



中华人民共和国国家军用标准

FL 0102

GJB 450B-2021

代替 GJB 450A-2004

装备可靠性工作通用要求

General requirements for materiel reliability program

2021-12-30 发布

2022-03-01 实施

中央军委装备发展部 颁布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	2
3.1 术语和定义	2
3.2 缩略语	2
4 总则	3
4.1 可靠性工作的目标	3
4.2 可靠性工作的基本原则	3
4.3 订购方和承制方的工作要求	4
4.4 可靠性工作与其他相关工作的协调	5
4.5 可靠性信息	5
4.6 可靠性要求	5
4.7 可靠性要求的验证	6
4.8 使用期间的可靠性工作	7
5 确定可靠性要求及其工作项目要求(工作项目 100 系列)	7
5.1 确定可靠性要求(工作项目 101)	7
5.2 确定可靠性工作项目要求(工作项目 102)	7
6 可靠性管理(工作项目 200 系列)	8
6.1 制定可靠性计划(工作项目 201)	8
6.2 制定可靠性工作计划(工作项目 202)	8
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)	9
6.4 可靠性评审(工作项目 204)	9
6.5 建立故障报告、分析和纠正措施系统(工作项目 205)	10
6.6 建立故障审查组织(工作项目 206)	10
6.7 可靠性增长管理(工作项目 207)	11
6.8 可靠性设计核查(工作项目 208)	11
7 可靠性设计与分析(工作项目 300 系列)	11
7.1 建立可靠性模型(工作项目 301)	11
7.2 可靠性分配(工作项目 302)	12
7.3 可靠性预计(工作项目 303)	12
7.4 故障模式、影响及危害性分析(工作项目 304)	13
7.5 故障树分析(工作项目 305)	13
7.6 潜在分析(工作项目 306)	13
7.7 电路容差分析(工作项目 307)	14
7.8 可靠性设计准则的制定和符合性检查(工作项目 308)	14
7.9 元器件、标准件和原材料选择与控制(工作项目 309)	15
7.10 确定可靠性关键产品(工作项目 310)	15

GJB 450B—2021

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)	15
7.12	振动仿真分析(工作项目 312)	16
7.13	温度仿真分析(工作项目 313)	16
7.14	电应力仿真分析(工作项目 314)	16
7.15	耐久性分析(工作项目 315)	17
7.16	软件可靠性需求分析与设计(工作项目 316)	17
7.17	可靠性关键产品工艺分析与控制(工作项目 317)	18
8	可靠性试验与评价(工作项目 400 系列)	18
8.1	环境应力筛选(工作项目 401)	18
8.2	可靠性研制试验(工作项目 402)	18
8.3	可靠性鉴定试验(工作项目 403)	19
8.4	可靠性验收试验(工作项目 404)	19
8.5	可靠性分析评价(工作项目 405)	20
8.6	寿命试验(工作项目 406)	20
8.7	软件可靠性测试(工作项目 407)	20
9	使用可靠性评估与改进(工作项目 500 系列)	21
9.1	使用可靠性信息收集(工作项目 501)	21
9.2	使用可靠性评估(工作项目 502)	21
9.3	使用可靠性改进(工作项目 503)	22
附录 A	(资料性附录) 应用指南	23
附录 B	(资料性附录) 订购方、承制方等有关方在装备可靠性工作中的角色作用	48

前 言

本标准代替 GJB 450A—2004《装备可靠性工作通用要求》，修订后标准仍保持原标准工作项目系列的框架结构。

本标准与 GJB 450A—2004 相比，主要有以下变更：

- a) 新增补工作项目要求，主要有：
 - 1) 在 200 系列中新增工作项目“可靠性设计核查(工作项目 208)”；
 - 2) 在 300 系列中新增工作项目“软件可靠性需求分析与设计(工作项目 316)”、“可靠性关键产品工艺分析与控制(工作项目 317)”；
 - 3) 在 400 系列中新增工作项目“软件可靠性测试(工作项目 407)”。
- b) 将原“可靠性研制试验(工作项目 402)”和“可靠性增长试验(工作项目 403)”合并为“可靠性研制试验(工作项目 402)”。
- c) 将原“有限元分析(工作项目 312)”拆分为三个工作项目，即“振动仿真分析(工作项目 312)”、“温度仿真分析(工作项目 313)”和“电应力仿真分析(工作项目 314)”。
- d) 对第 4 章“总则”的相关内容进行了补充和细化。
- e) 对原有多数工作项目的目的、工作项目要点和注意事项内容进行了补充或调整。
- f) 根据修订内容增加了缩略语。

本标准附录 A、附录 B 是资料性附录。

本标准由中央军委装备发展部合同监管局提出。

本标准起草单位：中国航空综合技术研究所、中央军委装备发展部装备项目管理中心、海军研究院、空军研究院、火箭军研究院、陆军装甲兵学院、北京航空航天大学、中国电子科技集团公司第二十九研究所、航空工业西安飞行自动控制研究所、中国舰船研究院、中国航天科工集团公司二院、中国兵器科学研究院、江西洪都航空工业集团、中国航空发动机研究院。

本标准主要起草人：任占勇、宋太亮、黄金娥、梅文华、阮咏梅、陈守华、章文晋、邓 林、张熙川、李能鹏、李庚雨、姬广振、何钟武、汪邦军、李永红、白春磊。

GJB 450 于 1988 年首次发布，2004 年第一次修订。

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 190 特性分类
- GJB 451 可靠性维修性保障性术语
- 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 可靠性鉴定和验收试验
- GJB 1032 电子产品环境应力筛选方法
- GJB 1269 工艺评审
- GJB 1371 装备保障性分析
- GJB 1407 可靠性增长试验
- GJB 1686 装备质量信息管理通用要求
- GJB 1775 装备质量与可靠性信息分类和编码通用要求
- GJB 1909 装备可靠性维修性保障性要求论证
- GJB 3273 武器装备研制项目技术审查
- GJB 3363 生产性分析
- 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 军用软件安全性设计指南
- GJB/Z 108 电子设备非工作状态可靠性预计手册
- GJB/Z 223 最坏情况电路分析指南
- GJB/Z 299 电子设备可靠性预计手册

GJB/Z 768 故障树分析指南

GJB/Z 1391 故障模式、影响及危害性分析指南

3 术语和定义、缩略语

3.1 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。

3.1.1 寿命剖面 **life profile**

产品从交付到寿命终结或退出使用这段时间内所经历的全部事件和环境的时序描述。

3.1.2 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严重故障的判断准则。

3.1.3 环境剖面 **environmental profile**

产品寿命周期内经受的环境和环境组(综合)及其时序描述构成的剖面。

3.1.4 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资源的要求。确定基本可靠性参数指标时应统计产品的所有寿命单位和所有的关联故障。

3.1.5 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)。

3.1.6 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。

3.1.7 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。

3.1.8 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)。

3.1.9 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)。

3.1.10 可靠性关键产品 **reliability critical products**

其故障对装备安全性、任务成功性、战备完好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。

3.1.11 可靠性强化试验 **reliability enhancement testing**

通过系统地施加逐步增大的环境应力和工作应力,激发和暴露产品设计中的薄弱环节,以便改进设计和工艺,提高产品可靠性的试验。它是一种可靠性研制试验。

3.1.12 可靠性设计核查 **reliability design inspection**

在产品研制过程中,对可靠性设计分析工作进行确认的过程控制方法。其主要包括设计分析资料审查、分析计算、建模仿真、物理检查以及必要的试验验证等工作。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

CAD——计算机辅助设计;

CFD——计算流体力学分析;

EDA——电路设计自动化;

ESS——环境应力筛选；
 FEA——有限元分析；
 FHA——功能危险分析；
 FMEA——故障模式及影响分析；
 FMECA——故障模式、影响及危害性分析；
 FRACAS——故障报告、分析和纠正措施系统；
 FTA——故障树分析；
 HASS——高加速应力筛选；
 MCR——能执行任务率；
 MTBCF——平均严重故障间隔时间；
 MTBDE——平均不能工作事件间隔时间；
 MTBF——平均故障间隔时间；
 MTBM——平均维修间隔时间；
 MTBR——平均拆卸间隔时间；
 PFMEA——工艺故障模式及影响分析；
 RET——可靠性强化试验；
 SCA——潜在电路分析；
 SFMEA——软件故障模式影响分析；
 SFTA——软件故障树分析；
 SGR——出动架次率；
 SPC——统计过程控制；
 TAAF——试验、分析与改进；
 TTL——晶体管-晶体管逻辑电路；
 WCCA——电路最坏情况分析。

4 总则

4.1 可靠性工作的目标

可靠性工作的目标是确保新研和改型装备确定合理的可靠性要求并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，以满足装备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并减少寿命周期费用。

4.2 可靠性工作的基本原则

4.2.1 需求牵引

可靠性工作策划应全面考虑相关的需求和约束条件，主要包括：

- a) 在确定可靠性要求时，应充分考虑作战行动对装备可靠性的要求，要充分改进装备可靠性薄弱环节；
- b) 在装备研制过程中，应充分考虑部队练兵备战、实战化运用的新要求，保证装备在高强度运用中安全可靠；
- c) 在试验鉴定中，应开展复杂气象、地理及电磁等环境下的可靠性考核，在极限条件下考核装备的可靠性水平。

4.2.2 预防为主

可靠性工作应遵循预防为主、早期投入的方针，主要包括：

- a) 应把预防、发现和纠正设计、生产、元器件、通用基础件及原材料等方面的缺陷和消除单点故障及严重故障作为可靠性工作的重点，形成发现问题、分析原因、提出建议、制定措施、跟踪

落实的闭环工作流程；

- b) 应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；
- c) 应对工艺设计及生产过程中各种因素对产品可靠性的影响进行系统分析，并采用有效的方法和控制程序，以减少工艺过程对可靠性带来的不利影响，如利用工艺故障模式及影响分析(PFMEA)、工艺健壮性设计、统计过程控制(SPC)和环境应力筛选(ESS)等方法来保持设计的可靠性水平。

4.2.3 权衡协调

可靠性工作应与其他相关工作协调开展，主要包括：

- a) 可靠性要求源于系统战备完好性和任务成功性，应确保可靠性要求合理、科学、可实现并可验证。
- b) 在研制阶段，可靠性工作应纳入装备产品的研制工作，统一规划，协调进行，实现可靠性与产品功能一体化设计。
- c) 在策划和实施装备可靠性工作时，应统一考虑软件可靠性问题。软件开发必须符合软件工程的要求，应在软件开发过程中采取必要的技术和管理活动，增加软件可靠性设计防护措施，使独立的软件产品或装备产品中的软件满足可靠性要求。
- d) 在选择可靠性工作项目时，应根据产品所处阶段、产品复杂和重要程度、使用(贮存)环境、新技术比例、费用、进度以及产品组成数量等因素对工作项目的适用性和有效性进行分析，选择效费比高的工作项目。

4.2.4 全寿命管控

可靠性工作应在装备全寿命各阶段有效进行，主要包括：

- a) 应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；
- b) 应充分重视使用阶段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。

4.2.5 资源保障

可靠性工作应配备必要的资源，主要包括：

- a) 应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；
- b) 订购方与承制方应建立开放的信息交流制度；
- c) 装备可靠性工作应配备充分的人力和物力等资源，尤其应明确其专项工作经费需求。

