



清华大学

# 系统化产品设计与开发

## 第十二讲 面向环境的设计

成 晔

清华大学工业工程系

# 赫曼米勒 (Herman Miller) 办公座椅



Aeron (1994)



Mirra (2004)



Setu (2009)

# Setu座椅



## ■ 柔性脊柱

- 由两种聚丙烯材料复合制成
- 设计得让几乎所有人感觉舒适

## ■ 使用环保材料

- 铝材：41%；聚丙烯：41%；钢材：18%

## ■ 使用回收再生材料

- 使用比例：44%

## ■ 使用材料的可回收性

- 产品所用材料的92%可回收

## ■ 使用清洁能源

- 100% 绿色能源

## ■ 零排放

- 无有害气体或废水排放

## ■ 可重用、可回收的包装

# 什么是面向环境的设计(Design for Environment, DFE)

## ■ 每种产品都对环境有影响

- 能源消耗
- 自然资源枯竭
- 气体排放
- 液体排放
- 产生固体废弃物

## 能源问题

- 使用较少的能源
- 使用可再生能源

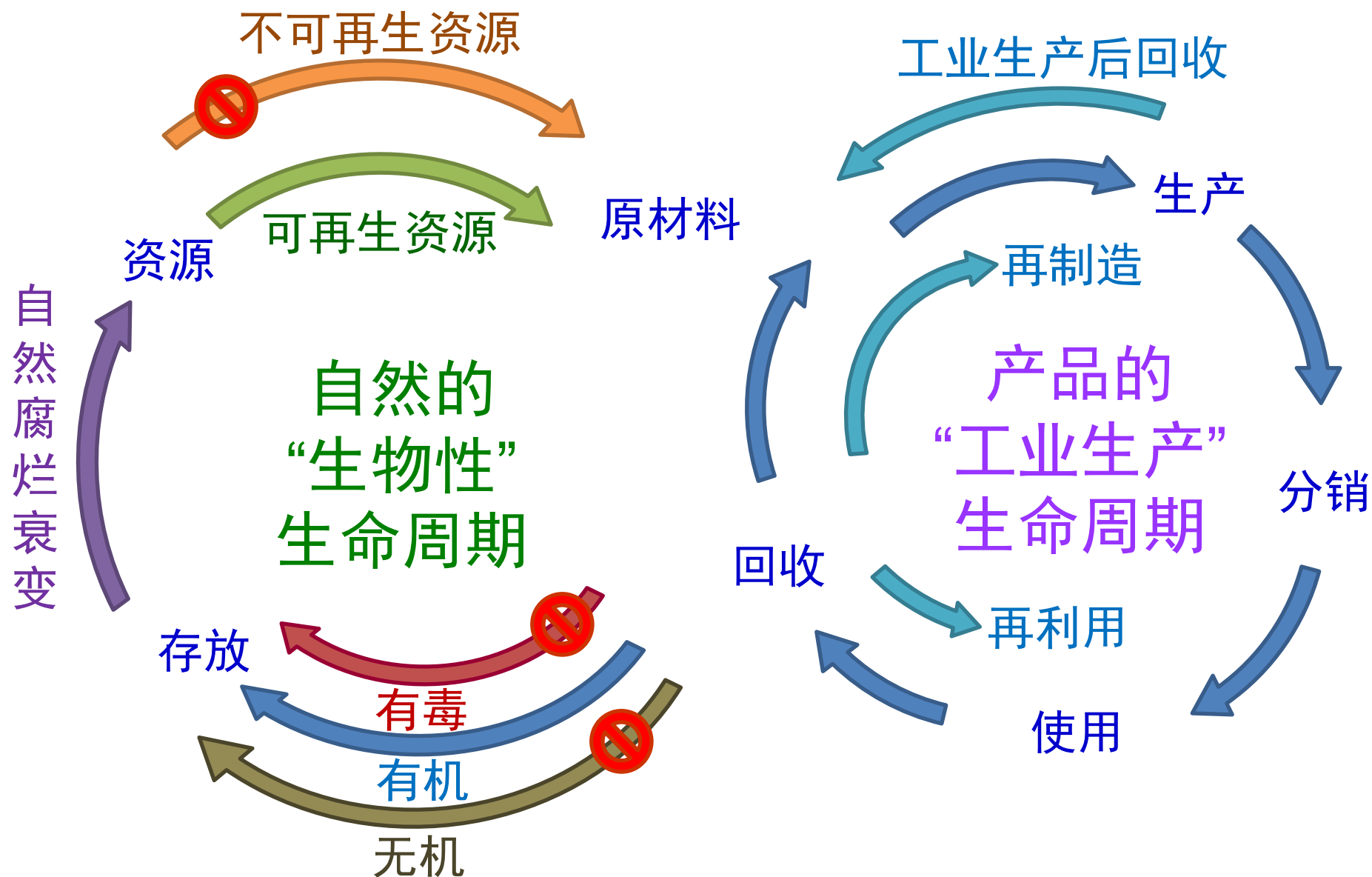
## 材料问题

- 选择正确的材料
  - 确保材料可以回收利用

