



基于MBSE的数字化转型落地方案

刘玉生

杭州华望系统科技有限公司
浙江大学CAD&CG国家重点实验室
2022年8月23日





1

系统工程与MBSE简介

2

数字化转型方案

3

初期落地应用

4

中期落地设想

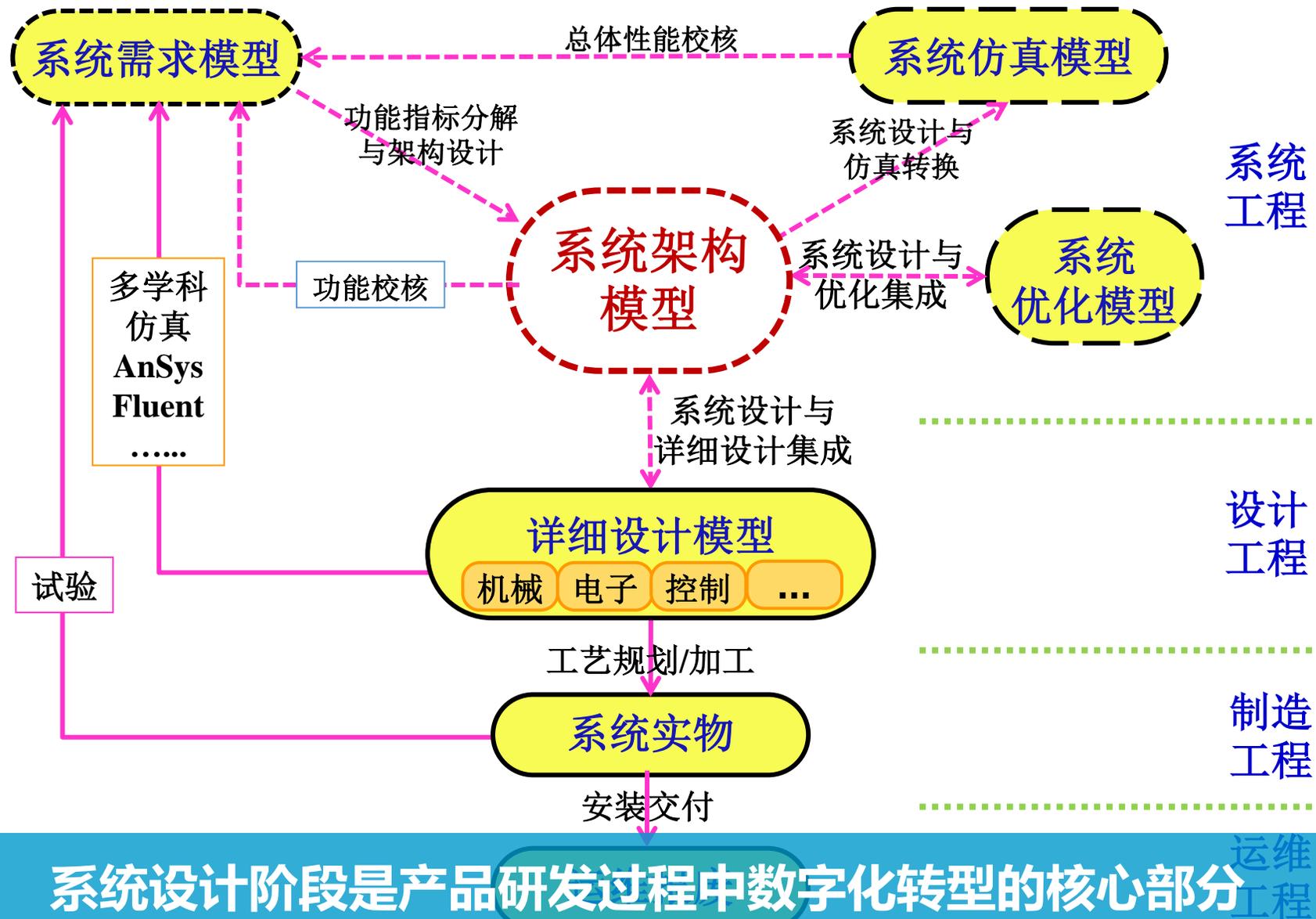
5

远期落地目标

6

总结

产品研发中数字化转型的核心是什么



系统工程定义

□ **系统工程**：国际系统工程学会INCOSE、NASA、美国空管局FAA、欧空局、大英百科全书、前苏联等均给出了定义

■ **组织管理复杂系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法（钱老的定义）**



中国航天之父
中国导弹之父
中国自动化控制之父
火箭之王

两弹一星工程所依据的都是成熟的理论，我只是把别人和我经过实践证明可行的成熟技术拿过来用，这个没有什么了不起，只要国家需要，我就应该这样做。

系统工程与总体设计部思想才是我一生追求的。它的意义，可能要远远超出我对中国航天的贡献

1987年人大报告时建议：社会主义建设的总体设计部——党和国家的参谋咨询机构

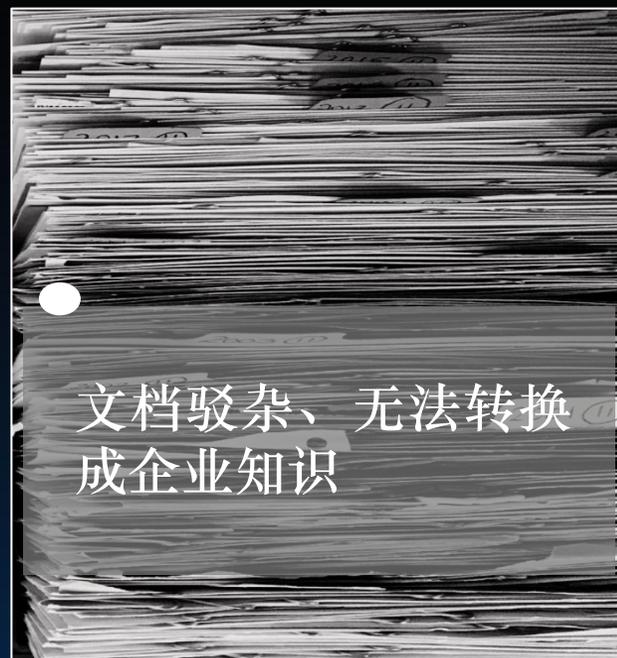
1988年人大学报第2期：社会主义建设的总体设计部——党和国家的咨询服务工作单位

