

ICS 43.020  
T40

# 团 体 标 准

T/CSAEXX—2020

---

## 汽车产品可靠性增长开发指南

Development guide for reliability growth of automotive products

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

2020-XX-XX 发布

2020-XX-XX 实施

---

中国汽车工程学会 发布



## 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	4
5 概述.....	4
6 可靠性增长规划.....	6
6.1 可靠性增长规划工作流程.....	6
6.2 维修数据分析.....	7
6.3 可靠性提升空间分析.....	9
6.4 产品新内容分析.....	9
6.5 可靠性目标设定.....	10
6.6 预防性措施规划.....	11
6.7 可靠性增长试验规划.....	12
7 预防性工程.....	13
8 可靠性增长试验.....	14
9 持续改进.....	14

## 前 言

本标准按照GB/T1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由中国汽车工程学会汽车可靠性技术分会提出。

本标准起草单位：玉柴联合动力股份有限公司、上海瑞卓软件股份有限公司、北汽福田汽车股份有限公司、奇瑞汽车股份有限公司、上海理工大学、中汽中心盐城汽车试验场有限公司、上海电器设备检测所有限公司。

本标准主要起草人：陈贻云、嵇建波、刘继承、陆献强、郑松林、欧阳涛、黄慧洁、何海燕、钱立宏、陈云斌、刘东俭、刘媛。

本标准为首次发布。

本标准与其它质量管理标准的关系参见图1。



图1 本标准与其它标准的关系

# 汽车产品可靠性增长开发指南

## 1 范围

本标准规定了汽车产品可靠性增长开发的典型流程及各步骤要求。  
本标准适用于汽车产品的可靠性开发。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB/T 3187-94 可靠性、维修性术语

GB/T 4888-2009 故障树名词术语和符号

GB/T 7826-2012 系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析（FMEA）程序

GB/T 15174-2017 可靠性增长大纲

GB/T 34986-2017 产品加速试验方法

IEC 61025: 2006 Fault Tree Analysis（FTA）

## 3 术语和定义

GB/T 3187 界定的和以下术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**可靠性 reliability**

产品在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力。

### 3.2

**可靠性增长 reliability growth**

以产品的可靠性量度随时间逐步提高为特征的一种过程。

[GB/T 2900.13-2008，定义 191-17-04]

### 3.3

**可靠性增长流程 reliability growth process**

一种通用的流程，通过可靠性增长技术，实现产品的可靠性量度随着时间逐步提高的一种流程。

### 3.4

**平均故障间隔时间 mean time between failures**

产品或系统在两相邻故障间隔期内正确工作的平均时间。

注：平均故障间隔时间，也称平均无故障工作时间。它是标志产品或系统能平均工作多长时间的量，用 MTBF 表示。此

处，time 是一个广义的时间概念，对于汽车产品，一般 time 代表的是汽车运行的里程，下同。该定义或指标是针对可维修的产品或系统而定义的。

### 3.5

#### **B10 寿命 B10 life**

B10 寿命是个产品的工作时间点。产品工作到这个时间点后，预期有 10%的产品将会发生故障。

### 3.6

#### **失效 failure**

产品完成要求功能的能力的中断。

注 1：失效后，产品处于故障状态。

注 2：“失效”和“故障”的区别在于，失效是一次事件，故障是一种状态。

注 3：“失效”意味着产品本来具有执行要求的功能的能力但是后来丧失了。一旦系统设计具有满足规定性能要求的能力，可靠性失效则指该能力的中断。

### 3.7

#### **失效模式 failure mode**

任何系统或零部件停止执行其预期功能的工作的模式。

注：失效模式可用其发生的频率或者概率来表征，并纳入系统或零部件的可靠性中。

### 3.8

#### **失效模式及后果分析 failure mode and effects analysis**

对系统进行分析，以识别潜在失效模式、失效原因及其对组件（包括组件、系统或过程的性能）影响的系统化方法。

注：失效模式及后果分析简称为 FMEA。它是一套面向团队的系统的定性分析方法，其目的是：

- a) 评估产品/过程中的失效的潜在技术风险
- b) 分析失效的起因和影响
- c) 记录预防和探测措施
- d) 针对降低风险的措施提出建议

制造商考虑的风险类型很多，包括技术风险、财务风险、时间风险和战略风险。FMEA 仅用于分析技术风险，从而减少失效，提高产品和过程的安全性。

### 3.9

#### **故障 fault**

产品不能执行规定功能的状态。预防性维修或其它计划性活动或缺乏外部资源的情况除外。

注：故障通常是产品本身失效后的状态，但也可能在失效前就存在。

### 3.10

#### **故障树分析 fault tree analysis**

在系统设计过程中通过对可能造成系统失效的各种因素（包括硬件、软件、环境及人为因素）进行分析，画出逻辑框图（失效树），从而确定系统失效原因的各种组合方式或其发生概率，以计算系统失效概

率，并采取相应的纠正措施，以提高系统可靠性的一种可靠性分析方法。

注：故障树分析是系统可靠性与安全性分析工具之一。故障树分析包括定性分析和定量分析。定性分析的主要目的是：寻找导致与系统有关的不希望事件发生的原因和原因组合，即寻找导致顶事件发生的所有故障模式。定量分析的主要目的是：当给定所有底事件发生的概率时，求出顶事件发生的概率及其它定量指标。在系统设计阶段，故障树分析可帮助判明潜在的故障，以便设计改进（包括维修性设计）；在系统使用维修阶段，可帮助故障诊断，改进使用维修方案。

