



泛亚汽车技术中心有限公司  
Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd.

# 电动汽车整车级热管理模型开发及应用

陈博闻, 泛亚汽车技术中心有限公司

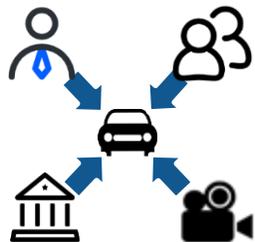


2024 MathWorks  
中国汽车年会

# 目录

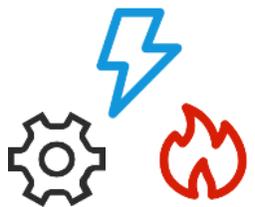
- 背景介绍
- 模型介绍
  - 建模目标
  - MathWorks工具链
  - 项目运用
  - 开发难点与核心
  - 下一步计划
- 总结

# 背景介绍



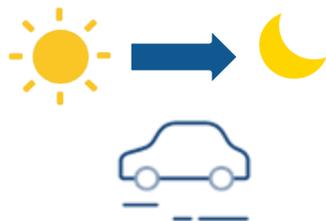
## ■ 高低温续航已成为影响产品竞争力的关键性能指标

- 电动车高低温衰减导致的里程焦虑是客户的核心痛点
- 第三方机构测评将高低温续航衰减率引入评价指标



## ■ 电动车热管理系统具有高耦合度的特点

- 电池、电机和座舱都需要工作在合适的温度区间
- 各个子系统之间有强交互作用
- 三电系统效率高，产热少，需要充分利用热能



## ■ 系统优化和改善依赖于实车试验

- 需要消耗大量人力物力和时间，方案评估不够灵活
- 难以有效平衡热舒适性和低温续航性能
- 跟不上现在汽车的产品迭代速度

# 模型介绍——建模目标



## 同一仿真环境:

在MATLAB中建模热管理模型，并与整车模型闭环



## 精度:

将高低温续航的仿真精度控制在 $\pm 2\%$ 以内



## 效率:

将完成一次全工况仿真的时间控制在5小时以内



## 敏感度分析:

完成系统敏感度分析，高效高性价比的方案优化系统

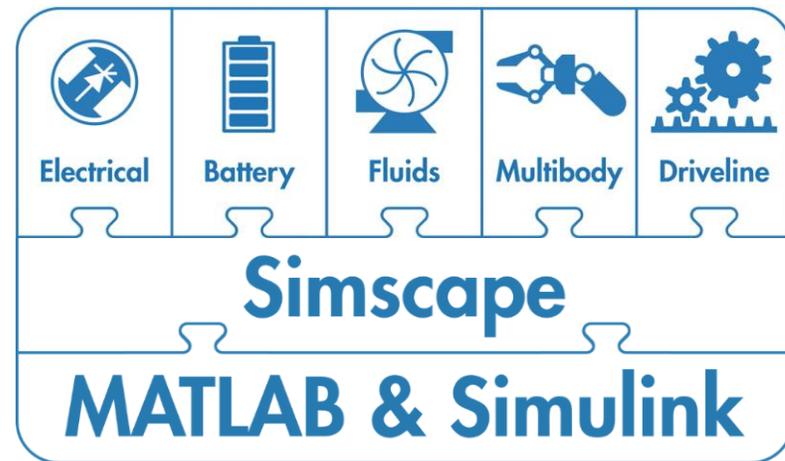


## 建立流程:

建立标准化建模流程，以快速应对系统架构的改型

# 模型介绍——MathWorks工具链

❖ Simscape可以与MATLAB/Simulink开发环境天然融合!



Mechanical



Electrical



Thermal



Thermal Liquid



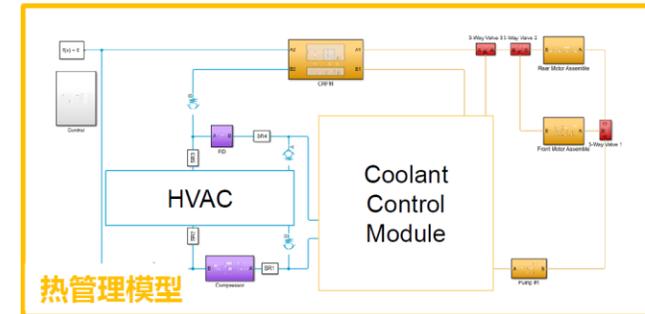
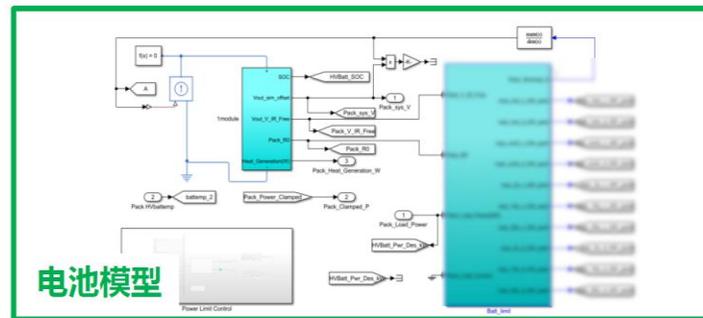
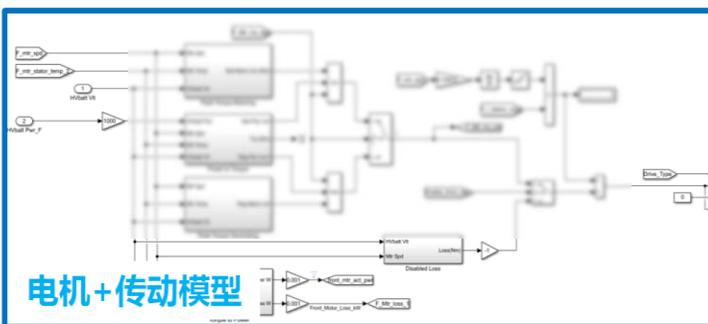
Gas



