

六西格玛设计 方法

2022

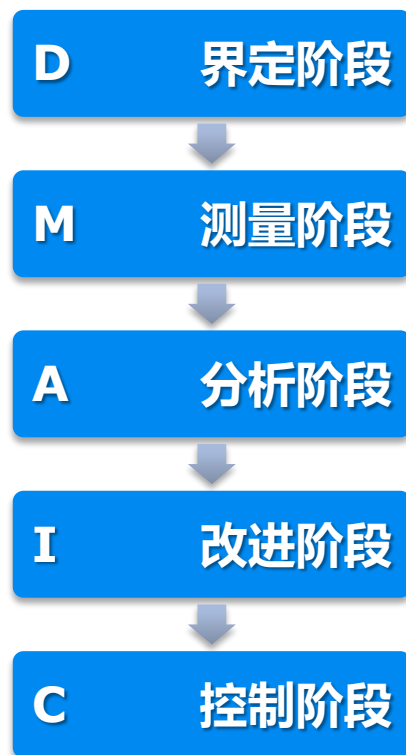
六西格玛黑带课程培训



六西格玛设计方法

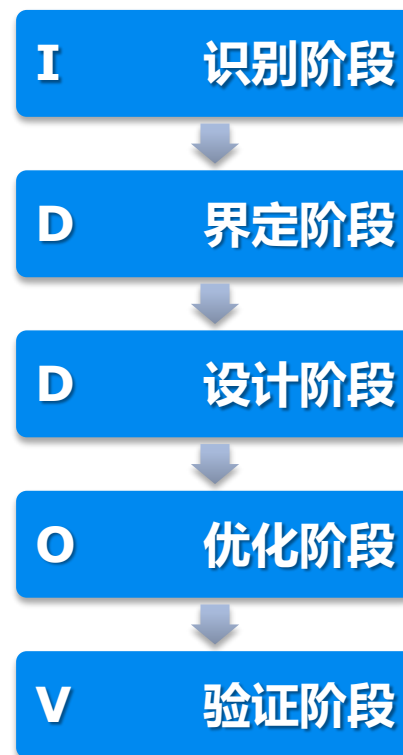
六西格玛改进

DMAIC流程



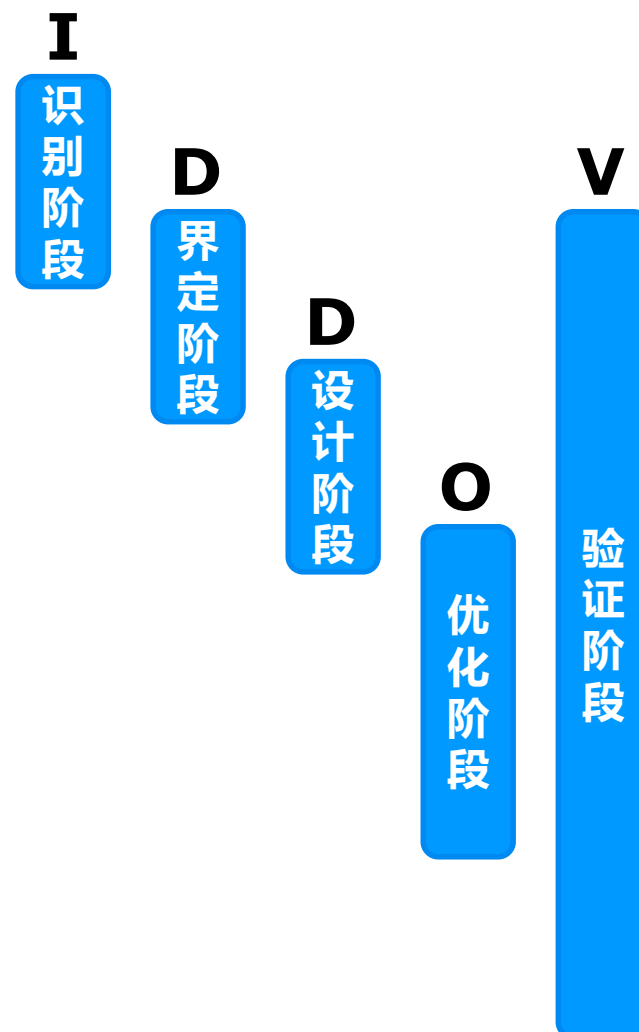
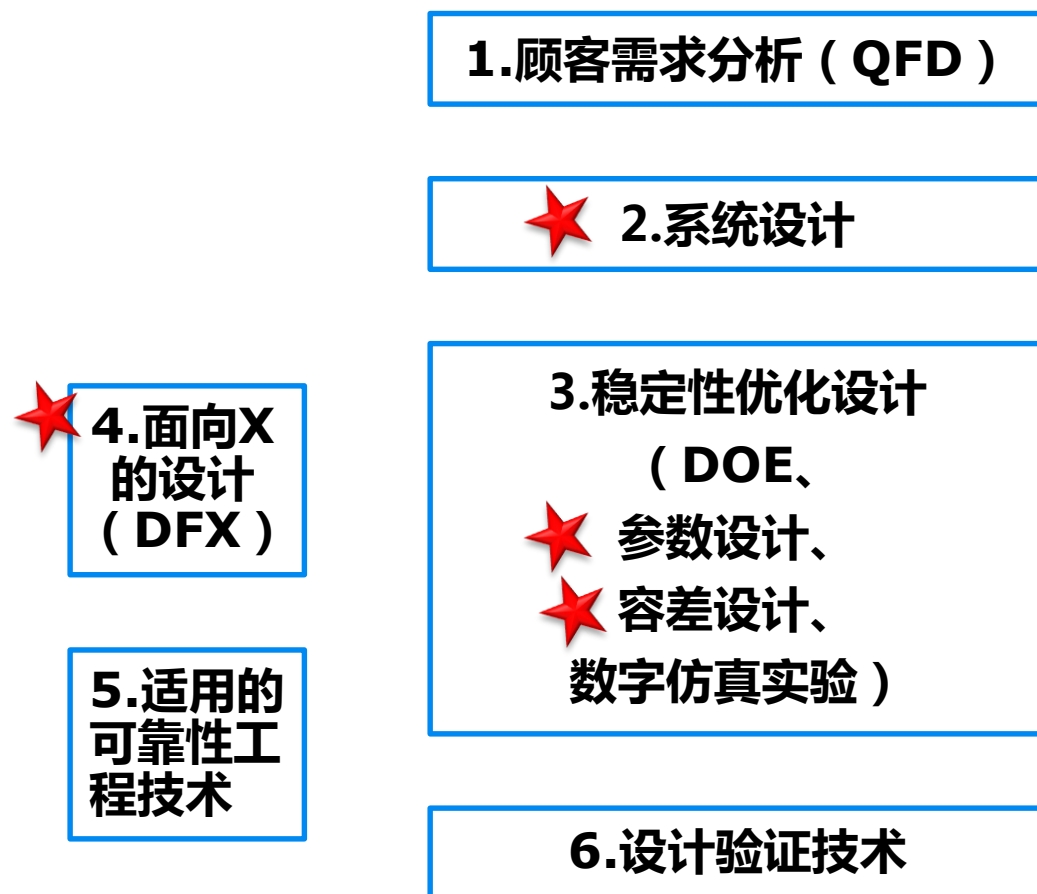
六西格玛设计 **DFSS**

IDDOV流程



六西格玛设计方法

DFSS主要技术工具整合为六个模块



六西格玛设计方法

1

系统设计

2

稳健参数设计

3

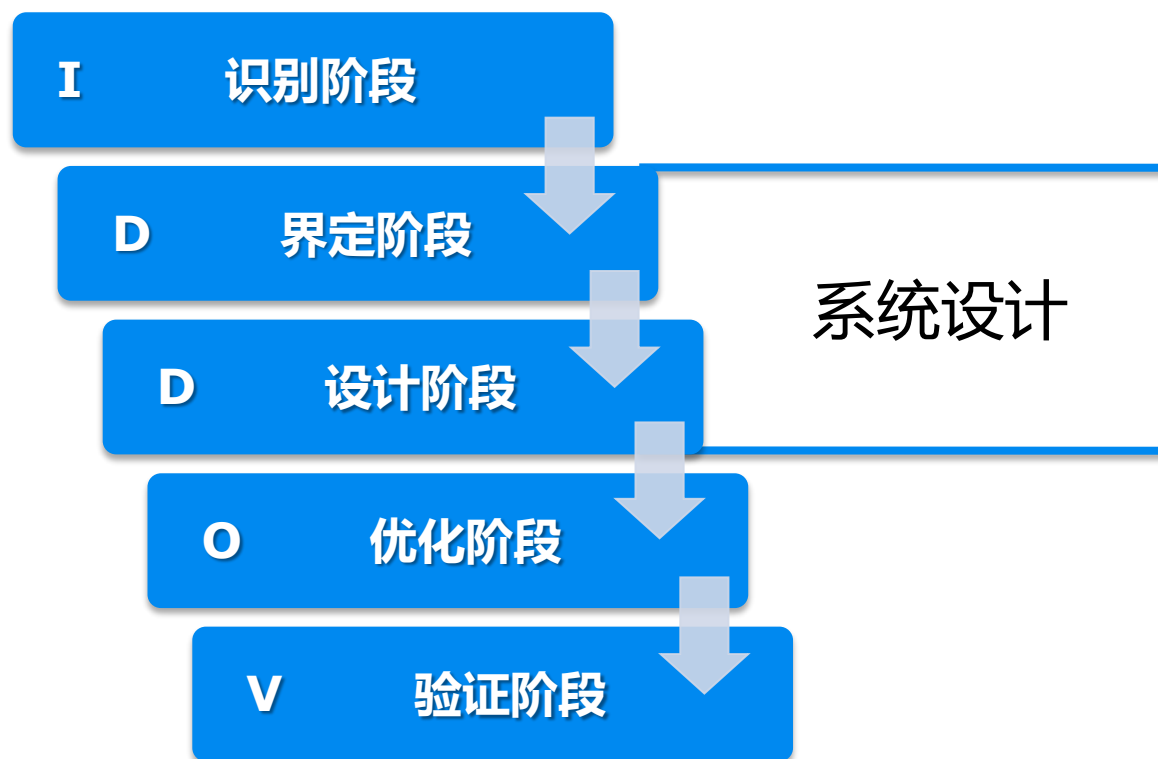
容差设计

4

面向X的设计

系统设计

- 系统设计主要应用于IDDOV的界定（D）和设计（D）阶段。
- 设计阶段是开展六西格玛设计效益最高和潜力最大的阶段。



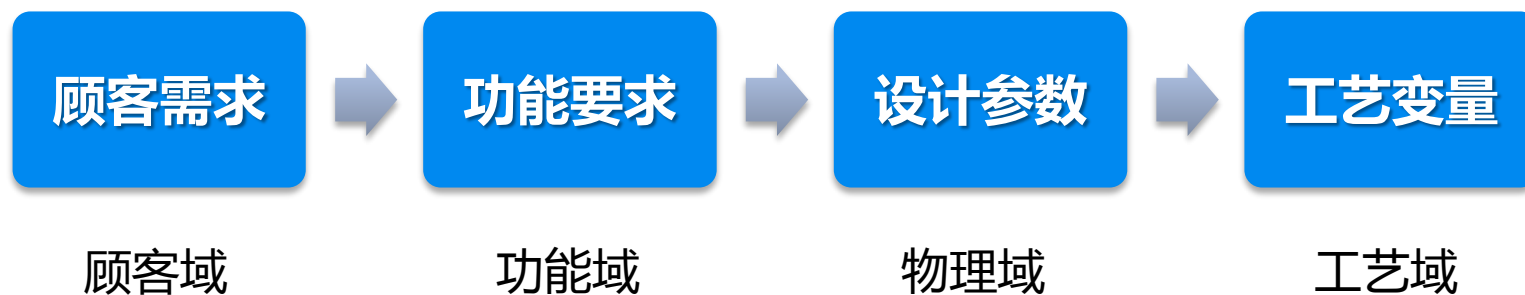
系统设计

➤ 系统设计的基本原理

➤ 设计是一个映射过程

产品开发初期，产品工作原理与结构尚待确定，其技术方案犹如一个黑箱，设计输入通过黑箱映射为设计输出，设计过程是使黑箱透明化的过程。

技术方案是无穷的，系统设计的目的是找到一个优化的技术方案。



设计的映射过程

➤ 系统设计的方法

① 自顶向下的设计

从系统顶层开始、逐层展开、并行开发。

② 公理性设计

公理1： 独立公理（模块化公理）——保持功能要求的独立性，减少“耦合”

