



AMESim 模型二次开发技术 在航空燃油系统仿真中的应用

中航工业集团信息技术中心
金航数码科技有限责任公司

www.avicit.co

m 演讲人: 王珺

| 2017 | 3月

CONTENT

01 基于系统工程的仿真验证

02 AMESim模型二次开发技术

03 燃油系统典型元件开发

04 系统动态特性仿真算例



CONTENT

01 基于系统工程的仿真验证

02 AMESim模型二次开发技术

03 燃油系统典型元件开发

04 系统动态特性仿真算例



基于系统工程仿真验证

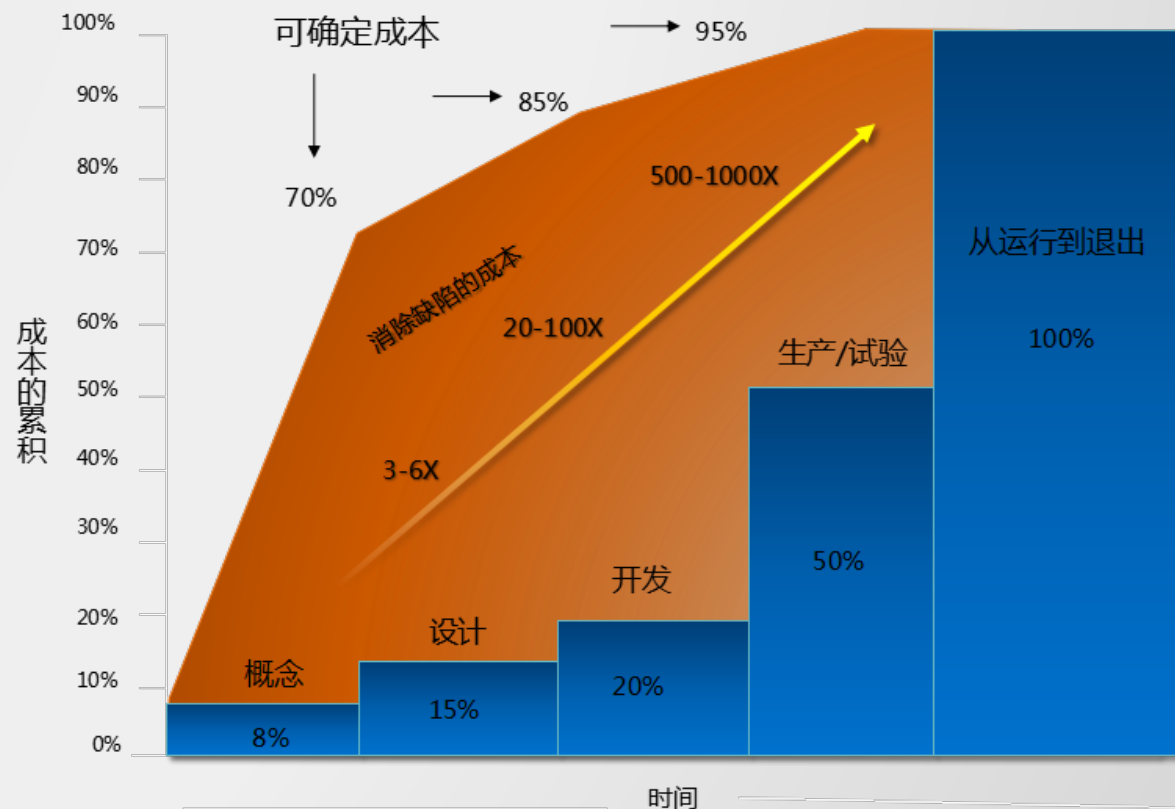
传统研制流程存在的问题

传统的设计及验证手段



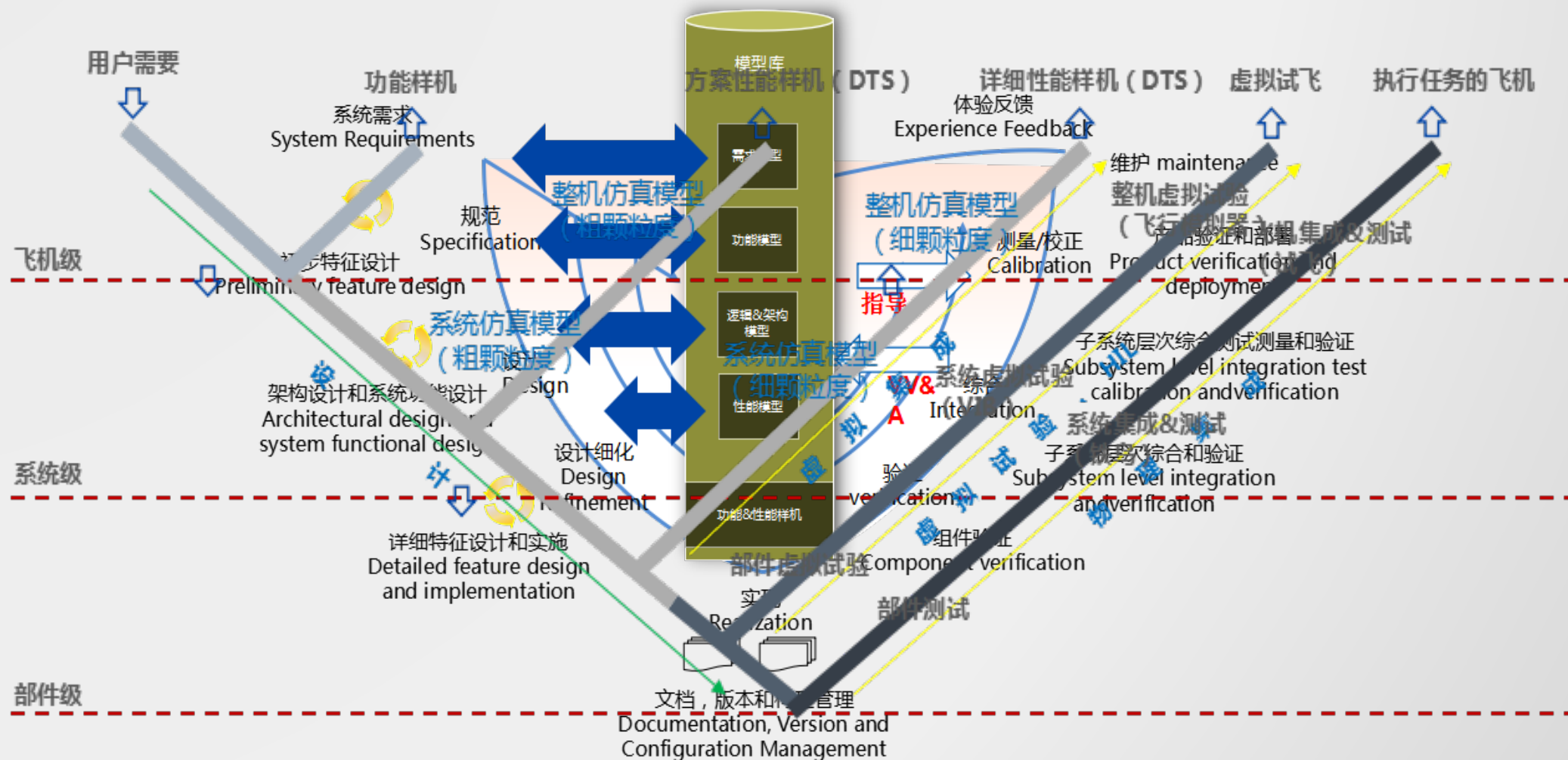
问题：

- ◆ 基于文档设计，自然语言描述，容易产生二义性
- ◆ 设计各个阶段过程的设计结果割裂
- ◆ 缺陷大多在后期发现，发现和修复成本高
- ◆ 试验滞后于设计，试验对象单一使得试验效率较低，试验结果离散
- ◆ 后期发现问题后优化和改进空间少



