



清华大学

系统化产品设计与开发

第十四讲 产品原型开发与分析

成 晔

清华大学工业工程系

iRobot公司的PackBot移动机器人



产品原型的含义

■ 产品原型 (Prototype)

- 未来产品的近似物
 - 在感兴趣的维度或方面

■ 原型开发与分析 (Prototyping)

- 开发产品的原型，并进行分析，支持产品设计与开发决策的过程

原型的类型划分

■ 实体性原型

- 外观、感知
- 检测、试验

■ 综合性原型

- 全功能
- 全范围

■ 专门性原型

- 工作原理
- 性能特性

■ 解析性原型

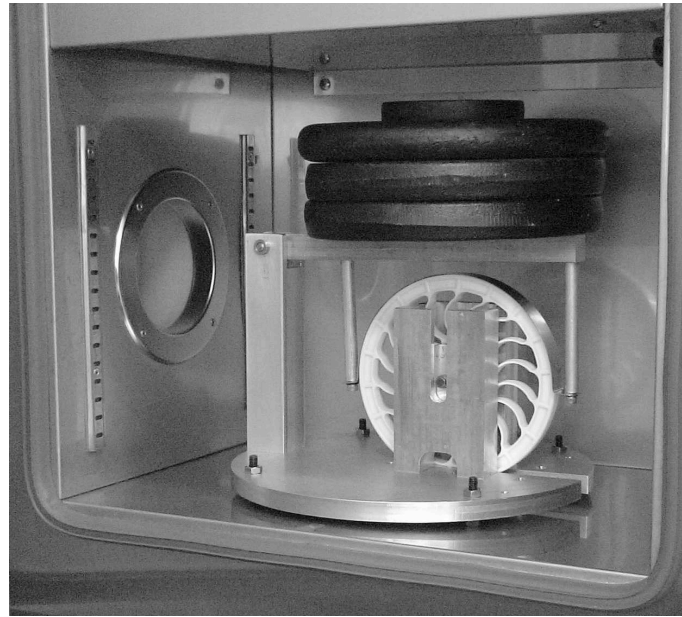
- 理论分析与计算
- 三维几何建模

PackBot的实体原型



