

设计失效模式和影响分析
DFMEA

上海郁松企业管理咨询有限公司

上海市海防路228 号福安大厦12 楼E 室 邮编:200041

电话：021-29960867 传真：021-62271334

EMAIL:yousoon_sales@126.com

目 录

1 FMEA概述

2 设计失效模式和影响分析

第一章

FMEA 概述

意图

■ 理解 FMEA 的基本概念

目录

■ FMEA 的定义 2

■ FMEA 的应用范围 3

■ FMEA 的好处 4

■ FMEA 的种类 7

■ FMEA 的流程 8

■ FMEA 的生命圈 10

■ FMEA 的定义：

FMEA 是一组系统性的活动，以图：

a) 认识和评估产品/过程的潜在失效及其影响

b) 确定措施，以消除或降低潜在失效出现的机会

c) 文件化整个过程

d) 在产品设计阶段确定潜在关键和重要特性，在过程设计阶段确认这些特性

e) 确定设计控制（设计验证计划）和过程控制（过程控制计划），以发现和预防失效模式

f) 防止失效到达顾客，以提高顾客满意度

尽可能地持续改进产品和过程已形成为当今工业生产的总趋势，FMEA 作为一种严谨的方法，在确定和帮助降低潜在风险上，体现了前所未有的重要性。为此，有效地应用 FMEA，必须保持其时效性：

- FMEA 是预防性工具，应当在产品和过程设计时使用
- FMEA 是“事前措施”（Before – the – Event），而不是“事后补救”（After – the – Fact）
- FMEA 必须在失效模式出现在产品或过程之前完成，才能取得最大获益
- DFMEA 必须在图纸发放之前完成
- PFMEA 必须在 PPAP 之前完成
- 当产品/过程变更时，首先用必要的时间完成 FMEA，是最容易和廉价的方式减少后续变更的好方法
- 所有 FMEA 小组都需要交流和合作

- 如果能按照最佳实践（Best Practices）完成 FMEA，可以显著地节省工程时间和成本

FMEA 的应用范围

通常在以下三种情况下，使用 FMEA

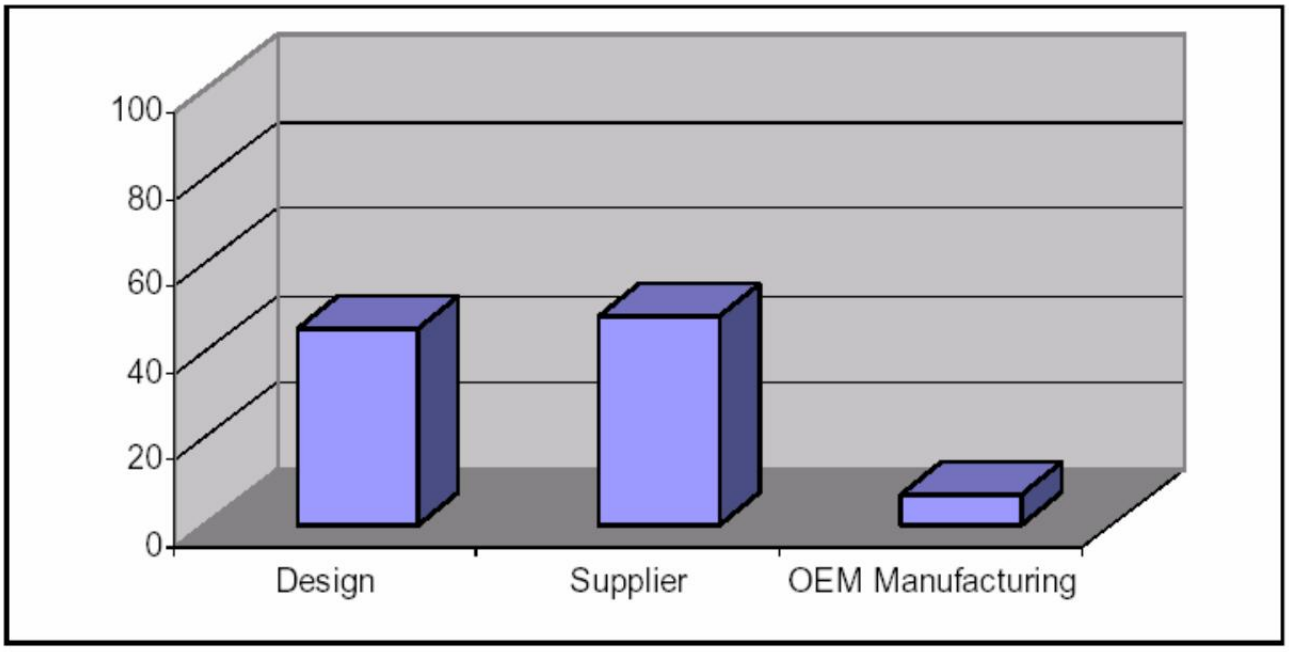
- 第一种情况：新产品或过程的设计，其 FMEA 的范围为完整的设计、技术或过程
- 第二种情况：现有产品或过程设计的重大改变（假定已有 FMEA 存在），其 FMEA 的范围应当聚焦于产品和过程的改变部分，变更可能引起的交互作用，及使用历史。
- 第三种情况：把现有产品或过程用于新的环境、地点或应用（假定已有 FMEA 存在），其 FMEA 的范围应当是新的环境和地点对现有产品设计和过程的影响。

