

Reliability Design and Test of Mechanical Product

Reliability Design and Test of Mechanical Product

机械产品 可靠性设计与试验

■ 许卫宝 钟涛 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

机械产品可靠性 设计与试验

Reliability Design and Test of Mechanical Product

许卫宝 钟 涛 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

机械产品可靠性设计与试验/许卫宝,钟涛编著.

—北京:国防工业出版社,2015.7

ISBN 978-7-118-10187-4

I. ①机… II. ①许… ②钟… III. ①机械设计

IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 148450 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 378 千字

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 89.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序

机械产品可靠性研究已有百年历史,其基本理论、方法及模型已经比较成熟,为现代工业技术发展奠定了坚实的基础。在武器装备领域,可靠性问题从二战开始受到美英等国的关注,并向世界各国延伸。1986年,因为固体火箭助推器的一个密封圈失效,美国“挑战者”号航天飞机和七名航天员陨落天际,世界为之扼腕,武器装备可靠性随之而被提升至一个空前的高度,其重要性、必要性和紧迫性得到广泛认可,一批有价值的学术成果和卓有成效的工程实践相继涌现,极大地丰富了武器装备可靠性内涵。目前,可靠性已经被学术界列为武器装备的一项通用质量特性,与速度、续航力、作战半径、打击精度等专用质量特性一样,是武器装备质量的重要组成部分,是确保装备形成并持续保持战斗力的核心因素。

近年来,海军新型作战力量快速发展,信息化水平持续提高,以舰艇、飞机为代表的各种武器平台机械产品需要在更加复杂的战场条件下,更加精准、可靠、迅速地遂行高强度多样化军事任务。质量就是生命,质量就是胜算。武器装备机械产品的复杂化、精密化和系统化,使其故障原因更加多元、失效机理更加复杂,如何通过小样本试验、性能退化评估等前沿理论方法验证评估机械产品可靠度等新课题,已经成为当前武器装备研发必须直面的新情况和新任务,这也是机械产品可靠性研究所面临的新机遇和新挑战,需要学术界和装备工程界深化研究,创新突破。

作为一名在舰船行业和海军舰艇装备战线奋斗了四十多年的技术工作者,我目睹了世界先进国家武器装备的突飞猛进,更亲历了改革开放以来海军装备研究与发展伟大实践。在工作中,我一直非常关注装备可靠性的问题,近期也常常在思考,在现代战争条件下,怎样定义可靠性?如何确保、提升装备质量,提高装备可靠性?已经成熟的可靠性理论和方法,能不能适用于、怎样运用于当前和今后一个阶段的武器装备发展,尤其是机械产品?许卫宝和钟涛两位同志编著的《机械产品可靠性设计与试验》对这些问题作了非常有益的探索。本书集基础理论、最新成果和实践方法于一体,内容涵盖了机械产品的可靠性设计与试验,还有部分是实际工作的体会和经验,阐述详实而不累赘,全面而不晦涩,可读性好,实用性强。编著这本书,是作者在总结了其20多年来在海军装备领域从事机械产品可靠性科研、生产、管理实践的成果,结合装备机械可靠性发展需要

解决的问题,瞄准战斗力标准,进行的一次深刻挖掘和再认识。本书既有继承,又有创新,凝聚了作者的心血和关心海军装备建设的可靠性专家的智慧,是一本恰逢其时的好书,希望能够助力我国船舶和舰艇装备事业的发展。

大海之阔,非一流之归也。我期待着《机械产品可靠性设计与试验》的出版,也期待有更多的有志之士投身到船舶和舰艇装备可靠性研究与实践的事业中来,锲而不舍,薪火相传,推动我国海洋和国防装备事业蓬勃发展,让人民海军的舰艇骄傲地驰骋于大洋之一,战机自由地翱翔在海天之间,为实现中华民族伟大复兴的中国梦做出伟大的贡献!

谨为序。

中国工程院院士

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '朱英富' (Zhu Yingfu).