4.3 订购方和承制方的工作要求

4.3.1 订购方的工作要求

订购方的工作要求是：

- a) 制定并实施可靠性计划，对装备全寿命周期的可靠性工作进行有效的管理；
- b) 提出装备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；
- c) 组织承制方和订购方有关单位进行装备可靠性相关重大技术问题攻关；
- 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，并对可靠性鉴定试验和可靠性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，评审订购方或承制方提出的可靠性改进需求，组织落实装备使用可靠性改进措施。

注：订购方主要指组织或承担装备科研订购、合同监管、试验鉴定和服役使用等工作的部门和单位。

4.3.2 承制方的工作要求

承制方的工作要求是：

- 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及阶段工作计划，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) 参与或组织可靠性相关重大技术问题攻关；
- g) 实施研制过程可靠性工作管理，参与或组织研制过程节点评审；
- h) 协助订购方采取有效的纠正措施实现使用可靠性改进。

订购方和承制方在装备全寿命周期各阶段的角色作用参见资料性附录 B。

注：承制方主要指承担装备及配套产品研制和生产等工作的单位。

4.4 可靠性工作与其他相关工作的协调

可靠性工作应与其他相关工作相协调，主要包括：

- a) 可靠性工作应与维修性、测试性、安全性、环境适应性、保障系统及其资源、质量管理等相关工作相协调，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维修性、测试性、安全性、环境适应性、保障系统及其资源等分析工作的输入要求，在其可靠性工作计划中应明确这些接口关系，例如按照 GJB 1371 编制的保障性分析计划中各项分析工作的输入与输出关系等；
- c) 可靠性应与产品功能一体化设计，相关要求应及时落实到产品设计方案中。

4.5 可靠性信息

可靠性信息包括装备论证立项、工程研制、鉴定定型、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) 订购方和承制方应明确装备全寿命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，装备试验和使用相关故障信息应及时纳入本单位的信息系统；
- 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满足可靠性要求的产品，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、简化设计、冗余设计和模块化设计等要求，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

可靠性定量要求可分类为基本可靠性要求和任务可靠性要求，可靠性定量要求还包括贮存可靠性和耐久性方面的要求。

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;

- b) 任务可靠性参数, 如平均严重故障间隔时间(MTBCF)、任务可靠度等;
- c) 耐久性参数, 如使用寿命、贮存寿命、首次翻修期、翻修间隔期等;
- d) 贮存可靠性参数, 如贮存可靠度等。

4.6.2.3 确定可靠性定量要求的原则

主要的原则有:

- a) 在选择可靠性参数时, 应全面考虑装备的作战使命任务、类型特点、复杂程度及参数是否能够且便于度量等因素。
- b) 在满足装备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少且参数之间相互协调。
- c) 在确定可靠性要求时, 应全面考虑使用要求、费用、进度、技术水平及相似产品的可靠性水平等因素。
- 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、测试性、安全性、环境适应性和保障系统及其资源等要求。
- 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) 订购方可以单独提出装备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。

4.6.3 可靠性工作项目要求

可靠性工作项目包括在装备论证、研制、试验、生产和使用期间所开展的可靠性工作, 本标准共包括 37 个可靠性工作项目, 分类为以下 5 个系列:

- a) 确定可靠性要求及其工作项目要求(工作项目 100 系列), 包含 2 个工作项目;
- b) 可靠性管理(工作项目 200 系列), 包含 8 个工作项目;
- c) 可靠性设计与分析(工作项目 300 系列), 包含 17 个工作项目;
- d) 可靠性试验与评价(工作项目 400 系列), 包含 7 个工作项目;
- e) 使用可靠性评估与改进(工作项目 500 系列), 包含 3 个工作项目。

装备可靠性工作应以实现其可靠性要求为目的, 选择经济和有效的工作项目。

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时机、验证的方法和接收、拒收判别准则。可靠性合同要求的验证应注意以下问题:

- a) 可靠性鉴定试验和可靠性验收试验可根据 GJB 899 或其他有关标准, 选择适合的统计试验方案和确定合适的环境条件;
- b) 当不能或不适宜用试验方法验证产品可靠性时, 可利用组成产品的部组件可靠性数据(特别是试验数据)和利用各阶段试验信息, 开展可靠性综合评估, 以评估产品的可靠性水平是否符合规定的要求;
- c) 对可靠性要求的验证, 尤其是对可靠性关键产品的验证, 应重视在实际使用条件下验证其可靠性的水平;
- d) 对可靠性定性要求及所选择的可靠性工作项目应在研制各阶段审查其落实情况。

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。使用可靠性评估可结合装备的战备完好性和任务成功性评估等工作进行。

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、使用可靠性改进等项工作，以保持并不断提高装备的可靠性水平。

5 确定可靠性要求及其工作项目要求(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，作为可靠性设计和考核验证的依据。

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、测试性、安全性、环境适应性、保障系统及其资源等要求协调确定，以合理的费用满足装备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 规定的要求和程序以及装备通用质量特性要求模板的要求进行。

5.1.2.5 确定可靠性要求，必须明确装备的寿命剖面、任务剖面、故障判据、验证时机和验证方法等约束条件。

5.1.2.6 应对可靠性要求进行评审。可靠性要求的评审应有装备论证、研制、试验、生产和使用等各方面的代表参加。

5.1.2.7 可靠性要求论证的结果应按照对应的阶段，分别纳入装备研制立项综合论证报告、研制总要求、鉴定定型试验总案、研制合同和其他相关文件。

5.1.3 注意事项

订购方应明确以下事项：

- 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以合同进行明确。

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，确保可靠性工作协调和有序地开展，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，尽可能选择最少的可靠性工作项目实现规定的可靠性要求。

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) 产品新技术比例；
- 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具体内容，以确保可靠性工作项目的实施效果。

5.2.2.5 承制方应根据产品的特点和所处的阶段，确定适宜的可靠性工作项目，至少应包括订购方规定的全部工作项目。

5.2.2.6 应对选择的可靠性工作项目进行评审。

5.2.3 注意事项

5.2.3.1 订购方应明确以下事项：

- a) 可靠性工作项目的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。

5.2.3.2 承制方应明确以下事项：

- a) 对订购方确定的可靠性工作项目要求进行细化，明确其实施要求；
- b) 可靠性工作项目的确定工作应纳入可靠性工作计划。

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

制定并实施可靠性计划，全面规划装备全寿命周期的可靠性工作，以保证装备可靠性工作有效开展。

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工作要求；
- 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) 工作进度计划；
- i) 可靠性工作经费预算安排等。

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

订购方应明确以下事项：

- 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，以确保装备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 承制方应根据订购方的可靠性计划、研制总要求和研制合同要求，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要求，计划中应进一步明确和细化合同中规定的可靠性定量和定性要求，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、实施程序、完成形式和对完成结果检查评价的方式，实施各项工作项目之间的相互关系；
- c) 可靠性工作的管理和实施机构及其工作要求，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) 可靠性工作涉及的关键问题及其对实现可靠性要求的影响，解决这些问题的方法或途径；
- h) 工作进度计划等。

6.2.2.2 可靠性工作计划应随着装备研制工作的进展不断完善。当订购方的要求变更时，可靠性工作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

承制方应明确以下事项：

- a) 可靠性工作计划应统一纳入产品研制计划进行管理；
- b) 对于复杂的或研制周期长的装备研制项目，应根据工作计划制定分阶段或年度工作计划。

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 承制方在选择转承制方和供应方时，应考虑其产品可靠性保证能力，优先选择可靠性保证能力较高的转承制方和供应方。

6.3.2.3 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。对转承制方和供应方的可靠性要求应清晰、适宜和完整，并确保转承制方和供应方正确地理解了可靠性要求。

6.3.2.4 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，应根据转承制产品或供应品的重要程度以及转承制方和供应方的可靠性保证能力，针对性地提出可靠性工作要求和监控要求。

6.3.2.5 承制方对转承制方和供应方的要求均应纳入有关合同(技术协议)，主要包括：

- a) 可靠性定量、定性要求及其验证时机和方法；
- 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可靠性评审、可靠性试验的要求；
- 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

6.3.3.1 订购方应明确的事项：

- a) 对参加转承制方或供应方可靠性评审的要求；
- b) 转承制产品或供应品是否进行可靠性鉴定和验收试验，并明确试验与监督的负责单位。

6.3.3.2 承制方应明确的事项：

- a) 在选择转承制方和供应方时应充分征求订购方的意见；
- b) 对转承制方和供应方的监督与控制应与订购方的监督与控制相协调。

6.4 可靠性评审(工作项目 204)

6.4.1 目的

应按计划进行可靠性要求和可靠性工作评审，以保证可靠性要求的合理性以及相应的可靠性工作系统和有效地开展。

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，并主持或参与合同中要求的可靠性评审。

6.4.2.2 承制方制定的可靠性评审计划应经订购方认可。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装备论证、设计、试验、生产、使用和保障等各方代表，并提供有关评审的文件和资料。

6.4.2.4 对关键和重要产品的可靠性评审，应采用专业机构审查评价和会议评审相结合的方式进行。

6.4.2.5 可靠性评审尽可能与维修性、测试性、安全性、环境适应性、保障系统及其资源等评审结合进行，必要时也可单独进行。

6.4.2.6 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。

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

6.4.2.8 评审组织方应对可靠性评审中的问题跟踪并督促解决落实。

6.4.3 注意事项

主要包括：

- a) 订购方安排的可靠性评审及其要求应纳入可靠性计划；
- b) 承制方安排的可靠性评审及其要求应纳入可靠性工作计划。

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 建立并运行 FRACAS。

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，以及反馈到设计和生产中的程序。

6.5.2.3 故障纠正的基本要求是定位准确、机理清楚、问题复现、措施有效，同时应举一反三，对可能存在类似问题隐患的产品采取预防措施。

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。

6.5.2.5 承制单位应将 FRACAS 的信息及时纳入本单位的质量信息系统，不断充实单位的质量问题数据库，形成支撑装备可靠性工作的数据资源。

6.5.3 注意事项

6.5.3.1 订购方应明确的事项：

- a) 督促承制方建立 FRACAS 并有效运行；
- b) 确保在役装备故障及时归零。

6.5.3.2 承制方应明确的事项：

- a) 承制方 FRACAS 和订购方信息系统协调的内容；
- b) 承制方向订购方报告故障信息的要求以及提交与 FRACAS 有关的资料项目的要求。

6.6 建立故障审查组织(工作项目 206)

6.6.1 目的

建立故障审查组织，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、试验、生产和使用单位等各方面的代表。该组织的主要工作是：

- 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) 批准故障处理关闭。

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

6.6.3.1 订购方应明确其在故障审查组织中的工作权限。

6.6.3.2 承制方应明确的事项包括：

- a) 故障审查组织的工作范围和权限；
- b) 需要向订购方提交的资料项目。

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，以实现产品可靠性研制过程按计划增长。

6.7.2 工作项目要点

6.7.2.1 应利用产品研制过程中各项试验的资源与信息，把可靠性试验和其他有关试验均纳入以可靠性增长为目的的综合管理之下，促使产品经济且有效地达到预期的可靠性目标。

