

ICSC 2019

Core Competence Enhanced by MBD



IDAJ CAE Solution Conference

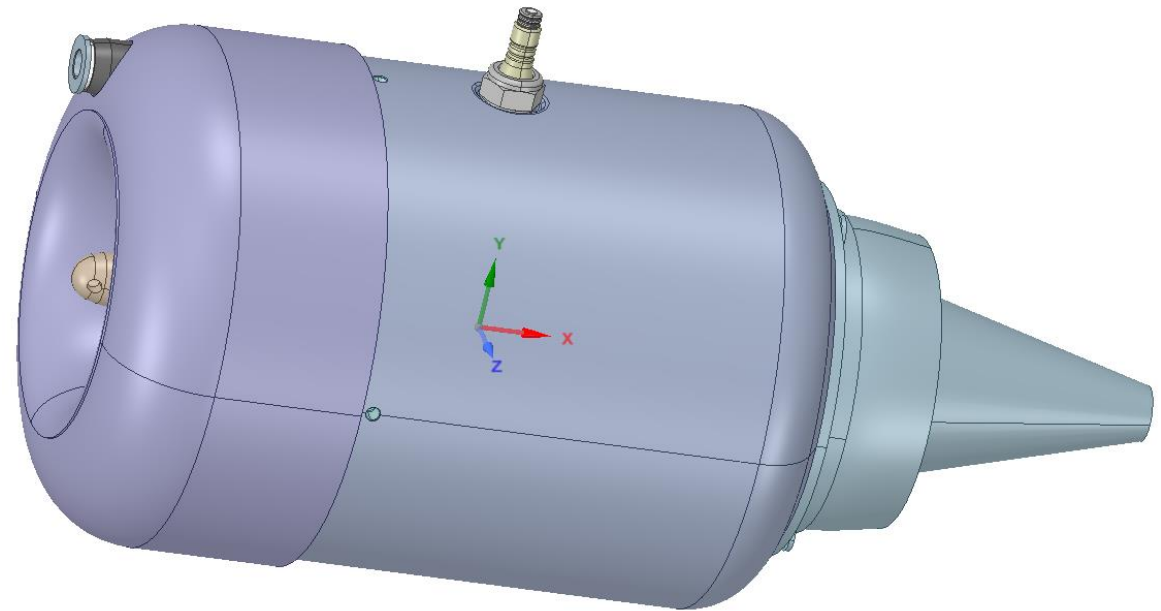
GT-SUITE 在燃气轮机数值模拟的应用

高苑科技大学 蔡欣倫

IDAJ中国 钟修林 李斌 刘建雄

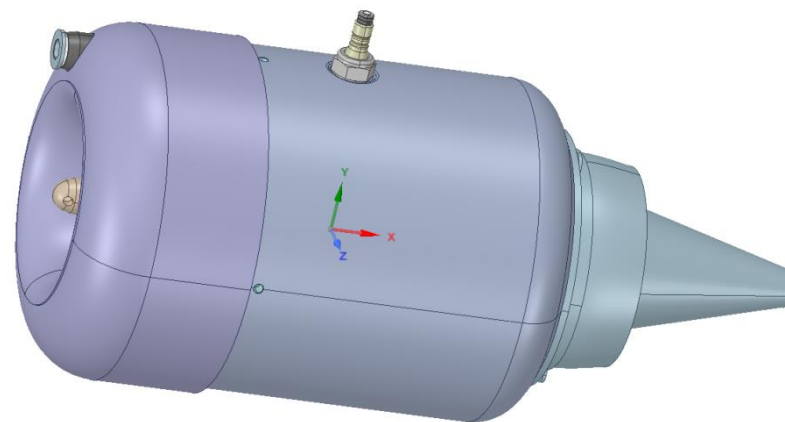
目录

- 研究背景
- 已知条件及输入
- 模型搭建
- 计算及调整
- 小结



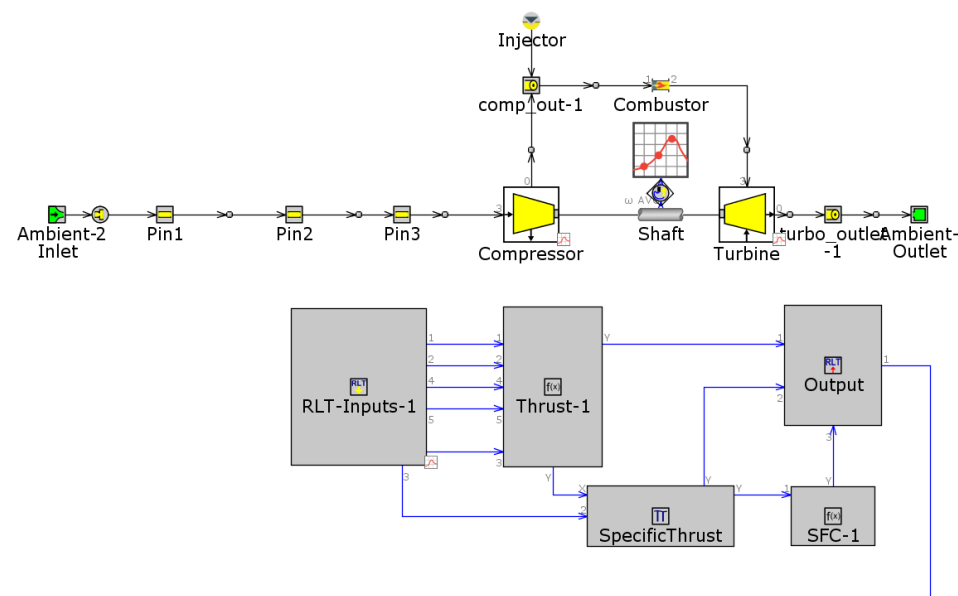
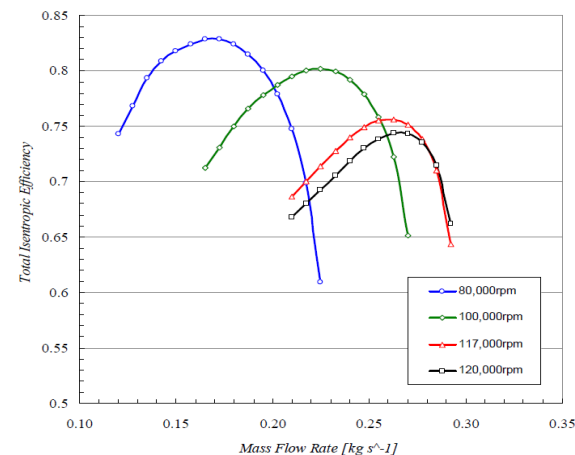
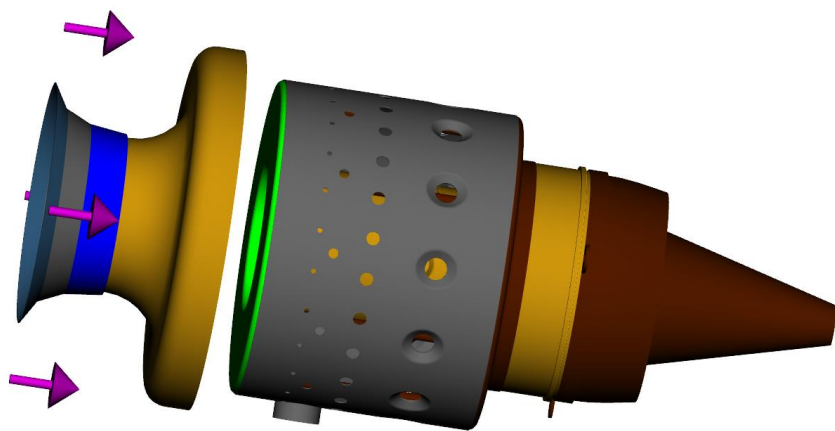
研究背景