2015年7月

前 言

一、出版背景

随着航空、航天及船舶等行业的发展,大型的机械装备不断涌现,装备的性能参数不断提高,结构日趋复杂,环境条件更加严酷。同时为完成规定的功能,对装备的性能及可靠性要求也越来越高。特别对大型装备,如何进行可靠性设计?如何开展可靠性试验?如何依据少量(甚至极少量或单子样)数据进行可靠性评估?对高可靠、长寿命的产品如何缩短试验时间,采用什么样的试验方法,用何种试验理论评估可靠性等问题提到日程上来。本书的目的就是针对上述问题,给出机械产品可靠性设计、试验及评估理论和方法,为从事机械产品设计、试验和使用的工程技术人员了解、熟悉、掌握及应用这些理论和方法提供参考。

二、本书特点

本书是以传统的机械产品的设计、可靠性设计及试验为基础,结合当前最新的设计理念、试验理论和试验手段,给出机械产品可靠性设计、试验及评估的方法。

(1) 保留传统的机械产品的设计、可靠性设计及试验的理论和方法。如静强度设计的应力-强度干涉理论、安全系数法,疲劳强度设计的 $S-N$ 曲线、 $P-S-N$ 曲线,常规的加速寿命试验等。

(2) 引入当前新的设计理念。

- ① 动态可靠性设计;
- ② 时变可靠性设计;
- ③ 可靠性灵敏度设计;
- ④ 可靠性稳健性设计;
- ⑤ 可靠性优化设计。

(3) 对故障分析的失效模式的相关性,引入 Copula 函数理论。补充了原来的线性理论不足,并用于产品的可靠性分配中。

(4) 给出小子样、极小子样及单子样可靠性评估方法,为大型复杂设备的可靠性评估提供参考。

(5) 在加速试验上,给出加速退化试验及加速可靠性增长试验的理论和方法,为高可靠、长寿命及高昂贵产品的可靠性试验评估提供一个新途径。

(6) 强调了减少样本数量的可靠性试验方法和评估理论,给出了正态、对数正态及威布尔分布的减少子样数量的可靠性评估方法。

(7) 机械磨损可靠性设计中,引入了用随机过程及模糊理论分析可靠性的概念,使可靠性分析更符合实际。

三、撰写思想

本书介绍的理论及研究方法,内容新颖,基本上反映了近十年来国内外的最新研究成果。

给出的理论公式侧重于工程上的应用,尽量略去繁琐的推导,并附有数值例题加以说明。编著过程中,力求做到基本概念清晰,重点突出,具有创意。书中的理论及方法紧紧扣住机械产品可靠性的特点,实用性强,具有可操作性。

本书可供从事可靠性技术工作的工程设计人员、大专院校的教师、研究生及本科生使用。

四、致谢

在编著工作中,王岩磊、安海、安伟光、宋太亮、马绍力、任志乾、叶晓慧等专家对书稿的内容选择、编写等提出宝贵的建议,对此表示深深的谢意。另外王杰方、尹航、何福凯、魏星及刘松宇等研究生参与本书的抄稿、校稿、搜集资料及打字等工作,对他们的辛勤工作在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

目 录

第一篇	机械产品可靠性基本理论	1
第1章	引论	1
1.1	机械产品可靠性的概念	1
1.1.1	机械产品可靠性特点	1
1.1.2	可靠性的定义	3
1.2	机械产品可靠性的基本知识	4
1.2.1	可靠性基本状态和事件	4
1.2.2	失效原因与分类	5
1.2.3	可靠性属性	6
1.2.4	产品可靠性指标体系及选择	7
1.2.5	可靠性指标的常用计算方法	9
1.2.6	相关理论	37
第二篇	机械产品可靠性设计	49
第2章	机械产品可靠性设计原理	49
2.1	应力-强度干涉理论	49
2.1.1	应力-强度相互独立的可靠性表达式	49
2.1.2	应力-强度相关的可靠性表达式	50
2.2	已知应力-强度分布的可靠性计算	51
2.2.1	应力-强度相互独立的可靠性计算	51
2.2.2	应力-强度相关的可靠度计算	61
第3章	机械产品可靠性设计方法	65
3.1	静强度可靠性设计	65
3.1.1	安全系数法	65
3.1.2	应力-强度相关干涉的可靠性计算方法	68
3.1.3	应力-强度相关干涉的可靠性设计	68
3.2	疲劳强度可靠性设计	81
3.2.1	疲劳强度的概率模型	81
3.2.2	给定应力下寿命分布的疲劳可靠度计算	89
3.2.3	以寿命为控制变量的疲劳可靠性	93