避免交互作用带来的不确定性；利于故障诊断；利于维修和升级。

公理2： 信息公理（简化公理）——信息含量最小化

在所有满足独立性公理的设计中，**信息含量最少的设计**是最好的设计。

③ 解决创造性问题的理论（TRIZ 萃智）

➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

TRIZ方法源于前苏联，兴于欧美。

《中国制造2025》：中国制造→中国创造（TRIZ）

上飞院青年发明大赛

- TRIZ方法的基本理论
- TRIZ方法的结构体系
- TRIZ的分析方法
- TRIZ的解决方法
- TRIZ实施流程



G.Altshuller

➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

● TRIZ方法的基本理论

① 基本思想

大量发明面临矛盾（系统冲突和物理矛盾）是**相同的**；
发明原则和解决方案是**相同的**。

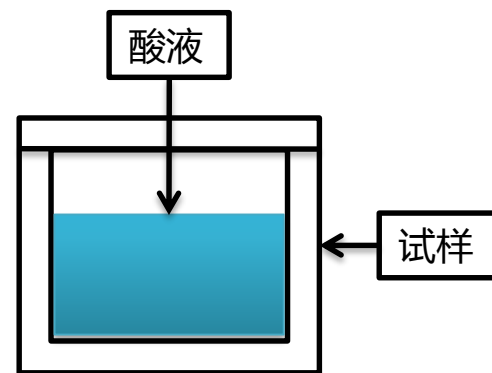
② 技术系统——实现某种功能的元件和相互作用的合集

理想技术系统：不用材料构造、不消耗能量和空间、不需维护也不会损坏。

系统本身不重要，重要的是实现其功能。

无法实现→努力方向

如能应由某个系统完成的功能完全交由已经存在的子系统、高级系统或同一层次的相邻系统去实现，就达到了理想系统状态。

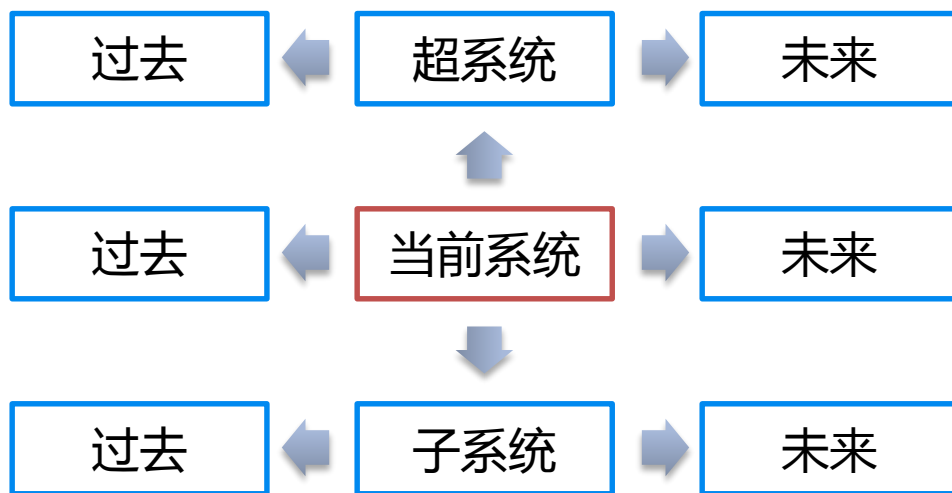


系统设计

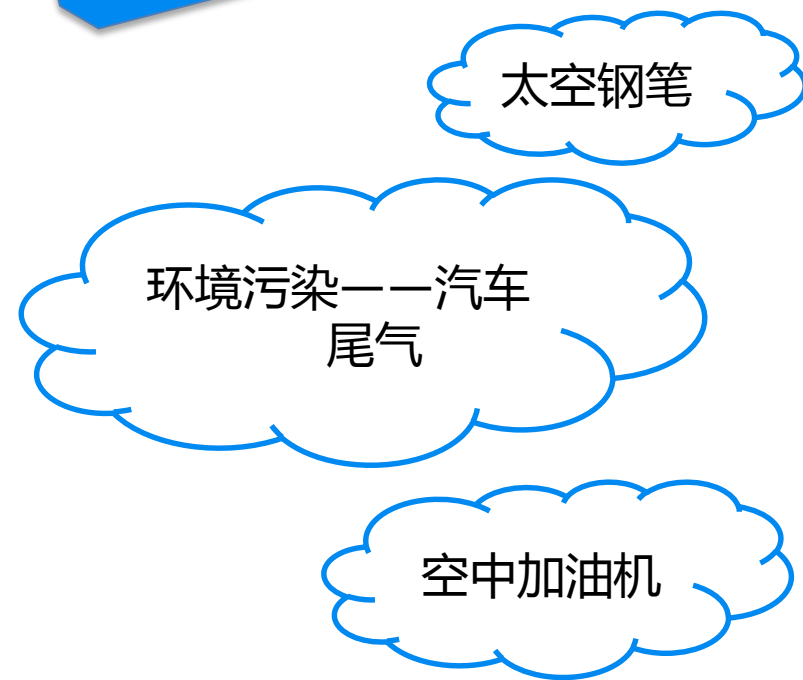
➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ方法的基本理论

