

ICS 03.120.01

CCS L90

# 团 体 标 准

T/CQAE\*\*\*\*\*—2023

## 制造企业可靠性工程能力评价要求

Requirements for reliability engineering capability evaluation of manufacturing industry

(报批稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中国电子质量管理协会 发布



# 目 次

前 言 .....	3
制造企业可靠性工程能力评价要求 .....	4
1 范围 .....	4
2 规范性引用文件 .....	4
3 术语和定义 .....	4
4 缩略语 .....	4
5 制造企业可靠性工作项目及种类 .....	5
6 制造企业可靠性工作项目要求 .....	6
6.1 可靠性要求 .....	6
6.1.1 确定可靠性要求 .....	6
6.1.2 确定可靠性工作项目要求 .....	6
6.2 可靠性管理 .....	7
6.2.1 制定可靠性计划 .....	7
6.2.2 制定可靠性工作计划 .....	7
6.2.3 对供方的监督和控制 .....	8
6.2.4 可靠性评审 .....	8
6.2.5 建立故障报告、分析和纠正措施系统（FRACAS） .....	8
6.2.6 建立故障审查组织 .....	9
6.2.7 可靠性增长管理 .....	10
6.2.8 可靠性设计核查 .....	10
6.3 可靠性设计与分析 .....	10
6.3.1 建立可靠性模型 .....	10
6.3.2 可靠性分配 .....	11
6.3.3 可靠性预计 .....	11
6.3.4 故障模式、影响及危害性分析（FMECA） .....	12
6.3.5 故障树分析（FTA） .....	12
6.3.6 潜在分析（SA） .....	13
6.3.7 电路容差分析 .....	13
6.3.8 可靠性设计准则的制定和符合性检查 .....	14
6.3.9 元器件、标准件和原材料选择与控制 .....	14
6.3.10 确定可靠性关键产品 .....	15
6.3.11 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 .....	15
6.3.12 振动仿真分析 .....	16
6.3.13 温度仿真分析 .....	17

6.3.14 电应力仿真分析 .....	17
6.3.15 耐久性分析 .....	18
6.3.16 软件可靠性需求分析与设计 .....	18
6.3.17 可靠性关键产品工艺分析与控制 .....	19
6.4 可靠性试验与评价 .....	19
6.4.1 环境应力筛选（ESS） .....	19
6.4.2 可靠性研制试验 .....	20
6.4.3 可靠性鉴定试验 .....	20
6.4.4 可靠性验收试验 .....	21
6.4.5 可靠性分析评价 .....	22
6.4.6 寿命试验 .....	22
6.4.7 软件可靠性测试 .....	23
6.5 使用可靠性评估与改进 .....	23
6.5.1 使用可靠性信息收集 .....	23
6.5.2 使用可靠性评估 .....	24
6.5.3 使用可靠性改进 .....	24
7 制造企业可靠性工程能力评价方法 .....	25
7.1 要求 .....	25
7.2 基础能力要素及评价方法 .....	25
7.3 工作项目实施能力要素及评价方法 .....	26
7.4 综合评价 .....	27
7.4.1 评价准则 .....	27
7.4.2 评价结果 .....	27
参考文献 .....	28

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电子质量管理协会提出并归口。

本文件起草单位：中国电子质量管理协会、中国质量认证中心、佛山市三水日明电子有限公司、火星人厨具股份有限公司、河北北芯半导体科技有限公司、陕西四菱电子科技股份有限公司、郑州原创电子科技有限公司、北京元六鸿远电子科技股份有限公司、威凯检测技术有限公司、电子科技大学、哈尔滨工程大学、华为机器有限公司、江苏林洋能源股份有限公司、安图实验仪器（郑州）有限公司、深圳市振华微电子有限公司、中国电子科技集团公司第四十三研究所、广东万和新电气股份有限公司、广东威灵电机制造有限公司、北京国信天元质量测评认证有限公司、宁德新能源科技有限公司、深圳市比亚迪锂电池有限公司、中航物资装备有限公司、中国电子科技集团公司第四十六研究所、航天科工防御技术研究试验中心、北京中标服检验技术研究院有限公司、上海柏毅实验设备有限公司、广东莱伯通试验设备有限公司、苏州上声电子股份有限公司、深圳天邦达科技有限公司、苏州祥龙嘉业电子科技股份有限公司、六和电子（江西）有限公司、广东优科检测认证有限公司、深圳市鼎准电子有限公司、福建省能源材料科学与技术创新实验室。

本文件主要起草人：李勃、邹金林、刘兆枫、李春霞、李冠群、胡用利、沈超、黄杰、毕宗明、王国军、董荷玉、王潇耿、吕素果、冯皓、刘宇、米金华、夏侯唐凡、尹赫、苏铁军、张向丰、刘聪、周文娟、陶志园、王晓卫、鲍恒伟、黄逊青、李玉杰、李媛媛、高红娜、杨栓、王娟、谈时、王高武、李小龙、李健、曾拥军、杨国富、丁晓峰、张建华、陈进嵩、邬立文、张宏波、章建军、程鹏、秦林、马廉杰。

# 制造企业可靠性工程能力评价要求

## 1 范围

本文件规定了制造企业可靠性工程实施中的工作项目内容和要求、能力要素、能力评价方法等。  
本文件适用于对制造企业的可靠性工程实施能力的评价。

注：石油化工、纺织、制药等行业企业的可靠性工程实施能力评价也可参考本文件。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GJB 450B-2021 装备可靠性工作通用要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**可靠性** reliability

在给定的条件，给定的时间区间，能无失效地执行要求的能力。

[来源：GB/T 2900.99-2016，192-01-24]

### 3.2

**工作项目** work items

根据制造企业开展可靠性工作的阶段、技术类别、性质等划分和归类的技术或管理项目。

### 3.3

**能力等级** capability level

制造企业开展可靠性工作的管理保障、资源配置和实施等达到的程度。

### 3.4

**能力评价** competency evaluation

对制造企业可靠性工程能力水平进行客观、公正、规范的评价活动。

### 3.5

**标准件** standard parts

按照国家统一规定的标准、规格生产的机械零件或部件，被广泛使用。标准化程度高，行业通用性强，也被称为通用件。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

FRACAS	故障报告、分析和纠正措施系统 (Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System)
FMECA	故障模式、影响及危害性分析 (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)
FTA	故障树分析 (Fault Tree Analysis)
SA	潜在分析 (Sneak Analysis)
FEA	有限元分析 (Finite Element Analysis)
ESS	环境应力筛选 (Environmental Stress Screening)

## 5 制造企业可靠性工作项目及种类

参照GJB 450B-2021《装备可靠性工作通用要求》，本文件在评价制造企业可靠性能力时所规定的可靠性工作项目见表1。

表1 工作项目及种类

大类	编号	工作项目名称	重要项	大类	编号	工作项目名称	重要项	
可靠性要求	101	确定可靠性要求	★	可靠性设计与分析	310	确定可靠性关键产品	★	
	102	确定可靠性工作项目要求	★		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	★	
可靠性管理	201	制定可靠性计划			312	振动仿真分析		
	202	制定可靠性工作计划	★		313	温度仿真分析		
	203	对供方的监督和控制	★		314	电应力仿真分析		
	204	可靠性评审	★		315	耐久性分析		
	205	建立故障报告、分析和纠正措施系统 (FRACAS)	★		316	软件可靠性需求分析与设计		
	206	建立故障审查组织	★		317	可靠性关键产品工艺分析与控制		
	207	可靠性增长管理	★		可靠性试验与评价	401	环境应力筛选 (ESS)	
	208	可靠性设计核查	★			402	可靠性研制试验	★
可靠性设计与分析	301	建立可靠性模型		403		可靠性鉴定试验	★	
	302	可靠性分配		404		可靠性验收试验		
	303	可靠性预计		405		可靠性分析评价	★	
	304	故障模式、影响及危害性分析 (FMECA)	★	406		寿命试验		
	305	故障树分析 (FTA)	★	407		软件可靠性测试		
	306	潜在分析 (SA)		使用可靠性评估与改进		501	使用可靠性信息收集	★
	307	电路容差分析	★			502	使用可靠性评估	★
	308	可靠性设计准则的制定和符合性检查	★			503	使用可靠性改进	★
		309	元器件、标准件和原材料的选择	★	/	/	/	/