### 3.11

#### 预防性措施 **proactive actions**

在产品的设计开发过程中采取的降低产品失效可能的措施。

### 3.12

#### 新内容 **new contents**

产品开发中所有新更改的统称。

注：新的更改通常包括新的使用条件、新的设计、新的材料、新的供应商、新的工艺等。

### 3.13

#### 可靠性试验 **reliability test**

为验证、评价与分析产品的可靠性而进行的各种试验。

### 3.14

#### 可靠性增长试验 **reliability growth test**

为提升产品可靠性而进行的试验规划、执行与可靠性评估的可靠性试验（验证方法）。

### 3.15

#### 可靠性目标分配 **reliability targets allocation**

将系统可靠性目标合理地分配给该系统的各个单元，确定系统各组成单元（总成、分总成、组件、零件）的可靠性目标定量要求。

### 3.16

#### 单位（机）失效数 **failure per unit**

产品上市后在一段时间内平均到每台车的失效数。

### 3.17

#### 千台失效数 **incidents per thousand vehicles**

每千台车的失效数量，即 Incidents Per Thousand Vehicles

### 3.18

#### 12个月服役期内的千台失效 **incidents per thousand vehicels in 12 months in service**

12个月服役期内的千台失效数。

注：汽车行业经常用 12MIS 来表示。

### 3.19

## 故障报告、分析与纠正措施系统 **failure report analysis and corrective action system**

一个跟踪与解决产品开发或制造过程中问题的闭环系统。

注：一般通过及时报告产品的故障，分析故障原因，制定与实施有效的纠正措施，以防止故障再现，最终改善产品的可靠性。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

RG：可靠性增长 (Reliability Growth)

RGP：可靠性增长流程 (Reliability Growth Process)

MTBF：平均故障间隔时间 (Mean Time Between Failure)

FMEA：失效模式及后果分析 (Failure Mode and Effects Analysis)

FTA：故障树分析 (Fault Tree Analysis)

NC：新内容 (New Contents)

RGT：可靠性增长试验 (Reliability Growth Test)

IPTV：千台失效数 (Incidents Per Thousand Vehicles)

12MIS：12个月服役期内的千台失效数 (12 Months In Service)

6MIS：6个月服役期内的千台失效数 (6 Months In Service)

FRACAS：故障报告、分析与纠正措施系统 (Failure Report Analysis and Corrective Action System)

ARINC：美国航空电子工程委员会 (Aeronautical Radio, Incorporated)

AGREE：美国电子设备可靠性咨询组 (Advisory Group on Reliability of Electronic Equipment)

CAE：计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering)

## 5 概述

本标准描述的可靠性增长技术，应用于汽车产品可靠性开发活动，如图2所示。可靠性增长流程贯穿于从最初的产品概念设计到最后的上市整个产品设计开发周期。

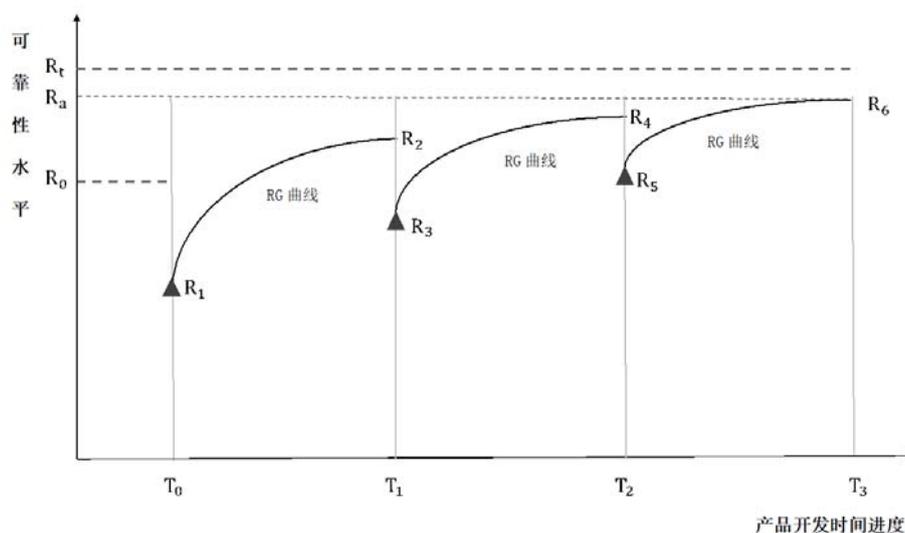


图2 可靠性增长概念图

说明:

$R_t$ : 可靠性增长目标

$R_0$ : 对标或参考产品可靠性水平

$R_a$ : 完成可靠性增长最后达成的可靠性水平

$R_1$ 、 $R_3$ 、 $R_5$ : 产品开发各阶段可靠性增长之前的初始可靠性值

$R_2$ 、 $R_4$ 、 $R_6$ : 产品开发各阶段实施可靠性增长后达到的可靠性值

$T_0$ : 可靠性增长起始时间

$T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ : 产品开发各时间节点, 如设计冻结点、试验验证完成点等