Two-Phase Fluid



Moist Air



# 模型介绍——项目运用



**精度：**高低温续航的仿真精度 $\pm 2\%$ 以内



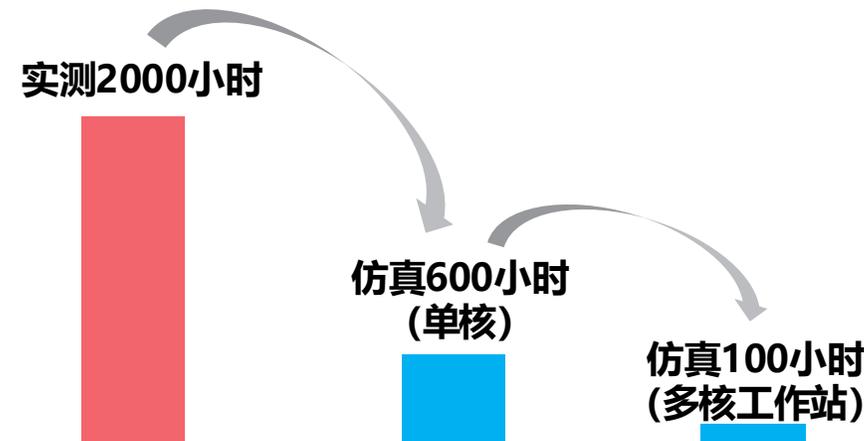
**效率：**完成一次全里程（约20次CLTC工况）仿真的时间约**3~4小时**  
完成约 60000 km的高低温续航仿真，总计**节约了2000多小时**的试验时间（**3 X Real Time**）



**优化：**识别出多个敏感参数，仅通过标定优化，将多款车型的低温续航衰减率**降低5~7%**



**流程：**建立标准的正向开发流程，通过该流程可以在**3-4个月完成**全新的整车级热管理模型开发



模型基础  
架构研究

零件级  
模型搭建

系统级  
模型搭建

整车模型  
闭环测试型

# 开发难点与核心

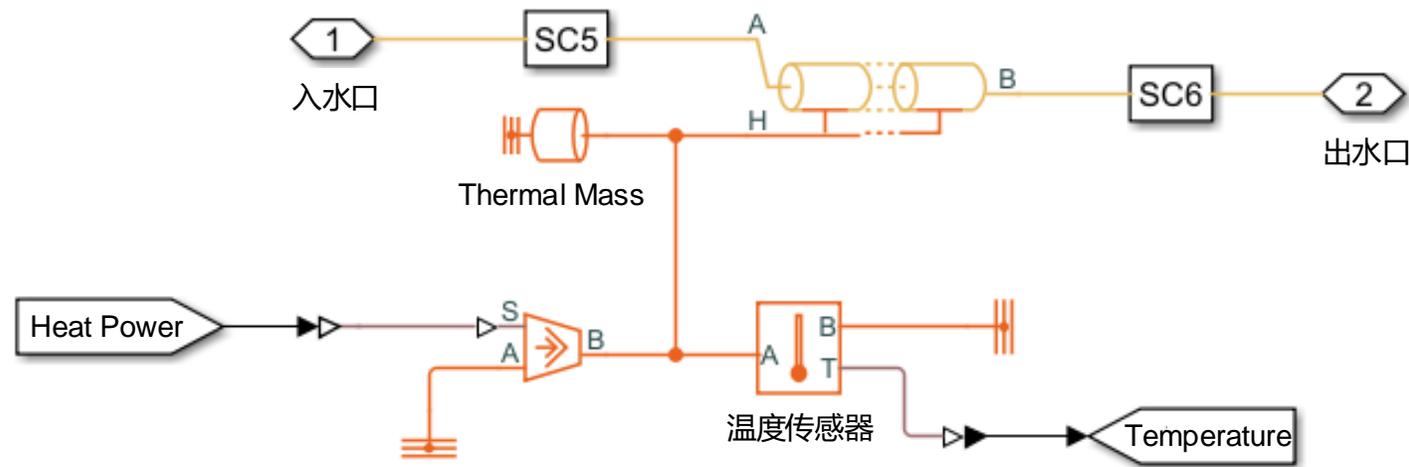
## 如何在精度满足项目开发要求的同时，保证仿真的快速与高效？

- 各个子系统对于整车的敏感度是有限的，且敏感度各不相同
- 简化、抽象或降阶低敏感度的子系统
- 需要充分考虑子系统可提供的参数和需要计算的变量，以综合评估简化的合理性
- 通过标定模型，保证简化后的模型可以满足精度的要求

# 开发难点与核心——电驱热模型（电机+逆变器+变速箱）

**电机热模型：**基于Simscape的物理模型

- 简化为质量块，需要计算**定子温度**和**变速箱油温**
- 将整车模型计算出的**电机、逆变器**和**变速箱**的发热功率输入得到Harness中
- 根据实测电机入口、出口水温、电机定子和变速箱油温等参数，可以**标定出进入水路、定子和变速箱的热量**
- 剩余热量通过散热模块耗散掉