- 研究对象：某款小型燃气轮机
 - 应用场所：无人机、导弹、分布式发电设备、微电网、辅助动力、休闲用途等
- 燃气轮机开发成本高、开发周期长、要求严格
- 三维仿真周期长、不能对系统方案进行整体评估
- GT-Suite优势：
 - ✓ 丰富零部件模块库、工质库、还支持自定义
 - ✓ 可直接处理三维数模(GEM3D)
 - ✓ 建模灵活、计算速度快、结果丰富、后处理能力强
 - ✓ 自带优化及DOE功能
 - ✓ 支持与simulink及第三方工具联合仿真



模型架构

- GEM3D离散几何尺寸
- 考虑风压系数的进口边界
- 基于MAP的压气机模型
- 0维燃烧模型



燃烧模型

基于时间常数的燃烧模型：

➤ 计算燃油燃烧率

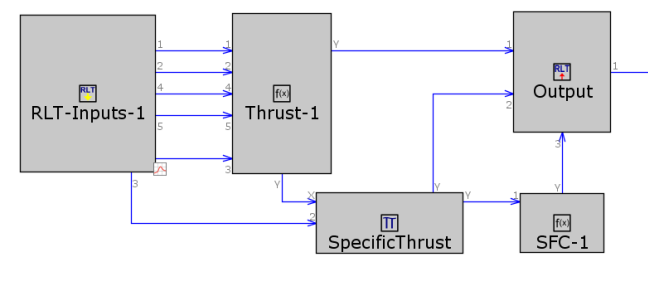
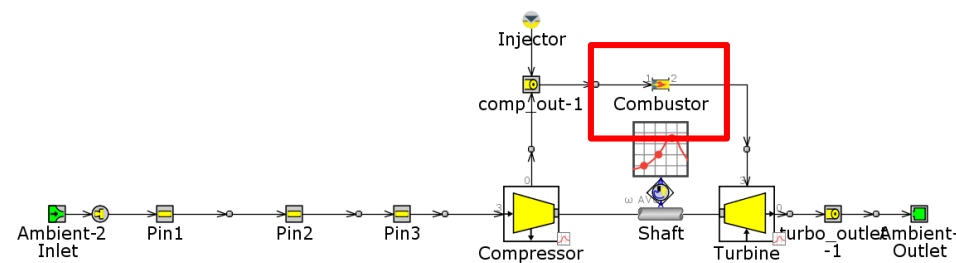
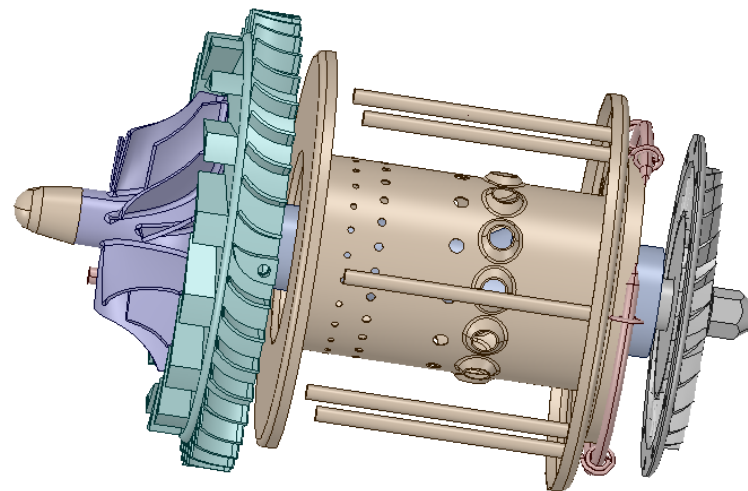
$$frac = \frac{dt}{(1E - 6 * tcon + dt)}$$

Where:

frac = fraction of fuel burned

dt = flow solver time step size in units of seconds

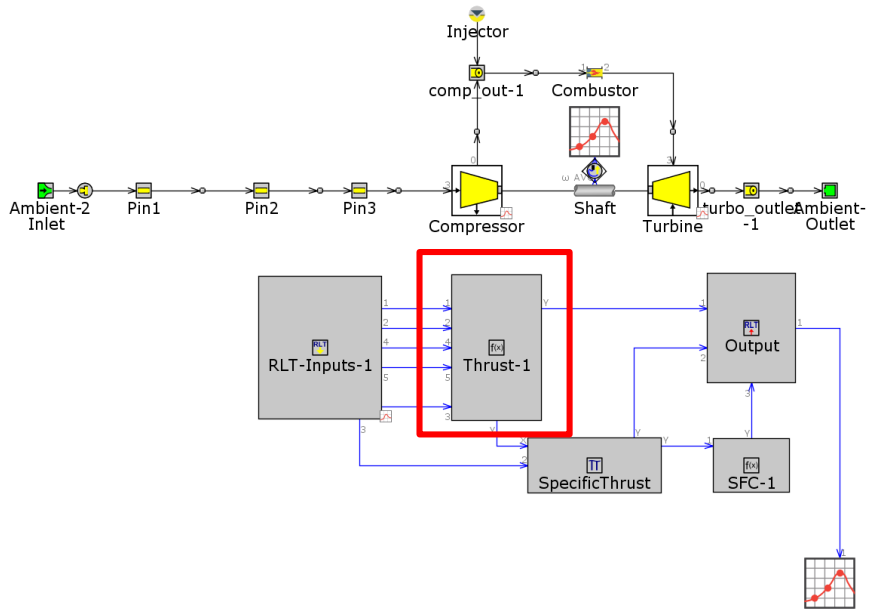
tcon = Combustion Time Constant in units of second



燃气轮机推力计算

推力=空气流量*（ 出口流速-进口流速 ）+出口面积（ 出口压力-进口压力 ）

Main Terms Signal Setup Plots			
Attribute		Object Value	
Equation		=Mdot*(Vout-Vin)+(46.8/1000)^2/4*pi()*(Pout-Pin)	
Out of Range Flag		error_message	
A...	Variable Description	Variable Name	Wireless S or RL
0			
1	Inlet Velocity	Vin	
2	Outlet Velocity	Vout	
3	Mass Flow Rate	Mdot	
4	Inlet Pressure	Pin	
5	Outlet Pressure	Pout	