■ 产品外观模型

- 用于顾客沟通和开发项目审批



■ 履带轮结构原型

- 进行承载蠕变测试



■ 整机原型

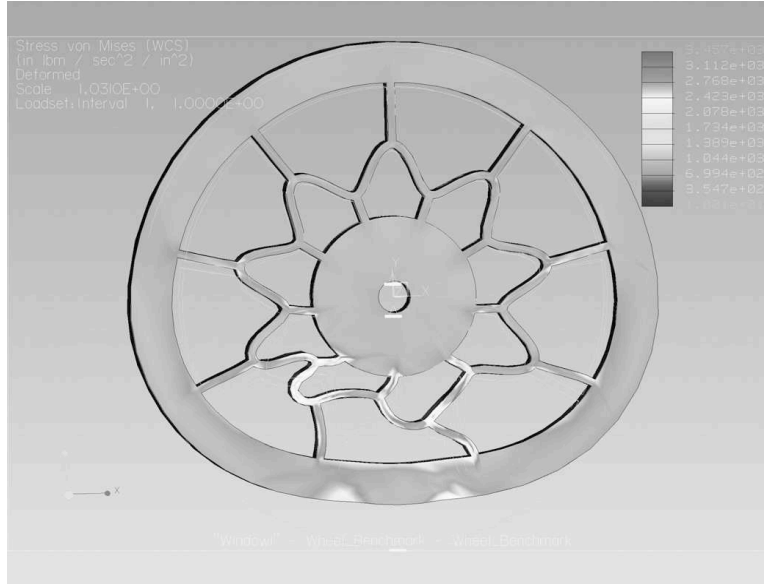
- 进行沙地行走测试

PackBot的解析原型



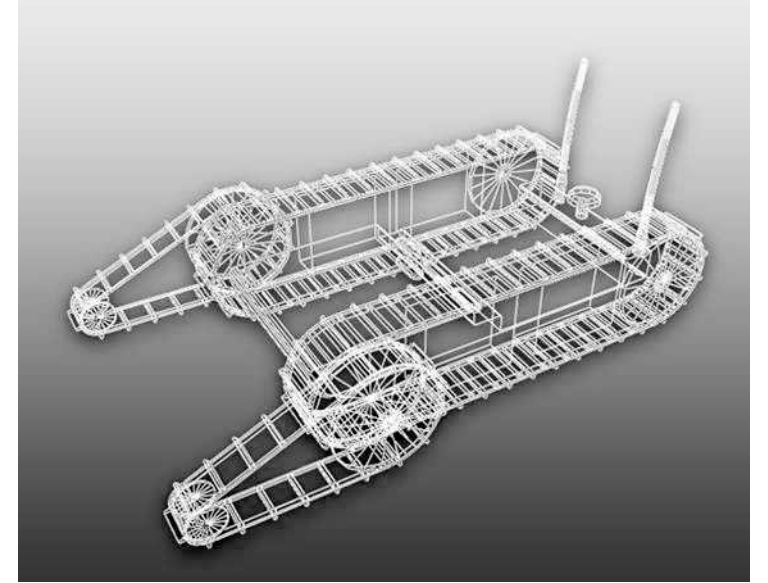
■ 向用户展示的效果图

- 三维CAD模型渲染



■ 轮辐几何形状

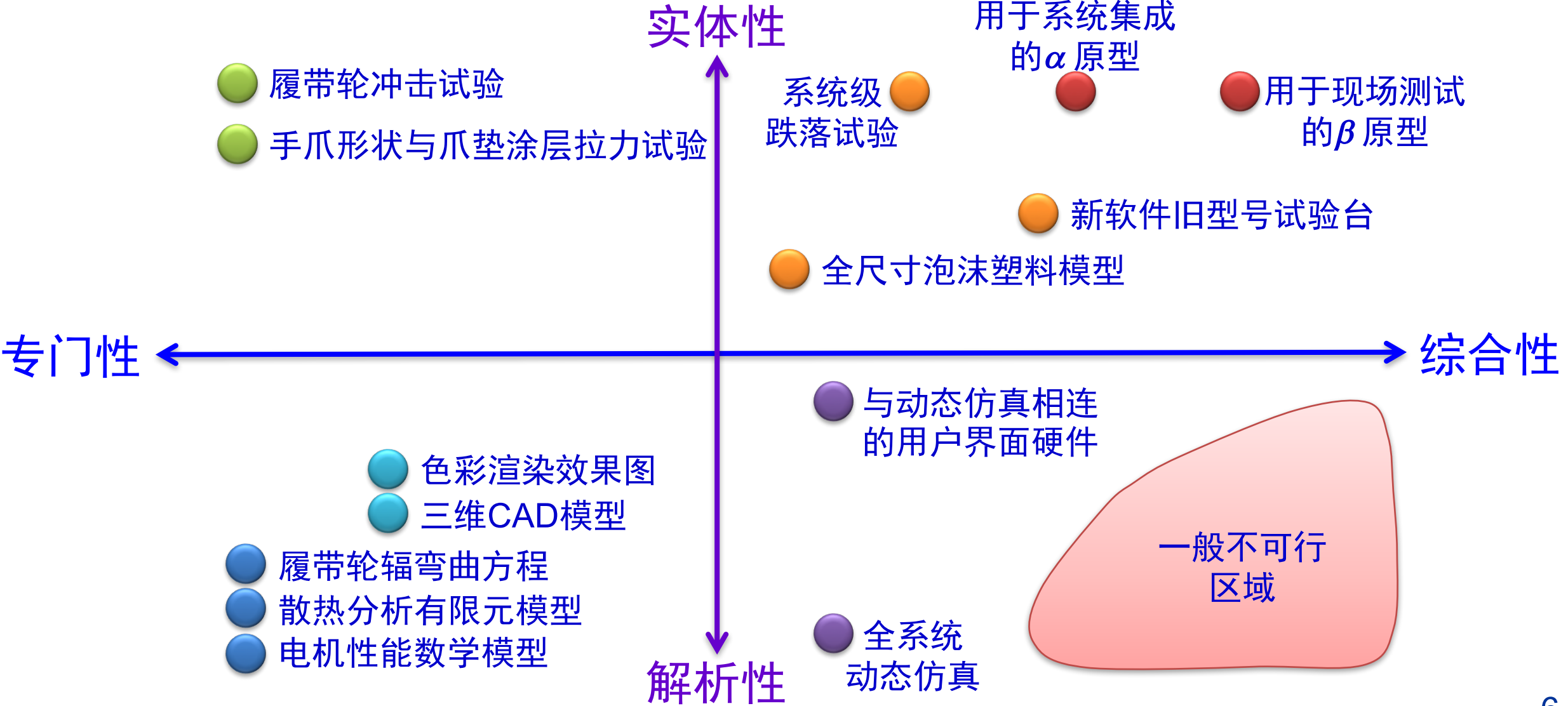
- 有限元模型
 - 应力与变形分析



■ 机构运动模拟

- 运动学与动力学模型

产品原型分类



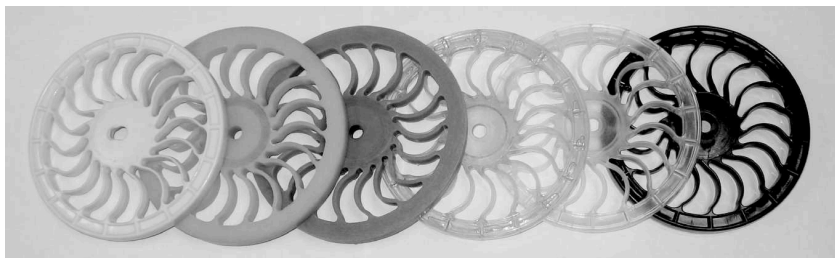