6.7.2.2 可靠性增长管理应从研制阶段早期开始，并重点对可靠性关键产品(包括软件)实施可靠性增长管理。订购方有要求时，可靠性增长管理计划应经过订购方认可。

6.7.2.3 定量的可靠性增长管理可按 GJB/Z 77 的规定确定可靠性增长目标，制定可靠性增长计划。

6.7.3 注意事项

承制方应明确的事项：

- a) 实施可靠性增长管理的产品范围；
- b) 可靠性增长目标及时限。

6.8 可靠性设计核查(工作项目 208)

6.8.1 目的

识别可靠性设计分析存在的问题及其纠正措施的有效性，促使可靠性设计分析工作落实。

6.8.2 工作项目要点

6.8.2.1 在研制过程中，可对可靠性关键产品开展可靠性设计核查。

6.8.2.2 可靠性设计核查包括设计分析资料审查、分析计算、建模仿真、物理检查以及必要的试验验证等工作。

6.8.2.3 应制定可靠性设计核查大纲，核查结束后应形成可靠性设计核查报告。

6.8.2.4 应将可靠性设计核查结果形成的证据，对可靠性要求实现的风险进行分析，尤其对可靠性设计核查发现的问题和设计缺陷，应制定和落实纠正措施。

6.8.3 注意事项

主要包括：

- a) 可靠性设计核查的方法和时机；
- b) 需要形成的资料项目。

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，用于可靠性要求的分配、预计和评价。

7.1.2 工作项目要点

7.1.2.1 可采用 GJB 813 或其他相关标准规定的程序和方法建立产品可靠性模型，可靠性模型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 对于 GJB 813 中规定的建模方法不适用的情形，例如具有动态功能重构、在轨修复特征的综合化电子系统等产品，可采用适宜的其他程序和方法(如 Petri 网、Markov 等方法)建立其任务可靠性模型。订购方有要求时，建模方法应经订购方认可。

7.1.2.3 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。

7.1.2.4 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

承制方应明确的事项：

- a) 明确故障判据等约束条件和建模的假设条件；
- b) 不同的任务剖面应分别建立对应的任务可靠性模型。

7.2 可靠性分配(工作项目 302)

7.2.1 目的

将产品的可靠性要求分配或分解到规定的产品层次。

7.2.2 工作项目要点

7.2.2.1 将可靠性定量要求分配到规定的产品层次，将可靠性定性要求分解传递到规定的产品层次，作为可靠性设计和提出外协、外购产品可靠性要求的依据。

7.2.2.2 可靠性定性要求的分解传递应针对产品的类型和特点，例如针对机械产品简化设计的要求和针对电子产品简化设计的要求内涵会存在差异。

7.2.2.3 可靠性定量要求应按产品成熟期规定值进行分配，可靠性分配应留有一定余量。

7.2.2.4 可靠性要求的分配结果应列入相应的技术规范。

7.2.3 注意事项

承制方应明确的事项：

- a) 要求分配的产品层次；
- b) 分配的基本可靠性要求和任务可靠性要求应权衡协调；
- c) 由订购方指定的产品，应明确其可靠性水平和相关的使用与环境信息。

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，评价设计方案是否满足规定的可靠性要求，并确定可靠性设计的薄弱环节，为优化设计方案提供依据。

7.3.2 工作项目要点

7.3.2.1 应对规定层次的产品进行可靠性预计。可靠性预计应包括：

- a) 基本可靠性预计，以便为寿命周期费用分析和保障性分析提供依据；
- b) 任务可靠性预计，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 或订购方认可的其他方法进行可靠性预计。

7.3.2.3 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。

7.3.2.4 对机械、电气和机电产品的可靠性和寿命预计，可采用相似产品数据或其他适宜的方法进行。

7.3.2.5 对有贮存要求的产品，应进行贮存可靠性预计。

7.3.2.6 可靠性预计应考虑运行比的影响。

7.3.2.7 应针对可靠性预计发现的薄弱环节采取必要的设计改进措施。

7.3.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) 订购方有要求时,所采用的模型和数据应经订购方认可;
- b) 由订购方指定的产品,应明确其可靠性水平和相关的使用与环境信息。

7.4 故障模式、影响及危害性分析(工作项目 304)

7.4.1 目的

分析产品及其组成所有可能的故障模式及其可能产生的影响,并按照每个故障模式产生影响的严重程度及其发生概率予以分类,找出产品潜在的薄弱环节,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故障模式及影响分析(FMEA)或故障模式、影响及危害性分析(FMECA),应考虑在寿命剖面 and 任务剖面内规定产品层次上所有可能的故障模式,并确定其原因和影响。

7.4.2.2 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 FMECA 工作的结果和建议。

7.4.2.3 可参照 GJB/Z 1391 在不同阶段采用功能法、硬件法和工艺法进行分析,并注意在不同阶段开展 FMECA 工作的迭代协调。

7.4.2.4 对复杂功能产品的故障影响分析,可采用对产品功能模型进行故障注入的仿真分析方法进行。

7.4.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) FMECA 分析的产品层次范围;
- b) 需要向维修性、测试性、安全性、环境适应性、保障系统及其资源等提供的信息。

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 故障树分析(FTA)一般适用于可能会导致产生安全隐患或严重影响任务完成的产品故障原因分析。

7.5.2.2 可在进行功能危险分析(FHA)、FMECA 等工作基础上,以灾难的或严重的故障事件作为顶事件进行 FTA。

7.5.2.3 FTA 工作可参照 GJB/Z 768 进行。

7.5.3 注意事项

承制方应考虑产品可能存在的多工作模式对 FTA 建树的影响。

7.6 潜在分析(工作项目 306)

7.6.1 目的

在假定产品所有组成部分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或气管路的潜在通路分析。

7.6.2.2 对安全和任务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)尽早开展潜在分析,并应随着设计的逐步细化,及时进行分析更新。

7.6.2.4 可利用线索表或其他合适的方法进行 SCA 分析,包括分析识别潜在路径、潜在时序、潜在指示和潜在标记等,并根据其危害程度采取相应的设计更改措施。

7.6.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) 潜在分析对象的选择原则;
- b) 潜在分析的方法。

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使用条件下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、辐照、负载变动等因素影响较大的关键电路特性进行分析。

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可参照 GJB/Z 223 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。

7.7.2.6 对可靠性关键的非电产品也应在参数设计基础上开展容差分析,确定合理的容差。

7.7.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) 待分析电路的选取原则;
- b) 电路容差分析的方法。

7.8 可靠性设计准则的制定和符合性检查(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,供设计人员在产品设计中贯彻实施。

7.8.2.2 应重视对相似产品曾经发生过的问题及其有效的纠正措施进行系统总结,纳入产品可靠性设计准则,以杜绝相同或相似问题的重复发生。

7.8.2.3 制定可靠性设计准则包括以下主要内容:

- a) 采用成熟的技术和工艺;
- b) 简化设计;
- c) 合理选择和正确使用元器件、标准件和原材料;
- d) 降额设计准则,其中元器件降额设计准则可参照 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,其中电子产品热设计准则可参照 GJB/Z 27 制定;
- i) 工作与非工作状态下的产品环境防护设计;
- j) 与人的因素有关的设计。

7.8.2.4 应系统地贯彻可靠性设计准则,并开展符合性检查。

7.8.2.5 可靠性设计准则符合性检查报告应作为设计评审的内容,确保产品设计与准则要求相符合。

7.8.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) 可靠性设计准则的内容应具有针对性和可操作性;
- b) 可靠性设计准则的贯彻应与可靠性分析工作相配合。

7.9 元器件、标准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、标准件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、标准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、标准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、标准件和原材料的选用指南。

7.9.2.5 承制方应对元器件和标准件淘汰问题,提出相应的对策和建议。

7.9.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) 制定优选目录的原则和程序;
- b) 选用优选目录外元器件、标准件和原材料的程序;
- c) 禁用元器件、标准件及原材料的规定;
- d) 选用的元器件质量等级和筛选要求。

7.10 确定可靠性关键产品(工作项目 310)

7.10.1 目的

分析确定可靠性关键产品,并实施重点控制。

7.10.2 工作项目要点

7.10.2.1 应通过 FMECA、FTA 或其他分析方法确定可靠性关键产品,并确定可靠性关键产品所有故障的原因。可靠性关键产品包括硬件和软件。

7.10.2.2 应形成可靠性关键产品清单,并明确相应的控制方法和试验要求。

7.10.2.3 应通过评审确定是否需要可靠性关键产品清单及其控制计划和控制方法加以增删,并评价关键产品控制和试验的有效性。

7.10.2.4 应按照 GJB 190 进行特性分析,确定可靠性关键产品的关键及重要特性,形成关键和重要特性清单,作为开展工艺分析与控制工作的输入。

7.10.3 注意事项

承制方应明确可靠性关键产品的判别准则。

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,评价功能测试、包装、贮存、装卸、运输、维修对产品可靠性的影响,并利用评价结果开展以下工作:

- a) 确定受功能测试、包装、贮存、装卸、运输和维修影响的产品和对产品主要特性的影响程度;
- b) 制定定期现场检查 and 测试的程序,并确定测试产品的数量、可接受的性能水平和允许测试的次数等;
- c) 确定包装、贮存、装卸、运输要求;

- d) 制定修复计划并确定修复方法和步骤;
- e) 预计产品的故障率,用于产品的设计改进等。

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

承制方应明确的事项:

- a) 功能测试、包装、贮存、装卸、运输和维修的条件;
- b) 对产品可靠性影响的分析评价方法。

7.12 振动仿真分析(工作项目 312)

7.12.1 目的

采用工程仿真分析方法分析振动对产品的影响,尽早发现结构和材料的抗振设计薄弱环节,并采取相应的设计改进措施。

7.12.2 工作项目要点

7.12.2.1 当设计进展到结构和材料基本确定时,可采用有限元分析(FEA)等方法对产品的振动特性及响应进行分析。

7.12.2.2 应根据产品的特点建立适当的 FEA 等仿真分析模型,确保振动仿真分析误差在工程允许的范围。

7.12.2.3 应对产品的振动影响进行分析,并根据产品的抗振能力确定设计薄弱环节。

7.12.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) 振动仿真分析的产品范围;
- b) 振动影响程度的判别准则。

7.13 温度仿真分析(工作项目 313)

7.13.1 目的

在设计过程中分析温度对产品的影响,尽早发现相关薄弱环节,及时采取设计改进措施。

7.13.2 工作项目要点

7.13.2.1 当设计进展到产品结构、材料以及温度边界条件基本确定时,采用计算流体力学分析(CFD)和有限元分析(FEA)等方法,对产品的温度(包括高温、低温及温度循环)特性、温度流场及其变化情况进行仿真分析。

7.13.2.2 应根据产品的特点建立适当的温度仿真分析模型,确保仿真分析误差在工程允许的范围。

7.13.2.3 应分析温度流场及其变化对产品的影响,包括高温或低温对产品功能和性能的影响、导致的材料物性变化以及热胀冷缩导致的机械应力损伤等,并根据其影响的严重程度确定相应的薄弱环节。

7.13.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) 温度仿真分析的产品范围;
- b) 温度影响程度的判别准则。

7.14 电应力仿真分析(工作项目 314)