- ③ 缩小的问题与扩大的问题



TRIZ建议采用缩小的问题



➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ方法的基本理论

- ④ 系统冲突及其处理

此消彼长，如果改进系统的某一部分属性，其他的某些属性就会恶化

天平：一端翘起，另一端必然下沉

飞机结构：减轻结构的重量，就会削弱结构的强度

传统解决方法——折中

VS

TRIZ方法——彻底消除

典型的系统冲突只有1250种，解决方法40种。（40原则）

➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ方法的基本理论

- ⑤ 物理矛盾及其处理

相互对立的属性集中于系统的同一元素上

同一物体必须处于互斥的物理状态：F1对应P，F2对应-P

TRIZ的三种解决方法：

在时间上分割

在空间上分割

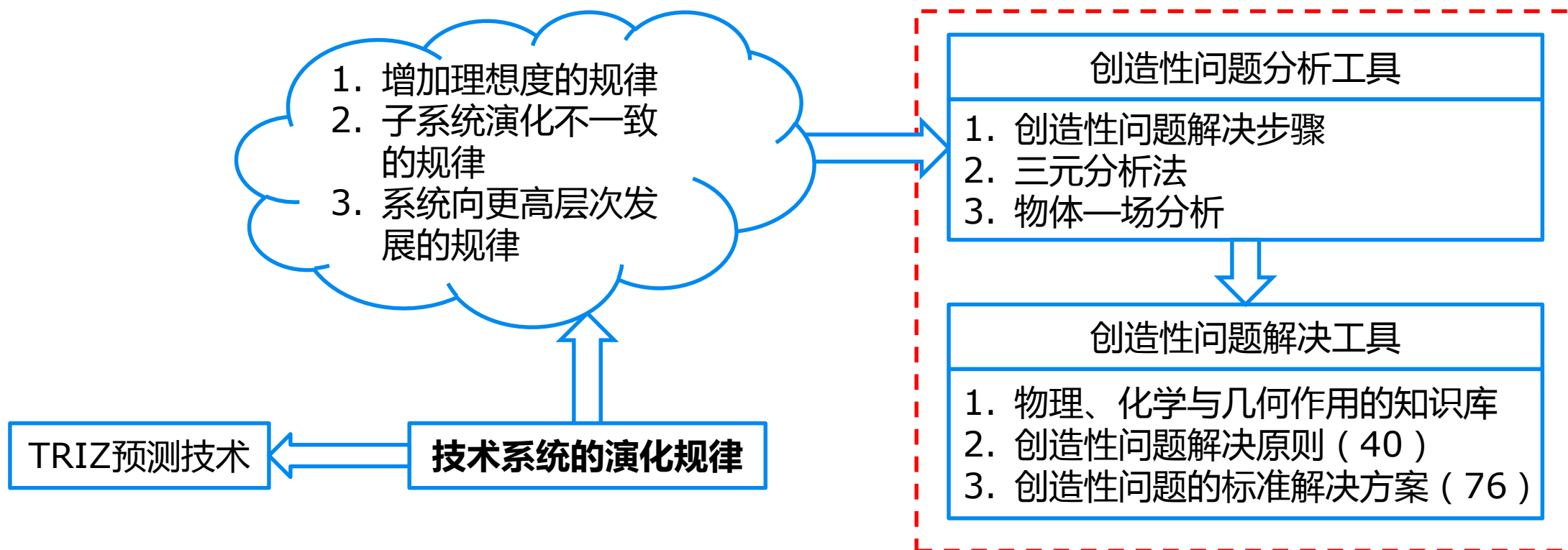
在系统与部件之间分割



➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ方法的结构体系

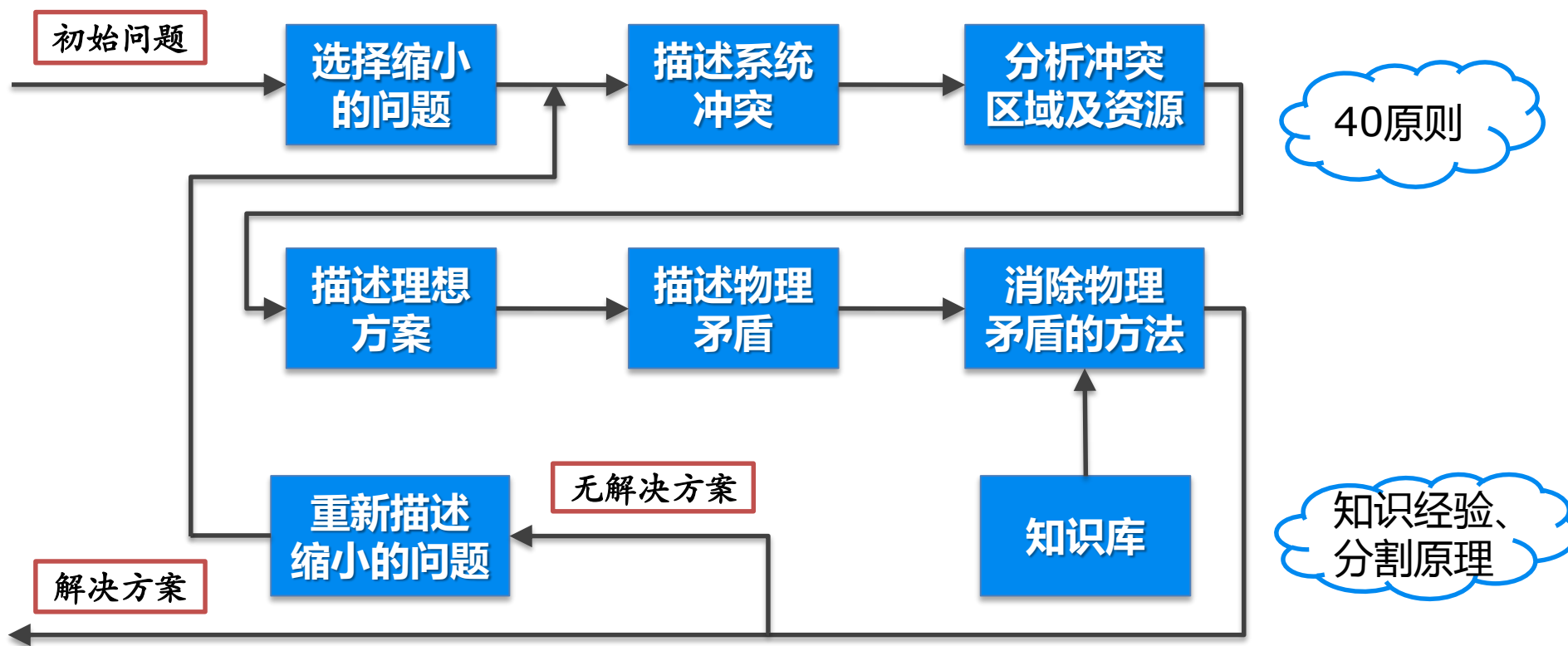
技术系统的演化不是随机的，而是有一般规律的。



➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ的分析方法

- ① 创造性问题的解决步骤（ARIZ）



系统设计

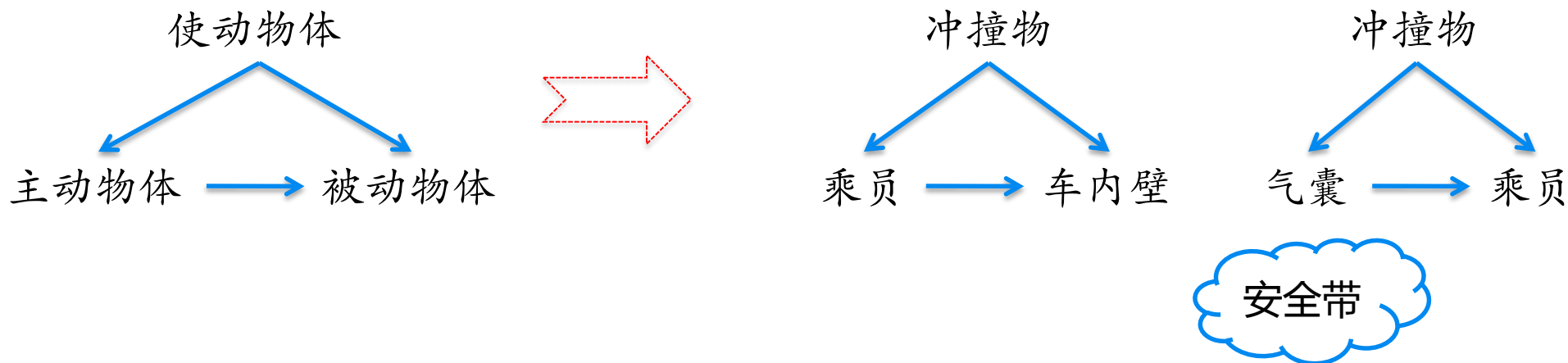
➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ的分析方法

- ② 三元分析法

主动物体、被动物体和使动物体之间的相互作用；

使动物体在过程中的角色是使**主动物体**和**被动物体**相互作用，如没有这一物体，则作用不会发生。



➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

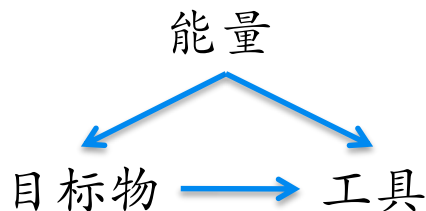
- TRIZ的分析方法

- ③ 物体—场分析

技术系统实现的功能都可表示为物质和能量的转换过程；

直接法：能量直接施加在目标物上——过程难以控制

间接法：通过工具与目标物的相互作用来实现控制——完整稳定



“目标物”和“工具”属于“物体”

“能量”即“场”

包含三要素的系统才是完整和稳定的系统

➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）


● TRIZ的分析方法

③ 物体—场分析

基本规律：结构中至少一个部分的缺乏表明结构需要完善。

分析步骤：

- (1) • 确认目标物
- (2) • 确认工具（如存在）
- (3) • 确认场（如存在）
- (4) • 描述系统当前的物体—场模型
- (5) • 建立系统期望的物体—场模型
- (6) • 开发解决方案



76项标准解

➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ的解决方法

- ① 物理、化学与几何作用的知识库

寻找实现技术系统功能的方法与科学原理

主语+谓语+宾语

S + V + O

VO ——系统要实现的功能

S ——技术资源，计算机辅助技术支持下的知识库和效应库

S	V	O
火焰	加热	水

大力研究和开发的计算机辅助创新（CAI）技术

➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ的解决方法

- ② 处理创造性问题的40个原则

创造性问题的解决原则就是特定的系统冲突所对应的问题解决技术
典型的问题解决原则共40种（可细分出子原则，约100项）

部分原则示例：

原则7：嵌套原则——拉杆天线，推拉门

原则32：改变颜色原则——感光玻璃，人民币防伪标志

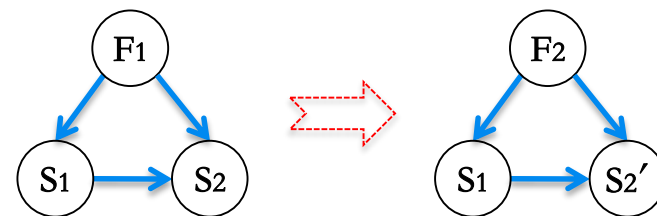
➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

● TRIZ的解决方法

③ 创造性问题的76项标准解决方案

针对物体—场结构，TRIZ方法归纳了76项标准解决方案

部分标准示例：



标准16：用更加容易控制的场，来代替不容易控制的场，或者叠加到不容易控制的场上，可按以下路线用后一个场取代前一个场：重力场→机械场→电场或磁场→辐射场

应用示例：

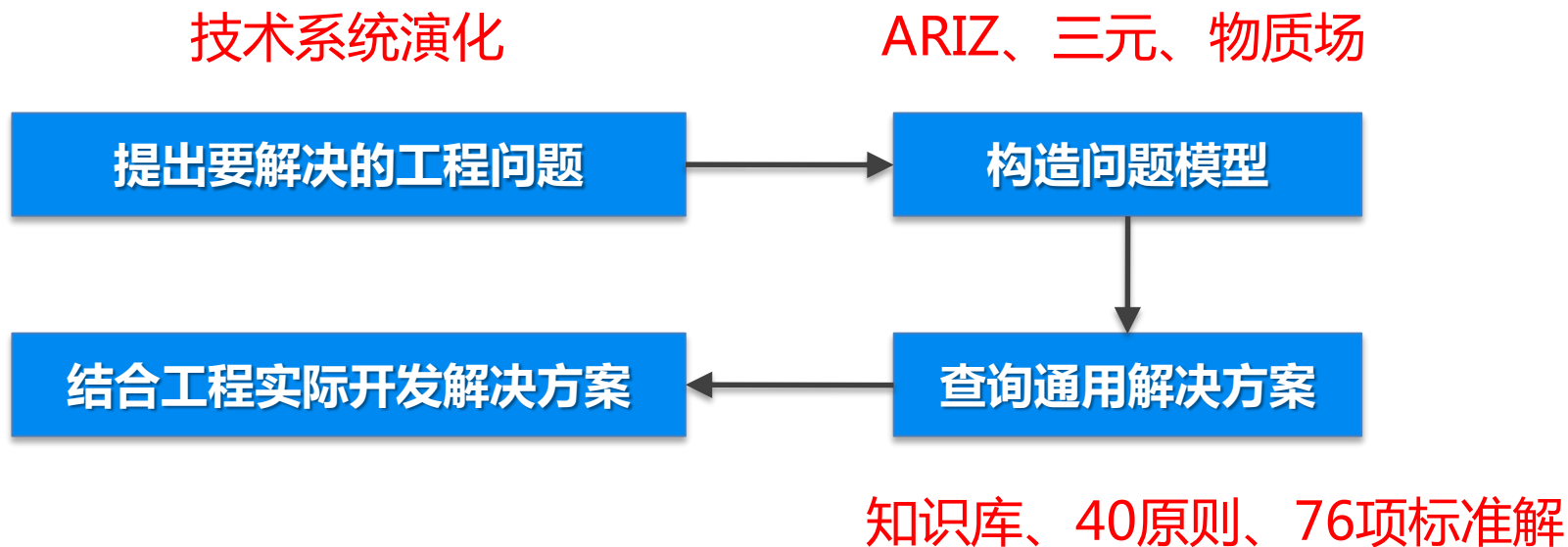
在一些外科手术中，最好采用对组织（S1）施加热作用（F2）的激光手术刀（S2'）

取代对组织（S1）施加机械作用（F1）的钢刀片手术刀（S2）

➤ 解决创造性问题的理论（TRIZ）

- TRIZ实施流程

总结以上分析方法及解决方法，运用TRIZ方法解决问题的流程如下图：



公理性设计考题

历年真题

单选题 (第三版样题第84题/2009年真题第82题)

在公理化设计中，“独立公理”也称为_____，其含义是_____。

- A. 简化公理，信息含量最小化
- ☒ B. 模块化公理，最大限度地减少各功能要求间的“耦合”
- C. 简化公理，避免设计参数间的交互作用
- D. 模块化公理，实现各子系统并行设计



知识点：
第三版P524

TRIZ理论考题

多选题 (第三版样题第120题)

知识点：

第三版
P525/527/529



历年真题

有关TRIZ理论与方法，请选择下列**正确**的说法：

- ☒ A TRIZ方法的提出源于以下认识：大量发明面临的基本问题和矛盾（系统冲突和物理矛盾）是相同的，只是技术领域不同而已
- ☒ B 按照TRIZ的基本观点，对同一问题的解决可能有多个不同的方案，方案的难易及可能性与对问题的描述方法息息相关
- ☒ C TRIZ认为，发明可以视为系统冲突的解决过程
- ☒ D TRIZ理论认为，对于技术系统而言，重要的不在于系统本身，而在于如何更科学地实现功能

