



# 产品可靠性设计

章文晋

北京航空航天大学可靠性工程研究所

北京现代青亚科技有限公司



**挂靠的主要单位：**

- **中国人民解放军总装备部可靠性工程技术中心**
- **国防科工委可靠性工程技术研究中心**
- **中国航空第一集团公司可靠性技术和管理中心**
- **中国航空第二集团公司可靠性技术和管理中心**
- **中国人民解放军总参谋部陆航装备可靠性办公室**
- **中国航空第一集团公司计算机软件测评管理中心**

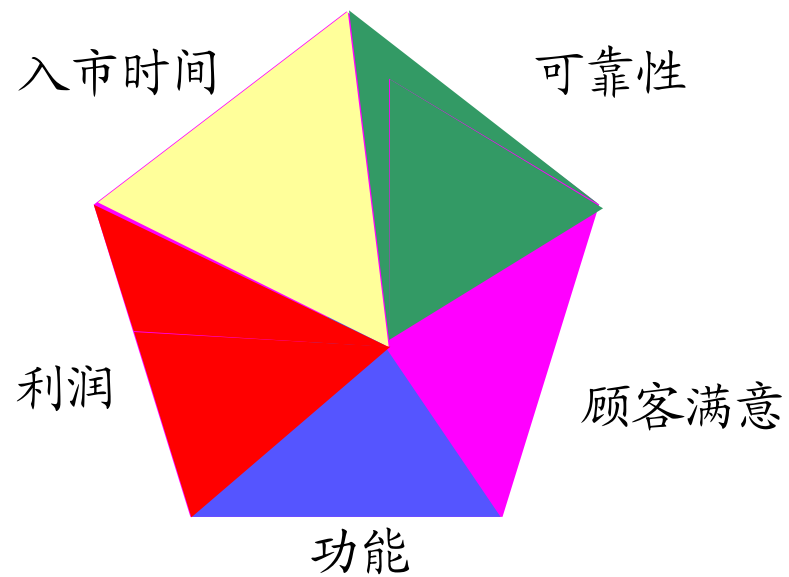
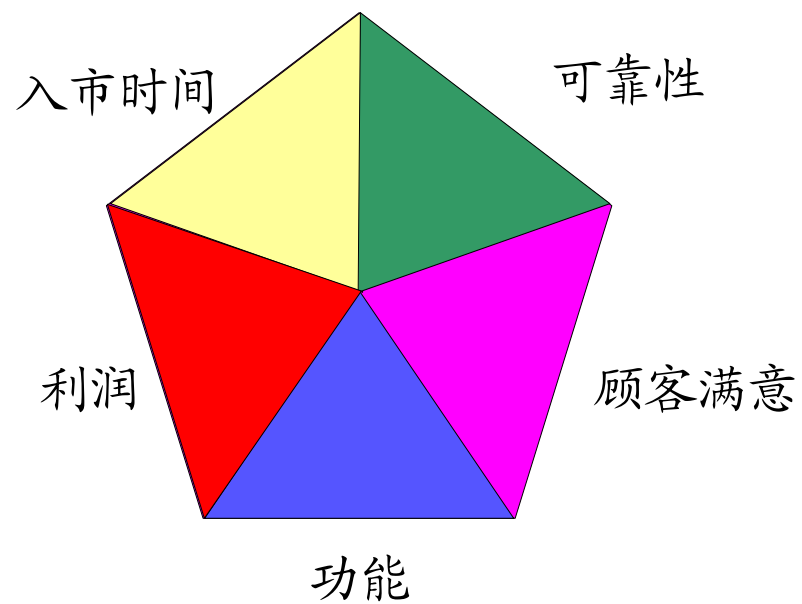


# 本次讲座内容

---



- 为什么开展可靠性设计？
- 如何开展可靠性设计？
- 规划可靠性工作的建议





- 产品设计的指导思想发生了重大转变
  - 从仿制走向自主研制
  - 从掌握技术、解决有无走向形成能力
- Made in China ?
- Born in China ?



# 可靠性的地位和作用

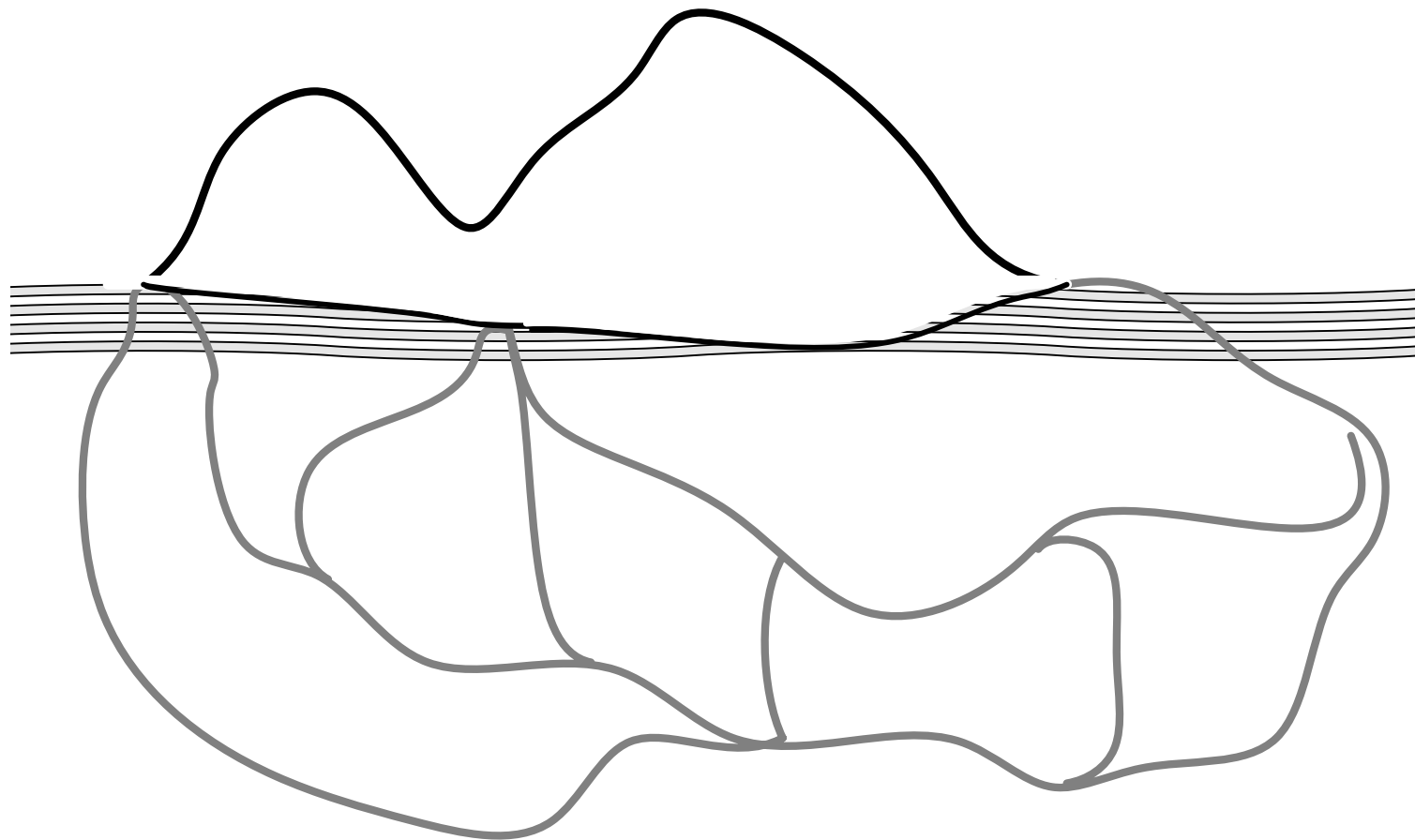
---

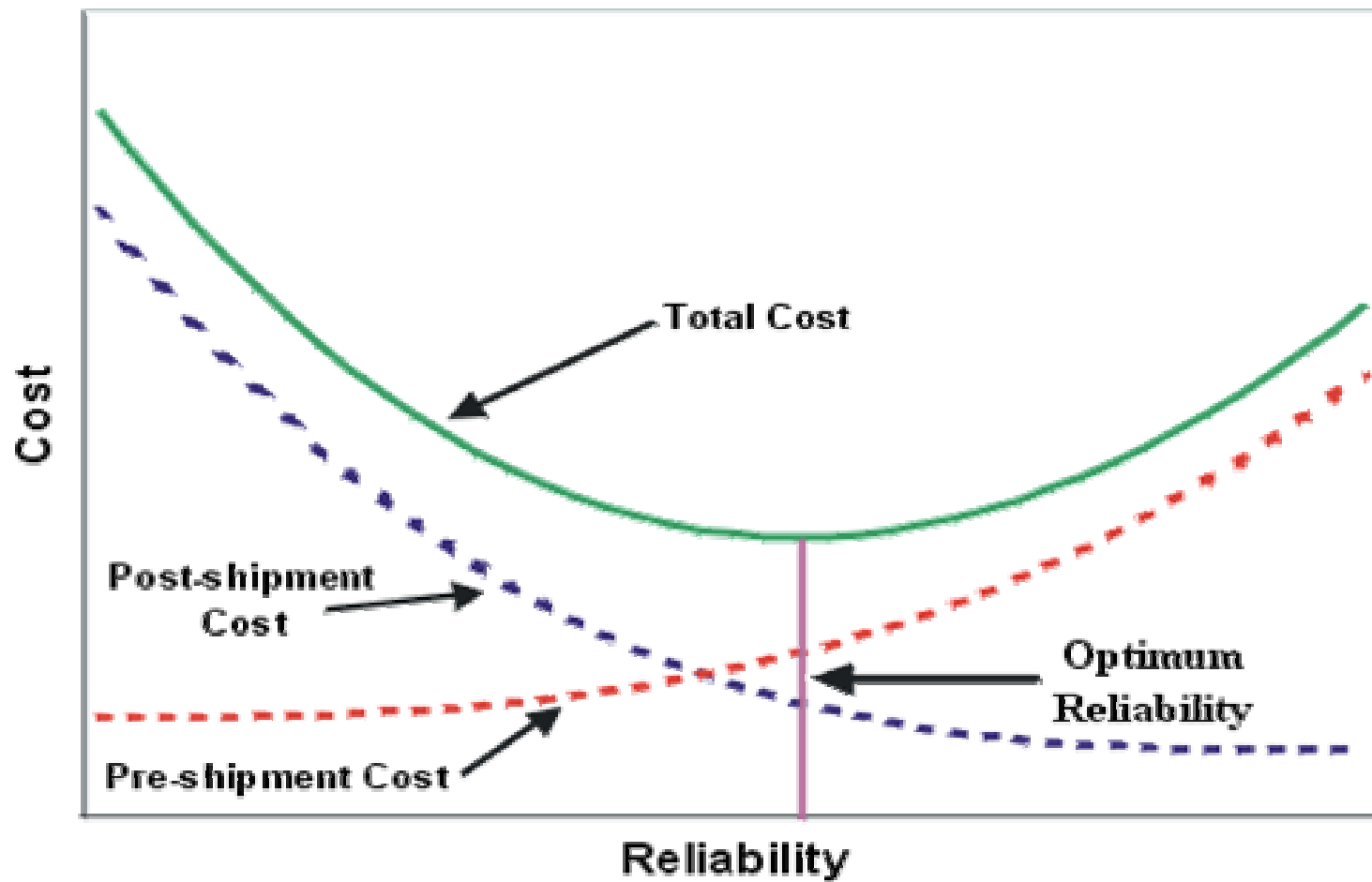


- 提高电力设备的可用水平
- 降低寿命周期费用



# 费用冰山图









# 可靠性的基本概念



# 可靠性定义

---



- **可靠性：**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。
- **可靠性工程：**为达到产品的可靠性要求而开展的一系列设计、研制、生产、试验和管理工作的。