7.14.1 目的

在电路设计过程中分析电应力对产品的影响,尽早发现相关薄弱环节,及时采取设计改进措施。

7.14.2 工作项目要点

7.14.2.1 当电子产品研制进展到电路设计基本确定时,应采用电路自动化设计分析(EDA)等分析方法对电路功能和性能进行仿真分析。

7.14.2.2 应根据产品的特点建立适当的电应力仿真分析模型,确保仿真分析误差在工程允许的范围。

7.14.2.3 应分析电磁干扰、电性能退化、电参数漂移以及元器件故障等对电路功能和性能的影响，并确定主要影响因素。

7.14.3 注意事项

承制方应明确的事项：

- a) 电应力仿真分析的电路范围；
- b) 电应力影响程度的判别准则。

7.15 耐久性分析(工作项目 315)

7.15.1 目的

识别可能过早发生耗损故障的产品，确定其故障的根本原因和相应的预防纠正措施，分析产品的日历寿命和工作寿命是否满足规定的要求。

7.15.2 工作项目要点

7.15.2.1 应尽早对影响产品耐久性的主要故障模式及其故障机理进行识别，并开展耐久性分析，制定预防和纠正措施。

7.15.2.2 开展耐久性分析应考虑的主要内容包括：

- a) 应综合考虑产品结构、材料特性及寿命周期的环境载荷与工作载荷等因素；
- b) 应分析产品耗损型故障对产品功能性能要求的影响，确定产品及其组成零部件的失效判据；
- c) 应一并考虑工作载荷和环境载荷对耐久性的影响；
- d) 应充分考虑产品安装位置和安装方式对耐久性的影响；
- e) 采用建模仿真的方法进行分析时，应对仿真模型进行验证，保证分析结果准确有效；采用相似产品进行耐久性分析时，应从产品结构、功能、设计、材料、制造和使用剖面等多个维度进行全面分析。

7.15.2.3 应对产品工作寿命和日历寿命同时进行分析以确定产品及各组成零部件的寿命，并制定产品有寿件清单。

7.15.3 注意事项

承制方应明确的事项：

- a) 开展耐久性分析的产品范围；
- b) 开展耐久性分析的方法。

7.16 软件可靠性需求分析与设计(工作项目 316)

7.16.1 目的

分析软件的可靠性要求及运行剖面，形成软件可靠性需求并开展软件可靠性设计。

7.16.2 工作项目要点

7.16.2.1 应结合软件运行剖面，将软件可靠性要求分析转化为软件可靠性需求，并将软件可靠性需求分配到规定层次的软件组件。

7.16.2.2 应根据软件可靠性需求并结合软件产品的特点，参照 GJB/Z 102 建立并维护软件可靠性设计准则。

7.16.2.3 应开展软件故障模式影响分析(SFMEA)和软件故障树分析(SFTA)等软件可靠性分析工作，识别潜在故障模式及故障路径，确定可靠性薄弱环节。

7.16.2.4 软件可靠性设计应和软件功能设计紧密结合，覆盖可靠性薄弱环节。

7.16.2.5 应对外购和重用软件的可靠性进行分析评估，确保其可靠性风险在可接受范围之内。

7.16.3 注意事项

主要包括：

- a) 软件可靠性需求应与软件其他需求相协调，并在软件需求规格说明中进行明确标识；
- b) 应明确软件关键及重要故障模式清单。

7.17 可靠性关键产品工艺分析与控制(工作项目 317)

7.17.1 目的

通过识别可靠性关键产品的工艺设计和生产过程薄弱环节,并采取有效的预防控制措施,保证工艺生产质量及产品可靠性水平。

7.17.2 工作项目要点

7.17.2.1 应按 GJB 3363 开展生产性分析,对确定的可靠性关键产品,明确其关键和重要特性的工艺制造方法和工艺路线,提出工艺总方案。

7.17.2.2 应对可靠性关键产品的工艺过程进行潜在失效模式和影响分析(PFMEA),识别工艺过程所有可能的故障模式及其对产品的影响,确定潜在的薄弱环节,并提出工艺改进措施。

7.17.2.3 应考虑工装设计、制造、使用以及维护保养对工艺过程的影响,适用时应考虑工装的防错功能,以防止或减少人为差错。

7.17.2.4 应对关键和重要特性形成的工艺过程,以及加工难度大、质量不稳定的工艺过程,提出控制方法和检验要求,形成控制计划,并根据控制计划编制工艺规程或作业指导书。

7.17.2.5 应按照 GJB 1269 对可靠性关键产品的工艺过程控制文件进行评审。

7.17.2.6 应对可靠性关键产品的工艺过程的受控状态及过程能力进行分析和评价。

7.17.3 注意事项

承制方应明确可靠性关键产品工艺分析与控制的主责部门和人员。

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

为研制和生产的產品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 环境应力筛选(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。承制方一般还应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 对设备可按照 GJB 1032、GJB/Z 34 或订购方认可的方法(如高加速应力筛选)进行 ESS;对电路板和组件应按有关标准规范或者订购方认可的方法进行 ESS;除纯机械产品以外的非电产品可参考相关标准规范进行 ESS。

8.1.2.4 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、产品合格判据、实施和监督部门及其工作要求等。

8.1.3 注意事项

承制方应明确的事项:

- a) ESS 采用的标准或筛选方法;
- b) 生产阶段的 ESS 方案应经订购方认可。

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和工作应力,寻找产品的设计缺陷,并进行改进设计以提高产品固有可靠性水平。

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 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。可靠性研制试验方案中应包括试验项目、受试产品、试验条件、试验方案、试验过程中监测的性能参数、产品合格判据、实施和监督部门及其工作要求等内容。订购方提出要求时，可靠性研制试验方案应经订购方认可。

8.2.2.3 可靠性研制试验的作用在于暴露产品设计缺陷，识别设计薄弱环节并验证设计余量。可靠性研制试验包括可靠性强化试验、可靠性增长试验以及可靠性摸底试验等。

8.2.2.4 可靠性增长试验可按照 GJB 1407 的要求进行。

8.2.2.5 对试验中发生的故障均应纳入 FRACAS，并对纠正措施的有效性及其试验后产品的可靠性改进情况作出说明。

8.2.3 注意事项

承制方应明确的事项：

- a) 开展可靠性研制试验的产品范围；
- b) 可靠性研制试验前和试验后应进行评审。

8.3 可靠性鉴定试验(工作项目 403)

8.3.1 目的

验证产品的设计是否达到了规定的可靠性要求。

8.3.2 工作项目要点

8.3.2.1 有可靠性指标要求的产品，应开展可靠性鉴定试验。可靠性鉴定试验一般应在第三方的试验机构进行。

8.3.2.2 可靠性鉴定试验的受试产品应代表鉴定产品的技术状态，并经订购方认定。

8.3.2.3 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，可靠性鉴定方案应明确用于鉴定试验的样本量、采用的统计试验方案、试验剖面、故障判据以及试验检测要求等试验要素。可靠性鉴定试验方案应通过评审并经订购方认可。

8.3.2.4 可靠性鉴定试验应在环境鉴定试验和环境应力筛选(ESS)完成后进行。

8.3.2.5 应制定可靠性鉴定试验的管理和监控要求。

8.3.3 注意事项

主要包括：

- a) 可靠性鉴定试验前和试验后应进行评审；
- b) 可靠性鉴定试验剖面应尽可能真实地模拟产品在实际使用中经历的主要环境应力条件。

8.4 可靠性验收试验(工作项目 404)

8.4.1 目的

验证批生产产品的可靠性是否保持在规定的水平。

8.4.2 工作项目要点

8.4.2.1 可靠性验收试验的受试产品应从批生产产品中随机抽取。

8.4.2.2 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。

8.4.2.3 可靠性验收试验方案应经订购方认可。

8.4.2.4 可靠性验收试验应在环境应力筛选(ESS)完成后进行。

8.4.2.5 应制定可靠性验收试验的管理和监控要求。

8.4.3 注意事项

主要包括：

- a) 可靠性验收试验前和试验后应进行评审；
- b) 可靠性验收试验剖面应尽可能真实地模拟产品在实际使用中经历的主要环境应力条件。

8.5 可靠性分析评价(工作项目 405)

8.5.1 目的

通过综合利用与产品有关的各种可靠性信息,评价产品是否满足规定的可靠性要求。

8.5.2 工作项目要点

8.5.2.1 可靠性分析评价一般用于试验样本量少或难以通过试验对产品的可靠性进行验证的产品。

8.5.2.2 应当充分利用相似产品和产品组成部分的各种试验数据及使用数据,作为可靠性分析评价的基础数据。

8.5.2.3 应尽早制定可靠性分析评价方案,系统说明所利用的各种数据、采用的分析方法(包括建模仿真分析方法和评价的置信水平等。可靠性分析评价方案应经订购方认可。

8.5.2.4 应制定可靠性分析评价工作的管理和监控要求。

8.5.3 注意事项

主要包括:

- a) 应对可靠性分析评价所采用数据的合理性和充分性进行说明;
- b) 应对可靠性分析评价方案及可靠性分析评价报告(结论)进行评审。

8.6 寿命试验(工作项目 406)

8.6.1 目的

验证产品在规定条件下的使用寿命或贮存寿命。

8.6.2 工作项目要点

8.6.2.1 对有寿命要求的产品应进行寿命试验,对产品的首翻期、翻修间隔期或总寿命要求进行验证。

8.6.2.2 应尽早制定寿命试验方案,明确受试样件的技术状态、样件数量、试验剖面 and 试验方法等。寿命试验方案应经订购方认可。

8.6.2.3 开展寿命试验应考虑的主要方面如下:

- a) 应考虑受试产品的使用特点,根据运行比,确定试验所用的寿命单位和试验时间;
- b) 寿命试验应尽可能模拟产品实际使用时的安装位置、安装方式和载荷条件;
- c) 开展日历寿命试验时,应考虑产品工作时的环境条件和非工作时的环境条件确定日历寿命试验剖面;
- d) 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进行。

8.6.2.4 对难以开展贮存寿命试验的产品,可以利用相似产品的贮存数据和产品组成部分的贮存寿命试验数据来评价产品的贮存寿命。

8.6.2.5 应制定寿命试验的管理和监控要求。

8.6.3 注意事项

主要包括:

- a) 寿命试验前和试验后应进行评审;
- b) 寿命试验应同时考虑工作载荷和环境条件的影响。

8.7 软件可靠性测试(工作项目 407)

8.7.1 目的

测试验证软件可靠性需求实现的充分性和有效性,同时对测试中发现的问题进行分析和定位,采取纠正措施实现软件可靠性增长。

8.7.2 工作项目要点

8.7.2.1 应根据软件故障影响的关键程度,确定开展可靠性测试的软件级别、测试类型和测试方法。

8.7.2.2 开发的可靠性测试用例集应覆盖全部软件可靠性需求。

8.7.2.3 必要时可通过故障注入方法验证软件故障模式防护措施的有效性。

8.7.2.4 应制定软件可靠性测试工作的管理和监控要求。

8.7.3 注意事项

软件可靠性测试前和测试后应进行评审。

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,为装备产品的使用可靠性评估与改进、使用与维修工作改进以及新研装备的论证与研制工作等提供信息。

9.1.2 工作项目要点

9.1.2.1 使用可靠性信息是指装备在使用、维修、贮存和运输等过程中产生的信息,包括工作时间、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工作要求;
- 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、传递和储存使用可靠性信息。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工作要求应明确。

