

飞机环控系统设计仿真与验证

挑战

现代飞机均采用环控系统控制舱室的压力、温度、湿度等条件，综合环控系统的控制要求和动态特性，既要满足最优的系统性能，又要保证飞机全剖面下复杂、极端工况的安全稳定，实现环控系统故障快速定位和排除。

- 传统仿真手段更为关注部件设备本身的工作性能，难以对复杂高端设备和多设备强耦合的系统环境进行模拟；
- 面对综合能源消耗问题，缺乏与其他飞机系统的连接接口，无法有效形成多系统整机级的效率综合优化方法；
- 针对飞机高起高降等特殊工况，试验成本高、准备周期长，且部分复杂极端工况物理条件难以复现，试验效率和效果较低。

方案

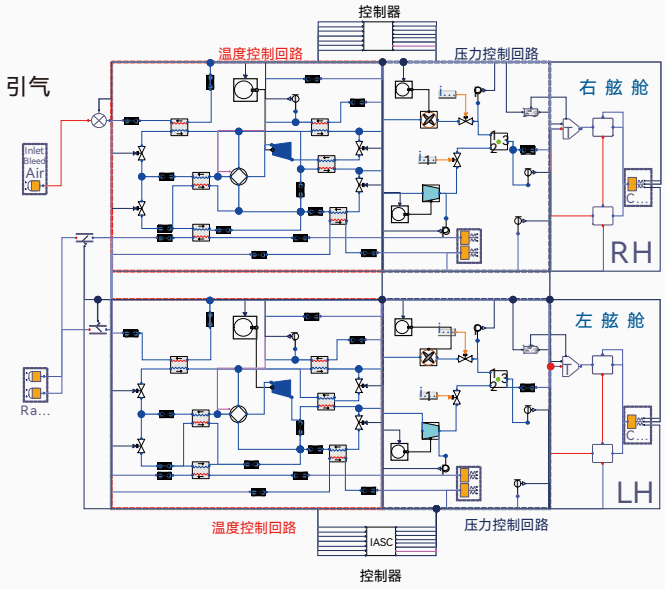
利用MWORKS.Sysplorer软件，采用多领域统一建模语言Modelica，以某机型舱室环控系统为对象，构建了一套飞机环控系统的功能模型组件库，搭建相应的环控系统模板，并利用参数标定、设计参数插值等手段提高模型仿真精度，通过故障注入方式实现故障模拟，为后续飞机环控系统设计与验证提供有力支撑。

价值

- 利用结构性能集成、模型降阶等方式，实现了一三维流体仿真融合，兼顾部件设备仿真精度的同时，满足了系统级与多系统级的动态特性仿真要求；
- 基于统一的系统接口和建模平台，构建的综合环控系统能够与发动机、飞控等其余飞机系统耦合，实现了多系统的耦合性分析，完成整机级的综合能源优化；
- 通过综合环控系统模型，开展复杂、极端工况下的仿真，能够拓展物理试验边界并辅助物理试验实施，进一步建设了相应的试验流程规范，进而保障试验效果和削减试验成本；
- 基于环控系统的数字化模型，进一步推动飞机数字化建设，为数字样机集成开展奠定基础。

成果展示

环控系统库组成复杂，包括气源系统、空调系统、防冰除雨系统、舱室加热系统、氧气系统等。以某机型舱室空调系统模型库为例，按实际机理拓扑结构，分左右机舷两侧，包含压缩机、换热器、压气机、涡轮、风扇、舱室、阀类、管道等多种设备模型，分温度控制回路和压力控制回路两类回路，共有8种温控增压模式，可快速实现飞机全剖面下设备冷却、货舱加热、座舱温度/压力调节等工况的动态模拟，能够满足全剖面下多种环境参数的仿真控制要求。

