

The background of the cover is a photograph of a space shuttle launching. The shuttle is angled upwards from the bottom left towards the top right. A bright, curved line of white smoke and fire trails behind it, separating it from the dark blue and black background of space. The shuttle's structure, including its nose cone and various instruments, is visible in the lower left.

航天可靠性设计手册

胡昌寿 主 编

周正伐 周炽九 徐福荣 副主编

机械工业出版社

航天可靠性设计手册

主 编 胡昌寿

副主编 周正伐 周炽九 徐福荣

顾 问 何国伟

编写人员：(以姓名笔画为序)

王振邦	方蓉初	伍平洋	刘丽川	何国伟
张骏华	肖称贵	郑 涛	郑开陞	周正伐
郑岩盈	周炽九	林德健	侯希久	胡昌寿
洪祖峻	郭树玲	徐福荣	崔利荣	



机械工业出版社

航天系统包含大量不同类型的产品，系统可靠性的保证是极为复杂而艰巨的工作，必须全力做好可靠性设计。本手册是一本便于案头查阅的简明而比较全面的可靠性手册，内容包括航天领域常用的保证可靠性的工程设计、分析、试验方法，吸收了我国及国外航天可靠性的经验，可供承担产品研制任务的各种工业企业使用，亦可供有关高校及研究单位参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

航天可靠性设计手册/胡昌寿主编. —北京: 机械工业出版社, 1998.12
ISBN 7-111-06782-7

I. 航… II. 胡… III. 航天器可靠性-设计-手册 IV. V
423

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 32183 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 刘 辉 版式设计: 冉晓华 责任校对: 姚培新
王世刚
封面设计: 姚学峰 责任印制: 王国光
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1999 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
850mm×1168mm^{1/32}·18.5 印张·480 千字
0 001—2 500 册
定价: 33.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

编写说明

《航天可靠性设计手册》是为了帮助各专业的工程设计人员提高设计可靠性，由航天工业总公司质量技术监督局委托第一研究院主编，并请其他各院参加编写的手册。历时二年，现已完稿，并经航天总公司组织由梁思礼、谢光选院士等专家参加的审定会审查通过，现在呈献给广大读者。

读者可从手册查阅工程设计需要的实用的可靠性设计方法。关于容错设计、机构可靠性设计和火工品可靠性设计方法本手册暂不涉及。

本手册编写分工：第1章胡昌寿；第2章、第3章周正伐；第4章、第5章王振邦；第6章胡昌寿；第7章林德健；第8章方蓉初、郭树玲；第9章刘丽川；第10章何国伟；第11章周正伐；第12章周炽九、洪祖峻、张骏华、胡昌寿、何国伟；第13章侯希久、周正伐；第14章何国伟；第15章崔利荣、胡昌寿；第16章、第17章周正伐；第18章徐福荣；第19章郑开陞；第20章徐福荣、周正伐、周炽九、郑岩盈；第21章何国伟、肖称贵；第22章伍平洋、胡昌寿。手册附录编辑：常用可靠性术语周正伐；附录A徐福荣；附录B郑涛。

根据审定会的修改意见，编写人员对手册包括第1章在内的一些章节内容作了改进。我们在此向参加审定会的各位评委表示衷心感谢。出席书稿审定会议的有：梁思礼、谢光选、陈世年、王文超、陈福田、朱明让、何国伟、钱振业、廖炯生、严忠玮等专家。还有些同志热心为手册撰稿，因故未能采用，感谢他们对手册的大力支持。感谢航天工业总公司11所、14所、一部为手册的编辑、誊清和绘图工作提供了人力物力支援。

读者使用手册后，有什么意见，欢迎来信告诉我们，以便再版时加以改进。

编者

1998年7月17日

常用可靠性术语

1. 一般术语

产品	item, product
系统	system
失效, 故障	failure, fault
失效 (故障) 模式	failure (fault) mode
关联故障	relevant failure
非关联故障	non-relevant failure
系统故障	system failure
偶然故障	random failure
任务时间	mission time
待命时间	alert time
维修时间	maintenance time
寿命	life
使用寿命	useful life
贮存寿命	storage life
任务剖面	mission profile
寿命剖面	life profile
可靠性特征量	reliability characteristic measure

2. 有关指标的术语

可靠性	reliability
平均寿命	mean life
可靠寿命	reliability life
可用寿命	usable life (Q-percentile life)
失效率	failure rate
瞬时失效率	instantaneous failure rate
维修性	maintainability
平均修复时间	mean time to repair