TRIZ理论考题

多选题 (2005年真题第115题)

关于TRIZ的说法，**错误**的是：

- ☒ A. TRIZ方法在冲突中寻找可接受的平衡和折衷
- ☐ B. TRIZ提出了系统冲突的解决原则和标准解决方案
- ☒ C. TRIZ不能用在服务行业中
- ☐ D. 大多数创造性的问题，都可以在TRIZ标准解决方案中找到正确的思路 and 方向

知识点：

第三版P527

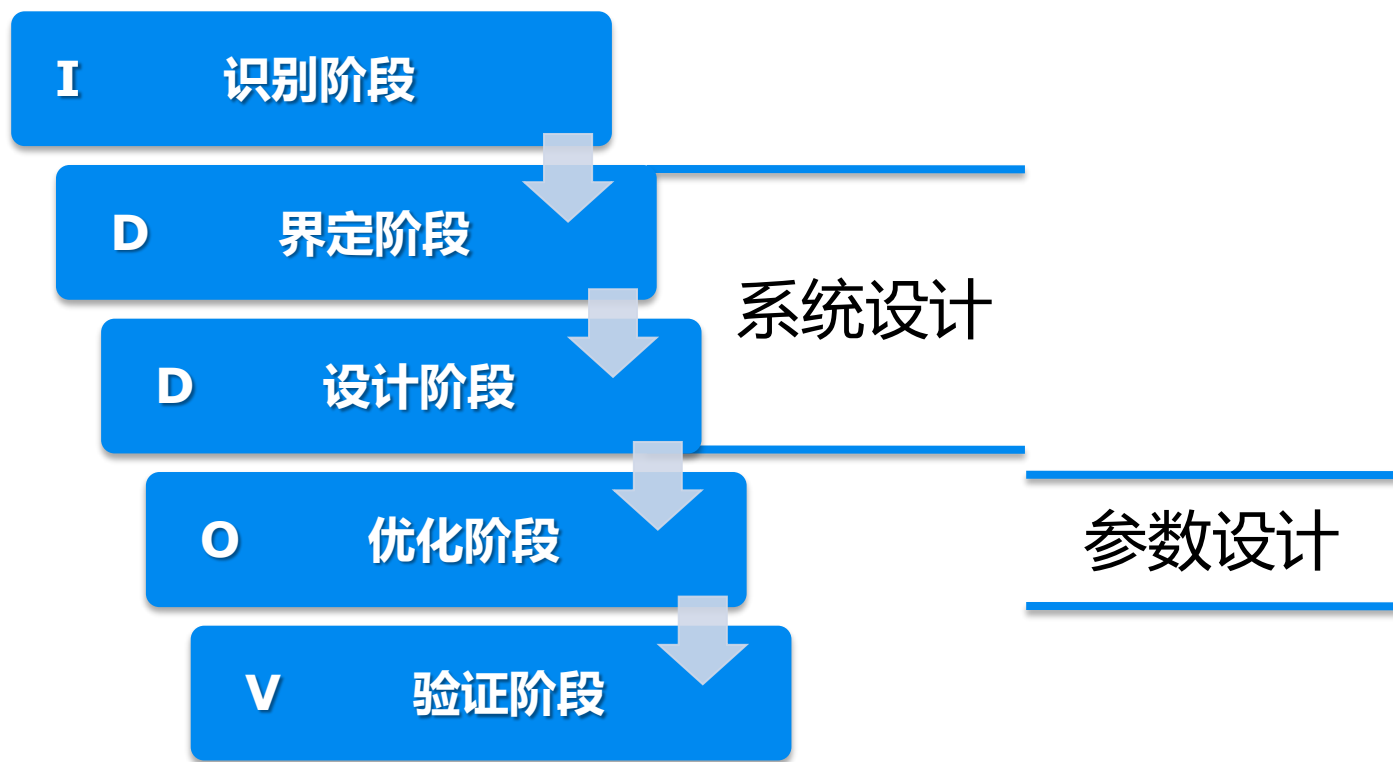


历年真题



稳健参数设计

- 稳健参数设计简称**参数设计**，又称**田口方法**。
- 参数设计主要适用于IDDOV的优化（O）阶段。



稳健参数设计

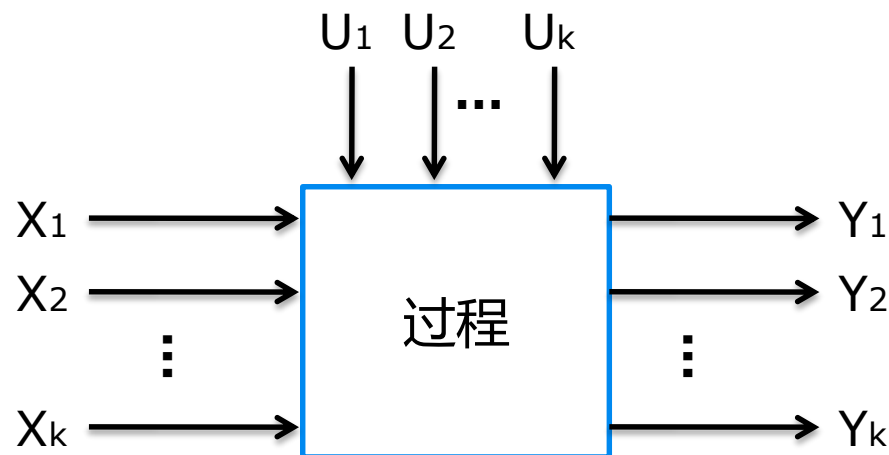
➤ 稳健参数设计基本概念

试验设计 (DOE) 分类：

单因子试验设计、全因子试验设计、部分因子试验设计、响应曲面设计、**稳健参数设计**等。

试验设计基本术语：

- 可控因子： X
- 噪声因子（非可控因子）： U
- 响应变量： Y
- 响应系统



稳健参数设计

➤ 稳健参数设计基本概念

- 可控因子进一步理解：一旦选定就保持不变的变量——设计参数
- 噪声因子进一步理解：正常条件下难以控制的变量

- | | |
|---------------|--------------------|
| ① 参数的变化： | 反应罐中温度的波动、人体体温 |
| ② 原材料参数的变化： | 内噪声 · 实际值与名义值的偏离 |
| ③ 环境的变化： | 外噪声 · 手表运行快慢随时间的变化 |
| ④ 载荷因子： | 洗衣机洗衣量的变化 |
| ⑤ 单元间差异与空间差异： | 不同批次、操作工的不同安排等差异 |
| ⑥ 时间差异： | 上下午的差异 |
| ⑦ 耗损降级： | 元器件老化 |

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计基本概念

➤ 响应系统

- ◆ 响应变量为**特定的最佳值**（望大、望小或望目），且该值不变，这类响应称为简单响应，这类系统成为**简单响应系统**；
简单响应关系具有**静态**特性，对应的参数设计问题称为**静态参数设计**。
- ◆ 响应变量**显著地依赖于一个有效的信号因子**，这个系统称为**信号—响应系统**；
信号—响应系统具有**动态**特性，对应的参数设计问题称为**动态参数设计**。