此外，FMEA 还可以作为工具，以

- 评估所有制造过程控制，以建立更具鲁棒性的过程，通常按产品族对每个过程进行评估
- 分析环境和系统之间的交互作用，建立鲁棒性的设计，作为改进的一部分

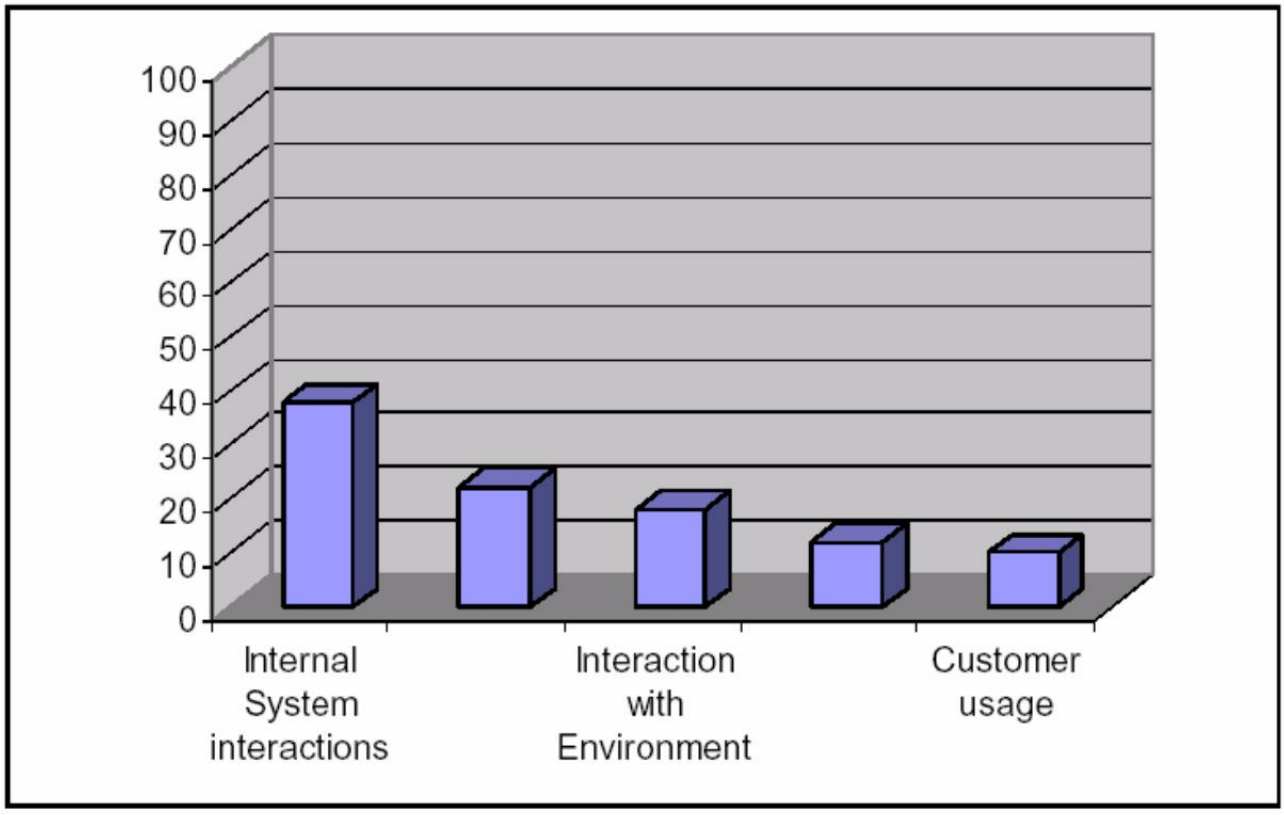
■ FMEA 的好处

Ford 在 1998 – 1999 年度，对使用中失效进行了统计， 表明接近 50%的问题来自于设计和开发，而这些失效可以通过在设计阶段的 FMEA 而避免（如下图）



造成使用中失效的 5 个基本因子：

- 系统间的交互作用
- 磨损
- 环境
- 制造变差
- 顾客的使用



上图显示了 5 种因子所占的%

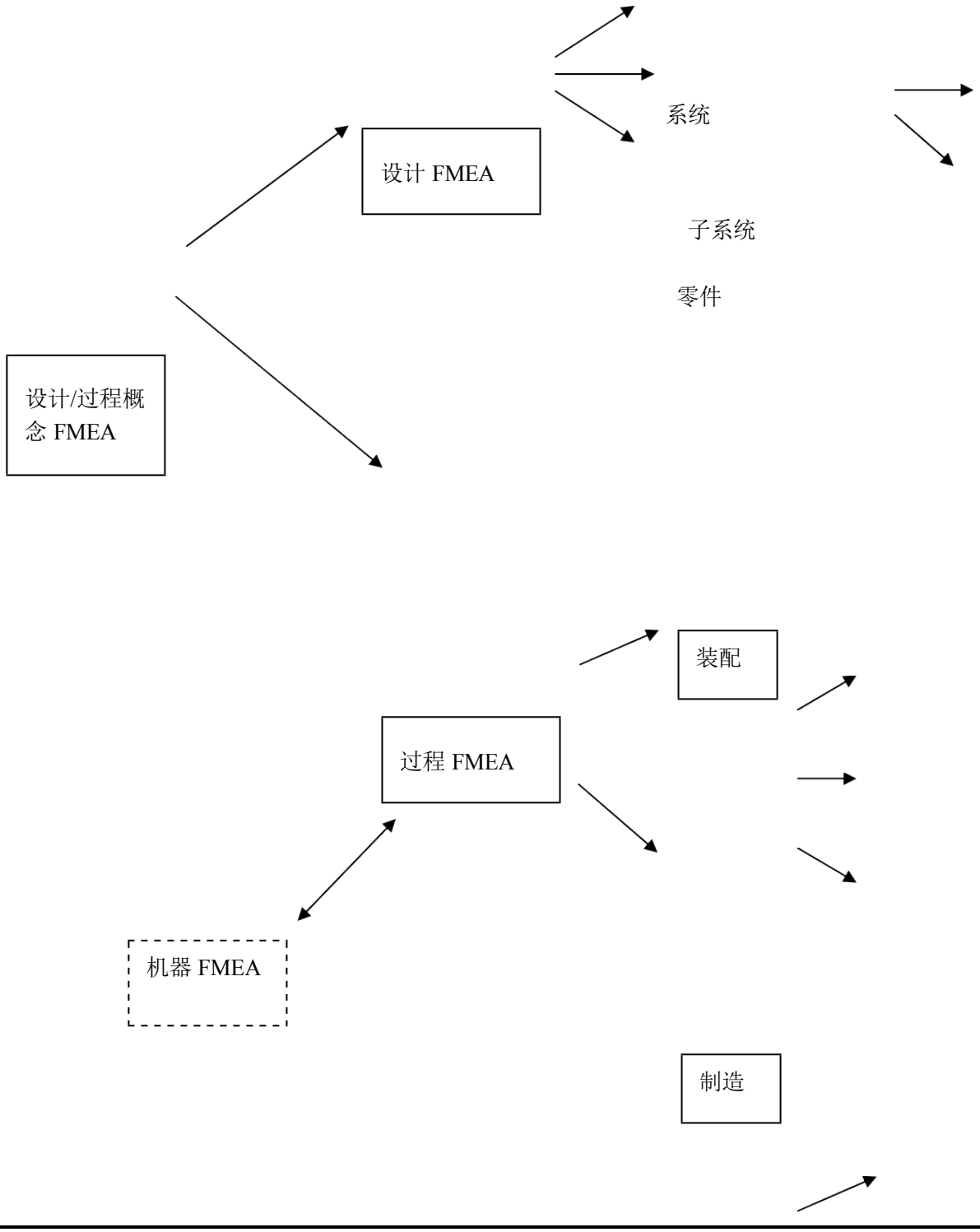
最佳实践的 FMEA 应该是：

- 在恰当时间作 FMEA
- 考虑所有的“白噪声”因子
- 在 DFMEA 时，用 P-图和接触面矩阵图研究设计交互作用；在 PFMEA 时用过程流程图和特性矩阵图研究过程的交互作用
- 从系统水平上开始 FMEA，把信息和要求展开至零件和过程的 FMEA
- 在 DFMEA 时确定潜在关键和重要特性，在 PFMEA 时确认这些特性
- 由 DFMEA 产生 DVP，由 PFMEA 产生控制计划
- 提出适当的设计和过程措施，改进设计和过程的鲁棒性
- 及时地完成这些措施

