

可靠性科学方法论

康 锐

北京航空航天大学可靠性与系统工程学院

北京瑞盈智能科技有限公司

学院与团队简介



杨为民
1935-2002



1965: 北航无人机研究所 (无侦五无人侦察机1969
研制-1980定型, 仍在服役)

1985: 工程系统工程系/可靠性工程研究所

2009: 可靠性与系统工程学院/可靠性工程研究所

1985: 飞行器设计 (可靠性工程)

2006: 质量与可靠性工程/系统工程

2018: 质量与可靠性工程/系统工程

安全工程/安全科学与工程



学院与团队简介



教学

80 本科生/年
150 硕士生/年
30 博士生/年
120 专任教师+100 工程师

科研

140万元/人年
自然科学基金
重大研发计划
企业合作

国家智库

装备通用质量特性技术与管理战略
国家863计划可靠性技术发展战略
中国制造2025可靠性系统工程发展战略

工程

国家授权的可靠性试验鉴定机构（元
器件/软件/设备/装备）

- 可靠性与环境工程技术国防重点实验室
- 工程系统工程系
- 系统安全与可靠性工程系
- 可靠性与环境试验中心
- 元器件质量检验中心
- 软件可靠性测评中心



中国特色的工业化发展道路和杨为民先生的人格魅力孕育了一个独特的学院

学院与团队简介

抽象对象

人脑网络
信息物理社会系统
信息物理系统
网络
硬件+软件
硬件/软件



方法论

故障预防
故障预测
故障控制

故障学 (Failureology)

认识故障规律/表征故障行为



迄今为止可靠性研究已经横跨工程系统、社会系统、生命系统（人）

学院与团队简介

康锐教授



- 1978：辽宁省本溪市第一中学
- 1983：北航自动控制系电气工程专业，本科
- 1987：北京航空航天大学自动控制系航空电气工程专业，硕士
- 1990：北京航空航天大学工程系统工程系，助教
- 1991：北京航空航天大学工程系统工程系，讲师
- 1993：北京航空航天大学工程系统工程系，副研究员
- 1997：北京航空航天大学工程系统工程系，副主任
- 1999：北京航空航天大学工程系统工程系，研究员
- 2002：可靠性中心常务副主任、总工程师；
- 2010：国家重大基础研究项目，首席科学家
- 2013：教育部长江学者特聘教授



学院与团队简介



陈颖 副教授

2006：毕业于清华大学精密仪器与机械学院，入职北航

2016：美国加州大学洛杉矶分校（UCLA）访问学者

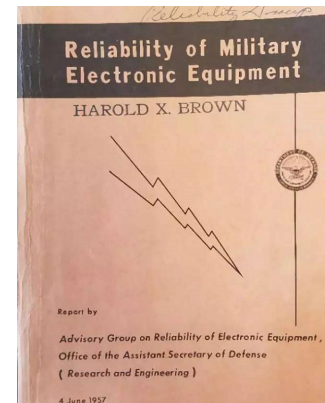
- 研究方向：故障物理学、系统可靠性与风险分析方法
- 项目经历：
 - 作为负责人主持国家自然科学基金、技术基础项目、973项目专题以及航空、航天领域合作项目
- 培训经验：
 - 针对中电14所、中航集团614所、中车集团株洲时代电子、中核武汉105所等单位开展FMECA、故障物理、可靠性仿真等领域多次技术培训



演讲提纲

- 可靠性科学的起源
- 可靠性数学方法
- 可靠性物理方法
- 可靠性逻辑方法
- 可靠性设计方法
- CRAFE产品特点
- 瑞盈智能产品线展望

可靠性科学的起源



1957：美国国防部AGREE报告

1. 理论成果：

- ① 正式给出了可靠度的定义，可靠度为系统在规定条件下、规定时间内完成规定功能的概率，初步给出了可靠度的数学表达，即 $R(t)=Pr(T>t)$, T 表示故障时间；
- ② 建立了初步的可靠性度量指标体系，如平均故障间隔时间（MTBF）、故障率、可靠寿命等，提出了要进行可靠性指标分配的要求；
- ③ 提出了进行电子元器件可靠性预计的要求（基于手册的方法）；
- ④ 给出了可靠性鉴定试验和可靠性验收试验方法；

2. 实践成果：

- ① 提出了采取设计措施（例如减振、散热等），降低冲击、振动、温度等工作载荷与环境载荷对产品造成的应力；
- ② 对于关键的元器件提出冗余设计要求；
- ③ 提出采取切实保障措施保证所选用（采购）电子元器件的可靠性水平；
- ④ 提出了加强故障信息反馈，改进产品设计，实现可靠性增长的管理要求。

可靠性数学方法

故障数据的统计分析



子系统	零部件	故障百分比 %
电气设备	集成电路	77.5
	电线	12.5
	接头	10.0
	其他	63.8
脚蹼	挡泥板	21.8
	液压缸	14.4
	动力设备	65.5
液压系统	液压配管	20.2
	装配件	14.3
伸缩系统	限位开关	90.3
	缸	9.7

可靠性数学方法

故障数据的统计分析

单片集成电路故障模式百分比

类型	故障模式	百分比 %
双极数字电路	逻辑输出失效	32
	性能退化	43
	断路	20
	短路	5
MOS数字电路	性能退化	60
	断路	25
	短路	15
	模拟输出失效	15
双极与MOS模拟电路	性能退化	50
	断路	25
	短路	10