RG 曲线: 对可靠性增长过程跟踪记录的可靠性变化值

本标准描述的产品开发阶段的可靠性增长实施流程分成三个部分: 可靠性增长规划、预防性措施与可靠性增长试验。可靠性增长在开发过程中总体示意如图 3 所示。

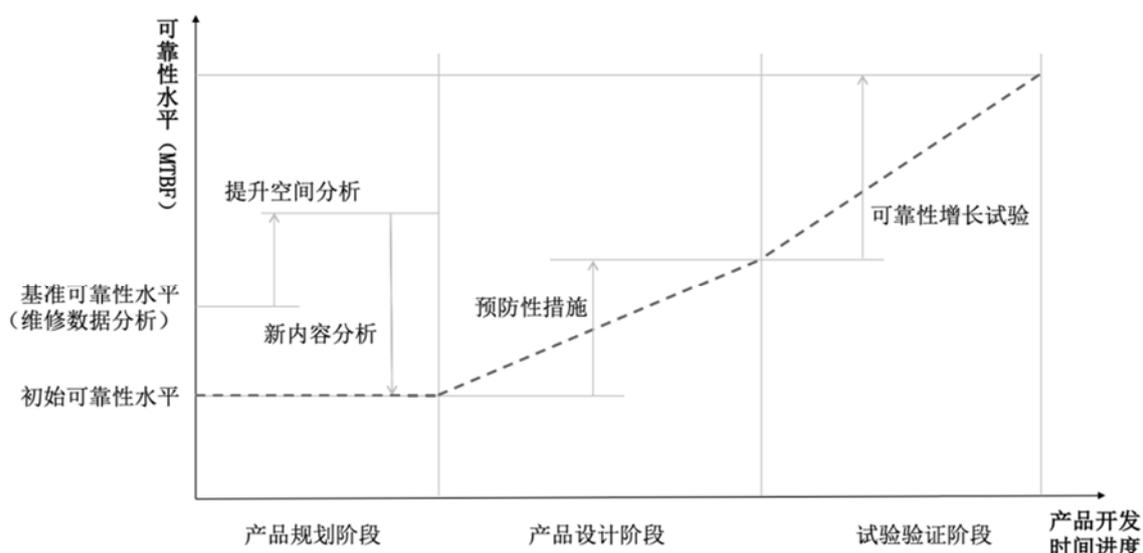
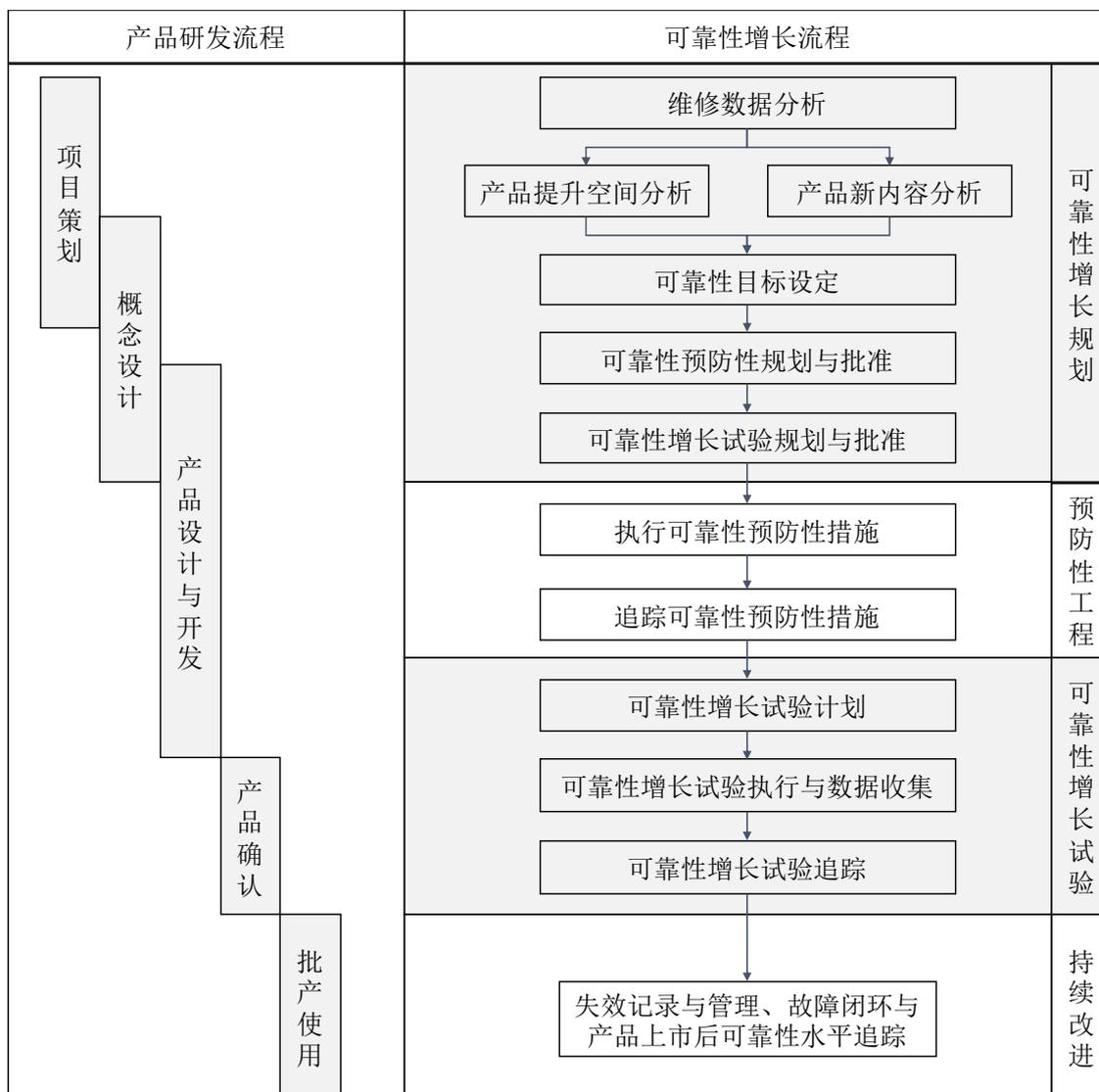