- 面向环境的设计，提供了实用的方法，尽量减少对环境的影响，建设更加可持续发展的社会

- 设计迭代费时费力
  - 涉及到产品开发过程的所有活动
  - 需要一种跨学科的方法

# 两种生命周期循环



# 对环境的影响

全球变暖

资源枯竭

固体废弃物

水污染

空气污染

土地退化

生物多样性  
恶化

臭氧消耗

# 赫曼米勒公司的“面向环境设计(DFE)” 征程

## ■ 赫曼米勒组建了DFE团队

- 负责制定对环境敏感的设计标准
  - 涵盖新老产品

## ■ 麦布设计化学公司(MBDC)

- 从摇篮到摇篮
- 重塑造物之道

## 材料化学特性

- 所需材料由哪些化学成分构成？
- 它们对人类和环境安全构成威胁吗？

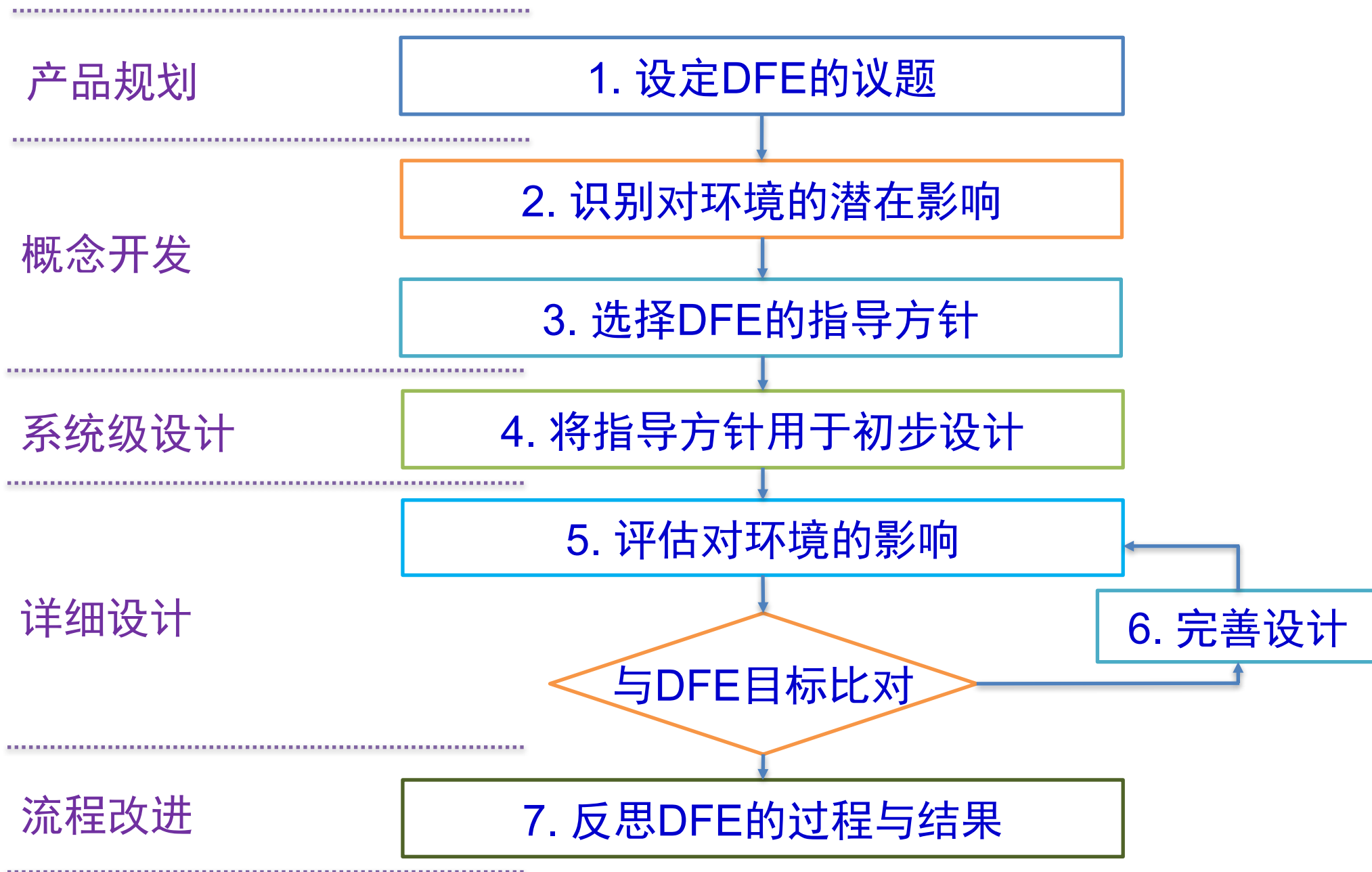
## 产品可拆卸性

- 在产品使用寿命结束时，能否将其拆卸，以便回收材料

## 可回收性

- 这些材料是否含有可回收的成分？
- 这些材料的回收类别是否已知？
- 这些材料能否在产品使用寿命结束时进行回收？

# 面向环境设计的流程





# 第一步：设定DFE议题 (1/3)：明确驱动因素

## 内部驱动因素

- 产品质量
- 公众形象