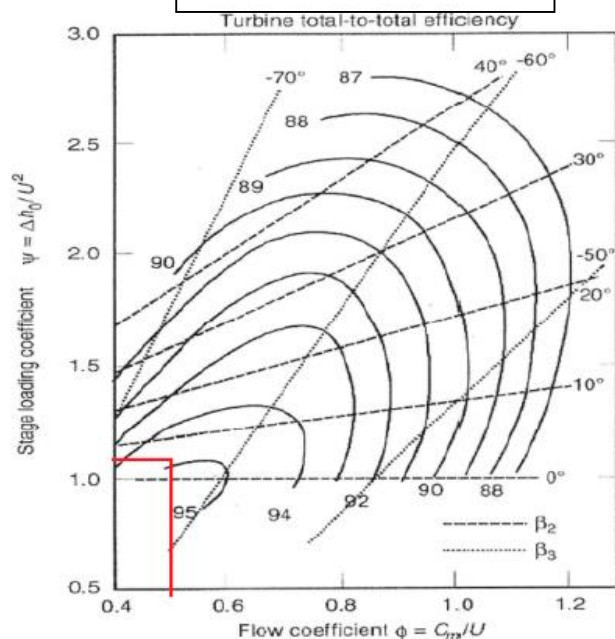
模型建立

➤ 燃气轮机涡轮与常规车用涡轮存在很大差异

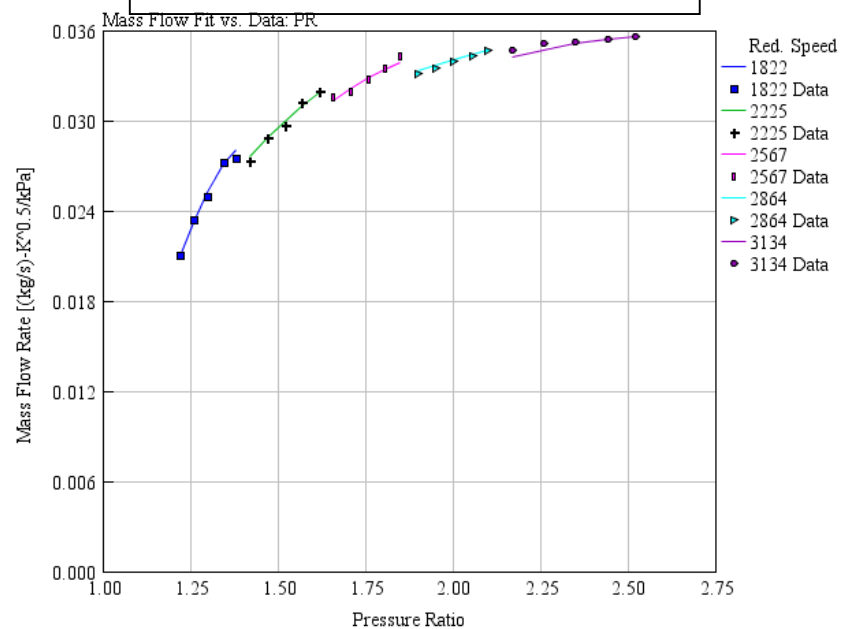
➤ GT常规涡轮模型需要一张MAP

➤ Axial Turbine 模型MAP取得不易并需要与Compressor 匹配

涡轮设计工况点



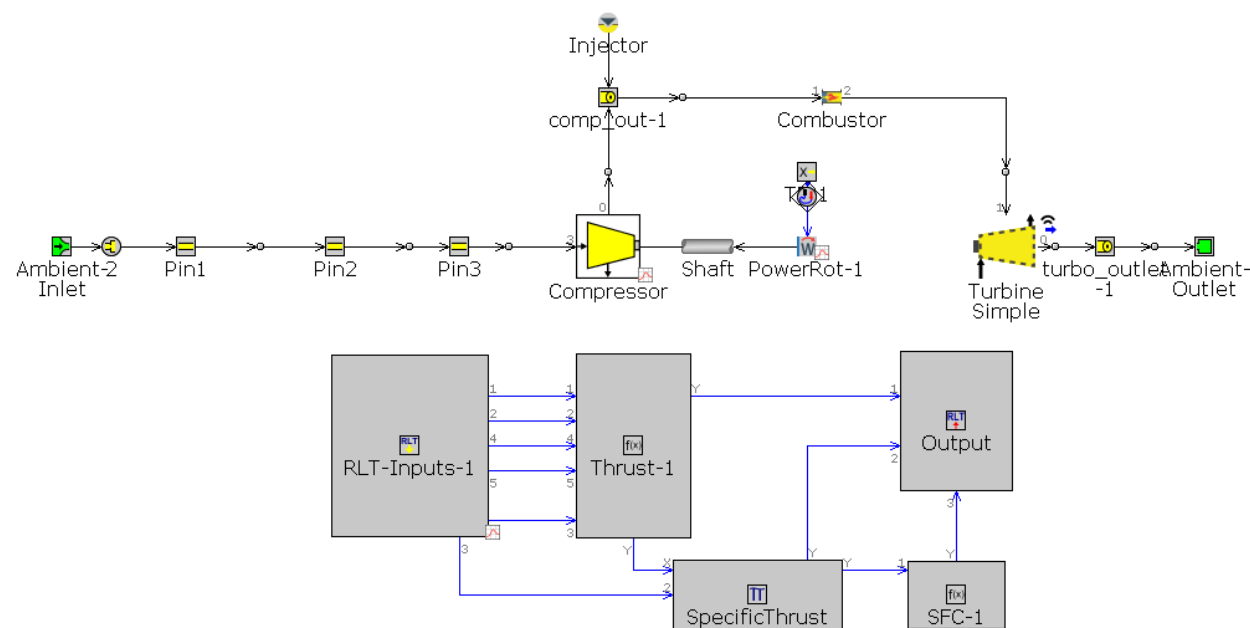
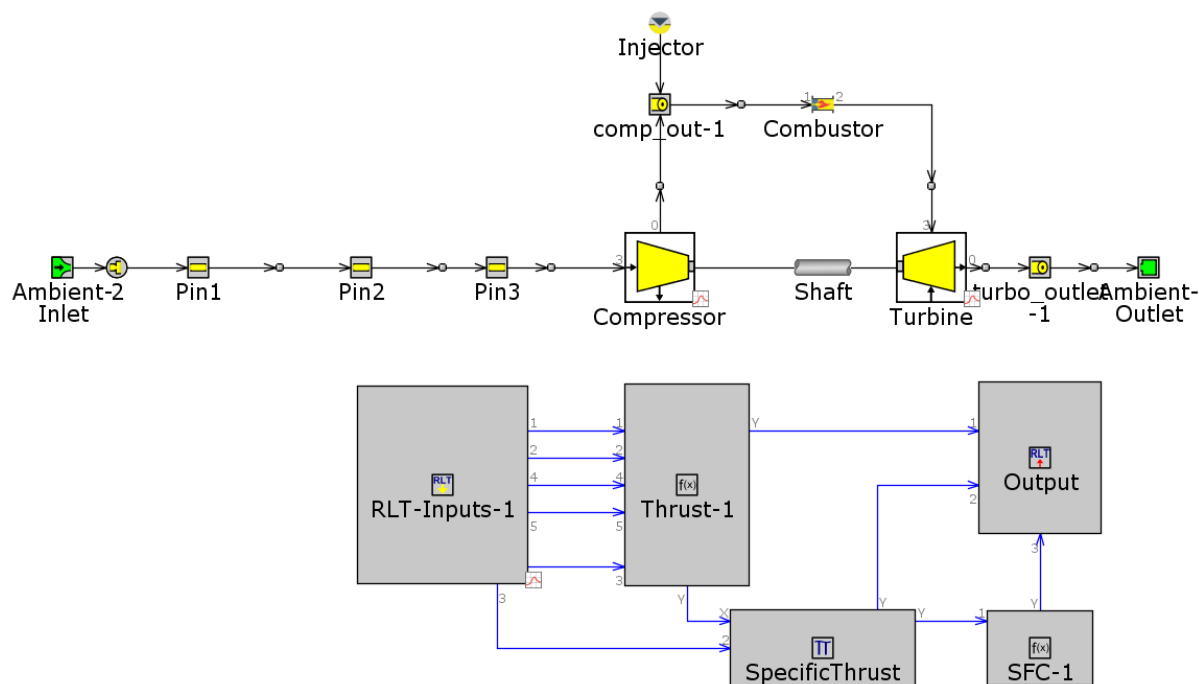
GT-SUITE涡轮MAP



