星、海军舰船这类研制周期较长、研制数量少的装备。

A.5.2.6.2 可靠性分析评价通常可采用可靠性预计、FMECA、FTA、同类产品可靠性水平对比分析、低层次产品可靠性试验数据综合等方法,评价装备是否能达到规定的可靠性水平。

A.5.2.6.3 可靠性分析评价主要是评价装备或分系统的可靠性。评估的方法、利用的数据和评估的结果均应经订购方认可。可靠性分析评价可为使用可靠性评估提供支持信息。

A.5.2.7 寿命试验(工作项目 407)

A.5.2.7.1 通过寿命试验可以评价长期的预期使用环境对产品的影响,通过这些试验,确保产品不会由于长期处于使用环境而产生金属疲劳,部件到寿或其他问题。

A.5.2.7.2 寿命试验非常耗时且费用昂贵,因此,必须对寿命特性和寿命试验要求进行仔细的分析,必须尽早收集类似产品的磨损、腐蚀、疲劳、断裂等故障数据并在整个试验期间进行分析,否则可能会导致重新设计、项目延误。

A.5.2.7.3 尽早明确寿命试验要求,当可行时可采用加速寿命试验的方法。加速寿命试验一般在零件级进行,有的产品也可在部件级上进行。

A.6 使用可靠性评估与改进

A.6.1 一般考虑

A.6.1.1 500 系列规定的三个工作项目 501、502、503 是装备在使用阶段非常重要的可靠性工作,通过实施这些工作可以达到以下目的:

- a) 利用收集的可靠性信息,评估装备的使用可靠性水平,验证是否满足规定的使用可靠性要求,当不能满足时,提出改进建议和要求;
- b) 发现使用中的可靠性缺陷,组织进行可靠性改进,提高装备的使用可靠性水平;
- c) 为装备的使用、维修提供管理信息,为装备的改型和提出新研装备的可靠性要求提供依据等。

A.6.1.2 工作项目 501、502、503 彼此之间是密切相关的,使用可靠性信息收集(501)是使用可靠性评估

(502)和使用可靠性改进(503)的基础和前提。使用可靠性信息收集的内容、分析的方法等应充分考虑使用可靠性评估与改进对信息的需求。使用可靠性评估的结果和在评估中发现的问题也是进行使用可靠性改进的重要依据。应注意三项工作的信息传递、信息共享,减少不必要的重复,使可靠性信息的收集、评估和改进工作协调有效地进行。

A.6.1.3 工作项目 501、502、503 是装备使用阶段装备管理的重要内容,必须与装备的其他管理工作相协调,统一管理。使用可靠性信息的收集是装备信息管理的重要组成部分,必须统一纳入装备的信息管理系统。使用可靠性评估是战备完好性评估的一部分,应协调进行。使用可靠性改进也是装备改进的一部分,必须协调权衡。

A.6.2 500 系列工作项目

A.6.2.1 使用可靠性信息收集(工作项目 501)

A.6.2.1.1 应建立严格的信息管理和责任制度。明确规定信息收集与核实、信息分析与处理、信息传递与反馈的部门、单位及其人员的职责。

A.6.2.1.2 进行使用可靠性信息需求分析,对使用可靠性评估及其他可靠性工作的信息需求进行分析,确定可靠性信息收集的范围、内容和程序等。

A.6.2.1.3 使用可靠性信息收集工作应规范化。按 GJB 1775 等标准的规定统一信息分类、信息单元、信息编码,并建立通用的数据库等。

A.6.2.1.4 应组成专门的小组,定期对使用可靠性信息的收集、分析、贮存、传递等工作进行评审,确保信息收集、分析、传递的有效性。

A.6.2.2.1 使用可靠性评估的目的是对装备的使用可靠性水平进行评价,验证装备是否达到了规定的可靠性使用要求。尽可能地发现和改正装备的使用可靠性缺陷,以及为装备的改进、改型和新装备的

和训练条件。被评估的装备应具有规定的技术状态,使用与维修人员必须经过正规的训练,各类保障资源按规定配备到位。

A.6.2.2.3 使用可靠性评估应在装备部署后进行,一般可分为初始使用可靠性评估和后续使用可靠性评估。初始使用可靠性评估在装备初始部署一个基本作战单元后开始进行,后续使用可靠性评估在装备全面部署后进行。使用可靠性评估应结合装备的战备完好性评估一起进行。

A.6.2.2.4 应制定使用可靠性评估计划,也可包含在现场使用评估计划(见 GJB 3872)中。计划中应明确参与评估各方的职责及要评估的内容、方法和程序等。

A.6.2.2.5 在整个评估过程中应不断地对收集、分析、处理的数据进行评价,确保获得可信的评估结果及其它有用信息。

A.6.2.3 使用可靠性改进(工作项目 503)

A.6.2.3.1 确定的可靠性改进项目,应该是那些对提高战备完好性和任务成功性、减少维修工作量和降低寿命周期费用有重要影响和效果的项目。

A.6.2.3.2 可靠性改进是装备改进的重要内容,必须与装备的其它改进项目进行充分的协调和权衡,以保证总体的改进效益。

A.6.2.3.3 使用可靠性改进应有专门的机构负责管理。该机构的职责是:

- a) 组织论证并确定可靠性改进项目;
- b) 制定使用可靠性改进计划;
- c) 组织对改进项目、改进方案的评审;

- d) 对改进的过程进行跟踪；
- e) 组织改进项目的验证；
- f) 编制可靠性改进项目报告等。

附录 B
(资料性附录)
潜在电路分析线索表

B.1 潜在功能分析检查

潜在功能分析检查主要内容有:

- a) 设备的功能是否按意图完成?
- b) 一切功能与接地是否都与各电源匹配?
- c) 启动一种功能时是否有所需电源?
- d) 各接地连接是否协调一致?
- e) 连接的电源是否来自不同的电源母线,即是否有潜在的电源到电源的连接?
- f) 是否有任何功能可以在粗心大意的情况下被启动或者在不正确的时刻启动?
- g) 无意中断开或闭合一个电源通路或能源通路时是否产生不希望发生的效应?
- h) 是否有可能无意中形成的电源通路或能源通路能同时启动多种功能?