为前期复杂产品系统的发展做出了巨大的贡献



传统系统工程的挑战

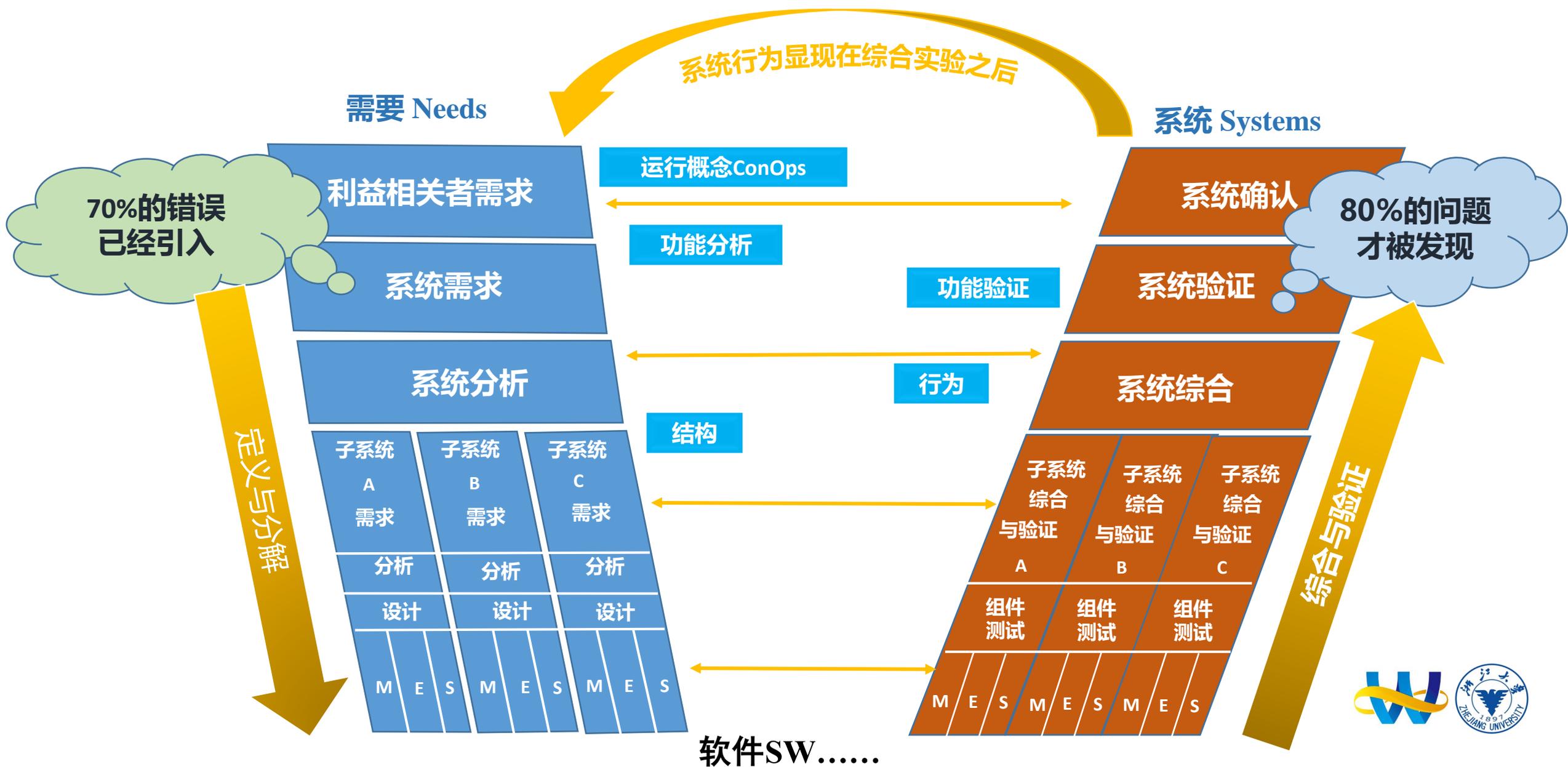
系统设计的挑战



某型号研制

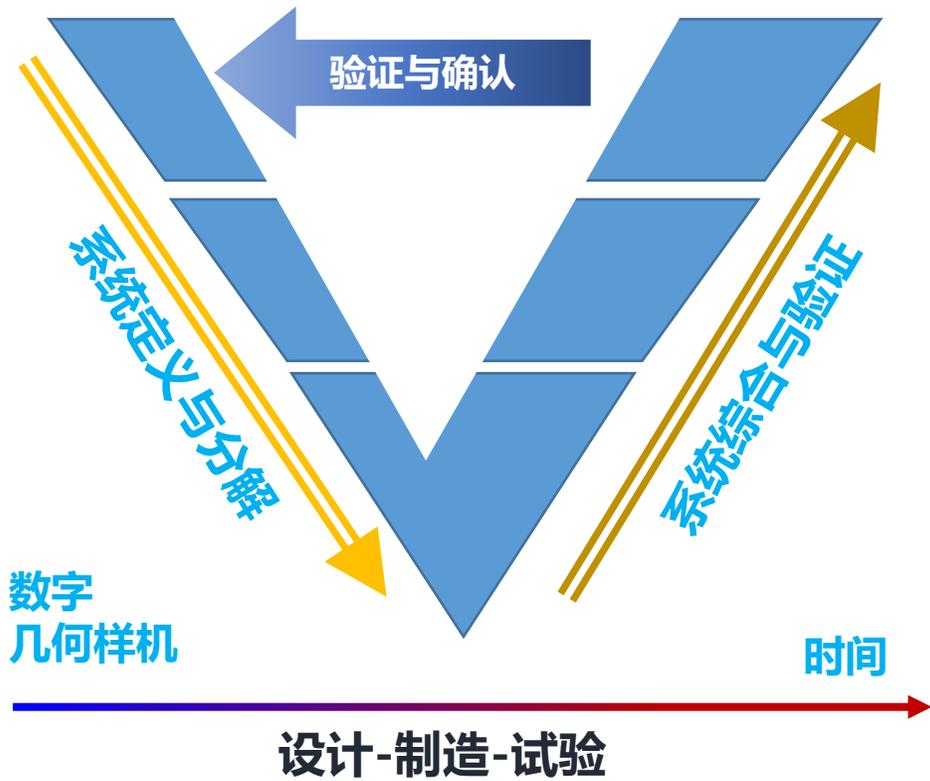
历时	参与单位	科研人员	分系统	独立产品	软硬件接口
八年	14院/120所	10万+	36	900+	13000+

传统系统工程的场景

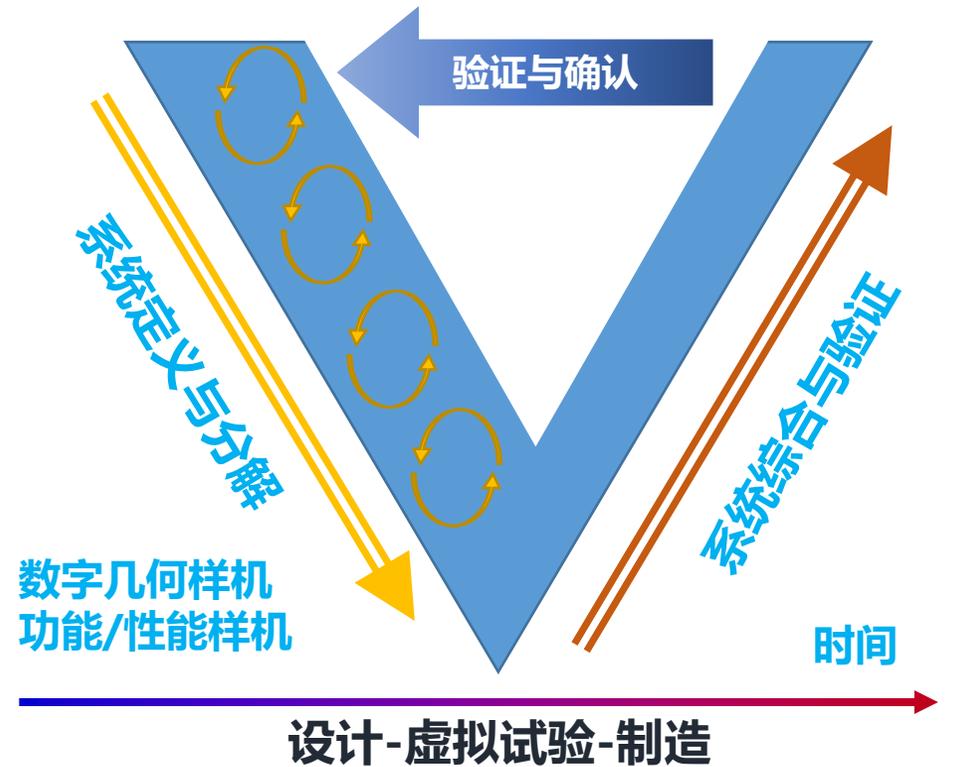


系统工程范式的转变

当前



未来



基于模型的系统工程 (MBSE) 应运而生





1

系统工程与MBSE简介

2

数字化转型方案

3

初期落地应用

4

中期落地设想

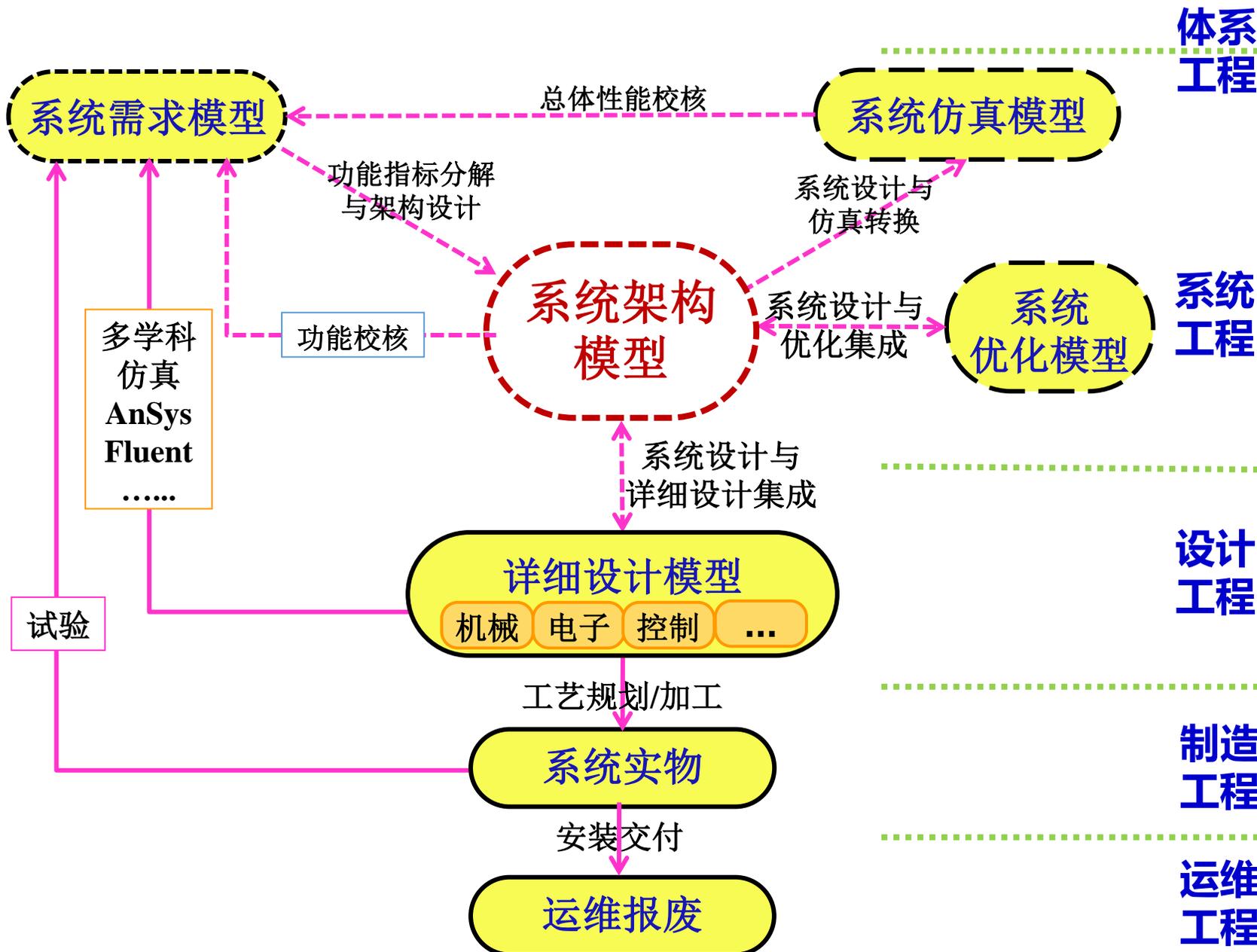
5

远期落地目标

6

总结

基于MBSE数字化转型内容分析



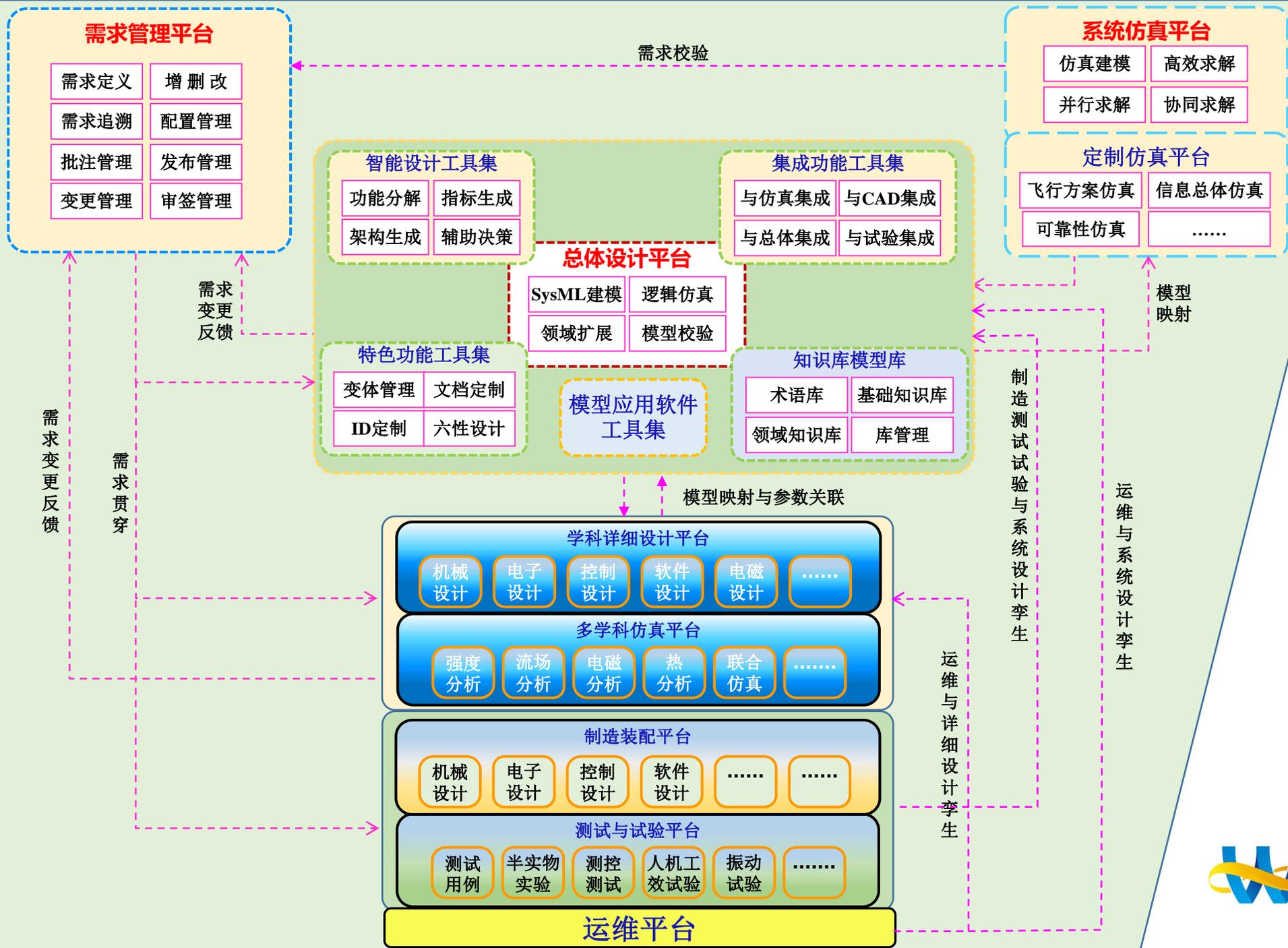
基于MBSE的数字化转型总体方案

工具层

协同层

数据层





基于MBSE的数字化转型总体方案

项目管理模块

- | | |
|---------|---------|
| 项目驾驶舱 | 项目计划制定 |
| 项目进度管理 | 项目资源管理 |
| 任务流程设计 | 任务需求分配 |
| 节点里程碑管理 | 项目交付物管理 |