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计基本概念

➤ 响应变量的变差

产品性能指标的波动即响应变量的变差，其受可控因子和噪声因子波动的影响。

稳健参数设计以响应变量的变差作为研究对象。

➤ 如何减少响应变量的变差

◆ 减小噪声因子的变差——不易实现，代价高

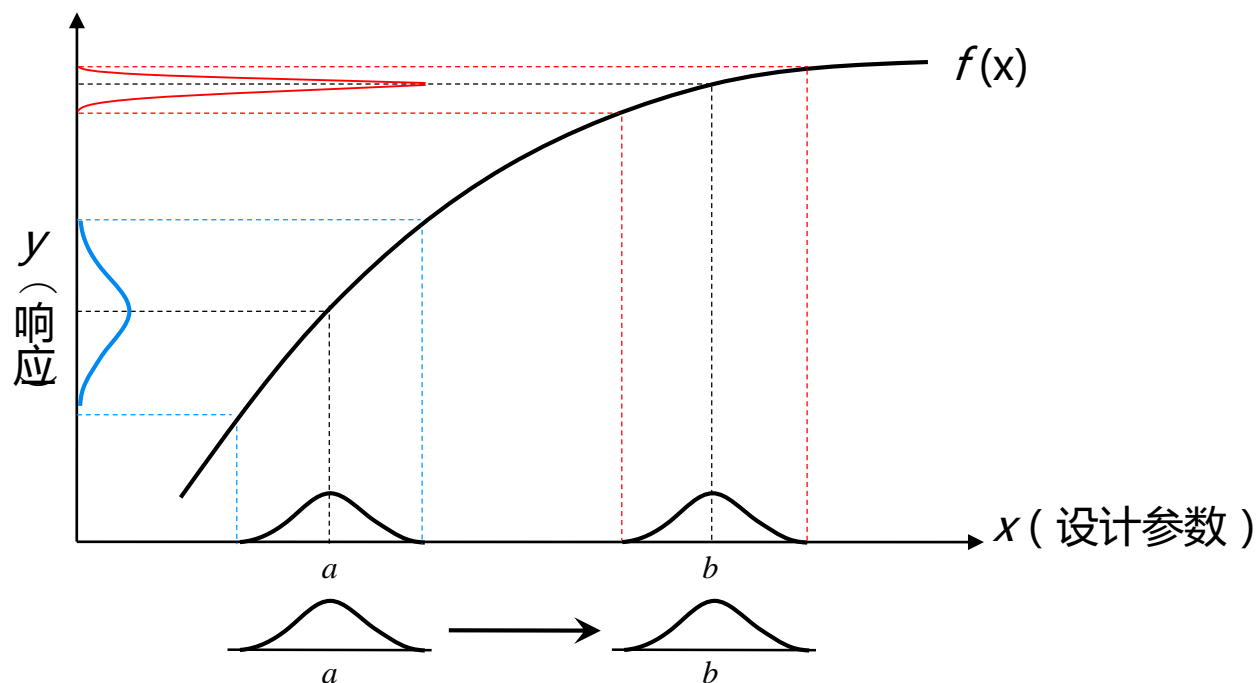
◆ 改变可控因子水平组合——易于改变，经济

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计基本概念

➤ 如何减少响应变量的变差

如果可控因子本身受到噪声影响而有波动——响应变量与可控因子关系非线性。
选择非线性关系中，斜率较小的平坦区域从而使响应变量的变差减小。



稳健参数设计

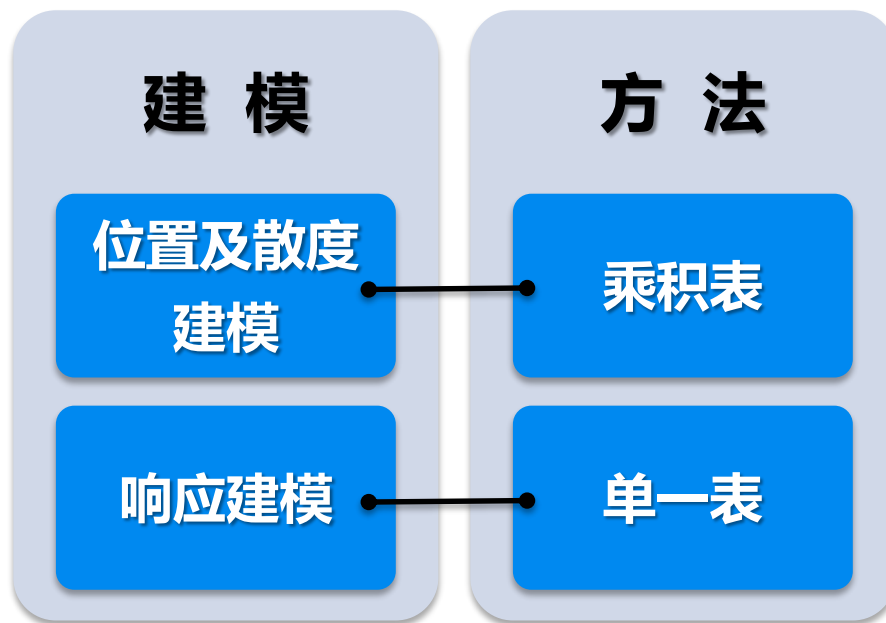
➤ 稳健参数设计基本概念

通过选择可控因子的水平组合，
来减少一个系统（或产品、过程）对噪声变化的敏感性，
从而达到减少此系统性能波动的目的。

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计建模方法

现在公认较好的建模方法有两种：



稳健参数设计

➤ 稳健参数设计试验与建模

➤ 位置及散度建模

乘积表

外表 内表	<i>d</i>	-	+	+	-	+	-	-	+
	<i>c</i>	-	-	-	-	+	+	+	+
	<i>b</i>	-	-	+	+	-	-	+	+
	<i>a</i>	-	+	-	+	-	+	-	+
		1	2	3	4	5	6	7	8

噪声表

控制表

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>y</i> 1	<i>y</i> 2	<i>y</i> 3	<i>y</i> 4	<i>y</i> 5	<i>y</i> 6	<i>y</i> 7	<i>y</i> 8	SN	Ybar
1	1	1	1	1	一组水平组合									
2	1	2	2	2										
3	1	3	3	3										
4	2	1	2	3										
5	2	2	3	1										
6	2	3	1	2										
7	3	1	3	2										
8	3	2	1	3										
9	3	3	2	1										

一次试验结果

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计试验与建模

➤ 位置及散度建模

◆ 建模思路

分别建立位置和散度的度量值关于可控因子主效应和交互效应的模型。

◆ 对每个控制水平的组合

用噪声重复试验的**样本均值**作为**位置**的度量

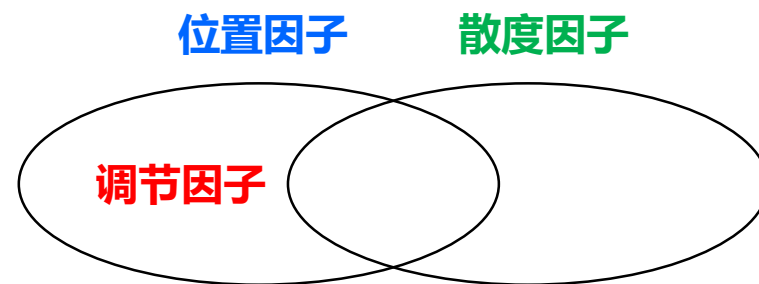
用**样本方差的对数**或**样本方差**本身作为**散度**的度量

◆ 显著影响因子

位置因子：凡对位置度量有显著影响者

散度因子：凡对散度量有显著影响者

调节因子：是位置因子但又非散度因子者



稳健参数设计

➤ 稳健参数设计试验与建模

➤ 位置及散度建模

◆ 建模步骤

对于望目型问题：

- ① 选择散度因子的水平使散度最小化；
- ② 选择调节因子的水平使位置达到目标值。

有可能反复迭代

对于望大或望小问题：

- ① 选择位置因子的水平使位置达到最大（小）；
- ② 选择非位置因子的散度因子的水平使散度最小化。

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计试验与建模

➤ 位置及散度度量

用什么来度量位置 & 散度？

样本均值 & 样本方差

VS

信噪比 & 灵敏度

(田口建议)

建模步骤优化 (望目、望大、望小)：

- ① 信噪比 (SN) 极大化；
- ② 根据不同的目标选不同的因子予以调节。

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计试验与建模

➤ 位置及散度度量

对于望大、望小和望目三种形式，用不同公式来定义信噪比
设随机变量 y ，期望值为 μ ，方差为 σ^2

信噪比越大，波动越小。

望目特性信噪比：

$$\eta = \frac{\mu^2}{\sigma^2} = -10\lg\left(\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)$$

望小特性信噪比：

$$\eta = \frac{1}{\mu^2 + \sigma^2} = -10\lg\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2$$

望大特性信噪比：

$$\eta = -10\lg\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$$

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计试验与建模

➤ 位置及散度度量

外表 内表				<i>d</i>	-	+	+	-	+	-	-	+		
				<i>c</i>	-	-	-	-	+	+	+	+		
				<i>b</i>	-	-	+	+	-	-	+	+		
				<i>a</i>	-	+	-	+	-	+	-	+		
					1	2	3	4	5	6	7	8		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	SN	Ybar
1	1	1	1	1										
2	1	2	2	2										
3	1	3	3	3										
4	2	1	2	3										
5	2	2	3	1										
6	2	3	1	2										
7	3	1	3	2										
8	3	2	1	3										
9	3	3	2	1										

信噪比

响应变量

➤ 稳健参数设计试验与建模

➤ 响应建模

位置与散度建模有其缺点：

- ① 只考虑了可控因子本身，未考虑噪声因子及其与可控因子的交互作用；
- ② 散度可能不是可控因子的线性函数，增加散度度量的建模难度；
- ③ 乘积表所用试验次数太多。

用单一表直接进行响应建模：

- ① 不计算噪声因子在重复试验上的方差；
- ② 将响应变量 y 拟合为可控因子及噪声因子的函数——响应模型；
- ③ 将可控因子与噪声因子统一排在一张表中，减少试验次数；
- ④ 设计及分析用到的统计知识较多。

➤ 稳健参数设计的计划

① 制定可控因子水平表

如需考虑因子间交互作用，选定所有因子取相同水平的对称正交表；

如不考虑交互作用，选用混合水平的非对称正交表。

② 制定控制表（内设计或内表）

很少使用全因子试验，而多是采用部分因子试验，而且不考虑其交互作用。

③ 制定误差因子水平表

误差类型及来源很多；

可控因子的误差也应该作为误差因子。

④ 制定噪声表（外设计或外表）

采用正交表；

相当于对内表的每一个试验都安排了一个全面的噪声表。

➤ 稳健参数设计的计划

噪声因子个数较多或者噪声因子水平较多时，试验次数会很大。

两种解决方法：

① 综合误差法：

噪声表中选择3或4点能使误差达到最大的最具代表性的试验结果作为代表。

② 最不利综合误差法：

噪声表中只选择2点最不利情况（一个偏正、一个偏负）作为试验误差的代表；

第二种方法是第一种方法的特例。

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计实例分析

塑料袋口封装机封装强度分析

响应变量：封装强度

封装强度目标：18kg

影响封装强度的因子有3个：温度、厚度及压力，各取三水平

分析3个因子效应的显著性，寻求最佳搭配使封装强度与目标值18kg最为接近。

温度	60°C 、 75°C 、 90°C
厚度	32μm 、 36μm 、 40μm
压力	1.00kg 、 1.25kg 、 1.50kg

误差因子：温度（ $\pm 5\%$ ），压力（ $\pm 5\%$ ）及厚度（ $\pm 10\%$ ）。

稳健参数设计

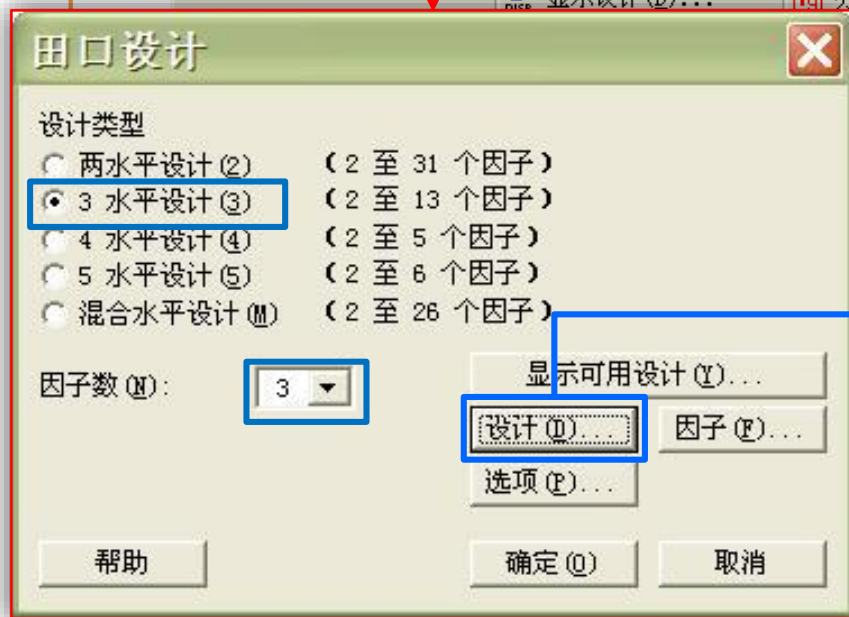
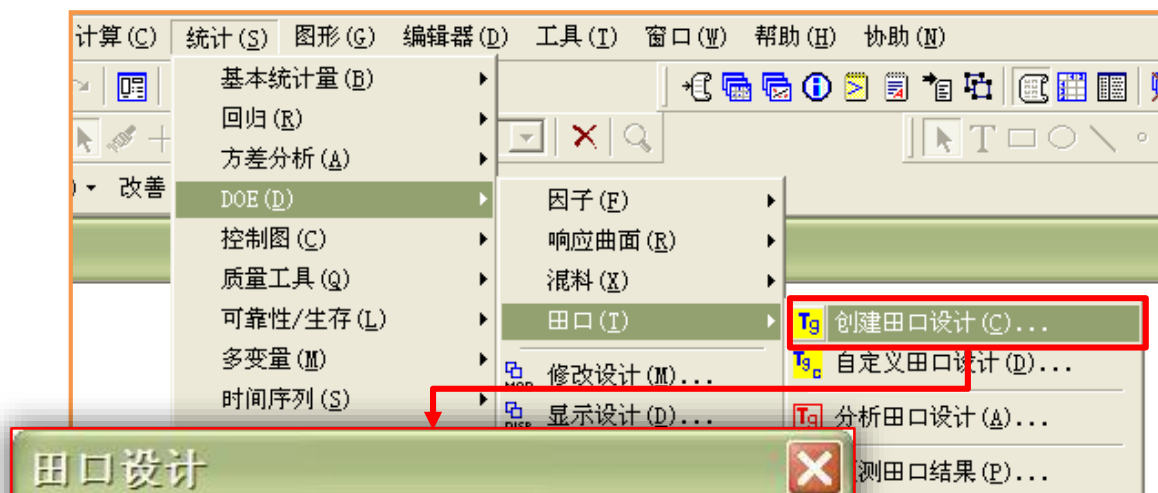
➤ 稳健参数设计实例分析