■ FMEA 的种类：

概念（CFMEA）、设计（DFMEA）、过程（PFMEA）和机器（MFMEA）

四种类型的 FMEA 的相互关系图



系统

子系统

零件

系统

子系统

零件

■ 概念 FMEA

概念 FMEA 的应用：

概念 FMEA 可用于产品和过程设计，以便：

- 帮助选择最优的概念，或确定系统设计规范（SDS）和变更
- 确定由于概念内的交互作用而产生的潜在失效模式和原因
- 增加对所有潜在影响可能性的考虑
- 帮助产生原因的频度数，用以估计一个特定概念的目标
- 确定系统、子系统水平所需的试验要求
- 帮助确定硬件系统可能需要的余量
- 聚焦由于设计决策导致的潜在功能的失效（包括过程平面布置）
- 在概念阶段评估系统间和系统内的交互作用（包括过程中操作步骤的交互作用）

概念 FMEA 的输出：

- 潜在概念失效模式（根据概念功能）和原因清单
- 消除或降低失效模式原因出现频度的设计措施清单
- 建议的 SDS 变更
- 新的测试方法或建议
- 决定采用的概念

■ 设计 FMEA

设计 FMEA 的应用

设计 FMEA 支持设计过程，降低失效的风险：

- 辅助设计的客观评估，包括功能要求和设计选择
- 评估制造、装配、服务和回收的初始设计要求
- 增加了潜在失效模式及其对系统和整车作业的影响，在设计和开发阶段得到考虑的可能性
- 为整个设计、开发和确认的计划，提供附加信息
- 根据影响的严重度，建立设计控制的优先次序
- 帮助确定潜在关键和重要特性
- 帮助确认 DVP 和 SDS
- 聚焦于设计缺陷造成的潜在失效模式

设计 FMEA 的输出：

- 潜在产品失效模式及原因清单
- 潜在关键和重要特性清单
- 建议措施清单（消除原因、降低频度、改进探测度）
  - — 设计验证试验进入 DVP
  - — 过程防错技术进入现场实施
  - — 设计的修改，以增加鲁棒性
- 系统水平的 DFMEA，用于确认或更新 SDS

■ 过程 FMEA

过程 FMEA 的应用

- 确定过程缺陷（与产品有关的过程失效模式）
- 确定降低频度或增强探测度的控制办法（控制计划）
- 确定确认的关键和重要特性
- 确定操作员安全的因素
- 为设计变更反馈信息

过程失效模式的输出：

- 过程失效模式清单
- 确认的关键和重要特性清单
- 操作员安全领域清单
- 可用于控制计划的当前控制清单
- 建议对命名的特殊特性的特殊控制
- 降低频度和消除原因的过程措施
- 确定/变更作业指导书

■ 机器 FMEA

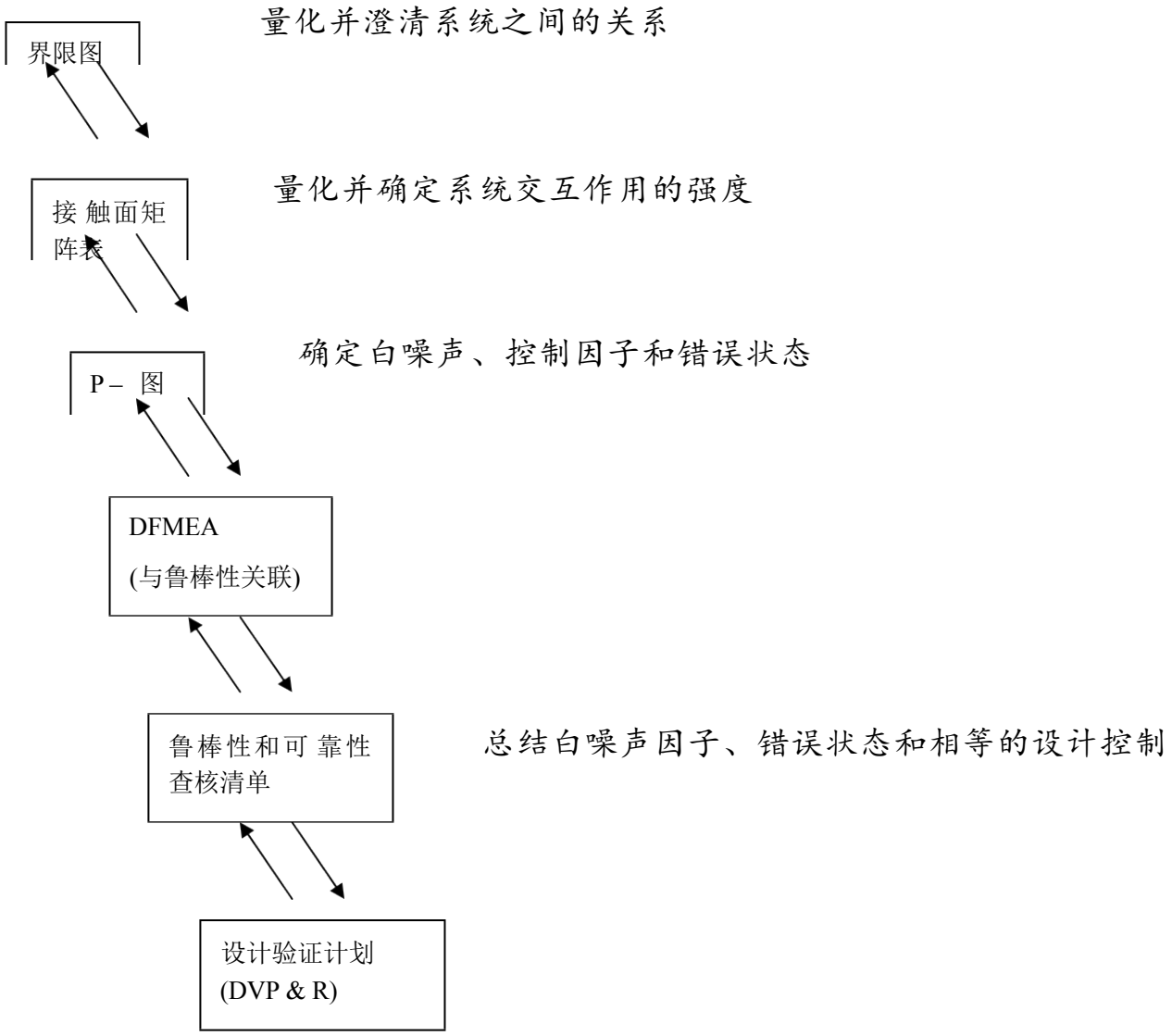
机器 FMEA 的应用

- 把机器故障作为失效模式，对新机器应该从机器的主要功能着手；对现存机器应该从故障信息着手
- 可以从系统（机器）、子系统（电机/行动装置）或零件，最好从系统开始
- 确定导致功能失效的潜在原因和机制
- 根据实际数据确定现有机器的失效频度，根据概率确定新机器的频度
- 现行控制是预防性维护
- 建议措施是新增 PM 项目
- 可作为实施 TPM 的一个重要内容