		与控制					
注：标“★”的工作项目为“重要项”。							

## 6 制造企业可靠性工作项目要求

### 6.1 可靠性要求

#### 6.1.1 确定可靠性要求

确定可靠性定性定量要求，作为可靠性设计和考核验证的依据。主要内容涉及可靠性需求调研、可靠性要求论证、可靠性要求验证计划制定和可靠性要求评审，具体要求见表2。

表2 确定可靠性要求工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
可靠性需求调研	a) 用户对产品可靠性定性和定量要求； b) 类似产品可靠性定性和定量要求； c) 产品预期的寿命剖面； d) 相关法律法规、标准对产品的可靠性要求。
可靠性要求论证	基于可靠性需求调研结果，论证并确定产品的可靠性定性要求和定量要求。 可靠性要求的提出需要考虑： a) 项目成本规划中允许的维修、维护成本； b) 可靠性要求与安全性、维修性、测试性、保障性、环境适应性等协调。
可靠性要求验证计划制定	提出可靠性要求的验证计划或验证方案。
可靠性要求评审	评审可靠性要求的合理性、完整性。

#### 6.1.2 确定可靠性工作项目要求

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。主要内容涉及工作项目要求识别、初步确定和评审，具体要求见表3。

表3 确定可靠性工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
工作项目要求识别及初步确定	a) 时机：在产品研发初期进行，与产品研发计划同步； b) 分工：由设计师提出，可靠性人员补充，项目管理人员初步确定； c) 原则：本着经济有效原则，考虑产品要求的可靠性水平、产品类型和特点、复杂程度和关键性、新技术比例、费用、进度及所处阶段等； d) 裁剪：可靠性工作项目裁剪需要考虑合理性及每个可靠性工作项目要求，并应包括用户规定的全部工作项目。
工作项目要求评审	评审可靠性工作项目安排及要求的合理性，并确定可靠性工作项目要求。

## 6.2 可靠性管理

### 6.2.1 制定可靠性计划

制定并实施可靠性计划,全面规划产品全寿命周期的可靠性工作,以保证产品可靠性工作有效开展。主要内容涉及可靠性计划制定和评审,具体要求见表4。

表 4 制定可靠性计划

工作项目内容	工作要求
可靠性计划制定	a) 时机: 在立项论证时制定可靠性计划; b) 范围: 对产品全寿命周期的可靠性工作进行规划; c) 计划内容: 1) 应包括产品可靠性工作的总体要求和安排; 2) 应明确要进行的可靠性工作项目及其评审的安排; 3) 应明确信息收集、整理、传递、处理的要求和安排; 4) 应明确如何对供方的可靠性工作进行监督和控制; 5) 应明确可靠性评审工作的要求和安排; 6) 应明确可靠性的管理和实施部门及工作要求; 7) 应确定时间计划; 8) 应对所需经费进行预算。
可靠性计划评审	对可靠性计划进行评审和批准。

### 6.2.2 制定可靠性工作计划

制定并实施可靠性工作计划,以确保产品满足规定的可靠性要求。主要内容涉及可靠性工作计划制定、评审和完善,具体见表5。

表 5 制定可靠性工作计划

工作项目内容	工作要求
可靠性工作计划制定	a) 根据可靠性要求、可靠性工作项目要求、可靠性计划,制定可靠性工作计划; b) 进一步明确和细化可靠性定性和定量要求; c) 计划的内容: 1) 明确各个可靠性工作项目的目的、内容、范围、实施程序、完成形式、对结果的评价方式和各工作项目之间的相互关系; 2) 明确可靠性工作的管理机构和承担每个工作项目的部门/人员以及经费和其它资源的配备要求; 3) 应明确实施计划所需数据资料的获取途径以及传递方式与程序; 4) 进行可靠性评审的安排;说明可靠性工作与产品研制工作如何协调进行; 5) 说明可靠性工作涉及的关键问题,解决这些问题的方法和途径; 6) 工作进度计划的安排。
可靠性工作计划评审	组织相关部门对可靠性工作计划进行评审和批准。
可靠性工作计划完善	随着项目的实施,应在规定的节点对可靠性工作计划的完成情况进行检查,并针对发现的问题进行完善。

### 6.2.3 对供方的监督和控制

对供方（指承制方、转承制方和供应方等）的可靠性工作进行监督和控制，必要时采取相应的措施，以确保供方交付的产品符合规定的可靠性要求。主要内容涉及供方选择、产品可靠性要求传递和对供方的监督与控制，具体要求见表6。

表6 对供方的监督和控制

工作项目内容	工作要求
供方选择	对供方进行可靠性保证能力全面调查，优先选择可靠性保证能力较高的供方。
产品可靠性要求传递	a) 明确对定购产品的可靠性要求，可靠性要求应清晰、适宜、完整，包括： <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 明确可靠性要求验证的时机和方法；</li> <li>2) 明确对供方实施可靠性工作项目的要求；</li> <li>3) 明确对供方可靠性工作进行监督和检查的安排；</li> <li>4) 必要时，明确参加供方的可靠性评审、可靠性试验的要求；</li> <li>5) 明确对供方的失效分析要求；</li> <li>6) 明确对供方提供的图纸、技术文件、产品可靠性数据资料的要求。</li> </ol> b) 为确保供方正确理解产品可靠性要求，必要时可与供方进行可靠性要求的沟通。
对供方的监督和控制	a) 参加供方的可靠性评审和可靠性试验； b) 对供方的可靠性工作进行监督和检查； c) 收集供方产品的可靠性数据，参与对供方的定期评价； d) 必要时，对供方进行可靠性能力的审查。

### 6.2.4 可靠性评审

按计划进行可靠性要求和可靠性工作的评审，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。主要内容涉及可靠性评审对象确定和评审组织与实施，具体要求见表7。

表7 可靠性评审工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
可靠性评审对象确定	评审对象：可靠性要求，可靠性计划和工作计划，设计准则及检查，设计验证及确认，使用可靠性数据收集与评估等。
可靠性评审组织与实施	a) 各个阶段的可靠性评审可以与其他评审结合，也可以单独进行。评审形式可以多样； b) 评审按策划的阶段、时间节点进行； c) 提前准备评审资料，提前通知相关部门代表（必要时包括客户代表）； d) 评审结果，应形成文件，包括：评审结论、存在问题、解决措施及完成时间等； e) 跟踪督促评审提出的问题及解决落实。

### 6.2.5 建立故障报告、分析和纠正措施系统（FRACAS）

建立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。主要内容涉及建立故障报告机制、故障核实、故障原因分析及验证、分析报告编制、纠正措施验证和故障信息管理，具体要求见表8。