- 降低成本
- 技术创新
- 操作安全
- 员工激励
- 道德责任
- 消费者行为

## 外部驱动因素

- 环境法规要求
- 市场需求
- 竞争压力
- 商业团体约束
- 供应商能力
- 社会压力

赫曼米勒Setu座椅

- 市场需求
- 技术创新
- 对环保责任的承诺

# 第一步：设定DFE议题 (2/3)：设定目标

- 在2005年，赫曼米勒公司制定了到2020年要达成的长期环境目标

零垃圾填埋

零危险废物产生

零有害气体排放

零生产过程用水

全部使用绿色能源

全部建筑物符合环保效率标准

全部产品使用DFE流程进行开发

# 赫曼米勒DFE目标示例

## 原材料

- 减少原材料的使用量
- 选择来源丰富的可再生原料
- 不使用有毒性材料
- 提高材料提炼过程的能源效率
- 减少边角料和浪费
- 增加回收和再生材料的使用率

## 生产

- 减少工艺过程材料的用量
- 使用可以完全回收并再生利用的工艺材料
- 不使用有毒的工艺材料
- 选择能源效率高的工艺路线
- 减少生产过程中废品与废物

## 分销

- 规划最节能的运输方式
- 减少运输过程中的排放
- 不使用有毒性和危险性的包装材料
- 重用包装，甚至不用包装

## 使用

- 延长产品使用的生命周期