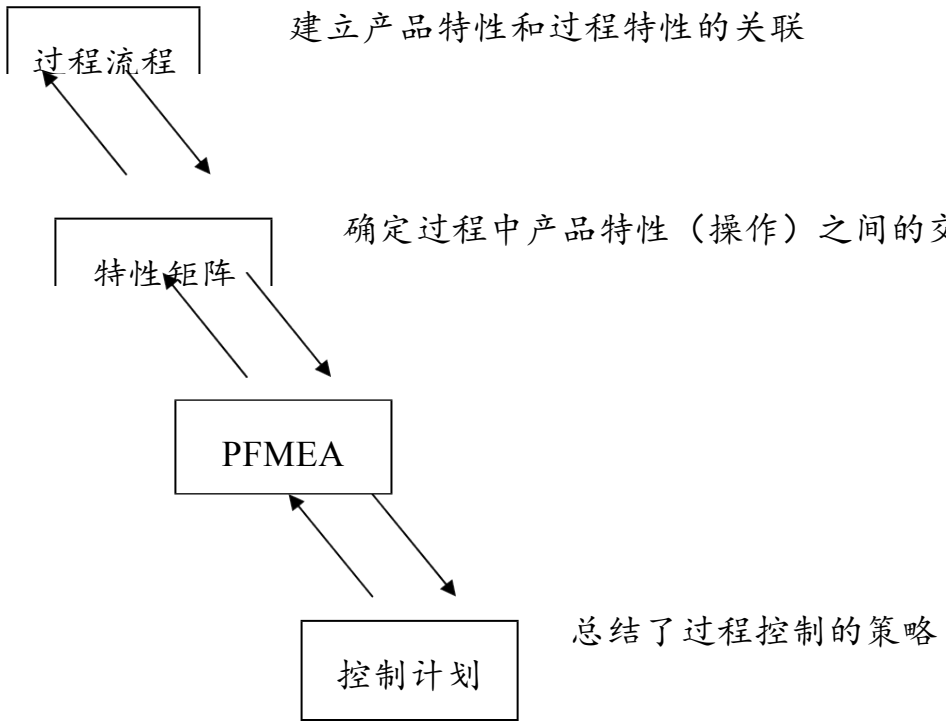
机器 FMEA 的输出

- 功能失效或故障清单
- 导致失效或故障的原因清单
- 确定关键和重要的设备特性（参数）清单
- 现行 PM 和建议 PM 清单
- 用机器 FMEA 分析故障

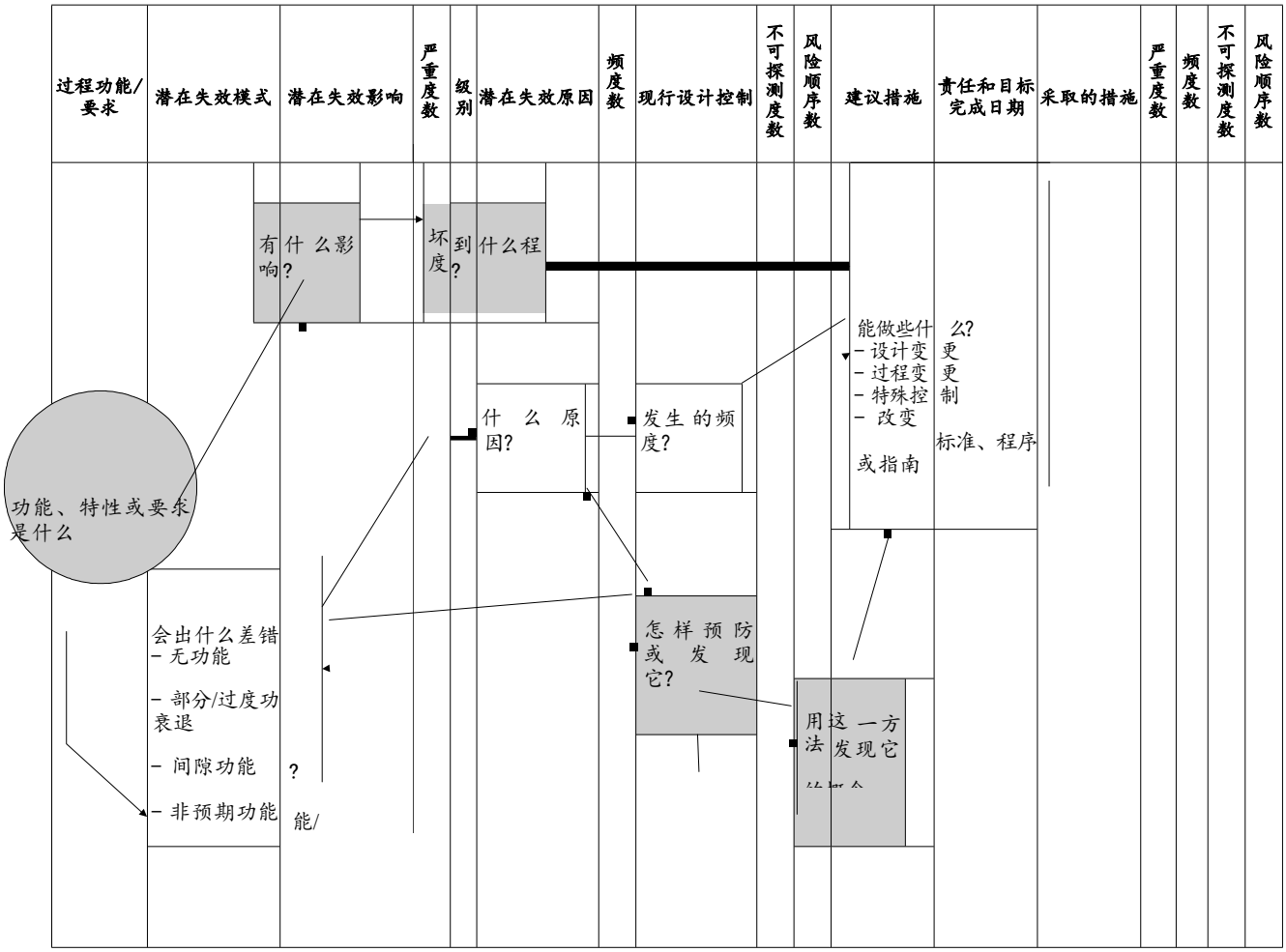
■ FMEA 的流程


界限图
量化并澄清系统之间的关系
接触面矩阵表
量化并确定系统交互作用的强度
P – 图
确定白噪声、控制因子和错误状态
DFMEA
(与鲁棒性关联)
鲁棒性和可靠性查核清单
总结白噪声因子、错误状态和相等的设计控制
设计验证计划
(DVP & R)