最大修复时间	maximum time to repair
修复率	repair rate
瞬态可用性	instantaneous availability
稳态可用性	limiting availability
固有可用性	inherent availability
使用可用性	operational availability
贮存可靠性	storage reliability
贮存期	storage time

3. 可靠性工程术语

系统可靠性模型	system reliability model
可靠性设计	reliability design, design for reliability
可靠性试验	reliability testing
寿命试验	life testing
加速寿命试验	accelerated life testing
可靠性评估	reliability assesment, reliability evaluation
可靠性管理	reliability management

4. 统计学术语

随机事件	random event
随机变量	random variable, random variate
概率分布	probability distribution
分布函数	distribution function
概率密度函数	probability density function
均值	mean
方差	variance
标准（离）差，标准偏差	standard deviation
变易系数，变差系数	coefficient of variation
母体，总体	population
样本，子样	sample
样本大小，样本容量	sample size
完全样本	complete sample
截尾样本	censored sample, curtailed sample
抽样方案特性曲线	operational characteristic curve of sampling plan

VI

极限质量	limit quality
批量容许次品率	lot tolerance percentage defective
合格质量水平	acceptable quality level
生产方风险	producer's risk
使用方风险	consumer's risk
置信度，置信水平	confidence level

目 录

编写说明

常用可靠性术语

第 1 章 可靠性设计综述

1.1 一些概念问题	1
1.2 可靠性工作的范围	3
1.3 保障可靠性的方法	4
参考文献	9

第 2 章 系统可靠性模型

2.1 系统可靠性框图	10
2.2 典型系统可靠性模型	11
2.2.1 串联系统	11
2.2.2 并联系统	13
2.2.3 表决系统($K/n(G)$ 系统)	14
2.2.4 贮备系统	16
2.3 一般系统可靠性模型	19
2.3.1 状态枚举法(布尔真值表法)	20
2.3.2 全概率分解法	22
2.3.3 最小路径法	25
2.4 具有多功能单元的系统可靠性模型	29
参考文献	31

第 3 章 可靠性指标规定

3.1 可靠性指标	32
3.1.1 任务可靠性指标	32

3.1.2	维修性指标	33
3.1.3	可用性指标	34
3.1.4	储存寿命指标	34
3.2	可靠性指标规定的原则与一般步骤	35
3.2.1	原则	36
3.2.2	一般步骤	36
3.3	可靠性指标量值确定方法	37
3.3.1	统筹优化法	38
3.3.2	综合权衡法	39
3.4	型号可靠性指标规定示例	41
3.4.1	描述型号使用任务剖面	41
3.4.2	设置任务剖面检验点并确定指标	41
3.4.3	规定各指标的量值	41
	参考文献	44

第4章 可靠性分配

4.1	可靠性分配的目的与原则	45
4.2	常用可靠性分配方法	45
4.2.1	等分配法	45
4.2.2	比例分配法	46
4.2.3	AGREE 分配法	47
4.2.4	花费最小分配法	49
	参考文献	51

第5章 可靠性预计

5.1	可靠性预计目的、程序与注意事项	52
5.2	可靠性预计的常用方法	53
5.2.1	相似设备法	53
5.2.2	元器件计数法	54
5.2.3	应力分析法	56
	参考文献	60

第 6 章 故障因果分析

6.1 FMECA	61
6.1.1 FMECA 的用途	61
6.1.2 失效模式	62
6.1.3 系统任务阶段和工作模式	63
6.1.4 FMECA 类型	63
6.1.5 FMECA 的实施	66
6.1.6 注意事项	67
6.2 FTA	67
6.3 FTA 与 FMECA 的比较	68
参考文献	69

第 7 章 电子元器件选择、控制和降额使用

7.1 元器件的选择和控制	70
7.1.1 选择和控制的的基本原则	70
7.1.2 控制要求	71
7.1.3 选择准则	72
7.2 元器件的七专技术条件和国家军用标准	74
7.2.1 “七专”技术条件的要点	74
7.2.2 国家军用标准的要点	74
7.3 元器件优选目录和合格厂点	75
7.3.1 元器件优选目录	75
7.3.2 合格厂点	77
7.4 元器件工作可靠性的影响因素	77
7.5 元器件的选用	81
7.5.1 元器件品种的选用	81
7.5.2 元器件的质量等级	81
7.5.3 器件的封装类型及其可靠性	84
7.5.4 进口微电路的型号命名	84
7.6 元器件的降额	86
7.7 元器件筛选	86