基于系统工程的仿真验证

基于模型的系统工程(MBSE)



CONTENT

01 基于系统工程的仿真验证

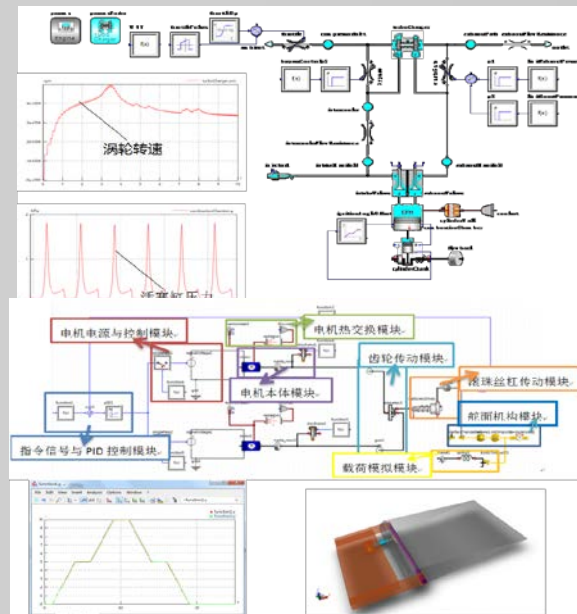
02 AMESim模型二次开发技术

03 燃油系统典型元件开发

04 系统动态特性仿真算例



应用案例



- ◆ 动力装置起动时序的设置和分析
- ◆ 飞控、机电系统中多能域/多学科统一建模与仿真
- ◆ ...

AMESim模型二次开发技术

模型二次开发理论基础—键合图理论(bond graph)

功率		基本元件类型		
		容抗类元件	感抗类元件	阻抗类元件
势	流			
流				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				
转				

线性关系

$$\begin{aligned} e(t) &= R_0 f(t) \\ e(t) &= \frac{1}{C_0} q(t) \\ f(t) &= \frac{1}{I_0} p(t) \end{aligned}$$

非线性关系

$$\begin{aligned} e &= \varphi_R(f) \\ e &= \varphi_C(q) \\ f &= \varphi_I(p) \end{aligned}$$

元件	无因果形式	因果形式	因果关系
Se	$Se \longrightarrow$	$Se \longrightarrow \dashv$	$e(t) = E(t)$
Sf	$Sf \longrightarrow$	$Sf \dashv \longrightarrow$	$f(t) = F(t)$
C	$C \longleftarrow$	$C \longleftarrow \dashv$	$e = \varphi_C \left(\int f(t) dt \right)$
		$C \dashv \longleftarrow$	$f = \frac{d}{dt} \varphi_C^{-1}(e)$
I	$I \longleftarrow$	$I \dashv \longleftarrow$	$f = \varphi_I \left(\int e dt \right)$
		$I \longleftarrow \dashv$	$e = \frac{d}{dt} \varphi_I^{-1}(f)$
R	$R \longleftarrow$	$R \dashv \longleftarrow$	$e = \varphi_R(f)$
		$R \longleftarrow \dashv$	$f = \varphi_R^{-1}(e)$