3.2.4	顺序累积损伤疲劳可靠度的计算	101
3.2.5	载荷为随机过程的疲劳可靠性	106
3.3	动态可靠性设计	110
3.3.1	动态可靠性的概述	110
3.3.2	载荷为随机过程的动态可靠性设计	111
3.3.3	考虑频率统计特性的动态可靠性设计	115
3.4	时变可靠性设计	117
3.4.1	随机过程进行离散处理的时变可靠性	118
3.4.2	基于首次超越失效的时变动力可靠性	124
3.4.3	抗力为 Gamma 随机过程的时变可靠性	136
3.5	机械磨损可靠性设计	141
3.5.1	随机磨损可靠性	141
3.5.2	模糊磨损可靠性	145
3.5.3	基于随机过程的磨损可靠性	153
第 4 章	提高设计的手段	168
4.1	系统可靠性灵敏度设计	168
4.1.1	引言	168
4.1.2	正态分布参数的可靠性灵敏度设计	168
4.1.3	系统可靠性的灵敏度设计	170
4.2	系统可靠性优化设计	173
4.2.1	常用的基于可靠性的优化问题	174
4.2.2	基于可靠度约束下最小化结构质量或费用	175
4.3	系统可靠性稳健性设计	186
4.3.1	引言	186
4.3.2	可靠性稳健性设计的数学模型	187
4.3.3	可靠性稳健性设计的算例	188
第三篇	机械产品可靠性试验	190
第 5 章	机械产品可靠性试验特点及分类	190
5.1	机械产品可靠性试验特点	190
5.2	机械产品可靠性试验的分类	191
5.2.1	按试验场地分类	191
5.2.2	按施加应力原则分类	192
5.2.3	按应用阶段分类	192
5.2.4	按试验的目的和性质分类	193

第 6 章	寿命试验	194
6.1	普通的寿命试验	194
6.1.1	寿命试验注意的问题	194
6.1.2	寿命试验的分类与设计	196
6.1.3	寿命试验结果的统计	199
6.2	加速寿命试验	207
6.2.1	引言	207
6.2.2	加速寿命试验(ALT)	209
第 7 章	性能退化试验	219
7.1	普通性能退化试验	219
7.1.1	性能退化的基本概念	219
7.1.2	试验数据的统计分析	220
7.1.3	算例分析	223
7.2	加速退化试验	229
7.2.1	开展加速退化试验的内涵	229
7.2.2	加速退化试验类型	229
7.2.3	加速退化试验模型	230
7.2.4	加速退化试验数据的统计分析	233
7.2.5	案例分析——金属化膜脉冲电容器加速退化失效分析	233
7.2.6	加速退化试验(ADT)与加速寿命试验(ALT)比较	237
第 8 章	加速可靠性增长试验	238
8.1	概述	238
8.2	加速可靠性增长试验过程	239
8.3	加速可靠性增长试验模型	239
8.4	算例分析	241
8.5	结论	244
第 9 章	机械产品的可靠性验证试验	245
9.1	设计鉴定与生产验收	245
9.2	单式寿命抽样方案	245
9.3	序贯寿命抽样方案	251
第 10 章	减少试件数量或时间的可靠性试验方法分析	257
10.1	减少试件数量的少失效或无失效的试验法	257
10.1.1	不可修复产品	257
10.1.2	可修复产品	258