B.2 设计检查

B.2.1 潜在路径

潜在路径检查主要内容有:

- a) 信号是否明显地通往不需要的地方? 信号之间是否有明显的极性反转或相位反转?
- b) 运算放大器能否无意识地被推向饱和?
- c) 数字装置的推挽电路引线输出端是否连接在一起?
- d) 含有对称性的电路是否有不对称的元件或通路?
- e) 同一电路是否有混合的多个接地点?
- f) 数字电路、继电器、或电爆管是否在同一地线上?
- g) 捆扎在一起的不同电位的电源之间的绝缘是否不足?
- h) 电源与其有关的地线是否位于不同的基准点?
- i) 有无不希望有的电容器放电通路?
- j) 在状态或开关电路改变过程中是否有瞬时不希望发生的电流通路?

B.2.2 潜在时序

潜在时序检查主要内容有:

- a) 在加电过程中,电路是否经受到不需要的模式或虚假输出?
- b) 有共用信号源和共同负载的数字信号是否先分开而后又合并?
- c) 串行的数字装置是否由不同的电源供电?
- d) 数字装置的噪声电平极限是否已超过?
- e) 数字电路的电容电阻网络特性,例如脉冲宽度和开关速率等是否符合要求?
- f) 大的阻容时间常数是否会造成开关电路升降时间过长?
- g) 在开关改变状态过程中是否有瞬时不希望有的电流通路?
- h) 继电器绕组是否有抑制瞬态电流的措施?
- i) 晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)装置的高输出阻抗是否造成电阻、电容时间常数过大?
- j) 晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)装置的输入(瞬时或非瞬时)是否有接地通路能使装置通电?
- k) 是否有任何装置的接通、断开、或开、关的定时造成应用中发生不希望有的电路动作?

- l) 开关电路是否有定时空隙(先断后通)或重叠(先通后断)?
- m) 指令信号线是否与电源线邻近?
- n) 导线的电容是否造成导线所传信号过大的“歪斜失真”?

B.2.3 潜在指示

潜在指示检查主要内容有:

- a) 指示器所监测的是否为功能的指令信号而非功能本身?
- b) 指示器电路的正常工作是否要依靠它所监测的功能?
- c) 一个负载是否会产生不希望有的功能?
- d) 一个按压式测试电路是否会激活系统?

B.2.4 潜在标志

潜在标志检查主要内容有:

- a) 是否每一标志都协调无误?
 - b) 标志是否指示真实功能?
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 军 用 标 准
装 备 可 靠 性 工 作 通 用 要 求
GJB 450A-2004

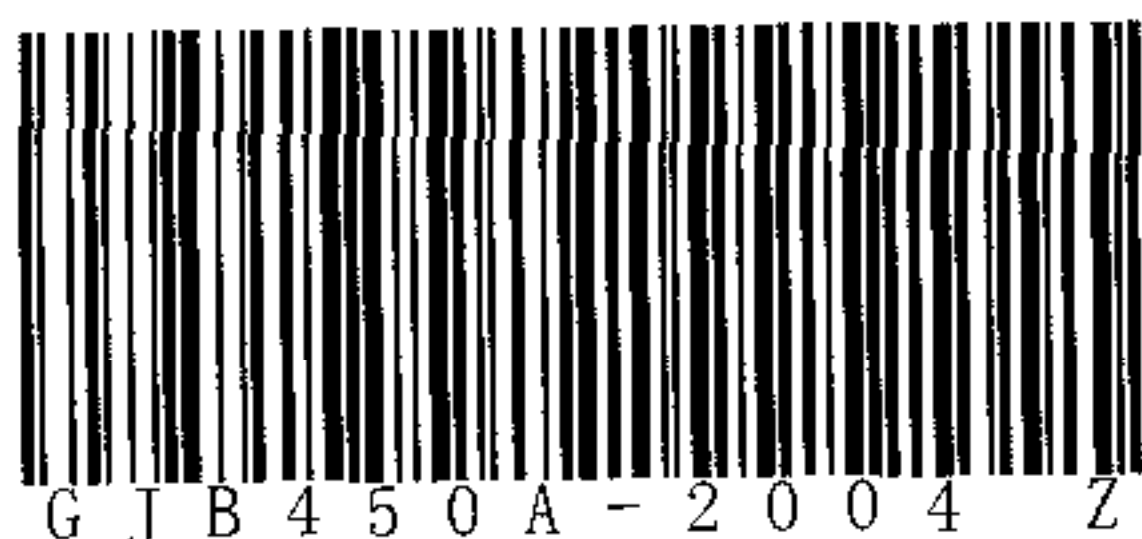
*

总装备部军标出版发行部出版
(北京东外京顺路7号)
总装备部军标出版发行部印刷车间印刷
总装备部军标出版发行部发行
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 3 字数 94 千字
2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷
印数 1-3000

*



G J B 4 5 0 A - 2 0 0 4 Z