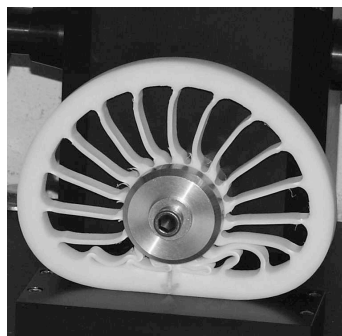
原型的用途 (1/2)

■ 学习

- “它能否如愿工作？”
- “它满足顾客需求的程度如何？”

新型涡旋状轮辐

- 减震能力
- 履带轮强度



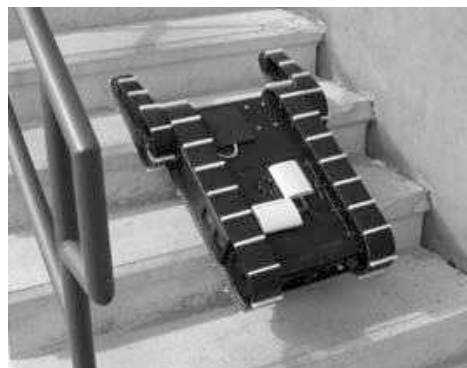
■ 沟通

- “外观与感觉”
 - 企业高管
 - 供应商
 - 合作伙伴
 - 外部团队
 - 顾客
 - 投资人

■ 集成

- 确保产品的零部件、子系统按照预期设想，协同地工作

α 原型



β 原型



原型的用途 (2/2)

■ 里程碑

- 原型用于检验产品是否已达到期望的功能性能水平
 - 作为阶段性目标
 - 展示开发项目进度
 - 促进开发计划实施
- 批量生产之前的“合格性测试”、“首件测试”