# 可靠性基本概念

## ——可靠性定义

---



- **固有可靠性：产品在设计、制造过程中赋予的固有属性**
  - 产品的开发者可以控制
- **使用可靠性：产品在实际使用过程中表现出的可靠性**
  - 除固有可靠性的影响因素外，还要考虑安装、操作使用、维修保障等方面因素的影响



# 可靠性工程的发展史



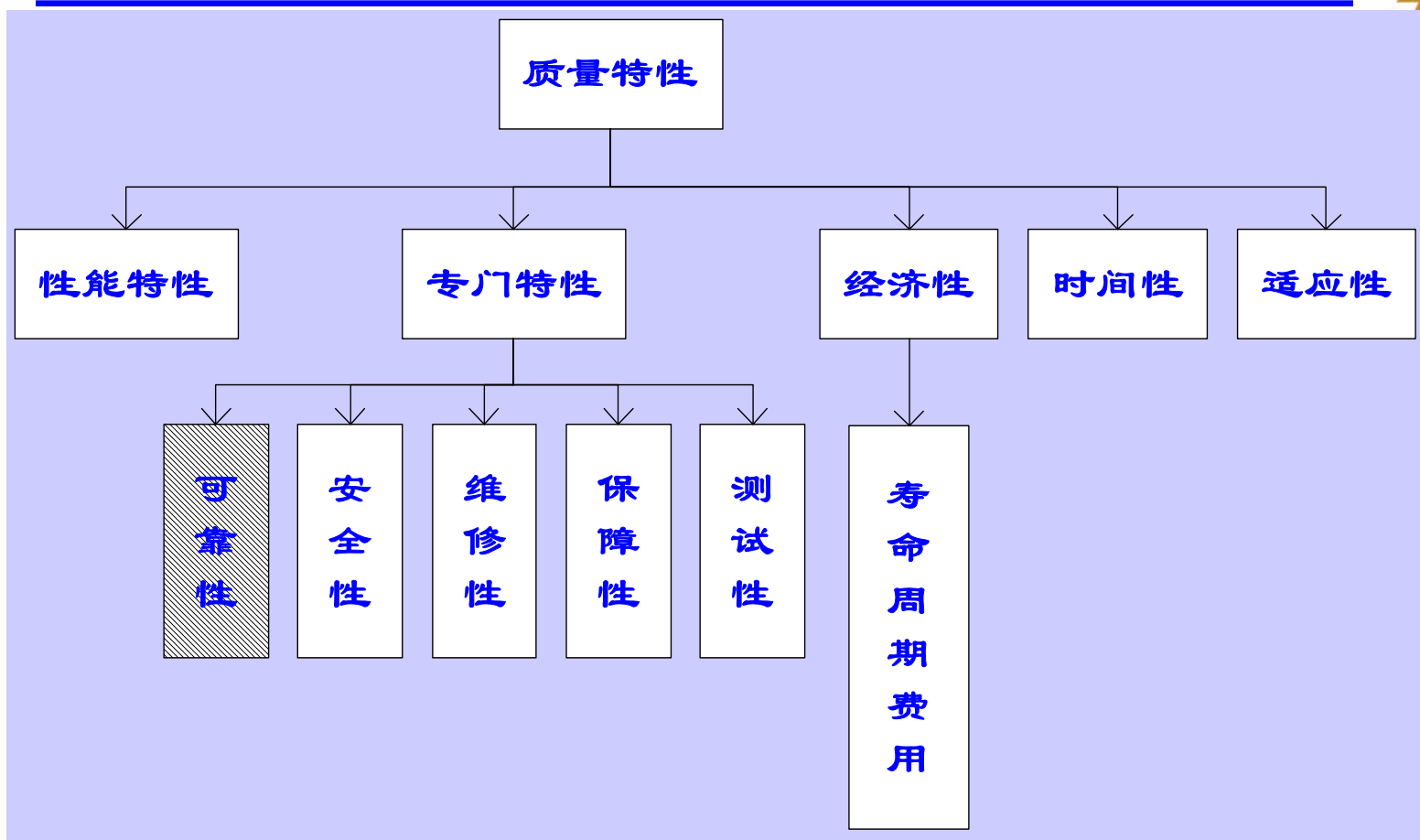
- 发展历程

- 20世纪40年代：萌芽期
- 20世纪50年代：兴起与形成，1952 AGREE
- 20世纪60年代：全面发展
- 20世纪70年代：成熟期
- 20世纪80年代：深入与广泛
- 20世纪90年代：综合化、自动化、智能化、实用化

- 当前状态

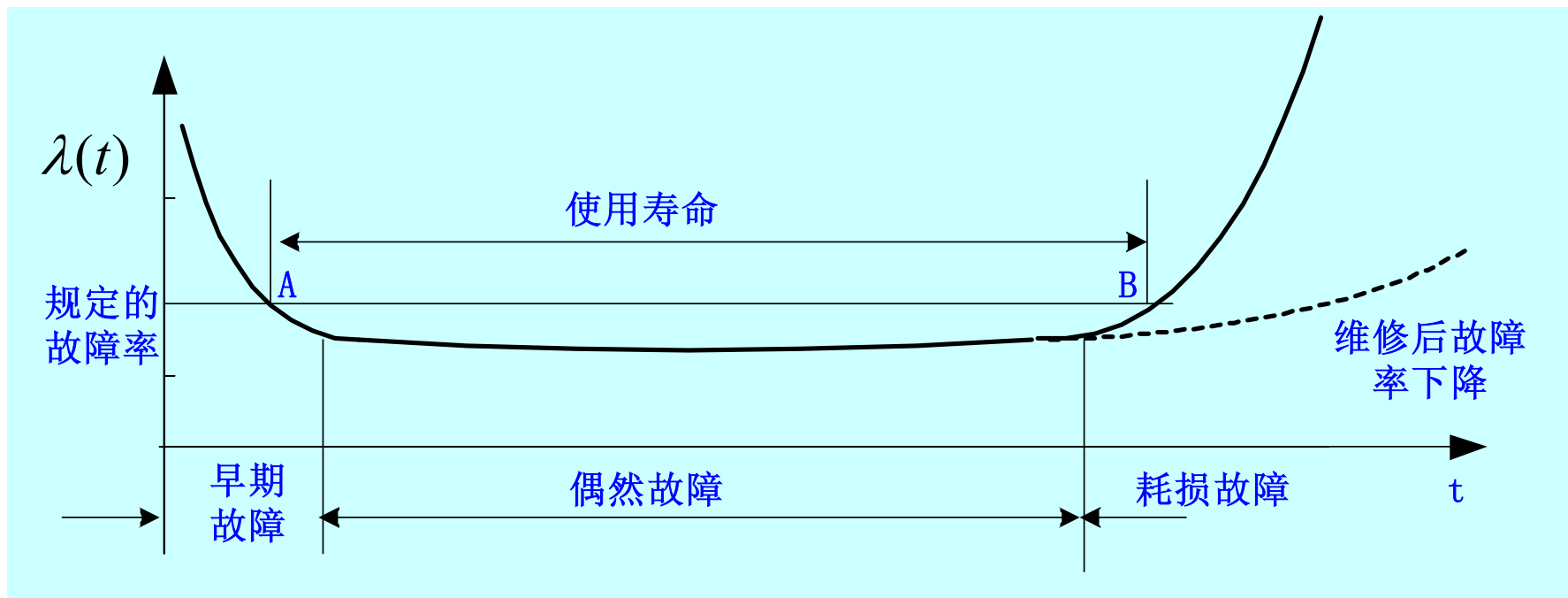
- 电子到非电，硬件到软件，统计试验到工程试验、可靠性到维修性、测试性、保障性至可信性、军用到民用