FMEA 的流程


过程流程
建立产品特性和过程特性的关联
特性矩阵
确定过程中产品特性（操作）之间的交互作用
PFMEA
控制计划
总结了过程控制的策略

FMEA 过程顺序


过程功能/要求
潜在失效模式
潜在失效影响
严重度数
级别
潜在失效原因
频度数
现行设计控制
不可探测度数
风险顺序数
建议措施
责任和目标完成日期
采取的措施
严重度数
频度数
不可探测度数
风险顺序数
有什么影响?
坏到什么程度?
什么原因?
发生的频度?
能做些什么?
- 设计变更
- 过程变更
- 特殊控制
- 改变
标准、程序或指南
功能、特性或要求是什么
会出什么差错
- 无功能
- 部分/过度功衰退
- 间隙功能
- 非预期功能
?
能/
怎样预防或发现它?
用这一方法发现它

■ FMEA 的生命圈

FMEA 的类别	开始	完成	更新和评估
CFMEA	在项目定义阶段当顾客功能要求确认后 APQP 第一阶段	设计开始前 APQP 第二阶段开始前	当概念变更时
DFMEA	在设计阶段 APQP 第二阶段	在图纸发放前	原型样件测试后；现使用中失效后
PFMEA	在制造过程设计时 APQP 第三阶段	PPAP 前 APQP 第四阶段前	PPAP 后依据制造拒收信息每3个月评估一次
MFMEA	新机器 TPM	在机器投入使用前	根据故障数据每 3 个月更新一次

第 二 章

设计失效模式及影响分析
DFMEA

意图

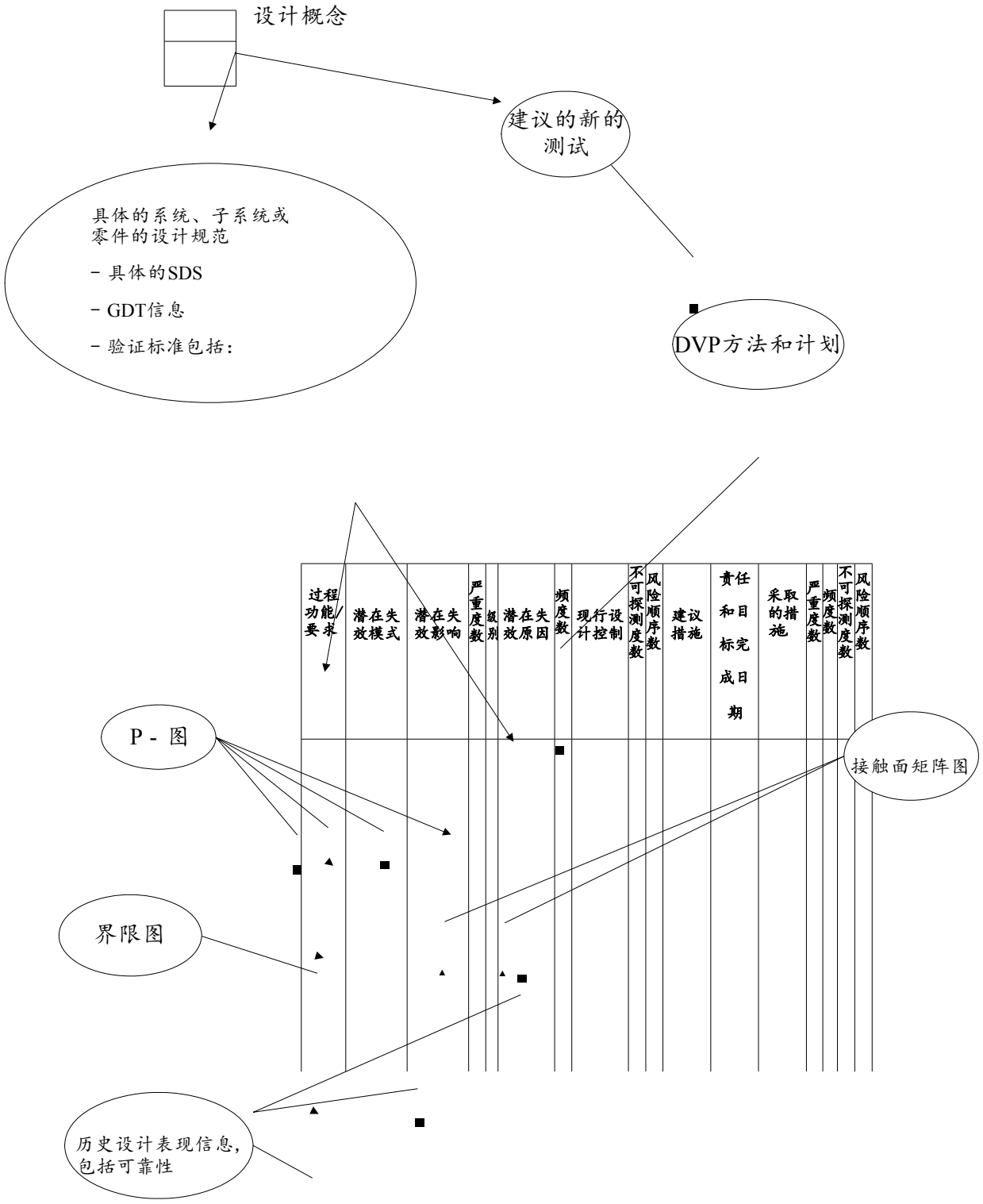
■ 理解 FMEA 的基本概念

目录	页码
DFMEA信息来源	2
FMEA范围	3
FMEA 小组	3
DFMEA的输入	4
界限图	4
接触面矩阵图	8
P图	10
进行设计FMEA	17
DFMEA表单范例	17
PFMEA三条工作路径	18
表头信息（1-8）	20
项目/功能（9）	21
潜在失效模式（10）	22

潜在影响、严重度和分机（11-13）	24
失效原因和频度（14-15）	28
现行设计控制和不易探测度（16-17）	32
风险顺序数（RPN）（18）	38
措施（19-22）	39
DFMEA总结	41

DFMEA信息来源

■ 下图显示了DFMEA输入的信息来源



- 设计人员必需准备一系列的文件和信息，以便开展DFMEA。而首先必需准备的， 是列出设计目的，即应该做什么，不应该做什么。
- 只有更好地定义了产品所期望的特性，才能更容易识别潜在的失效模式，进而采取预防/纠正措施

FMEA 范围

- 在正式开始FMEA之前，必需明确分析的范围和边界，应该包括什么，不包括什么。
- 确定范围可避免分析的遗漏，也可避免额外的资源浪费，包括参与人员的浪费。
- 确定是对整个产品、还是产品的一部分进行分析？
- 什么特性、多少特性尚处于探讨中或待确定？
- 当设计产生变更的时候，有必要重新进行FMEA分析