模型管理模块

- | | |
|---------|--------|
| 数据源统一管理 | 知识重用管理 |
| 数据检入检出 | 系统安全管理 |
| 模型智能联动 | 技术状态管理 |
| 用户中心管理 | 文件共享管理 |

协同管理模块

- | | |
|------|-----------|
| 分支生成 | 分支下载 |
| 分支上传 | 请求合并 |
| 本地合并 | License服务 |
| 基线管理 | 消息服务管理 |

三员管理模块

- | | |
|--------|--------|
| 用户管理 | 权限管理 |
| 三员分权管理 | 密级管理 |
| 组织架构管理 | 日志管理 |
| 信息审计 | 系统预警管理 |

协同层



基于MBSE的数字化转型总体方案



1

系统工程与MBSE简介

2

数字化转型方案

3

初期落地应用



4

中期落地设想

5

远期落地目标

6

总结

基于MBSE的数字化转型初期实施：四个阶段建模与四层计算分析

火灾卫星应用MBSE实施流程 (OpenBox)

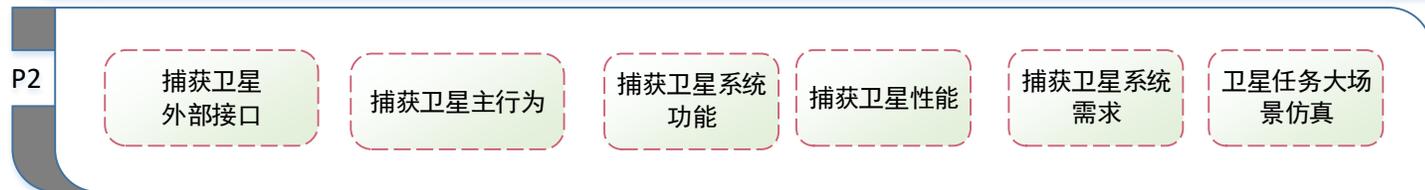
任务分析

功能分析

架构设计

设计验证

不断打开



计算分析主线

轨道分析

捕获

早期关键性能需求

大场景仿真

检验

逻辑过程是否合理

权衡分析

优化

比选更优参数配置

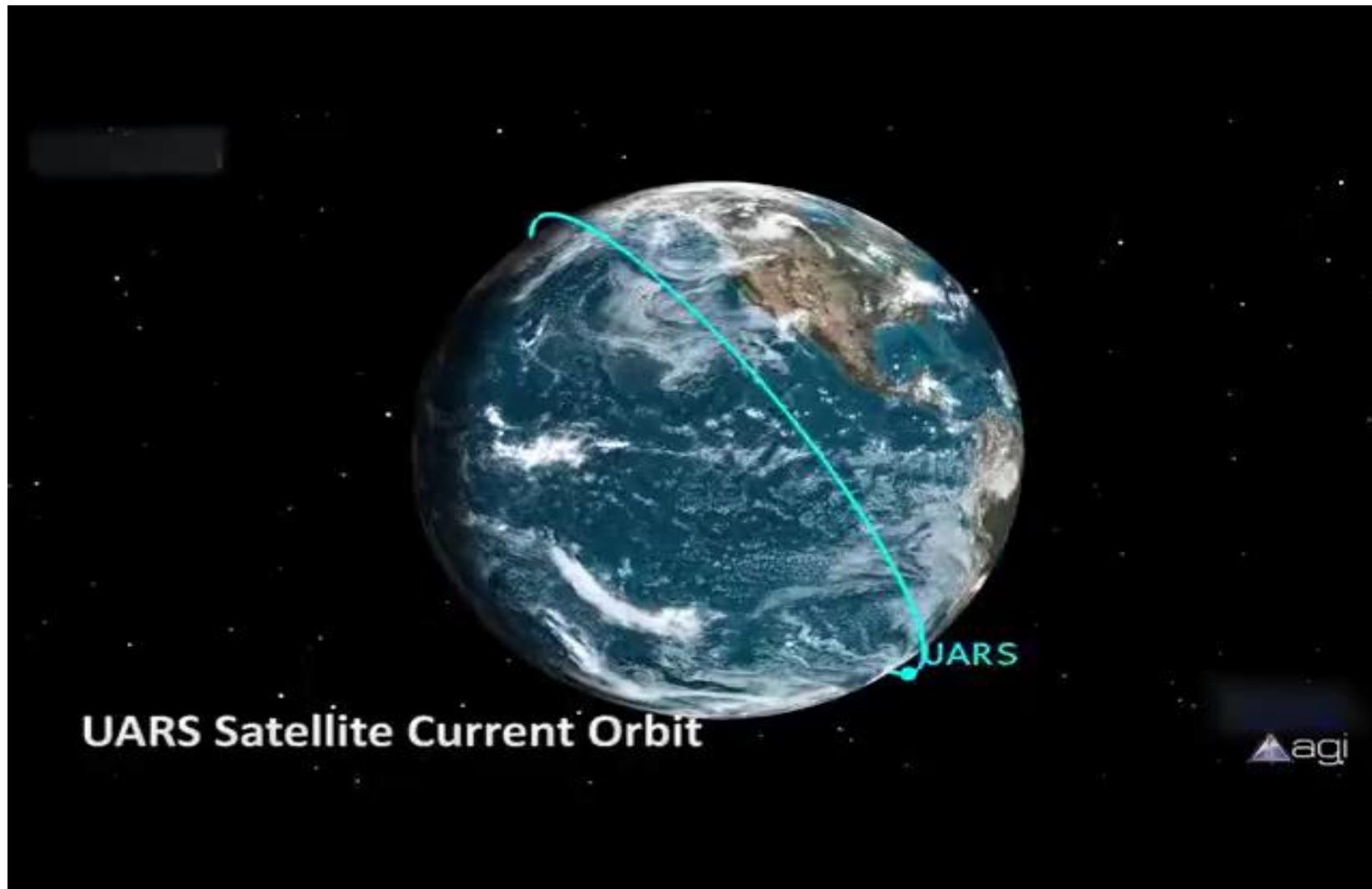
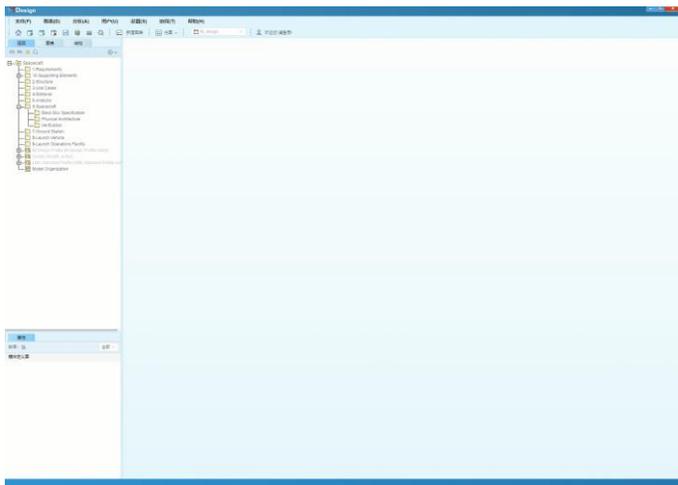
设计分析