表 8 建立 FRACAS 工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
故障报告机制建立	a) 对产品故障定义、分类和统计原则有明确的规定； b) 故障件标识、隔离和报告时限有相应的要求； c) 对规定的故障有统一的故障报告表格，表格内容一般应包括故障阶段、故障时间、故障现象、故障部位、故障发生时的环境条件及故障发生时机； d) 督促供方建立 FRACAS 并有效运行； e) 确保在用产品的故障及时闭环。
故障核实	a) 基于故障报告的详细程度和分类，对故障情况进行调查，对故障报告的准确性进行核实； b) 故障核实应通过故障模式重现或依据故障证据进行。
故障原因分析及验证	a) 对报告的故障做相应的分析，确定故障机理和原因，以及责任方； b) 故障原因分析步骤应包括收集故障样品、统计故障样品累计工作时间、生产批次、变更信息、供应商名称、生产商名称、多批次同产品故障情况、试验分析方法等； c) 基于故障机理和原因，进行故障模拟和再现。
故障分析报告编制	a) 对整个分析过程进行总结，形成完整的故障分析报告； b) 故障分析报告应详细阐述故障调查和分析的过程、故障机理和原因及故障趋势。
纠正措施的确定、验证及固化	a) 责任方依据故障分析结论制定纠正措施； b) 评审纠正措施的有效性和可行性； c) 实施和验证纠正措施； d) 将验证后的纠正措施纳入相关技术文件，予以固化。
故障信息管理	建立故障信息库，对所有报告的故障信息进行统一管理和保存。不断充实单位的质量问题数据库，形成支撑产品可靠性工作的数据资源。

### 6.2.6 建立故障审查组织

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。主要内容涉及故障审查组织建立、故障审查实施和信息管理，具体要求见表9。

表 9 建立故障审查组织工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
故障审查组织建立	a) 建立由设计、生产、可靠性和质量保证等代表组成的故障审查组织； b) 故障审查组织的职权应明确。
故障审查实施	a) 召开故障审查会议； b) 审查故障判定的准确性及重大故障判断的正确性； c) 审查故障原因分析的正确性，纠正措施的有效性； d) 批准故障关闭。
信息管理	记录和文档均应归档。

### 6.2.7 可靠性增长管理

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。主要内容涉及可靠性增长目标确定、模型选择和计划制定，具体要求见表10。

表 10 可靠性增长管理工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
可靠性增长目标确定	根据可靠性定量要求的目标值与最低值，以及产品研制的实际情况，拟定可靠性增长目标。
可靠性增长模型选择	增长模型的确定，可参考： a) 前代产品研制过程中可靠性增长规律或模型； b) 本产品摸底试验数据； c) 标准、行业经验常用增长模型； d) 增长模型须根据研制过程中可靠性数据进行检验和调整。
可靠性增长计划制定	根据可靠性定量要求和摸底试验结果，以及研制进度安排，制定可靠性增长计划。

### 6.2.8 可靠性设计核查

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。主要内容涉及可靠性设计核查对象确定、时机选择、项目要求和结果确认，具体要求见表 11。

表 11 可靠性设计核查工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
可靠性设计核查对象确定	a) 可靠性关键产品和关键技术，特别是无法通过试验验证的关键产品和关键技术； b) 产品发生的技术状态更改情况； c) 重大质量问题及其故障闭环情况。
可靠性设计核查时机选择	在产品研制阶段各关键里程碑节点开展可靠性设计核查。
可靠性设计核查项目要求	a) 可靠性设计分析资料； b) 可靠性计算模型； c) 可靠性计算结果； d) 可靠性建模仿真结果； e) 实物样机； f) 可靠性试验； g) 质量问题改进或可靠性设计改进的内容。
可靠性设计核查结果确认	a) 形成可靠性设计核查报告，并进行可靠性设计风险评价； b) 对可靠性纠正措施的闭环管理情况进行确认。

## 6.3 可靠性设计与分析

### 6.3.1 建立可靠性模型

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。主要内容涉及产品定义、产品功能框图建立、产品可靠性框图建立和可靠性数学模型建立，具体要求见表12。

表 12 建立可靠性模型工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
产品定义	a) 明确产品的任务或工作模式； b) 明确故障判据； c) 明确产品的寿命剖面。
产品功能框图建立	a) 明确产品的功能及接口； b) 明确产品及其单元的性能参数及容许界限； c) 明确各单元间的功能关系。
产品可靠性框图建立	a) 明确框图的标题和任务； b) 明确所有规定的限制条件； c) 明确方框的顺序和标志； d) 明确方框代表性和可靠性变量； e) 明确未列入模型的单元； f) 明确方框图中的假设。
可靠性数学模型建立	a) 根据产品的特点和工作模式，选择方法拟定产品的可靠性数学模型； b) 分别建立基本可靠性模型和任务可靠性模型。

### 6.3.2 可靠性分配

将产品的可靠性要求分配或分解到规定的产品层次。主要内容涉及可靠性分配方法确定、可靠性分配实施、可靠性分配结果评估和可靠性分配优化，具体要求见表13。

表 13 可靠性分配工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
可靠性分配方法确定	基于建立的可靠性模型，根据产品所处阶段或适用条件选用相应的可靠性分配方法。
可靠性分配实施	采用选定的可靠性分配方法将产品的可靠性定量要求逐级分配到规定层次。
可靠性分配结果评估	分析分配结果的合理性，确定是否需要重新进行分配，如果分配结果不合理，则重新进行分配。
可靠性分配优化	随着设计工作的深入，可靠性模型逐步细化，可靠性分配可随之优化。

### 6.3.3 可靠性预计

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。主要内容涉及应力信息调查与分析、可靠性指标确定、可靠性预计实施和可靠性预计优化，具体要求见表14。

表 14 可靠性预计工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
应力信息调查与分析	调查对产品及其构成单元可靠性有影响的工作应力和环境应力信息，进行应力分析。
可靠性指标确定	分析产品及构成单元的失效分布、工作需求，确定对产品的何种可靠性指标进行预计。
可靠性预计实施	基于建立的可靠性模型，利用预计方法和相应的可靠性数据预计产品的基本可靠性和任务可靠

	性，并编写预计报告。
可靠性预计优化	随着设计工作的深入，可靠性模型逐步细化，可靠性分配的优化，基础可靠性数据的积累，可靠性预计可随之优化。

### 6.3.4 故障模式、影响及危害性分析（FMECA）

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。主要内容涉及FMECA工作规范制定、FMECA实施和评审，具体要求见表15。

表 15 FMECA 工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
FMECA 工作规范制定	a) 制定 FMECA 统一的规范性文件，如规定产品不同寿命阶段选用的 FMECA 方法、表格格式、定义约定层次、编码体系、故障判据等主要工作内容； b) 明确 FMECA 信息来源，如设计与生产技术规范与研制方案、可靠性设计分析及实验、相关产品历史经验信息等； c) 规范 FMECA 报告主要内容，包括报告概述、产品功能原理、系统定义、故障模式及影响分析、危害性分析结论与建议等； d) 在实施中应贯彻边设计、边分析、边改进和“谁设计、谁分析”的原则。FMECA 应覆盖产品全寿命周期，并采用分步实施策略。
FMECA 实施	a) 分析对象确定：根据产品层次、软硬件、设计、工艺、故障后果严重性等因素确定分析对象；明确产品层次关系，进行由下而上的分析迭代； b) 故障模式及原因分析：罗列产品所有可能故障及产生原因； c) 故障影响及严酷度分析：对产品可能的故障模式，分析可能产生的影响与其严重程度； d) 故障检测方法分析：对产品可能产生的故障进行检测分析，找到故障检测方法； e) 设计改进与使用补偿措施分析：针对不同故障模式，分析在设计与使用中应采取的措施； f) 危害性分析，对产品每一个故障模式的严重程度及其发生的概率所产生的综合影响进行分析，以全面评价产品中所有可能出现的故障模式的危害性。
FMECA 评审	a) 组织相关人员对 FMECA 报告进行评审，提炼出设计改进、试验验证等相关工作需求； b) 建立 FMECA 知识库，进行经验积累与产品改进。