- 鼓励在预定条件下使用产品
- 促成清洁与高效的维修操作
- 使用过程中，减少能源消耗，努力消除排放

## 回收

- 支持产品拆卸，以便将各种材料分离
- 便于零部件回收和再制造
- 支持材料的再生利用
- 减少垃圾焚烧与填埋的体量

# 第一步：设定DFE议题 (3/3)：组建团队

## 成立DFE团队

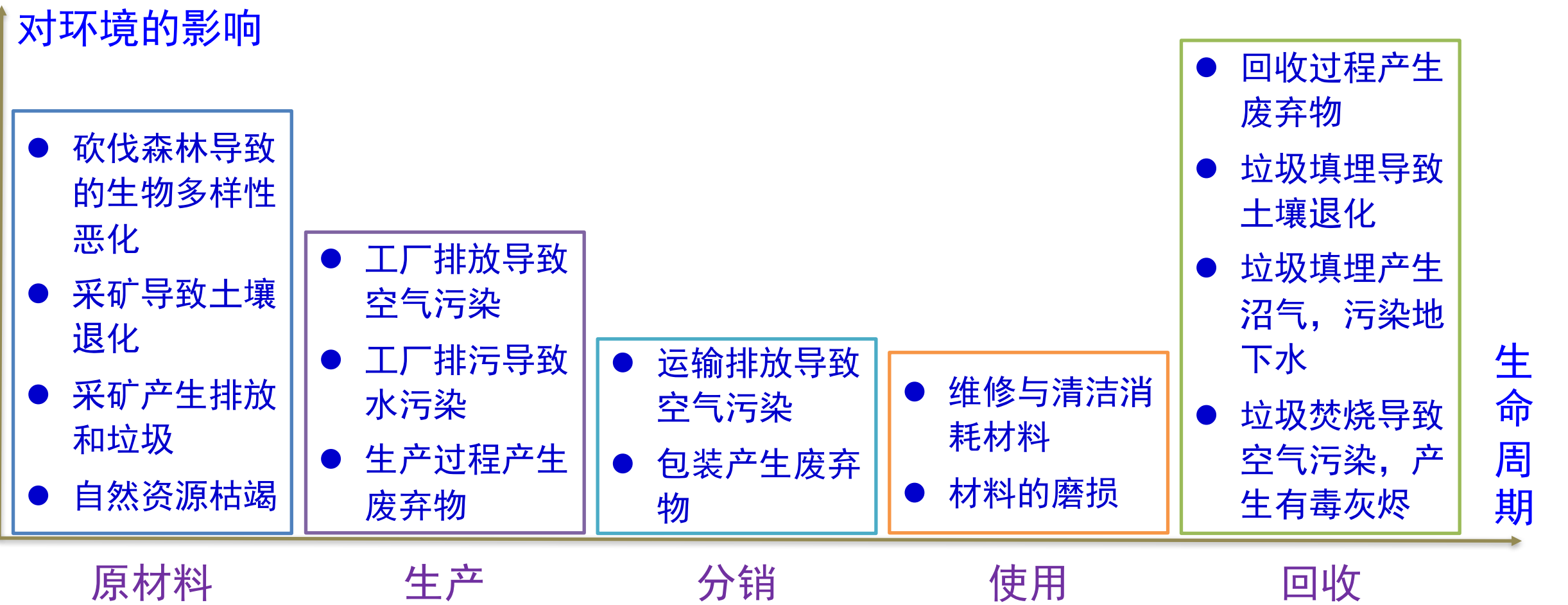
- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>■ 需要许多职能领域专家的参与<ul style="list-style-type: none"><li>● DFE主管领导</li><li>● 环境化学与材料专家</li><li>● 制造工程师</li><li>● 采购人员代表</li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>■ 还可能包括各类人员<ul style="list-style-type: none"><li>● 营销专家</li><li>● 外部顾问</li><li>● 供应商</li><li>● 其他专家</li></ul></li></ul> |
|---|---|