验证

性能需求是否满足



P4: 集成验证



MBSE模型与STK动态集成完成设计验证



基于MBSE数字化转型初期实施效果

早期设计验证

指标定量分解

一体化推演

运维可视化

在线、大量
迭代

提前预测
用户产品应用模式

1

系统工程与MBSE简介

2

数字化转型方案

3

初期落地应用

4

中期落地设想

5

远期落地目标

6

总结



基于MBSE数字化转型落地应用的问题

MBSE在中航工业实施已有**9**年，航天领域探索应用MBSE也有**6/7**年，在核行业**4/5**年，总体来看

大家对MBSE理解加深

- 认可其作用
- 但总体效果并不十分理想

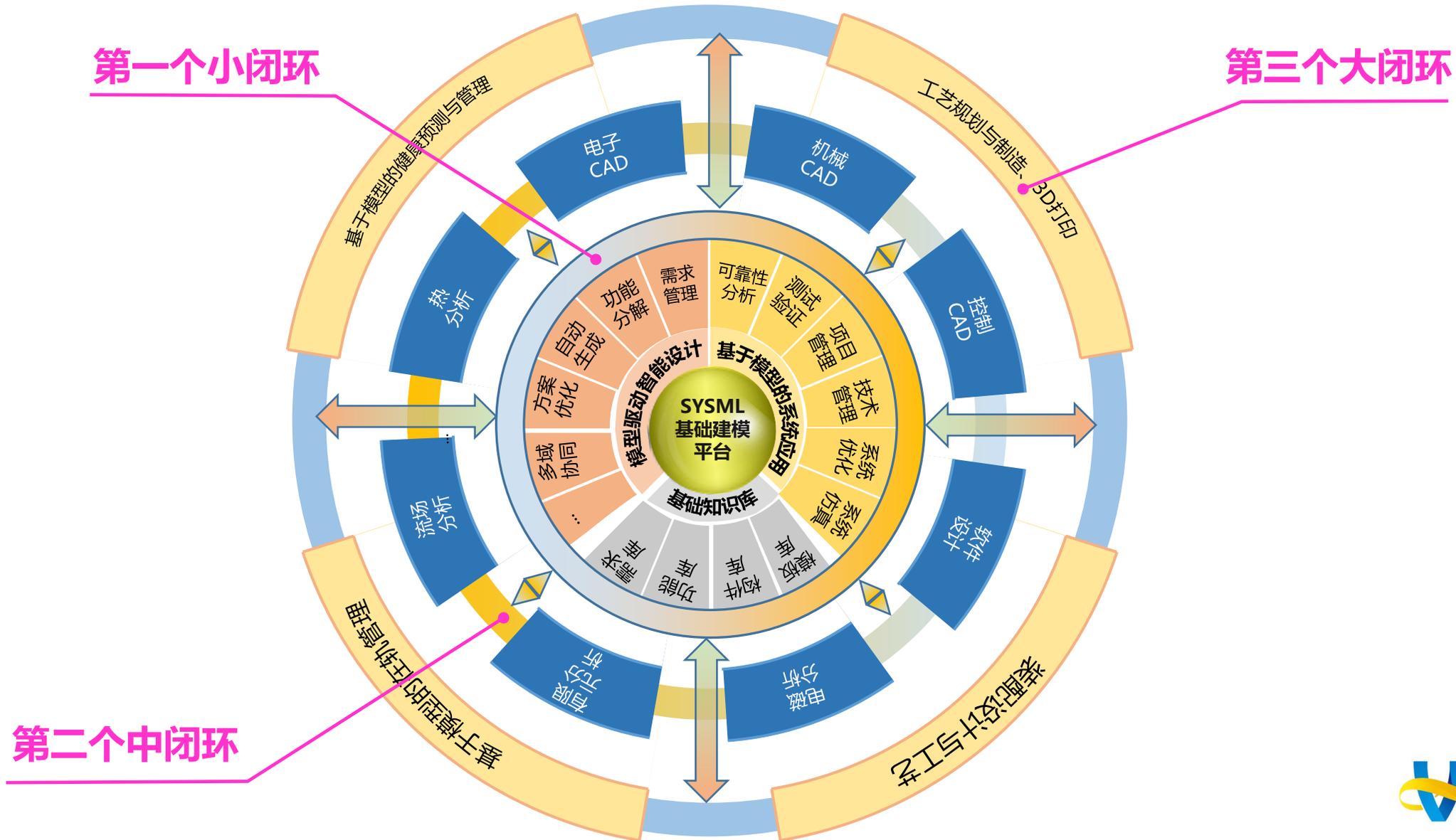
“高效率、高效益、高质量”三高要求？



主要问题与困惑



MBSE 2.0 内涵分析



MBSE 2.0 内涵分析

目标

高质量

高效益

高效率

MBSE 2.0 建设内涵

任务3：模型驱动的智能设计工具

- ❑ 基于模型的需求分析与管理
- ❑ 适合多域统一的层次化功能分解
- ❑ 模型驱动多域全级次架构生成
- ❑ 多方案的权衡比对与优化
- ❑ 多领域多级次的协同设计技术
- ❑ 基于模板的交互生成
- ❑

任务4：基于模型的系统级应用工具

- ❑ 基于模型的可靠性分析
- ❑ 基于模型的测试
- ❑ 基于模型的在轨分析与管理
- ❑ 基于模型的技术状态可视化管控
- ❑ 基于模型的质量问题快速定位
- ❑ 基于模型的系统优化
- ❑ 基于模型的系统仿真

任务5：基于模型的全生命周期生态集成

- ❑ 基于模型的三维CAD集成
- ❑ 基于模型的电子CAD集成
- ❑ 基于模型的FEA集成
- ❑ 基于模型的CFD集成
- ❑ 基于模型的CAPP集成
- ❑ 基于模型的运维
- ❑

任务1：面向行业的领域建模语言与领域模型库

- ❑ 领域元模型构建
- ❑ 基于领域元模型的模型库构建方法
- ❑ 系列的需求库/功能库/领域构件库/规则库/模板库/.....

任务2：MBSE建模方法与建模工具定制

- ❑ 结合自身业务的MBSE建模流程的裁剪定制
- ❑ 结合自身业务的建模方法、规范的定制
- ❑ 建模工具的定制

成果

SysML建模系统

智能设计系统

系列生态集成工具

领域知识库

复杂装备MBSE生态环境



MBSE 2.0 目标

研发自主可控的MBSE
建模语言方法与工具

高效高质 • 建

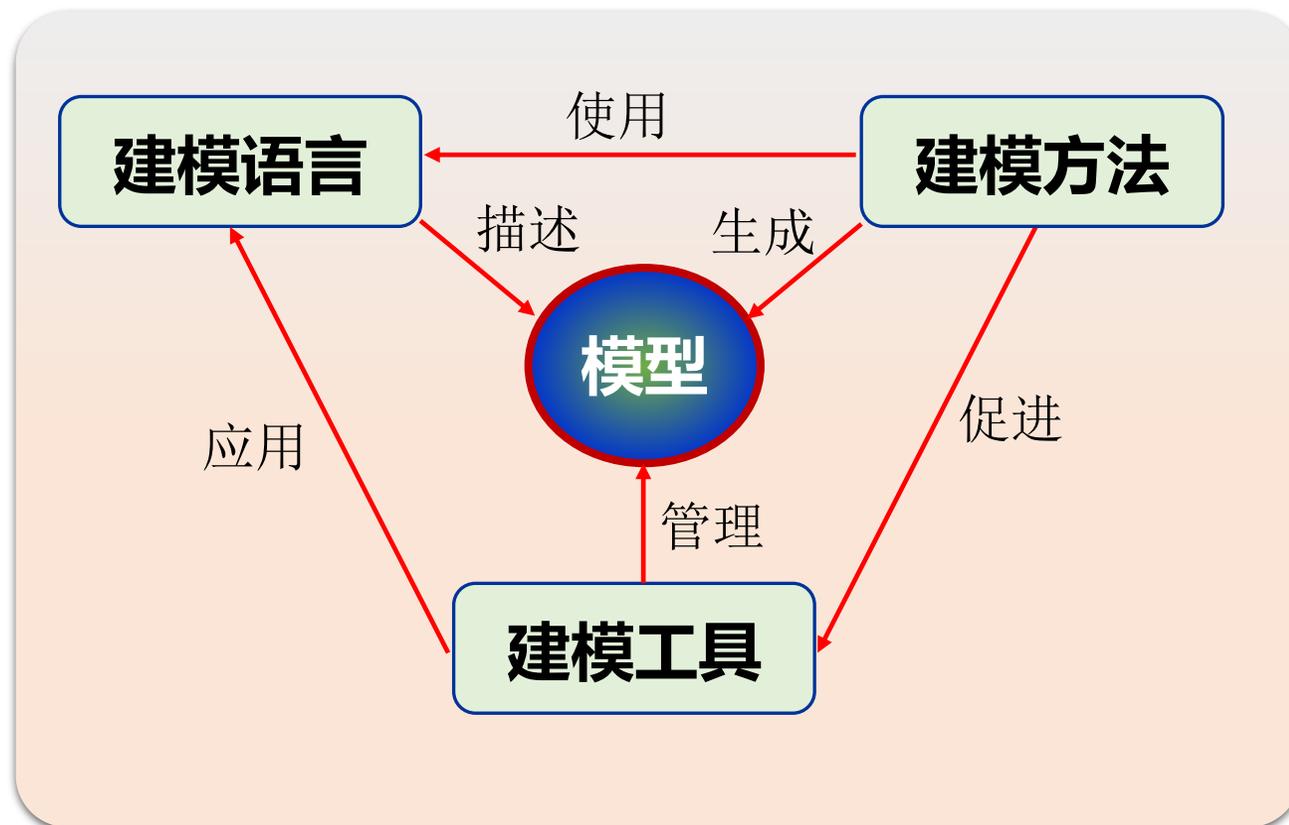
打通MBSE工具
及与其它工具间数据链
实现高效协同

正确无误 • 联

实现模型高级应用

目标清晰 • 用

高效高质的建—工具方法语言的定制





MBSE基础工具、方法、建模语言



中间件

面向领域的MBSE建模语言、方法与工具



型号设计总师、一线设计师



领域建模语言的构建

1、抽取领域知识

根据DSL涉及到的领域及其目标应用场景，识别其中涉及到概念、关系及约束

2、定义抽象语法

采用形式化的方法定义描述上述概念的抽象语法。通常可以采用前述的MOF进行表示

3、定义具体语法

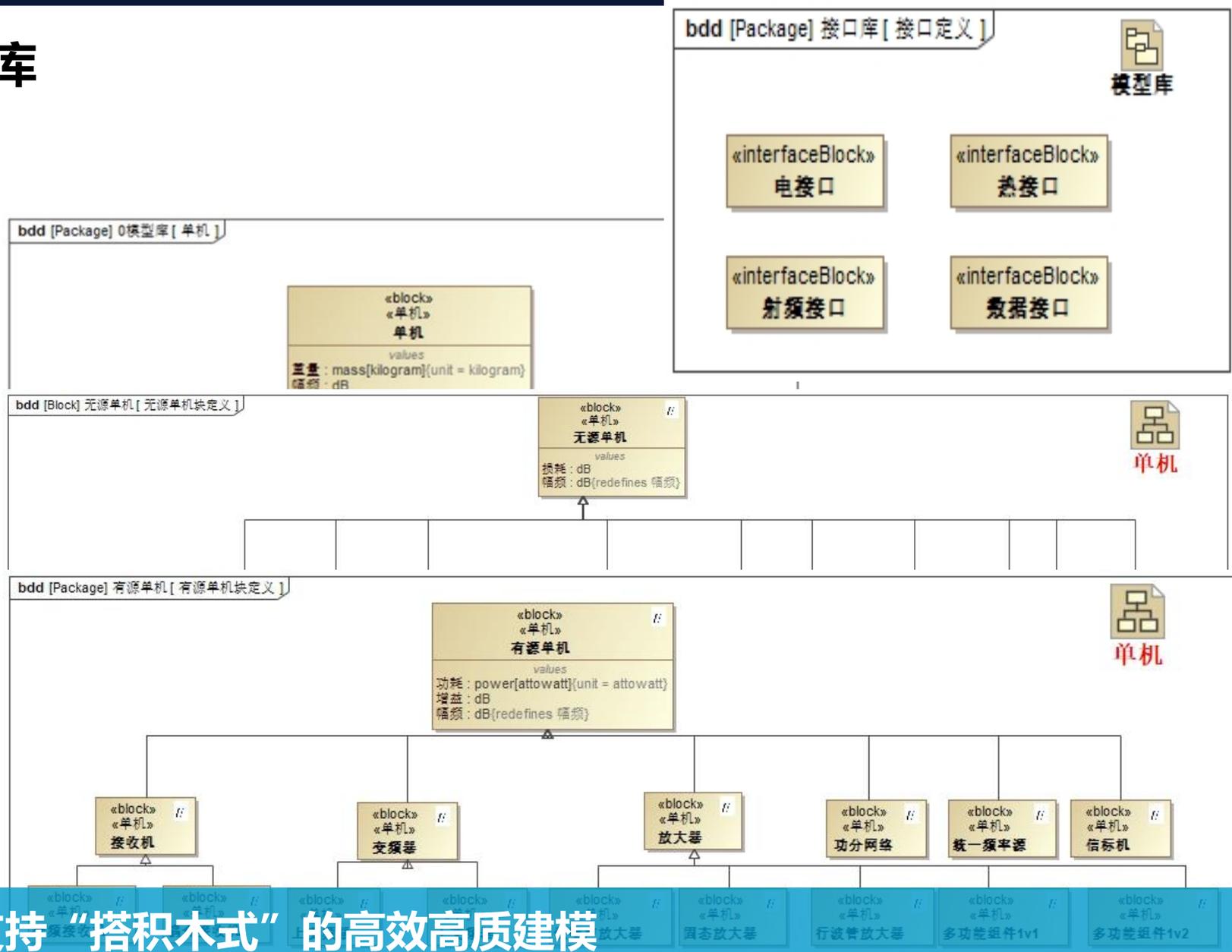
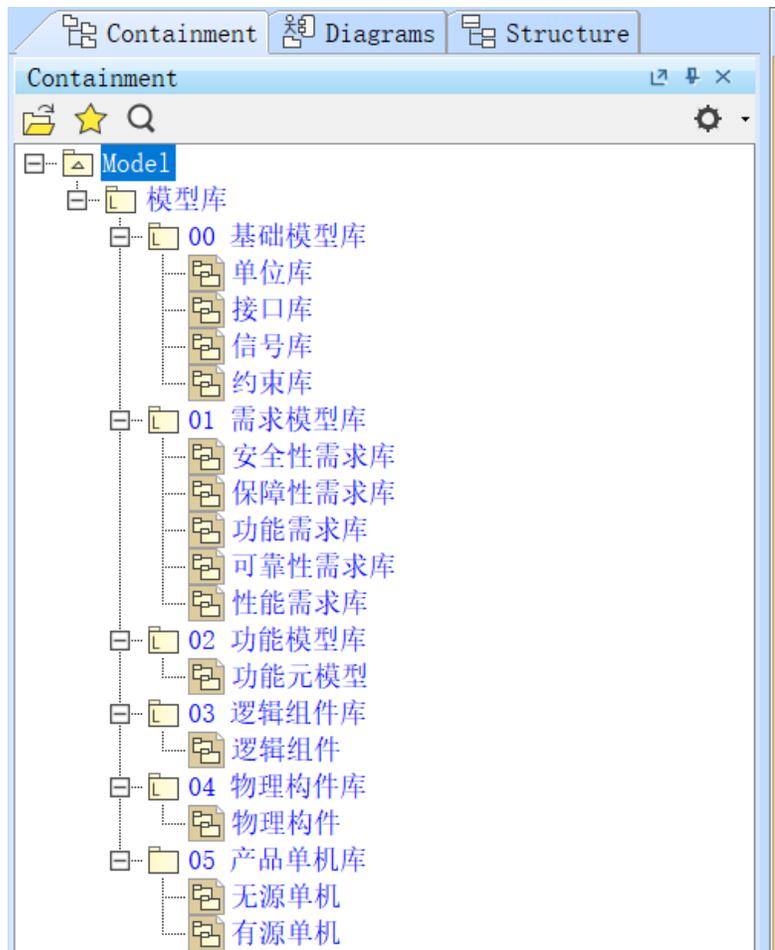
在抽象语法的基础上，为每个模型元素定义相应的表示方法和符号作为其具体语法，从而在建模过程中对其进行使用。拟可以在SysML的基础上进行扩展来实现这一目的