图 3 可靠性增长在开发过程中总体示意图

可靠性增长工作贯穿于产品研发流程中, 表 2 详细展示了可靠性增长流程三个阶段的主要任务。

表 2 产品开发流程与可靠性增长流程



## 6 可靠性增长规划

### 6.1 可靠性增长规划工作流程

可靠性增长规划是通过维修数据分析和产品新内容分析，确定新产品可靠性风险和提升空间，为可靠性目标设定、可靠性预防性措施及可靠性增长试验的规划与执行制定提供支持，同时对增长计划进行投资回报分析，确保获得批准和实施的可行性。可靠性增长规划主要分以下几个步骤：

- 1) 维修数据分析
- 2) 可靠性提升空间分析
- 3) 产品新内容分析
- 4) 可靠性目标设定
- 5) 预防性措施规划
- 6) 可靠性增长试验规划

## 6.2 维修数据分析

### 6.2.1 维修数据分析工作的目的及要求

维修数据是产品在客户使用阶段收集的、能够客观反映产品真实使用条件下的产品可靠性水平的数据。维修数据分析的目的是对基准产品开展数据分析，为可靠性增长规划提供数据支撑。

维修数据分析工作开展要求如下：

- 1) 组织应明确维修数据收集和分析的责任部门与人员职责等；
- 2) 组织应建立以产品可靠性为中心的数据库并定期维护相关数据；
- 3) 除了维修数据之外，维修数据分析还需要其它相关的数据如产品信息、生产信息等。

### 6.2.2 维修数据分析工作的流程

#### 1) 产品使用率分析

产品使用率分析是基于维修数据中产品的使用情况，分析产品的平均使用率。

对于汽车产品，一般用年均使用里程来衡量。通过年均使用里程，了解产品的使用条件，为计算可靠性指标（如 MTBF 等）及设定新产品可靠性目标提供依据。

#### 2) 单台失效数分析

单台失效数分析是产品在特定单位使用时间内（如产品上市后的 3 个月、6 个月与 12 个月等）的失效数统计分析，是评定整机与系统可靠性的重要指标。

在汽车行业一般常用的指标为 IPTV 或者 12MIS 等，这些指标可以通过单台失效数进行转换。

注：该分析可以帮助用户快速了解整机或系统的可靠性水平。不同产品在同等的使用率条件下，失效数越高，表示产品的可靠性水平越低。

#### 3) 单台失效数与运行时间关系

指定运行时间范围内的累积失效数与运行时间的关系分析。该分析可获得产品的关键失效信息（如早期失效期等）以及产品的 MTBF 分析，得到合理的整车级可靠性指标。

#### 4) 单台失效数趋势分析

分析不同生产批次产品的可靠性水平变化。该分析可以从失效角度来评价产品的可靠性改进是否有效，产品制造与采购以及使用过程中是否存在异常等情况。

#### 5) 子系统/零部件单台失效数分布

按照子系统/零部件名称逐级对失效数进行统计分析，了解子系统与零部件的失效率占比，定位高失效的子系统与零部件，为后续可靠性整改、可靠性目标设定、新内容分析、预防性措施规划以及零部件寿命数据分析等提供依据。

#### 6) 单台维修费用分析

分析指定运行时间范围内的单台维修成本。它是评定某产品整机、子系统和零部件维修成本的重要指标。

#### 7) 单台维修成本与运行时间关系

指定运行时间范围内的累积单台维修成本与运行时间的关系，从而了解运行周期内维修成本变化情况。

8) 单台维修费用趋势分析

按产品批次进行维修成本趋势分析，从成本角度确认产品是否得到改进或改进后的产品维修成本是否存在异常情况等。

9) 子系统/零部件单台维修成本分布

按照子系统/零部件名称逐级对单台维修成本进行统计分析，了解子系统与零部件的维修成本分布与占比，定位高维修成本的子系统/零部件。

10) 寿命数据分析

寿命数据分析是基于零部件失效的寿命分布，分析一定置信区间下的寿命（或者可靠度分析），常用的指标是 B10 寿命。

注：在维修数据中，有大量的关于零部件失效寿命的数据，如第 5) 点中提到的关于维修数据中失效比较高的零部件，可以通过该零部件各失效模式对应的寿命，获得该零部件的寿命分布，分析该零部件的 B10 寿命。寿命数据分析数据来源不单纯是维修数据，在零部件寿命试验过程中也会有很多零部件失效的寿命数据，也可以基于此开展寿命数据分析。