FMEA 小组

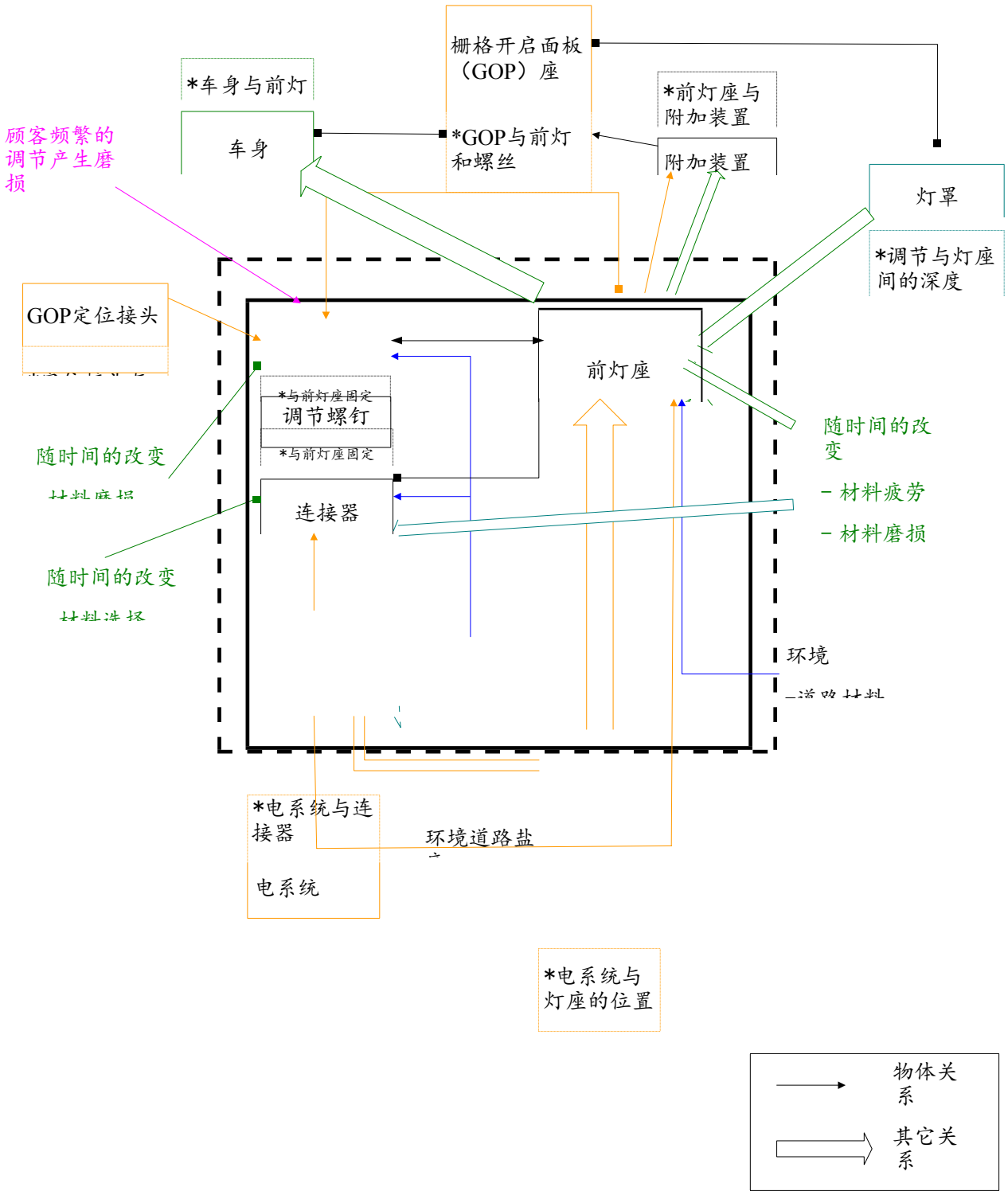
- 需要跨功能小组进行FMEA
- 可分为核心小组和支持小组
- 核心小组成员参与FMEA各个阶段的工作，并负责采取措施
- 支持小组在需要时参与，提供必要的输入信息，参与评审等

DFMEA的输入

■ 界限图……确定DFMEA研究的范围

- 界限图用于表明子系统和零件的关系，以限定DFMEA的范围。同时，它能确保所有失效模式的原因和影响都得到考虑，它也可用来标明FMEA的外部因子。
- 界限图是把FMEA分解到可管理水平的强制工具。它以图示的方式，说明子系统、总成、分总成和系统零件之间的关系。正确构筑的界限图可为接触面表、P － 图和DFMEA提供详细的信息。界限图必须作为FMEA的附件。
- 尽管界限图可以在十分细致的水平上构筑，但确定重要因子，理解它们间的交互作用以及它们与外部的交互作用，是其主要目的。
- 在设计项目的早期，界限图可能是几个方框，反应主要功能以及它们在系统水平上的相互关系。随着设计的成熟，界限图可以修改、增加，以反应下级细部水平，直到零件。例如：
  - ◆ 系统FMEA的界限图：包含代表子系统的方框
  - ◆ 子系统FMEA的界限图：包括代表零件的方框
  - ◆ 对于大系统而言，可以形成三级或四级水平的界限图
- 设计初期，界限图往往比较粗线条，但随着设计的深入，界限图将趋向细致。故在设计过程中，应该随时更新界限图，并不断增加界限图的层次。

界限图范例……前灯



- *表示硬件间的关系，进入接触面矩阵图
- 注：在界限图中，只有硬件零件出现。当所有的硬件都用方框标出后， 用虚线表示框与框之间的关系，并加上“*”，然后转入接触面矩阵图。
- 注：方框内没有标明的界限图项目是P - 图中的白噪声因子，可导致失效。

- 注：GOP是栅格开启面板的英文缩写

制作界限图的步骤：

- ✓ 确定是否需要对某个系统、子系统或零件进行界限图分析
- ✓ 如果是对于系统进行研究，列出所有的子系统硬件。如果是对子系统进行研究，列出所有零件硬件。如果是对零件进行研究， 则仅需画出该零件。所有硬件用框图表示
- ✓ 列出在分析范围之外的、与被研究对象有关联的、其它的系统、子系统和零件，并用框图表示
- ✓ 如果各硬件框图之间存在物理接触，那么用双箭头将两者相连
- ✓ 如果各硬件框图之间不存在物理接触，但具有其它关系，诸如：材料传递、能量传递、信息传递或其它传递方式， 那么用单箭头连接两框图。箭头方向必需与传递方向一致
- ✓ 确定可以于外界环境发生关系的框图，并且确定究竟是哪种环境因素产生了影响，如：灰尘、水、盐度、道路状况、生物等
- ✓ 确定可被外界其它因素，如使用者影响的框图，并确定究竟是哪种因素产生了影响，如：过载、频繁调整、顾客未按规定进行周期保养等
- ✓ 确定在使用过程中，随时间会产生磨损或材料变化的框图
- ✓ 将所有要被分析的框图（对象），用虚实双线条包围，以作为界限符号
- ✓ 在进行界限图分析时，尽量不要把子系统的下级单位画出，以免将分析工作复杂化