10.2	依靠延长试验持续时间压缩试件数量	260
第 11 章	小子样试验的可靠性评估方法	263
11.1	半经验的可靠性评估方法	263
11.1.1	半经验评估法的概述	263
11.1.2	极小子样寿命试验的评估法	263
11.1.3	结构小子样试验的可靠性评估方法	264
11.1.4	机构小子样试验的可靠性评估方法	267
11.1.5	机械小子样试验的可靠性评估方法	268
11.1.6	半经验评估法的评价	270
11.2	分散系数法	270
11.2.1	分散系数法的概述	270
11.2.2	小子样疲劳寿命分散系数法的数学模型	270
11.2.3	分散系数法的评价	275
11.3	Bootstrap 方法	275
11.3.1	Bootstrap 方法的基本概念	275
11.3.2	Bootstrap 方法估计性能参数的均值和方差	276
11.3.3	Bootstrap 方法的工程验证	278
11.4	虚拟增广样本评估法	282
11.4.1	虚拟增广样本评估法的概述	282
11.4.2	虚拟增广样本评估法的数学模型	283
11.4.3	虚拟增广样本评估法的工程验证	284
11.4.4	虚拟增广样本评估法的评价	285
11.5	Bayes 统计方法	285
11.5.1	Bayes 统计方法概述	285
11.5.2	Bayes 统计方法的数学描述	286
11.5.3	先验分布	286
11.5.4	验前信息处理方法	288
11.5.5	Bayes 估计	289
11.5.6	Bayes 估计的假设检验	289
11.5.7	Bayes 方法的工程验证	290
11.5.8	Bayes 方法的评价	294
11.6	不同环境条件试验数据折合的评估法	295
11.6.1	数据折合评估法的概述	295
11.6.2	数据折合评估法的数学模型	295

11.6.3 数据折合评估法的例题验证 299

11.6.4 数据折合评估法的评价 302

附表 304

参考文献 306

第一篇 机械产品可靠性基本理论

第 1 章 引 论

1.1 机械产品可靠性的概念

1.1.1 机械产品可靠性特点

我国机械产品大部分关键零部件是由主机厂自己设计制造。机械产品结构复杂,元器件标准化程度低,使用条件和工作环境恶劣,工艺过程复杂,流程长,环节多,管理方法和水平各不相同,使得机械产品可靠性呈现与电子产品不同的特点。具体为如下几点。

1. 失效机理多样化

失效机理多样化,主要有退化耗损型,如磨损、腐蚀、老化、蠕变、热影响等;损坏型,如断裂、变形过大、裂纹、点蚀、冲击破坏等;其他失效机理还有松脱型、失调型、堵塞渗漏型等。失效模式和机理不是固定不变的,通常是环境和时间的函数。这些机理在产品使用、储存等过程中,演化过程复杂多变,相互联系,使分析失效机理的复杂程度增加,导致对多种模式相关程度难以确定。如探明某一零件的失效模式和机理,必须进行多方面分析和试验研究。

2. 失效模式多,存在相关性

机械零件的基本失效模式有屈服、断裂、累积疲劳、腐蚀、蠕变、磨损及变形超限等多种形式。这些失效之间普遍存在着相关性,如共因失效^[1-6]、从属失效^[7]及共模失效等。这些失效形式互相交叉,这样机械系统可靠性分析与建模都相对电子系统要复杂得多,从零件可靠性推断系统可靠性不是不考虑相关性的简单的系统可靠性模型,如果忽略零件之间的失效相关性,理想化地假设各零件失效相互独立,在机械系统的可靠性分析与评价中,会导致过大的误差,甚至得出错误的结论^[8-10]。

例如,一般机械系统都是串联系统,若设各零件失效相互独立,则系统可靠度为

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i$$

式中: R_i 为第 i 个零件的可靠度; n 为系统中零部件数量。

设组成系统的零件的可靠度为 0.999,有

$$n = 1000 \quad R_s = 0.999^{1000} = 0.3677$$

$$n = 10000 \quad R_s = 0.999^{10000} = 0.000045$$

如果 $n \rightarrow \infty$ 时,则

$$\lim_{n \rightarrow \infty} R_s = 0$$

由此可以看出,该系统几乎不能用,显然是不合理的。由 1000 或 10000 个零件组成的系统是很多的。对于多为串联型大型复杂机械系统,如飞机、船舶、汽车、机车车辆系统等,总可以分解为成千上万个零部件或多种可能的失效模式,但系统可靠度实际上不可能趋于零。由于不考虑相关性,采取理论的独立假设,是造成机械系统可靠度的计算值与实际系统固有可靠度相差较大的主要原因。

文献[11]给出串联结构系统失效概率范围为

$$\max_{i=1}^m P_i \leq P_s \leq 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i) \quad (1.1)$$