图 4 是部分维修数据分析结果示例。

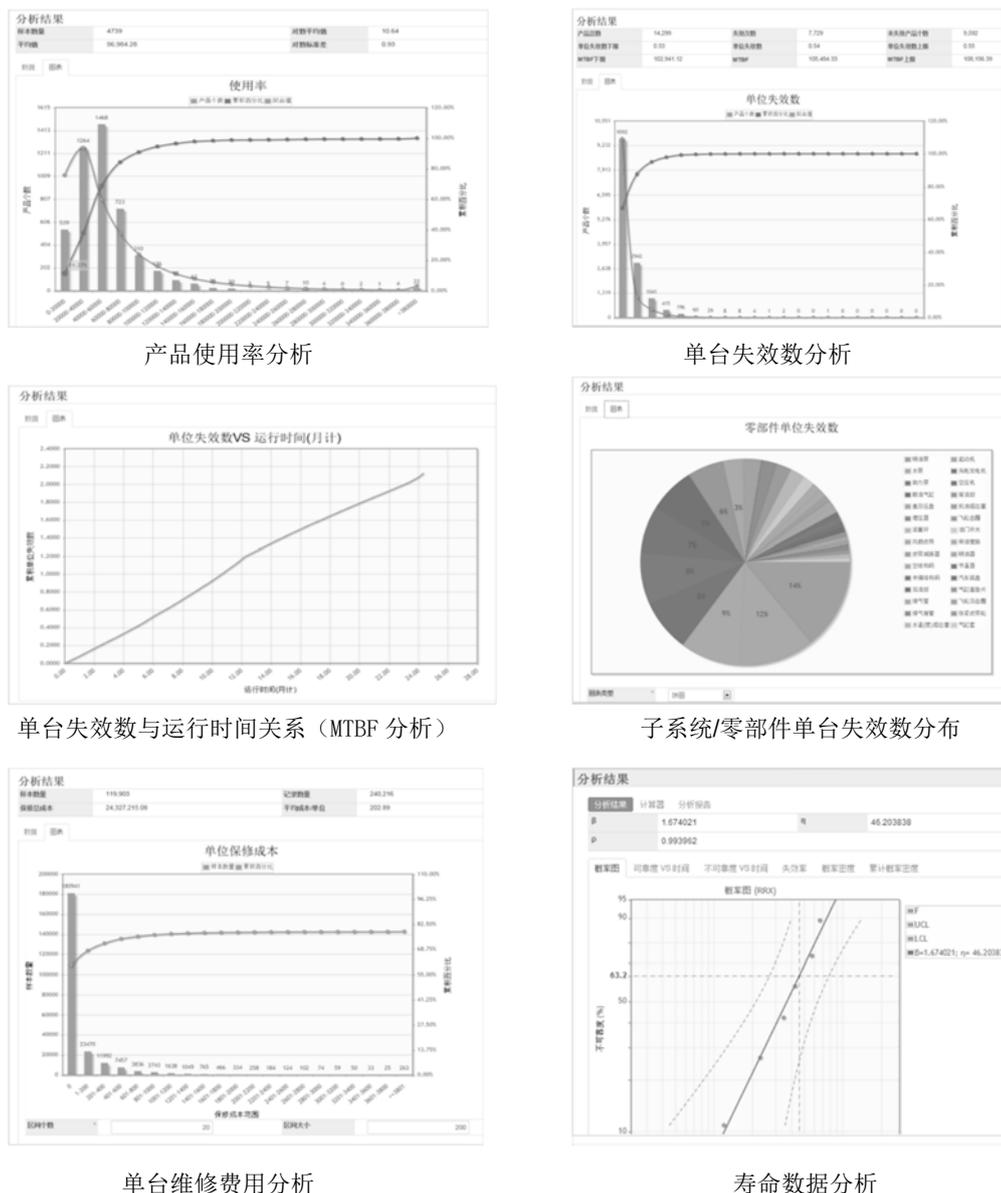


图 4 维修数据分析结果示例

### 6.3 可靠性提升空间分析

可靠性提升空间分析是针对新设计产品中沿用件的可靠性风险，评估采用设计改进措施后，预防失效风险的程度，用提升百分比表示。

可靠性提升空间分析工作的依据是沿用件的历史失效情况，分析过程须确定失效模式、失效数量、失效占比、制定改进措施并评估可靠性提升机会。

表 3 是某产品可靠性提升空间分析示例。

表 3 产品可靠性提升空间分析示例

零部件名称	基准产品 6MIS	总失效数量	失效模式	失效数量	失效占比	改进措施	可靠性提升机会-针对失效	综合可靠性提升机会
前照灯总成	27.081	263	密封不严、进水气	170	64.64%	1. 在固定脚处增加两个固定螺丝 2. 在转向灯座上增加防水护套	30%	31%
			大灯不亮	38	14.45%	灯座铜片热处理增加弹性	50%	
			灯光无法调整	15	5.70%	1. 按照标准卡板进行反射镜位置调整 2. 更换调光齿轮	50%	
			清故障码后修复	15	5.70%	/	0	
			其它	25	9.51%	/	0	

### 6.4 产品新内容分析

#### 6.4.1 产品新内容分析的目的和要求

产品新内容（NC）是指新产品开发过程中在基准产品的基础上增加一些新的零件，或者使用一些新的技术或更改（如新的设计、材料、工艺、方法、供应商等），这些新技术、更改和新零件是导致新产品产生失效的主要潜在因素。

产品新内容分析主要评估新内容的风险等级，确定产品级可靠性风险系数，并结合维修数据的分析结果，估算出该产品在设计完成后的初始可靠性水平，作为后续可靠性预防性措施规划与可靠性增长规划的输入。

产品新内容分析的工作开展要求如下：

- 1) 新内容分析工作由可靠性工程人员牵头，同时产品工程师、设计工程师、分析工程师、试验工程

师、质量工程师等须共同参与；

- 2) 新内容分析需要收集沿用件相关可靠性数据，以及定义新的子系统与零部件的历史失效水平。

#### 6.4.2 产品新内容分析的工作流程

- 1) 首先确定基准产品，并分析基准产品的可靠性水平；
- 2) 确定新产品中新引入的子系统与零部件，收集及分析历史类似产品的失效分布（若无历史数据，可以基于行业的数据或相关标准数据）；
- 3) 确定沿用件或新引入的子系统与零部件的风险等级，如高、中、低等风险评价准则与相关评分准则；
- 4) 评价各子系统或零部件的风险系数，获得产品级别的风险系数。风险系数一般应综合考虑各子系统或零部件历史失效水平以及在新产品中的风险等级；