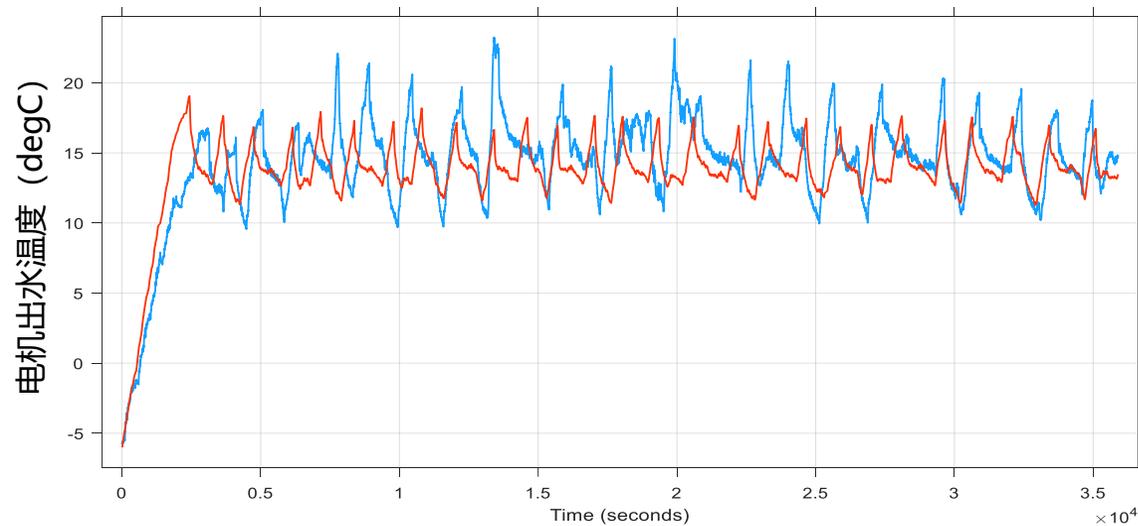
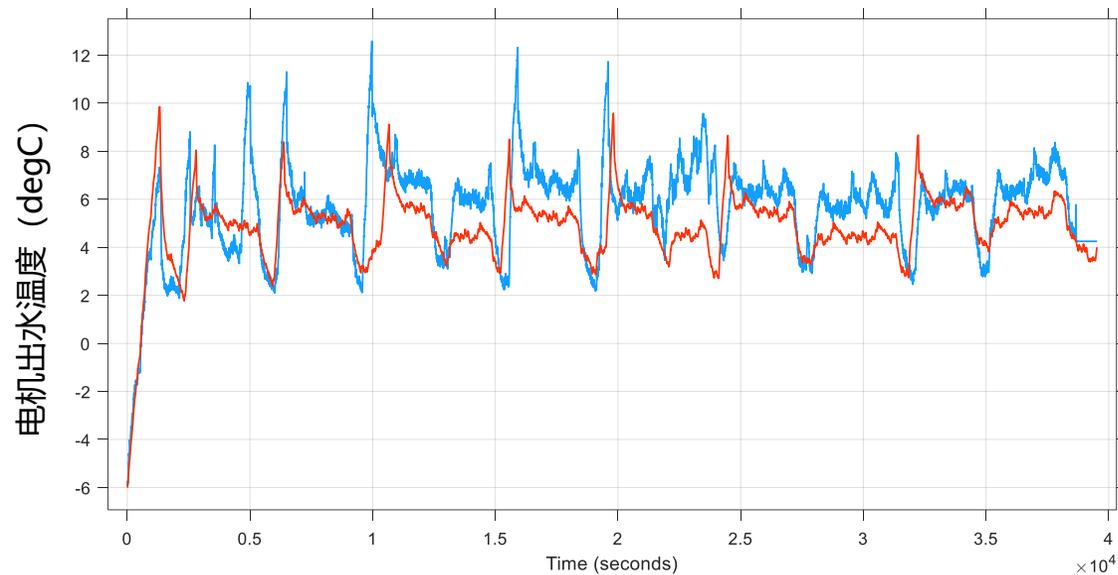
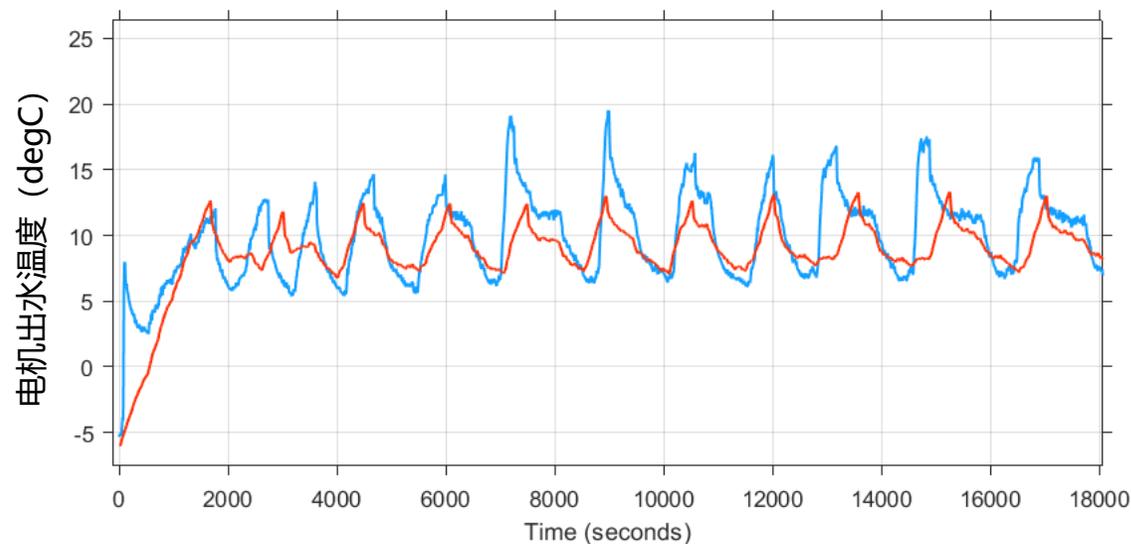
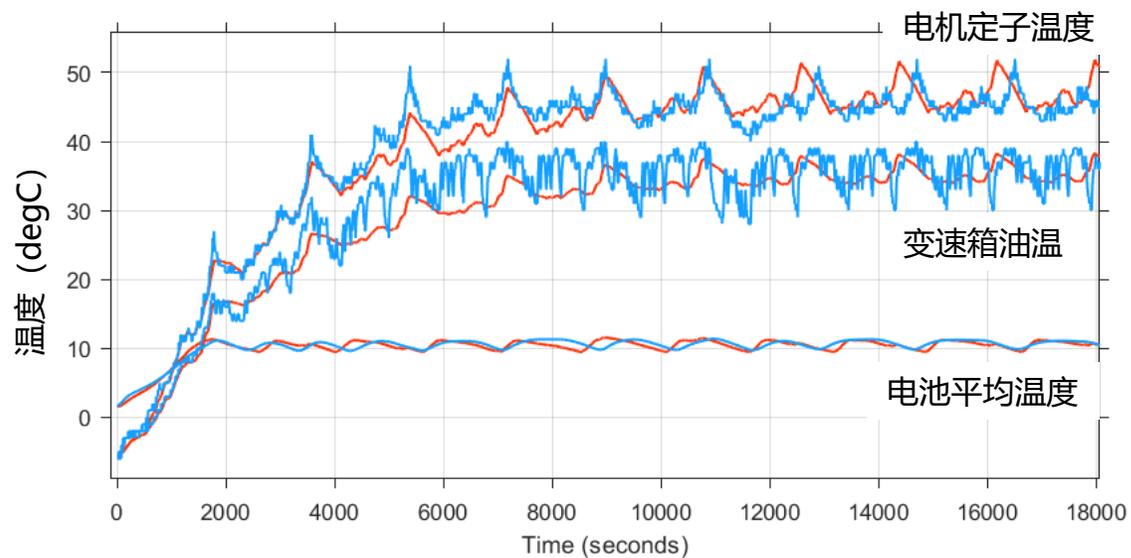