9.2 使用可靠性评估(工作项目 502)

9.2.1 目的

评估装备产品在实际使用条件下达到的可靠性水平,验证装备产品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 使用可靠性评估应以装备在实际使用条件下收集的各种数据信息为基础,必要时也可组织专门的试验,以获得评估所需的数据信息。

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,在人员经过培训、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装备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) 使用可靠性评估可结合系统战备完好性评估等工作进行;
- b) 要求承制方参与的事项应以合同进行明确。

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取改进措施,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 对需要改进的项目,应提交原项目的专项使用可靠性评估报告。

9.3.2.3 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、人员及工作要求;
- c) 经费和进度安排;
- d) 验证要求和方法等。

9.3.2.4 改进装备使用可靠性的途径主要包括:

- a) 设计更改;
- b) 制造工艺更改;
- c) 使用与维修方法改进;
- d) 保障系统及保障资源改进等。

9.3.2.5 应全面跟踪、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以合同进行明确。

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 37 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 37 个工作项目)提供指导与参考。

A.2 确定可靠性要求及其工作项目要求

A.2.1 一般考虑

A.2.1.1 本项工作适用于各类新研装备(含现役装备改进、改型)可靠性要求的确定。

A.2.1.2 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要求。

A.2.1.3 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.2.1.4 确定可靠性要求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 为科学合理地确定可靠性要求,订购方必须明确装备的寿命剖面、任务剖面、环境剖面(参考 GJB 4239)、故障判据、验证时机和方法、初始保障方案等约束条件。

A.2.2.1.3 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.2.2.1.4 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、测试性、安全性、环境适应性以及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.2.2.1.5 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见公式(A.1):

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

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.2.2.1.6 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.2.2.1.7 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)、平均严重故障间隔时间(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见表 A.1 所示，常用的可靠性设计参数示例见表 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		平均严重故障间隔时间(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 1: $R(t)$: 可靠度。 注 2: MTBF: 平均故障间隔时间。 注 3: $P(S)$: 成功概率。 注 4: MTTF: 平均故障前时间。 注 5: $P(F)$: 故障概率。 注 6: λ : 故障率。			

A.2.2.1.8 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仍然具有参考价值。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.2.2.1.9 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、模块化设计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；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。可靠性定性要求应针对现役装备存在的主要问题，吸取类似装备在研制过程中的经验教训。

A.2.2.1.10 可靠性数据是可靠性要求论证的基础，要充分重视基础数据库的建设和信息技术的研究，广泛收集国内、外相关装备、系统、设备的质量与可靠性信息，以及不同阶段、不同试验类别的信息，注重数据的积累和使用。确定可靠性要求还应充分考虑以下方面：

- a) 现役装备和相似装备的可靠性现状和水平，存在的主要问题；
- b) 装备的任务剖面、寿命剖面及贮存、运输、作战使用及维修保障等方面的约束条件；
- c) 作战对象的可靠水平，新的作战方式分析；
- d) 国外军用装备可靠性发展趋势；
- e) 我国军用装备的发展规划；
- f) 经费与进度等约束条件；
- g) 国内的元器件、原材料等相关工业基础技术发展水平等。

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规定现的可靠性要求。可靠性工作项目的选取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。装备可靠性工作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 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 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。尽管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、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 应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维修性、测试性、安全性、环境适应性、保障系统及其资源分析提供的信息。

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产品层次,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,实现规定的可靠性目标。

A.3.1.2 订购方应在论证立项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,规定各阶段应开展的工作,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	论证立项	工程研制	鉴定定型	生产与使用
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	×	√	√	√

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 立项	工程 研制	鉴定 定型	生产与 使用
6.7	207	可靠性增长管理	×	√	√	○
6.8	208	可靠性设计核查	×	√	√	○
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	潜在分析	×	√	√	○
7.7	307	电路容差分析	×	√	√	○
7.8	308	可靠性设计准则的制定和符合性检查	△	√	√	○
7.9	309	元器件、标准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	振动仿真分析	×	√	√	○
7.13	313	温度仿真分析	×	√	√	○
7.14	314	电应力仿真分析	×	√	√	○
7.15	315	耐久性分析	×	√	√	○
7.16	316	软件可靠性需求分析与设计	△	√	√	○
7.17	317	可靠性关键产品工艺分析与控制	△	√	√	√
8.1	401	环境应力筛选	×	√	√	√
8.2	402	可靠性研制试验	×	√	√	○
8.3	403	可靠性鉴定试验	×	×	√	○
8.4	404	可靠性验收试验	×	×	△	√
8.5	405	可靠性分析评价	×	×	√	√
8.6	406	寿命试验	×	△	√	△
8.7	407	软件可靠性测试	×	△	√	○
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	×	×	×	√
注：“√”表示该阶段适用的工作项目，“△”表示该阶段可选用的工作项目，“○”表示该阶段仅产品设计更改时适用的工作项目，“×”表示该阶段不适用的工作项目。						

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。实施这些管理项目所需的人力、经费和资源有限，一般可选用。

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)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、实施单位和可靠性专项经费安排等。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。承制方应按可靠性工作计划来组织、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.3.2.2.3 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.3.2.2.4 制定可靠性工作计划应考虑以下方面的内容:

- a) 装备产品研制工作进度;
- b) 可靠性计划和上一级可靠性工作计划;
- c) 订购方对产品的可靠性要求;
- d) 可靠性指标的初步分配结果;
- e) 可靠性工作系统组织机构;
- f) 可靠性相关专项经费安排。

A.3.2.2.5 可靠性工作计划应统一纳入装备项目研制计划中,可靠性工作研制阶段(里程碑)的划分应与型号整体工作一致,并应与其他各项研制工作,包括维修性、测试性、环境适应性、安全性及综合保障工作密切协调,按照型号研制进度同步实施。加强对计划实施过程的监控与管理,保证计划的按期完成。

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 承制方对转承制方、供应方的可靠性工作的监督控制,主要包括:确定转承制产品项目和供应品项目清单,选择转承制方和供应方,提出转承制产品项目的可靠性要求和可靠性工作要求,签订

技术经济合同，对转承制产品项目的可靠性工作进行监督和控制方式，对转承制产品和供应品的可靠性工作进行验收等。

A.3.2.3.3 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.3.2.3.4 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.3.2.3.5 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.3.2.3.6 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。应根据装备研制程序、产品的特点和产品层次，确定产品论证和研制过程中的可靠性评审类型和评审点的设置。

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 对评审意见要逐条落实，积极采取改进措施，闭环归零。

A.3.2.4.6 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.3.2.4.7 集中的会议评审由于时间限制等原因，对一些细节问题来不及审查，或者对可靠性工作的落实情况也无法通过资料进行实质性的审查。因此在召开评审会议前，可依托第三方专业机构先开展技术审查，并将技术审查的结论和审查资料一并递交评审会，提高可靠性评审的有效性。

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，要进行故障复现。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、零部件以及以上各层次，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 承制方参加故障审查组织的应包括设计、可靠性、维修性、测试性、综合保障、安全性、质量管理、元器件、试验、制造等方面的代表。

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，把有关试验与可靠性试验均纳入以可靠性增长为目的的综合管理之下，促使产品经济且有效地达到预期的可靠性目标。对于新研的关键分系统或设备应实施可靠性增长管理。

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 影响可靠性增长的因素大致分为两类，一类是影响装备固有可靠性增长潜力的因素，如装备的复杂程度、研制进度要求、技术能力、技术成熟度、研制经费投入等；另一类是在具有增长潜力的前提下影响可靠性增长的保障因素，如部署使用频度、FRACAS 系统运行的有效性、部署使用改进经费投入等。根据装备自身特点综合考虑两类影响选取相关影响因素，并对其进行相应的分析。重点考虑对固有可靠性增长潜力的影响因素。

A.3.2.7.4 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.3.2.8 可靠性设计核查(工作项目 208)

A.3.2.8.1 可靠性设计核查是对产品可靠性设计分析过程开展的工作项目效果进行检查，对发现的设计缺陷采取纠正措施，实现可靠性的持续改进增长，是里程碑节点评审的有益补充。可靠性设计核查需要耗费一定的资源和时间，一般在研制阶段应对可靠性关键产品或可靠性工作中的关键问题解决的有效性开展核查。

A.3.2.8.2 可靠性设计核查是重要的管理监督手段，可以由承制方组织进行，作为管理监控的手段；也可以由订购方组织进行，作为一种重要的监督手段；可靠性设计核查，可以是自查，也可以是被查，还可以结合质量与可靠性的专项检查进行。

A.3.2.8.3 可靠性设计核查一般选择在重要的里程碑节点前开展，确保里程碑节点工作的完成和落实。核查方法根据产品的研制进展以及产品设计信息的详细程度进行选择，可以是可靠性设计分析资料审查、可靠性计算模型的校核、计算结果的核实和仿真分析、实物样机设计改进的核查等，或者几种方法结合进行。

A.3.2.8.4 应充分利用可靠性设计核查形成的证据，对各阶段产品可靠性实现的风险进行评价，尤其对可靠性设计核查发现的可靠性设计缺陷，应进行原因分析并制定纠正措施加以改进。

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 承制方应按可靠性工作计划开展可靠性设计分析工作(含可靠性研制试验)，应推行可靠性与性能、可靠性与其他通用质量特性的一体化设计，确保把可靠性要求设计到产品中去；要强化可靠性研制试验工作，尽早暴露设计缺陷和故障隐患；应根据产品层次和特点，采取系统可靠性设计分析、故障物理建模仿真、研制试验等方法开展综合的可靠性设计分析工作。

A.4.1.3 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，应强调尽早进行有效的可靠性设计与分析，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.4.1.4 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，故障模式及影响分析(FMEA)，故障树分析(FTA)，制定可靠性设计准则(如：降额设计、热设计等)，元器件、标准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，采用振动仿真分析、耐久性分析是需要考虑的可靠性工作项目；
- c) 对安全和任务关键的航天、航空产品，潜在分析、电路容差分析(最坏情况分析)是一般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302或303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，建立可靠性模型应明确产品的范围。

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(包括任务成功或严重故障的判断准则)建立相应的模型，任务可靠性模型一般是较复杂的故障逻辑关系模型。

A.4.2.1.3 建立的可靠性模型应与产品的技术状态始终保持一致，对于具有系统动态功能重构等产品特征的可靠性建模应选用合适的建模方法，必要时还应对有关模型计算结果进行分析确认。

A.4.2.1.4 可靠性建模工作最早应在方案阶段开展，为系统可靠性分配及拟定改进措施的优先顺序提供依据。随着系统研制工作的进展，可靠性模型应该不断修改完善，设计工作从粗到细地展开，可靠性框图亦可随之按级展开，越画越细。应根据合同或任务书中规定的可靠性参数，分别建立基本可靠性模型和任务可靠性模型。

A.4.2.1.5 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.4.2.1.6 可靠性建模应明确以下内容：

- a) GJB 813、其他适用的标准或型号可靠性建模指南；
- b) 系统定义(组成、功能框图、系统配置)；

- c) 系统任务定义(重构策略、任务失败判据);
- d) 系统、分系统、设备故障判据;
- e) 任务剖面。

A.4.2.2 可靠性分配(工作项目 302)