模型建立

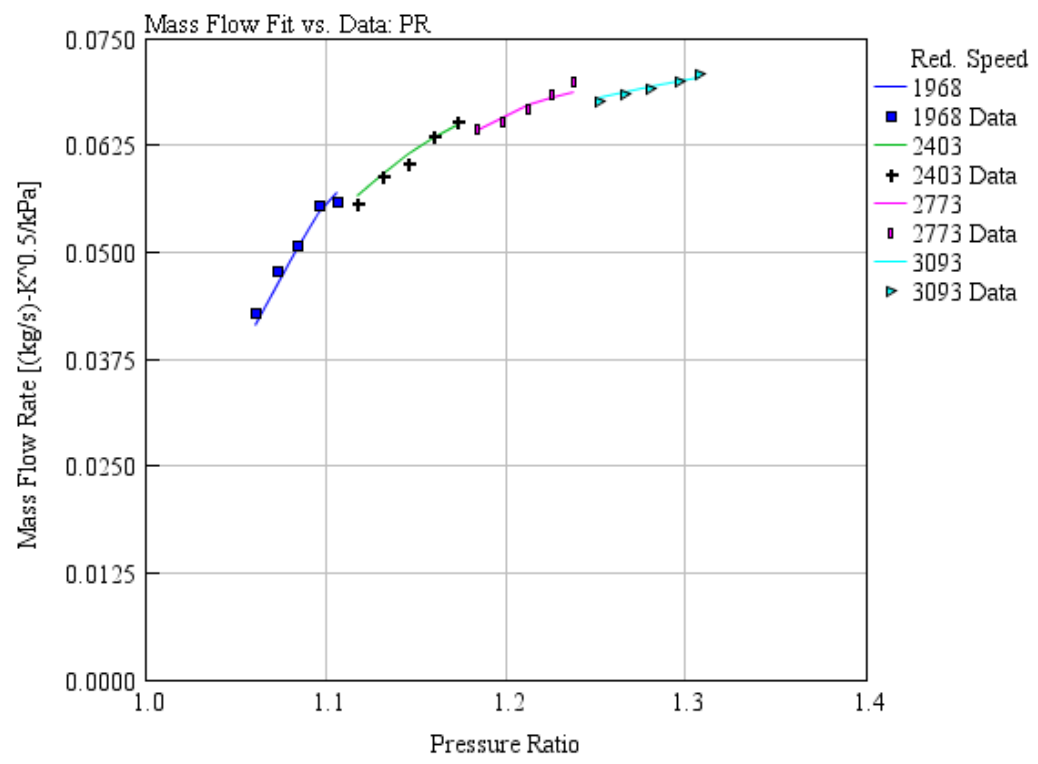
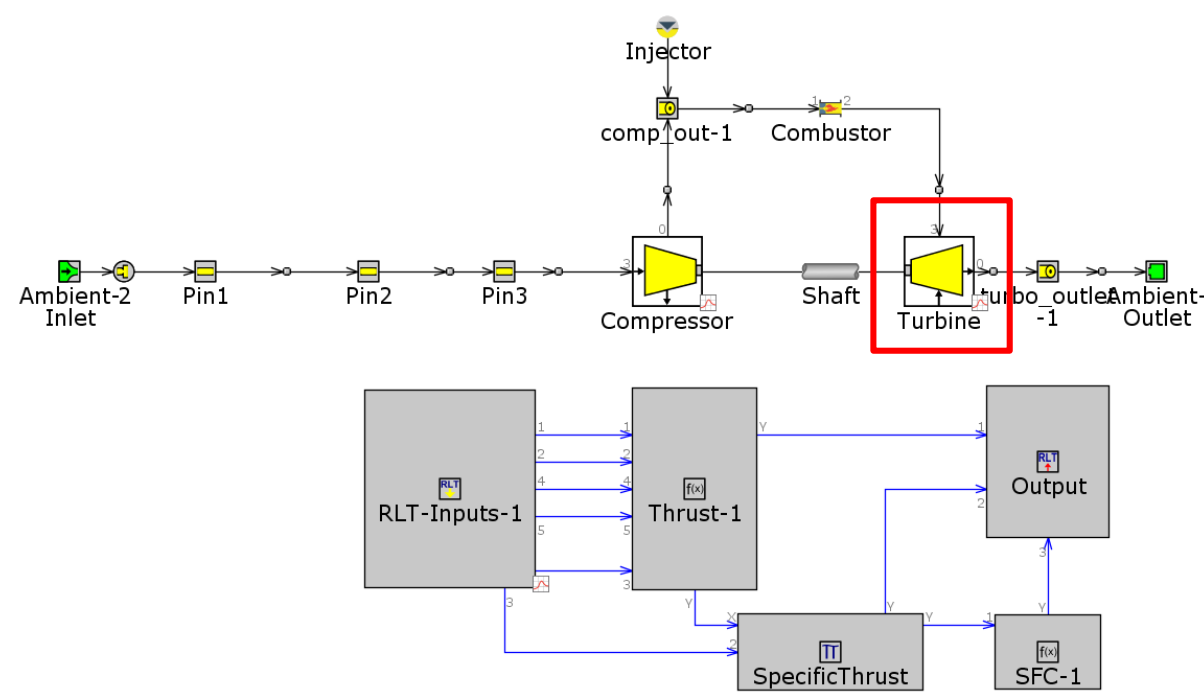
➤使用两种方案建立涡轮模型

1. 使用相似MAP进行缩放
2. 使用简化涡轮模型



模型建立：方案1

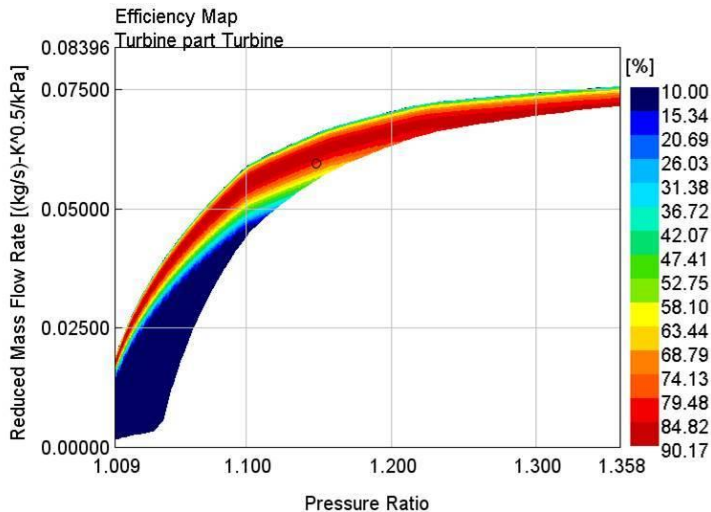
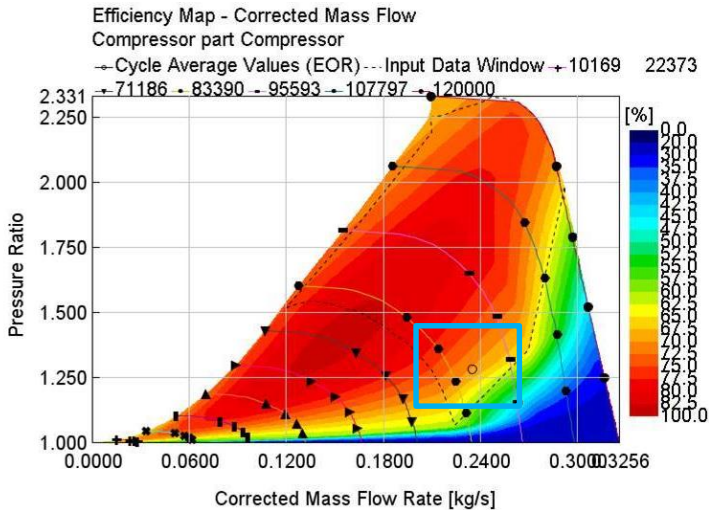
根据压气机流量范围，选择一款规格接近的涡轮
调整涡轮转速缩放系数和流量缩放系数对涡轮进行缩放