简化的Example

# 开发难点与核心——电机热模型

红线-仿真

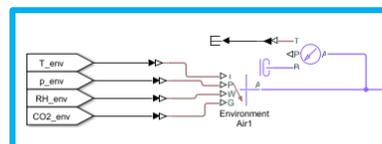
蓝线-实测



# 开发难点与核心——乘客舱

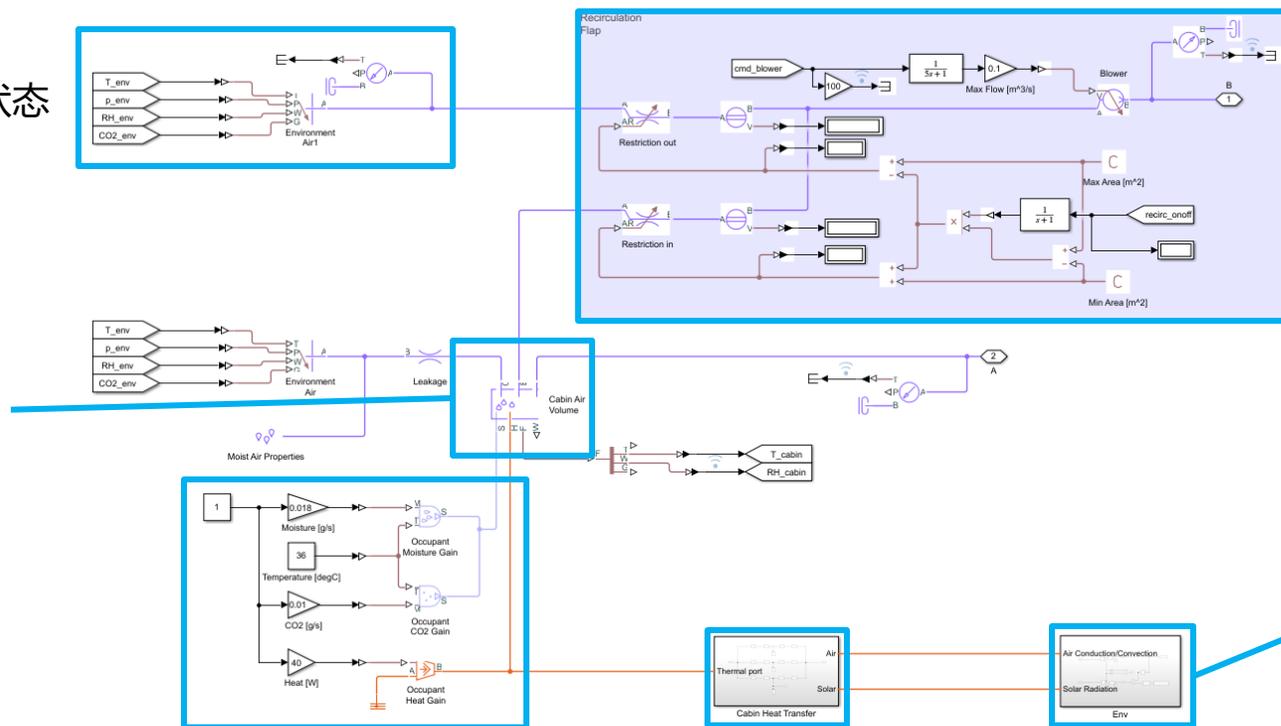
## 空气源

- 模拟外部空气状态



## 乘客舱

- 乘客舱为一维, 但有容积用于计算空气热容
- 可以输出温度和湿度



## 空调箱进气系统

- 可以在内循环、外循环和双层流之间切换

## 外部环境

- 环境温度为输入值
- 光照的热辐射吸收率的标定逻辑同乘客舱对外换热功率

## 驾驶员

- 模拟人体发热、二氧化碳和空气湿度的增益

## 乘客舱对外换热功率

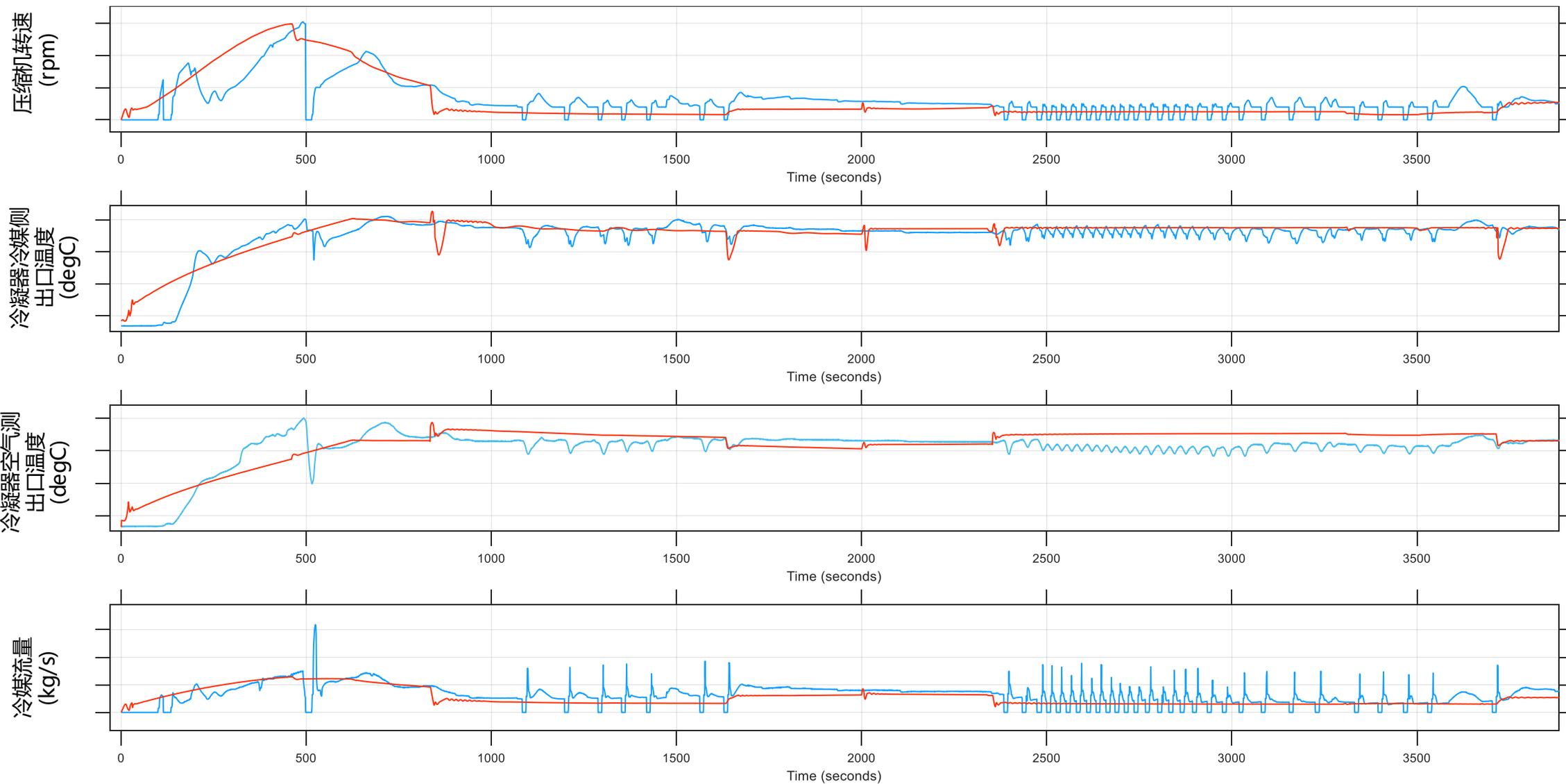
- 只关注整体换热功率
- 通过对标压缩机功率、转速、冷媒流量、出风温度、乘客舱温升来综合判断乘客舱对外换热功率的合理性