A.4.2.2.1 可靠性分配就是将装备产品的可靠性定性和定量要求逐级分解为较低层次产品(分系统、设备等)的可靠性要求,是一个由整体到局部、由上到下的分解过程。

A.4.2.2.2 进行可靠性分配时,应明确设计目标、约束条件、系统下属各级产品组成及功能定义、故障判据及有关相似产品可靠性数据等信息。

A.4.2.2.3 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.4.2.2.4 可靠性定性要求的分解传递是可靠性定性要求落实的基础。例如“简化设计”的要求,对所有产品都有共性的要求,都应在满足功能和预期使用条件的前提下,应使用较少的零部件实现多种功能,尽可能实现通用化、系列化和组合化的“三化”要求。对装备平台上不同类型和特点的产品而言,具体的工程设计要求可能差异很大,对电子产品是功能单元的简化设计、电子元器件品种和规格简化、采用集成功能电路代替分立器件等;而对机械产品可能是形状和形面简洁、配合面简化、连接关系简单等要求。

A.4.2.2.5 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。如果分配给某一层次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.4.2.2.6 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.4.2.2.7 利用可靠性分配结果可以为其他专业工程如维修性、测试性、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,不同产品及其所处的不同研制阶段,可靠性预计的详细程度及方法也可能存在差别。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 的最低产品层次相协调。

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。应注意与故障定义和任务剖面的相关性。不同的任务剖面对应不同的预计值，故障定义影响可靠性模型与预计结果。

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.4.2.3.9 系统可靠性预计时要注意运行比的影响。

A.4.2.3.10 针对产品的设计方案，应对可靠性定性要求的满足程度进行分析和估计。

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(应注意对寿命剖面和任务剖面的各个阶段可能是不同的)，以及每一种影响对可靠性、维修性、测试性、环境适应性、安全性、保障系统的要求。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) 便于落实设计改进措施的产品；
- d) 可能发生一般性故障但需要立即维修的产品等。

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 对于功能结构复杂的产品，人工判断故障影响较为困难，可采用基于功能模型的故障仿真注入的方式进行影响分析。

A.4.2.4.8 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(BIT)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. 9 FMECA 应为转阶段决策提供信息, 在有关文件(如合同、可靠性工作计划等)中应规定进行 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 故障树分析(FTA)主要是针对影响安全和任务的故障模式进行建树分析。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等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迭代, 以反映产品技术状态和工艺的变化。产品设计更改时, 应对 FTA 进行相应的修改。FTA 可按 GJB/Z 768 进行。

A. 4. 2. 5. 3 FTA 分析应考虑环境、人为因素对产品的影响, 当产品处于多个工作剖面下工作时, 应分别进行分析。

A. 4. 2. 5. 4 必须进行薄弱环节分析及重要度分析, 并提出可能的改进措施及改进的先后顺序, 分析结果一定要影响产品的设计。

A. 4. 2. 6 潜在分析(工作项目 306)

A. 4. 2. 6. 1 潜在分析(SCA)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, 通常只考虑对安全和任务关键的产品进行分析。

A. 4. 2. 6. 3 潜在功能分析检查主要内容包括:

- 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) 是否无意中形成的电源通路或能源通路能同时启动多种功能。

A. 4. 2. 6. 4 潜在路径分析检查主要内容包括:

- 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。

A. 4. 2. 6. 5 潜在时序分析检查主要内容包括：

- 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) 数字装置的噪音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”。

A. 4. 2. 6. 6 潜在指示分析检查主要内容包括：

- 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。

A. 4. 2. 6. 7 潜在标志分析检查主要内容包括：

- a) 是否每一标志都协调无误；
- b) 标志是否指示真实功能。

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，在规定的温度使用范围内，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 电路容差分析技术包括极值分析、平方根分析和蒙特卡罗分析等，电路最坏情况分析(WCCA)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，对电路性能进行分析和评价。

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，例如针对功率电路(如电源和伺服装置)的容差分析。通常要准确地列出全部可变参数及其变化范围较为困难，所以在针对关键电路进行容差分析时，要首先确定关键电路应考虑的参数、以及用于评价电路(或产品)性能的统计极限准则。

A.4.2.7.5 电路容差分析工作应该以设计人员为主来完成，并在可靠性技术人员的配合下完成容差分析报告。

A.4.2.8 可靠性设计准则的制定和符合性检查(工作项目 308)

A.4.2.8.1 产品的固有可靠性首先是设计出来的，提高产品可靠性要从设计做起。制定并贯彻实施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。在产品的设计过程中，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(强度)要大于其实际工作时所承受的负载(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的情况发生，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暴露在超出工作范围的温度环境中。电子产品的热设计可

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。人因影响设计是将人类工程学应用于可靠性设计中，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、标准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、标准件和原材料的选择与控制，尽可能地减少元器件、标准件、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 元器件和标准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，就为保证产品可靠性提供了良好的基础。

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、元器件和标准件的重要性(就成功地完成任务和减少维修次数而言)、应用数量、质量等级、维修方案等。

A. 4. 2. 9. 4 订购方应在合同中明确元器件、标准件、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、标准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。当采用新研元器件、标准件和原材料时，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标准件的安全系数、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条件下，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、标准件、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. 9. 9 建立完善的装备元器件、标准件和原材料管理机构至关重要，其职责包括制定管理计划，对各种管理文件和技术文件的贯彻和检查等。

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、可靠性研制试验、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) 对其过去的历史应用、功能或故障处置情况等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. 10. 7 对可靠性关键产品，除了设计保证外，应考虑工艺制造过程的可靠性保证工作。因此，应对可靠性关键产品的关键和重要特性进行系统识别，并作为工艺可靠性工作的输入，在工艺设计和制造过程中作为重点进行分析和控制。

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 振动仿真分析(工作项目 312)

A. 4. 2. 12. 1 随着数字化设计技术逐渐成熟并在装备产品研制工作中广泛应用，对产品并行设计和集成制造具有极大支撑作用。数字化设计和制造等先进技术手段的出现彻底改变了传统“试验—分析—改

进”的串行研制模式，产品数字样机将逐渐取代研制过程中用于工程分析的实物模型或物理样机，已经成为工业界不可逆转的趋势。依托产品数字化研制环境的计算机辅助分析(CAE)强大建模和仿真能力，为克服现有可靠性技术设计分析存在的不足、创新可靠性工程技术以及实现可靠性与产品性能的一体化设计等，提供了极为重要的基础支撑条件。对产品可靠性影响较大的振动载荷条件，可以利用 CAE 技术分析复杂产品结构强度、刚度、屈曲稳定性和动力响应等特性，并进一步定量分析产品薄弱环节的应力和应变，以及应力和应变历程对产品的可能的损伤或其他影响。

A. 4. 2. 12. 2 振动载荷对产品可靠性的影响分析，主要是振动会导致产品的动态变形、位移和损伤等。振动诱发的典型故障模式包括：疲劳断裂、摩擦磨损、紧固件松动、机械卡塞、电触点的间断、带电元器件间的接触和短路、密封失效、光学上的失调等。

A. 4. 2. 12. 3 振动仿真分析的过程主要包括：有限元(FEA)建模、模态分析、模型修正与验证、振动响应分析等工作。其中，第一步是建立产品的计算机辅助设计(CAD)模型，一般应按照产品结构的详细设计图纸建立其 CAD 模型，在满足分析要求的情况下可对几何模型进行适当简化；第二步是建立 FEA 模型分析产品的动态特性，FEA 仿真模型可以在第一步所建立的 CAD 模型基础上，根据产品振动分析的特点(如细节的简化、降维处理、结构等效和对称的利用等)进行建模，FEA 建模主要包括模型简化、网格划分、单元选择、材料属性和边界条件设定等工作；第三步是根据建立的 FEA 模型，进行计算模态分析，识别出产品的模态参数，为结构系统的振动特性分析、对产品的影响提供分析依据；第四步是 FEA 模型的修正。为了保证 FEA 模型的准确性，可通过实物试验对初始模型进行修正，一般根据测试结果对 FEA 模型进行修正，直至计算与试验相对误差满足要求；第五步，将修正后的 FEA 模型，通过加载振动环境载荷，计算产品在稳态振动激励和随机振动激励载荷下的响应，计算产品各位置点的最大位移，以及薄弱区域的应力水平；第六步是分析振动载荷对产品的影响以及影响的程度，例如累积疲劳循环数是否满足规定的要求。

A. 4. 2. 12. 4 影响振动仿真分析准确性的主要因素包括：

- a) 产品的结构参数，如产品的几何参数、材料参数和阻尼参数等；
- b) 产品的约束参数，如内部约束和外部约束条件等；
- c) 有限元分析(FEA)建模方法，如网格划分节点数，有限单元的类型等；
- d) FEA 的求解方法，如分析的参数和分析的方法等；
- e) 影响分析如疲劳损伤模型分析的精度等。

A. 4. 2. 13 温度仿真分析(工作项目 313)

A. 4. 2. 13. 1 温度是产品贮存、运输和使用中遇到的环境条件之一，温度自身及温度与其他环境综合作用，可对产品可靠性产生重要影响。例如：高温往往引起热老化、氧化、结构变化、化学反应、软化、熔化及升华、以及液体粘度下降和蒸发，物理膨胀等现象；低温使液体粘度增加和固化、材料脆化、物理收缩、产品内结冰等现象；温度循环或温度冲击造成不同材料结合部位由于热胀冷缩的不同步而产生热机械应力等；温度和其他环境条件如湿度、盐雾等会对产品造成综合性的影响。

A. 4. 2. 13. 2 采用计算流体分析(CFD)技术进行温度仿真的分析的流程一般包括产品 CFD 建模、温度求解和后处理、温度场或温度场变化对产品的影响分析等。其中，建模工作需要建立产品的 CAD 几何模型，设定几何材料属性、边界条件、环境条件和初始状态等参数条件，进行模型的网格划分，以及后台的求解和前台的显示等。

A. 4. 2. 13. 3 影响温度仿真分析准确性的的主要因素包括：

- a) 模型参数，初始建立的 CAD 模型应在保留传热特性的基础上尽量简化几何细节，简化处理是为了适应网格划分的需要；
- b) 材料参数，需要设定几何材料属性如材料导热率和泊松比等参数，CFD 软件通过这些参数来描述具体的温度相关的物理问题，这些参数设定是否准确直接影响求解结果的正确性，在参数的选取过程中，由于各种原因，部分参数可能不容易获得，这需要建模分析人员有相关经验来

处理类似问题，例如电路板的综合导热率等；

- c) 网格划分，网格划分的目的是为了将连续的物理场分割成离散的物理场，每一个离散的网格内保存了描述传热问题的物理变量，因为需要求解各离散变量之间的数学关系方程，离散变量的分布即网格质量的好坏对计算结果有显著的影响，所以在划分网格过程中需要关注生成的网格质量，衡量网格质量好坏的标准一般包括网格变化率、扭曲率、长宽比等；
- d) 在 CFD 仿真建模过程，经常会遇到某种或者多种参数无法确认的情况，此时需要根据工程经验来输入经验参数，因此在有物理实测时尽可能通过物理实测来修正参数。