原型类型与应用目的

原型类型	学习	沟通	集成	里程碑
专门性、解析性	●	○	○	○
专门性、实体性	●	●	○	○
综合性、实体性	●	●	●	●

产品原型开发与分析的基本原则



使用解析原型，通常比使用实体原型更灵活

探究不可预知的现象，需要实体原型

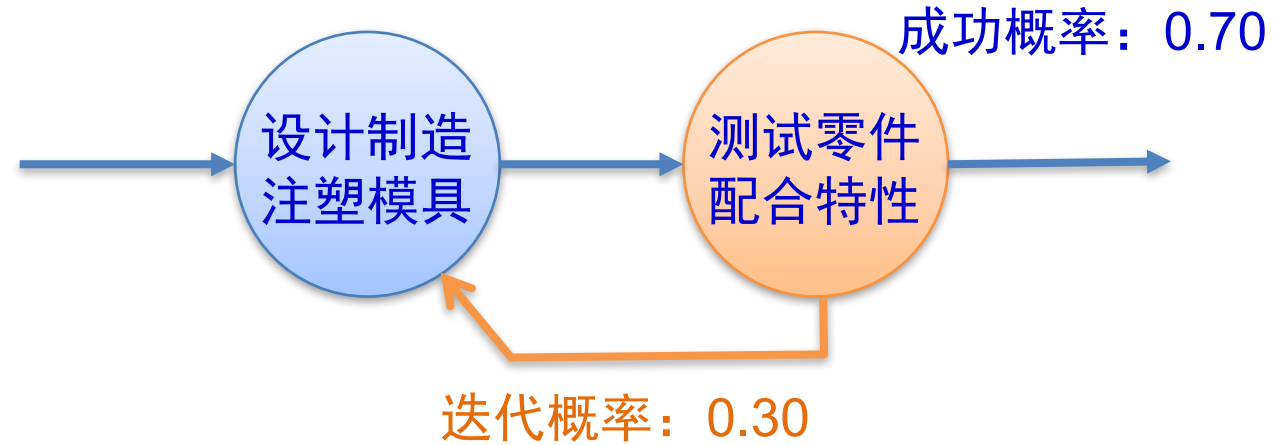
迭代开发代价高昂，使用原型可降低风险

使用原型，有可能会加速其它开发步骤

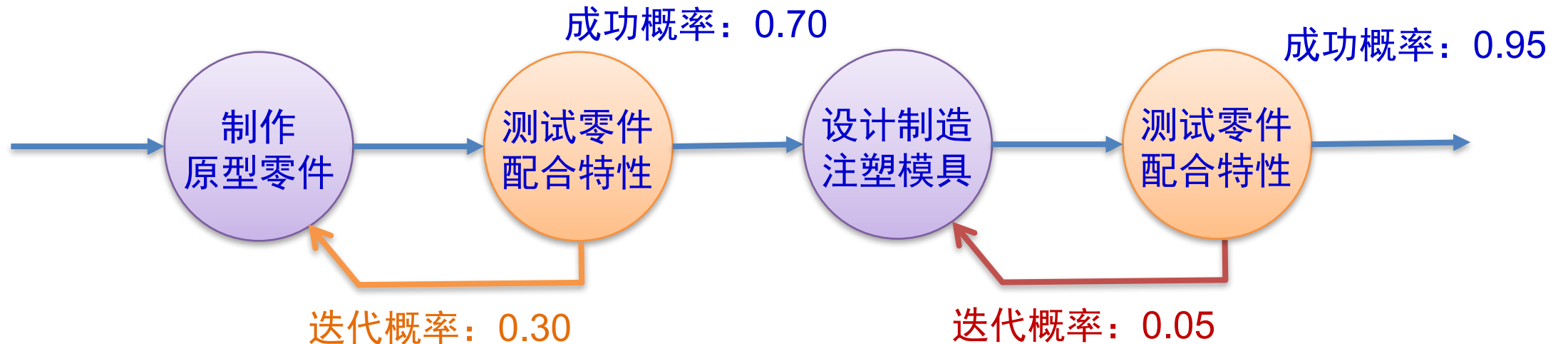
使用原型，有可能重构开发任务之间的相互依赖关系

使用原型，降低迭代开发风险 (1/2)