可靠性数学方法 可靠性的理论话语

$$R(t) = \Pr\{T > t\},$$

故障率

平均故障间隔时间

可靠寿命

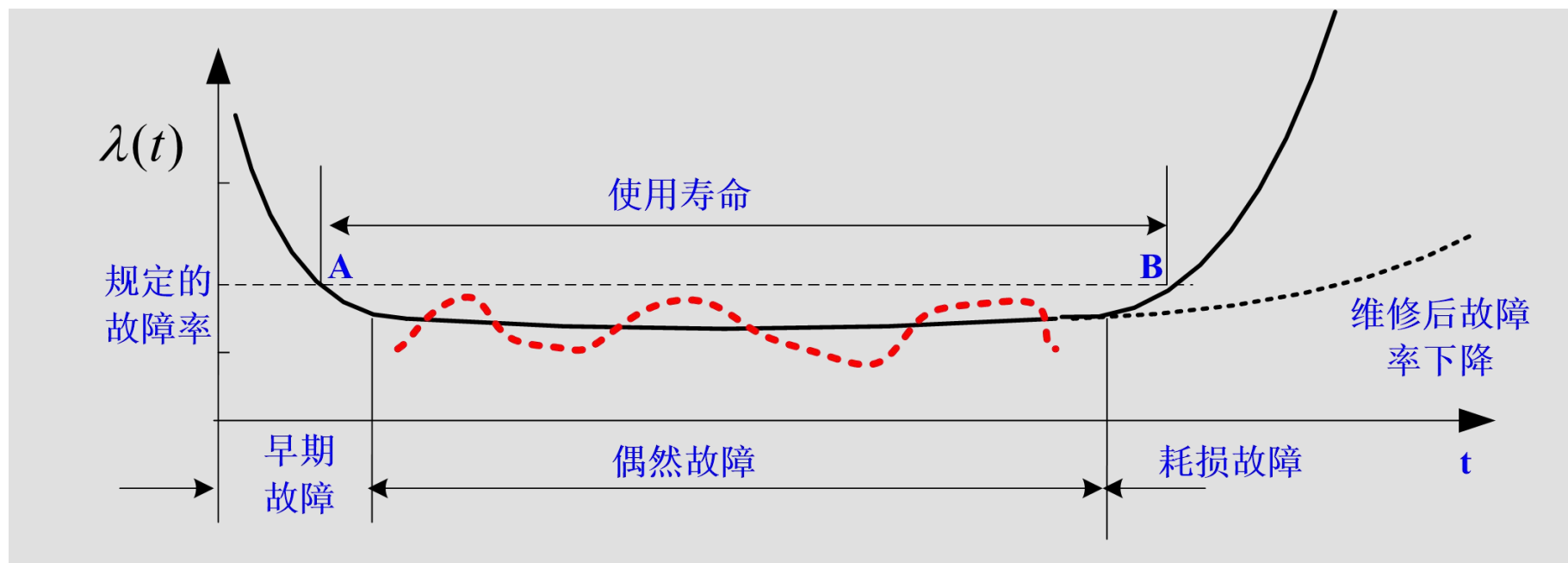
平均修复时间

故障检测率

故障隔离率

大修周期

可用度



可靠性数学方法 可靠性统计试验

基于模拟环境的可靠性试验考核

可靠性鉴定试验：GJB899

- MTBF = 6000 (h)
- 总时间 4.3 MTBF

试验样本量	试验时间 (h)
1	25800
2	12900
3	8600

可靠寿命试验：1325号文

- 试验时间：首翻期 1.5倍
- 样本数量：不少于2台（套）

可靠性物理方法 故障率——协变量模型

类别		工作失效率模型
单片双极与MOS数字电路、PLA和PAL电路		$\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$
单片双极与MOS模拟电路		$\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$
单片双极与MOS微处理器		$\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$
存储器	SRAM、DRAM、ROM及CCD	$\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$
	PROM	$\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V \pi_{PT} + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$
	UVEPROM、EEPROM	$\lambda_p = \pi_Q [C_1 \pi_T \pi_V \pi_{CYC} + (C_2 + C_3) \pi_E] \pi_L$

λ_p 工作失效率, $10^{-6}/h$

π_E 环境系数

π_Q 质量系数

π_L 成熟系数

π_T 温度应力系数

π_V 电压应力系数

π_{PT} PROM电路的可编程序工艺系数

π_{CYC} EEPROM电路的读/写循环率系数

C_1 电路复杂度失效率

C_2 电路复杂度失效率

C_3 封装复杂度失效率

可靠性物理方法 故障率——协变量模型

质量等级		质量要求说明	质量要求补充说明	π_Q
A	A ₁	符合GJB 597A列入质量认证合格产品目录的S级产品	——	
	A ₂	符合GJB 597A列入质量认证合格产品目录的B级产品	——	0.10
	A ₃	符合GJB 597A列入质量认证合格产品目录的B ₁ 级产品	——	0.14
	A ₄	符合GJB 4589.1的III类产品，或经中国电子元器件质量认证委员会认证合格的II类产品	按QZJ 840614~840615“七专”技术条件组织生产的I、I _A 类产品；符合SJ 331的I、I _A 类产品	0.25
B	B ₁	按GJB 597A的筛选要求进行筛选的B ₂ 质量等级产品；符合GB 4589.1的II类产品	按“七九〇五”七专质量控制技术协议组织生产的产品；符合SJ 331的II类产品	0.50
	B ₂	符合GB 4589.1的I类产品	符合SJ 331的III类产品	1.0
C	C ₁	——	符合SJ 331的IV类产品	4.0
	C ₂	抵挡产品		14

可靠性物理方法 故障时间模型

$$TTF = f(g; m; e; o; \dots)$$

产品自身设计特征参数 (几何、材料)

寿命周期的环境载荷或工作载荷

1

栅氧化层介质击穿E模型

$$TF = C \cdot \exp\left(-\frac{A \cdot V_g}{t_c}\right) \cdot \exp\left(\frac{E_a}{T_g}\right)$$

寿命时间

设计参数

t_c 芯片氧化层厚度
 V_g 氧化层门电压

材料参数

C E模型击穿系数
 A E模型场加速因子
 E_a 击穿活化能

载荷参数

T_g 芯片工作温度

2

Archard磨损寿命模型

$$N = \frac{h_s H A}{\mu W_a L_m}$$

磨损次数

阈值参数

h_s 最大允许磨损量

材料参数

H 材料硬度
 μ 动摩擦系数
 A 两磨损面的接触面积

载荷参数

W_a 接触面正压力

可靠性物理方法 性能裕量模型

性能裕量模型一般形式

$$P = f(t, \mathbf{x}, \dots), P_{th}$$

P 性能参数 \mathbf{x} 其他参数向量
 t 时间 P_{th} 性能参数阈值

振动冲击应力模型（一阶冲击振动）

$$Z_{allow} = \frac{0.00665B}{Ch\sqrt{L}}$$
$$Z_{max} = \frac{386G_{in} P_F}{f_n^{1.5}} R_{xy}$$

与时间相关

当 $Z_{max} > Z_{allow}$ 时，失效发生

输入参数

参数	参数含义	量纲
L	元器件长度	mm
C	封装相关参数	无
h	PCB的厚度或高度	mm
B	平行于元器件长边的PCB边缘长度	mm
f_n	固有频率	Hz
R_{xy}	元器件处电路板相对曲率	无