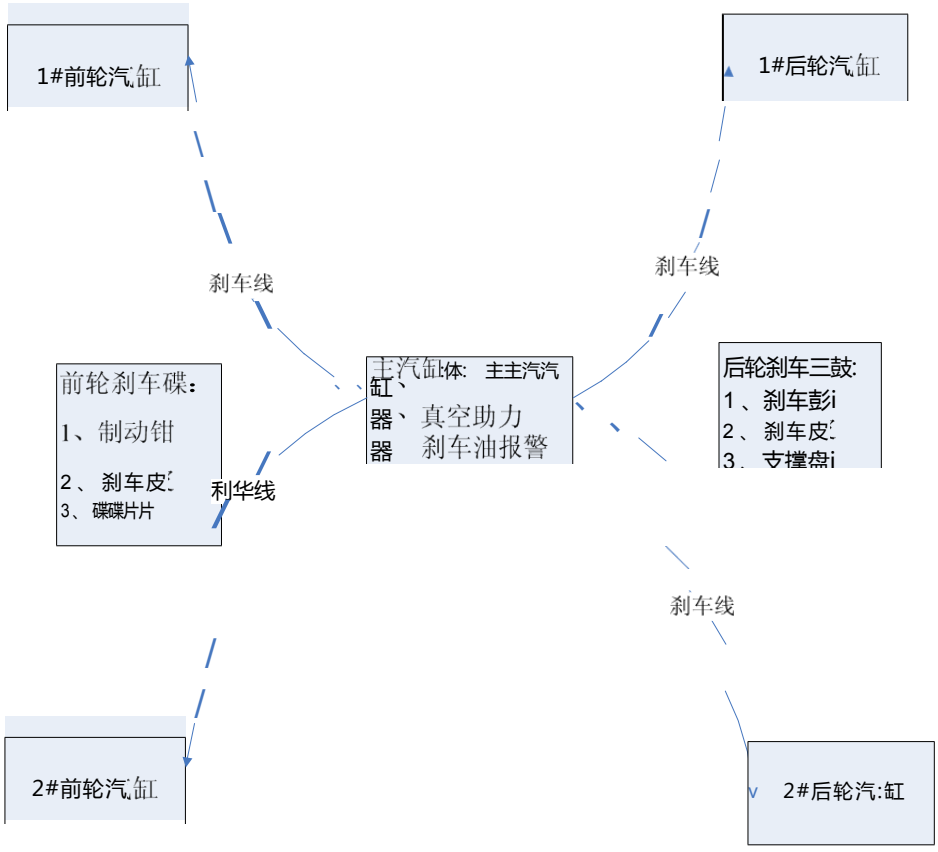
界限图练习

题目：请画出一个刹车系统的界限图

时间：45分钟

要求：分小组练习，每个小组确定组长和记录员；小组委派代表讲解各自研究成果

内容：



你的设计任务是主汽缸体，它由主汽缸、真空助力器和刹车油报警器组成。其中：

- ✓ 在正常形式中，发动机驱动车轮使车辆行进；
- ✓ 真空助力器与主汽缸装配在一起，推动主汽缸的运动。主汽缸的动力通过刹车线传递到前后轮汽缸，主汽缸内和前后轮汽缸内盛有刹车油；
- ✓ 当司机踩下脚踏板时，此信号使真空助力器开始工作，其动力来自于发动机；
- ✓ 刹车线与变压阀连接，刹车过程中，通过变压阀的压力调节控制刹车线工作，当变压阀提供压力临界信号时，刹车油报警器会报警；
- ✓ 前轮汽缸运动时，通过制动钳，带动刹车皮，使碟片作用于前轮，进而制动前轮；
- ✓ 后轮汽缸运动时，通过刹车鼓，带动刹车皮，使刹车鼓作用于后轮，进而制动后轮；

- ✓ 支撑盘安装于后悬挂上，它一端连着刹车皮，另一端装有复位弹簧，其作用是使刹车皮回复到正常状态；
- ✓ 刹车皮如果遇水，会影响刹车效果，并且刹车皮的磨损较快，尤其是新司机的操作不良，可能加速其磨损；
- ✓ 碟片遇环境酸度较高时，可能产生锈蚀；

■ **接触面矩阵图……量化系统间交互作用的强度**

- 因为许多功能的失效，是由于硬件系统间的交互作用、或硬件与环境/顾客使用之间的交互作用所导致，因而分析设计对象间存在哪些交互作用，以及这些交互作用对功能的影响和影响强度，对今后产品的可靠性非常重要
- 根据界限图所定义出的范围，将所有硬件画入表格的行与列中，并确定两两硬件之间的相互关系，即交互作用
- 硬件之间的相互关系的类型，可分为四大类：物体接触、能量转移、信息传递和材料交换，并按下图的位置陈述：

P：物体接触	E：能量转移
I：信息传递	M：材料交换

- 每个角上的数字代表上述接触的类型，而数值则表示：
  - ◆ +2 交互作用是实现功能所必须
  - ◆ +1 交互作用是有益的，但不是实现功能所绝对必要
  - ◆ 0 交互作用不影响功能
  - ◆ -1 交互作用产生消极影响，但不妨碍功能
  - ◆ -2 交互作用必须防止以实现功能
- 接触面矩阵图帮助分析可能导致失效的系统间交互作用的原因/机制，并描述其强度。对消极的作用，应该在DFMEA时进行分析，并采取措施

接触面矩阵图范例……前灯

	栅格面板	灯罩	前灯座	前灯	螺丝	电线	连接器	车身
栅格面板		-1 -2	-1 -1	2 -2				
灯罩	-1 -2		-1 -1	-1 -1				
前灯座	-1 -1 -1 -1			2				
前灯	2 -2 -1 -1 2							
螺丝								
电线								
连接器								
车身								