CONTENT

01 基于系统工程的仿真验证

02 AMESim模型二次开发技术

03 燃油系统典型元件开发

04 系统动态特性仿真算例



燃油系统典型元件开发

特殊元件模型开发—离心泵

真实离心泵，建模要求：

1. 考虑泵入口诱导轮**气蚀柔度**；

2. 离心泵水力试验**扬程**数据标定、拟合；

3. 离心泵水力试验**效率**数据标定、拟合；

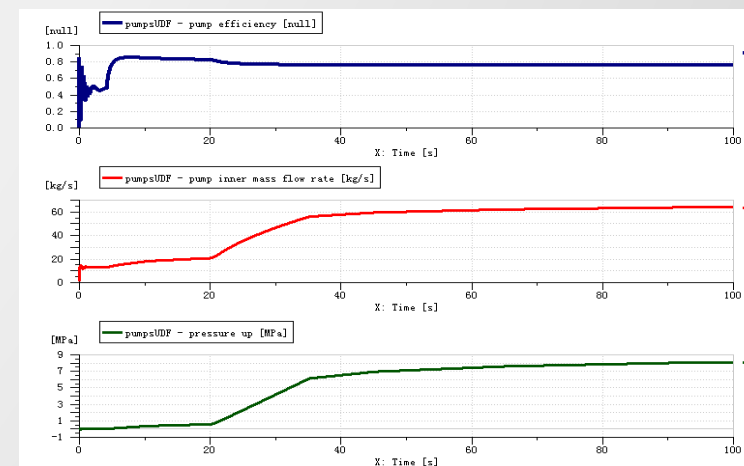
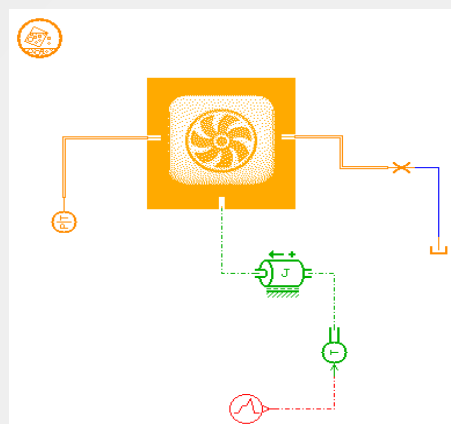
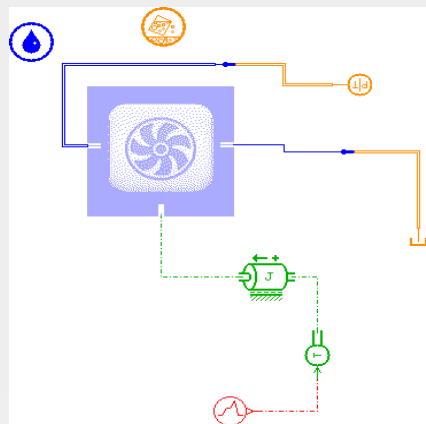
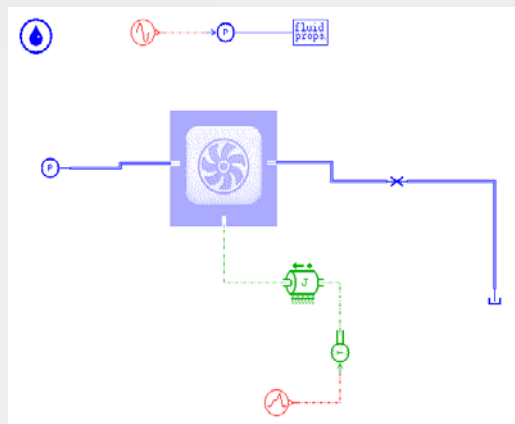
4. 考虑转动**惯量**、**扭矩**作用。