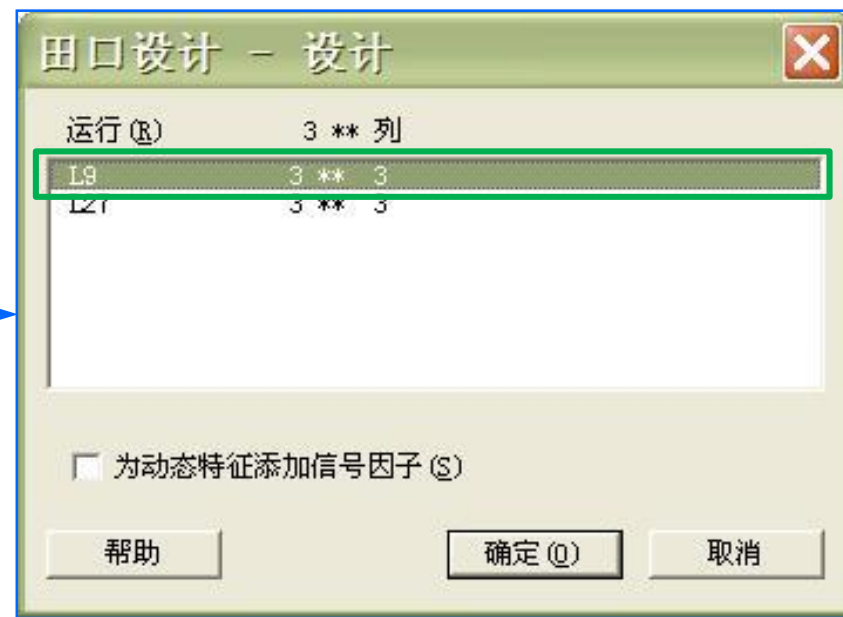
- ① 制定部分因子试验计划
- ② 用综合误差法进行试验
- ③ 计算信噪比、均值
- ④ 确定最佳水平

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计实例分析



A	B	C
1	1	1
1	2	2
1	3	3
2	1	2
2	2	3
2	3	1
3	1	3
3	2	1
3	3	2



稳健参数设计

➤ 稳健参数设计实例分析

	温度	厚度	压力	试验结果1	试验结果2
1	60	32	1.00	19.0	16.0
2	60	36	1.25	18.4	18.0
3	60	40	1.50	17.5	17.0
4	75	32	1.25	18.6	17.5
5	75	36	1.50	19.3	17.0
6	75	40	1.00	19.1	18.5
7	90	32	1.50	18.4	16.0
8	90	36	1.00	17.0	16.5
9	90	40	1.25	15.9	14.5

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计实例分析

分析田口设计

响应数据位于 (R): $y1 - y2$

图形 (G)... 分析 (A)... 项 (T)...
选项 (O)... 存储 (S)...
帮助

分析田口设计 - 图形

生成模型中主效应和交互作用的图

☒ 信噪比 (S)
☒ 均值 (M)
☐ 标准差 (D)

交互作用图
☒ 显示交互作用图矩阵 (X)
使用作为矩阵的行和列交互作用的全部因子或
指定行的因子 (R):
指定列的因子 (C):
☐ 在单独图上显示每个交互作用 (I)

帮助 确定 (O) 取消

分析田口设计 - 选项

信噪比: 公式

☐ 望大 (L) $-10 * \log_{10}(\sum (1/Y^{**2})/n)$
☐ 望目 (X) $-10 * \log_{10}(s^{**2})$
☒ 望小 (S) $10 * \log_{10}(Ybar^{**2}/s^{**2})$
☐ 望小 (S) $-10 * \log_{10}(\sum (Y^{**2})/n)$
☐ 对于望目型使用调整后公式 (A)
☐ 对于全部标准差输出使用对数 (U)

帮助 确定 (O) 取消

分析田口设计 - 存储

存储以下项目:

☒ 信噪比 (S)
☒ 均值 (M)
☒ 标准差 (D)
☐ 变异系数 (V)
☐ 标准差的对数 (N)

拟合值与残差
☐ 拟合值 (F)
☐ 残差 (R)
☐ 标准化残差 (Z)
☐ 删后 (D)

模型信息
☐ 系数 (C)
☐ 设计矩阵 (X)

其他诊断
☐ 高 (杠杆率) (H)
☐ Cook 距离 (K)
☐ DFITS (I)

帮助 确定 (O) 取消

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计实例分析

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	A	B	C	y1	y2	信噪比1	标准差1	均值1
1	1	1	1	19.0	16.0	18.3286	2.12132	17.50
2	1	2	2	18.4	18.0	36.1705	0.28284	18.20
3	1	3	3	17.5	17.0	33.7667	0.35355	17.25
4	2	1	2	18.6	17.5	27.3120	0.77782	18.05
5	2	2	3	19.3	17.0	20.9533	1.62635	18.15
6	2	3	1	19.1	18.5	32.9304	0.42426	18.80
7	3	1	3	18.4	16.0	20.1166	1.69706	17.20
8	3	2	1	17.0	16.5	33.5112	0.35355	16.75
9	3	3	2	15.9	14.5	23.7246	0.98995	15.20

因子B最重要，因子C次之，因子A最小

因子B、C为散度因子

因子A最重要，因子B、C都很小

因子A为位置因子，也是调节因子

田口分析: y1, y2 与 A, B, C

信噪比响应表

望目 ($10 \cdot \log_{10} (Y_{\text{bar}}^2 / s^2)$)

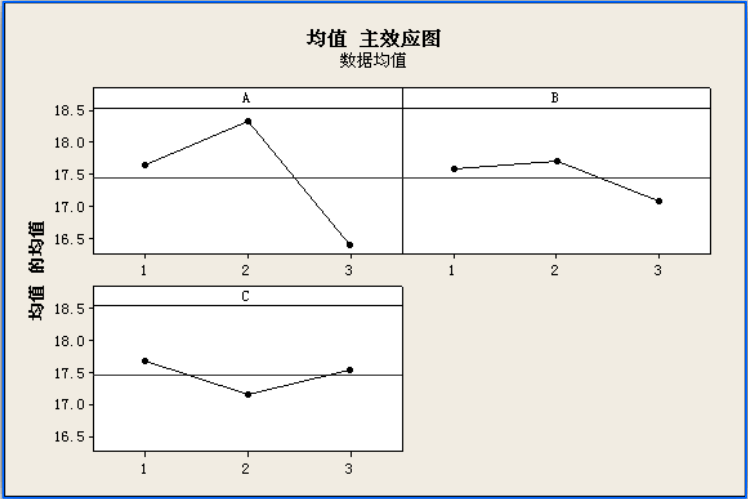
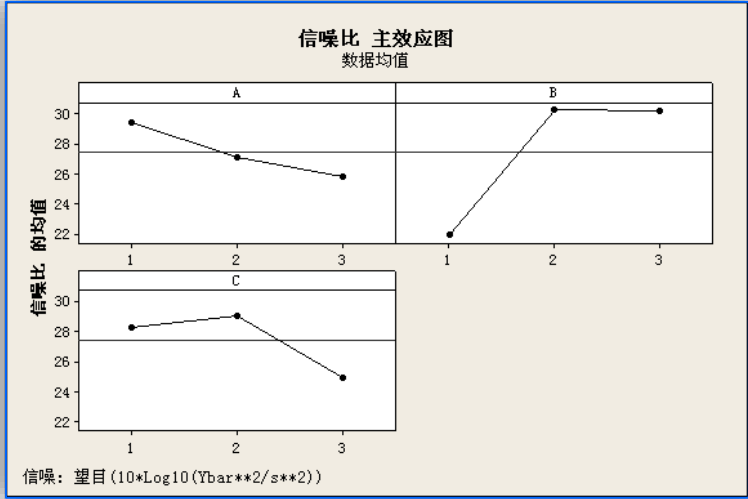
水平	A	B	C
1	29.42	21.92	28.26
2	27.07	30.21	29.07
3	25.78	30.14	24.95
Delta	3.64	8.29	4.12
排序	3	1	2

均值响应表

水平	A	B	C
1	17.65	17.58	17.68
2	18.33	17.70	17.15
3	16.38	17.08	17.53
Delta	1.95	0.62	0.53
排序	1	2	3

稳健参数设计

➤ 稳健参数设计实例分析



选择信噪比极大化的水平。

信噪比最佳水平应确认为：B取二水平，C取二水平，此时试验件条件为2号（A取一水平）。

实际结果：

信噪比=36.1705

均值=18.20

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	A	B	C	y1	y2	信噪比1	标准差1	均值1
1	1	1	1	19.0	16.0	18.3286	2.12132	17.50
2	1	2	2	18.4	18.0	36.1705	0.28284	18.20
3	1	3	3	17.5	17.0	33.7667	0.35355	17.25

稳健参数设计

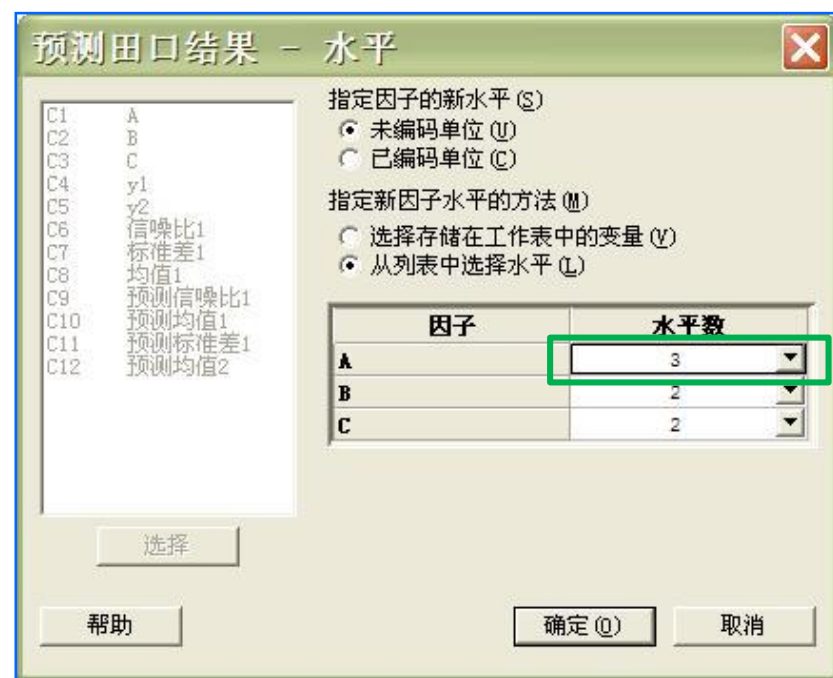
➤ 稳健参数设计实例分析

选择调节因子的水平使位置达到目标值

A1B2C2

A2B2C2

A3B2C2



稳健参数设计

➤ 稳健参数设计实例分析

选择调节因子的水平使位置达到目标值

	A1B2C2	A2B2C2	A3B2C2
理论预测	17.5889	18.2722	16.3222
试验结果	18.20	——	——

目标值为18

方案一
接受A1 B2 C2生产条件

方案二
固定B2 C2生产条件，在A1
与A2之间再做一次试验

稳健参数设计考题

历年考题

多选题 (2007年样题第104题)