计算结果：方案1

主要计算结果：

参数	设计指标	仿真结果
推力 (N)	75	56.6
转速 (kRPM)	117	116.6
进气流量 (kg/s)	0.22	0.219
增压比	2.2	2.43
涡轮进口温度 (°C)	650	687
压气机效率 (%)		70
涡轮效率 (%)		66

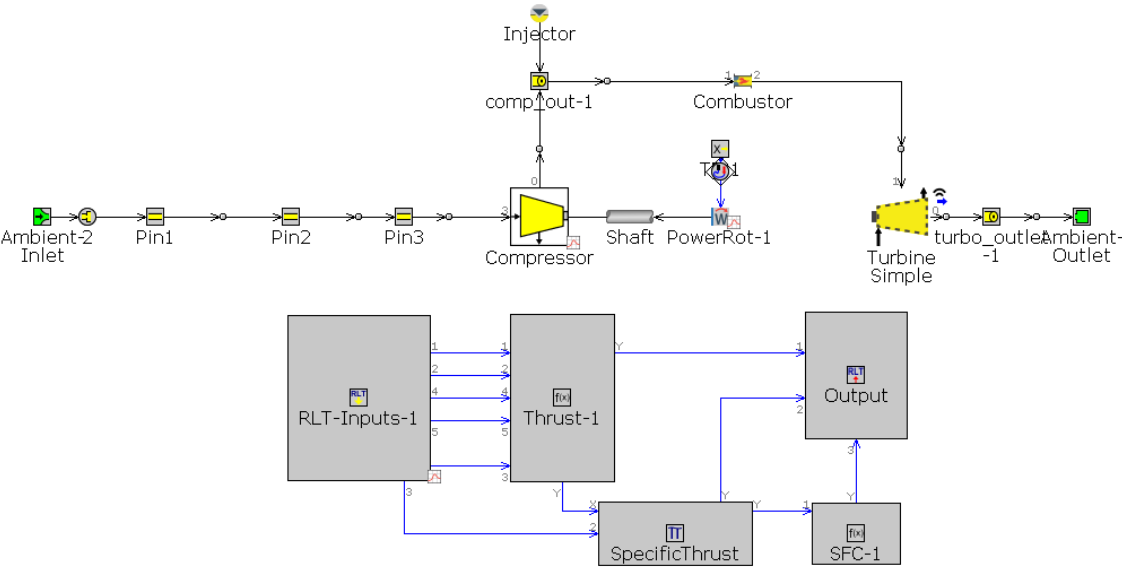


模型建立：方案2

使用TurbineSimple模块建立简易涡轮模型

输入：涡轮流通直径、涡轮效率

压气机端：提供涡轮输出功率边界



SpeedBoundaryRot

✓ Main ✓ Advanced Plots		
Attribute	Unit	Object Value
Imposed Speed	kRPM	117...
Initial Angular Position	deg	0...

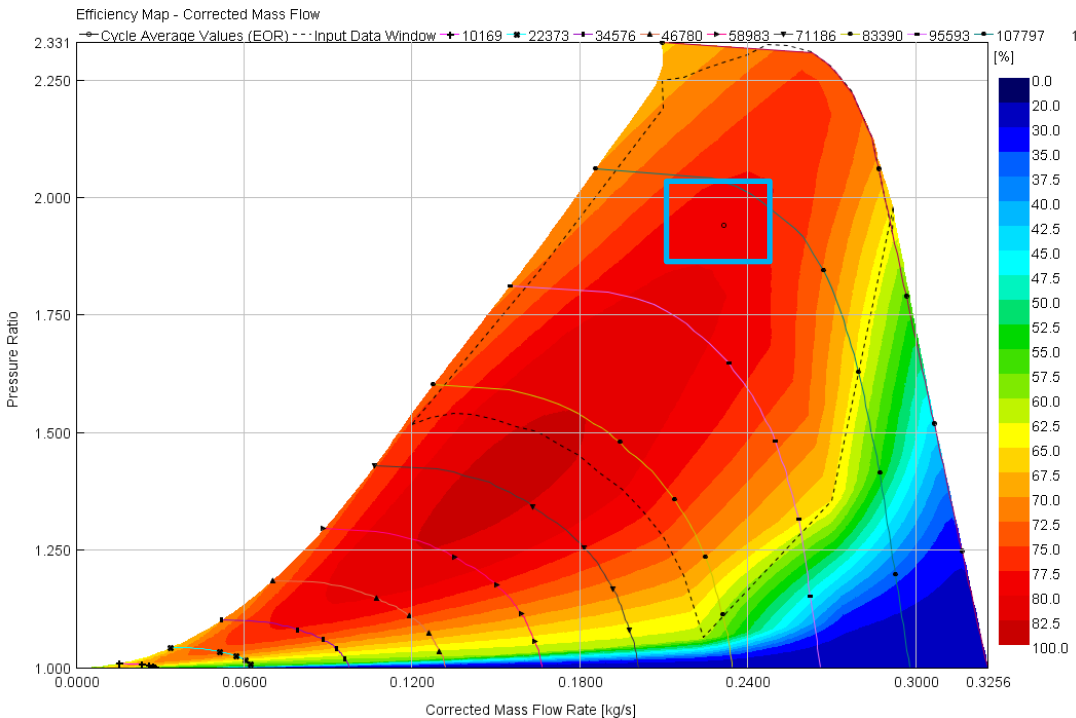
TurbineSimple

✓ Main ✓ Performance Definition ✓ Options Plots		
Attribute	Unit	Object Value
Orifice Flow & Constant Efficiency		
Turbine Orifice Diameter	See ...	[T_od]...
Turbine Efficiency	See ...	[T_eff]...
Wastegate Area Fraction for Entry 1		def...
Orifice Solution Type		simple
Damping Factor (Simple Mode Only)		def...

计算结果：方案2

主要计算结果：

参数	设计指标	仿真结果
推力 (N)	75	80.23
转速 (kRPM)	117	108.47
进气流量 (kg/s)	0.22	0.24
增压比	2.2	2.02
涡轮进口温度 (°C)	650	808.9
压气机效率 (%)		77.8
涡轮效率 (%)		63.9



结论

- 使用GT-SUITE软件搭建燃气轮机1D仿真模型，计算燃气轮机工作过程，开展燃气轮机设计及优化
 - 涡轮、压气机匹配 ○几何尺寸优化 ○后燃烧室设计
- 针对燃气轮机动力系统，GT-SUITE可以搭建不同层级的模型：
 - 基于零件测试数据的模型 (方案1)：适用已有基本参数的情况下的系统能力预测以及匹配计算
 - 基于零件设计要求的模型 (方案2)：适用于概念阶段方案评估和能力预测
- 概念设计优化定案后，将运用CSI CONVERGE，进行各组件优化，及全尺寸发动机的CFD分析与性能评测。

GT-SUITE在航空领域的应用

航空发动机的设计流程

总体参数的确认

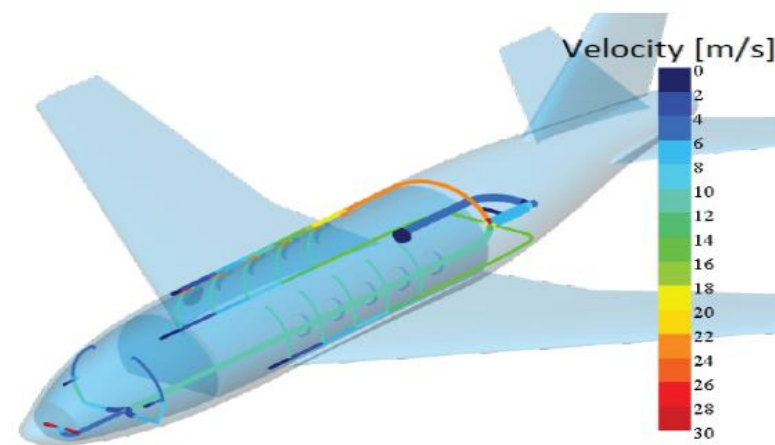
- 飞机的所需的推力和流量
- 总体计算压气机压比，燃料量，进气流量，涡轮进口温度等关键参数