# 基本概念——可靠性与产品质量



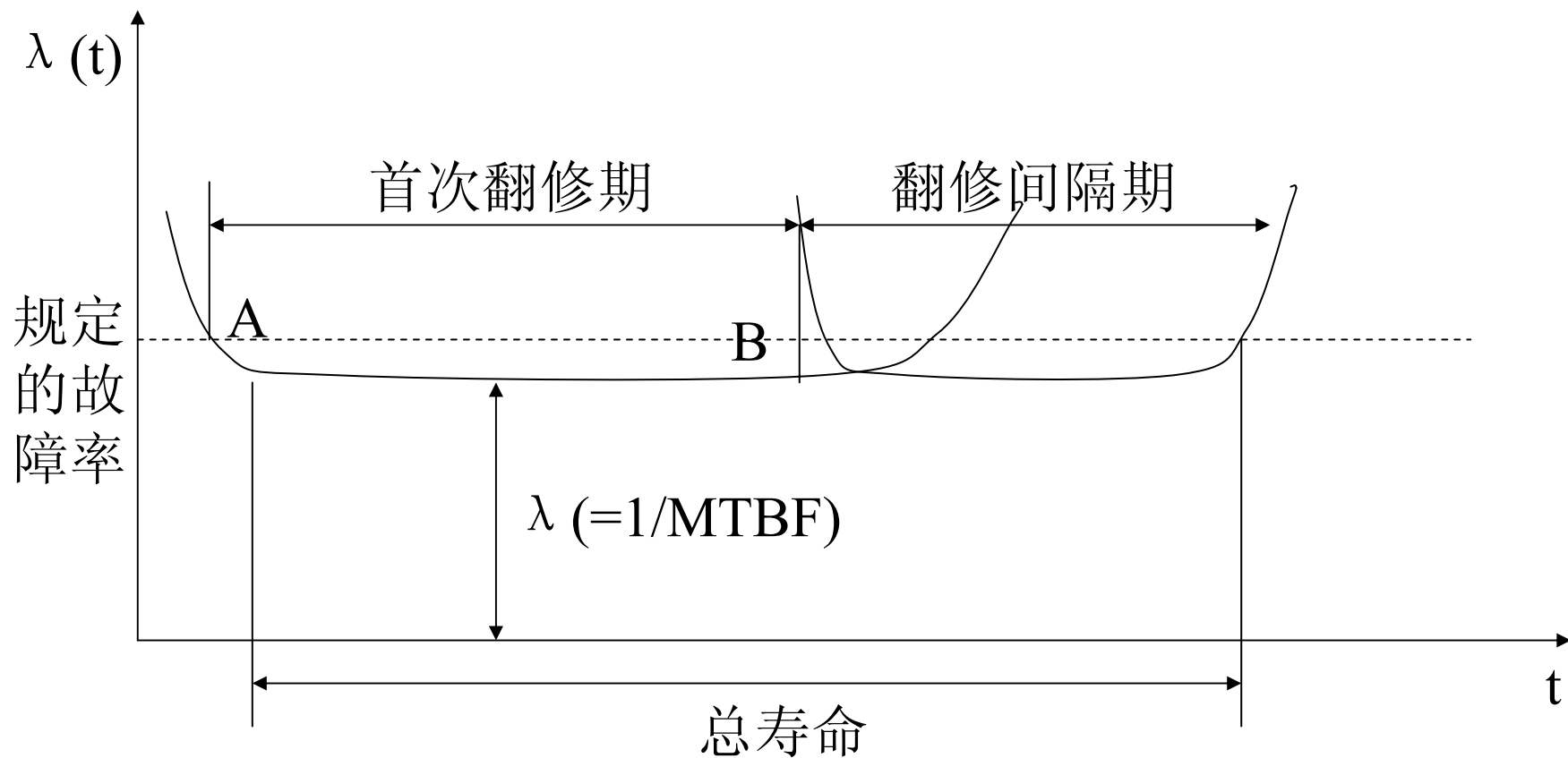


# 故障率与浴盆曲线





# 首次翻修期与翻修间隔期





# 维修性基本概念

## ——维修性定义



- 产品在规定的条件下和规定的时间内，按规定的程序和方法进行维修时，保持或恢复到其规定状态的能力，其概率度量亦称维修度。
  - 维修性与可靠性一样是产品的设计特性，维修性的好坏直接影响产品的维修工作量、维修工时和费用、维修测试设备的设计策略及对维修人员的要求。
  - 在产品开发过程中仅提高可靠性不是一种最有效的方法，必须综合考虑可靠性与维修性才能获得更好的结果。





# 测试性基本概念

## ——测试性定义

---



- **诊断 (Diagnosis) : 使用硬件、软件和 (或) 其他文件规定的方法, 确定系统或设备工作不正常 (故障) 查明其原因的技术和进行的操作。诊断也可以认为是检测和故障隔离活动的总称。**
- **测试性 (testability) : 产品能及时并准确地确定其状态 (可工作、不可工作或性能下降), 并隔离其内部故障的一种设计特性。**



# 测试性基本概念

## ——测试性定义

---



- **固有测试性 (inherent testability) :**  
仅取决于系统或设备的硬件设计，不受测试激励数据和响应数据影响的测试性。
- **BIT (built-in test, 机内测试) :** 系统或设备内部提供的检测和隔离故障的自动测试能力。



- 如何开展可靠性？

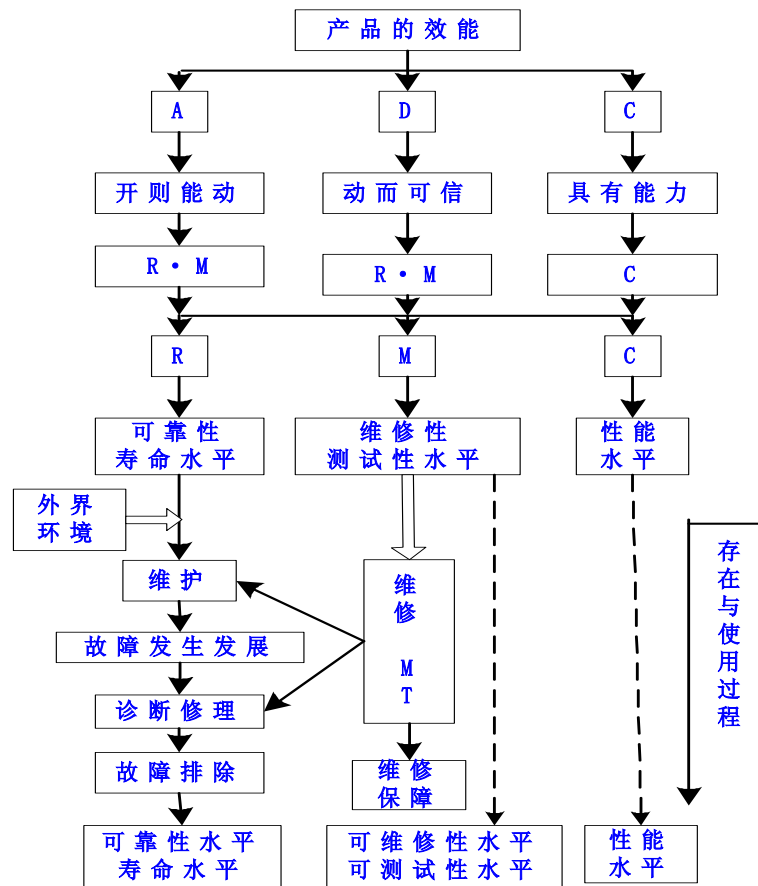
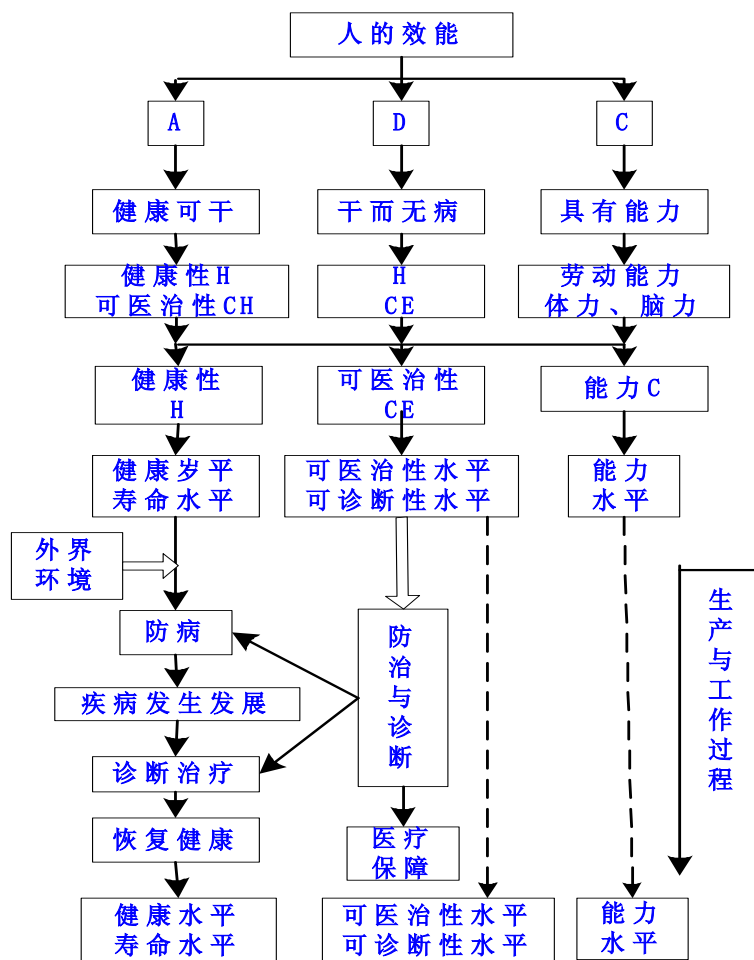
管 理