式中: P_i 和 P_s 分别为构件和结构系统的失效概率; m 为零件数。

并联系统的失效概率范围为

$$\prod_{i=1}^m P_i \leq P_s \leq \min_{i=1}^m P_i \quad (1.2)$$

式(1.1)的下限和式(1.2)的上限对应于系统的各零件失效完全相关状态,式(1.1)的上限和式(1.2)的下限对应于系统的各零件失效完全相互独立的状态。

3. 寿命分布种类比电子产品复杂

电子产品的故障多属随机性的,寿命分布主要服从指数分布。而机械产品的故障以疲劳、老化、磨损、腐蚀等耗损型为主,因此寿命主要服从正态、对数正态及威布尔分布。

4. 缺少可靠性数据,试验评估以小子样、性能退化或无失效的评估理论为主

机械产品的元件规格品种多,使故障数据分散,难于收集,数据缺乏。例如,一般机械设备中轴类、齿轮、连接件及阀门、泵、金属管等部件的品种多,使用条

件各异,收集故障数据很困难。许多数据来自现场,由于数据少,分散度大,数据可信度小。特别对大型复杂机械零部件,产品体积大、试验困难、价格昂贵、生产数量少,使得相应的样本数据更少。因此,在可靠性的统计评估中,主要采用小子样、极小子样的评估理论。对长寿命、高可靠的产品,在规定的试验或考核时间内,收集不到寿命的失效数据。这时考虑采用性能退化或无失效数据的评估方法,进行统计评估。

5. 可靠性试验费用大

对于零部件和整机的可靠性试验的劳动量、能源和经费消耗非一般企业所能承受,许多大型设备没有进行可靠性试验的可能性。

6. 模拟试验困难

机械产品实际使用环境条件复杂,失效模式种类繁多,复杂多变,模拟试验困难。因此,开展环境应力对系统材料老化、耗损过程的影响及机械材料的失效机理与环境应力的关系等研究非常重要。

1.1.2 可靠性的定义

机械产品是众多学科的高新技术的载体,在航空、航天、船舶、兵器、冶金、化工、石油及交通运输等工业部门得到广泛的应用。随着技术的发展,机械产品的性能参数日益提高,结构日趋复杂,使用场所更加广泛,使用环境更趋于恶劣,这样产品性能与可靠性的问题也越来越突出。从历史上和现实出现的故障事故看,可靠性技术越来越受到各行各业的重视。另外,从当前和未来的产品竞争看,焦点就是可靠性。因此这将使人们更加认清可靠性工程在机械产品研发过程中的重要地位。

机械产品可靠性是指在规定条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。

上述定义包括产品、规定的条件、规定的时间、规定功能及能力五个要素。

(1)“产品”为单独研究和分别试验的任何元件和系统。可以是“非常复杂的东西”,也可以是一个零件。对一个系统来说,不仅包括硬件,而且也包括软件 and 人的因素。

(2)“规定的条件”一般指环境条件、使用条件及维护条件,如载荷、温度、压力、振动、湿度、噪声、磨损、润滑及腐蚀等;使用时的应力条件,维护方法,贮存时的贮存条件,以及使用时对操作人员技术等级的要求。不同规定条件下产品的可靠性是不同的。

(3)“规定的时间”是指产品的工作期限,可以用时间表示,也可以用距离、次数表示,如滚动轴承的工作期限用小时,车轮用行车次数,齿轮的寿命用应力循环次数表示,火箭发射装置对应的时间以秒计,海底通信电缆以年计等。

(4) “规定功能”指产品应具备的技术指标,一般以产品是否达到极限状态来表示。如果极限状态概率超过允许值,产品就丧失规定的功能,对不可修复产品称为失效,对可修复产品称为故障。

(5) “能力”一般是通过定性和定量的方法描述。产品的失效或故障具有偶然性,一个产品在某段时间的工作情况并不能很好地反应该产品可靠性的高低,应该观察大量该产品的工作情况并进行合理的统计分析才能正确反映该产品的可靠性。因此,“能力”是具有统计学的意义,需要用概率论与数理统计的方法处理。