可靠性物理方法 性能裕量模型

不同脉冲类型的 P_F 取值

振动冲击应力模型（一阶冲击振动）

$$Z_{allow} = \frac{0.00665B}{Ch\sqrt{L}}$$

$$Z_{max} = \frac{386G_{in}P_F}{f_n^{1.5}} \cdot R_{xy}$$

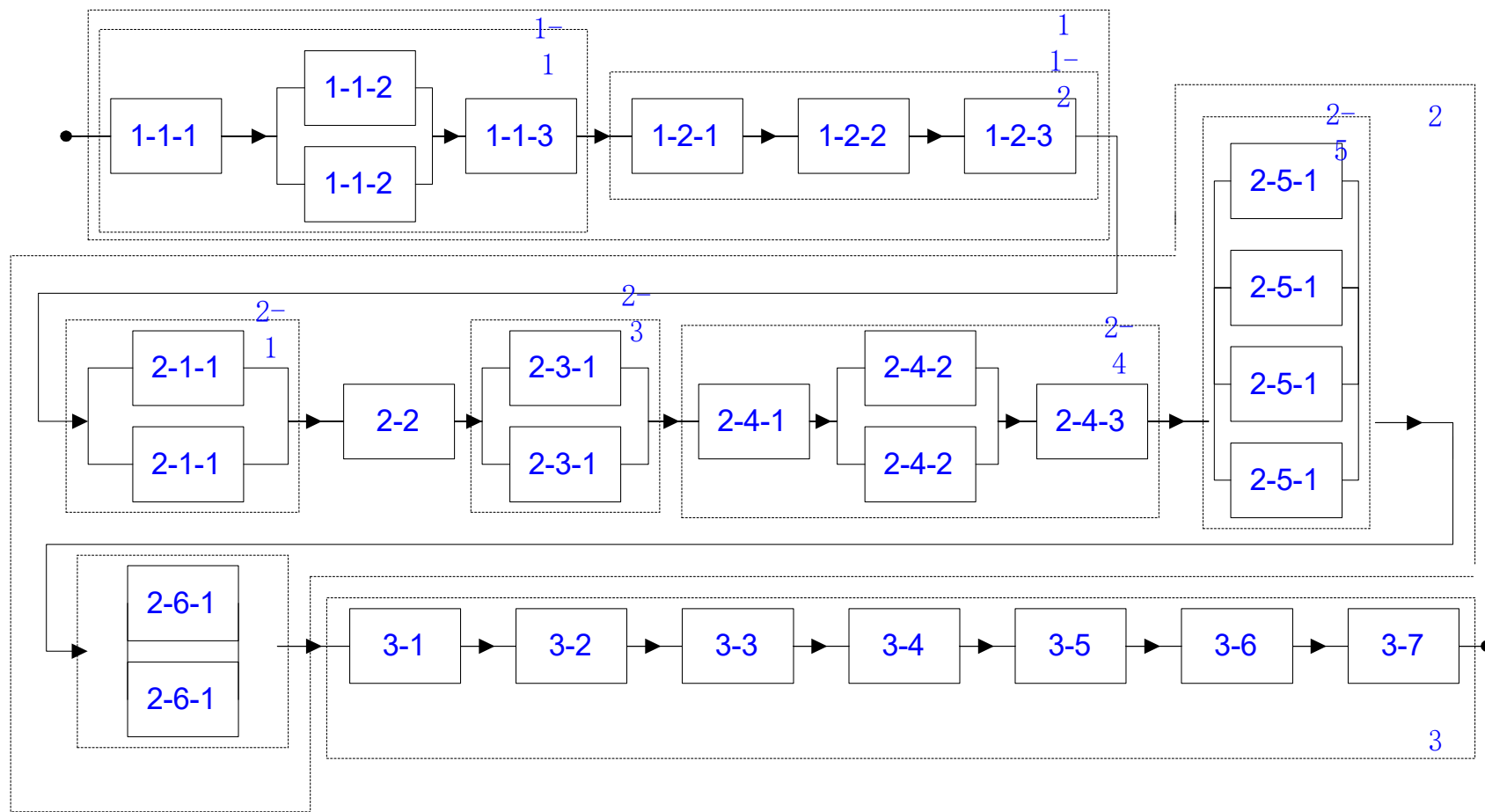
当 $Z_{max} > Z_{allow}$ 时，失效发生

参数	参数含义	量纲
输出参数		
Z_{allow}	理想最大位移	in
Z_{max}	实际最大位移	in
计算参数		
P_F	放大系数	无

P_F 与时间 T 有关

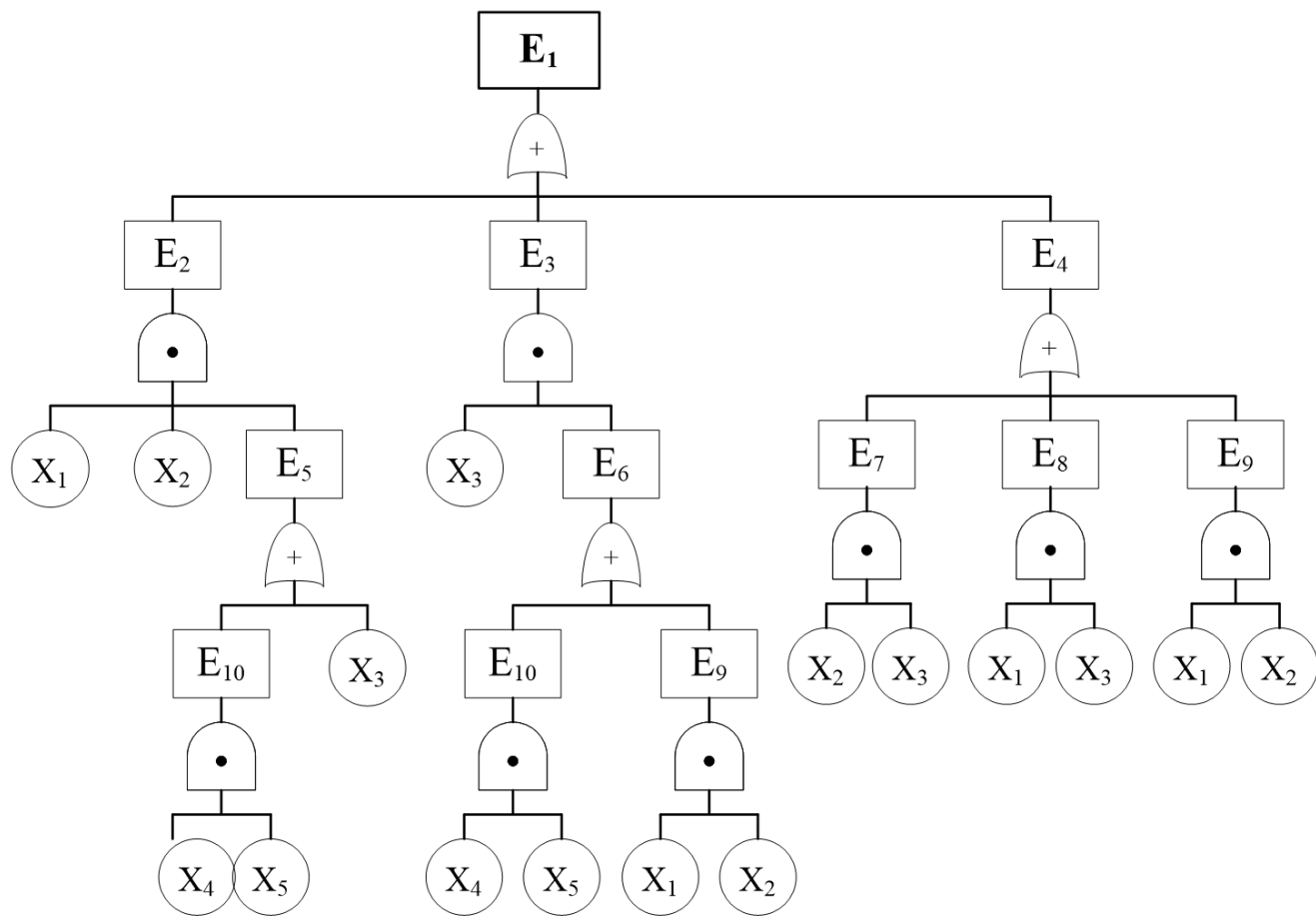
脉冲类型 T_p	$f_n \cdot T$	P_F
半正弦脉冲	小于 0.5	$P_F = \frac{4f_n T}{1 - (2f_n T)^2 \cos(\pi f_n T)}$
	0.5-1.5	$P_F = \frac{2f_n T}{2f_n T - 1} \sin\left(\frac{2\pi}{2f_n T + 1}\right)$
	1.5-2.5	$P_F = \frac{2f_n T}{2f_n T - 1} \sin\left(\frac{4\pi}{2f_n T + 1}\right)$
	大于 2.5	$P_F = 1$
终端锯齿脉冲	小于 3	$P_F = \sqrt{1 + \frac{1 - \cos(2\pi f_n T)}{2(\pi f_n T)^2} - \frac{\sin(2\pi f_n T)}{\pi f_n T}}$
	大于等于 3	$P_F = 1$
一步斜坡脉冲	小于 5	$P_F = 2 \sin(\pi f_n T)$
	大于等于 5	$P_F = 2$