设 计

试 验



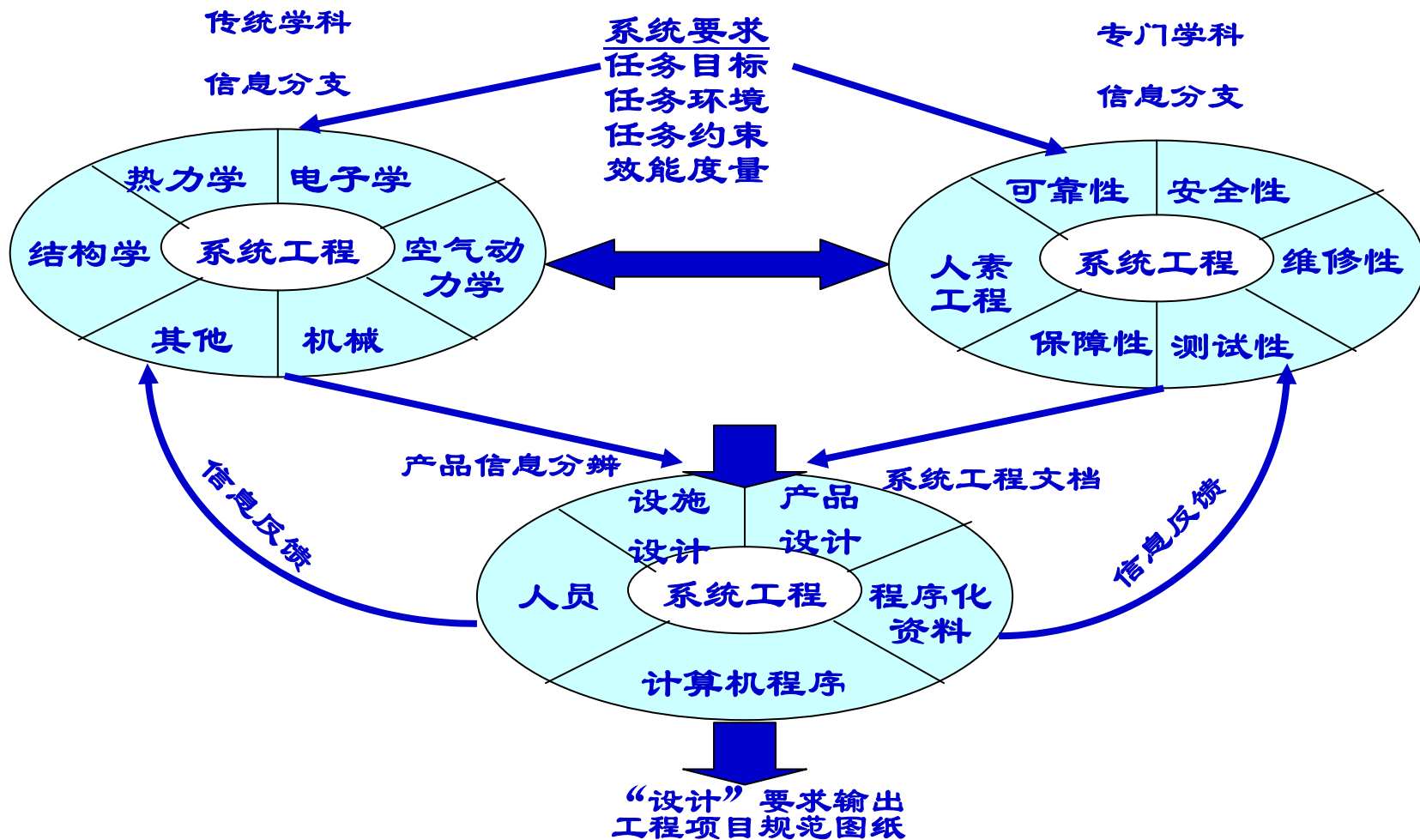
# RMTS管理



A: 可用性; D: 可信性; C: 能力  
R: 可靠性; M: 维修性; T: 测试性



# RMTS管理

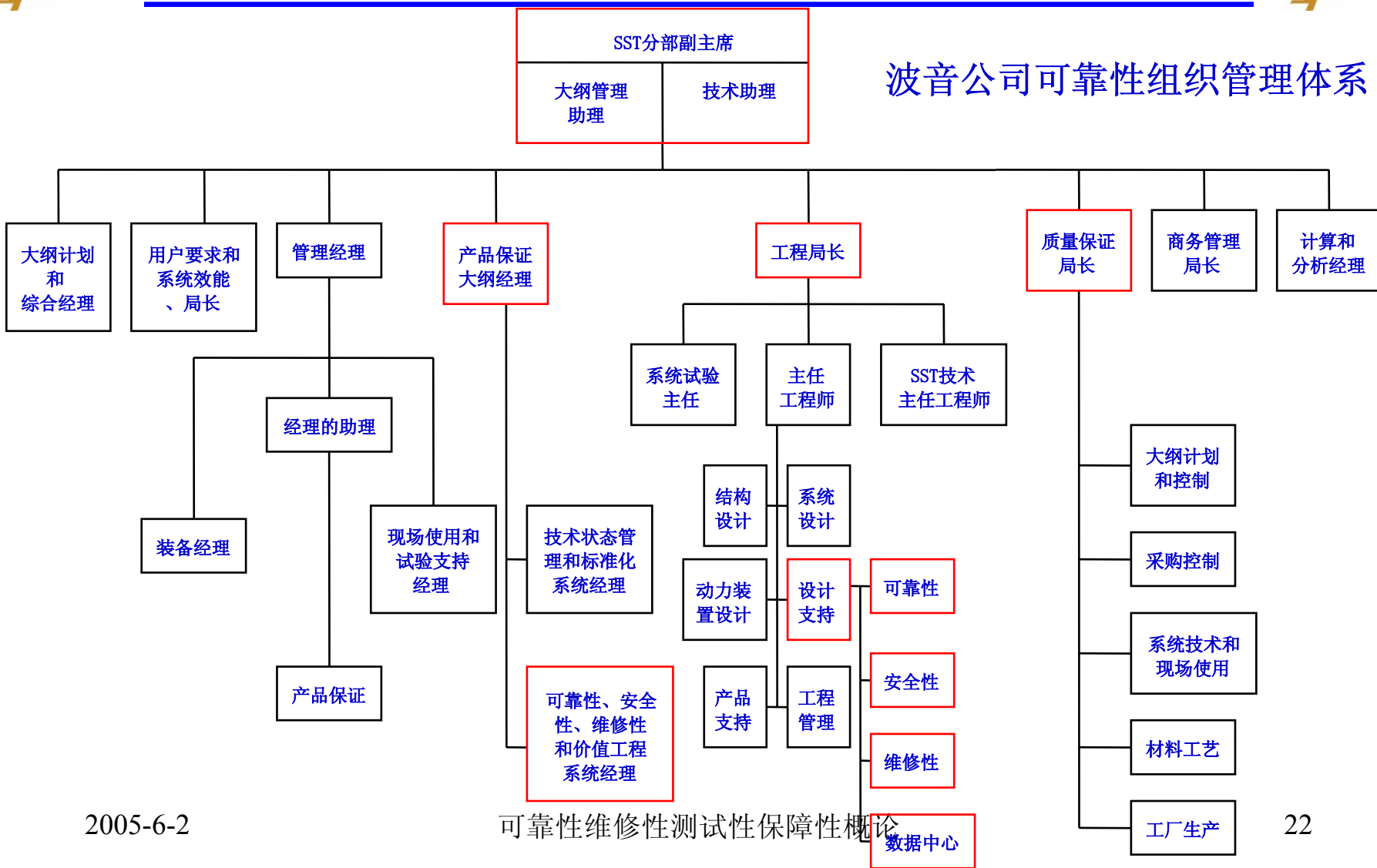




# RMTS管理的组织结构



## 波音公司可靠性组织管理体系

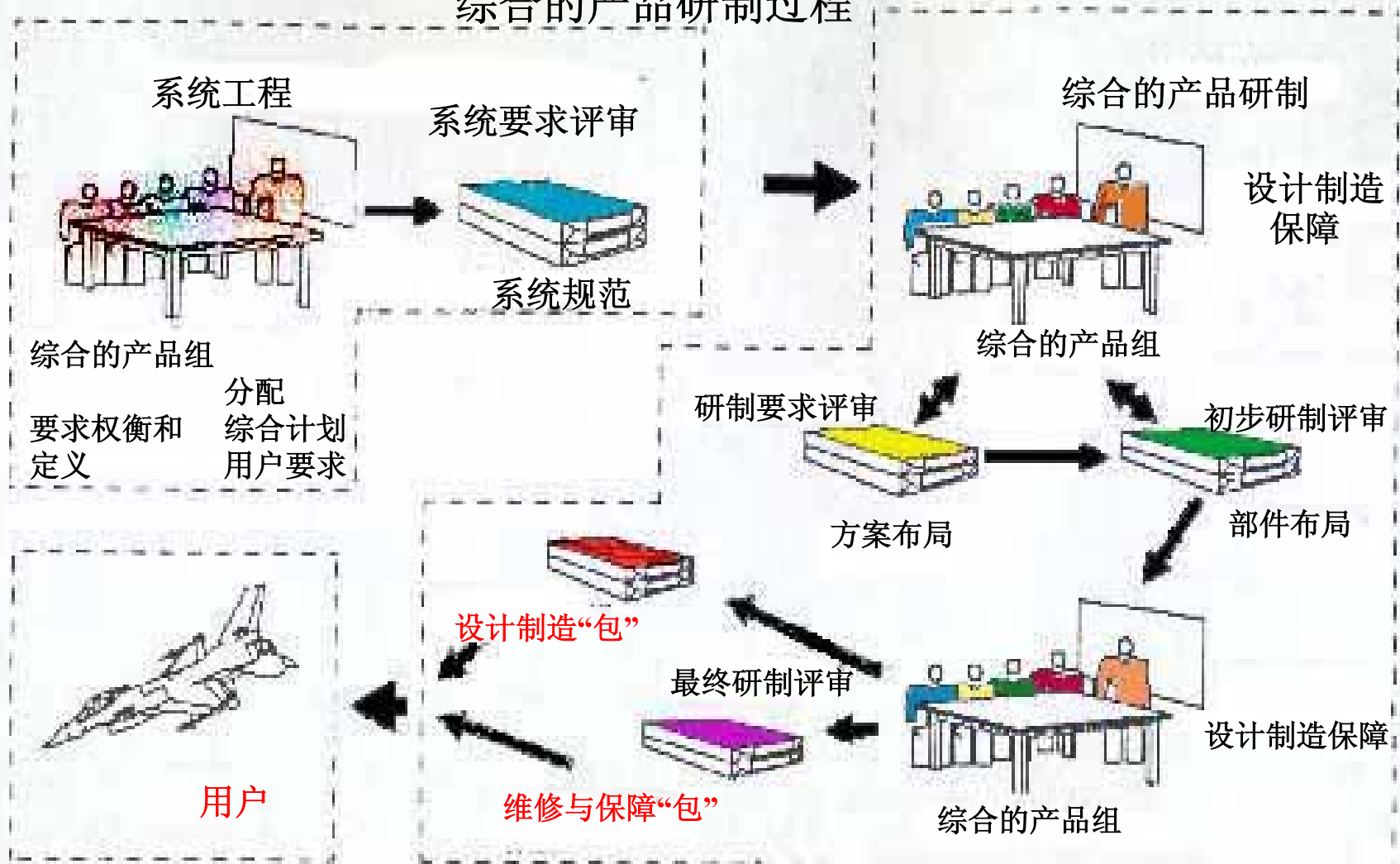




# RMTS管理



## 综合的产品研制过程





# RMTS管理



项目主管人员

可靠性

维修性

安全性

综合产品研制组

电子、通讯  
机械、结构

生产

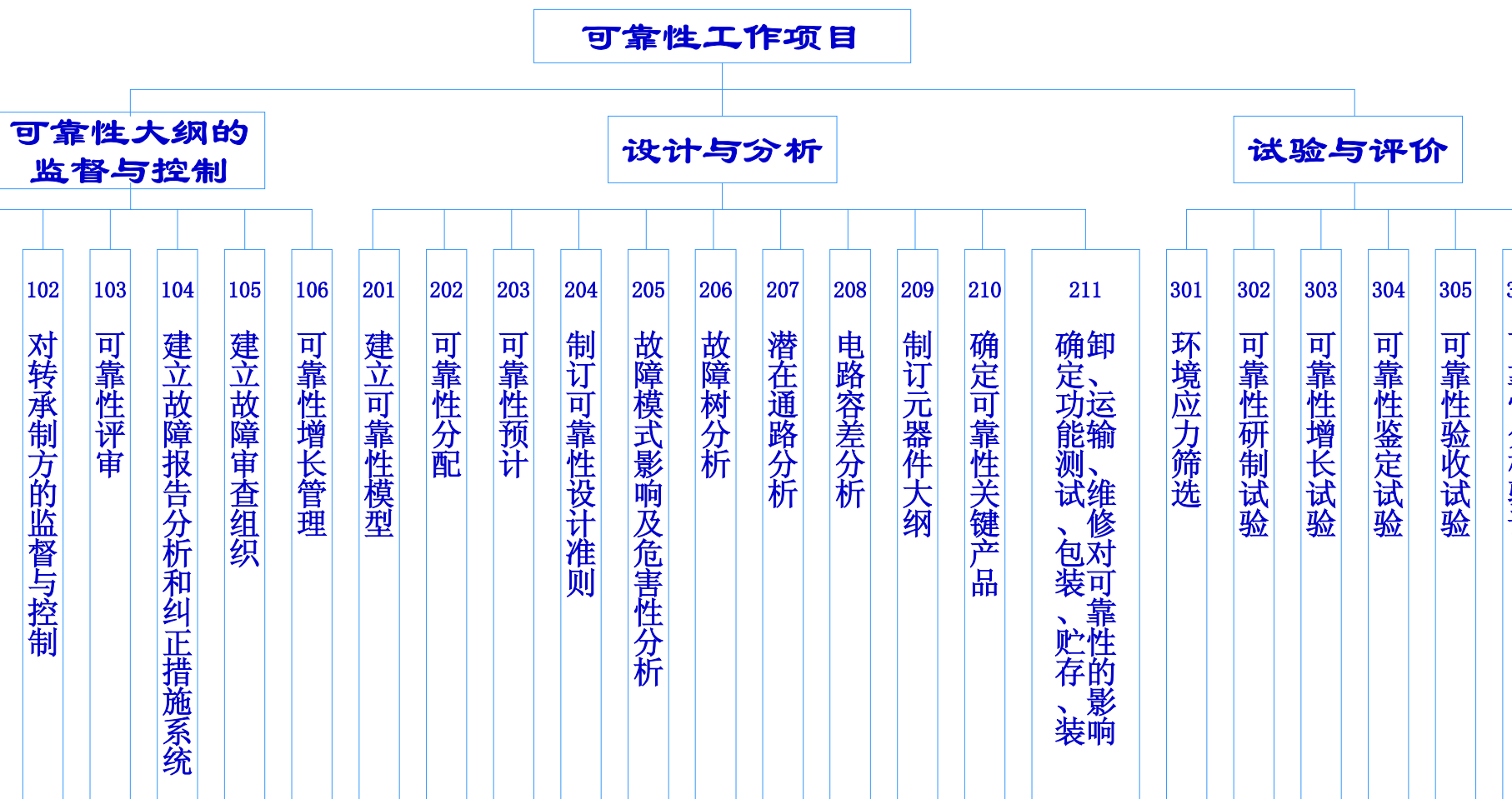
保障性





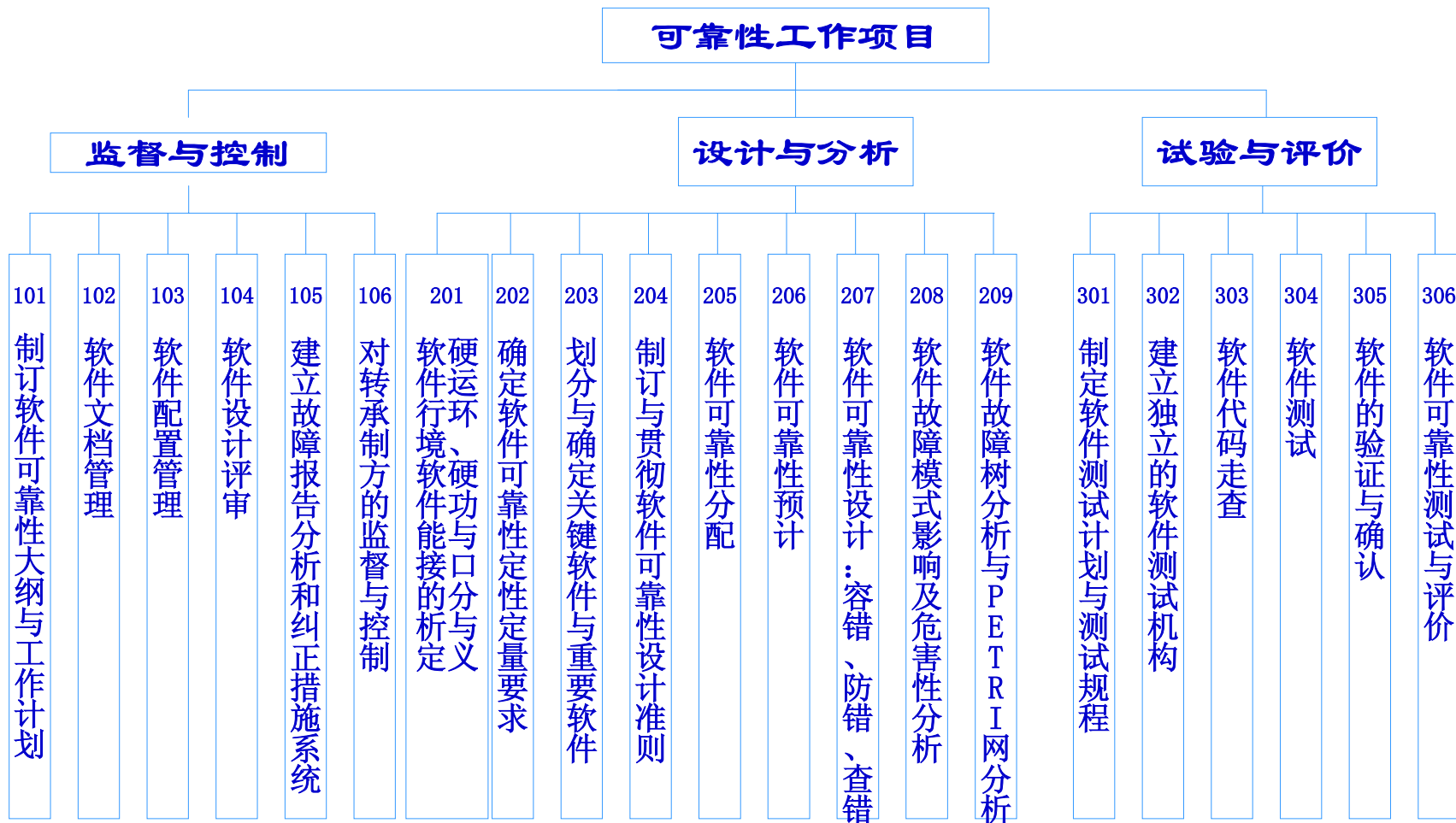


# 可靠性工作项目



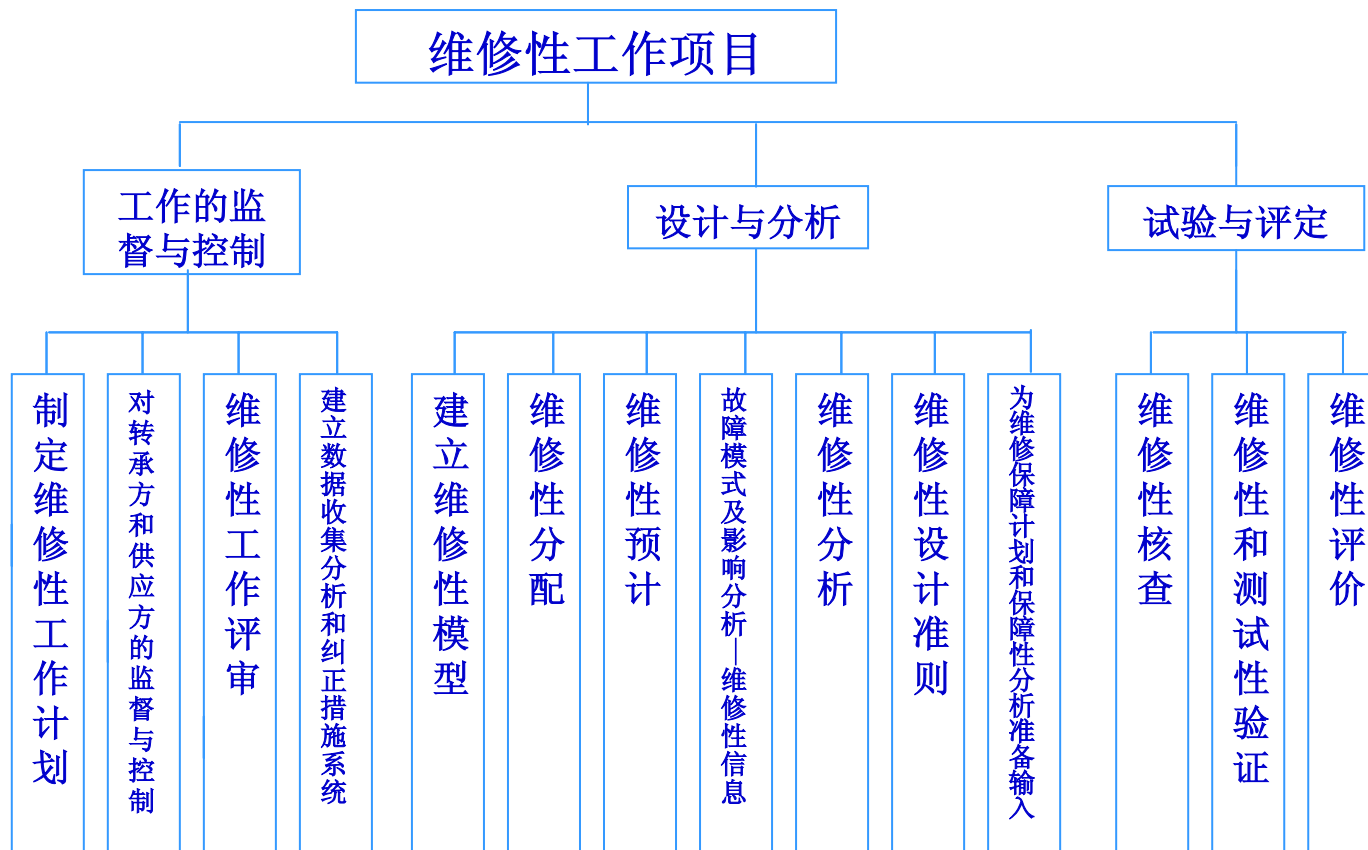


# 软件工程（含可靠性）工作项目



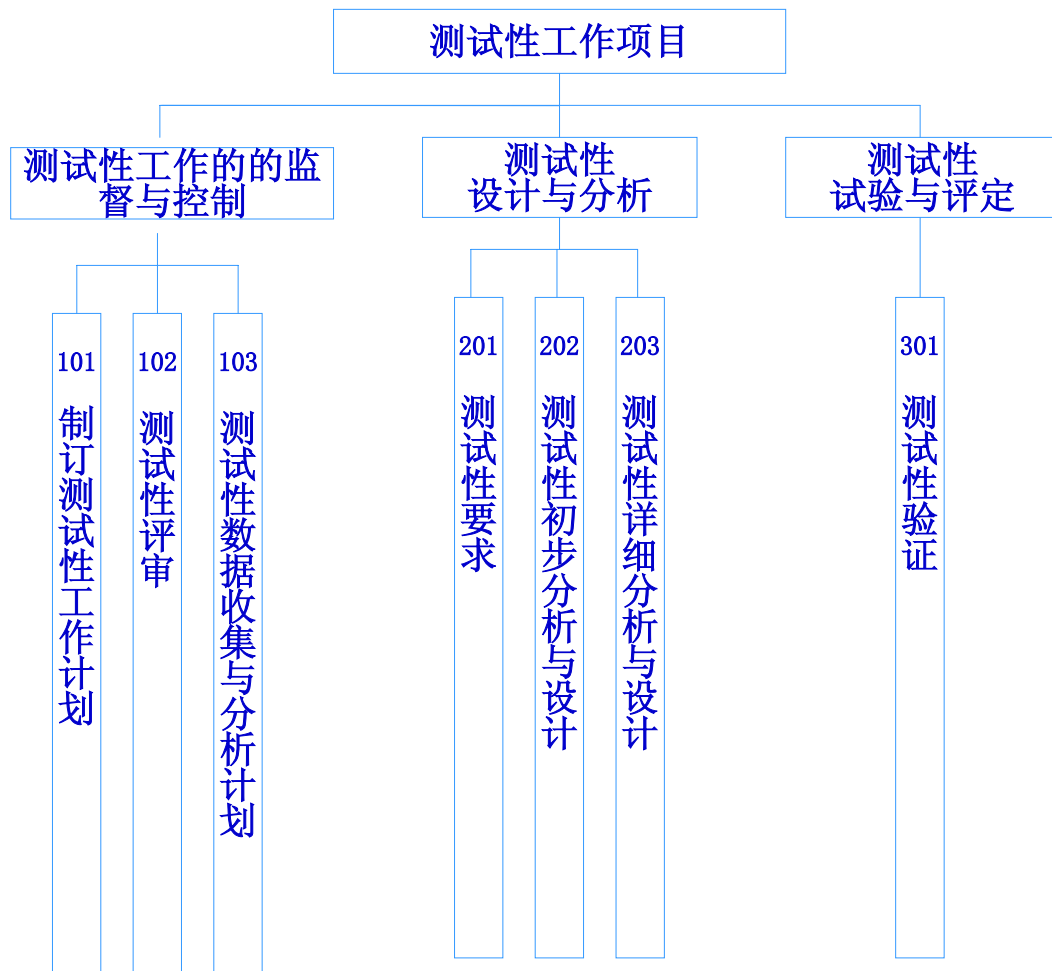


# 维修性工作项目



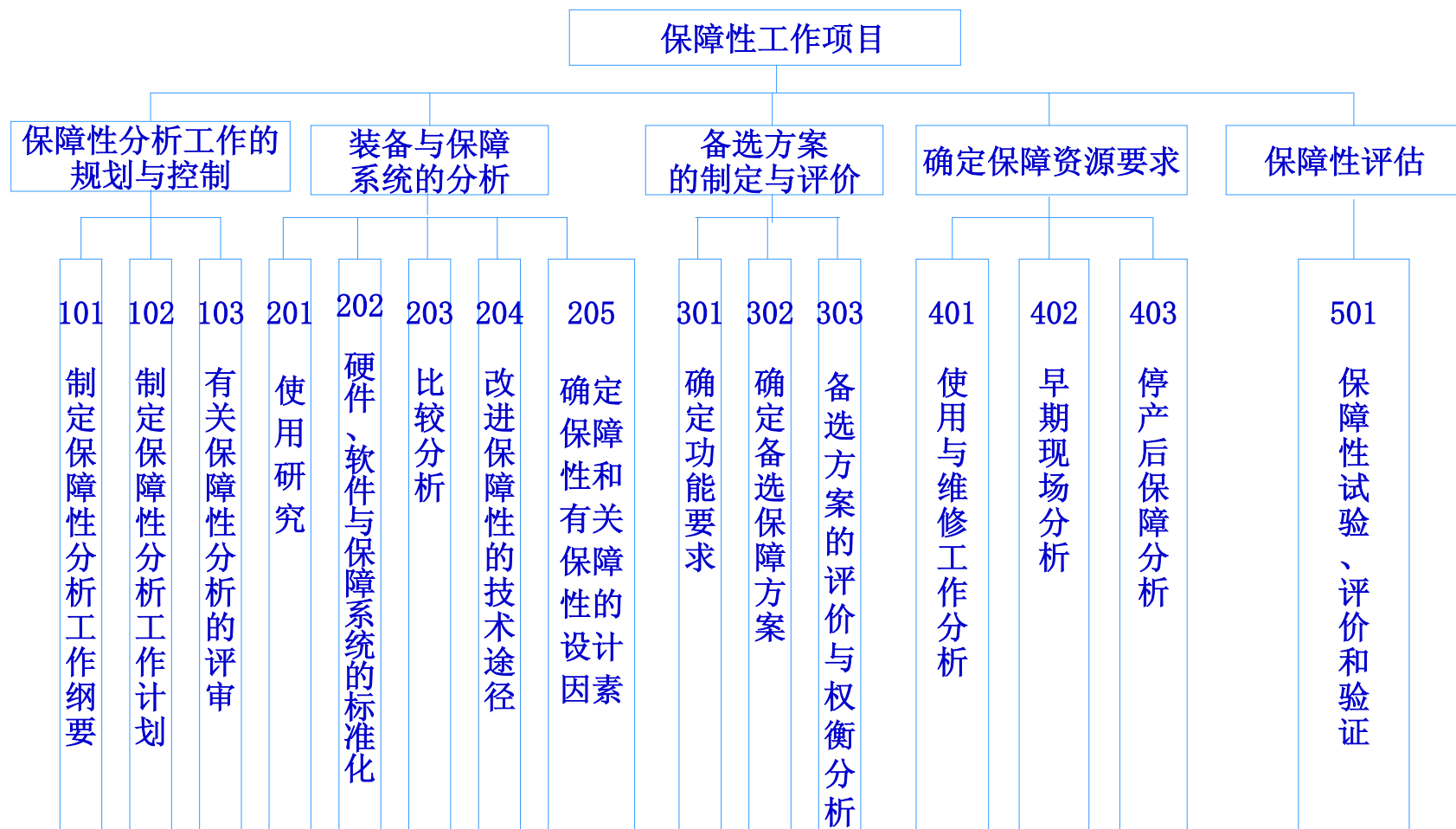


# 测试性工作项目





# 保障性工作项目

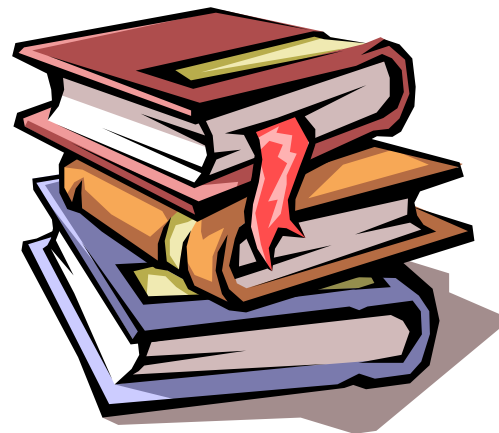




# 可靠性设计



- 规定定性定量的可靠性要求
- 建立可靠性模型
- 可靠性指标分配
- 可靠性预计
- 可靠性设计准则
- 耐环境设计
- 元器件的选用与控制
- 电磁兼容性设计
- 降额设计与热设计





# 规定定性定量可靠性要求

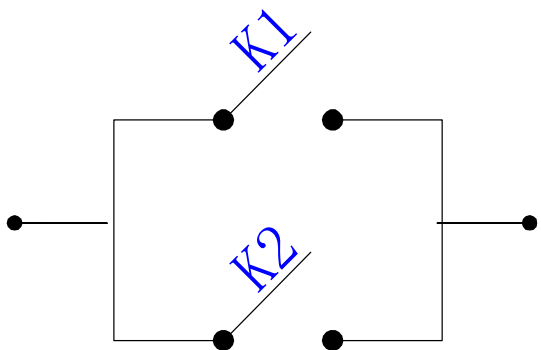