部件设计及其他系统布局

- 压气机、燃烧室、涡轮、轴承等部件设计
- 密封系统、润滑及冷却系统、燃油系统、放气回路等

部件及系统匹配和控制系统

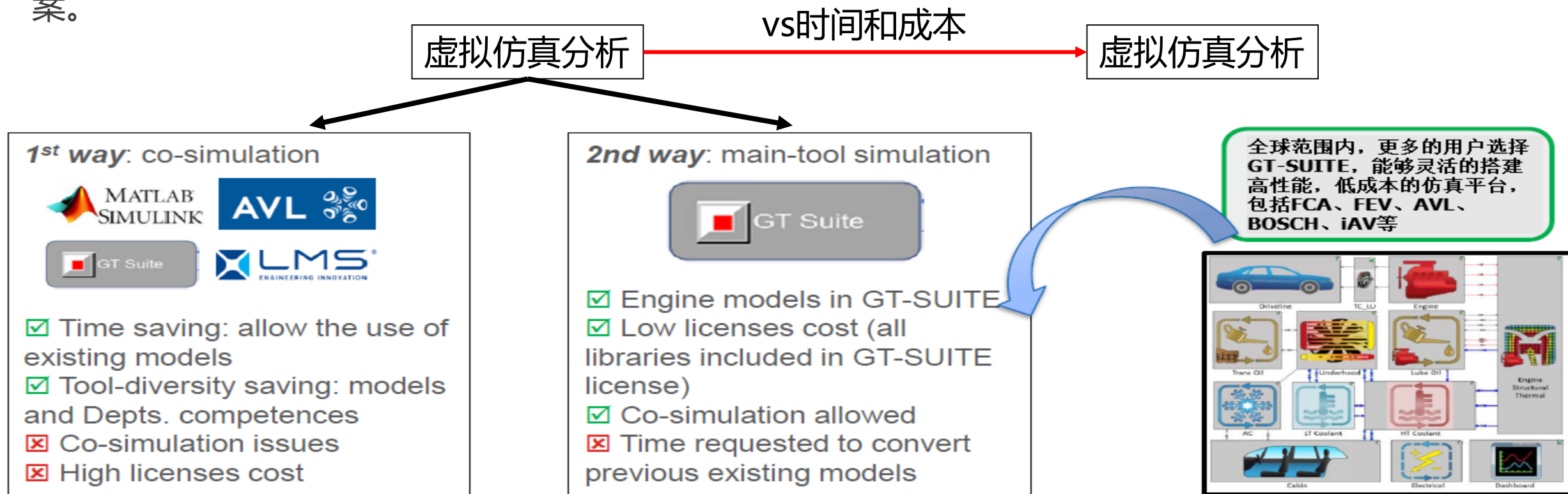
- 低压压气机和低压涡轮、进气道和尾喷管等的匹配
- 防止发动机停车和喘振
- 意外故障的自动处理



传统航空发动机研制采用“设计-试验-修改设计-再试验”反复迭代的串行模式，而先进仿真技术可实现从**“传统设计”**到**“预测设计”**的模式变革，有效降低研制风险、成本及周期

GT-SUITE仿真软件

GT-SUITE提供了一套完整的经过验证的组件库，用于模拟部件及系统**流体、流动、热力、机械、电气、磁、化学和控制**的特性。这种深度物理建模方式利于输出从组件到系统级别的跨多个学科的解决方案。