可靠性逻辑方法 功能逻辑方法——可靠性框图



示例的任务可靠性框图

可靠性逻辑方法 故障逻辑方法——故障树分析



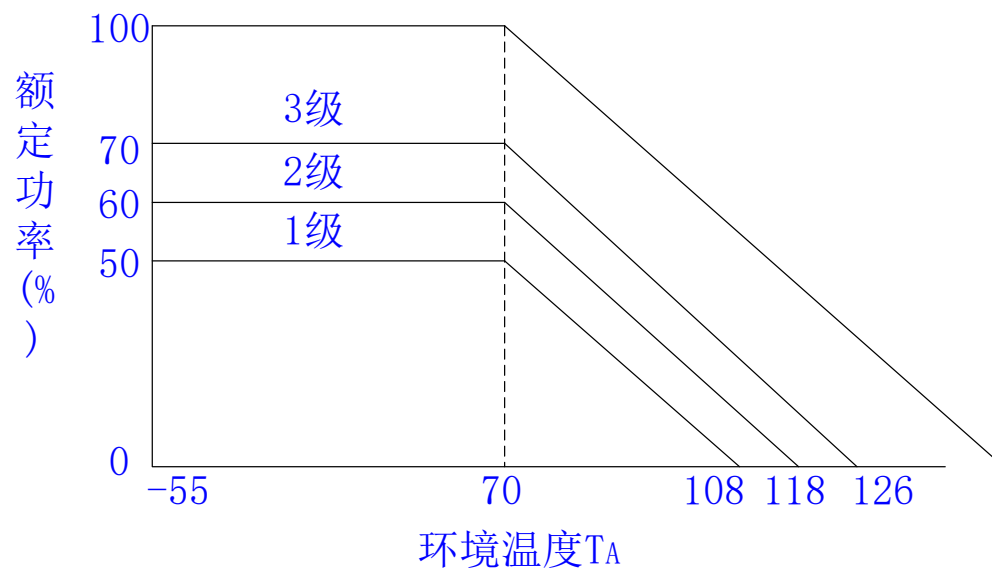
中间事件：

- E₁——系统故障（电网失效）；
- E₂——站B输入线路上无电；
- E₃——站C输入线路上无电；
- E₄——站B或站C的负荷仅由同一条输出线承担；
- E₅——来自站C的输电线路无电；
- E₆——来自站B的输电线路无电；
- E₇——输电线2、3同时故障；
- E₈——输电线1、3同时故障；
- E₉——输电线1、2同时故障；
- E₁₀——输电线4、5同时故障。

底事件为：

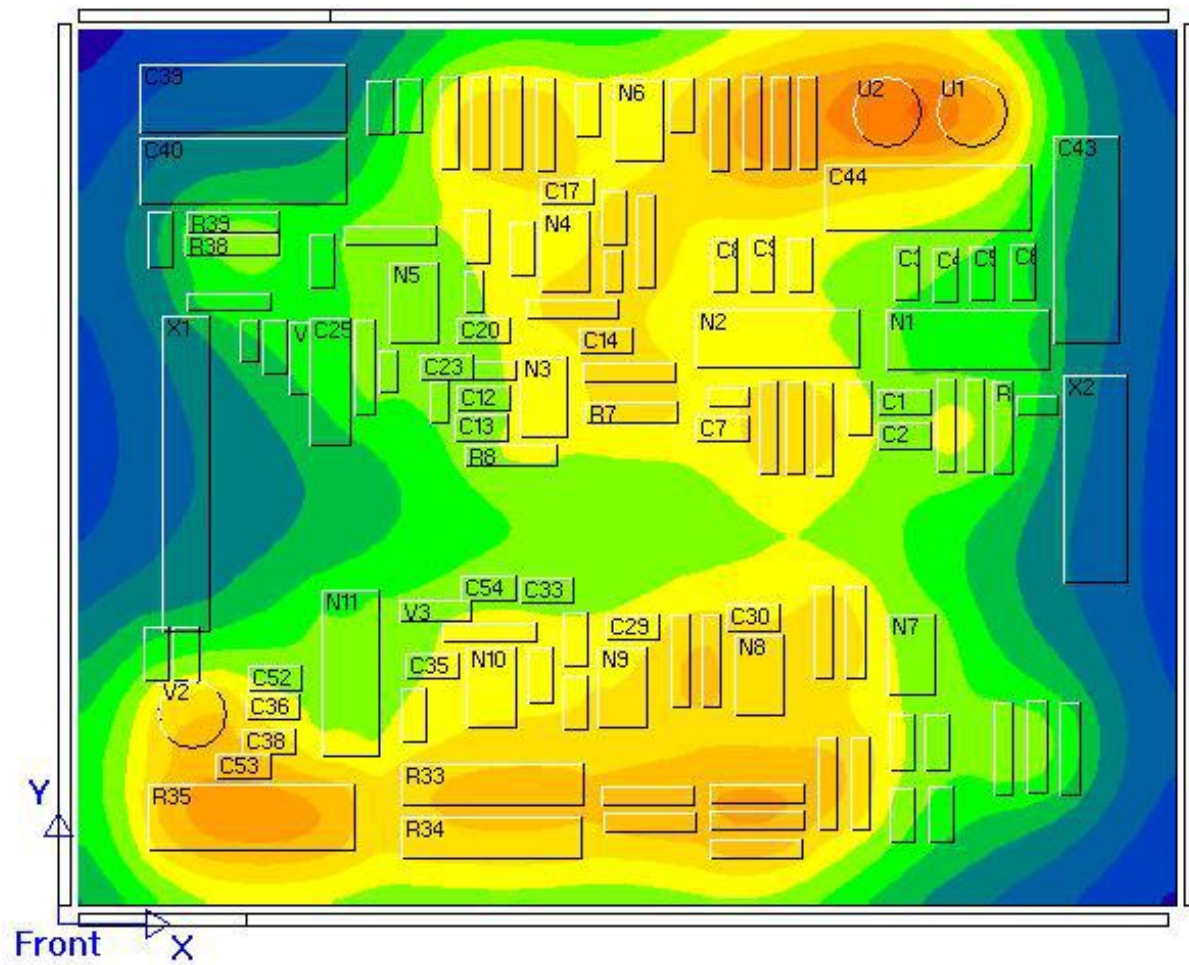
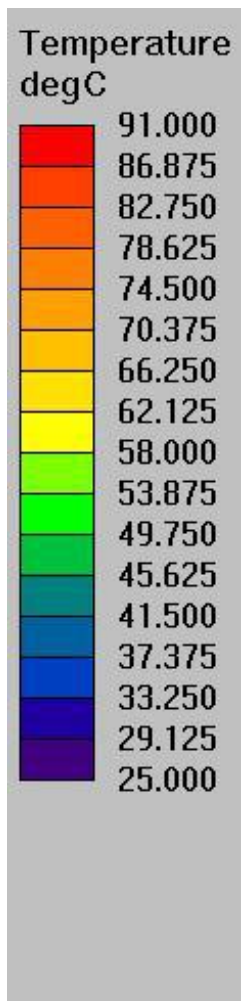
- X₁——线路1故障断电；
- X₂——线路2故障断电；
- X₃——线路3故障断电；
- X₄——线路4故障断电；
- X₅——线路5故障断电。