常规开发流程



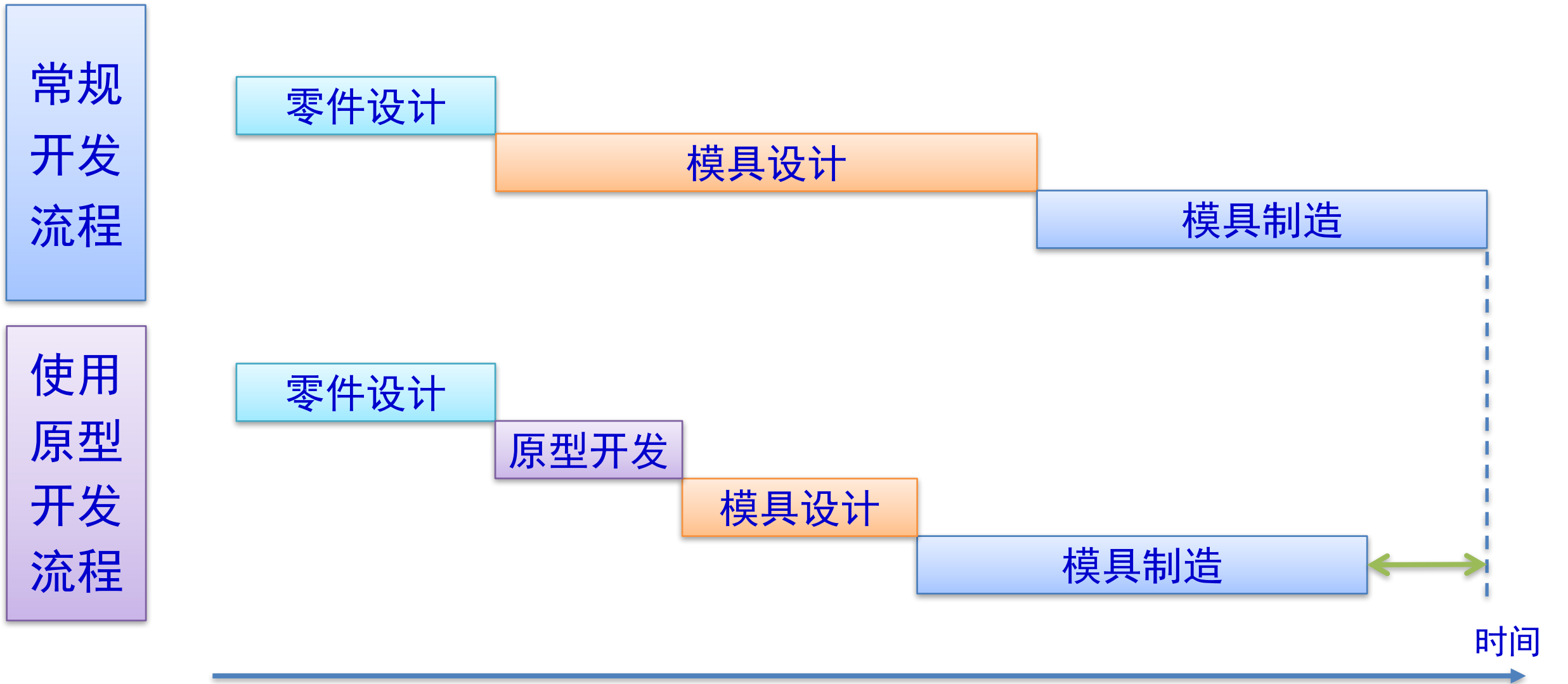
使用原型开发流程



使用原型，降低迭代开发风险 (2/2)