# 开发难点与核心——乘客舱

红线-仿真

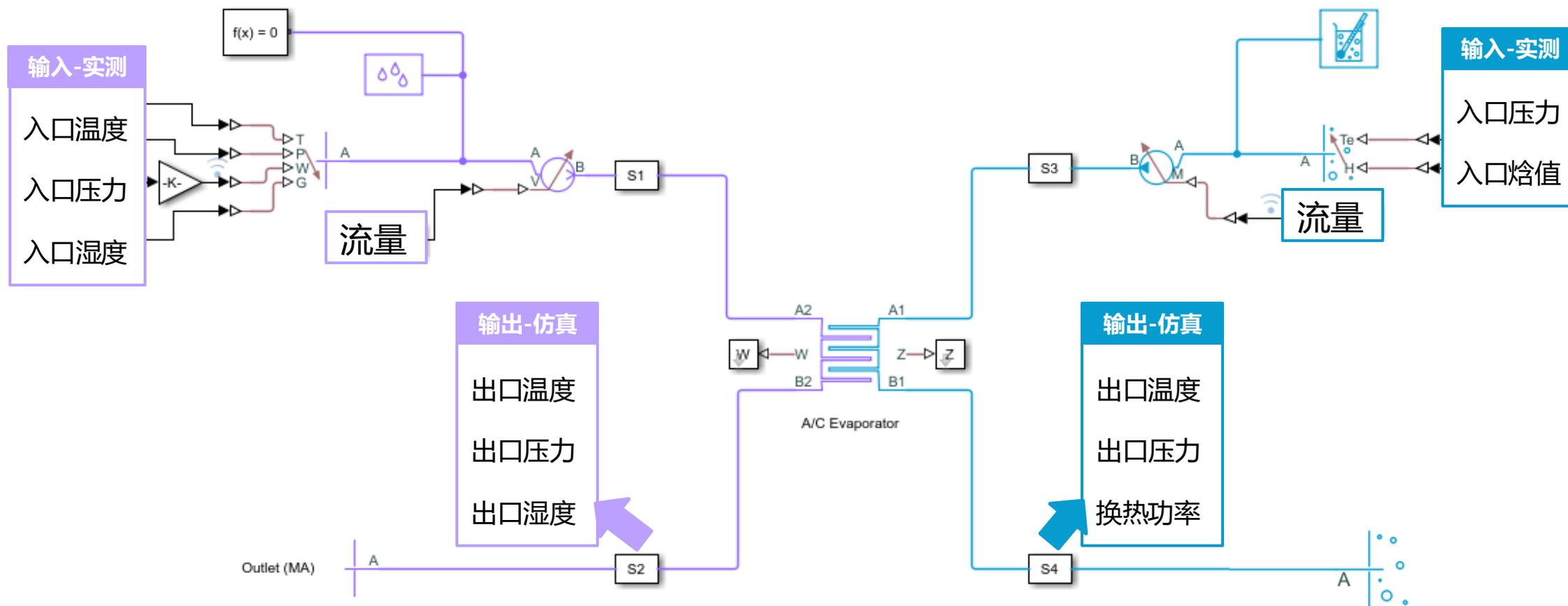
蓝线-实测

维持给定的乘客舱温度时，空调回路的参数对标

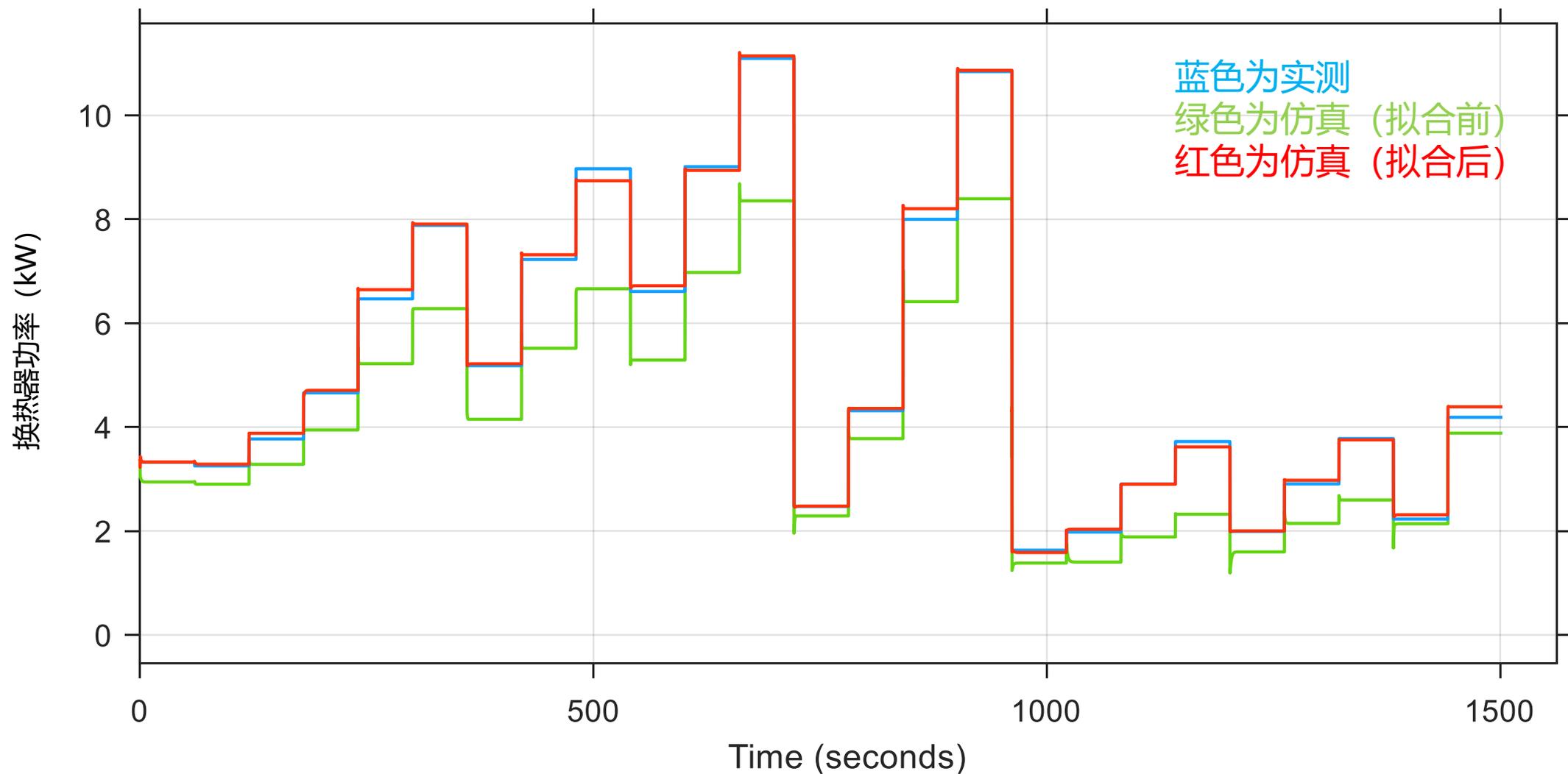


# 开发难点与核心——换热器

- 采用Geometry Based换热器，需要充分考虑零件和子系统可以提供的参数（不考虑HIL）