- 可靠性是设计出来的、生产出来的、管理出来的
- 可靠性要求是开展产品可靠性设计的基础
- 可靠性要求是进行产品可靠性验证与考核的基础
- 可靠性要求包含定性、定量两个部分
- 常用的可靠性定量指标是平均故障间隔时间MTBF



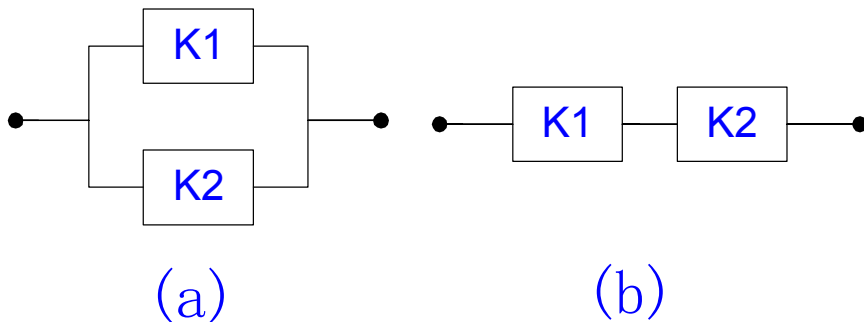
# 可靠性建模



可靠性模型是依据系统的原理和功能关系而建立的。  
如下图所示的双开关系统，当系统的功能是使电路导通，系统要能正常工作，只需开关A或B闭合即可，其可靠性框图如图(a)所示（并联系统）；当系统的功能是使电路断开，系统要能正常工作，需要开关A和B同时断开，其可靠性框图如图(b)所示（串联系统）。



双开关系统原理图



双开关系统可靠性框图





# 可靠性分配



- 可靠性分配是将产品总的可靠性定量要求分配到规定的产品层次, 用于对配套外协产品提出可靠性要求
- 通过分配使整体和部分的可靠性定量要求协调一致
- 可靠性分配是一个由整体到局部, 由上到下的分解过程



# 可靠性预计



- 可靠性预计是在设计阶段对系统的可靠性进行定量的估计
- 系统的可靠性预计是根据组成系统的元件、部件的可靠性数据按可靠性模性来估计的。
- 部件、元件的可靠性数据来源：
  - 电子元器件：国军标、美军标和BellCore的元器件计数法、应力分析法
  - 已有相似产品的可靠性数据通过系统的构成和结构特点、系统的工作环境等因素修正
  - 部件的可靠性试验数据或实际使用数据



# 可靠性设计准则



## ➤ 什么是可靠性设计准则

- 是一种设计规范，从系统可靠性角度出发，设计人员必须遵守的设计要求，是已有的、相似产品的工程经验的总结，并系统化、科学化、规范化而成。

## ➤ 制定与实施的原因与目的

- 仅有定量分析设计、FMEA等是不够的