4、描述语义

对元模型中的模型元素的语义以及使用方法进行说明，形成语言的规格说明书（specification）



1.1、面向领域的建模与模型库



支持“搭积木式”的高效高质建模

2、面向领域的SysML建模方法定制

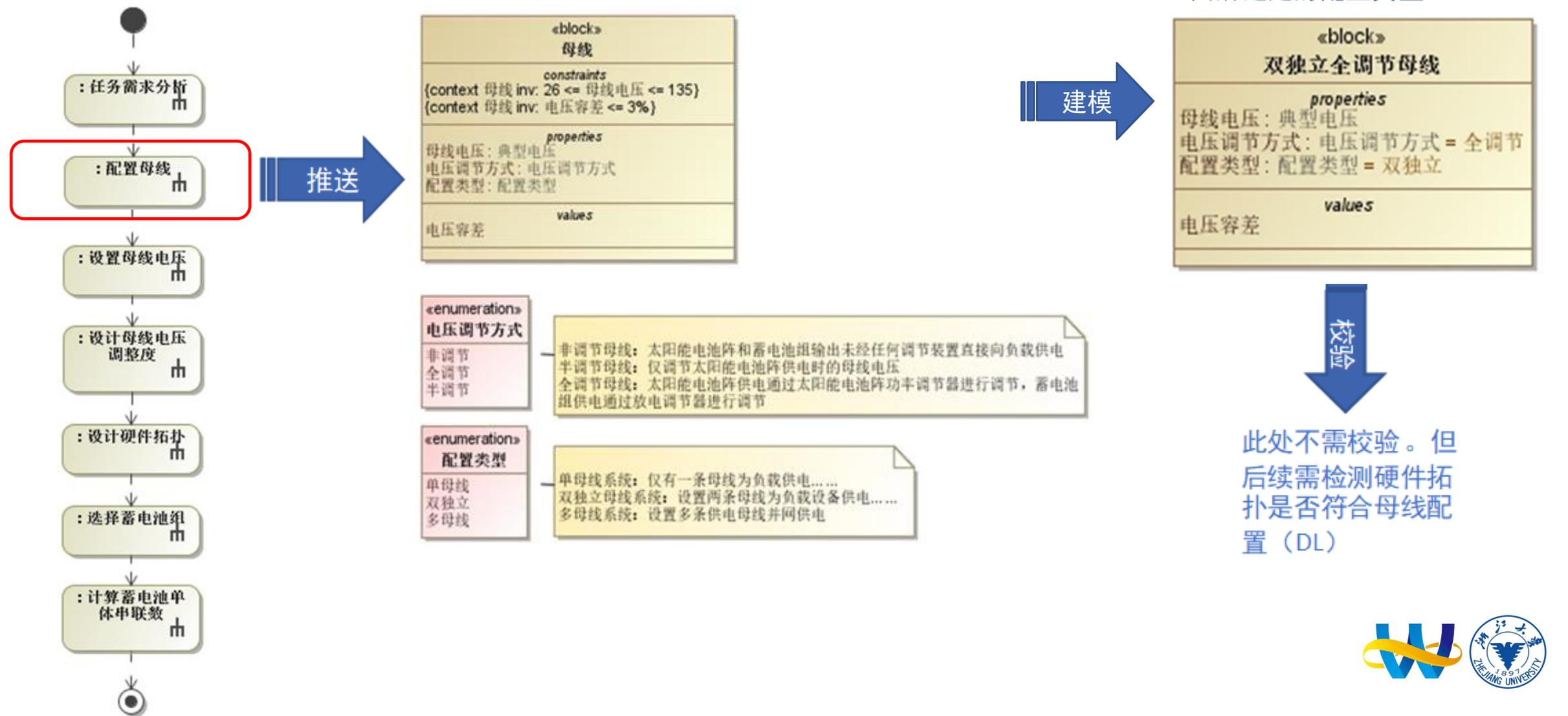
建模流程与方法
定制

建模操作与规范
定制

建模模板
定制

解决方案—模板定制

2.1、面向电源系统的SysML建模模板定制



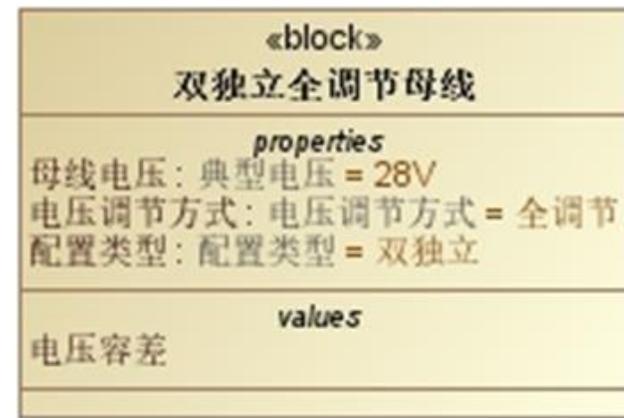
解决方案—模板定制



推送



建模



校验



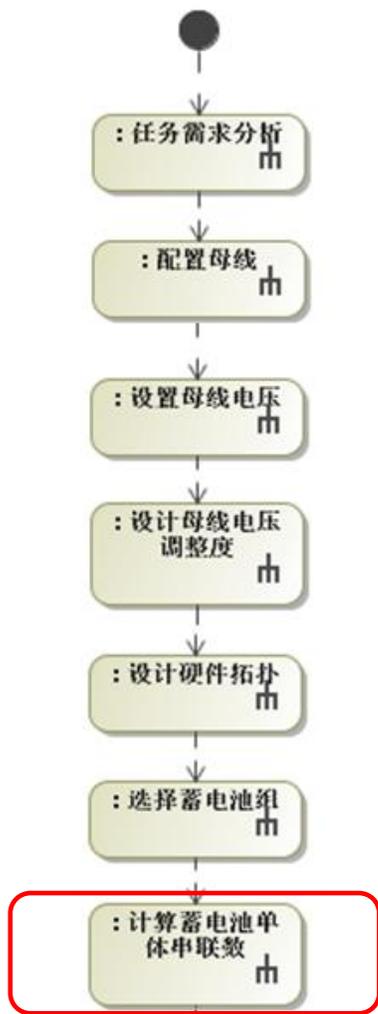
28V: 功率需求<=1.5kW的航天器, 或1.5kW~2.5kW的航天器在设计时已考虑负载继承性
42V: 功率需求为2kW~5kW的航天器
100V: 功率需求>=5kW的航天器

系统自动检测 (OCL)