## 赫曼米勒公司

- DFE团队成立于1999年
- 与设计师和工程师们合作

- 材料的化学特性
- 产品的可拆卸性
- 材料可回收性
- 零部件进厂与产品出厂包装
- 能源类型及使用效率
- 废弃物产生情况

# 第二步：识别对环境的潜在影响



# 生命周期不同阶段考虑的典型环境问题 (1/2)

## 原材料

- 将使用多少、何种类型的可回收材料？
- 将使用多少、何种类型的不可回收材料？
- 将使用多少、何种类型的添加剂材料？
- 这些材料的环境特性怎样？
- 提炼这些材料需要多少能源？
- 采购材料时，将使用何种运输工具？

## 生产

- 将使用多少、何种类型的生产工艺？
- 需要多少、何种类型的辅助材料？
- 能源消耗会有多高？
- 会产生多少废弃物？
- 生产过程的废弃物可以分离并回收吗？

## 分 销

- 将使用何种运输包装、散货包装和零售包装？
  - 体积，重量，材料，可重用性？
- 将使用何种运输工具？

# 生命周期不同阶段考虑的典型环境问题 (2/2)

## 使用

- 需要多少、何种类型的能源？
- 需要多少、何种类型的消耗品？
- 技术维度的生命周期有多长？
- 需要多少维护和修理？
- 需要多少、何种类型的辅助材料和能源？
- 美观维度的生命周期有多长？

## 回收

- 产品如何重复使用？
- 零部件或材料是否可以重复使用？
- 使用普通工具，能否将产品快速拆卸？
- 哪些材料可以再生利用？
- 可再生材料是否可区分？
- 产品将如何报废处理？

# 第三步：选择DFE的指导方针 (1/2)

■ 指导方针帮助  
开发团队做出  
早期DFE决策

- 一定程度上，  
基于生命周期  
影响的定性评  
估，做出选择
- 来源于第二步

## 赫曼米勒Setu座椅开发项目

原材料		生产
<ul style="list-style-type: none"><li>■ 资源的可持续性<ul style="list-style-type: none"><li>● 使用可再生且来源丰富的资源*</li><li>● 使用可回收、可再生的材料*</li><li>● 使用可再生的能源形式*</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 有益于人类健康的投入和产出<ul style="list-style-type: none"><li>● 使用无害性材料*</li><li>● 采取措施，防止污染物与有害物质释放</li><li>● 提供标签和使用说明，保证安全地处置有毒性材料*</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 使用最小限度的资源进行生产<ul style="list-style-type: none"><li>● 生产过程采用尽可能少的制造工序数*</li><li>● 使用无须进行表面处理或涂层材料*</li><li>● 使用尽可能少的零件数*</li><li>● 使用轻量化材料和零件*</li></ul></li></ul>



# 第三步：选择DFE的指导方针 (2/2)

## 赫曼米勒Setu座椅开发项目

### 分销

- 使用最小限度的资源进行分销
  - 尽可能减少包装\*
  - 使用可再生、可重用的包装材料
  - 将产品折叠、嵌套或拆卸，以紧凑的状态分销
  - 应用结构化技术与材料，使材料的总体积最小化

### 使用

- 使用过程中的资源利用效率
  - 子系统不用时，令其默认休眠
  - 引入反馈机制，指示能源和水的消耗量
  - 对资源节约特性，进行直观性控制
- 适度的耐用性
  - 令产品的美观寿命与技术寿命相近
  - 支持维修和升级
  - 确保维护工作量最少化
  - 失效模式的种类数最小化