- 准则是系统设计经验的积累，甚至有血的代价。
- 设计人员最易于接受的
- 可靠性设计分析的重要依据
- 可靠性设计与功能、性能设计紧密结合
- 提高产品可靠性、降低费用



# 耐环境设计



- 抗振动设计
- 抗冲击设计
- 抗噪音设计
- 防潮设计
- 防霉设计
- 热设计



# 元器件的选择与控制



- **元器件固有可靠性：**元器件通过设计和制造等工作表现的可靠性特征，是元器件研制、生产方的任务。
- **元器件使用可靠性：**元器件在使用过程中表现的可靠性特征，是产品开发方的任务。
- **国内外失效分析资料表明，有相当多的元器件失效并非由于元器件本身固有可靠性不高，而是由于使用者对元器件的选择不当或使用有误引起的。**



# 元器件的选择与控制



- 元器件质量控制过程：
  - 选择：包括厂家、性能、质量稳定性等内容的优选目录，每年修订一次，增删的依据是质量表现
  - 设计：降额设计、热设计、隔振设计
  - 筛选：元器件入厂后要进行筛选和测试
  - 保管和装配：防静电等措施
  - 失效分析：判明元器件失效的真正原因



# 电磁兼容性设计与试验



- **设计：**
  - **静电抗扰性**
  - **浪涌抗扰性**
  - **电源波动及瞬间跌落抗扰性**
  - **射频电磁场辐射抗扰性**
- **试验：**
  - **按行业标准**



# 降额设计与热设计



- 降额设计

- 元器件、零部件的故障率是与其承受的应力紧密相关的，降低其承受的应力可以提高其使用可靠性
- 设计时应将其工作应力设计在规定的额定值之下
- 对元器件有降额准则方面的标准

- 热设计

- 电子产品的环境温度过高是造成其故障率增大的重要原因
- 利用热传导、对流、热辐射等原理进行合理的热设计，以降低其周围的环境温度
- 热测试：对热设计效果的检验