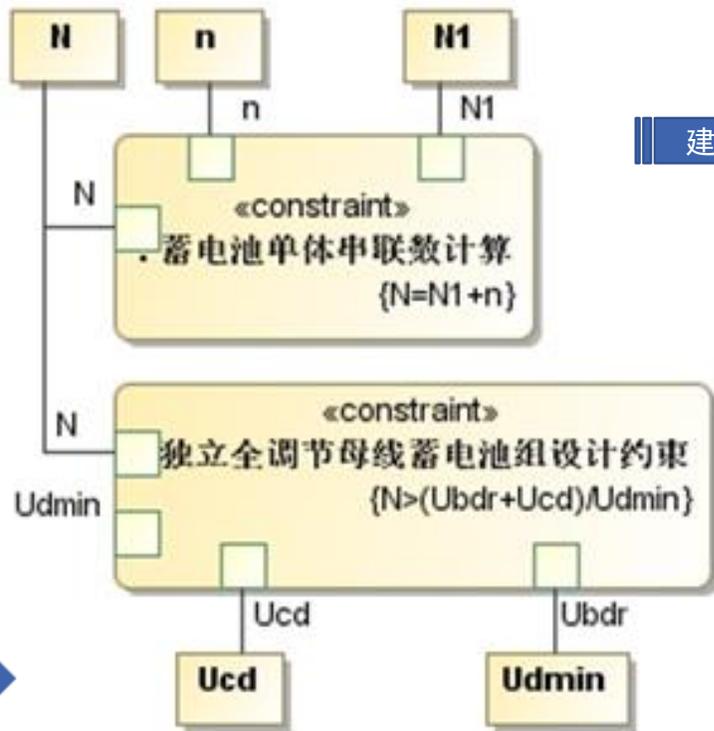
- 是否符合范围
- 是否符合航天器功率需求



解决方案—模板定制

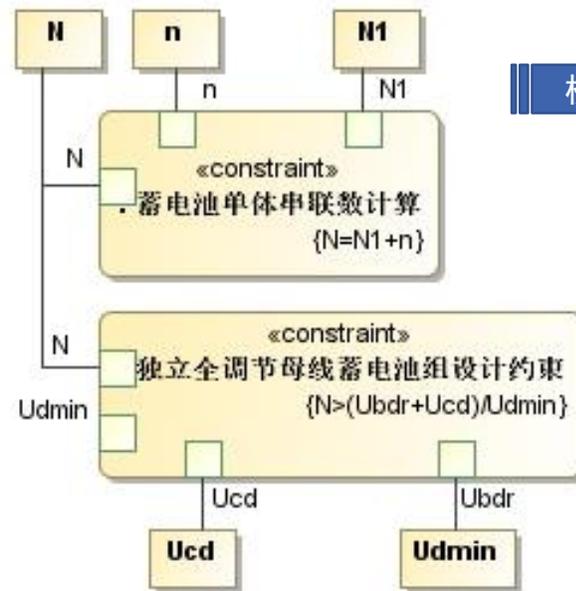


根据母线类型及硬件拓扑自动推送相应类型的计算方式



建模

用户copy约束及关联关系



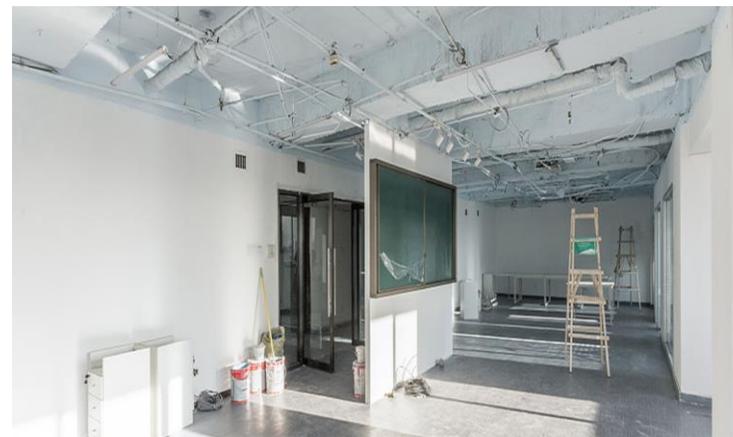
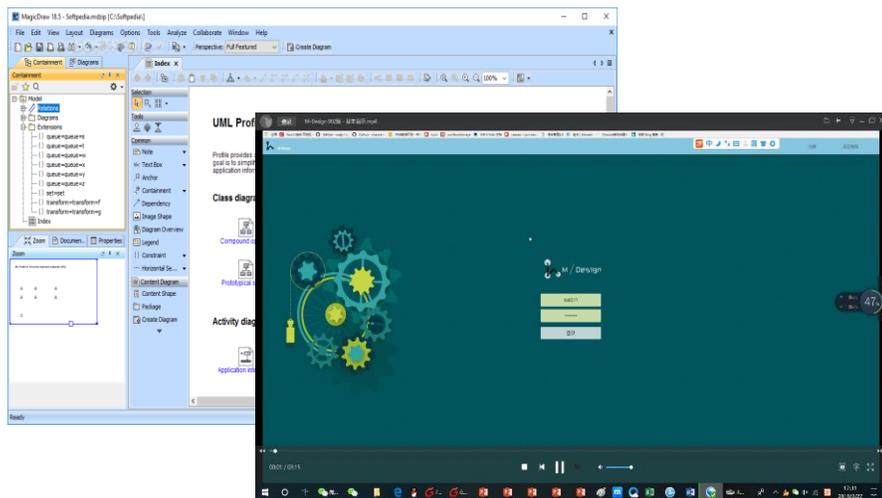
校验

系统自动检测公式是否成立（公式计算）

基础建模工具的选择

- **达索MagicDraw:** 功能相对较全, 但IP仍属美国
- **杭州华望M-Design:** 完全自主可控, 功能基本完整、
且可根据用户需求定制