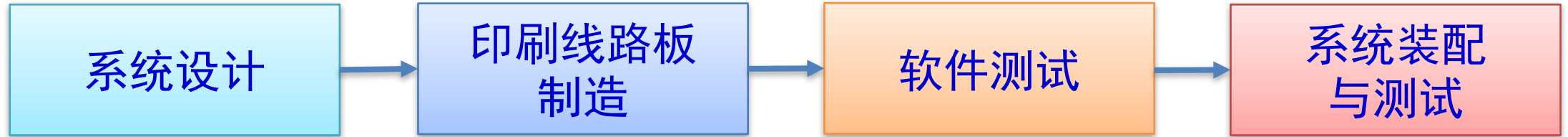


使用原型，加速其它开发步骤

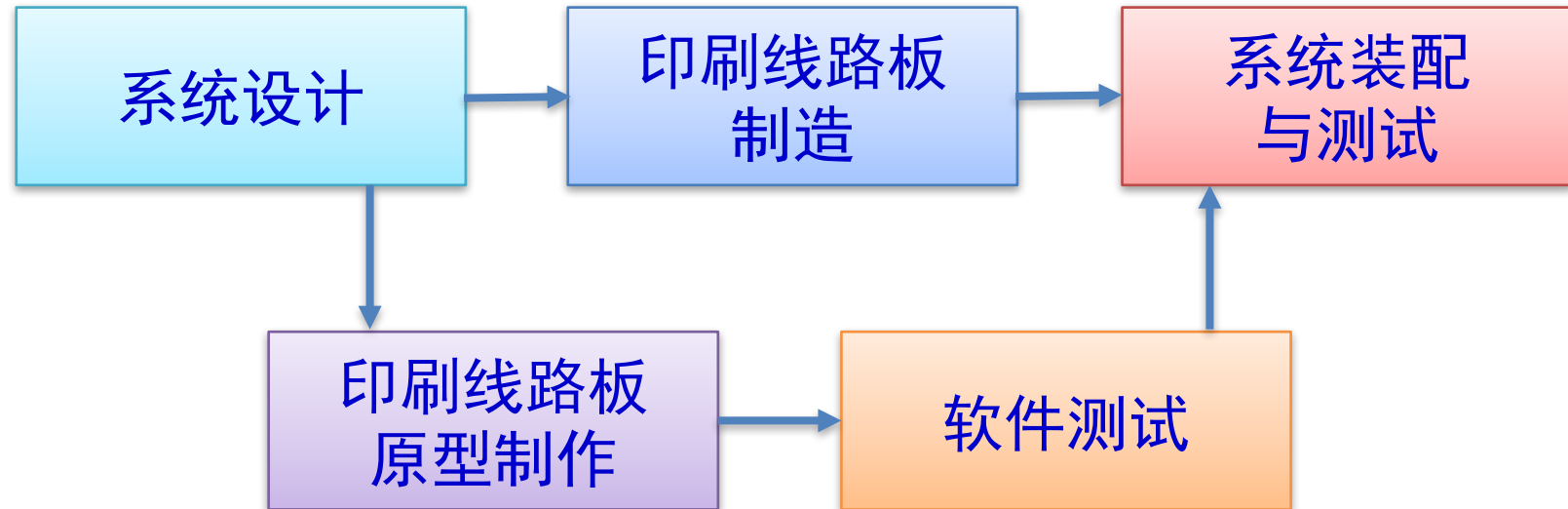


使用原型，重构开发任务的依赖关系

常规
开发
流程

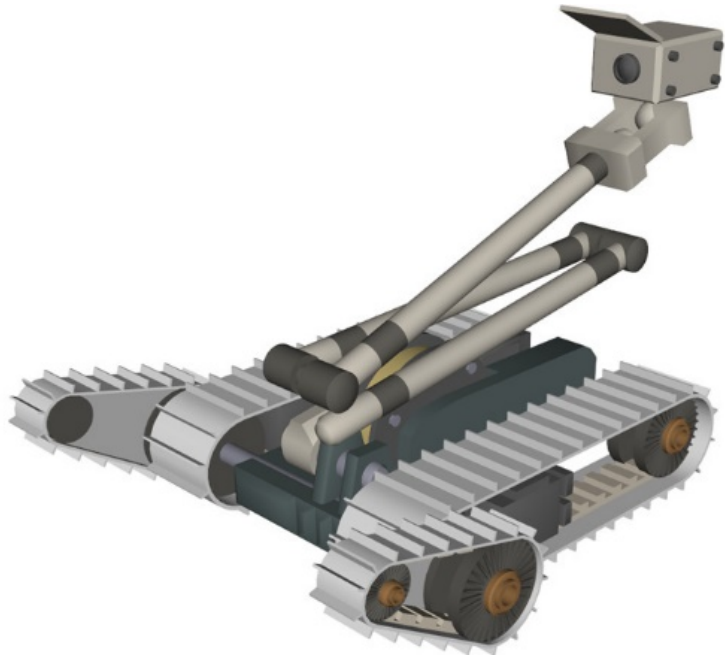


使用
原型
开发
流程

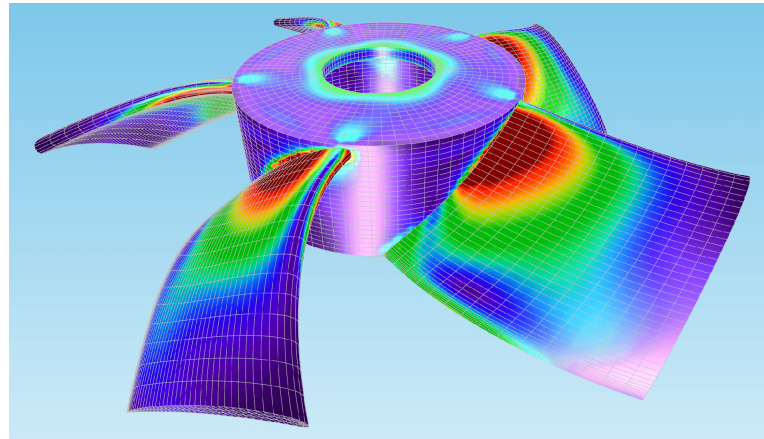


原型开发的相关技术

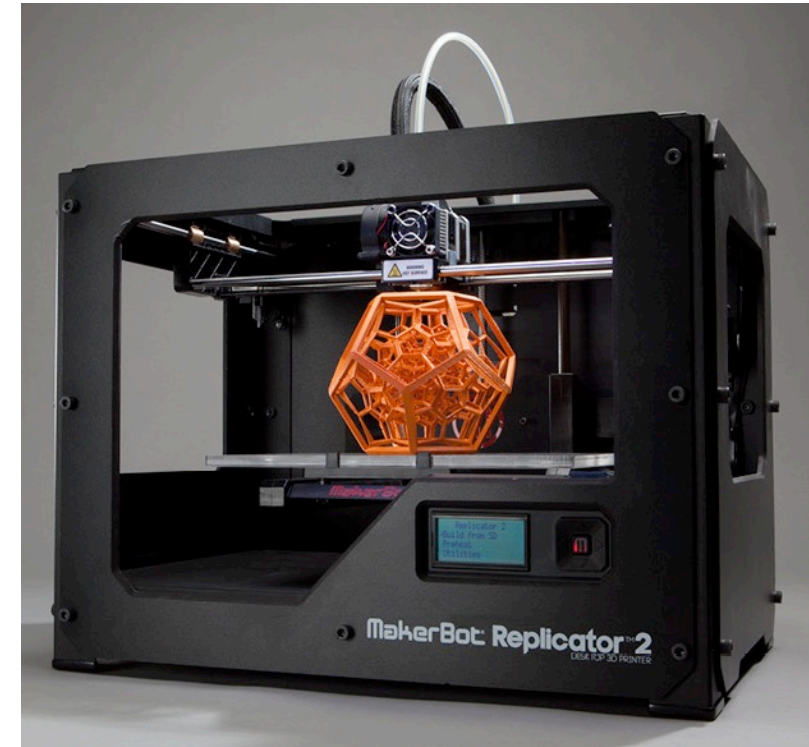
■ CAD：三维建模



■ CAE：有限元分析



■ 3D打印



制定原型开发与分析的计划

第一步：定义原型开发与分析的目的



第二步：确定原型的近似程度



第三步：拟定试验计划



第四步：确定采购、制作与测试的日程

PackBot履带轮形状/冲击测试原型计划表

原型名称：PackBot履带轮形状/冲击测试

目的	<ul style="list-style-type: none">根据强度与减震特性，选定最终的履带轮辐几何形状与材料确认履带轮能减震，以承受冲击并保护PackBot及其有效载荷	日程	<ul style="list-style-type: none">8月1日：选择履带轮形状与材料8月7日：完成测试夹具的设计8月14日：制作履带轮和测试夹具8月15日：完成装配工作8月23日：完成测试试验8月25日：完成测试结果分析