图 5 是可靠性新内容分析的示例。

The screenshot shows a software interface for risk assessment. The top section is titled '基本信息' (Basic Information) and contains the following data:

名称	B车风险分析
分析对象	B车
基准确定	所有零部件同一基准(A车)
基准可靠性指标	年失效率(AFR)
描述	

The bottom section is titled '风险信息' (Risk Information) and shows a '综合风险系数' (Overall Risk Coefficient) of 312.32. Below this is a table with columns for '零部件' (Parts), '风险' (Risk), '基准' (Benchmark), and '设计变更' (Design Change). The '风险' column is further divided into '系数' (Coefficient) and '等级' (Level). The '基准' column is divided into '年失效率 (AFR)' (Annual Failure Rate) and '等级' (Level). The '设计变更' column is divided into '设计' (Design), '材料' (Material), '供应商' (Supplier), '制造工艺' (Manufacturing Process), and '应用' (Application).

零部件	风险		基准		设计变更				
	系数	等级	年失效率 (AFR)	等级	设计	材料	供应商	制造工艺	应用
发动机(PN000001)	69.93	H	0.5915	H	H	L	L	M	L
变速箱(PN000002)	67	H	0.3778	H	H	L	L	L	L
底盘(PN000003)	34	M	0.2761	L	H	L	L	L	L
电气(PN000004)	48.66	M	0.2381	M	H	L	L	L	L
内外饰(PN000005)	18.6	L	0.0514	M	L	L	L	M	L
车身钣金(PN000006)	42.8	M	0.0288	H	L	L	M	M	M
标准件(PN000008)	1	L	0.0021	L	L	L	L	L	L
其他(PN000010)	30.33	M	0.0008	L	M	M	M	M	M

图 5 可靠性新内容分析示例

### 6.5 可靠性目标设定

#### 6.5.1 可靠性目标设定的工作目的和要求

可靠性目标设定是指基于基准产品的可靠性水平，综合来自于市场需求、竞争对手可靠性水平以及管理层期望的可靠性要求设定合理而可实现的可靠性目标。

可靠性目标设定工作开展的要求如下：

- 1) 组织须应尽可能积累可靠性数据，这对设定合理而可实现的可靠性目标非常重要；企业基础的可靠性数据越多，如基准产品的维修数据分析结果、市场的可靠性数据、竞争对手的可靠性水平等，可靠性目标设定的准确性就越高；
- 2) 可靠性目标设定要平衡产品的开发成本、时间、性能等多个方面的因素；
- 3) 设定的可靠性目标需要在项目变更时重新评定。

#### 6.5.2 工作项目要点

产品级可靠性目标，是指组织关注的产品，如整车企业，关注的是整车级的目标设定，发动机企业关

注的是发动级的目标设定。维修数据的来源也不尽相同。主要的输入包括：

- 1) 基准产品的维修数据分析结果与相关可靠性水平（如单台失效数、MTBF 等）；
- 2) 市场与竞争对手的可靠性水平；
- 3) 管理层期望（或产品定位期望达到的）可靠性要求；
- 4) 客户需求。

常用可靠性目标设定方法：

——主观评价法：当企业没有太多的数据，可以基于基准产品的可靠性水平或行业普遍的可靠性水平，根据可靠性提升空间，设定一个初步的可靠性目标。一般初次实施可靠性增长流程的企业，可以将这个目标设定为基于原有可靠性水平基础上提高 20%到 50%；

——基于贝叶斯模型的可靠性目标设定：可靠性目标设定方法是一个多变量分析模型，基于贝叶斯模型的可靠性目标设定，可以综合考虑两种需求对结果的影响。

在设定了产品级可靠性目标后，应将产品级目标分配到相关的总成、子系统与零部件。具体的可靠性分配方法有等分配法、评分法、比例法、改进的比例法（ARINC）与 AGREE 法等，组织可参考相关标准与文献选择合适的分配方法。

## 6.6 预防性措施规划

### 6.6.1 预防性措施规划工作目的和要求

预防性措施是在产品开发的过程中，针对产品新内容，定义的设计预防措施，以降低新内容带来的可靠性风险。常见的预防性措施包括但不限于以下几种：

- 1) 系统工程（如疲劳寿命仿真分析、CAE 分析等）；
- 2) 可靠性分析（如 FMEA、FTA 等）；
- 3) 可制造性设计，可装配性设计；
- 4) 健壮性设计；
- 5) 降额设计；
- 6) 可检测性设计。

### 6.6.2 预防性措施规划工作流程

- 1) 对于每一项新内容，选择和确定预防性措施，评估其降低新内容风险的等级；
- 2) 将预防性措施按照措施分类进行描述，如针对某个高风险的零部件，定义设计阶段需要开展的预防性措施计划并落实到具体零部件负责人，定义措施开展的开始时间、结束时间等；
- 3) 完成所有新内容的预防性措施计划及分析，得到执行预防性措施后产品新内容所带来的综合风险系数；
- 4) 量化理论上可靠性目标在执行预防性措施后的增长情况。