3、面向航发的SysML建模工具定制



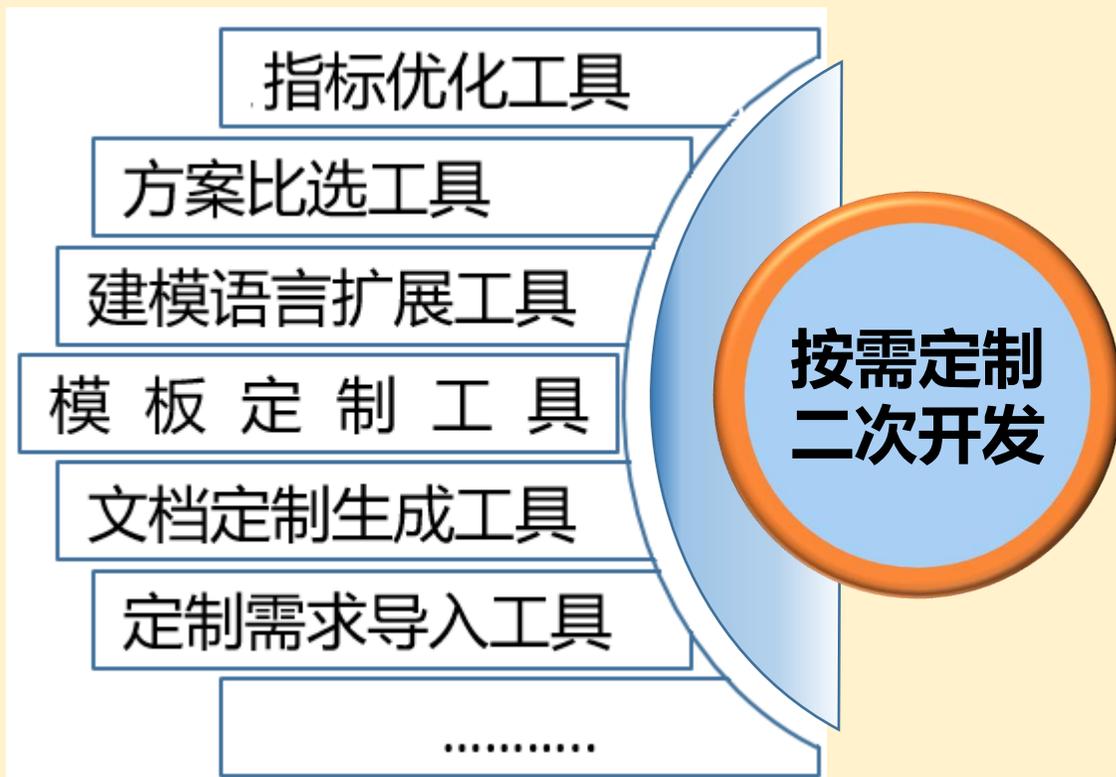
3、面向航发的SysML建模工具定制



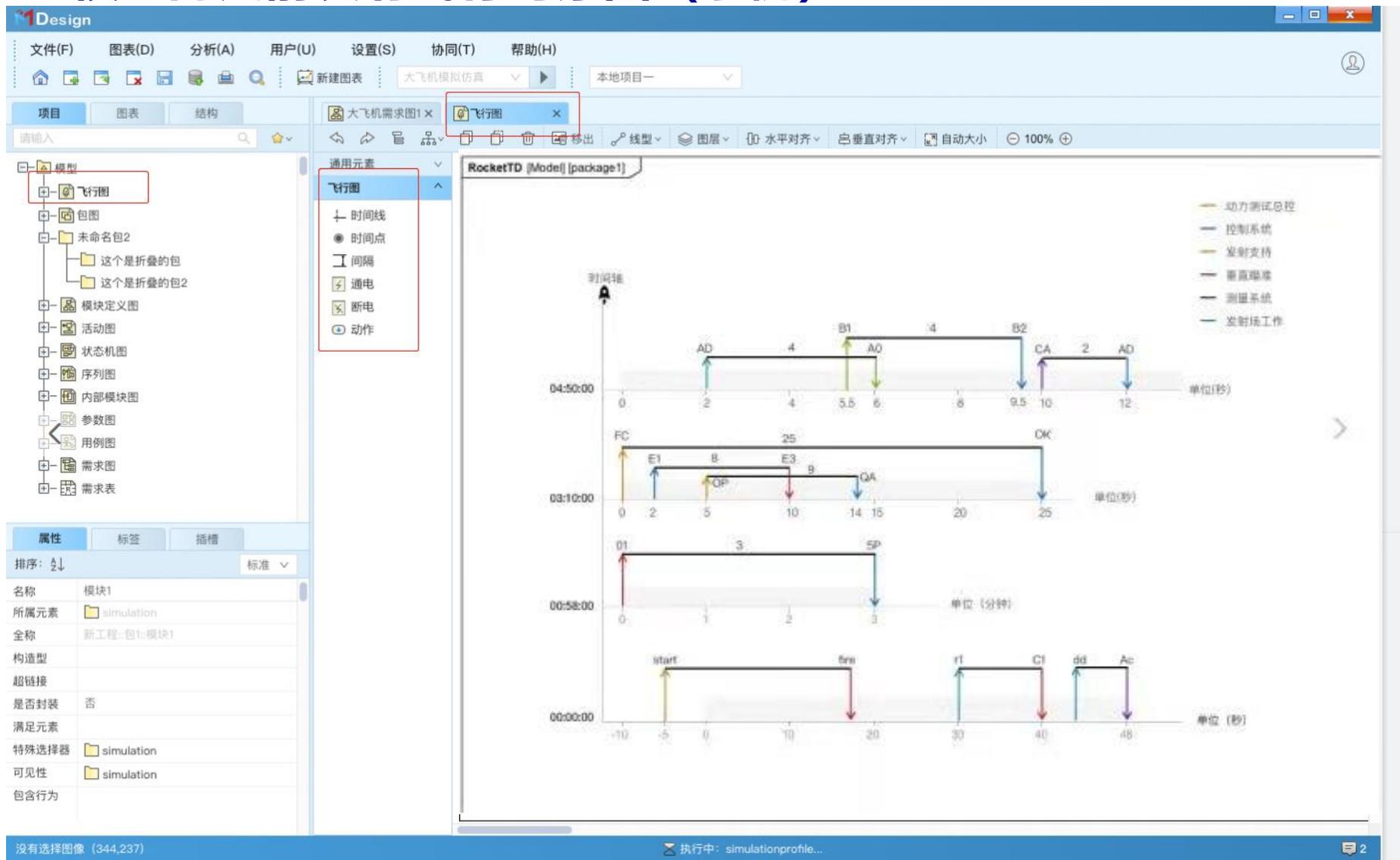
要致富先修路



要推广先定制

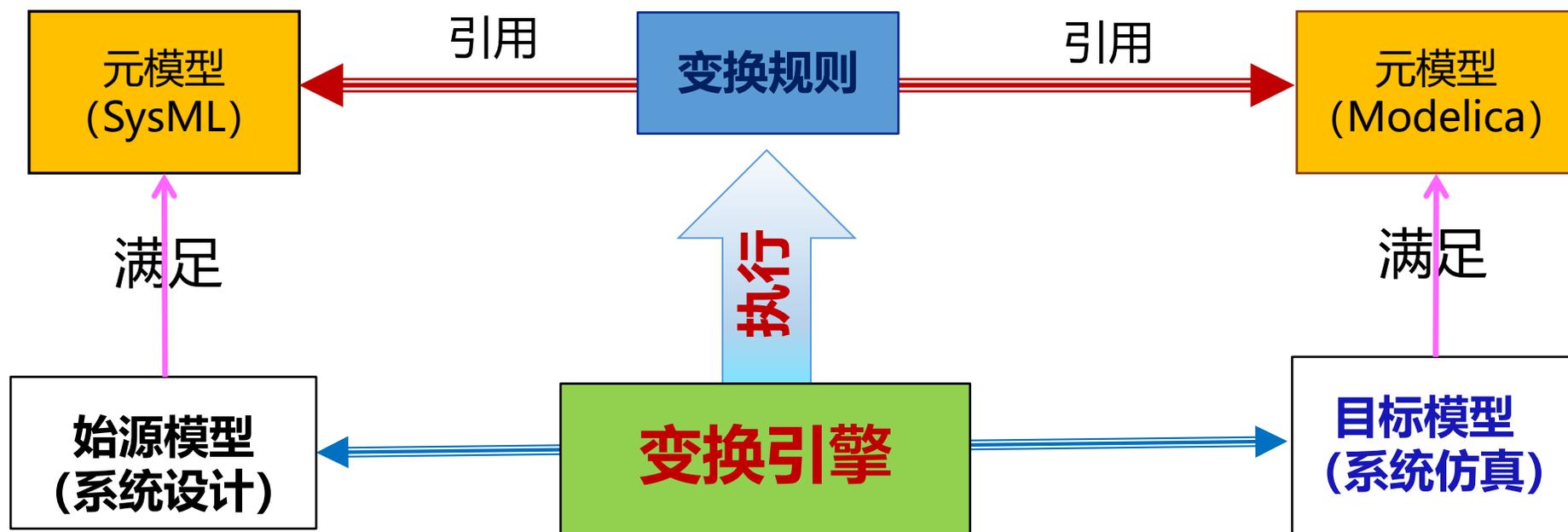


基于模型的火箭发射飞行时序图（示例）

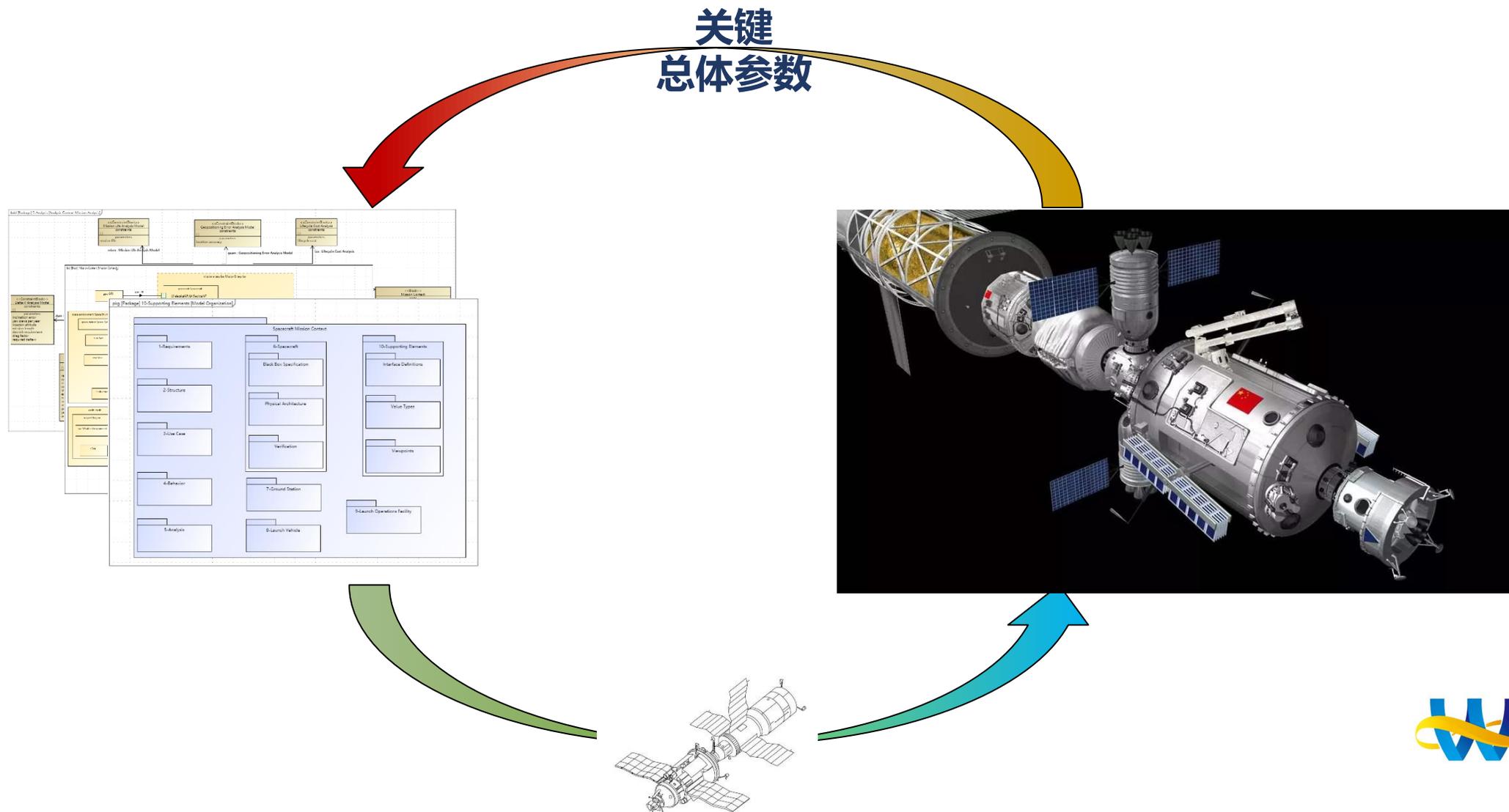


正确无误的联——数据链路的打通

基于元模型映射的模型变换方法——系统设计与系统仿真数据的打通



基于元模型映射的模型变换方法



基于MBSE数字化转型的中期实施效果小结

高效高质建模

跨域协同设计

设计仿真集成

模型标准化管理

MBSE真正落地
确保一次设计正确

1

系统工程与MBSE简介

2

数字化转型方案

3

初期落地应用

4

中期落地设想

5

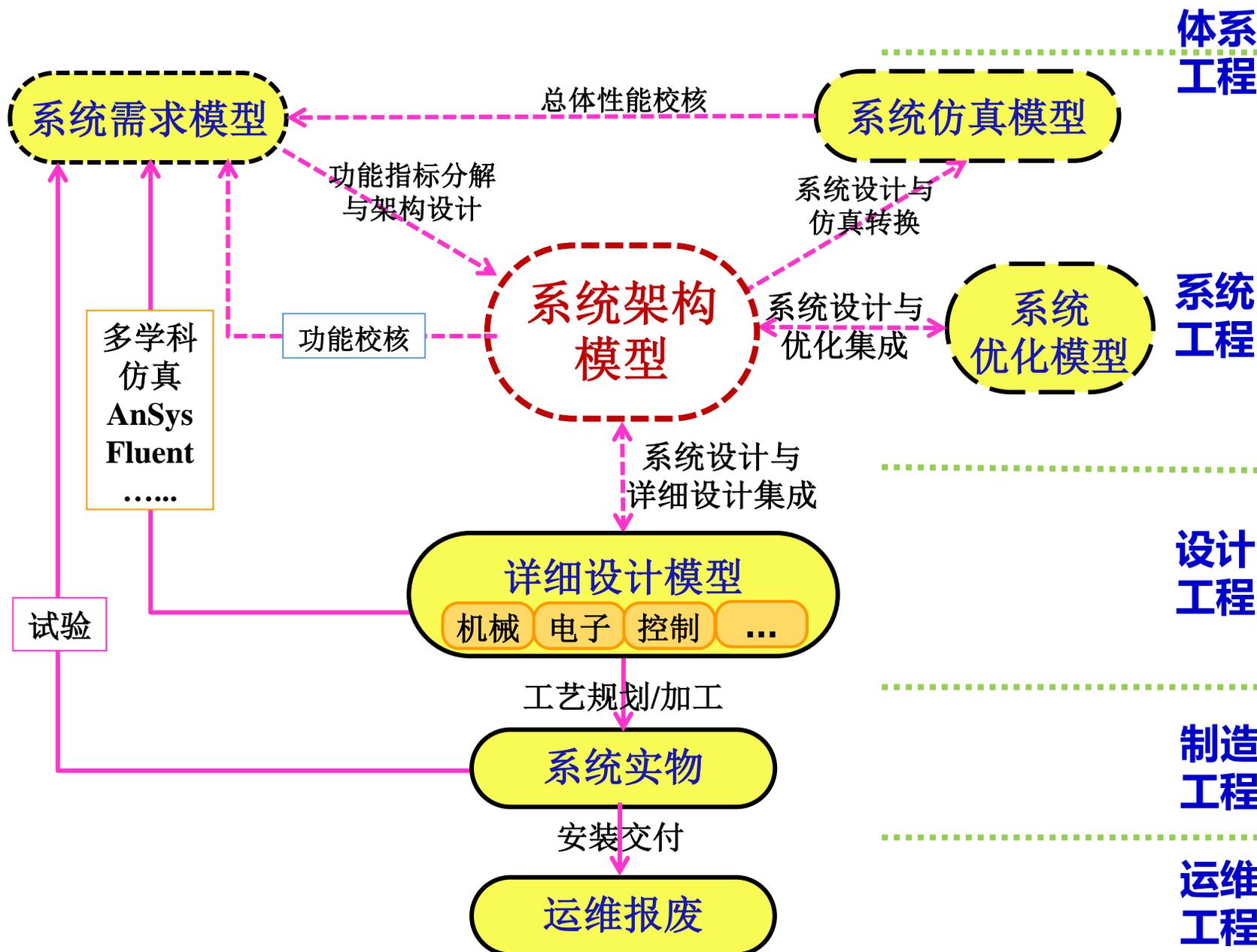
远期落地目标

6

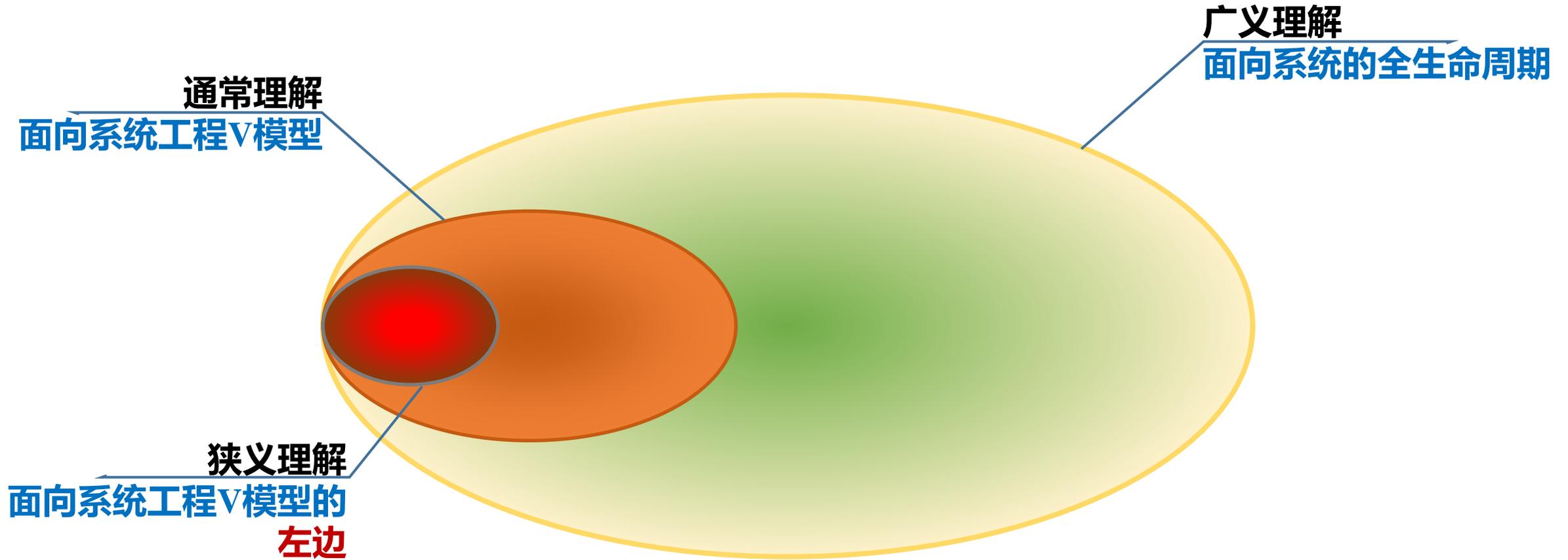
总结



基于MBSE数字化转型内容分析



MBSE的边界





The Model-Based Engineering (MBE) Diamond

A Framework for Digital Transformation

INCOSE International Workshop 2020

January 25, 2020

Daniel Seal
Senior Manager, PLM
Boeing Defense, Space & Security
daniel.w.seal@boeing.com

Copyright © 2020 Boeing. All rights reserved.

Approved for Public Release (RROI 19-00371-BDS)