- 使用Parameter Estimator拟合换热系数，使得出口的仿真与实测值匹配

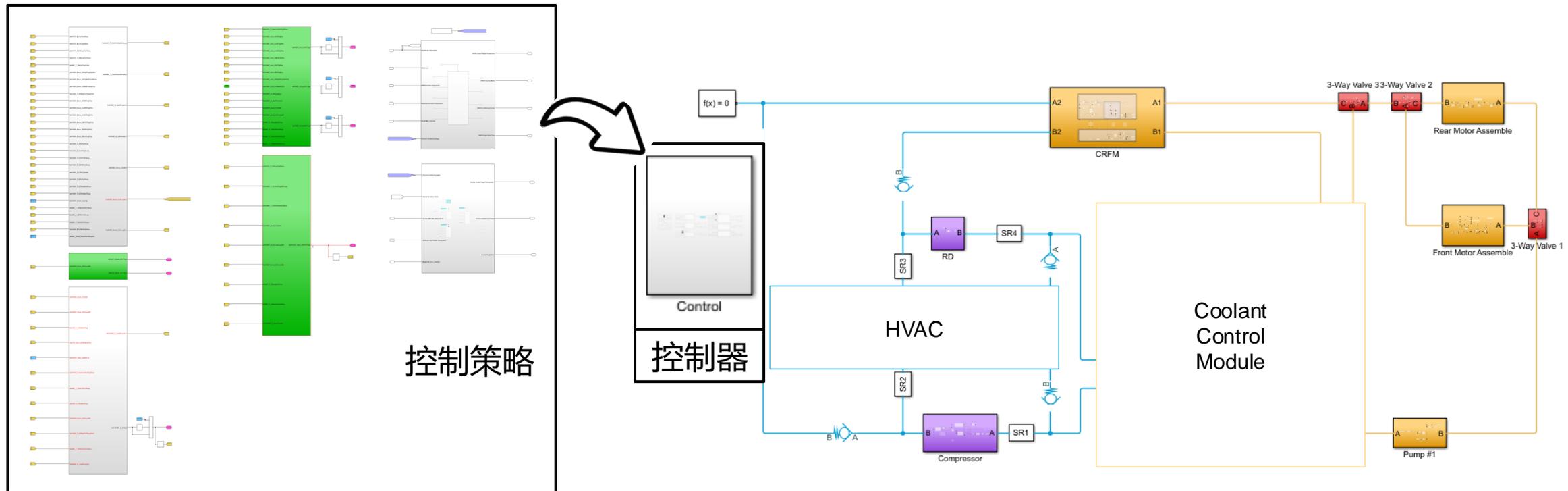


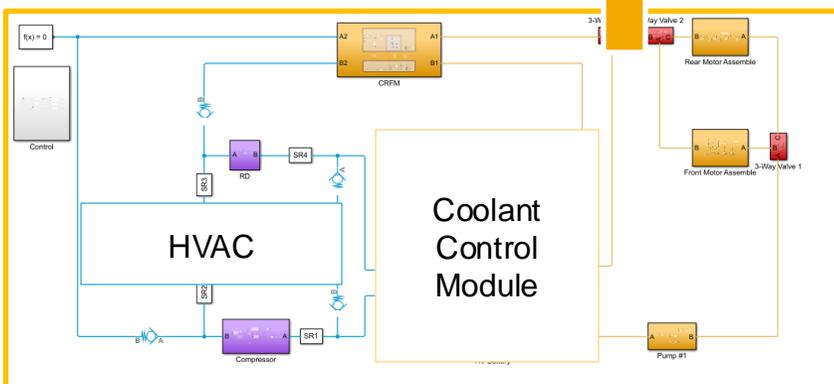
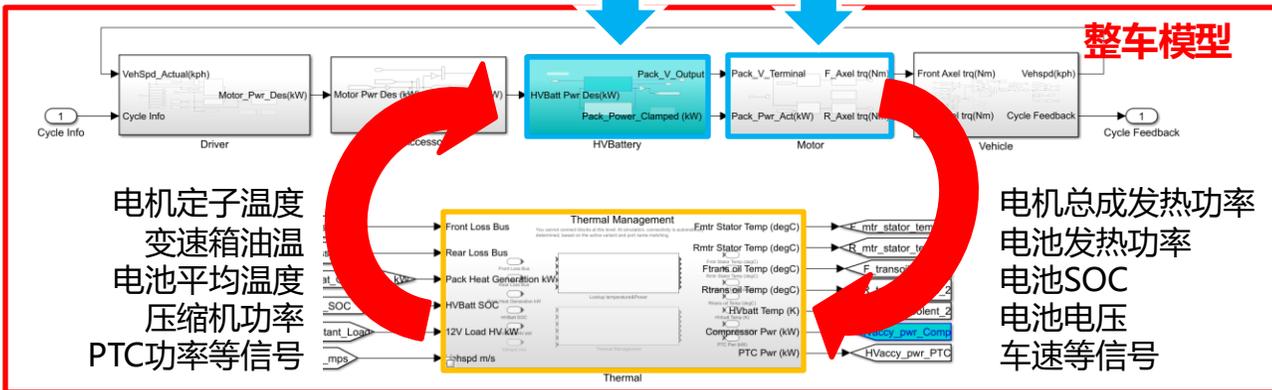
# 开发难点与核心——换热器