图 6 是产品设计阶段可靠性预防性措施规划示例。



图 6 可靠性预防性措施规划示例

## 6.7 可靠性增长试验规划

### 6.7.1 可靠性增长试验规划的目的和要求

可靠性增长试验的一般方法是制定增长目标、确定增长模型，通过试验发现产品故障，根据故障分析，改进设计的这样一个不断反复试验改进的过程。可靠性增长试验是采用与实际运行工况类似的试验条件下进行的试验，它的目的在于暴露产品的可靠性缺陷并采取纠正措施加以排除。在试验过程中，如果产品出现可靠性缺陷，需要对失效原因进行分析，采取有效的措施予以修复或纠正，提高产品的可靠性。

可靠性增长试验规划是根据产品新内容分析和目标设定的结果，在产品规划阶段，通过可靠性增长模型，设定合理的试验轮数、样机数量和试验时间，规划如何理论上实现可靠性增长的目标。

### 6.7.2 可靠性增长试验规划工作流程

在可靠性增长试验中，必须根据可靠性增长试验特点，建立与可靠性增长试验相适应的数学模型，以描述增长过程中产品可靠性变化情况，这种与可靠性增长规划相适应、用于描述产品可靠性变化的数学模型称为可靠性增长模型。可靠性增长模型有很多，对大批量产品，推荐使用的是杜安（Duane）模型。

杜安（Duane）模型最初是飞机发动机和液压机械装置等复杂可修产品可靠性改进过程的经验总结。模型未涉及随机现象，所以 Duane 模型是确定性模型，即工程模型，而不是数理统计模型。大量的工程实践表明，它有广泛的适应性，适用于许多电子和机电产品的可靠性增长。

杜安模型如公式（1）所示：

$$\theta = \theta_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^G \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$T$  = 累计试验时间， $T \geq T_0$

$T_0$  = 可靠性增长开始时间， $T_0 > 0$

$\theta$  = 在  $T$  时刻的产品 MTBF 值

$\theta_0$  = 在开始时刻  $T_0$  的产品 MTBF 值（初始可靠水平）

$G$  = 增长率或斜率， $G > 0$

实际操作过程中：

- 1)  $\theta_0$  初始可靠性水平由新内容分析的结果来确定；
- 2) 增长率  $G$  由可靠性增长试验中解决可靠性故障的效率和能力来确定。

运用杜安（Duane）模型，以 MTBF 为目标，以可靠性增长试验为手段，可以编制可靠性增长规划。

图 7 是某产品可靠性增长试验规划的示例。

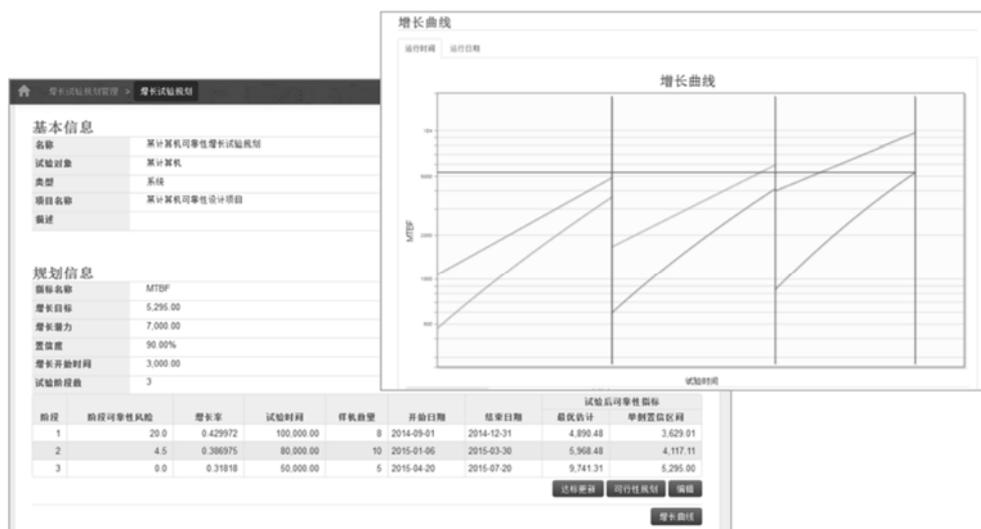


图 7 可靠性增长试验规划示例

## 7 预防性工程

### 7.1 预防性工程的工作目的

预防性工程是预防性措施实施并评估其实施效果的总称。目的是基于预防性措施规划的内容，通过系统工程、可靠性设计等手段，预防发生那些可能会导致产品失效的设计和制造缺陷。

### 7.2 预防性措施执行与跟踪

为了使制定的预防性措施能够得到有效的实施，必须对这些措施进行定期的跟踪和管理，检查其进度和有效性。

需要定期对这些措施进行检查，并记录其完成情况。

必须在完成预防性设计工作后，评估其对新内容风险的降低程度。

图 8 是预防性措施追踪示例图。横轴是产品开发进度，纵轴是风险降低或者最终 MTBF 的值。通过预防性措施追踪，可以实现在产品设计过程中量化追踪产品可靠性目标提升情况。