### 6.3.5 故障树分析（FTA）

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。主要内容涉及 FTA 工作规范制定和 FTA 实施，具体要求见表 16。

表 16 FTA 工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
FTA 工作规范制定	a) 制定 FTA 统一的规范性文件，图标规范、故障判据等； b) 规范 FMECA 报告主要内容，包括分析对象确定、故障树建树、定性定量分析、分析结论与建议等； c) FTA 可在 FMECA 工作基础上进行，主要针对 FMECA 中析出的重要故障事件开展。
FTA 实施	a) 确定 FTA 的目的与 FTA 对象；

	<ul style="list-style-type: none"> <li>b) 明确对分析对象的基本假设, 对其运行、维修条件和检测手段的假设, 对其可靠性的假设;</li> <li>c) 选用相应的故障树构建方法进行故障树构建;</li> <li>d) 根据不同分析对象特点, 可进行不同的补充, 如补充系统功能框图、电路图等等;</li> <li>e) 故障树应进行规范化与简化、模块化分解以便以作统一分析与描述;</li> <li>f) FTA 的基本结果是求得的全部最小割集;</li> <li>g) 在产品相关数据完整时, 应进行故障树的定量分析, 估计故障树各底事件发生概率, 并通过真值表法、概率图法、容斥公式法等求出顶事件概率, 并根据产品需求进行重要度指标的计算, 如底事件的结构重要度、概率重要度和相对概率重要度等。</li> </ul>
--	---

### 6.3.6 潜在分析 (SA)

在假定产品所有组成部分均正常工作的情况下, 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。SA 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。主要内容涉及分析规范制定、对象识别、分析实施和结果应用, 具体要求见表 17。

表 17 SA 工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
分析规范制定	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 应制定 SA 的规范性文件;</li> <li>b) 应在设计的不同阶段, 利用已有的设计和制造资料尽早开展 SA, 并应随着设计的逐步细化, 及时进行更新分析;</li> <li>c) 应采用系统化的方法进行 SA, 以确保所有功能只有在需要时完成, 并识别出潜在状态, 同时定期建立有关的工作计划;</li> <li>d) SA 通常在设计阶段的后期设计文件完成之后进行。</li> </ul>
对象识别	对安全和任务关键的产品应进行 SA。如: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) 电路的潜在电路分析;</li> <li>b) 针对软件的 SA;</li> <li>c) 针对液或气管路的潜在通路分析。</li> </ul>
分析实施	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 开展资料收集、消化和数据预处理等准备工作;</li> <li>b) SA 包括潜在功能、潜在路径、潜在时序、潜在指示和潜在标记等分析种类;</li> <li>c) 可采用基于网络树生成和拓扑模式识别的分析方法: 首先对系统进行适当的划分以及结构上的简化, 生成网络树; 其次识别网络树中的拓扑模式; 最后结合线索表对网络树进行分析, 识别出系统中存在的潜在状态;</li> <li>d) 基于功能节点识别和路径追踪的分析方法: 首先对复杂系统进行划分和简化; 其次识别出系统中的功能节点, 追踪出功能路径; 最后结合线索表进行路径分析, 识别出系统中存在的潜在状态;</li> <li>e) 对潜在问题分类、汇总, 与设计交流确认, 最终形成 SA 报告。</li> </ul>
结果应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 分析报告结果明确且有效分析出故障所在, 并给出合理有效的优化建议;</li> <li>b) SA 的过程及技术结果形成标准性指导文件。</li> </ul>

### 6.3.7 电路容差分析

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。主要内容涉及电路容差分析对象识别、实施和结果应用, 具体要求见表 18。

表 18 电路容差分析工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
电路容差分析对象识别	a) 识别受温度和退化影响的关键电路、器件、结构、材料及其应考虑的参数； b) 识别分析对象特性参数的最大变化、容差范围以及影响参数变化的因素； c) 确定需开展容差分析的项目清单及开展阶段。
电路容差分析实施	a) 基于容差分析方法和程序开展容差分析工作，如电路容差分析程序包括确定分析电路、确定电路设计基线、电路分析、容差分析和结果判定； b) 对安全和任务关键项目开展最坏情况分析； c) 可应用多种计算分析方法和仿真分析工具开展分析； d) 容差分析活动及其结果纳入可靠性设计评审要素管理； e) 形成容差分析报告。
电路容差分析结果应用	a) 根据分析结果确定并落实可靠性改进措施，确定合理的容差要求； b) 及时总结分析经验并纳入可靠性设计准则管理。

### 6.3.8 可靠性设计准则的制定和符合性检查

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。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。主要内容涉及可靠性设计准则制定和符合性检查要求，具体如下表 19。

表 19 可靠性设计准则的制定和符合性检查工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
可靠性设计准则制定	a) 根据规定的可靠性要求，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； b) 设计准则应该包括以下主要内容： 1) 采用成熟的技术和工艺； 2) 简化设计； 3) 合理选择、正确使用元器件、零部件和原材料； 4) 降额设计； 5) 容错、冗余和防差错设计； 6) 电路容差设计； 7) 防瞬态过应力设计； 8) 热设计准则； 9) 环境保护设计（包括工作与非工作状态）； 10) 与人的因素有关的设计。 c) 可靠设计准则还应该考虑到软件可靠性设计、密封可靠性、新技术采用、机械可靠性、工艺可靠性设计、维修性设计。
符合性检查	a) 组织相关人员对设计的产品开展可靠性设计准则的符合性检查，形成设计准则符合性报告； b) 符合性报告应作为设计评审的内容。

### 6.3.9 元器件、标准件和原材料选择与控制

设计过程中需要控制元器件、标准件和原材料选择与使用。主要内容涉及要求制定、确认程序建立和专项评审，具体要求见表 20。

表 20 元器件、标准件和原材料选择与控制工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
元器件、标准件和原材料选择与控制要求的制定	a) 制定元器件、标准件和原材料选择与使用控制要求，如统一选用标准、统一采购控制、统一监制验收、统一筛选、统一失效分析； b) 制定元器件的全周期管理要求，包括选择、采购、监制、验收、筛选、保管、使用和故障分析等； c) 制定元器件、标准件和原材料的优选目录； d) 制定元器件、标准件和原材料的选用指南，包括质量等级的优先顺序、禁限用种类等； e) 制定元器件、标准件和原材料的应用指南，包括元器件降额准则、零部件安全系数、关键材料选取准则、试验和筛选要求等； f) 制定禁限用元器件、标准件和原材料的控制规定，建立禁限用元器件、原材料清单。
元器件、标准件和原材料选择与控制要求的确认程序建立	a) 纳入优选目录的确认程序； b) 选用目录外元器件、标准件和原材料的确认程序； c) 选用新器件和新材料时的验证和审批确认程序； d) 对元器件、标准件和原材料的可靠性、安全性、质量控制和耐久性分析等评价结果的确认程序。
元器件、标准件和原材料的专项评审	在产品研制开发的各阶段，开展元器件、标准件和原材料的可靠性专项评审。