上面所述的是狭义可靠性的定义,广义可靠性包括维修性和有效性(可用性)。按产品可靠性的形成,可靠性可分为固有可靠性和使用可靠性。固有可靠性是在产品设计和制造过程中已经确定并最终在产品上得到实现的可靠性。产品的固有可靠性是产品的内在性能之一,产品一旦完成设计并按照要求生产出来,其固有可靠性就被完全确定。使用可靠性是产品在特定的使用条件下,保证固有可靠性发挥的程度。由于产品生产出来后要经过包装、运输、贮存、安装、使用和维修等环节,且使用中实际环境与设计所规定的条件往往不一致,使用者操作水平与维修条件也不完全相同。一般地,固有可靠性大于使用可靠性。

可靠度是产品在规定的条件下和规定的时间区间内,完成规定功能的概率。一般记为 R ,它是时间的函数,也记为 $R(t)$,即可靠度函数。

如果用随机变量 T 表示产品从开始工作到发生失效或故障的时间,概率密度为 $f(t)$,则该产品在某指定时刻 t 的可靠度为

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

需要特别指出的是,可靠度是表示一大批产品可靠性的统计特征,而不能表示个别或少数产品的可靠性。我国专家把可靠性的狭义解释称为可靠度^[12]。

“可靠性”这个词有广义和狭义两种解释。把“可靠性”看做一门科学,指的是“产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力”。假如把可靠性看作一个质量指标,那么指的是“产品在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的概率”。两者间的差别仅在于,后者把“能力”换为“概率”。

1.2 机械产品可靠性的基本知识

1.2.1 可靠性基本状态和事件

可靠性由如下的基本状态和事件来表征。

工作能力——产品的一种状态,产品在这种状态下能够正常的完成规定功能(符合技术文件内所规定的参数)。工作能力与不直接影响使用指标的一些要求无关,例如,漆层损伤等。

完善——产品的一种状态,产品在这种状态下能够满足全部的(无论是基本的还是次要的)要求。完善的产品必定是富有工作能力的。

故障——产品的一种状况,产品在这种状况下哪怕只满足不了技术文件中的一条要求。此处区分为两种故障;一种故障可能导致失效,另一种则不会引起失效。

失效——这是一个事件,其结果是全部或局部丧失工作能力。失效分为功能失效和参数失效。功能失效时,被研究的元件或对象终断履行本身的功能,例如齿轮牙齿断裂;参数失效时,被研究对象的某些参数已经变化到允许限度之外,例如,武器装备丧失精度。

1.2.2 失效原因与分类

1.2.2.1 失效原因

失效原因分为偶然性原因和系统性原因。

偶然性原因——诸如意想不到的超载;原材料有缺陷;制造误差,又未被检验出来;维修人员的差错或控制系统失灵。例如:加工介质中混入硬质夹杂物,道路上的巨大起伏,撞在障碍物上,毛坯尺寸的偏差超出允许值,气孔,淬火裂纹等。随机因素大多在不利的外界环境下工作时引发失效。

系统性原因——这是一个顺乎情理的现象,它引发出损伤的逐步积累:介质影响,时间,温度;辐射;腐蚀,老化,负载;摩擦工作:疲劳,蠕变,磨损;功能效应:堵塞,粘连,渗漏。

1.2.2.2 失效分类

依据上述原因、发展情况和现象的性质,失效分为突发性的失效(由于超载、卡壳所造成的折断)和依据现象的突发性失效(疲劳损坏、灯泡烧毁、绝缘老化引起的短路);渐变性失效(磨损、老化、腐蚀、粘合)和由缺陷发展的渐变性失效。突发性失效由于出乎意外,比渐变性失效更具有危险性。渐变性失效乃是诸参数在使用或保管过程中超出公差界限。

按照产生原因,失效又可以分成结构性的、工艺性的和使用性的。结构性失效出自结构缺陷;工艺性失效来源于工艺不够完善或违反工艺规程;使用性失效多产生于不正确的使用。

失效如按其物理本质常常与零件损坏或零件表面破损(折断、脱落、磨损、锈蚀、老化)有关,有时失效又不牵连到损坏(燃油、润滑油的油路堵塞,液压控