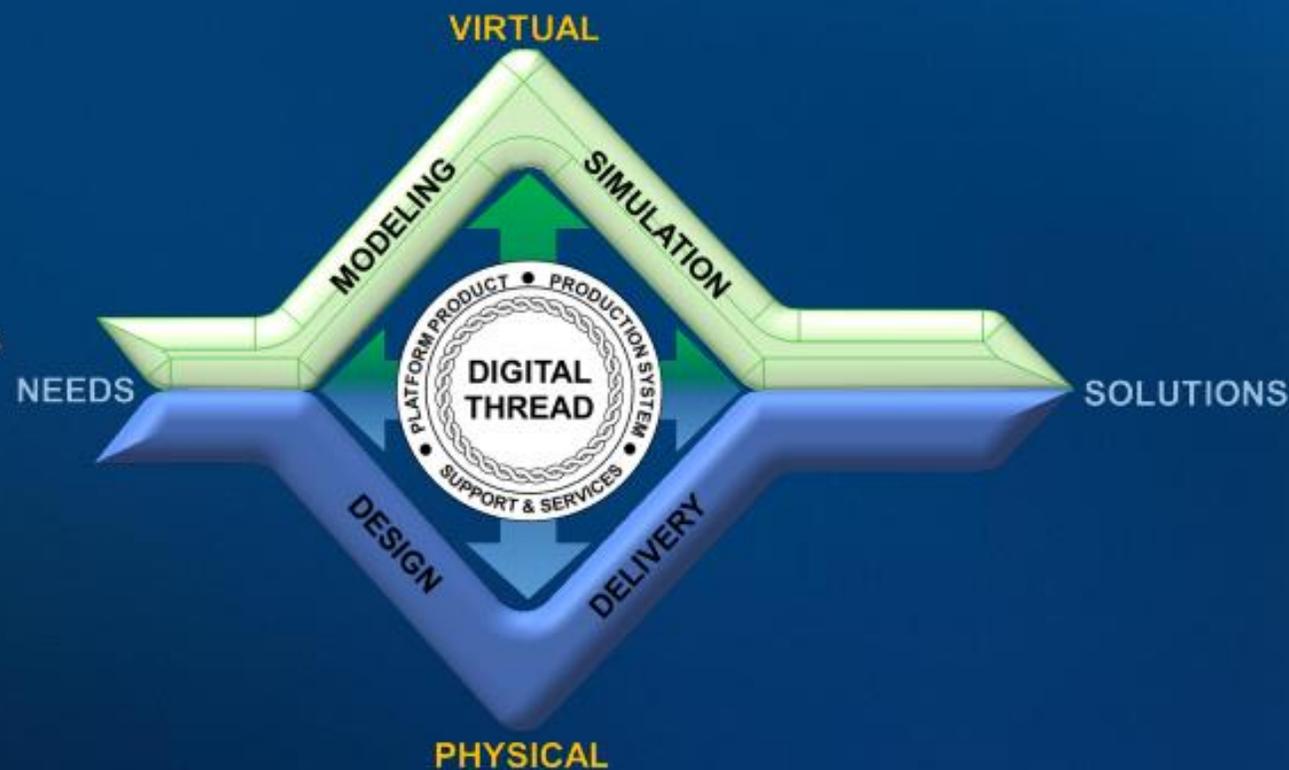


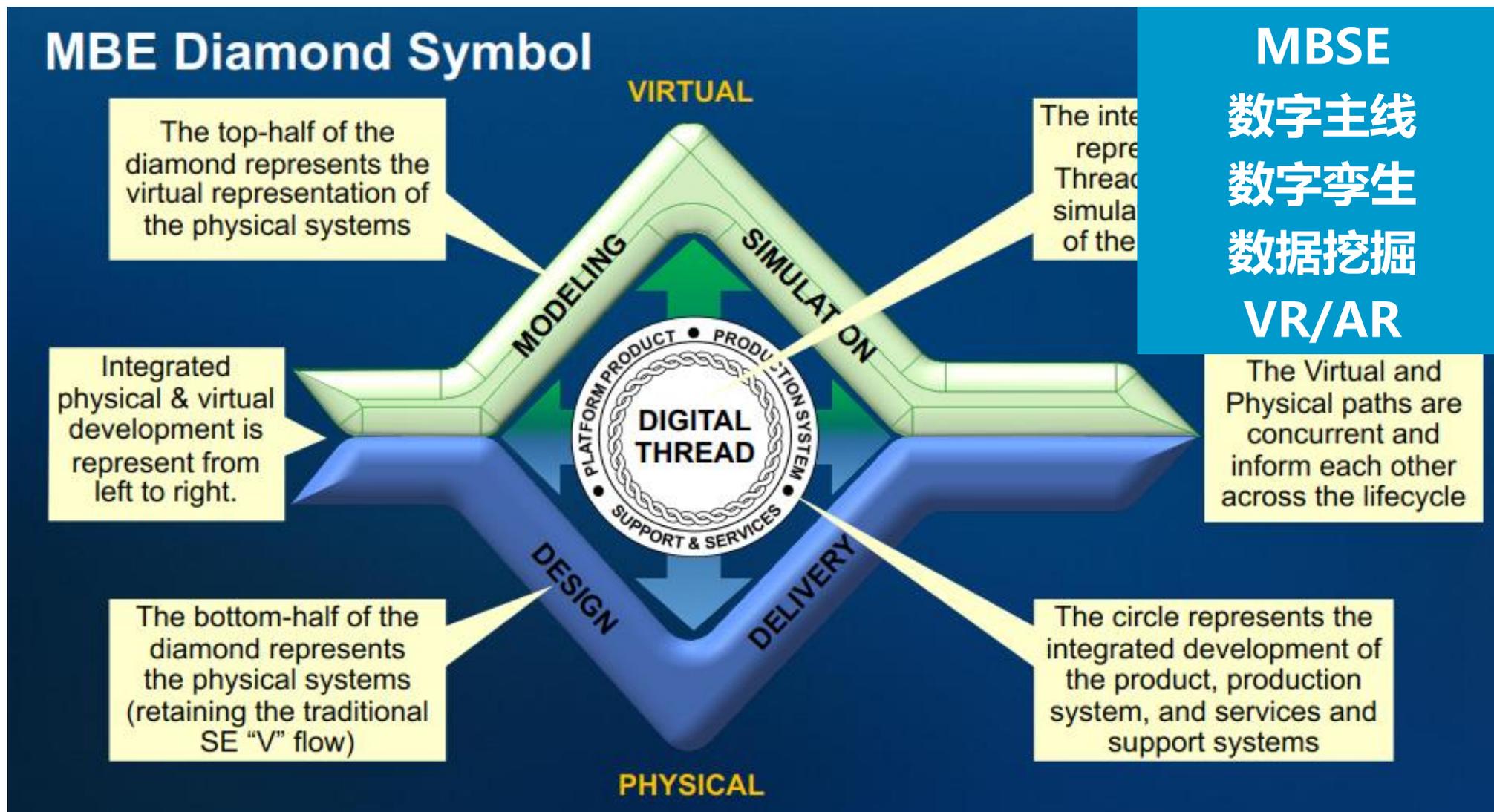
| 1



MBE Diamond Symbol - a Framework for MBE

- The bottom-half of the Diamond represents **Physical System** (retaining traditional SE “V” flow)
- The top-half of the Diamond represents the **“Virtual” Systems** (i.e. the virtual representation of the physical systems)
- The interior of the Diamond represents the **“Digital Thread”** linking models/simulations to the physical systems design





唯一数源、虚实同步、全生命周期、设计/制造/服务、反复迭代



1

系统工程与MBSE简介

2

数字化转型方案

3

初期落地应用

4

中期落地设想

5

远期落地目标

6

总结



1

数字化转型道路千万条，基于MBSE最为直接、省心省事

2

MBSE不仅是基于模型的表达，也支持基于模型的**智能驱动**，更是全生命周期**生态**

3

数字化转型落地应用是一个复杂的系统工程，必须顶层设计、全局统筹、分步实施……
需尽快从地上爬→→站立走→→飞快跑……

4

数字化转型落地应用需要时间、人员、经费的支持与积累；还需要耐心的等待……

5

未雨绸缪尽早国产自主可控方可使数字化转型**长治久安**



汇报结束，谢谢观看

联系方式：刘玉生

电邮：ysliu@cad.zju.edu.cn

电话：130 9378 1234（微信同号）