### 6.3.10 确定可靠性关键产品

分析确定可靠性关键产品，并实施重点控制。主要内容涉及可靠性关键产品的确定、控制要求的明确、评审评价和特性清单编制，具体要求见表 21。

表 21 确定可靠性关键产品工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
可靠性关键产品确定	a) 应明确可靠性关键产品的判别准则； b) 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； c) 可靠性关键产品包括硬件和软件； d) 形成可靠性关键产品清单。
控制要求的明确	明确相应的控制方法和试验要求。
评审和评价	a) 应通过评审确定是否需要可靠性关键产品清单及其控制方法和试验要求进行增删； b) 评价关键产品控制和试验的有效性。
特性清单编制	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。

### 6.3.11 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

通过测试与分析，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。主要内容涉及评价分析和应用要求，具体要求见表 22。

表 22 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的要求

工作项目内容	工作要求
功能测试等对可靠性影响的评价分析	a) 应制定并实施试验和分析程序, 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; b) 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。
评价分析结果的应用	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; f) 确定后勤保障所需的信息。

### 6.3.12 振动仿真分析

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。主要内容涉及振动仿真分析的时机确定、分析实施和结果应用, 具体要求见表 23。

表 23 振动仿真分析工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
分析时机确定	当设计进展到结构和材料基本确定时, 可采用 FEA 等方法对产品的振动特性及相应进行分析。
分析实施	a) FEA 建模: 应按照产品结构的详细设计图纸建立其计算机辅助设计模型, 在满足分析要求的情况下可对几何模型进行适当简化。并建立 FEA 模型分析产品的动态特性 FEA 仿真模型可以在建立的计算机辅助设计模型基础上, 根据产品振动分析的特点进行建模, FEA 建模主要包括模型简化、网格划分、单元选择、材料属性的边界条件设定等工作; b) 模态分析: 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; c) 模型修正与验证: 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。然后将修正后的 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影响, 计算产品各位置点的最大位移, 以及薄弱区域的应力水平; d) 振动响应分析: 分析振动载荷对产品的影响以及影响程度, 例如累积疲劳循环数是否满足规定的要求; e) 通过振动仿真形成分析报告。 注: 影响分析结果准确性的因素如下: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 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;</li> <li>2) 产品的约束参数, 如内部约束和外部约束条件等;</li> <li>3) FEA 建模方法, 如网格划分节点数, 有限单元的类型等;</li> <li>4) FEA 的求解方法, 如分析的参数和分析的方法等;</li> <li>5) 影响分析如疲劳损伤模型分析的精度等。</li> </ol>

工作项目内容	工作要求
结果应用	a) 分析结果可对备选设计方案迅速作出权衡, 以便指导设计改进, 提高可靠性; b) 仿真分析的过程及技术结果形成标准性指导文件。

### 6.3.13 温度仿真分析

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。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和 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。主要内容涉及温度仿真的时机确定、分析准备、分析实施和结果应用, 具体要求见表 24。

表 24 温度仿真分析工作项目实施步骤

工作项目内容	工作要求
分析时机确定	当设计进行到结构、材料及温度边界条件基本确定时应开展温度仿真分析。
分析准备	a) 确定温度仿真分析对象, 明确产品的运行、存储环境温度、湿度范围; b) 明确温度影响程度的判别准则。
分析实施	使用 FEA、流体力学分析等方法对产品的温度特性、温度流场, 及其变化情况进行仿真分析。
结果应用	a) 使用仿真软件输出仿真结果; b) 根据仿真结果, 针对薄弱环节优化设计。
注 1: 分析的过程应确保分析误差在工程允许的范围內。	
注 2: 应分析温度流场及其变化对产品的影响, 包括高温和低温对产品的功能和性能的影响、导致的材料物理性能变化以及温度变化导致机械应力损伤等, 并根据其影响的严重程度确认相应的薄弱环节。	

### 6.3.14 电应力仿真分析

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。主要内容涉及分析时机确定、仿真模型建立、分析实施和结果应用, 具体要求见表 25。

表 25 电应力仿真分析工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
分析时机确定	当电子产品研制进展到电路设计基本确定时开展电应力仿真分析。
仿真模型建立	a) 利用电子设计自动化软件建立元器件模型, 确定元器件电参数的公差范围参数; b) 利用电子设计自动化软件建立电路功能的仿真分析模型; c) 建立元器件故障和电性能退化的仿真基础模型。
分析实施	a) 进行电路功能可靠性分析, 如电磁干扰仿真分析; b) 通过修改元器件电参数, 进行电参数漂移仿真分析; c) 开展电应力瞬态和稳态降额分析; d) 进行电性能退化仿真分析; e) 元器件和功能模块故障仿真分析, 如短路、开路、输出逻辑错误、输出接口电平错误等; f) 输出仿真结果。
结果应用	a) 根据仿真结果采取电路可靠性设计的优化措施;

b) 可靠性设计优化后进行电应力仿真分析的再验证。
---------------------------

### 6.3.15 耐久性分析

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。主要内容涉及耐久性分析的对象识别、分析准备、分析实施及结果应用，具体内容见表 26。

表 26 耐久性分析工作项目的要求

工作项目	工作要求
对象识别	a) 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； b) 对关键零部件或已知的耐久性问题进行耐久性分析。
分析准备	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。
分析实施	a) 开展耐久性分析应考虑的主要内容包含以下几点： 1) 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； 2) 应分析产品耗损型故障对产品功能性能要求的影响，确定产品及其单元的失效判断； 3) 应一并考虑工作载荷和环境载荷对耐久性的影响； 4) 应充分考虑产品安装位置和安装方式对耐久性的影响； 5) 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。 b) 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，并制定产品有寿命清单； c) 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手段进行，可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； d) 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； e) 随着产品设计过程的进展，耐久性分析应迭代进行。 f) 形成耐久性分析报告。
结果应用	耐久性分析的过程及技术结果形成标准性指导文件。

### 6.3.16 软件可靠性需求分析与设计

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。主要内容涉及软件可靠性需求确定与分配、软件可靠性设计准则建立与维护、软件可靠性设计分析实施、软件可靠性与功能设计结合，以评估外来软件的可靠性评估，具体要求见表27。

表 27 软件可靠性需求分析与设计工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
软件可靠性需求确定与分配	a) 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； b) 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书中进行明确标识。
软件可靠性设计准则建立与维护	应根据软件可靠性需求并结合软件产品的特点，建立并维护软件可靠性设计准则。
软件可靠性设计分析实施	应开展软件故障模式影响分析和软件故障树分析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。应明确软件关键及重要故障模式清单。
软件可靠性和功能设计结合	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。
外来软件的可靠性评估	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。

### 6.3.17 可靠性关键产品工艺分析与控制

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。主要内容涉及工艺总方案制定、工序质量控制要求确定、设备设施适用性分析、工艺过程控制文件编制和评审、制造与实施，以及分析与改进，具体要求见表 28。