$$sC_{in} \cdot P_{in} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}$$

$$\Delta P = (a_1 \cdot Q_v^2 + a_2 Q_v n + a_3 n^2) \cdot \bar{\rho}$$

$$\eta_p = [b_1 (Q_v / n)^2 + b_2 Q_v / n + b_3] \cdot \alpha$$

$$M_p = \frac{\Delta P \cdot \dot{m}}{\rho \cdot n \cdot \eta_p}$$



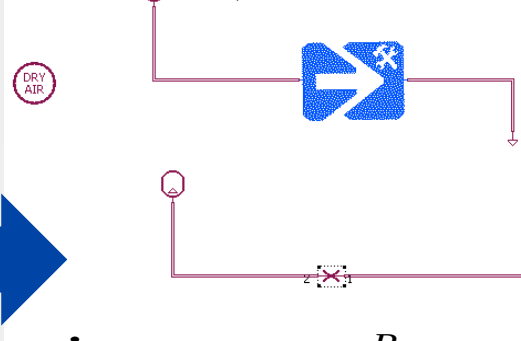
模型标定及修正—气动喷嘴

比对大量试验数据认为：不同的流量在喉部会形成厚度不同的附面层。当喷嘴喉径较小，附面层的厚度对喉部过流面积的影响逐渐显著，需对模型引入修正系数。

修正后的流量系数考虑了附面层的影响，在同样的入口压力、温度、流量条件下，修正公式得到的流量系数偏小，更符合真实情况。如果用普通经典公式，流量系数有时甚至会大于1.0。

修正后的标定模型

$$\dot{m} = A_t \cdot \Gamma(k) \cdot C_f \frac{P_{in}}{\sqrt{RT_{in}}} \cdot (0.9985 - 3.412 \cdot (\frac{1}{\text{Re}})^n)$$



$$\dot{m} = A_t \cdot \Gamma(k) \cdot C_f \frac{P_{in}}{\sqrt{RT_{in}}}$$

软件自带流量公式

库函数调用

[illegible]

External Variables

NOZZLE_RE_CORRELATION

For variables which have a direction associated with them, a positive sign is in the direction of the arrow.

Diagram illustrating the variables and their directions for the NOZZLE_RE_CORRELATION model:

- Left side (Inlet):
 - Green arrow pointing left: J/s
 - Green arrow pointing left: g/s
 - Red arrow pointing left: K
 - Red arrow pointing left: Pa
- Right side (Outlet):
 - Green arrow pointing right: J/s
 - Green arrow pointing right: g/s
 - Red arrow pointing right: K
 - Red arrow pointing right: Pa

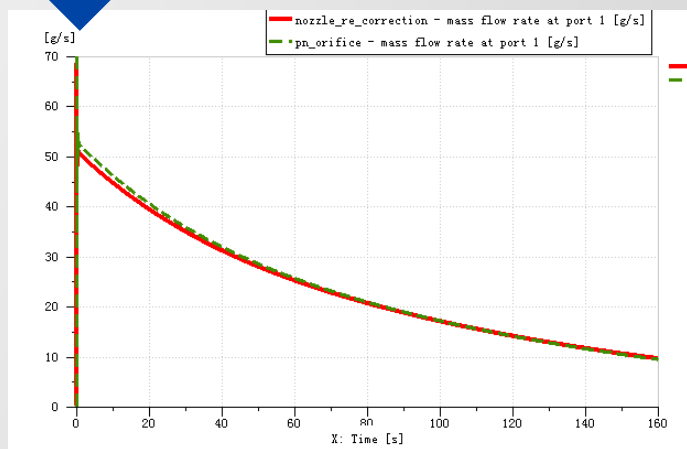
Buttons: Help, Close

External Variables

PNOR001

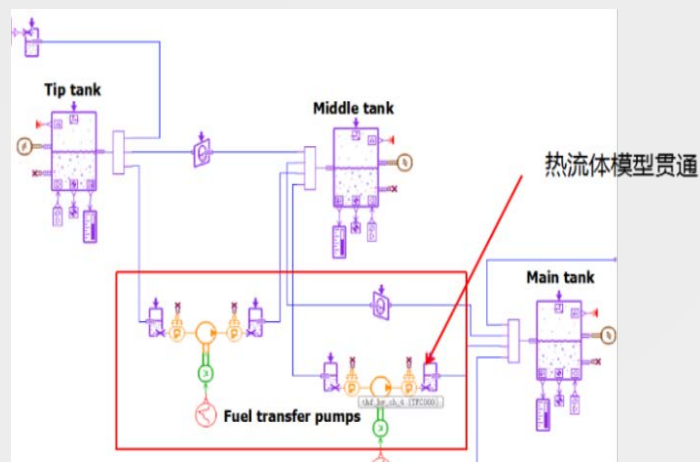
pneumatic orifice (constant Flow coefficient Cq)

For variables which have a direction associated with them, a positive sign is in the direction of the arrow.