### 回收

- 拆卸产品，分解与提纯材料
  - 确保连接件、紧固件方便可及\*
  - 连接件、紧固件很容易用人手或普通工具拆解
  - 确保不兼容的材料易分离\*

# 第四步：将DFE指导方针应用于产品初步设计 (1/2)

- 在规划产品架构时，应用相关的DFE指导原则

- 一些最初的材料选择，与模块设计决策同时进行

## 赫曼米勒Setu座椅开发项目

### 轻量化

DFE指导方针：

- 使用轻量化材料与零件



省掉座椅下的俯仰角度调整机构与其它复杂结构



减重20磅（9千克）

### 易拆卸

DFE指导方针：

- 确保连接件、紧固件方便可及
- 连接件、紧固件很容易用人手或普通工具拆解



支持回收利用

## ■ 详细设计阶段，应用DFE指导方针



## 赫曼米勒公司的专有材料数据库

- 绿色 (零至很小危险性)
- 黄色 (低度至中度危险性)
- 橙色 (数据不齐全)
- 红色 (高危险性)

聚氯乙烯  
(PVC)

聚丙烯  
(PP)

# 第五步：评估对环境的影响

- 产品如何在其寿命期限内，进行生产、分销、使用？
- 在其寿命结束时，如何进行回收或处理？

物料清单  
(BOM)

生命周期  
评估工具  
(LCA)

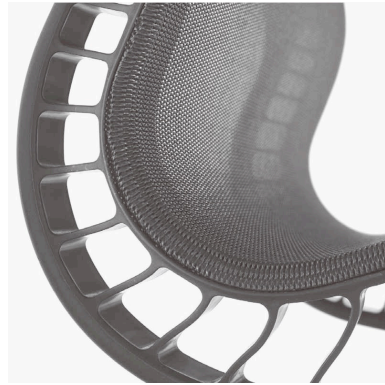
## Setu座椅项目

<ul style="list-style-type: none"><li>■ 材料化学特性：从人体毒性和环保要求角度，最安全的材料比例</li><li>■ 使用再生材料比率：使用工业生产后或顾客消费后回收再生材料的比例</li><li>■ 可拆卸率：容易拆卸的材料比例</li><li>■ 可回收率：可回收（包括供其它用途）的材料比例</li></ul>	按重量计算
<ul style="list-style-type: none"><li>■ 随着设计开发工作不断推进，评估设计方案对环境的影响程度，与规划阶段确定的DFE目标进行比对</li></ul>	

# 第六步：完善产品设计，减少乃至消除环境影响

## ■ 再设计的过程 重复迭代，直至：

- 对环境的影响减少至可接受的程度
- 环境绩效达成 DFE 目标



### ■ 脊柱：两种聚丙烯材料复合成型

- 回收时可兼容，无需分离



### ■ 铝合金底座：“最少化设计” 无涂层，不抛光

- ◆ 省去抛光人工
- ◆ 无有害性毒素



### ■ 扶手：尼龙材料成型， 热塑性弹性材料包覆

- 回收过程化学特性不兼容
- 限制了座椅的整体可回收性水平

# 第七步： 反思DFE的过程与结果

- 我们执行DFE流程是否到位？
- 我们的DFE过程如何改进？
- 衍生产品与未来产品可以进行哪些方面的DFE改进？

- 将“碳足迹”整合到DFE工具中

赫曼米勒Setu座椅DFE评估

DFE评估要素	Setu得分	要素权重	加权得分
材料化学特性	50%	33.3%	16.7%
使用再生材料比率	44%	8.4%	3.7%
可拆卸率	86%	33.3%	28.6%
可回收率	92%	25.0%	23.0%
总得分：		100%	72%

# 本讲小结

- 有效的面向环境设计(DFE), 在减少对环境影响的同时, 能够保持或改进产品质量, 并降低成本

- 考虑产品的完整生命周期及其与环境的关系

- 涉及产品开发过程中所有活动, 需要跨学科的方法

## 面向环境的设计 七步法

1. 设定DFE的议题
2. 识别对环境的潜在影响
3. 选择DFE的指导方针
4. 将指导方针用于初步设计
5. 评估对环境的影响
6. 完善设计
7. 反思DFE的过程与结果