接触面矩阵图练习：

题目：请根据前面界限图的结果，画出刹车系统的接触面矩阵图

时间：30分钟

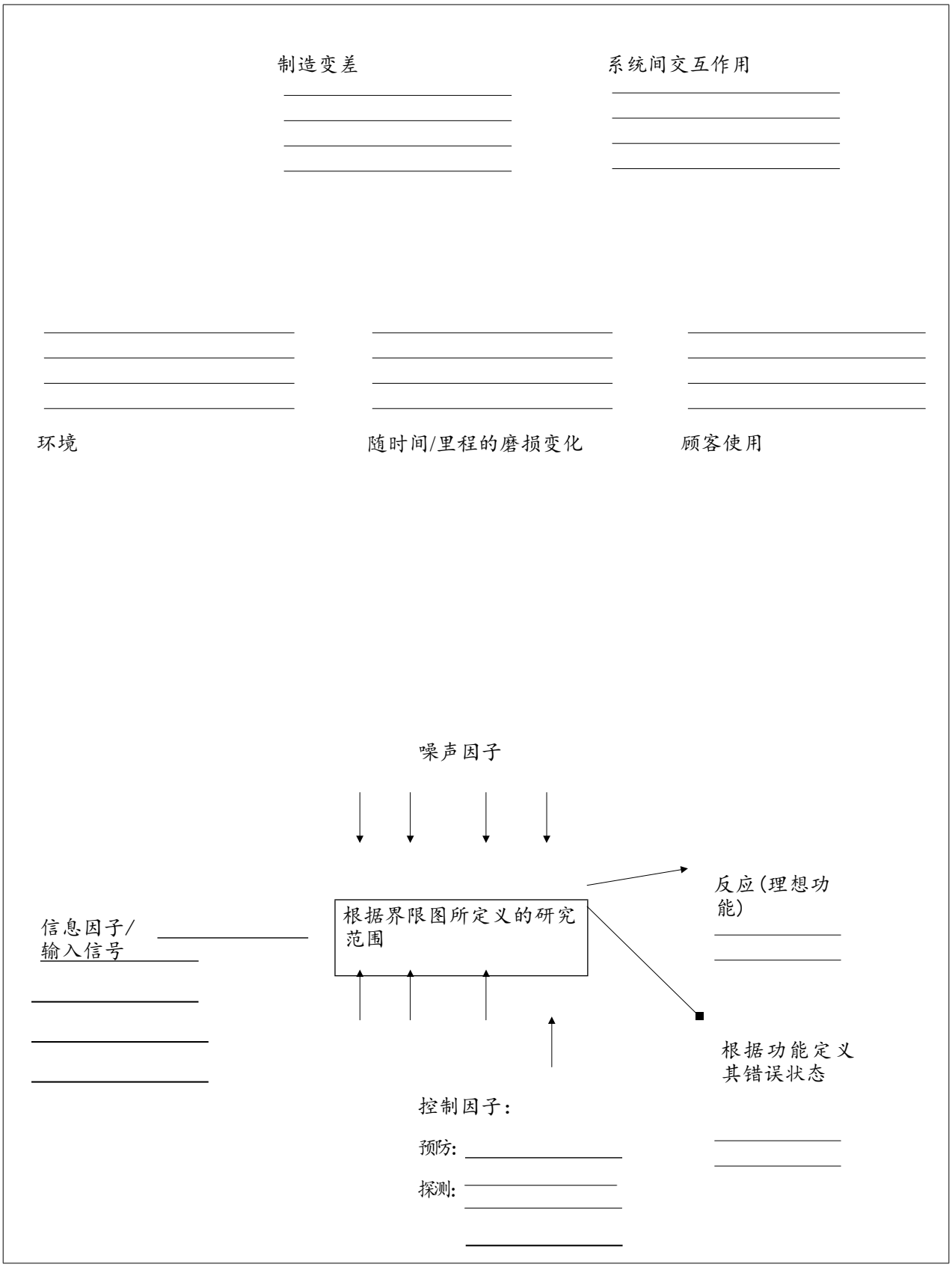
要求：分小组练习，每个小组确定组长和记录员；小组委派代表讲解各自研究成果

内容：根据前面所作的刹车系统界限图的结果，制作接触面矩阵图，描述其硬件间的交互作用

■ P图

- P图是一种建设性的工具，以确定（界限图范围内的）被调查对象的预期的输入（信号）和输出（功能）
- 一旦这些输入和输出被确定，那么，一个特定功能的错误状态也随之确定
- 界限图中识别出的5种导致这些错误状态的白噪声因子在P图中给予列出：
  - ◆ — 零件与零件的变差（制造变差）
  - ◆ — 尺寸随时间/里程的变化（磨损、疲劳）
  - ◆ — 顾客使用
  - ◆ — 外部使用环境（道路、天气）
  - ◆ — 内部使用条件（系统互作）
- P图包含下列信息：
  - ◆ 输入信号
  - ◆ 输出功能
  - ◆ 错误状态
  - ◆ 噪声因子
  - ◆ 控制因子
- P图的信息可以输入到DFMEA的相关的列中，而P图则应作为DFMEA的附件。
- P图作业步骤
  - ◆ 选取在界限图中所研究范围内的对象，用“项目功能工作表”作为工具，确定其所具有的功能
  - ◆ 在“项目功能工作表”中，确定这些功能在“什么时候”/“何种情况”发生，并作为P图的信号因子
  - ◆ 把界限图中识别的4种噪声因子画入P图
  - ◆ 确定第5种噪声因子，即制造过程变差
  - ◆ 通过系列化的提问，确定4种错误状态
  - ◆ 确定当前探测和预防性的设计控制方法，作为P图中的控制因子

空白P图


制造变差
系统间交互作用
环境
随时间/里程的磨损变化
顾客使用
噪声因子
信息因子/
输入信号
根据界限图所定义的研究范围
反应(理想功能)
根据功能定义其错误状态
控制因子:
预防:
探测:

利用项目功能工作表，确定P图中的功能和信号因子

项目－－功能工作表		
硬件描述（根据界限图）		
功能是什么?	什么时候产生功能?	多大功能?

使用说明：

描述功能：

根据界限图，考虑系统应该做什么，描述系统/子系统/零件的功能

以动词＋名词，并以可量化的方式描述

定义功能时，询问下列问题：系统应该做什么？系统不应该做什么？

功能应该包括顾客的所有的期望和要求，不论其表述与否

刹车系统功能描述例：a）当车速为X km/h时，在Y秒内、Z米内刹住汽车；b）不需要过多的行程就能够刹车；c）不发出刺耳尖锐的刹车声；d）不需要很大的力施加于踏板，没有不均衡的刹车现象；e）刹车时不会导致刹车块过热；f）尾部刹车灯应该同时接通

离合器功能描述例：a）将来自飞轮的力矩传递到压力盘；b）不可以打滑；c）可释放主动盘；d）力矩传递时不产生异常震动

确定“什么时候产生功能”和“多大功能”

描述“多大功能”，亦即考虑功能的规范/规格。

有时候规范能够用可量化的方式描述，如：传递至少30nm的力矩。

有时候规范无法用可量化的方式描述，如：刹车时无异常噪音。遇到这类情况，

设计小组必须确定某种功能试验，以探测是否会发生所关注的失效模式。

某个功能如果无法有量化的规范，或无法用特定的功能试验探测其失效模式，那么该功能就不可能有失效。

其它的试验，如可靠性试验、寿命试验等，也应该在“多大功能”栏里面予以描述。总而言之，本栏内不但要描述功能的规范有“多大”，而且要填入相应的试验名称

在“什么时候产生功能”栏内，填入需要功能产生作用的环境条件。

刹车系统项目－－功能工作表		
功能	什么时候产生功能	多大功能
当车速为X km/h时，在Y秒内、Z米内刹住汽车	施力于踏板时	ES测试#1111
不需要过多的行程就能够刹车	刹车过程中	踏板行程
不发出刺耳尖锐的刹车声；		ES测试#1111
不需要很大的力施加于踏板，没有不均衡的刹车现象	刹车过程中	踩踏力 ES测试#1111
刹车时不会导致刹车块过热	刹车过程中	ES测试#1113
尾部刹车灯应该同时接通	正常刹车状态中	ES测试#1201

离合器项目－－功能工作表		
功能	什么时候产生功能	多大功能
将来自飞轮的力矩传递到压力盘；	行进中	力矩530nm
不可以打滑；	力矩传递时	夹力 ES测试0020
可释放主动盘；	释放时	压力盘提升高度 ES Test 0020
力矩传递时不产生异常震动	行进中	动平衡试验 ES Test 0020

确定P图中的错误状态……功能失效模式

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/855030103023012010