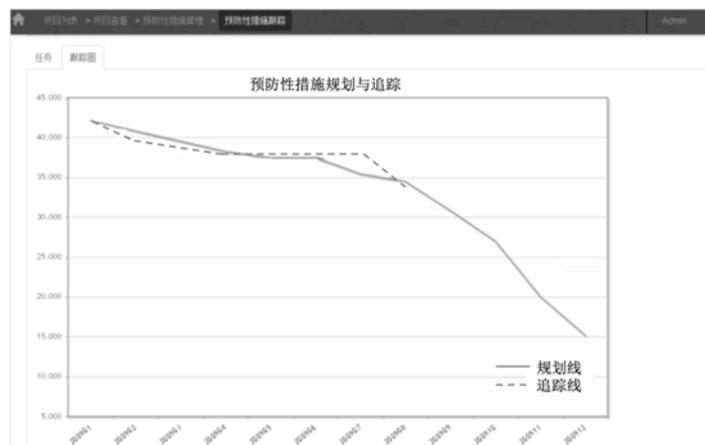


图 8 预防性措施追踪示意图

## 8 可靠性增长试验

### 8.1 可靠性增长试验计划

可靠性增长试验通常安排在产品的设计基本完成之后和产品鉴定试验之前。可靠性增长试验是一种有目标、有计划、有增长模型的专项试验。

在产品样机生产出来以后，根据预防性措施执行的效果，对产品的初始可靠性水平分析进行更新。

根据更新结果，进行可靠性增长试验计划。计划包括试验每一阶段投入试验样机的数量和试验的时间，同时也必须有预期发生的失效数，以及解决这些失效的效率要求等。

### 8.2 可靠性增长试验执行与追踪

根据产品规划阶段开展的可靠性增长试验规划，执行可靠性增长试验。

应用可靠性增长模型，对每个阶段的可靠性增长情况进行有效的追踪。

注：为了达到预期的可靠性目标，须对时间和其它资源进行系统的安排，并在估计值与计划值比较的基础上重新分配资源对增长率进行控制。

图9是可靠性增长试验执行过程中对于失效的记录以及可靠性增长目标追踪的示意。左边的图示记录可靠性增长试验中所有失效以及失效发生对应的里程，右图是在可靠性增长试验某个样机阶段通过实际失效及可靠性增长模型，计算出试验过程中实时可靠性目标值，并绘制出可靠性增长曲线。

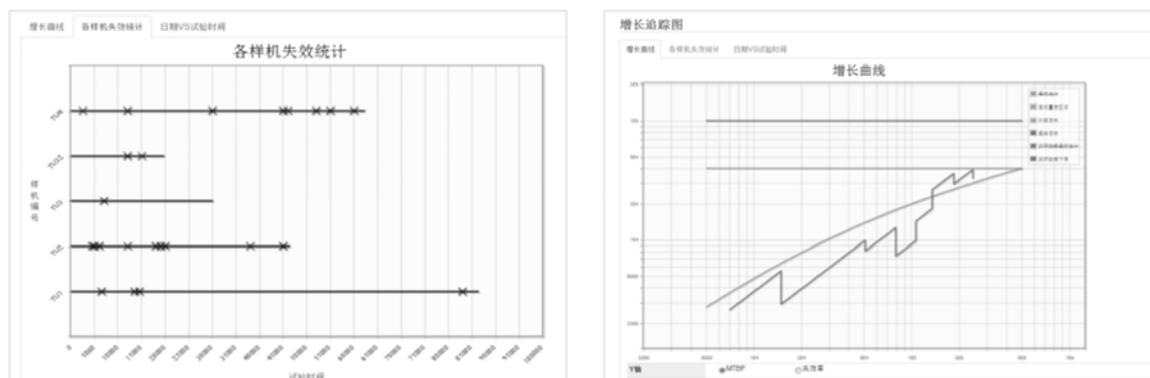


图9 可靠性增长失效记录与可靠性增长目标追踪

根据试验进行的情况和实际解决失效问题的效率，需要对试验时间，解决问题的效率等进行调整，以使在增长试验结束后，能达到预期的可靠性增长目标。

## 9 持续改进

### 9.1 失效记录与管理

失效可能发生在产品开发的各个阶段，如设计阶段、验证阶段、试产阶段及客户使用过程中等。本章中描述的失效记录与管理指产品上市以后在客户使用过程中产生的失效管理方式。

组织须建立比较完善的维修数据系统，记录在维修过程中的失效数据。

### 9.2 故障闭环

对于在产品开发的任一阶段发生的故障，都需要对故障进行闭环。常用的方法是故障报告、分析与纠

正措施系统（FRACAS）。

- 1) FRACAS 系统一个故障报告和分析的闭环管理系统，通常也称为“故障信息闭环管理系统”；
- 2) 记录企业故障报告、根本原因分析、纠正措施执行等过程的数据；
- 3) 帮助确定长期纠正措施，预防故障再发生，而不仅仅是故障的快速解决；
- 4) 指导从设计到客户服务整个产品寿命周期内的各项可靠性工作；
- 5) 建立统一的数据库与知识库，实现信息共享；
- 6) 实现产品的可靠性增长；
- 7) FRACAS 有多种称法，如“归零管理”、“8D”等。

注：8D 问题解决法（Eight Disciplines Problem Solving，简称 8D），是一种常见的失效问题解决方法。其规定的 8 个基本准则或者步骤如下：

- D0: 征兆紧急反应措施
- D1: 小组成立
- D2: 问题说明
- D3: 实施并验证临时措施
- D4: 确定并验证根本原因
- D5: 选择和验证永久纠正措施
- D6: 实施永久纠正措施
- D7: 预防再发生
- D8: 小组祝贺

### 9.3 新产品上市后可靠性水平追踪

新产品上市后，组织应定期收集新产品的维修数据，并开展相关的维修数据分析，为产品持续改进提供数据支撑。同时，通过维修数据分析，获得新产品在客户实际使用过程中的可靠性水平，与产品开发过程中的可靠性目标进行比对，以判断最初的可靠性目标是否实现，并据此定义进一步改进计划。