A. 4. 2. 13. 4 通过温度仿真分析，可以确认设计方案的合理性并在设计阶段提出改进建议。例如对电子产品，在电子设备级可对机箱的散热方式的设计和散热工具的设计优选，PCB 组件级可进行元器件布局、过孔和覆铜等方面的设计优化，对功率器件的热管理，以及低温启动的保温设计措施等。

A. 4. 2. 14 电应力仿真分析(工作项目 314)

A. 4. 2. 14. 1 采用电路设计自动化分析(EDA)技术的建模与仿真手段，通过建立电路功能的计算机仿真模型，分析电路在元器件电参数偏差与退化、环境温度偏差，以及元器件、功能模块各种故障情况下的电路输出特性，分析电路在寿命周期内的健壮性和可靠性水平，并采取必要的设计改进措施，优化电路设计，提高电子产品的可靠性。

A. 4. 2. 14. 2 电应力仿真分析的过程包括产品 EDA 仿真模型建模(含元器件建模和产品电路建模)和电路功能可靠性分析两个部分。其中，元器件建模根据器件类型分为模拟器件建模、数字逻辑门器件建模、软件编程器件建模、硬件编程器件建模、数模混合器件建模等各种器件的建模方法；按照目前 EDA 软件提供的建模的方式，又可分为参量化模板、宏模型、MAST 语言描述、协同建模等方法等；功能单元或设备级的电路建模是在器件模型基础上的搭接，需要根据产品研制进度和产品层次，选择合适的建模方式，一般有自顶向下(Top to Down)和自底向上(Down to Top)的两种建模方式。建立的电路 EDA 模型应经过测试验证其对电路模拟的正确性。

A. 4. 2. 14. 3 要实现器件故障、电性能退化等对产品的影响进行仿真分析，还应建立这些影响因素的可仿真的基础模型。基于 EDA 建模可以通过修改器件电路参数等方式实现，器件级别的故障模式建模方法及其分类主要包括：模拟器件的开路、短路、参数漂移；数字器件的开路、短路、输出固定高电平、输出固定的低电平、输出逻辑错误、接口电平范围模糊、输入输出延时增加；与时间历程相关的电性能参数退化等。

A. 4. 2. 14. 4 在上述建立的 EDA 模型及基础故障模型的基础上，可以开展电应力瞬态和稳态降额分析、电性能退化分析以及电磁干扰等外部激励影响分析，一般通过故障注入的仿真分析方式进行。根据分析结果对电路及其设计防护措施进行优化。

A. 4. 2. 15 耐久性分析(工作项目 315)

A. 4. 2. 15. 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，为制定维修策略和产品改进计划提供有效的依据。

A. 4. 2. 15. 2 估计产品寿命必须以所确定的产品耗损故障特性为依据。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. 15. 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，从而可量化工作载荷和环境载荷，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) 通过建模仿真分析或者用相似产品数据计算零部件的寿命。

A. 4. 2. 15. 4 耐久性分析涉及到复杂的分析和计算工作，在注重基础数据积累的同时，应充分利用目前数字化建模仿真分析手段进行。

A. 4. 2. 16 软件可靠性需求分析与设计(工作项目 316)

A. 4. 2. 16. 1 装备软件在使用中发生失效(不可靠)会导致装备任务的失败，甚至导致灾难性后果。因此在软件设计过程中，对可能发生的失效应进行分析，采取必要的设计防护措施避免引起失效的缺陷潜藏在软件中。软件缺陷包括软件需求分析的不充分和代码错误等，但根据经验多数软件问题是由于软件需求分析的不充分所导致。

A. 4. 2. 16. 2 软件可靠性设计应与软件其他设计活动紧密结合，并贯穿软件研制全过程。软件可靠性设计会增加成本以及开发费用，因此在软件可靠性设计时应进行费效比权衡，选用合适的可靠性设计和分析方法。

A. 4. 2. 16. 3 应系统地识别可能导致系统分配给软件的可靠性要求无法满足的潜在原因，包括：

- a) 分析软件需求中所有外部接口输入数据的实数和整数变量的有效及无效取值等价类；
- b) 分析系统初始化过程中，软件可能面临的异常条件、异常操作和输入情况下，软件响应的正确性；
- c) 分析软件外部接口输入数据的所有可能失效模式，包括来自于系统外部的模拟量、开关量、离散量、数字型连续性数据，并分析归纳这些输入情况下，软件响应的正确性；
- d) 分析对于具有循环计数累积变量的循环，当循环次数超出该变量值域、或系统功能所容许的最大值域、或计数异常时，软件相关功能的响应正确性；
- e) 分析对违反时间特性(包括起止时间、持续时间、规定时刻、规定周期等时间特性)的输入情况下，软件响应的正确性；
- f) 对于时间累积相关的功能，例如滤波、积分、延迟等，应分析其对算数溢出保护机制的有效性；
- g) 对于工作模式与状态转移，应分析软件功能需求中未描述、或不允许的转移条件，分析是否会出现非预期的状态转移、重叠的状态转移条件、无法退出的状态、状态下不允许执行的功能、软件状态与系统状态冲突等情况；
- h) 当软件控制机械、电气等硬件工作以完成系统功能时，应分析软件耦合的相关硬件的可能失效模式，包括由于硬件故障或异常导致的软件输入失效模式，以及当软件控制硬件输出时，硬件所处的故障或异常状态下的正确性(例如硬件初始状态或位置、硬件异常状态或位置、掉电重启下硬件的状态或位置、系统故障情况下硬件的状态和位置等)等。

A. 4. 2. 16. 4 在软件可靠性设计过程中，应对可能发生的失效进行系统分析。常用的分析方法包括软件失效模式和影响分析(SFMEA)和软件故障树分析(SFTA)等。SFMEA是在软件开发阶段，通过识别软件失效模式，分析造成的后果以及各种失效模式产生的原因，寻找消除和减少其有害后果的方法；SFTA是从软件系统不希望发生的事件(顶事件)，特别是对人员和设备的安全产生重大影响的事件开始，向下逐步追查导致顶事件发生的原因，直至基本事件(底事件)，从而指导软件可靠性和安全性设计。

A. 4. 2. 16. 5 软件可靠性设计应体现预防为主方针，通过采用避错、查错、和容错等可靠性设计方法，使软件产品在设计过程中不出现错误或少出现错误，使软件在运行过程中自动查找存在的错误，以及错误发生时不影响系统的特性，或者将影响限制在容许范围内，从而提高软件可靠性。

A. 4. 2. 16. 6 应按 GJB/Z 102 制定并实施软件可靠性分析和设计准则，指导软件可靠性分析和设计工作。软件可靠性设计准则的制定应覆盖计算机软硬件系统设计、软件冗余设计、软件接口设计、软件简化设计、软件健壮性设计以及软件防错设计等方面的可靠性设计内容。

A.4.2.17 可靠性关键产品工艺分析与控制(工作项目 317)

A.4.2.17.1 产品可靠性是设计出来的,也是工艺生产保证的。工艺缺陷常常是导致产品故障的重要原因之一。在生产过程中,产品可靠性取决于零部件(元器件)的工艺保证水平、加工质量、检验方法、整机和部件的装配质量,成品的试验方法等工艺因素。

A.4.2.17.2 在产品的方案设计及详细设计阶段,工艺部门应结合生产性分析(参见 GJB 3363)的规定,尽早分析确认产品设计的可制造性,并对工艺方案的可行性、正确性、完整性和可检验性等进行系统分析,重点是根据特性分析(参见 GJB 190)确定的可靠性关键产品的关键和重要特性的工艺方案,分析和控制导致产品可靠性问题的工艺缺陷风险。

A.4.2.17.3 在工艺设计阶段,通过 PFMECA 等方法全面分析识别关键工序,提出合适的工艺方法,建立合理可行的监测要求和工序控制点,形成关键工序的控制计划。必要时应对工艺关键技术组织攻关,对工艺技术可行性进行验证。

A.4.2.17.4 工艺评审是承制单位及早发现和纠正工艺设计缺陷的有效手段。评审重点是工艺方案对预防工艺缺陷的有效性,以及对关键和重要工序控制的适宜性,也应对采用的新工艺技术、新设计方法以及批量生产的工序能力进行审查。评审范围包括工艺总方案和工艺说明书等指令性文件。

A.4.2.17.5 在首件产品的试制阶段,应按照 GJB 467、GJB 908 和 GJB 1710 的要求,抓好首件产品试制时各道工序的监测、测量与鉴定工作,分析工艺路线和工序对产品关键特性和重要特性的满足程度,对首件鉴定过程中出现的工艺及生产问题认真分析所产生的原因,必要时更改设计图样、工艺规程、制造设备要求或相应的管理程序,及时采取有效的纠正措施。

A.4.2.17.6 在首件后的生产阶段,应按照 GJB 1710 和 GJB 467 的要求,抓好生产装备状态检查和过程控制工作;按 GJB 908 要求抓好因生产工艺过程变更或批生产时的首件鉴定工作。对涉及关键和重要特性的制造过程,采用适宜的方法(如针对批量生产的统计过程控制方法)进行持续的监测和测量;对影响产品生产质量稳定性的人、机、料、法、环、测等因素进行控制。

A.4.2.17.7 针对生产过程的监测与测量结果,例如过程测量数据和可靠性验收试验结果等,应及时分析,对由于生产过程影响导致产品可靠性水平发生偏离的情况,应分析根本原因,制定纠正和预防措施,持续改进生产过程的有效性,保证产品可靠性水平。

A.4.2.17.8 承制方从产品详细设计阶段转试制一直到转批生产阶段,建议形成产品的工艺分析与控制分析报告。

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、材料器件、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，需要了解产品整个寿命剖面中所能遇到的应力与其失效机理的关系；
- b) 进行可靠性鉴定、验收试验和需要准确评估产品可靠性水平的可靠性增长试验时，首先要考虑试验的真实性，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，可采用加速应力，但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敏感的其他应力，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大纲，主要包括试验目的、受试产品的描述、试验设备、试验方案(试验时间)、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。电子产品的环境应力筛选(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相应的文件中说明。

A. 5.2.1.2 环境应力筛选(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 可作为可靠性研制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.5.2.1.7 应根据产品的特点和积累的试验和使用过程的故障信息，探索有效的环境应力筛选方法，例如高加速应力筛选(HASS)。

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(TAAF)的过程。

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，大多采用加大环境和工作应力的方式激发故障，暴露设计缺陷。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，例如可靠性增长试验和可靠性摸底试验就是这种类型。在工程研制阶段，还可以结合性能试验，开展对产品功能故障逻辑关系以及故障传播影响的包容能力进行验证，例如通过故障注入影响的试验，可以物理试验方式开展，也可以半物理半仿真方式开展，其也属于可靠性研制试验的范畴。

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，例如可靠性强化试验(RET)基本目的是使产品设计得更为健壮，其通过施加步进应力，不断发现设计缺陷，并进行改进和验证，使产品耐环境和工况的能力达到最高，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。

A.5.2.2.4 装备首次试用前一般均会开展一段时间的可靠性增长摸底试验(或可靠性摸底试验)，主要为了发现产品在设计、材料、元器件和工艺方面的缺陷，通过设计改进，提升产品的可靠性水平，并保证首次试用的安全，这类试验也属于可靠性研制试验的范畴。