# 开发难点与核心——控制策略

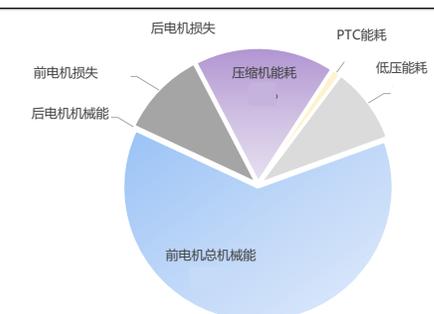
- 相较于传统燃油车，电动车的热管理系统具有高度耦合的特点
- 各个子系统之间存在强交互作用，且与热管理系统的控制策略密切相关
- 前期模型接口与控制器接口耦合
- 后期集成真实的控制策略





根据仿真结果，由MATLAB脚本自动生成的能量流报告

续航里程试验能量流分析报告					
<b>仿真信息</b>					
车型	驱动形式				
测试质量	风阻系数		迎风面积		滚阻系数
前电机	前主减速比		后电机		后主减速比
电池类型	总电量		UBE		
<b>里程电耗信息</b>					
续航里程 法规全工况	km	DC电耗 法规全工况	kWh/100km		
续航里程 仿真全工况	km	DC电耗 仿真全工况	kWh/100km		
续航里程 缩短法	km	DC电耗 缩短法	kWh/100km		
缩短法Cycle1	kWh	缩短法Cycle3	kWh		
缩短法Cycle2	kWh	缩短法Cycle4	kWh		
<b>能量流信息 (kWh)</b>					
UBE	kWh				
电池输出能量	kWh				
电池回收能量	kWh				
前电机净耗电	kWh				
前电机驱动能量	kWh				
前电机回收能量	kWh				
后电机净耗电	kWh				
后电机驱动能量	kWh				
后电机回收能量	kWh				
压缩机能耗	kWh				
PTC能耗	kWh				
低压能耗	kWh				
前电机总机械能	kWh				
前电机机械能 (驱动)	kWh				
前电机机械能 (回收)	kWh				
后电机机械能	kWh				
后电机机械能 (驱动)	kWh				
后电机机械能 (回收)	kWh				