可靠性设计方法 电子产品降额设计法

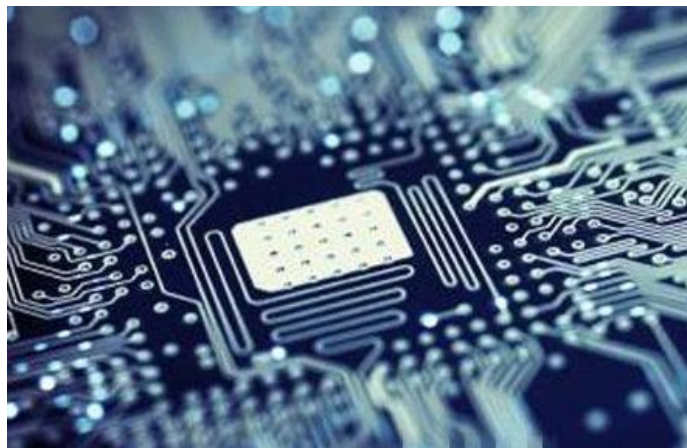


降额参数	降额等级		
	I 级	II 级	III 级
电源电压容限	±3%	±5%	
频率	0.80	0.90	0.95
输出电压	0.80	0.90	0.95
最高结温	85	100	115

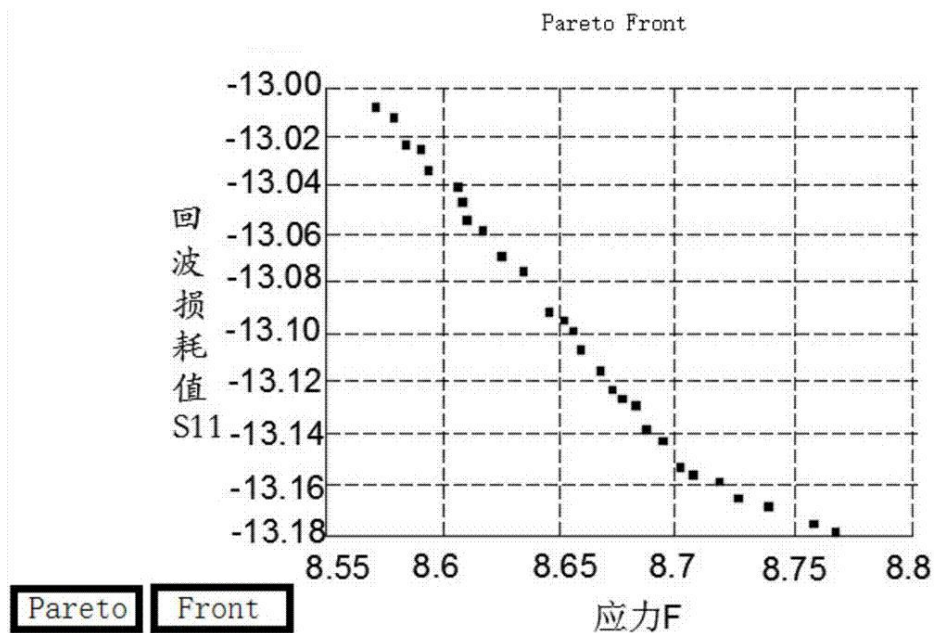
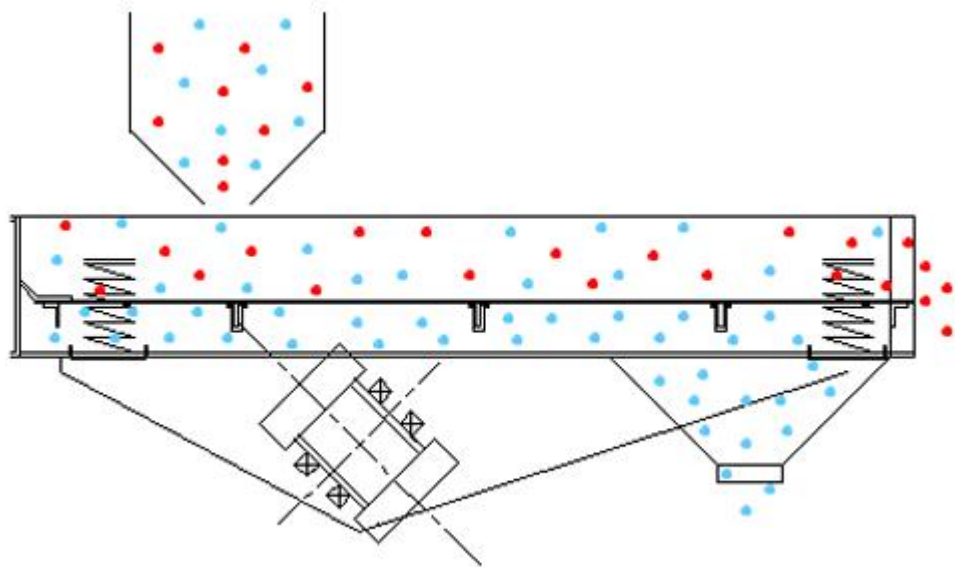
可靠性设计方法 热设计