表 28 可靠性关键产品工艺分析与控制

工作项目内容	工作要求
工艺总方案制定	a) 对可靠性关键产品的特点、结构、特性要求进行工艺分析及说明； b) 明确产品制造工艺路线和方法，包括生产设备、试验和检测设备、计算机软件等； c) 编制可靠性关键产品工艺总方案，方案应具备可行性、正确性、完整性和可检测性。
工序质量控制要求确定	a) 明确关键产品关键工序和特殊过程，规定关键工序和特殊过程的控制要求； b) 根据过程故障模式及影响分析分析结果制定关键产品质量控制图。
设备适用性分析	a) 评估生产工艺过程所涉及设备完善程度、自动化水平； b) 评估设备工艺参数； c) 确认设备满足工艺需求。
工艺过程控制文件编制和评审	a) 根据工艺总方案、质量控制图、关键和特殊工序控制要求等编制工艺控制文件（包含工艺、检验、操作指导等内容）； b) 工艺控制文件应经过评审和批准。
制造和实施	a) 按工艺过程控制文件，实施可靠性关键产品的生产制造； b) 对工艺及生产问题进行分析，及时采取纠正措施，必要时更改相关文件。
分析和改进	对生产过程监测结果、可靠性试验结果等进行分析，对因生产过程影响导致产品可靠性水平发生偏离的情况采取纠正措施，持续改进生产过程的有效性，保障产品可靠性水平。

## 6.4 可靠性试验与评价

### 6.4.1 环境应力筛选（ESS）

为研制和生产的產品建立并实施 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。主要内容涉及 ESS 范围和层次确定、筛选方案制定、筛选实施和结果评估，具体要求见表 29。

表 29 ESS 工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
--------	------

筛选范围和层次确定	<p>a) 确定工作项目适用范围, ESS 一般适用于电子产品, 包括用于电气、机电、光电和电化学产品;</p> <p>b) 确定筛选时机, 一般在产品研制阶段和生产阶段分别实施。有规定或要求时, 应对进厂的元器件进行二次筛选;</p> <p>c) 确定产品层次, 可包括元器件、电路板、组件和设备等多个层次;</p> <p>d) 确定不同层次产品。</p>
筛选方案制定	<p>根据产品不同层次, 分别确定研制和生产过程的 ESS 方案。方案内容可包括:</p> <p>a) 实施筛选的产品层次, 以及各层次产品清单以及对应标准;</p> <p>b) 筛选方法;</p> <p>c) 筛选应力类型和水平;</p> <p>d) 筛选过程中监测和测量的性能参数;</p> <p>e) 实施和监督部门及职责。</p>
筛选实施	按筛选方案对不同层次产品实施筛选, 剔除早期故障或失效
筛选结果评估	以产品使用中早期失效的数据分析与原因分析来评估 ESS 效果, 并持续改进筛选方法。

#### 6.4.2 可靠性研制试验

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, 并改进设计以提高产品的固有可靠性水平。主要内容涉及试验方案制定、实施试验和分析改进, 具体要求见表 30。

表 30 可靠性研制试验工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
试验方案制定	<p>a) 可靠性研制试验在产品研制阶段实施, 可与产品研制试验结合进行;</p> <p>b) 重点对可靠性关键产品, 尤其是新技术含量较高的产品实施可靠性研制试验;</p> <p>c) 可靠性研制试验包括可靠性强化试验、可靠性增长试验和可靠性摸底试验;</p> <p>d) 可靠性研制试验方案一般包括如下内容:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 受试产品及其说明;</li> <li>2) 试验目的和要求;</li> <li>3) 试验项目;</li> <li>4) 试验时间安排;</li> <li>5) 试验条件和方法(应力类型、水平和施加方法, 可采用加速应力);</li> <li>6) 监测的性能参数及合格判据或故障判据;</li> <li>7) 数据收集、记录要求;</li> <li>8) 故障分析及纠正措施验证要求;</li> <li>9) 组织管理要求(实施和监督部门及其工作要求)。</li> </ol>
试验实施	按可靠性研制试验方案实施可靠性研制试验。
分析和改进	<p>a) 对试验结果和数据进行分析, 实施必要的改进;</p> <p>b) 试验中发生的故障或失效, 应纳入 FRACAS。</p>

#### 6.4.3 可靠性鉴定试验

验证产品的设计是否达到了规定的可靠性要求。主要内容涉及试验方案制定、样品准备、试验实施、报告编制和评审，具体要求见表31。

表 31 可靠性鉴定试验工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
试验方案制定	a) 可靠性鉴定试验对象是新设计的产品和经过重大改进的产品； b) 制定可靠性鉴定试验方案、试验大纲、试验程序，并组织评审；试验大纲应包含样本量、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。应考虑： 1) 可靠性鉴定试验剖面应尽可能真实的模拟产品在实际使用中经历的主要环境应力条件； 2) 在鉴定试验中，应根据产品特点开展复杂气象、地理及电磁等环境下的可靠性试验，了解在极限环境条件下产品的可靠性水平； 3) 在不改变失效机理的情况下可以采用加速方法开展试验。 c) 制定可靠性鉴定试验的管理和监控要求，明确试验进度安排、试验程序、工作时间、资源要求以及受试样品的处置等。
样品准备	a) 按可靠性鉴定试验方案准备样品； b) 如可靠性计划中有要求，则受试样品应先经历环境鉴定试验和 ESS； c) 对产品进行 FMEA，梳理受试产品典型故障，便于试验后采取有效的纠正措施。
试验实施	a) 按可靠性鉴定试验方案开展试验的实施工作； b) 按要求开展相关的检测或监测工作； c) 按要求处置试验中断、样品故障等问题，及时分析故障原因； d) 记录试验相关信息，如试验设备运行情况、故障时间、故障模式； e) 试验设施和设备仪器应满足试验要求，并能溯源。
报告编制	含试验大纲、试验结果报告、故障报告、故障分析报告、纠正措施实施报告等。
试验评审	按照进行试验前评审、试验中审查以及试验后评审，对试验大纲、试验安排及试验结果等过程资料进行评审，保证试验满足相关要求。

#### 6.4.4 可靠性验收试验

验证批生产产品的可靠性是否保持在规定的水平。主要内容涉及试验方案制定、样品准备、试验实施、报告编制和评审，具体要求如表32。

表 32 可靠性验收试验工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
试验方案制定	a) 可靠性验收试验的产品对象为已交付或可交付的产品； b) 应按照相关标准规定的要求和方法制定试验统计方案； c) 应制定可靠性验收试验方案、试验大纲、试验程序；试验大纲应包含样本量、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。应考虑： 1) 可靠性验收试验剖面应尽可能真实的模拟产品在实际使用中经历的主要环境应力条件； 2) 可靠性验收试验一般抽样进行，在建立完善的管理制度后可以减少抽样的频度，为保证产品质量，应尽可能开展可靠性验收试验； 3) 在不改变失效机理的情况下可以采用加速方法开展试验。 d) 制定可靠性验收试验的管理和监控要求，明确试验进度安排、试验程序、工作时间、资源要

	求以及受试样品的处置等。
样品准备	a) 按可靠性验收试验方案准备样品； b) 如可靠性计划中有要求，则受试样品应先经历 ESS； c) 对产品进行 FMEA，梳理受试产品典型故障，便于试验后采取有效的纠正措施。
试验实施	a) 按可靠性验收试验方案开展试验的实施工作； b) 按要求开展相关的检测或监测工作； c) 按要求处置试验中断、样品故障等问题，及时分析故障原因； d) 记录试验相关信息，如试验设备运行情况、故障时间、故障模式； e) 试验设施和设备仪器应满足试验要求，并能溯源。
报告编制	含试验大纲、试验结果报告、故障报告、故障分析报告、纠正措施实施报告等。
试验评审	按照进行试验前评审、试验中审查以及试验后评审，对试验大纲、试验安排及试验结果等过程资料进行评审，保证试验满足相关要求。