7.7.1 成品筛选	87
7.7.2 补充筛选	87
7.8 失效分析	88
7.8.1 委托方采取的措施	88
7.8.2 填写元器件失效分析卡	89
7.8.3 失效分析的程序	89
7.8.4 失效分析与破坏性物理分析 (DPA) 的区别	89
附录 7.1 目录外电子元器件选用申请表	90
附录 7.2 电子元器件技术条件 半导体“七专”单片集成电路 加严技术条件	91
附录 7.3 电子元器件技术条件 硅中、小功率晶体管“七专” 技术条件	93
附录 7.4 一些进口元器件的标识	95
附录 7.5 封装外壳各字母的含义	102
附录 7.6 电子元器件失效分析卡	104
参考文献	105

第 8 章 可靠电路设计

8.1 电路简化设计	106
8.1.1 电路简化设计主要考虑的因素	106
8.1.2 电路简化设计的注意事项	107
8.1.3 电路简化设计举例	108
8.2 瞬态干扰和过应力保护	111
8.2.1 瞬态干扰的来源	111
8.2.2 瞬态干扰引起的故障	111
8.2.3 过应力保护	112
8.2.4 CMOS 器件的防静电	114
8.3 电磁兼容性设计	115
8.3.1 接地设计	115
8.3.2 屏蔽	117
8.3.3 电源滤波	117
8.4 参数劣化和分析	118

8.4.1	元器件和材料参数变化的控制	119
8.4.2	容差设计	119
8.5	减少设计失误	121
8.5.1	分立元件电路	121
8.5.2	TTL 电路	122
8.5.3	CMOS 电路	122
8.5.4	模拟电路	124
8.6	主要设计约束	127
8.6.1	电压增益限制	127
8.6.2	热因素	128
8.7	印制板设计	129
8.7.1	布局	129
8.7.2	地线	130
8.7.3	走线规则	130
8.7.4	过渡孔问题	131
8.7.5	特殊问题的专门处理	132
8.8	计算机辅助设计和分析	133
8.8.1	发展概述	133
8.8.2	软件功能特征	135
8.8.3	运行环境	136
8.8.4	典型 EDA 软件简介	137
8.9	可靠的典型电路举例	138
8.9.1	数字电路举例——自主切换的主、备份晶体振荡器 电路 (IMHE)	138
8.9.2	模拟电路举例——模拟开关的保护电路	140
8.9.3	模拟、数字混合电路举例——伪速率调制器 (PR-M)	142
	参考文献	145

第 9 章 环境及其防护设计

9.1	环境条件	146
9.1.1	环境分类	146
9.1.2	环境因素影响效应	147

9.1.3 环境保护原则	157
9.2 温度防护（高温、低温）	159
9.2.1 温度防护目的	160
9.2.2 温度防护方法	160
9.3 振动和冲击防护	162
9.3.1 环境条件界限和强度下限	163
9.3.2 振动与冲击防护措施	163
9.4 防潮、防盐雾、防霉菌、防砂尘	165
9.4.1 防潮	165
9.4.2 防盐雾	166
9.4.3 防霉菌	166
9.4.4 防砂尘	167
9.5 防爆、防雷击、防电磁与核辐射	167
9.5.1 防爆	167
9.5.2 防雷击	167
9.5.3 防电磁与核辐射	169
参考文献	170

第 10 章 边缘性能分析

10.1 边缘分析的边值法	171
10.2 田口玄一的参数设计	173
10.3 边缘分析的概率法	178
10.4 边缘分析的 Monte-Garlo 法	179
参考文献	180

第 11 章 冗余设计

11.1 冗余与容错	181
11.2 冗余设计应注意的事项	181
11.3 冗余设计方法	183
11.3.1 使资源耗费最少的冗余设计	183
11.3.2 使系统可靠性最大的冗余设计	186