示意图

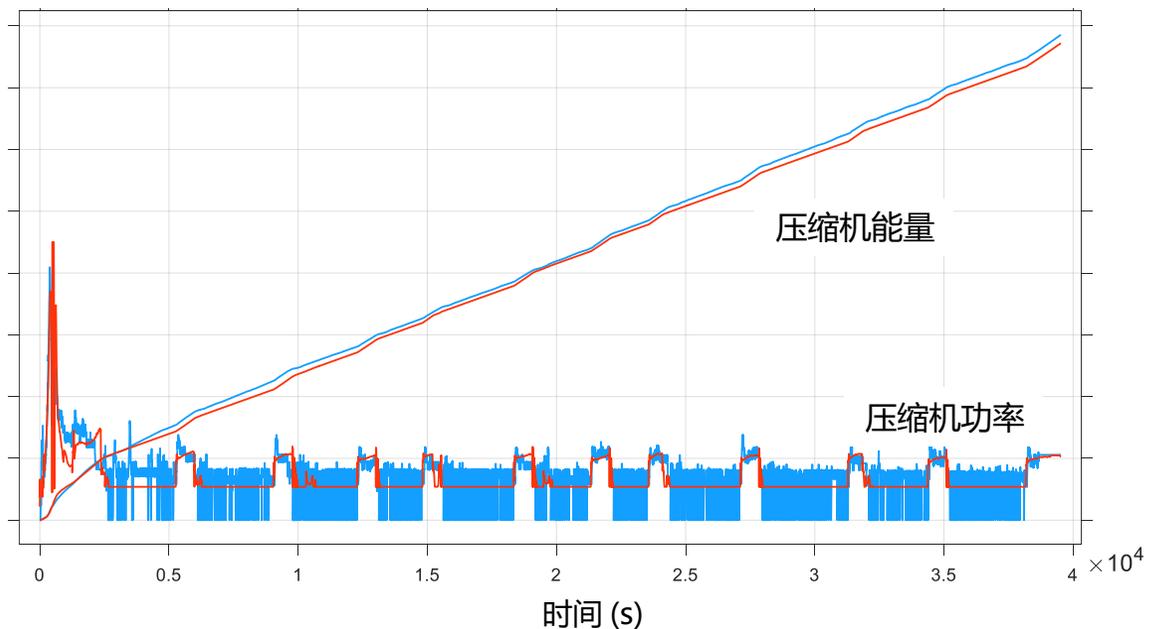
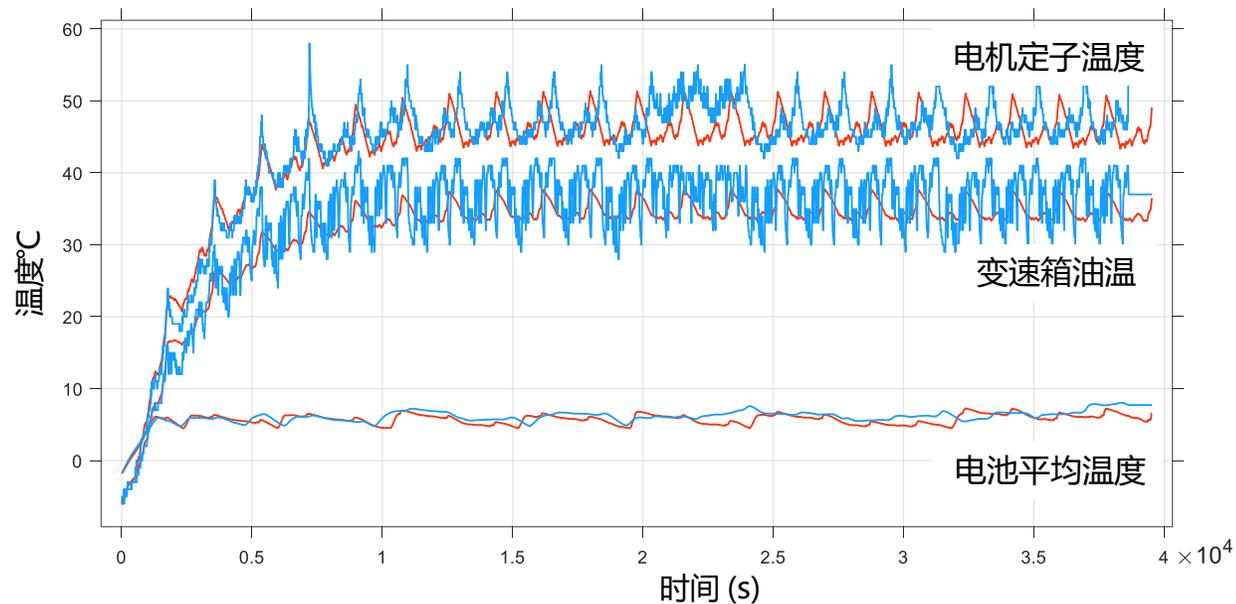
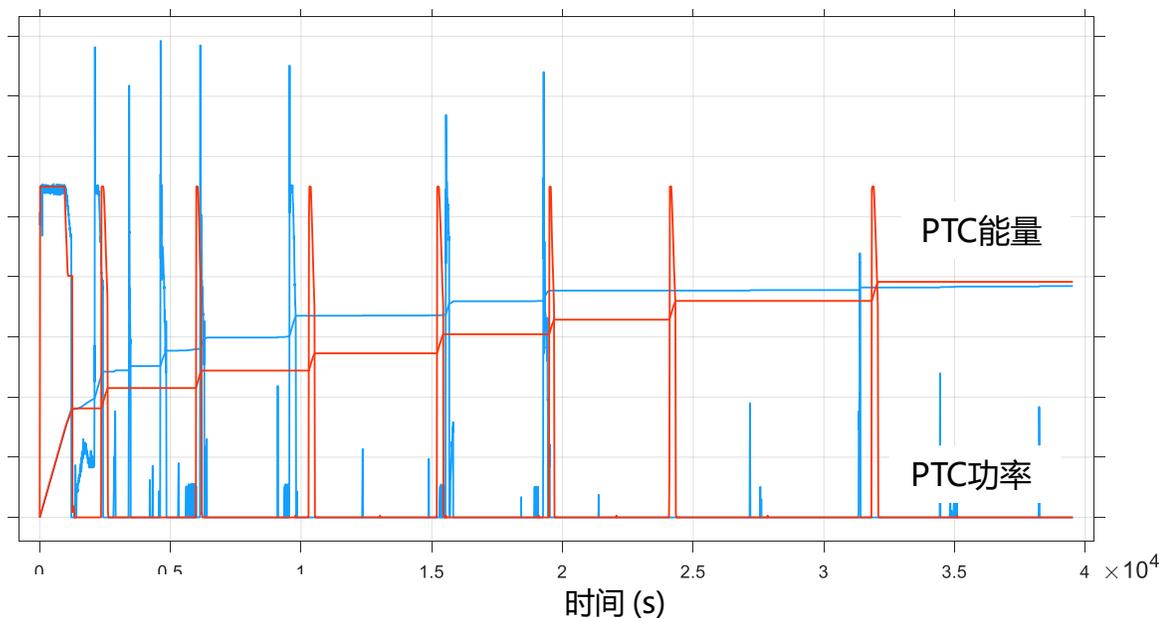
# 整车模型与热管理模型的闭环测试结果

CLTC 环境-7°C

5大核心信号：3个温度+2个高压能耗

红线-仿真

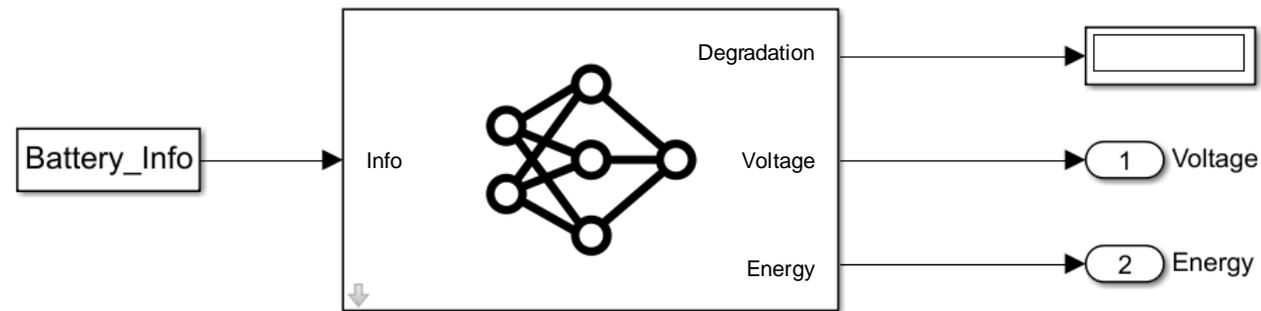
蓝线-实测



## 下一步计划

电池低温衰减受多种因素影响而呈非线性变化，导致较难预测低温下的可用电量衰减。

纯电里程 = 可用电量 / 整车电耗



# 总结

- 基于**Simscape物理模型**+ **自建数学模型**搭建了整车级热管理模型
- 电机电池热模型和乘客舱模型的**抽象与简化**
- 通过**标定**，**保证**简化后的模型可以满足**精度**的要求
- 运用模型进行**降本增效**
  - 可灵活支持拓展方案和全新架构研究
  - 可支持多因素耦合的批量研究
  - 可支持构型差异的研究，提供构型和策略建议
  - 大幅降低试验的人力、设备和时间成本
  - 有效加快产品的迭代速度

# 2024 MathWorks 中国汽车年会

## Thank you