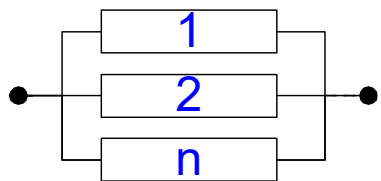
可靠性设计方法 电磁兼容设计



可靠性设计方法 防振动设计

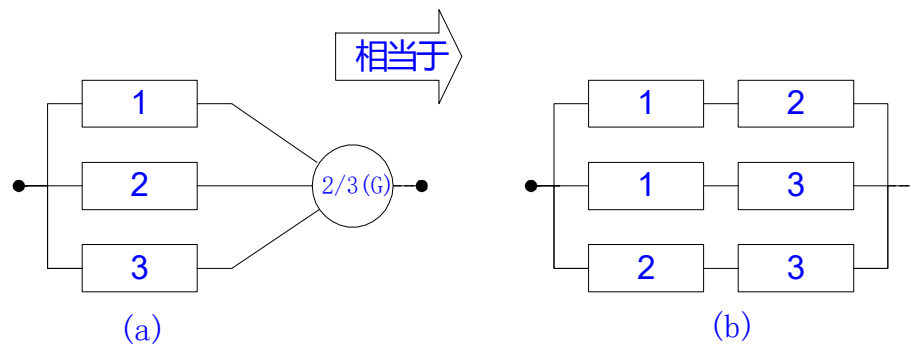


可靠性设计方法 余度设计法



并联系统可靠性框图

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)]$$

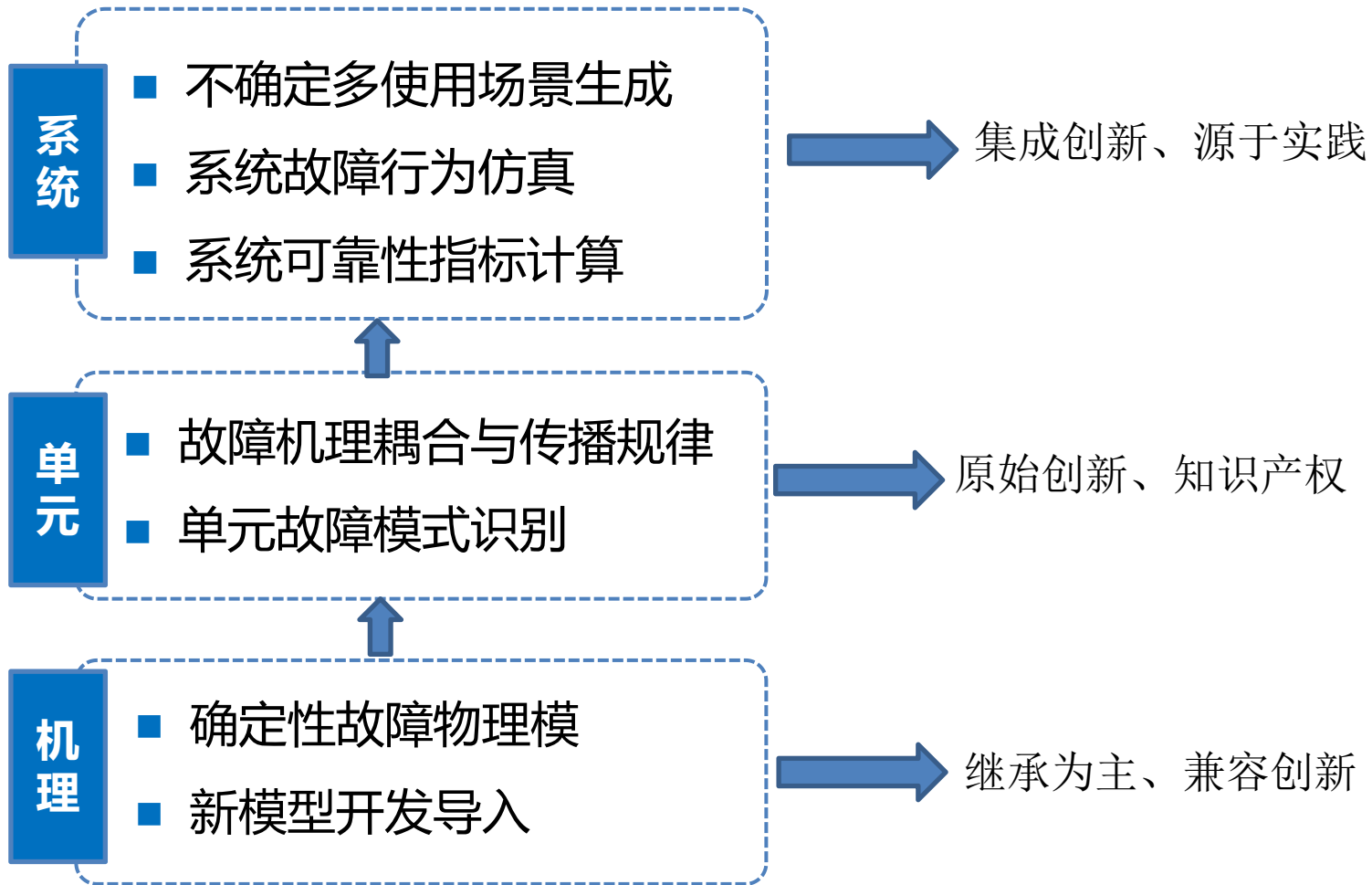


2/3(G) 系统可靠性框图

$$R_s(t) = 3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}$$

$$T_{BCF_s} = \frac{5}{6\lambda}$$

CRAFE产品特点 科学原理



CRAFE产品特点 体系架构



- ☁ 系统故障模式机理分析 (FMMEA)
- ☁ 电子设备的可靠性指标MTBF预计
- ☁ 元器件单故障机理可靠性及寿命计算
- ☁ 多阶段任务产品的可靠性仿真剖面集成

- ☁ 设备级、板级多物理场应力仿真分析
- ☁ 暴露产品设计中的薄弱环节
- ☁ 设计阶段电子产品可靠性增长
- ☁ 鉴定阶段可靠性仿真评估

学术论文

- [1] Ying Chen, Ying Yi Li, Rui Kang. Reliability Analysis of MS-PM Systems Based on Failure Mechanism Accumulation Method. 2018,6: 45707-45714. IEEE ACCESS. 10.1109/ACCESS.2018.2865239
- [2] Ying Chen, Ze Wang, Rui Kang, Reliability Analysis of a Cold-Standby System Considering the Development Stages and Accumulations of Failure Mechanisms. Reliability Engineering and System Safety.2018,180:1-12
- [3] Li Y Y, Chen Y, Yuan ZX, Kang R. Reliability analysis of multi-state systems subject to failure mechanism dependence based on a combinational method. Reliability Engineering and System Safety. 2017, 166:109-123
- [4] Ying Chen, Ning Tang, ZX Yuan Prognostic and Remaining Life Prediction of Electronic Device under Vibration Condition based on CPSD of MPI. Shock and Vibration Vol. 20,2016,1-11
- [5] Ying Chen, Liu Yang, Cui Ye Rui kang. Failure mechanism dependence and reliability evaluation of non-repairable system. Reliability Engineering and System Safety. 138 (2015) 273–283
- [6] Ying Chen, Cui Ye, Rui Kang. Optimal Design of Piezoelectric Vibration device with Constrained Variable Algorithm and FEA method.Journal of Vibroengineering, 2014, 16(6): 2962-2968
- [7] Ying Chen, Bingdong Liu, Rui Kang. Study of vibratory stress relief effect of quartz flexible accelerometer with FEA method.Journal of Vibroengineering, 2013,15(2):784-793
- [8] Ying Chen, Rui Kang. Design for Reliability of Ultrasonic Bone Knife. Advanced Science Letters. ADVANCED SCIENCE LETTERS 2011:4 (6-7):2147-2151 (SCI impact factor: 1.253, WOS:000295057600046)
- [9] Li Desheng, He Qian, Chen Ying. Velocity control of longitudinal vibration ultrasonic motor using improved Elman neural network trained by CQPSO with Levy flights. JOURNAL OF VIBROENGINEERING.2014,16(2):735-747(SCI impact factor:0.66, WOS: 000333633200018)

学术论文

- [10] Ying Chen, Bingdong Liu, Rui Kang,Zebing Hou.Study on Parameter Drift mechanism of a Quartz Accelerometer with a System Analysis Method. Chemical Engineering Transactions, v 33, p 13-18, 2013.(EI: 20133816755746)
- [11] Ying Chen, Limei Xie, Rui. Kang. Probabilistic Modeling of Solder Joint Thermal Fatigue with Bayesian Method.IEEM2012 787-791(EI: 20142817931901)
- [12] Ying Chen, Limei Xie, Zebing Hou, Rui Kang. Reliability Enhancement Test of a Single Board Computer.PHM2012(EI:20123815449269)
- [13] Xiaoqin Zhang, Ying Chen, Xiang Ma, Rui Kang. Simulation Assisted FMEA of Electronic ProductPHM2012(EI:20123815449270)
- [14] Ying Chen, Cui Ye. Rui Kang. Status of FMECA Research and Engineering Application PHM2012(EI:20123815449272)
- [15] Ying Chen, Bingdong. Liu Rui Kang. Simulation of Residual Stress in the Laser Welding of Quartz Flexible Accelerometer (EI:20123815449274)
- [16] Ran Cao, Ying Chen. Rui Kang. Critical Review of System Failure Behavior Analysis Method. PHM2012(EI:20123815449275)
- [17] Ran Cao, Ying Chen, Rui Kang. Storage Reliability Evaluation of Engine Control Circuit Module. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, ICQR 2011, p 473-476, 2011 (EI: 20114314448669)
- [18] Ying Chen, Li M Xie, Rui kang. Reliability Prediction of Single-board computer Based on Physics of Failure Method. Proceedings of the 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA p 1454-1458, 2011 21-23 June 2011, Beijing, China(EI: 20113614295659)
- [19] Wang Z, Chen Y, W. Men. Failure Behavior Analysis of k-out-of-n Hot-Standby System with Imperfect Switch. 12th International Conference on Reliability Maintainability and Safety. 2018, Shanghai, ICRMS2018