#### 6.4.5 可靠性分析评价

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。主要内容涉及管理文件制定、可靠性分析评价对象确定与时机选择、分析评价方案制定、实施和结果评审，具体要求见表 33。

表 33 可靠性分析评价工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
分析评价对象确定与时机选择	a) 可靠性分析评价主要适用于可靠性要求高的复杂的、产量少的产品； b) 应在研制阶段尽早开展可靠性分析评价。
分析评价方案制定	a) 根据产品需求和具体情况制定可靠性分析评价方案，方案应详细说明所利用的各种数据、采用的分析方法； b) 如进行定量的可靠性分析评价，则需说明评价的置信水平； c) 方案应经过评审。
分析评价实施	a) 按照可靠性分析评价方案对产品进行评价； b) 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； c) 对采用数据的充分性和合理性进行说明。
分析评价结果评审	对可靠性分析评价的结果进行评审，评价产品是否满足规定的可靠性要求。

#### 6.4.6 寿命试验

验证产品在规定条件下的使用寿命或贮存寿命。主要内容涉及对象确定与时机选择、方案制定、实施和结果评审，具体要求见表 34。

表 34 寿命试验工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
寿命试验对象确定与时机选择	a) 对有寿命要求的产品进行寿命试验； b) 应在研制阶段尽早开展寿命试验。
试验方案制定	a) 明确寿命试验的类别，是使用寿命或者贮存寿命；

	<ul style="list-style-type: none"> <li>b) 根据产品需求和具体情况制定寿命试验方案，详细说明样品的技术状态、品种和数量、试验剖面、试验方法等，提出的要求应明确、详细；</li> <li>c) 方案应同时考虑工作载荷和环境条件的影响；</li> <li>d) 在不改变失效机理的情况下可以采用加速寿命试验方法；</li> <li>e) 对难以开展贮存寿命试验的产品，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；</li> <li>f) 开展日历寿命试验时，应考虑工作时的环境条件和非工作时的环境条件，以确定日历寿命试验剖面；</li> <li>g) 方案应经过评审。</li> </ul>
试验实施	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 按照寿命试验方案对产品进行试验，试验能力和管理制度能够满足试验方案的要求；</li> <li>b) 开展试验时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；</li> <li>c) 按要求开展相关的检测或监测工作；</li> <li>d) 按要求处置试验中断、样品故障等问题，及时分析故障原因；</li> <li>e) 记录试验相关信息，如试验设备运行情况、故障时间、故障模式。</li> </ul>
试验结果评审	对寿命试验的结果进行评审，评价产品的使用寿命或贮存寿命。

#### 6.4.7 软件可靠性测试

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。主要内容涉及对象确定与时机选择、方案制定、实施和结果评审，具体要求见表 35。

表 35 软件可靠性测试工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
软件可靠性测试对象确定与时机选择	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 应根据软件故障影响的关键程度，确定开展测试的软件对象和级别；</li> <li>b) 应在研制阶段尽早开展软件可靠性测试。</li> </ul>
软件可靠性测试方案制定	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 根据软件故障影响的关键程度，确定开展测试的测试类型和测试方法；</li> <li>b) 编写测试说明；</li> <li>c) 针对关键和重要失效模式，设计生成可靠性测试用例。用例集应覆盖全部软件可靠性需求；</li> <li>d) 充分考虑相似产品的失效信息；</li> <li>e) 方案应经过评审。</li> </ul>
软件可靠性测试实施	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) 按照软件可靠性测试方案对软件进行测试；</li> <li>b) 收集失效数据，开展可靠性评价；</li> <li>c) 编写测试报告。</li> </ul>
软件可靠性测试结果评审	对可软件可靠性测试的结果进行评审，对发现的问题进行分析和定位，并采取纠正措施。

#### 6.5 使用可靠性评估与改进

##### 6.5.1 使用可靠性信息收集

通过有计划地收集使用期间的各项有关数据，为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产品的论证与研制工作等提供信息。主要内容涉及使用可靠性的信息收集范围、收集内容要求和收集信息管理，具体要求见表 36。

表 36 使用可靠性信息收集工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
信息收集范围确定	a) 针对产品使用阶段的可靠性信息进行收集，确定批次、时间、环境、应用场景等限定条件，以明确信息收集范围； b) 收集同类产品的可靠性数据，进行方案的对比； c) 收集行业共享的可靠性数据和来自政府级的公用数据，进行对标。
信息收集内容要求	a) 包含型号、储存时间、安装时间、故障发生时间、故障次数、每次故障的累积工作时间、故障模式、故障分析情况、纠正措施、环境条件等； b) 行业信息、公用信息； c) 根据需求制定内容统一、规范的表格或信息系统，便于处理、共享。
信息收集管理	a) 具备可靠性收集对应的人员、职责、设备、设施等配套资源； b) 对收集内容、数据分类、数据储存、数据传递等制定规范； c) 可靠性信息的有效性得到保障，包括及时性、系统性、完整性； d) 可靠性信息的获取、处理、储存等需经过评审。

### 6.5.2 使用可靠性评估

评估产品在实际使用条件下达到的可靠性水平，验证产品是否满足规定的使用可靠性要求。主要内容涉及可靠性评估对象确定及时机选择、方案制定、评估实施和评估结果评审，具体要求见表 37。

表 37 使用可靠性评估工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
评估对象确定及时机选择	a) 确定评估的对象（器件级、模块级、整机级）； b) 在产品交付一段时间后开展使用可靠性评估。
评估方案制定	a) 制定使用可靠性评估方案，方案需明确评估的信息范围、评估程序、评估方法、评估准则、评估的参数和模型，样本量、统计的时间长度、置信水平等； b) 评估方案需要经过评审。
评估实施	a) 按评估方案实施产品的使用可靠性评估工作； b) 形成评估报告。
评估结果评审	a) 对评估过程与报告进行评审； b) 基于评估结果，判断产品设计初期所提出的可靠性要求的符合性，为下一代产品可靠性要求确定提供支撑。

### 6.5.3 使用可靠性改进

对产品使用中暴露的可靠性问题采取改进措施，以提高产品的使用可靠性水平。主要内容涉及可靠性改进计划制定、改进实施和改进效果评价，具体要求见表 38。

表 38 使用可靠性改进工作项目的要求

工作项目内容	工作要求
改进计划制定	a) 通过数据评估和论证, 制定改进优先顺序, 确定改进项目; b) 制定使用可靠性的改进方案、预期目标; c) 确定改进的人员分工、经费、进度安排、验证要求和方法等; d) 组织对改进项目、改进方案、预期的目标的评审。
改进实施	a) 根据改进计划组织开展实施; b) 实施中人员、设备、系统等资源得到保障, 实施过程记录清晰; c) 编制可靠性改进项目的报告。
改进效果评价	a) 组织对实施项目进行验证, 对改进的有效性进行评审; b) 改进过程中的经验进入知识库。

## 7 制造企业可靠性工程能力评价方法

### 7.1 要求

7.1.1 在企业的组织架构及部门职责中, 明确企业可靠性工作的主管领导、承担可靠性工作项目的部门, 将职责落实到具体的岗位或人员, 并从管理制度上保证可靠性工作落实。