稳健参数设计 (田口方法) 中的误差因素 , 指的是 :

- ☒ A 元器件参数所取数值的误差
- ☒ B 用户使用环境条件变化形成的误差
- ☐ C 重复试验中的随机误差
- ☒ D 产品制造过程中工艺条件变化形成的误差



知识点 :

第三版P538

稳健参数设计考题

历年考题

单选题 (2010年真题第82题)

稳健性设计是一种重要的设计理念和设计方法，关于稳健性的理解，下列说法**正确**的是：

- ☒ A. 产品稳健性是指产品的性能对环境条件变化不敏感
- B. 产品稳健性是指产品的性能随时间的推移没有发生显著变化
- C. 制造过程的稳健性是指工艺条件很稳定
- D. 制造过程的稳健性是指制造出的产品质量稳步提高

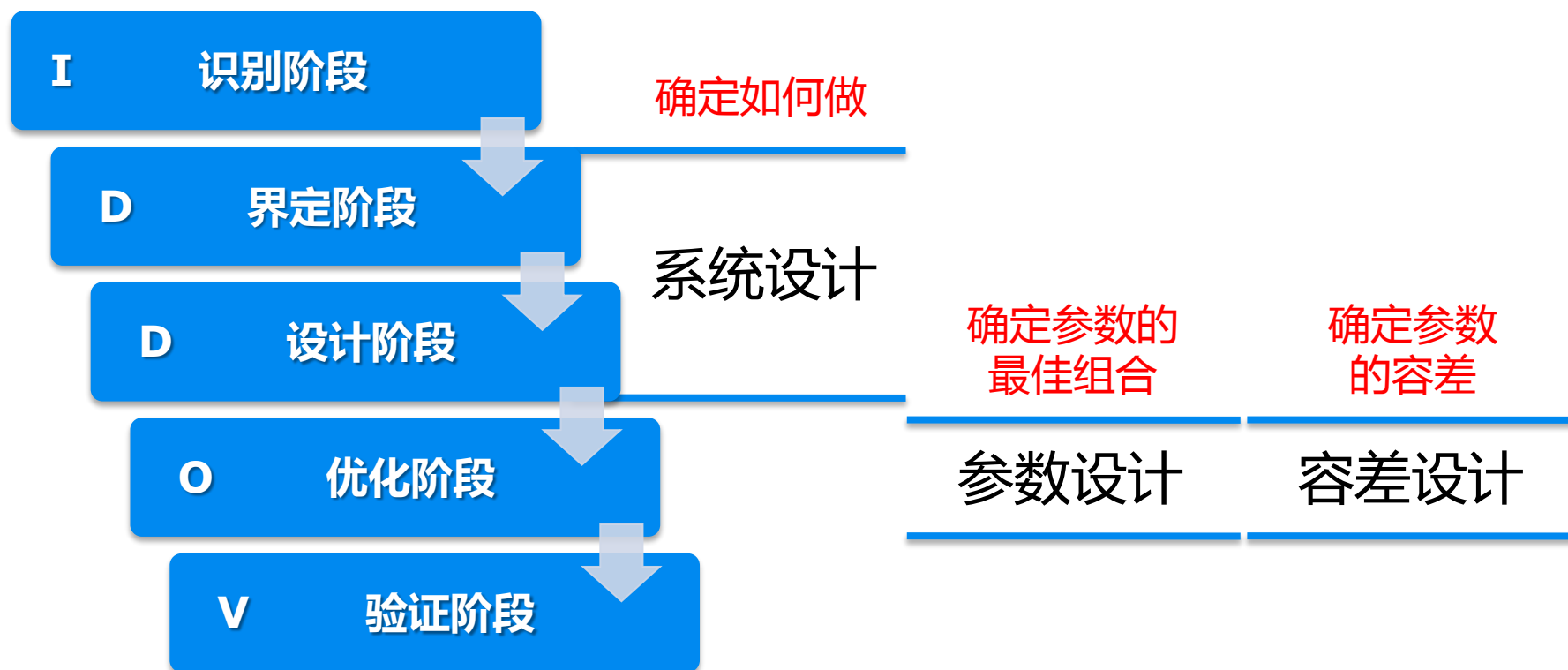
知识点：

第三版P537



容差设计

- 容差设计在完成系统设计和由参数设计确定了可控因素的最佳水平组合后进行。根据各参数的波动对产品质量特性影响的大小，从经济角度考虑有无必要对影响大的参数给予较小的容差。容差设计主要适用于优化（O）阶段。



➤ 质量损失函数

按照田口理论，评价产品设计质量的好坏，只需计算质量损失函数。

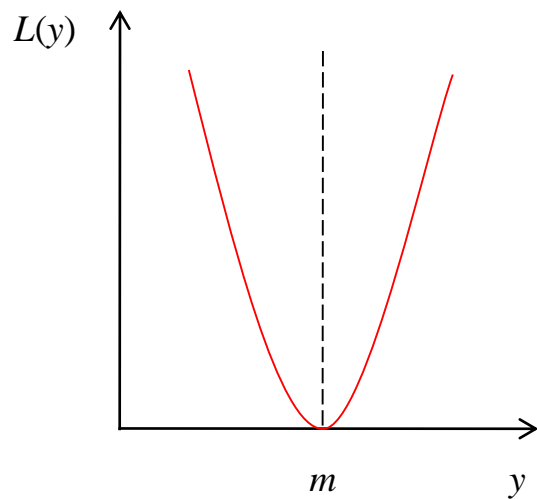
通过质量损失函数确定产品容差。 “使社会总损失（质量损失+成本）最小” 原则

质量特性	损失函数	平均质量损失	参数说明
望目特性	$L(y) = k(y - m)^2$ $k = A_0 / \Delta_0^2 = A / \Delta^2$	$\bar{L}(y) = k \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 = kV_T$ $V_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2$	A_0 为产品丧失功能时的损失
望小特性	$L(y) = ky^2$ $k = A_0 / \Delta_0^2 = A / \Delta^2$	$\bar{L}(y) = k \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 = kV_T$ $V_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$	Δ_0 为产品的功能界限 A 为产品不合格的损失
望大特性	$L(y) = k / y^2$ $k = A_0 \Delta_0^2 = A \Delta^2$	$\bar{L}(y) = k \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} = kV_T$ $V_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$	Δ 为产品的容差

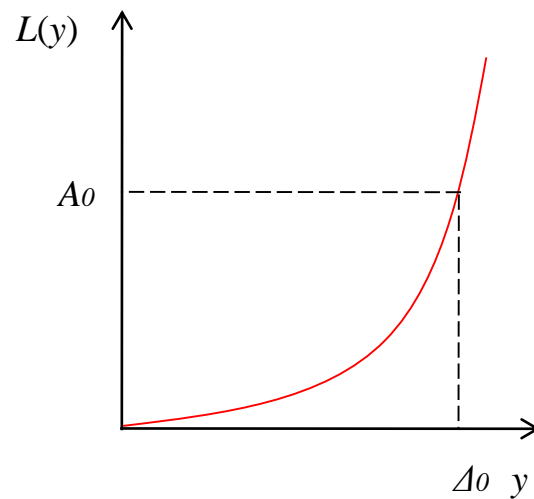
容差设计

➤ 质量损失函数

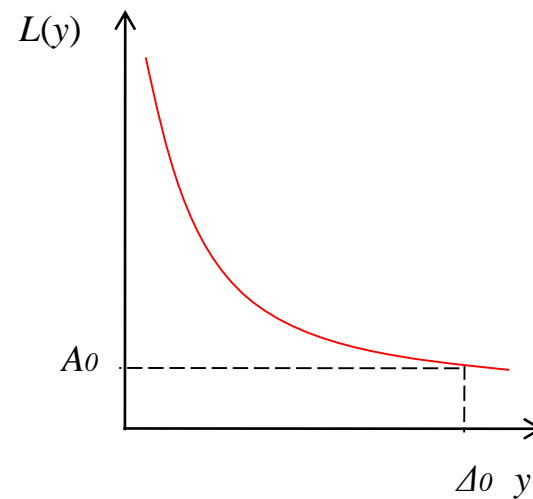
质量损失函数曲线：



望目特性



望小特性



望大特性

容差设计

➤ 容差确定的方法

由安全系数确定容差，与通常工程技术中的安全系数不是完全相同的概念。

安全系数定义

$$\Phi = \sqrt{\frac{A_0}{A}}$$

A_0 为产品丧失功能时的用户损失

A 为产品不合格的工厂损失

安全系数大于1，安全系数越大，丧失功能时损失越大，一般采用安全系数 $\Phi=4\sim5$

望目、望小特性情形容差： $\Delta = \frac{\Delta_0}{\Phi}$

Δ_0 为功能界限

望大特性情形容差： $\Delta = \Phi \Delta_0$

下拉特性容差

老化系数容差

下位特性的老化系数容差

➤ 容差设计实例分析

望目、望小特性的容差设计

设计某机械产品，其材料可以从 A_1 ， A_2 ， A_3 三种材料中任选。三种材料的线性膨胀系数 b_i （温度每变化 1°C 时 A_i 的延伸量）、每年磨损量 β_i 和价格 P_i 如表10-5所示。设产品功能界限 $\Delta_0=6\mu\text{m}$ ，丧失功能时的损失 $A_0=702$ 元，设计寿命 $T=20$ 年，温度标准差 $\sigma_x=15^\circ\text{C}$ ，试问选择哪种材料最合适？

i	材料	b_i ($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	β_i ($\mu\text{m}/\text{年}$)	价格 P_i (元)
1	A_1	0.08	0.15	7.02
2	A_2	0.03	0.06	13.65
3	A_3	0.01	0.05	24.57

容差设计

容差设计实例分析

设产品在标准温度下出厂时的尺寸等于目标值

由温度变化和老化引起的质量，特性波动的均方偏差 V_{Ti} 为：
$$V_{Ti} = b_i^2 \sigma_x^2 + \frac{1}{3} T^2 \beta_i^2, \quad i = 1, 2, 3$$

三种材料的质量水平：
$$L_i = k V_{Ti} = \frac{A_0}{A_0^2} V_{Ti}$$

总损失：
$$L_{Ti} = P_i + L_i, \quad i = 1, 2, 3$$

i	材料	b_i ($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	β_i ($\mu\text{m}/\text{年}$)	价格 P_i (元)	V_{Ti} (μm)	质量水平 L_i (元)	总损失 (元)	L_i/P_i
1	A_1	0.08	0.15	7.02	4.44	86.58	93.60	12.3
2	A_2	0.03	0.06	13.65	0.68	13.31	26.96	1.0
3	A_3	0.01	0.05	24.57	0.36	6.94	31.51	0.3