学术论文

- [20] Ma Q C, Chen Y. Study on the cumulative rule of vibration damage of BGA solder joint under multi-phase condition. 12th International Conference on Reliability Maintainability and Safety. 2018, Shanghai.
- [21] Fang JY, Chen Y, R. Kang. Stress simulation analysis of electronic devices on cloud platform. 12th International Conference on Reliability Maintainability and Safety. 2018, Shanghai
- [22] Yu XY, Chen Y, Failure mechanisms cumulative model for reliability evaluation of k-out-of-n system with different types of failure mechanisms. 12th International Conference on Reliability Maintainability and Safety. 2018, Shanghai.
- [23] Weiyang Men, Ying Chen, Rui Kang. Thermal fatigue lifetime prediction of BGA solder joint via a novel fatigue crack propagation model. ESREL. 28th European Safety and Reliability Conference. 2018, Trondheim, 2269-2275. (非EI会议)
- [24] Weiyang Men, Ying Chen, Yingyi Li, Ze Wang. Reliability Modeling of Phased Mission Multi-State Systems via a Scenario Inference Method. PSAM. 14th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference. 2018, Los Angeles. (EI会议)
- [25] Z. Wang, Y. Chen, W. Men, R. Kang. Failure behavior analysis of hot standby system based on BDD method. 28th European Safety and Reliability Conference. 2018, Trondheim, 2441-2448
- [26] Xiao Yong Yu , Chen Y, Kang R. Failure Mechanism Behavior and Reliability of Non-repairable System with Functional Dependence. ICSRS 2017 (ISTP,WOS:000426453100029)
- [27] Ying Chen, Cui Ye, Guoqi Li. Failure Mode Databases and Their knowledge-Based management.ICRMS'2014.,10th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety(GuangZhou).1-4

学术论文

- [28] Ying Chen, Liu Yang, Bingdong Liu Xuedan. Applicability Study of Steinberg Vibration Fatigue Model in Electronic Products. IEEE 2014 Prognostics and System Health Management Conference. Zhangjiajie.
- [29] Lei Gao, Ying Chen, Bingdong Liu, Rui Kang Linqun Chen. Research on Working Modal Identification of Electronic Equipment by Cross Spectrum. (IEEE-CYBER 2014)
- [30] Ying Chen, Cui Ye, Rui Kang Xuedan. Reliability modeling method of electronic products considering failure mechanism dependence. IEEE-CYBER 2014
- [31] 陈颖, 高蕾, 康锐. 基于故障物理的电子产品可靠性仿真分析方法. 中国电子科学研究院学报.2013,8(5):444-448
- [32] 陈颖, 康锐. 球栅阵列封装焊点寿命预测的综合方法.焊接学报.2009,30(11): 105-108 (EI检索: 20095312588198)
- [33] 陈颖,霍玉杰,谢劲松,张源. 印刷线路板设计参数对镀通孔可靠性的影响. 北京航空航天大学学报.2007, 33(8):954-958
- [34] 陈颖,侯泽兵,康锐.故障模式、机理及影响分析(FMMEA)及应用研究.中国航空学会12届学术年会.2010年10月
- [35] 陈颖, 康锐. PBGA封装焊点寿命影响因素的有限元分析.半导体技术.2008,33(7):563-566(核心期刊)
- [36] 陈颖,谢劲松,孔令文. 镀通孔制造过程的失效机理与物理模型.电子元件与材料.2007,26(6):4-7(核心期刊)
- [37] 陈颖,孙博,谢劲松,李健.芯片粘接空洞对功率器件散热特性的影响.半导体技术, 2007,32(10):859-862(核心期刊)
- [38] 陈颖,孙博,谢劲松,康锐.元器件典型高可靠使用环境、试验条件和失效机理. 电子产品可靠性与环境试验.2007, 25(6):23-30

专著与教材

1. 陈颖. 电子产品可靠性仿真分析与风险评估, 十三五国家重点出版工程图书, 国防工业出版社, 2020。
2. 陈颖. 故障物理基础教程, 北京航空航天大学出版社, 2019。
3. 陈颖, 康锐. FMECA技术及其应用 (第二版), 国防工业出版社, 2014
4. 付桂翠,陈颖等.电子元器件可靠性技术教程, 北京航空航天大学出版社, 2010
5. 付桂翠,于庆奎,万博,张素娟,陈颖等.可靠性维修性保障性技术丛书—电子元器件使用可靠性保证. 国防工业出版社, 2011

标准规范

1. 陈颖主编, Q/AVIC xxxxx-2018 航空产品故障模式机理影响分析指南.中国航空工业集团有限公司标准
2. 陈颖主编, Q/AVIC xxxxx-2018 航空电子产品可靠性仿真试验.中国航空工业集团有限公司标准

授权发明专利

1. 陈颖,汤宁,袁增辉,康锐,机载电子产品仿真分析用例生成方法,2019.02.26,中国, ZL201610391409.X
2. 骆明珠,陈颖,叶翠,康锐,一种基于故障物理的电子产品任务可靠度计算方法,2016.06.15,中国, ZL201310589193.4
3. 陈颖,张晓秦,高蕾,康锐,一种新研航空电子产品硬件综合FMECA方法,2016.06.15,中国, ZL201310632162.2
4. 陈颖,谢丽梅,曹然,马响,康锐.一种航空参数处理设备可靠性薄弱环节确定方法.授权号: ZL 2012 1 0003484.6
5. 陈颖,刘丙栋,侯泽兵,康锐.一种基于多场耦合的加速度计振动时效仿真方法.授权号: ZL 2012 1 004049.5
6. 陈颖,张晓秦,曹然,马响,康锐.一种航空参数处理设备电源模块的FMIS方法.授权号: ZL 2012 1 0003614.6
7. 陈颖,刘丙栋,侯泽兵,康锐.一种石英挠性加速度计焊接残余应力仿真方法.授权号: ZL 2012 1 0003049.3
8. 陈颖,康锐.一种石英晶体振荡器晶片碎裂力分散性测量装置.授权号: ZL 2012 1 0103640.6
9. 陈颖,谢丽梅,康锐.一种基于贝叶斯理论的电子产品寿命模型概率化方法.授权号: ZL 2012 1 0103765.9
10. 陈颖,曹然,谢丽梅,康锐.一种航空驱动电路模块贮存动态可靠度计算方法.授权号: ZL 2012 1 0103967.6
11. 骆明珠,陈颖,叶翠,康锐.一种基于故障物理的电子产品任务可靠度计算方法. ZL 201310589193.4