GT-SUITE 在航天航空领域上的应用

作为**0D/1D/3D**多物理CAE系统仿真软件，GT-SUITE使航空航天工程师能够快速解决设计和建模方面的挑战。

- 集成系统
- 热管理系统
- 多体力学
- 推进系统
- 流体与液压系统



- 环境控制
- 燃油系统
- 起落架
- 低温系统
- 电池及电路系统

航空航天领域

GT-SUITE 应用：ECS

环境控制系统（ECS）：

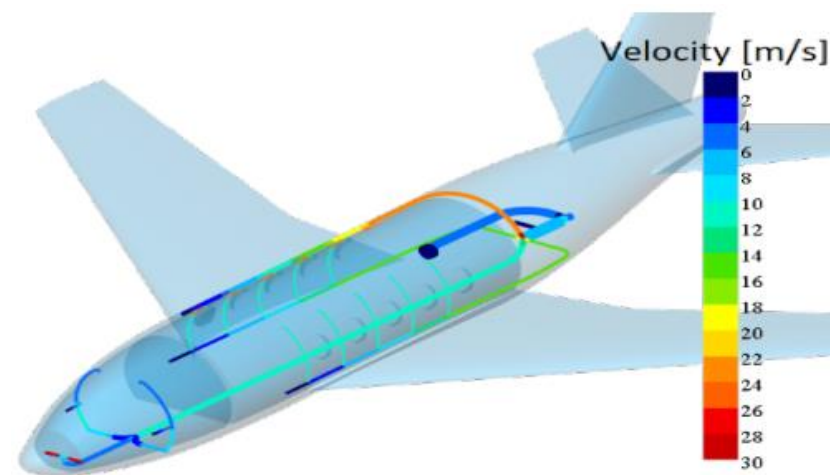
完整的ESC包括空气分配系统、液路循环和热量交换

三维CAD快速高效地转换为系统级仿真模型

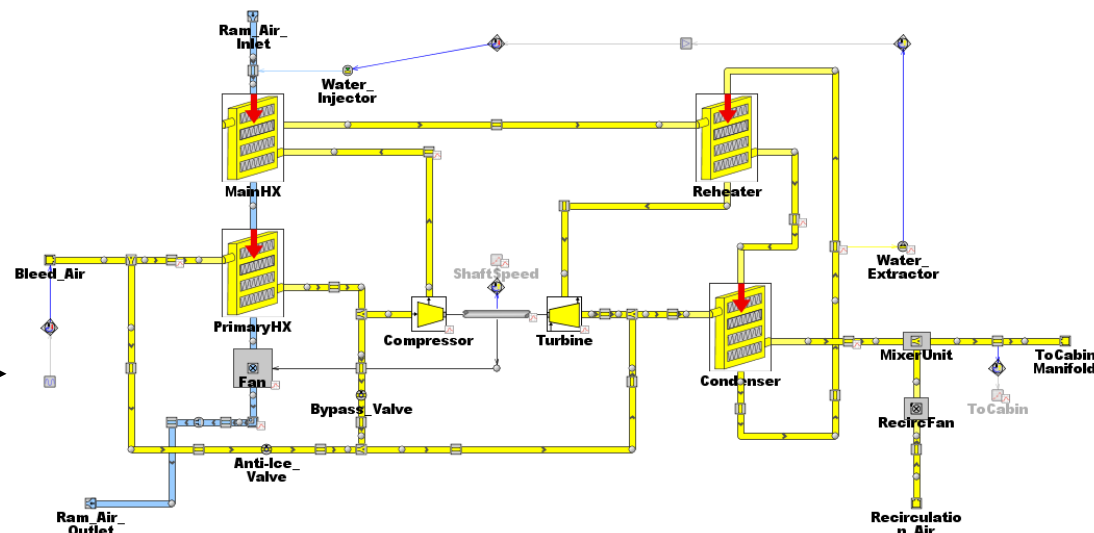
3D机舱模型可输出温度、湿度和气流分布结果

模型的完全参数化利于模型的快速更改

空气循环或两相流系统



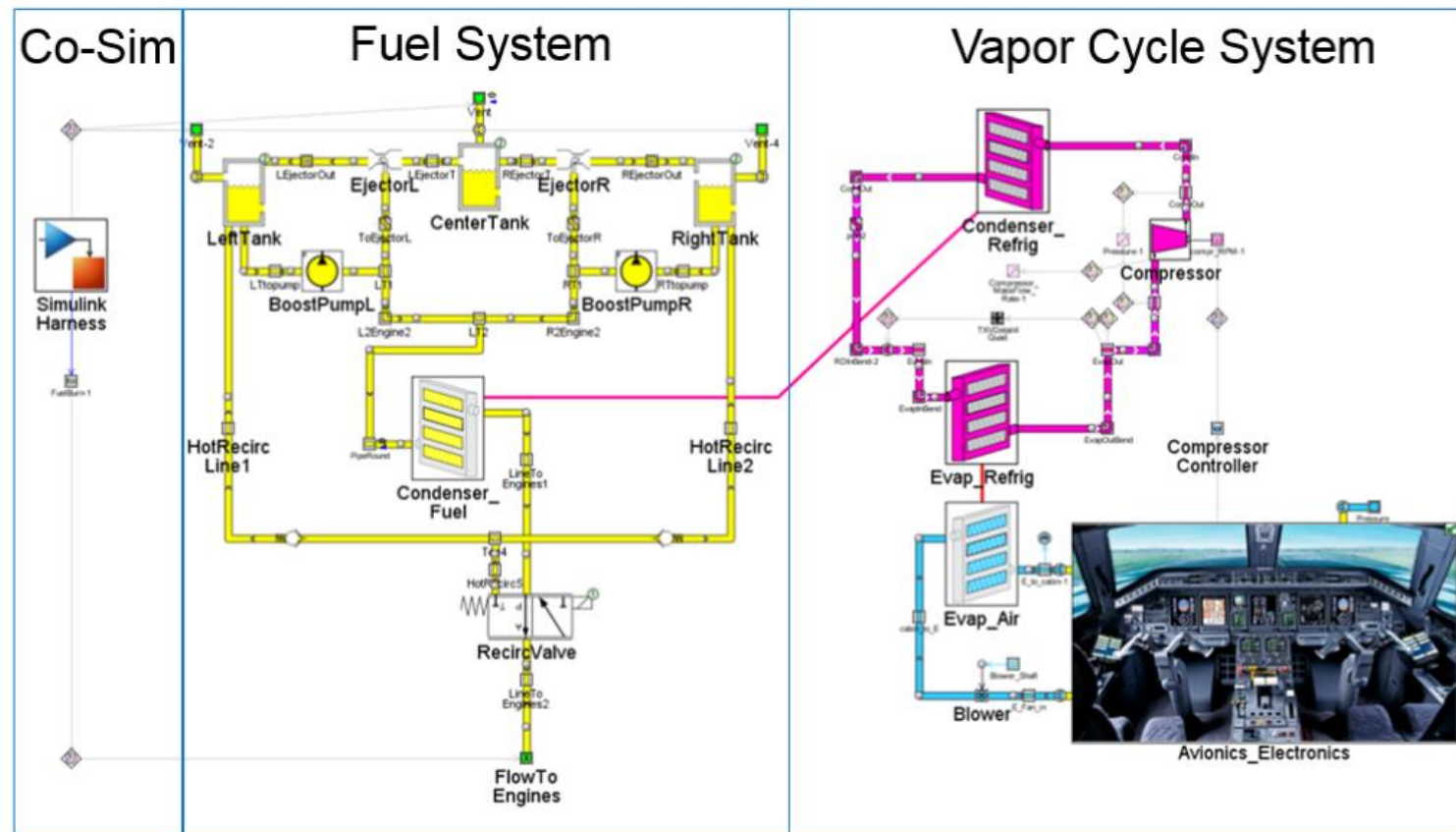
空气循环机模型



GT-SUITE 应用：燃油系统

燃油系统：

- 瞬态燃油输送、增压、分配、惰化、传热、供油压力监测等
- 定义飞机的环境条件，包括高度、姿态和3D加速度
- 模拟加油、抽取及排气通风过程
- 热管理系统交互作用的研究，例如将燃料箱作为散热装置

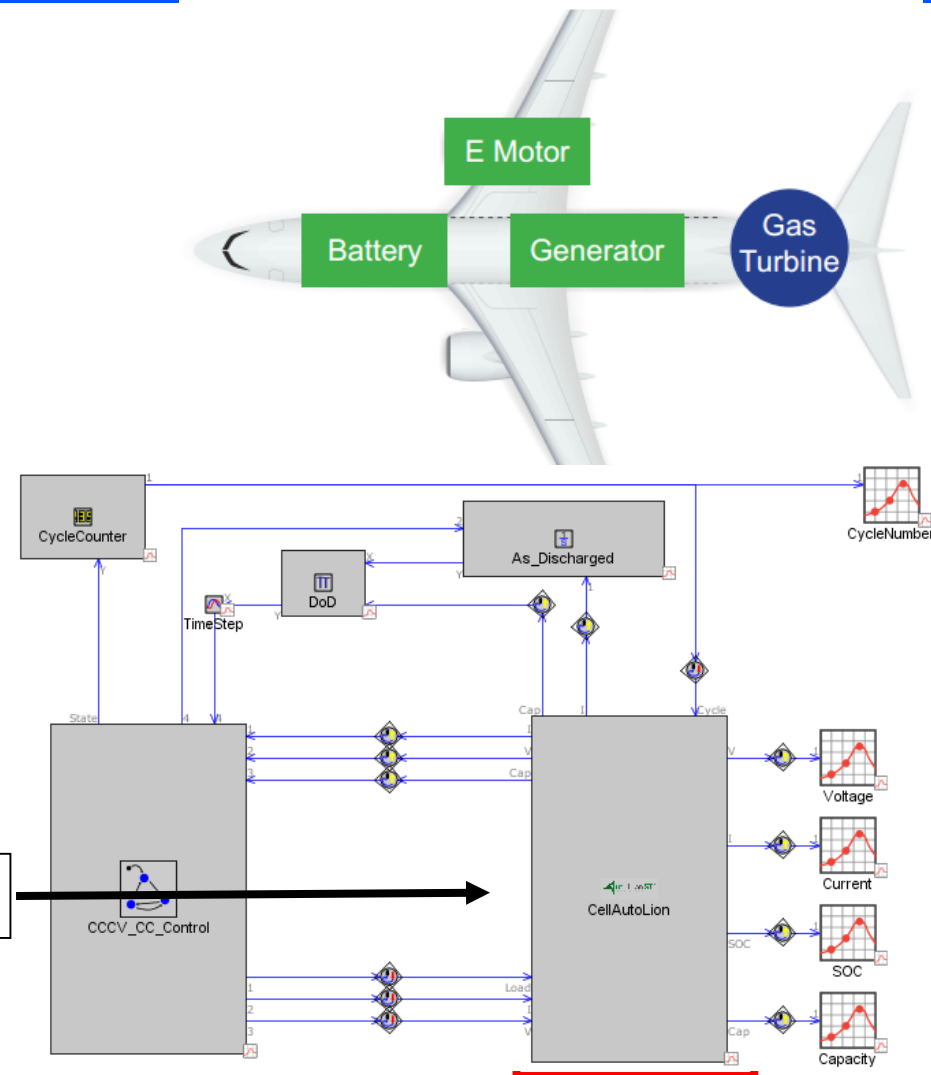


GT-SUITE 应用：推进及混合动力

推进及混合动力：

- 模拟燃气涡轮、电驱动和混合动力推进系统
- 模块化模型构建方法允许对所有主要部件和非标准配置进行建模
- 可将推进系统与热管理、ECS、APU、燃油系统等进行耦合
- 电池和电气系统，包括电池化学和老化预测的性能分析