# FMECA概述



- **故障模式影响及危害性分析**
  - Failure Mode , Effects and Criticality Analysis , 简记为FMECA
  - 针对产品所有可能发生的故障, 进行故障模式分析, 确定每种故障模式对产品工作的影响, 找出单点故障, 并按每一个故障模式的严重程度及其发生概率确定其危害性
  - 单点故障: 引起产品故障的, 且没有冗余或替代的工作方式作为补救的局部故障



# 可靠性试验

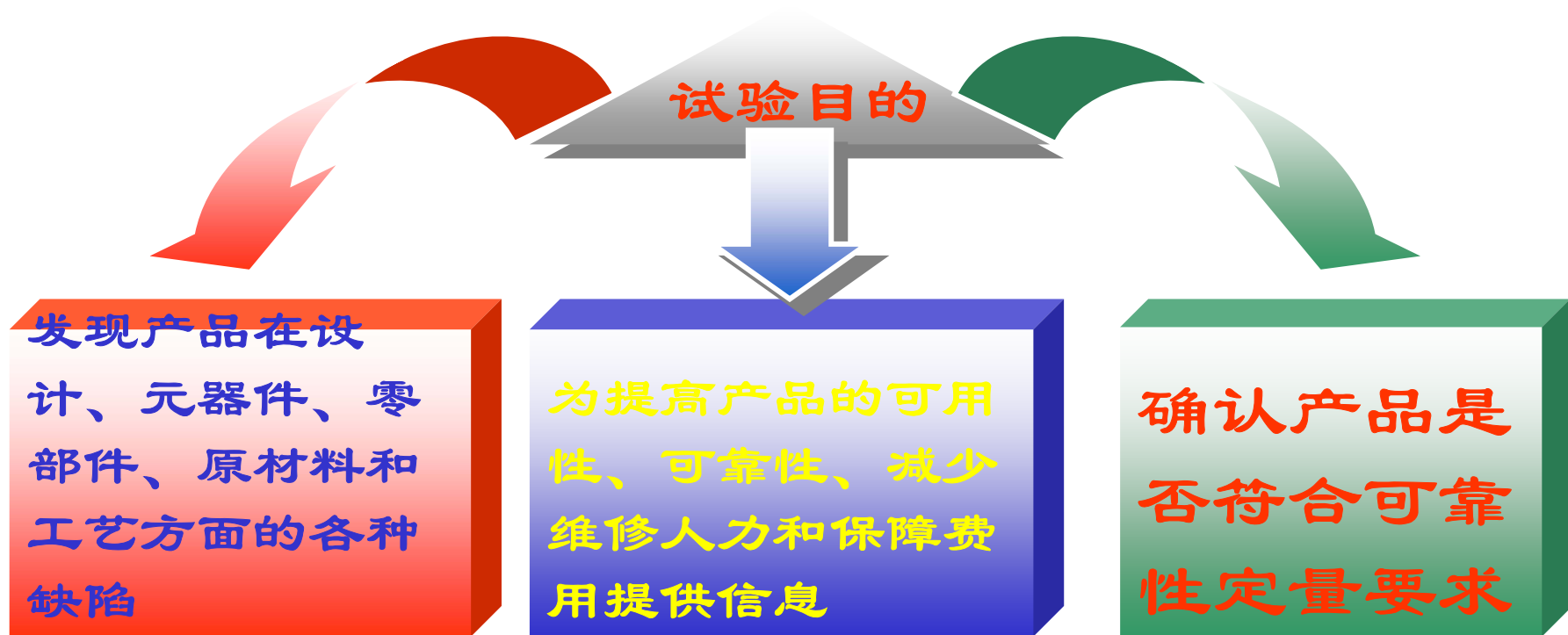


- 可靠性试验的目的和分类
- 环境应力筛选试验
- 可靠性增长试验
- 可靠性鉴定试验
- 可靠性验收试验



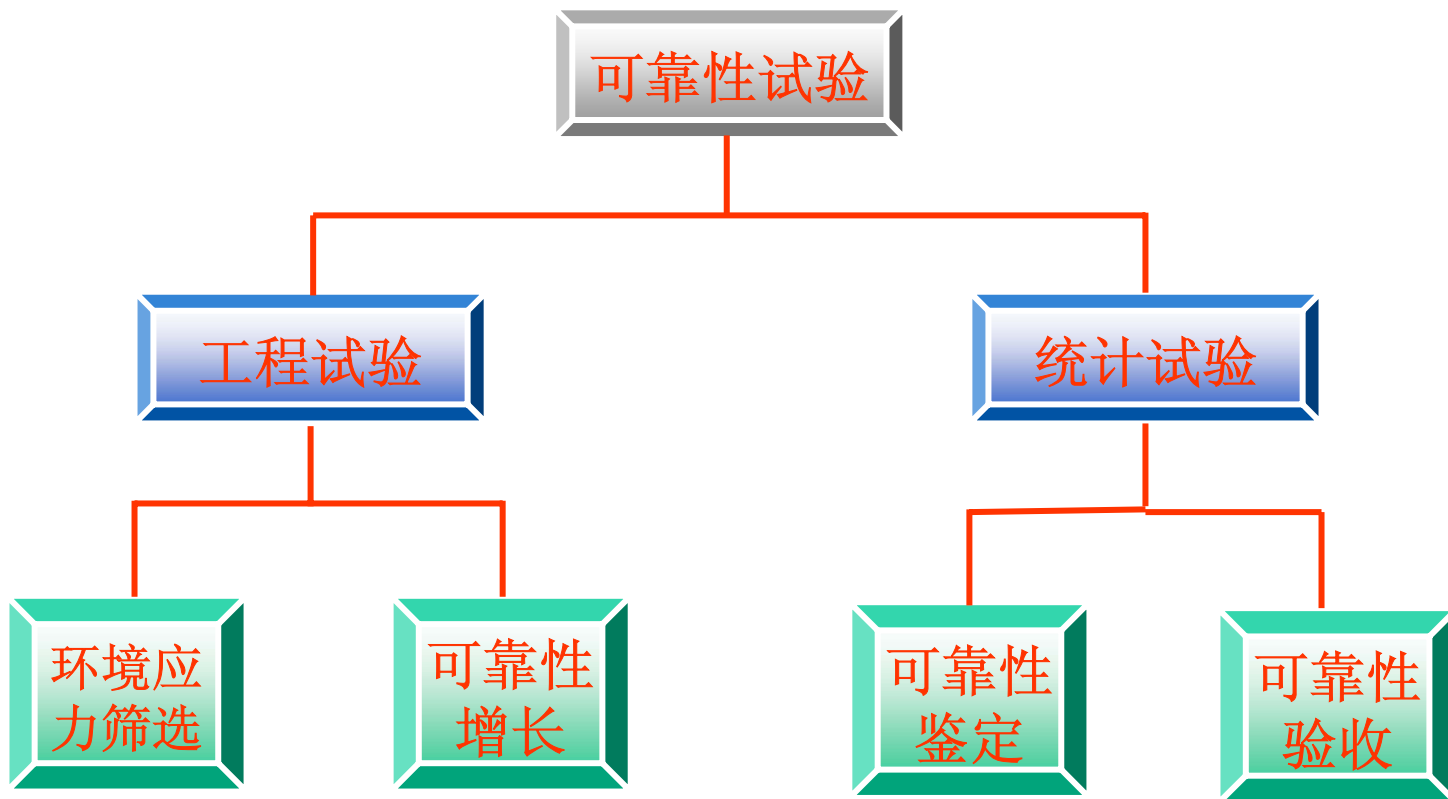


# 可靠性试验——目的和分类





# 可靠性试验——目的和分类





# 可靠性试验——目的和分类



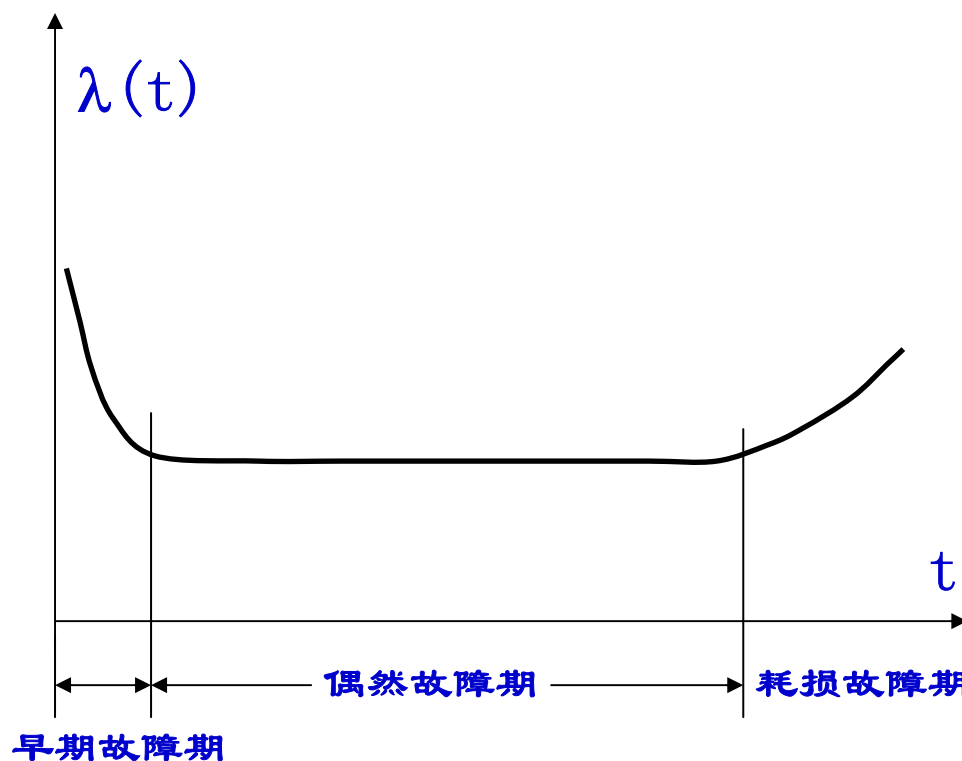
- 按试验地点
  - 实验室试验：在规定的受控条件下的试验，可以模拟现场使用条件，也可以不模拟，关键是建立实验室试验与各种产品实际使用条件之间的关系
  - 现场试验：产品在典型使用现场所进行的一种试验



# 可靠性试验——环境应力筛选(ESS)



在产品出厂前，有意将环境应力施加到产品上，使产品的潜在缺陷加速发展成早期故障，并加以排除，从而提高产品的可靠性。这是剔除早期故障的一种工序方法





# 可靠性试验——环境应力筛选(ESS)



## 环境应力筛选(ESS)—应注意的事项

- 筛选应力不必准确模拟产品真实的环境条件；
- 不应超过产品设计能耐受的极限，不应改变产品的失效机理；
- 对电子产品施加的环境应力最有效的是随机振动和温度循环应力；
- ESS要做到三个100%（元器件、电路板、整机）
- 在批生产阶段后期，对组件级以上的产品可根据其质量稳定情况抽样进行。
- 筛选可以提高批产品的可靠性水平，但不能提高产品的固有可靠性，只有改进设计、工艺等才能提高后者；