参考文献	188
------------	-----

第 12 章 非电子产品可靠性设计

12.1 非电子产品可靠性分析与试验	189
12.1.1 不同类型产品可靠性问题的特点	189
12.1.2 非电子产品可靠性分析	190
12.1.3 非电子产品可靠性试验	196
参考文献	198
12.2 机械产品可靠性设计原理与可靠性计算	198
12.2.1 应力-强度干涉理论与可靠性的一般表达式	198
12.2.2 可靠性计算方法	199
参考文献	209
12.3 结构静强度、刚度可靠性设计	210
12.3.1 概述	210
12.3.2 基于联结方程的概率设计	211
12.3.3 基于可靠性安全系数法的可靠性设计	221
12.3.4 结构刚度可靠性设计	226
12.3.5 航天结构金属材料选用与性能统计	230
参考文献	238
12.4 复合材料结构强度的可靠性设计	239
12.4.1 复合材料强度的概率分布函数	239
12.4.2 结构强度的变差系数 C_{vs}	239
12.4.3 结构强度可靠性设计的基本方法	239
参考文献	244
12.5 疲劳与断裂的可靠性	244
12.5.1 疲劳强度与裂纹长度的分布函数	244
12.5.2 断裂及其可靠性设计	244
12.5.3 疲劳破坏及其设计准则	250
12.5.4 疲劳寿命的统计确定方法	260
12.5.5 疲劳可靠性设计	262
参考文献	263
12.6 磨损和腐蚀（烧蚀）的概率计算	264

12.6.1 磨损特性和参数图线	264
12.6.2 给定寿命下的零件耐磨可靠性计算	267
12.6.3 给定耐磨可靠性时摩擦副寿命计算	269
12.6.4 腐蚀(烧蚀)概率计算	271
参考文献	272

第 13 章 贮存可靠性与贮存寿命设计

13.1 贮存期与贮存可靠性	273
13.2 典型的贮存失效模式	275
13.3 贮存可靠性设计	276
13.3.1 贮存环境条件改善设计	276
13.3.2 贮存环境适应性设计	277
13.3.3 贮存环境保护包装设计	279
13.3.4 非金属材料与元器件贮存期划线控制	284
13.4 贮存阶段维护方案设计	284
13.5 贮存试验	285
参考文献	286

第 14 章 人机工程设计

14.1 人体几何尺寸	287
14.2 环境条件设计	288
14.2.1 温度、湿度	288
14.2.2 照明	289
14.2.3 色彩	289
14.2.4 噪声	290
14.2.5 振动及加速度	291
14.3 信息显示设计	292
14.3.1 标度器常用类型	292
14.3.2 计数器	293
14.3.3 示波器	294
14.3.4 灯光	294
14.3.5 音响器	294

14.4 操纵与连接机构设计	294
14.4.1 按钮	294
14.4.2 脚踏按钮	295
14.4.3 搬钮开关	295
14.4.4 选择开关	295
14.4.5 旋钮	295
14.4.6 曲柄	296
14.4.7 手轮 (操纵盘)	296
14.4.8 操纵杆	296
参考文献	296

第 15 章 设计评审

15.1 概述	297
15.2 评审的内容	299
15.3 设计评审检查单	299
参考文献	300

第 16 章 可靠性验证

16.1 可靠性验证的意义、分类及程序	301
16.1.1 意义	301
16.1.2 分类	301
16.1.3 可靠性验证试验的一般程序	302
16.2 设计阶段可靠性验证抽样方案设计	305
16.2.1 设计阶段验证试验特点	305
16.2.2 成败型抽样方案	305
16.2.3 指数寿命型抽样方案	314
16.2.4 威布尔寿命型抽样方案	318
16.2.5 应力-强度型抽样方案	319
16.3 生产阶段可靠性验证抽样方案设计	321
16.3.1 生产阶段验证试验特点	321
16.3.2 生产阶段可靠性验证抽样方案设计提要	322
参考文献	322

第 17 章 可靠性增长

17.1 可靠性增长概述	323
17.1.1 可靠性增长的基本定义	323
17.1.2 可靠性增长试验	323
17.1.3 可靠性增长方式	325
17.1.4 可靠性增长管理	326
17.2 可靠性增长模型	327
17.2.1 Duane 增长模型	327
17.2.2 AMSAA 增长模型	332
17.3 已知模型的可靠性增长试验设计	340
17.3.1 试验设计的原始条件	340
17.3.2 绘制可靠性增长试验理论曲线与计划曲线	341
17.3.3 可靠性增长试验跟踪与控制	346
17.3.4 可靠性增长试验最终评估	347
17.4 未知模型可靠性增长试验设计	348
17.4.1 未知模型可靠性增长试验特点	348
17.4.2 可靠性增长试验方案	348
参考文献	352

第 18 章 加速寿命试验

18.1 概述	353
18.2 恒定应力加速寿命试验的试验设计	354
18.2.1 应力类型的选择及应力水平的确定	354
18.2.2 参数的监测	354
18.2.3 试验的样本量	355
18.2.4 试验截止时间	355
18.2.5 失效判据	355
18.3 加速寿命数据的图分析法	356
18.3.1 正态、对数正态和威布尔概率图分析法	356
18.3.2 加速寿命试验的图分析法	359
参考文献	365