受理发明专利

1. 陈颖, 李颖异. 一种基于故障机理相关的多状态系统可靠性建模方法. 受理号: 201610959881.9
2. 陈颖, 李颖异. 一种基于Petri网的多阶段任务系统故障行为建模方法, 受理号: 201611141292.6
3. 陈颖, 俞晓勇, 康锐. 基于故障机理损伤累积模型的载荷共担行为建模与仿真方法-受理号: 2017121801203270
4. 陈颖, 王泽, 李颖异, 康锐. 一种基于SBDD的冷储备系统故障行为建模方法.受理号: 201711002331.9
5. 陈颖, 王泽, 李颖异, 康锐. 一种基于蒙特卡洛和决策逻辑的故障行为仿真方法.受理号: 201711003071.7
6. 陈颖, 王泽, 李颖异, 康锐. 一种基于故障机理树和故障树结合的可靠性建模方法.受理号: 201711002315.X
7. 陈颖, 李颖异, 俞晓勇, 康锐. 基于故障机理综合损伤累积规则的PMS可靠性分层建模方法.受理号: 201711084021.6
8. 陈颖, 门伟阳, 袁增辉, 康锐. 确定不规则温循剖面下焊点损伤累积完整法则的有限元仿真方法.受理号: 201710671845.7
9. 陈颖, 门伟阳, 袁增辉, 康锐. 焊点在不规则温循剖面下损伤累积法则实验方法.受理号: 201710670605.5
10. 陈颖, 方家玥, 康锐. 电子产品应力云仿真平台的两阶段调度方法. 受理号: 201811074877.X
11. 陈颖, 王羽佳, 康锐. 一种基于贝叶斯网络和深度学习算法的故障机理智能分析方法.受理号: 201810982243.8
12. 陈颖, 马启超, 康锐. 一种确定多阶段任务下电子互连焊点振动损伤累加规则的有限元方法.受理号: 201810981183.8
13. 陈颖, 杨松, 门伟阳, 康锐. 一种多状态多阶段任务系统的故障场景树建模方法.受理号: 201811073245.1

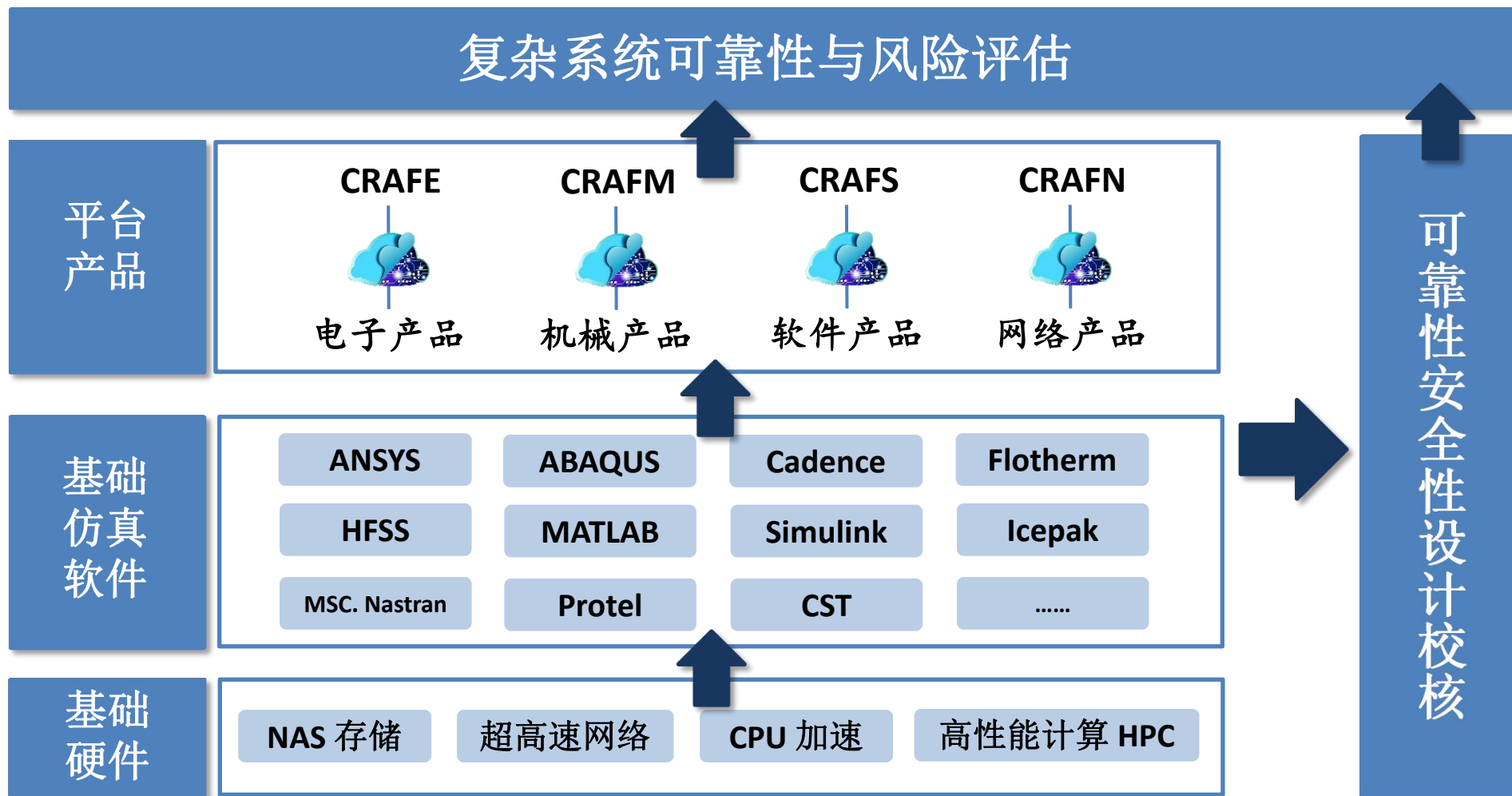
软件著作权

1. 陈颖, 康锐, 王羽佳. 电子产品故障行为与可靠性评估云仿真软件 (简称: CRAFE/电子产品可靠性云评估) V1.0. 登记号: 2018SR966388
2. 陈颖, 康锐. 基于Visual Basic与ANSYS的BGA封装焊点寿命仿真评估软件. 专利登记号: 2011SRBJ2291
3. 陈颖, 康锐. 基于ANSYS UIDL的内嵌BGA封装焊点应力应变场求解软件. 专利登记号: 2011SRBJ2292
4. 陈颖, 康锐. 基于Visual Basic与Access的FMMECA基础数据库软件. 专利登记号: 2012SR025940
5. 陈颖, 康锐. 基于JAVA和mySQL的电子产品故障信息数据库软件. 专利登记号: 2012SR025946

CRAFE产品特点 实践基础


1. 自动飞行控制装置618所
2. 数字告警接收机212厂
3. 灯控制盒135厂
4. 襟、缝翼PDU控制器135厂
5. 无线电高度表782厂
6. 前防护记录器3327厂
7. 大气数据计算机221厂
8. 静止变流器185厂
9. 配平控制器242厂
10. 发动机参数采集与处理设备221厂
11. 数据存储器 航天时代
12. 信号处理电路板 中车时代电子
13. 自动飞行控制计算机618所/232厂
14. 惯性/卫星组合导航计算机618所
15. 通用处理单元615所
16. 视频处理单元615所
17. 控制显示单元615所
18. 综合数据传输装置615所
19. 多功能显示器171厂
20. 飞行员操作接口单元615所
21. 正前方控制板615所
22. 发动机电子控制器614所
23. 光纤惯导部件 西安晨曦
24. 随动电子箱 北京新兴

瑞盈智能未来产品线展望





敬请批评指正

 报告人：康 锐，13701324522

 kangrui@buaa.edu.cn

 北京航空航天大学可靠性与系统工程学院