A.5.2.2.5 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) 试验项目；
- d) 试验时间安排；
- e) 试验环境应力的类型、水平及施加方法；
- f) 数据的收集和记录要求；
- g) 故障判据；
- h) 纠正措施效果的验证等；
- i) 试验的组织管理要求等。

A.5.2.2.6 可靠性增长试验是一种有计划的试验、分析和改进的过程。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.5.2.2.7 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产品进行可靠性增长试验。

A.5.2.3 可靠性鉴定试验(工作项目 403)

A.5.2.3.1 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. 5.2.3.2 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(关键沿用产品)。

A. 5.2.3.3 可靠性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、环境试验报告、环境应力筛选报告等。

A. 5.2.3.4 可靠性鉴定试验是统计试验，用于验证研制产品的可靠件水平。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. 5.2.3.5 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)结合一起进行。

A. 5.2.4 可靠性验收试验(工作项目 404)

A. 5.2.4.1 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. 5.2.4.2 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，应尽可能开展可靠性验收试验。

A. 5.2.5 可靠性分析评价(工作项目 405)

A. 5.2.5.1 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. 5.2.5.2 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. 5.2.5.3 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. 5.2.5.4 应注意在不同的阶段，可靠性分析与评价报告的责任主体不同。一般，状态鉴定时由鉴定试验机构给出，列装定型和在役考核时由订购方(或用户)给出；承制方一般应从研制阶段起，及时对所研制的产品开展可靠性分析与评价，便于尽早实施可靠性持续改进工作。

A. 5.2.6 寿命试验(工作项目 406)

A. 5.2.6.1 通过寿命试验可以评价工作载荷和预期使用条件下的环境载荷对产品的影响，通过这些试验，确保产品不存在不满足寿命要求的耗损性故障以及其他问题。

A. 5.2.6.2 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. 5.2.6.3 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较低的产品层次(如零件级)进行，有的产品也可在部件级上进行。

A. 5.2.7 软件可靠性测试(工作项目 407)

A. 5.2.7.1 软件可靠性测试是验证可靠性需求满足的程度，并通过“测试—分析—纠正”的过程来验证失效防护措施的有效性，剔除测试过程发现的软件缺陷进一步提高软件的运行可靠性。当前开展的软件测评工作，主要目的是正向地验证软件产品对于功能、性能、接口等需求的覆盖程度，而对软件失效

模式的影响考虑不足,尤其是对那些具有多功能状态组合、多输入条件触发等复杂逻辑特性的失效模式的测试、以及针对可靠性需求的测试未进行针对性考虑。因此,可以在软件测评方案中可增加软件可靠性测试项。

A. 5. 2. 7. 2 软件可靠性测试工作步骤一般包括:制定单独的软件可靠性测试计划或作为软件测试计划中的一项工作,编写测试说明,实施测试、收集失效数据,开展可靠性评价,修改软件,回归测试和编写测试报告等。

A. 5. 2. 7. 3 软件可靠性测试又称软件可靠性动态验证,是根据可靠性需求以及识别出的关键和重要失效模式,针对性设计生成可靠性测试用例,并动态执行,验证软件可靠性需求的满足程度,以及是否对所有关键和重要失效模式进行了充分和有效的控制,以保证和提升软件可靠性。

A. 5. 2. 7. 4 对软件可靠性测试发生的问题,通过分析、定位并修复软件可靠性测试发现的问题,实现软件可靠性增长。

A. 5. 2. 7. 5 软件可靠性测试方案应充分考虑相似产品的失效信息。相同或类似软件、以及同系列软件的不同版本,由于功能、接口、性能等需求上存在较大的相似性,其失效信息(含软件缺陷、失效模式和功能危险等)的类型和内容也往往具有相似之处。因此若能充分积累并复用这些失效信息,纳入软件可靠性测试方案,可避免当前软件产品相同或相似失效模式的重复发生。

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,应与之协调进行。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 使用可靠性评估(工作项目 502)

A. 6. 2. 2. 1 使用可靠性评估的主要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,尽可能地发现和改进装备的使用可靠性缺陷,以及为装备的改进、改型和新装备的研制提供支持信息。

A. 6. 2. 2. 2 使用可靠性评估应尽可能在典型的实际使用条件下进行,这些条件必须能代表实际的作战和训练条件。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,使用可靠性评估应结合装备的战备完好性评估等工作一起进行。

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他有用信息。

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,应主要针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,必须与装备的其他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)

订购方、承制方等有关方在装备可靠性工作中的角色作用

B.1 概述

装备寿命期工作一般划分为论证立项、工程研制、鉴定定型、订购(生产)和使用等阶段,订购方和承制方应明确其在各阶段的可靠性工作角色。

B.2 论证立项阶段

B.2.1 订购方(军兵种装备部、军委机关分管装备机构)组织开展立项综合论证阶段的通用质量特性要求的论证,提出装备可靠性要求及可靠性工作项目要求,并进行可靠性要求与其他通用质量特性要求的协调权衡;立项批复后,订购方组织开展装备研制总要求综合论证阶段以及鉴定定型试验总案综合论证阶段的通用质量特性要求论证,将可靠性使用要求转化为合同要求,并明确可靠性考核要求;订购方依据装备研制项目的立项批复及研制总要求,与装备承制单位订立装备研制合同,合同中明确可靠性要求。在装备立项综合论证阶段,订购方应着手制定可靠性计划,对装备可靠性工作的总体要求和安排进行规定。

B.2.2 承制方在该阶段应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.3 工程研制阶段

B.3.1 承制方应根据研制总要求、研制合同要求以及订购方制定的可靠性计划,制定可靠性工作计划及年度工作计划,实施研制过程可靠性工作管理,全面落实合同要求的各项可靠性工作,开展可靠性设计分析及可靠性研制试验工作,参与或组织研制过程节点评审,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,并对装备试验和使用中暴露的设计、工艺缺陷进行改进。

B.3.2 订购方(军兵种装备部、军委机关分管装备机构和军事代表等)在该阶段应根据可靠性计划,组织制定项目管理实施方案,在方案中明确项目实施过程的可靠性管控措施,对装备寿命周期的可靠性工作进行有效管理,对承制方的可靠性工作进行监控,主持或参与可靠性评审,并对可靠性鉴定试验和可靠性验收试验的结果进行认定,按合同规定向承制方提供开展可靠性工作所必须的信息。

B.4 鉴定定型阶段

B.4.1 订购方(军兵种装备部、军委机关分管装备机构)应在其组织制定的试验总案、试验大纲中明确可靠性试验的要求和具体内容,并在其组织开展的性能鉴定试验、作战试验中完成相应的可靠性试验工作,并作为装备状态鉴定和列装定型的基本依据;根据在役考核计划和在役考核大纲中的可靠性考核要求,完成在役考核工作中的可靠性考核评价,以作为装备改进、后续装备研制的重要依据。

B.4.2 承制方在该阶段应提供必要的技术支持。

B.5 订购(生产)阶段

B.5.1 承制方应对工艺设计及制造过程中各种因素对产品可靠性的影响进行系统分析,并采用有效的方法和控制程序,以减少工艺制造过程对可靠性带来的不利影响,保持设计的可靠性水平。

B.5.2 订购方应对承制方的生产过程进行监控,确保产品可靠性水平不发生偏离。

B.6 使用阶段

B.6.1 订购方组织收集装备可靠性信息，评估装备使用可靠性水平，提出可靠性改进要求，并组织进行可靠性改进。收集的装备可靠性信息还可以为装备的使用和维修提供管理信息，为装备的改型和提出新研装备的可靠性要求提供依据等。

B.6.2 在该阶段要求承制方参与的可靠性工作事项应以合同进行明确。

各可靠性工作项目的承担者角色见表 B.1。

表 B.1 可靠性工作项目承担者角色一览表

内容	可靠性工作项目	订购方及承制方等相关单位				
		订购方	承制方	转承制方	供应方	试验机构 (第三方)
确定可靠性要求及其工作项目要求(工作项目 100 系列)	确定可靠性要求(工作项目 101)	√	√(协助)	—	—	—
	确定可靠性工作项目要求(工作项目 102)	√	√(协助)	—	—	—
可靠性管理(工作项目 200 系列)	制定可靠性计划(工作项目 201)	√	—	—	—	—
	制定可靠性工作计划(工作项目 202)	—	√	√	—	—
	对承制方、转承制方和供应方的监督和控制(工作项目 203)	√	√	—	—	—
	可靠性评审(工作项目 204)	√	√	√	—	—
	建立故障报告、分析和纠正措施系统(工作项目 205)	—	√	√	√	√
	建立故障审查组织(工作项目 206)	—	√	√	√	√
	可靠性增长管理(工作项目 207)	—	√	√	—	—
	可靠性设计核查(工作项目 208)	√	√	√	—	—
可靠性设计与分析(工作项目 300 系列)	建立可靠性模型(工作项目 301)	—	√	√	—	—
	可靠性分配(工作项目 302)	—	√	√	—	—
	可靠性预计(工作项目 303)	—	√	√	—	—
	故障模式、影响及危害性分析(工作项目 304)	—	√	√	—	—
	故障树分析(工作项目 305)	—	√	√	—	—
	潜在分析(工作项目 306)	—	√	√	—	—
	电路容差分析(工作项目 307)	—	√	√	—	—
	可靠性设计准则的制定和符合性检查(工作项目 308)	—	√	√	—	—
	元器件、标准件和原材料选择与控制(工作项目 309)	—	√	√	—	—
	确定可靠性关键产品(工作项目 310)	—	√	√	—	—
	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)	—	√	√	√	—
	振动仿真分析(工作项目 312)	—	√	√	—	—
	温度仿真分析(工作项目 313)	—	√	√	—	—

表 B.1 (续)

内容	可靠性工作项目	订购方及承制方等相关单位				
		订购方	承制方	转承制方	供应方	试验机构 (第三方)
可靠性设计与 分析(工作 项目 300 系列)	电应力仿真分析(工作项目 314)	—	√	√	—	—
	耐久性分析(工作项目 315)	—	√	√	—	—
	软件可靠性需求分析与设计(工作项目 316)	—	√	√	—	—
	可靠性关键产品工艺分析与控制(工作项目 317)	—	√	√	—	—
可靠性试验与 评价(工作 项目 400 系列)	环境应力筛选(工作项目 401)	—	√	√	√	—
	可靠性研制试验(工作项目 402)	—	√	√	—	—
	可靠性鉴定试验(工作项目 403)	√	√	√	—	√
	可靠性验收试验(工作项目 404)	√	√	√	—	√
	可靠性分析评价(工作项目 405)	√	√	√	—	√
	寿命试验(工作项目 406)	√	√	√	—	√
	软件可靠性测试(工作项目 407)	√	√	√	—	√
使用可靠性 评估与改进 (工作项目 500 系列)	使用可靠性信息收集(工作项目 501)	√	—	—	—	—
	使用可靠性评估(工作项目 502)	√	—	—	—	—
	使用可靠性改进(工作项目 503)	√	√	√	—	—

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 450B—2021

*

国家军用标准出版发行部出版
(北京东外京顺路7号)
国家军用标准出版发行部印刷车间印刷
国家军用标准出版发行部发行
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 3¼ 字数 116 千字
2022 年 2 月第 1 版 2022 年 2 月第 1 次印刷

*

军标出字第 13718 号