近似水平	<ul style="list-style-type: none">完全等同的轮辐几何形状、材料和平台负荷		
试验计划	<ul style="list-style-type: none">6种不同材料，每种材料2种轮辐形状，共制造12个测试轮将履带轮安装到测试夹具上用一系列落差高度，进行冲击测试		

规划里程碑原型

标准原型

■ α 原型

- 评估产品是否能按预期设想进行工作

■ β 原型

- 评估可靠性
- 识别尚存问题

■ 试产原型

- 验证生产过程能力

- 使用与量产零件一致的材料和几何形状

- 在预期使用环境中测试
- 使用真实生产工艺

- 通过真实生产系统的首批产品

■ 可能不用某种原型

- 简单产品
- 成熟技术

■ 可能增加早期原型

- 应用新概念或新技术
 - 实验原型
 - 设计原型

本讲小结

维度

- 解析性 → 实体性
- 专门性 → 综合性

用途

- 学习
- 交流
- 集成
- 里程碑

原则

- 灵活性：解析 > 实体
- 实体原型探究不可预知现象
- 原型降低迭代风险
- 原型加速开发步骤
- 原型重构任务之间关系

技术

- CAD三维建模
- CAE有限元分析
- 3D打印

规划

- 里程碑原型
 - α , β , 产前