燃油系统典型元件开发

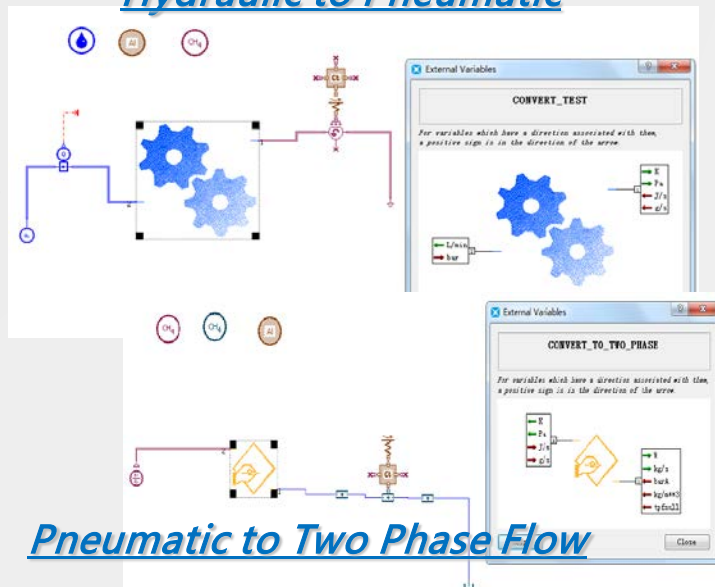
模型间接口处理



底层守恒方程同为热流体模型

同类模型间接口匹配

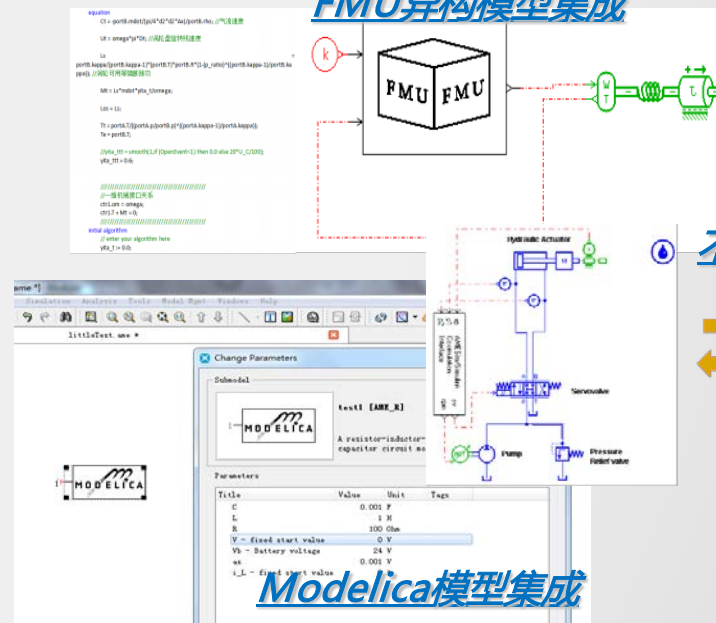
Hydraulic to Pneumatic



底层守恒方程同为不可压或者可压缩气动模型

不同类模型间接口匹配

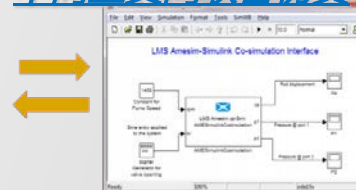
FMU异构模型集成



异构模型的集成，包括：Modelica模型集成、FMU模型集成以及不同工具间的联合仿真

异构型间接口匹配

不同工具间联合仿真



CONTENT

01 基于系统工程的仿真验证

02 AMESim模型二次开发技术

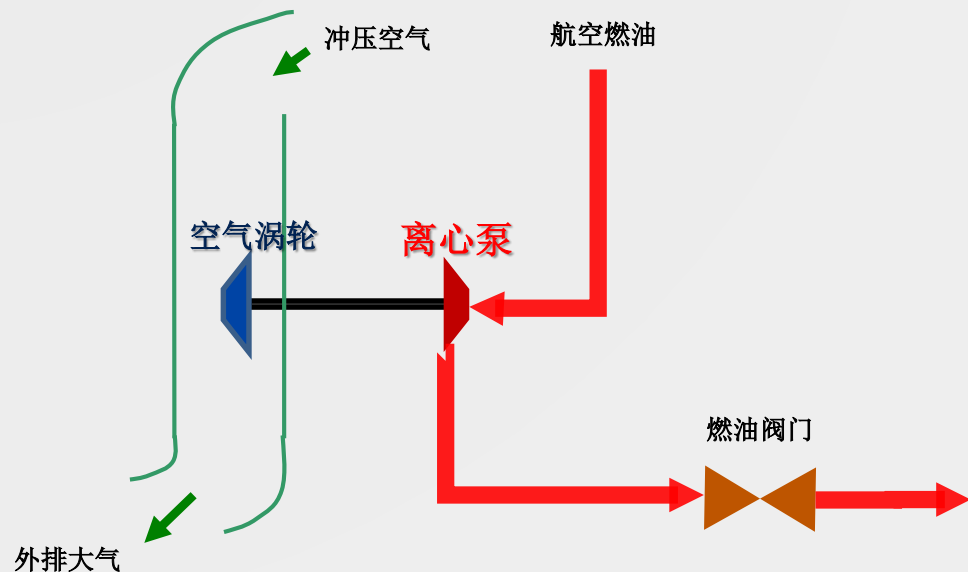
03 燃油系统典型元件开发

04 系统动态特性仿真算例



燃系统动态特性仿真算例

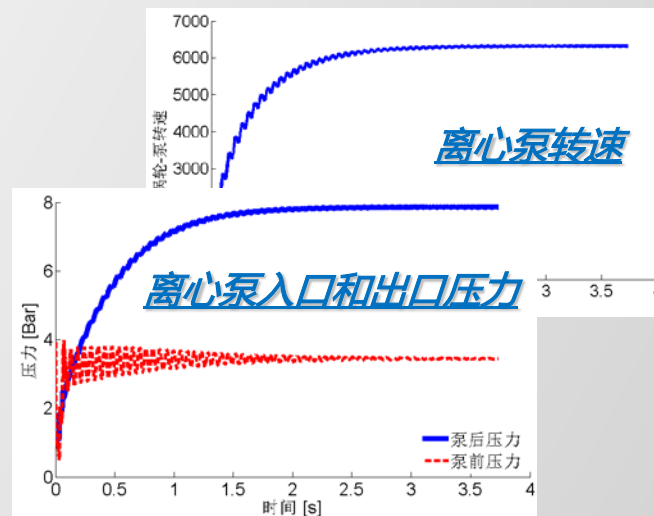