GT-Autolion

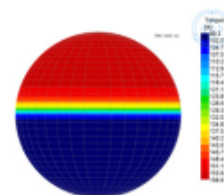


GT-SUITE 应用：低温系统

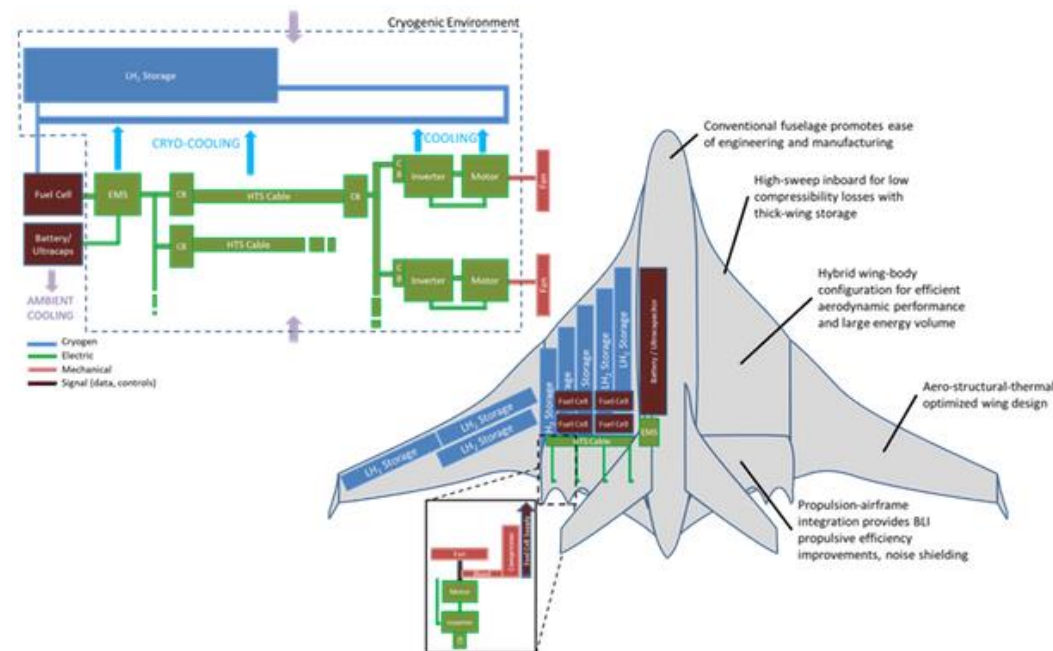
低温系统：

- 行业领先的瞬态两相流系统功能
- GT-SUITE使用NIST工质属性库，支持所有制冷剂及其混合物 (R134....., CO2)
- 流体系统可与FE结构相联结
- 整个推进系统的研究，包括管路启动、充液(换液)、水锤、油箱分层等

Tank Thermal Stratification

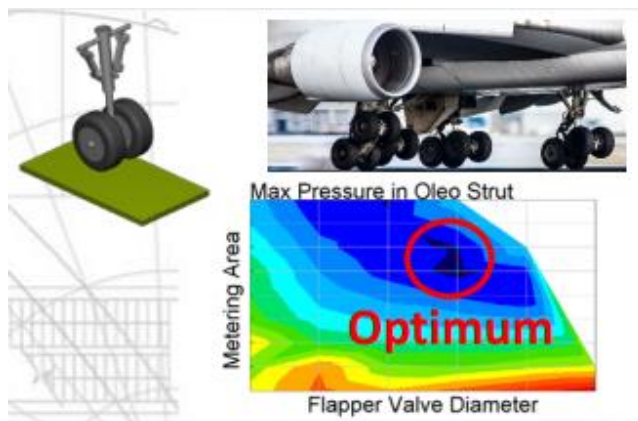


Venturi Cavitation

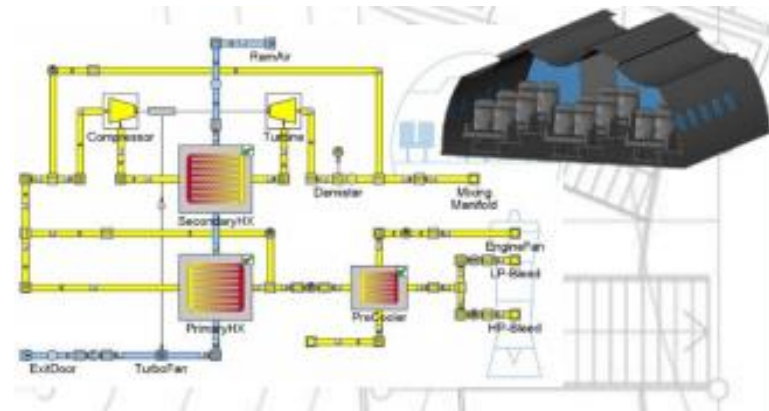


GT-SUITE的其他应用

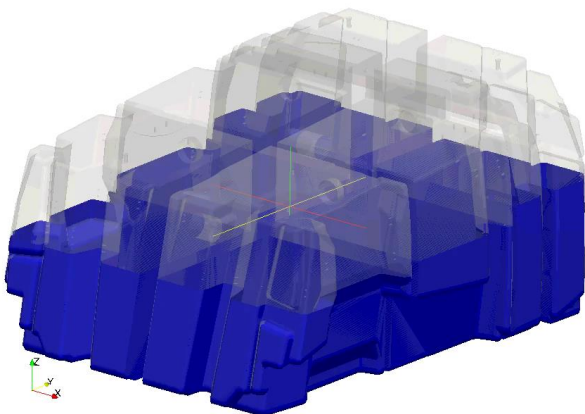
通过GT-SUITE 模拟飞机起落架（波音公司）



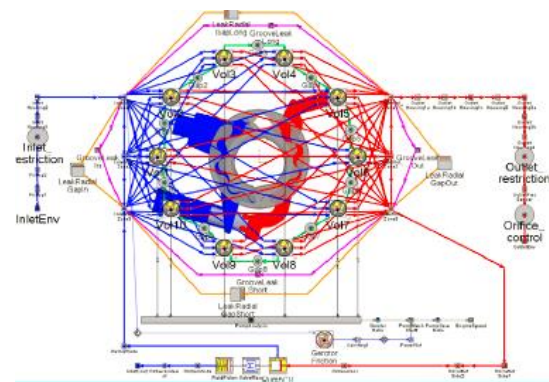
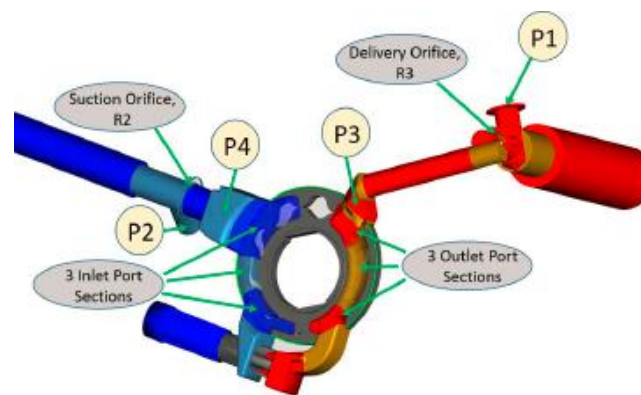
通过GT-SUITE 模拟飞机舒适性（波音公司）



通过GT-SUITE 模拟飞机油箱（Airbus）



通过GT-SUITE 模拟泵（UNiNA）



感谢您的聆听！