7.1.2 对于表 1 中适用的工作项目, 需安排人员开展工作。承担可靠性工作项目的人员需具备《可靠性工程从业人员能力评价要求》中描述的相应能力。

7.1.3 可靠性工作的开展需要保证足够的经费预算和基础设施, 以满足实际工作项目的需要, 并确保落实。

7.1.4 可靠性工作的实施须体现在工程案例的积累, 如案例数量、质量、产品改进和技术提炼等。

7.1.5 本文件从管理保障、资源配置和实施三个维度提出对制造企业可靠性工程能力评价的相应要求。其中, 管理保障、资源配置作为企业基础能力, 按 7.2 要求进行评价; 实施能力按 7.3 对第 6 章的每个工作项目分别进行评价。

### 7.2 基础能力要素及评价方法

在按表1确定制造企业可靠性工程实施的相应工作项目后, 须先从企业层面进行基础能力评价, 主要包括管理保障和资源配置两个方面, 以确保可靠性工程有足够的基础条件, 具体见表39。

表 39 管理保障和资源配置能力要素和评价方法

能力维度	能力要素	能力说明	评价要求	分值占比
管理保障	管理制度	从企业管理文件和制度层面体现可靠性工程各个工作项目的内容、要求和时间, 并体现持续积累和提高的机制。	a) 企业管理文件或制度无相关规定, 但在研制或生产阶段的底层文件中有工作项目的简单规定: 1-4 分; b) 企业管理文件或制度无相关规定, 但在部门内部有文件对工作项目进行规定和分工: 5-8 分; c) 企业管理文件或制度有相关规定, 具备一定的完整性和可操作性: 9-14 分; d) 企业管理文件或制度有相关规定, 完整性和可操作性好: 15-20 分。	20

	职责分配	明确企业可靠性工作的主管领导，将工作项目的内容和要求分配到企业内各部门、各岗位。	a) 未明确领导，工作未分配到部门和岗位：1-4分； b) 未明确领导、工作分配部门和岗位，但在部门或岗位职能中有相关规定：5-8分； c) 有明确领导和工作分配到部门和岗位，但不够完整：9-14分； d) 有明确领导，有完整地分配到部门和岗位：16-20分。	20
资源配置	人员及能力	指相应岗位人员的数量，相应岗位等级，以及配置合理性。	a) 人员数量基本满足项目开展需求，能力最高达到《可靠性工程从业人员能力评价要求》初级水平：1-6分； b) 人员数量满足项目开展需求，能力最高达到《可靠性工程从业人员能力评价要求》中级水平：7-12分； c) 人员数量充分满足项目开展需求，能力最高达到《可靠性工程从业人员能力评价要求》高级水平：13-20分。	20
	经费	开展各个工作项目的必需经费，如人员经费、试验经费等。	a) 无经费预算，但能基本满足项目经费需求：1-6分； b) 有经费预算，且能按预算保障项目经费需求：7-12分； c) 有充足的经费预算，且项目所需经费有充分保障：13-20分。	20
	基础设施	指开展各个工作项目必备的设备、仪器、工具、场地、样品等条件。	a) 项目开展所需设施基本齐备，少量不具备需外协：1-6分； b) 项目开展所需设施齐备，但设备产能略显紧张，项目开展存在排队、延迟现象：7-12分； c) 项目开展所需设施齐备、充足，能保障项目开展顺利实施：13-20分。	20
注：总分值为100分，按实际评价得分计算。				

### 7.3 工作项目实施能力要素及评价方法

依据本文件第6章的每个工作项目内容和要求，从实施维度提出了工作项目的可靠性能力要素，并提出了针对每个能力要素的评价要求，从而对每个工作项目的能力水平进行评价，具体见表40。

表 40 工作项目的可靠性能力要素和评价方法

能力维度	能力要素	能力说明	评价要求	分值占比
实施	案例数量	该工作项目在企业开始实施的年限、案例个数； 可以利用提交的报告、技术成果、技术论文、技术标准等体现。	a) 实施1年-2年，具有个别案例：1-4分； b) 实施2年-3年，具有少量案例：5-8分； c) 实施3年-5年，具有较多案例：9-14分； d) 实施5年以上，具有大量案例：15-20分。	20
	案例质量	查看该工作项目的内容和要求实施的记录、报告，判断工程案例的技术逻辑、完整性、深度。	a) 技术逻辑有所欠缺：1-4分； b) 技术逻辑基本合理：5-8分； c) 技术逻辑比较合理：9-14分； d) 技术逻辑顺畅、合理：15-20分。	60
			a) 案例要素有所欠缺：1-4分； b) 案例要素基本完整：5-8分；	

			c) 案例要素齐全, 完整性较好: 9-14 分; d) 案例要素齐全, 完整性好: 15-20。	
			a) 案例深度不足: 1-4 分; b) 案例有一定深度: 5-8 分; c) 案例深度较好: 9-14 分; d) 案例深度足够: 15-20 分。	
	产品改进和技术提炼	该工作项目对于产品设计、工艺、物料、检测规范等改进工作的反馈效果; 该工作项目技术成果提炼效果, 包括对技术论文、技术标准等进行评定。	a) 项目执行过程中有适当反馈和改进: 1-6 分; b) 项目执行过程中有反馈和改进及时、有效: 7-12 分; c) 项目反馈和改进有效, 并提炼、形成新的技术成果: 13-20 分	20
注: 总分值为100分, 每个工作项目分别按实际评价得分计算。				

## 7.4 综合评价

### 7.4.1 评价准则

a) 表 39 给出了针对企业层面的基础能力的评价要求, 评价满分设定为 100 分; 表 40 给出了针对每一个可靠性工作项目的实施能力要素及评价方法, 每个工作项目的可靠性能力评价满分均设定为 100 分。

b) 表 1 中“重要项”是确保制造企业可靠性工程能力持续发展和提高的基础性工作项目, 但不作为限制参与评价的前提条件。

c) 制造企业可根据其产品和行业特点提出不适用工作项目申请, 最终由评价人员决定评价时是否可删减该工作项目, 对“重要项”的删减应谨慎处理。

d) 对于每个具体的工作项目, 在保持技术逻辑完整的前提下, 表 2-表 38 中规定的内容和要求可按企业或产品实际情况进行增删, 不影响该工作项目能力的评分。

e) 分值计算:

1) 总分值的满分为 100 分, 其中基础能力占比 30%, 工作项目实施能力占比 70%。

2) 基础能力分值为按表 39 评价结果分值乘以 30%得出。

3) 工作项目实施能力分值先依据表 40 开展评价的所有工作项目得分加总后取比例分值, 再乘以 70%, 即:

$$\text{项目实施能力得分} = \frac{\text{实施能力评价总得分}}{(\text{工作项目总数} - \text{删减工作项目数}) \times 100} \times 70$$

注 1: “工作项目总数”为 37。

注 2: 结果取整数。

### 7.4.2 评价结果

制造企业可靠性能力评价结果达到 60 分 (含) 以上为通过, 否则不通过。

评价结果的等级由低到高分为五级: 一级、二级、三级、四级、五级, 不同等级对应的比例分值见表 41:

表 41 制造企业可靠性能力评价结果对应评价级别示意

评价分值	评价等级
$60 \leq \text{最终得分} < 65$	一级
$65 \leq \text{最终得分} < 75$	二级
$75 \leq \text{最终得分} < 85$	三级
$85 \leq \text{最终得分} < 95$	四级
最终得分 $\geq 95$	五级

#### 参考文献

- [1] GB/T 2900.1-2008 电工术语 基本术语  
[2] GB/T 2900.99-2016 电工术语 可信性
-