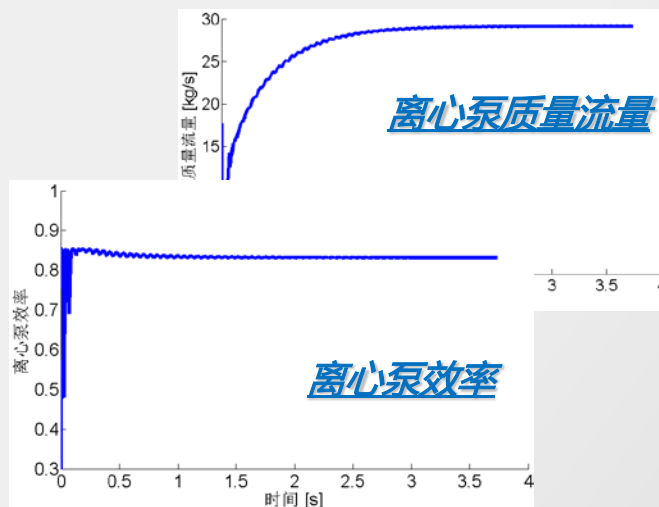
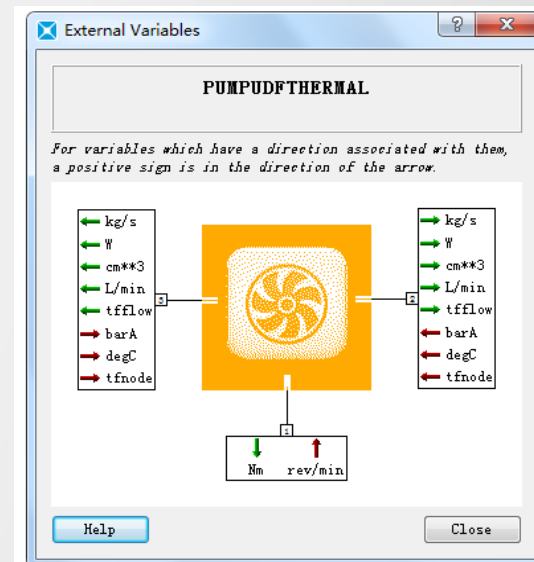
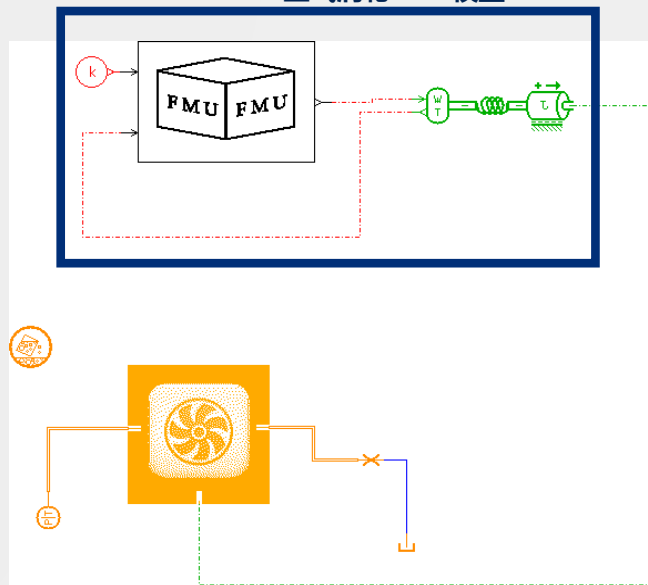
模型间接口处理



空气涡轮-离心泵系统是航空燃油系统中一种典型的动力装置，可将冲压空气的能量转化为泵的扬程。

离心泵模型基于热流体守恒方程自定义开发，空气涡轮基于Modelica语言开发并通过FMI接口标准集成，同时基于一维转动因果关系对模型间接口关系进行处理。

Modelica空气涡轮FMU模型



金航数码科技有限责任公司(中航工业信息技术中心)



立足中航工业

- 服务中航工业产业信息化
- 提供全面的、专业的技术支持，发挥产业信息化的战略支撑作用



面向装备制造业

- 致力于成为信息化解决方案提供商
- 提供覆盖设计、生产、服务等各领域的信息化整体解决方案
- 提供完备的MBSE全流程解决方案



服务国防

- 基于装备的全生命周期管理
- 面向军队，提供基于装备的全生命周期管理和综合保障信息化解决方案

A large commercial airplane is shown from a low angle, flying away from the viewer towards the horizon. The aircraft is white with dark wingtips and is positioned in the upper right quadrant of the frame. The sky is filled with dramatic, grey clouds. A solid blue horizontal band spans the width of the image, partially obscuring the lower part of the airplane. The text "Thank You" is written in white, bold, sans-serif font on the left side of this blue band.

Thank You