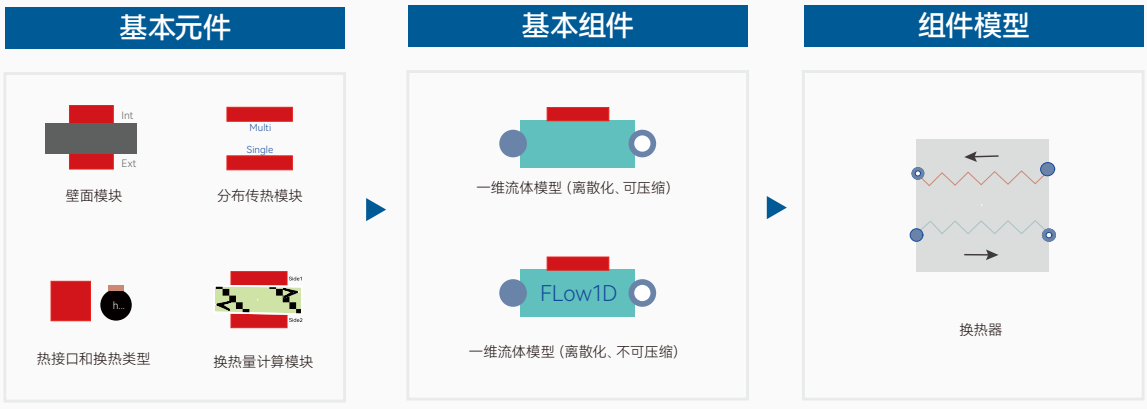


某机型空调系统图

关键设备

该套环控系统组件模型以一维流体仿真为基础，具备模型降阶功能和可扩展性集成接口，支持三维模型的数据融合，满足现代环控系统高保真、高响应的仿真要求。

以环控系统核心设备换热器为例，其采用结构化建模手段，利用一维离散化建模思维，基于换热器的基本元件，考虑不同的换热类型和壁面材质，搭建不同的流体流动组件，进而完成整个换热器的设备模型。

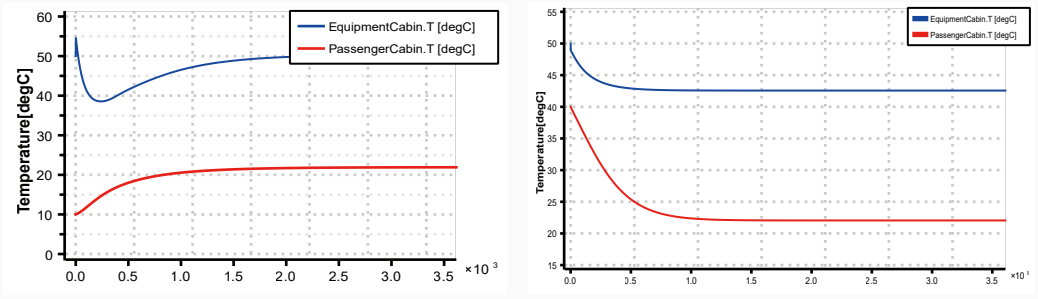


换热器建模流程

应用场景

设定飞机平起平降、高起高降等不同飞行工况，考虑机体所受太阳辐射、瞬态热负荷等因素影响，利用环控系统能够快速完成飞机从起飞到着陆的全剖面场景下，飞机引气量、舱室环境参数、空气循环流动、防冰除雨性能等关键指标的模拟计算。

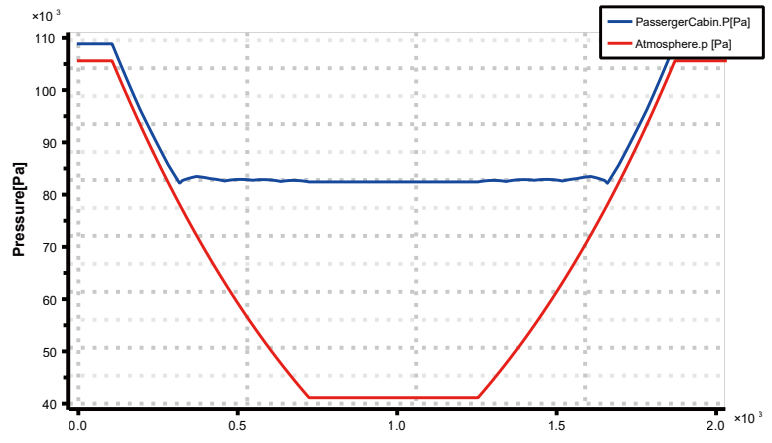
以空调系统为例，选择不同的温控模式和设备结构参数，能够实现不同舱室、设备之间的热量交互，满足飞机座舱、设备舱等舱室的温度控制要求。



设备舱与座舱的温度变化

动态验证

飞机舱室压力受飞机外界环境影响因素较大，为进一步实现空调系统的动态验证，右图为设定飞机平起平降飞行工况时，空调系统下舱室压力和环境压力的模拟计算结果，计算结果显示：舱室压力随环境压力降低而略有降低，当飞机维持一定高度时，舱室压力趋于平衡，满足该飞机的设计指标。



全剖面下舱室内外的压力变化

苏州同元软控信息技术有限公司

0512-62720715/18115503283
marketing@tongyuan.cc
苏州工业园区淞北路333号D1幢
www.tongyuan.cc

关注同元软控 精彩内容不错过

关注MWORKS 精彩内容不错过