通过容差设计得到产品成本，即不合格品损失 A ：
$$A = A_2 = 13.65$$

安全系数：
$$\Phi = \sqrt{\frac{A_0}{A}} = \sqrt{\frac{702}{13.65}} = 7.2$$

容差设计考题

历年考题

单选题 (第三版样题第82题/2009年真题第83题)

关于田口的容差设计，下述说法哪个是**正确**的？

- A. 通过容差设计使容差越小越好
- ☒ B. 通过容差设计使产品的质量损失最小
- C. 容差大小与质量损失无关
- D. 以上都不正确



知识点：

第三版P559

容差设计考题

历年考题

单选题 (2010年真题第83题)

融合三次设计的思想按照IDDOV流程进行六西格玛设计时，容差设计主要应用于哪个阶段？

- A. 设计问题界定 (D) 阶段
- ☒ B. 设计参数优化 (O) 阶段
- C. 设计验证 (V) 阶段
- D. 在设计问题识别 (I) 阶段



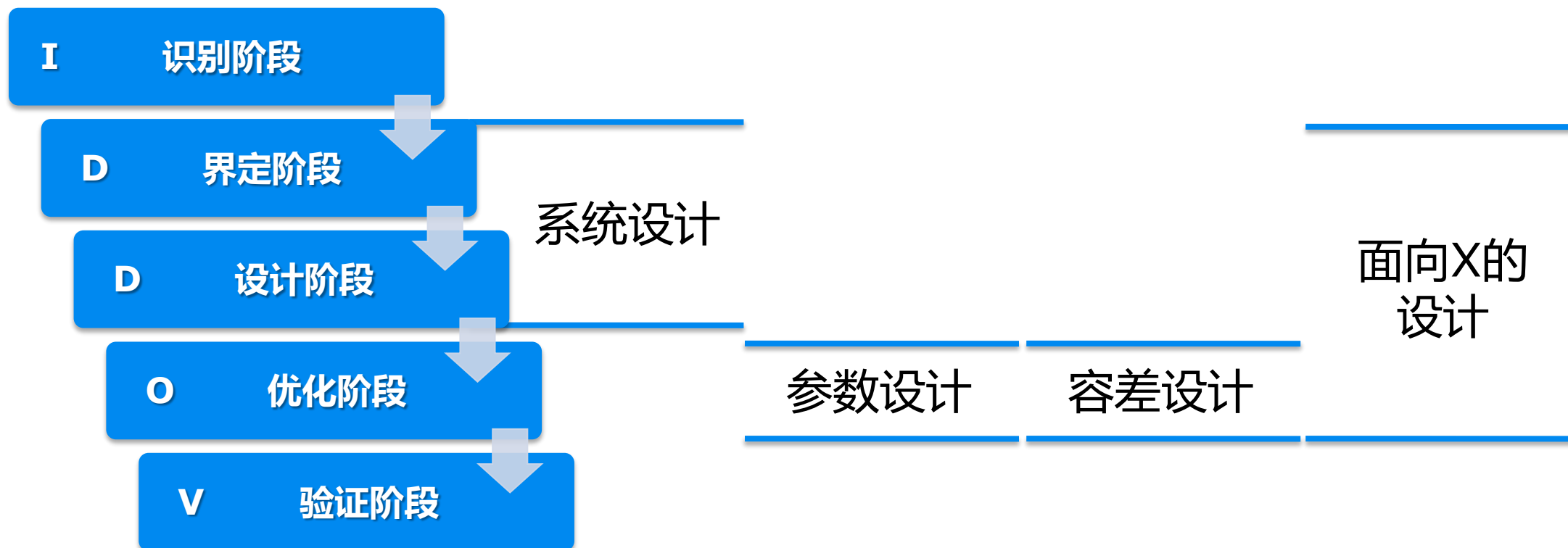
知识点：

第三版P539



面向X的设计

- 面向X的设计是为了满足顾客对产品全寿命周期的所有要求，针对产品全寿命周期的**各种要素**进行设计的方法的统称。
- 面向X的设计主要适用于界定（D）、设计（D）和优化（O）阶段。



面向X的设计

面向**X**的设计  设计时考虑**X**

- 面向**制造**的设计 (DFM)
- 面向**装配**的设计 (DFA)
- 面向**成本**的设计 (DFC)
- 面向**试验**的设计 (DFT)
- 面向**可靠性和维修性**的设计 (DFRM)
- 面向**售后服务**的设计 (DFS)
- 面向**环境**的设计 (DFE)
- 面向**其他因素**的设计

面向X的设计

➤ 面向X的设计基本概念

面向X的设计（DFX）本身是一项系统工程，是追求产品研制方案最优的一个过程。

DFX是一种优化产品设计的方法，其作用方式有两种：

- ◆ DFX设计准则：将X要素方面专家的知识 and 经验总结成具体设计准则，指导设计
- ◆ DFX分析评价工具：在设计的不同阶段，对X要素进行评价，改进设计

面向X的设计

➤ 面向制造和装配的设计（DFMA）

➤ DFMA的原理：

产品制造、装配和试验检验中的很多问题和困难源于设计不当。

➤ DFMA的内容：

DFM：**设计的早期**阶段考虑与制造有关的约束，进行不同材料和工艺的选择，估量不同制造方案。

DFA：产品**设计的早期**阶段考虑并解决装配过程中可能存在的问题。

➤ DFMA的优势：

- ◆ 缩短从设计到投产的周期高达50%
- ◆ 减少零件数量平均达30%~70%
- ◆ 减少装配时间达50%~80%

➤ DFMA的总则

- (1) • 简化设计
- (2) • 模块化、系列化、通用化设计（三化）
- (3) • 互换性设计
- (4) • 继承性设计
- (5) • 贯彻并行工程，实施团队工作法
- (6) • 与DFMA有关的数字化技术

面向X的设计

➤ 面向成本的设计（DFC）

➤ DFC的原理：

在满足用户需求的前提下，通过分析和研究产品全寿命周期中各个部分的成本组成情况并评估，对原设计中成本过高部分进行修改。

➤ DFC的内容：

- (1) • 建立基于并行工程的全寿命周期成本模型
- (2) • 成本数据的收集与成本估算
- (3) • 与其他DFX工具的集成
- (4) • 设计结果评价和改进设计建议的生成
- (5) • 目标成本的确定

➤ DFC的方法：

- ◆ 估算制造成本：成组技术的应用；作业成本法
- ◆ 估算非制造成本：历史信息收集、分析和统计

面向X的设计

➤ 面向成本的设计（DFC）

非制造成本：

R&D成本、设计成本、销售成本、保修成本、使用成本、回收报废成本、管理费用

➤ 减少成本设计：

在不改变总体设计方案的前提下，采用最低消耗设计，即在满足顾客需求，保证安全、强度和适当的设计裕度的原则下，采用合适的材料、最小的尺寸、最低的功耗、最低的加工精度等，以实现最低消耗设计。

避免过功能、过强度、过寿命设计。

面向X的设计

➤ 面向试验的设计（DFT）

➤ DFT的原理：

设计早期就论证和确定设计验证的方案及其设施，产品制造过和装配过程中的测试、试验、检验和计量的方案及其设施。

➤ DFT的内容：

研发试验：可以是各种仿真试验，也可以是真实条件下的实物试验。

鉴定试验：对新设计产品的性能、质量、可靠性和寿命进行真实环境下的全面考核，一般应由顾客代表和行业权威部门参加和认可。

➤ DFT的特点：

必须考虑故障的检测和排除，应在深入到零件一级的FMEA分析的基础上列出产品的所有故障模式及其症状。

面向X的设计

➤ 面向可靠性和维修性的设计（DFRM）

➤ DFRM的原理：

面向可靠性：在顾客要求的寿命期内不出或尽可能少出故障，满足顾客关于寿命和平均故障间隔时间的要求并降低全寿命周期费用（LCC）。

面向维修性：一旦产品出现故障能迅速、经济地发现和排除，提高维修性也是降低全寿命周期费用（LCC）。

➤ DFRM的内容：

面向可靠性：1）可靠性指标论证与确定

2）可靠性分配与预计

3）可靠性设计准则

4）经典可靠性设计方法

5）可靠性分析方法：FMEA分析、故障树分析（FTA）、热分析、容差分析

6）故障数据管理系统的设计

面向X的设计

➤ 面向可靠性和维修性的设计（DFRM）

➤ DFRM的内容：

面向维修性：1）平均修复时间MTTR的确定和分配
2）维修策略
3）可达性设计
4）防错设计（DFMA）
5）人因工程设计
6）测试性设计

面向X的设计

➤ 面向售后服务的设计（DFS）

➤ DFS的原理：

降低保修成本、提高顾客满意度和经济地维护对环境敏感的长寿命产品。

➤ DFS的内容：

- ◆ 维修服务策略的确定
- ◆ 维修性的设计
- ◆ 售后保障资源的设计
- ◆ 质量可靠性信息系统的建立

面向X的设计

➤ 面向环境的设计（DFE）

➤ DFE的原理：

环境保护设计：

产品的设计应尽可能采用不会造成环境污染的材料和制造技术；

产品的制造过程中必须考虑有害物的排放及操作工人的防护；

产品的使用过程中必须使有害物的产生低于法定的限度。

环境适应设计：

使产品本身具有很强的抵御环境变化能力（稳健设计），或改善局部工作环境，减少环境变化对产品性能和可靠性的影响（耐环境设计）。

面向X的设计

➤ 面向其他因素的设计

结合工程实际，还可以考虑面向其他要素的设计：

面向开发周期的设计

面向某一顾客的设计

面向安全的设计

面向便携的设计

面向人因工程的设计

面向X的设计

面向X的设计考题

历年真题

多选题 (2004年真题第120题/2007年样题第120题)



知识点：

第三版P589

关于面向制造和装配的设计 (DFMA) 的表述 , **正确**的是 :

- A. 产品设计必须考虑企业现行的工艺及其设施
- ☒ B. 简化方法、三化设计、互换性设计、防错设计、虚拟设计和虚拟制造等方法都是DFMA的方法
- ☒ C. 产品设计早期就应考虑与制造、装配有关的约束和可能存在的问题 , 提高产品的可制造性和可装配性
- ☒ D. DFMA应贯彻并行工程的原则和采用团队工作的方法

面向X的设计

面向X的设计考题

历年考题

单选题 (2005年真题第8题)

下述哪种方法可以用来缩短产品的研制周期：

- ☒ A. DFMA (面向可制造性/可装配性设计)
- B. DFC (面向成本设计)
- C. 测量系统分析
- D. SPC (统计过程控制)



知识点：

第三版P589

面向X的设计

面向X的设计考题

历年考题

单选题 (2010年真题第81题)

关于DFM（面向制造的设计）的说法，**错误**的是：

- A. 设计部门要以制造部门为顾客
- ☒ B. 产品设计和工艺设计要分开，各司其责
- C. 制造部门的人要参与产品设计
- D. 设计过程尽量并行和集成



知识点：

第三版P589

THANK YOU !