# 可靠性试验——增长试验



- 在一个规定的环境应力下，为暴露产品的薄弱环节，并证明改进措施能防止薄弱环节再现而进行的试验
- 规定的环境应力可以是产品工作的实际环境应力、模拟环境应力或加速变化的环境应力
- 可靠性增长试验是通过发现故障、分析和纠正故障、以及对纠正措施的有效性而进行验证以提高产品可靠性的过程，即TAAF过程
- 试验本身并不能提高产品的可靠性，只有采取了有效的纠正措施来防止产品在工作期间出现重复的故障之后，产品的可靠性才能提高





# 可靠性试验——鉴定试验



- 用具有代表性的产品在规定条件下所作的试验，以此作为产品是否满足可靠性指标的依据
- 可靠性鉴定试验是一种验证试验，必须遵循抽样检验程序
- 可靠性指标的验证是建立在一定的寿命分布假设基础上，最常用的假设是指数分布
- 已有标准的试验方案



# 可靠性试验——鉴定试验



方案 序号	方案特征参数		鉴别比	试验时间	判别标准（失效次数）
	判断风险标称值%				
	$\alpha$	$\beta$	$d=\theta_0/\theta_1$	$(\theta_1\text{的倍数})$	拒收数（ $r\geq$ ）（大于或等于）
1	10	10	1.5	45.0	37
2	10	20	1.5	29.9	26
3	20	20	1.5	21.1	18
4	10	20	2.0	18.8	14
5	10	10	2.0	12.4	10
6	20	20	2.0	7.8	6
7	10	10	3.0	9.3	6
8	10	20	3.0	5.4	4
9	20	20	3.0	4.3	3
10	30	30	1.5	8.1	7
11	30	30	2.0	3.7	3
12	30	30	3.0	1.1	1

风险越高  
试验时间越短

风险越高  
试验时间越短



# 可靠性试验鉴定试验



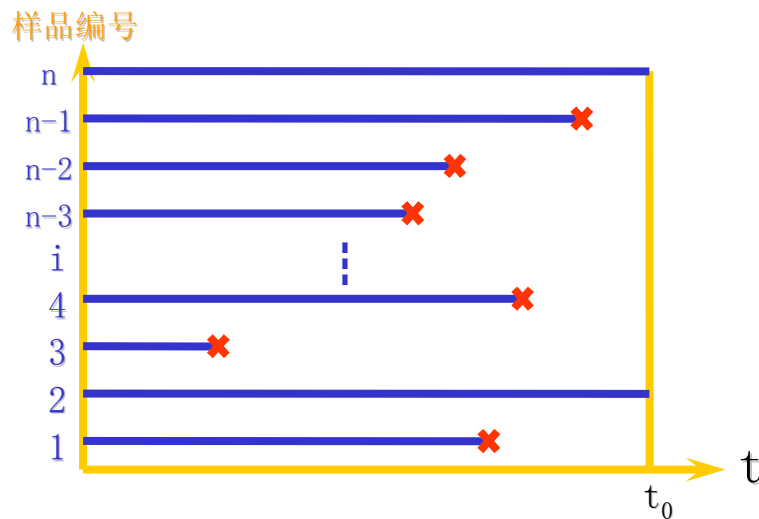
- $\theta_0$ ——MTBF检验的上限值，它是可以接收的MTBF值。当试验产品的MTBF真值接近  $\theta_0$  时，指数分布标准型试验方案，以高概率接收该产品
- $\theta_1$ ——MTBF检验的下限值，当试验产品的MTBF真值接近  $\theta_1$  时，指数分布标准型试验方案，以高概率拒收该产品
- $d$ ——鉴别比。对指数分布试验方案，  $d = \theta_0 / \theta_1$
- $\alpha$ ——生产方风险。当产品的MTBF真值等于  $\theta_0$  时，产品被拒收的概率，也叫第一类错误。这是由抽样引起的。
- $\beta$ ——使用方风险。当产品的MTBF真值等于  $\theta_1$  时，产品被接收的概率，也叫第二类错误。这也是由抽样引起的。



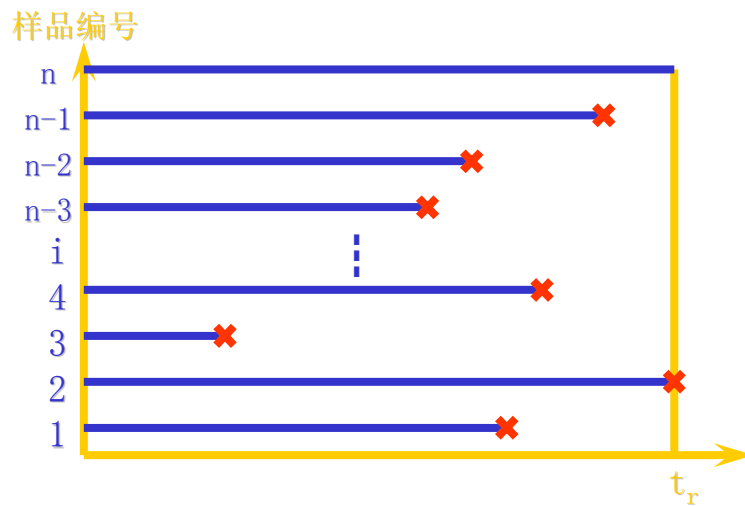
# 可靠性试验——方法



定时截尾试验



定数截尾试验





# 可靠性试验——方法



- 设定时截尾试验时间为T，出现的故障数为r，于是MTBF的点估计值：

$$\hat{\theta} = \frac{T}{r}$$

给定置信水平 $\alpha$ ,  $\hat{\theta}$ 的相应单边置信下限 $\theta_L$ 为

$$\theta_L = \frac{2r}{\chi^2_{\alpha}(2r+2)} \hat{\theta}$$

$\chi^2_{\alpha}(2r+2)$ 是自由度为 $2r+2$ 的 $\chi^2$ 分布的 $\alpha$ 分位点



# 可靠性验收试验



- 验证产品的可靠性不随生产期间工艺、工装、工作流程、零部件质量的变化而降低，其目的是确定产品是否符合规定的可靠性要求
- 用已交付或可交付的产品在规定条件下作试验
- 所用产品要能代表生产批，  
批量的大小





# 规划可靠性工作的建议

---



- 把握需求，明确方向
- 转变观念，预防为主
- 明确要求，合理分解
- 制定规范，狠抓落实
- 突出重点，快出实效



# 规划可靠性工作的建议



- **把握需求，明确方向**
  - **为什么：**用户的需求、竞争的压力、费用的压力
  - **要什么：**预期效益、市场表现
  - **有什么：**能投入的资源（人员、机构、设备、费用）
  - **干什么：**工作项目
  - **怎么干：**要求、程序、规范





# 规划可靠性工作的建议



- **转变观念，预防为主**

- 转变观念：可靠性是用户关注的使用特性之一，要在产品设计过程中“设计”可靠性
- 可靠性工程：与故障作斗争，预防、发现、纠正、验证
- 预防为主、一次成功：故障发现在用户发现之前



# 规划可靠性工作的建议



- **明确要求，合理分解**
  - **提出产品的可靠性要求：领先或赶超对手的可以量化表示的目标，**
  - **把要求分解、分配到产品各组成部分直到配套单位**
  - **在合同中明确提出这些要求**
  - **在提出要求的同时要说明对这些要求考核、验证、评估、检查的方法**



# 规划可靠性工作的建议



- **制定规范，狠抓落实**
  - 结合产品特点提出工作项目，并制定工作计划
  - 对所制定的工作项目按计划要求要有管理、技术和过程要求规范
  - 对有关技术和管理人员进行规范培训
  - 对按规范开展的工作效果进行检查和评估
  - 对检查和评估中发现的问题进行跟踪、归零管理



# 规划可靠性工作的建议

---



- **突出重点、快出实效**
  - 元器件质量控制
  - 软件质量控制
  - 可靠性综合环境试验
  - 可靠性设计



# 规划可靠性工作的建议



- 元器件质量控制
  - 建立元器件选用、设计、筛选、失效分析等全过程的质量控制办法，并严格执行，以保证型号元器件的选用状态受控、心中有数
  - 对超出选用目录的元器件要提出专门的质量与可靠性论据，对降低质量等级选用的元器件要提出有针对性的质量与可靠性保证措施
  - 对在试验、使用过程中失效的元器件要开展进一步的失效机理分析，以判明失效是否为元器件的批次性缺陷，预防同类问题再次出现



# 规划可靠性工作的建议



- **软件**

- 对产品软件按其重要程度划分为关键软件、重要软件和一般软件，分类管理，突出重点，
- 对关键、重要软件的质量进行严格控制。关键软件实现软件设计与软件编码、软件编码与软件测试的岗位分离；重要软件至少要实现软件设计、编码与软件测试的岗位分离。



# 规划可靠性工作的建议



- **软件**

- 软件配置管理，建立软件开发全过程的开发库、受控库和产品库，制定软件产品入库、出库程序及更改审批程序，使软件技术状态受控。
- 建立计算机化软件配置管理环境和必要的管理程序。



# 规划可靠性工作的建议



- **可靠性综合环境试验**
  - **综合环境试验更接近产品实际使用环境，更能充分暴露产品缺陷**
  - **温度、湿度综合**
  - **温度、湿度、振动综合**





# 规划可靠性工作的建议



- 可靠性设计
  - 不在同一个地方跌倒：可靠性设计准则
    - 在某产品中已出现的问题不要再次出现
    - 在某产品中已出现的问题不要在其他类似的产品中再次出现
  - 余度设计、热设计、自检测设计



- 1985年成立北航工程系统工程系、可靠性工程研究所
- 目前国内高校唯一一个可靠性系统工程专业
- 目前具有工程技术120余人，教授（研究员）22名，副教授（副研究员）19人
- 工作重点：型号、科研、教学



目前挂靠的主要单位：

- 中国人民解放军总装备部可靠性工程技术中心
- 国防科工委可靠性工程技术研究中心
- 中国航空第一集团公司可靠性技术和管理中心
- 中国航空第二集团公司可靠性技术和管理中心
- 中国人民解放军总参谋部陆航装备可靠性办公室
- 中国航空第一集团公司计算机软件测评管理中心



## 内部机构设置：

- 可靠性系统工程部

- 可靠性维修性测试性保障性指标论证、设计分析、仿真分析技术研究
- 软件可靠性工程
- 可靠性系统工程管理

- 可靠性试验工程部

- 可靠性与环境试验技术研究并承担型号产品试验任务

- 元器件工程部

- 电子元器件的使用可靠性技术研究
- 元器件筛选技术研究并承担型号产品元器件筛选任务
- 元器件破坏性物理分析 (DPA) (总装备部DPA实验室)

- 可靠性信息工程部

- 可靠性维修性信息收集、处理与评估



**热烈欢迎**

**来人、来电、来函联系业务**

- **联系方式与联系人：**
- **章文晋**
- **北京航空航天大学14系，100083**
- **电话：010-82316443-8007**
- **Email:zwjok@buaa.edu.cn**



# 北京现代青亚科技有限公司

---



- 可靠性技术咨询与培训
- 可靠性工程CAD软件开发、销售
- 企业信息化建设



# 可靠性维修性保障性概论



## 谢 谢

